

**Е.Д. КАЗАКОВ, Г.П. КАРПИЛЕНКО**

# **БИОХИМИЯ ЗЕРНА И ХЛЕБОПРОДУКТОВ**

*3-е переработанное и дополненное издание*

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области технологии продуктов питания и пищевой инженерии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 270100 «Технология хранения и переработки зерна» направления подготовки дипломированного специалиста 655600 «Производство продуктов питания из растительного сырья»

Санкт-Петербург  
ГИОРД  
2005

УДК 644.6/.7:577.1(075.8)

ББК 36.821

К 14

*Рецензенты:*

профессор, доктор биологических наук *В.Ф. Голенков* (РГТЭУ);

профессор, доктор биологических наук *А.Ф. Топунов*

(институт биохимии им. А.Н. Баха РАН)

**Е.Д. Казаков, Г.П. Карпиленко.** Биохимия зерна и хлебопродуктов  
К 14 (3-е переработанное и дополненное издание). — СПб.: ГИОРД, 2005. —  
512 с.

ISBN 5-901065-82-4

В учебном пособии для студентов вузов приведены химический состав зерна, муки и крупы, процессы, происходящие в зерне при его прорастании, созревании, хранении и переработке, а также в муке и крупе при их производстве и хранении. Содержатся данные о химическом составе и качестве готовой продукции. Приведены оптимальные показатели биохимических процессов, обеспечивающих сохранность качества зерна и продуктов его переработки.

УДК 644.6/.7:577.1(075.8)

ББК 36.821

ISBN 5-901065-82-4

© ЗАО ГИОРД, 2005

© Г.П. Карпиленко,

Е.Д. Казаков, 2005

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b>	8
<b>Глава 1. Вводные биологические понятия</b>	20
§ 1. Метаболизм	20
§ 2. Классификация организмов по типу питания	26
§ 3. Генетические понятия	28
§ 4. Строение клетки	33
§ 5. Строение и химический состав зерна и семян	38
<b>Глава 2. Белковые вещества</b>	45
§ 1. Общая характеристика белков	45
§ 2. Аминокислоты	47
§ 3. Стереохимия аминокислот	49
§ 4. Аминокислотный состав белка	50
§ 5. Формы связей в белке	56
§ 6. Пространственная структура белковой молекулы	59
§ 7. Свойства белков	63
§ 8. Классификация белков	67
§ 9. Запасные белки	69
§ 10. Выделение белков	75
§ 11. Белковые вещества зерна пшеницы	80
§ 12. Клейковина зерна пшеницы	83
§ 13. Методы определения количества и качества клейковины	86
§ 14. Состав и строение клейковины зерна пшеницы	90
§ 15. Клейковина и ферменты	100
§ 16. Смешивание зерна пшеницы с клейковиной разного качества	102
§ 17. Факторы, влияющие на выход и качество клейковины зерна пшеницы	106
<b>Глава 3. Белки зерна злаковых, семян бобовых и масличных культур</b>	115
§ 1. Белки зерна ржи	115
§ 2. Белки зерна тритикале	121
§ 3. Белки зерна ячменя	123
§ 4. Белки зерна овса	126
§ 5. Белки зерна кукурузы	128
§ 6. Белки зерна проса	132

§ 7. Белки зерна гречихи	133
§ 8. Белки зерна риса .....	135
§ 9. Белки семян бобовых культур .....	138
§ 10. Белки семян масличных культур .....	142
<b>Глава 4. Нуклеиновые кислоты</b>	146
§ 1. Рибонуклеиновые и дезоксирибонуклеиновые кислоты	149
<b>Глава 5. Витамины</b>	152
§ 1. Витамины	152
§ 2. Водорастворимые витамины	153
§ 3. Жирорастворимые витамины .....	160
§ 4. Витаноминоподобные вещества .....	163
§ 5. Антивитамины .....	165
<b>Глава 6. Ферменты</b>	166
§ 1. Общая характеристика	166
§ 2. Строение ферментов .....	168
§ 3. Взаимодействие между ферментом и субстратом	170
§ 4. Специфичность и условия действия ферментов .....	173
§ 5. Свойства и изменение активности ферментов	178
§ 6. Классификация и номенклатура ферментов	179
§ 7. Ферменты зерна .....	181
<b>Глава 7. Углеводы</b> .....	199
§ 1. Общая классификация .....	199
§ 2. Моносахариды	200
§ 3. Полисахариды первого порядка .....	206
§ 4. Полисахариды второго порядка .....	209
<b>Глава 8. Липиды. Красящие вещества</b> .....	220
§ 1. Общие свойства и классификация липидов	220
§ 2. Простые липиды	221
§ 3. Сложные липиды	231
§ 4. Циклические липиды	234
§ 5. Связанные липиды	236
§ 6. Пигменты и другие красящие вещества зерна	238
§ 7. Цвет и качество зерна .....	245
§ 8. Фенольные соединения .....	246
<b>Глава 9. Минеральные вещества, влага, кислотность зерна</b>	249
§ 1. Минеральные вещества зерна	249
§ 2. Влага в зерне .....	262
§ 3. Кислотность зерна .....	269
<b>Глава 10. Влияние природно-климатических и агротехнических факторов на состав и качество зерна</b>	272
§ 1. Внутренние и внешние факторы качества зерна .....	272

§ 2. Генотип и качество зерна .....	273
§ 3. Сорт и его значение .....	274
§ 4. Влияние географического фактора, климата и почвы	276
§ 5. Разнокачественность зерна	280
§ 6. Влияние минеральных удобрений на качество зерна .....	283
§ 7. Влияние химизации на производство зерна	286
§ 8. Влияние орошения на качество зерна	289
§ 9. Влияние предшественников на урожай и качество зерна .....	293
§ 10. Механические повреждения зерна при уборке урожая и при хра- нении .....	294
§ 11. Гидротермический коэффициент и качество зерна	297
§ 12. Способы увеличения белковости зерна	298
<b>Глава 11. Дыхание зерна .....</b>	<b>302</b>
§ 1. Интенсивность дыхания и вызываемые им изменения в зерновой массе .....	302
§ 2. Генетическая связь между процессами брожения и дыхания .....	309
§ 3. Процессы, протекающие на общем этапе брожения и дыхания	310
§ 4. Превращения пировиноградной кислоты при брожении	312
§ 5. Механизм дыхания	313
§ 6. Суммарный баланс дыхания	316
§ 7. Процессы дегидрогенизации .....	317
§ 8. Окислительное фосфорилирование .....	318
§ 9. Различия между горением и дыханием .....	319
<b>Глава 12. Биохимические процесс при созревании и прорастании зерна</b>	<b>321</b>
§ 1. Созревание зерна	321
§ 2. Послеуборочное дозревание зерна .....	325
§ 3. Состояние покоя и старение зерна	330
§ 4. Прорастание зерна .....	332
<b>Глава 13. Поврежденное, бесполезное зерно и его непользование .....</b>	<b>347</b>
§ 1. Зерно замороженное .....	352
§ 2. Зерно суховейное	353
§ 3. Стеkanie (истекание) зерна .....	355
§ 4. Зерно пожелтевшее .....	358
§ 5. Зерно, поврежденное клопом-черепашкой .....	362
§ 6. Зерно с горькополынным вкусом и запахом .....	371
§ 7. Зерно с черным зародшем	372
§ 8. Зерно, перезимовавшее в поле .....	374
§ 9. Зерно, пораженное фузариозом	378
§ 10. Зерно меланозное .....	381
§ 11. Зерно, пораженное головней	382
§ 12. Зерно, пораженное спорышьей .....	383
§ 13. Зерно, поврежденное сушкой	385
§ 14. Самосогревание зерна .....	390

§ 15. Зерно заплесневевшее .....	396
§ 16. Остаточное содержание пестицидов в зерне .....	400
<b>Глава 14. Смешивание и обработка зерна перед помолом .....</b>	<b>405</b>
§ 1. Смешивание двух или нескольких партий зерна .....	405
§ 2. Гидротермическая обработка зерна .....	407
<b>Глава 15. Химический состав промежуточных продуктов переработки зерна в муку и крупу .....</b>	<b>417</b>
§ 1. Переработка зерна в муку .....	417
§ 2. Изменение химического состава зерна при подготовке его к помолу и переработке в крупу .....	419
§ 3. Химический состав промежуточных и конечных продуктов размола зерна пшеницы .....	419
§ 4. Получение пшеничных отрубей пищевого назначения .....	429
§ 5. Получение пшеничных зародышевых хлопьев .....	431
§ 6. Переработка зерна ржи в муку .....	432
§ 7. Переработка зерна в крупу .....	437
<b>Глава 16. Биохимические процессы, происходящие в муке и крупе при хранении .....</b>	<b>444</b>
§ 1. Особенности процессов, происходящих в муке при хранении .....	444
§ 2. Созревание пшеничной муки .....	445
§ 3. Хранение муки после периода созревания .....	451
§ 4. Бестарное хранение пшеничной муки .....	454
§ 5. Хранение ржаной муки .....	455
§ 6. Хранение крупы .....	458
§ 7. Хранение пищевых пшеничных отрубей .....	462
<b>Глава 17. Биохимические процессы, происходящие в муке при получении из нее хлеба, макаронных, мучных и кондитерских изделий .....</b>	<b>463</b>
§ 1. Хлебопекарное достоинство пшеничной муки .....	463
§ 2. Технология пшеничного хлеба .....	465
§ 3. Производство макаронных изделий .....	468
§ 4. Использование муки в кондитерской промышленности .....	470
§ 5. Оценка технологического достоинства пшеничной муки и качества готовой продукции, полученной из нее .....	471
§ 6. Применение пищевых добавок к хлебным изделиям для улучшения их качества .....	472
§ 7. Сертификация зерна и зернопродуктов .....	475
<b>Глава 18. Ржаная мука и получение из нее хлеба .....</b>	<b>479</b>
§ 1. Особенности ржаной муки .....	479
§ 2. Хлебопекарное достоинство ржаной муки .....	481
§ 3. Производство ржаного хлеба .....	483
§ 4. Оценка технологического достоинства ржаной муки и качества ржаного хлеба .....	484

---

<b>Глава 19. Пищевая ценность хлеба</b> .....	487
§ 1. Питание	487
§ 2. Усвояемость хлеба .....	490
§ 3. Энергетическая ценность (калорийность) хлеба	491
§ 4. Хлеб как источник белка и незаменимых аминокислот	491
§ 5. Хлеб как источник витаминов	497
§ 6. Хлеб как источник минеральных веществ .....	499
§ 7. Обеспеченность человека углеводами, содержащимися в хлебе	500
§ 8. Обеспеченность человека липидами, содержащимися в хлебе .....	501
§ 9. Вкус и аромат хлеба	502
§ 10. Источники и методы повышения пищевой ценности хлеба .....	504
<b>Заключение</b> .....	507

# ВВЕДЕНИЕ

Биологическая химия (биохимия) — составная часть биологии, ее называют также физиологической химией, или наукой о химии живого. Она изучает химический состав растений, животных и микроорганизмов, происходящие в живых организмах биохимические процессы, связь между жизнедеятельностью организмов и протекающими в них биохимическими процессами.

В задачу биохимии входит также изучение физиологической роли отдельных веществ в жизни организмов, процессов биосинтеза сложных органических веществ из неорганических соединений. Совокупность химических превращений, отражающих постоянную взаимосвязь организма с внешней средой, составляет биологический обмен веществ. Обмен веществ лежит в основе наиболее сложной формы движения материи, называемой жизнью. Нередко вместо слов «обмен веществ» применяют термин «метаболизм». Вещества, возникающие в организме в результате обмена веществ, называют продуктами обмена, или метаболитами.

Биохимия по своему содержанию и методам тесно связана с физиологией — наукой о природе живых организмов, о функциях и процессах, протекающих в живом организме и его частях (органах, тканях, клетках). Физиология растений изучает общие закономерности жизнедеятельности растительных организмов и разрабатывает пути управления ими. Задача физиологии состоит в изучении процессов роста и развития, цветения и плодоношения растений, почвенного и воздушного питания, синтеза и накопления пластических веществ, т. е. совокупности всех тех процессов, которые определяют способность роста и воспроизводства растений.



Биохимия развивалась в борьбе с господствовавшим в биологии в XVIII в. и в четверти XIX в. идеалистическим учением — витализмом, согласно которому организмы строят свои вещества с обязательным участием непознаваемой жизненной силы, не подчиняющейся законам сохранения материи и энергии.

Достижения органической и биологической химии в XIX—XX вв. показали полную несостоятельность витализма. Немецкий химик Ф. Велер в 1828 г. осуществил превращение неорганического циановокислого аммония в хорошо известное органическое вещество мочевины, русский ученый А. М. Бутлеров в 1861 г. получил из формальдегида сахаристые вещества, французский химик М. Бертло выполнил синтез ряда органических соединений. В изучении липидов важную роль сыграли работы французского химика-органика М. Шеврёля, показавшего, что жиры состоят из остатков жирных кислот и глицерина. Многие исследования, касающиеся структуры углеводов, аминокислот и белков, связаны с именем немецкого химика-органика Э. Фишера, доказавшего, что аминокислоты связываются между собой посредством карбоксильных и аминогрупп, и обосновавшего полипептидную теорию строения белков.

В начале XIX в., в 1814 г., действительный член Российской академии наук К.С. Кирхгоф установил, что в проросшем зерне содержится вещество, вызывающее осахаривание крахмала. Это вещество было первым описанным наукой ферментом. Открытие Кирхгофа было началом развития ферментологии.

Крупный вклад в органический синтез внес русский химик А.М. Бутлеров, разработавший в 1861 г. теорию строения органических веществ. На основе этой теории во второй половине XIX в. и в XX в. синтезировано множество соединений, начиная от простейших спиртов, кислот и эфиров до углеводов, витаминов, дубильных веществ и др. Многие крупные химики изучали процесс брожения. Французский ученый Л. Пастер ввел в науку представление об анаэробных микроорганизмах и раскрыл природу процессов брожения. Немецкий химик и биолог Э. Бухнер в 1897 г. установил, что экстракт из дрожжевых клеток способен сбраживать сахар. Основы учения о фотосинтезе были заложены швейцарским ученым К. Соссюром

в 1804 г. Знания о природе фотосинтеза, а также о физике и химии хлорофилла были значительно расширены исследованиями русского ученого К. А. Тимирязева.

Подлинный расцвет биохимии наступил в XX в. Важные открытия следовали одно за другим. Русский ученый Н.И. Лунин положил начало учению о витаминах — веществах органической природы без незначительных количеств которых наряду с белками, углеводами, жирами и минеральными солями невозможны нормальный рост и развитие живых организмов. Выдающийся английский биохимик Ф. Гопкинс открыл трипептид глутатион, содержащийся во всех живых клетках, в том числе в зерне пшеницы (особенно много его в зародыше и в дрожжах). Глутатион влияет на активность многих ферментов, особенно тех, действие которых связано с превращениями белков и клейковины.

Большие успехи достигнуты в изучении состава, структуры и функций белка и нуклеиновых кислот. Расшифрована структура многих нуклеиновых кислот и белков. Полипептидная теория строения белка обоснованная Э. Фишером составной частью входит в современную теорию строения белковой молекулы, исходящей из того, что белки имеют четыре последовательно возникающих уровня пространственной организации с использованием пептидных, водородных, дисульфидных, солевых сложноэфирных связей, а также сил ван-дер-ваальсова взаимодействия, электростатического, гидрофобного взаимодействий и др.

Расшифровано строение полипептидных цепей многих белков, среди них инсулина — гормона белковой природы, выделяемого поджелудочной железой, ферментов рибонуклеазы, лизоцима, химотрипсина, растительного фермента папаина, белков, входящих в состав цитохромов-катализаторов, участвующих в процессе дыхания.

Вторая половина XX столетия характеризуется крупнейшими открытиями в области структуры и биосинтеза белков, механизма функционирования белков и нуклеиновых кислот. Русский исследователь А.А. Баев в 1967 г., развивая исследования по биохимии нуклеиновых кислот, расшифровал структуру транспортной РНК (тРНК) — валиновой, переносящей при

синтезе белка аминокислоту валин. Им была построена двухмерная модель молекулы РНК в виде линейно организованной цепочки структурных единиц — нуклеотидов, связанных между собой обычными (ковалентными) связями.

В 1970 г. американский ученый Г. Корана с сотрудниками впервые синтезировал ген носителя наследственной информации дрожжевого грибка. В 1971 г. английские исследователи Р. Диксон и Дж. Постгэйт сообщили о пересадке гена ассимиляции молекулярного азота воздуха из клеток бактерий, способных осуществлять этот процесс, в клетки бактерий, лишенных такой способности.

Английские ученые Д. Уотсон и Ф. Крик в 1953 г. предложили модели строения молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) — носительницы наследственности — в виде двойной завитой спирали, соединенной в одно целое водородными связями. С этого времени начинается создание новой науки — молекулярной биологии, совместившей достижения современной генетики, биохимии, биофизики, кристаллографии, математики. В становлении молекулярной биологии, связанной с биохимией, сыграли большую роль идеи и методы классической генетики, микробиологии, вирусологии, физики и химии полимеров, теории информации.

Важны исследования по расшифровке и пересадке генов азотфиксации. Этой способностью обладают только некоторые микроорганизмы свободно живущие в почве или обитающие в клубеньках бобовых растений. Усиление процесса азотфиксации или наделение ими других, не обладающих подобной особенностью растений, позволит повысить урожайность сельскохозяйственных культур не прибегая к азотсодержащим удобрениям.

С начала 80-х годов XX столетия возникла и стала развиваться генетическая инженерия — раздел молекулярной генетики, связанный с целенаправленным созданием *in vitro* новых комбинаций генетического материала, способного размножаться в клетке-хозяине и синтезировать измененные конечные продукты обмена. Положено начало технологии направленного конструирования биологических объектов с новыми свойствами.

Генная инженерия открывает новые возможности в области борьбы с вредителями сельского хозяйства, так как применение химических препаратов иногда наносит существенный вред природной среде. Не нарушая природного баланса, при помощи генной инженерии можно добиться нужных результатов направленным изменением наследственного аппарата вредителей в результате чего количество вредителей уменьшится.

Большая роль принадлежит генной инженерии в промышленной микробиологии, в генноинженерном конструировании промышленных микроорганизмов, продуцирующих такие важные соединения, как ферменты, аминокислоты, антибиотики, витамины и пищевые белки, биологические средства защиты растений, пептидные гормоны животных и человека и т. д. Во Всероссийском научно-исследовательском институте генетики и селекции промышленных микроорганизмов выделены клоны\* мутантных генов, кодирующих синтез аминокислоты треонина. Получен штамм\*\* по ряду параметров превосходящий все используемые в мировой практике в настоящее время продуценты L-треонина.

Проводят работы по введению в пекарские дрожжи генов, кодирующих пищевые белки овальбумина (основного белка куриного белка) и миозина (белка мышц).

Исследуют дрожжевые штаммы, использующие дешевые субстраты — этанол и метанол.

В рамках новой отрасли биологии — геномики завершили глобальный международный проект расшифровки генома человека, представляющего собой набор генов не отдельной особи, а вида. Получаемые результаты открывают возможности установить генетические причины большинства болезней, старения и смерти, во многом понять влияние наследственности на наши способности, таланты и недостатки. Геномика позволит расширить увеличение урожайности, улучшение качества

---

\* Клон — совокупность клеток или особей, происходящих от общего предка бесполом размножением. Клон — основная единица учета в генетике микроорганизмов.

\*\* Штамм — чистая культура микроорганизма, выделенного из определенного источника или полученного в результате мутаций.

и повышения биологической ценности зерна и других сельскохозяйственных культур.

КПД фотосинтетического использования энергии активной солнечной радиации (ФАР) у большинства растений невелик и составляет менее 1%, лишь у отдельных сельскохозяйственных культур достигает 1–2%. Интенсивность фотосинтеза можно повысить до 3–6% направленным изменением наследственности зеленых пластид хлоропластов, улавливающих энергию солнца, используемую для усвоения углекислоты воздуха. Подсчитано, что в зависимости от географической широты и особенностей природной зоны можно будет получать урожаи зерна на уровне 100–150 ц/га.

Повышается внимание к фитонцидам — веществам, продуцируемым растениями и обладающим бактерицидными\*, фунгицидными\*\*, протистоцидными свойствами\*\*\*

Фитонциды играют важную роль в иммунитете растений и во взаимоотношениях организмов в биоценозах.

Методы биохимии имеют большое практическое значение для медицины, сельского хозяйства, отраслей промышленности, перерабатывающих растительное сырье. Биохимия дает знания, необходимые для решения задач управления развитием растительных организмов, изучения закономерностей и регулирования синтеза веществ в растениях, создания новых форм организмов, селекции новых форм организмов, селекции новых сортов. Биохимия составляет научную основу хранения запасов зерна, плодов и овощей, выращиваемых в сельском хозяйстве и поступающих в переработку.

Академик А. И. Опарин указывал, что потери сельскохозяйственных продуктов, происходящие при хранении, — свидетельство нашего незнания физиологических, биохимических и микробиологических процессов, происходящих в растительном сырье. Организация рационального хранения и борьбы с

---

\* Бактерицид — химический или биологический препарат для защиты растений от бактериальных заболеваний.

\*\* Фунгицид — химический или биологический препарат для защиты растений от грибковых заболеваний.

\*\*\* Протистоциды — препараты для борьбы с простейшими организмами, вызывающими заболеваний растений и животных.

потерями растительного сырья, а также сведение их до минимума возможны лишь на основе глубокого изучения сущности биохимических процессов и исследования влияния различных факторов, вызывающих эти процессы и потери при хранении. Правильная организация и совершенствование технологических процессов мукомольной, крупяной, комбикормовой, элеваторной, хлебопекарной промышленности возможны лишь на основе широкого использования биохимии. В результате накопления и обобщения научных исследований, практики хранения и переработки сельскохозяйственного сырья как научная дисциплина сложилась техническая биохимия, включающая биохимию зерна, биохимию хлебопечения и т. д.

Биохимия зерна изучает химический состав семян, зерна, муки, крупы и хлеба; биохимические процессы, происходящие при созревании и прорастании семян и зерна; биохимические процессы при хранении зерна и продуктов его переработки, а также пути борьбы с потерями при хранении; биохимические процессы, происходящие в зерне при его переработке; разработку научной основы мероприятий по улучшению качества муки, крупы и других продуктов из зерна и для системы производственного технологического контроля; биохимические процессы в продуктах переработки зерна при их хранении; пищевую ценность зерна и продуктов его переработки.

Итальянский ученый Беккари в 1745 г. опубликовал доклад о выделении им из пшеничного теста отмыванием водой от крахмала и отрубей вязной эластичной и упругой массы (клейковины). Обширные исследования клейковины выполнил член Петербургской академии наук Модель (1768 г.).

Развитие науки о зерне в нашей стране тесно связано с именем Д. И. Менделеева, исследовавшего клейковину, ее свойства и значение для хлебопечения. Сведения о химическом составе зерна пшеницы и зависимости содержания в нем белковых веществ от климатических и почвенных условий дал профессор Московского университета Н. Э. Лясковский в 1865 г.

На рубеже XIX и XX вв. американский биохимик Т. Б. Осборн изучил состав белков зерна (наиболее полно зерно пшеницы). Исследования химического состава зерна пшеницы, ржи и ячменя в начале XX в. проводили П. П. Петров и Я. Я. Ни-

китинский, выдающийся русский агрохимик академик Д.Н. Прянишников, который прославился и как биохимик. Им выполнены ставшие классическими работы по азотистому питанию и химизму превращения белков в растительном организме.

На протяжении XX в., особенно во вторую его половину, в нашей стране выполнено большое число научных исследований в области биохимии зерна и хлебопродуктов — химического состава, процессов при хранении и переработке, пищевого достоинства.

Большой вклад в биохимию растений и технической биохимии внесли академики А.Н. Бах и А.И. Опарин, основавшие в 1935 г. в Москве институт имени А.Н. Баха, превратившийся в центр научно-исследовательских работ по биохимии. Из обширного круга вопросов над которыми работали эти ученые необходимо выделить исследования по ферментам, значительно расширившими представления о биохимических процессах в зерне и при производстве хлеба.

В начале 40-х годов академик В.А. Энгельгардт внес значительный вклад в мировую науку, открыв дыхательное фосфорилирование — основу биоэнергетики. Русский ученый В.А. Белицер и ряд других ученых установили, что энергия, освобождающаяся при окислительных процессах дыхания, трансформируется (запасается) в высокоэнергетических фосфатных связях аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Энергия этих фосфатных связей приводит в действие механизм всего разнообразия биологических функций.

Профессор Ленинградского института растениеводства Н.Н. Иванов выполнил большую работу по биохимической характеристике важнейших видов и сортов культурных растений. Профессор Московского университета А.Р. Кизель исследовал ферменты зерна, связь влажности зерна и зерновой массы с физиологическими и биохимическими процессами. Сотрудник Ленинградского института растениеводства К.М. Чинго-Чингас составил первую сводку мукомольных и хлебопекарных особенностей сортов советской пшеницы в 1922 и 1931 гг. Работы члена АМН СССР Б.И. Збарского показали роль белков в питании человека и необходимость изучения аминокис-

лотного состава всего комплекса белков для характеристики биологической ценности пищевых продуктов.

Обширные исследования были посвящены разработке научных основ уборки и хранения зерна. В работах А.Н. Баха, А.И. Опарина, А.Р. Кизеля, В.Л. Кретовича, Н.И. Соседова, М.И. Княгиничева, Н.И. Проскуракова подробно изучены биохимические процессы накопления в созревающем зерне основных запасных веществ — белков и углеводов, и дана характеристика его ферментов. Роль микроорганизмов в самосозревании зерновых масс и интенсивность их развития выяснены работами Б.Л. Исаченко, Н.П. Михаловского, Е.Н. Мишустина, Л.А. Трисвятского, В.Л. Кретовича, Я.И. Раутенштейна. Труды В.Л. Кретовича, А.П. Прохоровой, Е.Д. Казакова, Б.П. Некрасова выяснены биохимические аспекты и на их основе разработаны практические режимы долгосрочного хранения зерновых запасов и научно обоснованные нормы убыли зерна при хранении. М. Голиком глубоко исследованы физиологические и биохимические процессы, происходящие при созревании, уборке и хранении кукурузы.

Проведены исследования по физиолого-биохимическим основам хранения и переработки масличных семян (А.М. Голдовский, В.Л. Кретович, В.Г. Щербаков, В.М. Копейковский, А.И. Стародубцева). Детально изучен химический состав пшеничного зерна и его анатомических частей (Н.В. Роменский); химический состав промежуточных продуктов помола зерна на современных мельзаводах (С.Д. Чигирев, Н.И. Соседов; А.М. Братухин). Полученные результаты использовались при разработке схем помола и для стандартизации сортов муки. Важное значение приобрел способ оценки качества муки по зольности, введенный в практику еще в 20-е годы П.А. Козьминым и В.С. Смирновым. Многочисленные работы были посвящены изучению отдельных компонентов зерна — белков, углеводов, полисахаридов, липидов, минеральных веществ и т. д. (А.Р. Кизель, В.Л. Кретович, Н.П. Козьмина, Н.И. Соседов, А.Б. Вакар, В.Ф. Голенков и многие другие). Работы по химии и биохимии зерновых культур были обобщены в монографии А.П. Нечаева и Ж.Я. Сандлер «Липиды зерна». Физико-химические основы размола зерна разработаны Я.Н. Куп-



рицем и изложены в его монографии «Физико-химические основы зерна». Биохимические процессы при холодном и горячем кондиционировании (гидротермической обработке) зерна подробно исследованы Н.И. Соседовым, В.Л. Кретовичем, Н.Н. Зотовой, Е.Д. Казаковым, И.А. Сахаровой.

В технологическом плане биохимическим процессам при гидротермической обработке зерна отведено большое место в трудах Г.А. Егорова. Биохимические процессы нашли также отражение в работах Г.А. Егорова по проблеме тепломассообмена в зерне и в его двух монографиях, посвященных мукомольно-технологическим признакам и свойствам зерна.

Активного участия биохимиков потребовали вопросы использования разных видов неполноценного зерна. Многочисленные исследования в этом направлении, выполненные в разные годы, обобщены в монографии Е.Д. Казакова и В.Л. Кретовича «Биохимия дефектного зерна и пути его использования».

Вода — среда и активный участник биохимических процессов в зерне на всех этапах его онтогенеза, хранения и переработки. Без воды полностью прекращается действие ферментов — движущей силы биохимических процессов. Роль воды в зерне отражена в монографии «Вода, ее функции в зерне» (Е.Д. Казаков). Развитие крупнопромышленного хлебопечения и широкое строительство хлебозаводов в стране с начала 30-х годов XX столетия потребовало создания науки о хлебопечении. Этот труд был выполнен Л.Я. Ауэрманом, разработавшим основы науки о технологии заводского производства хлеба.

Перевод хлебопечения на индустриальные рельсы и широкое внедрение в хлебопекарную промышленность механизации и автоматизации, создание автоматической техники непрерывного действия поставили перед учеными задачу глубокого познания сущности биохимических и микробиологических процессов, лежащих в основе приготовления хлеба. Вначале особенно детально была исследована  $\alpha$ -амилаза зерна и муки, ее свойства, методы ее определения и подавления (Н.П. Козьмина, Н.И. Проскураков, С.И. Пронин). Значительное число работ было посвящено клейковине пшеницы от которой зависит газоудерживающая способность теста и «сила»

муки. Разработаны условия и методы количественного определения содержания клейковины в зерне и муке и создан ряд приборов и методов для объективной оценки ее качества (Н.П. Козьмина, Л.Я. Ауэрман). Подробно исследовано влияние различных факторов на количество и качество клейковины (Н.П. Козьмина, Л.Я. Ауэрман, В.Л. Кретович, А.Б. Вакар, К.Н. Чижова).

Проведенные в Институте биохимии им. А.Н. Баха АН СССР исследования природы различий между клейковиной разного качества показали, что реологические свойства белкового комплекса клейковины зависят от дисульфидных и водородных связей и возможно от гидрофобных взаимодействий. Количество и прочность этих связей определяют собой физические свойства клейковины в целом, т. е. ее качество (В.Л. Кретович, А.Б. Вакар). Было показано наличие клейковины в некоторых других злаках (ячмень, рожь, пырей) и исследованы ее свойства (П.Н. Шибяев, М.М. Самсонов, В.Л. Кретович). Установлено, что в образовании ароматического комплекса хлеба играет роль окислительно-восстановительное взаимодействие восстанавливающих сахаров и аминокислот (реакция Майяра). В образовании аромата хлеба принимают участие фурфурол, оксиметилфурфурол, ацетальдегид, изовалериановый альдегид и др. альдегиды, сопровождающие меланоидиновую реакцию (В.Л. Кретович, Р.Р. Токарева). При изучении кинетики образования летучих ароматических соединений хлеба в процессе выпечки было обнаружено, что в ароматический комплекс входят также продукты спиртового и молочнокислого брожения — альдегиды, органические кислоты, спирты и образующиеся при их взаимодействии сложные эфиры (В.Л. Кретович, Р.Р. Токарева, В.И. Маклюкова). Для улучшения качества хлеба Московским технологическим институтом пищевой промышленности совместно с институтом биохимии им. А.Н. Баха АН СССР был предложен метод добавок соевой муки — источник фермента липоксигеназы (Л.Я. Ауэрман, В.Л. Кретович, Р.Д. Поландова). В результате работ Всесоюзного научно-исследовательского института хлебопекарной промышленности, проводившихся совместно с Институтом питания АМН СССР (Л.Я. Ауэрман,

В.А. Патт, А.А. Покровский) был разработан набор рациональных смесей для новых видов хлеба повышенной пищевой ценности с увеличенным содержанием в хлебе белковых веществ, незаменимых аминокислот (лизина, триптофана, метионина), кальция и фосфора, витаминов, лецитина, полиненасыщенных жирных кислот.

Интенсивно проводятся исследования в области химических методов борьбы с вредителями зерновых запасов, изыскания более эффективных инсектицидов и методов их применения (Г.А. Закладной). Поставлена задача всемирного внедрения в растениеводство интенсивной технологии — магистрального пути увеличения продовольственного фонда страны, прежде всего зерна с высокой урожайностью и повышенным качеством — мукомольным и хлебопекарным. Сущность интенсивной технологии заключается в оптимизации условий выращивания.

Проводятся исследования биохимических и технологических свойств и показателей качества зерна выращенного на различных уровнях окультуренности почвы (Г.П. Карпиленко).

Большое значение имеет дальнейшая разработка и совершенствование на основе биохимических данных объективных методов оценки качества зерна и муки, а также методов химического контроля технологических процессов и качества готовой продукции.

Особое значение здесь приобретает разработка и внедрение специальных экспрессных и автоматических методов на основе хроматографии, электрофореза, спектроскопии, люминесцентного и изотопного анализа, а также других современных методов химического и физического анализа.

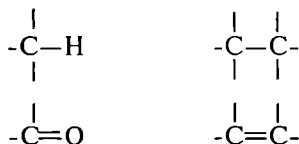
К основным научным центрам России по биохимии зерна и хлебопродуктов относятся институты биохимии им. А.Н. Баха РАН, Московский государственный университет пищевых производств, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки.

## ВВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

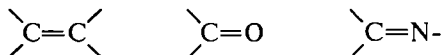
### § 1. МЕТАБОЛИЗМ

Биохимию при изучении условно делят на статическую и динамическую. Статическая биохимия изучает химический состав и свойства веществ живых организмов. Задача динамической биохимии — изучение превращений веществ в живых организмах. Это деление позволяет облегчить изучение биохимии. В действительности тот и другой аспекты познания биохимии невозможно расчленивать. Невозможно изучить и понять превращения какого-либо вещества организма без знания его строения и свойств и вместе с тем описания особенностей биохимических соединений без характеристики их превращений в организме.

Для биологического обмена веществ характерно большое разнообразие химических соединений, степени их сложности, размеров и функций, что связано с различием форм и прочности химических связей, регулирующих это разнообразие. Первоосновой этого разнообразия является своеобразие и большая разносторонность физико-химических свойств и поведение углерода. По всем численным признакам он занимает стабильные четные места в периодической системе элементов Д.И. Менделеева: находится во 2-м периоде, II ряду, IV группе; его атомный номер равен 6, в его заряде 6 протонов и 6 нейтронов, а в орбите 6 электронов. Атом углерода четырехвалентен. При любой химической реакции его атом приобретает заполненную стабильную электронную оболочку из 8 электронов путем обобществления 4 электронов. В таком виде атом углерода способен соединяться с другими элементами основной ковалентной связью с образованием органических веществ:



Важной особенностью углерода является его способность образовывать двойные и тройные связи, наиболее часто встречаются двойные связи:



Соединяясь прочными ковалентными связями, углерод способен образовывать углеродные цепи практически неограниченной длины. Многообразие органических соединений определяется и тем, что при одинаковом числе атомов углерода в молекуле возможны не только соединения с открытой незамкнутой цепью атомов, но также вещества, которые содержат циклы (циклические соединения).

Совокупность всех происходящих химических, физических, коллоидных и других процессов, происходящих в организме с момента рождения и на протяжении его онтогенеза, т. е. зарождения, а также индивидуального развития на протяжении всей жизни до ее конца представляет собой биологический обмен веществ, коротко говоря «обмен веществ» или просто «обмен», его называют еще метаболизмом. В метаболизме — общей совокупности процессов — различают два вида химических реакций: катаболизм и анаболизм. Реакции расщепления, сопровождающиеся высвобождением энергии, составляют основу катаболизма (энергетического обмена или диссимиляции поступивших в организм пищевых продуктов). При катаболизме высокомолекулярные органические вещества распадаются до простых веществ в результате разнообразных реакции (гидролиза, фосфоролита, окисления) с одновременным выделением свободной химической энергии, используемой затем на процессы жизнедеятельности. При анаболизме происходят реакции синтеза образования сложных высокомолекулярных веществ, входящих в ткани организма. Процессы обмена происходят между пищевыми продуктами (белки, уг-

леводы, липиды и другие пищевые вещества) и тканями организма, а также между самими продуктами и веществами, образовавшимися в живом организме и выделившимися из него соединениями, а также веществами, образованными микрофлорой желудочно-кишечного тракта. Организм не сразу использует поглощенные им пищевые продукты, а в виде нутриентов - веществ пищи, обладающих способностью всасываться через стенки желудочно-кишечного тракта.

Все синтетические (анаболические) процессы происходят с использованием энергии, поставляемой в ходе реакций диссимиляции (катаболизме). Сами же реакции расщепления (катаболизма) протекают при участии ферментов, синтезируемых в процессах ассимиляции (анаболизма). Процессы пластического (анаболического) и энергетического (катаболического) обмена неразрывно связаны между собой, составляют две стороны единого комплекса реакций. Различают три уровня связи между катаболизмом и анаболизмом.

На первом уровне — источников углерода — продукты катаболизма могут стать субстратами анаболических реакций. На втором уровне — энергетическом — анаболические процессы протекают с потреблением энергии АТФ и других высокоэнергетических соединений, образующихся в процессе катаболизма.

На третьем уровне — восстановительных эквивалентов — реакции анаболизма потребляют восстановительные эквиваленты, а в случае процессов катаболизма в основном окислительные.

Поддержание на известном уровне специфической активности преобразующих механизмов клетки зависят от непрерывного воспроизведения составных частей самих этих механизмов в едином процессе обмена. В этом смысле любой организм, в том числе и хлебное растение, представляет самонастраивающуюся, саморегулирующуюся систему, закономерно (и адекватно) изменяющуюся при изменении условий среды, с которыми организм взаимодействует. Таким образом, тип обмена веществ складывается в процессе жизнедеятельности организма как единство внутренних (консервативных) и внешних (изменчивых) факторов. В процессе химической эволю-

ции сложились четыре класса жизненно важных соединений (нуклеиновые кислоты, белки, углеводы и липиды). Относительное постоянство биохимических параметров организма не статическое, пассивное, а активное, динамическое. В организм непрерывно поступают вещества из среды, они ассимилируются, из них образуются вещества самого организма, вместе с тем «стареют» молекулы ранее имевшихся в организме соединений и заменяются вновь образовавшимися новыми аналогичными веществами. За небольшие промежутки времени внешние признаки организма могут не измениться, в то время как его клетки и вещества существенно обновляются. Клетки организма непрерывно распадаются и одновременно вновь синтезируются. То же самое происходит и с веществами, составляющими клетки. Методом меченых атомов установлено, например, что половина всех белков организма обновляется за 80 дней.

Обмен веществ осуществляется при одновременном и адекватном наличии трех приоритетных субстанций: белков и нуклеиновых кислот, воды и ферментов. С ними связаны все проявления жизни: рост, развитие, размножение, физические процессы, раздражительность, мышление. Выпадение любого из них приводит к прекращению всякого биохимического процесса, остановке обмена. Рассмотрим коротко роль в обмене веществ этих трех субстанций. В организме человека белки выполняют пластическую и энергетическую функцию. Основное назначение белков пластическое: они входят как непременные составные в ядро и цитоплазму всех клеток организма. Клетки находятся в состоянии непрерывного разрушения и обновления, поэтому организм испытывает постоянную потребность в поступлении белков, особенно в большом количестве в период роста, когда происходит активное накопление массы его тела. У белка есть ряд других специализированных функций. Существенна роль белка в мышцах, так как он обладает способностью изменять свои упругие свойства и тем самым изменять длину мышечных волокон, т. е. производить работу. Белки образуют в плазме крови коллоидный раствор и выполняют буферную роль, стабилизируя в ней значение рН. Из белковых веществ формируются антитела, вырабатывае-

мые организмом в процессе борьбы с микроорганизмами, их токсинами, вирусами и чужеродными белками. Это — защитная роль белков, с нею связано возникновение иммунитета — состояния невосприимчивости к инфекционным заболеваниям. Энергетическое значение белков невелико. Только 14% расходуемой организмом энергии покрывается за их счет. Участие белков в энергетическом балансе организма приобретает значение только в период повышенных энергозатрат и при пище с недостаточным содержанием углеводов и жиров. Разнообразная роль белков в обмене, как носителей азота, связана с их составом, в который входят незаменимые аминокислоты и которые определяют меру их биологической ценности.

Важнейшую роль белков в организме нельзя представить себе и понять без нуклеиновых кислот. С участием нуклеиновых кислот происходит образование (синтез) всех белков. Информация, определяющая структуру белков, «записана» в ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоте), выполняющей генетическую функцию, т. е. передает в ряду поколений наследственные свойства. Отдельные гены представляют собой части ДНК-носителей того или иного признака или свойства организма, передаваемого из поколения в поколение.

Ферменты (энзимы) являются важнейшими компонентами клеток, они теснейшим образом связаны с разнообразными процессами жизнедеятельности организма. Без участия ферментов, за редкими исключениями, биохимические реакции в организме не происходят. Ферменты представляют собой органические катализаторы — вещества, ускоряющие химическую реакцию. Ускоряющее действие ферментов основано на уменьшении энергетического барьера (так называемой энергии активации) за счет образования промежуточного комплекса фермента с веществом (субстратом). Особенности ферментов являются очень большая эффективность (повышение скорости реакции до  $10^{10}$ – $10^{12}$ -кратной), строгая избирательность (каждый фермент действует только на одну химическую связь) и направленность действия.

Особое место, как белки и ферменты, в метаболизме занимает вода. Значение ее в обмене веществ вытекает, прежде всего, из того, что она составляет наибольшую часть массы чело-



века (60–65%). Вода выполняет многочисленные функции. Без воды, как без белков и ферментов, обмен веществ полностью приостанавливается. Вода является основной средой и растворителем, участвует в подавляющем большинстве биохимических реакций, перемещении веществ, терморегуляции, образовании клеточных структур, определяет объем и упругость клеток. Вода в организме отличается большой динамичностью, изменчивостью ее форм и положений в тканях, различием по величине энергии связи с другими соединениями.

Эти свойства в той или иной степени характерны большинству веществ организма человека. Разнообразие направленности, характера и эффективности действий воды превосходит все остальные вещества тела человека. При кажущейся простоте состава — два атома водорода и один атом кислорода — вода обладает неповторимым структурным разнообразием и уникальными свойствами. Почти все физико-химические свойства воды представляют собой исключение в природе: они не совпадают с тем, что можно ожидать, исходя из ее химической формулы. Необычность свойств воды связаны со структурными особенностями ее строения. Главным отличием воды является ее ажурная квазикристаллическая структура с тетраэдрической координацией соседних молекул, соединенных водородными связями. Академик В.И. Вернадский показал существование 450 видов (гидридов) воды и теоретически обосновал их общее наличие в природе свыше 1500. Это разнообразие видов воды и их переходов из одной формы в другую, надо ожидать, проявляет себя в живой клетке множеством различий физико-химических особенностей веществ, связанных с водой.

Кроме основополагающих белков, воды и ферментов, в биологическом обмене принимают участие в той или иной степени все вещества, входящие в состав пищевых продуктов. Метаболизм включает в себя все разнообразие реакций, происходящих в живом организме: окисление, восстановление, расщепление, объединение молекул, межмолекулярный перенос и т. д. Особенность совокупности этого огромного числа разнообразных реакций в живом организме — скоординированность отдельных реакций во времени и пространстве, их строгая последовательность.

Особенность метаболических процессов заключается также в их ступенчатости и сопряженности. Для многих реакций характерен ряд промежуточных ступеней. Например, окисление клетчатки, крахмала и других углеводов при сгорании вне организма протекает одноэтапно: с присоединением  $O_2$  сразу образуются конечные продукты —  $H_2O$  и  $CO_2$ . При окислении углеводов в процессе дыхания в живом организме образование  $CO_2$  и  $H_2O$  происходит поэтапно, более чем через 20 промежуточных реакций.

Многие энергопотребляющие реакции связаны с экзотермическими процессами, выделяющими свободную энергию, используемую при эндотермическом процессе. Это формы сопряженности, т. е. взаимозависимости отдельных реакций друг от друга.

Такие реакции и их биологическая значимость будут приведены в соответствующих разделах учебника.

## § 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОРГАНИЗМОВ ПО ТИПУ ПИТАНИЯ

Существует общая наука о питании, называемая трофологией. Предметом трофологии являются общие закономерности ассимиляции жизненно необходимых пищевых веществ на всех уровнях организации биологических систем — от уровня клетки, органа, организма до популяций, биоценозов и биосферы в целом. Несмотря на огромную разницу в масштабах явлений, происходящих на клеточном и биосферных уровнях, многие закономерности ассимиляции пищи универсальны. Под популяцией понимают совокупность особей\* одного вида, обладающая их общим генофондом, в течение большого числа поколений населяющих определенное пространство с относительно однородными условиями обитания. Биоценоз — совокупность животных, растений, грибов и микроорганизмов, совместно населяющих участок суши или водоема с определенными отношениями между собой и приспособленностью к условиям окружающей их среды. Биосфера — оболочка

---

\* Особь — неделимая единица жизни, живое существо.

Земли, состав, структура и энергетика которой определяется совокупной деятельностью живых организмов. Ныне живущие организмы охватывают нижнюю часть атмосферы (аэробiosфера) — всю гидросферу (гидробiosфера), поверхность суши (террабиосфера) и верхние слои литосферы (глубиной до 2–3, максимально до 6,5 км от поверхности Земли), или литобiosферы. Биосфера — активная оболочка Земли, в которой совокупная деятельность живых организмов проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба и служит основным средообразующим фактором. Биоценоз по трофике, т. е. по формам и условиям питания разделяется на три группы живых организмов: продуценты, консументы и редуценты, объединенные трофическими связями.

Жизнь на Земле развивается только при условии непрерывного круговорота веществ в природе, а это возможно лишь при условии существования организмов с различными потребностями, когда продукты жизнедеятельности одной группы организмов используются для поддержания жизнедеятельности другой. Ведущее звено круговорота веществ в природе — живые организмы, способные к обмену веществ и энергией с окружающей средой.

Итог длительного процесса эволюции — образование трех больших групп организмов, различающихся по типу питания и способу получения энергии и объединенных в биоценозы.

Первую группу составляют автотрофы (самопитающиеся), их называют еще продуцентами. Они живут, питаются, растут и размножаются, используя из окружающей среды неорганические соли, углекислоту и воду. К ним относят фотосинтезирующие зеленые растения, а также часть водорослей и часть бактерий. Источник энергии для биосинтеза этих организмов — лучистая энергия солнца. К автотрофам относят также хемосинтезирующие бактерии, которые получают энергию, необходимую для ассимиляции  $\text{CO}_2$  при окислении своими ферментными системами неорганических соединений.

Вторая группа — гетеротрофы (консументы), не способные создавать органические вещества из простых соединений использующие для своих потребностей органические вещества и энергию, аккумулированную автотрофами. К ге-

теротрофам относятся человек, все животные, грибы, большинство бактерий, а также безхлорофилльные наземные растения и водоросли.

Третья группа — сапротрофы (редуценты), питающиеся разлагающимися остатками отмерших организмов, и непаразитирующие гетеротрофные микроорганизмы. Назначение этих организмов — способствовать минерализации органического вещества, т. е. разрушению органического вещества мертвых тел растений и животных и превращению этих веществ в форму, доступную для использования автотрофными организмами (продуцентами). К ним относятся бактерии, грибы и некоторые животные.

Непрерывность образования, развития и распада всех трех звеньев биоценоза — автотрофов, гетеротрофов и сапротрофов и составляет биологический круговорот веществ в природе.

### § 3. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

Генетика — научная дисциплина, изучающая механизмы и закономерности наследственности и изменчивости организмов, методы управления этими процессами. В генетике различают ряд отраслей по объектам исследования — генетика человека, животных, растений, микроорганизмов. Генетика тесно связана с молекулярной биологией, цитологией, эволюционным учением, селекцией. Данные генетики имеют большое значение для медицины, генной инженерии, биотехнологии и других отраслей практики. Мы кратко ознакомимся с некоторыми положениями генетики, помогающими понять закономерности выращивания зерновых культур, их урожайности и качества семян и плодов.

Под наследственностью понимают свойство организмов обеспечивать материальную и функциональную преемственность между поколениями, повторять в ряду поколений сходные признаки и свойства — типы обмена веществ и в определенных условиях типы индивидуального развития (онтогенеза).

Онтогенезом называют индивидуальное развитие особи (живого организма), всю совокупность ее преобразований от зарождения до конца жизни.

Изменчивостью называют возникновение различий между особями по ряду признаков организма или его отдельных органов (размер, форма, окраска, химический состав и пр.).

Наследственность и изменчивость являются основой эволюции, обеспечивающей приспособленность популяций к изменяющимся условиям существования.

Ген — основной материальный элемент наследственности, участок молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), входящий в состав хромосом. Ген, как наследственный фактор, входит в состав генетического кода (наследственной информации). Генетическим кодом является свойственная живым организмам единая система защиты наследственной информации в молекулах нуклеиновых кислот в виде последовательности нуклеотидов. Генетический код регулирует последовательность включения аминокислот в синтезирующуюся полипептидную цепь в соответствии с последовательностью нуклеотидов ДНК гена.

Аллель (аллеломорфа, аллельный ген) — это различные формы одного и того же гена, расположенные в одинаковых участках (локусах) гомологичных, т. е. парных хромосом.

Они определяют варианты развития одного и того же признака.

Генотипом называют совокупность всех генов организма, локализованных в хромосомах, его наследственная конституция. Генотип представляет собой не механический набор независимо функционирующих генов; его понимают как единую систему генетических элементов, взаимодействующих на различных уровнях. Понятие генотип применяют для совокупности всех генов отдельной особи данного организма. Для набора генов каждого вида растений используют термин «геном».

Геном — совокупность генов, содержащихся в основном гаплоидном (одинарном) наборе хромосом клетки каждого вида организмов, локализованных в ядре клетки. Его обозначают латинской буквой «n». Диплоидный набор хромосом, или диплоид, входит в соматические клетки с двумя гаплоидными наборами хромосом из которых — один внесен женской половой клеткой, а второй — мужской клеткой. Диплоид обозначают «2n».

Фенотипом называют совокупность всех признаков и свойств организма, сформировавшихся при взаимодействии генотипа и внешней среды в процессе индивидуального развития хлебных растений (онтогенеза) в условиях их выращивания. На оптимальном агрофоне наибольшее влияние на урожайность и качество зерна оказывает наследственная конституция, а при слабой окультуренности почвы и неблагоприятных погодноклиматических условиях наследственный потенциал хлебного растения реализуется в меньшей степени, что сказывается на снижении урожая и ухудшении его качества.

Хромосомы являются органоидами клеточного ядра, его составными частями — носителями генов, определяющими наследственные свойства клеток и организмов. Хромосомы способны к самовоспроизведению, обладают структурной и функциональной индивидуальностью и сохраняют ее в ряду поколений. Основу хромосом составляет одна непрерывная двухцепочная молекула ДНК, связанная с белками в нуклеопротеид. В основе функционирования хромосом лежит процесс спирализации — деспирализации их структурных субъединиц. Каждая хромосома состоит из двух продольных копий — хроматид. В клетках тела двуполых животных и растений каждая хромосома представлена двумя так называемыми гомологичными хромосомами, происходящими одна от материнского, а другая от отцовского организма. Каждый вид организма обладает характерным и постоянным набором хромосом в клетке.

Хромосомная теория наследственности представляет собой учение о локализации наследственных факторов в хромосомах клеток. По этой теории преемственность свойств организма в ряду поколений определяется преемственностью их хромосом.

Важным положением хромосомной теории наследственности является дискретное строение наследственного материала — строение ДНК и хромосом, состоящих из отдельных единиц — генов, способных к рекомбинации, определяющих развитие различных признаков и относительно независимых друг от друга, а также непрерывность наследственного материала.

Мутация — изменение генетического материала, приводящее к изменению тех или иных признаков организма. Различают мутации естественные или спонтанные, т. е. вызванные внутренними причинами; самопроизвольные и искусственные — индуцированные, экспериментальные с применением химических веществ, радиацией и другими факторами. Мутации могут быть вредными, нейтральными и полезными. При описании мутаций используют понятия мутагена, мутагенеза и мутанта. Мутагены — любой агент (фактор), вызывающий мутацию: физические (все виды ионизирующих излучений и др.), химические (этиленамин, колхицин и др.) и биологические (некоторые вирусы, процессы старения и др.). Мутагены нередко одновременно являются канцерогенами. Мутагенез — процесс возникновения мутаций. Мутант — организм, наследственно отличающийся от предков по какому-либо признаку или группе признаков, возникающих в результате того или другого вида мутации.

Существует большое количество разновидностей мутаций и их терминов. В последние годы расширяется практика внесения в генотип новых генов и замены одних генов на другие, что приводит к мутациям, кардинально изменяющим те или другие свойства и признаки хлебного растения. Такие растения с индуцированно измененной наследственностью, мутацией в результате внесения в нее новых генов, называют трансгенными. Сорт растения (от лат. *Sortis* — разновидность) по современным понятиям — популяция растений, какой-либо культуры (для примера пшеницы мягкой или твердой) искусственно созданной человеком, имеющая устойчивые наследственные особенности в различных свойствах: продуктивности, размерах зерновки, ее формах, цвете, стекловидности и т. д. Новые сорта создаются человеком при помощи селекции с целью увеличения урожайности, улучшения химического состава семян и плодов, повышения их качества.

В хозяйственной практике сортом называют совокупность культурных растений, созданных путем селекции, обладающих определенными наследственными морфологическими, биологическими и хозяйственно-ценными признаками и свойствами.

В генетических работах нередко употребляют понятия генофонда и тканей. Генофондом называют совокупность генов, которые имеются у особей данной популяции, группы популяций или вида. Можно также называть и иметь в виду генофонд планеты и ее отдельных регионов, экосистем и т. д.

Особенно часто приходится иметь дело с понятием ткани и ее различных форм.

Тканями растений называют группы или комплекс клеток, связанных общностью строения, происхождения, функций и местоположения. Выделяют ткани образовательные, покровные, основные, механические, проводящие и выделительные.

Образовательные ткани или меристемы состоят из наиболее жизнедеятельных клеток, способных интенсивно делиться и преобразовываться в клетки других тканей. Меристема составляет конус нарастания, основания междоузлий побегов и периферийные слои осевых органов (веток и т. п.).

Покровные ткани — комплексы плотно сомкнутых клеток, покрывающие органы растений, служат для защиты (у листьев, стеблей, семян и плодов), для поглощения воды и питательных растворов из почвы (у корней). Механические ткани составляют остов или каркас растения, предотвращая его излом или разрыв. Основные ткани состоят преимущественно из паренхимы — основной рыхлой ткани, состоящей из живых тонкостенных клеток и заполняющей пространства между покровными, проводящими и механическими тканями. Эта ткань отличается высокой метаболической активностью.

Проводящие ткани — совокупность разнообразных клеток и их систем, по которым передвигается вода и растворенные в ней минеральные вещества от корней к листьям и пластические вещества из листьев в другие органы.

Выделительные ткани (в семенах масличных и эфиромасличных культур) — структурные образования, особые вместилища, в которых накапливаются жиры, смолы, эфирные масла и т. п.

Современный уровень знаний о генетических основах позволил, наряду с производством традиционных пищевых продуктов, расширить практику генной инженерии. Под генной инженерией (генетикой) понимают целенаправленные изменения генетических программ половых клеток с целью прида-



ния исходным формам организмов новых свойств или создания принципиально новых форм организмов — генетически модифицированных источников пищи (трансгенных растений). Достигается это с помощью конструирования несуществующих в природе сочетаний генов (биохимическими и специфически генетическими методами). Основной метод — извлечение из клеток организма гена или группы генов, соединение их с определенными молекулами нуклеиновых кислот и внедрение полученных гибридных клеток в клетки другого организма.

Созданы и разрешены для использования в питании населения в США, Канаде, Японии, странах Европейского экономического сообщества (ЕЭС) несколько десятков генетически модифицированных источников пищи, среди которых соя, кукуруза, рапс и др.

Правительством Российской Федерации приняты Постановления о качестве и безопасности пищевой продукции, полученной из генетически модифицированного сырья, нормативного содержания в них химических (в том числе радиоактивных), а также биологических веществ и их соединений, представляющих опасность для здоровья нынешнего и будущих поколений, порядка регистрации этих продуктов, их маркировки и этикетирования. Разработано и введено в действие положение о проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы пищевых продуктов, полученных из генетически модифицированных источников.

#### § 4. СТРОЕНИЕ КЛЕТКИ

Все живое состоит из клеток. Клетка является основной структурно-функциональной единицей всех живых организмов. Тело растительного организма содержит огромное количество клеток, которые выполняют различные функции и образуют разнообразные ткани и органы.

Снаружи клетка покрыта клеточной оболочкой или клеточной стенкой (рис. 1) за которой располагается наружная мембрана, окружающая протоплазму. Протоплазма состоит из ядра и цитоплазмы.

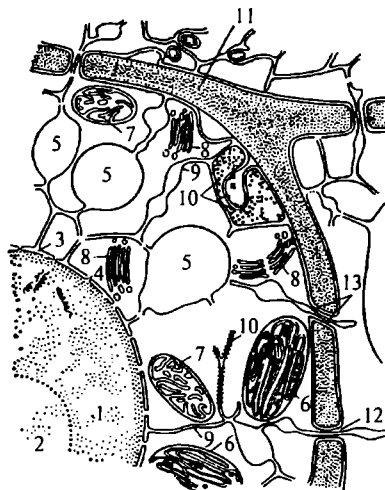


Рис. 1. Схема строения растительной клетки:

1 — ядро; 2 — ядрышко; 3 — ядерная оболочка; 4 — ядерная пора; 5 — вакуоль; 6 — хлоропласт; 7 — митохондрия; 8 — аппарат Гольджи; 9 — эндоплазматическая сеть; 10 — рибосомы; 11 — клеточная стенка; 12 — поры клеточной стенки; 13 — плазмодесмы

**Цитоплазма.** Полужидкое содержимое клетки, в котором расположены все субклеточные органеллы (ядро, пластиды, митохондрии, рибосомы, лизосомы и растворимые ферменты) (табл. 1).

**Ядро.** Необходимая составная часть всех клеток, участвующая во всех жизненных процессах протекающих в клетке. Для него характерна более плотная консистенция по сравнению с цитоплазмой. Ядро состоит из оболочки, наружной мембраны, ядрышка и хромосом. Число хромосом строго определено для каждого вида растений: у твердой пшеницы — 28, мягкой — 42, ржи — 14 и т. д.

Хромосомы несут видовую и индивидуальную информацию, обеспечивающую передачу наследственных признаков организма. Основная функция ядра: хранение и реализация наследственной информации.

**Пластиды.** Особые органеллы в цитоплазме растительных клеток, состоящие из липидов, белков, пигментов и минеральных веществ. Они содержат также различные ферменты, вита-

Таблица 1

Размеры и численность некоторых субклеточных компонентов, входящих в состав растительной клетки

Субклеточный компонент	Диаметр	Численность
Ядро	5–20 мкм	1
Пластиды	5–20 мкм	50–200
Митохондрии	1–5 мкм	500–2000
Рибосомы	25 нм	от 5 до 50 10 <sup>5</sup>

мины и др. Среди пластид наибольшее значение имеют хлоропласты, содержащие зеленый пигмент хлорофилл, благодаря которому зеленые растения используют световую энергию солнца и за ее счет образуют органические вещества из неорганических (фотосинтез).

**Митохондрии.** В них происходят основные окислительно-восстановительные процессы клетки. Назначение митохондрий — извлечение энергии из поступающих в клетку питательных веществ в процессе дыхания (рис. 2). Освобожденная энергия накапливается в виде высокоэнергетических фосфатных связей аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Поэтому митохондрии называют силовыми, или энергетическими станциями клетки.

**Рибосомы.** В них происходит процесс синтеза белков. Они расположены во всех участках клетки. Функция рибосом — синтез белков из аминокислот, выработанных или поглощенных клеткой и используемых для построения новых белков. Рибосомы образуют агрегаты (полирибосомы или полисомы).

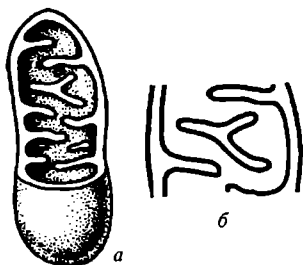


Рис. 2. Схема структуры митохондрии: а — общая схема строения; б — схема продольного разреза части митохондрии

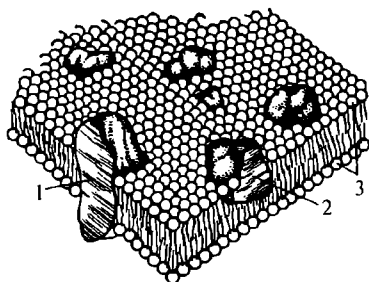


Рис. 3. Мозаичная модель структуры мембраны:

1 — интегральный белок; 2 — периферический белок; 3 — липидный бислой

**Мембраны.** Входят в клеточные органеллы (рис. 3) (ядро, хлоропласты, митохондрии). Они представляют собой функционально активные поверхностные структуры клеток, состоящие из нескольких молекулярных слоев, ограничивающих цитоплазму и большинство внутриклеточных структур, а также образующих внутриклеточную систему канальцев, складок и замкнутых полостей. Мембраны имеют сложные структуры толщиной 6–10 нм, состоящие в основном из белков и липидов. В них содержатся также углеводы, неорганические соли, влага и другие соединения. Строение мембраны жидкостно-мозаичное, основу мембран составляет двойной слой молекул фосфолипидов. Гидрофильные остатки фосфолипидов обращены наружу, а гидрофобные — внутрь. Расстояние между монослоями фосфолипидов не превышает 6,5–7,5 нм. Мембрана содержит белки: периферийные и внутренние (интегральные). Периферийные белки электростатическими силами прикреплены к полярным концам фосфолипидов и покрывают липиды не сплошным слоем, а мозаично. Интегральные белки свободно плавают в липидном слое. У некоторых из них большая часть молекул погружена в липидный слой, а остальная выступает за пределы мембраны. Молекулы другого типа внутренних белков более крупные, насквозь пронизывающие мембрану. В отдельных местах мембраны пронизаны порами диаметром около 0,8 нм (числом до  $10^{10}$  на  $1 \text{ см}^2$ ).

Мембраны обладают свойствами полупроницаемых перегородок. Через поры могут проникать вода и растворенные в ней вещества, если размеры их молекул меньше диаметра пор. Кроме того, в мембранах имеются так называемые каналы ионной проводимости, которые избирательно пропускают определенные ионы. Они преодолевают мембранный барьер и проникают в цитоплазму разными путями — через поры и каналы ионной проводимости с помощью диффузионных сил благодаря градиенту концентрации, определяемому химическим потенциалом. Скорость диффузии повышается под влиянием электрического потенциала, возникающего на внутренней и внешней сторонах мембраны в результате различной концентрации отрицательно и положительно заряженных ионов. Таким образом, движущей силой при диффузии ионов становится

ся электрохимический потенциал, представляющий собой комплекс химического и электрохимического потенциалов.

Основная часть ионов преодолевает бимолекулярный слой липидов. Через мембраны наиболее легко проникают вещества, растворимые в липидах. В остальных случаях обязательно участие специфических молекул — переносчиков. Одни из них вступают с веществом в комплексное соединение и в таком виде проникают через мембрану, а после разрушения комплексного соединения возвращаются за новой порцией, оставляя перенесенный ион за пределами мембраны. Другие переносчики встраиваются в мембрану, становятся своеобразным каналом, через который ионы проталкиваются от одной молекулы к другой, пока не достигнут обратной стороны мембраны.

Мембраны выполняют многочисленные функции. Они служат защитой клетки, обеспечивая постоянство внутриклеточной среды.

Цитоплазматическая (или клеточная) мембрана (плазмалемма) представляет собой биологическую мембрану, окружающую протоплазму живой клетки. Клеточная мембрана прикрывается клеточной стенкой. Клеточная мембрана выполняет важные функции, от которых зависит жизнедеятельность клеток. Одна из них заключается в образовании барьера между внутренним содержанием клетки и внешней средой. Клеточная мембрана обеспечивает обмен веществ между цитоплазмой и внешней средой, из которой в клетку через мембрану поступают вода, ионы, неорганические и органические молекулы. Во внешнюю среду через мембрану выводятся продукты, образованные в клетке (продукты обмена и вещества, синтезированные в клетке).

Эндоплазматическая сеть (ЭПС), или эндоплазматический ретикулум (ЭПР) состоит из сети каналов, пронизывающей всю цитоплазму. Стенки этих каналов представляют собой мембраны, контактирующие со всеми органеллами клетки. ЭПС и органеллы вместе составляют единую внутриклеточную систему, которая осуществляет обмен веществ и энергии в клетке и обеспечивает внутриклеточный транспорт веществ.

Аппарат Гольджи образует сложную сеть полостей, трубочек и пузырьков вокруг ядра и состоит из группы мембранных по-

лостей, системы трубочек, отходящих от полостей и пузырьков на концах трубочек. В полостях аппарата Гольджи накапливаются вещества, которые синтезируются и транспортируются по ЭПС; здесь они подвергаются химическим изменениям.

Растительная клетка имеет одну или несколько вакуолей — пространственных участков, занимающих большую часть клетки и содержащих растворы солей, углеводов, органических кислот и других веществ, а также так называемые включения (кристаллы органических кислот, солей, капли масла, крахмальные зерна), запас воды. Одни из этих включений хранятся в вакуолярном соке в качестве запасных веществ, другие являются отбросами обмена.

**Клеточные стенки.** Растительные клетки покрыты толстыми наружными стенками (оболочками), представляющими собой дополнительное образование на наружной поверхности тонкой клеточной мембраны — клеточные стенки. В состав клеточных стенок у большинства растений входят клетчатка и гемицеллюлозы. Небольшие межклеточные пространства заполнены органическим веществом, которое прочно скрепляет клетки между собой.

Клетки растений характеризуются структурными и функциональными особенностями, отличающими их от клеток животных.

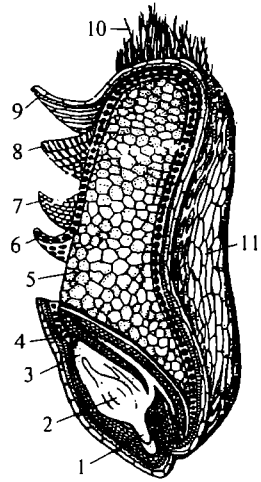
К числу таких отличий относятся: наличие внешней упругой и прочной оболочки, развитый вакуолярный аппарат, влияющий на величину осмотического давления в клетке; существование пластид, участвующих в первичном синтезе органических веществ из оксида углерода и воды с использованием солнечной энергии (фотосинтез); преобладание в клетках синтеза над процессами диссимиляции, сопровождаемой освобождением энергии.

## § 5. СТРОЕНИЕ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕРНА И СЕМЯН

**Строение зерновки пшеницы.** Типично для всех хлебных злаков. Зерновка пшеницы состоит из трех основных частей (рис. 4, 5) — зародыша, эндосперма и оболочек, которые имеют различное биологическое назначение. Из зародыша при

Рис. 4. Продольный разрез зерна пшеницы (увеличено):

1 — зачаточный корешок; 2 — почечка; 3 — зародыш; 4 — щиток; 5 — эндосперм; 6 — алейроновый слой; 7, 8, 9, 11 — оболочки (плодовые и семенные); 10 — бороздка



соответствующих условиях развивается растение. В нижней части зародыша расположен его зародышевый корешок, а в верхней части — зародышевая почечка. Часть зародыша, плотно прилегающая к эндосперму, — щиток, который и служит для передачи питательных веществ из эндосперма в зародыш при прорастании зерна.

Эндоспермом (мучнистым ядром) называется внутренняя часть зерновки. Эндосперм содержит запасные питательные вещества, необходимые для развития из зародыша молодого растения. В нем различают периферический слой, прилегающий к семенной оболочке и состоящий из резко очерченных, крупных клеток с сильно утолщенными стенками. Этот слой называют алейроновым. Клетки алейронового слоя наполне-



Рис. 5. Продольный скол зерновки пшеницы:

1 — плодовая оболочка; 2 — семенная оболочка; 3 — клетка алейронового слоя; 4 — эндосперм

ны белковыми веществами и богаты жиром, его называют жировым слоем. Алейроновый слой у одних культур (пшеница, рожь, овес) состоит из одного ряда, у других (ячмень) — из нескольких рядов клеток.

Расположенные под алейроновым слоем крупные тонкостенные клетки разнообразной формы занимают всю внутреннюю часть эндосперма. Эти клетки заполнены крахмальными зёрнами различной величины, в промежутках между ними находятся белковые вещества.

Оболочки защищают семя от воздействия внешней среды. Оболочки делят на плодовую (околоплодник) и семенную. Плодовая оболочка состоит из трех слоев клеток: продольного, поперечного и трубчатого. Семенная оболочка (перисперм) также состоит из трех слоев клеток. Первый слой — из прозрачных клеток; второй содержит красящие вещества, придающие окраску всему зерну и называемый пигментным; третий — из непрозрачных набухающих клеток (гиалиновый).

В пищевом отношении наиболее ценной частью зерна, из которой получают высокие сорта муки, является эндосперм. Оболочки, состоящие из одревесневших клеток, при переработке зерна в сортовую муку удаляют так же, как и алейроновый слой. Присутствие в муке зародыша нежелательно (хотя он и богат питательными веществами), так как зародыш с трудом поддается измельчению, а содержащийся в нем в большом количестве жир, легко прогоркая, ускоряет порчу муки при хранении. Содержание оболочек и зародыша влияет на выход готовой продукции.

Соотношение частей зерна пшеницы составляет (%): эндосперм 78,7–84,3; зародыш 1,4–4,2; плодовые и семенные оболочки 5,6–11,2; алейроновый слой 5,2–8,8. В зерне ржи это соотношение таково: эндосперм 70,6–78,2; зародыш 2,4–3,8; плодовые и семенные оболочки 7,1–15,0; алейроновый слой 10,3–12,9.

**Строение семян бобовых культур.** Бобовые культуры относятся к двудольным растениям. Семена бобовых растений не имеют запасной питательной ткани (эндосперма), характерной для злаковых. Запасные питательные вещества, необходимые для прорастания и начального роста, отложены в их



зародыше и семядолях. Внутренние части семян защищает плотная кожура (семенная оболочка), снаружи покрытая кутикулой — сплошной тонкой пленкой, состоящей из кутина — вещества, не пропускающего ни воду, ни газы. Под кожурой находится зародыш семени. Он состоит из двух семядолей (первые листья), прикрепленных к укороченному стеблю. Верхняя часть стебля переходит в почечку, состоящую из зачаточных листьев, а нижняя часть заканчивается зачаточным корнем.

Семядоли (первые листья) при прорастании семени зеленеют, затем сморщиваются, так как все питательные вещества из них переходят в развивающееся растение, и засыхают. В незрелом семени между кожурой и семядолями находится тонкий слой эндосперма. По мере созревания и разрастания ткани семядолей клетки эндосперма сжимаются и разрушаются. У сои остатки эндосперма в зрелом семени сохраняются и могут быть различимы. Семядоли содержат запасные вещества — крахмал, белки, жир, прочно соединенный с алейроновыми зернами в виде тонкой эмульсии.

Соотношение основных частей семени гороха, фасоли и чечевицы составляет (%): семенная оболочка 8,4 (6,4—11,0); семядоли 90,0 (87,2—92,5); корень, стебель и почечка 1,6 (1,1—2,8).

**Строение семян масличных культур.** Они принадлежат к разным семействам. Строение семян отдельных масличных культур различно. Семена одних масличных культур покрыты плодовой, других — семенной оболочкой. Под семенной оболочкой находится эндосперм, за ним — зародыш, состоящий из двух семядолей. Между семядолями, в одном их конце, лежат зачаточные осевые органы — стебель и корень. У семян подсолнечника и сои зародыш сильно развит и занимает основной объем семени; эндосперм состоит из одного ряда клеток. У клещевины основную массу семени составляет эндосперм, семядоли имеют вид тонких листочков, расположенных внутри семени. В семени льна зародышевая ткань по объему несколько превышает массу эндосперма. Наибольшее количество масла обычно сосредоточено в активной ткани семени — зародыше и его запасных тканях.

Зерно злаковых, семена бобовых и масличных культур содержат различные вещества: белки, углеводы, липиды, фер-

Средний химический состав зерна и семян (100 г)

Культура	Вода, г	Белки, г	Жиры, г	Моно- и дисахариды	Крахмал, г	Клетчатка, г	Зола, г	Энергетическая ценность, ккал
<i>Зерновые</i>								
Пшеница:								
мягкая озимая	14,0	11,2	2,1	1,2	54,0	2,4	1,7	290
мягкая яровая	14,0	12,5	2,3	0,9	53,0	2,5	1,7	291
твердая	14,0	13,0	2,5	0,8	54,5	2,3	1,7	301
Рожь	14,0	9,9	2,2	1,5	54,0	2,6	1,7	287
Тритикале	14,0	12,8	2,1	1,0	53,5	2,6	1,7	293
Овес	13,5	10,0	6,2	1,1	36,5	10,7	3,2	250
Ячмень	14,0	10,3	2,4	1,3	48,1	4,3	2,4	264
Просо	13,5	11,2	3,9	1,9	54,7	7,9	2,9	311
Гречиха	14,0	10,8	3,2	1,5	52,9	10,8	2,0	295
Рис	14,0	7,4	2,6	0,9	55,2	9,0	3,9	283
Сорго	13,5	10,6	4,1	1,6	58,0	3,5	2,2	323
Кукуруза:								
зубовидная	14,0	8,3	4,0	1,6	59,8	2,1	1,2	320
кремнистая	14,0	9,2	4,2	1,6	57,3	2,2	1,2	316
крахмалистая	14,0	9,4	4,8	1,6	58,0	2,0	1,1	325
восковидная	14,0	10,1	5,0	1,5	54,3	2,0	1,5	314
сахарная	14,0	11,2	4,5	8,0	29,9	2,5	1,3	338
лопающаяся	14,0	10,7	4,3	3,0	55,0	2,0	1,1	318
(в среднем)	14,0	10,3	4,9	1,6	56,9	2,1	1,2	325
высоколизинная	14,0	11,2	4,8	1,3	53,9	2,1	1,4	314
<i>Зернобобовые</i>								
Горох	14,0	20,5	2,0	4,6	44,0	5,7	2,8	298
Фасоль	14,0	21,0	2,0	3,2	43,4	3,9	3,6	292
Маш	14,0	23,5	2,0	3,8	42,4	3,8	3,5	300
Чина	14,0	24,4	2,2	3,1	38,2	4,9	3,0	286
Чечевица	14,0	24,0	1,5	2,9	39,8	3,7	2,7	284
Нут	14,0	20,1	4,3	3,2	43,2	3,7	3,0	309
Соя	12,0	34,9	17,3	5,7	3,5	4,3	5,0	332

менты, витамины, пигменты, золаобразующие соединения, влагу и др. В таблицах 2 и 3 приведены средний химический состав зерна и семян различных культур, а также семян различных культур (по справочным таблицам содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых

Таблица 3

Средний химический состав семян масличных культур, %  
(по данным разных авторов)

Наименование	Вода	Белки	Жиры	Углеводы общие	Клетчатка	Зола
Подсолнечник	11,0	14,8	40,8	16,0	14,5	2,9
Лен	8,0	24,1	48,6	11,1	2,4	3,8
Клещевина	7,0	18,3	51,3	2,0	18,6	2,8
Кориандр	10,0	14,8	22,1	28,0	18,6	5,6

Таблица 4

Химический состав пшеничного зерна, % сухого вещества

Наименование	Соотношение частей	Белок	Углеводы					Липиды	Зольность
			всего	в том числе					
				крах- мал	сахар	клет- чатка	пенто- заны		
Целое зерно	100,0	16,06	78,25	63,07	4,32	2,76	8,10	2,24	2,18
Эндосперм*	81,60	12,91	85,23	78,82	3,54	0,15	2,72	0,68	0,45
Зародыш	3,24	41,30	37,32	—	25,12	2,46	9,74	15,04	6,32
Оболочка с алеироновым слоем	15,48	28,75	57,03	—	4,18	16,20	36,65	7,78	10,51

\* Без алейронового слоя

Таблица 5

Средний химический состав зерна ржи и его частей,  
% сухого вещества

Наименование	Соотноше- ние частей	Белок	Углеводы			Липиды	Зольность	Прочие вещества
			всего	в том числе				
				клетчатка	прочие			
Целое зерно	100,0	14,03	68,06	2,36	65,7	1,74	2,02	14,13
Эндосперм*	74,8	12,61	75,14	1,88	63,37	1,14	0,42	10,69
Зародыш	3,1	40,70	42,01	4,41	37,6	10,70	6,43	0,16
Оболочка с алеироновым слоем	22,1	16,00	51,90	3,70	48,20	2,40	7,36	22,34

\* Без алейронового слоя

продуктов, одобренных Минздравом СССР). Содержание отдельных химических веществ в плодах, зерне и семенах может колебаться в значительных пределах в зависимости от сорта и природно-климатических условий выращивания растений.

Все зерновые культуры по химическому составу семян разделяют на четыре группы: богатые крахмалом (хлебные злаки); богатые белком (бобовые культуры); богатые маслом (масличные культуры), содержащие наряду со значительным количеством жирного масла эфирные масла (эфиромасличные культуры). Типичный представитель первой группы — пшеница — важнейшая в нашей стране продовольственная культура. В посевах, занятых зерновыми, на ее долю приходится около половины. Хлебопекарная мука в основном получается из зерна пшеницы, макаронная — только из зерна пшеницы. Распределение химических веществ по частям зерновки пшеницы показано в таблице 4. Рожь — вторая по важности продовольственная культура (табл. 5).

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Что такое биологический обмен веществ?
2. Как определяются катаболизм и анаболизм?
3. Каковы источники пищи и энергии живых организмов?
4. Каково строение клетки?
5. Какое строение имеет зерно пшеницы?
6. Какое строение имеют семена бобовых культур?
7. Каково строение семян масличных?

## БЕЛКОВЫЕ ВЕЩЕСТВА

### § 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЛКОВ

Белки, или протеины (греч. *protos* — первый, главный) — высокомолекулярные органические вещества со строго определенным элементарным составом, распадающиеся при гидролизе до аминокислот. Они содержат (%): углерода — 51–53; кислорода — 21,7–23,0; азота — 16,8–18,4; водорода — 6,9; серы — 0,7–1,3.

Белки — важнейшие вещества, входящие в состав живой клетки. В растениях белковые вещества содержатся в меньшем количестве, чем углеводы, но в построении живой материи и в осуществлении процессов жизнедеятельности они играют главенствующую роль. Почти все реакции в организме происходят с участием белков. Белки обладают многими свойствами, которые отсутствуют у других органических соединений. Эти особые свойства выражаются в бесконечном разнообразии структуры белков и их физических и химических превращений.

Разнообразны и важны функции белков. Белки образуют основу протоплазмы любой живой клетки, вместе с липидами создают структуру всех клеточных мембран и органелл. Выполняют транспортные функции. Лежат в основе иммунитета — невосприимчивости или малой реактивности организма к инфекционным агентам и чужеродным веществам, его способность защитить свою целостность и биологическую индивидуальность. У растений иммунитет обеспечивается защитными свойствами покровных и оболочечных клеток, изменением химизма пораженного места. Семена большинства растений образуют запасные отложения белков. Все ферменты являются белками. Содержание белков и их качество

определяют технологическое достоинство зерна прежде всего хлебопекарное и макаронное. Количество белков и их аминокислотный состав имеют важнейшее значение для биологической, пищевой и кормовой ценности любого продукта.

Белки представляют собой важнейшие составные части пищи человека и кормов сельскохозяйственных животных. Белки — важнейший фактор биологической и пищевой ценности хлеба, крупы, макаронных изделий. От содержания белков и их качества в кормах зависит продуктивность сельскохозяйственных животных. Наиболее характерный показатель белков — процентное содержание азота, например, в белке зерна пшеницы 17,54%. По содержанию азота вычисляют содержание белка в продуктах питания и кормах, используя коэффициент пересчета (для пшеницы  $100/17,54 = 5,7$ ). Найденное количество азота в продукте в процентах умножают на коэффициент пересчета и таким образом определяют в нем процентное содержание белка. Коэффициент пересчета для пшеницы, ржи, овса, ячменя и продуктов из них — 5,70; гречихи, риса и продуктов из них — соответственно 6,09 и 5,95; остальных культур — 6,25.

Например, в навеске зерна пшеницы определили содержание азота 2,3%, значит, в исследуемой пробе зерна содержится белка  $2,3 \times 5,7 = 13,11\%$ .

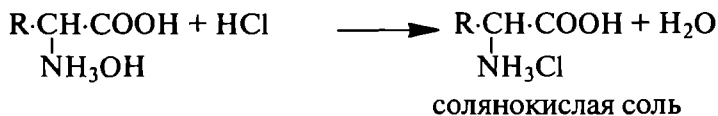
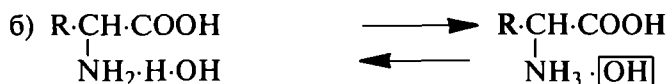
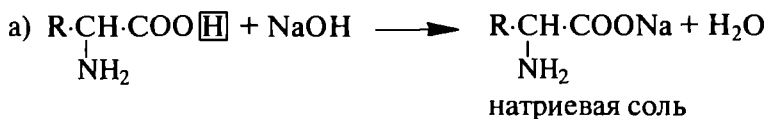
Для белков характерны некоторые специфические реакции, совокупность которых используют для распознавания белковых веществ. К таким реакциям относят: свертывание и выпадение в виде сгустков при кипячении белковых растворов; осаждение из растворов под влиянием белковых осадителей (растворов таннита, уксуснокислого свинца, вольфрамата натрия, гидрата окиси меди, трихлоруксусной кислоты); окрашивание, зависящее от наличия в белковой молекуле той или другой химической группировки. При ксантопротеиновой реакции появляется желтое окрашивание, указывающее на содержание бензольного кольца; вишнево-красное — при реакции Миллона на фенольные группировки; фиолетовое или красно-фиолетовое — при биуретовой реакции на содержание пептидных связей  $\text{CO} - \text{NH}$ ; фиолетовое — при реакции Адамкевича на содержание индольной группировки.

## § 2. АМИНОКИСЛОТЫ

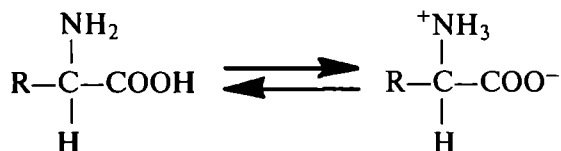
Белки представляют собой высокомолекулярные соединения, построенные из остатков аминокислот.

При кипячении с крепкими кислотами и щелочами, а также под действием ферментов белки гидролизуются до  $\alpha$ -аминокислот. Большинство  $\alpha$ -аминокислот представляет собой жирные кислоты, у которых один атом водорода в  $\alpha$ -положении замещен аминогруппой  $\text{NH}_2$ .

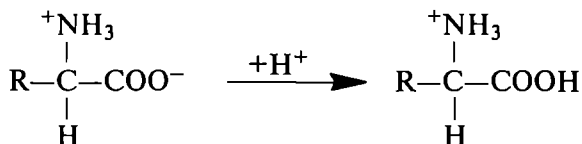
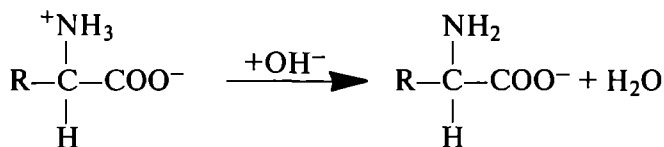
Большинство аминокислот растворимо в воде. Тирозин и лейцин плохо растворяются в воде, а цистин практически нерастворим. Многие аминокислоты можно идентифицировать по образуемым ими характерным солям.



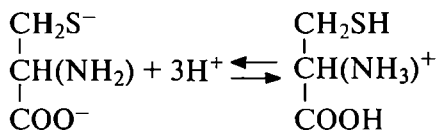
В водных растворах все  $\alpha$ -аминокислоты ионизируют и существуют преимущественно в виде биполярных ионов с диссоциированной карбоксильной группой и протонированной аминогруппой.



В зависимости от pH среды аминокислоты могут быть в форме анионов, катионов, электронейтральных биполярных ионов или в виде смесей этих форм, одна из которых обычно доминирует. Аминокислоты — амфотерные соединения: в сильнокислых растворах они становятся положительными ионами, в щелочных — отрицательными.



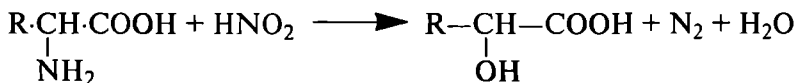
Вследствие амфотерности аминокислоты в зависимости от состава водного раствора могут реагировать с кислотами и с основаниями, образуя соответствующие соли. Гликокол несет заряды на α-аминной и карбоксильной группах. Большинство аминокислот обладает только этими двумя группами, но ряд аминокислот имеет и другие способные к ионизации группы. Диаминокарбоновая аминокислота — лизин имеет вторую аминную группу, а цистеин — сульфгидрильную группу — SH.



В зависимости от состава раствора они могут образовывать соли, реагируя с кислотами и щелочами. Благодаря амфотерности аминокислоты являются буферными веществами, выполняющими важную функцию регулирования pH в организме. Аминогруппа может реагировать с азотистой кислотой, и



при этом аминокислота превращается в соответствующую оксикислоту, выделяя азот



Измерение количества выделяющегося при этой реакции азота лежит в основе количественного метода определения аминокислот по Ван–Слайку.

Аминная группа способна взаимодействовать с формальдегидом, и, связав таким образом аминные группы, можно щелочью оттитровать свободные карбоксильные группы. Эта реакция лежит в основе так называемого формольного титрования при количественном определении аминокислот по Сёренсену. Очень важная реакция, используемая при определении аминокислот методом хроматографии — взаимодействие аминокислот с нингидрином (трикетогидринденгидратом). Идентификацию и количественное определение аминокислот производят по интенсивности образующейся с нингидрином окраски. Широко применяют автоматические анализаторы аминокислот, в которых используется реакция с нингидрином.

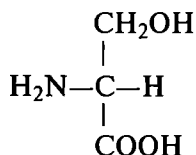
### § 3. СТЕРЕОХИМИЯ АМИНОКИСЛОТ

У всех аминокислот, за исключением глицина, атом углерода, у которого водород замещен на группу  $\text{NH}_2$ , является асимметрическим (все его валентности заняты четырьмя различными заместителями) и обладает свойствами хирального центра. Вследствие такой особенности асимметрического атома углерода аминокислоты оптически активны, причем они способны вращать плоскость поляризованного луча в противоположные стороны, существовать в виде пары энантиомеров — D и L. Заглавные буквы D и L указывают на конфигурацию молекулы, а не направление плоскости поляризации света. Направление плоскости поляризации обозначают знаком «+» или «-». Так, различают D(+)-аланин и L(-)-аланин. Знак и величина оптического вращения зависят от природы

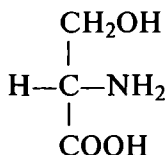
растворителя, реакции среды, наличия в растворе солей и от природы боковой цепи (R-группы).

Большинство D-изомеров обладает сладким вкусом, а L-формы безвкусные или горькие. В состав белков входят только L-аминокислоты. При гидролизе белков в мягких условиях аминокислоты сохраняют свою оптическую активность. При кипячении белков в присутствии сильных оснований происходит рацемизация (смесь эквимолекулярных количеств энантиомеров), образуется D- и L-смесь аминокислот, не обладающая оптической активностью.

D- и L-формы различают по пространственному расположению водорода радикала и аминогруппы у  $\alpha$ -углеродного атома серина, принятого за эталонное соединение



L (-) серин



D (+) серин

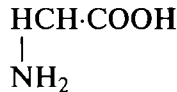
#### § 4. АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ БЕЛКА

Известно свыше 200 аминокислот. Но в состав белков входят только 20 постоянно встречающихся аминокислот; они служат важнейшими мономерными блоками-звеньями, из которых построены все белки. Порядок включения аминокислот в состав белка определяется генетическим кодом. В зависимости от характера боковых цепей (R) аминокислоты делят на алифатические и циклические.

По числу аминных и карбоксильных групп различают аминокислоты: моноаминомонокарбоновые (глицин, аланин, валин, лейцин, изолейцин, серин, тренин, цистеин, метионин, триптофан, тирозин, фенилаланин); диаминомонокарбоновые (лизин, аргинин); моноаминодикарбоновые (аспарагиновая и глутаминовая кислоты); диаминодикарбоновые (цистин). Аминокислоты группируют по зарядности боковых радика-

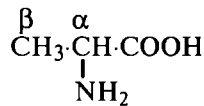
лов, их полярности: неполярные гидрофобные (глицин, аланин, валин, лейцин, изолейцин, пролин, фенилаланин, триптофан, метионин); полярные, но незаряженные (серин, треонин, аспарагин, глутамин); полярные с отрицательным (аспарагиновая и глутаминовая кислоты, цистеин, тирозин) или положительным (лизин, аргинин, гистидин) зарядом.

**Моноамино-монокарбоновые аминокислоты.** Гликокол или глицин (аминоуксусная кислота):



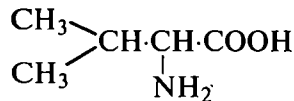
Гликокол не имеет асимметрического атома углерода, поэтому оптически неактивен.

L-Аланин ( $\alpha$ -аминопропионовая кислота)



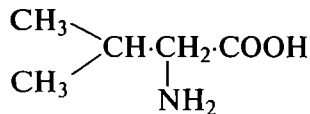
Очень распространен в природе. Играет большую роль в обмене веществ растений и животных.

L-Валин ( $\alpha$ -аминоизовалериановая кислота)



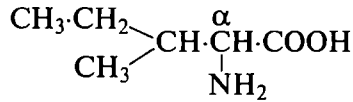
В белках содержится в небольших количествах.

L-Лейцин ( $\alpha$ -аминоизокапроновая кислота)



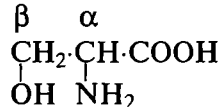
Содержится в большом количестве в проросшем зерне. При спиртовом брожении — источник образования сивушного масла.

L-Изолейцин ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -этил- $\beta$ -метилпропионовая кислота)



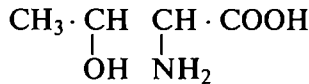
В белках встречается в незначительных количествах. Вместе с валином и лейцином служит источником образования сивушных масел при брожении.

L-Серин ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -оксипропионовая кислота)



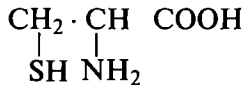
Принадлежит к оксиаминокислотам.

L-Треонин ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -оксимасляная кислота)

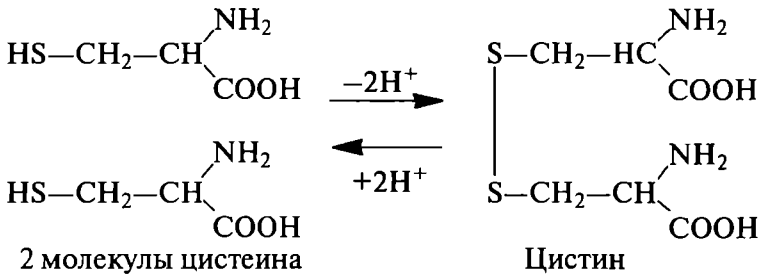


Также является оксиаминокислотой.

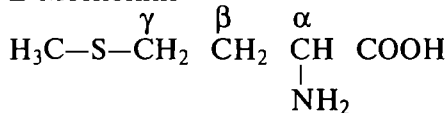
L-Цистеин ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -тиопрпионовая кислота)



Цистеин содержит сульфгидрильную группу ( $-\text{SH}$ ), играет большую роль в обмене веществ как восстанавливающий агент, легко превращается в цистин.

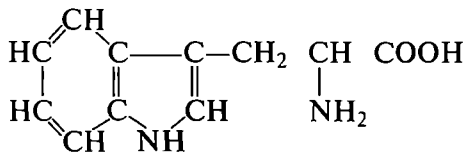


L-Метионин



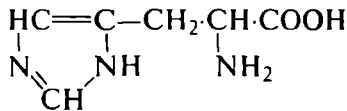
Служит дозатором (источником) метильных групп.

L-Триптофан ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -индолилпропионовая кислота):

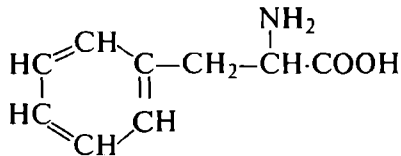


Имеет большое значение в обмене веществ. Связан с образованием в живом организме витамина РР (ниацина).

L-Гистидин ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -имидазолпропионовая кислота):

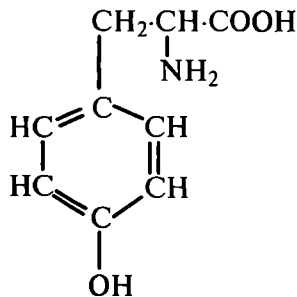


L-Фенилаланин ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -фенилпропионовая кислота):



Входит в состав белка и обуславливает желтую окраску при ксантопротеиновой реакции.

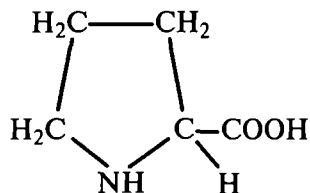
L-Тирозин ( $\alpha$ -амино- $\beta$ -оксифенилпропионовая кислота):



Одна из наиболее распространенных в природе аминокислот. Содержится во всех белках. От ее присутствия в белке зависит реакция Миллона, дает также ксантопротеиновую реакцию.

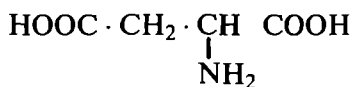
Тирозин относится к веществам, от которых зависит цвет пшеничного теста и изделий из него. Под действием фермента тирозиназы (монофенол—монооксигеназы) он окисляется и дает темноокрашенные продукты — меланины.

L-Пролин (пирролидин- $\alpha$ -карбоновая кислота):

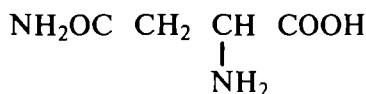


Много пролина содержится в спирторастворимых белках злаков.

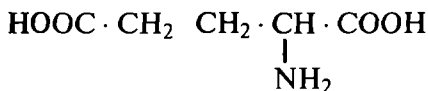
**Моноамино-дикарбоновые аминокислоты.** L-Аспарагиновая кислота (аминоянтарная)



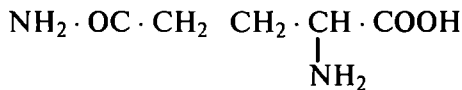
Благодаря двум карбоксильным группам в водных растворах обладает кислой реакцией. В воде растворяется плохо. Играет важную роль в обмене веществ у растений. В растительных белках содержится в больших количествах в виде своего моноамида — аспарагина.



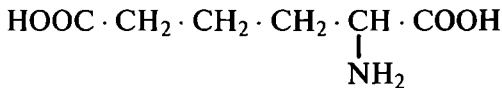
L-Глютаминовая кислота ( $\alpha$ -аминоглутаровая):



Эта кислота дает в растворах кислую реакцию. В белках растений содержится обычно в наибольшем количестве. В растениях и в растительных белках присутствует в виде своего моноамида — глутамина:

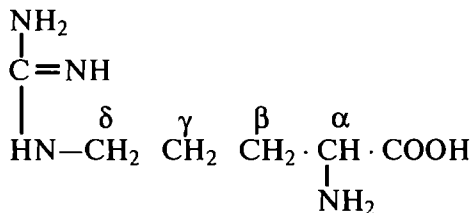


L-α-Аминоадипиновая кислота



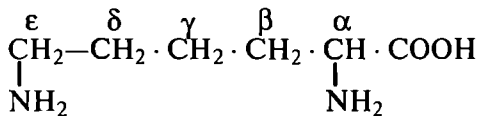
Входит в состав водорастворимого белка зерна кукурузы.

**Диаминомонокарбоновые кислоты.** L-Аргинин (L-амино-δ-гуанидин-Н-валериановая кислота):

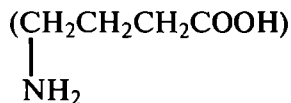


Аргинин вместе с лизином и гистидином относят к группе основных аминокислот. В водных растворах дает щелочную реакцию.

L-Лизин (α, ε -диаминокапроновая кислота):



Кроме α-аминокислот в зерне найдена γ-аминомасляная кислота



которая образуется из глутаминовой кислоты в результате декарбоксилирования под действием фермента глутаматдекарбоксилазы. В отличие от растений человек и животные синтезируют не все аминокислоты входящие в состав белков.

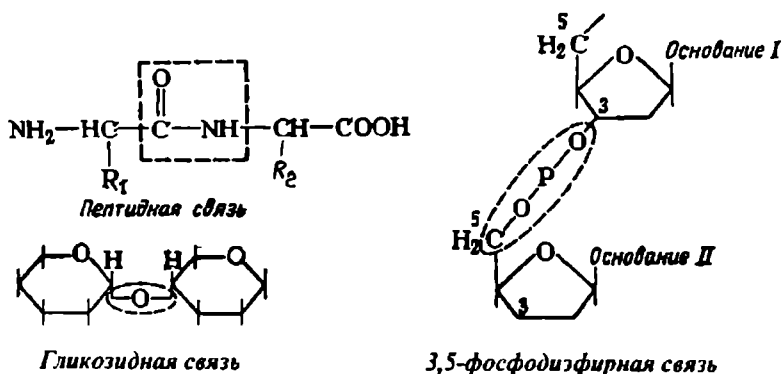
В связи с этим аминокислоты делят на две группы: синтезируемые организмом человека и животных, или заменимые, и несинтезируемые, или незаменимые (их также называют обязательными).

## § 5. ФОРМЫ СВЯЗЕЙ В БЕЛКЕ

Большая и сложная молекула белка образуется в результате возникновения связей различной прочности. Наиболее прочны ковалентные связи. Основную химическую, наиболее прочную химическую связь — ковалентную образуют атомы (или группы атомов), на валентных орбиталях которых имеются неспаренные электроны. Обобществление этих электронов ведет к формированию общей для связывающихся атомов электронной пары. К ним относят пептидные, дисульфидные и сложно-эфирные.

Пептидной связью ( $-\text{CO}-\text{NH}-$ ) соединяются между собой остатки аминокислот. Дисульфидная связь ( $-\text{S}-\text{S}-$ ) образуется за счет двух сульфгидрильных групп ( $-\text{SH}$ ) остатков цистеина. Для фосфопротеинов характерно образование эфиров фосфорной кислоты и серина.

Важна также ионная связь (солевая), характерная для солей и обусловленная притяжением между противоположно заряженными ионами. В белках существуют также водородные связи. Водородная связь проявляется между атомами водорода с атомами наиболее электроотрицательных элементов





(O, N, Fe и др.). Водородная связь образуется, когда протон водорода, ковалентно связанный с одним из этих атомов, располагается между ними. Атом водорода содержит единственный электрон, и когда этот электрон уходит на образование ковалентной связи, ядро (протон) остается без электронных слоев. Такой водород (протон) не отталкивается электронными облаками соседних атомов, а наоборот притягивается ими, образуя водородную связь, которая слабее, чем ковалентная или ионная связь, но сильнее, чем слабые силы межмолекулярного притяжения.

Водородные связи могут быть внутримолекулярными и межмолекулярными. Многие жидкости (вода, органические кислоты, спирты и др.) являются ассоциированными благодаря образованию межмолекулярных водородных связей, углерод не способен к образованию водородных связей, потому что его электроотрицательность значительно меньше, чем у O или N, она довольно близка к H. Поэтому углеводородные цепи гидрофобны, они с трудом проникают в воду, так как не могут разорвать ее водородные связи. У соединений с группа-

ми — OH, — NH<sub>2</sub>, — COOH, — C  $\begin{matrix} \text{O} \\ \diagup \\ \text{H} \end{matrix}$  хорошо выражена

способность к образованию водородных связей, они гидрофильны. Молекулы воды образуют водородные связи не только между собой, но и с полярными группами растворенных соединений. Полярность молекулы воды, способность образовывать водородные связи очень важны в ее роли биологического растворителя — основной среды живых клеток. Единичные водородные связи, образованные в водном растворе, очень слабы. Если в макромолекуле существует большое число водородных связей, возникает большая их суммарная прочность. Это явление называют кооперативностью водородных связей. Белковая молекула имеет два вида водородных связей: между группами пептидных связей и между боковыми радикалами аминокислот. Не менее важны в стабилизации белков и других биополимеров и их функционирования гидрофобные взаимодействия, они еще слабее водородных связей. Это — особый вид межмолекулярных сил,

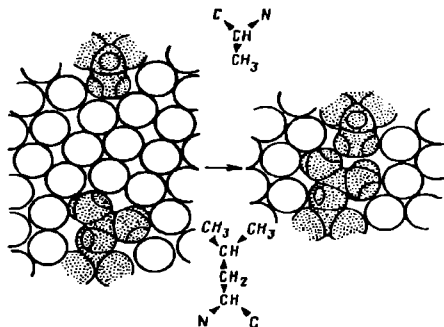


Рис. 6. Схема гидрофобного взаимодействия между двумя неполярными группами аланина и лейцина (изображены темным цветом; молекулы воды изображены светлыми кружками)

действующих только между неполярными молекулами (радикалами) и только в водной среде (рис. 6).

Гидрофобное взаимодействие возникает в результате того, что молекулы воды, стремясь образовывать между собой водородные связи, выталкивают гидрофобные группы; они сближаются до тех пор, пока не соприкоснутся; скручиваются, создавая ассоциаты. Молекулы воды при этом выдвигаются из той сферы, в которой возникает гидрофобное взаимодействие. Сближение неполярных групп, их тесный контакт сопровождается уменьшением числа окружающих их молекул воды.

При этом никаких связей между гидрофобными группами или молекулами не образуется. Возможно только возникновение ван-дер-ваальсовых сил притяжения. Ван-дер-ваальсовые силы — более слабое по сравнению с химическими связями межмолекулярное взаимодействие под влиянием электростатического притяжения, регулируемое условиями взаиморасположения групп или молекул, вступивших во взаимодействие (расстояние между их центрами и другие параметры), связанное с перемещением и деформацией этих групп или молекул.

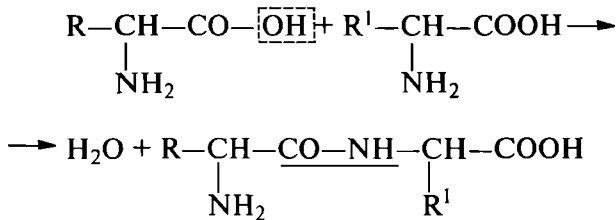
Способностью к гидрофобным взаимодействиям обладают остатки валина, лейцина, изолейцина, фенилаланина, а также, возможно, пролина, аланина, триптофана, метионина и цистина.

Единичные гидрофобные взаимодействия, слабые каждое в отдельности, благодаря кооперативности многих таких взаимодействий, образуют очень прочные ассоциации, стабилизирующие структуру белковой молекулы.

## § 6. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА БЕЛКОВОЙ МОЛЕКУЛЫ

Белки — это линейные сополимеры, построенные из остатков аминокислот. Они имеют несколько последовательно возникающих уровней пространственной структуры (организации). Различают четыре уровня структуры белковой молекулы: первичную, вторичную, третичную и четвертичную.

**Первичная структура.** Возникает благодаря пептидным связям между  $\alpha$ -карбоксильной и  $\alpha$ -аминогруппой.



Благодаря соединению по этому принципу десятков и сотен аминокислотных остатков образуется полипептидная цепь. Полипептидная теория строения белковой молекулы, предложенная Эмилем Фишером, оказалась основополагающей, вокруг которой развиваются современные представления о структуре белка. Первичной структурой белка называют последовательность расположения аминокислотных остатков в полипептидной цепи.

**Вторичная структура** — это упорядоченное пространственное расположение отдельных участков полипептидной цепи без учета типа и конформации боковых радикалов аминокислот. Она образуется за счет замыкания водородных связей между пептидными группами. Вторичная структура представлена в основном регулярными структурами:  $\alpha$ -спираль, складчатые слои ( $\beta$ -структура),  $\beta$ -изгиб. Часть полипептидной цепи не

имеет упорядоченного строения, такие участки называют аморфными или бесструктурными областями. Без подробностей, в общем виде, вторичную структуру можно охарактеризовать так: в  $\alpha$ -спиральных участках и участках с  $\beta$ -складчатой структурой все последовательно расположенные пептидные звенья полипептидной цепи имеют идентичные взаимные ориентации. Такой участок полипептидной цепи имеет линейную структуру, формируется из линейных групп. В  $\alpha$ -структуре между отдельными участками всей длинной полипептидной части возникают водородные связи. В результате полипептидная цепь закручивается. Спиралевидная  $\alpha$ -структура схематически представлена на рис. 7. Один полный виток спирали включает 3,6-аминокислотных остатка, а «шаг» спирали, соответствующий одному аминокислотному остатку имеет длину 0,15 нм.

Складчатые участки полипептидной цепи образуются за счет водородных связей между полипептидными цепями. Отличительная особенность  $\beta$ -структуры в том, что полипептидные цепи в ней вытянуты, расположены параллельно, их пептидные группы ( $C=O$  и  $-NH$ ) лежат в одной плоскости и ориентированы так, что могут образовывать водородные связи с соответствующими группами соседних цепей. Складча-

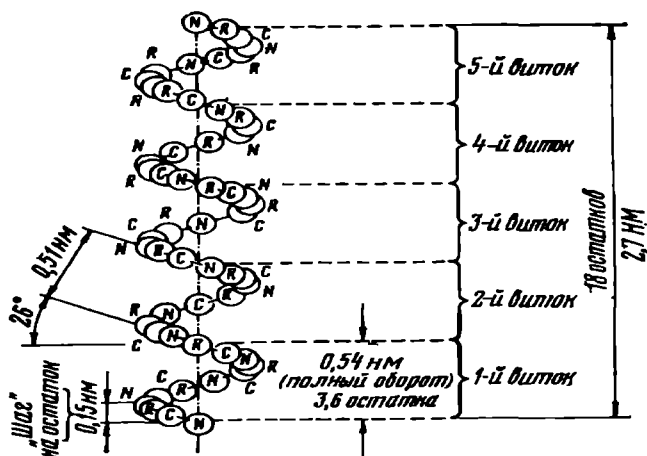


Рис. 7. Схема  $\alpha$ -структуры полипептидной цепочки

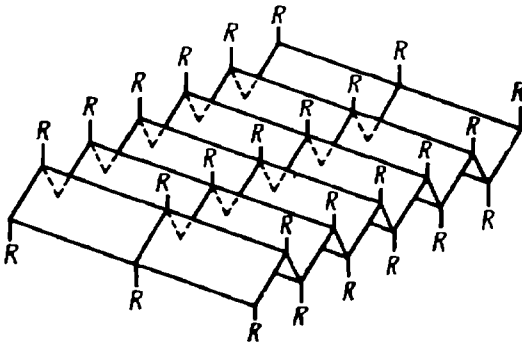


Рис. 8. Схема  $\beta$ -структуры полипептидных цепочек

тые участки полипептидной цепи проявляют кооперативные свойства, т. е. стремятся расположиться рядом в белковой молекуле, и формируют параллельные и антипараллельные складчатые слои или листы, которые укрепляются благодаря водородным связям между складчатыми участками цепи (рис. 8).

Антипараллельная  $\beta$ -структура образуется в том случае, если складчатая цепь делает поворот назад и идет в обратном направлении; в месте поворота образуется  $\beta$ -изгиб, в который входят четыре последовательно расположенных аминокислотных остатка. Параллельная  $\beta$ -структура складывается участками из полипептидной цепи, направления которых совпадают. Антипараллельность цепей создает наиболее благоприятные условия для возникновения водородных связей между ними при участии пептидных групп. В случае параллельного расположения цепей в структуре складчатого  $\beta$ -слоя водородные связи между цепями менее прочны. Боковые радикалы аминокислотных остатков (точнее связи  $C_{\alpha}-C_{\beta}$ ) приблизительно перпендикулярны плоскости  $\beta$ -складчатых слоев, причем боковые цепи аминокислот ориентированы поочередно то по одну, то по другую сторону этой плоскости.

**Третичная структура.** Представляет собой расположение в пространстве полипептидной цепи, отдельные участки которой имеют вторичную структуру. По форме белковой молекулы, сложившейся на третьем уровне пространственной ее организации, различают белки глобулярные и фибриллярные.

Глобулярные белки — растворимые вещества с компактной третичной структурой. К глобулярным относится большинство белков, содержащихся в растениях, животных и микроорганизмах. По форме они приближаются к шару или эллипсоиду. Для их характеристики применяют отношение длины большой оси молекулы к малой оси  $a/b$ , для примера приведем для некоторых из них эти величины.

Белок	Отношение
Спирторастворимый белок (зеин) зерна кукурузы	20,1
Спирторастворимый белок (глиадин) зерна пшеницы	11,1
Фермент каталаза	5,8
Белок из семян конопли (эдестин)	4,3

Форма некоторых глобулярных белков может значительно отличаться от шаровидной и напоминать вытянутые иглы или короткие нити.

Фибриллярные белки имеют нитевидную форму. Они обычно нерастворимы. Выполняют защитные функции. К ним относят: кератин, содержащийся в волосах, рогах и копытах животных; миозин мускулов; фиброин шелка и т. д.

**Четвертичная структура.** Молекулы многих белков состоят из мономеров, образованных отдельными полипептидными цепями. Ассоциация нескольких мономеров, их взаимное пространственное расположение в единой сложной молекуле составляют четвертичную структуру белка. Четвертичную структуру создают водородные связи, электростатическое взаимодействие разноименно заряженных групп, ван-дер-ваальсово взаимодействие боковых радикалов аминокислот и др.

Во второй половине 20 века расширены наши знания о факторах, кодирующих и стабилизирующих специфические особенности пространственной структуры белков имеющих огромную молекулярную массу от 500 тыс. до нескольких миллионов. Сложный механизм взаимодействия этих факторов составляют понятие и метод, называемый по-английски Folding (фолдинг), переводимый на русский язык «свертывание».

Объединение частей и, прежде всего аминокислот, свертывание их в единое белковое целое, регулируется многими физико-химическими процессами на каждом этапе пространственного формирования белка. Особый интерес и осо-

бую роль в этих действиях играют аминокислоты, их последовательность связывания и разнообразные формы пространственного структурирования, начиная с первых моментов появления длиннейших углеродных цепей. Изменения в том же направлении сопровождают все другие уровни синтеза белков. Вся совокупность пространственных структурных построений за весь период образования каждого белка порождает его своеобразие и особые свойства. На международном симпозиуме, посвященном структуре, стабилизации и фолдингу, прошедшему в Российской Академии Наук в 1998 г., показано, что своеобразие и особые свойства каждого белка приводят к тому, что одни из них могут вызвать неожиданные болезни человека, а другие способны стать средством выдающегося лечебного эффекта.

## § 7. СВОЙСТВА БЕЛКОВ

Белковые вещества дают ряд характерных реакций. Рассмотренные ранее реакции аминокислот характерны также и для белков. Белки представляют собой амфотерные электролиты (амфолиты). Для них характерна изоэлектрическая точка — величина рН, при которой белок как кислота или как основание имеет наименьшую степень диссоциации. В изоэлектрической точке суммарный заряд молекулы равен нулю, что для гликокола можно выразить формулой  $\text{CH}_2(\text{NH}_3)^+\text{COO}^-$ .

В этой точке растворимость белка наименьшая. Этим пользуются для выделения белков из растворов. Высаливание белков из растворов солями легче всего происходит в изоэлектрической точке.

Изоэлектрическая точка находится для глиаина пшеницы при рН 7,1, а для зеина кукурузы при рН 6,2. Белки обладают гидрофильными свойствами, т. е. связывают воду.

При набухании образуют студни или гели. Сильно гидратированный гель — пшеничная клейковина, содержащая около 2/3 воды. Гидрофильность белков зависит от гидрофильных групп, расположенных на поверхности белковой глобулы и притягивающих к себе дипольные молекулы воды. К ним относится пептидная связь —CO—NH— (связывает одну мо-

лекулу воды), аминная группа  $-\text{NH}_2$  (одну молекулу воды), карбоксильная группа  $-\text{COOH}$  (четыре молекулы) и т. д.

Вблизи поверхности белковой молекулы молекулы воды строго ориентированы, а по мере удаления от нее их расположение становится все более беспорядочным. Водная оболочка вокруг белковой молекулы препятствует осаждению белка, повышает устойчивость белковых растворов. Обезвоживание белковых глобул с помощью органических растворителей (спирта, ацетона) и солей (снижение их гидрофильности) приводит к тому, что, слипаясь, они образуют крупные частицы и выпадают из раствора в виде осадка. Гидрофильные свойства белков зерна имеют большое значение при хранении и переработке зерна, при выщечке хлеба, производстве макарон и т. д. Различная гидрофильность белков — один из важных признаков зерна сильной и слабой пшеницы.

То или иное расположение атомов в молекуле белка называют конформацией. Конформацию белков, создающуюся при нормальных физиологических условиях ковалентными и дополнительными связями, которые придают белковой молекуле определенную упорядоченность, компактность и геометрическую форму, называют нативной.

Денатурация белков — сложное явление, в основе которого лежит изменение вторичной, третичной и четвертичной структуры белковой молекулы при сохранении первичной структуры. Она обусловлена нарушением кооперативной системы нековалентных взаимодействий (водородных связей, гидрофобных взаимодействий). В результате утрачивается уникальное пространственное расположение и форма полипептидных цепочек, нарушается нативная конформация белковой молекулы. Химический состав при денатурации остается без изменения. Схематически денатурацию белка можно представить как разворачивание определенным образом уложенной в пространстве полипептидной цепочки и образование беспорядочного клубка (рис. 9).

Денатурация в большинстве случаев — процесс необратимый, однако известны случаи обратимой денатурации белков. Денатурация изменяет первоначальные свойства белковых веществ: увеличивается реактивность некоторых химических



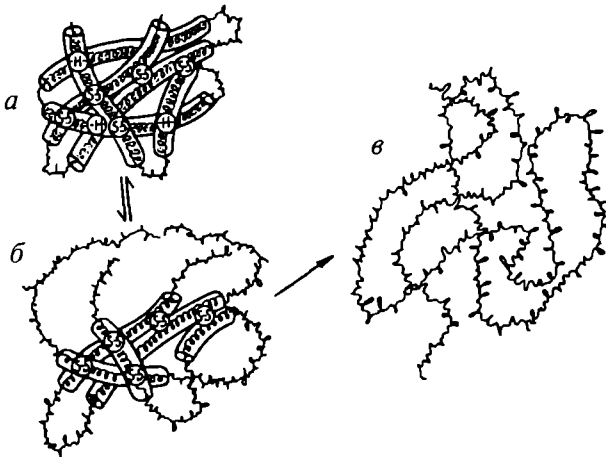


Рис. 9. Схема денатурации белковой молекулы:  
*a* — исходное положение; *б* — начинающееся, обратимое разворачивание; *в* — далеко зашедшее, необратимое разворачивание полипептидной цепочки

групп, входящих в состав молекулы; появляются свободные группы ( $-\text{SH}$  и др.); уменьшаются растворимость, гидрофильность, ферментативная активность; изменяется форма или величина белковой молекулы, увеличивается ее асимметрия; облегчается воздействие протеолитических ферментов; изменяется заряд частиц и т. д.

О том, насколько глубоко изменяется белковое вещество в результате денатурации, можно судить лишь по совокупности признаков. Денатурирующие воздействия разделяют на химические, физические и биологические, хотя часто многие из них действуют взаимосвязанно.

К химическим агентам денатурации относят вещества, резко изменяющие величину рН (кислоты, щелочи), органические вещества и растворители (мочевина, соли гуанидина, уретан, спирт, ацетон), детергенты (додецилсульфат натрия), салицилат натрия и др. Из физических агентов необходимо назвать, прежде всего, тепловую денатурацию, т. е. действие высоких температур. Нагрев разрывает водородные связи и нарушает взаимодействие гидрофобных групп. Тепловая денатурация белков наиболее часто наблюдается при сушке зерна, если она ведется с нарушением установленных правил, а так-

же в результате самосогревания зерновой массы. При нагревании до 45 °С всхожесть зерна не изменяется, при 50–60 °С снижаются хлебопекарные свойства, особенно зерна пшеницы.

Степень тепловой денатурации белковых веществ (А) зависит от температуры и продолжительности нагрева, а также от влажности:

$$A = f(t, \omega, \tau),$$

где  $t$  — температура нагрева;  $\omega$  — влажность зерна;  $\tau$  — продолжительность нагрева.

Влияние температуры нагрева на характер денатурации белка показано на рисунке 10.

Нагревание зерна при одной и той же температуре может по-разному влиять на его качество, если влажность зерна и продолжительность его нагрева будут различными. В зависимости от условий тепловой денатурации установлены четыре основные стадии качественного состояния зерна пшеницы.

Первая стадия характеризуется термоактивацией зерна. Наблюдаются первые признаки обратимой тепловой денатурации наименее стойких белков — альбуминов, повышение энергии прорастания и всхожести, причем положительное влияние нагрева тем выше, чем ниже начальная всхожесть. Максимум положительного влияния нагрева наблюдается при денатурации белков (по их растворимости) в степени 2,0–2,5%.

За этими пределами, сопровождающимися большей степенью денатурации белков, начинается снижение энергии прорастания и всхожести.

На второй стадии отсутствуют заметные изменения технологических пока-

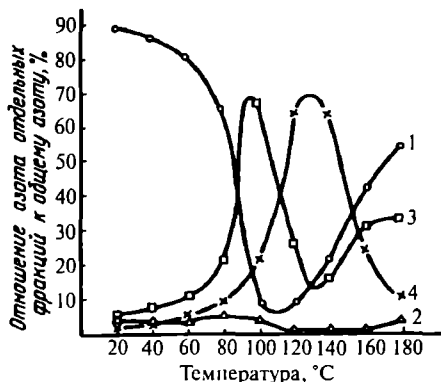


Рис. 10. Влияние температуры извлечения на изменение соотношения азота отдельных фракций белковых веществ семян сои:

1 — водная вытяжка; 2 — солевая вытяжка; 3 — щелочная вытяжка; 4 — нерастворимый остаток

зателей качества зерна. На этой стадии денатурации свойства белков изменяются незначительно, на хлебопекарных качествах зерна это не отражается.

Третья стадия приводит к укреплению клейковины пшеницы. Ее широко используют для улучшения физических свойств слабой клейковины.

Отличительные признаки четвертой стадии — далеко зашедшее укрепление клейковины, которая становится крошащейся или совсем не отмывается, хлебопекарные качества муки заметно ухудшаются. Кроме нагрева, денатурирующее воздействие на белки зерна оказывает облучение ультрафиолетовым светом, а также большими дозами рентгеновских и  $\gamma$ -лучей.

Белки денатурируются при механических воздействиях, высоком давлении — 500–1000 МПа, растирании сухих препаратов, энергичном встряхивании растворов и растекании с образованием поверхностной пленки. Денатурация при растекании объясняется тем, что на поверхности раздела возникает монослой белка, в котором полипептидные цепи развертываются. К механическим денатурирующим воздействиям относят воздействие ультразвука. Некоторые белковые образования подвержены денатурации при замораживании (липопротеиды). Существенные изменения происходят в белках (и других веществах) зерна морозобойного.

## § 8. КЛАССИФИКАЦИЯ БЕЛКОВ

Рациональной химической классификации белков пока не существует. В основу наиболее распространенной системы классификации положены два принципа: степень сложности и характер растворимости. По сложности строения белки разделяют на две большие группы — протеины (простые белки) и протеиды (сложные белки). Часть азота входит в состав небелковых соединений.

**Протеины** — белки, дающие при гидролитическом расщеплении только аминокислоты. Это запасные, скелетные (опорные) и ферментные белки. При изучении протеинов (растительных белков) используют метод извлечения их фракций

по растворимости (альбумины, глобулины, проламины и глютелины), предложенный американским исследователем Осборном.

Альбумины растворяются в воде, их можно выделить из раствора в виде сгустка денатурированного белка при кипячении. Из водных растворов альбумины осаждают также высаливанием при насыщении солями (сульфатом аммония и др.). Альбуминный комплекс зерна в основном состоит из ферментов.

Глобулины растворяются в водных растворах различных солей (применяют обычно 5–10%-ный раствор NaCl). В чистой воде они нерастворимы. Для выделения глобулинов из солевого раствора применяют диализ с помощью полупроницаемых мембран или разбавляют большим количеством воды. Глобулины составляют большую часть семян бобовых культур.

Проламины — наиболее характерные белки для зерна большинства злаковых культур. Они растворяются в 60–80%-ном растворе этанола. К проламинам относят глиадин из зерна пшеницы и ржи (составная часть клейковины), гордеин — ячменя, зеин — кукурузы, авенин — овса.

Глютелины растворяются в растворах щелочей (0,1–0,2%). Они мало изучены, так как их трудно выделить в чистом виде. Наиболее изучены глютелин зерна пшеницы (составная часть клейковины), оризенин риса и глютелин кукурузы. Разделение протеинов по растворимости носит условный характер.

Современными методами установлена гетерогенность каждой из названных белковых фракций. Каждая из них состоит из нескольких, во многих случаях из многих десятков различных белков, имеющих некоторые общие свойства.

**Протеиды (сложные белки).** Так называют вещества, состоящие из белка и соединения небелковой природы — простетической группы. По химической природе такие соединения подразделяют на липопротеиды, хромопротеиды, гликопротеиды и нуклеопротеиды.

Липопротеиды, кроме белка, содержат липиды. Липопротеиды в большом количестве входят в состав пластид растительной клетки (хлоропласты), содержатся в протоплазме, особенно в мембранах. Хромопротеиды — разнообразная группа, в которую входит гемоглобин крови. В гемоглобине

белок глобин связан со сложным азотистым соединением, содержащим железо. Это соединение является простетической группой и называется гемом. Гликопротеиды играют важную роль в построении протоплазмы. Они содержат различные углеводы.

Нуклеопротеиды имеют огромное значение в наследственности. Высоко содержание нуклеопротеидов в зародыше зерна. В нуклеопротеидах белок связан с нуклеиновыми кислотами.

Азот входит в состав не только белковых веществ. В зерне присутствуют и небелковые соединения, содержащие азот. Эти фракции называют небелковым азотом. В нормальном зерне пшеницы на долю небелкового азота приходится до 10% от общего его содержания. К небелковым азотсодержащим веществам относят главным образом свободные аминокислоты и амиды, подавляющая часть которых сосредоточена в алейроновом слое и зародыше. Общее количество небелкового азота зависит от жизнедеятельности растения и зерна и может изменяться в ту или другую сторону. Повышенное содержание небелкового азота в основном можно рассматривать как результат незавершенности биосинтеза белков в зерне или его порчи — распада белковых веществ при неблагоприятных условиях его хранения и переработки (проращение и др.).

## § 9. ЗАПАСНЫЕ БЕЛКИ

Наибольшую часть белков зерна злаковых и бобовых (до 80%) составляют запасные белки, накопленные в ходе роста и развития зерна как питательные вещества, необходимые для развивающегося зародыша на начальных этапах прорастания.

Запасные белки (проламины и глютелины) локализованы в эндосперме. Считалось, что эти белки не обладают ферментативной активностью. Однако в последнее время показано, что пшеничная клейковина, состоящая главным образом из проламина (глиадин) и глютелина (глютенина) проявляет ферментативную активность. Альбумины и глобулины представлены в основном ферментами и структурными веществами. Они входят в состав мембран субклеточных органелл зерна, образуют белки рибосом, митохон-

дрий, эндоплазматического ретикулула — клеточной органеллы, представляющей собой систему мелких вакуолей, соединенных между собой одинарной мембраной, в ряде случаев переходящей в наружную ядерную мембрану.

В сложных белках — нуклеопротеидах, липопротеидах, фосфопротеидах и других белковую часть составляют альбумины и глобулины. У бобовых культур запасные белки представлены главным образом солерастворимой фракцией (глобулинами), а у злаковых спирторастворимой (проламинами) и щелочнорастворимой (глютелинами).

Для белков важно содержание незаменимых (обязательных) аминокислот. Для человека их восемь: лизин, метионин, триптофан, валин, изолейцин, лейцин, треонин, фенилаланин. Эти аминокислоты, как и все другие, синтезируют микроорганизмы и зеленые растения, но не могут синтезироваться в организме животного и человека. Незаменимые аминокислоты должны быть обязательно введены в организм человека или животного с пищей. Если их будет в пище недостаточно, то нормальное развитие и жизнедеятельность организма нарушаются.

Отдельные белки могут быть биологически неполноценными по своему аминокислотному составу. Однако необходимо исследовать аминокислотный состав не отдельных белков, а всего их комплекса, содержащегося в пищевом продукте. Только при таком подходе могут быть получены правильные данные об аминокислотном составе, а, следовательно, и о пищевой и кормовой ценности продукта. Белки злаковых культур неполноценны по ряду незаменимых аминокислот, прежде всего по лизину, метионину, триптофану и треонину. Для питания большое значение имеет сбалансированность аминокислотного состава белков.

По содержанию в белке незаменимых аминокислот, определяемых химическими методами, вычисляют аминокислотный скор, которым характеризуют биологическую ценность белка. В продукте (зерне) определяют содержание каждой незаменимой аминокислоты. Найденное количество вычисляют в процентах к содержанию той же аминокислоты в идеальном белке (куриного яйца, молока). Чаще всего в ка-

честве идеального белка применяют аминокислотную шкалу Комитета ФАО/ВОЗ\* (табл. 6). Аминокислотный скор каждой незаменимой аминокислоты в идеальном белке (шкале ФАО/ВОЗ) принимают за 100%.

Таблица 6

Аминокислотная шкала для расчета аминокислотного сора по «проценту адекватности»

Наименование	Предлагаемый уровень		Наименование	Предлагаемый уровень	
	мг на 1 г белка	мг на 1 г азота		мг на 1 г белка	мг на 1 г азота
Изолейцин	40	250	Треонин	40	250
Лейцин	70	440	Триптофан	10	60
Лизин	55	340	Валин	50	310
Метионин + цистин	35	220	ИТОГО	360	2250
Фенилаланин + тирозин	60	380			

Расчет сора ведут по формуле:

$$= \frac{\text{мг в 1 г испытуемого белка}}{\text{мг в 1 г по аминокислотной шкале}} \cdot 100,$$

где АК — аминокислота.

По вычисленному сору определяют лимитирующую биологическую ценность изучаемого белка—аминокислоту с наименьшим сором.

Более объективное представление о биологической (или пищевой) ценности белка или продукта в целом дают биологические методы с использованием живых организмов. Наиболее распространенным во всем мире является рост-массовый метод, основанный на учете прибавки массы тела на единицу потребленного корма или белка за определенное время. Чаще всего используют крысят-отъемышей, у которых в

\* ФАО — Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН — межправительственная организация, специализированное учреждение ООН.  
ВОЗ — Всемирная организация здравоохранения

первые недели после отсаживания от матери скорость роста и увеличение массы тела зависят от накопления в теле белка. К рост-массовым показателям относят коэффициент эффективности корма (КЭК) и коэффициент эффективности белка (КЭБ). КЭК представляет собой отношение прибавки массы животного (г) за определенное время к количеству потребленного за это же время корма. При использовании белка вместо корма расчет ведут с белком.

В таблице 7 представлено содержание незаменимых аминокислот в суммарных зерновых белках. Для всех альбуминов характерно высокое содержание важнейших незаменимых аминокислот, в том числе лизина, треонина, метионина, изолейцина и триптофана, а из других аминокислот — глутаминовой и аспарагиновой. Наиболее высоким содержанием лизина выделяются суммарные альбумины овса, риса и проса, более низким — пшеницы, ячменя, сорго и ржи.

Таблица 7

Содержание незаменимых аминокислот в суммарных зерновых белках и потребность в них человека (%)

Наименование	Пшеница	Рожь	Ячмень	Овес без пленок	Рис	Просо	Кукуруза	Сорго	Горох	Соя	Потребность человека по данным ФАО	Молоко коровье
Лизин	2,6	3,8	3,2	4,2	3,5	2,2	2,5	2,5	6,5	6,6	4,2	6,6
Метионин	1,7	1,7	1,7	2,5	2,9	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4	2,2	2,4
Триптофан	1,3	1,6	1,2	1,9	1,3	1,4	0,6	0,9	0,8	1,3	1,4	1,4
Валин	4,6	5,3	5,4	5,3	6,5	4,8	4,4	5,2	4,5	5,4	4,2	6,9
Изолейцин	3,4	3,5	3,5	3,9	4,6	3,9	2,7	5,6	5,0	5,3	4,2	6,6
Лейцин	6,9	7,5	7,2	7,4	8,0	9,6	11,2	12,7	6,5	7,9	4,8	9,9
Треонин	2,6	3,2	2,9	3,3	3,5	3,3	3,2	2,7	3,8	3,8	2,8	4,6
Фенилаланин	4,3	5,2	5,1	5,3	5,2	4,8	4,1	4,3	4,8	5,1	2,8	4,9
Сырой белок (% сухого вещества)	13,5	11,5	12,5	17,1	7,8	11,0	9,5	11,2	22,7	39,0	—	—



В альбуминах ржи, сорго, риса много метионина; в альбуминах овса, кукурузы, риса — изолейцина; в альбуминах пшеницы, кукурузы, сорго, риса — триптофана. Треонин часто бывает дефицитной аминокислотой для злаковых культур, в альбуминах ячменя, ржи и овса его содержание высокое, в альбуминах пшеницы — самое низкое. Глобулины злаковых также отличаются относительно высоким содержанием лизина. Вместе с тем у пшеницы, проса, сорго, риса и овса эта фракция белков лизином представлена беднее, чем альбуминовая тех же видов.

Глобулины бобовых содержат высокий процент лизина (соя — до 6%). Вместе с тем глобулиновая фракция содержит значительно меньше триптофана и метионина по сравнению с альбуминами. Однако для бобовых характерен высокий уровень аргинина (кукуруза 12,5%, просо 13,3%, рис 16,6%), аспарагиновой и глютаминовой кислот и очень низкий — пролина.

Альбуминовая и глобулиновая фракции представляют собой гетерогенные комплексы белков. Альбумины и глобулины играют существенную роль во всех проявлениях жизнедеятельности зерна.

В пшеничной муке высшего сорта, почти полностью лишенной зародыша, алейронового и субалейронового слоев, число утраченных ферментов достигает нескольких сот. Среди них значительное количество амилаз и протеаз. Альфа-амилаза в виде группы изозимов\* составляет около 0,1%, бета-амилаза — около 0,5% общего белка. Очень малые количества протеолитических ферментов активизируются в процессах развития и жизнедеятельности зерновки. Из других ферментов следует отметить фитазы алейронового слоя, а также пептидные гидролазы.

Характерная особенность проламинов — низкое содержание лизина, которого очень мало в проламинах пшеницы, сорго и ржи. Еще беднее этой аминокислотой зеин кукурузы и паницин проса: в них обнаружены лишь следы лизина. Низкое содержание лизина в проламинах и высокий процент этой фрак-

---

\* Изозимы (изоэнзимы, изоферменты) — ферменты, катализирующие одну и ту же реакцию, но различающиеся по структуре и физико-химическим свойствам.

ции в белках большинства злаков — основная причина их несбалансированности по лизину. Проламины также бедны треонином и триптофаном. Относительно богат триптофаном паницин проса. Триптофан практически отсутствует в зеине кукурузы и кафирине сорго.

Пеструю картину дает содержание в проламинах отдельных культур серосодержащих аминокислот (цистина, цистеина и метионина). В глиадине пшеницы найдено 1,9% цистина, в секаLINE ржи 2%, авенине овса 4,4%. В паницине проса и оризенине риса обнаружено немного цистина, а в кафирине сорго — лишь его следы. Значительные расхождения по содержанию в проламинах злаков лейцина. В проламинах большинства зерен злаковых культур наблюдается высокий уровень лейцина, прежде всего в зеине, кафирине и оризенине (17–18%). Мало лейцина содержат секалин, гордеин и паницин. Внешние факторы мало изменяют аминокислотный состав проламинов — при разных условиях азотного питания они имеют тот же аминокислотный состав.

Проламины, как и другие белковые фракции, представляют собой сложную смесь белковых компонентов. Для проламинов характерна видовая и сортовая специфичность их компонентного состава. Эта особенность положена в основу геномного анализа пшеницы для определения подлинности и сортовой чистоты семян по электрофоретическому спектру глиадинов. Разработана карта белков, при помощи которой различают, какими хромосомами контролируется синтез отдельных глиадиновых компонентов у мягкой пшеницы.

Значительный удельный вес в общем белковом фонде зерна злаковых приходится на фракцию глютелинов. Особенность глютелинов в том, что по аминокислотному составу они занимают промежуточное положение между проламинами и глобулинами. Содержание лизина в них больше, чем в проламинах: в глютенине пшеницы, ржи и ячменя составляет (соответственно) 1,7; 2,3 и 4%, в глютенине кукурузы, сорго, ржи, и проса — 2,4; 3,1; 4; овса — 5%. Глютелины отличаются от проламинов более высоким содержанием аргинина, гистидина, гликокола. По аминокислотному составу белок глютелинов сбалансирован лучше, чем у проламинов.

Более подробно изучены состав и свойства глютелинов пшеницы в виде изолированной фракции и в составе клейковины — глиадиново-глютенинового комплекса. Содержание лизина в глютелинах пшеницы, как и в глиадинах, невысокое. На долю обеих фракций в пшеничной муке приходится более 80% белка и в целом зерне 50–60%. В связи с этим белки пшеницы бедны лизином.

Полноценность зерна риса по аминокислотному составу находится на удовлетворительном уровне: у шлифованного риса 80% всего белка составляют глютелины оризенины, содержащие 2,6–4% лизина. Преобладающие фракции овса — глобулины и глютелины, в которых содержится до 5,5% лизина, что приводит к хорошей сбалансированности овса по этой наиболее дефицитной аминокислоте.

## § 10. ВЫДЕЛЕНИЕ БЕЛКОВ

Для выделения белков биологический материал измельчают до разрушения клеточных стенок, получая гомогенат. Для этой цели применяют следующие способы: растирают ткани с твердым материалом — абразивом (кварцевый песок) в ступке; используют специальные вальцовые или шаровые мельницы, вращающиеся с большой скоростью острые ножи; продавливают в замороженном состоянии через фильеры специального пресса; применяют ультразвуковые дезинтеграторы и др. При разрушении биологических тканей и выделении белков всегда необходимо иметь в виду их большую неустойчивость, лабильность, склонность к утрате нативных свойств — денатурации. Затем пробу обезжиривают и приступают к извлечению белков. Наиболее часто белки извлекают водой или солевыми растворами. Для извлечения белков используют также спирто-водные смеси.

В состав биологических тканей входит множество белков. Большие трудности составляет разделение суммарной белковой смеси на индивидуальные белки — их фракционирование. Известно много методов фракционирования белков: органическими растворителями, электрофоретические, хроматографические, молекулярными ситами (сефадексами) и др.

**Фракционирование органическими растворителями.** Для этого применяют этанол, ацетон, диоксан и другие в строгих условиях рН и температуры.

**Электрофоретические методы.** Основаны на движении заряженных молекул белков в электрическом поле. Скорость перемещения молекул белка зависит от величины их зарядов при определенном рН и ионной силе раствора. Некоторое влияние оказывают форма и масса белковых молекул. Электрофорез проводят в растворе или на твердых влажных средах — в геле из крахмала, производных целлюлозы, полиакриламида (ПААГ), силикагеля, на хроматографической бумаге. Большая дробность фракционирования белковых смесей вплоть до выделения индивидуальных белков достигается при разновидности электрофореза, называемого изоэлектрическим фокусированием. Здесь разделение белков происходит в поддерживающих средах с определенным градиентом рН, что обеспечивает положение белка на определенном уровне в колонке. Градиент рН создают с помощью полиаминополикарбонновых кислот — амфолинов, дающих диапазон рН от 3 до 10.

**Хроматографические методы.** Основаны на разделении смеси веществ на основе их физико-химических различий между двумя фазами, одна из которых неподвижная, а другая — поток, фильтрующийся через неподвижную фазу. При жидкостной хроматографии подвижной фазой бывает жидкость, при газовой — газ. Существует несколько видов хроматографии. При адсорбционной хроматографии разделение смеси веществ происходит в результате различия их физической сорбции. При помощи распределительной хроматографии вещества из смеси распределяются между двумя разными не смешивающимися жидкостями.

Принцип ионно-обменной хроматографии — ионные взаимодействия между растворенными веществами и носителем. В химии белков наиболее часто применяют ионообменную, молекулярно-ситовую (гель-проникающую) и аффинную хроматографию. При ионообменной хроматографии белки взаимодействуют с противоположно заряженными частицами ионообменных смол (ионитами) — твердых нерастворимых веществ, заполняющих колонку, и вследствие этого раз-

деляются. Ионообменник имеет иониты, содержащие активные группы основного характера и подвижные анионы (аниониты), и иониты, в состав которых входят активные кислотные группы и способные к обмену подвижные катионы (катиониты).

Гель-проникающую хроматографию (гель-фильтрацию) называют еще молекулярным ситом. С помощью этого метода белки разделяют по размерам их молекул.

При аффинной хроматографии (хроматографии сродства) специально подобранные твердые носители избирательно связывают строго определенные белки. Аффинная хроматография позволяет очень точно фракционировать белки.

**Выделение молекулярными ситами.** Для этого берут сефадекс — специальный пористый материал, получаемый обработкой эпихлоргидрином полисахарида декстрана.

В колонку, содержащую сефадекс (рис. 11), частицы которого окружены водной оболочкой и уравновешены буферным

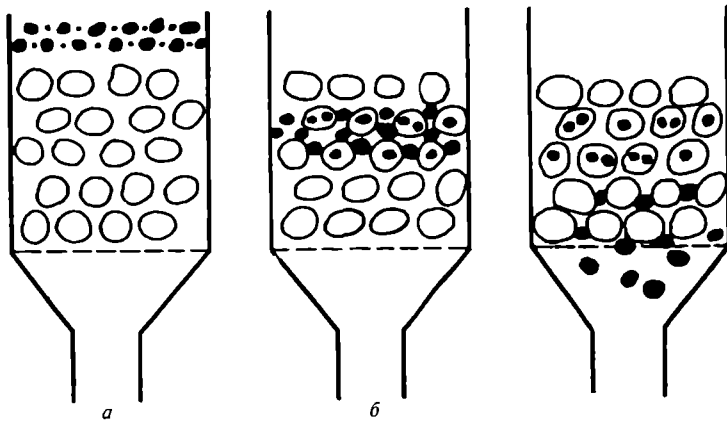


Рис. 11. Механизм разделения веществ по молекулярной массе на колонке с сефадексом:

*а* — колонка в начале работы. Светлыми кружками обозначены зерна сефадекса, темными точками — молекулы белков разной молекулярной массы, только что внесенных в верхнюю часть колонки; *б* — по мере продвижения проявителя по колонке (сверху вниз) осуществляется перенос молекул белков, однако только меньшие молекулы белков проникают внутрь зерен сефадекса; *в* — мелкие молекулы белков резко отстают от крупных его молекул, задерживаясь в зернах сефадекса. Первыми из колонки выйдут большие молекулы

раствором, вносят раствор смеси двух веществ разной молекулярной массы — белок и, например, соль. При фильтровании через гель сефадекса низкомолекулярное вещество (соль) медленно диффундирует через поры набухших в воде частиц сефадекса. Более высокомолекулярное вещество (белок) быстрее просачивается между частицами сефадекса и получается в свободном от низкомолекулярных примесей виде. При последующем промывании колонки тем же буферным раствором медленно диффундирующее низкомолекулярное вещество (соль) удаляется. Таким образом регенерируют колонку. Выделенные белки часто содержат различные примеси. Для их удаления применяют очистку белков с помощью диализа, электродиализа, ультрафильтрации.

Очистку диализом проводят следующим образом. Диализационный мешочек из полупроницаемого материала (целлофана и др.), в который помещают исследуемое вещество, погружают на несколько суток в сосуд с проточной водой. Низкомолекулярные соединения и ионы отмываются, а крупные молекулы белка остаются в мешочке.

Наиболее быстрого и полного удаления ионов добиваются при помощи электродиализа (рис. 12). Кроме полупроницаемых мембран, ставят электроды, на них подают напряжение. В результате ионы переходят в омывающую мембрану воду и удаляются из аппарата. Для очистки белков методом ультрафильтрации используют полупроницаемые мембраны высокой прочности с калиброванными порами, через которые белковый раствор продавливают сжатым газом или центробежной силой. При насыщении белкового раствора солью белки можно получить в кристаллическом виде. Ранее упоминавшаяся гель-фильтрация с сефадексом также дает хорошие результаты при очистке белков от низкомолекулярных примесей.

Каждый индивидуальный белок состоит из одного вида молекул, имеет определенную молекулярную массу, состав и строение. Это диктует необходимость оценки гомогенности, т. е. однородности выделенных и очищенных белков. Для этого применяют большое число методов, общим признаком которых является выявление физико-химических особенно-

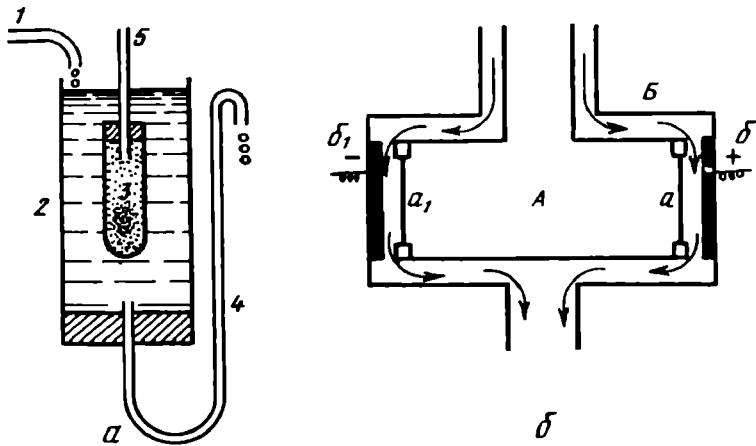


Рис. 12. Установки для очистки белка путем диализа (а) и электродиализа (б): 1 — трубка для подведения воды; 2 — корпус диализатора; 3 — диализационный мешочек; 4 — трубка для отвода воды и регулирования ее уровня; 5 — капиллярная трубка, А — диализационная камера; Б — корпус электродиализатора; а и а<sub>1</sub> — полупроницаемые мембраны; б и б<sub>1</sub> — электроды (стрелками указано направление движения воды)

стей, характерных только для гомогенного белка. Очень важным способом определения однородности белков является их исследование в ультрацентрифуге. Принцип работы ультрацентрифуги заключается в том, что раствор, содержащий белковые молекулы, подвергается мощному воздействию центробежной силы, превышающей приблизительно в 500 раз силу земного притяжения. При этом сначала осаждаются более тяжелые молекулы, затем — менее тяжелые.

С помощью ультрацентрифуги можно разделить белки, различающиеся по молекулярной массе. Аналитическая ультрацентрифуга снабжена оптическим устройством, регистрирующим результаты анализа в виде кривой при прохождении света через специальные ячейки, содержащие раствор исследуемого белка. Однородный по молекулярной массе белок при испытании в ультрацентрифуге на кривой дает один симметричный пик. Если на диаграмме получается два пика или один несимметричный, то это значит, что белковый препарат представляет собой смесь, по меньшей мере, двух белков. Для определения однородности белков широко используют также

разные виды хроматографии, в том числе и ранее рассмотренные. Для определения однородности белка необходимо применять разные методы.

## § 11. БЕЛКОВЫЕ ВЕЩЕСТВА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Содержание белка в пшенице колеблется в широких пределах — от 9,2 до 25,8% (в среднем 13,5%). При вегетационных опытах удается получать зерно пшеницы с еще большим содержанием белка. Зерно твердой пшеницы содержит белков больше, чем зерно мягкой. В стекловидных зернах мягкой пшеницы белковых веществ не всегда больше, чем в мучнистых. Так, коэффициент корреляции между стекловидностью и содержанием белковых веществ зерна пшеницы из разных районов РФ за несколько лет составил

$$r = 0,260 \div 0,737 \text{ при } m_r = \pm (0,053 \div 0,127)$$

и из стран Американского континента

$$r = 0,170 \div 0,814 \text{ при } m_r = \pm (0,090 \div 0,180).$$

Показатель стекловидности лабилен, более поддается влиянию разнообразных внешних факторов, чем содержание белка. По отдельным тканям зерна пшеницы белковые вещества распределены неравномерно (табл. 8). Наиболее богат белковыми веществами алейроновый слой. Много белка также в зародыше. Содержание белка в эндосперме меньше, чем в целом зерне.

В пределах эндосперма белок распределен также неравномерно. Если его периферические слои имеют высокую концентрацию белков, то центральная часть наиболее бедна белками по сравнению со всеми остальными частями зерна. Так, субалеироновый слой твердой красной пшеницы содержит 45% белка, а внутренний 11% (рис. 13).

В партиях зерна озимой пшеницы по мере уменьшения размеров зерна относительное содержание в нем белка возрастает. Наибольшее количество белка содержит неполноценное зерно (проход через сито с круглыми отверстиями  $\varnothing 2,38$  мм).



Таблица 8

Содержание белка (средние данные) в морфологических частях зерна пшеницы, % сухого вещества

Наименование	Сорта пшеницы юга европейской части РФ		Сорта пшеницы Западной Европы	
	в каждой из частей зерна	соотношение количества по частям зерна	в каждой из частей зерна	соотношение количества по частям зерна
Целое зерно	16,07	100	11,4	100,00
Эндосперм	12,91	65	9,3	76,90
Алейроновый слой	53,16	22	18,0	12,60
Зародыш	37,63	8	30,5	3,05
Щиток			24,0	3,60
Перикарпий	10,56	5	2,8	1,60
Оболочка			9,7	2,25

В ряде работ отмечено отсутствие четкой зависимости между размерами зерна пшеницы и содержанием в нем белка. Следует учитывать многообразные формы проявления физиолого-биохимической разнокачественности зерна. Необходимо различать мелкое, но нормально развитое и щуплое зерно. Мелкое, нормально развитое зерно по своему составу и качеству ближе к здоровому, крупному, чем щуплое зерно. Изменения содержания белка и других признаков зерна в зависимости от размеров зерна могут быть выражены в разной степени и не имеют строгой закономерности вследствие большой биологической изменчивости зерна при созревании на материнском растении под влиянием многочисленных факторов.

В пределах сорта фракционный состав белков изменяется в зависимости от крупности зерна: с уменьшением размеров семян увеличивается содержание водо- и солерастворимых белков и снижается содержание спирторастворимых белков. В зерне пшеницы Аврора при диаметре семян 3 мм водорастворимых и солерастворимых белков содержалось 27,8% и при диаметре семян 2 мм — 32,9%, а содержание спирторастворимых белков соответственно было 26,1 и 20,0%. Аналогичные данные получены и по другим сортам. В соотношении между фракционным составом белка и крупностью зерна пшеницы различных сортов такой закономерности не наблюдается. Здесь мож-

но говорить только о слабо выраженной тенденции в этом направлении.

Для оценки пищевого достоинства зерна пшеницы большое значение имеет аминокислотный состав белков. В наибольшем количестве содержится глютаминовая кислота (в среднем 21,9%), в наименьшем — триптофан (0,8%), цистин (1,1%), метионин (1,4%) и тирозин (1,8%). Аминокислоты в зерне пшеницы распределены неравномерно. Зародыш наиболее богат незаменимыми аминокислотами и, прежде всего лизином. В зародыше его содержится в два с лишним раза больше, чем в эндосперме (соответственно в среднем 5,6 и 2,1%).

Белки в разных частях эндосперма различаются соотношением содержания отдельных аминокислот. Многие из них в периферийных частях эндосперма содержатся в большем количестве, чем в центральных. Опытами установлено, что к ним относятся (в среднем в % к массе белков): аргинин 2,9—4,5; цистин 1,5—1,9; лизин 1,9—2,6; метионин 1,1—1,4; триптофан 0,9—1,1; валин 3,6—4,0.

Центральная часть эндосперма богаче, чем периферийные его слои (%): изолейцином 6,6—7,0; лейцином 8,0—9,1; фенилаланином 3,4—3,9. Триптофан в большом количестве сосредоточен в алейроновом слое. Белки субалейронового слоя содержат много глютаминовой кислоты и пролина, мало лизина. Белки алейронового слоя содержат большое количество лизина и аргинина. Белки алейронового слоя имеют более высокую питательную ценность, чем остальная часть эндосперма. Содержимое алейронового слоя, образованного толстостенными клетками, усваивается человеком плохо.

Различия в содержании аминокислот между высоко- и низкobelковым зерном пшеницы доказаны для лизина, количество которого выше у низкobelковой пшеницы, и для глютами-

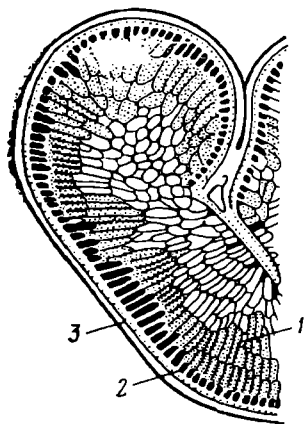


Рис. 13. Распределение белка в эндосперме пшеницы: 1 — оболочки; 2 — алейроновый слой; 3 — эндосперм

новой кислоты, пролина и фенилаланина, находящихся в низкобелковой пшенице в меньших количествах. Важнейшие белки зерна пшеницы — проламины и глютелины. На их долю приходится около 74% от всей массы белковых веществ. Наибольшее технологическое (хлебопекарное) значение имеют проламины (глиадин) и глютелины (глютенин). Именно они составляют клейковину. На альбумины приходится 20–22% и глобулины 5–6%.

Различно содержание белка и его аминокислотного состава в зерне разной окраски. Отмечено, что темные и желтые зерна красной озимой пшеницы отличаются по тому и другому признаку. В темных зернах содержание белка колеблется от 13,50 до 16,63% (в среднем 14,54%), в желтых от 10,81 до 14,17% (в среднем 12,14%). Наибольшие различия в аминокислотном составе обнаружены по шести аминокислотам. Содержание пяти из них в желтых зернах выше по сравнению с темными зернами (г/100 г белка): лизина 2,69–3,0; аспарагиновой кислоты 4,98–5,18; аланина 3,24–3,44; метионина 2,27–2,91 и фенилаланина 4,19–4,28. Глютаминовая кислота в большем количестве содержится в темных зернах (31,34–33,43 г/100 г белка).

Учитывая множественность факторов, влияющих на зерно в период роста и созревания, различия в химическом составе в зависимости от окраски, в том числе по белку и его аминокислотному составу, можно ожидать только в пределах партий зерна, выращенного в одинаковых условиях.

## § 12. КЛЕЙКОВИНА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Пшеница — важная продовольственная культура, так как благодаря содержащейся в ней клейковине из нее получают хлеб высокой питательности, приятного вкуса, с пористым, упругим и эластичным мякишем. При замешивании пшеничной муки с водой ее белки поглощают воду и набухают, слипаясь в массу теста.

Если кусок теста отмывать в воде от крахмала и частиц оболочек, то остается сильно гидратированный, упругий, эластичный и связный студень, состоящий в основном из белков и называемый сырой клейковиной, или просто клейковиной. Сырая

клейковина содержит в среднем 65% воды. Клейковина отличается от запасных белков семян других растений прежде всего своими уникальными реологическими свойствами, являющимися основой хлебопекарных достоинств пшеничной муки. При обезвоживании получают сухую клейковину. Количество воды, поглощаемой сухой клейковиной, выражают в процентах и называют гидратацией, или гидратационной способностью клейковины, которая колеблется от 170 до 250%.

Технологическое значение клейковины заключается в том, что она формирует тесто. При набухании вместе с другими веществами зерна и веществами добавляемыми (дрожжами и др.) она образует сплошную упругую сетку, соединяющую в компактную массу все вещества муки, из которой в результате ферментных процессов в тесте и завершающего этапа — выпечки получают хлеб.

Клейковина состоит из двух веществ. Одно из них, растворимое в спирте — глиадин, второе, растворимое в щелочах — глютенин. Свыше двух с половиной веков специалисты разных стран изучают клейковину, однако и в настоящее время многие важные стороны состава и свойств клейковины неясны. Значение клейковины заключается в том, что она формирует тесто, образует при набухании сплошную упругую сетку, соединяющую в компактную упругую массу все вещества муки. При внесении дрожжей в тесто в результате процесса брожения выделяется диоксид углерода, который растягивает клейковину. Сначала сплошной комочек теста начинает быстро увеличиваться в объеме (подниматься). К концу брожения тесто приобретает пористое строение. Разрыхленное тесто, состоящее из огромного количества пузырьков, стенки которых образованы в основном клейковиной, закрепляется в таком виде при выпечке, образуя характерную пористую структуру хлебного мякиша.

Клейковина — важнейший фактор хлебопекарного достоинства пшеничной муки. От нее зависит газодерживающая способность теста, а, следовательно, объем и пористость хлеба. Крепкая клейковина в нормальной муке дает слишком тугое тесто с трудом поддающееся растяжению диоксидом углерода. Слабое тесто плохо задерживает диоксид углерода, так как свойственная ему слабая клейковина не может создать в

тесте белкового каркаса необходимой прочности. Сильная клейковина при брожении более стойко сохраняет присущие ей физические свойства.

Мука характеризуется способностью давать тесто, обладающее в ходе брожения и расстойки определенными физическими свойствами, что в сочетании с другими хлебопекарными достоинствами (количество и состав сахаров, активность ферментов, состав и свойства крахмала и др.) обеспечивает получение хлеба хорошего качества. Все сорта мягкой пшеницы по их хлебопекарному достоинству делят на три группы: сильная, средняя и слабая.

**Сильная пшеница.** Из нее получают муку, способную поглощать при замесе теста нормальной консистенции относительно большое количество воды. Тесто из такой муки очень устойчиво сохраняет свои первоначальные физические свойства (консистенцию, эластичность и сухость на ощупь) при замесе и брожении. Куски теста из муки сильной пшеницы хорошо обрабатываются на округлительных машинах, их рабочие органы не замазываются. Сформированные куски теста, обладая хорошей способностью удерживать диоксид углерода, при расстойке и выпечке хорошо сохраняют свою форму и мало расплываются. Подовый хлеб из муки сильной пшеницы при достаточной газообразующей способности хорошо разрыхляется, имеет большой объем и малую расплывчатость.

Тесто из муки очень сильной пшеницы ввиду ограниченной способности к растяжению имеет пониженную газоудерживающую способность и поэтому получаемый из нее хлеб мало расплывчатый, пониженного объема (обжимистый).

При смешивании муки из сильной пшеницы с мукой, имеющей низкие хлебопекарные достоинства (слабой), получают муку с улучшенными свойствами. Поэтому сорта сильной пшеницы называют сортами — улучшителями. В зависимости от качества (силы) примесь из муки сильной пшеницы колеблется от 25 до 50%. В соответствии с этим сорта — улучшители подразделяют на пшеницу с посредственной, хорошей и высокой хлебопекарной силой.

Сильная пшеница должна содержать белка не менее 14% (на сухое вещество), сырой клейковины в зерне — не менее 28% и в

муке первого сорта — не менее 32% (1-й группы с хорошей упругостью и нормальной растяжимостью). Здоровая твердая пшеница обычно вся сильная, сорта ее на группы по силе не делят. По хлебопекарному достоинству она ниже стекловидной мягкой пшеницы. При выпечке в чистом виде твердая пшеница дает хлеб низкого объема, с более плотным мякишем и рваной коркой, у нее очень упругая, недостаточно растяжимая, короткорвущаяся клейковина. При добавлении к слабой мягкой пшенице здоровой твердой также улучшаются ее свойства.

**Средняя пшеница.** Способна сама давать хороший по качеству хлеб, не нуждается в примешивании к ней сильной пшеницы, но не способна эффективно улучшать слабую пшеницу. Ее называют «филлер» (Filler — наполнитель).

**Слабая пшеница.** Характеризуется низким содержанием белка (8–10%) и клейковины (ниже 20%) либо достаточным содержанием белка, но низкого качества, Из слабой пшеницы невозможно получить хлеб удовлетворительного качества, для этого необходимо добавлять сильную пшеницу. Мягкая пшеница используется преимущественно для приготовления хлеба, а твердая — в макаронном производстве.

Хлебопекарная сила пшеничной муки зависит не только от количества и качества клейковины, но и от углеводно-амилазного комплекса. С этим комплексом связано второе важнейшее свойство муки — газообразующая способность (образование при брожении диоксида углерода, необходимого для разрыхления теста). Физико-химические изменения крахмала (набухание, клейстеризация, декстринизация) определяют наряду с клейковиной реологические свойства теста.

### § 13. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И КАЧЕСТВА КЛЕЙКОВИНЫ\*

Клейковину выделяют вручную отмытием в воде куска теста, полученного из 25 г муки. Для этого используют также приборы, механизующие и ускоряющие отмытие клей-

---

\* Методы определения количества и качества клейковины подробно описаны в лабораторном практикуме

ковины. Принцип действия приборов основан на постепенном отмывании клейковины из шарика теста при помощи различных механизмов.

Рабочий орган прибора представляет собой вал, вращающийся внутри неподвижно закрепленного плексигласового стакана с ввинчивающимся стальным крючком. Тесто, а затем клейковина постоянно вращаются и переворачиваются с помощью крючка, закрепленного на валу под плексигласовым стаканом.

Отмывание клейковины из цельносомлотого зерна на приборе «Глютаматик» предложено фирмой «Фоллинг Намберг» (Швеция). Навеску шрота (размолотого зерна) массой 10 г высыпают в испытательную камеру прибора, наливают 2%-ный раствор поваренной соли и замешивают тесто, затем прибор автоматически переключается на отмывание клейковины.

Через 2 минуты прибор останавливают и, собрав клейковину, переносят ее вместе с отрубями в камеру с металлочканым ситом (для удаления отрубей) и продолжают отмывание. В дальнейшем сырую клейковину центрифугируют (для удаления воды), взвешивают и высушивают в печи «Глюторк 2020» при температуре 160 °С для получения сухой клейковины.

Устройство МОК-1 применяют для механизированного отмывания клейковины из шрота пшеницы. Оно представляет собой герметичную камеру, в которой вращается рабочий орган с рифлями (жгутами). Клейковина отмывается при механическом воздействии рабочего органа на тесто при непрерывной подаче воды в камеру под давлением.

Содержание сырой клейковины в муке пшеницы и тритикале определяют центрифужным методом. Две навески муки массой по 10 г высыпают в центрифужные стаканчики и заливают 2%-ный раствором поваренной соли (по 20 мл). Центрифугирование проводят при частоте вращения 5–5,5 тыс. об/мин в течение 3 минут. Надосадочную жидкость сливают, осадок количественно переносят шпателем на сито. Клейковину отмывают вручную на сите под слабой струей 2%-ного раствора поваренной соли в течение 3–4 минут. Отмытую клейковину отжимают между ладонями.

Определение качества клейковины на приборе ИДК-2

Показания прибора, усл. ед.	Группа качества клейковины	Характеристика	Показания прибора, усл. ед.	Группа качества клейковины	Характеристика
0–15	III	Неудовлетворительная крепкая	80–100	II	Удовлетворительная слабая
20–40	II	Удовлетворительная крепкая	105–120	III	Неудовлетворительная слабая
45–75	I	Хорошая			

Для технологической оценки зерна пшеницы важное значение имеет не только количество, но и качество клейковины. Под качеством клейковины понимают совокупность ее физических свойств (сочетание определенных реологических свойств): растяжимость, упругость, эластичность, вязкость, связность, способность сохранять физические свойства во времени.

Клейковину по качеству делят на три группы: I — хорошая, II — удовлетворительная и III — неудовлетворительная (табл. 9). Для определения качества клейковины служит прибор ИДК — 2.

В приборе свободно падающий пуансон сжимает образец клейковины (4 г) в течение  $30 \pm 2$  с. Прибор измеряет упругие свойства клейковины по величине деформации под действием нагрузки сжатия в условных единицах шкалы прибора. В настоящее время качество клейковины и ее деление на три группы производят по одному показателю — упругости (эластичности) клейковины, т. е. величине ее деформации.

По стандарту количество клейковины должно быть в хлебопекарной пшеничной муке высшего сорта не менее 28%, первого — не менее 30%, второго — не менее 25% по качеству не ниже II группы.

В муке макаронного помола из твердой пшеницы количество клейковины в высшем сорте (крупке) должно быть не



менее 30%, в первом — не менее 32% по качеству не ниже II группы.

ВНИИЗом разработан метод и комплекс средств для определения количества и качества клейковины в зерне пшеницы и пшеничной муке. В основу метода положена механизация всех операций анализа. В комплексе механизированных средств применяются виды оборудования, которым приводятся краткие описания:

1. Сушильный аппарат ЛСА для подсушивания проб зерен пшеницы с влажностью свыше 18%; сушка в аппарате гарантирует сохранение качества зерна, в первую очередь количество и качество клейковины.

2. Мельница лабораторная У1 — ЕМЛ, в которой размалывают навески зерна 30–50 г в течение 50 с при гарантированной крупности размола.

3. Стабилизатор состава воды У1 — ЕСС — 60 с применением ионообмена между питьевой водой и ионообменными смолами, обеспечивающий получение стабильного раствора хлорида натрия в концентрации не более 0,1%.

4. Стабилизатор температуры воды У1 — ЕСТ, обеспечивающий в автоматическом режиме температуру используемой воды  $18 \pm 1$  °С.

5. Дозатор ДВЛ — 3 для отмеривания и ввода воды в дежу тестомесилки требуемого количества с точностью 2,0% от величины ее дозы.

6. Тестомесилка ТЛ — I — 75 для автоматизированного замеса теста стандартной его готовности из навески шрота и муки от 10 до 50 г.

7. Устройство МОК — 1 или МОК — 3М для отмывания и частичного отжима клейковины, о котором написано выше.

8. Приспособление У1 — УФК, при помощи которого отмывтая и отжатая клейковина в количестве 4 г формируется в виде шара. Получается полусфера, ее закрепляют зажимом в шар и помещают в емкость с водой для отлежки.

9. Прибор типа ИДК (ИДК — 1, ИДК — 1М, ИДК — 2) предназначен для определения качества клейковины измерением величины деформации под действием нагрузки сжатия между плоскостями прибора.

При определении клейковины в муке используют приведенное оборудование за исключением сушильного аппарата ЛСА и мельницы У1 — ЕМЛ, в этом случае они не требуются.

## § 14. СОСТАВ И СТРОЕНИЕ КЛЕЙКОВИНЫ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

В состав клейковины зерна пшеницы, кроме белковых, входят и другие вещества (табл. 10).

Наиболее чистые образцы клейковины, содержащие почти 100% белка, получают отмыванием остатков крахмала и водорастворимых белков из предварительно выделенного методом Гесса промежуточного белка (цикельпротеина). На большие расхождения по составу клейковины, помимо особенностей исходного материала, решающее влияние оказывают способы ее выделения (продолжительность отмывания, температура воды, способы обработки муки перед отмыванием, методы очистки выделенной клейковины и т. д.). При всех способах выделения в клейковине содержатся, кроме образующих белков, составляющих главную ее массу, другие фракции белков, крахмал, липиды, сахара, клетчатка.

Качество клейковины определяется главным образом свойствами, входящих в ее состав клейковинообразующих белков глиаина и глютеина.

Небелковые вещества оказывают влияние на изменение ее свойств, наиболее существенно — липиды, взаимодействующие с белками.

На долю белков приходится (%) 73–90, в среднем 83,5, в том числе клейковинообразующих 74–85, в среднем 79,5, остальное — альбумины и глобулины 3,35–6,75, в среднем 4. Содержание глиаина во всех случаях преобладает над глютеином. Соотношение между их количеством колеблется от 1,0 (глютеин) до 1,10–1,43 (глиаин), в среднем 1–1,21. Липиды, главным образом связанные — в среднем свободных 1 %, связанных 6%.

Белки и, естественно, клейковина состоят из аминокислот. Казалось бы, что состав и конкретное соотношение между ними должны быть связаны со свойствами клейковины раз-

ного качества. В аминокислотном составе клейковины выявляется общая закономерность—первое место, как и в суммарном белке зерна, занимают глютаминовая кислота и пролин, причем их содержание в клейковине значительно выше, чем в зерне пшеницы, глютаминовой кислоты 43,79% (в среднем) вместо 23,5% и пролина 15,89% вместо 9,3%. Заметно обеднение клейковинных белков наиболее дефицитной для зерна пшеницы незаменимой аминокислотой лизином. Так, при содержании лизина в зерне пшеницы в среднем по пяти сортам 2,57 мг/100 г белка в отмытой клейковине его оказалось 2,08 (табл. 11).

Принципиальных различий в количественном соотношении отдельных аминокислот в клейковине сильной и слабой пшеницы нет. Аминокислотный состав клейковины при прорастании зерна пшеницы по сравнению с исходным зерном не изменяется. Таким образом, кардинальные различия в физических и физико-химических свойствах сильной и слабой клейкови-

Таблица 10  
Химический состав клейковины зерна пшеницы (по данным разных авторов), % сухого вещества

Белковые вещества				Липиды			Углеводы			Вольность	
глютеин	альбумины и глобулины	итого	свободные	связанные	итого	крахмал	сахар	клетчатка	итого		
39,09	6,75	80,91	4,20	—	4,20	9,44	—	2,02	11,46	2,48	
—	—	72,67	0,75	6,30	7,05	—	—	—	18,82	0,63	
—	—	82,60	0,12	8,38	8,50	8,79	—	—	8,79	0,71	
50,20	3,35	88,40	2,12	—	2,12	6,72	1,20	—	7,92	0,92	
43,02	4,41	86,53	2,80	—	2,80	6,45	2,13	—	8,58	2,00	
—	—	90,00	—	8,00	8,00	0,01	—	—	0,01	0,50	
—	5,30	79,00	2,91	4,19	7,10	7,28	1,20	1,08	9,56	2,80	
<i>В среднем</i>											
43,5	36,0	83,5	1,0	6,0	7,0	6,0	1,3	1,3	8,6	0,9	

Аминокислотный состав белков клейковины пшеницы,  
г на 100 г белка, содержащего 17,5% азота

Наименование	Содержание	Наименование	Содержание
Лизин	2,08	Аланин	3,11
Гистидин	2,47	Цистин (1/2)	2,53
Аргинин	4,83	Валин	5,59
Аспарагиновая кислота	3,84	Метионин	1,83
Треонин	3,15	Изолейцин	4,96
Серин	5,28	Лейцин	8,52
Глютаминовая кислота	43,79	Тирозин	4,08
Пролин	15,89	Фенилаланин	6,09
Глицин	4,13	Аммиак	2,70

ны нельзя объяснить особенностями аминокислотного состава клейковинных белков.

Различают выход сырой и сухой клейковины. В зерне, в клетках эндосперма, содержащих клейковинные белки, глиадин и глютенин находятся между собой в тесной связи. При увлажнении муки в ней образуется как бы сетка, состоящая из набухших в воде и теснейшим образом переплетенных между собой молекул глиадина и глютеина, а в просветах этой сетки заключена вода. Таким образом, клейковину можно рассматривать как набухший белковый комплекс, скрепляемый водородными, дисульфидными, солевыми и другими связями. Влияние на структуру клейковины оказывают также гидрофобные взаимодействия.

Удельная растяжимость крепкой, нормальной и слабой клейковины снижается в результате дейтерирования соответственно на 59,4–66,0 и 77,4% от ее величины, измеряемой при использовании обычной воды. При замешивании теста на тяжелой воде (99,78% D<sub>2</sub>O) укрепление клейковины происходит тем больше, чем слабее исходная клейковина. Укрепление клейковины под влиянием D<sub>2</sub>O объясняется суммарным увеличением прочности водородных связей в клейковинном белке при замещении атомов водорода дейтерием.

В настоящее время с помощью современных методов разделения белков показано, что глиадин и глютенин состоят из ряда белков, различающихся по своей молекулярной массе и по аминокислотному составу. Удалось разделить глиадин на

четыре основные фракции, обозначаемые как  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - и  $\omega$ -компоненты.

В свою очередь каждый из этих компонентов может быть разделен на ряд индивидуальных белков, молекулярные массы которых колеблются в пределах от 30000 до 160000. Глютеин также состоит из ряда белковых компонентов, молекулярная масса которых значительно выше — 2–3 млн и больше.

Компоненты глиаина несколько различаются между собой по аминокислотному составу. Характерная особенность всех глиаиновых фракций — высокое содержание в них остатков глутаминовой кислоты (свыше 40%), пролина (свыше 20%) и малое число ионогенных групп, поскольку дикарбоновые кислоты почти полностью амидированы, а содержание основных аминокислотных остатков невелико. Наиболее отличаются по аминокислотному составу  $\omega$ -глиаины, не содержащие метионина. Значительно меньше изучена другая фракция клейковинного белка — глютеин.

Седиментационные измерения показали, что глютеин весьма гетерогенен по молекулярной массе. Он состоит из многих белковых компонентов с молекулярной массой от 50 000 до 3 000 000. Электрофорез в крахмальном и полиакриламидном геле неприменим для анализа глютеина, молекулы которого не мигрируют в гель и остаются на месте. По среднему аминокислотному составу глютеин близок к глиаину, однако между ними имеются характерные различия. Глютеин богаче глиаина основными аминокислотами (серином, треонином), глицином, триптофаном и тирозином, но беднее глутаминовой кислотой, пролином и фенилаланином.

Сравнительное исследование пептидов, полученных при протеолизе глиаина и глютеина методом хроматографии, показало, что белки обеих фракций имеют участки полипептидных цепей с идентичной последовательностью аминокислотных остатков наряду с другими участками, первичная структура которых специфична для каждого белка.

Вследствие различий в первичной структуре молекулы глютеина значительно сильнее ионизированы по сравнению с глиаином как в кислых, так и в щелочных растворах. Внутримолекулярные дисульфидные и водородные связи, образуемые

многочисленными амидными группами, наряду с низким содержанием ионизированных групп стабилизируют относительно компактную конформацию глиадиновых молекул в растворе. В отличие от глиадина, молекулы глютеина характеризуются в растворах более рыхлой, слабо стабилизированной конформацией, свойственной высокомолекулярным полиэлектролитам в состоянии «беспорядочного клубка». В зависимости от pH, ионной силы, состава растворителя и других факторов молекулы глютеина изменяют свою конформацию в растворе в большей степени, чем относительно более стабильные молекулы глиадина.

Глутенин и глиадин в отдельности не обладают характерными реологическими свойствами клейковины, и только соединение их в едином комплексе создает клейковинный белок со всеми присущими ему особенностями. Определено, что около половины полипептидных цепочек клейковины связана дисульфидными мостиками, образуя полимерные молекулы разной молекулярной массы, суммарно называемых глютеином. Вторая половина клейковины — глиадин — представлена в основном единичными полипептидными цепочками с внутримолекулярными дисульфидными мостиками (рис. 14). Существенную роль в формировании клейковины играют нековалентные формы взаимодействия (водородные, солевые или ионные, а также гидрофобные взаимодействия).

Обилие нековалентных связей, легко разрываемых и вновь возникающих при различных воздействиях на белок, создает основу реологических свойств нативной клейковины — упругость, эластичность, связность, способность к обратимому растяжению (упругой деформации).

Клейковина в некоторых средах полностью растворяется. В этом случае разрываются связи между одинаковыми по составу частицами клейковинного белка и происходит замена их связями клейковина — растворитель. В других растворителях происходит разрушение внутренней структуры белкового комплекса клейковины — разрыв связей между его компонентами. Обнаружена неодинаковая растворимость клейковины разного качества в определенных растворителях: чем крепче клейковина, тем ниже ее растворимость. Например, в 12%-ном водном растворе салицилата натрия крепкая клейковина

растворяется на 65–78%, клейковина нормальная — на 80–90%, а слабая — на 91–97%. Из этих данных вытекает, что крепкая клейковина отличается от слабой большей компактностью растворенных частиц и меньшей степенью их асимметрии, что наглядно видно из величины удельного гидродинамического объема (объема, занимаемого в растворе гидратированным белком в расчете на единицу массы сухого белка):

	Слабая клейковина	Крепкая клейковина
Характеристическая вязкость, ( $\eta$ ), 100/мл/г*	0,31	0,24
Удельный гидродинамический объем, мл/г	7,4	6,0
Осевое отношение, в/а	16,1	13,6

До сих пор нет общепринятого представления о времени и месте формирования клейковины. Одни исследователи утверждают, что клейковина образуется при отмывании клейковины из размолотого зерна в результате коллоидного процесса набухания и агрегации белковых веществ.

Другие — и таких большинство — убеждены в том, что клейковина синтезируется одновременно с общим ходом созревания зерна.

Известные многочисленные теории формирования строения и качества клейковины можно объединить в три группы.

**Первая группа.** Исследователи рассматривали в разных вариантах клейковину как комплекс двух белков — глиадина и глютеина. Усилия авторов были направлены на выяснение характера связи между ними, их взаимное расположение в составе клейковины, а также роль того и другого компонента в придании определенных свойств клейковины как единому целому. Многие работы посвящены составу того и другого белка, особенностям их взаимодействия. Было постепенно выяснено, что в структуре клейковины существенную роль играют нековалентные взаимодействия в полипептидных цепях — водородные, солевые (ионные) связи, гидрофобное взаимодействие.

\* Характеристическая вязкость ( $\eta$ )- мера гидродинамического сопротивления потоку молекул высокополимера (в данном случае клейковины). Гидродинамическое сопротивление — сила, возникающая при движении тела в жидкости или несжимаемом газе, а также при течении жидкости или газа в канале.

Накоплен большой экспериментный материал, но выраженных характерных особенностей того и другого, определяющих технологическое достоинство, обнаружить не удалось.

**Вторая группа** теорий строения клейковины расширяет представления о клейковине как о комплексе глиаина и глюteniна участием в образовании структуры клейковины других ее компонентов.

Сложились две группы исследователей. Одни авторы утверждают, что все вещества, обнаруженные в клейковине, обладают способностью влиять на ее структуру и свойства, но являются примесями и химически не входят в ее состав. Другие считают, что все они химически связаны с основными белками глиадином и глютеином, входят в состав клейковины на равных правах с ними.

Многие исследователи поддерживают механизм образования клейковины, при котором около половины полипептидных цепей связаны дисульфидными мостиками, что приводит к полимерным молекулам разной молекулярной массы, суммарно называемой глютеином. Белок глиадин представлен в основном единичными цепями с внутримолекулярными дисульфидными мостиками. Полипептидные цепи глиаина в разных местах соединяются с полимеризованными молекулами глютеиновой фракции, объединяя их в сложную трехмерную сетку, переплетающихся полипептидных цепей (рис. 14). Связи между глиадином и глютеином носят нековалентный характер (водородные, солевые или ионные, гидрофобные взаимодействия).

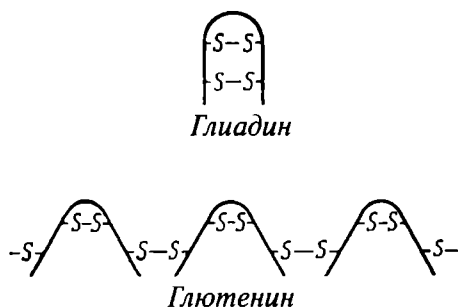


Рис. 14. Дисульфидные связи в глиадине и глютеине

Изучали содержащиеся в клейковине липиды (природные и гидрогенизированные), различные другие белки, липопротеины, гликолипиды, производные диацилглицерофосфорной кислоты (фосфатидных кислот), входящих в состав зерна в виде кальциевых и магниевых солей, богатых фос-



фором, крахмалом, минеральные вещества, хлоропласты и др. Наиболее широко изучалось влияние на структуру и свойства клейковины липидов с далеко идущим предложением — рассматривать клейковину как липидбелковый комплекс с ведущей ролью в формировании клейковины липидов. И по этой группе исследований оказалось невозможным установить конкретные данные, обеспечивающие практическую возможность регулировать структуру и свойства клейковины.

**Третья группа** теорий о структуре клейковины объединяет усилия авторов, строящих свои выводы на углубленной основе с применением современных научных методов, применяемых в научных исследованиях на молекулярном уровне (хроматография, электрофорез, гельфильтрация на сефадексах, действие ферментов и др.).

В исследованиях были использованы также такие понятия и методы как комплементарность\* белковых веществ, разделение белков методами электрофоретического изучения на четыре зоны, соответствующие биохимические фракции ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ) с номенклатурой и системой записи спектров белков, применение иммунохимического\*\* анализа, влияние липопротеиновых структурных мембран и т. д. Несмотря на богатство примененных методов в раскрытии ранее неизвестных особенностей клейковины, проведенные исследования также не решили главной проблемы клейковины — надежных средств регулирования и улучшения ее технологических свойств.

Исследователи, работающие с клейковиной, не замечают и не учитывают, что такой клейковины, какую они получают при отмывании из размолотого зерна, нет в зерновке.

Выделенная из зерна клейковина является для него чем-то инородным. В зерне не существует однородного тестовидного

---

\* Комплементарность — взаимное соответствие в химическом строении двух макромолекул, обеспечивающих их взаимодействие (например, спаривание двух нитей ДНК, соединение фермента с субстратом и др.).

\*\* Иммунитет — невосприимчивость организма к инфекционным агентам и чужеродным веществам, обусловленная наследственно закрепленными особенностями организма; иммунохимия изучает химический механизм иммунологических реакций и участвующих в них компонентов (главным образом белков и полисахаридов).

куска и даже его частей. Мельчайшие разнообразные по составу частицы, главным образом на клеточном и межклеточном уровнях будущей отмытой клейковины пронизывают все тело зерновки, точнее его эндосперм. Клейковина в куске образуется при двух обязательных условиях: вычленение частиц будущей клейковины из сложного состава мучнистого ядра зерновки и обеспечение достаточным количеством воды для их набухания, в ходе которого в образующейся отмываемой массе происходят многочисленные процессы, которых в ней не было, когда эти ее частицы были в зерне или они проходили по другому: биохимические с участием ферментов, коллоидные, физические.

Состав и свойства клейковины радикально изменяются во времени. Очень важно различать изменения зерна и клейковины в поле и после уборки урожая.

В зерне и содержащейся в нем клейковине, утративших связь с почвой и колосом, процессы динамического изменения состава и физических свойств клейковины, начавшиеся еще в зерне, созревающим на корню продолжают во время нахождения в валках, при хранении на хлебоприемном предприятии в период его дозревания и дальнейшем хранении.

Большие изменения состава, состояния и качества клейковины происходят при переработке зерна в муку и крупу и особенно глубокие при тестоведении, главным образом под воздействием разнообразных ферментов. Отличительная особенность накопления огромных научно-экспериментальных материалов по составу и строению клейковины — постоянная противоречивость, лишающая возможности выявить общее в них, что позволило бы выбрать конкретные пути регулирования и улучшения ее технологических свойств. Существуют изначальные закономерности формирования зерна и клейковины, их состава, структуры и свойств, объединяющих трудно улавливаемые природные безграничные противоречивые варьирования. В них заложены базовые причины неудач исследований проблемы клейковины, имеющей огромную практическую значимость.

**Первая причина.** Формирование зерна и клейковины, их состава, структуры и свойств определяется взаимодействием генотипа и внешних условий выращивания зерна (почвенно-климатических, агротехнических), составляющим его

фенотип\* Как показал выдающийся естествоиспытатель Н.И. Вавилов, на благоприятном агрофоне первостепенное значение имеет генотип, а на скудном агрофоне — внешние условия выращивания зерна.

**Вторая причина.** Составляющие зерно вещества находятся во взаимной связи, состоянии динамического обмена. Изменение каждого из них влечет за собой ответное изменение группы других, в целом онтогенеза и качества зерна.

**Третья причина.** Вода — среда и активный участник всех жизненных процессов в зерне. Тотальное значение воды заключается в том, что ее количество и уровень энергии связи с сухим субстратом в сочетании с температурой определяют активные ферментные системы — движущие силы абсолютного большинства процессов в зерне. Вода выполняет роль пускового механизма ферментов и регулятора интенсивности их действия.

Сложный химический состав зерна, огромное разнообразие биологически скоординированных во времени, пространстве и последовательности непрерывно протекающих в нем с различной интенсивностью физико-химических и биохимических процессов составляют неустойчивую основу его технологического качества — мукомольного и хлебопекарного. Поиск совершенного способа оценки технологического качества клейковины, мукомольного и хлебопекарного достоинства пшеничного зерна и муки лежит на путях компьютеризации. Выявление взаимных связей, решающих фактор качества зерна и муки, а также математическое их описание, дополненное экспертными оценками самых знающих и умелых специалистов, заложенные в компьютер, дадут безошибочную и интегральную их технологическую оценку в любом сочетании исходных данных.

Для компьютерной оценки качества зерна пшеницы не по одной клейковине, а по количеству признаков уже имеются реальные предпосылки. Многое сделано в этой области за рубежом. Требуется расширить работы отечественных ученых по компьютеризации оценки качества зерна.

---

\* Фенотип — совокупность всех признаков и свойств особи (каждого растения), формирующихся в процессе взаимодействия ее генотипа и внешней среды.

## § 15. КЛЕЙКОВИНА И ФЕРМЕНТЫ

Начальная биологическая единица — клетка и отдельная молекула биологического вещества обладают компьютерными свойствами. В ходе ферментативной реакции за время около 100 мкс молекула фермента распознает среди большого числа окружающих ее молекул различных веществ определенный объект — молекулу субстрата, присоединяет ее, превращая в продукт, или высвобождая из субстрата. Не может быть в стороне от формирования клейковины ферментная система зерна. Клейковинный комплекс и его агрегирование происходит в ходе синтеза всех других веществ зерна: клейковинообразующие белки не могут ждать, когда их будут отмывать. Сама клейковина обладает ферментативной активностью. В клейковине экспериментально установлена активность протеаз,  $\beta$ -амилазы, *o*-дифенолоксидазы (монофенол-монооксигеназы), каталазы. Установлена большая роль дисульфидных связей ( $-S-S-$ ) и сульфгидрильных групп ( $-SH$ ) в структуре и свойствах клейковины. Обе эти химические группы включены в ферментативный тиол\* — дисульфидный обмен, который представляет собой сложную совокупность последовательных окислительно-восстановительных превращений, происходящих с участием дисульфидных связей и  $SH$  — групп белковых молекул и низкомолекулярных соединений.

В конце XX столетия в Сибирском институте физиологии и биохимии растений выполнено исследование, выдвинувшее концепцию формирования белкового комплекса клейковины пшеницы, основанной на регуляторной функции ферментов тиол-дисульфидного обмена. Показано, что в развивающихся зерновках функционирует специализированная система ферментов, катализирующая образование дисульфидных связей в белках (тиол: кислородредуктаза), их диссоциацию (тиол: протеин-дисульфидоксиредуктаза) и перегруппировку (тиол: протеин-дисульфидизомераза). Как установлено ранее выполненными работами с высокой активностью в тиол:дисульфидном обмене клейковины принимает участие трипептид глутати-

\* Ти... — приставка в названии сернистых аналогов кислородсодержащих соединений.



даются с одновременным увеличением сульфгидрильных групп и ослаблением качества клейковины.

Разработан способ ферментативного улучшения хлебопечного качества пшеничной муки.

Берут небольшое количество растительного масла и небольшое количество соевой муки, особенно богатой ферментом липоксигеназой, затем энергично размешивают эту смесь и вносят в пшеничное тесто. Липоксигеназа окисляет кислородом воздуха ненасыщенные жирные кислоты. При этом кислород присоединяется к двойным связям жирных кислот, образуя их перекиси (пероксиды), обладающие очень сильным окисляющим действием. Гидроперекиси жирных кислот укрепляют клейковину муки, улучшают ее физические свойства. При действии гидроперекисей на каротиноиды тесто желтокремового цвета становится более светлым. Такое же благоприятное действие на хлебопечное качество оказывает отлежка свежесмолотой муки в течение двух-трех недель. В том и другом случае это связано с образованием небольшого количества гидроперекисей — первым этапом действия липоксигеназы на ненасыщенные жирные кислоты муки и теста. Более длительные сроки хранения свежесмолотой муки и увеличенные количества примешивания соевой муки, т. е. использование большей дозы фермента липоксигеназы приводит к отрицательным результатам. Гидроперекиси окисляют другие вещества пшеничной муки, в первую очередь жир, с образованием альдегидов и кетонов, которые придают продуктам неприятный вкус и запах. В этом заключается сущность прогоркания муки и крупы.

## **§ 16. СМЕШИВАНИЕ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ С КЛЕЙКОВИНОЙ РАЗНОГО КАЧЕСТВА**

Технологи большое внимание уделяют смесительной ценности зерна пшеницы. Смешивание партий зерна с различными качественными показателями рассматривается как эффективный способ повышения технологического достоинства зерна пшеницы. Под смесительной ценностью понимают способность зерна сильной пшеницы улучшать в смеси хлебопечные качества слабой пшеницы. Смес-

тельную ценность определяют проведением пробной лабораторной выпечки хлеба с повторным промесом теста из смеси муки того и другого зерна в соотношении 50:50. Муку из слабой пшеницы используют 70%-ного выхода или хлебопекарную 1-го сорта с содержанием клейковины не более 20% и качеством II группы слабой.

Показатель смесительной ценности (СЦ) вычисляют по формуле:

$$СЦ = \frac{V_0 - V_1}{V_1}$$

где  $V_0$  — объемный выход хлеба из смеси муки из сильной и слабой пшеницы в соотношении 50:50, см<sup>3</sup>;  $V_1$  — объемный выход хлеба из муки слабой пшеницы.

Величина изменения объема хлеба не в полной мере оценивает смесительную ценность зерна, т. к. позволяет судить только об одной ее части. Смешивание партий зерна разного качества решает более широкие производственные задачи.

Одни производственные требования к зерну предъявляют мукомольные заводы (объем очистки и подготовки зерна к размолу, выходы готовой продукции с качеством в пределах стандартных показателей, удельный расход энергии). По-другому оценивают муку предприятия, изготавливающие хлеб: им необходима мука высокого хлебопекарного достоинства с широким кругом признаков.

Мельзаводы, оценивая зерно с производственных позиций сложного превращения зерна в муку, одновременно призваны обеспечить высокие требования предприятий, вырабатывающих хлебные изделия. Свои сложности и требования к зерну у мельзаводов при макаронных помолах и макаронных фабрик к муке.

Неодинаковые требования к зерну при смешивании зерновых партий разного качества усложняются значительными колебаниями содержания количественного содержания и свойств отдельных веществ, составляющих зерно.

Наряду с белками, составляющими наибольшую часть клейковины, на хлебопекарное качество пшеничной муки оказывает большое влияние крахмал. На его долю приходится свы-

ше 60% в зерновке и почти 80% в эндосперме. Стекловидность, крупность, твердозерность связаны с различными размерами крахмальных гранул. В стекловидном эндосперме формируется больше средних и меньше мелких гранул крахмала, чем в мучнистом.

Высокое хлебопекарное достоинство зерна пшеницы связано с преобладанием зерен крахмала округлой формы над зернами крахмала ограненной формы.

Размеры крахмальных гранул в зерне неодинаковы: наиболее крупные находятся в зерновках самых больших размеров, по мере уменьшения размера зерновки ее крахмальные гранулы также уменьшаются. Набухаемость крахмальных гранул при уменьшении их размера снижается. Особенно низкий объемный выход хлеба при самых мелких крахмальных гранулах. С повышением водопоглощительной способности крахмала объем хлеба уменьшается. Смешивание партий зерна разного качества приводит не только к изменению соотношения компонентов составляющих клейковину, но и к их взаимодействию. Взаимодействия между всеми формами белков, богатых активными реакционными химическими группами на поверхности ее комплексных макромолекул, дают сочетание свойств клейковины, отличающихся от свойств сочетающихся белков из смешиваемого зерна. В такое взаимодействие вступают и все остальные составные части зерна (и муки) пшеницы, из которых наибольшую долю после белков в новые свойства клейковины и хлебопекарное качество смеси вносят крахмал и другие углеводы, а также липиды. При смешивании используют не только нормально созревшее зерно разного качества. В зерновую смесь входит также зерно с той или иной неполноценностью, не улавливаемой обычно применяемыми методами, но влияющей на технологическое достоинство зерна (пораженное клопами-черепашками, морозом, проросшее и др.), что сказывается на составе и качестве клейковины и зерна пшеницы в целом. Глубокие изменения в технологическое качество смеси вносят ферментные системы различного состава и силы разнокачественного зерна, вошедшего в смесь.

Утрата зерном всхожести, т. е. жизнеспособности, сопровождается глубоким изменением его физико-механических



и физиолого-биохимических свойств. Все признаки и свойства зерна при этом ухудшаются. Всхожесть, не являясь прямым признаком качества зерна продовольственного назначения, показывает степень сохранения зерном своих природных достоинств. Зерно, поступающее на хранение и переработку, как правило, имеет низкую всхожесть. Однако всхожесть его обычно не проверяется и не учитывается.

Наиболее частой причиной утраты всхожести является перегрев зерна. В результате перегрева снижается способность тканей зерна и особенно зародыша поглощать парообразную и капельно-жидкую влагу. Удлиняются сроки увлажнения зерна при кондиционировании. Наблюдается неравномерная влажность различных участков насыпи зерна, что может привести к гнездовому самосогреванию. Понижается механическая прочность зерна, что увеличивает его дробление, образование мучки, распыл, ухудшение товарного качества, снижает стойкость при хранении. Ослабляется интенсивность дыхания, нарушается координированное действие фермента каталазы, снижается растворимость белковых веществ. Все это способствует интенсивности развития микроорганизмов, увеличению количества токсичных веществ, снижению стойкости при хранении. Ослабляется иммунитет и сопротивляемость зерна внедрению в его ткани плесневых грибов, их количество увеличивается в несколько раз интенсивнее, чем на всхожем зерне. Технологические свойства ухудшаются: содержание и качество клейковины снижаются, увеличивается зольность и кислотность муки, физические свойства теста становятся хуже. Изменяются в худшую сторону объемный выход хлеба и его качество.

За рубежом для улучшения качества слабой пшеницы в помольную партию добавляют не только сильную пшеницу, но и сухую клейковину.

Развертывается отечественное производство сухой клейковины в нашей стране. Для выработки сухой клейковины рекомендуется использовать хлебопекарную муку второго сорта, получаемую при специальном 85%-ном помоле и муку второго сорта, получаемую из твердой пшеницы при сортовом помоле. Добавление в хлебопекарную муку 5% сухой

клейковины, содержащей белка от 75,4 до 81,2%, повышало удельный объем хлеба ( $\text{см}^3/100 \text{ г}$ ) на 2,4–9,5%, пористость на 2,5–3,9%, сжимаемость мякиша на 34–58%. При оптимальной продолжительности замеса теста объем контрольной пробы увеличивается до 3%, а при добавке сухой клейковины — до 13–31%.

Предложена технология производства с использованием сухой пшеничной клейковины кондитерских изделий, в том числе, галет, диетических и диабетических кексов.

Под смесительной ценностью в широком плане следует понимать способность веществ зерна пшеницы взаимодействовать с разнокачественным пшеничным зерном других (одной или нескольких) партий и давать при определенных их количественных соотношениях зерновую смесь заданного технологического качества. Учитывая крупномасштабную разнонаправленную природную изменчивость качества зерна и фактически сложившееся качественное состояние его при хранении, необходимые количественные соотношения зерновых партий, намечаемых к включению в смесь желаемого технологического достоинства, следует отбирать опытным путем в зерновой лаборатории помола в каждом отдельном случае.

Оценку смесительной ценности сильной и слабой пшеницы по одному показателю — клейковине следует рассматривать предварительной или проводить ее одновременно с определением интегральной технологической оценки смешиваемого зерна.

Технологическую оценку смешиваемых партий зерна можно проводить по ограниченному перечню показателей их фактического состояния и качества с учетом намечаемой производственной цели.

## **§17. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫХОД И КАЧЕСТВО КЛЕЙКОВИНЫ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ**

Выход клейковины и ее качественная характеристика, а, следовательно, и хлебопекарное достоинство пшеницы изменяются в очень широких пределах. Факторы, влияющие на

клейковину, можно объединить в три группы: внутренние причины, свойственные сорту (генетические); условия произрастания злакового растения и созревания зерна (экологические); действие физических и химических агентов, которыми обрабатывают зерно, муку или клейковину (экзогенные).

Сорт несет в себе совокупность всех наследственных факторов злакового растения, от которых в значительной мере зависит химический состав тканей растения, в том числе и его важнейшего репродуктивного органа — семени. В связи с этим становится понятным наблюдаемые наследственные различия сортов пшеницы по способности накапливать в одних и тех же условиях определенное количество белка и клейковины. Экспериментально проверены генетические различия между сортами по уровню белковости и содержанию клейковины. Установлено, что доля генотипической изменчивости достаточно высока и составляет 48% по содержанию белка и 43% по содержанию сырой клейковины от общей изменчивости.

Обнаружена сортовая устойчивость содержания глиадиновой фракции в клейковине. Можно говорить о полноценности белка как о сортовом признаке. Доказана роль определенных хромосом и генов в наследовании содержания белка в зерне пшеницы. Работы по изучению генетической (сортовой) зависимости содержания и качества белка и клейковины расширяются.

Получены данные о том, что компонентный состав глиадина, глютеина и консистенция эндосперма являются важнейшими факторами, обуславливающими генетический уровень качества муки, в том числе по таким показателям, как седиментация, сила муки, водопоглотительная способность, объем хлеба. Выявлено, что основную роль в накоплении белка в зерне пшеницы и формировании его качества играют гены ядра. Получена замещенная линия\* сорта Одесская 26, в которую введена чужеродная хромосома линии пшеницы 168. В замещенной линии значительно увеличилось содержание клей-

---

\* Линия — потомство одного гомозиготного самоопыляющегося растения, размножающегося половым путем. Гомозиготный организм — особь, содержащая в клетках тела одинаковые гены.

ковины, но физические свойства теста резко ухудшились. Таким образом, селекция способна увеличить содержание белка в зерне пшеницы, но может при этом ухудшить физические свойства клейковины. Это направление обеспечивает лишь создание высокобелковых форм фуражной пшеницы, относящихся к высокопотенциальному, преимущественно полукарликовому типу\*.

Со временем с помощью цитогенетических методов у зерна пшеницы можно будет направленно регулировать уровень содержания и качество белка и клейковины, а также их аминокислотный состав. Решающее влияние на содержание и качество клейковины оказывают почвенно-климатические условия выращивания пшеницы. Эти условия могут сильно исказить количественную и качественную характеристику белкового комплекса как наследственного признака.

Между содержанием белка и влажностью (количеством осадков на протяжении вегетационного периода) наблюдается устойчивая обратная зависимость: чем выше влажность, тем ниже содержание накопленного белка. Высокая влажность, обеспечивающая повышенные урожаи, обычно ведет к снижению белковости зерна и, следовательно, его пищевой ценности. Выдающийся российский агрохимик и биохимик Прянишников показал, что зерно при большой влажности беднее азотом, так как растению приходится образовывать гораздо большее число зерен при том же запасе азота в почве, что и при малой влажности. Он определил пути предотвращения обеднения зерна белком с ростом урожайности. Если с увеличением влажности повысить уровень питания азотом, то можно предупредить снижение белковости зерна даже при резком увеличении урожая.

Практика подтвердила правильность этого положения — можно регулировать содержание белковых веществ в зерне, умело применяя азотистые удобрения, орошение и сортовые особенности. Наука и практика выявили, что влияние запасов азота в почве на количество и качество белка и клейковины пшеницы проявляется не однозначно, а носит сложный ха-

---

\* Карликовые формы растений — низкорослые, обычно скороспелые растения, имеющие низкое отношение зерна к соломе.

ракти. Различное содержание белка в зерне в условиях обильного или недостаточного увлажнения зависит не только от содержания азота в почве, но и от многих других факторов: величины, структуры урожая (соотношение между корнями и надземной массой), особенностей углеводного обмена и кислородного режима, влияющих на характер и интенсивность процессов поглощения и усвоения азота растением и др.

Так как синтез белковых веществ связан с затратой энергии, температурные условия вегетационного периода пшеницы, особенно в период формирования и налива зерна, оказывают влияние на формирование качества зерна пшеницы. Вегетационными опытами показано, что снижение температуры с 35 до 20 °С уменьшает содержание белка в зерне яровой пшеницы с 15,5 до 12,2%. В годы с сухим и жарким летом сила пшеничной муки всегда значительно выше, чем в годы с обильными осадками и пониженной температурой.

Связность белкового комплекса и стойкость теста при брожении в зависимости от условий роста и развития растения пшеницы, особенно в период созревания и налива зерна, изменяются более чем в два раза. На количество и особенно качество клейковины в период вегетации большое влияние оказывают вредители (клоп-черепашка, пшеничный трипс и др.) и болезни, а также неблагоприятные условия произрастания (засуха, действие заморозков). Велика роль агротехнических приемов: способов и сроков обработки почвы; количества и состава удобрений; сроков, дозы и способов их внесения; предшественников, орошения, сроков и способов уборки и т. д.

Разнообразны средства, при помощи которых можно изменить выход и качество клейковины после того, как зерно пшеницы убрали с поля (при обработке и переработке). На количество и состав клейковины влияют степень раздробленности муки (ее крупность), соотношение между количеством воды и муки при замесе куска теста, продолжительность и температура отлежки теста, промывная жидкость и ее состав, способ и продолжительность отмывания (результаты отмывания клейковины во многом зависят от навыков и умения лаборанта).

Жидкость, применяемая для отмывания клейковины, имеет большое значение, так как клейковинные белки способны

растворяются в различных жидкостях неодинаково. Так, в зависимости от состава промывной жидкости количественное соотношение глютеина и глиаина изменялось от 1,61 (отмывание 0,001%-ным водным раствором бромата калия) до 6,13 (отмывание водой). Дистиллированная вода значительно снижает выход сухой клейковины в результате перехода в раствор клейковинных белков, главным образом глиаина, обладающего заметной растворимостью в дистиллированной воде. Известную роль в переходе белков клейковины в раствор играет также повышенная растворимость диоксида углерода воздуха в дистиллированной воде.

Солевые растворы и водопроводная вода значительно меньше растворяют клейковинные белки. Соли укрепляют клейковину, делают ее более упругой, менее растяжимой. Практически наиболее удобно применять водопроводную воду. Установлено влияние химического состава воды (содержание и состав растворенных в ней солей) на количество и качество отмываемой клейковины. Выход клейковины из одной и той же пробы муки различен в зависимости от жесткости воды. Расхождение достигает 3,7%.

При отмывании клейковины из зерна пшеницы Безостая 1 дистиллированной и водопроводной водой, взятой в г. Краснодаре, жесткостью 4,1 мг/эquiv и в станице Каневской, жесткостью 0,52 мг/эquiv получен выход (%): 27,9; 29,5; 27,0. Неодинаковым оказалось и качество клейковины (в единицах прибора ИДК): 70,8; 85,5; 73,5. Значение имеет не только общая жесткость воды, но и ее состав — содержание в воде одновалентных катионов  $K^+$  и  $Na^+$  и двухвалентных  $Mg^{++}$  и особенно  $Ca^{++}$ . Увеличение продолжительности отлежки замешенного теста значительно повышает выход клейковины из морозобойного и пересушенного зерна, особенно в течение первых 20—30 мин. Это следствие того, что в таком зерне белки менее гидрофильны и требуют большего времени для набухания, предшествующего образованию связной клейковины.

Большое значение имеет содержание в муке ненасыщенных жирных кислот: олеиновой, линолевой и линоленовой. Эти кислоты и их соли оказывают сильное укрепляющее действие на клейковину. Присутствие ничтожного количества этих кис-

лот делает клейковину упругой, малорастяжимой и даже крошащейся. Это имеет большое значение при хранении пшеничной муки, в процессе ее так называемого созревания. Подобное действие ненасыщенных жирных кислот объясняется влиянием на клейковину продуктов их окисления. Качество клейковины в значительной степени зависит от повышенных температур при сушке и горячем кондиционировании зерна, при котором зерно перед помолом увлажняется, а затем прогревается в кондиционерах. Повышенные температуры укрепляют клейковину, она становится менее растяжимой и более упругой. Если температура нагрева зерна слишком высокая, белки клейковины свертываются, денатурируются, и тогда отмыть ее уже нельзя. Зерно, подвергшееся действию слишком высоких температур, теряет свои первоначальные хлебопекарные достоинства.

На качество клейковины большое влияние оказывают вещества, содержащие сульфгидрильные группы,  $-SH$ . Эти вещества при добавлении их в небольшом количестве к муке или к тесту резко ухудшают качество клейковины и теста, вызывают их расплывание и разжижение (рис. 15). Среди соединений, содержащих группу  $-SH$ , нужно особенно отметить уже рассмотренные ранее аминокислоты цистеин и глутатион. Глутатион представляет особый интерес, так как содержится в довольно большом количестве в зародыше пшеничного зерна (0,45%), а также в дрожжах (особенно старых). Глутатион оказывает на клейковину сильное разжижающее действие — клейковина и тесто расплываются и ослабевают. Отрицательное влияние на клейковину оказывает только восстановленная форма глутатиона ( $\Gamma - SH$ ).



Рис. 15. Влияние глутатиона на клейковину:

*а* — клейковина теста, приготовленного без глутатиона; *б* — клейковина теста, отмытая из теста, к которому перед замесом было прибавлено небольшое количество восстановленного глутатиона

Разжижающее действие цистеина и глутатиона на тесто и клейковину обычно объясняли тем, что эти вещества активизируют протеолитические ферменты муки, которые начинают энергично расщеплять белки клейковины. Опыты, проведенные вне действия протеолитических ферментов, показали, что цистеин или глутатион вызывают немедленное расплывание клейковины. Сульфгидрильные соединения оказывают действие непосредственно на белки клейковины, вызывая глубокое изменение их физических свойств.

Качество клейковины зависит также от действия протеолитических ферментов. Под их влиянием клейковина теряет свои первоначальные физические свойства, разжижается и иногда становится неотмываемой. Это явление наблюдается у муки, полученной из зерна, пораженного клопами-черепашками. Из такой муки нельзя отмыть клейковину потому, что клопы-черепашки, накалывая созревающее зерно, впускают в него слюну, содержащую активный протеолитический фермент. Внесенный в зерно протеолитический фермент сохраняется в нем, фермент начинает действовать, разрушая белки клейковины в приготовленном из такой муки тесте. В зернах злаковых и семенах бобовых культур содержатся белки-ингибиторы, способные соединяться с протеолитическими ферментами, снижая их активность, что также может сказываться на качестве клейковины.

В эндосперме пшеничного зерна клейковина распределена неравномерно (рис. 16). Больше всего клейковины в наружном слое эндосперма, в следующих меньше, совсем мало во

внутренних слоях. Таким образом, мука, полученная из наружных слоев, более богата клейковиной, чем мука из внутренних слоев эндосперма. На изменение реологических свойств клейковины существенное влияние оказывает фермент протейндисульфидредуктаза, расщепляющая дисульфидные мостики в клейковине; активность фермента повышается в проросшем и недозревшем зерне. Интенсивная меха-

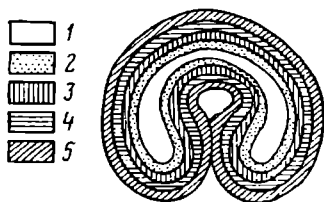


Рис. 16. Распределение клейковины в различных слоях эндосперма:

1 — 7,4%; 2 — 8,6%; 3 — 9,5%;  
4 — 13,2%; 5 — 16,5%



ническая обработка пшеничной муки с использованием шаровой мельницы оказывает необычайно сильное воздействие на клейковину, резко укрепляя ее. Цвет клейковины не сказывается на упругих свойствах и на хлебопекарном достоинстве пшеничной муки.

Немецкий исследователь Гесс выдвинул теорию микро- и субмикроструктуры эндосперма пшеницы. При обработке муки высшего сорта органическими жидкостями с относительной плотностью около 1,38 он выделил две фракции белка. Одна из них состоит почти из чистого белка и в неразрушенном зерне составляет сплошную основу (подложку), в которой распределены зерна крахмала. При исследовании в электронном микроскопе этот белок имеет вид бесструктурных пластинок. Гесс назвал эту фракцию белка промежуточным, или клиновидным белком — цвикельпротеином (Zwickelprotein). Вторая фракция белка плотно прикреплена к поверхности крахмальных зерен, ее не удается выделить даже после измельчения муки на шаровой мельнице. По Гессу прикрепленный белок — хафтпротеин (Haftprotein), имеет фибриллярную структуру. Российские исследователи подтвердили наличие двух фракций белка в эндосперме пшеницы. Гесс утверждал, что прикрепленный белок не может формировать сам по себе клейковину, но участвует в ее образовании вместе с промежуточным белком, обуславливая газодерживающую способность набухшей клейковины. Российские исследователи убедились, что оба типа белка образуют нормальную клейковину. Они доказали также, что из стекловидного эндосперма даже после энергичного механического воздействия шаров вибрационной мельницы фракционированием (по Гессу) извлекается меньше промежуточного белка, чем из мучнистого. Азот этой фракции из зерна мучнистой пшеницы составляет в среднем 36,8% общего азота муки, а из зерна стекловидной пшеницы — 12,03% (в три раза меньше). Отсюда вытекает зависимость количественного соотношения между промежуточным и прикрепленным белком от консистенции зерновки.

В стекловидном эндосперме зерна белковая подложка прочно связана с крахмалом. При разрушении такого эндосперма крахмальные зерна раскалываются вместе с окружающим их белком.

В мучнистом эндосперме крахмальные зерна слабо связаны со слоем прикрепленного белка, промежутки между зёрнами крахмала легко освобождаются от окружающего их белка. Белковые фракции, получаемые по Гессу, охарактеризованы недостаточно. При измельчении стекловидный эндосперм разрушается по линиям между группами клеток, а содержимое клеток сохраняется как организованное целое даже при разрушении клеточных оболочек.

При измельчении мучнистого эндосперма его клетки разрушаются полностью, их содержимое высыпается наружу. Частицы муки из такого эндосперма лишены клеточной структуры. Отсюда становятся понятными физические различия между крупчатой мукой из стекловидного эндосперма и мажущейся из мучнистого.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Какие элементы и в каком количестве входят в состав белков?
2. Каковы свойства и биологическая роль белков в организме?
3. Какие аминокислоты входят в состав белков?
4. Какие основные формы связей в белке существуют?
5. В чем состоит пространственная организация белковой молекулы?
6. Как классифицируются белки?
7. Что представляет собой небелковый азот?
8. Что представляют собой запасные белки?
9. Какие способы выделения белков существуют?
10. Какие белки называются биологически полноценными?
11. Что такое клейковина, каково ее значение, состав и свойства?
12. Какая пшеница называется сильной, средней, слабой?
13. В чем заключается смешительная ценность зерна пшеницы, от чего она зависит?
14. Какие методы определения количества и качества клейковины вы знаете?
15. Какие факторы влияют на выход и качество клейковины?

## БЕЛКИ ЗЕРНА ЗЛАКОВЫХ, СЕМЯН БОБОВЫХ И МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

### § 1. БЕЛКИ ЗЕРНА РЖИ

✓ По многолетним данным биохимической лаборатории ВИР, содержание белка в зерне ржи колеблется от 9 до 20%. В зависимости от места выращивания разница в содержании белка у одного и того же сорта может достигать 30% и более (табл. 12). Повышение процента белка в зерне ржи наблюдается с северо-запада на юго-восток и с севера на юг. По содержанию белка зерно ржи несколько уступает зерну пшеницы.

Аминокислотный состав белков озимой ржи разных лет урожая, сортов и районов произрастания показан в таблице 13. Белки зерна ржи несколько отличаются по аминокислотному составу от белков зерна пшеницы. Аминокислотный состав суммарных белков озимой ржи колеблется в значительных пределах в зависимости от сортовых особенностей и от усло-

Таблица 12

**Содержание белка в зерне озимой ржи, % (данные Госкомиссии  
по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур)**

Наименование	Число анализов	Содержание белка	Среднее содержание
Регионы России			
Северо-Западный	62	7,2–13,4	11,0
Центральный	163	8,2–14,2	11,5
Волго-Вятский	46	8,3–15,1	11,7
Центрально-Черноземный	73	8,4–14,7	11,2
Поволжский и Северо-Кавказский	83	9,3–17,4	13,5
Уральский	43	9,8–15,9	13,3
Западно-Сибирский	12	11,3–14,7	13,0
Восточно-Сибирский	19	10,7–19,4	14,3
Итого:	500		

**Аминокислотный состав белковых веществ озимой ржи Вятка Московская,  
% сухого вещества**

Наименование	Количество белка и аминокислот	Аминокислотный состав белка			
		целое зерно	эндосперм	алейроновый слой с эндоспермом	зародыш
Аспарагиновая кислота	6,23–9,81	6,57	6,21	6,72	8,30
Треонин	2,50–3,91	Нет сведений			
Серин	2,95–6,29	5,07	5,01	5,29	6,73
Глутаминовая кислота	20,53–35,15	Нет сведений			
Пролин	8,46–12,99	9,05	11,13	9,92	2,87
Глицин	3,69–5,23	–	4,74	5,07	8,45
Аланин	3,83–5,33	4,95	4,30	4,94	7,15
Валин	3,72–7,25	3,43	3,38	3,50	3,62
Изолейцин	2,70–4,31	10,24	9,98	10,32	9,45
Лейцин	5,43–9,46				
Тирозин	2,37–6,69	2,32	2,18	2,44	3,10
Фенилаланин	3,37–6,01	5,30	5,0	5,57	4,71
Лизин	3,0–5,0	4,35	3,73	4,46	7,21
Гистидин	0,84–2,75	2,25	1,94	2,18	4,13
Аргинин	4,41–7,69	5,53	4,80	5,69	2,37
Метионин	2,33–3,25	2,23	2,20	2,24	1,81
Аммиак	1,79–3,19	–	–	–	–
Белок, % сухого вещества (Nx5,7)	6,67–13,39	10,71	9,01	9,86	37,28

вий выращивания. Предшественники не оказывают существенного влияния на аминокислотный состав зерна. Колебания в содержании отдельных аминокислот в большинстве случаев находятся в пределах ошибок определения.

Белки зерна ржи в связи с более высоким содержанием незаменимых аминокислот — лизина, треонина и фенилаланина — более ценные в пищевом отношении, чем белки зерна пшеницы. Различий в аминокислотном составе зерна озимой и яровой ржи нет. Аминокислотный состав отдельных частей зерна ржи неодинаков. Белки алейронового слоя и зародыша значительно отличаются по составу от белков эндосперма. Они содержат больше лизина, гистидина, тирозина, серина. Их

биологическая ценность значительно выше, чем белков эндосперма. Различия аминокислотного состава белков зерна диплоидной и тетраплоидной ржи незначительны.

О фракционном составе белков зерна ржи можно судить по данным лаборатории биохимии ВИР, дополненным различными литературными источниками (табл. 14). В солевую вытяжку из тщательно растертой муки переходит до 53% азотистых веществ и среди них альбумины, глобулины и небелковые вещества. В зерне озимой ржи основных сортов разных лет урожая и разных районов произрастания содержание общего азота колеблется от 1,50 до 2,24%. Из них (% к общему азоту) соластворимых фракций белка (альбумин + глобулин) — от 36,46 до 46,65 и спирторастворимых — от 22,82 до 32,77. Если клейковина зерна пшеницы изучалась длительное время и о ее составе и свойствах накоплен обширный материал, то клейковина зерна ржи стала предметом углубленных исследований только во второй половине XX столетия.

При обычных условиях замеса теста из ржаной муки клейковина не отмывается, и на этом основании долгое время считали, что ржаная мука в отличие от пшеничной клейковины не содержит.

Первое сообщение о получении клейковины прямым отмыванием из ржаной муки появилось в 1945 г. В 1950—1955 гг. при экстрагировании белков слабыми органическими кислотами и осаждении их при нейтрализации была выделена клейковина зерна ржи.

Российские исследователи отмывали ржаную клейковину двумя способами. По первому способу клейковинные белки извлекают из сортовой ржаной муки слабыми кислотами (например, 0,01 нм раствором муравьиной кислоты). Смесь энер-

*Таблица 14*

**Состав белкового комплекса зерна ржи, % азота  
от суммы извлеченных азотистых веществ**

Содержание	Небелковые вещества	Альбу- мины	Глобу- лины	Гли- адины	Глюте- лины	Азот в зерне
Минимальное	5,0	23,0	15,0	16,5	8,0	1,9
Максимальное	12,0	39,0	29,3	47,8	22,0	2,4
Среднее	8,0	25,3	19,2	25,4	16,5	—

гично встряхивают и центрифугируют. После фильтрации через стеклянную вату жидкость осторожно нейтрализуют (например, насыщенным раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Выделяющийся при pH 5,8–6,0 осадок отделяют центрифугированием. Таким способом получили 5,3–9,3% сырой клейковины с влажностью 75–86,9%, выходом сухой клейковины 1,0–1,63% и содержанием белка в сухом веществе 85,90%. Клейковина ржи слабая и малоэластичная. При осторожном промывании водой из нее удаляется часть крахмала и много растворимых углеводов, главным образом слизей. При этом клейковина становится более крепкой, влажность ее уменьшается до 66,7%.

Второй способ заключается в отмывании клейковины из белковых фракций, полученных фракционированием белков муки в безводной среде методом Гесса. Клейковину выделяют из промежуточного белка, составляющего около 3,5% от массы муки. Промежуточный белок выделяют также из обогащенной белком (24%) фильтровой пыли пневматических мельниц, перерабатывающих зерно ржи. Выход промежуточного белка достигает 26% (от массы, взятой для анализа пыли) с содержанием белка 69,7–74,9%. Гидратация ржаной клейковины колеблется от 200 до 290%, удельная растяжимость — от 0,06 до 1,33 см/мин. Клейковина зерна ржи отличается от клейковины зерна пшеницы по цвету (светло-серый).

Применяемые методы не обеспечивают полного извлечения ржаной клейковины. Потери белков, содержащихся в муке, при отмывании клейковины достигают 50% и более. Поэтому вопрос о количественном содержании клейковины в зерне ржи и изменчивости этого признака пока недостаточно ясен.

Содержание клейковины в зерне ржи рассчитывают следующим образом. Составляют смесь из 80% пшеничной муки, содержащей не менее 26–27% клейковины нормального качества и 20% ржаной муки. Присутствие большой массы пшеничной клейковины способствует агрегатированию частиц ржаной клейковины и предохраняет их от вымывания. Из общего количества отмытой клейковины из смеси вычитают долю, приходящуюся на пшеничную клейковину. При исследовании этим способом 34 проб зерна ржи установлено: содержание белка — 9,6–17,9%, сырой клейковины — 6–

26% и сухой клейковины — 1,5–6,8%. Этот способ и применяемый расчет неточны, поскольку тот и другой, видимо, показывают лишь какое количество белков ржи входит в состав пшеничной клейковины.

Слизи оказывают существенное влияние на формирование клейковины зерна ржи. Высказывают предположение, что слизистые вещества не просто мешают частицам клейковины слипаться, но, вступая в соединение с белком, образуют растворимые в воде комплексы. Отрицательного влияния на образование клейковины ржи можно ожидать также от продуктов реакции растворимых белков с углеводами. Присутствие в зерне ржи гликопротеидов было известно раньше, возможно, эти вещества образуются в тесте.

Учитывая особенности образования и выделения клейковины зерна ржи, разработан метод ее прямого отмыwania. Муку (50 г) замешивают в виде суспензии на 1%-ном растворе  $K_2SO_4$  в 3%-ном  $NaCl$ . Из суспензии на сите с отверстиями 300–400 мкм частично удаляют оболочки. Суспензию 4–5 раз центрифугируют с повторными ее приготовлениями на том же растворе солей. Конечный осадок промывают водопроводной водой на шелковом (капроновом) сите. Выход клейковины при этом обычно составляет до 90% от теоретически возможного.

По физическим свойствам клейковина зерна ржи напоминает слабую клейковину зерна пшеницы с низкой упругостью и эластичностью. Растяжимость ее колеблется в очень широких пределах. В одних случаях она растягивается до тонкой нити, в других получается в виде рыхлой малосвязанной массы, которая быстро разрывается даже при слабом растягивании. Клейковина зерна ржи обладает гидратацией, превышающей гидратацию зерна пшеницы и ячменя (220–310%).

Физические свойства клейковины зерна ржи различных сортов и мест произрастания сильно отличаются. При определении белковых фракций методом последовательной экстракции 0,01 М раствором пирофосфата натрия (рН 7,0), 70%-ным этанолом и 0,2%-ным раствором едкого натра видно, что клейковина зерна ржи отличается от клейковины зерна пшеницы преобладанием спирторастворимой фракции над щелочерастворимой (табл. 15).

Сравнительный фракционный состав белков клейковины ржи и пшеницы,  
% от общего содержания азота

Наименование	Белок в клейковине, % сухого вещества	Фракции			
		пиро- фосфат натрия	спирто- раство- римая	щелоче- раство- римая	остаток
Озимая пшеница Мироновская 808	86,2	4,9	28,1	66,0	0,5
Озимая рожь гибридная	83,0	11,1	56,4	30,7	0,3

В белках зерна пшеницы на долю клейковинных фракций приходится 70–75% общего их содержания в зерне, а в белках зерна ржи они составляют лишь 40%. Большая часть белков зерна ржи растворяется в воде и слабых солевых растворах. В зерне пшеницы отношение глиадина к глютенину приблизительно составляет 1:1, ржи — 2:1. Глиадин ржи — гетерогенный белок, состоящий из восьми одноцепочных и трех многоцепочных компонентов. Главный компонент глиадина — белок с молекулярной массой 40000. Глютенин зерна ржи менее гетерогенен. Обнаружено, что увеличение его содержания сопровождается укреплением клейковины.

Содержание общего азота и белка в зерне снижается от периферии к центру. В периферическом слое эндосперма найдено белка 12,9%, а в центре его 6,2%. Содержание белка в зародыше самое большое (25,8%), он наиболее богат водо- и солерастворимыми белками (63,1%), в нем повышенное количество лизина (7,2%) и серина (6,7%). Наибольшее количество сырой клейковины сосредоточено в периферических слоях (7,8%), наименьшее — в центре зерновки (0,6%).

Клейковина, отмытая из различных частей зерновки, отличается по своим физическим свойствам, лучшая — из периферических слоев. Из зерна ржи с применением измельчения на шаровой мельнице были выделены фракции промежуточного (смесью хлороформа с бензолом) и прикрепленного (этиленхлоргидрином) белка. Они отличались по составу. Если в промежуточном белке содержание солерастворимой и спирторастворимой фракций мало различалось (24,7 и 27,2%), то в



прикрепленном белке соотношение этих фракций оказалось резко различным (50,8 и 26,4%). В аминокислотном составе фракций белка ржи наибольшие различия обнаружены по лизину (в промежуточном белке 2,73%, прикрепленном 4,58%), аланину (соответственно) 3,45 и 4,74% и цистину + цистеину 2,31 и 1,58%.

## **§ 2. БЕЛКИ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ**

Тритикале — новый ботанический род, первая искусственно созданная зерновая культура, полученная от скрещивания пшеницы (*Triticum*) и ржи (*Secale*). Разные формы тритикале являются пшенично-ржаными амфидиплоидами (АД). Большое внимание, уделяемое сейчас тритикале, вызвано тем, что этот гибрид объединяет в себе достоинства пшеницы и ржи — высокую продуктивность, повышенное содержание белка, стойкость к низким температурам и другим неблагоприятным факторам среды.

По содержанию белка зерно тритикале превосходит не только зерно ржи, но и зерно пшеницы. Зерно пшеницы Мироновская 808 в разные годы содержало белков 12,9–12,0% и зерно ржи Харьковская 55 — 11,3–10,2%. В зерне трехвидовых тритикале, полученных с участием названных родителей, содержание белков разных лет урожая оказалось: АД 201 — 16,0 и 13,8%, АД 196 — 16,3 и 13,6, АД 333 — 15,2 и 14,1. Более высокое содержание белка в зерне тритикале объясняется его повышенной шуплостью и относительно большим содержанием богатых белком алейронового слоя и зародыша. Из муки семи сортов тритикале отмывали клейковину в количестве 27,6...30,8%, в среднем 29,7%, которая имеет худшее качество, более слабая, чем клейковина зерна пшеницы, — показатели ИДК-1 составили 103–108.

Клейковина тритикале уступает клейковине зерна пшеницы также по набухаемости и растворимости в слабой уксусной кислоте. По фракционному составу белки тритикале в основном занимают промежуточное положение между белками зерна ржи и пшеницы. Белковый комплекс тритикале содержит большое количество альбуминов, унаследованное

Средний аминокислотный состав зерна пшеницы, ржи, тритикале,  
% от общего содержания белка

Наименование	Пшеница	Рожь	Тритикале	Наименование	Пшеница	Рожь	Тритикале
Лизин	3,00	4,09	3,50	Глицин	3,66	3,76	3,60
Гистидин	2,25	2,25	2,35	Аланин	3,62	4,56	3,98
Аргинин	4,36	4,79	5,22	Валин	4,11	4,55	4,22
Аспарагиновая кислота	4,98	6,92	5,80	Изолейцин	3,53	3,57	3,67
Треонин	2,68	3,06	2,80	Лейцин	6,38	6,36	6,88
Серин	3,90	3,81	3,74	Тирозин	2,46	1,99	2,29
Глютаминовая кислота	31,18	24,95	29,93	Фенилаланин	4,48	4,62	4,79
Пролин	9,46	11,0	12,01	Триптофан	1,07	1,07	1,00
				Аммиак	3,24	3,12	3,26

от ржи и большое количество проламинов, характерное для пшеницы.

Фракционный состав белков зерна тритикале по трем сортам из разных районов выращивания изменяется в значительных пределах (первые две цифры — пределы колебаний, третья — в среднем, %): альбумины 16,7–36,3, 25,2; глобулины 14,4–18,4, 16,0; проламины 7,3–26,0, 19,3; глютелины 22,9–31,1, 28,0; нерастворимый осадок 9,5–14,0, 11,5. Для сравнения приводятся данные о фракционном составе зерна пшеницы Мироновская 808 (первая цифра) и зерна ржи Харьковская 55 (вторая цифра, %): альбумины 17,2 и 36,3; глобулины 14,4 и 18,4; проламины 23,8 и 7,3; глютелины 34,2 и 22,9; нерастворимый остаток 10,2 и 14,0.

Электрофоретический анализ глютеина тритикале показал, что в нем присутствуют все субъединицы обеих родительских форм. В таблице 16 дан средний аминокислотный состав зерна пшеницы, ржи и тритикале. По содержанию аминокислот (в том числе по лизину, треонину, валину) белки зерна тритикале занимают промежуточное место между белками зерна пшеницы и ржи, по другим незаменимым аминокислотам (лейцин, изолейцин, фенилаланин) превосходят и лишь по триптофану уступают белку обоих родителей. Зерно тритикале в целом характеризуется высоким содержанием белка и его высоким качеством.

### § 3. БЕЛКИ ЗЕРНА ЯЧМЕНЯ

Содержание белковых веществ в зерне ячменя колеблется от 7 до 25%. Абсолютное содержание азота в крупных и мелких зернах в пределах колоса или отдельного ряда в колосе остается примерно одинаковым. В процентном отношении содержание белка в крупном зерне ячменя всегда меньше по сравнению с мелким. По данным лаборатории биохимии ВИР, содержание отдельных групп белков в зерне ячменя колеблется в значительных пределах в зависимости от места и условий выращивания, а также от сорта.

В белках зерна ячменя, как и в белках зерна пшеницы, преобладают спирторастворимые (проламины) и щелочерастворимые (глутелины) фракции. На их долю в среднем приходится свыше 60% (табл. 17).

Растворимый в спирте белок ячменя называется гордеин. В состав гордеина входят (%): глютаминовая кислота 43,2; пролин 13,73; лейцин 7,0; фенилаланин 5,3; цистин 2,5; триптофан 1,5; валин 1,4. Всесоюзный селекционно-генетический институт изучил аминокислотный состав суммарного белка 22 сортов ячменя, результаты представлены в таблице 18.

Белок различных групп и сортов ячменя качественно неодинаков. Наибольшие колебания обнаружены в содержании основных аминокислот (лизина, аргинина), наименьшие — кислых (аспарагиновая и глютаминовая кислоты). По сумме незаменимых аминокислот белок ячменя хотя и незначительный, но более биологически полноценен, чем белок зерна пшеницы. В белке зерна пшеницы содержание незаменимых аминокислот составляет 28,2, а в белке зерна ячменя — 30,56 г/

Таблица 17

**Фракционный состав азотистых веществ зерна ячменя, % азота фракции от общего извлеченного азота**

Содержание	Альбу- мины	Глобу- лины	Прола- мины	Глюте- лины	Небелко- вый азот
Минимальное	7,5	7,0	15,6	18,25	7,5
Максимальное	28,8	21,9	46,4	47,50	16,9
Среднее	12,5	12,7	34,4	29,60	10,8

Аминокислотный состав суммарного белка, г/100 г белка

Наименование	Озимый ячмень		Яровой ячмень		
	колебания	среднее со- держание	пленчатые сорта		голозерный ячмень Нудум К-150
			колебания	среднее содержание	
Аспарагино- вая кислота	7,50–8,72	8,11	6,84–8,56	7,72	8,50
Глютаминовая кислота	28,78–29,97	28,28	27,51–29,84	28,48	29,89
Пролин	6,64–7,31	6,97	7,05–7,80	7,52	7,46
Глицин	3,90–4,81	4,23	4,17–6,06	5,03	4,51
Аланин	4,77–6,53	5,53	5,17–6,93	5,93	5,37
Валин	4,99–6,14	5,68	5,05–5,79	5,58	4,68
Лейцин	7,53–9,04	8,32	7,33–9,05	8,41	7,74
Изолейцин	3,38–4,18	3,86	3,29–4,12	3,51	3,88
Фенилаланин	4,46–5,38	4,93	4,72–6,97	5,78	5,28
Тирозин*	3,12–3,93	3,47	3,25–4,96	4,27	3,30
Триптофан	1,01–1,39	1,24	1,15–1,69	1,45	1,28
Серин	4,59–5,49	5,18	4,95–5,47	5,09	4,66
Треонин	3,43–4,25	3,95	3,12–3,95	3,67	4,23
Цистин**	0,35–0,56	0,48	0,28–0,59	0,48	—
Метионин**	0,23–0,35	0,31	0,50–1,08	0,89	0,75
Лизин	3,08–4,20	3,54	3,05–3,45	3,21	2,28
Гистидин	1,79–2,27	2,08	1,97–2,26	2,09	1,78
Аргинин	8,73–11,58	10,03	9,36–12,19	10,68	13,60
Амидный азот	2,24–2,73	2,54	1,09–3,20	2,68	2,24
<b>Итого (без триптофана)</b>	<b>107,21–110,36</b>	<b>108,54</b>	<b>107,56–109,56</b>	<b>108,34</b>	<b>107,16</b>

\* Определяли калориметрическим методом.

\*\* Остаток после кислотного гидролиза (данные занижены).

100 г белка. Наиболее отличается белок зерна ячменя по лизину (2,3 и 3,4 г/100 г белка) и треонину (2,9 и 3,8 г/100 г белка).

В таблице 19 приведены данные о составе незаменимых аминокислот в зерне новой высоколизиновой формы ячменя Л-76 и ее гибридов с известными мутантами Хайпроли и Ризо М-1508 в сравнении с обычным сортом зерна ячменя Оксамыт.

Высоколизиновая форма зерна ячменя Л-76 по содержанию лизина значительно (на 62%) превосходит обычный сорт и

Состав незаменимых аминокислот

Наименование	Сорт Оксамыт, г на 100 г белка	Содержание от соответствующей аминокислоты у сорта Оксамыт, %			Эталон ФАО
		Л-76	Хайпроли	Ризо М-1508	
Лизин	3,11	162	150	151	5,5
Треонин	3,11	101	103	103	4,0
Валин	3,52	116	139	98	5,0
Изолейцин	2,35	109	121	108	4,0
Лейцин	6,72	98	114	90	7,0
Фенилаланин	4,87	89	107	71	2,6
Триптофан	1,51	92	106	86	1,0
Метионин	1,34	142	106	106	1,7
<b>Итого</b>	<b>26,54</b>	<b>111</b>	<b>118</b>	<b>102</b>	

приближается к эталону ФАО (соответственно): 5,5 и 5,0 г на 100 г белка. Немногим уступают этим данным ее гибриды с мутантными формами. Высоколизиновая форма по большинству других незаменимых аминокислот, а ее гибрид с мутантом Хайпроли — по всем этим аминокислотам заметно богаче белком ячменя обычного сорта. Белок голозерного ячменя имеет низкое качество, уступая пленчатому ячменю по содержанию большинства незаменимых аминокислот, особенно по лизину.

Из муки, полученной из зерна многих сортов ячменя, теплой водой отмывается клейковина. Охлажденным концентрированным раствором этилового спирта можно осадить клейковину не только из клейковиносодержащих, но и из бесклейковинных сортов ячменя, из муки которых обычно отмыванием выделить ее не удастся. По данным ВИР вариабельность количества отмываемой клейковины составляет от 0 до 35%. Из большинства клейковиносодержащих сортов отмывают 2–5% клейковины.

По своему качеству клейковина зерна ячменя схожа с плохой, короткорвущейся клейковиной зерна пшеницы. Растяжимость ее мала, цвет серый, гидратационная способность ниже, чем у клейковины зерна пшеницы, колеблется от 90 до 160%. Под влиянием молочной кислоты набухаемость клейковины зерна ячменя практически не повышается. Поваренная соль,

ускоряя формирование клейковины, снижает ее выход и качество. Протеолитические ферменты (папаин) несколько ослабляют клейковину.

Ячмень используют для приготовления хлеба и лепешек там, где по природным условиям затруднено культивирование других злаков (северные и высокогорные районы). Хлеб из ячменной муки низкого качества, быстро черствеет, имеет неприятный привкус. Добавление в тесто из пшеничной муки второго сорта ячменной муки до 10% незначительно снижает количество отмываемой клейковины и укрепляет ее. Хлеб по качеству приближается к хлебу из одной пшеничной муки.

#### § 4. БЕЛКИ ЗЕРНА ОВСА

Содержание белка в зерне овса колеблется от 9,0 до 19,5%. Фракционный состав белков в семи наиболее распространенных сортах овса (в % сухого вещества) приведен в таблице 20. Наибольшие колебания по сортам наблюдаются в содержании глобулинов и проламинов, что отражает особенную подвижность этих фракций, связанную с общим биологическим состоянием тканей зерна овса.

По фракционному составу белков зерно овса значительно отличается от белков зерна пшеницы, ржи и ячменя. Преоб-

Таблица 20

Фракционный состав белков зерна овса

Наименование	Содержание азота в навеске, %		Соотношение между наименьшим и наибольшим содержанием	Среднее содержание к общему азоту, %
	колебания	среднее содержание		
Общее содержание азота	1,51—2,34	2,08	1:1,55	100,0
Альбумины	0,18—0,34	0,26	1:1,88	12,5
Глобулины	0,17—0,55	0,36	1:3,23	17,3
Проламины	0,12—0,58	0,48	1:4,83	23,1
Глютелины	0,43—0,80	0,61	1:1,86	29,3
Белковый азот	—	1,71	—	82,2
Азот, нерастворимый осадок	0,27—0,53	0,37	1:2,00	17,80

Таблица 21

## Аминокислотный состав белков зерна овса, г в 100 г белка

Наименование	Колебания	Среднее содержание	Наименование	Колебания	Среднее содержание
Глютаминовая кислота	21,5–22,7	22,0	Серин	4,0–4,4	4,1
Аспарагиновая кислота	8,6–9,8	9,1	Изолейцин	3,9–4,2	4,0
Аргинин	7,5–7,9	7,7	Тирозин	3,2–3,7	3,4
Лейцин	7,5–7,9	7,7	Треонин	2,9–3,1	3,0
Фенилаланин	5,2–6,4	5,7	Гистидин	2,5–2,7	2,6
Валин	5,6–5,8	5,7	Метионин	1,6–2,6	2,3
Аланин	5,0–5,3	5,1	Цистин (1/2)	1,7–2,1	2,0
Глицин	4,5–5,0	4,7	Амидный NH <sub>3</sub>	2,7–2,9	2,8
Лизин	4,4–4,8	4,4	Общее содержание белка (%)	13,30–14,99	14,1

ладающая фракция у зерна овса — глютелины, затем проламины и глобулины. Белок зерна овса, растворимый в спирте, называют авенином и в солевом растворе — авеналином. Общее содержание белков по сортам колеблется незначительно, а количество отдельных аминокислот, входящих в их состав, — в больших пределах (табл. 21).

По содержанию отдельных аминокислот белки зерна овса заметно отличаются от белков зерна пшеницы и ячменя. Для белков зерна овса по сравнению с белками зерна пшеницы и ячменя характерно повышенное содержание аргинина и резко сниженное (в 2,0–2,5 раза) — глютаминовой кислоты. В белках зерна овса отмечено также высокое содержание незаменимой аминокислоты лизина — почти в два раза больше, чем в белках пшеницы.

Белки зерна овса характеризуются высокой биологической активностью. Относительная эффективность белка (определенная в опытах кормления крыс) для зерна овса составляет 1,8–2,5; ржи — 1,3–2,2; ячменя — 1,6–2,0; кукурузы — 1,4–1,6; пшеницы — 0,9–1,7. По содержанию незаменимых аминокислот белок зерна овса сходен с высоколизиновыми мутантами зерна кукурузы и ячменя. Например, в белке зерна обычной кукурузы лизина содержится примерно 2,2%, в зерне высокобелковой Флаури-2 — 3,4%, высоколизинового зерна ячменя — 4,2%, овса — 4,4%.

Аминокислотный состав белка зерна овса не ухудшается с повышением содержания белка в зерне. У различных сортов зерна овса содержание белка колеблется от 9,0 до 19,5%, относительное содержание авенина сохраняется практически неизменным, на уровне 18–19%. Содержание лизина в линии овса с 17,0% белка составляет 4,0%, в линии с 21,7% белка — 4,1%, в линии с 25,1% белка — 3% содержание лейцина — соответственно 7,8; 7,9 и 7,8%; фенилаланина — 5,5; 5,9 и 5,7% и т. д. Содержание белка в зерне овса можно повысить до весьма значительного уровня. В мировой коллекции найдены образцы зерна овса с содержанием белка свыше 24%.

### § 5. БЕЛКИ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ

Общее содержание белков в зерне кукурузы, по данным ВИР, колеблется от 4,9 до 23,6%. Белками наиболее богат зародыш, в оболочках их немного (табл. 22). Фракционный состав белков зерна кукурузы, по данным разных исследователей, приведен в таблице 23 Растворимый в спирте белок зерна кукурузы называют зеином. Он отличается от белков других злаковых тем, что лучше всего растворяется в 90–93%-ном этиловом спирте. В наибольшем количестве в белках кукурузы содержатся проламины (зеин), на глобулины приходится наименьшая доля, альбуминов также немного. Соотношение фракций белка в зародыше резко отличается от соотношения фракций в эндосперме.

Таблица 22

Содержание белкой в анатомических частях зерна разных сортов зерна кукурузы, % сухого вещества

	Соотношение частей		Белки	
	колебания	среднее содержание	колебания	среднее содержание
Целое зерно	—	100,00	10,54–12,41	11,70
Эндосперм	81,14–82,65	81,75	9,75–11,63	10,68
Зародыш	10,45–12,60	11,53	19,31–20,62	19,87
Оболочка	6,25–7,19	6,72	5,44–7,60	6,58



В мучнистом и стекловидном эндосперме их соотношение также неодинаково. Стекловидная часть содержит больше белков, чем мучнистая. Наиболее изменяется содержание зеина и глобулинов. В мучнистой части больше глобулинов и меньше проламинов, чем в стекловидной. Смесью хлороформа и бензола плотностью 1,46 г/мл из зерна кукурузы лопающихся сортов извлекали промежуточный белок. Выход его составил 19,0–27,4% к массе размолотого зерна. Содержание прикрепленного белка в 1,5–1,7 раза больше, чем промежуточного.

Технологическая характеристика зерна лопающихся сортов кукурузы изменяется по взрывной способности и соотношению промежуточного и прикрепленного белков, от которого зависит прочность эндосперма, наблюдается связь — увеличение фракции прикрепленного белка зерна кукурузы характеризуется большей взрываемостью и лучшим качеством взорванных зерен. Фракции азота в различных частях зерна высокобелковой и низкобелковой кукурузы неодинаковы (табл. 24).

С повышением содержания белка в зерне кукурузы и белка в эндосперме увеличивается содержание спирторастворимой фракции и снижается содержание щелочерастворимой. Соотношение в содержании других фракций изменяется незначительно. Повышение белковости зерна кукурузы (при селекции или применении азотных удобрений) происходит в результате увеличения спирторастворимой фракции, главным образом зеина, очень бедного незаменимыми аминокислотами — метионином, триптофаном и особенно лизином. Это означает, что биологическая ценность белка зерна кукурузы с повышением белковости зерна снижается.

Состав незаменимых аминокислот в зерне кукурузы приведен в таблице 25.

Белки зерна кукурузы по наиболее дефицитным аминокислотам (лизину, триптофану и метионину) уступают белкам пшеницы. При сравнении со стандартом ФАО, в котором содержание треонина принимают за 1, содержание лизина должно составлять 1,1. Содержание триптофана характеризуется такими показателями (стандарт ФАО — 0,25): в белках заро-

## Фракционный состав анатомических частей кукурузы,

	Альбумины		Глобулины	
	колебания	среднее содержание	колебания	среднее содержание
Целое зерно	6,25–24,4	17,98	9,08–24,85	13,3
Эндосперм	2,18–18,1	11,89	6,01–22,8	16,03
Зародыш	47,02–83,4	67,24	4,0–12,53	7,51

дыша кукурузы от 0,30 до 0,37, эндосперма от 0,18 до 0,19; зерна в целом от 0,20 до 0,24.

Белки зародыша зерна кукурузы богаты незаменимыми аминокислотами, достаточно хорошо сбалансированы, что нельзя сказать об аминокислотном составе белков эндосперма и зерна в целом. Белки с зародышем при переработке кукурузы обычно удаляют. Ввиду высокой биологической ценности их целесообразно использовать после обезжиривания в качестве ценных добавок к различным пищевым продуктам. Суммарные белки зерна кукурузы отличаются пониженной биологической ценностью в наибольшей степени по триптофану и лизину. В рецепты кормов с кукурузой (высокоэнергетическим кормом) добавляют богатые этими аминокислотами компоненты.

Перспективна селекция кукурузы с улучшением качества белка, особенно после выявления таких доноров высокобел-

Таблица 24

**Фракции азота в различных частях зерна кукурузы, азот фракций  
в % от общего в этих частях азота**

Наименования	Водорастворимая	Солеорастворимая	Спирторастворимая	Щелочерастворимая	Нерастворимая	Сумма фракций
<b>Иллинойская высокобелковая кукуруза (2,72% азота)</b>						
Оболочка	15,7	13,4	8,8	11,8	49,8	99,5
Зародыш	52,8	15,6	3,2	7,0	26,6	105,2
Эндосперм	2,6	2,9	51,2	17,7	24,1	98,5
<b>Иллинойская низкобелковая кукуруза (1,36% азота)</b>						
Оболочка	16,5	16,1	6,5	12,2	48,5	99,8
Зародыш	52,3	7,9	3,6	4,2	29,0	97,0
Эндосперм	6,0	5,6	27,9	40,4	22,3	102,0

Таблица 23

% азота фракции от общего содержания

Проламины		Глутелины		Небелковый азот	
колебания	среднее содержание	колебания	среднее содержание	колебания	среднее содержание
29,8–41,1	33,9	18,75–25,0	22,97	5,15–26,05	12,85
30,6–61,1	42,48	10,2–23,5	21,29	4,0–21,80	8,34
1,0–2,51	1,4	4,1–12,2	6,1	7,5–32,94	17,75

ковости, как Опейк-2 (Тусклый-2) и Флаури-2 (Мучнистый-2). Эти мутации вызывают существенные изменения в составе эндосперма зерна кукурузы. Так называемый рецессивный\* ген Опейк-2 при сохранении общего содержания белка повышает долю фракций белка богатых лизином и триптофаном. Ген Флаури-2 увеличивает в зерне количество метионина и частично лизина (табл. 26). Селекционеры используют мутации

Таблица 25

Содержание незаменимых аминокислот в зерне кукурузы и его частях,  
% сухого вещества

	Зародыш		Эндосперм		Целое зерно	
	колебания	среднее значение	колебания	среднее значение	колебания	среднее значение
Лизин	4,8–5,2	5,0	2,0–2,8	2,4	1,9–2,6	2,2
Треонин	3,0–3,9	3,5	2,8–3,0	2,9	2,5–3,2	2,8
Валин	5,9–6,5	6,2	3,6–4,3	4,0	4,0–4,6	4,2
Метионин	3,1–3,5	3,4	1,6–1,9	1,7	1,4–2,1	1,7
Лейцин	10,7– 12,6	11,6	11,1– 14,1	12,6	12,1– 13,9	13,0
Изолейцин	4,2–5,5	4,9	2,4–3,1	2,7	2,9–3,1	3,0
Фенилаланин	5,0–5,4	5,2	2,8–3,7	3,2	3,0–4,0	3,6
Триптофан	0,7–1,11	0,9	0,5–0,6	0,6	0,5–0,9	0,7
Сумма незаменимых аминокислот	–	40,7	–	30,1	–	31,2

\* Рецессивным называют форму состояния одного и того же гена (аллель) или признак, действие или развитие (соответственно) которого подавляется действием или развитием доминантного аллеля (этой аллельной пары) или признака. Доминирование — подавление у гибридных организмов одних признаков другими.

Содержание белковых фракций в зерне кукурузы, %

Наименование	Обычная кукуруза	Мутант Опейк-2	Мутант Флаури-2	Наименование	Обычная кукуруза	Мутант Опейк-2	Мутант Флаури-2
Альбумин	8,10	17,20	20,30	Лизин в общем белке, %	1,6	3,70	3,40
Глобулин	5,90	6,50	10,10	Лизин	2,24	4,31	3,29
Зеин	5,90	0,51	1,99	Метионин	1,9	1,6	2,3
Глютелин	80,0	75,80	67,60	Триптофан	0,60	1,15	0,75

Опейк-2 и Флаури-2 для выведения новых высококачественных по белку форм кукурузы.

Новое направление в селекции стремится сочетать в зерне кукурузы высокое содержание лизина с достаточно высоким уровнем белка. Созданы формы зерна кукурузы, которые при 17—18% белка содержат значительно больше лизина.

## § 6. БЕЛКИ ЗЕРНА ПРОСА

Содержание белков в зерне проса колеблется от 8,8 до 19,3%, составляя в среднем 13,7%. При удалении цветковых оболочек количество белковых веществ в ядре изменяется в пределах 11,2—23,5% при среднем содержании 16,0%. Азот небелковых веществ содержится в количестве от 1 до 9% от общего количества азота, составляя в среднем 4,3% сухого вещества. Распределение белков зерна проса по фракциям приведено в таблице 27.

Основную часть белков составляет спирторастворимая фракция, наиболее устойчивая и мало изменяющаяся по количеству в разных сортах. По сравнению с фракционным составом белков других злаковых культур просо отличается наиболее высоким содержанием проламинов и наименьшим — глобулинов.

Аминокислотный состав суммарных белков, выделенных этилен-хлоргидрином и составивших 95,5% от всех азотистых веществ зерна проса, показан в таблице 28. Особенность аминокислотного состава зерна проса по сравнению с другими зла-

Таблица 27

**Фракционный состав белков зерна проса, % азота фракций**

Наименование	Колебания	Среднее содержание	Наименование	Колебания	Среднее содержание
Альбумины	7,55–14,12	11,55	Проламины	50,71–61,46	55,12
Глобулины	5,65–9,33	7,41	Неизвлеченный остаток	9,54–13,17	11,52
Проламины	9,53–17,34	13,34			

Таблица 28

**Аминокислотный состав суммарных белков зерна проса, % от общего содержания белка**

Наименование	Колебания	Среднее содержание	Наименование	Колебания	Среднее содержание
Аланин	9,46–10,51	10,03	Лизин	1,62–2,86	2,17
Аргинин	3,77–5,83	4,777	Метионин	1,26–2,39	1,91
Аспарагиновая кислота	3,14–3,54	3,66	Пролин	3,87–6,89	5,25
Валин	5,64–6,49	6,04	Серин	5,28–7,20	6,31
Гистидин	2,32–3,70	2,85	Треонин	3,18–4,82	3,96
Глицин	1,26–3,15	2,42	Тирозин	2,33–3,76	3,23
Глютаминová кислота	18,38–19,72	18,90	Триптофан	1,46–1,81	1,54
Лейцин + Изолейцин	14,45–15,65	15,16	Фенилаланин	4,92–6,53	5,57
			Цистин + цистеин	1,06–2,09	1,50

ковыми — повышенное содержание аланина и более низкое содержание аспарагиновой кислоты. Аргинина содержится меньше, чем в белках зерна ячменя и овса, лизина — меньше, чем в белках зерна овса и ржи. Азотистые вещества в отдельных частях зерна проса распределены неодинаково. Зародыш отличается повышенной концентрацией белка — 25%, в том числе 7% водорастворимого. В цветковых оболочках содержится белка 3,9–5,1%, в том числе водорастворимого 0,44–0,66%.

## § 7. БЕЛКИ ЗЕРНА ГРЕЧИХИ

В зерне гречихи содержится белка 8–16% (в среднем 11,1%). По частям зерна гречихи белок распределяется так (%): ядро с зародышем 13,5–15,0; зародыш 40,0–49,5; плодовая оболочка 3,0–5,0. Азот небелковых азотистых веществ составляет в среднем 6% от общего количества азота зерна гречихи (3,9–

**Количество азота белковых фракций зерна гречихи,  
% от общего азота сухих семян**

Гречиха	Общий азот	Альбумины	Глобулины	Проламинны	Глютелины	Всего извлечено
Диплоидная	2,2	21,7	42,6	1,1	12,3	79,0
Тетраплоидная	2,3	23,3	45,0	1,2	10,5	82,3

16,8%). Фракционный состав зерна гречихи представлен в таблице 29. Для зерна гречихи характерно почти полное отсутствие проламиновых белков, преобладание над всеми фракциями глобулинов и содержание значительного количества водорастворимых белков. Во фракционном составе белков диплоидного и тетраплоидного зерна гречихи существенных различий нет. Аминокислотный состав белков зерна гречихи представлен в таблице 30.

Зерно гречихи отличается высоким содержанием незаменимых аминокислот. По одной из важнейших незаменимых аминокислот — лизину — зерно гречихи превосходит зерно проса, пшеницы, ржи, риса и приближается к соевым бобам. По содержанию треонина зерно гречихи превосходит зерно проса, пшеницы и ржи, а по содержанию валина уступает лишь рису.

Таблица 30

**Аминокислотный состав белков зерна гречихи (% от общего содержания белка)**

Наименование	Колебания	Среднее содержание	Наименование	Колебания	Среднее содержание
Лизин	3,79–8,0	6,31	Аланин	3,37–6,50	5,26
Гистидин	1,74–3,50	2,58	Цистин	2,0–2,7	2,23
Аргинин	9,15–28,4	12,17	Валин	3,37–6,25	4,77
Аспарагиновая кислота	6,0–11,80	8,67	Метионин	0,63–2,60	1,49
Треонин	2,10–3,85	3,21	Изолейцин	3,54–6,70	4,67
Серин	2,0–6,67	4,22	Лейцин	3,35–7,93	6,26
Глутаминовая кислота	7,0–20,97	14,42	Тирозин	1,76–3,48	2,66
Пролин	2,89–4,54	3,70	Фенилаланин	3,4–4,96	4,13
Глицин	4,65–8,76	6,74	Триптофан	1,42–2,70	2,16
			Сумма незаменимых аминокислот	32,1–41,2	34,8

По содержанию валина зерно гречихи может быть приравнено к молоку, по лейцину — к говядине, фенилаланину — к молоку и говядине. По содержанию триптофана зерно гречихи не уступает продуктам животного происхождения.

Белки зерна гречихи хорошо сбалансированы по содержанию незаменимых аминокислот. Исключение составляют изолейцин и особенно серосодержащие аминокислоты, которых недостаточно в белках зерна гречихи.

### § 8. БЕЛКИ ЗЕРНА РИСА

Зерно риса в цветковых оболочках содержит белка от 5,4 до 10,4% (в среднем 7,2%). Содержание белка в зерне отечественных сортов риса без цветковых оболочек, по данным разных авторов, колеблется от 8,8 до 13,6% (в среднем 11,1%). Наибольшее количество белковых веществ сосредоточено в зародыше и в наружных слоях зерновки. В крахмалистой части эндосперма их значительно меньше.

*Таблица 31*

**Распределение азотсодержащих веществ по зерновке риса**

Наименование	Азот, мг на 1 г сухого вещества		
	общий	белковый	небелковый
Крахмалистая часть	11,7	10,4	1,1
Мучка*	17,5	15,5	2,0
Зародыш	30,4	26,2	4,2

\* Весь проход через сито с отверстиями Ø 1,5 мм.

*Таблица 32*

**Фракционный состав белков зерна риса двух смежных лет урожая,  
% от общего содержания белка**

Наименование	Альбу- мины	Глобу- лины	Прола- мины	Глюте- лины	Нерастворимый остаток
<i>Первый год</i>					
Краснодарский 424	10,57	8,14	4,64	52,80	23,81
Дубовский 129	11,29	11,89	5,48	50,68	20,66
<i>Второй год</i>					
Краснодарский 424	10,87	6,05	4,76	55,35	22,97
Дубовский 129	9,66	8,40	4,23	52,77	25,0

Суммарный аминокислотный состав зерна риса (по данным разных авторов),  
% от общего содержания белка

Наименование	Дубовский 129	Дубовский 129	Дубовский 129	Кубань 3
Лизин	3,74	3,44	2,03	1,83
Гистидин	2,30	2,03	3,38	1,20
Аргинин	5,90	7,75	9,62	7,93
Аспарагиновая кислота	9,35	11,27	15,71	15,92
Серин	5,25	4,33		
Глутаминовая кислота	17,80	22,50	12,85	12,41
Треонин	3,77	4,16		
Пролин	5,07	—	5,25	2,33
Глицин	4,90	5,85	5,93	5,92
Аланин	5,30	5,84	3,74	4,02
Валин	6,50	3,83	5,13	4,96
Метионин	2,08	1,96	1,06	0,70
Лейцин	8,52	8,81	10,77	12,00
Тирозин	3,14	5,24	3,25	3,47
Фенилаланин	5,09	7,79	4,00	7,00
Триптофан	1,29	1,29	—	—
Цистеин	—	1,42	1,68	2,44

Азотсодержащие вещества по зерновке распределены неравномерно (табл. 31).

В белках зерна риса преобладает глютелин, называемый оризенином (табл. 32). Содержание оризенина — основной белковой фракции, локализованной в зерновке, зависит от сорта. На его долю из общего содержания белков приходится в зерне сорта Дубовский 129 — 82,2%, Краснодарский 424 — 74,3% и Кубань 3 — 67,5%. Количество спирторастворимых белков (проламинов) незначительно.

Распределение белков по фракциям в разных частях зерна неодинаково. По сравнению с данными по зерну в целом, в периферийных частях сосредоточено повышенное количество глобулинов и альбуминов. В остальной части зерна риса преобладают главным образом оризенины. Аминокислотный состав зерна риса приведен в таблице 33.



Аминокислотный состав зерна риса неодинаков, что отражает его сортовые особенности и условия выращивания.

В составе белков зерна риса содержатся все незаменимые аминокислоты. Первая лимитирующая кислота — лизин, вторая — треонин. Содержание незаменимых аминокислот различается по зонам производства риса.

Южная группа сортов отличается высоким содержанием триптофана в белке ( $1,41 \pm 0,03\%$ ), в других отечественных сортах его меньше ( $1,18 \pm 0,04\%$ ). Содержание лизина в белке зерна риса колеблется от 1,83 до 4,83%. Высокое содержание лизина характерно для сортов закавказской и дальневосточной групп, низкое — для селекционных сортов европейской части РФ. Основной белок рисового эндосперма, оризенин — гетерогенен. Анализ, проведенный во ВНИИ растениеводства методом электрофореза в полиакриламидном геле, показал, что он состоит из 5–8 компонентов. Оризенин отличается высоким содержанием дикарбоновых аминокислот — глутаминовой (17,4–23,5%) и аспарагиновой (9,2–13,6%). Содержание триптофана (1,3–2,1%), метионина (0,7–2,1%) и цистеина (следы) у него низкое.

Аминокислотный состав белков зерна риса близок к белкам зерна гречихи. По составу аминокислот они выгодно отличаются от зерна пшеницы (незаменимые аминокислоты в белках зерна риса часто содержатся в большем количестве, чем в белках зерна пшеницы).

Белки в эндосперме зерна риса концентрируются в специальных вместилищах. В алейроновом слое они локализируются в алейроновых зернах. В крахмалистой части эндосперма обнаружено два типа белковых тел — цитоплазматические и вакуолярные. Цитоплазматические белковые тела (ЦБТ) имеют округлую форму и ограничены двойной липопротеиновой мембраной. Они обладают характерной концентрической слоистостью, образуемой чередованием электронно-плотных и электронно-прозрачных участков. Размеры ЦБТ колеблются от 1 до 5 мкм.

Вакуолярные белковые тела (ВБТ) представляют собой ультраструктуры неопределенной формы, заполненные массой аморфного белка.

## § 9. БЕЛКИ СЕМЯН БОБОВЫХ КУЛЬТУР

Содержание белков в семенах бобовых, по данным различных авторов, изменяется в пределах, показанных в таблице 34. Относительное содержание белков зависит от размеров семян бобовых культур (табл. 35).

Содержание белка в мелких семенах (%) по сравнению со средними обычно больше. Это не всегда наблюдается в крупных семенах. Относительное количество белков в крупных семенах может быть больше или меньше, чем в средних и мел-

Таблица 34

Содержание белков в семенах бобовых, %

Наименование	Колебания	Среднее содержание	Наименование	Колебания	Среднее содержание
Горох	20,4–35,7	27,8	Кормовые бобы	26,4–31,2	29,2
Фасоль	17,0–32,1	24,3	Чина	23,1–34,7	28,7
Чечевица	21,3–36,0	30,4	Нут	18,5–29,7	24,5
Соя	27,0–50,0	39,0	Вика яровая	22,3–37,8	33,7

Таблица 35

Содержание белков в семенах бобовых разных размеров, % сухого вещества

Наименование	Крупные				Средние	
	масса 1000 зерен, г		белки, %		масса 1000 зерен, г	
	колебания	среднее содержание	колебания	среднее содержание	колебания	среднее содержание
Горох	152–236	187	23,6–32,7	28,2	119–149	138
Чечевица	69–70	70	25,0–37,6	26,3	52–56	54
Фасоль	221–310	265	23,7–30,2	28,7	160–221	190

Таблица 35 (продолжение)

Наименование	Средние		Мелкие			
	белки, %		масса 1000 зерен, г		белки, %	
	колебания	среднее содержание	колебания	среднее содержание	колебания	среднее содержание
Горох	21,7–30,3	26,0	68–116	91	26,4–32,2	28,4
Чечевица	27,0–31,2	29,1	30–43	36	27,3–38,0	32,0
Фасоль	20,0–27,3	23,6	95–140	118	21,3–28,8	25,0

Таблица 36

Содержание белков по частям семени, % сухого вещества

Наименование	Содержание белков в целом семени	Содержание белков в отдельных частях семени		
		семенные оболочки	ростки	семядоли
Горох	22,15–33,39	3,21–3,48	41,16–45,22	24,34–25,52
Чечевица	21,36–28,24	10,37–11,54	34,92–35,62	23,63–30,33
Фасоль	25,27–31,07	9,09–10,44	37,45–38,49	28,32–37,38
<i>Среднее содержание:</i>				
Гороха	100,0	12,0	156,0	108,0
Фасоли	100,0	44,0	142,0	109,0
Чечевицы	100,0	35,0	135,0	116,0

ких. Неодинаковое содержание белков в различных фракциях по крупности определяется степенью развития (зрелости семян ко времени уборки), а также особенностями сорта и условиями выращивания. Содержание белков в отдельных частях семени также неодинаково (табл. 36).

Наибольшая часть белков сосредоточена в ростках, их содержание в семенных оболочках ограничено.

В семенных оболочках гороха по сравнению с другими культурами содержится наименьшая доля белков. Содержание белков в его ростках по сравнению с фасолью и чечевицей больше. Чечевица отличается более высоким, чем горох и фасоль содержанием белков в семядолях. Для семян фасоли характерно по сравнению с семенами других бобовых наибольшее сосредоточение белков в семенных оболочках. Распределение белков по фракциям показано в таблице 37.

Проламиновая фракция в белках семян бобовых отсутствует. Основная фракция — глобулины. Наименьшее количество приходится на долю глютелинов. Альбуминов немного боль-

Таблица 37

Среднее распределение белков семян бобовых по фракциям, %

Наименование	Альбумины	Глобулины	Глютелины
Горох	9,6	85,7	4,8
Чечевица	8,1	85,9	6,0
Вика	10,1	83,6	6,3
Манс	8,3	88,4	3,3
Нут	12,2	79,8	7,9

ше, чем глютелинов. В семенах бобовых найдены отдельные, характерные для той или другой культуры белки — в семенах гороха водорастворимый легумелин и два глобулина (легумин и вицилин), в семенах фасоли — глобулин фазеолин, в семенах сои — глобулин глицинин.

Ультрацентрифугирование в широких границах рН (2,2–9,0) и ионных сил показало, что глобулин сои глицинин состоит из ряда фракций, способных к обратимой ассоциации — диссоциации. В результате изменяется реакционная способность этого запасного белка и соответственно его участие в обмене веществ в прорастающем и созревающем зерне.

Бобовые растения имеют на корневой системе клубеньки, содержащие азотфиксирующие бактерии, обогащающие почву азотом. Биологический азот, фиксируемый бобовыми растениями из воздуха, благотворно действует не только на повышение урожая, но и на качество зерна, содержание сырого белка в зерне озимой и яровой пшеницы, выращиваемых после бобовых, колеблется в пределах 9,7–13,6%, а после злаковых — 9,2–11,8%. Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы, выращиваемой после клевера и люцерны, при весенней подкормке минеральным азотом превысило установленный стандарт для сильной пшеницы (28%), а по костре — не достигало ее.

В белках семян бобовых содержатся хорошо изученные белки — ингибиторы протеолитических ферментов. Среди растительных объектов по содержанию ингибиторов протеаз семена бобовых стоят на первом месте. Особенно выделяются бобы сои и фасоли обыкновенной. У сои идентифицированы два ингибитора трипсина (протеолитический фермент, синтезируемый клетками поджелудочной железы), связывающие цистин и метионин, а также влияющие на его термостабильность, кислотоустойчивость и протеолитическую активность.

В семенах вики содержится аминокислота  $\beta$ -циано-L-аланин и ее  $\gamma$ -глутаминовый пептид, вызывающие нарушения в скелете и сосудистой системе человека. Несмотря на количественные расхождения, аминокислотный состав семян бобовых (табл. 38) имеет много общего, аспарагиновая и особенно глутаминовая кислоты содержатся в наибольшем количестве,

Таблица 38

Средний аминокислотный состав суммарных белков семян бобовых  
(по данным разных авторов), % от общего содержания белка

Аминокислота	Горох	Соя	Фасоль	Чина	Кормовые бобы
Аргинин	8,35	8,73	7,27	6,87	8,51
Гистидин	2,68	3,03	3,16	2,95	3,75
Лизин	5,58	5,22	5,65	5,94	8,26
Лейцин		8,45	8,1		
Изолейцин	13,54	5,10	5,0	15,6	14,68
Валин	3,87	5,63	4,86	5,4	4,62
Метионин	1,22	1,64	1,3	1,36	0,90
Треонин	4,70	4,26	4,1	4,8	4,59
Фенилаланин	4,33	5,21	6,13	4,1	2,41
Триптофан	1,31	1,65	1,83	1,65	1,82
Аланин	3,67	4,47	4,9	3,4	4,74
Глицин	5,38	4,36	4,14	4,4	8,32
Серин	4,57	4,98	6,2	4,8	7,94
Аспарагиновая кислота	10,76	9,54	12,8	12,8	8,29
Глутаминовая кислота	16,51	17,53	15,25	17,2	8,15
Пролин	3,7	4,81	4,71	2,8	1,49
Тирозин	3,15	3,08	3,4	3,17	3,0
Цистин	1,80	1,39	3,12	0,8	1,39

в наименьшем — цистин, метионин и триптофан. Белки семян бобовых бедны серосодержащими аминокислотами. Многие незаменимые аминокислоты содержатся в значительных количествах.

По количеству незаменимых аминокислот трудно отдать предпочтение какой-либо определенной фракции белков. Так, по средним данным, глобулиновая фракция гороха содержит 3,15% лизина и 3,4% изолейцина. В альбуминах эти аминокислоты соответственно составляли только 1,9 и 1,6% и в глютелинах — 1,0 и 1,1%. Содержание треонина в альбуминовой фракции (3,6%) в два раза превышает его количество в глобулинах (1,8%).

Для полного усвоения белка бобовых культур живым организмом необходима их предварительная обработка. Сырое зерно содержит лишь 15–20% усвояемого белка. Глобулиновая фракция белков фасоли устойчива к некоторым про-

теолитическим ферментам. Благодаря высокому содержанию белков, богатых незаменимыми аминокислотами, семена бобовых культур — один из важнейших источников белка. Белковые изоляты сои с их ценным набором незаменимых аминокислот используют для обогащения хлебобулочных изделий и других пищевых продуктов.

## § 10. БЕЛКИ СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

О содержании белков в семенах масличных культур можно судить по данным многих авторов, приведенным в таблице 39. Большинство масличных культур по содержанию белков не уступает бобовым культурам.

Белки семян масличных представляют собой смесь близких по своим свойствам белков. Большая часть белков масличных семян относится к глобулиновой фракции (80–97%). Альбуминовая и глютелиновая фракции находятся примерно на одинаковом уровне (0,5–1,0%). Проламины практически отсутствуют.

В таблице 40 приведены данные о белковых фракциях семян подсолнечника сорта ВНИИМК-1646. Аминокислотный состав белков семян подсолнечника низкомасличного А-41 и высокомасличного ВНИИМК 15636 представлен в таблице 41.

В соле- и щелочерастворимых белках прослеживаются сортовые различия — с увеличением масличности в них повышается содержание глютаминовой кислоты, метионина и понижается — треонина и лейцина. Большинство незаменимых аминокислот в глобулинах представлено полнее, чем в других

Таблица 39

Среднее содержание белков в семенах масличных культур, % сухого вещества

Наименование	Белки	Наименование	Белки
Подсолнечник:		Клещевина	19,4
семянка	15,7	Хлопчатник	20,5
ядро (без плодовой оболочки)	23,7	Конопля	21,8
Лен:		Рапс:	
семянка	24,9	озимый	25,0
зародыш (ядро)	21,6	яровой	28,5
эндосперм	30,8	Рыжик	27,9
		Кориандр	16,0

Таблица 40

Белковые фракции подсолнечника сорта ВНИИМК-1646

Наименование	Общее содержание азота и азота фракций, %	Фракции азота от общего содержания азота, %
Общее содержание азота обезжиренных семян	9,48	—
Белковый азот	7,84	82,7
Экстрактивный небелковый азот	1,66	17,5
<i>Азот по фракциям</i>		
Суммарный водорастворимый	3,46	37,1
Белковый водорастворимый	2,86	30,4
Экстрактивный небелковый	0,60	36,1
Суммарный солерастворимый	4,16	44,1
Белковый солерастворимый	3,10	32,7
Экстрактивный небелковый	1,06	63,9
Плотный остаток	0,10	—
Щелочеизвлекаемый белковый	1,78	17,7
Итого	9,5	99,9

фракциях. Белки ядер семян подсолнечника имеют большое кормовое значение благодаря наличию в них значительного количества незаменимых аминокислот.

Отличительная особенность аминокислотного состава семян хлопчатника по сравнению с семенами подсолнечника — более высокое содержание глютаминовой кислоты (16,9%), аспарагиновой кислоты (8,4%) и лизина (6,0%).

Вместе с тем содержание остальных незаменимых аминокислот заметно понижено, в том числе треонина до 3,9%, фенилаланина до 4,3%.

Высокая биологическая ценность белков превращает масличные культуры в ценный источник покрытия дефицита белковых веществ.

Введение 5—10% белковых изолятов семян подсолнечника повышает питательную ценность хлеба (объем пшеничного хлеба увеличивается, корка приобретает очень приятный золотистый цвет).

За последнее десятилетие разработаны дополнительные пищевые продукты — пищевые смеси с высоким содержанием белка.

Аминокислотный состав белков семян подсолнечника, % сухого белка

Наименование	Водорастворимые белки		Солеорастворимые белки		Щелочсрастворимые белки	
	низко-масличного	высоко-масличного	низко-масличного	высоко-масличного	низко-масличного	высоко-масличного
Глицин	5,65	5,55	5,46	5,62	5,86	5,35
Аланин	4,91	5,08	5,01	4,85	5,68	4,93
Валин	5,54	5,46	5,99	6,01	5,41	5,34
Лейцин	10,50	11,48	11,59	10,50	10,17	9,13
Фенилаланин	7,52	7,40	8,00	8,33	7,30	7,81
Пролин	5,05	5,25	4,95	5,26	5,23	5,17
Триптофан	1,66	1,68	1,65	1,72	1,71	1,72
Серин	7,47	7,65	7,47	7,67	7,30	7,80
Треонин	6,14	6,02	6,10	5,78	6,40	5,83
Метионин	1,04	1,08	1,05	1,16	0,90	0,99
Аспарагиновая кислота	5,46	5,19	5,52	5,72	5,50	5,67
Глутаминовая кислота	12,01	12,63	9,44	10,28	9,55	10,92
Тирозин	4,43	4,43	2,32	4,69	4,59	4,52
Цистеин	2,64	2,46	2,65	2,67	3,06	3,04
Гистидин	9,26	9,52	9,78	10,15	9,83	9,45
Лизин	2,32	2,30	2,44	2,47	2,78	2,79
Аргинин	8,32	7,98	8,69	8,45	9,64	10,27

Для обогащения пищевых смесей желательно использовать выделенные белковые изоляты, но они дороги. Большинство растительных белковых пищевых смесей готовят только из муки или концентратов. Наиболее легкий и дешевый способ — использование белковой муки, полученной из обезжиренных масличных семян. Однако семена некоторых масличных культур содержат ядовитые вещества, что служит серьезным препятствием к использованию белковых изолятов из них (как и самих семян) в пищевых продуктах и на корм скоту. Семена хлопчатника содержат токсичное соединение госсипол, семена клещевины — высокотоксичные белки лектины, способные агглютинировать клетки.

При использовании отходов, получаемых при производстве растительного масла, на корм сельскохозяйственным живот-



ным большое значение приобретает изменение белковых веществ в результате промышленной переработки маслосемян. Применяемая при этом влажно-тепловая обработка измельченных масличных семян вызывает тепловую денатурацию белковых веществ, что приводит к изменению их растворимости. Одновременно проходят реакции взаимодействия сахаров с белковыми веществами (меланоидинообразование), что приводит к уменьшению количества сахаров и незаменимых аминокислот. В этом случае содержание лизина при интенсивной обработке шрота уменьшается.

При переработке семян хлопчатника в условиях жестких технологических режимов содержание лизина уменьшается на 15–30%.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

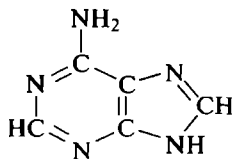
1. Каково содержание белков в зерне ржи?
2. Особенности состава входящих в зерно, незаменимых аминокислот?
3. Опишите клейковину ржи.
4. Опишите клейковину ячменя и его хлебопекарное достоинство.
5. В чем заключаются особенности незаменимых аминокислот?
6. Перечислите дефицитные незаменимые аминокислоты зерна овса.
7. Каково содержание проламинов в зерне проса?
8. Дайте оценку незаменимых аминокислот зерна риса.
9. Опишите особенности белков семян бобовых культур.
10. Какие белки в наибольшем количестве входят в состав белков семян масличных культур?

## НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ

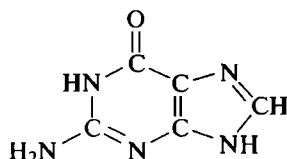
Нуклеиновые кислоты наряду с белками — важнейшие биополимеры, образующие протоплазму живой клетки. Биологическая роль нуклеиновых кислот заключается в кодировании и реализации генетической информации. При непосредственном участии нуклеиновых кислот осуществляется синтез всех белков и ферментов, содержащихся в живой клетке.

Нуклеиновые кислоты представляют собой высокомолекулярные органические кислоты, растворяющиеся в щелочных растворах и осаждающиеся при подкислении. При гидролизе нуклеиновые кислоты распадаются на пуриновые основания, пиримидиновые основания, сахар пентозу (рибозу или дезоксирибозу) и фосфорную кислоту.

В состав нуклеиновых кислот входят пуриновые основания аденин и гуанин.



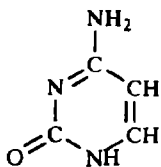
аденин (6-аминопурин)



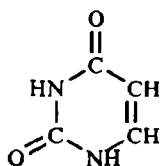
гуанин

(2-амино-6-оксипурин)

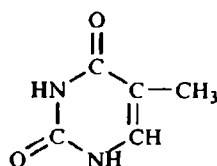
К пиримидиновым основаниям относят цитозин, урацил, тимин:



цитозин

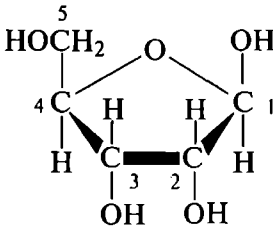


урацил

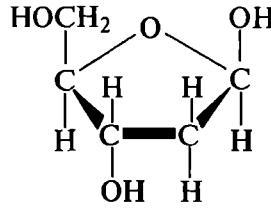


тимин

В состав нуклеиновых кислот входят пентозы — рибоза или дезоксирибоза:



$\beta$ -D-рибоза

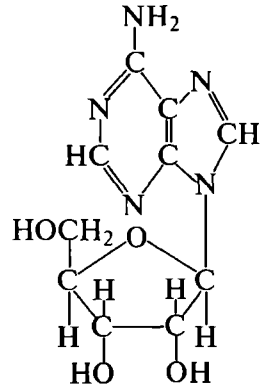


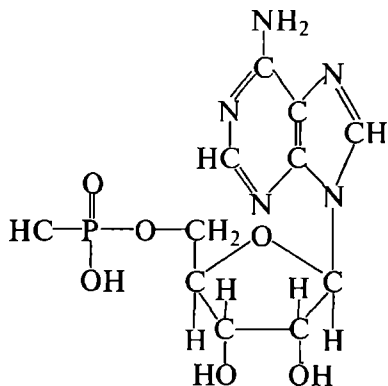
$\beta$ -D-2-дезоксирибоза

Дезоксирибоза получается из рибозы восстановлением у второго углеродного атома, у которого гидроксильная группа заменена атомом водорода (отсюда название дезоксирибоза). Цифра два, входящая в название дезоксирибозы, указывает, что восстановление произошло у второго атома углерода.

Соединения, в которых рибоза или дезоксирибоза связаны с каким-либо из пуриновых или пиримидиновых оснований, называются нуклеозидами (по аналогии с гликозидами). Так, аденин, связанный с рибофуранозой, получил название аденозина.

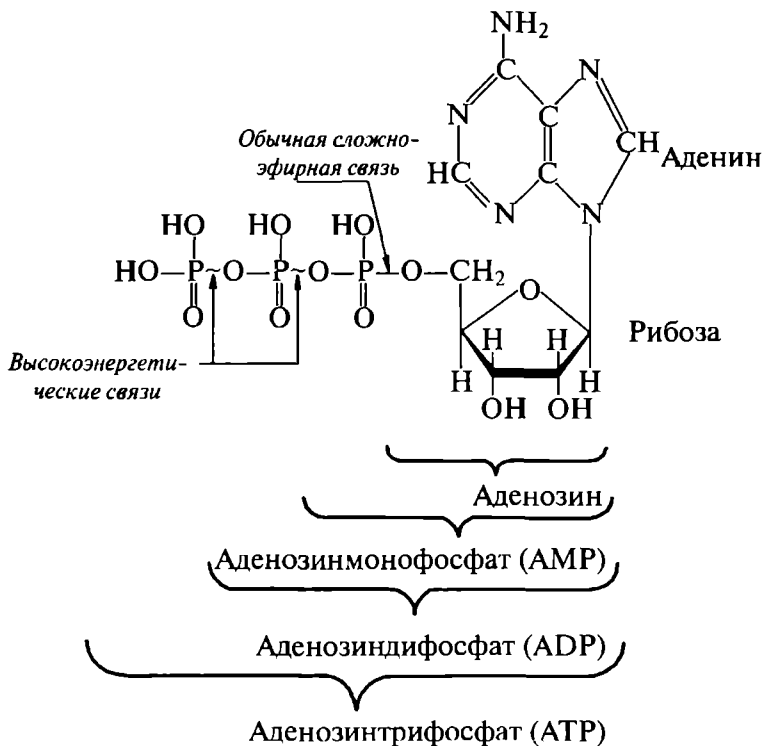
Нуклеозиды, соединяясь еще с одной молекулой фосфорной кислоты, образуют более сложные вещества — нуклеотиды, играющие исключительно большую роль в обмене веществ живой клетки. Значение нуклеотидов состоит не только в том, что из них построены гигантские молекулы нуклеиновых кислот, но и в том, что они входят в состав ряда важнейших ферментов, а некоторые являются веществами, в которых аккумулируется энергия, необходимая для процессов жизнедеятельности. Присоединение еще одной молекулы фосфорной кислоты к молекуле аденозина у пятого углеродного атома рибозы приводит к образованию нуклеотида, называемого аденозин-5-монофосфатом или адениловой кислотой:



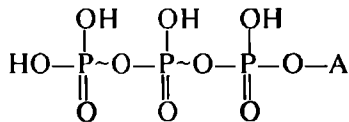


Аналогично аденозину и адениловой кислоте построены другие нуклеозиды и нуклеотиды, образующиеся при гидролизе нуклеиновых кислот. Адениловая кислота может присоединять к своему фосфатному остатку еще один или два остатка фосфорной кислоты с образованием при этом аденозиндифосфата (АДФ) или аденозинтрифосфата (АТФ).

В молекуле аденозинтрифосфорной кислоты три остатка фосфорной кислоты соединяются последовательно один за другим



Сокращенно структурную формулу аденозинтрифосфата изображают так (АТР):



Здесь под «А» понимают аденозин. Значком ~ обозначают высокоэнергетические фосфатные связи. Соединения, содержащие такие связи, богаты энергией, освобождающейся при гидролитическом расщеплении. При гидролизе обычной сложно-эфирной фосфатной связи освобождается энергия, равная 8–12 кДж/М, а при гидролизе высокоэнергетической связи АТР — около 30 кДж/М.

Кроме АДР и АТР, известны другие соединения, содержащие высокоэнергетические связи: аргининфосфат, дифосфоглицериновая кислота, ацетилкофермент А и др. Наиболее часто в биохимических реакциях участвуют АДР и АТР. Такие соединения чрезвычайно важны в обмене веществ. В них аккумулируется энергия, освобождающаяся при различных реакциях, происходящих в процессе дыхания, брожения и фотосинтеза. Под влиянием соответствующих ферментов группы, содержащие высокоэнергетические связи, могут быть перенесены на другие вещества. Энергия, накопившаяся в высокоэнергетических соединениях, используется в обмене веществ.

Расщепление аденозинтрифосфата ( $\text{АТР} + \text{НОН} \rightleftharpoons \text{АМР} + \text{пирофосфат}$ ) катализирует фермент АТР — пирофосфатаза (3.6.18). Другой фермент — аденозинтрифосфатаза (3.6.1.3) катализирует реакцию  $\text{АТР} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{АДР} + \text{Ортофосфат}$ .

## § 1. РИБОНУКЛЕИНОВЫЕ И ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ

Отдельные нуклеотиды, соединяясь между собой, образуют нуклеиновые кислоты — полинуклеотиды. Существует два типа нуклеиновых кислот, различающихся между собой по химической природе входящего в их состав сахара. Первый тип носит название дезоксирибонуклеиновой кислоты (сокращен-

но ДНК). Особенность химической природы ДНК в том, что она содержит  $\beta$ -D-2-дезоксирибозу и пиримидиновое основание тимин.

Второй тип называется рибонуклеиновой кислотой (РНК). В ее составе  $\beta$ -D-рибоза и пиримидиновое основание урацил. Рибонуклеиновая кислота содержится в цитоплазме и ядре, а дезоксирибонуклеиновая — в ядрах клеток и в небольшом количестве в хлоропластах и митохондриях. Рибонуклеиновые кислоты подразделяются на три типа — информационную или матричную (мРНК), рибосомальную (рРНК) и транспортную (тРНК). Молекулярные массы нуклеиновых кислот могут достигать очень больших величин. Молекулярная масса дезоксирибонуклеиновой кислоты достигает нескольких миллионов и даже миллиардов. Рибонуклеиновые кислоты имеют также большие молекулярные массы. Однако у транспортных рибонуклеиновых кислот молекулярная масса колеблется в пределах 23 000—30 000. Один из важнейших структурных элементов ядра клетки — хромосомы. Эти структуры, состоящие из белка и ДНК, — носители наследственной информации клетки. В ходе клеточного деления — митоза — число хромосом в ней удваивается, и образующиеся дочерние клетки получают по полному их набору.

Число хромосом в клетках данного организма и данного вида постоянно. Например, клетки мягкой пшеницы имеют 42 хромосомы, ржи — 14, человека — 46 и т. д. В хромосомах различают специфические участки молекулы ДНК, называемые генами — единицами наследственности. Роль гена выражается в том, что в нем закодирован тот или иной специфический признак организма.

В 1953 г. Дж. Уотсоном и Ф. Криком предложена структурная модель ДНК (двойная спираль). Это открытие — крупнейшее достижение науки нашего времени. Оно ознаменовало новый этап в развитии биологии, поставило все представления генетиков на прочную молекулярную основу, объяснило многие до сих пор непонятные явления наследственности. Нити ДНК содержат код, необходимый для строения живого организма. Подобно тому, как магнитная лента с записанными инструкциями может управлять работой сложной машины,

точно так же информация, содержащаяся в ДНК, может быть реализована в организме.

Молекулярная структура гена программирует в клетке синтез белка. Программирование имеет сложный характер. Сначала на молекуле ДНК, как на матрице, синтезируется молекула особой информационной (матричной) рибонуклеиновой кислоты (иРНК). Затем, попадая в рибосомы, — цитоплазматические структуры, в которых происходит синтез белков, молекулы иРНК как бы управляют включением определенных аминокислот в полипептидную цепь белка. Аминокислоты доставляются в рибосомы другим видом РНК — транспортной РНК.

В настоящее время удалось выделить и химическими методами синтезировать некоторые гены. Выделение индивидуальных генов из молекул ДНК и их синтез открывают захватывающие перспективы направленной регуляции генной активности.

Ферменты синтезируются с использованием того же механизма, что и все остальные белки. Дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК) можно рассматривать как специальную биохимическую систему, способную, во-первых, концентрировать в себе наследственную информацию, во-вторых, передавать содержащуюся в ней информацию потомству, и, в-третьих, управлять биосинтезом многочисленных ферментов и других белков в клетках на всех этапах развития организма.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Какова биологическая роль нуклеиновых кислот в живом организме?
2. Что входит в состав нуклеиновых кислот?
3. Опишите особенности химических связей в аденозинтрифосфате и их биологическое значение.
4. Опишите строение ДНК и ее роль в живом организме.
5. Опишите типы рибонуклеиновых кислот, их различие в процессах живой клетки.

## ВИТАМИНЫ

### § 1. ВИТАМИНЫ

Витамины составляют группу низкомолекулярных органических веществ разнообразного происхождения, обладающих различными физико-химическими свойствами, абсолютно необходимыми для жизнедеятельности любого организма.

Витамины имеют общие характерные особенности:

— выполняют каталитические функции, являются коферментами, составными частями ферментов;

— биологически активны в небольших количествах (общим количеством 0,1–0,2 г) на всех этапах совокупности биологических процессов — биологического обмена веществ (метаболизма) живого организма;

— вместе с другими антиоксидантами, вырабатываемыми в организме, защищают наше здоровье от разрушительного действия оксидантов;

— витамины необходимы не только для гетеротрофных организмов (человек, животные), но также и для автотрофов (растений) для выполнения аналогичных каталитических функций;

— биосинтез витаминов происходит в растениях, человек и животные получают их с пищей;

— витамины не являются материалом для биосинтеза или источником энергии;

— недостаток или нарушение ассимиляции витаминов приводит к развитию патологических процессов в виде гиповитаминозов (болезни в результате длительного недостатка) и авитаминозов (болезни в результате отсутствия витаминов).

Наибольшее распространение имеют гиповитаминозы — систематическая недостаточность витаминов. Это приводит к



тому, что человек испытывает плохое настроение, быструю утомляемость, вялость, раздражительность, головные боли, головокружения, простудные заболевания, болезни зубов, обострения хронических заболеваний и другие недуги. Резкое ухудшение экологических условий, нарастающие отрицательные техногенные воздействия, загрязненность воздушной среды и воды, насыщенность сельскохозяйственной продукции токсинами, увеличение объема информации, стойкие социальные конфликты, ограничение двигательной активности и другие неблагоприятные факторы вызвали к жизни необходимость значительного увеличения систематического употребления витаминов. Органами здравоохранения в США рекомендовано количество витаминов в пище в 1,2–4 раза больше по сравнению с ранее установленными нормами.

Увеличенное количество витаминов требуется при большом употреблении алкогольных напитков, если вы курите, если вы женщина и применяете оральные контрацептивы, если пьете кофе, чай, кока-колу, если в пище высокое содержание пищевых волокон. Однако нельзя допускать огульного бесконтрольного увеличения витаминов. Необходима обязательная дифференцированная рекомендация врача.

Описаны более 50 витаминов и витаминоподобных веществ. Из этого количества 20 витаминов и витаминоподобных веществ человек должен получать систематически. За группами витаминов близкой структуры и сходной биологической активности закрепились условные обозначения буквами латинского алфавита: А, D, E, B<sub>6</sub> и т. д.

Все витамины условно делят на четыре группы: водорастворимые, жирорастворимые, витаминоподобные, антивитамины.

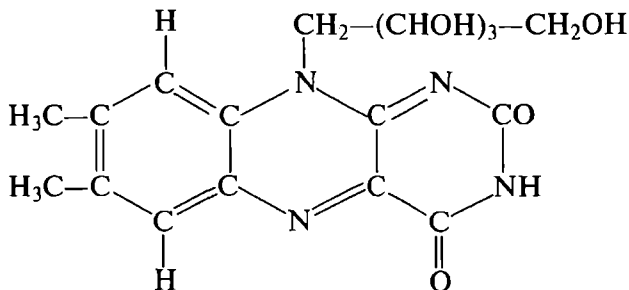
## § 2. ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

Большинство водорастворимых витаминов объединены в так называемую группу В. Общий их признак — наличие в составе атома азота. Кроме того, у этих витаминов хорошо изучены коферментные свойства. Установлено с какими ферментами они в паре, и в каких биохимических процессах каждый



ячменя — 4–5; зерно овса — 6–8, зерно риса — 2,2–2,9; отруби рисовые — 22; мука соевая — 7,7; горох—1,5–3,8; фасоль — 0,6–1,0.

**Рибофлавин (витамин В<sub>2</sub>).** В нем азотистое основание связано с остатком многоатомного спирта D-рибита

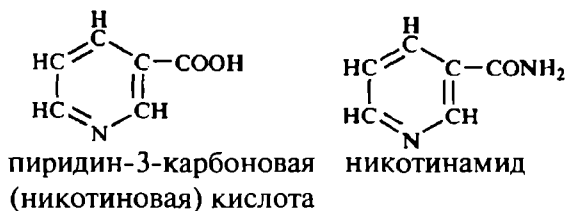


В соединении с фосфорной кислотой рибофлавин входит в состав ферментов, отнимающих водород от пиридиновых дегидрогеназ. Участвует в процессах роста и развития организма, тканевого дыхания, в белковом, углеводном и жировом обмене.

Если в рационе питания недостаточно белка и витамина С (аскорбиновой кислоты), то даже при достаточном поступлении рибофлавина он будет плохо усваиваться. Рибофлавин устойчив к высокой температуре, но легко разрушается на свету. Суточная потребность человека в рибофлавине 2 мг.

Содержание рибофлавина (мкг/г): пшеница 1,5–1,9; рожь 1,2–1,8; пшеничные отруби 2,3; кукуруза 1,2; ячмень 1,7–2,2; овес 1,7–2,0.

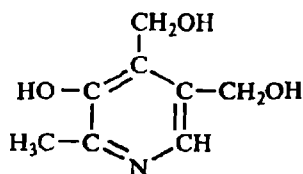
**Ниацин (В<sub>3</sub>, никотиновая кислота, никотинамид).** Название «ниацин» используют как общее обозначение пиридин-3-карбоновой кислоты и ее производного — никотинамида.



Никотинамид входит в состав ферментов — пиридиновых (первичных) дегидрогеназ, участвующих в переносе водорода. Он обладает высокой устойчивостью к воздействию факторов внешней среды — не разрушается при термическом приготовлении пищи, под воздействием солнечного света, воздуха и щелочных растворов. Некоторое количество ниацина может синтезироваться в живом организме из триптофана. Суточная потребность в ниацине 15–20 мг. Содержание ниацина (мкг/г): пшеница 45–70; пшеничные отруби 120–325; пшеничные зародыши 27–90; кукуруза 15; ячмень 94–104; овес 15,6–17,2.

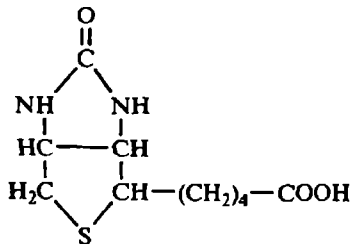
Существенна роль ниацина в белковом обмене, он влияет на накопление азота в растениях, фракционный состав белков листьев и зерна.

**Витамин В<sub>6</sub>**. Имеет три активные формы: пиридоксин, пиридоксаль, пиридоксамин. Структурная формула пиридоксина:



Пиридоксин входит в состав ряда ферментов, катализирующих реакции превращения аминокислот, способствует переходу аминокислоты триптофана в ниацин. Отвечает за синтез глютаминовой кислоты, необходимой для нормальной деятельности центральной нервной системы. Суточная потребность человека в пиридоксине 1,5–2 мг. Пиридоксин устойчив к теплу, щелочам и кислотам, разрушается на свету, особенно при действии ультрафиолетовых лучей. Содержание пиридоксина (мкг/г): зерно пшеницы 3,5–4,3; пшеничные отруби 8,9–16,2; зерно ячменя 1,1–4,9; зерно овса 0,9–3,1; зерно кукурузы 3,47–9,5; зерно проса 2,6–5,2.

**Витамин В<sub>7</sub>**, (биотин, витамин Н) имеет следующее строение:

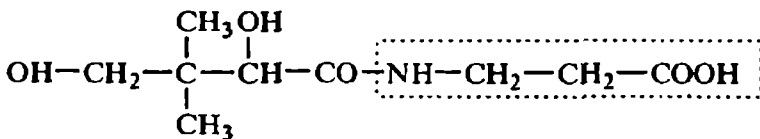


Выполняет разнообразные функции, входит в состав ферментов, катализирующих реакции карбоксилирования, т. е. присоединения  $\text{CO}_2$ . Занимает ключевые позиции в обмене углеводов и жиров, в частности холестерина, участвует в обмене различных аминокислот, белков. Биотин поступает в организм с пищей, но также синтезируется непатогенными микроорганизмами кишечника. Биотин устойчив к высокой температуре, щелочам и кислотам, к кислороду воздуха. Суточная потребность человека в биотине около 10 мкг. Зерновые продукты содержат биотин в следующих количествах (мкг на 1 г продукта): хлеб пшеничный 4,8; крупа овсяная 20,0; овсяные хлопья Геркулес 20,0; кукуруза (початки) 21,0; крупа кукурузная 6,6; горох (сухой) 19,5; рис 12,0; соя 60,0; ячмень 6–12; горох 18,0; сорго 10–25,0.

**Витамин  $\text{B}_{12}$  (кобаламин).** Это — группа водорастворимых соединений, производных коррина. Синтезируется микроорганизмами. Не содержится в растительных продуктах и дрожжах. Главным его источником в пище человека являются животные продукты, особенно печень и почки. Кроветворный фактор. Кобаламин в сочетании с фолиевой кислотой высоко эффективен при лечении различных форм анемии. В обмене веществ участвует в синтезе метионина и диссимиляции ряда аминокислот и пиримидинов.

**Витамин  $\text{B}_3$  (пантотеновая кислота).**

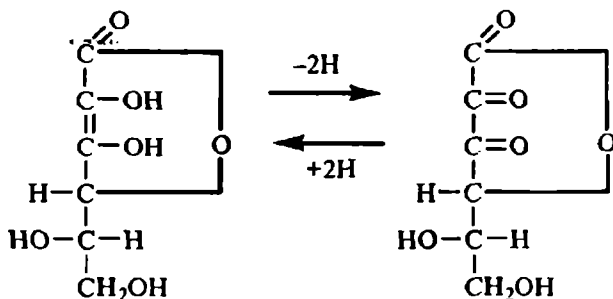
Имеет структурную формулу:



Входит в состав ряда коферментов, в том числе кофермента (КоА), при участии которого происходит синтез жирных кислот, стерина и многих других соединений. Установлено, что в живых тканях и клетках бактерий большая часть пантотеновой кислоты содержится в виде КоА.

Суточная потребность человека в пантотеновой кислоте 10–12 мг. Высокая температура, щелочи и кислоты разрушают этот витамин. Пантотеновая кислота содержится во всех пищевых продуктах и, кроме того, синтезируется микробной флорой кишечника. Различные культуры содержат следующее количество пантотеновой кислоты (мкг/г): зерно ржи — 10; зерно кукурузы — 5; соя — 18; горох — 20; отруби пшеничные — 25.

**Аскорбиновая кислота (витамин С).** Ее участие в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в живой клетке, связано с ее окислительно-восстановительными свойствами и со способностью взаимного превращения аскорбиновой кислоты и дегидроаскорбиновой кислоты:



L-аскорбиновая кислота  
(восстановленная форма)

дегидроаскорбиновая кислота  
(окисленная форма)

**Витамин С** является антиоксидантом, помогает предотвращать урон, наносимый свободными радикалами.

Аскорбиновая кислота обеспечивает высокий уровень защитных сил против болезнетворных микробов. Повышает сопротивляемость организма к нервно-психическим нагрузкам, при простудах. Препятствует образованию нитрозаминов (сильных канцерогенов) из нитратов и нитритов, накапливае-

мых в растительных продуктах при нарушениях использования химических веществ во время их выращивания. В условиях большого дефицита или полного отсутствия витамина С в продуктах питания развивается авитаминоз (цинга).

Суточная потребность в аскорбиновой кислоте составляет 50–100 мг в зависимости от возраста, пола, состояния здоровья и трудовой деятельности.

Аскорбиновая кислота хорошо сохраняется в кислой среде, в щелочной быстро разрушается. В водных растворах легко разрушается, особенно в присутствии воздуха, света и следов меди или железа. В зрелых зернах злаковых культур аскорбиновой кислоты нет. Она появляется при прорастании зерна и содержится в больших количествах в проростках и в солоде. В эндосперме и щитке прорастающего зерна пшеницы аскорбиновая кислота отсутствует. При прорастании зерна пшеницы в нем обнаружено следующее количество аскорбиновой кислоты (мкг/г) через: 1 сут. — нет; 3 сут. — 91; 4 сут. — 166. Семядоли прорастающих семян гороха и фасоли способны синтезировать аскорбиновую кислоту.

**Витамин В<sub>9</sub> (фолат, фолацин, фолиевая кислота, фактор кроветворения).** Фолиевая кислота входит коферментом во многие ферменты, которые переносят, участвуют в образовании ДНК и всех видов РНК. Фолиевая кислота наиболее интенсивно действует вместе с витамином В<sub>12</sub> (кобаламином), совместно они эффективно лечат анемию. Этот витамин содержится в зеленых овощах и в пшенице. Основным источником фолиевой кислоты в питании является хлеб (0,2–0,3 мг/кг). Суточная потребность в ней взрослого человека составляет около 0,2 мг.

**Витамин Р (рутин)** представляет семейство веществ, близких по химической структуре. В основе всех их лежит скелет флавона.

Их называют биофлавоноидами. Витамин Р обладает капилляроукрепляющим действием, снижает проницаемость сосудистой стенки, усиливает желче- и мочеотделение. Диета без рутина у человека и животных вызывает подкожные кровоизлияния. У человека появляются боли в ногах, слабость, быстрая утомляемость.

Витамин Р предохраняет аскорбиновую кислоту от разрушения в тканях организма. Действие того и другого витамина взаимосвязано. Каждый из них в присутствии другого проявляет более высокий эффект, чем в одиночку. Этот витамин содержится во всех растительных продуктах. Наибольшим количеством рутина отличается черноплодная рябина. Повышенным содержанием рутина выделяется гречиха. Взрослому человеку в сутки необходимо около 25–35 мг биофлавоноидов.

### § 3. ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ

К ним относятся витамины А, D, Е и К.

**Витамин А (ретинол).** Существует в виде двух витаминов: А<sub>1</sub> и А<sub>2</sub>. Витамин А<sub>1</sub> представляет собой циклический непредельный одноатомный спирт из 20 атомов. В него входят шестичленное кольцо (β-ионон), два остатка изопрена и первичная спиртовая группа.

Витамин А<sub>2</sub> отличается от А<sub>1</sub> добавочной двойной связью между 3-м и 4-м углеродными атомами шестичленного кольца. Обе формы существуют в виде стереоизомеров, несколько отличающихся по биологической активности. Ретинол участвует в окислительно-восстановительных реакциях.

Входит в состав светочувствительного белка глаз (сетчатки) — родопсина. Оказывает влияние на барьерную функцию эпителия и проницаемость клеточных мембран. При недостаточности ретинола нарушается сумеречное и ночное зрение («куриная слепота»). Появляется ороговение кожи, сухость слизистых оболочек глаз, ротовой полости и дыхательных путей. Наблюдаются похудение и общее истощение организма, воспалительные процессы выделительных половых органов.

Ретинол содержится только в продуктах животного происхождения. В растениях он не встречается, но многие растения содержат провитамины ретинола — каротиноиды; они в организме человека и животных ферментативно превращаются в витамин А. Известны три типа каротиноидов: α-, β- и γ-каротины, различающиеся по химическому строению и биологической активности. Наибольшей биологической активностью обладает β-каротин, содержащий в сво-



ем составе два  $\beta$ -иононовых кольца и при гидролитическом распаде под действием фермента каротин-диоксигеназы образующий две молекулы ретинола. Каротиноиды содержатся в зерне пшеницы и ржи.

В семенах ржи содержание каротиноидов снижается по мере созревания, в семенах пшеницы в наибольшем количестве они сосредоточены при восковой спелости, а затем резко уменьшаются. В семенах зерновых культур преобладает содержание  $\beta$ -каротина, на долю  $\alpha$ -каротина приходится около 10%. В зерновке пшеницы  $\beta$ -каротин распределен неравномерно: в целом в зерновке его содержится 0,02 мг на 100 г, в зародыше и алейроновом слое соответственно 0,60 и 0,33 мг на 100г.

В пшеничной муке остаются только следы  $\beta$ -каротина. Каротиноиды найдены в зерне кукурузы, больше всего в желтых зерновках (6,5 мг на 1 кг).

Ретинол и каротин устойчивы при высокой температуре к варке, но чувствительны к свету и кислороду воздуха. В обменные процессы они включаются только в присутствии жира. Продукты с большим содержанием ретинола необходимо готовить с растительным маслом.

Рекомендуемые нормы для взрослого человека составляют от 1 до 2,5 мг ретинола, или  $\beta$ -каротина — от 2 до 5 мг.

**Витамин D (кальциферол)** — группа витаминов отличающихся по строению и биологической активности.

Для человека и животных наибольшее значение имеют два витамина:  $D_2$  — эргокальциферол и  $D_3$  — холекальциферол.

Растения содержат провитамины группы D — фитостерины — одноатомные ненасыщенные циклические спирты, в структуру которых входит кольцо фенантрена. Фитостерины под действием ультрафиолетовых лучей в организме человека превращаются в витамины группы D. Эти витамины образуются в коже человека под действием света. Основная функция витамина D — регулирование в организме обмена кальция и фосфора. При недостатке этого витамина кальций мало или совсем не усваивается. При отсутствии в рационе витамина D у детей развивается широко известное заболевание — рахит.

Потребность в витамине D для детей составляет от 12 до 25 мкг (1мкг = 0,001 мг) в зависимости от возраста, соотноше-

ния солей фосфора и кальция в рационе. При достаточном облучении солнечными лучами (ультрафиолетом) взрослый человек получает достаточное количество витамина D.

Большое количество витамина D содержится в сливочном масле, яйцах, печени, рыбьем жире. Богаты провитамином D растительные масла (подсолнечное, кукурузное, оливковое и др.). Много витамина D в дрожжах.

**Витамин E (токоферол).** Из известных восьми соединений, входящих в группу витамина наиболее изученным является витамин  $\alpha$ -токоферол.

Молекулы остальных токоферолов различаются числом и расположением метильных групп в бензольном кольце.

Витамин E представляет собой сильный антиокислитель. Предохраняет от окисления полиненасыщенные жирные кислоты, защищает от разрушительного окисления витамин A, обеспечивает нормальное функционирование мембранных структур клеток, ослабляет вредное влияние свободных радикалов. Недостаток витамина E приводит к шелушению кожи, мышечной слабости, дегенерации печени, снижению интенсивности дыхания. Низкие концентрации витамина E в крови связывают с риском возникновения катаракты. Потребность в витамине E для взрослого человека составляет 20–30 мг. Она покрывается растительным маслом. Витамин E содержится в зерне злаковых культур (мг/100 г): пшеницы — 6,02; ржи — 5,34; овса — 2,80; кукурузы — 5,50.

Он сосредоточен главным образом в периферийных слоях семени пшеницы. Так, в зародыше и алейроновом слое соответственно (мг на 100 г) 15,84 и 5,77; в сортовой муке он уменьшается до 1,1 мг на 100 г.

**Витамин K (нафтохинон, филлохинон, менадион).** Известны два витамина K: филлохинон-4 (витамин  $K_1$ ) и менахинон-6 (витамин  $K_2$ ). Витамин K необходим для образования в плазме крови протромбина — предшественника тромбина — фермента, превращающего белок плазмы крови фибриногена в фибрин.

Фибрин — нерастворимый волокнистый белок, формирующий сгусток крови. При дефиците витамина K резко снижается способность крови свертываться, появляется ломкость капилляров, повышенная проницаемость стенок кровеносных

сосудов; возникают самопроизвольные кровотечения (носовые и внутренние). Смешанная пища обычно содержит много витамина К. Витамин К синтезируется микрофлорой кишечника, содержится в растительном масле.

Витамины группы К выдерживают температуру до 120 °С, разрушаются под действием света и кислорода воздуха, щелочами и кислотами.

#### § 4. ВИТАМИНОПОДОБНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Витаминоподобные вещества также как и витамины необходимы организму, но отличаются некоторыми свойствами, нехарактерными витаминам.

**Инозит (витамин В<sub>8</sub>, мио инозит, мезоинозит).** Инозит принимает участие в образовании инозитфосфатидов, синтезе жиров. Инозитфосфатиды входят в состав клеточных мембран. Недостаток инозита приводит к ожирению печени, нарушениям функции нервной системы, способствует развитию атеросклероза. Потребность в нем — 0,5–1 г в сутки. Содержится во многих животных и растительных продуктах. Инозит найден в горохе зеленом (1,5–2,5 г/кг), в различных крупах (1–2 г/кг), в хлебе (0,5–1 г/кг).

##### **S-метилметионин (витамин I)**

Витамин лечит язвы желудка и кишечника. Ускоряет заживление кожных ран. Механизм лечебного действия объясняется тем, что витамин является активным поставщиком метильных групп для химических процессов, связанных с регенерацией слизистых оболочек органов пищеварения, и тут же превращается в аминокислоту метионин, используемую на синтез белков. Входит в состав многих овощей.

**Пангамовая кислота (витамин В<sub>15</sub>).** По биологической роли схожа с витамином I: также легко отдает свою метильную группу на построение жиров и других соединений. Предупреждает ожирение печени, стимулирует деятельность гипофиза и надпочечников. Повышает устойчивость организма при заболеваниях сердца и интоксикациях. Суточная потребность в пангамовой кислоте составляет около 2 мг. Содержится во всех продуктах растительного происхождения.

**Липоевая кислота (витамин N).** Липоевая кислота в содружестве с витамином В<sub>1</sub> участвует в узловых реакциях окисления углеводов в тканях. Как лекарственное средство используется при отравлениях солями тяжелых металлов, заболеваниях печени и сахарном диабете. Синтезируется в организме человека и животных. Ориентировочная потребность в ней составляет 1 мг. Липоевая кислота содержится в мясе, капусте, молоке и других продуктах животного и растительного происхождения.

**Карнитин (витамин Вт).** Точных исследований механизма действия карнитина нет. Полагают, что он участвует в переносе метильных групп. Не исключают, что принимает активное участие в переносе ацильных радикалов через клеточные мембраны у позвоночных, в конечном счете в реакциях окисления и синтеза высших жирных кислот. Синтезируется в организме и присутствует в пище.

**Полиненасыщенные жирные кислоты (эссенциальные жирные кислоты, витамин F).**

К ним относятся линолевая, линоленовая и арахидоновая кислоты. Полиненасыщенные жирные кислоты в десятки и сотни раз быстрее подвергаются энергетическому распаду, чем насыщенные жирные кислоты. Они входят в состав клеточных мембран и других структурных элементов тканей. Обеспечивают эластичность кровеносных капилляров. Используются при образовании биологически активных соединений (например, простагландинов). Оберегают витамин А от разрушения и защищают клетки тканей от различных повреждений, в том числе болезнетворными микробами. Обладают желчегонным действием, активизируют энергетический распад тканевых жиров. Сдерживают проникновение холестерина в сосудистые стенки, предупреждают развитие атеросклероза и преждевременное старение организма. Полиненасыщенные жирные кислоты содержатся в различных количествах во всех продуктах животного и растительного происхождения. Жиры по содержанию полиненасыщенных жирных кислот разделяют на три группы: 1) жирные, содержащие 50–80% этих жирных кислот (подсолнечное, льняное, соевое, хлопковое, кукурузное, горчичное, оливковое, конопляное масло); 2) жиры с

уровнем их менее 50% (свиное сало, гусиный, куриный и утиный жир); 3) жиры, содержащие минимальное количество полиненасыщенных жирных кислот (сливочное масло, бараний и говяжий жир). Суточную потребность человека в полиненасыщенных жирных кислотах могут удовлетворить 15–25 г и 50–60 г жиров первой и второй группы соответственно.

## § 5. АНТИВИТАМИНЫ

В природе встречаются вещества, способные оказывать на организм влияние, противоположное действию витаминов. Они инактивируют витамины. Такие вещества называют антивитаминами. Многие из антивитаминов схожи по строению и реакционной способности с витаминами, но не обладают их биологическими свойствами. Занимая (например, в ферменте) место соответствующего витамина, аналога по строению, они лишают фермент присущих ему функций и тем самым нарушают обмен веществ. В других случаях структурообразные соединения лишают витамин присущих ему функций, разрушая его молекулу или комплексно соединяясь с ним.

**Антивитамин тиамин-окситиамин.** Будучи по строению близок тиамину, отличается от него тем, что вместо аминокетильной группы имеет оксигруппу. Из льняного семени выделено активное вещество лонатин — антивитамин пиридоксина. В зерне кукурузы найден антагонист ниацина. Антивитамины нередко образуются в процессе жизнедеятельности растений. Вытяжка из проростков гороха и лепестков мака задерживает рост дрожжей, содержит антивитамины биотина и пантотеновой кислоты.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое антивитамины?
2. Каковы отличительные особенности антивитаминов?
3. В чем заключается биологическое действие антивитаминов?
4. Какие важнейшие водорастворимые антивитамины содержатся в зерне?
5. Какие жирорастворимые антивитамины входят в состав зерна?
6. Что такое антивитамины, каков характер их действия?

## ФЕРМЕНТЫ

### § 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В основе всех жизненных процессов, включая превращение энергии, лежит работа катализаторов белковой природы — ферментов. Ферменты — это высокоспециализированные белковые молекулы, в одном случае в чистом виде и построенные из простых аминокислот, в другом — в сочетании с другими веществами, являющимися биологическими катализаторами, ускоряют химические процессы, представляют собой движущую силу биологического обмена веществ. Каждый тип фермента может катализировать, как правило, только какой-то один тип реакции, известны тысячи различных ферментов. Ферменты значительно превосходят искусственные катализаторы по специфичности, каталитической активности и способности действовать в мягких условиях, т. е. при умеренной температуре и физиологической концентрации водородных ионов. Они способны в течение миллисекунды обеспечить протекание сложных многостадийных реакций, для проведения которых химику потребовались бы дни, недели или месяцы работы. Самое замечательное свойство химических реакций, протекающих в живых клетках, которое в конечном итоге и делает возможным успешное функционирование клеток, состоит в том, что реакции, катализируемые ферментами, протекают со стопроцентным выходом.

Особенность ферментов заключается еще в том, что одни и те же ферменты при известных условиях способны изменять регулируемые ими биохимические процессы в обратном направлении.

Поскольку каждый фермент способен ускорить только какую-то одну реакцию конкретного соединения, не влияя при

этом на другие его возможные реакции, в живых организмах может протекать одновременно множество различных независимых реакций, причем без риска увязнуть в бесполезных побочных продуктах. Эта высокая степень специфичности ферментов есть результат действия еще одного важного принципа молекулярной логики живого состояния, а именно принципа структурной комплементарности\*. Молекулы ферментов в ходе каталитического цикла должны соединиться со своими субстратами, и активный центр молекулы фермента может воспринимать в качестве субстрата лишь такие молекулы, которые почти полностью комплементарны ему. Принцип структурной комплементарности лежит в основе специфичности многих различных типов межмолекулярных взаимодействий в клетках. Сотни химических реакций, протекающих в клетках при участии ферментов, отнюдь не являются независимыми друг от друга, чаще всего они связаны между собой в сложные последовательности, имеющие общие промежуточные продукты, так что продукт первой реакции может служить субстратом или реагентом второй реакции и т. д. Такие последовательности могут состоять из нескольких реакций — от 2 до 20 и более, а они в свою очередь связаны между собой, образуя сложные сети сходящихся и расходящихся реакций. Биологическое значение таких систем последовательных реакций в том, что они обеспечивают направленность биохимических процессов.

Тот факт, что все химические реакции в клетке катализируются ферментами и связаны друг с другом общими продуктами, подводит к пониманию того, что в живых клетках в буквальном смысле слова в одном и том же объеме и в одно и то же время происходят сотни и тысячи синтезов совершенно различных молекул, исходным сырьем для которых служат всего лишь несколько предшественников. Объединение катализируемых ферментами реакций в последовательности обеспечивает упорядоченную направленность тысяч химических реак-

---

\* Комплементарность (лат. *complementum* — дополнение, средство пополнения) — взаимное соответствие в химическом строении взаимодействующих молекул, обеспечивающее образование вторичных связей между ними — соединение фермента с субстратом. Комплементарные структуры подходят друг к другу, как ключ к замку.

ций, происходящих в клетке, в результате чего все специфические биомолекулы, необходимые для функционирования клетки и сохранения ее структуры, образуются в таких относительных количествах, которые необходимы для сохранения нормального устойчивого состояния клетки и организма.

## § 2. СТРОЕНИЕ ФЕРМЕНТОВ

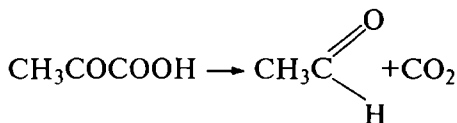
Все ферменты разделяются на две большие группы: однокомпонентные, состоящие исключительно из белка и двухкомпонентные, состоящие из белка и небелковой добавочной группы. Добавочные группы многих двухкомпонентных ферментов представляют собой производные витаминов или нуклеотидов. Установлена важнейшая функциональная связь между ферментами, витаминами и нуклеотидами, являющимися строительным материалом нуклеиновых кислот.

У однокомпонентного фермента в непосредственный контакт с преобразуемым соединением входит часть белковой молекулы, называемой каталитическим центром. Каталитический центр однокомпонентного фермента представляет собой сочетание нескольких аминокислотных остатков, располагающихся в определенной части белковой молекулы. Аминокислотные остатки, образующие каталитический центр однокомпонентного фермента, расположены в различных точках единой полипептидной цепи. Это означает, что каталитический центр возникает в тот момент, когда белковая молекула приобретает присущую ей третичную структуру. Следовательно, изменение третичной структуры фермента под влиянием тех или иных факторов приведет к деформации каталитического центра и изменению ферментативной активности. Все сложнее складывается у двухкомпонентного фермента. Одну часть его — белковую называют апоферментом. Вторую часть — добавочную группу, прочно связанную, не отделяемую от белковой части, называют простетической группой; в отличие от этого добавочную группу, легко отделяющуюся от апофермента и способную к самостоятельному существованию, именуют коферментом. Ни белковая часть и ни простетическая в отдельности не обладают заметной каталитической активностью. Только их комплекс



приобретает ферментативные свойства. При этом белок резко повышает каталитическую активность добавочной группы, присутствующую ей в свободном состоянии в очень малой степени: добавочная же группа стабилизирует белковую часть и делает ее менее уязвимой к денатурирующим агентам. Таким образом, хотя непосредственной каталитической функцией обладает добавочная группа, образующая каталитический центр, ее действие в полной мере невозможно без участия полипептидных фрагментов белковой части фермента. Более того, в апоферменте есть участок, характеризующийся специфической структурой, избирательно связывающий кофермент. Это так называемый кофермент, связывающий домен, его структура у различных апоферментов, соединяющихся с одним и тем же коферментом очень сходна.

Пример двухкомпонентного фермента — пируватдекарбоксилаза, катализирующая расщепление пировиноградной кислоты на диоксид углерода и уксусный альдегид.



Простетическая группа пируватдекарбоксилазы (тиаминпирофосфат) образована молекулой тиамина (витамина В<sub>1</sub>) и двумя остатками фосфорной кислоты. Простетические группы ряда важных окислительно-восстановительных ферментов (дегидрогеназ) содержат производное амида никотиновой кислоты (ниацина) или рибофлавина (витамина В<sub>2</sub>). В состав простетической группы так называемых пиридоксальных ферментов, катализирующих перенос аминогрупп (—NH<sub>2</sub>), декарбоксилирование и ряд других превращений аминокислот, входит пиридоксальфосфат — производное витамина В<sub>6</sub>; активная группа ферментов, катализирующих перенос остатков различных органических кислот (например, ацетила CH<sub>3</sub>CO—), включает витамин пантотеновую кислоту. К двухкомпонентным ферментам относятся также важные окислительно-восстановительные ферменты каталаза (катализирует реакцию разложения пероксида водорода на воду и кислород) и пероксидаза (окисляет пе-

рекиями различные соединения, например полифенолы с образованием соответствующего хинона и воды).

Каталитическое действие двухкомпонентных ферментов может быть воспроизведено с помощью ионов железа, обладающих малой каталитической активностью, которая может быть усилена, если атом железа входит в состав гема (простетическая группа гемоглобина крови). Гем обладает значительным каталазным действием, но его каталитическая активность в несколько миллионов раз меньше активности каталазы, в которой гем в качестве простетической группы этого фермента связан со специфическим белком. Гем обладает также слабым пероксидазным действием, которое проявляется в полной мере только после соединения гема со специфическим белком в целостный фермент пероксидазу.

Соединение простетической группы с белком приводит к резкому возрастанию ее каталитической активности. От природы белка зависит не только каталитическая активность, но и специфичность действия фермента. Прочность связи простетической группы и апофермента у разных ферментов различна. У некоторых ферментов, например у дегидрогеназ, катализирующих окисление различных субстратов отнятием водорода, эта связь является непрочной. Такие ферменты легко диссоциируют (например, при диализе) и распадаются на простетическую группу и апофермент.

Многие ферменты содержат металлы, придающие им активность. Эти металлы называются кофакторами. Пероксидаза и каталаза содержат железо, аскорбинатоксидаза, катализирующая окисление аскорбиновой кислоты, — медь.

### **§ 3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ФЕРМЕНТОМ И СУБСТРАТОМ**

Контакт между ферментом и субстратом осуществляется частью фермента, в которой происходит связывание и превращение субстрата.

Химическая реакция между двумя видами молекул может произойти лишь в том случае, когда молекулы активизированы, т. е. получают определенное дополнительное количество

энергии, называемой энергией активации, — избыток энергии по сравнению со средней энергией молекул при данной температуре, которым они должны обладать, чтобы вступить в реакцию. Процесс можно изобразить графически. Если происходит экзоэргоническая (с затратой энергии) реакция  $AB+NM \rightarrow AM+NB$ , то реагирующие молекулы должны преодолеть определенный энергетический барьер. Они могут это сделать, лишь получив некоторое дополнительное количество энергии, называемой энергией активации, выраженное отрезком  $a$  (рис. 17).

При этом молекулы перейдут в активное состояние, соответствующее горбу кривой. Активные молекулы, вступив в реакцию, теряют определенное количество энергии, и уровень энергии в системе  $AM+NB$  будет находиться ниже энергетического уровня первоначальной системы  $AB+NM$ . Если идет обратная эндоэргоническая (с поглощением энергии) реакция  $AM+NB \rightarrow AB+NM$ , то энергия активации будет выражена отрезком  $b$ . И в том и другом случае отрезок  $b$  является мерой свободной энергии реакции.

Сущность действия катализатора и состоит в том, что он снижает энергию активации, необходимую для осуществления данной химической реакции, направляя ее обходным путем — через промежуточные реакции, которые требуют значительно меньше энергии активации. Так, реакция  $AB \rightarrow A+B$  в присутствии катализатора  $K$  идет следующим образом:  $AB+K \rightarrow ABK$  и далее  $ABK \rightarrow BK+A$  и  $BK \rightarrow B+K$ . Происходит

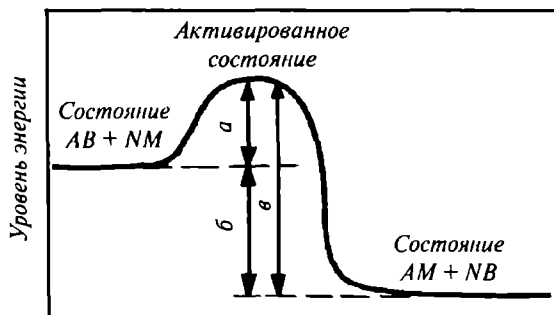


Рис. 17. Энергетическая схема химической реакции

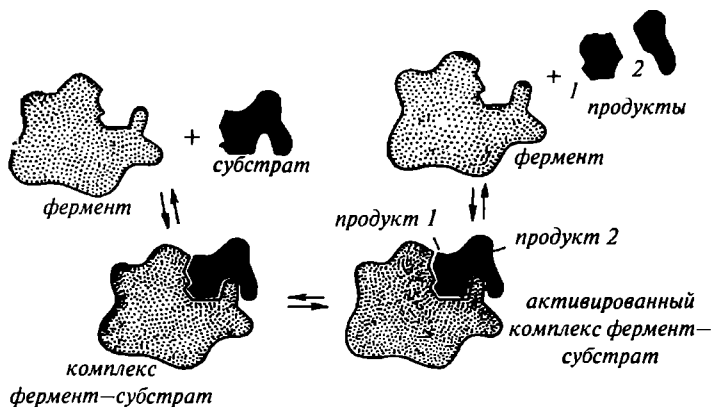


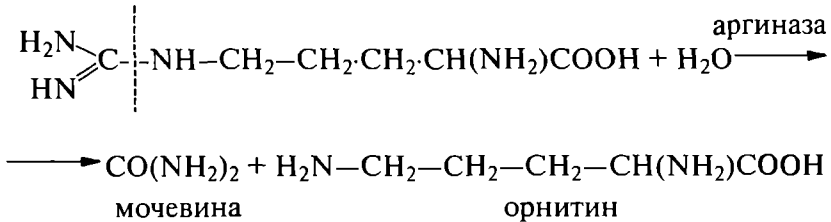
Рис. 18. Схема образования промежуточного соединения фермент-субстрат

образование промежуточного соединения катализатора с субстратом (рис. 18) и последующий распад этого соединения, причем катализатор регенерируется.

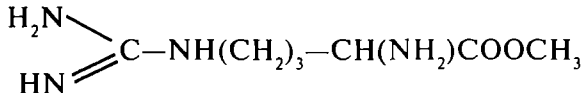
Промежуточные реакции требуют значительно меньше энергии активации, чем реакция, идущая без участия катализатора, поэтому они протекают со значительной быстротой, а, следовательно, и скорость суммарной реакции  $AB \rightarrow A + B$  также значительно повышается. Так, гидролиз сахарозы с образованием из нее глюкозы и фруктозы без участия катализатора требует энергии активации, равной 134 кДж/моль. Если реакция катализируется ионами водорода, то энергия активации снижается до 107 кДж/моль, а при катализе ферментом  $\beta$ -фруктофуранозидазой она составляет всего 39 кДж/моль. Реакция разложения пероксида водорода, происходящая без участия катализатора, требует энергии активации, равной 75 кДж/моль. Если реакция катализируется коллоидной платиной, то энергия активации понижается до 48 кДж/моль, а в присутствии фермента каталазы — до 5,4 кДж/моль. Фермент значительно сильнее понижает энергию активации, чем неорганический катализатор. Катализатор приводит к некоторой деформации молекул субстрата при образовании промежуточного комплекса катализатор — субстрат, что ослабляет внутримолекулярные связи, молекулы становятся более способными к реакции.

## § 4. СПЕЦИФИЧНОСТЬ И УСЛОВИЯ ДЕЙСТВИЯ ФЕРМЕНТОВ

Действие ферментов, в отличие от неорганических катализаторов, строго специфично и зависит от строения субстрата, на который фермент действует. Примером такой зависимости служит катализируемая аргиназой реакция гидролитического расщепления аминокислоты аргинина на орнитин и мочевины.



Однако аргиназа не расщепляет метиловый эфир аргинина.



Дипептид, состоящий из остатков двух молекул аргинина, под действием аргиназы дает лишь половину количества мочевины. Хотя расщепление аргинина происходит в месте, весьма отдаленном от карбоксильной (COOH) группы, необходимым условием действия аргиназы является ее соединение с карбоксильной группой аргинина. Поэтому замещение водорода в карбоксильной группе на метильный остаток или же связывание карбоксильной группы со второй молекулой аргинина оказывает резкое влияние на действие аргиназы. Пример строгой специфичности действия — ферменты, катализирующие химические превращения различных природных стереоизомеров. Фермент, окисляющий природные L-аминокислоты, не действует на D-изомеры этих же аминокислот.

Фермент дипептидаза, гидролизующий дипептиды, состоящие из остатков L-аминокислот, не действует на такие же дипептиды, состоящие из остатков D-аминокислот. Специ-

фичность действия ферментов послужила немецкому ученому Эмилю Фишеру основанием для сравнения субстрата и фермента, катализирующего его превращение, с замком и соответствующим ему ключом. Стереохимическая специфичность ферментов теснейшим образом связана с одной из основных особенностей живых организмов — их способностью к синтезу оптически активных органических соединений.

В образовании соединения между ферментом и субстратом так называемого фермент-субстратного комплекса принимают участие лишь некоторые функциональные группы молекулы фермента, образующие его активный центр. Функциональные группы могут находиться в разных местах молекулы субстрата, их сближение происходит благодаря свойственной молекуле фермента специфической пространственной (третичной) структуре. Нарушение пространственной структуры молекулы фермента (ее активного центра) в результате денатурации белка или каких-либо химических модификаций приводит к изменению или полной потере каталитической активности. В двухкомпонентных ферментах в образовании фермент-субстратного комплекса принимают участие не только функциональные группы апофермента, но и простетическая группа. Исключительно высокая специфичность действия ферментов объясняется их белковой природой. Пиридоксальные ферменты, содержащие один и тот же кофермент (пиридоксальфосфат), могут принадлежать к различным классам и катализировать разнообразные реакции. Специфичность их действия зависит от природы апофермента.

Действие ферментов зависит от ряда факторов, прежде всего от температуры и реакции среды (рН). Оптимальная температура, при которой активность ферментов наиболее высока, находится обычно в пределах 40–50 °С. При более низких температурах ско-

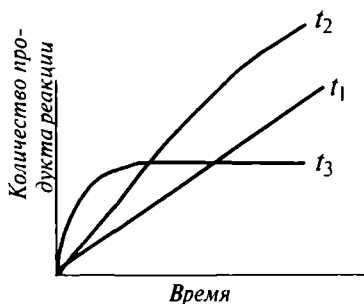


Рис. 19. Влияние температуры на скорость ферментативной реакции ( $t_1 < t_2 < t_3$ )

рость ферментативной реакции снижается, а при температурах, близких к 0 °С, реакция полностью прекращается. При повышении температуры выше оптимальной, скорость ферментативной реакции также снижается и, наконец, полностью прекращается. Снижение интенсивности действия ферментов (рис. 19, 20) при повышении температуры сверх оптимальной объясняется главным образом, начинающимся разрушением (денатурацией) входящего в состав фермента белка. Поскольку белки в сухом состоянии денатурируются значительно медленнее, чем белки оводненные (в виде белкового геля или раствора), инактивирование ферментов в сухом состоянии происходит гораздо медленнее, чем в присутствии влаги.

Наблюдаемая в практике работы с зерном большая устойчивость сухого зерна к повышенной температуре с сохранением биологических и технологических свойств по сравнению с тем же, но увлажненным зерном объясняется этими особенностями тепловой денатурации белков и инактивации ферментов.

Важным фактором, от которого зависит действие ферментов, является активная реакция среды — рН (рис. 21, 22, 23, 24). Отдельные ферменты различаются по оптимальной для их действия величине рН. Оптимум действия  $\beta$ -фруктофуранозидазы находится в широкой зоне рН — от 4,0 до 5,5. Отношение к рН  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилазы различно:  $\beta$ -амилаза может действовать при более кислой реакции, чем  $\alpha$ -амилаза. Вместе с тем  $\beta$ -амилаза более термола-

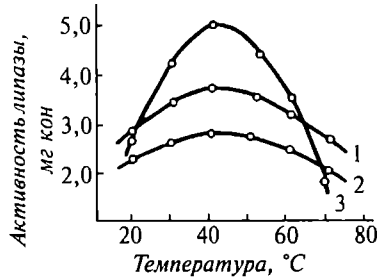


Рис. 20. Изменение активности соевой триацилглицерол-липазы в зависимости от температуры: 1 — оливковое масло; 2 — кукурузное; 3 — соевое

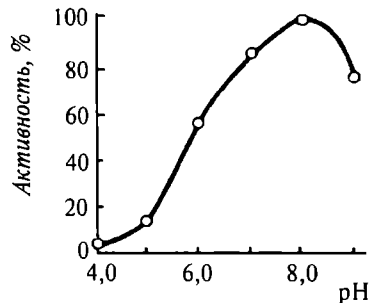


Рис. 21. Зависимость гидролитической активности триацилглицерол-липазы зародышей зерна пшеницы от рН

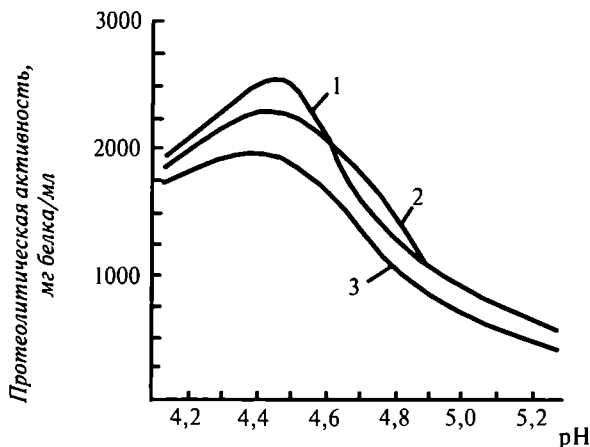


Рис. 22. Влияние кислотности на активность протеаз муки:  
1 — пшеницы; 2 — ржи; 3 — тритикале

бильна, чем  $\alpha$ -амилаза, которая выдерживает более высокую температуру. Большое влияние на скорость ферментативной реакции оказывает концентрация субстрата (рис. 24).

Действие ферментов зависит также от присутствия специфических активаторов и неспецифических или специфических ингибиторов. Многие ферменты активизируются в присутствии соединений,

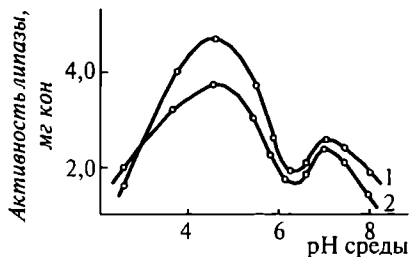


Рис. 23. Сравнительные изменения активности соевой триацил-глицерол-липазы в зависимости от pH среды и срока хранения семян разных лет урожая:

- 1 — семена сои урожая одного года;
- 2 — семена сои урожая следующего года

соединений, содержащих сульфгидрильную группу ( $-SH$ ). К ним принадлежат аминокислоты цистеин и трипептид глутатион, содержащийся в каждой живой клетке и состоящий из остатков глютаминовой кислоты, цистеина и гликокола. Особенно сильное активизирующее воздействие глутатион оказывает на некоторые протеолитические и окислительные ферменты. Глутатион регулирует окислительно-восстановительные процессы благода-



ря тому, что может существовать в двух формах — восстановленной (Г—SH) и окисленной.

Цистеин и глутатион играют большую роль в биохимических процессах, происходящих в тесте. Ингибирование (угнетение) ферментов происходит под действием различных веществ, образующих с белками нерастворимые осадки или блокирующих в них какие-либо группы (например, —SH—группу). Существуют специфические ингибиторы ферментов, угнетение которыми каталитических функций основано на специфическом связывании этих ингибиторов с определенными химическими группировками в активном центре фермента. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) специфически ингибирует ряд окислительных ферментов, содержащих в активном центре железо или медь. Вступая в химическое со-

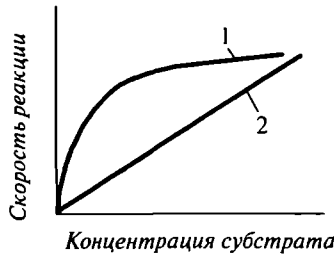
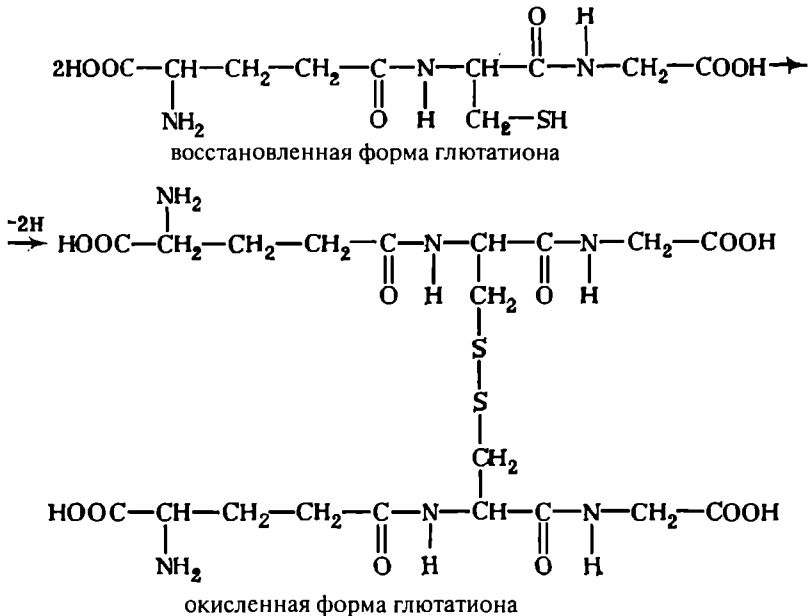


Рис. 24. Зависимость скорости реакции от концентрации субстрата: 1 — ферментативная реакция; 2 — химическая реакция



единение с этими металлами, оксид углерода блокирует активный центр фермента, который вследствие этого теряет свою активность. Различают обратимое и необратимое ингибирование ферментов. В случае обратимого ингибирования (например, действие малоновой кислоты на сукцинатдегидрогеназу) активность фермента восстанавливается при удалении ингибитора диализом или иным способом.

При необратимом ингибировании действие ингибитора даже при его низких концентрациях со временем усиливается и наступает полное торможение активности фермента. Ингибирование может быть конкурентным и неконкурентным. При конкурентном ингибировании ингибитор и субстрат конкурируют между собой, стремясь вытеснить друг друга из фермент-субстратного комплекса. Действие конкурентного ингибитора снимается высокими концентрациями субстрата, в то время как действие неконкурентного ингибитора в этих условиях сохраняется. Действие на ферменты специфических активаторов и ингибиторов имеет большое значение для регулирования ферментативных процессов в организме.

## **§ 5. СВОЙСТВА И ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ**

Ферменты имеют ряд общих свойств с химическими, небиологическими катализаторами. Ферменты, как и небиологические катализаторы, не расходуются в процессе катализа, не входят в состав конечных продуктов реакции и выходят из реакции в первоначальном виде. Ферменты только ускоряют реакции, протекающие и без них. Они не могут возбудить реакции, противоречащие законам термодинамики. Ферменты, как и неорганические катализаторы, не смещают положения равновесия реакции, а лишь ускоряют его достижение.

Ферменты имеют отличительные свойства, характерные только для них. Все ферменты — белки. Скорости реакций, катализируемые ферментами, во много раз выше, чем реакции, протекающие с участием химических катализаторов. Для ферментов характерна узкая избирательность действия на строго определенные превращаемые вещества (субстраты).

Важнейшее свойство ферментов — их регулируемость. Регуляция ферментативных систем лежит в основе координации всех процессов метаболизма во времени и пространстве, что обеспечивает воспроизведение живой материи, стабилизацию внутриклеточной среды, приспособление к изменяющимся внешним условиям. Для ферментативных реакций характерен почти 100%-ный выход продуктов. Побочные процессы незначительны по сравнению с неферментативным катализом.

Наличие фермента распознается по проявлениям катализируемой им химической реакции. Скорость реакции (активность фермента) измеряют обычно в произвольных единицах. Рекомендуется соблюдать при этом определенные условия (концентрация субстрата, температура, pH). Например, активность  $\beta$ -амилазы оценивают по количеству образовавшейся из крахмала мальтозы (мг) на 10 г зерна (муки) в условиях опыта. Активность каталазы выражают в миллилитрах 0,1 н  $\text{KMnO}_4$ , затраченных на титрование (в условиях опыта) оставшегося неиспользованным пероксида водорода, или в количестве разложенной  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Международный биохимический союз рекомендует скорость реакции измерять в молях исходного или конечного продукта реакции в секунду. Для выражения каталитической активности фермента рекомендуется применять показатель, называемый каталом. Под каталом понимают каталитическую активность, способную осуществлять реакцию со скоростью, равной 1 моль в 1 с. Можно применять также дробные величины катала: микрокаталы ( $10^{-6}$ ) — 1 мккат, нанокаталы ( $10^{-9}$ ) — нкат, пикокаталы ( $10^{-12}$ ) — пкат, чему отвечают скорости реакций, выражающиеся в микромолях, наномолях и пикомолях в 1 с.

## § 6. КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА ФЕРМЕНТОВ

По рекомендациям Международного биохимического союза ферменты разделяют на шесть классов: оксидоредуктазы, трансферазы, гидролазы, лиазы, изомеразы, лигазы.

Код (индекс) каждого фермента содержит четыре числа, разделенных точками. Первая цифра указывает класс, вто-

рая — подкласс, третья — подподкласс, четвертая — порядковый номер в данном подподклассе. Так, фермент  $\alpha$ -амилаза, расщепляющий крахмал с образованием главным образом декстринов и небольшого количества мальтозы, имеет код 3.2.1.1, т. е. относится к классу гидролаз, подклассу ферментов, действующих на гликозильные соединения, подподклассу ферментов, гидролизующих *o*-гликозильные соединения.

**Класс оксидоредуктаз.** Включает ферменты, катализирующие окислительно-восстановительные реакции. Класс насчитывает 17 подклассов в зависимости от природы той группы в молекуле субстрата, которая подвергается окислению (спиртовая, альдегидная, кетонная и т. д.). Третье число показывает тип используемого акцептора: кофермента, цитохрома, молекулярного кислорода и т. д.

**Класс трансфераз.** Объединяет ферменты, катализирующие реакции переноса групп (метильных, гликозильных, аминных и др.) от одного соединения (донора) к другому соединению (акцептору), подразделяется на 8 подклассов в зависимости от природы переносимых групп. Третья цифра характеризует тип переносимых групп (например, одноуглеродная группа может быть метилом, карбоксилем, формилом и т. д.).

**Класс гидролаз.** Включает ферменты, катализирующие гидролитическое расщепление различных соединений; он разделяется на 11 подклассов в зависимости от типа гидролизуемой связи — сложноэфирной, пептидной, гликозидной и т. д. Третья цифра обычно уточняет природу субстрата (например, в подклассе эстераз различают эстеразы сложных эфиров карбоновых кислот, гидролазы тиоэфиров, фосфомоноэстеразы).

**Класс лиаз.** Действие ферментов основано на отщеплении от субстрата той или иной группы (негидролитическим путем) с образованием двойной связи или присоединении группы к двойным связям. У лиаз 6 подклассов. Вторая цифра кода обозначает тип подвергающейся разрыву связи (углерод—углерод, углерод—кислород и т. д.), а третья — тип отщепляемой группы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др.).

**Класс изомераз.** Объединяет ферменты, катализирующие реакции изомеризации, т. е. структурные изменения в пределах одной молекулы. Класс изомераз разделяется на 5 подклас-

сов в зависимости от типа катализируемой реакции, а подподклассы — по типам субстрата.

**Класс лигаз (или синтетаз).** Ферменты, которые катализируют соединение двух молекул друг с другом, сопряженное с гидролизом высокоэнергетической связи в молекуле аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) или аналогичного трифосфата. Лигазы разделяются на 5 подклассов по типу образуемой связи (углерод — азот, углерод — кислород и т. д.). Подклассы фигурируют только в подклассе С—N— лигаз.

## § 7. ФЕРМЕНТЫ ЗЕРНА

В зерне злаковых растений, как и во всяком живом организме, большое количество ферментов. Рассмотрим некоторые из них, имеющие наибольшее значение для биохимических процессов, протекающих в зерне и оказывающих влияние на качественное состояние зерна при хранении и его переработке.

**Ферменты первого класса.** Это оксидазы: монофенол-монооксигеназа (тирозиназа), аскорбатоксидаза, пероксидаза, каталаза и липоксигеназа.

Монофенол-монооксигеназа (1.14.18.1) окисляет аминокислоту тирозин с образованием темноокрашенных соединений — меланинов. Активная монофенол-монооксигеназа содержится в ржаной муке и грибах. Темный цвет ржаного хлеба частично объясняется действием монофенол-монооксигеназы. Той же причиной объясняется наблюдающееся потемнение некоторых партий макарон при их сушке, некоторые сорта пшеницы содержат активную монофенол-монооксигеназу.

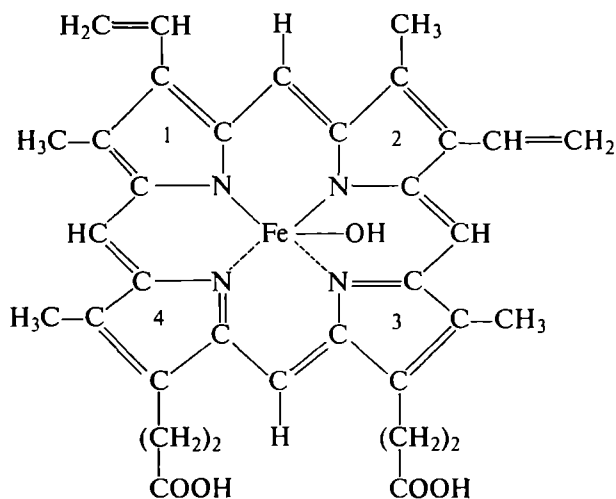
Аскорбатоксидаза (1.10.3.3) представляет собой белок, содержащий медь (0,24%).

В растениях имеется оксидаза, которая превращает аскорбиновую кислоту в дегидроаскорбиновую.

Пероксидаза (1.11.1.7) способствует окислению органических соединений пероксидом водорода в живом организме. Может окислять те или иные соединения с помощью пероксида водорода или каких-либо органических примесей. С пероксидом водорода она образует комплексное соединение, в

результате чего пероксид активизируется и приобретает способность действовать как акцептор водорода.

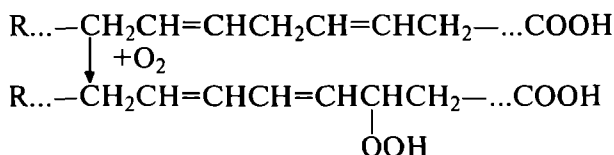
Особенно легко перекиси образуются при окислении кислородом воздуха соединений, имеющих непредельные связи между двумя атомами углерода: терпенов, каротиноидов, ненасыщенных жирных кислот. Пероксидаза, как и каталаза, — двухкомпонентный фермент, простетическая группа его содержит железо, соединенное с остатками четырех пиррольных колец в виде гематина. Гематин пероксидазы и каталазы имеет одно и то же строение. Различия в каталитической функции каталазы и пероксидазы объясняются разными свойствами белков, связанных в этих ферментах с одной и той же простетической группой. Пероксидаза играет важную роль в дыхании растений. Каталаза (1.11.1.6) состоит из четырех субмолекул, каждая из которых хорошо видна при большом увеличении в электронном микроскопе. Роль каталазы в организме заключается в том, что она разрушает ядовитый для клеток пероксид водорода. Каталаза ингибируется синильной кислотой, сероводородом, фторидами. Гематин также слабо катализирует окисление перекисями различных спиртов и других соединений.



гематин •

Липоксигеназа (1.13.11.12) широко распространена в растениях, старое название — липоксидаза. Фермент катализирует процесс окисления кислородом воздуха некоторых ненасыщенных высокомолекулярных жирных кислот и образуемых ими сложных эфиров. Наиболее активна она в семенах сои. Липоксигеназа сои представляет собой глобулин с молекулярной массой 102000, в виде белковых кристаллов, содержит железо. Оптимум действия липоксигеназы сои находится при рН 6,5–7,0, а злаков при рН 7,0. Из всех ненасыщенных жирных кислот липоксигеназа окисляет с достаточной скоростью лишь линолевую и линоленовую кислоты.

Окисление ненасыщенных жирных кислот под действием липоксигеназы приводит к образованию гидроперекисей:

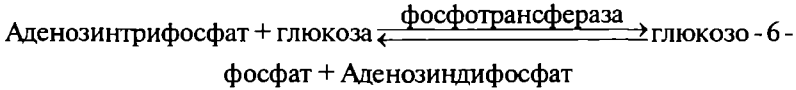


Образующиеся таким образом гидроперекиси имеют высокую окислительную способность и могут окислять далее новые порции ненасыщенных жирных кислот, а также каротиноиды, витамин А, аминокислоты, хлорофилл, аскорбиновую кислоту.

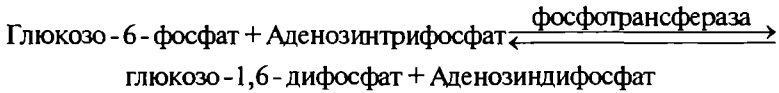
Поскольку липоксигеназа катализирует вторичное окисление каротиноидов, сопровождающееся исчезновением характерной для них желтой окраски, делаются попытки применить липоксигеназу в качестве препарата, отбеливающего тесто, и придающего мякишу хлеба более светлую окраску. Липоксигеназа играет важную роль при разрушении каротина во время сушки и хранения различных растительных продуктов. Перекиси жирных кислот могут легко подвергаться дальнейшему распаду, по этой причине липоксигеназа играет существенную роль в процессе прогоркания муки и различных круп.

**Ферменты второго класса — трансферазы.** К этому классу принадлежат ферменты, катализирующие перенос целых атомных группировок от одного соединения к другому. Под дей-

ствием фосфотрансфераз остатки фосфорной кислоты переносятся от аденозинтрифосфата на глюкозу или фруктозу. При этом образуется аденозиндифосфат и фосфорный эфир соответствующего сахара:

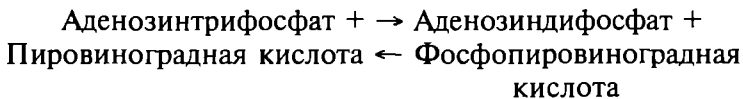


Глюкозо-6-фосфат может далее под действием фосфотрансферазы присоединять еще один остаток фосфорной кислоты, получив его от новой молекулы аденозинтрифосфата:



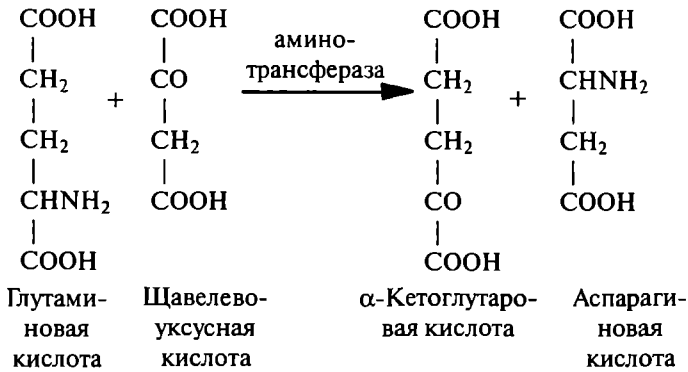
Фосфотрансфераза, катализирующая образование гексозофосфата из гексозы и аденозинтрифосфорной кислоты, получила название гексокиназы (2.7.11), а фермент, под действием которого из глюкозомонофосфата образуется глюкозодифосфат, — фосфоглюкокиназы. Гексокиназа найдена в дрожжах, зерне пшеницы и горохе, проростках овса. Она получена из дрожжей в виде белковых кристаллов.

Под действием соответствующей фосфотрансферазы происходит также фосфорилирование пировиноградной кислоты — одного из важнейших промежуточных продуктов дыхания и брожения:

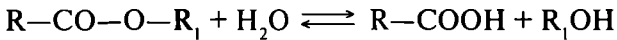


Большую роль в обмене веществ играют реакции переаминирования. Реакция переаминирования заключается в межмолекулярном переносе аминогруппы с аминокислоты на кетокислоту и катализируется ферментами, получившими название аминотрансфераз:





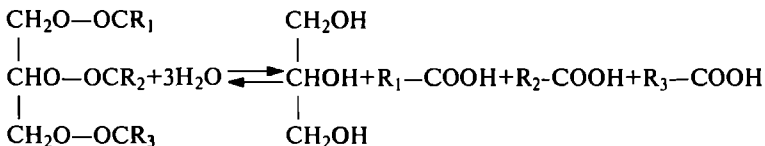
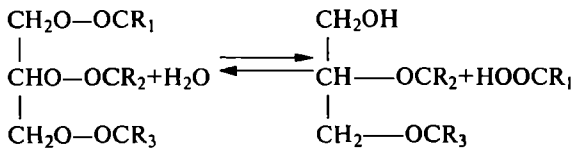
**Ферменты третьего класса — гидролазы.** Катализируют реакции гидролиза, т. е. расщепление сложных соединений на более простые с присоединением воды. Класс гидролаз весьма обширен, и его подразделяют на ряд подгрупп.



где R — остаток органической (или неорганической) кислоты, R<sub>1</sub> — остаток спирта или фенола.

Фермент, гидролизующий распад жира, или триацилглицерин (по-старому триглицериды), называется триацилглицерол-липазой (3.1.1.3). Его часто называют по-старому липазой. Липаза действует таким образом, что сначала отщепляет от триацилглицерина один кислотный остаток, затем второй и, наконец, третий.

Ниже приведены реакции, катализируемые триацилглицерол-липазой:



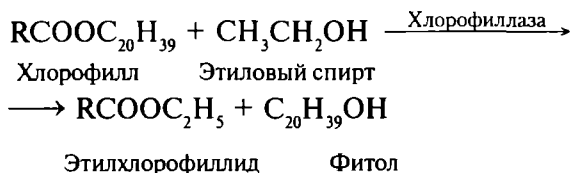
где  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ —радикалы высокомолекулярных жирных кислот.

Липазы различного происхождения весьма существенно различаются по свойствам и характеру действия.

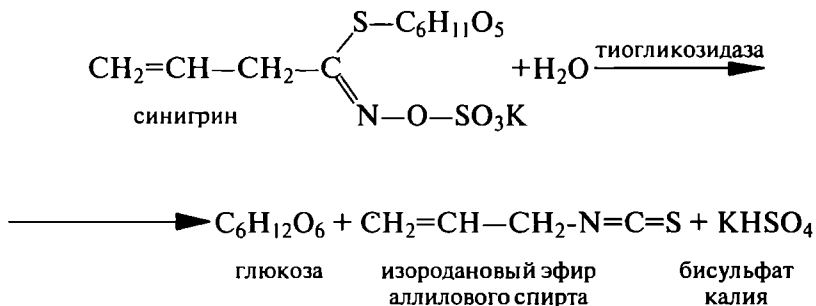
В растениях и микроорганизмах липаза содержится в двух формах — в виде нерастворимого и растворимого в воде фермента. Нерастворимая липаза содержится в семенах клещевины. С помощью триацилглицерол-липазы клещевины можно не только гидролизовать жир, но при соответствующих условиях синтезировать его (триацилглицерин). Клещевинная липаза обладает большой специфичностью, она почти не действует на водорастворимые эфиры глицерина и низкомолекулярных жирных кислот — уксусной, пропионовой, валериановой и др. Оптимум ее действия соответствует рН 3,6.

В отличие от липазы клещевины липаза, содержащаяся в семенах злаков, многих масличных культур и в микроорганизмах, относится к растворимым ферментам. Оптимум ее действия по кислотности среды также значительно отличается от клещевинной липазы: он находится при рН 8. Действие липазы имеет большое значение при хранении муки и крупы, особенно содержащих много жира (например, пшено). При повышенной влажности и температуре хранения этих продуктов липаза быстро расщепляет триацилглицерины с образованием свободных жирных кислот, что приводит к повышению кислотности продукта и его быстрому прогорканию.

Во всех звеньях растений содержится эстераза фермент хлорофиллаза (3.1.1.14), активно действующая в спиртовых растворах и осуществляющая реакцию «переэстерификации»: фермент отщепляет от хлорофилла остаток фитола и заменяет его остатком того спирта, в среде которого ведется реакция:



Имеются ферменты, катализирующие гидролиз тиоэфиров, например фермент тиогликозидаза (3.2.3.1), ранее называвшаяся мирозиназа, гидролизующая глюкозид синигрин, содержащийся в семенах черной горчицы. При увлажнении растертых семян горчицы под действием мирозиназы синигрин расщепляется на глюкозу, изородановый эфир аллилового спирта и бисульфат калия.



К подгруппе эстераз относят фосфатазы — ферменты, гидролизующие сложные эфиры фосфорной кислоты. Они отличаются друг от друга по химической природе гидролизуемых ими субстратов. В зерне важную роль играют гидролазы фосфомоноэфиров, к которым относят фитазу (3.1.3.8). Она отщепляет фосфорную кислоту от инозитфосфорной кислоты, которая в виде Ca—Mg-соли представляет собой фитин. В семенах многих растений и дрожжах содержится активная фитаза. Оптимум действия фитазы пшеничного зерна находится при pH 5,8 (рис. 25).

Фитаза оказывает большое влияние на пищевую ценность хлеба. Инозитфосфорная кислота, образуя нерастворимые соли с кальцием, препятствует его усвоению организмом чело-

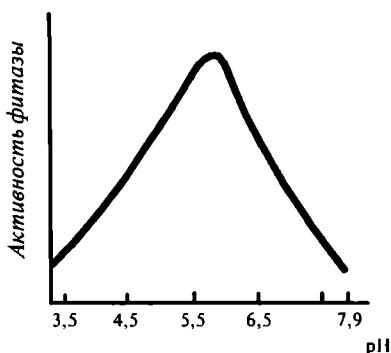
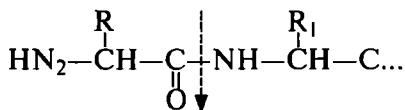


Рис. 25. Зависимость активности фитазы пшеничной муки от pH

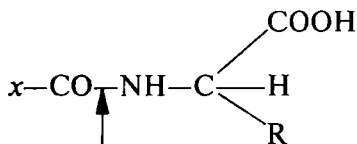
века. Фитаза дрожжей и муки в процессе брожения теста расщепляет большую часть содержащейся в нем инозитфосфорной кислоты, и тем способствует лучшему усвоению солей кальция.

Протеазы (3.4) — ферменты, катализирующие гидролитическое расщепление белков и полипептидов. Протеазы катализируют расщепление пептидной связи —CO—NH— поэтому в классификации ферментов их называют пептидгидролазами. Протеазы разделяют на пептидазы и протеиназы. Пептидазы катализируют гидролитическое расщепление полипептидов и дипептидов. Протеиназы осуществляют непосредственно гидролиз белков. Впоследствии оказалось, что протеиназы способны гидролизовать пептидные связи не только в белках, но и в различных полипептидах. Однако условное деление протеаз на пептидазы и протеиназы закрепилось в практике работы с протеазами.

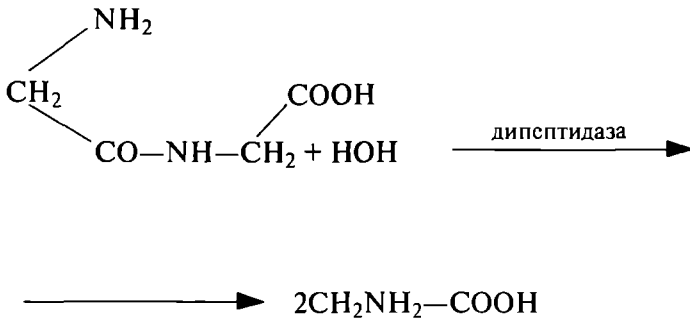
Аминопептидазы (3.4.11) — первая цифра обозначает класс гидролаз, вторая — подкласс пептидгидролаз, третья — группу аминопептидаз. Для действия аминопептидаз необходимо наличие в молекуле субстрата свободной α-аминной группы:



Карбоксипептидазы (3.4.17) расщепляют в полипептидах пептидную связь, находящуюся рядом со свободной карбоксильной группой пептида:



Дипептидазы (3.4.13.11) катализируют гидролитическое расщепление дипептидов на свободные аминокислоты. Глицилглицин распадается под действием дипептидазы (3.4.13.11) на две молекулы гликокола:



Протеиназы гидролизуют непосредственно белки. При этом из белка образуются пептоны (продукты неполного гидролиза белков), полипептиды и свободные аминокислоты. В зависимости от природы гидролизуемого белка оптимальная зона действия отдельных протеиназ находится при слабокислой, нейтральной или слабощелочной реакции.

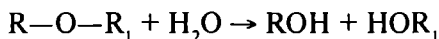
Протеиназы, содержащиеся в млечном соке и в семенах растений, в дрожжах, составляют особую группу ферментов, типичным представителем которых является папаин (3.4.22.2). Его получают в виде сухого порошка из млечного сока дынного дерева (*Carica papaya*). Молекула папаина состоит из 212 аминокислотных остатков. Первичная структура молекулы папаина полностью выяснена. Она содержит три дисульфидных мостика и одну сульфгидрильную группу, входящую в активный центр фермента.

Характерная особенность папаина, как и ряда других протеолитических ферментов растительного происхождения, заключается в том, что они активизируются синильной кислотой и сульфгидрильными соединениями, прежде всего цистеином и восстановленным глутатионом.

На действие ферментов большое влияние оказывает молекулярная структура субстрата — его атакуемость ферментами. Подтверждена различная атакуемость разных белков одними и теми же протеазами. Это обстоятельство оказывает существенное влияние при тестоведении на белки различных сортов пшеницы, резко различающихся по физическим свойствам клейковины, а, следовательно, и на их хлебопекарное достоинство.

Скорость расщепления белков протеолитическими ферментами зависит от присутствия в белке определенных химических группировок, например сульфгидрильных, аминных и оксигрупп. Если эти группы в белковой молекуле каким-либо образом ликвидировать, то атакуемость белков ферментами изменяется. Так, при восстановлении дисульфидных связей белка скорость его расщепления протеиназами возрастает, а в результате блокирования оксигрупп бензилированием или ацетилированием атакуемость белка понижается. Атакуемость белка протеиназами зависит от присутствия в его молекуле определенных химических групп, а также от его первичной, вторичной и третичной структуры.

Карбогидразы — ферменты, катализирующие реакции типа



где R — остаток моно-, ди- или полисахарида, R<sub>1</sub> может быть также моно-, ди- или полисахаридом или же веществом неуглеводной природы, содержащим спиртовую или фенольную группу (например, агликаны в гликозидах).

Кислородная связь в веществах, расщепляемых карбогидразами, имеет характер ацетальной или эфирной связи. Карбогидразы делят на олигазы ( $\alpha$ -глюкозидаза,  $\beta$ -галактозидаза,  $\beta$ -фруктофуранозидаза) и полиазы (амилазы, глюкоамилаза, целлюлаза, гемицеллюлазы).

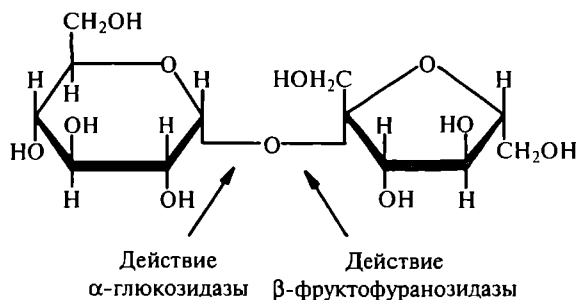
$\alpha$ -Глюкозидаза (3.2.1.20)—систематическое название  $\alpha$ -D-глюкозид-глюкогидролаза, старое название — мальтаза. Фермент, расщепляющий  $\alpha$ -глюкозидную связь в дисахаридах и глюкозидах, содержится в тканях растений, плесневых грибах, дрожжах, бактериях. Особенно большое количество  $\alpha$ -глюкозидазы в проросшем зерне проса. Просяной солод применяется в качестве добавки к ячменному солоду при изготовлении мальтозной патоки. Активная  $\alpha$ -глюкозидаза просяного солода обеспечивает гидролиз мальтозы с образованием двух молекул глюкозы. Глюкоза более сладкая, чем мальтоза.

$\alpha$ -Глюкозидаза расщепляет мальтозу, но может гидролизовать и сахарозу, поскольку сахароза, как и мальтоза, является  $\alpha$ -глюкозидом. Она не только катализирует реакцию гидроли-

за, но способна и к реакции синтеза  $\alpha$ -гликозидов из  $\alpha$ -глюкозы и соответствующего спирта.

$\alpha$ -Галактозидаза (3.2.1.22) — систематическое название —  $\alpha$ -D-галактозид-галактогидролаза, старое название — мелибиаза. При действии  $\alpha$ -галактозидазы на рафинозу происходит расщепление связи между остатком  $\alpha$ -галактопиранозы и остатком глюкопиранозы. В результате из рафинозы образуются  $\alpha$ -галактопираноза и сахароза.  $\alpha$ -Галактозидаза содержится в пивных дрожжах и грибном солоде — ферментном препарате из плесневого гриба *Aspergillus oryzae*.

$\beta$ -Фруктофуранозидаза (3.2.1.26) — систематическое название —  $\beta$ -D-фруктофуранозид-фруктогидролаза, старые названия — сахараза, инвертаза. Фермент катализирует расщепление сахарозы на глюкозу и фруктозу. В то время как  $\alpha$ -глюкозидаза гидролизует сахарозу у  $\alpha$ -глюкозидного углеродного атома остатка глюкозы,  $\beta$ -фруктофуранозидаза разрывает связь у  $\beta$ -глюкозидного углеродного атома остатка фруктозы:



В обоих случаях получается один и тот же результат: свободные глюкоза и фруктоза. У трисахарида рафинозы имеет такая же связь между остатком глюкозы и остатком фруктозы, как и в сахарозе. Поэтому  $\beta$ -фруктофуранозидаза гидролизует также рафинозу. При этом из рафинозы получается молекула фруктозы и молекула дисахарида мелибиозы (из остатков глюкозы и галактозы).  $\beta$ -Фруктофуранозидаза содержится в высших растениях, микроорганизмах и в пищеварительных соках животных. Особенно активен этот фермент в дрожжах, из которых его обычно получают в виде очищенных препаратов.

Амилазы — ферменты, под действием которых происходит гидролиз крахмала с образованием декстринов и мальтозы. Амилазы гидролизуют неизменные крахмальные зерна и крахмальный клейстер. Гидролиз неизменных крахмальных гранул сопровождается образованием мальтозы и постепенным изменением формы крахмальных зерен — они как бы разъедаются ферментом и теряют свои первоначальные очертания. Скорость расщепления амилазами крахмала из зерна разных культур и сортов или из разных частей одного и того же растения неодинакова. Эта различная податливость крахмала действию амилазы получила название атакуемости крахмала. Таким образом, скорость расщепления крахмала амилазой зависит не только от количества и активности фермента, но также от атакуемости субстрата.

Атакуемость крахмала возрастает с уменьшением размеров крахмальных зерен, т. е. с увеличением их относительной поверхности. Она резко возрастает также при механическом нарушении структуры крахмальных зерен при их длительном перетирании в ступке или при помоле зерна на мукомольном заводе. Действие амилазы на неизменные или механически поврежденные крахмальные зерна значительно слабее по сравнению с их действием на оклейстеренный крахмал. По этой причине во многих отраслях пищевой промышленности перед осахариванием крахмала солодом (источник активной амилазы) муку или картофель предварительно заваривают горячей водой.

Различают три амилазы:  $\alpha$ -амилаза,  $\beta$ -амилаза и глюкоамилаза.

$\alpha$ -Амилаза (3.2.1.1) — систематическое название 1,4- $\alpha$ -D-глюкан-глюканогидролаза, старые названия — диастаза, пتيالин, гликогеназа, декстриногенамилаза.  $\alpha$ -Амилаза содержится в слюне, пищеварительном соке поджелудочной железы, в плесневых грибах, в проросшем зерне пшеницы, ржи, ячменя.

Характерной особенностью всех  $\alpha$ -амилаз является наличие в них по крайней мере одного моля прочно связанного кальция на один моль фермента. Обработка фермента этилендиаминтетраацетатом, связывающим кальций, его инактивирует. Роль кальция заключается в том, что он стабилизирует вторичную и третичную структуру молекулы  $\alpha$ -амилазы, обеспе-



чивая таким образом ее каталитическую активность и предохраняя фермент от действия протеолитических ферментов.

Атакуемость крахмала  $\alpha$ -амилазой связана с количеством в грануле крахмала амилозы: крупные высокоамилозные гранулы с большей легкостью атакуются  $\alpha$ -амилазой.

Выявлена возможность наряду с активацией зимогенной амилазы ее новообразования в прорастающем зерне. При повышенной влажности атмосферы наблюдается усиление синтеза  $\alpha$ -амилазы в созревающем зерне, что приводит к ухудшению хлебопекарных достоинств зерна.

$\beta$ -Амилаза (3.2.1.2) — систематическое название 1,4- $\alpha$ -D-глюкан-мальтогидролаза, старые названия — диастаза, сахарогенамилаза, гликогеназа.  $\beta$ -Амилаза находится в зерне пшеницы, ржи, ячменя, в соевых бобах. Оба фермента существенно различаются по характеру действия на амилозу и амилопектин крахмала.

$\beta$ -Амилаза расщепляет амилозу нацело, превращая ее на 100% в мальтозу (рис. 26). Амилопектин  $\beta$ -амилаза гидролизует на мальтозу и декстрины, дающие коричнево-красное окрашивание с йодом.  $\beta$ -амилаза расщепляет лишь свободные концы глюкозных цепочек с образованием мальтозы. Ее действие прекращается, когда происходят разветвления в молекуле амилопектина ( $\beta$ -амилаза расщепляет амилопектин с образованием мальтозы лишь на 54%). Декстрины, образовавшиеся при действии  $\beta$ -амилазы на амилопектин, гидролизуются  $\alpha$ -амилазой с образованием декстринов с меньшей молекулярной массой, не дающих окрашивания с йодом.

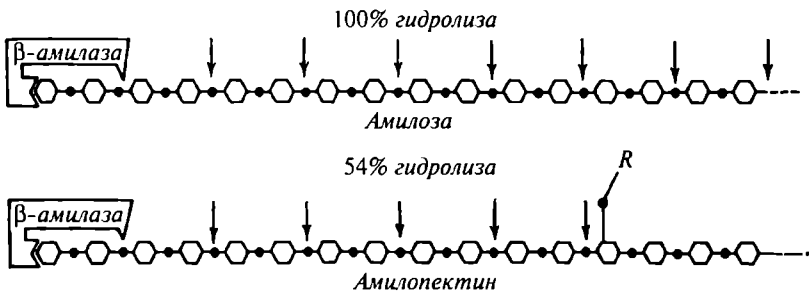


Рис. 26. Схема действия  $\beta$ -амилазы на амилозу и амилопектин

При последующем, длительном воздействии  $\beta$ -амилазы на крахмал около 85% его превращается в мальтозу. При действии  $\beta$ -амилазы на крахмал образуются главным образом мальтоза и небольшое количество высокомолекулярных декстринов. При действии на крахмал  $\alpha$ -амилазы образуются главным образом декстрины меньшей молекулярной массы и незначительное количество мальтозы. Ни  $\alpha$ -, ни  $\beta$ -амилазы в отдельности не могут полностью гидролизовать крахмал или гликоген с образованием мальтозы.

При одновременном действии обеих амилаз крахмал гидролизуется на 95%.

$\alpha$ - и  $\beta$ -Амилазы различаются своим отношением к рН —  $\beta$ -амилаза может работать при более кислой среде (оптимальный рН 4,8), чем  $\alpha$ -амилаза (рН 5,6–6,3). Вместе с тем  $\beta$ -амилаза более термолабильна (оптимальная  $t = 51^\circ\text{C}$ ), а  $\alpha$ -амилаза выдерживает более высокую температуру (оптимальная  $t = 65^\circ\text{C}$ ).

Оказывается, что разные  $\alpha$ -амилазы различаются по своей термолабильности. Наиболее быстро при нагревании разрушается грибная  $\alpha$ -амилаза. На втором месте стоит зерновая  $\alpha$ -амилаза (фермент из проросшего зерна или солода). Наиболее устойчива к нагреванию бактериальная  $\alpha$ -амилаза.

Семена растений различаются по содержанию в них  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилазы. В непроросших семенах пшеницы и ячменя содержится только  $\beta$ -амилаза;  $\alpha$ -амилаза образуется при прорастании.

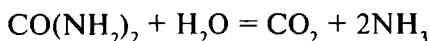
Во ржи присутствуют оба фермента —  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилазы, при прорастании количество и активность  $\alpha$ -амилазы резко возрастает. В соевых бобах, непроросших и проросших встречается только  $\beta$ -амилаза. В непроросших семенах сорго имеется главным образом  $\alpha$ -амилаза.

Как и другие ферменты, амилазы могут находиться в клетке в связанном с белками виде, и тогда они лишаются гидролитической активности. Связывание амилаз с белками играет большую роль в регулировании их действия в прорастающем и созревающем зерне.

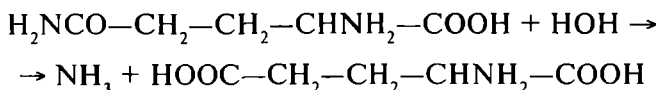
Экзо-1,4- $\alpha$ -глюкозидаза, ее чаще называют глюкоамилазой (3.2.1.3), имеет систематическое название 1,4- $\alpha$ -D-глюкан глюкогидролаза. Гидролизует крахмал с образованием преимущественно глюкозы и небольшого количества декстринов.

Препараты глюкоамилазы получают из плесневых грибов. С помощью этого фермента получают глюкозную патоку и кристаллическую глюкозу.

Ферменты группы амидаз (3.5) — уреазы и глутаминазы. Уреазы (3.5.1.5) содержится в растениях, плесневых грибах и некоторых бактериях. Особенно большие количества уреазы содержатся в семенах сои и канавалии (род из семейства бобовых), из которых ее получают в кристаллическом виде. Активную уреазу содержат также бактерии, разлагающие мочевину при разложении навоза. При этом мочевина расщепляется на аммиак и диоксид углерода:

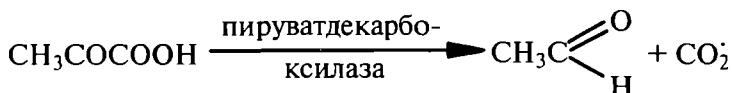


Глутаминаза (3.5.1.2) катализирует гидролиз глутамина с образованием глутаминовой кислоты и аммиака:

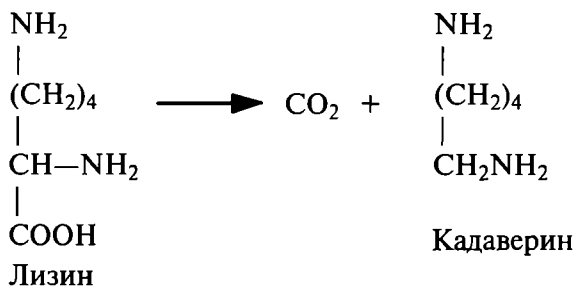


**Ферменты четвертого класса — лиазы.** Некоторые из них катализируют отщепление воды, другие — отщепление диоксида углерода или аммиака. Из ферментов этого класса рассмотрим пируватдекарбоксилазу и лизиндекарбоксилазу.

Пируватдекарбоксилаза (4.4.1.1) — фермент, содержащийся в растениях и микроорганизмах и расщепляющий пирувиноградную кислоту на уксусный альдегид и  $\text{CO}_2$ :

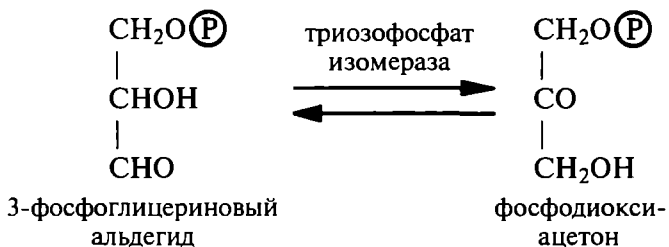


Активная группа пируватдекарбоксилазы состоит из витамина  $\text{B}_1$  (тиамина), соединенного с двумя остатками фосфорной кислоты. Ферментативному декарбоксилированию могут также подвергаться аминокислоты, в результате наряду с  $\text{CO}_2$  образуется соответствующий амин или аминокислота. Так при декарбоксилировании лизина под действием лизиндекарбоксилазы (4.1.1.8) образуется пентаметилендиамин (кадаверин):

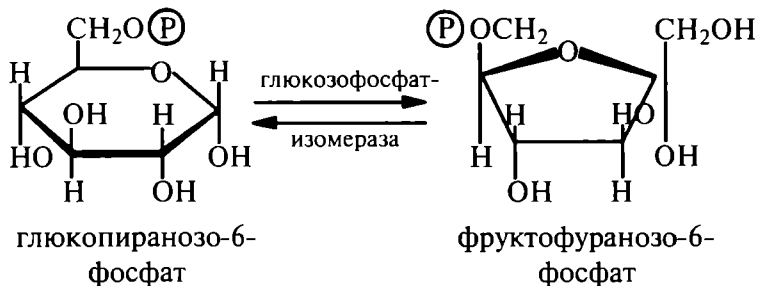


**Ферменты пятого класса — изомеразы.** Катализируют изомеризацию органических соединений. Некоторые из них принимают участие в брожении теста.

Фермент триозофосфат-изомераза (5.3.1.1) катализирует превращение промежуточных продуктов брожения 3-фосфоглицеринового альдегида и фосфодиоксиацетона:



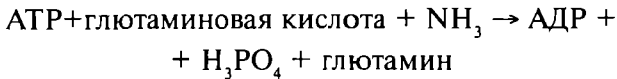
Фермент глюкозофосфат-изомераза, или оксиизомераза (5.3.1.9) катализирует обратимое взаимное превращение глюкопиранозо-6-фосфата и фруктофуранозо-6-фосфата:



Таким образом, глюкозофосфат-изомераза катализирует взаимное превращение фосфорных эфиров глюкозы и фруктозы. В высших растениях эти взаимные превращения глюкозы и фруктозы происходят с чрезвычайной легкостью.

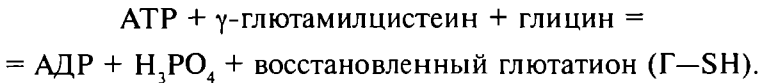
**Ферменты шестого класса — лигазы.** В этот класс входят ферменты: глутаминсинтетаза, аспарагинсинтетаза, глутатионсинтетаза, пируваткарбоксилаза.

Глутаминсинтетаза (6.3.1.2) катализирует реакцию синтеза глутамина из глутаминовой кислоты и аммиака:



Аспарагинсинтетаза (6.3.1.1) катализирует аналогичную реакцию синтеза аспарагина.

Глутатионсинтетаза (6.3.2.3) катализирует при участии АТР синтез восстановленного глутатиона из  $\gamma$ -глутамилцистеина и глицина:



Карбоксилазы — ферменты, которые при участии АТР катализируют присоединение диоксида углерода к различным органическим кислотам, т. е. удлинение углеродной цепочки.

Так, пируваткарбоксилаза (6.4.1.1) катализирует реакцию синтеза щавелевоуксусной кислоты из пировиноградной кислоты:  $\text{H}_2\text{O} + \text{АТР} + \text{пировиноградная кислота} + \text{CO}_2 = \text{АДР} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{щавелевоуксусная кислота}$ . Карбоксилазы, катализирующие присоединение  $\text{CO}_2$ , содержат в качестве простетической группы биотин.

Ферменты играют большую роль во всех процессах выращивания зерна в поле, при послеуборочном дозревании, хранении, при его переработке в мукомольном производстве, хлебопечении, производстве круп и макарон, пивоварении, спирто-водочном производстве и в ряде других отраслей пищевой промышленности.

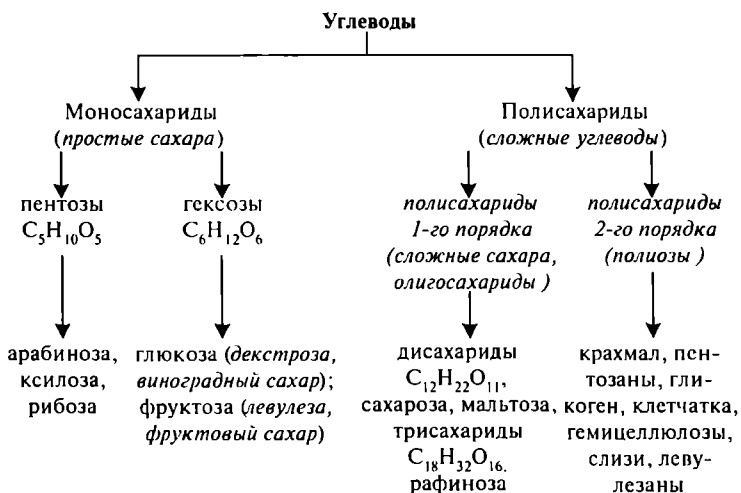
## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое ферменты?
2. Каково значение ферментов для живых организмов и в различных отраслях народного хозяйства?
3. Каков механизм действия ферментов?
4. При каких условиях действуют ферменты?
5. Какова классификация и номенклатура ферментов?
6. Как измеряют активность ферментов?
7. Какие реакции в зерне катализируют ферменты зерна монофенолмонооксигеназа (тирозиназа), каталаза и липоксигеназа?
8. Какое практическое значение имеют эти ферменты при хранении и переработке зерна?
9. Что такое ферменты трансферазы, каково их значение в процессах, происходящих в зерне?
10. Каково значение протеаз для хлебопечения?
11. Какие существуют протеазы, каков характер действия различных протеаз?
12. Каков характер действия триацилглицерол-липазы?
13. Как характеризуется действие  $\alpha$ -глюкозидазы и  $\beta$ -фруктофуранозидазы?
14. Каковы особенности действия  $\alpha$ -амилазы,  $\beta$ -амилазы и глюкоамилазы?
15. Что такое пируватдекарбоксилаза, каков характер ее действия?

## УГЛЕВОДЫ

## § 1. ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

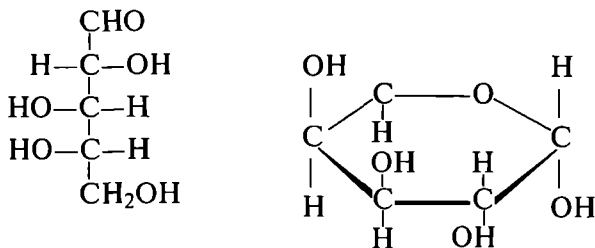
Углеводы составляют главную массу зерна и семян — примерно две трети. Это основной питательный и опорный материал растительных клеток и тканей. Велика их роль в питании человека, они — основная часть кормов сельскохозяйственных животных. Многие углеводы находят широкое техническое применение. Значение углеводов для живых организмов в том, что они представляют собой энергетический материал — главный источник калорий. Сахара — основной субстрат брожения и дыхания. Все углеводы разделяют на две группы: монозы, или моносахариды и полиозы, или полисахариды, состоящие из остатков молекул моносахаридов. Важнейшие углеводы, встречающиеся в зерне, представлены в следующей схеме:







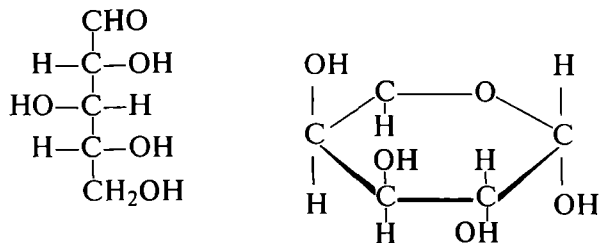
L-Арабиноза существует в двух видах:



Нециклическая форма      β-пиранозная форма

Преобладает циклическая полуацетальная или окисленная форма. В растворах, на нециклическую форму приходится примерно 1%. L-Арабиноза широко распространена в растениях, входит в состав пентозанов, гемицеллюлоз, пектиновых и других веществ, которых много в отрубях, соломе, початках кукурузы. В небольших количествах L-арабиноза может быть в свободном виде. В зерне ржи содержится 1,0–1,5% свободной арабинозы. Дрожжами не сбраживается.

D-Ксилоза встречается также в двух формах:



Нециклическая форма      α-пиранозная форма

D-Ксилозу называют иногда древесным сахаром.

Содержание пентозанов различно и составляет: в целом пшеничном зерне (% сухого вещества) — 8,1, эндосперме — 2,72, зародыше — 9,74, оболочках и алейроновом слое — 36,65. Дрожжами пентозаны не сбраживаются, организмом человека не усваиваются.

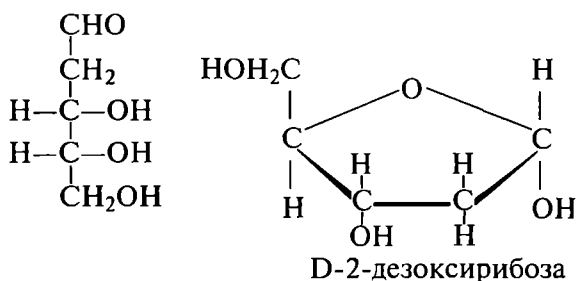
Пентозаны разделяют на водорастворимые (РП) и нерастворимые (НРП), но растворяющиеся в водных растворах щелочей.

В состав эндосперма зерна пшеницы и ржи входит арабиноксилан — один из наиболее распространенных пентозанов. Физические свойства пентозанов обусловлены высокополимерным характером молекул, присутствием в них большого числа гидроксильных группировок.

Водорастворимые пентозаны оказывают большое влияние на качество муки и теста вследствие сильно выраженных коллоидных свойств, способности к гелеобразованию и повышенной способности к гидратации. Важную роль в тестообразовании играют водорастворимые пентозаны зерна ржи (слизи).

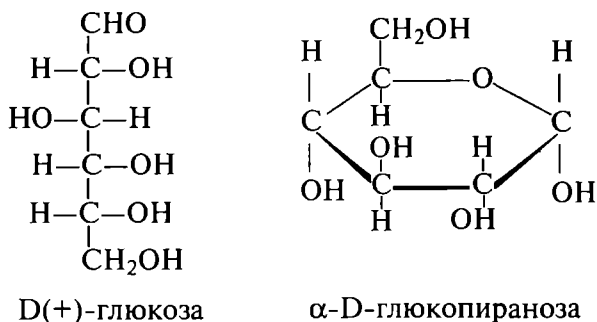
D-Рибоза входит в состав многих биологически важных веществ — рибонуклеиновых кислот, некоторых коферментов.

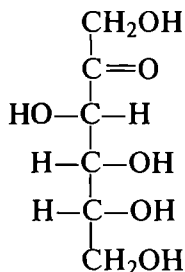
Особенно важна фуранозная форма производного рибозы — D-2-дезоксирибоза:



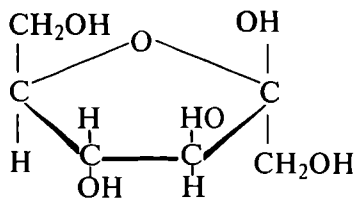
Она входит в состав дезоксирибонуклеиновой кислоты.

**Гексозы.** К наиболее важным гексозам относят глюкозу и фруктозу. Каждая из них существует в двух формах — нециклической и циклической (в растворе преобладает):



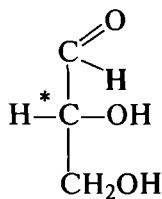
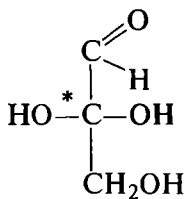


D(-)-фруктоза

 $\beta$ -D-фруктофураноза

Моносахариды содержат асимметрические атомы углерода, такие, у которых все четыре валентности замещены различными атомными группировками. Это приводит к существованию различных стереоизомеров каждого такого соединения, отличающихся по своим физическим и химическим свойствам.

При установлении конфигурации того или иного моносахарида ее сравнивают с конфигурацией глицеринового альдегида, имеющего один асимметрический атом углерода и три формы — две оптически активные (левовращающую и правовращающую) и в виде равной их смеси, лишенной оптической активности, называемой рацемическим соединением, или рацематом. (Звездочками обозначены асимметрические атомы углерода).

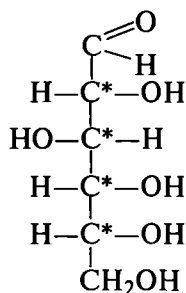
правовращающий  
D-глицериновый  
альдегидлевовращающий  
L-глицериновый  
альдегид

Все моносахариды, у которых замещающие группы при углеродном атоме, ближайшем к первичной спиртовой группе

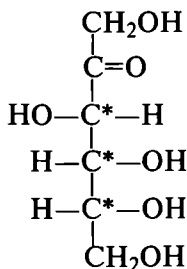
$\text{CH}_2\text{OH}$ , имеют то же расположение в пространстве, что и D-глицериновый альдегид, причисляют к D-ряду, а если такое, как у L-глицеринового альдегида, то к L-ряду.

Направление удельного вращения обозначают знаками «+» (вправо) и «-» (влево).

В растениях содержатся только D-формы сахаров, L-формы встречаются очень редко. Так, в зерне содержится:



D(+)-глюкоза

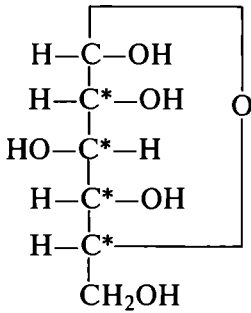
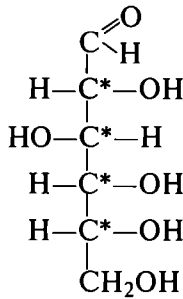


D(-)-фруктоза

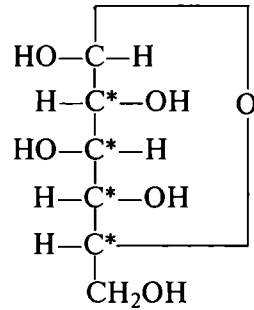
В только что приготовленных растворах моносахаридов удельное вращение сразу изменяется, пока не достигнет некоторой постоянной величины (явление мутаротации). Было выяснено, что глюкоза имеет две изомерные формы — одна с удельным вращением  $+113^\circ$  и другая, имеющая удельное вращение  $+19^\circ$ . При растворении в воде удельное вращение первой формы снижается, а второй повышается, пока у той и другой оно не станет равным  $+52,5^\circ$ .

В настоящее время установлено, что в растворах D-глюкоза существует в трех взаимопревращающихся формах, из которых две циклические, у них асимметрических углеродных атомов на один больше, чем у нециклической формы. Превращение нециклической формы моносахарида в циклическую сопровождается образованием кислородного «мостика».

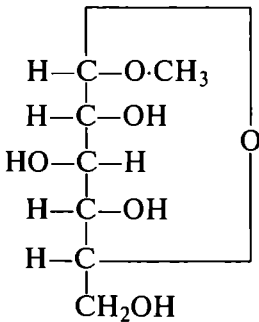
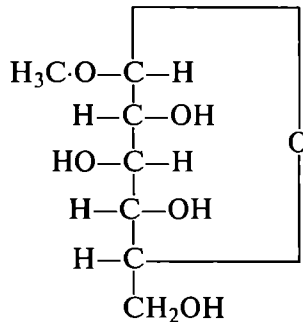
Циклические формы принято называть одну  $\alpha$ , вторую  $\beta$ . В случае с D-глюкозой имеем:

 $\alpha$ -D-глюкоза

D-глюкоза

 $\beta$ -D-глюкоза

$\alpha$  и  $\beta$ -формы моносахаридов имеют большое значение в связи с тем, что они образуют соответствующие производные — гликозиды, резко отличающиеся по отношению к ферментам:

 $\alpha$ -метилгликозид $\beta$ -метилгликозид

Гидроксил у первого углеродного атома отличается повышенной реакционной способностью. Он получил название гликозидного гидроксила.

Вещества неуглеводной природы, присоединяющиеся к моносахаридам по месту гликозидного гидроксила, могут быть самыми различными соединениями. Их называют агликонами. Гликозиды широко распространены в растениях. Многие из них имеют горький вкус и запах. В семенах черной горчицы содержится гликозид синигрин, от него зависит специфический запах и горький вкус этих семян.

D-глюкоза (декстроза, виноградный сахар) в свободном виде содержится в зеленых частях растений, в семенах, раз-

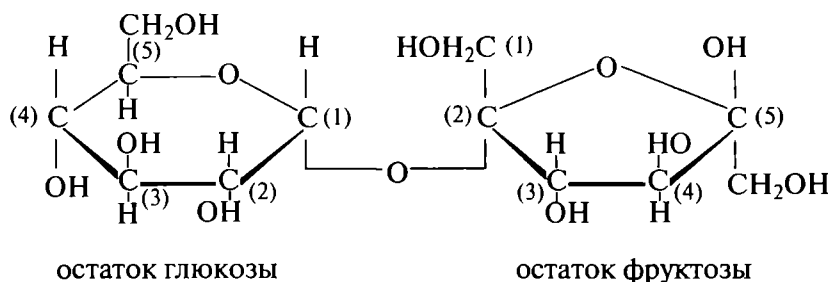
личных фруктах и ягодах, в меде. Входит в состав крахмала, клетчатки, гемицеллюлоз, гликогена, декстринов, сахарозы, мальтозы, рафинозы, многих гликозидов. Чистую глюкозу в больших количествах получают гидролизом крахмала минеральными кислотами или ферментами. Она сбраживается дрожжами до спирта.

D-фруктоза (плодовый сахар, левулеза) содержится в зеленых частях растений, в нектаре цветов, в плодах, семенах, меде. Входит в состав сахарозы, рафинозы и левулезанов. Фруктоза сбраживается дрожжами. Глюкоза и фруктоза играют большую роль при брожении теста.

### § 3. ПОЛИСАХАРИДЫ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Наибольшее значение имеют дисахариды сахароза, мальтоза, а также трисахарид рафиноза.

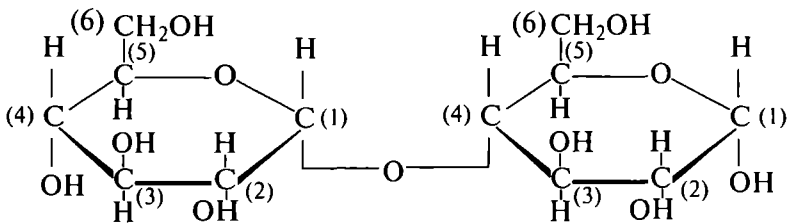
Сахароза (тростниковый сахар, свекловичный сахар). Широко распространена в растениях, встречается в листьях, стеблях, семенах, фруктах, ягодах, корнях, клубнях. Играет очень важную роль в питании человека. Легко растворима в воде. Кристаллизуется в виде больших моноклинических кристаллов. Температура плавления сахарозы 160–186 °С. Удельное вращение водных растворов +66,5°. Не восстанавливает фелингову жидкость, сбраживается дрожжами. Ее структурная формула имеет следующий вид:



В молекуле сахарозы остатки глюкозы и фруктозы соединены между собой за счет своих гликозидных гидроксильных групп.

При нагревании растворов сахарозы с кислотами она гидролизуется, образуя смесь составляющих ее простых сахаров (глюкозы и фруктозы). Эта смесь называется инвертным сахаром, а процесс расщепления сахарозы на составляющие ее сахара носит название инверсии. Сахарозу гидролизует также фермент  $\beta$ -фруктофуранозидаза. При нагреве выше температуры плавления сахароза карамелизуется — превращается, обезвоживаясь, в смесь сложных веществ. Процесс карамелизации играет большую роль в кондитерском производстве.

**Мальтоза (солодовых сахар).** Имеет одинаковую с сахарозой эмпирическую формулу  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Молекула мальтозы состоит из двух остатков глюкозы, структурная формула ее имеет следующий вид:



При соединении остатков глюкозы в мальтозе использован только один гликозидный гидроксил, второй остается незатронутым, поэтому мальтоза восстанавливает фелингову жидкость, однако вдвое слабее, чем две молекулы глюкозы и обнаруживает в водных растворах мутаротацию. Кристаллизуется в виде игол, содержащих воду.

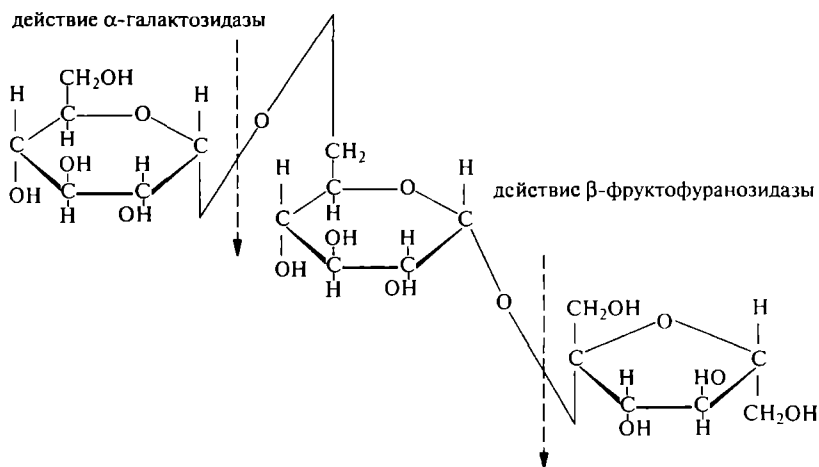
Удельное вращение мальтозы в водных растворах  $+130,4^\circ$  Сбраживается дрожжами в присутствии глюкозы. Под действием фермента  $\alpha$ -глюкозидазы (мальтазы) гидролизуется с образованием двух молекул глюкозы. В нормальном непроросшем зерне мальтоза практически не содержится, она накапливается в зерне лишь при прорастании. В большом количестве мальтоза содержится в солоде и солодовых экстрактах. Мальтоза образуется в больших количествах в качестве промежуточного продукта при гидролизе крахмала амилазами, играет важную роль при тестоведении, так как, расщепляясь со-

держажимся в дрожжах и в муке ферментом  $\alpha$ -глюкозидазой, образует глюкозу, потребляемую дрожжами при брожении.

**Рафиноза (мелитриоза).** Имеет эмпирическую форму  $C_{18}H_{32}O_{16}$ . Встречается в больших количествах во многих растениях. В заметных количествах содержится в зародышах зерна. В сухом веществе пшеничных зародышей находится от 4 до 6,9% рафинозы. Накапливается в больших количествах в мелассе при производстве свекловичного сахара. Рафиноза кристаллизуется в виде длинных игл с пятью молекулами воды. Удельное вращение водных растворов  $+105,2^\circ$ . Не восстанавливает фелингову жидкость. При нагревании с кислотами рафиноза гидролизуется, присоединяя две молекулы воды, она распадается на три молекулы моносахаридов: глюкозу, галактозу и фруктозу.

Ферментативный гидролиз рафинозы идет по двум направлениям. Под действием фермента  $\beta$ -фруктофуранозидазы от рафинозы отщепляется фруктоза. При действии фермента  $\alpha$ -галактозидазы, содержащейся в эмульсине (ферментном препарате, получаемом из миндаля), рафиноза расщепляется на галактозу и тростниковый сахар.

Ниже показано строение рафинозы и те места в ее молекуле, в которых происходит разрыв при ферментативном гидролизе:





Фруктоза самый сладкий среди сахаров. По сладости сахара можно расположить следующим образом: фруктоза > сахароза > глюкоза > мальтоза. В зерне ячменя, ржи, пшеницы, содержится в среднем 2–3% сахаров (главным образом сахарозы). В горохе и фасоли сахаров от 4 до 7%, а в сое — от 4 до 15%. Особенно много сахаров в зародышах ржи и пшеницы — 16–25%, кукурузы — 11%. В зародышах сахар состоит из сахарозы с примесью рафинозы и очень малого количества глюкозы и фруктозы. В периферических слоях зерна сахаров больше, чем в центральных частях.

#### § 4. ПОЛИСАХАРИДЫ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Большая часть углеводов, входящих в группу полисахаридов второго порядка, представляет собой вещества с большой молекулярной массой.

Крахмал ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>. Не является химически индивидуальным веществом, на 96,1–8,6% он состоит из двух полисахаридов — амилозы и амилопектина, образующих при кислотном гидролизе глюкозу; в нем найдены высокомолекулярные жирные кислоты (до 0,6%) и минеральные вещества, главным образом фосфорная кислота (0,2–0,7%). Крахмал — главное из веществ, содержащихся в зерне злаковых. Содержание крахмала в зерне пшеницы, ржи, овса и кукурузы составляет от 60 до 75%, у ячменя — от 50 до 60%, особенно много крахмала в зерне риса — от 75 до 80%. В семенах других культур крахмал в среднем составляет (%): гречиха — 77, горох — 34, фасоль — 44, соя — 3.

В зерне крахмал содержится в виде крахмальных зерен (гранул) различного размера и формы. Крахмальные зерна в большинстве случаев напоминают линзы сферической, овальной или неправильной формы размером от 2 до 170 мкм с характерной слоистостью. Особенно крупные зерна крахмала у картофеля. Каждая культура имеет свою, характерную для нее форму крахмальных зерен, что хорошо видно на рисунке 27.

Крахмальные зерна пшеницы, ржи и ячменя простые, а кукурузы, овса и риса сложные, состоящие из отдельных, как бы склеенных между собой мелких крахмальных зернышек.

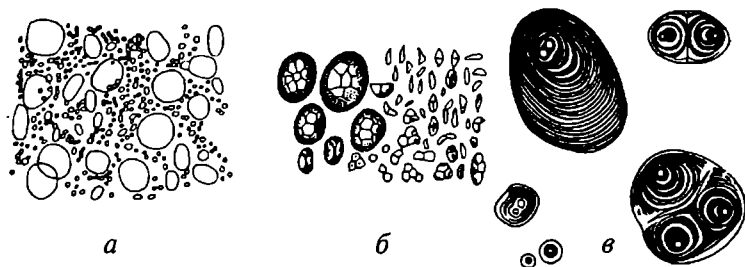


Рис. 27. Крахмальные зерна пшеницы (а), овса (б) и картофеля (в)

Различия в размерах, форме и строении крахмальных зерен по культурам позволяют применять микроскопический анализ для определения вида муки и наличия в ней примесей. Физико-химические свойства крахмала зависят от размеров крахмальных зерен, количественного соотношения отдельных фракций в смеси и их молекулярной структуры.

В крупных зерновках доля более мелких крахмальных зерен (менее 10 мкм в диаметре) значительно больше, чем в меньших по размерам зерновках. По некоторым данным, крахмал крупных зерновок имеет большую молекулярную массу, повышенное содержание амилозы и обладает большей набухаемостью при нагревании с водой.

Крахмал мелких зерновок имеет большую гигроскопичность, легче расщепляется амилазами. Он дает характерную реакцию с раствором йода — окрашивается в синий цвет. Эта реакция используется для обнаружения и количественного определения крахмала.

Крахмальные зерна при нагревании в воде образуют крахмальный клейстер. Клейстеризация крахмала разного происхождения наступает при различной температуре. Пшеничный крахмал клейстеризуется в среднем при 62,5 °С, ржаной — при 55 °С. Полисахариды, входящие в состав крахмала (амилоза и амилопектин), сильно различаются по своим физическим и химическим свойствам. От йода амилоза окрашивается в синий цвет, а амилопектин — в красно-фиолетовый. Они различаются и по растворимости — амилоза легко растворяется в теплой воде и дает растворы со сравнительно невысокой вязкостью, в то время как амилопектин растворя-

ется в воде лишь при нагревании под давлением и дает очень вязкие растворы.

В картофельном крахмале содержится от 19 до 22% амилозы и от 78 до 81% амилопектина; в пшеничном и кукурузном соответственно 25 и 75%. Амилоза и амилопектин отличаются по своему химическому строению (рис. 28). В молекуле амилозы отдельные остатки глюкозы связаны между собой в виде неразветвленной цепочки. Молекулярная масса амилозы колеблется от  $3 \cdot 10^5$  до  $1 \cdot 10^6$ . Амилопектин построен иначе — его молекула в отличие от молекулы амилозы сильно разветвлена. Молекулярная масса амилопектина достигает сотен миллионов.

При кипячении с кислотами крахмал гидролизуется с образованием глюкозы. При более слабом воздействии кислот (например, 7,5%-ной HCl в течение семи суток при 18–20 °C) образуется так называемый растворимый крахмал (частично декстринизированный), применяемый в лабораториях. Крахмал гидролизуется амилазами. Особенно много амилаз в проросшем зерне. Они расщепляют крахмал с образованием декстринов и мальтозы. Декстрины — это высокомолекулярные вещества, являющиеся промежуточными продуктами расщепления крахмала под действием амилаз и кислот. При расщеплении крахмала амилазами образуется не глюкоза, а мальтоза, а при гидролизе под действием кислот — глюкоза.

На первых стадиях гидролиза получают декстрины, мало отличающиеся от крахмала по размерам молекулы и по свойствам. С йодом они дают синюю или фиолетовую окраску. По мере дальнейшего гидролиза молекулярная масса декстринов понижается, увеличивается их способность восстанавливать фелингову жидкость, и они от

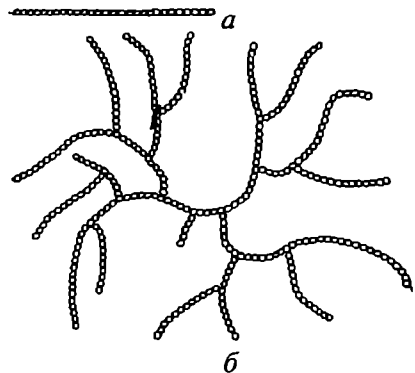


Рис. 28. Схема строения высших полиоз:  
а — амилоза; б — амилопектин

йода начинают окрашиваться в темно-бурый, затем красный цвет и, наконец, перестают давать реакцию с йодом. В соответствии со свойствами различают следующие виды декстринов:

1) амилодекстрины, окрашивающиеся раствором йода в фиолетово-синий цвет и представляющие собой белые порошки, растворимые в 25%-ном растворе спирта и осаждаемые 40%-ным раствором спирта, удельное вращение амилодекстринов  $[\alpha]_D^{20}$  колеблется от  $+190^\circ$  до  $+196^\circ$ ;

2) эритродекстрины, окрашивающиеся йодом в красно-бурый цвет, растворяются в 55%-ном растворе этилового спирта, но осаждаются при его концентрации 65%, удельное вращение эритродекстринов  $[\alpha]_D^{20} = +194^\circ$ , из теплых спиртовых растворов они кристаллизуются в виде сферокристаллов;

3) ахродекстрины, не окрашивающиеся йодом, растворимые в 70%-ном растворе спирта, при выпаривании горячих спиртовых растворов образуют сферокристаллы, удельное вращение  $[\alpha]_D^{20} = +192^\circ$ ;

4) мальтодекстрины не дают реакции с йодом и не осаждаются спиртом,  $[\alpha]_D^{20}$  — от  $+181^\circ$  до  $+183^\circ$

Амилазы разжижают крахмал, обладают декстринирующим действием, т. е. способны превращать крахмал в различные декстрины, что можно легко проследить по изменению окраски йодом. Поскольку при действии амилаз на крахмал образуется сахар (мальтоза), они обладают осахаривающим действием. Амилазы содержатся в зерне в двух видах — в виде свободных амилаз, которые могут быть легко экстрагированы из муки водой, и в виде связанных, прочно адсорбированных, связанных с белками. В зерне имеются специфические ингибиторы амилаз.

При связывании амилаз с белками происходит их инактивирование. Такое связывание является фактором, регулирующим действие амилаз в прорастающем и созревающем зерне. Амилазы имеют очень большое значение в оценке качества зерна и муки — процесс накопления сахара во время брожения теста и сам процесс брожения зависит от скорости накопления в тесте мальтозы, что, в свою очередь, зависит от

действия  $\beta$ -амилазы.  $\alpha$ - и  $\beta$ -Амилазы существенно различаются по своим свойствам:  $\beta$ -амилаза интенсивнее действует в более кислой среде, чем  $\alpha$ -амилаза (рис. 29). Оптимум действия  $\alpha$ -амилазы ржи — при рН 5,2...5,5,  $\beta$ -амилазы — при рН 4,0...4,5. Если подкислять тесто,  $\alpha$ -амилаза будет быстро терять свою активность. Это имеет большое значение при переработке муки из проросшего зерна, в которой много  $\alpha$ -амилазы, ухудшающей ее хлебопекарные достоинства.  $\alpha$ - и  $\beta$ -Амилазы различаются также по термостабильности, устойчивости к действию высоких температур (рис. 30). Температурный оптимум действия  $\alpha$ -амилазы пшеничного зерна находится около 64 °С, а  $\beta$ -амилазы — 49–51 °С;  $\alpha$ -амилаза более устойчива к повышенной температуре.

Этим различием пользуются при исследованиях. Если требуется устранить действие  $\beta$ -амилазы, изучаемый материал нагревают до 60–65 °С. В этом случае  $\beta$ -амилаза инактивируется и проявляется лишь действие  $\alpha$ -амилазы.

Зависимость действия амилалитического комплекса от температуры имеет большое значение в практике работы с зерном. Самосогревание зерна может вызвать глубокие изменения активности амилаз, что скажется на хлебопекарном достоинстве муки из такого зерна. Гидротермическая обработка зерна, особенно при повышенной температуре, также вызовет изменение активности амилаз и хлебопекарных достоинств муки.

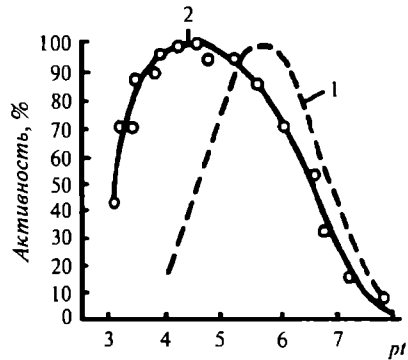


Рис. 29. Зависимость активности  $\alpha$ -амилазы (1) и  $\beta$ -амилазы (2) ржи от рН

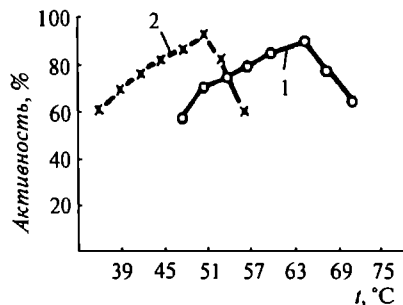


Рис. 30. Зависимость активности  $\alpha$ -амилазы (1) и  $\beta$ -амилазы (2) зерна пшеницы от температуры

Активность  $\alpha$ -амилазы в прорастающем зерне пшеницы

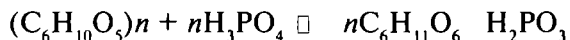
Наименование	Количественное соотношение частей зерна, %	Уменьшение продолжительности истечения крахмала, %			
		контроль	время проращивания, сут.		
			одни	двое	трие
Щиток	1,3	19	94	100	—
Зародыш	1,7	10	0	0	4
Зародыш + щиток	3,0	—	62	100	100
Зерно без зародыша	98,3	0	0	0	0
То же, без щитка	97,0	0	0	0	0
Целое зерно	100,0	0	0	50	90

Влияние температуры на активность амилаз имеет большое значение на различных этапах хлебопечения — приготовления заварок, брожения и расстойки теста, самой выпечки.

В таблице 42 приведены данные о распределении  $\alpha$ -амилазы в прорастающем зерне пшеницы.

Из приведенных данных видно, что  $\alpha$ -амилаза концентрируется в щитке. В эндосперме и в зародыше фермент практически отсутствует.

Крахмал может претерпевать ферментативные превращения не только под влиянием  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз, но также под влиянием глюканфосфорилазы. Этот фермент, содержащийся в зерне, катализирует следующую реакцию:



Как видно из уравнения, фосфорилаза при других условиях катализирует также и обратную реакцию синтеза крахмала из глюкозофосфата. Однако синтез крахмала в созревающем зерне происходит при участии ферментов, переносящих остатки глюкозы — гликозилтрансфераз.

**Гликоген.** Близкий к крахмалу полисахарид содержится в некоторых сортах и видах кукурузы и в дрожжах.

Гликоген имеет структуру, сходную со структурой амилопектина, т. е. также представляет собой разветвленный полисахарид, однако в отличие от амилопектина молекула гликогена построена более компактно, что видно из рисунка 31.

В горячей воде гликоген образует коллоидные растворы, дающие с йодом красно-бурое, а иногда фиолетовое окрашивание. При гидролизе кислотами, а также при действии  $\gamma$ -амилазы (глюкоамилазы) гликоген дает глюкозу, а при комплексном действии  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз расщепляется до мальтозы. По последним данным, молекулярная масса животного гликогена находится в пределах  $10^7$ – $10^9$  и выше.

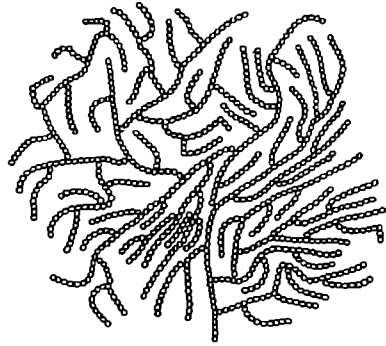


Рис. 31. Схема строения гликогена

**Слизи (гумми).** Представляют собой полисахариды, в большинстве случаев растворимые в воде. Сравнительно много слизей в зерне ржи — от 2,5 до 7,4% от сухого вещества зерна. Слизи ржаного зерна — полисахариды, которые при кипячении с кислотами (при гидролизе) дают пентозы, а именно арабинозу и ксилозу. В состав слизей входят также глюкоза (до 20%), немного фруктозы и галактозы. Слизи зерна ржи очень легко набухают в воде и образуют чрезвычайно вязкие растворы. Если приготовить растворы желатина и слизей определенной концентрации, то окажется, что вязкость раствора ржаных слизей во много раз выше вязкости раствора желатина той же концентрации.

Слизи имеют большое значение при переработке зерна ржи, потому что благодаря содержащейся слизи оно размалывается труднее, чем зерно пшеницы. Повышенная по сравнению с зерном пшеницы вязкость ржи при размоле объясняется наличием слизей в ее зерне.

Содержание слизей в зерне ржи неравномерно. Наиболее богаты слизистыми веществами периферийные части зерна. К центру зерна содержание слизистых веществ уменьшается почти в два раза. Вместе с тем относительная вязкость слизей в центральных частях в 50 раз выше, чем у слизей, выделенных из периферийных частей зерна. Установлена зависимость вязкости слизей от их химического состава — с повышением доли

пентозанов и одновременным уменьшением относительного содержания гексозанов их вязкость возрастает. Слизи играют определенную роль в формировании структуры ржаного теста и его реологических свойств.

**Левулезаны.** Содержатся в зерне многих культур (ржи, пшеницы, овса, ячменя). Левулезаны — полисахариды, состоящие из остатков левулезы (фруктозы), сложные полисахариды, в большинстве случаев растворимые в воде, которые при гидролизе (при кипячении с кислотами) дают левулезу. Левулезаны в заметном количестве содержатся в зерне ржи — до 1,5% от сухого вещества. Они играют важную роль в процессе созревания зерна пшеницы и ржи, в процессе образования крахмала. Углеводы, образовавшиеся в листьях при фотосинтезе, превращаются в левулезаны различной молекулярной массы, в виде которых они поступают затем в стебель и созревающий колос и превращаются в крахмал. На ранних фазах созревания зерна левулезанов в нем содержится до 35% от сухого вещества. По мере дальнейшего созревания количество левулезанов постепенно падает до 2...1,5%, в то время как количество крахмала соответственно возрастает.

В зерне пшеницы левулезанов значительно меньше — около 0,3%. На этом основании применяют метод распознавания примеси ржаной муки к пшеничной (реакция Селиванова) по разной интенсивности цветной реакции на фруктозу. С этой целью пробу муки нагревают с крепкой соляной кислотой и резорцином. В присутствии левулезы появляется интенсивное вишнево-красное окрашивание. При большой концентрации левулезанов образуется красно-бурый осадок.

**Клетчатка, или целлюлоза.** Наиболее распространенное органическое соединение, образует структурную основу оболочек растительных клеток. Содержится главным образом в цветковых оболочках зерна и в стенках клеток алейронового слоя.

Это очень прочное химическое вещество, нерастворимое в воде и большинстве других растворителей. Клетчатка растворяется в аммиачном растворе окиси меди (реактив Швейцера), в концентрированном растворе хлористого цинка, в концентрированных минеральных кислотах и в растворах некоторых других веществ.



При кипячении с крепкой серной кислотой вся клетчатка превращается в глюкозу. При более слабом гидролизе из клетчатки получается целлобиоза. Молекула клетчатки имеет нитевидную форму. Нитевидные молекулы за счет водородных связей атомов гидроксильных групп клетчатки и адсорбированных молекул воды соединяются в пучки, называемые мицеллами (рис. 32). В каждую мицеллу входит около 60 молекул клетчатки.

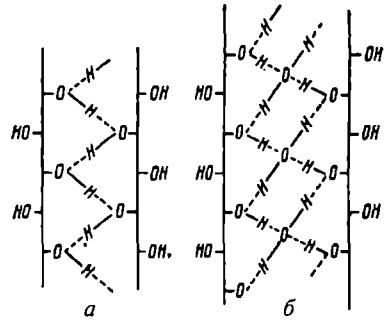
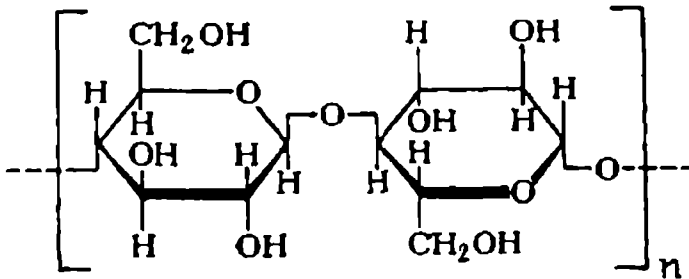


Рис. 32. Схема водородных связей (изображены пунктиром) между параллельными молекулами сухой (а) и увлажненной (б) клетчатки

Клетчатка, как и крахмал, состоит из остатков глюкозы. В чем различие химического строения крахмала и клетчатки? Основной «строительный кирпичик» крахмала — дисахарид мальтоза. У клетчатки основная строительная единица — дисахарид целлобиоза. Если у мальтозы  $\alpha$ -1,4-глюкозидная связь и она представляет собой  $\alpha$ -глюкозидоглюкозу, то у целлобиозы —  $\beta$ -1,4-гликозидная связь и она является  $\beta$ -глюкозидоглюкозой.

В молекуле клетчатки остатки целлобиозы связаны гликозидными связями в виде длинной цепочки:



Конформация молекулы целлюлозы

Зерно и семена содержат клетчатку в следующих количествах (%): пшеница 3; рожь 2,2; ячмень с цветковыми оболочками до 8; кукуруза 2,2; рис с цветковыми оболочками 9 и без них 1,2; горох 4; соя 3,8; подсолнечник с плодовой оболочкой 15 и ядро 2,2.

**Гемицеллюлозы (полуклетчатки).** Объединяют полисахариды разнообразного химического состава с общими физическими свойствами. Они не растворяются в воде, но растворимы в щелочах. Содержатся главным образом в отрубях, в периферических, оболочечных частях зерна, в кукурузных початках, соломе. Кислотами они гидролизуются легче, чем клетчатка. Продукты гидролиза дают основание разделить гемицеллюлозы на две группы. Те из них, которые дают гексозы, называют гексозанами. При этом среди гексозанов в зависимости от сахара различают маннаны (если образуется манноза), галактаны (галактоза) и т. д.

Гемицеллюлозы, гидролизующиеся до пентоз, называют пентозанами. Они дают главным образом арабинозу и ксилозу и соответственно называются арабан и ксилан. Имеются также гемицеллюлозы смешанного состава, дающие при гидролизе гексозы, пентозы и уроновые кислоты. В зерне пшеницы и ржи содержится от 8 до 10% гемицеллюлоз (в отдельных случаях до 14%), в том числе от 5 до 8% пентозанов.

В недавнем прошлом считали, что клетчатка и гемицеллюлозы не усваиваются организмом человека, относили их к балластным веществам. По этой причине стремились при производстве пищи как можно больше ее рафинировать, очищать от пищевых волокон — так стали называть клетчатку и гемицеллюлозу, а также некоторые другие вещества.

Исследованиями конца XX века установлена многообразная и важная роль пищевых волокон в питании человека. Пищевые волокна являются питательной средой для микрофлоры желудочно-кишечного тракта, продукты обмена которой становятся одним из источников некоторых нутриентов для организма; частично снабжают его энергией; выводят из него ряд продуктов биологического обмена и загрязняющих веществ; регулируют физиологические и биохимические процессы в органах пищеварения.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково значение углеводов в жизни растений и в питании человека?
2. Как классифицируются углеводы, входящие в состав зерна?
3. Что такое моносахариды, каковы их состав и свойства?
4. Какие важнейшие пентозаны и гексозаны встречаются в зерне?
5. Что такое гликозиды, их  $\alpha$ - и  $\beta$ -формы?
6. Что такое гликозидный гидроксил, и каково его участие в процессах, совершающихся в зерне?
7. Каков состав, свойства и значение в зерне мальтозы и сахарозы?
8. Чем характеризуется крахмал? Каково его содержание и распределение в зерне, состав и свойства?
9. Что такое крахмальные зерна, каковы их состав, свойства?
10. Что такое декстрины, каковы их состав, свойства и влияние на качество хлеба?
11. Каково содержание, состав и свойства слизи в зерне?
12. Что представляет собой клетчатка, каковы ее состав, свойства?
13. Каковы особенности гемицеллюлоз, их состава и участия в процессах при переработке зерна?

## ЛИПИДЫ, КРАСЯЩИЕ ВЕЩЕСТВА

### § 1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИПИДОВ

Общепринятого определения липидов нет. Их объединяют по трем особенностям:

— большое разнообразие по химическому составу и структуре;

— растворимость в органических растворителях: одних в неполярных безводных (диэтиловый эфир, бензин, бензол и др.), других — в гидрофильных полярных (этанол, хлороформ, ацетон и др.);

— нерастворимость в воде.

Липиды играют большую роль в растительном организме в качестве запасных веществ и важнейших компонентов клетки. К основным функциям липидов в растительном организме относят: структурную, регуляторную, энергетическую и защитную. В виде двойного слоя полярные липиды со встроенными в него белками — ферментами образуют структуру клеточных мембран.

Регуляторную роль липиды выполняют, будучи жирорастворимыми витаминами и производными некоторых жирных кислот. Липиды — постоянно восполняемое энергетическое депо клеток: при окислении 1 г нейтральных жиров (триациглицеринов) тканями организма выделяется 38 кДж свободной энергии для непрерывно идущего метаболизма — основы жизнедеятельности организма. Велика защитная роль липидов, главным образом восков. Они образуют водоотталкивающие и термоизоляционные покровы растений, их семян и плодов, предотвращая избыточное испарение воды из листьев и плодов. Их химическая инертность защищает растение от

гидролитического распада ферментами микроорганизмов, а повышенная твердость — от технических повреждений. Единой классификации нет. В соответствии с химическим составом липиды зерна можно разделить на три группы. К первой группе относят липиды простые. Вторую группу составляют липиды сложные. Они содержат кроме углерода, кислорода, водорода, также фосфор, азот, иногда серу. Это фосфатиды и сульфолипиды. Третью группу называют циклическими липидами. Сюда относят стерины и их эфиры с высокомолекулярными жирными кислотами — стериды. В липидах растворимы некоторые пигменты — хлорофилл и каротиноиды, придающие окраску зерну и семенам.

## § 2. ПРОСТЫЕ ЛИПИДЫ

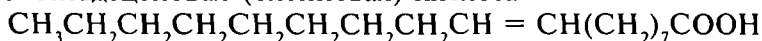
К простым липидам относят жиры и воски.

**Жиры.** Жиры представляют собой особую группу липидов, содержащуюся в зерне в наибольшем количестве. Они являются смесью ацилглицеринов с веществами липидного и нелипидного характера. Те и другие вещества чаще всего находятся в составе жиров в количестве нескольких процентов (3—5); их называют веществами, сопутствующими ацилглицеринам в жирах. В научную практику вводится терминология жирных кислот, их производных и ацилглицеринов, в соответствии с разработками Международного Союза теоретической и прикладной химии (IUPAC) совместно с комиссией по биохимической номенклатуре (IUP).

Термин «жирные кислоты» предназначен для алифатических монокарбоновых кислот, которые выделяются при гидролизе из натуральных жиров. Наименование «высшие жирные кислоты» относится к алифатическим соединениям с длиной цепи более 10 углеродных атомов.

В ненасыщенных жирных кислотах положение двойной связи указывают цифрами в виде приставки перед названием кислот, первым углеродным атомом считают атом углерода карбоксильной группы, например:

9-октадеценовая (олеиновая) кислота



При асимметрическом атоме углерода в жирной кислоте с двойной связью возможно различное пространственное расположение атомов (или группы атомов) по разные стороны этой связи, так называемая геометрическая изомерия. При расположении какого-либо атома (группы атомов) по одну сторону двойной связи получают цис-конфигурацию, а если по разные ее стороны, то транс-конфигурацию. Геометрические изомеры отличаются друг от друга по физическим и химическим свойствам.

Пространственную изомерию обозначают приставками «цис» и «транс», которые помещают перед цифрами, обозначающими местонахождение двойной связи. Например, цис-9-октадеценовая (олеиновая) кислота, транс-9-октадеценовая (элаидиновая). Строение жирных кислот с асимметрическими атомами невозможно совместить в пространстве: они построены зеркально и отображают пространственную конфигурацию молекул различных веществ. Зеркальные и все другие стереометры с асимметрическими атомами различаются и по оптическим свойствам, т. е. по состоянию на пропускаемый через них поляризованный свет, поэтому их называют также оптическими изомерами (энантиомерия).

В названиях жирных кислот чаще сохраняют тривиальные названия и редко применяют систематические.

Существенное значение для номенклатуры производных кислот имеет термин «ацил», его применяют к обозначению группы

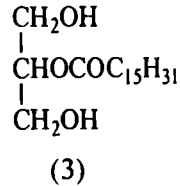
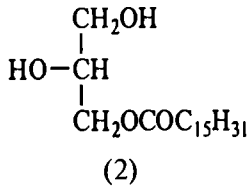
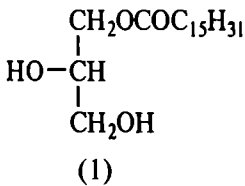


Названия ацилов получают, добавляя окончание «оил» к названию ациклических соединений углеводородам (алканам), олефинам (алкенам) и ацетиленам (алкинам). Тривиальные наименования ацилов производят заменой в названиях кислот окончания «иновая» или «овая» на суффикс «оил», например: гексадекановая (пальмитоил), октадекадиеновая (линоленоил).

Наименование солей жирных кислот производят от названия ацила с заменой в нем суффикса «оил» на суффикс «оат»,

например: гексадеканоат (пальмитат) натрия; октадекадиеноат (линолеоат) калия. Сложные моно-, ди- и триэфиры глицерина называют моноацилглицеринами, диацилглицеринами и триацилглицеринами соответственно. Общее наименование — ацилглицеринами.

Применимы сокращенные названия — символы для жирных кислот. Вначале цифрами указывают число углеродных атомов в кислоте, затем количество двойных связей (для насыщенных кислот символом «о»), например, пальмитиновая кислота —  $C_{16:0}$ , линолевая —  $C_{18:2}$ . Для оптически активных ацилглицеринов принята стереоспецифическая номенклатура (Stereospecific numbering), известная как «Sn» — нумерация. Она основана на том, что при введении заместителя (ацила) в группу  $CH_2OH$  молекула глицерина приобретает хиральность\*, поскольку центральный атом углерода становится асимметричным и соединение имеет два энантиомера\*\*. Отличием от номенклатуры оптически неактивных эфиров глицерина вводится префикс «Sn» после наименования ацила, например, моноацилглицеринами, если ацил находится в положении 1 или 3, оптически активны и должны называться:



соединение (1) — 1-пальмитоил-Sn-глицерин,  
соединение (2) — 3-пальмитоил-Sn-глицерин,  
соединение (3) — 2-пальмитоил-глицерин (2-пальмитат глицерина).

\* Хиральность — свойство объекта (молекулы) быть несовместимым со своим изображением в идеальном плоском зеркале.

\*\* При известных условиях хиральности молекула может существовать в виде двух изомеров, относящихся друг к другу как несимметричный предмет к своему зеркальному изображению. Такие изомеры называются энантиомерами или антиподами.

Ниже приводятся формулы высших жирных кислот, которые наиболее часто входят в состав растительных жиров.

Наименование кислот		Формулы	
систематическое	тривиальное	с общим числом атомов	с указанием ненасыщенных связей
<i>Насыщенные кислоты</i>			
гексадекановая	пальмитиновая	$C_{15}H_{31}COOH$	$C_{16:0}$
октадекановая	стеариновая	$C_{17}H_{35}COOH$	$C_{18:0}$
<i>Ненасыщенные кислоты</i>			
9-октадеценевая	олеиновая	$C_{18}H_{34}O_2$	$C_{18:1}$
9,12-октадекадиеновая	линолевая	$C_{18}H_{32}O_2$	$C_{18:2}$
9,12,15-октадекатриеновая	линоленовая	$C_{18}H_{30}O_2$	$C_{18:3}$

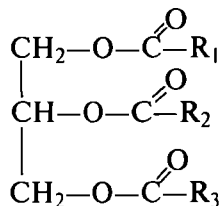
На долю жиров приходится 63—65% всех липидов зерна. Они накапливаются в больших количествах в семенах многих растений, особенно масличных. Семена, богатые жиром, используют в масложировой промышленности для получения растительных жиров (растительных масел). Ниже приводится среднее содержание сырого жира (свободных липидов) в семенах важнейших зерновых, бобовых и масличных культур.

Культура	Содержание жира, %	Культура	Содержание жира, %
Пшеница, рожь, ячмень	2	Кукуруза	5
Просо	4	Подсолнечник	45
Гречиха	3	Клещевина	60
Рис	5	Соя	20
		Горох, фасоль	2

Жир содержится главным образом в алейроновом слое и зародыше. В зародыше зерна пшеницы, жира в среднем 14%, проса — 22, гречихи — 17, кукурузы — 30%.

По химическому строению жиры представляют собой смесь сложных эфиров триацилглицеринов — трехатомного спирта глицерина и высокомолекулярных жирных кислот и построены по такому типу:





где R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> — радикалы жирных кислот.

Радикалы жирных кислот могут быть одинаковыми или разными в различных сочетаниях. Наиболее часто встречающиеся в жирах зерна жирные кислоты представлены в таблице 43.

При большом разнообразии в природе жирных кислот в жирах преобладают C<sub>4</sub>—C<sub>26</sub> кислоты с четным числом атомов углерода (главным образом C<sub>16</sub>- и C<sub>18</sub>-кислоты). На долю трех кислот — пальмитиновой, олеиновой и линолевой — в составе растительных жиров приходится 75—80%.

В состав некоторых растительных жиров входят особые жирные кислоты, встречающиеся только в семенах определенных растений. В состав касторового масла (масла клещевины) входит рицинолевая кислота CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>5</sub>CHONCH<sub>2</sub>CH = CH(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>COOH. Она отличается тем, что имеет одну двойную связь и вместе с тем содержит оксигруппу OH. В маслах из семян крестоцветных растений — рапса, рыжика, горчицы содержится особая жирная кислота, называемая эруковой, — CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>CH=CH(CH<sub>2</sub>)<sub>11</sub>COOH. Она характерна для

Таблица 43

**Жирные кислоты, входящие в состав жиров зерна и семян**

Кислоты	Символ*	Формула
<b>Насыщенные:</b>		
пальмитиновая	C <sub>16:0</sub>	CH <sub>3</sub> — (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> — COOH
стеариновая	C <sub>18:0</sub>	CH <sub>3</sub> — (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> — COOH
<b>Ненасыщенные:</b>		
олеиновая	C <sub>18:1</sub>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH = CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
линолевая	C <sub>18:2</sub>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH = CHCH <sub>2</sub> CH = CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
линоленовая	C <sub>18:3</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH = CHCH <sub>2</sub> CH = CHCH <sub>2</sub> CH = CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH

\* В символ входят число атомов углерода и число двойных связей в формуле жирной кислоты

растений из семейства крестоцветных. 5,8,11,14-Эйкозантаэраеновая (арахидоновая) кислота  $C_{20}H_{32}O_2$  не входит в состав жирных кислот триацилглицеринов. Она появляется в организме человека в результате превращений линолевой и линоленовой жирных кислот. Из нее в ходе метаболизма образуются тканевые гормоны простагландины — важнейшие регуляторы обмена веществ. В состав триацилглицеринов входят насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, в триацилглицеринах зерна преобладают ненасыщенные. На их долю приходится 70—85%. В связи с этим растительные масла при обыкновенной температуре в основном жидкие. Полиненасыщенные жирные кислоты необходимы человеку. Их называют незаменимыми (эссенциальными). Особое значение отводится линолевой кислоте. Ежедневно человеку необходимо потреблять в среднем 20—25 г растительного масла и 55—60 г животного. Полиненасыщенные жирные кислоты способствуют выведению из организма холестерина, предупреждая и ослабляя атеросклероз, а также оказывают благотворное влияние на стенки кровеносных сосудов — повышают их эластичность. Жидкие растительные масла превращают в твердые жиры при помощи гидрогенизации — присоединения с участием специальных катализаторов водорода по месту двойных связей непредельных жирных кислот. Гидрогенизированные растительные масла широко используют для изготовления маргарина и кулинарного жира.

При действии кислот и щелочей на жиры происходит расщепление сложноэфирной связи — омыление жира. При этом выделяются свободный глицерин и свободные жирные кислоты или их соли, называемые мылами. Для характеристики свойств жира применяют так называемые числа, наибольшее значение имеют три числа: кислотное, йодное и омыления.

**Кислотное число.** Количество миллиграммов едкого калия, необходимое для нейтрализации свободных жирных кислот, содержащихся в одном грамме жира. Кислотное число указывает на количество свободных жирных кислот, оставшихся не использованными при биосинтезе масла во время созревания семян, или на начавшуюся порчу масла, сопровождающуюся

Таблица 44

Числа кислотные, йодные и омыления свободных липидов зерна пшеницы и ржи

Культура	Числа		
	кислотное, мг	йодное, г	омыления, мг
Пшеница	5,1–23,4	103,8–111,9	160,0–175,4
Рожь	9,4–13,2	132,2–138,1	170,0–177,6

увеличением содержания свободных жирных кислот. Кислотное число масла в семенах масличных культур нормируется стандартами. Для семян подсолнечника поставляемого кислотное число (мг КОН) не должно быть для высшего сорта более 1,3; первого — 2,2; второго — 5.

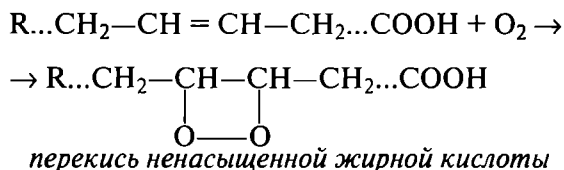
**Йодное число.** Количество граммов йода, связываемое 100 г жира. Йод присоединяется по месту двойных связей. Поэтому йодное число дает возможность судить о содержании в жире непредельных жирных кислот (о степени его ненасыщенности). По величине йодного числа растительные жиры делят на высыхающие — с йодным числом 130 и выше (льняное, конопляное) и невысыхающие — с йодным числом меньше 85 (клешевинное, арахисовое). Высыхающие и некоторые полувсыхающие жиры (рыжиковое, рапсовое масла), имеющие промежуточное йодное число, используют в олифоварении, лакокрасочном производстве, при изготовлении клеенки и линолеума. Невысыхающие жиры находят применение в технике. Часть из них, так же как и полувсыхающие жиры, применяют в пищевой промышленности. Чем выше йодное число, тем легче окисляется и скорее прогоркает жир.

**Число (или коэффициент) омыления.** Количество миллиграммов едкого кали, необходимое для нейтрализации свободных и связанных с глицерином жирных кислот в 1 г жира. В таблице 44 приведены числа кислотные, омыления и йодные свободных липидов свежесобранного зерна пшеницы и ржи.

Величина кислотного числа, наиболее подверженного колебаниям, связана с условиями созревания и хранения зерна. При полной технической спелости оно находится на самом низком уровне.

При хранении растительный жир, мука и крупа под влиянием света и кислорода воздуха, а также влаги приобретают

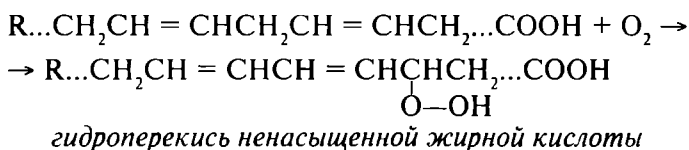
неприятный вкус и запах. Это — следствие гидролиза и окисления жиров, и прежде всего ненасыщенных жирных кислот (прогоркание). При контакте с ненасыщенными жирными кислотами кислород присоединяется по месту двойной связи с образованием циклической перекиси:



Затем происходит разрыв по месту двойной связи с образованием различных альдегидов, кетонов и кислот с короткими цепями с неприятным запахом.

В результате жизнедеятельности микроорганизмов из жирных кислот образуются кетоны и другие продукты, способствующие прогорканию масел.

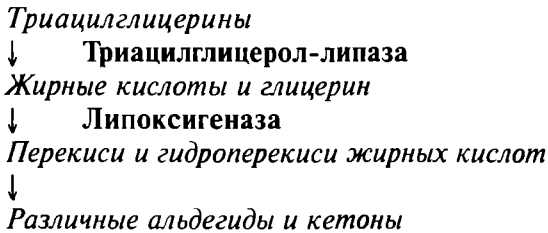
В прогоркании растительного масла и продуктов из зерна большую роль играют ферменты триацилглицерол-липаза и липоксигеназа. В любом зерне содержится триацилглицерол-липаза, но она особенно активна в семенах клещевины. В зародышах пшеницы оптимум ее действия находится при pH 8,0. Ферментативное прогоркание начинается с действия триацилглицерол-липазы, она расщепляет жир с образованием свободных жирных кислот и глицерина. Затем липоксигеназа, которая особенно энергично окисляет свободные, а не связанные в триацилглицеринах жирные кислоты, превращает их в гидроперекиси — активные окислители.



При окислении и, следовательно, при прогоркании растительных жиров триацилглицерол-липаза и липоксигеназа действуют совместно. Под влиянием перекисей и гидроперекисей происходит дальнейший распад жирных кислот, образуются

альдегиды, кетоны и другие, неприятные на вкус и запах вещества, вследствие чего жир прогоркает.

Последовательность ферментативного прогоркания растительного жира можно изобразить так:



При слабом действии липоксигеназы небольшие количества гидроперекисей жирных кислот «укрепляют» клейковину, ускоряют процесс «созревания» пшеничной муки, улучшают ее хлебопекарные достоинства.

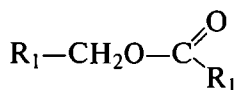
Разработан технологический прием улучшения хлебопекарного достоинства пшеничной муки. Он заключается в добавлении к муке предварительно тщательно перемешанных (небольшого количества) соевой или гороховой муки (та и другая содержат активную липоксигеназу) с небольшим количеством растительного масла. В результате хлеб становится более пышным (объем его увеличивается до 50%) при одновременном осветлении мякиша (вследствие частичного распада красящих веществ).

Выявлены дополнительные особенности ненасыщенных жиров. Различают ненасыщенные жиры по месту нахождения двойных связей во входящих в них жирных кислотах. Ненасыщенная жирная кислота  $\omega$  (греческая буква омега)—3 у нее двойная связь начинается от третьего атома углерода, считая от конца молекулы (метильной группы); в ненасыщенных жирных кислотах двойная связь начинается от 6 атома углерода (жирная кислота  $\omega$ -6). Эти кислоты укрепляют здоровье человека, особенно жир (кислота)  $\omega$ -3. Кислота  $\omega$ -3 способствует значительному снижению холестерина крови, препятствует образованию тромбов и тем самым уменьшает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и атеросклероза. Кислота  $\omega$ -3 участвует в «строительстве» клеточных мембран организ-

ма человека. Самая важная функция кислоты  $\omega$ -3 в том, что она содержится в молоке кормящей матери (30% от общего содержания жира). Она необходима в рационе ребенка для развития зрения и интеллекта. В растительных жирах преобладают кислоты типа  $\omega$ -6. Жирных кислот  $\omega$ -3 много в морских продуктах (в рыбе).

При углубленном изучении жира в план исследований включают оптические свойства жиров и входящие в их состав жирные кислоты.

**Воски.** Сложные эфиры, образованные жирными кислотами и высокомолекулярными одноатомными спиртами жирного (реже ароматического ряда).



Они содержат также некоторое количество свободных жирных кислот упомянутых высокомолекулярных спиртов и углеводов.

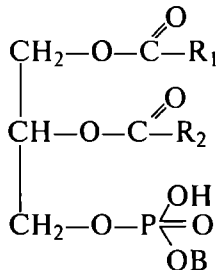
Воски покрывают тонким слоем листья, стебли и плоды растений. Восковой налет на плодах предохраняет их от смачивания водой, высыхания и поражения микроорганизмами. Содержание восков в зерне очень невелико. Они содержатся главным образом в оболочках зерна, покрывая его тончайшей восковой пленкой. В оболочках семян подсолнечника содержится 0,2% восков от массы оболочек, в семенах льна — 0,03%, в семенах сои — около 0,01%.

При перемещениях зерна, особенно сухого, восковая пленка быстро разрушается. В состав восков входят обычные для жиров жирные кислоты (пальмитиновая, стеариновая, олеиновая и др.) и кислоты, характерные для восков, — карнаубовая  $C_{24}H_{48}O_2$ , церотиновая  $C_{27}H_{54}O_2$ , монтановая  $C_{29}H_{58}O_2$  и др. Из спиртов, входящих в состав восков, можно отметить цетиловый (гексадеканол-1)  $CH_3(CH_2)_{14}CH_2OH$ , цериловый (н-гексакозанол)  $CH_3(CH_2)_{24}CH_2OH$  и другие.

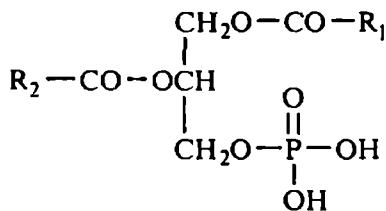
Из животных восков наибольшее значение имеют пчелиный воск, спермацет (из черепной полости кашалота), ланолин (из овечьей шерсти).

### § 3. СЛОЖНЫЕ ЛИПИДЫ

Фосфатиды относятся к сложным липидам. От жиров отличаются содержанием фосфорной кислоты и связанного с ней азотистого основания или другого соединения.



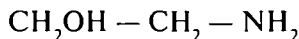
Если в приведенной общей формуле фосфатидов удалить остаток В, получится фосфатидная кислота:



где  $\text{OCR}_1$  и  $\text{OCR}_2$  — остатки различных жирных кислот; В — остаток азотистого основания или другого соединения, присоединяющегося к фосфорной кислоте через гидроксил.

В том случае, если В представляет собой остаток холина, то фосфатид называется лецитином, если коламина, то кефалином. Холин можно рассматривать как производное гидрата окиси аммония  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{OH}$ .

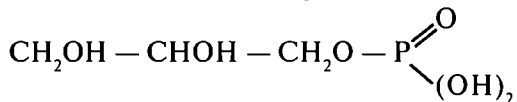
Коламин — аминоэтиловый спирт



В зерне и семенах преобладает лецитин, кефалин сопровождает его в небольших количествах. Фосфатиды под влиянием кислот и соответствующих ферментов гидролизуются с образованием своих составных частей. Фермент триацилгли-

церол-липаза отщепляет от фосфатидов жирные кислоты, глицерофосфатаза — фосфорную кислоту — одно из важнейших веществ, определяющих кислотность зерна.

Если отщепляются только холин (или коламин) и жирные кислоты, то остается глицеринфосфорная кислота.

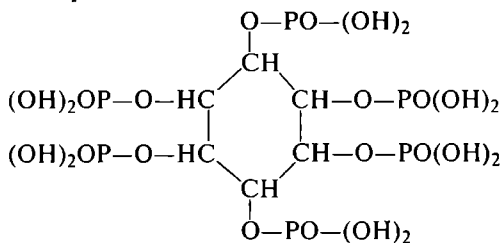


В зародышах пшеницы найдены фосфатидные кислоты. Выделенная из зародышей пшеницы смесь фосфатидов состояла из 46,6% лецитинов, 11,3% кефалинов и 42,1% фосфатидных кислот. Фосфатиды вместе с белками образуют липопротеиды, входящие в состав мембран, регулирующих поступление в клетку и ее органеллы разнообразных веществ. Липопротеиды входят также в состав органелл клетки (ядра, пластиды, митохондрии). Фосфатиды, особенно лецитин, — поверхностно-активные вещества, прекрасные эмульгаторы, широко применяемые в пищевой промышленности при изготовлении шоколада, маргарина и в качестве веществ, предохраняющих жиры от окисления и прогоркания.

Фосфатиды — поверхностно-активные вещества, улучшающие хлебопекарные достоинства пшеничной муки. В зерне пшеницы, ржи, ячменя и риса содержится 0,3—0,6% фосфатидов; в зародыше пшеницы 1,6%; в семенах подсолнечника 0,7—0,8%, хлопчатника 1,7—1,8, сои 1,6—2,0, в зародыше сои 3,15%.

Фитин — калий-кальций-магниева соль инозитфосфорной кислоты, в основе которой лежит шестиатомный спирт миоинозит.

Инозит относят к витаминам, широко распространен в растительном мире в свободном состоянии и в виде фитина.



инозитфосфорная кислота



Таблица 45

## Содержание фосфора в пшеничных отрубях и зародышах

Фосфор	Отруби, %		Зародыш, %	
	от сухого вещества	к общему фосфору	от сухого вещества	к общему фосфору
Общий	1,65	—	1,24	—
Фитина	1,42	85,96	0,60	47,98
Липидный	0,03	1,70	0,07	5,70
Остальной	0,20	12,33	0,58	47,30

Фитина много в алейроновом слое и отрубях, особенно в хлопковом жмыхе, в эндосперме пшеницы его почти нет. Его выделяют из отрубей, конопляного и хлопкового жмыхов, из отходов крахмало-паточной промышленности. Используют в виде лечебного препарата.

Из общего содержания органического фосфора зерна пшеницы большую его часть составляет фосфор фитина (табл. 45).

В периферийных частях зерна фитина больше, чем в зародыше. Около половины фосфора зародыша входит в состав фитина, а остальное в основном в состав нуклеиновых кислот. Содержание фосфора фитина по данным разных исследователей (в среднем):

Продукты	% от сухого вещества
Зерно	0,17–0,32
Отруби	0,75–1,20
Зародыш	0,50–0,60
Мука 72%-ного выхода	0,02–0,05
Мука 85%-ного выхода	1,10–0,13

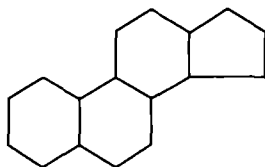
Фитинового фосфора в зерне ржи больше, чем в пшенице (в среднем 2,5% от сухого вещества). В зерне, в отрубях пшеницы, риса и других злаков содержится фермент фитаза, относящаяся к группе фосфатаз и отщепляющая остатки фосфорной кислоты отинозитфосфорной кислоты. Оптимальные условия для действия фитазы — pH 5,5 и температура 55 °С. Фитаза имеет большое технологическое значение. Во-первых, отщепляемая фитазой фосфорная кислота — один из важнейших источников, от которого зависит кислотность зерна и муки. Во-вторых, фитаза, содержащаяся в дрожжах и

зерне, расщепляет фитиновую кислоту и ее производные и тем повышает усвояемость человеком содержащегося в хлебе кальция.

Фитиновая кислота образует с кальцием труднорастворимые соли, которые не поддаются действию пищеварительных соков. Но во время брожения в самом начале выпечки хлеба активная фитаза успевает расщепить большую часть фитиновой кислоты, имеющейся в муке. Остающееся небольшое количество фитиновой кислоты уже не может затруднить усвоение солей кальция.

#### § 4. ЦИКЛИЧЕСКИЕ ЛИПИДЫ

Все стероиды — производные циклопентанопергидрофенантрена.



К стероидам относят стерины (стеролы) — высокомолекулярные циклические спирты и стериды — сложные эфиры стеринов. Стериды не растворяются в воде, но хорошо растворимы во всех жировых растворителях. При извлечении жира из зерна диэтиловым эфиром в экстракт переходят не только жиры и фосфатиды, но и стероиды, которые таким образом входят в состав сырого жира. При омылении жира стерины остаются в неомыляемой фракции, составляя наибольшую ее часть. В сыром жире семян некоторых культур содержится следующее количество стеринов (табл. 46).

Стерины, образуя с белками сложные комплексы, играют важную роль в составе протоплазмы. Они участвуют в построении биологических мембран, регулирующих обмен веществ в клетке. В зерне пшеницы стеринов и стеридов 0,03–0,07%, кукурузы 1,0–1,3%, в дрожжах свыше 2%.

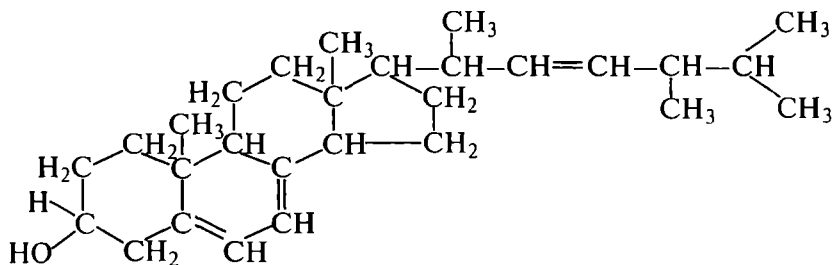
Таблица 46

Содержание стерина в сыром жире

Масличная культура	% от массы масла	Масличная культура	% от массы масла
Клещевина	0,5	Рапс	0,8
Кунжут	0,6	Соя	0,35
Лен	0,4	Хлопчатник	До 1,6

Характерный представитель стерина — эргостерол  $C_{28}H_{43}OH$ . Он содержится в пшеничном зерне, в дрожжах, в рожках спорыньи, плесневых грибах.

Молекула эргостерола имеет следующее строение:

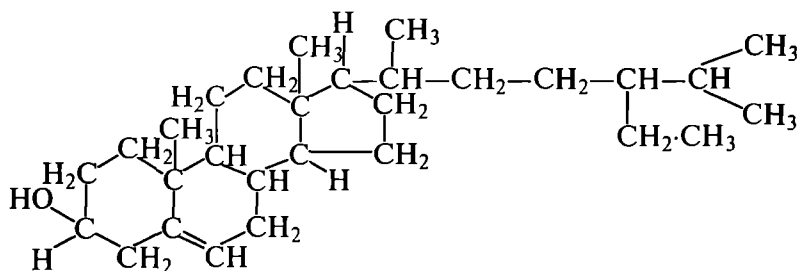


Эргостерол

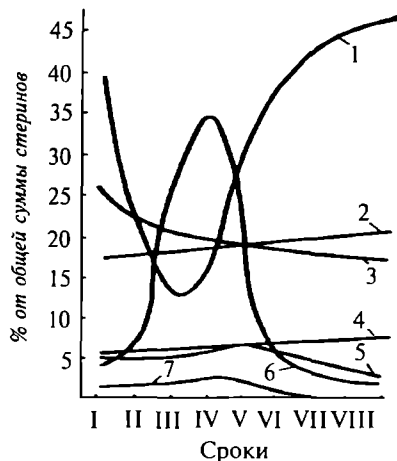
При облучении эргостерола ультрафиолетовыми лучами из него образуются витамины группы D (антирахитические витамины). Для промышленного изготовления витаминов группы D используют дрожжи.

Известны многочисленные стерины. Они различаются количеством двойных связей и строением боковой цепи. Количество стерина в созревающем зерне пшеницы показано на рисунке 33.

Из животных стерина следует назвать холестерин. При нарушении обмена веществ он откладывается на стенках кровеносных сосудов, приводя к распространенной тяжелой болезни — атеросклерозу. В растительных маслах содержится обычно от двух до четырех стерина, причем обязательной составной частью является ситостерол  $C_{24}H_{50}OH$ .



$\beta$ -ситостерол



В пшенице стерины представлены в следующих долях:  $\beta$ -ситостерин — 66%, стигмастерин — 12%, кампестерин — 11%, холестерин — 1,8%; в кукурузе доля  $\beta$ -ситостерина составляет 86% от всех стерина. Количественный ряд стерина для семян двудольных растений такой же, как у пшеницы, а содержание стерина в них 0,15–1,5%.

Рис. 33. Изменение содержания стерина при созревании зерна пшеницы: 1 —  $\beta$ -ситостерин; 2 — кампестерин; 3 — эргостерин; 4 — стигмастерин; 5 — ланостерин; 6 — брасикастерин; 7 — 2,5-дигидроланостерин; I — конец формирования зерна ( $\omega = 65\%$ ); II — молочная спелость (50%); III — начало восковой спелости (35,7%); IV — конец восковой спелости (20,3%); V — полная спелость (14,2%); VI — свежубранное зерно, перестоявшее на корню 6 сут. (11,2%); VII — зерно, перестоявшее на корню 10 сут. (11,1%); VIII — зерно, перестоявшее на корню 20 сут. (10,2%); IX — зерно, перестоявшее на корню 30 сут. (9,6%)

### §5. СВЯЗАННЫЕ ЛИПИДЫ

Все липиды принято условно делить на свободные, связанные и прочносвязанные. Под свободными понимают липиды, которые выделяют исчерпывающей экстракцией диэтиловым эфиром. Связанными липидами называют вещества, извлекае-

мые полярными растворителями, разрушающими более прочные связи в гликопротеидолипидных комплексах. При выделении связанных липидов размолотое зерно предварительно обрабатывают горячим этанолом, и затем липиды извлекают диэтиловым эфиром. К прочносвязанным липидам относят группу липидов, извлекаемых диэтиловым эфиром из остатка после выделения связанных липидов, предварительно обработанного кислотой или щелочью для разрушения еще более прочных связей белок — липид и липид — углевод. Содержание липидов в зерне основных зерновых культур приведено в табл. 47. По суммарному содержанию связанных форм липидов (в процентах к общему количеству липидов) основные зерновые культуры можно разделить на две группы. К одной относят культуры с относительно большим содержанием связанных форм липидов: рожь (34%), гречиха (32,8%), пшеница (31%) и к другой — с их относительно небольшим количеством: рис (17%), просо (11,6%), кукуруза (11,3%) и овес (10,2%). Колебания относительного содержания свободных, связанных и прочносвязанных липидов отражают их различную роль в процессах жизнедеятельности зерна. Свободные липиды — это в основном запасные липиды, связанные — структурные. Фракционный состав свободных и связанных липидов неодинаков (табл. 48).

Основная фракция свободных липидов — триацилглицерины (70,3%). Липиды разных частей зерна имеют заметные расхождения по групповому составу. В свободных липидах зерна ржи и пшеницы преобладают триацилглицерин (свыше 60%),

Таблица 47

Среднее содержание липидов в зерне основных зерновых культур, %

Наименование	Свободные липиды	Связанные липиды	Прочносвязанные липиды	Сумма липидов
Пшеница	1,85	0,49	0,35	2,69
Рожь	1,68	0,57	0,31	2,56
Кукуруза	4,78	0,34	0,30	5,42
Рис	2,34	0,23	0,26	2,83
Овес	5,70	0,43	0,31	6,44
Просо	4,05	0,15	0,39	4,59
Гречиха	2,56	0,89	0,18	3,63
Сорго	4,20	0,43	—	—

Фракционный состав свободных и связанных липидов зерна пшеницы

Фракции липидов	Содержание отдельных фракций, % от суммы липидов	
	свободных	связанных
Полярные липиды (фосфолипиды, гликолипиды, моноацилглицерины)	6,2	29,9
Неидентифицированные	2,7	4,3
Хлорофиллы + неидентифицированные	2,0	2,4
Диацилглицерины	3,0	2,9
Стерины	2,7	3,8
Каротиноиды	1,2	2,9
Свободные жирные кислоты	5,1	10,5
Триацилглицерины	70,3	37,3
Эфиры стеринов, воски, углеводороды	6,8	6,0

в связанных — фракция полярных липидов (48,0%). Все группы липидов, как в свободной, так и в связанной форме в зародыше содержатся в значительно большем количестве, чем в остальных частях зерновки. Исключение составляют моно- и диацилглицерины. Остальные части зерновки имеют сходство по составу липидов.

Наблюдается общая закономерность снижения содержания стеринов, суммы эфиров стеринов, восков и углеводородов по направлению от периферии к центру зерновки.

## § 6. ПИГМЕНТЫ И ДРУГИЕ КРАСЯЩИЕ ВЕЩЕСТВА ЗЕРНА

Все красящие вещества зерна делят на три группы:

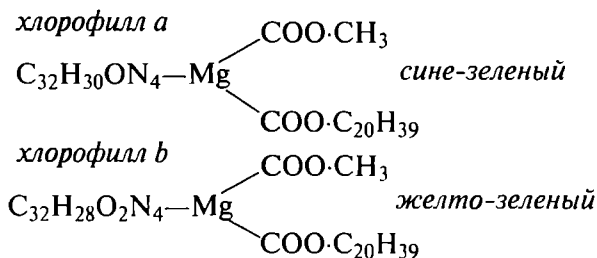
— жирорастворимые пигменты — хлорофиллы и каротиноиды;

— нерастворяющиеся в жирах пигменты — флавоноиды, флавоны и антоцианы;

— красящие вещества, образующиеся в результате взаимодействия соединений, входящих в состав зерна и семян, — меланоидины, меланины и др.

**Хлорофилл.** Пигмент, придающий растениям зеленый цвет. Он принимает активное участие в процессе ассимиляции уг-

лекислога газа на свету, в процессе фотосинтеза, улавливая энергию солнечного луча. Хлорофилл содержится в листьях и стеблях, в колосьях и зернах. Хлорофилл находится в особых образованиях протоплазмы, называемых хлоропластами, или хлорофилловыми зернами. В растениях существует два вида хлорофилла:



Они представляют собой диэферы, их соотношения  $a : b = 3 : 1$ .

Структурная формула хлорофилла показана на стр. 236.

В хлорофилле а  $X = -\text{CH}_3$ , в хлорофилле в  $X = -\text{CHO}$ . Большой интерес представляет сходство строения хлорофилла с красящим веществом крови геминном. В состав хлорофилла и гемина входят четыре остатка пиррола, соединенных в виде порфиринового ядра, которое в гемине связано с железом, а в хлорофилле — с магнием.

Из всех многочисленных видов превращения солнечной энергии особый интерес для человека представляет процесс фотосинтеза. Фотосинтез — практически единственный известный биохимический процесс (точнее, сложный цикл фото- и биохимических процессов), в ходе которого лучистая энергия солнца в виде химических связей запасается в органических соединениях.

В природе КПД фотосинтеза у растений в большинстве случаев не превышает 2%. От чего зависит такой относительно низкий уровень использования солнечной энергии зелеными растениями? Это определяется, прежде всего, внешней средой — светом, теплом, водой, почвенным плодородием и внутренними причинами — генетическими особенностями самого растения. Если допустить, что внешние причины не лимитируют фо-





тосинтез, то КПД может уменьшиться в результате наследственно закрепленной недостаточной эффективности фотосинтетического аппарата листа или же недостаточной скорости передвижения продуктов фотосинтеза (ассимилятов) из листа в другие органы.

С хозяйственной точки зрения более важным показателем, чем КПД фотосинтеза листа, является КПД посева (соотношение энергии, накопленной в биомассе урожая, к количеству поглощенной посевом солнечной энергии). Обычно КПД посева намного ниже, чем КПД фотосинтеза. Эта разница объясняется тем, что в формировании урожая участвует не только фотосинтез, но и другие физиологические процессы, и в первую очередь дыхание, сопровождающееся расходом накопленной биомассы.

Доля продуктов фотосинтеза, затрачиваемых на дыхание, довольно высока — 15–25%. Разность фотосинтез — дыхание в конечном итоге определяет количество образованного растением органического вещества (урожая).

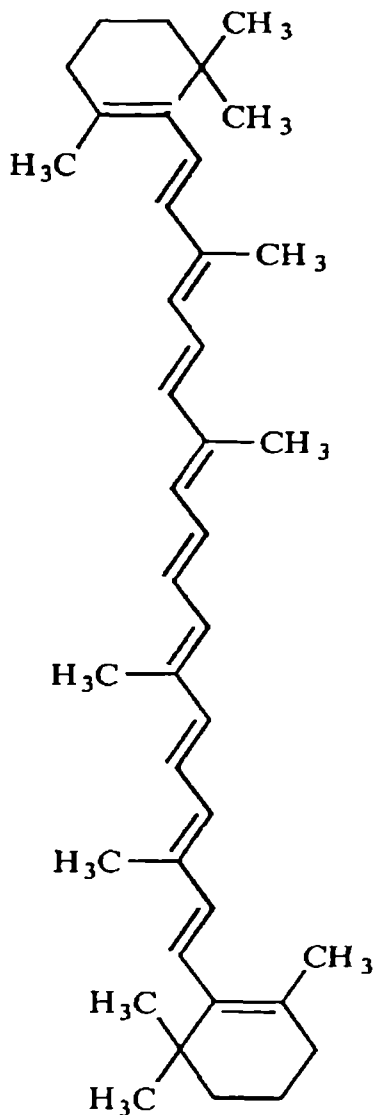
**Каротиноиды.** Придают растениям желтую окраску разных оттенков. По химической природе каротиноиды — ненасыщенные углеводороды или их кислородные производные. Наиболее распространенные в зерне каротиноиды — каротин, лютеин, цеаксантин и криптоксантин.

Каротин  $C_{40}H_{56}$  существует в трех модификациях ( $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ ). Наиболее распространенный —  $\beta$ -каротин. Он имеет следующую формулу (стр. 238).

$\alpha$ -Каротин отличается от  $\beta$ -изомера положением двойной связи в одном из циклов,  $\gamma$ -изомер имеет лишь один цикл.

$\beta$ -Каротин, распадаясь в животном организме, образует две молекулы витамина А. Из  $\alpha$ - и  $\gamma$ -каротинов, образуется лишь по одной молекуле витамина А. Каротинам сопутствует кислородсодержащий пигмент ксантофилл (лютеин)  $C_{40}H_{56}O_2$  — диоксипроизводное  $\beta$ -каротина. В семенах желтой кукурузы и гречихи содержатся пальмитиновый эфир цеаксантина и криптоксантина.

Криптоксантин  $C_{40}H_{56}O$  в отличие от цеаксантина содержит не две группы  $OH$ , а одну. Лютеин, цеаксантин и криптоксантин также обнаруживают активность витамина А.



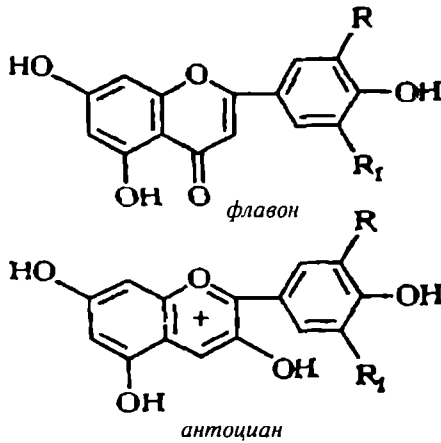
Пигментация каротиноидами зерна хлебных злаков влияет на их технологическое достоинство. Кремовый цвет, характерный для хорошей пшеничной муки, объясняется главным образом содержанием каротиноидов. Пигментирование зерна особенно высоко ценится у твердой пшеницы, идущей на выработку макаронной муки и манной крупы. Потребитель высоко оценивает макароны, имеющие желтоватую (кремовую) окраску.

Будучи по химической природе соединениями сильно ненасыщенными, каротиноиды легко окисляются и обесцвечиваются. Для предотвращения окислительного обесцвечивания каротиноидов в макаронных изделиях известны способы введения в тесто антиокислителей — бутилксианизола, диальдегидного кукурузного крахмала 25%-ной степени окисленности и др.

**Флавоноиды.** Термином «флавоноиды» объединяют чрезвычайно распространенные в растениях вещества фенольной природы. Флавоноиды играют важную роль в обмене веществ растительной клетки. Они участвуют в окислительно-восстановительных процессах, в процессах роста растений. Отдельные группы флавоноидов отличаются друг от друга по степени окисленности и восстановленности и по другим признакам.

В зерне пшеницы обнаружены сильно окисленные флаво-

ноиды — флавоны и менее окисленные — антоцианы. Ниже приводится их строение.



При окислении или восстановлении возможен переход от одной группы флавоноидов к другой.

**Флавоны и антоцианы.** Содержатся в растениях чаще всего в виде гликозидов. Флавоны — вещества желтого цвета. Пигменты флавонового типа хорошо растворимы в 85%-ном растворе спирта. Антоциан обнаружен в составе клеток плодовой оболочки зерна пшеницы и в колеоптилях его проростков. Антоцианы входят в состав сплошь (однотонно) окрашенных плодовых оболочек подсолнечника; поскольку этот пигмент водорастворим, такие оболочки при смачивании мажутся. Можно считать, что цвет эндосперма в наибольшей степени определяется каротиноидами, а оболочек — флавоноидами. В целом пигменты зерна слабоизучены. Для выяснения природы пигментации зерна и его отдельных тканей требуется большая дополнительная работа.

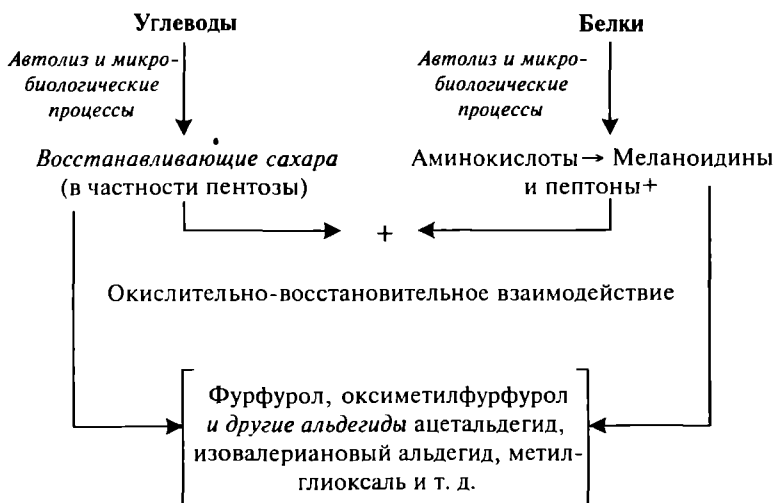
**Меланоидины.** Образуются при неферментативном процессе — взаимодействии сахаров, а также карбонильных соединений с аминокислотами и белками. Образование меланоидинов представляет собой не простую реакцию конденсации, а сложный окислительно-восстановительный процесс.

Меланоидины вызывают потемнение продукта, образующиеся в процессе их формирования карбонильные соедине-

ния участвуют в создании аромата пищевых продуктов. Аромат обусловлен природой реагирующих аминокислот и образующихся карбонильных соединений — промежуточных продуктов меланоидинообразования. Так, лейцин вызывает типичный запах красного ржаного солода и ржаного хлеба, глицин — карамели, фурфурол — яблок, оксиметилфурфурол — меда и т. д. В корках пшеничного и ржаного хлеба при выпечке наблюдается значительная убыль свободных аминокислот, что связано с интенсивным меланоидинообразованием. Этот процесс интенсифицируется при больших количествах восстанавливающих сахаров в тесте. В процессе меланоидинообразования участвуют не только свободные аминокислоты, но и белки.

Образование золотисто-коричневой хрустящей корочки, специфического аромата и вкуса хлеба зависит в основном от меланоидиновых реакций, происходящих при выпечке. Меланоидинообразование определяет пожелтение зерна риса, потемнение зерна при самосогревании, сушке и т. д.

**Меланины.** Темные пигменты, получаютcя в результате окисления ароматических аминокислот при участии фермен-



та монофенол-монооксигеназы (тирозиназы), в первую очередь тирозина и диоксифенилаланина (ДОФА). Меланины, как и меланоидины, оказывают влияние на цвет зерна и продуктов его переработки при хранении.

## § 7. ЦВЕТ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА

Цвет отражает природные свойства зерна, степень его зрелости, нередко видовые и сортовые различия. Во многих стандартах цвет используется для ботанической и технологической классификации зерна. Зерно пшеницы подразделяют на типы и подтипы с учетом его цвета. Типы зерна проса различают по цвету (белое, кремовое, красное, желтое и серое). Первый тип гороха делят на подтипы также по цвету (желтый и зеленый). В поисках более совершенных объективных и ускоренных способов определения качества зерна делают попытки разработать методы оценки, приемы сортирования зерна и освобождения от примесей по оптическим свойствам.

Исследуют стекловидность зерна пшеницы по его отражательной и пропускной способности. Измерение отраженных и прошедших через зерно излучений фотоприемниками наталкивается на большие затруднения в связи со сложной формой поверхности, отсутствием насыщенных цветов и малой величиной отраженных световых потоков.

При периодическом увлажнении и подсыхании зерна пшеницы во время созревания, уборки и послеуборочной обработки происходит его обесцвечивание. Существенное значение имеет также инсоляция — облучение солнечными лучами. Обесцвечиваются часть или вся поверхность зерновки. Снижение интенсивности окраски и появление белесоватых тонов зерна — результат окислительного распада каротиноидов и других красящих веществ, а также изменения его оптических и структурных свойств. Обесцвечивание приводит к ухудшению товарного вида зерна. Снижается стекловидность зерна — от нескольких до 60—75% в зависимости от степени обесцвечивания. Масса 1000 зерен, плотность и натура уменьшаются, ухудшается качество клейковины.

Активность ферментов повышается: каталазы (мл 0,1 н раствора  $KMnO_4$ ) — с 36–40,1 до 38,9–54,6; амилалитического комплекса — с 102–187 до 130–211. Количество плесеней рода *Penicillium* и *Aspergillus* в обесцвеченном зерне возрастает при одновременном уменьшении микрофлоры *Vac. herbigicola* и грибов из рода *Alternaria*. В ряде случаев в обесцвеченном зерне образуются токсины. Повышение активности ферментов, увеличение количества плесневых грибов, снижение содержания пигментов-антиоксидантов понижают стойкость обесцвеченного зерна пшеницы при хранении. Смесительная ценность обесцвеченной пшеницы уменьшается.

## § 8. ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Фенольные соединения представляют собой малоизученный большой и разнообразный класс органических соединений, биологическая роль которых во многих случаях остается еще невыясненной. Из растений выделено несколько тысяч фенольных соединений и список этот продолжает расти. Они встречаются в каждой клетке растений. На долю фенольных соединений приходится до 2–3% массы органического вещества растений, а в некоторых случаях — до 10% и более.

Для фенольных соединений характерны три особенности. В растительных тканях они встречаются с большим разнообразием форм. В тканях животных и человека содержатся многочисленные их представители в очень малых, ничтожных количествах. Основная масса растительных фенольных соединений окисляется в организме животных до диоксида углерода и воды, подобно углеводам или жирам. Фенольные соединения встречаются в растениях в виде моно- и полимерных веществ. Основа структуры — углеродный скелет, в строение которого количество и расположение гидроксильных групп, а также других группировок и радикалов (метильных  $CH_3-$ , карбоксильных  $=C=O$ , метоксильных  $CH_3-O-$ , ацетильных  $CH_3-CO-$  и т. п.) вносят большое разнообразие.

Благодаря гидроксильным группам и особенностям электронной структуры бензольного кольца фенольные соединения обладают свойствами слабых кислот. Механизм биологиче-

ского действия фенольных соединений заключается в их способности к окислению-восстановлению. В злаковых растениях и зерне наиболее распространенная группа фенольных соединений — флавоноиды ( $C_6-C_3-C_6$ ). Ее представители находятся в тканях почти всех видов растений.

Молекула флавоноидов содержит два бензольных кольца — А и В, соединенных между собой треуглеродным мостиком — в большинстве случаев гетероциклическим кислородосодержащим (пирановым) кольцом.

Многочисленные флавоноиды делятся на 10 структурных групп. Пять из них наиболее восстановленные (катехины, флавононы, флавонолы и др.) — бесцветные вещества. Остальные флавоноиды представляют собой окрашенные вещества. Флавоны и флавонолы окрашены в желтый цвет, у антоцианидинов (антоцианов) — яркая и разнообразная окраска. Те и другие имеют многочисленные соединения с сахаром — гликозиды. Гликозид кверцетина называют рутином (витамином Р), его получают из растений гречихи, софоры и др.

Из полимерных фенольных соединений, входящих в состав злаковых растений и зерна, необходимо назвать лигнин, меланины, гуминовые кислоты. Лигнин — распространенный компонент высших растений, входящий в состав стенки клеток. Меланины — темно-коричневые и черные пигменты, образующиеся при ферментативном окислении аминокислот диоксифенилаланина и тирозина. Гуминовые кислоты — фенолсодержащие полимеры сложного и разнообразного состава, образующиеся под влиянием сложных превращений меланинов.

К фенольным соединениям относят аминокислоту тирозин, входящий в состав белков. Убихиноны (кофермент Q) — обязательные участники дыхательной цепи, системы митохондриального транспорта электронов. Одна из наиболее важных функций растительных фенольных соединений — защитная. Они выполняют роль защитных барьеров на пути механических, химических, термических и болезнетворных воздействий. В частности, велика роль фенольных соединений в защите растений от заморозков и засухи.

Это происходит в результате того, что покровные ткани содержат повышенные количества дубильных веществ (тан-

нины), флавоноидов, фенолокислот, которые образуют защитный покров, предохраняющий более ценную и более нежную сердцевину семян и плодов от внешних неблагоприятных воздействий, препятствуют проникновению в глубь растительных тканей вредных насекомых, грибов и т. п.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вещества называют липидами, каковы их общие свойства?

2. Как классифицируются липиды?

3. Что представляют собой простые липиды (жиры и воски)?

4. Каково содержание жира в зерне, каковы его состав, свойства, значение?

5. В чем заключается прогоркание жира?

6. Что представляют собой числа кислотное, йодное, омыления, что они показывают, как определяются?

7. Чем фосфатиды отличаются от жиров, каковы их свойства?

8. Каково содержание и формы фитина в зерне, каковы его особенности и значение?

9. Что такое стерины (стеролы) и стериды, входящие в состав зерна, каково их строение и значение?

10. Что представляет собой эргостерол?

11. В чем различие между свободными, связанными и прочносвязанными липидами?

12. Что представляют собой жирорастворимые пигменты — каротиноиды и хлорофиллы, каково их содержание, состав, значение в зерне?

13. Чем характеризуются нерастворяющиеся в жирах пигменты — флавоноиды, антоцианы, флавоны, каковы их содержание, состав и значение в зерне?

14. Что представляют собой красящие вещества зерна, образующиеся в результате взаимодействия соединений, входящих в состав зерна? Какова их роль для качества зерна при его хранении и переработке?

15. Какая связь существует между цветом и качеством зерна?

16. Что представляют собой фенольные соединения зерна, каков их состав и свойства?



## МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА, ВЛАГА, КИСЛОТНОСТЬ ЗЕРНА

### § 1. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА ЗЕРНА

Зерно высушенное, не содержащее влагу, состоит из элементов двух групп. На долю первой группы приходится примерно (%): углерода — 45, кислорода — 42; водорода — 6,5; азота — 1,5, итого (95–98%). Остальную часть сухих веществ (2–5%) составляют другие минеральные элементы, образующие после сжигания зерна золу. Качественный состав и содержание этих элементов в зерне сильно варьируют в зависимости от различных условий. Исходя из количественного содержания минеральных элементов в тканях зерна, их принято делить на следующие подгруппы (% к массе золы):

1) макроэлементы объединяют элементы, содержание которых колеблется от десятков до сотых долей процента ( $10^{-1}$ – $10^{-2}$ ). В нее входят элементы: P, K, Mg, Na, Fe, S, Al, Si, Ca;

2) микроэлементы объединяют элементы, содержание которых колеблется от тысячных до стотысячных долей процента ( $10^{-3}$ – $10^{-5}$ ). К этой группе относятся Mn, B, Sr, Cu, Zn, Ba, Ti, Li, I, Br, Mo, Co и др.;

3) ультрамикроэлементы объединяют элементы, содержание которых исчисляется миллионными долями ( $10^{-8}$ ) процента и меньше: Cs, Se, Cd, Hg, Ag, Au, Ra.

Содержание минеральных веществ определяют сжигая навеску зерна или муки при температуре 650–850 °С. Массу золы, выраженную в процентах к исходной массе зерна, называют зольностью зерна. Величина зольности и качественный состав золы сильно изменяются в зависимости от вида, сорта и почвенно-климатических условий выращивания зерна. Минер-

## Зольность и состав золы различных

Наименование	Зольность, %	% от общей		
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
Пшеница	1,71	47,2	30,7	12,8
Рожь	1,76	43,0	32,6	13,5
Ячмень	2,65	31,1	16,4	10,0
Овес	2,67	25,5	18,0	7,1
Просо	2,95	22,0	11,2	9,5
Кукуруза	1,43	39,4	28,3	23,5
Джугара	1,51	43,8	Сведений нет	17,8
Фасоль	4,31	20,1	То же	Сведений нет
Горох	3,0	22,3	—»—	То же
Чечевица	2,88	25,5	—»—	—»—
Подсолнечник	2,88	38,2	26,5	15,1
Хлопчатник	3,4	28,0	31,9	15,3
Соя	5,7	29,1	45,0	8,2
Клещевина	3,0	31,9	23,7	19,8

ральные вещества в состав золы за редким исключением входят в виде окислов.

В золе пшеницы и ржи (табл. 49) преобладают фосфор, калий и магний. На фосфор приходится около половины всей золы, на калий — около 1/3 и на магний — 12–13%. В пленчатых культурах резко возрастает доля кремния в результате его высокого содержания в лузге. В семенах бобовых содержание фосфора меньше, чем в злаковых, доля железа возрастает примерно вдвое. Химический состав золы семян масличных по культурам заметно различается. Зола подсолнечника богата не только фосфором, но и калием, магнием, кальцием. Зола семян хлопчатника и особенно сои, содержит повышенное количество калия. В золе зерна и семян содержится также большое число микроэлементов. В зерне пшеницы обнаружены (мг % от сухого вещества): марганец 3–6,9; никель 0,3–0,6; цинк 3,7–7,9; медь 0,72–0,75; молибден 0,035; кобальт 7,9–8,1 и др.; в зерне ячменя — медь 0,3–0,6; кобальт 0,04–0,07; молибден 0,02–0,05 и др.; в семенах гороха — медь 1,41; цинк 1,66; молибден 0,08 и др. Зола образуется главным образом из разных органических соединений в состав которых

Таблица 49

культур (средние данные)

массы					Остальные минеральные вещества
CaO	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
4,3	1,7	1,6	1,4	0,2	0,1
6,4	1,3	1,8	1,1	0,2	0,1
4,7	4,1	29,0	3,0	0,8	0,1
3,7	1,5	39,3	1,9	Сведений нет	—
0,9	1,3	52,9	0,3	То же	—
4,0	0,8	2,4	0,8	0,7	0,1
6,2		Сведений нет		0,9	—
5,6	То же	То же	То же	1,6	—
6,0	—»—	—»—	—»—	1,49	—
4,6	—»—	—»—	—»—	1,70	—
12,3	7,4	—»—	2,3	1,6	—
9,9	8,7	—»—	2,2	1,9	—
8,9		Сведений нет	1,4	Следы	—
4,0	6,0		Сведений нет		—

входят те или иные элементы, превращающиеся при сжигании в золу. Ниже излагается значение отдельных элементов для растения.

**Макроэлементы. Фосфор.** Разнообразные фосфорорганические соединения, встречающиеся в растительной ткани, характеризуются одной общей чертой — все они содержат фосфор только в окисленной форме. В растении фосфорная кислота распределена крайне неравномерно. Наиболее богаты его репродуктивные органы (в семенах в 5–10 раз выше, чем в вегетативных органах). Роль фосфора в обмене веществ растения определяется в первую очередь тем, что он входит в состав нуклеопротеидов, которыми в особенности богаты клеточные ядра, зародыши семян и другие важные органы и части растения. Важнейшую роль играет фосфорная кислота в процессе дыхания и фотосинтеза, поскольку она участвует в построении образующегося при дыхании и фотосинтезе аденозинтрифосфата (АТФ), являющегося источником энергии для различных процессов обмена веществ.

**Сера.** Входит в состав белков в виде аминокислот метионина, цистеина и является составной частью глутатиона. Асси-

миляция серы растением выражается в восстановлении поглощенных сульфатов и синтезе аминокислот и белков. Этот процесс особенно выражен в созревающих семенах. Исключительно высокая активность и важная роль кофермента А (КоА) в обмене веществ обусловлены его —SH группой.

**Калий и натрий.** При большом сходстве их химических свойств в физиологическом отношении эти элементы различны. Если большое значение калия для нормального существования и развития растений очевидно, то о значении натрия до последнего времени определенной точки зрения нет. Натрий обычно не относят к числу необходимых элементов. Калий повышает гидрофильность протоплазмы и увеличивает ее водоудерживающую способность. Повышенная оводненность коллоидов благоприятствует сохранению нормального состояния протоплазменных структур, нормальной проницаемости мембран, обеспечивает благоприятные условия для развертывания в клетке синтетических процессов.

**Кальций.** Ему принадлежит важная и разносторонняя роль в обмене веществ растения. Кальций — необходимая составная часть протоплазменных структур. Наряду с магнием он входит в состав различных субклеточных структур. Соединения кальция с пектиновыми веществами (Са-пектаты) составляют основу так называемых срединных пластинок, склеивающих стенки отдельных клеток. Кальций стабилизирует вторичную и третичную структуру молекулы  $\alpha$ -амилазы, обеспечивая таким образом ее каталитическую активность и одновременно предохраняя фермент от действия протеолитических ферментов.

**Магний.** Участвует в построении молекулы хлорофилла. Ему принадлежит также существенная роль в обмене веществ клетки, поскольку он является кофактором, необходимым для действия многих ферментов. Структурная организация рибосом зависит от концентрации в них магния. Рибосомы содержат заметное количество магния.

**Железо.** Без железа не происходит образования хлорофилла, хотя оно и отсутствует в его молекуле. Железо входит в состав ряда дыхательных ферментов — цитохромоксидазы, ка-

Таблица 50

Зольность анатомических частей зерна пшеницы, ржи и кукурузы. %

Наименование	Пшеница			Рожь			Кукуруза		
	зольность								
	соотношение частей	к массе соот-ветствующей части зерна	к общей массе золы в зерне	соотношение частей	к массе соот-ветствующей части зерна	к общей массе золы в зерне	соотношение частей	к массе соот-ветствующей части зерна	к общей массе золы в зерне
Эндосперм	81,60	0,45	15,56	77,69	0,42	19,66	80,2	0,30	15,22
Зародыш	3,24	6,32	9,36	3,71	5,30	11,84	13,0	9,24	76,03
Оболочки	15,48	10,51	74,08	18,60	6,11	68,50	5,2	1,78	5,87
Чехлики	—	—	—	—	—	—	1,6	2,84	2,88
Зерно	100,00	2,18	100,00	100,00	1,66	100,00	100,00	1,58	100,00

талазы и пероксидазы. Оно входит в состав так называемых негеминовых железопротеинов, участвующих в процессе дыхания, фотосинтеза и фиксации молекулярного азота.

Железо — одно из наиболее важных веществ в составе пищи человека. Входит в состав красного дыхательного пигмента — гемоглобина, который переносит кислород от легких к тканям тела и углекислый газ от них к дыхательным органам.

Азотфиксирующие бактерии, живущие в клубеньках на корнях бобовых растений, не могут существовать без железа. Оно входит в состав особого белка, аналогичного гемоглобину крови и называемого левоглобином. В клубеньках бобовых содержится около 4% левоглобина, включающего 0,34% железа.

**Микроэлементы.** Доказано, что нормальная жизнедеятельность растительного организма возможна лишь при условии полной его обеспеченности микроэлементами. При недостатке в почве того или иного микроэлемента у растения возникают серьезные нарушения обмена веществ, и оно может погибнуть. Ряд микроэлементов — коферменты многих ферментов: железо, медь, молибден, марганец, цинк, магний и кобальт.

Зерно и продукты его переработки — один из важных источников поступления минеральных элементов с пищей в организм человека, прежде всего фосфора, калия, магния, кальция, серы и железа. Минеральные вещества по зерну распределены неравномерно (табл. 50).

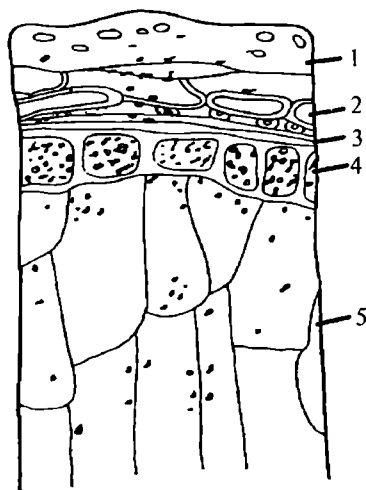


Рис. 34. Распределение солей калия в зерне пшеницы: 1, 2, 3 — оболочки; 4 — алейроновый слой; 5 — эндосперм

Состав золы по отдельным частям зерна также неоднороден (рис. 34). В клейковине содержание минеральных веществ иное, чем в зерне, из которого она отмыта (табл. 51).

При отмывании клейковины некоторые минеральные вещества в ней концентрируются (P, Mg, S). Особое место занимает калий. Он отличается повышенной прочностью связи с неклеяковыми веществами зерна и при отмывании почти весь остается в зерновых остатках. Общая зольность клейковины по сравнению с зерном увеличивается. В клейковине значительно больше, чем в зерне, железа, цинка и меди. Если в золе зерна пшеницы железа 0,26%, то в золе клейковины 1,90%.

Содержание и состав золы клейковины в зависимости от сорта, почвы и удобрений сильно изменяются. Много калия в золе водорастворимых веществ — почти в три раза больше, чем в золе крахмала, и в шесть раз больше, чем в золе клейковины.

Таблица 51

Минеральные вещества в зерне и клейковине пшеницы (элементы — мг/100 г сухого вещества, окислы — % от массы золы)

Минеральное вещество	Зерно	Клейковина	Минеральное вещество	Зерно	Клейковина
K	293,0	39,0	SO <sub>2</sub>	9,6	12,0
K <sub>2</sub> O	21,4	2,1	Ca	58,0	52,0
P	245,0	456,0	CaO	3,7	3,3
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,9	49,8	Na	13,0	11,0
Mg	144,0	258,0	Na <sub>2</sub> O	1,1	0,7
MgO	14,6	18,6	Si	14,0	11,0
S	80,0	141,0	SiO <sub>2</sub>	1,9	1,1

Таблица 52

## Зольность семян бобовых и их частей, %

Культура	Целое семя	Части семени	
		оболочки	ростки
Горох	3,00	2,47	4,26
Фасоль	4,31	4,26	4,48
Чечевица	2,88	3,04	2,31

Минеральные вещества в семенах бобовых культур распределены различно (табл. 52).

У семян гороха зольность ростков значительно превышает зольность оболочек. У фасоли минеральные вещества распределены по частям семени более или менее равномерно. Распределение минеральных веществ в семени чечевицы прямо противоположно тому, что наблюдается в семени гороха: зольность оболочек выше зольности ростков и семени в целом.

Семена масличных культур содержат значительные количества минеральных веществ с неравномерным распределением их по частям семени (табл. 53). В отличие от злаковых в семенах масличных культур в большинстве случаев в ядре содержится больше минеральных веществ, чем в оболочках.

Большие различия в зольности отдельных частей зерна используют для контроля выхода по сортам и качества пшеничной муки. Поскольку зольность оболочек зерна пшеницы в 20 с лишним раз больше зольности эндосперма, то по зольности пшеничной муки можно судить о количестве периферийных частиц и зародыша, перешедших в муку (рис. 35).

В недавнем прошлом наличие клетчатки и гемицеллюлоз в сортовой муке признавали нежелательным, считая их не усваиваемыми человеческим организмом. По современным пред-

Таблица 53

## Зольность семян масличных и их частей, % (данные разных авторов)

Наименование	Семена	Оболочки	Ядро
Подсолнечник	2,88	1,94	3,36
Клещевина	3,0	3,64	2,95
Соя	5,7	4,0	—
Хлопчатник	3,4	2,5	6,5

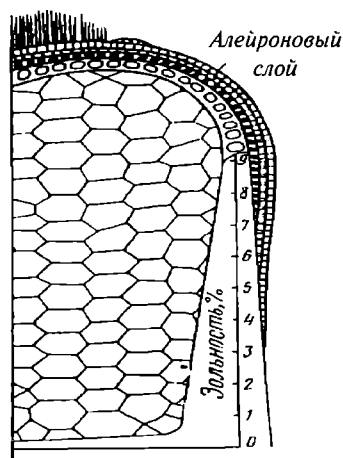


Рис. 35. Распределение зольности по анатомическим частям зерна пшеницы

ставлениям эти вещества входят в состав пищевых волокон, играющих значительную полезную роль в пищеварении. Поэтому зольность следует рассматривать относительным показателем выходов сортовой муки и мерой внесения зерновыми продуктами в пищевые продукты минеральных веществ.

Стандартами установлены нормы зольности для каждого сорта муки (табл. 54): если зольность выше нормы, мука считается нестандартной. В таблице приведены средние данные о зольности составных частей зерна пшеницы и ржи.

Если в зольности целого зерна пшеницы и ржи существенных различий нет, то зольность эндосперма и зародыша зерна ржи в среднем выше, чем у пшеницы, зольность семенных оболочек, а также суммарно оболочек с алейроновым слоем,

Таблица 54

**Нормы зольности сортовой муки из зерна пшеницы и ржи (по существующим стандартам)**

Наименование	Выход муки, % от массы зерна	Зольность, % от сухого вещества
Мука пшеничная:		
крупчатка	10	0,60
высший сорт	15	0,55
первый сорт	72	0,75
второй сорт	85	1,25
обойная	96	На 0,07% ниже зольности зерна до очистки
Мука ржаная:		
сеяная	63	0,75
обдирная	87	1,45
обойная	95	На 0,07% ниже зольности зерна до очистки



наоборот, в зерне пшеницы более высокая, чем в зерне ржи. Зольность эндосперма и зародыша зерна пшеницы и ржи изменяется в более широких пределах, чем зольность остальных его частей, при наибольшем диапазоне колебаний у зерна пшеницы.

В целом зольность зерна ржи и его составных частей изменяется в более узких границах по сравнению с пшеницей (табл. 55). Наблюдаются колебания в зольности зерна пшеницы твердой и мягкой. Зольность эндосперма мягкой пшеницы изменяется от 0,26 до 0,50%, составляя в среднем 0,42%, а зольность оболочек вместе с алейроновым слоем — от 7,74 до 11,65% (в среднем 9,65%). Зольность эндосперма у твердой пшеницы часто выше, чем у мягкой пшеницы, — от 0,30 до 0,60% (в среднем 0,46%), а зольность оболочек с алейроновым слоем обычно меньше, чем у твердой пшеницы, — от 6,34 до 10,25% (в среднем 8,72%).

Анализ зерна из 19 стран показал, что зольность зерна пшеницы изменяется от 1,44 до 1,91% и эндосперма — от 0,26 до 0,47%. Различия в зольности выявлены в пределах самого эндосперма (табл. 56). Из общего количества минеральных веществ около 1/4 находится в эндосперме, около 1/10 — в зародыше со щитком и более 2/3 — в оболочках с алейроновым слоем.

Золаобразующие элементы по эндосперму распределяются также весьма неравномерно. Если его внутренние слои име-

Таблица 55

Колебания зольности зерна пшеницы и ржи, % к массе соответствующей части зерна

Наименование	Пшеница		Рожь	
	колебания	среднее значение	колебания	среднее значение
Целое зерно	1,50–2,48	1,98	1,68–2,06	1,86
Плодовые оболочки	1,70–4,1	2,78	3,19–3,92	3,55
Семенные оболочки	7,0–20,2	9,82	2,46–3,76	3,28
Алейроновый слой	14,72–17,22	15,98	6,45–8,91	7,06
Оболочки с алейроновым слоем	6,42–12,93	8,71	5,77–6,47	6,11
Эндосперм	0,23–0,63	0,43	0,36–0,67	0,54
Зародыш	3,66–8,02	5,82	4,43–9,65	6,32

Зольность анатомических частей зерна пшеницы по зарубежным данным

Наименование	Соотношение частей, %		Зольность соответствующей части зерна, %		Доля общей зольности	
	I	II	I	II	I	II
Плодовые и семенные оболочки	8,0	9,5	1,96	1,91	8,6	9,8
Алейроновый слой	7,0	6,4	14,72	17,03	56,4	58,7
Оболочки и алейроновый слой вместе	15,0	15,9	7,93	8,00	65,0	68,5
Эндосперм <sup>1</sup> :						
1	11,0	4,5	1,01	1,87	—	—
2	10,4	4,4	0,71	0,59	—	—
3	14,9	26,6	0,44	0,45	—	—
4	17,9	24,6	0,44	0,38	—	—
5	11,9	21,3	0,37	0,40	—	—
6	10,0	—	0,42	—	—	—
7	2,6	—	0,77	—	—	—
8	3,8	—	1,00	—	—	—
Весь эндосперм	82,5	81,4	—	—	25,9	21,9
Зародыш	1,0	1,3	5,36	4,83	2,9	3,4
Щиток	1,5	1,4	7,59	8,20	6,2	6,2
Зародыш и щиток вместе	2,5	2,7	6,71	6,58	9,1	9,6
Зерно в целом	100,0	100,0	1,83	1,86	100,0	100,0

I — сорт пшеницы английской Вильморен 27; II — пшеница аргентинская.

<sup>1</sup> слой, прилегающий к алейроновому слою толщиной 70...100 мкм; 2...5 — последующие слои, сходящиеся у бороздки; 6 — слой, примыкающий к алейроновому слою в бороздке; 7 — примыкающий к алейроновому слою в центральной внутренней части; 8 — прилегающий к алейроновому слою в области бочков.

ют самую низкую зольность (0,37—0,38%), то по мере приближения к периферийным слоям зольность нарастает и в слое, прилегающем к алейроновому, увеличивается в 3—5 раз, достигая 1,01—1,87%. Сосредоточение наибольшего количества минеральных веществ в алейроновом слое свидетельствует о том, что зольность муки в решающей степени зависит от его количества, перешедшего в готовую продукцию.

Материалы о зольности составных частей зерна показывают, что высокая зольность зерна не может служить показате-

лем пониженного содержания эндосперма, а низкая зольность зерна еще не гарантирует высокого содержания в нем эндосперма.

Белок в эндосперме распределяется с той же закономерностью, как и зольность: периферийные слои содержат больше белка и имеют зольность выше, чем внутренние слои. Были попытки установить зависимость между содержанием белка и зольностью эндосперма. Фракции с большим содержанием белка всегда имеют большую зольность, чем исходная мука. Если разделить муку воздушной струей на две фракции, то для каждой фракции можно найти линейную зависимость между зольностью и содержанием белка. Однако нельзя утверждать, что пшеница, бедная белком, всегда дает муку с пониженной зольностью, так как общий уровень зольности и содержания белка в эндосперме варьируются независимо друг от друга.

Некоторая зависимость между содержанием белка и зольностью зерна существует только для пшеницы данного района, выращенной при определенных одинаковых почвенно-климатических условиях. Для пшеницы различных районов произрастания такой зависимости не существует. Неудобство использования показателя зольности для оценки качества муки (чем выше зольность, тем ниже качество) заключается и в том, что минеральные вещества зерна пшеницы — сами по себе ценные питательные вещества, необходимые для человеческого организма.

Соотношение зольности эндосперма и оболочек зерна пшеницы и ржи имели большое практическое значение. Зольность оболочек с алейроновым слоем пшеницы в 20 раз и ржи более, чем в 10 раз превышают зольность эндосперма. Превышение зольности муки над зольностью эндосперма позволяло количественно судить о величине оболочек зерна, перешедших в муку и поэтому показателю классифицировать ее по сортам.

Долгие годы зольность зерна и зольность получаемой сортовой муки были базой режимов помола мельзаводов и основанием их рентабельности. Складывающиеся фенотипы зерна пшеницы и ржи не гарантировали устойчивости близости фактического качества готовой продукции стандартным нор-

мам. Не имея других, более совершенных обоснованных норм выходов и качества сортовой муки, мельзаводам приходилось действующие нормы муки по зольности считать относительными и ими руководствоваться. В нашей стране и за рубежом проводились обширные исследования по замене показателя зольности пшеничной муки по фотометрическим свойствам зерна и его частей. ВНИИЗом разработан и предложен экспрессный метод — показатель белизны муки, основанный на значительном различии фотометрических признаков эндосперма и отрубьянистых частиц зерна по коэффициенту отражения. Создан прибор для определения белизны муки СКИБ-м (сканирующий прибор для определения белизны муки). Утвержден стандарт ГОСТ 26361-84 «Метод определения белизны». Прибор фотоэлектрический, состоящий из измерительной головки со столиком, блока регистрации и питания. Из средней пробы муки после тщательного перемешивания из разных мест отбирают навеску муки 100 г для определения крупности и две навески по  $(50 \pm 5)$  г для двух параллельных определений белизны. Перед определением на приборе выделенную среднюю навеску муки просеивают на соответствующих для каждого сорта муки ситах. Базисные нормы для сортов муки в единицах прибора (среднее из двух параллельных определений):

Пшеница (сорт)	
Высший — 25	
Первый — 35	
Второй — 40	
Рожь — Сеяная — 20	
Обдирная — 50	

В установленные показатели вносят соответствующие поправки на крупность и содержание твердой и белозерной пшеницы. Прибор для определения белизны широко внедрен. Его применение проходит переходный период: часть мельзаводов по-прежнему используют показатель зольности.

**Токсичные элементы.** Научно-техническая революция наряду с положительными и жизненно необходимыми результатами влечет за собой и отрицательные последствия, связанные в первую очередь с загрязнением окружающей среды, прежде

всего тяжелыми металлами. В основном они поступают в организм человека (до 70%) с пищевыми продуктами, в том числе с зернопродуктами. Источниками загрязнения атмосферы, почвы и растительности тяжелыми металлами и другими токсическими элементами служат выбросы металлургических, горнодобывающих и химических предприятий, продукты сгорания топлива, ядохимикаты, минеральные удобрения и сточные воды.

На интенсивных автомагистралях страны выхлопные газы, содержащие значительное количество свинца, увеличивают содержание этого элемента в зерне на расстоянии до 200 м от дороги даже при наличии лесозащитной полосы. Накопление тяжелых металлов и других токсичных элементов в почве приводит к повышению их концентрации в растениях, в том числе в зерне.

Объединенная комиссия ФАО и ВОЗ по Пищевому кодексу включила в число обязательных компонентов пищевых продуктов, подвергаемых контролю при международной торговле, 8 наиболее опасных токсичных элементов: ртуть, кадмий, свинец, мышьяк, медь, олово, цинк и железо. Это не значит, что другие элементы являются безвредными. Многие из них в определенных концентрациях могут представлять опасность для здоровья человека. В нашей стране, где забота о здоровье человека — государственная проблема, список содержащихся в пищевых продуктах элементов, подлежащих гигиеническому контролю, увеличен до 15, в него добавлены сурьма, никель, селен, хром, алюминий, фтор и йод. Особенно тщательному контролю подвергают продукты детского и диетического питания.

Одним из источников токсинов в зерне можно быть извлечение зерном из почвы нитратов в период его выращивания. При самосогревании создаются благоприятные условия для развития на зерне токсигенных грибов, хранения и загрязнения его микотоксинами, в первую очередь наиболее канцерогенными и ядовитыми из них — афлатоксинами. Наиболее реальным путем загрязнения зерна микотоксинами является образование их в поле при созревании зерновых культур, пораженных токсигенными грибами (фузарии, спорынья и др.). Фузарии могут накапливать при развитии на зерне дезоксиэпи-

валенол (ДОН), зеараленон (Зл), ниваленон (НИВ), токсин Т-2 и их производных а также другие токсины. Токсичные элементы могут накапливаться в зерне в результате разрушений при обработке растений в поле гербицидами, средствами борьбы с вредителями и болезнями, хлебных растений. То же самое возможно с обработкой зерновых запасов фумигантами (хлорпикрином, фосфином и др.) с целью борьбы с вредителями хранения.

Настораживает тот факт, что за последние десять лет содержание токсичных элементов в продуктах питания возросло в 2–3 раза. Определено их фоновое содержание в зерне пшеницы (мг/кг): меди — 3,5–6,5, цинка — 18–61, свинца и кадмия — 0,02–2, мышьяка — не более 0,05, ртути — не более 0,025. Выявлено влияние района выращивания на содержание меди и цинка в зерне пшеницы.

При переработке зерна пшеницы в муку наблюдается перераспределение токсичных элементов. В муке высшего сорта содержание меди, цинка, свинца и кадмия снижается в 2–4 раза по сравнению с исходным зерном. Максимальное содержание токсичных элементов в отрубях: меди 19,0 мг/кг, цинка 160 (в зародыше), свинца 1,16, кадмия 0,178 мг/кг.

## § 2. ВЛАГА В ЗЕРНЕ

При формировании зерна в колосе, его хранении и переработке вода выполняет многие функции с изменяющейся интенсивностью и глубиной воздействия на зерно, как в целом, так и на его отдельные части — вода:

- растворитель большинства органических и неорганических соединений в зерне;

- среда, в которой реализуются почти все физико-химические и биохимические процессы;

- активный участник этих процессов;

- активатор ферментных процессов;

- составная часть природных полимеров и большинства других органических соединений;

- обязательное условие и транспортный агент при переносе веществ зерна через все виды мембран, передвижения их в

пределах клетки и в межклеточном пространстве, а также между тканями хлебного растения, зерна и семян.

Для каждой из этих функций характерен свой механизм, количественная мера и свое биологическое значение. Во-первых, состояние и влияние на качественно-технологическое достоинство по физическим показателям: морфолого-анатомические признаки, масса 1000 зерен, натура, стекловидность, прочность и твердость, аэродинамические особенности. Во-вторых, биохимические процессы зерна: ферментативная активность дыхания, всхожесть и энергия прорастания, развитие микрофлоры.

Влага в зерне имеет большое значение для его качественной оценки, хранения. Хранение зерна и все виды его переработки теснейшим образом связаны с содержанием влаги. Она — важнейший фактор сохранности зерна. Влага обеспечивает структуру коллоидов цитоплазмы, определяет конформацию и функциональную активность ферментов, а также структурных белков клеточных мембран и органоидов.

Увлажнение изменяет физические свойства зерна, снижает сопротивление раздавливанию, повышает эластичность оболочек. При высокой влажности затрудняется дробление, повышаются затраты электроэнергии, снижается выход готовой продукции, снижается ее качество. Сушку — важнейший способ обработки зерна при хранении и переработке его в муку, крупу и другие продукты — организуют с учетом содержания влаги в зерне. Развитие микроорганизмов, а также клещей, насекомых и других вредителей, жизнедеятельность которых приводит к большим потерям зерна, связано с содержанием влаги в зерне.

Увлажнение вызывает или ускоряет многие физико-химические и биологические процессы (набухание, гидролитическое расщепление высокомолекулярных веществ, дыхание), усложняющие хранение и переработку зерна. Если не принять необходимых мер, эти процессы приводят к ухудшению качества зерна и даже к полной его порче. Влага на разных этапах биохимических превращений в зерне обладает неодинаковой реакционной способностью. Различная степень готовности влаги вступать в те или иные биохимические реакции — след-

ствие разной величины прочности ее связи с тканями зерна. Если в сухом зерне эти процессы выражены настолько слабо, что практически с ними при хранении и переработке можно не считаться, то при увлажнении они становятся решающими для технологического достоинства и качества зерна.

С повышением влажности зерна активность ферментов возрастает. Чем больше влаги, тем менее прочно она связана с сухими веществами зерна и тем легче протекают ферментативные реакции. Влага в зерне — могучий фактор всех биологических и физико-химических процессов, а также технологического достоинства зерна.

Форма и виды связи влаги с сухими веществами зерновки, распределение по отдельным ее тканям и частям оказывают решающее влияние на состояние зерна, весь комплекс процессов, происходящих в нем, сохранность, переработку и пищевое достоинство. В основе современных представлений о формах и видах связи влаги с материалом лежит предложенный П.А. Ребиндером термодинамический принцип—величина энергии этой связи, развитый Е.Д. Казаковым применительно к живым растительным тканям с учетом роли воды в жизнедеятельности клетки. При работе с зерном обычно учитывают равновесную, гигроскопическую и критическую влажность. Различают также влагу свободную и связанную.

Под свободной понимают влагу, отличающуюся невысокой энергией связи с тканями зерна, легко из него удаляемую. Наличие свободной влаги обуславливает значительную интенсивность дыхания и других биохимических процессов, приводящих к быстрой порче зерна при хранении и ухудшающих его физико-механические свойства.

Под связанной понимают влагу, характеризующуюся высокой энергией связи с тканями зерна, при которой все процессы в зерне затухают и оно становится стойким при хранении. Связанная влага имеет ряд особенностей: по сравнению с капельно-жидкой водой у нее более низкая температура заморозания (до  $-20^{\circ}\text{C}$  и ниже); теплоемкость меньше [достигает  $0,3$  ккал/кг·град, или  $1256$  м<sup>2</sup>·с<sup>-2</sup>/град]; пониженная упругость пара; большая теплота испарения; резко уменьшенная способность растворять твердые вещества. Удалить всю связанную



Таблица 57

Равновесная влажность зерна различных культур при температуре 12–25 °С

Наименование	Влажность зерна, % на сырую массу, при относительной влажности воздуха, %											
	10	20	30	40	50	60	70	75	80	85	90	95
Пшеница*	6,6	8,4	9,5	10,9	12,2	13,4	14,8	15,3	16,7	18,6	20,4	—
Рожь	6,9	8,2	9,6	10,9	12,2	13,5	15,1	16,2	17,5	19,3	21,6	24,5
Овес	5,5	7,2	8,8	10,2	11,4	12,5	14,0	15,2	17,0	19,5	22,5	—
Кукуруза	6,2	7,9	9,3	10,7	11,9	13,1	14,6	15,5	16,5	18,1	20,7	25,0
Горох	5,3	7,0	8,6	10,3	11,9	13,5	15,0	15,9	17,1	19,0	22,0	26,0
Бобы	4,7	6,8	8,5	10,1	11,6	13,1	14,8	15,9	17,2	19,5	22,6	27,2

\* Равновесная влажность определена при температуре 20 °С

влагу невозможно, так как это сопряжено с разрушением тканевой структуры зерна.

Влажность зерна, определяемая приборами, которая входит в стандарты, представляет собой содержание физически связанной с тканями зерна влаги, удаляемой в конкретных условиях ее определения. В нее входит вся свободная влага и часть связанной. Влажность, ниже которой биохимические процессы в зерне резко ослабляются, а выше которой начинают бурно нарастать, называют критической. Это состояние зерна, при котором появляется свободная вода, т. е. вода с пониженной энергией связи, обеспечивающей интенсификацию ферментативных процессов. Для зерна основных злаковых культур критическая влажность находится в пределах 14,5–15,5%. Для семян масличных культур она значительно меньше в связи с большим содержанием липидов.

Гигроскопическая влага — это влага, поглощенная (сорбированная) зерном из воздуха. Равновесная влага — это влага, содержащаяся в зерне в таком количестве, которое соответствует данному сочетанию относительной влажности и температуры воздуха (табл. 57).

Если поместить зерно в замкнутое пространство, в котором создана определенная относительная влажность воздуха (например, 85%), то сухое зерно будет поглощать водяные пары и увлажняться. Наступает состояние, когда зерно перестает сорбировать влагу и его влажность будет равновесна влажности окружающего воздуха. Если поместить влажное

зерно в сухой воздух, оно будет подсыхать до тех пор, пока влажность зерна не придет в равновесие с влажностью воздуха. Влажность зерна, соответствующая состоянию равновесия, называют равновесной.

При равновесном влагосодержании упругость паров в капиллярах зерна равна упругости в окружающем воздухе. Количество гигроскопической и равновесной влаги зависит от ряда условий, из которых основные: химический состав и физическая структура зерна; способ достижения равновесия (увлажнение или высушивание); величина исходной влажности и характер предварительных воздействий на зерно (многократность увлажнения и высушивания, механические повреждения); степень зрелости зерна и т. д.

На величину равновесной влажности оказывает влияние температура: при одной и той же относительной влажности воздуха более высокой температуре отвечает более низкая равновесная влажность зерна, и, наоборот, сниженная температура приводит к повышению равновесной влажности зерна. Мелкое зерно при равных условиях быстрее и больше поглощает гигроскопической влаги, чем крупное. Это объясняется тем, что мелкое зерно имеет большую относительную поверхность, чем крупное.

Зерно с большим содержанием белка поглощает больше водяных паров, хотя и ненамного. Резко различающиеся пробы по содержанию белка зерна пшеницы имели разницу по влажности не более 0,7%. Воздействие температуры наружного воздуха на зерновую насыпь проявляется постепенно и сопровождается ослаблением — «затуханием» по мере проникновения в глубь зерновой насыпи. Колебания температуры воздуха образуют температурные волны: суточные — от более низкой температуры (минимум) ночью к более высокой температуре (максимум) днем и годовые — от зимнего минимума к летнему максимуму с соответствующим изменением относительной влажности воздуха и его влиянием на равновесную влажность зерна.

Относительная влажность воздуха и его температура влияют на равновесную влажность зерна и в поле. В утренние часы уборки урожая зерно более влажное, чем собранное в дневные

часы. При уборке пшеницы комбайном с 6 до 7 ч утра зерна с влажностью до 14% было 47%, с 9 до 10 ч — 76, с 12 до 13—99%.

В производственных условиях хранения зерна наблюдается явление термовлагопроводности — перемещения влаги, вызванного градиентом температуры. В этих условиях влага перемещается из мест более нагретых по направлению к слоям или участкам зерновой массы более холодным. Одновременно влажность отдельных участков зерна в том же направлении изменяется под влиянием конвективных потоков воздуха, несущих с собой пары влаги.

При хранении и переработке зерна его часто увлажняют капельно-жидкой влагой, что приводит к весьма важным изменениям (например, при гидротермической обработке при подготовке зерна к помолу). Поглощение зерном капельно-жидкой влаги изучалось многими исследователями. В поглощении влаги участвует вся поверхность зерна, поглощение происходит с неодинаковой интенсивностью. В наибольшем количестве влага поглощается зародышем и в наименьшем — бороздкой (табл. 58).

Таблица 58

Увеличение влажности при погружении зерна ржи в воду при температуре 25 °С, % от сухого вещества

Наименование	В течение времени, ч		
	1	3	5
Зерна:			
целые	11,8	25	35,3
с отрезанными зародышами (места отреза закрыты)	13,8	30,7	39,7
с оголенными зародышами (с зародышей сняты плодовая и семенная оболочки)	19,7	36,8	45,3
с отрезанными зародышами и бороздками (места отрезков изолированы)	1,2	7,4	10,9
без плодовых оболочек: зародышевые части отрезаны (места отреза изолированы)	2,7	9,1	16,5
без плодовых и семенных оболочек: зародышевые части отрезаны (места отреза изолированы)	16,4	51,6	59,4
Зародыш	150,4	171,8	183,4
Эндосперм	63,5	98,5	129,3

Поглощение воды эндоспермом по отношению к массе сухих веществ озимой пшеницы Ферругинеум 1239 при температуре 17–18 °С, %

Части эндосперма	Через		Части эндосперма	Через	
	6 ч	12 ч		6 ч	12 ч
Правая	37,1	43,9	Хохолковая	37,7	40,6
Левая	37,52	43,3	Брюшная	45,9	48,8
Призародышевая	41,1	46,8	Спинная	51,9	52,8

Общее количество воды, поглощенное пшеничным зерном, распределяется (%):

верхняя часть зерна с бородкой	4
средняя часть зерна ближе к бородке	19
средняя часть зерна ближе к зародышу	20
нижняя часть зерна с зародышем	57

Если за 100 взять скорость движения воды через эндосперм (23,8 мл/см<sup>2</sup>·ч), в среднем она составит: через пигментный слой — 3, гиалиновый — 69 и алейроновый — 103.

Эндосперм поглощает воду неравномерно: наиболее энергично спинная часть и в наименьшей степени со стороны хохолковой части (табл. 59). На скорость поглощения воды зерном большое внимание оказывает температура. Интенсивность поглощения воды зерном при его увлажнении увеличивается с повышением температуры, в особенности свыше 40 °С.

Процесс набухания зерна, относящегося к капиллярно-пористым телам, имеет свои особенности, вытекающие из его биологической природы и усложняющие поведение воды при ее проникании в ткани зерна. Поглощение влаги вначале происходит с выделением тепла и контракцией системы в результате присоединения адсорбционной воды. Затем присоединение воды идет путем осмотического проникания ее внутрь замкнутых ячеек капиллярно-пористого тела без выделения тепла и контракции системы. Вода в клетки тканей зерна проникает не только под влиянием физических законов, но и биологических сил, проявляющихся в действии тонких клеточных механизмов, регулирующих поступление воды внутрь и выведение ее за пределы клетки. Наконец, поглощенная вода

включается в биологический обмен веществ в клетке, ведущий к динамическому изменению физических, химических и технологических свойств зерна.

Большая часть веществ, входящих в состав зерна, способна к ограниченному набуханию в воде. К ним относят: большинство белковых веществ, крахмал, клетчатку, пентозаны, слизи и другие высокомолекулярные углеводы. Не набухают в воде и не растворяются в ней гидрофобные вещества — жиры и другие липиды, растворимые в жирах пигменты, каротиноиды, хлорофилл, жирорастворимые витамины и др. Часть веществ зерна растворяются в воде (сахара, свободные аминокислоты, фосфаты, большинство леулезанов и др.). Белковые вещества, набухая, могут поглотить воды до 250% и более, крахмал — 30–35, слизи — до 800%.

Вещества, способные к набуханию в воде, составляют в зерне пшеницы 80–85%, ржи — 72–75%.

### **§ 3. КИСЛОТНОСТЬ ЗЕРНА**

В состав зерна входят вещества, которые в водных растворах диссоциируют с образованием ионов водорода и гидроксила. Таким образом, зерно способно связывать кислоту и щелочь.

Способность связывать щелочь зависит: от белков, которые содержат карбоксильные группы, связывающие щелочь; от жирных кислот, которые освобождаются в результате расщепления жиров под действием триацилглицерол-липазы; от фосфорной кислоты, которая в виде различных соединений содержится в зерне в значительном количестве; от уксусной, молочной, яблочной и других органических кислот, обычно содержащихся в зерне и муке в незначительном количестве. Наибольшее количество щелочи связывают белки и неорганические фосфаты.

Кислоту связывают в основном белковые вещества и фосфаты. Фосфаты играют заметную роль в кислотности зерна. Соединения кислого характера несколько преобладают, поэтому водные вытяжки (например, из зерна пшеницы и пшеничной муки) имеют слабокислую реакцию (рН 6).

Для оценки кислотности зерна обычно не применяют определение активной кислотности вследствие большой буферной способности веществ, входящих в состав зерна, в связи с чем концентрации водородных ионов суспензий или водных вытяжек изменяются в узких границах и не отражают истинного качества зерна.

Качество зерна более полно характеризуется показателями так называемой титруемой кислотности. Она измеряется градусами кислотности.

Градус кислотности равен одному миллилитру нормальной щелочи, пошедшей на нейтрализацию 100 г размолотого зерна (муки).

Для определения кислотности зерна применяют водную болтушку (суспензию) размолотого зерна, а также водную, спиртовую и эфирную вытяжки.

Если водная болтушка позволяет определять суммарную кислотность с учетом всех связывающих щелочь веществ, то титрованием вытяжек устанавливается только та часть этих веществ, которая способна перейти в тот или иной растворитель.

Несмотря на некоторые недостатки (трудность установления окончания титрования, частичное адсорбирование щелочи поверхностью твердых частиц суспензии), для производственного контроля качества зерна и готовой продукции наиболее приемлемым оказалось титрование водной болтушки. Нормальное, созревшее здоровое зерно пшеницы имеет кислотность по болтушке не более 3°

Большинство биохимических процессов в зерне, муке и крупе при хранении сопровождается накоплением кислых продуктов.

В результате самосогревания или прокисания зерна, муки и крупы значительно увеличивается содержание уксусной и молочной кислот.

После размола или при порче зерна начинается гидролиз жира под влиянием триацилглицерол-липазы. В результате накапливаются свободные жирные кислоты. Они частично растворяются в воде, вступают в реакцию со щелочными фосфатами и переводят их в кислые фосфаты. Свободные жирные кислоты и появившиеся кислые фосфаты повышают кон-

центрацию водородных ионов — размолотое зерно (мука) становится более кислым.

Очень чувствительным показателем свежести муки и крупы является кислотность спиртовой и эфирной вытяжек, так как в них переходят жирные кислоты, отщепляющиеся при гидролизе жира.

Значительным источником кислотности зерна и продуктов его переработки являются фосфатиды и фитин, выделяющие под воздействием ферментов фосфорную кислоту.

По величине кислотности можно судить о степени свежести зерна и муки.

Установлено, что после 11 лет хранения зерна пшеницы имели кислотность 4,1°, а зерна ржи после 14 лет хранения — 5,7°. Из обеих партии зерна изготовлен хлеб удовлетворительного качества. Надо отметить, что один показатель кислотности недостаточен для оценки качества зерна.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Какова классификация минеральных веществ, входящих в состав зерна и их значение для процессов, происходящих в зерне?

2. Что такое зольность зерна, ее величина, состав, производственное значение?

3. Каковы особенности распределения зольности по анатомическим частям зерна, какое это имеет значение?

4. В чем заключаются недостатки зольности как показателя выхода сортовой муки и ее качества?

5. Чем обусловлено накопление в зерне токсичных веществ?

6. Что такое влажность зерна, каково ее значение для его хранения и переработки?

7. Чем различаются и какое имеют значение разные виды воды в зерне — связанная, гигроскопическая, равновесная?

8. От чего зависит кислотность зерна, как она изменяется при его хранении, какое имеет значение, какими методами ее определяют?

9. Какая разница в кислотности, определенной по водной, спиртовой и эфирной вытяжке?

## **ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ И АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОСТАВ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА**

### **§ 1. ВНУТРЕННИЕ И ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ КАЧЕСТВА ЗЕРНА**

Накоплен огромный фактический материал о химическом составе зерна разных культур, выращиваемых в различных природно-климатических условиях. Выявлены очень широкие границы изменения содержания отдельных веществ в зерне. Так, количество белков в зерне пшеницы может изменяться от 9 до 25%, содержание масла в семянке подсолнечника — от 28,0 до 60%.

Возникает вопрос: от чего зависит содержание того или иного вещества в зерне? Урожай и его качество определяются соотношением и совокупностью действия внешних и внутренних факторов.

В эти факторы входят:

#### **I. Биологический потенциал:**

1. генотип,
2. степень зрелости:  
всхожесть, энергия прорастания, дозревание,
3. репродукция,
4. состояние:  
свежесть, прорастание, самосогревание.

#### **II. Внешние условия (в поле и после уборки):**

1. климат,
2. погодные условия,
3. агротехника:  
обработка почвы,  
предшественники,  
удобрения,



борьба с сорняками, вредителями и болезнями.

#### 4. Послеуборочная обработка и хранение.

Большое разнообразие природно-климатических условий, дифференцированные требования к сортам различных культур в зависимости от погодно-климатических особенностей районов выращивания зерна, трудности обеспечения растениеводства сельскохозяйственными машинами и аппаратами, минеральными удобрениями, пестицидами и другими химическими веществами, ограниченные возможности приобретения новых сортов семян и применения передовых методов агротехники, и, наконец, сложный химический состав зерна, огромное разнообразие биологически скоординированных во времени, пространстве и последовательности непрерывно протекающих в нем с различной интенсивностью физико-химических и биохимических процессов, — все это составляет неустойчивую основу технологического качества зерна: мукомольного, хлебопекарного и других зерноперерабатывающих производств.

## **§ 2. ГЕНОТИП И КАЧЕСТВО ЗЕРНА**

Урожай и его качество определяются соотношением и совокупностью действия внешних и внутренних факторов. К внешним факторам относят климат, состав почвы и совокупность агротехнических мероприятий, к внутренним — природные особенности злаковых растений, то, что составляет их биологическую сущность, их наследственные признаки.

Совокупность внутренних факторов, обуславливающих наследственные признаки организмов, называют генотипом, иначе генотип — это совокупность всех генов, определяющих развитие признаков и свойств растений.

Совокупность всех признаков и свойств растения, сформировавшихся на основе генотипа в процессе развития во взаимодействии с условиями внешней среды, называют фенотипом.

Генотип и фенотип проявляют себя в ботанических отличиях видов и сортов зерновых культур, оказывающих большое влияние на химический состав и биохимические свойства зер-

на. Вид представляет собой основную классификационную единицу, введенную шведским естествоиспытателем Линнеем. Это группа особей, обладающих общими морфофизиологическими свойствами, занимающих определенное пространство (ареал), способных к скрещиванию друг с другом и биологически (репродуктивно) изолированных от других таких же групп особей. Так, виды мягкой и твердой пшеницы сильно различаются по своим биохимическим и технологическим свойствам.

### § 3. СОРТ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ

В сельскохозяйственной практике и в промышленности перерабатывающей зерно широко распространено понятие сорта. Сортовые особенности — один из важных факторов, определяющих семенные, технологические и пищевые достоинства зерна и получаемых из него изделий.

На долю сорта приходится 25–30% урожая. Урожайность зерновых культур за 25 лет (1950–1975 гг.) повысилась за счет селекции на 30–35%, а последующие 20 лет (1975–1995 гг.) — на 20–25%. Специалисты США и Западной Европы считают, что 50% прироста урожая зерновых культур достигается за счет внедрения новых сортов и гибридов, а 50% — за счет совершенствования технологии их выращивания.

Сорт сельскохозяйственной культуры — это совокупность культурных растений, созданная путем селекции, обладающая определенными наследственными морфологическими, биологическими и хозяйственными признаками и свойствами. В рамках общего понятия сорта различают местный и селекционный сорта.

Местный сорт, сорт народной селекции, продолжительное время возделываемый в данной местности. Селекционный — сорт, созданный определенными методами селекции, районированный или прошедший станционное сортоиспытание.

Для сорта характерен комплекс морфологических, биологических и хозяйственных признаков и свойств, под которым понимают урожайность, выносливость к морозам, устойчивость против поражения болезнями и вредителями, требова-

ния к почве и ее составу, требования к влаге, свету, температуре, скороспелость, неосыпаемость, стойкость к полеганию, величину, форму и окраску зерна, характерные особенности химического состава, стойкость при хранении, выходы муки и требуемую затрату энергии на размол, хлебопекарные, макаронные и другие технологические особенности и т. д. Новый сорт имеет тем большую ценность, чем оптимальнее и на более высоком уровне в нем сочетаются самые важные биологические, хозяйственные и технологические свойства.

Присущие сорту ценные свойства могут проявиться лишь при определенных условиях выращивания, на агрофоне, обеспечивающем наиболее широкое раскрытие потенциальных возможностей сорта. Соотношение между генетическими и внешними факторами складывается так, что при оптимальных условиях выращивания решающее влияние на конечный результат — урожайность и качество зерна — оказывает генетический фактор (сорт). При неблагоприятных условиях сорт отходит на второй план, и примат остается за внешними условиями.

Селекция и ее теоретическая основа — генетика открывают широкие возможности не только для выведения более совершенных и продуктивных сортов, но и для создания новых растений, полнее отвечающих потребностям человека. Получена новая зерновая культура тритикале — гибрид пшеницы и ржи. Неприхотливость в возделывании тритикале унаследовала от ржи, а хорошие хлебопекарные и вкусовые качества от пшеницы. В зерне тритикале удачно сочетается высокое содержание белка и незаменимой аминокислоты — лизина; белки тритикале хорошо усваиваются организмом человека и сельскохозяйственных животных.

У разных сортов зерновых культур физические и химические свойства крахмала различны. Это особенно хорошо видно на примере мозгового и круглого гороха. Крахмал мозгового и круглого гороха существенно различается по соотношению амилозы и амилопектина — главных составных частей крахмала, а также по атакуемости амилазой: у мозговых сортов гороха крахмал атакуется амилазой гораздо быстрее. Различия в развариваемости риса тоже зависят от раз-

личного соотношения амилозы и амилопектина в крахмале. Установлены различия в содержании амилазы и ее активности у разных сортов зерновых культур. Особенно важны различия в содержании амилазы в зерне разных сортов ячменя, применяемого для изготовления солода в пивоваренной и спиртовой промышленности.

Образование любого соединения в клетке — конечный этап многозвенной цепи сложных взаимосвязанных процессов. Каждое из звеньев может в определенных условиях лимитировать общую эффективность всей цепи процессов в целом. Таким образом, опираясь на знание природы звеньев, определяющих ход процессов и на средства их регулирования, умело используя генетические приемы, человек превращает сорт и его потенциальные возможности в могучий фактор повышения урожайности, изменяет в нужном направлении химический состав зерна и его технологические достоинства.

#### **§ 4 ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ФАКТОРА, КЛИМАТА И ПОЧВЫ**

Взаимосвязь с окружающей средой — обязательное условие существования злаковых растений, как и всех живых организмов. Под окружающей средой следует понимать сочетание факторов, влияющих на растение: воды, температуры, почвы, света, ветра, а также животных, растений и человека. Многолетний режим погоды, наблюдающийся в данной местности, т. е. совокупность и последовательность смены погоды, называется климатом. Климат и почва — основные природные условия, в которых растет и развивается злаковое растение, находясь в тесном взаимодействии с ними. Пшеница может прорасти при температуре 1–2 °С. Кукуруза же для прорастания требует 8–10 °С, а рис — не менее 11–13 °С. Отсюда видно, что пшеница может с успехом культивироваться значительно севернее кукурузы, а кукуруза — севернее риса. Географический фактор сказывается и на сроках созревания зерна разных культур, культивируемых в одной климатической зоне. Так, в центральных районах РФ рожь достигает восковой

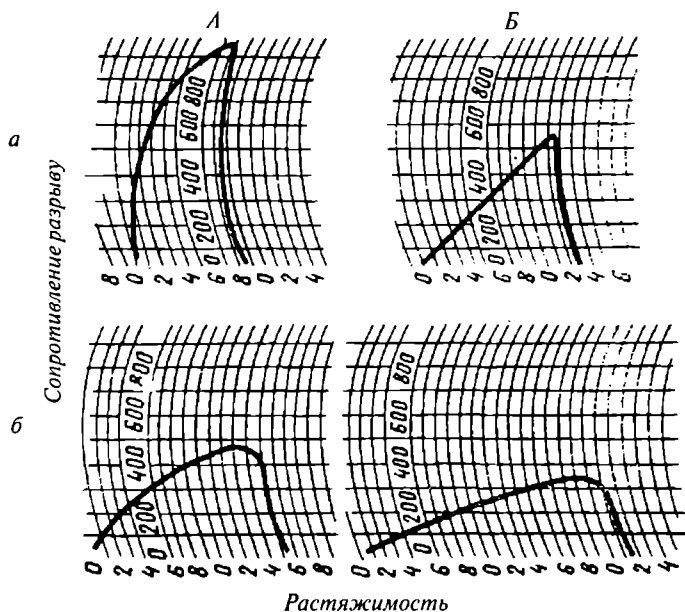


Рис. 36. Глютограммы двух сортов пшеницы, выращенной в различных условиях: А — пшеница выращена в жарком, сухом климате Египта при недостатке азота в почве; Б — пшеницы выращена в Москве при умеренной температуре в достаточно увлажненной почве, удобренной азотом; а — сорт Мухтар; б — сорт Гиза 144

спелости в среднем в третьей декаде июля. За рожью поспевают пшеница, затем ячмень, овес и в завершение — гречиха.

Высокое технологическое хлебопекарное достоинство зерна пшеницы также тесно связано с географическим размещением ее посевов (рис. 36). При исследовании большого количества проб мировой коллекции ВИР установлено, что наибольшую силу, устойчивость теста к замесу и высокую смесительную ценность имеет зерно пшеницы, репродуцированное в условиях Сибири. На юго-западе европейской части России даже в благоприятные годы пшеничное зерно не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к сильной пшенице. Химический состав зерна, его биохимические и технологические свойства в значительной степени зависят от климатических и почвенных условий (количества солнечных дней

и осадков в течение вегетационного периода, состава удобрений и т. д.).

В масле подсолнечника отмечают меньшее содержание ненасыщенных жирных кислот в южных широтах и более высокое — в северных холодных широтах и горных местностях. Соответственно изменяется йодное число масел: на севере и в горах оно выше, на юге — ниже. Содержание белка и его фракционный состав в семенах бобовых культур также подвержены изменению в связи с изменяющимися условиями выращивания. В условиях жаркого и засушливого климата в семенах бобовых происходит увеличение солерастворимых белков и уменьшение водорастворимых. Установлена следующая общая закономерность: при культивировании в одной и той же местности химический состав растений и их плодов в пределах вида колеблется в узких пределах. Однако отклонения от наиболее часто повторяющихся погодных условий приводят к заметным изменениям химического состава зерна: в холодное лето химический состав изменяется в сторону, характерную для зерна более северных широт, в жаркое — зерна южных широт.

Влияние климатических и почвенных условий на химический состав зерна впервые в 1865 г. исследовал профессор Московского университета Н.Е. Лясковский. Он установил, что содержание белка в зерне увеличивается при передвижении с запада на восток и с севера на юг в районы с большим количеством солнечных дней. Изучали изменения химического состава зерна пшеницы и ячменя в зависимости от географического фактора. Выяснено, что особенно богато белком зерно пшеницы, произрастающей в Поволжье (Саратовская и другие области), Западной Сибири (Омская и Новосибирская области).

Исследования показали, что формулировка Н.Е. Лясковского о географической изменчивости химического состава зерна относится только к Русской равнине.

Температурный фактор также действует в определенных границах, так как с ним связано содержание в почве гумуса, количество которого увеличивается лишь при температуре почвы не выше 30 °С (оптимальная температура его накопления в почве 25 °С). При более высокой температуре почвы пе-

режной не только не образуется, но даже разлагается. Районы, богатые осадками, хотя и находятся на востоке, как правило, содержат мало белка в связи с вымыванием легкорастворимых соединений азота.

Исследования, проведенные в районах Северного Кавказа и других областях страны за несколько лет, показали, что при среднесуточных температурах 21–23 °С в период налива семян подсолнечника даже при небольшом количестве осадков маслянистость повышается, а при увеличении температуры до 28 °С и значительном количестве осадков — снижается. Дождливая погода в период созревания зерновых культур приводит к так называемому стеканию зерна. Зерно, находившееся в это время в состоянии молочной или восковой спелости, становится впоследствии невыполненным, щуплым, урожай значительно снижается. Дождевание на ранних стадиях развития резко изменяет течение некоторых физиологических процессов — снижается приток ассимилятов, происходит гидролиз ранее накопленного крахмала, продукты его вымываются дождевой водой, что отрицательно сказывается на ходе накопления сухого вещества. На более поздних стадиях созревания зерна влияние осадков заметно снижается. При экспериментальном дождевании на стадии молочной и восковой спелости в зерне наблюдали увеличение количества общего фосфора.

Изучали величины климатической изменчивости урожаев ( $C_n$ ) яровой пшеницы и ярового ячменя, определяя урожайность (среднеобластную продуктивность) в основных сельскохозяйственных районах РФ. Из общей изменчивости урожаев выделяли ту часть, которая связана с колебаниями метеорологических условий по годам, а вариацию, зависящую от уровня культуры земледелия, исключали. Сопоставление величины климатической изменчивости урожаев ( $C_n$ ) с суммой осадков за теплый период года указывает на тесную связь между этими показателями: коэффициент корреляции для ячменя  $r = -0,76 \pm 0,08$  и для пшеницы  $r = -0,78 \pm 0,09$ . Зона наиболее устойчивых урожаев ( $C_n \leq 0,20$ ) расположена на западе и севере европейской территории страны, причем для ячменя она значительно больше, чем для пшеницы. Районы нижней Волги отличаются повышенной изменчивостью уро-

жаев яровой пшеницы и ячменя, особенно Астраханская, Гурьевская, Уральская, области, где  $C_n > 0,50$ .

Зона неустойчивых урожаев пшеницы ( $C_n \geq 0,30$ ) захватывает южную часть европейской территории РФ, а ячменя — ограничена Луганской и Ростовской областями. Между зонами устойчивых и неустойчивых урожаев расположена переходная зона умеренно устойчивых урожаев ( $C_n = 0,21...0,29$ ). На европейской территории РФ продуктивность ячменя более устойчива, чем пшеницы. В азиатской части РФ при высокой изменчивости урожаев обеих культур у ячменя продуктивность несколько выше.

По степени устойчивости сбора зерна с 1 га на европейской территории РФ зерновые культуры можно расположить в следующем убывающем порядке: озимая рожь, яровой ячмень, озимая пшеница, яровая пшеница. При этом районы наибольшего распространения яровой пшеницы в основном расположены в зоне наименее устойчивых урожаев. Таким образом, озимую рожь, а затем и яровой ячмень можно рассматривать как более надежные, неприхотливые культуры.

## § 5. РАЗНОКАЧЕСТВЕННОСТЬ ЗЕРНА

Физические и биохимические свойства зерен изменяются в зависимости от их положения в соцветии. Линейные размеры зерен пшеницы в колосе, их масса, содержание белковых веществ, выход и качество клейковины увеличиваются при движении снизу колоса к середине и постепенно уменьшаются к его вершине. В средней части колоса формируется зерно с более высокими биохимическими, физическими и технологическими показателями, что обуславливает лучшие мукомольные, хлебопекарные и пищевые свойства зерна, большую жизнеспособность и биологическую полноценность.

Наибольшее абсолютное содержание азота обнаружено в зерновках, сформировавшихся в средней части колоса. Процентное содержание азота несколько возрастает при переходе зерновок от верхней к нижней трети колоса, причем разница между отдельными зернами в пределах колоса может быть значительной — от 12,0 до 17,5% белка. Зерно кукурузы из ниж-



ней части початка имеет обычно наибольшую массу и наибольшее абсолютное содержание азота, а в верхушечной части — наоборот. Процентное содержание азота в пределах початка во всех зернах остается практически на одном и том же уровне. Типичен пример зерна сорта Броунконти из Днепропетровской области (в верхней, средней и нижней части початка):

средняя масса одной зерновки, мг	204,6	216,4	220
содержание азота в зерновке, мг	3,68	3,86	3,98
содержание азота, % от сухого вещества	1,8	1,8	1,81

Разные сроки посева и предшественники при всех прочих условиях оказывают заметное влияние на урожайность, стойкость против болезней и вредителей, физические, биохимические и технологические свойства зерна всех культур. Обнаружена связь между сроком начала весенней вегетации и качеством зерна. Качество зерна озимой пшеницы в годы с ранней весной хуже, чем в годы с поздней. Все сказанное приводит к разнокачественности зерна и семян в пределах района, хозяйства и даже одного поля. Разнокачественность сказывается даже в партиях с высокой выровненностью по размерам зерна в различиях, порой значительных, по физическим, химическим, биохимическим, технологическим и семенным свойствам зерна (рис. 37).

Наиболее четко дифференцированы по размерам зерна содержание клетчатки и зольность. Оба показателя обратно пропорциональны размерам зерна: зольность и содержание клетчатки наиболее крупной фракции всегда ниже, а мелкой — выше, чем в партии зерна в целом. Зольность остатка зерна пшеницы на сите с отверстиями размером  $2 \times 20$  мм в среднем на 0,2%, а содержание клетчатки на 1,2% выше по сравнению с остатком на сите с отверстиями размером  $2,5 \times 20$  мм. Это указывает на лучшие мукомольные достоинства крупного зерна по сравнению с мелким прежде всего по потенциальным выходам сортовой муки.

Соотношение по остальным химическим показателям и физическим свойствам (кроме линейных размеров и массы 1000 зерен) зерна неодинакового размера носит более сложный характер. Одни линейные размеры не могут стать основой четко различаемой оценки разнокачественности зерна. Необходимо по-разному рассматривать зерно мелкое, но

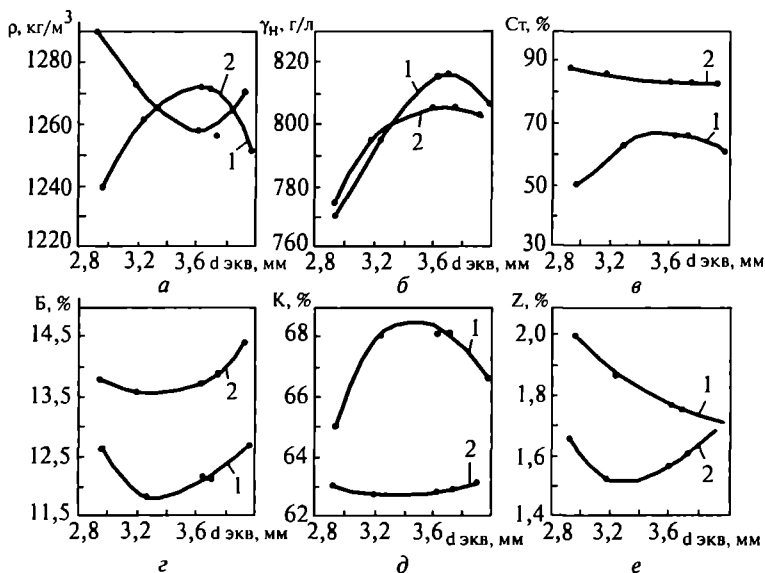


Рис. 37. Изменение плотности (а), натуре (б), стекловидности (в), содержания белка (г), крахмала (д) и зольности (е) зерна пшеницы в зависимости от его крупности:

1 — сорт Саратовская 42; 2 — Саратовская 29

нормально развитое и зерно щуплое. Их физические, биохимические и технологические свойства неодинаковы: мелкое, нормально развитое зерно по всем показателям ближе к здоровому, чем щуплое.

Если не принимать во внимание щуплое зерно, можно наблюдать, что изменения состава и качества в зависимости от размеров зерна при общей тенденции к их ухудшению в мелком зерне могут быть выражены в разной степени. Вместе с тем в этих изменениях нет строгой закономерности вследствие большой биологической изменчивости зерна на корню под влиянием большого числа факторов. Особый интерес представляет содержание белка и клейковины в крупном и мелком зерне пшеницы. По пяти сортам озимой и яровой пшеницы среднее содержание белка составило в остатках на ситах (%):  $2,5 \times 20$  — 13,9;  $2,2 \times 20$  — 15,1 и соответственно содержание клейковины — 27,9 и 27,6.

Почти одинаковое содержание клейковины в зерне из остатков на двух смежных ситах при значительном расхождении в них количества белковых веществ объясняется возрастанием в более мелком зерне доли белка из периферийных слоев зерновки. Белки этих слоев и, прежде всего, алейронового слоя, не дают клейковины.

Из разнокачественности зерна вытекает целесообразность раздельной его переработки или различной подготовки перед размолом. Исследован технологический эффект при переработке трех сортов пшеницы с различной исходной качественной характеристикой. Зерно для помолов готовили по двум схемам: по первой схеме каждая проба пшеницы проходила гидротермическую подготовку по оптимальным, экспериментально установленным режимам, смешивание производили перед I драной системой; по второй — зерно помольной (смешанной) партии очищали от примесей и проводили его гидротермическую обработку в одном потоке.

Зерно размалывали по полной схеме трехсортного помола со снятием количественного баланса всего процесса и качественного баланса муки. При раздельной подготовке зерна к помолу получен больший выход муки (78%) по сравнению с помолом зерна, прошедшим совместную подготовку (77,4%), при снижении средневзвешенной зольности на 0,11%, что позволило увеличить выход муки высоких сортов. Подготовка проб пшеницы к помолу влияет и на хлебопекарное достоинство муки, которое по всем показателям лучше при раздельной подготовке зерна к помолу.

## § 6. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА

Применение минеральных удобрений — одного из ведущих элементов интенсивного земледелия — оказывает большое влияние не только на повышение плодородия почвы и урожайности, но и на биохимические свойства и качество зерна (рис. 38).

Особую заботу земледельцев вызывают азот, фосфор и калий, которые усваиваются растениями из почвы, но доступ-

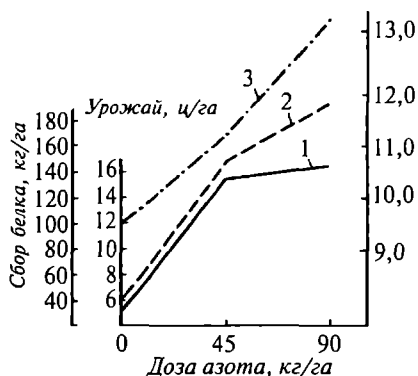


Рис. 38. Влияние азотных удобрений на урожай зерна (1) озимой пшеницы, содержание белка в нем (3), сбор с гектара (2)

ные формы составляют 1–2% от общего запаса тех же элементов, находящихся в недоступной для растений форме. В богатых почвах типа черноземов этих недоступных запасов хватило бы на сотни и даже тысячи урожаев, но их невозможно быстро перевести в усвояемый вид, не разрушив почвы. Чтобы преодолеть этот дефицит, в почву вносят органические и минеральные удобрения.

В среднем по основным зернопроизводящим районам страны прибавка урожая зерна в результате применения минеральных удобрений (азотных, фосфорных, калийных) составила (ц/га): по озимой ржи 7,0; озимой пшенице 6,7; яровой пшенице 4,5; кукурузе 11,6; яровому ячменю 6,8; овсу 7,1; гречихе 4,0; просу 4,0.

Минеральные удобрения могут резко изменить химический состав зерна (табл. 60).

Соответствующий подбор доз удобрений с учетом химического состава почвы наряду с повышением урожайности приводит к значительному улучшению качества и технологического достоинства зерна пшеницы. Внесение только фосфора и фосфорно-калийных удобрений без азота способствует повышению урожая зерна, но не дает эффекта или даже несколько снижает содержание в нем белка.

Такая же картина наблюдается при внесении минеральных удобрений под другие культуры. Вместе с тем в ряде случаев отмечалось, что азотные удобрения, особенно при больших дозах, приводили к ухудшению хлебопекарных свойств зерна пшеницы ввиду ослабления клейковины.

Установлено, что азотные удобрения, повышая содержание клейковины, влияют на ее качество по-разному в зависимости от сорта и сопутствующих погодных условий в период налива, созревания и уборки зерна. В условиях повышенной температу-

Таблица 60

**Содержание белка и клейковины и хлебопекарные достоинства зерна пшеницы Безостая 1 в условиях применения азотно-фосфорного удобрения**

Варианты	Урожай, ц/га	Общая стекло-видность, %	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	Мука по данным альвеографа		Хлеб	
					упругость теста, мм	сила, кДж	объем из 100 г муки, см <sup>3</sup>	пористость, балл
Контроль*	45,3	34	11,3	26,5	117	250	660	4,3
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> **	57,3	70	13,6	32,4	136	373	750	5,0

\* Без удобрений.

\*\*N<sub>120</sub> P<sub>120</sub> — внесение в почву на 1 га действующих веществ удобрений: азота 120 кг фосфора 120 кг.

ры и недостатка влаги качество зерна, выращенного с применением удобрений по сравнению с контрольным (без удобрений) улучшается; при созревании и уборке в дождливом году — ухудшается, а в ряде случаев остается без изменения. Фосфорные удобрения на фоне достаточного содержания азота могут существенно повысить содержание белка в растениях и зерне.

При длительном применении удобрений на кислой почве азотные удобрения понижают содержание и качество белка, а одновременное использование фосфорных удобрений не только погашает отрицательное влияние азотных, но и увеличивает содержание белка и улучшает его качество. Таким образом, при выяснении влияния внешней среды на качество белка и клейковины необходимо, прежде всего, учитывать погодные условия периода налива и созревания зерна. Руководствоваться средними метеорологическими условиями за вегетационный период в данном случае нельзя. Необходимо также иметь в виду сортовые особенности зерна, состав и соотношение минеральных удобрений, сроки и дробность их внесения.

Интенсивность накопления сахарозы в зерне пшеницы также зависит от видов органических и минеральных удобрений, однако решающая роль принадлежит метеорологическим особенностям года урожая. Для пивоваренных свойств ячменя большое значение имеет экстрактивность зерна. При одном и том же удобрении содержание белка, крахмала и экстрактивность ячменя однозначно не изменяются. Однако при сни-

жении относительной экстрактивности выход экстракта с 1 га всегда значительно возрастает как результат увеличения урожая. Пленчатость ячменя всегда находится в обратной зависимости от урожайности и натуры.

## **§7. ВЛИЯНИЕ ХИМИЗАЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВО ЗЕРНА**

Наряду с механизацией и автоматизацией производства, созданием и внедрением в практику высокопродуктивных сортов и разработкой интенсивной технологии производства зерна успешное развитие земледелия во многом определяется его химизацией.

Необходимость широкого применения средств химизации при производстве зерна диктуется уменьшением природного плодородия почвы и большими его потерями на всех этапах выращивания, уборки урожая, хранения, транспортирования и переработки.

Известны данные о мировых потерях основных культур от сорняков, вредителей и болезней растений. Болезни, вызываемые грибами, нематодами, бактериями и вирусами, приводят к 10–25% потерям общего количества зерна. Если учесть еще потери, вызываемые сорняками, то ущерб еще до сбора урожая зерна составляет 24–40%. После сбора урожая при перевозках и хранении теряется от 5 до 25% (в зависимости от урожая, технической оснащенности зернохранилищ и общей культуры организации хранения). В США, Канаде, Австралии и др. цивилизованных странах потери зерна при хранении не превышают 2–4%, у нас считается около 15% — в 5–7 раз больше. Можно быть уверенными, что в условиях глубокого развала организованности и технической обеспеченности агропромышленного комплекса в России эти цифры еще больше.

Если бы удалось избавиться хотя бы от половины таких потерь, можно было бы не только прокормить тех, кто недоедает, но и улучшить качество питания большинства людей. Ученые давно пришли к выводу, что без применения химии люди не смогут обеспечить себя продуктами питания. Выращивание зерна и других сельскохозяйственных культур требует при-

менения до десяти агрохимических операции по их обработке — протравливание семян, внесение в почву минеральных удобрений, химическая борьба с сорняками, насекомыми, грибковыми заболеваниями, грызунами и т. д., обработка для подсушивания растений на корню, удаление листьев, дезинфекция хранилищ и другие производственные мероприятия.

Велика роль минеральных удобрений. Растения получают из почвы только 0,5% своей массы, необходимой им для питания (не считая воды). Причем в той форме, в которой растение может извлечь необходимые ему вещества из почвы — способные переходить в почвенный раствор и доступные растению для всасывания и ассимиляции. Остальное хлебное растение синтезирует само за счет реакции фотосинтеза в листьях из диоксида углерода  $\text{CO}_2$  и воды. Но эти 0,5% продуктов питания ему абсолютно необходимы. Без них растение не способно осуществить фотосинтез и формировать зерно.

Без помощи химии — без минеральных удобрений и различных пестицидов — люди будут обречены на повсеместный голод и массовую гибель в результате оскудения плодородия до самого низкого уровня. Но есть и вторая сторона вопроса. Минеральные удобрения и все другие химические средства, применяемые в сельском хозяйстве, могут загрязнять почву и переходить в состав зерна, затем в хлебопродукты и в виде ксенобиотиков (чуждые и вредные организму вещества) в желудочно-кишечный тракт, вызывая его дисфункцию (нарушение свойственных ему физиологических процессов) и способствуя возникновению различных, в том числе и очень тяжелых заболеваний. Так, при использовании соединения связанного азота (аммиачной селитры, сульфата аммония, мочевины) становится возможным загрязнение нитратами (солями азотной кислоты) почвы, почвенных вод и накопление их в зерне и другой растениеводческой продукции (особенно в плодах и овощах).

Под влиянием микрофлоры пищеварительного тракта и тканевых ферментов нитраты восстанавливаются до нитритов (солей азотистой кислоты), оказывающих вредное действие на организм человека — нарушается работа центральной нервной системы (ЦНС), снижается умственная и физическая

работоспособность. Нитриты способны превращать гемоглобин крови в непригодный для переноса кислорода метгемоглобин, а также образовывать с вторичными аминами N-нитрозамины, оказывающие канцерогенное действие. Пестициды способны уничтожать сорняки, вредителей, предохранять и избавлять растения от болезней. Они могут быть при известных условиях опасными для человека, а также для полезных фауны и флоры. По данным ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), в мире ежегодно регистрируется около 500 тыс. отравлений пестицидами. В загрязнении воздушной среды и водоемов заметную долю вносят минеральные удобрения и пестициды. Для эффективного использования плодородия почвы и генетического потенциала растений ученые разработали и предложили интенсивные технологии выращивания зерна. Интенсивная технология позволяет резко повысить степень использования биоклиматического потенциала для увеличения урожайности и повышения качества зерна.

Стратегия современного земледелия состоит не в расширении посевных площадей, а в улучшении их использования. Интенсификация земледелия — магистральный путь приумножения продовольственного фонда страны.

Сущность интенсивной технологии состоит в оптимизации условий выращивания зерновых культур на всех этапах их роста и развития. Для этих целей в интенсивной технологии большое место отводится применению химических средств:

- известкование кислых и гипсование солонцовых почв;
- оптимальное обеспечение растений элементами минерального питания с учетом их содержания в почве;
- дробное внесение азотных удобрений в период вегетации по данным диагностики почвы и растений;
- интегрированная система защиты растений от вредителей, болезней и сорняков;
- регулирование роста растений ретандантами.

Для защиты хлебных растений от сорняков, вредителей, болезней и обогащения почвы минеральными удобрениями, прежде всего азотом, актуальным является разумное сочетание химических и агротехнических мероприятий, в частности, применение интегрированных систем, основывающихся на



рациональном использовании химикатов в сочетании с биологическими и биотехнологическими агроприемами. Наука и практика учат, что применение минеральных удобрений, пестицидов и других химических средств в сельском хозяйстве, разработанные правила их перевозок, хранения и оперативного использования обеспечивает устранение их возможных вредных последствий.

Обязательным условием совершенствования и наведения порядка в применении химических средств в сельском хозяйстве является постоянное внимание к вопросам повышения общей культуры земледелия, использования химических средств, а также контроль на всех этапах агротехнической работы.

Современное развитие науки и техники позволяет организовывать применение химизации сельского хозяйства, полностью исключающее вредные влияния минеральных удобрений и химических веществ на человека, сельскохозяйственных животных и окружающую среду.

## **§ 8. ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА**

Орошение — один из путей получения стабильных урожаев зерна независимо от состояния погоды. В засушливых районах орошение повышает урожайность в 5–6 раз и выше (рис. 39). Однако увеличение урожайности при абсолютном возрастании белка с единицы площади ведет к относительно снижению белковости зерна (табл. 61). Уменьшение количества белка в зерне пшеницы при орошении может быть значительным.

Под влиянием орошения снижается содержание белка в зерне и у других злаковых культур. У ячменя в проведенных на полях опытах под Ташкентом наблюдалось снижение содержания белка в зерне при орошении с 13,5–14,8 до 9,6–11,6%.

Снижение белка в зерне при орошении происходит под влиянием двух причин. Во-первых, изменяется обеспеченность растений азотом. Растения испытывают возрастающую потребность в азоте в связи с большим развитием при орошении вегетативной массы и в результате частичного вымывания его

Масса 1000 зерен, г

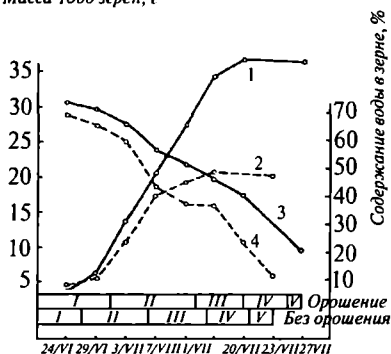


Рис. 39. Накопление сухого вещества и изменение содержания воды в ходе развития зерна орошаемой и неорошаемой пшеницы, масса 1000 зерен: 1 — орошаемая; 2 — без орошения, содержание воды в зерне; 3 — орошаемая; 4 — без орошения. Фазы развития зерна: I — формирование зерна; II — молочная спелость; III — тестообразная спелость; IV — восковая спелость; V — полная спелость

в глубину. Во-вторых, вегетационный период и период отложения крахмала удлиняются, что влечет за собой снижение белковости. Меньшее содержание белка при орошении часто объясняется также возрастанием в зерне доли эндосперма, так как зерно при поливе становится более выполненным. В связи с этим при относительном уменьшении содержания белка абсолютное количество его в зерне орошаемой пшеницы всегда выше и белок более полноценный.

Химический состав зерна мягкой пшеницы изменяется больше, чем твердой, наблюдается разница между сортами (табл. 62). Несколько снижаются также стекловид-

ность, относительное содержание клейковины и ее удельная растяжимость. Возникает вопрос: только ли потому при орошении снижается содержание белка в зерне, что растениям не хватает азота, или при орошении ослабевают также способность колоса к биосинтезу белка? Было использовано свойство срезанных колосьев энергично всасывать растворы с транспирационным соком, и доказано, что при орошении способность колоса к биосинтезу белка не снижается, а наоборот, возрастает, но ограничивается содержанием азота.

На качественную характеристику зерна влияют способы орошения (табл. 63). Орошение повысило массу зерна, но несколько снизило его стекловидность. При наземных способах орошения содержание сырой клейковины и белка оставалось таким же, как и в варианте с влагозарядкой, а при дождевании снизилось. По хлебопекарным достоинствам зерно пшеницы, выращенной при влагозарядке и поливах по поло-

Таблица 61

Влияние орошения на урожай зерна пшеницы и выход белка

Наименование	Черноколосая остистая		Лютесценс 758	
	орошае-мая	неоро-шаемая	орошае-мая	неоро-шаемая
Масса 1000 зерен, г	36,1	20,1	30,9	18,8
Число зерен в колосе	22,3	11,0	27,1	23,6
Урожай зерна, ц/га	18,2	2,2	28,0	7,9
Белок в зерне, %	15,7	17,4	14,6	18,1
Количество белка в 1000 зернах, г	5,7	3,5	4,5	3,4
Выход белка в пере-счете на 1 га, кг	287,0	38,0	409,0	143,0
То же, % к орошаемой	100,0	13,0	100,0	39,0
Влажность почвы, %*	30,0	40,0	50,0	60,0
Масса 1000 зерен пшеницы, г*	23,0	24,7	24,4	26,4
Азот, %*	2,68	3,0	2,70	2,60
				1,84

\*По Пряникинову Д.Н.

сам, отвечало требованиям, предъявляемым к отличному хлебу (5 баллов), а при дождевании — к хорошему (4 балла). В ряде случаев урожайность при дождевании немного ниже, чем при

Таблица 62

Влияние орошения на химический состав и качество зерна пшеницы

Наименование	Белок, %		Клетчатка, %		Крахмал, %	
	неоро-шаемая	орошае-мая	неоро-шаемая	орошае-мая	неоро-шаемая	орошае-мая
Саратовская 28, яровая мягкая	11,33	15,16	2,12	1,81	62,5	67,7
Степная 135, озимая мягкая	20,06	14,76	2,68	2,08	62,7	72,0
Гостианум 237, озимая мягкая	20,23	14,65	1,98	1,95	63,1	68,7
Мелянопус 69, яровая твердая	17,61	17,50	2,35	2,32	65,6	67,7
Гордиеформе 5695, яровая твердая	16,90	14,30	2,63	2,37	64,4	65,6
Гордиеформе 5866, яровая твердая	17,30	15,40	2,64	2,39	64,4	66,1

## Влияние способов орошения на качество зерна пшеницы Безостая 1

Наименование	Урожайность в среднем за 2 г., ц/га	Натура, г/л	Стекло- видность, %	Сырая клейко- вина, %	Белок, %
Без орошения	29,6	784,0	94,0	33,2	16,5
Влагозарядка	45,4	813,0	90,0	30,0	15,1
Дождевание	59,9	813,0	83,0	28,2	14,0
Полив по полосам	61,3	816,0	86,0	29,4	14,7
Полив по бороздам	58,5	815,0	86,0	29,5	14,7

поливе по бороздам. Наиболее высокой урожайности обычно достигают при поливе по полосам.

Качество макаронных изделий из муки неорошаемой пшеницы обычно лучше, чем из орошаемой. Поливы не во всех случаях ведут к уменьшению белковости зерна. При одном поливе нередко повышение урожайности сопровождается повышением белковости зерна по сравнению с вариантом без полива. При последующих поливах всегда наблюдается снижение белковости зерна. Однако в связи со значительным увеличением урожайности сбор белка с единицы площади значительно выше, чем при одном поливе.

Повышение белковости зерна при поливах, отмечаемое многими исследователями, происходит в тех случаях, когда поливы не создают в почве анаэробных условий на длительное время, а усиливают в ней накопление доступных для растений форм азота.

При применении полива большое значение имеет сорт, различные сорта реагируют на орошение неодинаково. У засухоустойчивого сорта пшеницы Лютесценс 62 урожай при поливе увеличивался на 65%, тогда как у пшенично-пырейного гибрида 22850, приспособленного к влажным районам, — на 200%. Сорта яровой пшеницы (Саратовская 42, Саратовская 44, Саратовская 36) по качественным показателям были выше, чем озимые. Образующийся при орошении разрыв в обеспеченности растений водой и питательными веществами (прежде всего азотом) полностью устраняется при умелом использовании удобрений. Эффективность удобрений в условиях орошения и районах достаточного увлажнения повышается.

Аминокислотный состав отдельных фракций белков под влиянием удобрений не изменяется. Если соотношение отдельных белков в зерне с различным аминокислотным составом становится иным, то аминокислотный состав суммарных белков зерна также несколько изменяется. С увеличением количества суммарного белка в зерне под влиянием азотных удобрений в белке несколько повышается содержание глютаминовой кислоты, фенилаланина, лейцина, пролина и снижается содержание лизина, глицина, аргинина, валина, аспарагиновой кислоты. Снижение белковости зерна при орошении при одновременном возрастании урожая наблюдается у всех злаковых культур, хотя и в неодинаковой мере.

Снижение белковости зерна при орошении кукурузы меньше, чем у пшеницы и других злаков. С повышением содержания белка в зерне кукурузы под влиянием азотных удобрений его биологическая ценность снижается, что происходит главным образом за счет увеличения зеина, содержащего очень мало лизина и лишь следы триптофана. В целом при увеличении белковости кукурузы в ее белках уменьшается содержание лизина, триптофана, метионина, аргинина, валина и треонина. Одновременно заметно возрастает содержание в белке пролина, глютаминовой кислоты, лейцина и других аминокислот, которых в зеине больше, чем в других белках.

Общее количество незаменимых аминокислот с единицы площади в связи с резким повышением урожайности возрастает. Разница в почвах, в том числе по концентрации водородных ионов, влияет на поглощение и распределение минеральных веществ в зерне больше, чем внесение в почву больших количеств азота, фосфора и калия. В содержании углеводов в зерне нет резких колебаний.

## **§9. ВЛИЯНИЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ НА УРОЖАЙ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА**

Большое значение для урожайности и качества зерна имеют предшественники. При сопоставлении в качестве предшественников перед посевом озимой пшеницы черного пара, гороха на зерно и кукурузы на силос, по данным Верхнячской

**Качество зерна озимой пшеницы при посеве семенами,  
выращенными по разным предшественникам, в среднем за 4 года**

Наименование	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Стекловидность, %	Сырая клейковина, %
<i>Мироновская 808</i>				
Черный пар	42,7	751	76,3	28,1
Горох	41,5	750	74,2	27,8
Кукуруза на силос	40,7	744	70,1	25,8
<i>Безостая 1</i>				
Черный пар	43,0	784	69,8	30,5
Горох	40,9	779	68,5	30,5
Кукуруза на силос	41,9	776	66,7	29,9

опытно-селекционной станции за несколько лет, выявилось преимущество черного пара. Аналогичные закономерности наблюдали и у сорта Безостая 1, значительно менялось и качество зерна (табл. 64).

У обоих сортов натура, масса 1000 зерен, стекловидность, содержание сырой клейковины в зерне были выше при посеве семенами, выращенными по черному пару. Большое значение в качестве предшественников имеют бобовые культуры, обогащающие почву азотом (люцерна, клевер, люпин). Орошение дает результат не само по себе, а в сочетании с научно разработанной системой агротехнических мероприятий, в которой важная роль принадлежит обработке почвы, применяемой с учетом ее водно-физических свойств и предшествующей культуры, состава и срока внесения удобрений, сортового состава и др.

## § 10. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЗЕРНА ПРИ УБОРКЕ УРОЖАЯ И ПРИ ХРАНЕНИИ

При уборке зерновых происходят потери, которые делят на две группы — прямые и косвенные. К первым относят потери количества урожая, ко вторым — качества или снижения товарных (натуры, массы 1000 зерен, стекловидности), хлебопекарных достоинств (количества и качества сырой клейковины, белков, силы муки) и посевных (энергии прорастания,

всхожести, силы роста) кондиций вследствие ранней или поздней уборки, а также неправильного режима работы молотильного устройства комбайна (рис. 40—43).

Большое влияние на товарные, хлебопекарные и посевные качества зерна при обмолоте оказывают его механические повреждения: дробление, плющение и раздавливание, шелушение и микроповреждения. При этом если зерно с микроповреждениями (дробленое, плющенное) можно выделить из общей массы на зерноочистительных и сортировальных машинах, то зерно с микроповреждениями отобрать практически нельзя, так как оно не имеет каких-либо существенных физико-механических отличий от неповрежденного зерна.

Механически поврежденное зерно труднее хранить. Оно более интенсивно дышит, выделяя значительное количество тепла и влаги. Создаются условия для быстрого возникно-

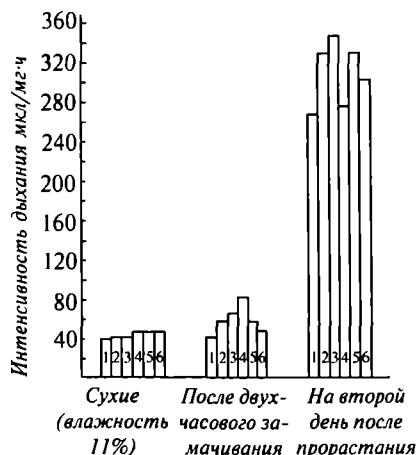


Рис. 40. Интенсивность дыхания травмированных семян озимой ржи Вятка, мкл/мг ч:

1 — семена без повреждения; 2 — повреждение плодовой оболочки; 3 — повреждение семенной оболочки; 4 — повреждение зародыша; 5 — повреждение спинки эндосперма; 6 — повреждение брюшка эндосперма

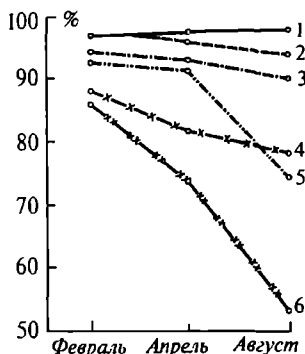


Рис. 41. Изменение качества травмированного зерна озимой ржи Вятка при хранении:

неповрежденные зерна: сила начального роста, % — 1, полевая всхожесть, % — 2; слабо поврежденные зерна: сила начального роста, % — 3, полевая всхожесть, % — 4; сильно поврежденные зерна: сила начального роста, % — 5, полевая всхожесть, % — 6.

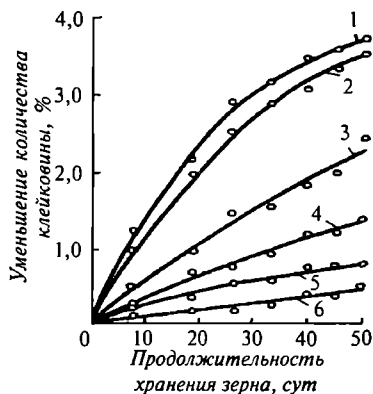


Рис. 42. Уменьшение количества сырой клейковины в насыпи пшеницы Безостая 1, содержащей механически поврежденные зерна, при хранении:

1 — при 100% травмированных зерен; 2 — при 80%; 3 — при 60%; 4 — при 50%; 5 — при 40%; 6 — при 20% травмированных зерен

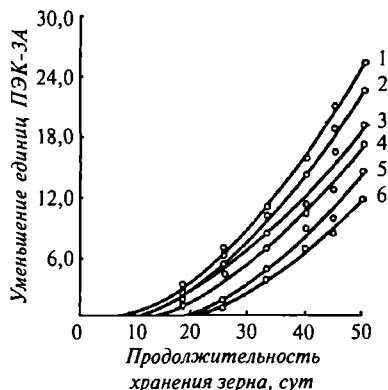


Рис. 43. Снижение качества сырой клейковины в насыпи пшеницы Безостая 1, содержащей механически поврежденные зерна, при хранении: 1 — при 100% травмированных зерен; 2 — при 80%; 3 — при 60%; 4 — при 50%; 5 — при 40%; 6 — при 20% травмированных зерен

вения очагов самосогревания и снижения качества зерна. Возникает необходимость оперативной и тщательной обработки, что создает дополнительные организационно-хозяйственные трудности, увеличивает затраты труда и средств. Наблюдениями установлено, что семена с микроповреждениями вызывают значительное снижение урожайности (в среднем каждые 10% — на 1 ц/га), в связи с чем хозяйства не собирают ежегодно около 3 ц/га биологического урожая.

Имеются многочисленные данные о размерах механических повреждений зерна при обмолоте. В среднем по РФ количество дробленого зерна озимой ржи составляет 3,8%, озимой пшеницы — 4,0 и яровой пшеницы — 3,9%; зерна с микроповреждениями озимой ржи — 59,7, озимой пшеницы — 34,8 и яровой пшеницы 34,3%. Наиболее подвержена микроповреждениям озимая рожь.

При обмолоте озимой ржи микроповреждения наиболее часто получают более крупные и тяжеловесные зерна, озимой и



яровой пшеницы — с меньшей массой 1000 зерен (ниже средней). Полностью выбивается зародыш у мелкого зерна. Обработка зерна на существующих поточно-технологических линиях хлебоприемных предприятий также сопровождается повреждениями зерна. В общей сложности они составляют 20—25%. При этом на долю технологического оборудования приходится в среднем 19,5% от общего травмирования на поточной линии, на долю самотечного оборудования — в среднем 30,1%. Наибольшее повреждение (в среднем 50,4%) получает зерно на транспортирующих средствах и погрузочно-разгрузочных механизмах.

Проблема сохранения качества зерна при уборке, транспортировании и хранении приобретает общегосударственное значение. Ее решение требует комплексных мероприятий, осуществляемых в сельскохозяйственном производстве: совершенствование конструкций машин и аппаратов для элеваторов, мельзаводов и крупяных предприятий при их проектировании, применение мягких режимов обработки зерен при оперативной работе на этих предприятиях и др. Многие могут сделать селекционеры при выведении новых сортов зерновых культур с более прочными цветковыми и другими покровными тканями.

## **§11. ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА**

Погодные условия в период налива зерна оказывают большое влияние на его качество. Наблюдается зависимость влажности зерна от гидротермического коэффициента в период его массовой закупки.

Гидротермический коэффициент — отношение количества осадков (мм) за какой-либо период к средней температуре воздуха (°C) за тот же период. При возрастании величины гидротермического коэффициента повышается и средневзвешенная влажность зерна всех культур, так как повышение величины гидротермического коэффициента отражает увеличение суммы осадков при одновременном снижении средней температуры, т.е. уменьшение испаряемости

влаги и соответственно возрастание остаточного количества влаги в зерне.

Величины гидротермического коэффициента закономерно возрастают по мере продвижения от южных районов страны к центральным, восточным и западным, что совпадает с более сложными условиями работы хлебоприемных предприятий в этих районах в период массовых закупок зерна от его производителей. При экспериментальном наблюдении гидротермический коэффициент в этот период составил: в Поволжье 1,87; на Северном Кавказе 2,70; в Башкирии 4,29; в Красноярске 5,80. Средневзвешенная влажность зерна, поступившего на хлебоприемные предприятия, соответственно была (%): 11,9; 13,2; 18,6; 21,6.

Определение и применение гидротермического коэффициента позволяет лучше организовывать и проводить на хлебоприемных предприятиях послеуборочную обработку зерна в потоке, подготовку и проведение сушки зерна.

## **§ 12. СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ БЕЛКОВОСТИ ЗЕРНА**

От сорта, природно-климатических условий и агротехнических мероприятий зависит содержание в зерне белка. Увеличение производства и потребления белка остается одной из наиболее актуальных проблем. Белку принадлежит решающая роль в обеспечении полноценного питания человека.

В решении проблемы увеличения пищевого и кормового растительного белка особая роль принадлежит зерновым и бобовым культурам, обеспечивающим около 46% его производства. В белковом рационе питания людей не менее 50% занимают продукты переработки зерна пшеницы. Другой важный источник растительного белка — масличные культуры, особенно подсолнечник. Существуют два основных пути увеличения производства растительного белка — селекция и агротехнические мероприятия.

Повышение на 1 % содержания белка в зерне пшеницы методом селекции при нынешних урожаях позволило бы получить его дополнительно около 1 млн. т, что могло бы удовлетворить

потребность более 16 млн. человек. В коллекции Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства им. Н. И. Вавилова имеются образцы пшеницы, зерно которой содержит 19–22% белка, что на 6–9% выше, чем у известных районированных сортов Безостая-1, Одесская 51 и др.

Исследования показали, что доноры с высоким содержанием белка обычно характеризуются невысокой продуктивностью, и количество белка в зерне подвергается сильной изменчивости, так как они не обладают достаточно прочным механизмом гомеостаза — способностью противостоять изменениям и сохранять динамическое относительное постоянство состава и свойств. Получение сортов, хорошо реагирующих на интенсивные технологии и формирующих большие урожаи высокобелкового зерна, сопряжено с большими трудностями, так как обычно между продуктивностью и содержанием белка в зерне существует обратная корреляционная зависимость. По данным известного селекционера П.П. Лукьяненко, коэффициент корреляции между содержанием белка и урожайностью пшеницы в отдельные годы составлял  $r = -0,919 \pm 0,04$ . Наука и практика вместе с тем показывают, что селекция имеет большие резервы для повышения белка в зерне различных культур.

Очень трудно получить сорта пшеницы, сочетающие высокую белковость зерна с повышенным содержанием лизина и высоким качеством клейковины. Последние исследования дают основание считать, что эта задача осуществима. Перспективны работы по созданию трехвидовых гибридов пшеницы и ржи — амфидиплоидов тритикале.

В повышении содержания белка в зерне озимой ржи важная роль принадлежит полиплоидии. Тетраплоидная рожь, как правило, содержит белка на 1,5–3% больше, чем диплоидная. Заслуживает внимания межвидовая гибридизация высокопродуктивных сортов с образцами белозерной сорно-полевой ржи, которые содержат до 16–20% белка.

Селекционерами получены сорта ячменя, которые превосходят ныне существующие по содержанию белка на 1,5–2%, а также сорта с повышенным содержанием лизина. Проводится работа по обеспечению более высокого содержания лизина в лучших районированных сортах ячменя методом скрещивания

их с высоколизиновым мутантом Хайпроли. В последние годы на основе использования высоколизиновых мутантов Опейк-2 и Флаури-2 созданы аналоги основных районированных гибридов кукурузы, зерно которых содержит почти в 2 раза больше лизина по сравнению с распространенными сортами и гибридами. Успехи в области селекции кукурузы позволяют предполагать, что вскоре будут созданы и внедрены в производство гибриды с содержанием в зерне 14–15% белка.

В настоящее время возникает необходимость усиления селекционной работы не только с точки зрения повышения урожая, но и улучшения качества зерна. Успешное решение этих сложных вопросов возможно лишь при комплексной работе селекционеров, биохимиков, физиологов, агрохимиков, фитопатологов. Использование агротехнических мероприятий для увеличения производства белка должно проводиться на основе совершенствования структуры посевных площадей, рационального размещения отдельных культур по зонам и внутри зон страны. Из всего комплекса агротехнических мероприятий наиболее важным является правильное использование удобрений.

Удобрения — один из наиболее доступных и быстродействующих факторов внешней среды, оказывающих влияние не только на урожай, но и на белковость зерна. Правильно применять удобрения — прежде всего, учитывать особенности питания растений по фазам их роста и развития. Недостаток азота в начале вегетации озимой пшеницы приводит к резкому снижению урожайности, а при наливе зерна — к заметному ухудшению качества зерна и, прежде всего к снижению белковости.

Обычно белок в зерне пшеницы образуется в основном в результате реутилизации (вторичного использования) азота, накопленного в вегетативных органах растения до начала налива зерна, его оттока в колос, а также в результате поглощения азота из почвы в период налива. В связи с этим весьма эффективна внекорневая подкормка растений азотом (обычно раствором мочевины) в фазу колошения и начала налива. В результате увеличивается содержание белка (на 1,5–2%) и клейковины (на 3–5%), возрастает сила муки, увеличивается объем хлеба.

Большое значение имеет снижение потерь белка от вредителей и болезней. Особенно ощутимый ущерб качеству зерна пшеницы причиняет клоп-черепашка. У сорта Безостая 1 содержание белка в здоровом зерне составило 13,42%; при повреждении зерна на 3% — 13,29; 6% — 13,13; 15% — 12,93%. Этот вредитель резко ухудшает также качество клейковины и хлебопекарные достоинства муки. Серьезную роль для увеличения производства растительного белка призваны сыграть проводимые РАСХН и другими научными сельскохозяйственными учреждениями страны разработка и внедрение интенсивной технологии возделывания зерновых, бобовых и кормовых культур для каждой зоны страны, обеспечивающие максимальный сбор белка с единицы площади.

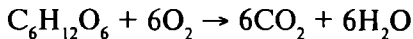
### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Что такое генотип зерна, каково его значение?
2. Что представляет собой действие внутренних и внешних факторов на качество зерна?
3. Что такое сорт зерна, каково его значение?
4. Как влияют на качество зерна географический фактор, климат и состав почвы?
5. От чего зависит разнокачественность зерна?
6. Какое влияние на качество зерна оказывают минеральные удобрения?
7. Как сказываются на качестве зерна применяемые при его производстве химические вещества, орошение, предшественники?
8. Какие механические повреждения зерна возникают при уборке урожая и при хранении? Каковы меры их сокращения?

## ДЫХАНИЕ ЗЕРНА

### § 1. ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ И ВЫЗЫВАЕМЫЕ ИМ ИЗМЕНЕНИЯ В ЗЕРНОВОЙ МАССЕ

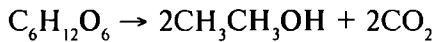
Жизнь любого организма связана с постоянной затратой энергии для разнообразных биохимических процессов в организме, роста и развития, обмена веществ. Важнейшим источником энергии у высших растений\* является процесс дыхания. В зависимости от того, в каких условиях находится зерно, в нем могут происходить два вида дыхания: аэробное и анаэробное (брожение). Если доступ воздуха достаточен, в зерне происходит процесс аэробного дыхания. Если зерно хранится без доступа воздуха, в нем происходит процесс брожения. Суммарное уравнение аэробного дыхания зерна представлено ниже:



Кроме  $CO_2$  и  $H_2O$  при дыхании выделяется свободная энергия — 2870 кДж на один моль израсходованной глюкозы (180 г). Процесс анаэробного (бескислородного, интрамолекулярного) дыхания протекает в соответствии с уравнением:

---

\* По ботанической классификации высшие растения составляют подцарство, объединяющее сложные дифференцированные многоклеточные организмы, приспособленные к жизни в наземной среде. Хлебные растения относятся к одному из отрядов этого подцарства — покрытосеменных, или цветковых растений. Семена растений отряда заключены в плод. Размножение растений происходит на половой основе при помощи цветка, в котором происходит двойное оплодотворение двумя мужскими половыми клетками — спермами, дающими начало зародышу и эндосперму.



При анаэробном дыхании, являющимся в сущности спиртовым брожением, выделяется энергия — 234 кДж на 1 М израсходованной глюкозы. Для обеспечения себя необходимым количеством энергии растение при брожении (анаэробном дыхании) должно израсходовать большее количество гексоз, чем при аэробном дыхании. Доступ кислорода, обеспечивающий более эффективное в энергетическом отношении аэробное дыхание, предохраняет растение (зерно) от излишних затрат органического вещества, характерных для анаэробного дыхания.

Действие кислорода, уменьшающего расход углеводов на дыхание и угнетающего брожение и образование продуктов анаэробного обмена, получило название эффекта Пастера. Приведенные выше уравнения дыхания показывают баланс веществ при дыхании, т.е. начальные и конечные вещества. Они не дают представления о многочисленных промежуточных реакциях, происходящих в сложном процессе дыхания, и о тех веществах, которые возникают и исчезают на различных этапах этого процесса. Образующиеся при окислении углеводов в процессе дыхания многочисленные промежуточные продукты играют очень важную роль в обмене веществ растения и зерна.

Дыхание вызывает большие изменения в зерне и зерновой массе. В результате расходования органического вещества (глюкозы) происходит уменьшение сухой массы зерна. В таблице 65 приведены данные опытов по хранению зерна с влажностью 16,5–17,2% в течение 45 и 90 сут. при 25 °С.

Если учесть, что хранят огромные количества зерна, то потери от дыхания, так называемая естественная убыль, могут достигать значительных величин.

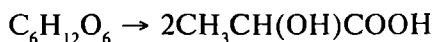
Таблица 65

**Потери массы органического вещества зерна при дыхании**

Срок хранения, сутки	Потери, % сухого вещества			
	овса	кукурузы	пшеницы	гречихи
45	0,15	0,12	0,04	0,02
90	0,26	0,19	0,07	0,03

Состав воздуха в межзерновом пространстве изменяется — потребляется кислород, а  $\text{CO}_2$  накапливается. Отмечены случаи накопления в воздухе межзернового пространства до 12—15%  $\text{CO}_2$  и более (в нормальном воздухе содержится всего лишь 0,03%  $\text{CO}_2$ ). В результате дыхания зерна выделяется вода. При усиленном дыхании зерна накапливаются водяные пары и, следовательно, влажность зерна повышается.

Чрезвычайно важное следствие интенсивного дыхания — выделение тепла. Зерновая масса обладает плохой теплопроводностью, поэтому тепло, выделяющееся в результате интенсивного дыхания зерна как бы аккумулируется в зерновой массе, что способствует усилению дыхания и возникновению процесса самосогревания. Если зерно находится в герметических условиях и в зерновой массе происходит процесс брожения, то зародыш зерна погибает от образующихся этилового спирта и других соединений, отравляющих зародыш, в результате чего зерно теряет всхожесть. Поэтому семенное зерно необходимо хранить в условиях хорошего доступа воздуха. Иногда при анаэробном дыхании зерна наряду со спиртовым брожением частично происходит процесс молочнокислого брожения, при котором из глюкозы образуется молочная кислота:



При этом выделяется 94,2 кДж энергии. Интенсивность дыхания зерна зависит от ряда факторов: влажности, температуры, качества зерна, физиологического состояния зерна.

**Влажность зерна.** Чем выше влажность зерна, тем интенсивнее оно дышит. Потери сухого вещества у влажного зерна больше, чем у зерна средней сухости при одинаковой температуре: у пшеницы — в 4—8 раз, овса — в 2—5 раз, кукурузы — в 8,5—17 раз, гречихи — в 1,5—3 раза. У сырого зерна интенсивность дыхания, а, следовательно, и расход сухого вещества возрастают еще больше. На рисунке 44 показана зависимость дыхания зерна проса от влажности (интенсивность дыхания зерна выражена количеством поглощаемого кислорода или выделяемого за определенный промежуток времени  $\text{CO}_2$  в расчете на определенное коли-



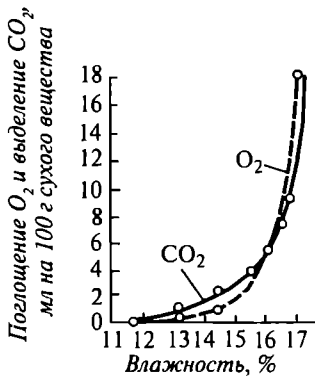


Рис. 44. Зависимость интенсивности дыхания зерна проса от влажности

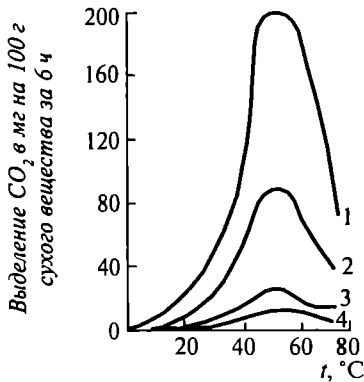


Рис. 45. Влияние температуры на интенсивность дыхания зерна пшеницы: 1 — 22%; 2 — 18%; 3 — 16%; 4 — влажность зерна 14%

чество зерна). Из рисунка видно, что до тех пор, пока влажность не превышает 14–15%, интенсивность дыхания очень незначительна. Как только влажность превышает 15% (критическая влажность), интенсивность дыхания резко усиливается. Зерно пшеницы, ржи и других злаков с влажностью ниже 14–15% и масличные семена с влажностью, не превышающей 8–9%, будут дышать очень слабо, следовательно, надежно храниться.

**Температура.** При низких температурах близких к нулю, дыхания практически не происходит, зерно не дышит. Из рисунка 45 видно, что по мере повышения температуры интенсивность дыхания зерна резко возрастает и при 50–55 °C достигает максимума, после чего начинается резкое падение кривой. Это резкое падение интенсивности дыхания зерна происходит из-за слишком высокой температуры, при которой начинается денатурация белков, ферменты теряют свою активность, зерно погибает. Если понижать температуру зерновой массы, то дыхание зерна ослабевает, а при температурах, близких к 0 °C, полностью прекращается. Следовательно, если охлаждать или замораживать зерно, препятствуя, таким образом, возникновению процесса дыхания, зерновая масса будет сохраняться лучше. Необходимо отметить, что влажное

семенное зерно нельзя охлаждать слишком сильно (промораживать), так как оно может потерять всхожесть.

**Качество зерна.** Чем хуже зерно по качеству, тем при прочих равных условиях оно интенсивнее дышит и тем труднее его хранить. Нормальное зерно дышит слабее, чем морозобойное, поэтому его и другие виды поврежденного зерна хранить труднее, чем нормальное, доброкачественное. Поврежденное зерно следует подвергать особенно внимательному наблюдению при хранении.

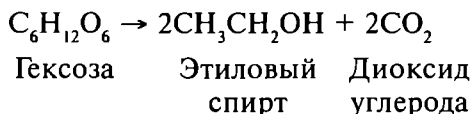
**Физиологическое состояние зерна.** Зерно, не прошедшее послеуборочного дозревания, дышит значительно интенсивнее, чем то, у которого период послеуборочного дозревания закончен. Отсюда следует, что свежесобранное зерно особенно легко может подвергнуться самосогреванию и порче, вследствие чего за ним нужно вести особенно тщательное наблюдение.

Для характеристики дыхания зерна большое значение имеет дыхательный коэффициент — отношение объема выделяемого при дыхании диоксида углерода к объему поглощаемого кислорода. Дыхательный коэффициент нормального зерна обычно равен единице. Это происходит в связи с тем, что процесс аэробного дыхания протекает в точном соответствии с уравнением дыхания. Если дыхательный коэффициент больше единицы, то это значит, что зерно выделяет больше диоксида углерода, чем поглощает кислорода. Такую картину можно наблюдать на ранних этапах прорастания некоторых семян, плотная оболочка которых недостаточно проницаема для кислорода. В таких семенах наряду с аэробным процессом дыхания происходит также процесс спиртового брожения, который прекращается после того, как развивающийся корешок прорвет оболочку.

При созревании масличных семян дыхательный коэффициент обычно превышает единицу. Это следствие того, что часть потребляемого на дыхание кислорода заимствуется из углеводов. Сухое зерно с влажностью 12–14% имеет дыхательный коэффициент выше единицы (1,2–1,3), поскольку в зародыше зерна даже в присутствии кислорода частично происходит анаэробное брожение. Небольшое количество  $\text{CO}_2$  без



точных окислительно-восстановительных реакций, но в отличие от дыхания не приводит к полному окислению органического вещества. Основные типы брожения — спиртовое, молочнокислое и маслянокислое. Все остальные наблюдаемые в природе виды брожения представляют собой сочетание этих трех основных типов. Среди микроорганизмов, вызывающих спиртовое брожение, следует назвать дрожжи—микроорганизмы из класса сумчатых грибов.



При этом выделяется энергия в количестве 234 кДж/М сброженной гексозы (стандартное изменение свободной энергии). Кроме главных продуктов, образующихся при таком виде брожения — этилового спирта и диоксида углерода, выделяются незначительные количества и других продуктов: сивушных масел (смеси амилового, изоамилового, бутилового и других спиртов), янтарной кислоты, ацетальдегида, глицерина и др.

Велика роль спиртового брожения при тестоведении и выпечке хлеба. Выделяющийся диоксид углерода разрыхляет тесто, придавая хлебу пористое строение, а спирт и другие продукты брожения участвуют в образовании аромата. В присутствии кислорода спиртовое брожение прекращается и дрожжи переходят к обычному аэробному дыханию (эффект Пастера).

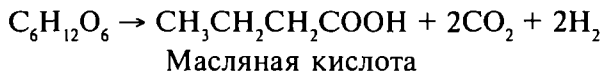
Молочнокислое брожение вызывают молочнокислые бактерии.

Микроорганизмы, осуществляющие молочнокислое брожение, разделяют на две группы. Первая группа сбраживает гексозу с образованием преимущественно молочной кислоты и очень малого количества побочных продуктов — их называют гомоферментативными (типичными) бактериями. Вторая группа, называемая гетероферментативными (нетипичными) молочнокислыми бактериями, вызывает более сложное брожение, при котором наряду с молочной кисло-

той образуются другие продукты: уксусная кислота, этиловый спирт, диоксид углерода, водород, метан, диацетил, эфиры и др. В зависимости от микроба, питательной среды и внешних условий эти продукты накапливаются в разных количественных соотношениях.

Молочнокислое брожение играет большую роль при изготовлении хлебных заквасок и жидких дрожжей в хлебопечении. В ржаном тесте и хлебе содержится заметное количество молочной и уксусной кислот — результат совместного присутствия дрожжей, вызывающих спиртовое брожение и молочнокислых бактерий, вызывающих молочнокислое брожение. Молочнокислое брожение часто происходит одновременно со спиртовым брожением при изготовлении многих пищевых продуктов и полуфабрикатов: простокваши, ацидофилина, кефира, кумыса, кваса, айрана, кавказского «мацони», при квашении капусты, огурцов, при силосовании кормов.

Маслянокислое брожение вызывают микроорганизмы, большинство которых — анаэробные бактерии. Они превращают углеводы, спирты и другие вещества в масляную кислоту по суммарному уравнению:



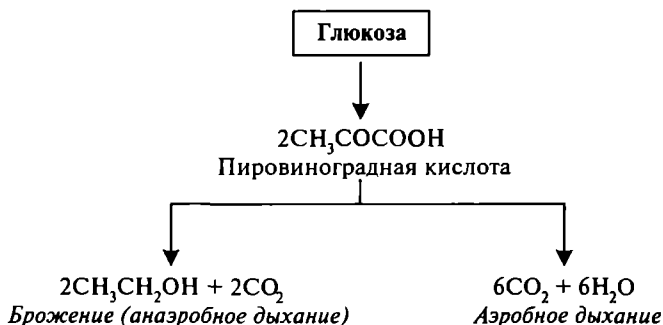
Три главных типа брожения, органически связанных между собой, обычно протекают в данной среде одновременно. Вместе с тем они находятся в самой тесной органической связи с нормальным кислородным дыханием.

## **§ 2. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОЦЕССАМИ БРОЖЕНИЯ И ДЫХАНИЯ**

Суммарные уравнения брожения (анаэробного) и аэробного дыхания дают представления только о балансе исходных и образующихся веществ. Эти уравнения не отражают сложных превращений веществ, происходящих в процессе дыхания или

брожения и не дают представления о химической связи промежуточных продуктов. Брожение и дыхание имеют первоначальный общий, подготовительный этап химических превращений, называемый гликолизом.

Общий этап завершается образованием пировиноградной кислоты, что можно показать схемой:

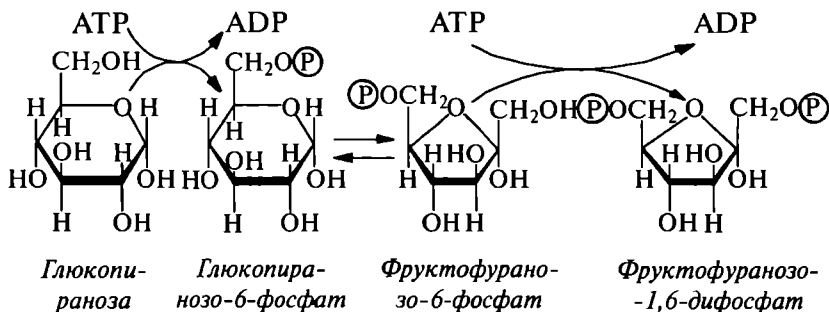


Пировиноградная кислота, образовавшаяся в первый общий для брожения и дыхания этап, может далее подвергаться превращениям в одном из двух направлений, характерных для брожения (анаэробного дыхания) или аэробного дыхания, что зависит от условий среды (аэробных или анаэробных) и от специфических особенностей организма, сложившихся в процессе эволюционного развития. В анаэробных условиях пировиноградная кислота подвергается превращениям, происходящим при спиртовом или молочнокислом брожении. В аэробных условиях она окисляется до уксусной кислоты или полностью до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в соответствии с уравнением аэробного дыхания.

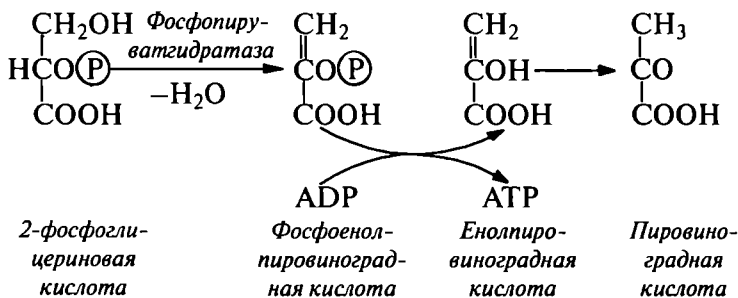
### § 3. ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ НА ОБЩЕМ ЭТАПЕ БРОЖЕНИЯ И ДЫХАНИЯ

Гликолиз начинается с образования ряда фосфорных эфиров гексоз. Молекула глюкозы под действием фермента

гексокиназы воспринимает от аденозинтрифосфата остаток фосфорной кислоты. Возникают аденозиндифосфат и глюкопиранозо-6-фосфат, который под действием фермента глюкозофосфат-изомеразы превращается во фруктофуранозо-6-фосфат. Далее фруктофуранозо-6-фосфат воспринимает при действии фермента фосфофруктокиназы еще один остаток фосфорной кислоты от новой молекулы аденозинтрифосфата с образованием новой молекулы аденозиндифосфата и фруктофуранозо-1,6-дифосфата. Эти реакции могут быть представлены в следующем виде:



Фруктофуранозо-1,6-дифосфат через ряд промежуточных реакций с участием ферментов альдолазы, триозофосфат-изомеразы, дегидрогеназы фосфоглицеринового альдегида и окисления 3-фосфоглицеринового альдегида превращается в 1,3-дифосфо-глицериновую кислоту, что сопровождается возникновением высокоэнергетической связи.



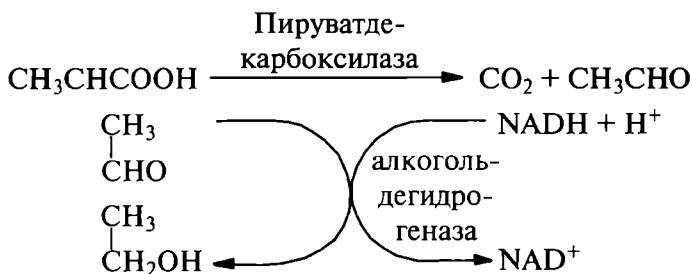
В конечных звеньях гликолиза 3-фосфоглицериновый альдегид превращается при помощи ряда ферментов в 2-фосфоглицериновую кислоту, из которой под воздействием фосфопируватгидратазы образуется пировиноградная кислота.

Из одной молекулы глюкозы образуется две молекулы пировиноградной кислоты.

#### § 4. ПРЕВРАЩЕНИЯ ПИРОВИНОГРАДНОЙ КИСЛОТЫ ПРИ БРОЖЕНИИ

При спиртовом брожении, вызываемом микробами или происходящем в растительных тканях, пировиноградная кислота расщепляется под действием фермента пируватдекарбоксилазы на  $\text{CO}_2$  и уксусный альдегид, который вступает во взаимодействие с ранее образовавшимся  $\text{NADH}$  при окислении фосфоглицеринового альдегида в фосфоглицериновую кислоту. Образуется этиловый спирт и регенерируется молекула  $\text{NAD}^+$ . Реакция восстановления уксусного альдегида катализируется ферментом алкогольдегидрогеназой (1.1.1.1), у которой кофермент  $\text{NAD}^+$ .

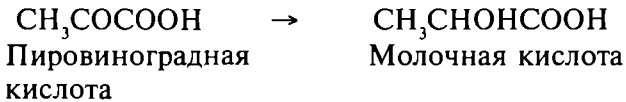
Превращения пировиноградной кислоты при спиртовом брожении иллюстрируются следующей схемой:



При молочнокислом брожении расщепления пировиноградной кислоты пируватдекарбоксилазой не происходит, и пировиноградная кислота восстанавливается с участием фермента лактатдегидрогеназы (1.1.1.27), превращаясь в молочную кислоту:



лактатдегидрогеназа



При детальном рассмотрении всех промежуточных реакций гликолиза устанавливается, что при анаэробном превращении глюкозы в пировиноградную кислоту расходуется две молекулы АТФ, а в более поздних реакциях синтезируется четыре молекулы АТФ. Таким образом, количество энергии, запасаемой в виде АТФ при спиртовом и молочнокислом брожении, эквивалентно всего лишь двум высокоэнергетическим связям АТФ на один моль сброженной глюкозы, что равно около 60 кДж.

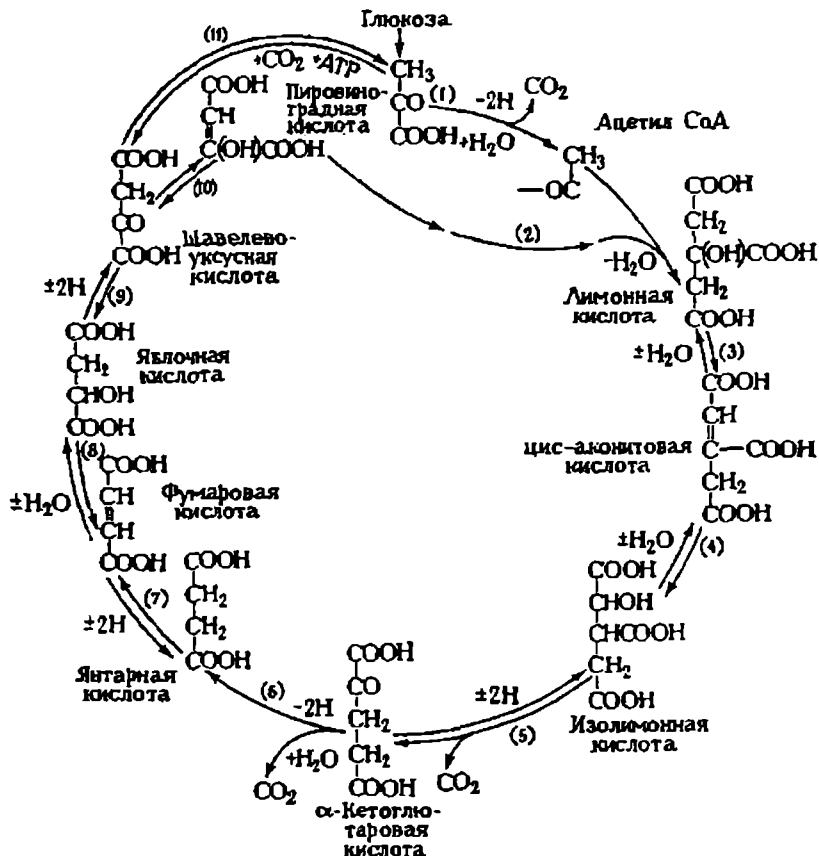
## § 5. МЕХАНИЗМ ДЫХАНИЯ

Полное окисление пировиноградной кислоты при аэробном дыхании в митохондриях идет через ряд промежуточных этапов, катализируемых соответствующими ферментами.

Последовательность и взаимосвязь превращений пировиноградной кислоты с конечным окислением до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  установлена английским биохимиком Г. А. Кребсом, и получила название цикла трикарбоновых кислот — цикла Кребса.

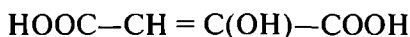
На схеме цифры в скобках соответствуют номерам реакций и названиям соответствующих ферментных систем.

Номер реакции	Ферменты и коферменты
1,6	Система окислительного декарбоксилирования
2	Цитрат-синтаза, кофермент А (СоА)
3,4	Аконитат-гидратаза
5	Изоцитратдегидрогеназа
7	Сукцинатдегидрогеназа
8	Фумарат-гидратаза
9	Малатдегидрогеназа
10	Спонтанное (возникающее без внешних воз-



11 действий, самопроизвольное) превращение Пируваткарбоксилаза

Цикл Кребса начинается с того, что пировиноградная кислота под действием пируваткарбоксилазы при участии АТФ конденсируется с молекулой  $\text{CO}_2$  и образует при этом шавелево-уксусную кислоту, которая легко превращается в свою енольную форму:



В результате окислительного декарбоксилирования второй молекулы пировиноградной кислоты образуется молекула  $\text{CO}_2$

и ацетильный радикал, связанный с коэнзимом А. Реакция катализируется сложной каталитической системой — многоферментным комплексом пируватдекарбоксилазы. В этой реакции необходимы  $\text{NAD}^+$ , липоевая кислота, тиаминпирофосфат, FAD и кофермент (CoA). Кофермент А (коэнзим А, CoA) представляет собой аденозиндифосфат, соединенный с остатком пантотеновой кислоты, который связан с остатком меркаптоэтиламина. Кофермент А играет исключительно важную роль в обмене веществ.

Окислительное декарбоксилирование пировиноградной кислоты и других  $\alpha$ -кетокислот сопровождается возникновением высокоэнергетических связей. Молекула енольной формы щавелево-уксусной кислоты конденсируется с ацетильным радикалом, образуя лимонную кислоту, реакция катализируется ферментом цитратсинтазой (4.1.3.7). Далее лимонная кислота превращается в цис-аконитовую кислоту, затем в изолимонную, они видимо катализируются одним ферментом — аконитатгидратазой (4.2.1.3). Образование и перенос ацетильного остатка на щавелево-уксусную кислоту под действием цитрат-синтазы с синтезом, в конечном счете, лимонной кислоты происходит при участии кофермента А. Ацетилкофермент А ( $\text{CH}_3\text{CO}\sim\text{S}\sim\text{CoA}$ ) содержит высокоэнергетическую тиоэфирную связь, при гидролизе которой освобождается 32,2 кДж/М.

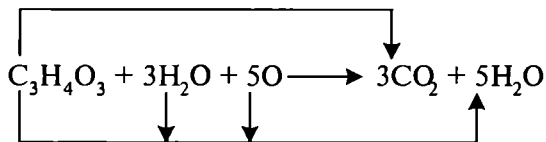
Перенос ацетильных остатков при участии CoA играет также важную роль в биосинтезе жирных кислот и во многих других реакциях. Этот кофермент является важнейшим ацилирующим агентом клетки. Рассмотренная выше изолимонная кислота декарбоксилируется под влиянием NAD — специфичной изоцитратдегидрогеназы (1.1.1.41) с образованием  $\alpha$ -кетоглутаровой кислоты и  $\text{CO}_2$ . Далее при окислительном декарбоксилировании  $\alpha$ -кетоглутаровой кислоты выделяется молекула  $\text{CO}_2$  и возникает янтарная кислота. Эта кислота затем окисляется под действием фумарат-гидратазы (4.2.1.2) и, присоединяя молекулу воды, образует яблочную кислоту. Дегидрогенизация яблочной кислоты под действием NAD — специфичной малат-дегидрогеназы (1.1.1.37) приводит к образованию щавелево-уксусной кислоты, способной снова вступить

в реакцию конденсации с новой молекулой ацетил-СоА. Цикл замыкается — все реакции окислительной диссимиляции пировиноградной кислоты начнутся снова.

## § 6. СУММАРНЫЙ БАЛАНС ДЫХАНИЯ

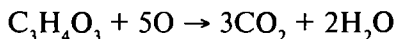
Анализ цикла Кребса показывает, что окисление одной молекулы пировиноградной кислоты сопровождается выделением 3 молекул диоксида углерода (реакции 1, 5 и 6) и отнятием 5 пар водородных атомов (реакции 1, 5, 6, 7, 9). Водород, отнятый дегидрогеназами от того или иного соединения в реакции на 1, 5, 6, 7 и 9-м этапах цикла трикарбоновых кислот, с помощью цитохромной системы окисляется до  $H_2O$  кислородом воздуха.

Суммарно балансовое уравнение окисления пировиноградной кислоты можно представить так:



Из уравнения следует, что кислород воздуха, активизируемый цитохромной системой, потребляется на окисление водорода пировиноградной кислоты и водорода  $H_2O$ , присоединяющейся к соответствующим субстратам на определенных этапах цикла.

При сокращении в уравнении окисления пировиноградной кислоты получится следующее балансовое уравнение:



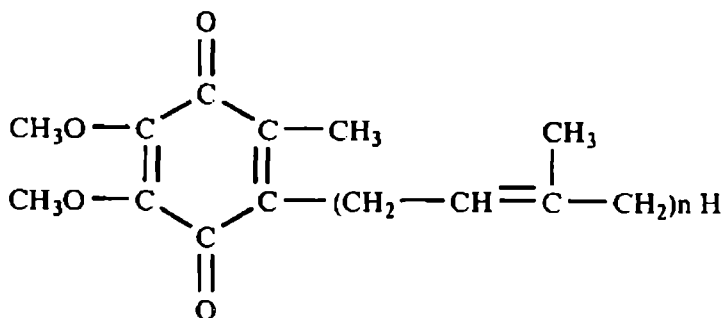
Учитывая, что из одной молекулы глюкозы в процессе ее анаэробного расщепления образуется две молекулы пировиноградной кислоты, а также то, что при окислении фосфоглицеринового альдегида в фосфоглицериновую кислоту от каждой окисляемой молекулы отнимаются два атома водорода, которые окисляются в конце концов кислородом воздуха до

воды, можно подвести баланс израсходованных и образовавшихся веществ и получить в итоге обычное суммарное уравнение аэробного дыхания.

## § 7. ПРОЦЕССЫ ДЕГИДРОГЕНИЗАЦИИ

Дальнейшее раскрытие механизма дыхания заключается в том, что окисление любого из соединений, образующихся на первом, общем для брожения и дыхания этапе, или на втором, раздельном для брожения и дыхания, начинается с дегидрогенизации — отнятия водорода от данного соединения соответствующей пиридиновой дегидрогеназой. Два компонента атома водорода (электрон и протон) отделяются друг от друга, таким образом, основной источник клеточной энергии, необходимой для биохимических превращений — электрон.

Электрон водорода, отнятого от субстрата пиридиновыми дегидрогеназами, воспринимают флавиновые ферменты и при участии негеминных железопротеидов и ряда жирорастворимых хинонов, называемых убихинонами (коферментов Q), передают цитохромной системе. Цитохромная система окисляет водород, присоединяя к нему кислород воздуха с образованием воды или пероксида водорода. Основу убихинонов (коферментов Q<sub>7</sub>, Q<sub>8</sub>, Q<sub>9</sub>...Q<sub>12</sub>) составляет следующая структура:



Коферменты Q являются, таким образом, производными 2,3-диметокси-5-метилбензохинона. Если  $n = 9$ , то это кофермент Q<sub>9</sub>, если  $n = 8$ , то кофермент Q<sub>8</sub> и т. д. Они легко восстанавливаются, образуя соответствующие гидрохиноны.

Субстратами дыхания, окисляющимися в результате отнятия водорода с помощью анаэробных (пиридиновых) дегидрогеназ, служат фосфоглицериновый альдегид, возникающий в анаэробной фазе дыхания, или пировиноградная, изолимонная,  $\alpha$ -кетоглутаровая и яблочная кислоты, образующиеся в цикле Кребса. Реакции цикла трикарбоновых кислот и переноса водорода и электронов в процессе дыхания происходят в органеллах цитоплазмы — митохондриях. Митохондрия — высокоорганизованная структура, похожая на многокамерный мешочек обычно удлинённой формы с эластичной мембраной, образующей ряд ответвлений (кrist) как бы разделяющих внутренность митохондрии на отдельные, соединяющиеся между собой камеры (см. рис. 2).

Внутренняя часть митохондрии — матрикс заполнена полужидким содержимым. Мембрана митохондрии содержит 65% белка и 35% липидов. Липиды митохондрии богаты ненасыщенными жирными кислотами. В двойном липидном слое мембраны «утоплена» часть белков (интегральные белки), а другая их часть (периферические белки) электростатическими или водородными связями слабо прикреплена к поверхности мембраны. Подобное строение свойственно всем мембранам клетки, отделяющим от цитоплазмы ту или иную субклеточную структуру. Двойной липидный слой мембраны имеет «толщину» примерно 6 нм. В клетке высших растений, в зависимости от размеров и типа клетки, имеются сотни и даже тысячи митондрий.

Митохондрии образно считают «силовыми станциями» клетки. В них происходят реакции цикла Кребса и связанные с ними окислительные процессы, заканчивающиеся окислительным фосфорилированием и синтезом АТФ. Ферментные системы цикла Кребса сосредоточены в матриксе, а ферментные системы окисления — в мембране.

## § 8. ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ

Окисление митохондриями в процессе дыхания тех или иных веществ сопровождается поглощением неорганического фосфора и синтезом аденозинтрифосфата. Энергетический

баланс процесса окисления молекулы глюкозы при аэробном дыхании складывается в следующем виде: превращения глюкозы до пировиноградной кислоты в анаэробной форме дыхания приводит к возникновению двух молекул АТФ.

Окисление образовавшихся при этом двух молекул NADH в процессе дыхания сопровождается фосфорилированием ADP и образованием шести молекул АТФ.

Окисление образовавшихся из глюкозы в анаэробной форме двух молекул пировиноградной кислоты до ацетил-СоА сопровождается образованием двух молекул NADH, при окислении которых возникает шесть молекул АТФ.

При полном окислении двух молей ацетил-СоА в цикле Кребса возникают 24 молекулы АТФ. Следовательно, в итоге полного окисления молекулы гексозы до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  образуется энергия, соответствующая 38 высокоэнергетическим связям АТФ. При сравнении «выхода» энергии, запаасаемой в виде АТФ при брожении и кислородном дыхании, видно, что дыхание — процесс в энергетическом отношении в 19 раз более выгодный, чем брожение.

## § 9. РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ГОРЕНИЕМ И ДЫХАНИЕМ

Из уравнения дыхания видно, что основной субстрат дыхания в тканях высших растений — углеводы. Но это не значит, что другие вещества (белки, жиры и др.) не могут вовлекаться в процесс дыхания. Трудно назвать соединение, для которого не были бы известны пути окислительного распада. Промежуточные продукты этого распада включаются в основное русло окислительного распада углеводов.

Суммарная (балансовая) реакция дыхания не дает представления об огромном разнообразии превращении глюкозы, пока она не превратится в воду и диоксид углерода. Окисление, происходящее при дыхании, резко отличается от процесса горения по своим движущим силам и внутреннему механизму.

Дыхание отличается от горения тремя особенностями:

1. Активизация кислорода при горении происходит под влиянием высокой начальной температуры, которая самопроизвольно поддерживается в течение всего периода горения под

действием тепловой энергии, выделяющейся в результате химического процесса окисления сжигаемого вещества (аутооксидация). Процесс дыхания происходит с обязательным участием ферментов при обычной температуре.

Открытие дыхательных ферментов привело к современным представлениям о сущности биологического окисления, которая заключается прежде всего в том, что независимо от вещества, вовлеченного в процесс дыхания, универсальным биологическим горючим служит водород дыхательного субстрата, окисляемый кислородом воздуха до воды.

2. Энергия при дыхании выделяется не сразу, а мелкими порциями. И все это происходит потому, что водород и электроны передаются к кислороду воздуха с помощью ферментов по особой цепи переносчиков, имеющейся в клетке и входящей в митохондрии.

3. Выделение энергии небольшими частями позволяет запасать ее в форме специальных химических связей, называемых высокоэнергетическими. Соединение, аккумулирующее энергию, выделяемую при дыхании, — аденозинтрифосфорная кислота (АТФ), которая образуется на нескольких этапах в общей цепи процесса дыхания.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Для чего необходимо дыхание живому организму?
2. Какие вещества зерна участвуют в процессе дыхания?
3. Каковы начальные и конечные продукты при дыхании?
4. Какие условия необходимы для дыхания?
5. Что представляют собой процессы брожения, каковы их конечные продукты?
6. В чем заключается генетическая связь между процессами брожения и дыхания?
7. Какие процессы протекают на общем этапе брожения и дыхания (гликолизе)?
8. В чем заключается механизм дыхания?
9. Каковы различия между процессами горения и дыхания?



## **БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СОЗРЕВАНИИ И ПРОРАСТАНИИ ЗЕРНА**

### **§1. СОЗРЕВАНИЕ ЗЕРНА**

Основная направленность процесса созревания зерна заключается в том, что образовавшиеся в зеленых листьях и стебле кристаллические вещества (сахара, аминокислоты, амиды и т. д.) перемещаются в растворенном виде в колос, а затем в зерно. В зерне растворенные низкомолекулярные органические вещества превращаются в высокомолекулярные нерастворимые запасные вещества (белки, углеводы, жиры), которые заполняют клетки эндосперма, алейронового слоя и зародыша. Процессы созревания тесно связаны с действием ферментов. При созревании зерна активность ферментов постепенно падает и стабилизируется на невысоком уровне, характерном для полностью созревшего зерна.

Из рисунка 46 видно, что на ранних фазах созревания зерна почти половина его сухого вещества состоит из сахаров и растворимых левулезанов. По мере созревания зерна количество высокомолекулярных углеводов — крахмала и гемицеллюлоз постепенно возрастает, а содержание сахаров и левулезанов соответственно убывает. Образование нерастворимых полисахаридов происходит за счет притекающих в зерно растворимых углеводов.

Характер изменения содержания азотистых веществ в созревающем зерне пшеницы показан на рисунке 47. При созревании зерна количество свободных аминокислот в нем постепенно уменьшается, а содержание белка возрастает. Следовательно, в созревающем зерне синтез белков идет за счет аминокислот. Качественный состав накапливаемых при созревании белковых веществ все время изменяется (рис. 48).

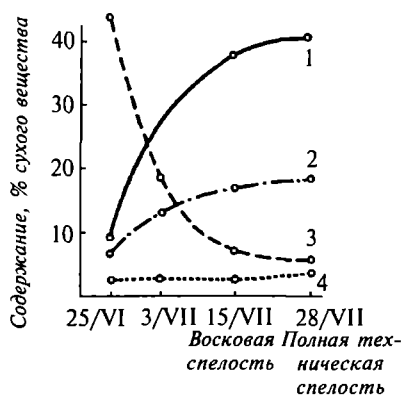


Рис. 46. Изменение содержания углеводов в созревающем зерне ржи: 1 — крахмал; 2 — гемицеллюлозы; 3 — растворимые сахара и левулезаны; 4 — клетчатка

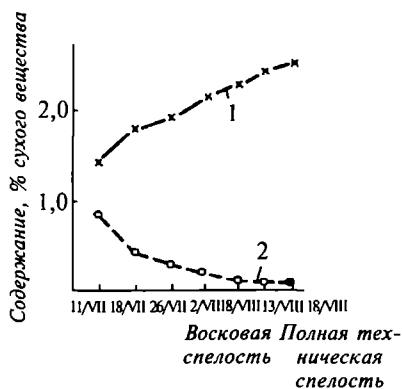


Рис. 47. Изменение содержания азотистых веществ в созревающем зерне пшеницы: 1 — азот белков; 2 — азот аминокислот

В зерне пшеницы происходит формирование клейковины, количество которой возрастает от молочной до полной спелости. Одновременно происходит значительное изменение физических свойств клейковины, ее качества. В конце фазы молочной спелости клейковина имеет еще очень плохую связность и низкую гидратационную способность, а к фазе полной спелости она приобретает нормальные реологические свойства. Количество небелковых азотистых веществ и неклеяковинных белков увеличивается только до конца молочной спелости, а далее остается практически постоянным. Процентное содержание небелковых азотистых веществ снижается в процессе созревания зерна в два раза, а абсолютное и относительное содержание клейковинного белка в зерне значительно увеличивается (табл. 66).

При формировании в созревающем зерне пшеницы клейковины существенное значение имеет динамика сульфгидрильных групп и дисульфидных связей. В процессе созревания в клейковинном белке происходит постепенное снижение содержания сульфгидрильных групп при одновременном возрастании числа дисульфидных связей. Вместе с тем наблюдается непрерывное снижение активности и концентрации в зер-

не фермента протеин-дисульфидредуктазы. Характерный показатель качества клейковины в процессе созревания — величина отношения содержания дисульфидных связей и сульфгидрильных групп —S—S/—SH в клейковинном белке изменяется следующим образом:

молочная спелость	4,7
молочно-восковая спелость	8,4
полная спелость	33,4

Клейковина первоначально представлена в зерне в виде низкогидратированного комплекса связанных между собой белковых веществ, образующих единое целое. При увлажнении происходит дальнейшая гидратация обезвоженного клейковинного комплекса и соединение отдельных его частиц в связную массу сырой клейковины. Отсутствие отдельных фракций глиаина и глютеина и существование в зерне с самого начала налива образованного ими комплекса, частицы которого набухают и слипаются при отмывании клейковины, было доказано экспериментально.

При созревании семян происходит накопление жира, что особенно характерно для масличных семян. Как видно из рисунка 49, накопление жира в семенах масличных культур происходит из углеводов, притекающих в семена из листьев и стеблей.

Таблица 66

Изменения, происходящие в зерне пшеницы на разных фазах созревания

Фаза спелости	Клейковина				Азот, %		
	содержание, % сухого вещества		гидратация, %	показания пластометра, ед. времени	органолептическая оценка	небелковые азотистые вещества и не-клейковидные белки	клейковинные белки
	сырая	сухая					
Молочная			Не отмывается		1,20	0,63	
Конец молочной, начало восковой	21,0	7,9	165,0	2'50"	Коротко-рвущаяся	0,78	0,85
Полная	31,0	10,4	200,0	3'28"	Нормальная	0,59	1,05

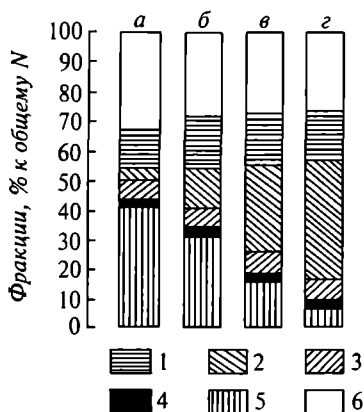


Рис. 48. Изменение содержания азотистых фракций (% от общего азота) в зерне кукурузы в различные фазы развития:

*a* — зерна очень молодые, около 1/5 нормального размера; *б* — молочная спелость, по размеру близки к нормальному; *в* — «молочка» практически нет; *г* — зрелое зерно; 1 — глютелин; 2 — зеин; 3 — глобулин; 4 — пептиды и пептоны; 5 — небелковый азот; 6 — нерастворимый азот

Микроскопические наблюдения, произведенные над созревающими семенами, показали, что по мере их созревания происходит постепенное превращение крахмала в жир («ожирение» крахмальных зерен). Вопрос о накоплении веществ в созревающем зерне имеет большое практическое значение в связи с определением оптимальных сроков уборки урожая и снижения потерь зерна при уборке. Один из способов снижения потерь — раздельная уборка зерновых культур, при которой зерно, убранное в период восковой спелости, остается некоторое время после жатвы в валках. При этом оно увеличивает массу под действием веществ, притекающих в него из стеблей и листьев. Раздельный способ уборки способствует лучшему сохранению урожая, улучшению технологических и семенных свойств зерна.

Начиная с фазы молочной спелости, содержание в соломе сухого вещества, углеводов и лигнина снижается, а в колосе соответственно увеличивается. В связи с этим небезинтересно указать, что Д.И. Менделеев еще в 1872 г. отмечал: если за 1,5 недели до фазы полной спелости, когда нижняя часть соломы еще зеленая, сжать рожь и дать ей дозреть в снопах, то количество и качество зерна не снижаются, а срок уборки сокращается. Он наблюдал, что при этом зерно получает питательные вещества из соломы.

Данные таблицы 67 показывают преимущество своевременного проведенной раздельной уборки в фазе восковой спелости и резкое снижение хлебопекарного достоинства зерна пшени-

цы при задержке подбора валков и перестое на корню.

Следует отметить, что раздельная уборка имеет строгие ограничения. Ее нельзя применять при уборке разреженных посевов и в фазе полной спелости зерна, так как в этих случаях возможны большие потери. Раздельная уборка дает хороший результат лишь в том случае, когда проводится своевременно и высокоорганизованно.

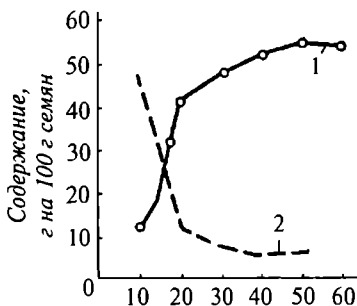


Рис. 49. Изменение содержания углеводов и жира в созревающих семенах подсолнечника: 1 — жир; 2 — углеводы

## § 2. ПОСЛЕУБОРОЧНОЕ ДОЗРЕВАНИЕ ЗЕРНА

Под послеуборочным дозреванием семян понимают биохимические процессы, происходящие в свежесобранном семенном материале некоторых видов и сортов растений, приводящие к нарушению покоя.

Ко времени достижения фазы полной (технической) спелости зерно пшеницы, ржи и других культур, убранное с поля, обычно имеет пониженные семенные и технологические достоинства. Полная физиологическая зрелость зерна, при которой ярко выражены семенные (наивысшая всхожесть, энергия прорастания) и технологические свойства, наступает лишь че-

Таблица 67

Изменение силы пшеницы при задержке подбора валков и перестое на корню (в среднем)

Сроки уборки	а, 10 <sup>-5</sup> Дж
Восковая спелость на корню	410
При оптимальном сроке подбора валков (через 3-5 сут. после скашивания в восковой спелости)	450
В стадии полной спелости на корню	307
При задержке подбора валков (первая цифра) и перестое на корню (вторая цифра):	409—291
на 5 сут.	
на 10 сут.	374—269
на 15 сут.	350—247

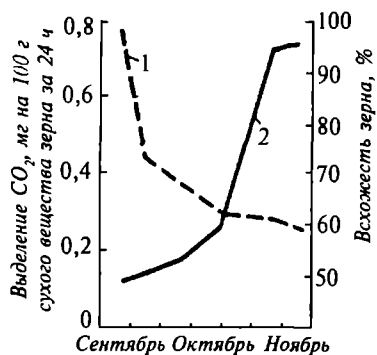


Рис. 50. Интенсивность дыхания зерна овса в зависимости от физиологической зрелости:

1 — дыхание; 2 — всхожесть

исходящих в зерне при послеуборочном созревании, — продолжение биохимических процессов биосинтеза, начатых в колосе, превращение низкомолекулярных органических веществ, накопленных в ходе фотосинтеза растения и налива зерна, в высокомолекулярные физиологически неподвижные.

При дозревании зерна заканчиваются процессы синтеза полисахаридов, белков и жиров. Завершается синтез белков с одновременным уменьшением небелкового азота. Белки клейковины уплотняются, ее качество улучшается. Количество жира и других липидов в зерне возрастает, содержание свободных жирных кислот снижается, кислотное число жира, и кислотность титруемой спиртовой вытяжки уменьшаются. Одновременно активность ферментов, в частности амилолитического комплекса, каталазы и монофенол-монооксигеназы, ослабевает, что свидетельствует об ослаблении окислительно-восстановительных процессов в зерне в ходе послеуборочного дозревания.

Существует несколько теорий, объясняющих неспособность семян, не прошедших послеуборочного дозревания, к прорастанию. Их можно объединить в три группы:

1) теории, согласно которым главную роль в неспособности семян прорасти играет непроницаемость или малая про-

рез некоторое время. Это дополнительное время называют периодом послеуборочного дозревания. Ход послеуборочного дозревания (суммарно) характеризуется двумя показателями: увеличением всхожести семян и одновременным снижением интенсивности дыхания (рис. 50).

Накоплен большой экспериментальный материал, показывающий, что при дозревании в зерне протекает комплекс биохимических процессов. Основная направленность изменений, про-

нищаемость их оболочек для воды и растворенного в ней кислорода или кислорода воздуха;

2) теории, рассматривающие неспособность семян к прорастанию как результат содержания в них различных эндогенных ингибиторов, в том числе фенольной природы, которые препятствуют прорастанию или представляют собой результат изменяющегося соотношения стимуляторов и ингибиторов роста;

3) теории, объясняющие неспособность семян к прорастанию физиологическим состоянием самого зародыша — при переходе растения к покою происходит обособление протоплазмы клеток, что приводит к их физиологической индивидуализации, нарушающей физиологическое единство зародыша.

Вопрос о сущности послеуборочного дозревания сложен, научных материалов для его выяснения недостаточно. Требуется дополнительная исследовательская работа.

Важнейшее значение для процессов послеуборочного дозревания при хранении имеют влажность и температура зерновой массы, степень ее аэрации и состав воздуха межзерновых пространств. Значение влажности в том, что для дозревания необходимо преобладание синтетических процессов над процессами распада, что возможно только при низкой влажности зерна. Отсюда вытекает, что для скорейшего прохождения периода послеуборочного дозревания зерно должно иметь влажность ниже критической. Эти условия обеспечивают лучшую сохранность свежубранного зерна. Семена наиболее быстро дозревают при температуре 15–30 °С и более.

Свободный приток воздуха к семенам при дозревании обеспечивает подвод к ним кислорода, а также способствует отводу тепла и влаги, выделяемых при дыхании. Следовательно, наиболее интенсивно послеуборочное дозревание протекает при активном доступе воздуха к семенам. Кислород ускоряет послеуборочное дозревание, недостаток его и накопление в зерновой массе диоксида углерода замедляют дозревание. Подобное явление наблюдается при анаэробном дыхании: дозревание может полностью прекратиться, а всхожесть семян понизиться. Знания о сущности послеуборочного дозревания позволили разработать меры по созданию наиболее благоприятных условий и ускорению дозревания.

Наиболее действенные меры — снижение влажности зерна (сушка) на солнце, в сушильных установках и активным вентилированием. Сушка свежееубранного зерна пшеницы при 45 °С дает наилучшие результаты. При тепловой сушке наибольшее значение имеет скорость удаления влаги из зерна. Очень эффективно активное вентилирование (при сухом воздухе и его температуре выше 20 °С). Продолжительность периода послеуборочного дозревания — наследственный признак культуры и сорта.

При благоприятных естественных условиях хранения процессы послеуборочного дозревания зерна пшеницы заканчиваются в течение 1,0–1,5 мес., а на севере протекают еще дольше. Умелой искусственной сушкой этот срок можно сократить до 2–3 недель. Непродолжительный период послеуборочного дозревания у ржи 10–15 сут., овса 20 сут., а самый продолжительный период у ячменя до 6–8 мес. Семена масличных культур также имеют период послеуборочного дозревания. Семена кукурузы после удаления из них избытка влаги сразу же становятся физиологически полноценными.

Отрицательная температура хотя и не приостанавливает послеуборочного дозревания полностью, но резко его замедляет. В Сибири вследствие тормозящего действия низких температур незавершенность дозревания семян растягивается во времени до весеннего сева. Продолжительный период послеуборочного дозревания, нежелательный с точки зрения хранения и переработки зерна, в ряде случаев играет положительную роль. Например, культура и сорт с длительным периодом послеуборочного дозревания представляют хозяйственную ценность в районах с сырой осенью, так как это исключает прорастание зерна на корню в колосьях в дождливую погоду.

На продолжительность периода послеуборочного дозревания влияют также сортовые различия. В условиях Нечерноземной полосы наиболее короткий период послеуборочного дозревания показала яровая пшеница Московка (13 сут.) и Асмолинка (18 сут.), средней продолжительности — Тулун 70, Диамант (28 сут.) и наиболее продолжительный период — Краснозерная (34 сут.). Наиболее продолжительный период послеуборочного дозревания обычно наблюдается у красно-зерных



сортов. Сравнительно высокая температура и недостаточное количество осадков в период образования зерна и его налива обуславливают у озимой пшеницы тенденцию к сокращению продолжительности послеуборочного дозревания. В условиях низкой температуры и большей влагообеспеченности у семян более продолжительный период послеуборочного дозревания.

Зерно, прошедшее послеуборочное дозревание, поглощает больше воды, чем не подвергнутое послеуборочному дозреванию. Разница при замачивании зерна в течение 1 сут. при температуре 25 °С составляет по пшенице 12,8% и по ячменю 5%. С технологической (хлебопекарной) точки зрения наибольший интерес представляет изменение в период послеуборочного дозревания клейковины пшеницы. По этому вопросу имеется большой фактический материал.

После 30 сут. хранения свежесобранного зерна пшеницы по пяти сортам из ряда опытных хозяйств Саратовской области констатируется увеличение выхода клейковины от 1,0 до 8,3% (в среднем на 3,6%). В пяти пробах качество клейковины перешло из II группы в I, в одной — из III в II, в шести — осталось без изменения (I группа). Из шести опытно-показательных хозяйств Юго-Востока в трех пробах через 1 мес. хранения после уборки количество клейковины осталось без изменения, а в 19 пробах увеличилось с 0,6 до 7,2%, в среднем на 3,3% (с 28,4 до 31,7%). По качеству клейковина во всех случаях сохранила I группу.

Изучали содержание и качество клейковины пшеницы с момента приема зерна на хлебоприемном предприятии и последующего хранения в складах. Содержание сырой и сухой клейковины в послеуборочный период (в южных районах — 2 мес., в восточных — 6 мес.) оставалось без изменения. Качество клейковины свежесобранного зерна за этот же срок иногда несколько изменялось в зависимости от метеорологических условий созревания. При изменении клейковины наблюдалось ее небольшое укрепление или ослабление, но она оставалась в пределах исходной группы качества, за исключением тех случаев, когда клейковина находилась на грани двух групп.

Влияние продолжительности и условий послеуборочного дозревания на хлебопекарное достоинство зерна пшеницы и, прежде всего, на содержание и качество клейковины требует до-

полнительного изучения. Таким образом, на характер и глубину биохимических изменений зерна в период послеуборочного дозревания влияют многие причины, в том числе: биологические особенности культуры и сорт (т. е. особенности генома); климатическая зона; высота над уровнем моря; условия выращивания; способы и сроки уборки; метеорологические условия в предуборочный и уборочный период; условия хранения после уборки.

### § 3. СОСТОЯНИЕ ПОКОЯ И СТАРЕНИЕ ЗЕРНА

**Покой зерна.** Это состояние жизнеспособных семян, при котором они не прорастают в обычных условиях, прорастают замедленно или прорастают только при специальных условиях. Различают покой вынужденный, вызванный внешними условиями — отсутствием влаги, необходимой температуры, и органический (или глубокий) — задержка прорастания, связанная с внутренними свойствами семян многих растений. Причины и продолжительность органического покоя, а также условия его нарушения у различных видов растений неодинаковы.

В состоянии покоя жизненные процессы в зерне не прекращаются. Происходит медленный обмен веществ, поддерживающий жизнь зародышевой ткани. Покой представляет собой очень важное приспособительное свойство растений, предохраняющее семена от несвоевременного прорастания и позволяющее им длительное время сохранять жизнеспособность. Свежеубранные семена многих злаковых и других культур находятся в неглубоком физиологическом покое, который во времени обычно совпадает с периодом послеуборочного дозревания.

**Старение зерна.** Снижение всхожести зерна может быть не только вследствие незавершенности дозревания или при покое, но и в результате его старения. Это происходит при длительном хранении или неблагоприятных условиях хранения вследствие нарушения процессов обмена веществ. Повышенная влажность, особенно при высокой температуре, резко ускоряет процесс старения: скачкообразно интенсифицируются процессы обмена веществ, углеводы расходуются на дыхание, снижается содержание других метаболитов.

Снижение и потерю всхожести могут вызвать перегрев зерна при сушке, замораживание влажного зерна, развитие микроорганизмов. Снижение или полная потеря всхожести, т. е. жизнеспособности, оказывает большое влияние на химический состав, качество и технологическое достоинство зерна.

При длительном хранении семян вследствие их старения наблюдается ослабление дыхания. Это происходит одновременно со снижением всхожести и является результатом снижения активности окислительно-восстановительных систем, что можно проследить по ослаблению действия дегидрогеназ в зародыше. Например, у мертвых семян риса Краснодарский 424 и Дубовский 129 дыхание почти отсутствовало. Содержание редуцирующих сахаров снизилось в 1,3 раза. Произошла частичная денатурация соле- и кислоторастворимых белков, характеризующих активность дегидрогеназ, пероксидазы и цитохромоксидазы.

В результате биохимических процессов при длительном хранении в зерне накапливается аммиак, что также оказывает угнетающее действие на жизнеспособность зерна. Содержание аммиака в семенах, утративших всхожесть, может возрастать по сравнению с нормальным зерном в 2 раза.

Опыты, проводимые с пшеницей и кукурузой, показали, что зерно с пониженной жизнеспособностью и при ее полной потере в меньшем количестве поглощает парообразную и капельножидкую влагу. Это приводит к неравномерной влажности различных участков насыпи зерна и может вызвать гнездовое самосогревание, а также усложняет процесс кондиционирования зерна, удлиняя сроки его увлажнения (на мукомольных заводах, крахмало-паточных предприятиях). При потере всхожести зерно становится менее прочным, что приводит к его дроблению, образованию повышенного количества мучки, распыла, снижению качества и стойкости муки и крупы при хранении.

Присущий жизнеспособному зерну активный иммунитет повышает его сопротивляемость внедрению в его ткани плесневых грибов и их развитию, обеспечивая более высокую стойкость. При хранении зерна пшеницы и кукурузы, потерявшего всхожесть, количество плесневых грибов возрастает в несколько раз интенсивнее, чем на зерне с высокой всхожестью. Такое зерно менее стойко при хранении.

#### § 4. ПРОРАСТАНИЕ ЗЕРНА

Прорастание зерна — начальный этап жизненного цикла растения. Для прорастания семени требуются строго определенные условия — достаточная влажность, тепло и воздух (кислород). Прорастание начинается с поглощения семенем влаги и набухания (в среднем до 50% к массе семени). Если набухание происходит в почве, то семя, развивая большее давление, раздвигает частички почвы. Тронувшийся в рост зародыш разрывает покрывающие его оболочки. Главная особенность прорастания и его общая биохимическая направленность — распад в эндосперме и семядолях высокомолекулярных веществ до низкомолекулярных растворимых веществ при участии влаги и под действием ферментов. Другая особенность прорастания заключается в том, что если в эндосперме происходят в основном гидролитические процессы, то в зародыше преобладают процессы синтеза.

Образовавшиеся при гидролизе и растворившиеся в воде низкомолекулярные вещества перемещаются в зону зародыша и здесь под влиянием соответствующих ферментов используются как «строительный» материал для биосинтеза более сложных органических веществ, из которых формируются ткани, а затем органы нового растения.

Если для индивидуального развития растения (онтогенеза) прорастание семени — естественный и обязательный этап жизненного цикла, то для хранения и промышленной переработки зерна этот процесс нежелателен, он приводит к снижению его качества и порче. Проросшее зерно характеризуется увеличением зародыша, появлением зародышевого корешка и почечки, коричневой окраски зародыша. Мука из проросшего зерна имеет сладковатый вкус. Зерно увеличивается в объеме, снижается его сыпучесть, уменьшается вязкость водно-мучной суспензии, повышается доля растворимых в воде веществ (редуцирующих сахаров и др.).

Основной показатель глубоких биохимических изменений, происходящих в прорастающем зерне, — усиление действия ферментов, прежде всего амилолитического комплекса. Особенно высокую активность приобретает  $\alpha$ -амилаза (рис. 51). Активизирующиеся протеолитические ферменты гидролизуют

ют белки с образованием полипептидов и аминокислот. При прорастании зерна интенсивно проявляется действие протеиндисульфидредуктазы, катализирующей восстановление дисульфидных связей в белках с образованием сульфгидрильных групп. Прорастание сопровождается увеличением в зерне содержания свободного восстановленного глутатиона. В эндосперме и проростках пшеницы на протяжении первых 5 сут. прорастания наблюдается биосинтез протеин-дисульфидредуктазы, что приводит к непрерывному повышению ее активности. Одновременно в клейковине уменьшается содержание дисульфидных связей, и она значительно ослабляется.

При прорастании в зерне происходит повышение активности ряда других ферментов, например пентозаназ, гидролизующих пентозаны, что сказывается на реологических свойствах теста. Действие активизирующихся при прорастании ферментов носит сложный характер. Экспериментально доказано, что свободная  $\alpha$ -амилаза разжижает тесто, а непредельные жирные кислоты, выделяющиеся из жира под влиянием триацилглицероллипазы, наоборот, укрепляют его.

Таким образом, конечное реологическое состояние теста следует рассматривать как суммарный результат действия всей совокупности ферментов муки. Сухая масса зерна при прорастании очень сильно уменьшается, так как в этот период зерно теряет большое количество содержащихся в нем органических веществ. Потери происходят от прорастания и повышения интенсивности дыхания. Отсюда вытекает, что проросшее зерно хранить значительно труднее, чем нормальное. Изменение химического состава зерна при прорастании можно проследить на примере кукурузы (табл. 68).

В исходном зерне крахмала было 73,95%, а в проросшем его стало 17,15%, т. е. произошла убыль крахмала. Вместе с тем в исходном зерне не было найдено сахара, а в проросшем его было 21,04%. Таким

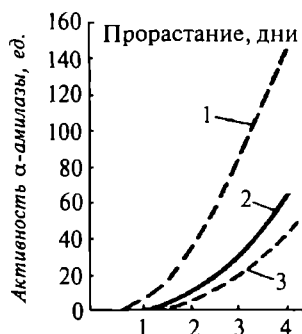


Рис. 51. Активность  $\alpha$ -амилазы при прорастании зерна: 1 — ржи; 2 — тритикале; 3 — пшеницы

Таблица 68

## Изменение химического состава зерна кукурузы при прорастании, %

Наименование	Азот	Крахмал, декстрины и гемицеллюлоза	Сахара	Жир	Зола	Клетчатка	Вещества неопределенные
Зерно	2,5	73,95	0	5,36	1,80	5,98	2,72
Ростки	3,2	17,15	21,04	3,31	3,46	29,64	6,54

образом, при прорастании, в результате расщепления крахмала происходит значительное нарастание содержания сахара в зерне. В исходном зерне азота было 2,5%, а в проросшем 3,2%, т. е. количество азота в зерне как будто бы увеличилось. Но это увеличение только кажущееся. При определении содержания азота в исследуемом исходном и проросшем зерне найдено одинаковое его количество. Однако при расчете процентного содержания азота в сухом веществе наблюдается его увеличение: это происходит потому, что содержание крахмала резко снижается, так как значительная его часть расходуется в процессе дыхания. Количество сухого вещества в зерне уменьшается, а относительное содержание азота увеличивается.

В зерне ячменя (табл. 69) с первых же часов прорастания уменьшается содержание крахмала. В начале прорастания ко-

Таблица 69

## Изменение углеводно-амилазного комплекса зерна ячменя при разных сроках прорастания

Продолжительность прорастания	Содержание крахмала, %	Сахара		Число падения по прибору определения числа падения, с*	Атакуемость крахмала α-амилазой, с*
		восстанавливающее, % сухого вещества и в пересчете на глюкозу	сахароза, % сухого вещества и в пересчете на мальтозу		
Исходное зерно	58,0	0,140	2,661	421	61
6-ч	56,3	0,122	2,550	300	72
12-ч	55,0	0,093	2,223	267	97
24-ч	52,5	0,105	2,588	193	120
48-ч	41,6	0,375	4,772	0	0
72-ч	40,9	0,473	5,216	0	0

\* Число падения и атакуемость крахмала α-амилазой измерены на приборе определения числа падения.

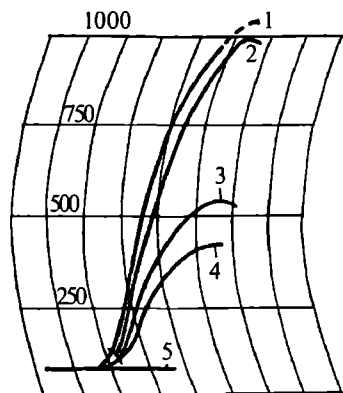
личество восстанавливающих сахаров и сахарозы (фруктозидов в целом) снижается, а при дальнейшем прорастании резко возрастает. Уменьшение содержания сахаров объясняется их расходом на возрастающее интенсивное дыхание. Увеличение количества восстанавливающих сахаров при последующем хранении объясняется тем, что интенсифицирующийся процесс ферментативного распада крахмала значительно опережает потерю сахаров, используемых при дыхании зерна.

Наблюдения над проросшим зерном ячменя позволили обнаружить снижение числа падения, а также вязкости суспензий на амилографе (рис. 52). Эти изменения объясняются главным образом повышенной активностью  $\alpha$ -амилазы. При прорастании семян увеличивается содержание органических кислот (табл. 70), причем в проростках бобовых их накапливается больше, чем в проростках злаков и особенно масличных культур.

Прорастание сопровождается снижением содержания жиров. Так, за 7 сут. прорастания семян подсолнечника количество жиров уменьшилось на 66%, а за 14 сут. — на 95%; у семян сои за 14 сут. прорастания оно снизилось на 98%. В семядолях и в зародышах прорастающих семян не только уменьшается содержание жиров, но значительно изменяется и состав жирных кислот. Это вызвано возросшей активностью ферментов (триацилглицероллипазы, липоксигеназы и др.), участвующих в превращении липидов и жирных кислот. Под влиянием ферментов протеаз при прорастании происходит гидролиз запасных белков и накопление пептидов и аминокислот.

Аминокислоты, образовавшиеся в семядолях или эндосперме, передвигаются в растущие части семени. Одни аминокислоты передвигаются из эндосперма в зародыш в неизменном виде, другие предварительно превращаются в глютамин и аспарагин. Во взаимосвязи эндосперма с зародышем важная роль принадлежит щитку. Это не только транспортное звено, по которому метаболиты из эндосперма перемещаются в зародыш и наоборот. Щиток, богатый ферментами, является местом синтеза многих жизненно необходимых новому растению соединений.

Наиболее легко на корню прорастает зерно ржи. В наибольшей степени это наблюдается на северо-востоке и северо-западе европейской территории России, где созревание



51° 57° 63° 69° 75° 81° 87° 93° 99°  
 Рис. 52. Амилограммы муки из зерна ячменя разных сроков прорастания:

1 — исходное; 2 — 6-часовое увлажнение; 3 — 12-часовое прорастание; 4 — 24-часовое прорастание; 5 — 48- и 72-часовое прорастание

ржи и ее уборка проходят в условиях повышенной влажности. Повышенная склонность ржи к прорастанию на корню вызвана коротким периодом покоя ее зерновки. В проросшем зерне ржи повышается ферментативная атакуемость крахмала зерна и возрастает общее количество водорастворимых веществ, декстринов, восстанавливающих сахаров (табл. 71). Все эти изменения резко ухудшают хлебопекарные достоинства зерна ржи.

На хлебопекарные достоинства пшеницы существенное влияние оказывает изменение азотсодержащих веществ, и прежде всего, содержание и качество клейковины. Из таблиц 72 и 73

видно, что после прорастания спелого зерна пшеницы в течение 1 сут. в нем не происходит изменений в содержании клейковины и азотистых веществ. Вместе с тем качество клейковины заметно изменяется в сторону ослабления. Прорастание спелого зерна пшеницы в течение 3 сут. приводит к значительному уменьшению количества сырой и сухой клейковины и резкому ухудшению ее качества. Клейковина становится очень слабой, одновременно уменьшается ее гидратационная способность.

Наблюдается дезагрегация клейковинного комплекса и частичный протеолиз белка. Это увеличивает содержание водорастворимых белковых фракций и небелковых веществ в зерне. Содержание свободных аминокислот в зерне пшеницы возрастало через 3 сут. прорастания в 7 раз и через 5 сут. — в 10 раз. На пятые сутки прорастания клейковина полностью разрушалась.

При прорастании зерна наблюдается быстрое уменьшение содержания дисульфидных связей и увеличение количества сульфгидрильных групп. В течение первых суток прорастания



Таблица 70

Образование органических кислот при проращении семян,  
г на 1000 семян и проростков

Наименование	Кислоты					
	всего	летучие	яблоч- -ная	лимон- -ная	аконито- -вая	неизве- -стные
Пшеница яровая						
Тулун:						
семена	0,157	0,129	0,005	0,007	Нет	0,002
проростки, 11 сут.	0,543	0,073	0,068	0,015	0,277	0,110
проростки, 20 сут.	0,782	0,148	0,091	0,021	0,374	0,148
Кукуруза:						
семена	1,050	0,730	—	0,260	Нет	—
проростки, 18 сут.	5,761	2,024	—	3,269	До 60%	—
Горох:						
семена	2,100	0,420	0,160	0,740	Нет	0,780
проростки	19,960	0,610	8,420	0,710	Нет	—
Подсолнечник:						
семена	0,338	0,034	0,075	0,023	Нет	0,206
проростки	0,611	0,111	0,121	0,033	Нет	0,246

общее содержание дисульфидных связей в неклеяковинных белках уменьшается почти на 50%, причем расщепляются главным образом «скрытые» дисульфидные связи неклеяковинных белков (альбуминов и глобулинов). Дисульфидные связи клейковинного белка расщепляются за 1-е сут. проращения только на 19%, причем «скрытые» дисульфидные связи остаются незатронутыми, что отвечает относительно небольшим

Таблица 71

Биохимические особенности обойной муки из проросшего зерна ржи

Показатели	Из зерна ржи		
	нормаль- ного	проросшего в течение	
		24 ч	72 ч
Сахарообразующая способность, мг мальтозы на 10 г муки	216	622	907,2
Атакуемость крахмала, % мальтозы	30,3	44,3	57,3
Непосредственно восстанавливающие сахара, %	0,13	0,7	0,84
Декстрины, %	3,1	4,1	6,18
Водорастворимые вещества, %	23,8	75,5	75,9

Таблица 72

**Изменения в зерне пшеницы на разных фазах прорастания**

Продолжительность прорастания, сут.	Влажность зерна	Сухая масса 1000 зерен		Клейковина	
		г	%	Содержание, % сухого вещества	
				сырая	сухая
Исходное зерно	23,2	44,4	100,0	31,3	10,4
1	—	43,56	98,1	31,5	10,3
3	—	37,85	85,2	19,5	7,4

изменениям качества клейковины за этот период. Прорастание в течение 3 сут. приводит к уменьшению общего количества дисульфидных связей как клейковинного, так и неклеяковинного белка на 63,5%. «Скрытые» дисульфидные связи клейковинного белка расщепляются на 58%, что приводит к значительной дезагрегации клейковины, уменьшению ее количества и резкому ухудшению ее качества. Характерный для изменения качества клейковины показатель отношения содержания дисульфидных связей и сульфгидрильных групп —S—S—/—SH при прорастании изменился следующим образом:

зрелое, непроросшее зерно	33,4
прорастание в течение 1 сут.	23,9
прорастание в течение 3 сут.	5,8

Качество клейковины и сила при прорастании зерна изменяются у сильной и слабой пшеницы по-разному: у слабой — в

Таблица 73

**Изменения, происходящие при прорастании зерна пшеницы**

Продолжительность прорастания, сут.	Клейковина			Азот, %	
	показания пластомера, ед. времени	гидратация, %	органолептическая оценка	небелковые азотистые вещества и неклеяковинные белки	белки клейковины
Исходное зерно	3'28"	200	Нормальная	0,59	1,05
1	1'04"	205	Слабая	0,61	1,08
3	0'13"	165	Очень слабая	0,86	0,95

большей степени, у сильной — в меньшей. Различие в изменении реологических свойств клейковины в зерне сильной и слабой пшеницы при прорастании соответственно сказывается на хлебопекарных достоинствах муки.

Изменение хлебопекарных достоинств пшеничной муки из проросшего зерна зависит от исходного качества клейковины. Прорастание не во всех случаях приводит к ухудшению качества хлеба. Гидролиз белковых веществ при прорастании зерна с крепкой исходной клейковиной может оказывать положительное влияние на хлебопекарные достоинства муки и качество хлеба, тогда как изменение клейковины слабой пшеницы уже на первой стадии прорастания приводит к ухудшению качества. Пшеничная мука из проросшего зерна или из партии пшеницы, содержащей проросшие зерна, дает неудовлетворительный по качеству хлеб с липким, пониженной эластичности, сладковатым мякишем, характерной коркой красновато-буроватой окраски. Подовый хлеб имеет повышенную расплываемость (особенно при большой степени прорастания).

Исследованиями, проведенными в Институте молекулярной биологии и биохимии АН Казахстана определено, что в муке 70%-ного выхода из зерна пшеницы, прораставшего в течение 12–72 ч, протеолитическая активность оказалась в 4 раза меньше, чем в целом зерне вследствие удаления алейронового слоя, где локализовано 95,8% протеаз. В такой муке протеолитические ферменты не оказывают значительного влияния на снижение ее качества. Ухудшение реологических свойств теста и других технологических характеристик происходит за счет увеличения газообразующей способности теста в результате повышения амилазной активности. Качество клейковины из муки прорастающего зерна пшеницы, следовательно, не всегда может служить объективным показателем ухудшения его хлебопекарных достоинств.

При прорастании пшеничного зерна происходят незначительные изменения в липидном комплексе (табл. 74). Содержание свободных липидов при прорастании пшеницы несколько снижается, а связанных — возрастает. Жирно-кислотный состав липидов практически не изменяется. Содержание каротиноидов

Таблица 74

Содержание и состав липидного комплекса при различной продолжительности прорастания зерна пшеницы в полевых условиях

Образцы зерна	Содержание липидов, % сухого вещества		Сумма ненасыщенных и насыщенных жирных кислот, %				Содержание каротиноидов, мг %
	свободных	связанных	в свободных липидах		в связанных липидах		
			насы- щенных	ненасы- щенных	насы- щенных	ненасы- щенных	
Московская 22 (яровая):							
контроль	1,87	0,36	15,7	84,3	22,3	77,7	9,2
I срок прорастания (5 сут.)	1,84	0,32	15,9	84,4	19,6	80,4	—
II срок прорастания (8 сут.)	1,82	0,48	15,3	84,7	19,2	80,8	10,7
Мироновская 808 (озимая):							
контроль	2,18	0,37	13,0	87,0	18,7	81,3	13,8
I срок прорастания	2,22	0,44	13,0	87,0	18,5	81,5	—
II срок прорастания	2,13	0,51	13,2	86,8	23,4	76,6	15,1

незначительно увеличивается, по-видимому, в результате перехода их из связанного состояния в свободное.

При прорастании зерна наблюдается небольшое увеличение активности фермента триацилглицероллипазы и также незначительное повышение кислотности жира. Кислотное число жира зерна ячменя, прораставшего в течение 12; 24 и 48 ч и затем высушенного до влажности 13–13,5%, через 12 мес. хранения при 10 °С возросло (соответственно) только на 1; 2,3 и 2,1 мг КОН по сравнению с контролем.

Биохимические и технологические свойства зерна ржи при прорастании изменяются так же, как и при прорастании зерна пшеницы. Содержание крахмала при прорастании уменьшается при одновременном повышении количества всех сахаров, особенно непосредственно восстанавливающих. В зерне Вятка Московская после прорастания в течение 3 сут. содержание сахарозы увеличилось с 0,70 до 0,89%, глюкозы с 0,5 до 2,41%, фруктозы с 0,46 до 1,06%, арабинозы с 1,20 до 2,07%, мальтозы со следов до 0,80%.

Ксилоза в нормальном зерне отсутствовала, а при прорастании ее содержание составило 0,07%. При прорастании зерна ржи увеличивается содержание водорастворимого азота. Так, в ржаной обойной муке из проросшего в естественных условиях зерна, содержащего 24,4% проросших зерен, по сравнению с мукой из непроросшего зерна содержание водорастворимых азотистых веществ увеличилось в 1,3 раза и азотистых веществ, растворимых в 70%-ном спирте, также в 1,3 раза. Одновременно возросла ферментативная активность: протеолитическая активность в 2,5 раза, активность  $\alpha$ -амилазы в 5 раз, сахарообразующая способность в 2,3 раза, количество водорастворимых веществ в 1,5 раза.

Содержание клейковинных белков (проламиновой и глютелиновой фракций) в муке из проросшего зерна заметно снижается, тогда как количество глобулинов значительно возрастает. Клейковина муки из проросшего зерна была более темного цвета, мало связанная, крошащаяся. Число ее набухания уменьшилось по сравнению с нормальной вдвое (соответственно 4 и 2). Удельная растяжимость такой клейковины резко возросла (см/мин): Харьковская 60 (проросших зерен 13,8%) —

3,6 и 5,7; Вятка Московская (8,8%) — 4,9 и 9,0; Немчиновская короткостебельная (9,9%) — 6,4 и 14,3.

При прорастании ржи количество слизистых веществ увеличивается, а вязкость их уменьшается. Относительная вязкость 10,5%-ного раствора слизистых веществ при +5 °С из зерна Омка в нормальном зерне составила 30,3, через одни сутки прорастания — 11,7 и через двое суток — 6,6. Низкое качество ржаной муки из проросшего зерна связано со значительным возрастанием активности амилолитических ферментов, особенно  $\alpha$ -амилазы.

Объем и процент пористости хлеба, изготовленного из проросшего зерна, выше, чем из нормального, но пористость неравномерная, толстостенная, оценивается в 3 балла (табл. 75). Кроме того, этот хлеб грубый, имеет повышенную кислотность, влажность и расплываемость подового хлеба. По стандарту проросшее зерно подразделяется на две группы — одна из них входит в состав зерновой примеси, вторая — основного зерна. К основному зерну относят зерна с начавшимся процессом прорастания, т. е. только наклюнувшиеся, с лопнувшими над зародышем оболочками, с невышедшим еще наружу ростком.

Фракцией зерновой примеси считают проросшие зерна с корешками и ростками, вышедшими за пределы лопнувших над зародышем оболочек независимо от их длины. К зерновой примеси также относят проросшие зерна, утратившие ранее вышедшие наружу ростки и корешки, с потемневшей оболочкой около зародыша; зерна, деформированные вследствие прорастания, с изменившейся (по той же причине) окраской. Визуальный осмотр проросшего зерна не дает точного представления о степени повреждения зерна при прорастании.

Поскольку главная особенность тронувшегося в рост зерна — повышение активности ферментов и, прежде всего амилаз (особенно  $\alpha$ -амилазы), то о степени прорастания зерна и ухудшения его технологического достоинства можно наиболее полно судить, помимо опытной выпечки, по изменению активности ферментов и физических свойств теста. Существуют методы ускоренного определения активности  $\alpha$ -амилазы в проросшем зерне, в том числе автолитическая проба и колобковая выпечка.

Таблица 75

## Качество проросшего и нормального зерна ржи и выпеченного из него хлеба

Наименование	Зерно			Объем хлеба из 100 г муки 14%-ной влажности, см <sup>3</sup>	Пористость на приборе Журавлева, %	Кислотность, град.	Влажность, %	Расплываемость хлеба, Н/D
	автолитическая активность, %	диастатическая активность, мг мальтозы на 10 г муки	число падения					
<i>Харьковская 60</i>								
Зерно нормальное	29,6	84	125	331	71,0	8,0	47,2	0,19
13,9% проросших зерен	60,5	301	30	370	71,9	9,2	49,2	0,18
<i>Гибридная 2</i>								
Зерно нормальное	26,8	139	170	332	69,0	7,7	48,4	0,17
9,6% проросших зерен	58,5	290	35	370	71,6	9,5	49,0	0,13
<i>Вятка Московская</i>								
Зерно нормальное	24,5	100	530	321	68,0	8,8	48,2	0,23
8,8% проросших зерен	61,3	332	15	357	70,5	8,6	50,4	0,12

Разработан производственный метод определения содержания проросшего зерна, названный методом числа падения. Метод заключается в определении вязкости клейстеризованной болтушки в вискозиметре простой конструкции. Вычисляют качественное число ( $Q_n$ ) ржи с учетом степени ее прорастания, измеренной числом падения,  $Q_n = (\text{число падения} \times 0,8) + (\text{всхожесть} \times 0,4) - (\text{содержание свободных жирных кислот} \times 0,5)$ .

Технологическое достоинство ржи дифференцируется по величине  $Q_n$ : I сорт  $\geq 150$ , II сорт 50—149 и III сорт  $\leq 50$ .

На научной и практической основе разработаны многочисленные приемы повышения качества проросшего зерна и получаемого из него хлеба, применяемые в сельском хозяйстве, на мукомольных заводах, хлебозаводах.

Основной метод борьбы с прорастанием зерна ржи на корню — выведение раннеспелых сортов, уборку которых можно провести в конце лета, до наступления влажного периода, или сортов, устойчивых к прорастанию зерна в колосе до и во время уборки урожая. Здесь многое зависит от селекции, так как признак устойчивости ржи к прорастанию на корню передается по наследству при гибридизации. Проросшее зерно рекомендуется хранить в сухом помещении. Партии зерна с различной степенью прорастания следует хранить отдельно. Для снижения ферментативной активности применяют сушку проросшего зерна при более высокой температуре, чем нормального. Важно при этом не допускать ухудшения качества клейковины.

При переработке проросшего зерна в муку изменяют режим подготовки его к размолу и режим размола. Наиболее эффективное средство улучшения качества хлеба при использовании муки из проросшего зерна пшеницы на хлебозаводе — повышение кислотности теста на 1–2°, чего можно достигнуть применением жидких дрожжей. При этом активность  $\alpha$ -амилазы снижается, состояние мякиша существенно улучшается.

Для улучшения качества ржаной муки из проросшего зерна применяют сушку при повышенной температуре (нагрев до 65–70 °С) или гидротермическую обработку — увлажнение перед размолом до 23–25% и прогрев при 75–78 °С примерно 2 мин. Продолжительность хранения муки из ржи, содержащей проросшие зерна, не должна превышать 2–3



недель. Оправдало себя добавление к такой муке 5–10% пшеничной муки.

Распространено ошибочное убеждение, что разжижение клейстеризованной водно-мучной суспензии на кипящей водяной бане, измеряемого методом числа падения для оценки степени прорастания зерна является результатом действия фермента  $\alpha$ -амилазы. Такое расширенное понимание всеобщности действия  $\alpha$ -амилазы сложного комплексного процесса прорастания, разносторонне регулируемого многими факторами, противоречит биологической логике. Установлено и многократно доказано, что ведущее значение для физического состояния и реологических свойств пшеничного теста имеет клейковина, а ее главной составной частью являются так называемые клейковинообразующие белки — глиадин и глютенин. Так же общепризнанно, что биологическую основу прорастания зерна составляет повышение активности всех его ферментативных систем, причем фермента  $\alpha$ -амилазы в зерне пшеницы нет, и он образуется лишь при прорастании. Все ферменты действуют избирательно, каждый из них способен разорвать строго определенную связь. Это значит, что  $\alpha$ -амилаза не может оказать никакого влияния на состояние белков и клейковины, как и на протеолитические ферменты гидролизующие, т. е. разжижающие клейковину. Биологическое назначение гидролитических ферментов заключается в том, что они под влиянием соответствующих биологических механизмов из зародыша через щиток перемещаются в эндосперм, гидролизуют в нем соответствующие высокомолекулярные органические вещества. Продукты гидролиза передвигаются в зону тронувшегося в рост зародыша и здесь используются на синтез необходимых органических соединений, идут на построение клеток и тканей нового растения. Таким образом, разжижение клейстеризованной водно-мучной суспензии представляет собой суммарный результат действия всех ферментов зерна, и каждый из них вносит свою долю в конечную степень разжижения. Ошибочное приписывание ферменту  $\alpha$ -амилазе единоличной способности изменять состояние и признаки проросшего зерна и в результате ухудшать его технологические достоинства, видимо, порожд-

дено тем фактом, что на фоне увеличения активности других ферментов активность этого фермента значительно выше по сравнению с остальными ферментами зерна. Увеличенная активность  $\alpha$ -амилазы при прорастании зерна биологически оправдана тем, что этот фермент предназначен гидролизовать крахмал, на который в составе зерна приходится наибольшая часть. Иная картина наблюдается в изменении физических свойств ржаного теста при прорастании зерна, в котором, в отличие от пшеницы, решающую роль при формировании технологических свойств играет углеводно-амилазный комплекс. Но и здесь было бы неправильно считать, что физические свойства ржаного теста регулируются одним ферментом —  $\alpha$ -амилазой.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. В чем заключается сущность созревания зерна? Какие основные процессы протекают при созревании?
2. Каковы особенности процессов, возникающих на отдельных стадиях созревания зерна?
3. Что такое послеуборочное дозревание зерна? Какие процессы протекают при этом? Какими средствами можно ускорить послеуборочное дозревание зерна?
4. Что такое состояние покоя и старение семян?
5. Каковы условия прорастания зерна и их последствия?
6. Как изменяются при прорастании зерна белки и углеводы?
7. Как изменяются ферменты при прорастании зерна?
8. Как изменяется клейковина при прорастании зерна?
9. Как изменяется хлебопекарное достоинство зерна при прорастании?
10. Какими методами измеряют качество проросшего зерна?
11. При помощи каких способов улучшают качество хлеба из проросшего зерна?

## ПОВРЕЖДЕННОЕ, НЕПОЛНОЦЕННОЕ ЗЕРНО И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

✓ Зерно легко подвергается воздействию неблагоприятных внешних факторов, что приводит к снижению качества и ухудшению технологического достоинства. В полевых условиях зернового хозяйства предотвратить или ослабить пагубное влияние таких факторов не всегда удается. Ухудшившееся качество зерна усложняет его хранение и переработку, влияет на качество готовой продукции (муки, хлеба, макарон и т. д.). Следует различать повреждения зерна в поле и при уборке урожая и при неблагоприятных условиях хранения. ✗ Поврежденному зерну в поле относят зерно проросшее, морозобойное, суховейное, поврежденное полевыми вредителями и сорными растениями, полевое механические повреждения, обесцвеченное, пожелтевшее и др. К повреждениям зерна при хранении относят самосогревание, порчу сушкой, вредителями хлебных запасов, микроорганизмами. Повышение общей культуры земледелия, улучшение технологии растениеводства, внедрение новых урожайных и устойчивых против болезней и вредителей семенных материалов, обеспечение хозяйств материально-техническими средствами способствуют сокращению потерь зерна при производстве и хранении, повышению рентабельности. При производстве, хранении и переработке зерна возможны условия, приводящие к приобретению зерном ядовитых свойств.

Источниками вредных для человека и животных веществ в зерне могут быть: болезни растений, поражающие их во время роста и развития; остаточные количества ядохимикатов, применяемых в поле для борьбы с сорными растениями и вредителями; остаточные количества ядохимикатов, используемых для уничтожения вредителей хлебных запасов в складах, элеваторах, на крупяных и мукомольных заводах; ядовитые вещества, продуцируемые

в зерне при его уборке или хранении в результате развития микроорганизмов и вредителей. При развитии некоторых грибов на злаках зерно приобретает токсичные свойства. Употребление в пищу такого зерна вызывает у людей и животных болезни, называемые микотоксикозами. Реже токсичные вещества в зерне вырабатываются бактериями. Хлебные злаки часто поражаются многими грибами из рода *Fusarium*. Особенно часто страдают рожь, пшеница, ячмень, бобовые культуры. Рост грибов приводит к значительным изменениям химического состава зерна. Происходит энергичный гидролиз белков и накопление продуктов их распада: аммиака, пептидов, аминов, свободных аминокислот и токсичных веществ для человека и животных.

В период созревания зерна преимущественно в северной полосе России, Западной и Восточной Сибири нередки ранние заморозки. Наиболее пагубно они влияют на зерно пшеницы. Повреждение созревающего зерна морозом на корню понижает урожайность, ухудшает мукомольные и хлебопекарные качества зерна, затрудняет его хранение, ухудшает качество посевного материала.

Степень повреждения зерна пшеницы морозом зависит от фазы его зрелости к моменту наступления заморозков. Зерно полной спелости, даже при длительном действии заморозков сохраняет свое качество. Зерно середины восковой или более ранних стадий спелости не повреждается при температуре до  $-2^{\circ}\text{C}$ , незначительно повреждается от  $-2$  до  $-3^{\circ}\text{C}$  и сильно повреждается при более низкой температуре, оно становится морщинистым и приобретает серо-зеленый цвет. Повреждение не полностью созревшего зерна объясняется не столько непосредственным действием холодного воздуха, сколько образованием льда в растительных клетках. Кристаллы льда быстро проникают в межклеточное пространство и внутрь клетки, разрушая ткани зерна. Это приводит к прекращению или замедлению процессов синтеза при одновременном усилении гидролиза.

Для зерна морозобойного характерна незавершенность (прерванность) процессов биосинтеза белков и полисахаридов. Хлебопекарные достоинства зерна морозобойного резко ухудшаются: хлеб получается с заминающимся мякишем, темный, с плохой пористостью и солодовым привкусом.

Таблица 76

## Биохимические особенности морозобойного зерна пшеницы

Характеристика фракций зерна	Количество веществ переходящих в водную вытяжку, %	Содержание клейковины		Осахаривающая активность, мг	Декстринирующая активность амилазы по Ольсону, усл. ед.
		сырой	сухой		
<i>Челябинская область</i>					
Здоровые	7,06	24,44	7,68	150,3	5,0
Морщинистые без изменения цвета	7,70	22,24	7,16	181,3	5,0
Морщинистые с изменением цвета	7,79	20,55	7,10	191,3	10,0
Щуплые	11,80	17,40	5,60	438,4	25,0
<i>Иркутская область</i>					
Здоровые	8,20	28,12	9,56	265,5	1,2
Морщинистые без изменения цвета	8,38	25,08	8,36	304,4	3,3
Морщинистые с изменением цвета	9,10	21,60	7,00	355,2	3,3
Щуплые	11,40	15,10	5,10	553,1	12,5
<i>Омская область</i>					
Здоровые	7,25	33,00	10,60	121,1	4,0
Морщинистые с изменением цвета	7,97	22,50	7,40	190,1	8,3
Щуплые	13,98	7,70	2,50	426,1	35,7

Биохимические особенности морозобойного зерна пшеницы приведены в таблице 76. С повышением степени морозобойности уменьшаются масса 1000 зерен, всхожесть зерна, увеличиваются его титруемая кислотность, амилалитическая активность, особенно активность  $\alpha$ -амилазы, содержание сахаров, клетчатки, повышается зольность (рис. 53, 54).

При уменьшении общего количества белков и содержания клейковины ее качество значительно ухудшается. Клейковина становится крепкой, крошащейся. Общее количество углеводов в зерне по мере увеличения степени его морозобойности снижается в результате незавершенности процесса формирования крахмала. Относительное содержание сахаров и клетчатки возрастает. Для зерна морозобойного характерны повышенная интенсивность дыхания, легкая подверженность самосогреванию, развитие микроорганизмов, особенно плесеней, что

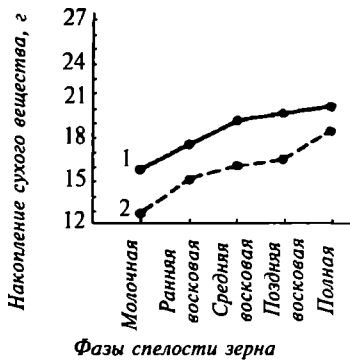


Рис. 53. Влияние заморозков на степень накопления сухого вещества зерна яровой пшеницы на разных фазах спелости:  
1 — зерно, не подвергавшееся действию заморозков; 2 — зерно, подвергавшееся действию заморозков

усложняет его хранение. При уменьшении численности микрофлоры характерных для доброкачественного зерна бактерий видов *Pseudomonas herbicola* и *Pseudomonas fluorescens* и появления видов *Aspergillus* и *Penicillium*, снижается стойкость зерна морозобойного при хранении и сокращаются сроки безопасного хранения. Морозобойная пшеница с влажностью 19% хранится без ухудшения качества в течение 1–4 сут. при температуре 25 °С. При той же температуре продолжительность безопасного хранения зерна с влажностью 16%, поврежденного морозом в стадии молочной, восковой и полной спелости, составляет соот-

ветственно 7, 10 и 13 сут. При температуре 10 °С сроки стойкого хранения зерна пшеницы с влажностью 19% увеличиваются до 13–25 сут. в зависимости от фазы созревания, при которой произошло повреждение, при влажности 16% такое зерно хранится до 30–49 сут., при влажности 14% — до 57–87 сут.

При температуре 0 °С морозобойное зерно влажностью 14–16% сохраняется без ухудшения качества в течение 2–4 месяцев, а при влажности 19% — от 50 до 63 сут. в зависимости от степени спелости зерна при наступлении заморозков. При переработке морозобойного зерна пшеницы применяют ряд методов, в частности его добавляют к зерну нормального качества.

Соотношение того и другого зерна устанавливают опытным путем в каждом отдельном случае. Хороший результат дает отбор щуплых зерен в зерноочистительных отделениях мукомольных заводов, поскольку примесь именно такого зерна особенно заметно ухудшает качество муки. Качество зерна морозобойного и его физиолого-биохимические особенности можно улучшить тепловой обработкой: при влажности до 16% зерно нагревают до 50 °С, при влажности 19% и выше — до 40 °С.

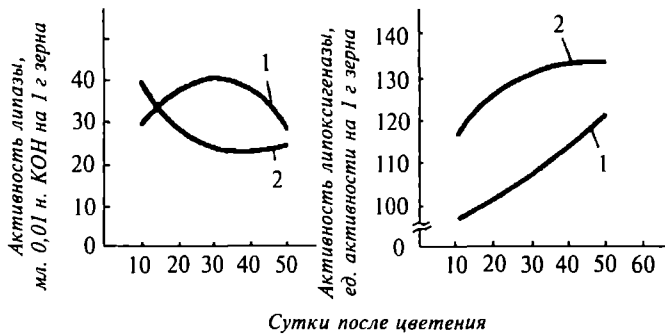


Рис. 54. Активность липазы и липоксигеназы зерна морозобойной пшеницы 1 — поврежденное заморозком в стадии цветения; 2 — не подвергавшееся действию заморозка

Разработана технологическая схема приемки и послеуборочной обработки морозобойного зерна пшеницы. Особенность этой схемы заключается в том, что зерно разделяют на четыре категории качества ситовым способом в сочетании с сепарированием и затем применяют определенную последовательность операций по обработке зерна в зависимости от целевого назначения зерна каждой категории. Морозобойное зерно пшеницы сушат с учетом его влажности при пониженных дифференцированных режимах, рекомендуемых ВНИИЗ для пшеницы с крепкой клейковиной. После сушки проводят ситовый анализ зерна для уточнения схемы его очистки.

При поступлении зерна морозобойного на хлебоприемном предприятии устанавливают систематическое наблюдение за температурой, влажностью зерна и наружного воздуха, запахом и цветом зерна, зараженностью его вредителями. В ожидании сушки зерно размещают в складах или на площадках, оборудованных установками для активного вентилирования. Зерно, прошедшее обработку, размещают и хранят отдельно по категориям качества и в пределах каждой категории — раздельно по влажности.

При работе с мукой из зерна морозобойного на хлебозаводе также применяют смешивание муки разного качества. Основным мероприятием служит повышение кислотности для снижения декстринирующего действия  $\alpha$ -амилазы. Для этого тесто готовят на жидких дрожжах, добавляют часть спелого теста, оставленного от предыдущего приготовления, или на специальных молочнокислых заквасках.

## § 1. ЗЕРНО ПРОМОРОЖЕННОЕ

В нашей стране до 40% запасов зерна хранится при минусовых температурах. При этом создаются благоприятные естественные условия для длительного хранения зерна. При низких температурах в зерне резко замедляются биологические процессы (прежде всего интенсивность дыхания), снижается и почти приостанавливается жизнедеятельность вредителей и микрофлоры, что обеспечивает хорошую сохранность зерна. Семенное достоинство сухого зерна (всхожесть, энергия прорастания, сила роста) при хранении в замороженном состоянии не снижается. Зерно пшеницы и ржи кондиционной влажности (14–16%), хранящееся при температуре до  $-30^{\circ}\text{C}$ , не снижает всхожести и энергии прорастания.

На зерно влажное и сырое минусовые температуры действуют губительно — всхожесть и энергия прорастания снижаются. Чем выше влажность и ниже температура хранения, тем в большей степени ухудшаются семенные достоинства зерна. Исследовали свежееубранную пшеницу влажностью 22,7% с незаконченным послеуборочным дозреванием и нашли, что при температуре хранения  $-25^{\circ}\text{C}$  процесс дозревания в пшенице протекает очень медленно. Технологические достоинства замороженного зерна также снижаются. Особые трудности в зимний период возникают для мукомольных заводов.

Мукомольные и хлебопекарные достоинства зерна пшеницы с низкой влажностью (11,5–14,0%) при хранении его в условиях минусовых температур ухудшаются. Содержание сырой и сухой клейковины немного снижается, клейковина становится более крепкой, гидратационная способность ее при этом уменьшается (при  $-40^{\circ}\text{C}$  на 4–7%), содержание водорастворимого белкового азота также снижается (при  $-40^{\circ}\text{C}$  на 9–14%). При замораживании до  $-20^{\circ}\text{C}$  и ниже в клейковинном белке происходит частичная денатурация. При переработке зерна, хранившегося при минусовой температуре, наблюдается снижение выходов муки высоких сортов и ее качества (зольность повышается на 0,02 и 0,06%), что ухудшает производственные показатели мукомольного завода и его рентабельность.



Для исправления технологического достоинства зерна пшеницы его перед размолом необходимо прогреть до температуры не ниже +15 °С. В этом случае практически полностью восстанавливается его технологическое качество. Того же результата достигают при помощи гидротермической обработки зерна.

## **§ 2. ЗЕРНО СУХОВЕЙНОЕ**

Недостаточная обеспеченность сельскохозяйственных растений водой, сопровождаемая обычно высокой температурой (засуха), или действие сухих ветров при высокой дневной температуре и низкой относительной влажности воздуха (суховеи) ухудшают качество зерна, снижают урожаи и могут приводить к полной гибели посевов. Наиболее часто это наблюдается в южных и юго-восточных районах РФ. Существенное влияние на рост и развитие злакового растения, урожайность и качество зерна при суховеях оказывают уровень агротехники, продолжительность воздействия экстремальных условий, устойчивость сорта.

Однодневные, интенсивные суховеи в большинстве случаев повреждают лишь вегетативную массу, что почти не сказывается на качестве зерна. Продолжительный суховеи (4–5 сут) ведет к значительному его повреждению. При действии засухи или суховея в период формирования колоса, цветения или в самом начале налива зерно может совсем не образоваться. Зерно пшеницы, захваченное суховеем в период ранней молочной спелости и позднее, становится более или менее шуплым. Чем раньше зерно захвачено суховеем, тем сильнее уменьшается его масса.

В зависимости от степени зрелости зерна в момент захвата суховеем скорость дальнейшего поступления в него питательных веществ снижается до 40–60%. Под влиянием суховея значительно увеличивается стекловидность зерна пшеницы. Так, в контрольной пробе при массе 1000 зерен равной 32,3 г, стекловидность составляла 47,5%; в зерне, подвергавшемся действию опытного суховея в течение 5 сут., масса 1000 зерен уменьшилась до 25,8 г, а стекловидность возросла до 100%. Действие суховея заключается в основном в ускорении созревания зерна. Качество суховеяного зерна приведено в таблице 77.

**Сравнительная характеристика зерна нормального и захваченного  
в естественных условиях суховеям**

Наименование	Зерно	
	нормальное	сухвейное
Масса 1000 зерен, г	33,8	21,8
Масса 1000 зерен, % от массы нормального зерна	100	65,7
Белковый азот:	2,30	3,31
% сухого вещества г на 1000 зерен	0,89	0,64
Водорастворимый азот:	0,11	0,08
г на 1000 зерен		
% сухого вещества	100	72,7
Сырая клейковина:	29,8	47,0
% сухого вещества г на 1000 зерен	10,1	10,2
Сухая клейковина:	9,5	14,8
% сухого вещества г на 1000 зерен	3,21	3,23
Качество клейковины	II группа	
Амилолитическая активность, мг мальтозы на 10 г муки	362,3	293,6

Основная особенность растений, подвергавшихся суховею, в том, что многие важные ферменты азотного, углеводного и фосфорного обмена ингибируются, что, в конечном счете, ведет к щуплости и неполноценной белковости зерна. Приток углеводов в зерно затруднен: высокая температура тормозит фотосинтез и может привести к гидролизу полисахаридов зерна. Сухвейное зерно богаче нормального белковым азотом и клейковиной и соответственно беднее растворимыми соединениями азота (аминокислотами и др.). Недостаточный приток углеводов в зерно может привести к уменьшению содержания в нем жира по сравнению с зерном нормальным.

Из сухвейного зерна можно получить хлеб удовлетворительного качества. Ущерб от суховея заключается в резком снижении урожая и уменьшении выхода муки и крупы, поскольку относительная величина его периферийных слоев и, следовательно, отрубей больше, а доля мучнистого ядра меньше, чем в нормально выполненном зерне из-за небольших размеров зерновки.

### § 3. СТЕКАНИЕ (ИСТЕКАНИЕ) ЗЕРНА

Нередко наблюдается, что во время созревания и уборки зерно быстро и сильно «худеет», становится щуплым, на нем появляются мучнистые пятна, иногда розоватый налет, а также черный зародыш. Это явление в различных местах называется по-разному: роса медовка, медвяная роса, грибная чернь, черная плесень, черноточечная болезнь колосьев и зерна пшеницы и ржи, падение натуры, стекание и т. д. В результате этого явления урожай заметно снижается, энергия прорастания и всхожесть уменьшаются, технологические качества ухудшаются.

В приведенных названиях отражено разнообразие причин, вызывающих это заболевание (биохимические процессы, происходящие в растении и зерне, развитие микроорганизмов и др.). Стеkanie зерна во время его созревания в Нечерноземной зоне понижает намолоты озимой пшеницы на 20% и более. Дождевание на ранних стадиях созревания злакового растения значительно снижает накопление сухого вещества в зерне, приводит к существенному недобору зерна. На более поздних стадиях созревания растения слабее реагируют на действие дождя, урожай снижается незначительно.

Дождевание, особенно на ранних фазах созревания, резко изменяет течение физиологических процессов и химический состав зерна (табл. 78).

В злаковом растении уменьшается приток ассимилятов к зерну — дождевой водой из эндосперма вымываются растворимые углеводы, образующиеся при гидролизе из ранее накопленного крахмала, усиливается расход накопленных веществ на дыхание. Во время затяжных дождей растрачиваются не только углеводы, но и азотистые, а также минеральные вещества.

Таким образом, действие затяжных дождей наряду с уменьшением сухого вещества нарушает обмен веществ в последующей фазе развития зерна. В условиях влажной погоды, сильных долго не спадающих рос и туманов во время созревания зерна и во время жатвы механизм истекания зерна еще больше усложняется. Выявлено, что в этот период истекание зерна протекает в виде своеобразного двухфазного заболевания.

**Изменение химического состава зерна ячменя Винер при дождевании  
в разные периоды**

Наименование	Содержание азота, % сухого вещества			Отношение белкового азота к об- щему азоту	Содержание углеводов, % сухого вещества		
	общий	белко- вый	раство- римый		моноса- хариды	дисаха- риды	крах- мал
<i>Молочная спелость</i>							
Контроль до дождевания	2,52	2,09	0,43	0,83	1,36	17,43	40,04
Дождевание всех частей растений	3,26	2,59	0,67	0,79	2,69	12,78	41,39
Контроль после дождевания	2,69	2,16	0,50	0,82	3,12	15,74	45,54
<i>Восковая спелость</i>							
Контроль до дождевания	2,84	2,39	0,45	0,84	0,91	8,44	46,38
Дождевание всех частей растений	3,04	2,45	0,59	0,81	0	0	46,33
Контроль после дождевания	2,89	2,44	0,45	0,84	0,91	2,22	46,68
<i>Полная спелость (конечный урожай)</i>							
Дождевание всех частей растения в фазе молочной	3,86	2,63	0,73	0,78	0	9,35	44,78
Дождевание всех частей в фазе восковой спелости	3,03	2,35	0,68	0,77	0	0	47,71
Контроль всех вариантов	2,89	2,32	0,58	0,79	0	0	49,46

В первой, неинфекционной фазе увлажнения зерна, особенно при повышенной температуре во время фаз молочной, восковой, а также полной спелости зерна на корню, в валках и при высокой влажности семян резко возрастает (в 2,5 раза) активность гидролитических ферментов, главным образом амилаз. Одновременно протеолитические ферменты расщепляют белки и переводят их в низкомолекулярные азотистые вещества. Накопление водорастворимых веществ повышает осмотическое давление в клетках, что усиливает приток в них воды с влажной поверхности зерна в результате чего из зерна

выделяются сахара и азотистые вещества, и оно обедняется питательными веществами. Растворы органических веществ смачивают поверхность зерна, а также пленки и стержень колоса. При интенсивном развитии процесса колос на вкус становится сладковатым (роса медовка, медвяная роса).

Одновременно в зерне значительно усиливается дыхание. Синтезируемая при дыхании вода дополнительно увлажняет зерно, что еще более усиливает гидролитические и окислительные процессы. Нарастание процессов в неинфекционной фазе способно за 1–3 сут. привести к большим потерям массы, снижению урожая, ухудшению его посевных, технологических и кормовых качеств.

Для второй, инфекционной фазы болезни характерно заселение колосьев и зерна микробной флорой — грибами. При развитии грибов на растениях появляются черные точки или пятна различной формы и размеров, при глубоко зашедшем процессе — сплошной черный, реже розовато-белый налет плесени на зерне и на пленках колоса. Грибы, разрастаясь, быстро внедряются и во внутренние ткани зерна. Раньше считали, что для грибной черни или черной плесени достаточно высокой влажности и благоприятной для развития грибов температуры. Теперь становится очевидна необходимость для развития грибов питательной среды — продуктов осахаривания крахмала и гидролиза белков в первую, неинфекционную фазу истекания зерна.

Существенное значение имеют также продукты жизнедеятельности самих развивающихся на зерне грибов, прежде всего гидролитических и других ферментов, усиливающих распад его углеводов, белков, липидов и других веществ. Представления о сущности стекания позволяют лучше понять такие явления, как черный зародыш пшеницы, бактериальный меланоз (почернение ядра проса), а также накопление различных токсинов в зерне и продуктах его переработки.

К числу практических мер для защиты урожая от стекания зерна относятся проведение уборки и послеуборочной обработки урожая в сжатые сроки, максимальное сокращение разрыва между жатвой и обмолотом валков при отдельной уборке, правильный выбор при орошении последнего дождевания перед наливом зерна. Важное значение имеют: оптимизация

режима минерального питания злакового растения, поскольку в условиях орошения обеспеченность азотными удобрениями и микроэлементами (марганец) снижает стекание зерна; применение хлорхолинхлорида (препарата ТУР) и других ретардантов; селекция зерновых культур на устойчивость к стеканию и грибной черни пшеницы.

#### § 4. ЗЕРНО ПОЖЕЛТЕВШЕЕ

Пожелтение зерна наиболее характерно для риса. Примесь пожелтевших зерен в крупе портит внешний вид готовой продукции, придает крупе неприятный вкус, запах и ухудшает кулинарные свойства. При содержании в партии риса от 0,5 до 2% пожелтевших зерен невозможна выработка крупы высшего сорта. При содержании пожелтевших зерен более 5% невозможно получить крупу даже второго сорта. По размерам желтые зерна меньше нормальных (по длине и ширине на 2,0–0,5%).

Процесс пожелтения зерна риса начинается в хозяйствах, особенно когда валок лежит на мокрой почве или смачивается и уплотняется осадками. При длительном хранении на хлебоприемных предприятиях интенсивность окраски возрастает. Гибель зародыша также способствует пожелтению.

Условия, благоприятные для пожелтения, — это повышенная влажность зерна риса (более 20%) и температура (30 °C и выше). В результате накопления продуктов распада белков и углеводов происходит реакция меланоидинообразования, что и приводит к пожелтению зерна риса. Наблюдаемое при гидротермической обработке зерна риса при получении из него крупы нежелательное потемнение ядра — также результат меланоидинообразования. Ряд авторов считают, что желтую окраску оболочек вызывают соединения полифенольного характера. В желтых зерновках полифенолы под воздействием фермента монофенол-монооксигеназы (о-дифенолоксидазы) превращаются в о-хиноны, которые, в свою очередь, могут давать темноокрашенные соединения. Наиболее интенсивно окрашены плодовая и семенная оболочки.

Высказано предположение, что появившиеся в рисе свободные ненасыщенные жирные кислоты адсорбируются на повер-

хности крахмальных зерен и, окисляясь кислородом воздуха, образуют продукты желтого цвета. Некоторые авторы считают, что причина образования желтой окраски зерна риса — микроорганизмы — главным образом грибы и в отдельных случаях бактерии. Развиваясь на зерне, микроорганизмы выделяют окрашенные меланины. Опубликованы сведения о том, что некоторые штаммы грибов *Penicillium* и *Aspergillus*, вызывающие пожелтение зерна риса, выделяют токсичные вещества.

Однако не только пожелтевший, но и белый рис, зараженный некоторыми штаммами *Penicillium* и *Aspergillus*, также токсичен. Пораженный плесенью рис по внешнему виду напоминает зерно после термической обработки. При микробиологическом анализе разницы в микрофлоре белого и желтого риса не выявлено. Подводя итог экспериментальным и литературным данным, можно сделать вывод о том, что основная причина пожелтения риса — реакция меланоидинообразования. Микроорганизмы усиливают меланоидинообразование, поскольку, развиваясь, продуцируют активные ферменты и, следовательно, ускоряют распад органических веществ и образование свободных аминокислот и восстанавливающих сахаров — компонентов, из которых образуются меланоидины.

Токсичные вещества, обнаруживаемые в пожелтевшем рисе, по-видимому, представляют собой метаболиты грибной флоры.

Особенности химического состава пожелтевшего зерна представлены в таблице 79.

По химическому составу пожелтевшие зерна риса значительно отличаются от нормальных. Содержание сахарозы в них в 10 раз меньше, а глюкозы и фруктозы выше в 2—3 раза. Количество глюкозы увеличивается не только в результате распада сахарозы, но и в результате гидролиза крахмала.

Заметно изменение количества органического фосфора: в желтом зерне риса оно уменьшилось на 30%, а минерального одновременно возросло почти в 5 раз. Содержание белков в желтом зерне риса уменьшается при одновременном возрастании небелкового азота. Распад белков сопровождается образованием низкомолекулярных азотистых соединений (аминокислот, амидов).

**Химический состав шелушеного риса с белой,  
желтой и коричневой окраской**

Химические соединения	Рис		
	белый	желтый	коричневый
Углеводы:			
сахароза, γ/г	666,30	53,90	44,30
фруктоза, γ/г	65,30	167,60	180,40
глюкоза, γ/г	91,60	163,40	312,10
амилоза, γ/г	22,70	24,60	26,60
амилопектин, γ/г	77,30	75,40	73,40
Жир, мг/г	32,60	29,30	24,40
Кислотное число, мг КОН на 1 г жира	12,90	34,30	52,10
Фосфор, мг/г:			
общий	2,73	2,85	3,15
нуклепротеидов	0,48	0,41	—
фосфатидов	0,13	0,12	—
растворимый:			
органический	3,20	2,29	—
минеральный	0,13	0,65	—
Азот, мг/г:			
общий	13,04	13,17	13,80
белковый	8,52	7,21	6,98
небелковый	4,15	5,38	6,24
Белковые фракции, мг на 1 г:			
водорастворимая	0,10	0,11	0,12
солерастворимая	0,19	1,09	0,87
спирторастворимая	0,48	0,22	0,27
щелочерастворимая	6,75	5,79	5,72
Небелковые фракции, мг на 1 г:			
водорастворимая	1,06	1,07	1,81
нерастворимый осадок	3,09	4,31	4,43

Состав белков, особенно глобулинов и проламинов, также значительно изменился. Глобулинов в желтом зерне в пять с лишним раз больше, а проламинов, наоборот, в два раза меньше, чем в белом.

С появлением желтой окраски количество свободных аминокислот возрастает. Наиболее интенсивно накапливаются лизин, аргинин и глицин, содержание их увеличилось (соответственно) в 11; 6,4 и 5,3 раза по сравнению с белым зерном риса. Диастатическая активность возросла по сравнению с не-



пожелтевшим зерном риса от 125,5 до 204,2 мг мальтозы на 10 г сухого вещества.

Интенсивность дыхания желтых зерен риса выше по сравнению с нормальными зёрнами, и вместе с тем его характер у того и другого зерна неодинаков, что нашло отражение в величине дыхательного коэффициента (рис. 55). Зёрна риса с розовой или коричневой окраской после удаления цветковых оболочек, особенно из партий зерна риса, выращиваемого на крайнем юге страны, относятся к разновидности риса краснозерных форм. Примесь их засоряет посевы селекционных форм и ухудшает товарные и технологические свойства зерна риса.

Пожелтение может возникнуть и развиваться при хранении зерна риса. При пожелтении зерна риса содержание различных форм связанных липидов остается примерно одинаковым (первая цифра — белый рис, вторая — пожелтевший, % сухого вещества): свободные 2,63; 2,72; связанные 0,26; 0,20; прочносвязанные 0,16; 0,14. Суммарное содержание продуктов окисления липидов в пожелтевшем зерне риса составило 4,78% против 1,82% в белом зерне риса.

Изменение физико-химических показателей пожелтевшего зерна риса сказывается на его технологических (крупяных) достоинствах. В партии крупы, полученной из зерна риса с повы-

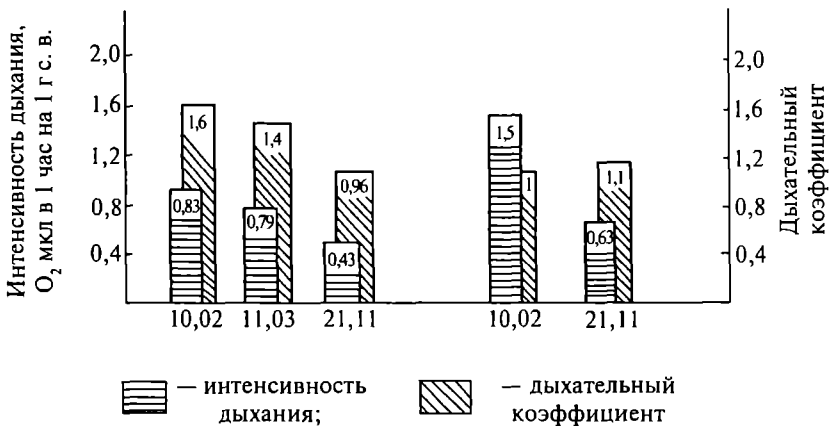


Рис. 55. Интенсивность дыхания пожелтевшего зерна при хранении риса

шенным содержанием пожелтевших зерен (с более интенсивной окраской, чем в начальной стадии пожелтения), желтых ядер больше, чем в зерне риса целом и рисе дробленом, на 1,0–1,5%.

Проведение мероприятий, предотвращающих пожелтение зерна риса, необходимо начинать в рисосеющих хозяйствах. К ним относятся: высушивание почвы на чеках, укладывание валков при косьбе на высокую стерню, обработка посевов десикантами, позволяющая применять однофазную уборку, сушка зерна риса различными способами и т. д. Радикальное средство предотвращения пожелтения зерна риса на хлебоприемных предприятиях — полное исключение самосогревания, своевременная и высококачественная сушка, соблюдение режимов хранения, в частности правильное применение вентилирования и охлаждения.

## § 5. ЗЕРНО, ПОВРЕЖДЕННОЕ КЛОПОМ-ЧЕРЕПАШКОЙ

Вредители зерна составляют большую группу клопов семейства щитников, относящихся к разным родам и видам и называемых хлебными клопами. Наиболее распространенный и вредный клоп — вредная черепашка (*Eurygaster integriceps* Put.). В южных районах на посевах зерновых наряду с вредной черепашкой встречаются другие виды клопов: австрийская черепашка (*Eurygaster austriaca* Schr.), маврский клоп (*Eurygaster maura* L.) и др. Эти клопы отличаются от вредной черепашки тем, что они имеют в различных районах относительно невысокую, но постоянную численность. Вспышек массового размножения, характерных для вредной черепашки, они не дают. В восточных районах заметные повреждения посевам пшеницы и ржи наносят несколько видов остроголовых клопов (из рода *Aelia* F.). Наибольший вред причиняют сибирская остроголовая черепашка, или сибирский клоп (*Aelia sibirica* Rent.), — вредитель колосьев и зерна. Поврежденные им зерна уменьшаются в массе на 20–50%.

Вредная черепашка повреждает все зерновые культуры, особенно пшеницу. В южной части РФ от нее больше всего страдает озимая пшеница. При сильном заражении, наблюдаемом

в годы массовых размножений, клопы-черепашки снижают урожай до 50% и больше и могут полностью погубить урожай. Полевые опыты показали, что пораженные семена, особенно в области зародыша, дают меньшее количество растений, более низкую продуктивность стеблей, меньшую среднюю длину колоса, более низкую массу 1000 зерен, большее количество мелких зерен, меньшую энергию прорастания и всхожесть, более слабую клейковину. По продуктивной кустистости, содержанию поврежденного черепашкой зерна, массе 1000 зерен и качеству клейковины наиболее устойчивы сорта Безостая 1, Мироновская юбилейная, Ранняя 12, Белоцерковская 198. Некоторые сорта сохраняют хлебопекарные достоинства при значительном количестве поврежденных зерен (до 6–10%).

Борьба с клопом-черепашкой представляет собой серьезную народнохозяйственную проблему. Уколы клопа-черепашки в стебель и колос перед колошением и в начале его вызывают недоразвитость зерна и белоколосость. Зерно, поврежденное до фазы восковой спелости, ссыхается, становится щуплым. Во всех случаях урожай снижается. Если зерно повреждено в фазе восковой спелости, на поверхности его обычно появляется темная точка укуса, окруженная резко очерченным пятном сморщившейся и беловатой оболочки. Эндосперм в месте укуса легко разрушается при надавливании. Клопы-черепашки (на 70–80%) наносят уколы в зоне зародыша, что приводит к снижению или потере всхожести. Всхожесть семян, поврежденных вредителями, зависит от места укула в зерне. При повреждении зерна в области зародыша полевая всхожесть семян снижается на 38%, при повреждении эндосперма — на 4%. Уколы клопов-черепашек уменьшают содержание в зерне общего азота. При автолизе муки из зерен (табл. 80), поврежденных клопами-черепашками, происходит необычайно сильный протеолиз.

Наблюдается большое накопление как общерастворимого, так и не осаждаемого трихлоруксусной кислотой азота, входящего в состав низкомолекулярных соединений: пептонов, пептидов и аминокислот. По содержанию азота нормальная и поврежденная части эндосперма резко различаются в результате всасывания его клопами-черепашками в точке нанесения уко-

Изменение фракций водорастворимого азота в нормальном и поврежденном зерне при автолизе

Зерно	Содержание азота, % к общему азоту навески			
	водорастворимый	неосаждаемый CCl <sub>3</sub> COOH	водорастворимый	неосаждаемый CCl <sub>3</sub> COOH
	<i>1-я проба</i>			
Нормальное	12,5	7,6	22,7	16,1
Поврежденное	22,0	16,3	52,7	43,8
	<i>2-я проба</i>			
Нормальное	10,0	4,7	21,2	13,4
Поврежденное	19,9	14,0	56,9	42,3

ла. Укол клопа повышает содержание в поврежденной части эндосперма спирторастворимого азота.

Водорастворимый азот, особенно азот, не осаждаемый из водного экстракта трихлоруксусной кислотой, т. е. азот низкомолекулярных продуктов ферментативного расщепления белка, в поврежденной части составляет в среднем половину. В поврежденной части также заметно возрастает титруемая кислотность спиртовой вытяжки. При механическом разделении поврежденных и неповрежденных частей зерна было установлено, что наносимое клопом-черепашкой повреждение локально. Глубокие биохимические изменения зерна при его поражении происходят под влиянием мощных протеолитических ферментов, выделяемых слюнными железами клопа-черепашки при уколе. Первые стадии действия протеиназ сопровождаются дезагрегированием белка, что сказывается в изменении его физических свойств, в частности вязкости. Наилучшие условия для действия растворяющих клейковину ферментов соответствуют нейтральной и слабой щелочной реакции при рН 8,2.

Большие различия выявлены в составе поврежденной и неповрежденной частей зерна (табл. 81).

Ферменты, вырабатываемые вредителем, могут гидролизовать белки и углеводы. Изменения в поврежденном зерне в сильной степени влияют не только на технологические, но и на посевные качества зерна. В нем происходят глубокие физиологические изменения — повышается интенсивность дыха-

ния, увеличивается активность ферментов. При поражении клопом-черепашкой возрастает также активность амилаз, особенно в зоне нанесения укула. При повреждении пшеницы клопом-черепашкой в фазе молочной спелости синтезирующая активность фосфорилазы резко снижается. По наблюдениям, она была в 12 раз ниже, чем в контроле.

Пораженное зерно, особенно в зоне укула, более интенсивно дышит. Так, отношение интенсивности дыхания пораженного зерна к уровню дыхания здорового составляло 1:1,01 (при поражении 0,3%) и 1:1,26 (при поражении 4,5%). Содержание свободных аминокислот, и прежде всего тирозина, с возрастанием поражения зерна клопом-черепашкой увеличивается. Мука из зерна, поврежденного клопом-черепашкой, имеет низкие хлебопекарные достоинства, разрушенную клейковину. В пораженном зерне клейковина не отмывается, в частично пораженном количестве ее уменьшено, и качество резко ухудшено. Тесто становится жидким, непод-

Таблица 81

**Фракции зерна и титруемая кислотность нормальной и поврежденной частей эндосперма**

Часть зерна	Общий азот, %	Спиргорастворимый азот, % к общему	Отношение б:а*	Водорастворимый азот, % к общему	Отношение б:а*	Азот не осаждаемый $CCl_3COOH$	Отношение б:а*	Кислотность спиртовой вытяжки, град
<i>1-я проба</i>								
Нормальная	2,56	40,1	1,18	12,9	3,57	9,1	4,5	2,6
Поврежденная	1,28	47,1		47,4		41,0		4,3
<i>2-я проба</i>								
Нормальная	2,76	39,3	1,13	17,2	3,33	14,8	3,6	5,5
Поврежденная	1,14	44,6		57,3		54,2		7,0
<i>3-я проба</i>								
Нормальная	2,84	43,4	1,23	19,1	3,13	15,6	3,5	5,0
Поврежденная	1,39	59,8		54,2		51,4		5,5

\* Отношение количества азота в поврежденной части зерна (б) к нормальной (а).
















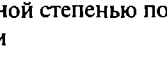
Альвеограммы	Поврежденность зерна, %	Величина поврежденности зерна	Удельная работа деформации теста 10→Dm	Разжижение теста в единицах фаринографа	Отношение высоты к диаметру подового хлеба	Фаринограммы
		-	346	30	0,8	
	2	1/4	273	90	0,54	
	2 4-5	1/2-1/4	207	110	0,52	
	2 4-5	3/4	170	150	0,25	
	8-10	1/2-1/4	110	190	0,25	
	4-5	3/4	65	230	0,15	
	12-15	1/4	63	240	0,15	
	8-10	1/2	42	260	0,15	

Рис. 56. Физические свойства теста из пшеницы с разной степенью поврежденности клопами-черепашками

нимающимся, при выпечке получается хлеб низкого качества, с небольшим объемом, плотный, с темной коркой, покрытой мелкими трещинами, в результате увеличения количества свободного тирозина и усиливающегося меланоидинообразования.

На рисунке 56 приведена характеристика физических свойств теста из муки, полученной из зерна пшеницы с разной степенью поврежденности клопами-черепашками. Ухудшение хлебопекарного достоинства связано, прежде всего, с глубокими изменениями клейковины и белкового комплекса в целом. Характерная особенность зерна пшеницы с наличием поврежден-

ных зерен — высокое содержание в нем продуктов протеолиза — водорастворимого и спирторастворимого азота (рис. 57). При определении клейковинного белка в контрольной пробе отношение азота глиадина к азоту глютеина составило 1:1,12 и из зерна, поврежденного клопом-черепашкой, — 1:4,21.

Исследователи называют разное количество поврежденных зерен, при котором уменьшается количество клейковины и ухудшается ее качество, что связано с неодинаковыми исходными качеством и глубиной повреждения индивидуальных зерен. Сильная пшеница наиболее часто при поражении клопом-черепашкой на 3—4% переходит в группу слабой. Качество клейковины заметно изменяется при небольшом повреждении зерна клопами-черепашками (1%). Из рисунка 58 видно, что, чем в более раннюю фазу созревания зерно повреждено клопом-черепашкой, тем хуже его качество. В снижении качества поврежденного зерна главную роль играет повышение активности протеолитических ферментов и наряду с этим заметное нарушение слаженности других ферментных систем, что изменяет физиологические процессы синтеза и формирования зерна. Наиболее резко активность амилолитических ферментов меняется в зерне пшеницы, поврежденном клопом-черепашкой в молочной фазе созревания.

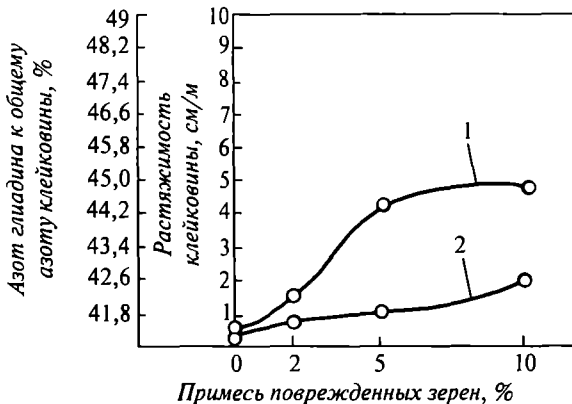


Рис. 57. Влияние примеси поврежденных клопами-черепашками зерен на растяжимость пшеничной клейковины и содержание в ней глиадина: 1 — азот клейковины, к общему азоту клейковины, %; 2 — растяжимость клейковины, см/мин

Поражение зерна пшеницы остроголовыми клопами-черепашками имеет свои особенности. Содержание клейковины в таком зерне несколько снижается, а качество ее почти не изменяется. Содержание сырой клейковины в зерне пшеницы, пораженной остроголовыми клопами-черепашками, в одном случае при содержании поврежденных зерен (%) составило: до 5 — 28,2%, от 5 до 10 — 27% и от 10 до 25 — 25,8%, в другом случае (соответственно) — 28; 25; 23,5%. Качество клейковины ухудшалось незначительно и оставалось в пределах одной и той же II группы. При уколе зерна остроголовым клопом эндосперм под пятном, как и при поражении вредной черепашкой, рыхлый.

Семенам подсолнечника наиболее сильные повреждения наносит ягодный клоп. Уменьшается масса 1000 семян, сни-

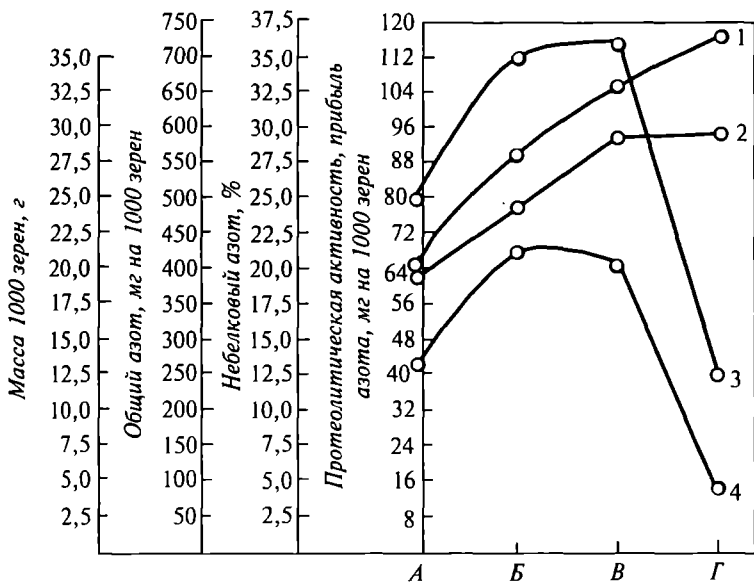


Рис. 58. Масса 1000 зерен и биохимические особенности зерна пшеницы Саратовская 29, пораженного клопом-черепашкой в разные фазы спелости. Зерно, поврежденное в фазе спелости:

А — молочной; Б — ранней восковой; В — поздней восковой; Г — зерно, созревшее на корню без повреждения; 1 — содержание общего азота; 2 — масса 1000 зерен; 3 — протеолитическая активность, средняя прибыль азота; 4 — небелковый азот



жаются энергия прорастания (на 40%) и всхожесть (на 45%), резко падает масличность (до 9%), значительно ухудшается качество масла.

Пищевая ценность поврежденного зерна снижается. Это связано с тем, что часть белковых и других веществ потребляется черепашкой.

Наиболее существенное ухудшение технологического достоинства пораженного зерна пшеницы, прежде всего хлебопекарного, вызывает повреждение его белково-протеинозного комплекса. Определенное значение имеет также изменение углеводно-амилазного комплекса и других веществ зерна. По действующему стандарту зерно пшеницы, пораженное клопом-черепашкой, определяют визуально (по наличию следа укула — темной точки и характерной вдавленности пятна). Этот метод неточен, так как позволяет определять только факт повреждения, но не дает возможности установить степень этого повреждения.

Большое значение для глубины повреждения имеет фаза созревания, на которой повреждено зерно, сорт и другие природные особенности зерна, повреждение зерна другими полевыми вредителями (личинками пшеничного трипса, которые, оставляя на зерне темную точку и снижая массу зерна, не ухудшают его хлебопекарного достоинства) и т. д. Разработаны и другие способы оценки технологического достоинства зерна пшеницы с использованием физических и биохимических показателей. К ним относят следующие измерения: протеолитической активности содовых вытяжек из зерна или муки; количества продуктов протеолиза (главным образом, тирозина); физических свойств теста; физических свойств клейковины; количества азота, не осаждаемого трихлоруксусной кислотой; степени пептизации клейковины, регистрируемой на нефелометре. Наилучшие из способов оценки технологического достоинства зерна пшеницы — пробная выпечка и анализ качества хлеба.

В условиях хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятий для распознавания степени поражения зерна пшеницы клопами-черепашками наиболее приемлемы методы определения количества и качества клейковины, а также расплываемости шарика теста.

Для улучшения технологического достоинства зерна пшеницы, пораженного клопом-черепашкой, его смешивают со здоровым зерном. Протеолитические ферменты клопа-черепашки обладают высокой активностью, при глубоком поражении примесь небольшого количества поврежденного зерна затрудняет получение удовлетворительной смеси. Существенное значение имеет также различная атакуемость белков протеолитическими ферментами. Некоторые сорта пшеницы очень устойчивы к их воздействию. Однако клейковина большинства сортов легко расщепляется, ограничивая эффект улучшения при смешивании, поэтому приходится очень осторожно и только после тщательной опытной проверки вводить пораженное зерно в смесь.

При подготовке пшеницы к помолу целесообразно применять комбинированное воздушно-ситовое сепарирование для выделения наиболее легких и щуплых зерен, образовавшихся при раннем повреждении. Установлено, что пораженные части зерна, поврежденного клопом-черепашкой, менее прочные, при ударе выкрашиваются. На основе этой особенности разработана технологическая схема переработки такого зерна, в которой пораженные участки удаляются, а остальная часть поврежденного зерна дает муку удовлетворительного качества. Особенность схемы заключается в том, что пораженное зерно интенсивно обрабатывают на обоечных машинах и муку с I драной системы удаляют. Общий выход муки снижается на 2,0–2,5%, что компенсируется улучшением качества продукции. Для интенсификации и механизации удаления, пораженных клопом-черепашкой участков зерновки пшеницы зерно многократно соударяют с игольчатой поверхностью.

Качество клейковины зерна, пораженного клопом-черепашкой, может быть улучшено термической обработкой — нагреванием при температуре 70–80 °С в течение нескольких часов. Хороших результатов достигают при горячей и скоростной гидротермической обработке пораженного зерна. При длительном хранении пораженного зерна и особенно муки активность протеаз ослабляется, и хлебопекарное достоинство несколько улучшается. Разработаны многочисленные методы,

позволяющие повышать качество хлеба из зерна, пораженного клопом-черепашкой: повышение кислотности теста, резко тормозящее протеолиз; увеличение количества соли в тесте, улучшающее физическое состояние клейковины и др.

На хлебозаводах, кроме того, вносят следующие изменения в технологический процесс тестоведения и выпечки: готовят тесто ускоренным способом, чтобы клейковина при брожении подвергалась наименьшему разрушающему действию протеиназ; сокращают расстойку; хлеб выпекают при повышенной температуре пекарной камеры; тесто готовят на жидких дрожжах. До сих пор мы говорили о преодолении разрушающего действия клопа-черепашки на зерно при его хранении и переработке. Однако необходимо стремиться к тому, чтобы не допустить повреждений зерна клопом-черепашкой или свести эти повреждения к минимуму.

## § 6. ЗЕРНО С ГОРЬКОПОЛЫННЫМ ВКУСОМ И ЗАПАХОМ

В посевах зерновых часто встречаются сорные растения — полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.) и полынь Сиверса (*A. Sieversiana* Willd). При уборке соцветия (корзинки) полыни попадают в зерно. Зерно приобретает специфический полынный запах и сильную горечь.

При обычной схеме помола горькополынное зерно дает горькую муку, горечь сохраняется и при выпечке хлеба. Запах горькополынного зерна связан с эфирными маслами, входящими в состав корзинок полыни горькой и полыни Сиверса, горький вкус — с другими веществами. Горькое вещество полыни горькой выделено и называется абсинтином. Из корзинок полыни Сиверса выделены эфирное масло и горькое вещество, близкие по своим физическим и химическим свойствам аналогичным веществам полыни горькой.

Абсинтин представляет собой аморфное вещество, окрашенное в слабо-желтый цвет, плавящееся при температуре 65 °С (эмпирическая формула  $C_{15}H_{20}O_4$ ). Абсинтин растворяется в спирте, эфире и воде, хорошо адсорбируется из водных

растворов активированным углем. С повышением температуры растворимость абсинтина в воде возрастает. При последовательном разведении 0,0001%-ный раствор имеет ощутимый горький вкус. Наибольшее количество абсинтина концентрируется в периферийных слоях зерна. Степень горечи зерна возрастает с увеличением его влажности. Зерно приобретает горечь двумя путями: накоплением полынной пыли на поверхности зерна и проникновением в зерновку растворенного в воде абсинтина. Механическое удаление полынной пыли (перетиранием и отвеиванием) значительно снижает горечь зерна. Мойка зерна теплой водой перед помолом позволяет полностью удалить абсинтин из зерна. С использованием этих приемов разработаны способы очистки и размола горькополынного зерна на мукомольных заводах, позволяющие получать из такого зерна нормальную по вкусу и запаху муку.

## § 7. ЗЕРНО С ЧЕРНЫМ ЗАРОДЫШЕМ

В районах Западной и Восточной Сибири и на Северном Кавказе наблюдается заболевание зерна пшеницы, называемое черным зародышем. Болезнь снижает валовые сборы и качество зерна. Черный зародыш поражает также рожь и ячмень. Признаки болезни — бурая, темно-коричневая или даже черная окраска оболочек зародышевого конца зерна. Сам зародыш при этом часто остается неповрежденным. Болезнь вызывают главным образом грибы *Alternaria tenuis* Nees (альтернариоз) и реже *Helminthosporium sativum* P. K. et B. (гельминтоспориоз). Поражение зерна этими грибами происходит в поле во время формирования и созревания зерна. Поражение черным зародышем семян твердой пшеницы может достигать 12–33%, мягкой — 4–24%, а в областях Западной Сибири — 5–40%. Встречаются партии зерна, в которых пораженные зерна составляют 50–60%.

По содержанию сахарозы, глюкозы и фруктозы альтернариозное зерно не отличается от неповрежденного. В гельминтоспориозном зерне содержание фруктозы и глю-

козы увеличивается, а количество сахарозы уменьшается. Зольность зерна с черным зародышем при обеих формах заражения превышает зольность зерна нормальной окраски. Кислотное число жира из зерна с черным зародышем нередко остается тем же или немного повышается по сравнению с нормальным. Однако в большинстве случаев в пораженном зерне оно возрастает (в среднем в альтернариозном зерне на 4 мг КОН и в гельминтоспориозном — на 3,5 мг КОН). Кислотность зерна по болтушке в пораженном зерне увеличивается, особенно в зерне гельминтоспориозном.

По содержанию крахмала зерно с черным зародышем существенных изменений не имеет, а диастатическая активность в обоих случаях инфекции выше, чем у нормального (рис. 59). У альтернариозного зерна она составила 155 мг мальтозы (у нормального 110 мг мальтозы) и у гельминтоспориозного 220 мг мальтозы (у нормального 166 мг мальтозы). В пшенице с примесью зерен с черным зародышем и влажностью до 14% содержание таких зерен при хранении остается без существенного изменения, но при хранении этих партий в условиях повышенной относительной влажности и температуры воздуха в результате скрытой зараженности может происходить небольшое увеличение количества зерен с черным зародышем. Всхожесть и жизнеспособность зерна с черным зародышем за 9 мес. хранения практически не изменяются. При хранении диастатическая активность зерна с черным зародышем возрастает. Кислотное число жира при хранении у зерна с черным зародышем растет несколько быстрее, чем у нормального.



Рис. 59. Диастатическая активность при хранении зерна пшеницы с черным зародышем:

1 — зерно нормальное (образец 1); 2 — зерно гельминтоспориозное; 3 — зерно нормальное (образец 2); 4 — зерно альтернариозное

По данным Института питания АМН РФ, зерно с черным зародышем может быть использовано на продовольственные цели, так как оно нетоксично. Большое количество зерен с черным зародышем в партии зерна изменяет цвет муки, ухудшает его товарную ценность и хлебопекарные достоинства. Зерно с черным зародышем не рекомендуется хранить более одного года. Размещать его следует в зависимости от содержания пораженных зерен отдельно. Из партий с примесью пораженных зерен выделяют для отдельного хранения партии твердой пшеницы, используемой для изготовления макарон, содержащие зерна с черным зародышем до 8%, а также партии мягкой пшеницы, используемой для хлебопечения, с содержанием пораженных зерен до 30%. Эти партии зерна перерабатывают в муку без предварительного смешивания. Во всех остальных случаях партии зерна с черным зародышем следует перерабатывать в муку только в смеси с нормальным зерном. Большое значение при подготовке пораженного зерна к помолу имеет эффективная работа обоечных, щеточных машин и их пневмосепарирующих устройств, а также отжимных колонок моечных машин. Они могут снизить содержание зерен с черным зародышем на 40–50%.

## **§ 8. ЗЕРНО, ПЕРЕЗИМОВАВШЕЕ В ПОЛЕ**

Бывают случаи, когда неубранные посевы уходят под снег, зимуют в поле. Презимовавшее в поле зерно может стать ядовитым. При употреблении в пищу такого зерна отмечены массовые заболевания людей, сопровождающиеся высокой смертностью. Наиболее токсичны презимовавшие под снегом просо, гречиха, менее токсичны пшеница, рожь, ячмень и др. Токсичность в значительной степени зависит не только от зерновой культуры, но и от времени сбора и условий зимовки.

При использовании ядовитого зерна, презимовавшего в поле, на кормовые цели наблюдались заболевания и падеж сельскохозяйственных животных. Презимовавшее зерно, сохранившее способность к прорастанию, не содержит токсичных веществ. На ядовитом зерне обнаружено несколько видов микроскопических грибов, но чаще всего и в пресоб-

ладающем количестве гриб *F. sporotrichiella* — основной возбудитель токсинообразования. Установлено, что гриб *F. sporotrichiella* в зависимости от степени поражения зерна, токсичности отдельных рас и разновидностей может вызывать и другие заболевания: острый споротрихиеллотоксикоз, кишечную дистрофию и т. д.

Зерно приобретает ядовитые свойства не только после перезимовки под снегом. Влажное зерно может поражаться грибами и становиться токсичным при хранении в поле в обмолоченном или необмолоченном виде в зимний период, когда оно сложено в большие бунты и долгое время лежит под дождем, когда при запоздалой уборке оно собрано в неблагоприятных метеорологических условиях.

В ядовитом зерне происходят заметные деструктивные процессы, идущие под влиянием микроорганизмов, развивающихся на нем особенно интенсивно весной, во время таяния снегов. Ядовитое просо отличается от доброкачественного повышенным содержанием небелкового и аминного азота. В ядовитом зерне повышено содержание азота, извлекаемого водой, 10%-ным раствором NaCl и 70%-ным раствором этанола. В экстракте, полученном из ядовитого зерна 90%-ным раствором этанола, содержится 0,38% аминного азота, в то время как в таком же экстракте из доброкачественного зерна его нет. В ядовитом зерне меньше крахмала, чем в доброкачественном, повышена активность  $\alpha$ -амилазы и резко снижена активность пероксидазы (табл. 82).

Большим изменениям подвергается жир зерна, перезимовавшего в поле. В токсичном просе (табл. 83) содержание жира понижено. Кислотное и пероксидное числа, а также число каприловой кислоты в токсичном зерне по сравнению с нормальным значительно выше. Гидролиз, образование пероксидов и накопление каприловой кислоты — продукта окислительного распада высокомолекулярных жирных кислот — сопровождают прогоркание жира. Возрастание названных показателей указывает на то, что жир, содержащийся в токсичном просе, подвергся глубокому окислительному распаду. Для оценки токсичности зерна используют реакцию аппликации жира на коже кролика — жир из токсичного зерна оказывает сильное

физиологическое действие на кожу белого кролика, вызывая покраснение, отек, некроз тканей, геморрагин и даже образование язв. Установлено, что токсический эффект масла из перезимовавшего в поле ядовитого зерна вызван продуктами окисления ненасыщенных жирных кислот.

Установлено, что этаноловые экстракты из масла, выделенного из ядовитого зерна, перезимовавшего в поле, угнетают спиртовое брожение, вызываемое дрожжами, а также и их размножение. Аналогичный этаноловый экстракт из самосогрев-

Таблица 82

**Биохимические особенности перезимовавшего в поле ядовитого проса**

Наименование	Перезимовавшее в поле зерно	
	доброкаче- ственное	ядо- витое
Азот общий, % сухого вещества	2,14	2,15
В том числе, % к общему азоту:		
небелковый	6,50	9,50
аминный	1,00	2,00
Азот растворимый и нерастворимый, % к общему азоту:		
водорастворимый	6,45	6,75
растворимый в 10%-ном растворе NaCl	8,65	9,93
растворимый в 70%-ном растворе этанола	1,12	1,59
растворимый в щелочном 70%-ном растворе этанола	2,11	1,43
растворимый в 0,2%-ном растворе NaOH	7,44	6,20
в остатке (нерастворимый)	73,32	72,17
сумма	96,10	98,07
Азот в спиртовом экстракте, %:		
общий	1,28	2,19
небелковый	0,29	0,41
аминный	0	0,33
Сахара в спиртовом экстракте, %:		
монозы	0,14	0,10
сахароза	1,07	0,56
мальтозоподобные	3,04	2,47
Активность ферментов:		
осахаривающая способность амилазы, мг мальтозы	86,90	88,70
активность каталазы, мл 0,1 н КМпО <sub>4</sub>	23,40	22,70
активность пероксидазы, усл. ед.	19,40	11,00



Таблица 83

## Характеристика масла из перезимовавшего в поле токсичного проса

Наименование	Просо нормальное	Светлые ядовитые зерна	Темные ядовитые зерна
Выход жира, % сухого вещества	3,41	3,07	2,74
Число:			
кислотное, мг КОН	14,30	24,40	35,90
йодное, г йода	31,20	115,40	117,80
ацетальное, мг КОН	54,90	35,10	32,40
пероксидное, усл. ед.	2,10	5,70	6,30
омыления, мг КОН	184,70	195,50	192,60
каприловой кислоты, усл. ед.	1,18	1,92	2,56
Жирные кислоты, %	88,70	83,70	83,80
Неомыляемый остаток, %	5,30	8,30	5,60

шегося, сильно заплесневевшего зерна при тех же условиях не влияет на брожение и размножение дрожжей. В составе свободных липидов перезимовавшего зерна преобладают ядовитые жирные кислоты, в то время как у связанных липидов— ядовитые неомыляемые вещества. Из неомыляемой фракции связанных липидов перезимовавшего под снегом ядовитого проса выделен токсичный стерин (липотоксол) с температурой плавления 169–170 °С.

Липотоксол вызывает тяжелые заболевания сердца, кожи и крови у человека. Отравление людей и животных перезимовавшим в поле просом вызвано несколькими ядовитыми веществами, в основном токсичным стеринном. Разработан химический метод определения токсичных свойств зерна, основанный на использовании тонкослойной хроматографии в сочетании с люминесцентным анализом. Метод дает совпадающие результаты с биопробами на животных.

Во всех случаях подозрения на токсичность или визуальной повышенной обсемененности микроскопическими грибами зерно и продукты его переработки должны быть проверены в лаборатории в соответствии с Методическими указаниями, утвержденными Минздравом РФ. Для этого отбирают пробы в соответствии с установленными правилами и направляют их на исследование в ближайшую санитарно-эпидемиологическую станцию.

## § 9. ЗЕРНО, ПОРАЖЕННОЕ ФУЗАРИОЗОМ

Грибы из рода *Fusarium* поражают злаковые растения, перезимовавшие в поле, кроме того, они вызывают гибель всходов, загнивание корневой системы, потемнение и увядание листьев, бесплодие колоса и другие поражения колоса, сопровождающиеся ухудшением качества зерна. С ними связано образование щуплого, легковесного, а также ядовитого зерна.

Явно фузариозные зерна обычно щуплые и нежизнеспособные. Грибница фузариума в этом случае пронизывает все зерно целиком, что происходит в результате глубокого поражения семян при раннем заражении колосьев в поле, в фазе молочной и в начале восковой спелости. При скрытой форме фузариозного поражения грибница гриба распространяется в наружных слоях зерновки (в плодовой и семенной оболочках). Она появляется в случае позднего заражения или слабого раннего поражения колоса на корню, а также при инфекции семян во время уборки или в условиях хранения при повышенной влажности.

Исследования, проведенные как у нас, так и за рубежом, свидетельствуют, что микотоксины, продуцируемые грибами *Fusarium*, являются наиболее широко распространенными в мире микотоксинами. Интерес к фузариотоксинам резко возрос в последние годы в связи с появлением новых данных об их токсических свойствах, в частности их способности даже в незначительных количествах нарушать регуляцию продукции иммуноглобулинов, действовать как канцерогены или как протоморы — механизмы усиления генетической информации — канцерогенеза. Результаты экспериментальных и эпидемиологических наблюдений указывают на потенциальную связь фузариотоксинов с такими заболеваниями у человека как нефропатия (некоторые виды поражений почек). Возбудителями фузариоза зерновых культур наиболее часто являются такие виды рода *Fusarium* как *F. graminearum*, *F. sporotrichiella*, *F. semitectum*, *F. avenaceum*. Фузариозом поражаются практически все злаковые культуры, наиболее распространен и вреден фузариоз колоса и зерна пшеницы, а в определенные годы и ячменя. Поражение колоса пшеницы возбудителями фузариоза сопровождается

проникновением гриба в завязь зерновки, что препятствует ее нормальному развитию. Значительно изменяется жизнеспособность семян, анатомическое строение и размер зерновки, что приводит к ухудшению показателей качества зерна. Всхожесть семян уменьшается, а при значительном повреждении они полностью нежизнеспособны.

Основные ареалы заболевания расположены на юге России — в Краснодарском и Ставропольском краях. В нашей стране для микотоксинов грибов рода *Fusarium* установлены следующие ПДК:

дезоксиниваленол (ДОН, vomитоксин)

• рядовая мягкая пшеница	0,5 мг/кг;
• сильная и твердая пшеницы	1,0 мг/кг;
зеараленон	1,0 мг/кг;
токсин Т-2	0,01 мг/кг.

ВНИИЗом разработаны безопасные условия хранения фузариозного зерна пшеницы.

Условия хранения	Числовое значение			
Температура, °С	13	19,5	27,0	35,0
Исходная влажность зерна, %	16,5	19,2	23,6	28,8
Продолжительность хранения, сут.	5	13	25	36

При опытном сортовом помоле мягкой пшеницы установлено, что наиболее загрязненными оказались отруби. На них приходилось в среднем около 60% от общего количества ДОН в зерне. Применяемое на хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятиях сепарирование позволяет удалять из фузариозной пшеницы 20–30% содержащегося в зерновой массе ДОН. Переработка фузариозного зерна пшеницы позволяет довести концентрацию ДОН в сортовой муке и хлебе в следующих количествах (мг/кг):

Зерно	— 0,5
зерно после очистки	— 0,38
мука высшего сорта	— 0,35
мука I сорта	— 0,39
мука II сорта	— 0,39

крупка макаронная	— 0,30
крупка манная	— 0,24
отруби	— 1,10
хлеб пшеничный	— 0,30

В практике использования зерна, пораженного фузариозом, применяют примешивание его к партиям здорового зерна. Количество фузариозного зерна, добавляемого к нормальному зерну, рассчитывают в зависимости от степени пораженности зерна в зараженной партии. Одни считают, что для пищевого зерна максимум фузариозного поражения не должен превышать 3–5%, другие находят возможным получение нормального хлеба при добавлении к муке из здорового зерна до 15% муки из зерна, пораженного фузариозом. При скармливании скоту фузариозного зерна его в небольших количествах добавляют к здоровому. Эффективен прогрев фузариозного зерна в сухом виде при температуре 80–90 °С в течение 2–3 ч. Фузариоз не подавляет процессы брожения, поэтому зерно, пораженное им, может быть использовано в ацетонобутиловой промышленности. Это тем более важно, что ацетонобутиловая промышленность использует как сырье муку обойного помола из вполне доброкачественного зерна.

К мерам борьбы с фузариозом относят следующие: очистку и предпосевную обработку семян; своевременную уборку хлебных злаков, их обмолот и сушку; протравливание семян; агротехнические мероприятия. Многие виды грибов рода *Fusarium* — сапрофиты, поэтому они могут развиваться на зерне после его уборки и во время зимнего хранения, причем; гриб пораженного зерна может заразить и здоровое зерно. При сильной степени развития гриба во время хранения разросшийся мицелий может цементировать всю массу зерна в плотные комья. Зерно, убранное в сырую погоду или пораженное грибом, нельзя смешивать со здоровым и следует хранить отдельно.

Розово-красная окраска зерна — не всегда признак заражения фузариозом. Установлено, что розовая и красная окраска зерна имеет грибное происхождение и вызывается стерильным мицелием Ордина. При замачивании розово-красные зерна быстро теряют окраску, вода становится розовой. При подо-

зрения на фузариозное происхождение розовоокрашенных зерен отобранные пробы направляют в санэпидстанцию или ветеринарную лабораторию для токсикологического анализа. Партию зерна в этом случае используют в зависимости от получаемого заключения.

Наличие в партиях зерна пшеницы и ржи розовоокрашенных зерен нефузариозной природы не отражается на их биохимических и технологических свойствах. Зерно с признаками фузариоза и содержанием розовоокрашенных зерен более 1% недопустимо использовать на продовольственные цели. Такое зерно, если оно окажется нетоксичным по заключению ветеринарных или санитарных лабораторий, направляют для использования на фураж, а если токсичным — на технические цели.

## § 10. ЗЕРНО МЕЛАНОЗНОЕ

Почернение ядра проса (меланоз) распространено во всех прососеющих районах страны. В последние годы на хлебоприемные предприятия и в переработку поступает просо с содержанием меланозных зерен 1,3–2,7%, а в отдельные годы — до 10,0%. Меланоз ухудшает качество семенного и продовольственного зерна. Литературные данные позволяют считать болезнь результатом комплексной инфекции, вызываемой грибами *Helminthosporium panici* — *milcei* и бактериями *Pseudomonas. panici* и *holci*. Исследованиями ВНИИЗа получена разносторонняя характеристика зерна проса.

Меланозные ядра с пятнами различного цвета, формы и размеров, покрывающих их до 50–60%, относят к зерновой примеси. К сорной примеси относят полностью испорченные ядра — меланозные, белесые с серовато-белым, рыхлым эндоспермом.

Существенное значение для развития меланоза имеет неплотная сомкнутость цветковых оболочек зерновки, способствующая проникновению микроорганизмов к ядру. Селекция проса направленная на выведение сортов с плотно сомкнутыми цветковыми оболочками может стать эффективным средством в защите этой культуры от меланоза. В зависимости от степени повреждения у меланозных зерен на 10–35% меньше масса 1000 зерен, на 15–65 % меньше прочность. Для меланозных зерен

характерно повышенное содержание водорастворимых белков (первая цифра в неповрежденных, вторая — в поврежденных зернах) 7,1; 19,3% с одновременным уменьшением спирторастворимых белков 74,2; 62,1%. Меланозные зерна обсеменены в 3–3,5 раза больше, чем не поврежденные микроорганизмами с преобладанием грибов *Aspergillus*, *Cladosporium* и *Alternaria*. Зерна, пораженные меланозом, более гигроскопичны (на 0,4–1,5%), их критическая влажность 12–13%, что на 0,5–1,0% ниже зерен неповрежденных. Интенсивность дыхания возрастает при пораженности на 3–4% — в 2 раза и более раз. Режимы хранения должны быть разными для зерна, поврежденного до 3% и свыше 3%.

При неблагоприятных условиях хранения (влажность зерна, температура воздуха, исходное содержание меланозных зерен) содержание меланозных зерен возрастает. При содержании меланозных зерен 0,5–3% сроки безопасного хранения сокращаются в 1,5–2 раза. Пораженное меланозом зерно при очистке и переработке отделяется недостаточно эффективно (на 40%). Крупа получается низкого качества, в основном II сорта с уменьшением общего выхода на 1,5–2,5%.

## § 11. ЗЕРНО, ПОРАЖЕННОЕ ГОЛОВНЕЙ

Головня вызывается грибами из класса базидиальных. Она может поражать все ведущие культуры (пшеницу, рожь, ячмень, овес, кукурузу, просо и др.), на долю которых приходится до 80% посевных площадей. Небольшое повреждение хлебов приводит к значительному снижению урожая и качества зерна. При поражении твердой (вонючей, мокрой) головней (возбудители — грибы вида *Tilletia tritici* и *Tilletia levis*) содержимое зерна разрушается, сохраняется только оболочка. Зерно превращается в головневые мешочки, заполненные темной мажущейся споровой массой с неприятным запахом триметилamina. Споры загрязняют муку.

С примесью спор мокрой головни мука приобретает неприятный запах испорченной сельди и темный (грязный) цвет. Хлеб из такой муки плохо пропекается, имеет сладкий вкус и неприятный запах, корку серовато-коричневого цвета, с над-

рывами. Стеблевая головня снижает содержание сырой клейковины и ухудшает ее качество.

Споры головни принято считать вредной примесью. По действующим правилам пшеница, содержащая свыше 10% мараных или 10% синегузочных зерен, должна быть направлена для переработки в муку на мукомольные заводы, имеющие моечные машины. Очистка зерна от спор головни «сухим» способом, при котором его пропускают через зерноочистительные машины (щеточную и обочную, пневмоасpirаторы) не обеспечивает снижения количества спор головни до 0,05%. Наилучший вариант, при котором до 99% спор удаляется с поверхности зерна, — трехкратная обработка на щеточных машинах с пропуском после каждой машины через пневмоасpirатор или на щеточной и обочных машинах в сочетании с мойкой.

По Правилам организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах содержание спор головни в зерне, направляемом в помол после очистки (на I драную систему), допускается не более 0,05% (вместе со спорыньей и семенами горчака ползучего, вязаля разноцветного и термопсиса ланцетного). Хорошие результаты получаются при подмешивании незасоренного спорами зерна (65% и более). Общий выход муки из зерна с примесью головневых зерен при 72%-ном помоле снижается в результате исключения потоков муки с последних драных и размольных систем с наибольшим содержанием головневых спор. Наиболее темной при таком помоле получается мука с III драной и 3-й размольной систем, наиболее светлой — с 1-й и 2-й размольных систем.

## § 12. ЗЕРНО, ПОРАЖЕННОЕ СПОРЫНЬЕЙ

Спорынью вызывает гриб из класса сумчатых *Claviceps purpurea* («пурпурная булава»), поражающий главным образом рожь, реже пшеницу, ячмень, совсем редко — овес. Подверженность ржи этому заболеванию связана с особенностями строения ее цветков и более продолжительным цветением — периодом, в течение которого происходит заражение. Изучен аминокислотный состав белков здорового зерна и склеротий спорыньи. Значительная часть аминокис-

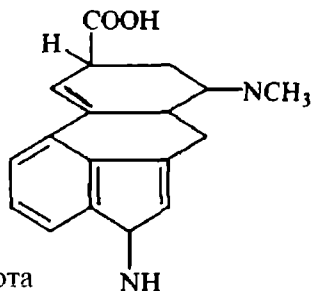
лот в склероциях спорыньи (рожках) содержится в больших, небольшая часть — в меньших количествах по сравнению со здоровыми семенами. Общее содержание азота в склероциях в среднем в 1,5 раза больше, чем в здоровых семенах. Из рожков спорыньи выделено три группы алкалоидов, способных вызвать опасные заболевания у людей, животных, птиц: эрготомин, эрготоксин и эргобазин.

В состав всех 12 изученных алкалоидов спорыньи входит лизергиновая кислота  $C_{16}H_{16}O_2N_2$ .

Болезнь, вызываемая спорыньей, — эрготизм (от французского названия спорыньи — «эрго»). Содержание спорыньи в муке не допускается свыше 0,05%. Мука, отруби или отходы с содержанием спорыньи свыше 2% считаются опасными для животных; их можно скармливать в ограниченных количествах.

Ядовитые свойства спорыньи при хранении постепенно ослабевают. Сушка зерна также снижает ядовитые свойства спорыньи.

Зерно пшеницы и ржи, поступающее на мукомольный завод, может содержать спорыньи (вместе с головней или в отдельности) не более 0,15%. При очистке ржи и пшеницы от спорыньи применяют различные зерноочистительные машины: крупные рожки удаляют сходом с сита  $\varnothing 6-7$  мм и триерной поверхности с ячейками  $\varnothing 8$  мм, мелкие рожки — сильным аспирированием и проходом через сита с отверстиями размером  $1,8 \times 20$  мм (рожь) и  $2,2 \times 20$  мм (пшеница), а также на триерах с ячейками  $\varnothing 4,5-5,0$  мм. Хорошие результаты при очистке семенного материала дает применение крепких растворов поваренной соли, селитры и др. Подбирая соответствующее количество соли, получают раствор, в котором зерно тонет (относительная плотность озимой



Лизергиновая кислота



ржи 1,22–1,32), а рожки спорыньи всплывают (относительная плотность 1,07–1,10) вместе с щуплыми, легковесными зернами. Так, при растворении в 10 л воды 6,5 кг селитры получают раствор с относительной плотностью 1,2. Зерно, направляемое после очистки на I драную систему, не должно содержать спорыньи больше 0,05% (вместе с головней и семенами горчача ползучего, вязаля разноцветного).

### **§ 13. ЗЕРНО, ПОВРЕЖДЕННОЕ СУШКОЙ**

Правильно проведенная сушка семенного зерна (например, с влажностью до 25% при температуре агента сушки 70 °С и средней температуре зерна в горячей камере не выше 45 °С) не только не ухудшает его семенные достоинства, но и приводит к заметному повышению всхожести и энергии прорастания. Сушка продовольственного зерна влажностью до 22% при температуре агента сушки не больше 120 °С при одноступенчатом режиме и 110/130 °С — при двухступенчатом режиме также не ухудшает хлебопекарных достоинств, в ряде случаев несколько улучшает их. Однако нередко наблюдаемое в практике нарушение установленных режимов сушки, особенно неравномерность нагрева зерна в горячей камере, приводит к повреждениям зерна. При неправильной сушке зерно может быть полностью испорчено. Цвет эндосперма в этом случае изменяется от коричневого до черного. Такое зерно относят к сорной примеси, для производства муки и крупы оно непригодно.

Потемнение зерна в процессе сушки и при хранении может быть ферментативного и неферментативного характера. Потемнение появляется вследствие окисления под влиянием монофенол-монооксигеназы полифенольных соединений, способных к образованию водорастворимых соединений (темного цвета) в результате реакции полимеризации. Неферментативное потемнение возникает в отсутствие кислорода в результате аминокарбонильных реакций (реакции меланоидинообразования), реакции карамелизации и окислительного потемнения (разрушение аскорбиновой кислоты, полифенольных соединений и ненасыщенных липидов в ди- или поликарбонаты в присутствии кислорода).

Зерно, горевшее в большом количестве (при пожарах в поле или при хранении), после гашения становится мокрым и горьким, с сильным неприятным запахом. В нем образуются масляная и другие органические кислоты. Горевшее зерно можно использовать в спиртовом производстве при особом режиме переработки и уменьшенном выходе спирта (до 30 л спирта на 100 кг зерна).

Зерно, частично поврежденное сушкой, с измененным цветом оболочки и эндосперма (от кремового до светло-коричневого) относят к зерновой примеси. Зерно может быть повреждено высокой температурой и без видимых признаков порчи. При этом оно частично или полностью утрачивает свои семенные достоинства. Технологические достоинства его тоже ухудшаются. В пшеничной муке из зерна, поврежденного сушкой, уменьшается содержание клейковины. При сильном повреждении она вообще не отмывается. Свойства клейковины резко изменяются: она обладает пониженной влагоемкостью, почти полностью утрачивая способность к растяжению. Это происходит в результате тепловой денатурации белков зерна и инактивации протеолитических ферментов (рис. 60).

Хлеб, выиеченный из муки, полученной из неправильно высушенного зерна пшеницы, получается со значительно пониженным объемом, мало развитой и толстостенной пористостью, с бледной коркой. Все это результат денатурации белков и инактивации ферментов.

Качество зерна при сушке зависит от четырех основных факторов: исходной влажности зерна, температуры агента сушки, температуры нагрева зерна в горячей камере сушилки и продолжительности (экспозиции) сушки. Большое значение имеет также качество клейковины зерна, поступающего на сушку. Наиболее полное пред-



Рис. 60. Изменение активности протеолитических ферментов и резистентность белков зерна пшеницы при сушке в кипящем слое:

1 — активность протеаз; 2 — резистентность белков

ставление о хлебопекарном достоинстве зерна пшеницы, подвергнувшегося сушке, дает пробная выпечка. Существуют другие методы объективной оценки влияния сушки на качество зерна пшеницы и для распознавания муки из зерна, поврежденного сушкой (определение всхожести и энергии прорастания, количества и качества клейковины, активности фермента растворимой каталазы и др.).

О качестве зерна пшеницы после сушки можно судить по таким показателям, как физические свойства теста, определяемые с помощью приборов (альвеографа, фаринографа), седиментационное число, продолжительность брожения шарика теста и др. В тех случаях, когда в зерне, испорченном при сушке повышенными температурами, невозможно определить содержание и качество клейковины, степень ухудшения хлебопекарных достоинств пшеницы можно установить по количеству азотсодержащих веществ в 0,05 М растворе уксусной кислоты, по величине оптической плотности раствора муки в уксусной кислоте, измеряемой на фотоэлектроколориметре и по водоудерживающей способности муки.

В зерносушилках некоторых типов топливом служит каменный уголь. При его сжигании образуются продукты неполного сгорания и сернистый ангидрид с неприятным удушливым запахом, легко передаваемым зерну. Сернистый ангидрид сорбируется главным образом на поверхности зерна, частично проникает в близлежащие слои и образует нестойкие соединения. При наличии свободной влаги сернистый ангидрид дает сернистую кислоту, связываемую поверхностными слоями. Сернистый ангидрид обладает восстанавливающими свойствами, легко взаимодействует с белками и вызывает изменение физических и химических свойств клейковины пшеницы. Содержание клейковины уменьшается на 2–3%, качество ее ухудшается (она становится липкой, слабоэластичной). Активность протеолитических ферментов практически не изменяется, других ферментов — заметно снижается.

Активность амилолитических ферментов при действии тепла на зерно при высушивании или гидротермической обработке обычно снижается. При сушке зерна в дымовых газах она возрастает. Увеличивается также и содержание восстанавли-

вающих сахаров. Это связано с тем, что амилазы содержат легко окисляющиеся сульфгидрильные группы, что сначала вызывает падение их осахаривающей способности, а затем при восстановлении сульфгидрильных групп под влиянием дымовых газов активность этих ферментов возрастает.

При сушке зерна топочными газами необходимо использовать уголь с минимальным количеством серы (до 1,5–2,0%). Особенно это важно при высушивании сырого зерна и в условиях высокой относительной влажности воздуха. Критическая температура сушки зерна — 40–45 °С. При дальнейшем повышении температуры мукомольные достоинства зерна ухудшаются, повышается зольность и снижается выход муки. Качество зерна зависит от равномерности нагрева при сушке. Наибольшая неравномерность температуры зерновой массы наблюдается в шахтных сушилках. Установлено, что неравномерность нагрева зерна по горизонтальному сечению шахты сушилок достигает 20–25 °С, а по толщине слоя зерна — 15–25 °С. Наиболее эффективен способ исправления зерна, поврежденного сушкой, — смешивание его перед размолом или смешивание уже полученной муки с соответствующим количеством муки нормального качества.

При дальнейшем увеличении температуры клейковина укрепляется, становится крошащейся и при температуре 85 °С перестает отмываться в результате полной денатурации белков. Резистентность белковых веществ с увеличением температуры непрерывно возрастает в результате их теплового уплотнения. Добавление пересушенного зерна с неотмываемой клейковиной дает неодинаковый результат при смешивании с зерном сильной пшеницы. Примесь 25–50% пересушенного зерна к слабой пшенице несколько укрепляет клейковину, в связи с чем уменьшается расплываемость подового хлеба. Примесь пересушенного зерна к сильной пшенице в количестве 25% и более по всем показателям ухудшает качество хлеба. Объем хлеба при добавлении пересушенного зерна в количестве 25% и выше во всех случаях снижается. Использование зерна, испорченного сушкой, смешиванием с нормальным требует очень осторожного подхода и тщательной предварительной проверки.

Имеются данные о наличии в продуктах питания, в том числе и в зерне, полициклических ароматических углеводородов, обладающих канцерогенным действием. Канцерогенный углеводород бензпирен обладает сильной канцерогенной активностью, весьма устойчив во внешней среде, наиболее распространен среди вредоносных полициклических ароматических углеводородов, поэтому признан критерием канцерогенности. Канцерогенные углеводороды могут поступать в зерно из внешней среды в период роста и развития хлебного растения. Основным источником появления бензпирена в зерне — загрязненная атмосфера, вода, почва и применение некоторых канцерогенных пестицидов. Дополнительным источником канцерогенных веществ могут быть некоторые технологические операции при уборке, хранении, обработке и переработке зерна. Количество канцерогенных веществ в убранном с поля зерне в разных странах мира колеблется в значительных пределах: от 0,04 до 4,13 мкг/кг. В зерне из разных районов РФ содержание канцерогенных веществ наиболее часто находится в пределах 0,1–0,2 мкг/кг, максимально — до 0,56 мкг/кг. Загрязнение зерна канцерогенными веществами возможно также во время сушки при прямом контакте продуктов сгорания топлива с зерном. Исследования показали, что высокопроизводительные шахтные и рециркуляционные зерносушилки при работе топок на жидком и газообразном топливе и при строгом соблюдении Инструкции по сушке зерна не загрязняют зерно бензпиреном. Этого нельзя сказать при применении твердого топлива или серьезных нарушениях режима сжигания топлива.

Для предотвращения попадания канцерогенных углеводородов в зерно при сушке необходимо переводить работу топок зерносушилок с твердого топлива на жидкое или газообразное и строго соблюдать расчетный режим сжигания топлива (коэффициент избытка воздуха, температуру горения и тепловое напряжение топочного объема).

Из всех факторов, влияющих на увеличение количества бензпирена, наибольшее значение имеет продолжительность контакта зерна с продуктами сгорания. Наилучшие условия в этом отношении создаются при сушке зерна во взвешенном состоянии, что наблюдается при рециркуляционной сушке. Иссле-

дователи считают, что при этом способе возможна сушка зерна продуктами сгорания без накопления в нем бензпирена. Опытное изучение этого важного вопроса должно быть продолжено и расширено. Необходимо также ориентировать конструкторов и создателей сушильных установок на разработку способов сушки, исключающих содержание канцерогенных веществ в агенте сушки, с которым зерно вступает в контакт.

Для предотвращения снижения качества зерна при сушке используют сушку окружающим воздухом методом активного вентилирования с учетом влажностно-температурных параметров воздуха и зерновой смеси, а также предварительного нагрева используемого для этой цели воздуха.

## § 14. САМОСОГРЕВАНИЕ ЗЕРНА

При неблагоприятных условиях хранения, особенно при повышенной влажности и значительной засоренности, в зерновой массе начинается процесс самосогревания, при котором ее температура может подняться до 55–65 °С, а иногда и до 70–75 °С. Главные причины самосогревания — тепло, выделяемое в результате дыхания зерна и микроорганизмов, а также низкая теплопроводность зерновой массы. Самосогревание зерна представляет собой сложный процесс в котором одновременно участвуют ферменты зерна и эпифитная микрофлора. Самосогревание сопровождается значительными изменениями химического состава, семенных и технологических достоинств зерна под влиянием высокой температуры и интенсивного развития микроорганизмов. В результате развития плесневых грибов при хранении зерна с повышенной влажностью снижается всхожесть зерна, интенсифицируется дыхание микроорганизмов, что приводит к потере сухих веществ, возрастанию влажности и температуры зерновой массы, к самосогреванию.

Установлена способность обычных плесеней хранения (виды *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*) образовывать более 200 вредных и токсичных для организмов человека и животных веществ среди которых ввиду особой токсичности и канцерогенности наибольшую опасность представляют афлатоксины.

При самосогревании, сопровождающемся обугливанием зерна, начинаются химические процессы не свойственные живому зерну, а характерные для мертвых органических продуктов. Обугливание зерна происходит главным образом в результате разложения углеводов и накопления гуминовых соединений, обуглившееся зерно может быть использовано спиртовой промышленностью, так как не содержит веществ, угнетающих деятельность дрожжей.

Самосогревание может быть причиной порчи зерна не только при хранении его в складах и элеваторах, но и в послеуборочный период, во время сушки и очистки обмолоченного зерна на токах. Партия зерна, содержащая много сорняков и битых зерен, подвержена самосогреванию больше, чем более влажное, но менее засоренное зерно. В зерне дефектном и самосогревающимся происходит нарастание численности плесеней хранения и уменьшение полевых плесеней (виды *Alternaria*, *Helminthosporium*, стерильный мицелий). Отношение этих показателей в нормальном зерне равно 0,23, в самосогревшемся оно достигает 8,25. Преобладающая группа микроорганизмов в дефектном самосогревшемся зерне — грибы *A. flavus* (26,0–65,7% всех плесневых грибов), причем их количество увеличивается по мере ухудшения его качества. На зерне заплесневевшем, но еще не самосогревшемся, преобладают пенициллы, развитие *A. flavus* незначительно.

Технологическое достоинство зерна пшеницы изменяется в зависимости от температуры и продолжительности самосогревания. Зерно в начальной стадии самосогревания приобретает солодовый запах, свойственный прорастающему зерну. Вкус зерна сладковатый. Внешние покровы зерна сначала обесцвечиваются, а затем становятся красноватого цвета. Эндосперм приобретает сероватый оттенок. Зерно с солодовым запахом отличается от нормального более высоким содержанием моносахаридов, повышенной кислотностью, более высоким кислотным числом жира. Мука из такого зерна содержит большое количество оболочек и обладает увеличенной активностью ферментов. Хлеб получается более темный, чем из нормального зерна. Солодовый запах и его последствия частично могут быть устранены при очистке и помоле зерна, а также в

процессе тестоведения и выпечки хлеба. Партии пшеницы с солодовым запахом в большинстве случаев перерабатывают в муку в смеси с нормальным зерном.

На последующих стадиях самосогревания с повышением температуры до 40–50 °С и выше наблюдается общее потемнение покровов зерна, а затем эндосперма. При этом цвет зерна изменяется от темно-красного до коричневого и даже черного. Наиболее глубокие физиолого-биохимические изменения происходят в поверхностном слое очага самосогревания (табл. 84), всхожесть намного ниже, чем в контроле; интенсивность дыхания, содержание аммиака, кислотность по болтушке, кислотное число жира очень высокие. Эти показатели свидетельствуют о распаде в самосогревшемся зерне углеводов, белков и жиров. Содержание клейковины резко снижается, в некоторых случаях ее невозможно отмыть. В одних случаях она укреплялась, в ряде случаев (в поверхностных слоях) ослаблялась, в результате гидролиза ферментами плесневых грибов.

Активность  $\alpha$ -амилазы в верхних слоях зерновой насыпи возросла, о чем можно судить по числу падения — косвенному

Таблица 84

**Изменение некоторых физиолого-биохимических показателей зерна пшеницы при самосогревании**

Слой насыпи зерна, м	Всхожесть, %	Интенсивность дыхания, мг CO <sub>2</sub> на 100 г сухого вещества за 24 ч	Содержание сухой клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК-1	Аммиак, мг %	Кислотность по болтушке, град	Кислотное число жира, мг КОН, на 1 г жира	Автолитическая активность, %	Число падения, с
<i>Очаг самосогревания</i>									
Поверхностный 0-0,7	25,0	37,41	18,3	98,0	32,5	6,73	39,79	58,7	108,0
Средний 1,5-2,0	8,0	3,35	17,2	0	24,8	5,42	22,93	26,0	318,0
Нижний 2,5-3,0	0	12,98	24,3	7,0	17,1	4,98	31,60	23,2	467,0
<i>Контроль</i>									
Средний 1,5—2,0	93	5,00	29,4	80,0	9,7	11,0	11,20	28,9	372,0



показателю ее активности. Активизация  $\alpha$ -амилазы в данном случае объясняется усилением развития плесневых грибов — продуцентов  $\alpha$ -амилазы, а также активизацией амилаз зерна при его увлажнении в результате переконденсации влаги. Увеличение числа падения и наоборот, снижение автолитической активности средних и нижних слоев самосогревшейся зерновой массы связано с частичной тепловой инактивацией гидролитических ферментов и увеличением вязкости мучного клейстера под влиянием высоких температур.

При самосогревании уменьшается стекловидность, зольность муки намного возрастает, белизна снижается в результате перехода в муку большего количества отрубянистых частей. Далеко зашедший процесс самосогревания приводит к снижению натуры и массы 1000 зерен. Хлеб, выпеченный из муки, полученной из самосогревшегося зерна, низкого качества. Мука из зерна, расположенного в центре и внизу очага самосогревания, дает хлеб с высокими значениями  $H/D$ , что указывает на укрепление клейковины. Хлеб из зерна поверхностных слоев отличается пониженной формоустойчивостью, темным заминающимся мякишем, при хранении в нем быстро начинают проявляться признаки картофельной болезни.

Ухудшение биохимических и хлебопекарных достоинств зерна происходит под влиянием следующих факторов: активной химической деятельности (главным образом гидролитической) плесневых грибов и длительного воздействия повышенных (до 50–60 °С) температур, оказывающих воздействие на белки, липиды и ферменты зерна. Действие этих факторов неодинаково по зонам самосогревшейся зерновой массы — в наружных слоях преобладающее влияние оказывает один фактор, а в центре и в низу очага самосогревания — другой. Верхний слой зерновой массы глубиной до 0,7 м при самосогревании наиболее опасен с точки зрения накопления плесневых грибов — возможных продуцентов микотоксинов.

Сложилась система, по которой зерно, имеющее солодовый запах, относится к дефектному 1-й степени; плесенно-затхлый — ко 2-й степени; гнилостно-затхлый — к 3-й степени; изменившее оболочку (почерневшее) — к 4-й степени. Дефектное зерно, начиная со 2-й степени, для продовольственных

Биохимическая характеристика зерна,

Запах зерна	Крахмал, % сухого вещества	Моносахариды, % сухого вещества	Сахароза, % сухого вещества	Азот общий, % сухого вещества	Жир, % сухого вещества	Азот водораство- римый, % к общему азоту	Азот спиртора- створимый, % к общему азоту
<b>Рожь</b>							
Нормальный	66,53	0,96	4,44	1,99	1,98	28,64	—
Слабосолодовый	65,7	1,28	4,69	1,99	1,88	33,64	—
Солодовый	65,56	1,70	4,58	1,99	2,00	33,16	—
Солодовый (стойкий)	66,95	1,95	7,72	1,88	1,67	28,20	—
Плесневый	63,56	3,47	4,10	1,91	1,76	34,35	—
Гнилостно-затхлый	59,8	5,38	3,38	3,24	1,55	60,40	—
<b>Пшеница</b>							
Нормальный	62,84	0,45	1,95	2,76	1,83	13,04	36,16
Слабосолодовый	65,2	0,86	2,18	2,94	1,67	13,80	36,67
Солодовый	61,84	1,00	2,22	3,10	1,80	13,79	37,45
Плесневый	62,72	1,96	3,96	3,15	1,62	17,71	39,91
Плесневело — затхлый	60,7	4,22	3,41	3,07	1,00	20,30	40,94
Гнилостно — затхлый	52,1	4,47	3,04	3,54	1,26	38,90	43,64

целей непригодно. Классификация зерна по степеням порчи очень приближительна, субъективна. Ведутся поиски объективного количественного метода измерения свежести зерна и

обладающими различными запахами

Кислотность по болтушке, град	Кислотное число жира, мг КОН на 1 г жира	Диастатическая активность, мг мальтозы на 10 г сухого вещества	рН	Клейковина			
				количество, %	группа качества	удельная растяжимость, см/мин	цвет, упругость
4,6	28,11	218,2	6,22	—	—	—	—
5,3	33,10	315,6	6,17	—	—	—	—
4,8	39,57	341,5	5,95	—	—	—	—
5,0	43,37	386,7	6,18	—	—	—	—
6,9	76,18	488,9	5,60	—	—	—	—
16,8	96,24	656,3	5,72	—	—	—	—
2,8	11,14	183,0	6,0	25,2—30,0	I;II	0,2...1,1	Светлая упругость средняя или хорошая
3,0	12,17						
2,2							
2,4							То же
3,8	20,86	225,3	5,79	24,0—29,0	I;II	0,6...0,9	
3,5	21,83						
3,6							То же
4,1	25,25	203,8	6,12	25,4—31,0	II	0,7...1,4	
4,6	25,33						
5,3	33,10						Сероватого цвета, слабая
5,1	35,61						
5,3	43,37	356	5,99	24,6—29,4	II; III	13...18	
6,9	46,90						Темная, слабая
4,8	48,30						
4,5	45,23	393,4	5,63	3,0—8,0—23,0	III	—	
5,0							Не отмылась
6,8	79,80						
9,4	60,80						
10,4	92,20						Не отмылась
8,6	64,55	—	5,76				
7,8	81,20						
15,4							

степени его порчи. Некоторые предложения не нашли пока практического применения (процентное содержание бактерий *Pseudomonas herbicola*, газовая хроматография, масс-

спектрометрия, изменение окраски зерна под влиянием различных химических веществ, показатель рН и др.).

Убедителен и объективен для оценки свежести зерна метод определения всхожести. Удачен подход к оценке глубины порчи зерна количественным измерением соединений, образующихся при порче в результате распада входящих в состав зерна органических веществ. Характерный признак порчи — возрастание количества аммиака и аминсоединений, извлекаемых из зерна паром. При лабораторных исследованиях дополнительно определяли протеолитическую активность (в процентах водорастворимого азота к общему). В нормальном зерне пшеницы она равна 2,34; при солодовом запахе — 2,2; слабоплесневелом — 5,6; плесневелом — 7,6; плесневело-затхлом — 13,6; гнилостно-затхлом — 56,32.

По мере усиления порчи зерна и появления характерных запахов в нем заметно повышаются кислотность по болтушке, кислотное число жира, диастатическая и протеолитическая активность, постепенно увеличивается содержание моносахаридов (табл. 85). При сильном плесневении и дальнейшей порче зерна пшеницы в нем уменьшается содержание крахмала, понижаются количество и качество клейковины, повышается содержание водо- и спирторастворимого азота. Разработан объективный количественный метод оценки качества зерна пшеницы, подвергавшегося самосогреванию, по содержанию аммиака, а также количеству и характеру поврежденных зерен.

## § 15. ЗЕРНО ЗАПЛЕСНЕВЕВШЕЕ

На нормальном зерне, не подвергавшемся неблагоприятным воздействиям при хранении, численность «плесеней хранения» очень низкая (0–0,5 тыс. на 1 г зерна). Нарушение правил хранения сопровождается быстрым развитием плесневых грибов. Число их за непродолжительный период может достигать 300–5000 млн. на 1 г зерна. Развитие плесеней зерна при неблагоприятных условиях хранения приводит к потерям сухого вещества, увеличению влажности, потере всхожести, снижению пищевой и товарной ценности зерна, ухудшению его хлебопекарных достоинств. Плесневые грибы способны

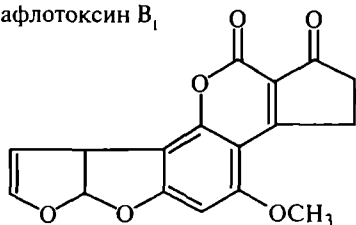
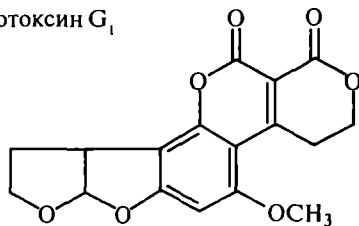
образовывать многочисленные микотоксины, некоторые из которых канцерогенны.

Сложно распознавание видового состава развивающихся на зерне плесневых грибов — оно доступно только высококвалифицированным специалистам в специально оборудованных лабораториях. Практически любой заплесневевший пищевой продукт или корм для скота по внешнему виду, запаху считают токсичным. Для установления того, что данная партия зерна подвергалась активному воздействию плесневых грибов в период послеуборочной обработки и хранения зерна, разработан быстрый метод — по наличию зелено-флуоресцирующих соединений (ЗФС).

Плесневые грибы используют для своего развития почти все соединения зерна (углеводы, липиды и частично белки). В начальный период развития на зерне плесневых грибов возможно некоторое увеличение процентного содержания общего азота как результат интенсивного использования грибами углеводов зерна. При далеко зашедшем процессе плесневения содержание общего азота уменьшается в результате процессов аммонификации. Наибольшую опасность представляют не столько количественные потери азота, сколько изменение специфических свойств белкового комплекса зерна и, как следствие, снижение его пищевой ценности и ухудшение хлебопекарных достоинств.

Из обнаруженных в последние годы микотоксинов наибольшую опасность представляют афлатоксины. Афлатоксины обнаружены в различных злаковых культурах (пшенице, ячмене, кукурузе, рисе и др.) и продуктах их переработки (муке, крупе, хлебе). В пищевых продуктах найдено четыре главных афлатоксина, продуцируемых плесневыми грибами ( $B_1$ ,  $B_2$ ,  $G_1$ ,  $G_2$ ). Афлатоксины — производные кумаринов. Структура двух афлатоксинов представлена ниже.

Из культур *Asp. flavus* выделены афлатоксины  $B_{2a}$  и  $G_{2a}$ . Эти формы афлатоксинов в отличие от четырех главных содержат свободную гидроксильную группу. В последнее время методом тонкослойной хроматографии выделено 12 флуоресцирующих компонентов, относящихся к группе афлатоксинов. Афлатоксины опасны выраженной канцерогенностью. Из всех известных канцерогенов афлатоксин  $B_1$  — самый активный.

афлотоксин В<sub>1</sub>афлотоксин G<sub>1</sub>

Предполагают, что афлатоксины связывают ДНК и ингибируют синтез РНК — полимеразы, что приводит к подавлению синтеза белка. Максимальные концентрации афлатоксинов найдены в поверхностных слоях самосогревшегося зерна, характеризующихся более умеренной температурой (рис. 61). Температура выше 35 °С препятствует накоплению афлатоксинов. Афлатоксины концентрируются в периферийных слоях зерна, по мере удаления от поверхности к центру эндосперма их количество уменьшается, поэтому мука высшего сорта содержит наименьшее количество афлатоксинов.

После кратковременного плесневения при общем пониженном содержании афлатоксинов отмечается еще большее различие их количеств в периферийных и внутренних слоях зерна. При удлинении периода плесневения мицелий гриба, продуцирующего токсины, глубже проникает в зерновку. По-видимому, происходит диффузия афлатоксинов от поверхности к центру. Скоростное кондиционирование (воздействие увлажнения и высоких температур) сказывается в основном на поверхностных, наиболее пораженных частях зерновки. Содержание афлатоксинов в зерне после скоростного кондиционирования снижается почти вдвое (на 46%) с соответствующим уменьшением их количества в муке, особенно в муке II сорта и отрубях. При тестоведении и выпечке хлеба значительно уменьшается содержание афлатоксинов. Во время приготовления хлеба афлатоксины разрушаются под воздействием процесса брожения и под влиянием высокой температуры при выпечке.

Мука может быть источником заражения плесневыми грибами атмосферы производственных помещений, которая, в свою очередь, может заражать продукты после переработки.

В связи с этим (хотя споры неустойчивы к нагреванию), возможно повторное заражение хлеба после выпечки. При хранении хлеба, особенно в домашних условиях, возможна его порча, в том числе и в результате развития плесневого гриба *Aspergillus flavus*, и тогда хлеб может приобрести токсические свойства. При заражении хлеба этими грибами максимальное содержание афлатоксинов обнаружено непосредственно в зоне развития мицелия, по мере удаления от нее количество афлатоксинов резко снижается, поэтому плесневелый хлеб, особенно ту его часть, в которой визуально обнаружена плесень, нельзя употреблять в пищу или скармливать скоту и птице.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) считает максимально допустимым содержание афлатоксинов в продуктах до 0,03 мкг/кг. Минздравом РФ установлена предельно допустимая норма содержания афлатоксина  $B_1$  для зерна основных культур 2,5 мкг/кг.

В пораженных плесневыми грибами продуктах количество афлатоксинов может превышать предельно допустимые нормы в тысячи раз.

Существует три метода определения афлатоксинов: по характеру флуоресценции исследуемого продукта; с помощью хроматографии на колонке и СВ-метод. В методе флуоресценции визуально наблюдают зеленовато-золотистую флуоресценцию афлатоксинов под действием ультрафиолетовых лучей. Имеется несколько модификаций колоночной хроматографии. СВ-метод разработан специально для определения афлатоксина в арахисе — афлатоксины экстрагируют хлороформом и затем используют тонкослойную хроматографию в силикагеле.

Единственный радикальный способ борьбы с появлением и накоплением афлатоксинов — это предотвращение развития плесени в массе зерна. Для этого следует хранить зерно при

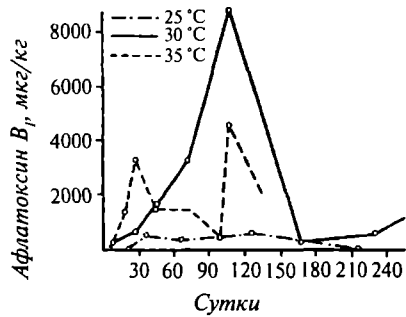


Рис. 61. Накопление афлатоксина  $B_1$  при разных температурах в зерне пшеницы

пониженной влажности и избегать его повреждения, так как плесени, прежде всего, развиваются на поверхности поврежденных зерен. При неравномерности распределения влаги в зерне в хранилищах могут возникать зоны с повышенной влажностью (свыше 16%), что также приводит к развитию в этих местах плесневых грибов. Вследствие этого не рекомендуют хранить партии, образованные смешиванием сухого и влажного зерна. Для уменьшения количества афлатоксинов зерно освобождают от битых зерен, посторонних примесей и мучки, в которых токсины концентрируются. Предложен ряд методов термической и химической обработки зерна для разрушения афлатоксинов. Однако предложенные методы детоксикации афлатоксинов, содержащихся в продуктах, ненадежны и практически неприемлемы.

## **§16. ОСТАТОЧНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПЕСТИЦИДОВ В ЗЕРНЕ**

Пестициды (ядохимикаты) — химические вещества, используемые для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорняками, вредителями зерна и зернопродуктов и других сельскохозяйственных продуктов, а также с переносчиками опасных заболеваний человека и животных. При производстве зерна наиболее часто приходится иметь дело с гербицидами — химическими средствами для уничтожения сорняков, дефолиантами — веществами, вызывающими опадение листьев растений перед механизированной уборкой, десикантами — веществами, подсушивающими растения на корню, различными химическими веществами, применяемыми для уничтожения полевых вредителей.

На элеваторах, мукомольных, крупяных и комбикормовых заводах широко распространена фумигация (газация) — обеззараживание от вредителей (дезинсекция) окуриванием парама или газами отравляющих веществ. Наряду со своим прямым назначением (борьба с вредителями и болезнями растений, сорняками и вредителями хлебных запасов) пестициды, оставшиеся в зерне, задерживают развитие микроорганизмов и снижают потери зерна при хранении.



Применение пестицидов, дающее огромный производственный эффект, иногда отрицательно влияет на состав и свойства зерна и других сельскохозяйственных продуктов.

Одни исследователи установили, что к моменту сбора урожая практически полностью разлагаются в посевах зерновых культур наиболее часто применяемые при их возделывании гербициды — хлорпроизводные феноксикислот.

Другие исследователи наблюдали, что по агрономическим и технологическим свойствам обработанное гербицидами зерно несколько превосходит необработанное. Так, применение гербицидов на ячмене при различных уровнях питания практически не влияет на аминокислотный состав и электрофоретические спектры фракций белков зерна.

В опубликованных материалах имеются данные о снижении в результате применения гербицидов в зерне пшеницы и ржи ряда витаминов (тиамина, рибофлавина). Есть сведения, что коэффициент эффективности белка (КЭБ), соответствующий отношению прироста массы тела на 1 г белка, потребленного с кормами (в опытах на крысах) в одних случаях уменьшался, в других — возрастал.

Препараты тетраметилтиурамдисульфида (ТМТД), в проведенных опытах при обработке семян хлорофосом и метафосом в период вегетации не влияли отрицательно на качество зерна пшеницы семян гороха. В зависимости от химической природы препарата, его концентрации, количества обработок, сортовых особенностей наблюдалось благоприятное влияние обработки семян и посевов на качество зерна.

При интенсивном ведении сельского хозяйства полегание хлебов — одно из серьезнейших препятствий к получению высоких урожаев. Полегание хлебов снижает эффективность минеральных удобрений, увеличивает потери зерна при уборке урожая. Для борьбы с полеганием стремятся вывести устойчивые сорта, а в последние годы применяют регуляторы роста растений — ретарданты. Чаще других ретардантов используют хлорхолинхлорид (препарат ТУР) и его аналоги. Под воздействием этого препарата укорачивается стебель и утолщаются стенки соломины, растения становятся устойчивыми к полеганию.

Опытная проверка показала противоречивые результаты влияния ТУР на качество и технологическое достоинство зерна.

Препарат ТУР вызывает небольшое увеличение содержания азота и уменьшение фосфора в зерне пшеницы. Содержание белков при этом не изменяется, но появляется тенденция к увеличению неклеяковинных при одновременном снижении клейковинных фракций белка. Количество клейковины уменьшается (на 5% к контролю). Фракционный состав фосфорсодержащих соединений также изменяется: фосфор липидный, нуклеиновый и протеиновый возрастает на 6%, фосфор минеральный, нуклеотидный и сахарофосфатный уменьшается на 6–15%.

Проведены широкие исследования качества и хлебопекарного достоинства зерна пшеницы Мироновская юбилейная и Мироновская 808, выращенного с обработкой препаратом ТУР на обычном и для сравнения на повышенном агрофоне. Хлебопекарное достоинство пшеницы обоих сортов оказалось хорошим как на высоком, так и на обычном агрофоне. При опрыскивании растений препаратом ТУР на высоком агрофоне был получен наибольший объемный выход хлеба (730 см<sup>3</sup>). Если по натуре, массе 1000 зерен и стекловидности зерна не наблюдалось значительных расхождений, то все показатели хлебопекарного достоинства (содержание белка и клейковины, ее качество, объемный выход хлеба) в условиях высокого агрофона и применения препарата ТУР стали лучше.

Некоторые почвенные микроорганизмы разрушают попавшие в почву пестициды. Микроорганизмы, окисляющие органические вещества, разлагают также и пестициды. Одни пестициды, такие, как дихлорфеноксисуксусная кислота, разлагаются в почве через несколько недель, другие (атразин, гексахлорциклогексан) могут сохраняться в почве более года. Иногда при частичном разрушении пестицидов могут образовываться высокотоксические вещества. Некоторые гербициды (симазин) и продукты их распада образуют с перегнойными соединениями почвы прочные комплексы, что задерживает процесс детоксикации. Было выявлено, что пшеница и рожь, в зерне которых не обнаруживаются остатки гербицидов, оказывают на белых крыс такое же влияние, как и малые дозы этих препаратов. Возможно, что в урожае содержатся небольшие остаточные количества

пестицидов, не обнаруживаемые применяемым методом исследования, но способные оказать биологическое действие.

Содержание остаточных количеств пестицидов в зерне, применяемых при его выращивании, требует дополнительных исследований. В целом работа, проводимая с использованием химических средств в растениеводстве, требует соблюдения строгих правил и тщательного контроля. Фумиганты, применяемые для дезинсекции в условиях хранения зерна, могут вступать в химическое взаимодействие с белками, жирами, углеводами, витаминами, в результате чего происходят необратимые и нежелательные изменения. Например, фумигация зерна бромистым метилом сопровождается связыванием его в основном белками и в меньшей степени крахмалом, жирами и другими компонентами. До 44% сорбированного бромистого метила связывается белками и до 8% — витаминами группы В; в зерне, обработанном бромистым метилом, уменьшается содержание тиамина.

При переработке зерна в муку можно удалить пестициды с поверхности зерна. Удаление большого количества оболочек снижает выход муки высоких сортов, так как поврежденные периферийные слои при помолу переходят в муку, повышая зольность. По этим причинам зерно, загрязненное пестицидами на поверхности (без проникновения в глубь зерновки), рекомендуется перерабатывать с механическим удалением пестицидов с его поверхности только при производстве пшеничной муки обойного помола и сортов муки с зольностью выше 0,8%.

В РФ установлены более жесткие по сравнению с другими странами гигиенические нормативы, гарантирующие безопасность людей и животных. Только строжайшее соблюдение всех гигиенических регламентов обеспечивает безопасное применение пестицидов для тех, кто с ними работает, и для всего населения — потребителей зерна и другой сельскохозяйственной продукции.

На элеваторах и зерноперерабатывающих предприятиях необходимо систематически повышать производственную культуру, создавать такие условия хранения и переработки зерна, которые свели бы применение ядохимикатов к минимуму. Необходимо также расширять и углублять исследования по изучению изменения состава и свойств зерна и продуктов его переработки под воздействием пестицидов.

*КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Каковы виды повреждения зерна в поле, при хранении? Как они влияют на качество зерна?

2. Каковы биохимические особенности зерна морозобойного, меры его улучшения?

3. Как изменяется качество зерна замороженного?

4. При каких условиях появляется зерно суховейное, как изменяется его качество?

5. Что и при каких условиях вызывает пожелтение зерна риса? Какова его сущность, меры по предотвращению?

6. Каковы повреждения зерна пшеницы клопом-черепашкой? Каковы последствия, способы распознавания и улучшения?

7. Каковы причины появления зерна с горькопыльным вкусом и запахом и способы их удаления?

8. Что вызывает появление зерна с черным зародышем, как это сказывается на его качестве?

9. Чем вызвано возможное приобретение перезимовавшим в поле зерном токсических свойств, как используется такое зерно?

10. В чем выражается и как сказывается на качестве зерна поражение его фузариозом?

11. Чем вызывается появление меланозного зерна проса (почернение ядра)?

12. В чем сказывается повреждение зерна головней и спорыней?

13. При каких условиях зерно может быть повреждено сушкой, в чем это проявляется?

14. При каких условиях происходит самосогревание зерна, как при этом изменяется его химический состав и качество?

15. Как изменяется зерно при плесневении?

16. Как устанавливают степени порчи зерна органолептически и при помощи определения количества аммиака?

## **СМЕШИВАНИЕ И ОБРАБОТКА ЗЕРНА ПЕРЕД ПОМОЛОМ**

Качество пшеничной муки повышают, применяя следующие меры при подготовке зерна к помолу: смешивание партий зерна с разным исходным качеством; гидротермическую обработку (кондиционирование); нагревание (термическую обработку).

### **§ 1. СМЕШИВАНИЕ ДВУХ ИЛИ НЕСКОЛЬКИХ ПАРТИЙ ЗЕРНА**

Смешивание различных партий зерна преследует две цели. В одном случае смешивают две (или больше) партии зерна, не являющиеся неполноценными и отличающиеся качеством от удовлетворительного до хорошего. В другом смешивают неполноценное зерно (проросшее, морозобойное, гревшееся, пораженное клопом-черепашкой и др.) с зерном нормального качества, рассчитывая использовать такое зерно для получения готовой продукции удовлетворительного качества. Поступающее на мукомольные и крупяные заводы зерно отличается значительным разнообразием природных и технологических свойств, учитываемых при переработке и влияющих на качество муки и крупы.

Хлебо заводам и макаронным фабрикам требуется мука с необходимым комплексом устойчивых хлебопекарных и макаронных показателей. Мукомольные заводы, стремясь выработать муку требуемого качества, заинтересованы в поддержании производственного режима переработки, обеспечивающего наибольший выход муки и высокую рентабельность предприятия. Все эти требования могут быть выполнены, если мукомольный завод перерабатывает

зерно определенного, стабильного технологического достоинства.

Эту цель можно достичь в основном смешиванием различных сортов зерна с использованием специфических особенностей каждого сорта в отдельности, в одном случае количества и качества клейковины, в другом — стекловидности, в третьем — зольности и т. д.

При смешивании зерна неодинакового качества, т. е. разного химического состава и физической структуры, изменяется качественная характеристика компонентов, входящих в смесь, и самой смеси. Так, ферментные системы, оказывающие решающее воздействие на хлебопекарное достоинство, влияют и на мукомольные качества зерна, подвергнутого гидротермической обработке. Активность и характер действия ферментов при смешивании зерна разного качества могут претерпевать существенные изменения. Смешивание разных партий зерна пшеницы приводит к изменению соотношения отдельных фракций клейковины и к тому, что, взаимодействуя между собой, они дают сочетание свойств клейковины смеси, отличающееся от свойств клейковины смешиваемых компонентов.

Если к зерну слабой пшеницы разных партий в равных количествах и с одним и тем же уровнем пониженной силы прибавлять одно и то же количество сильной пшеницы, то может быть получен неодинаковый конечный результат улучшения хлебопекарного достоинства смеси. И это происходит потому, что объемный выход хлеба зависит не только от количества клейковины, но и оттого, что ее химический состав даже при одинаковых физических признаках в разных партиях пшеницы, в том числе и слабого зерна, обычно имеют не один и тот же химический состав. В результате при взаимодействии одного и того же количества слабой пшеницы разных партий с данной партией сильной пшеницы возможно получение несовпадающего эффекта улучшения. Кроме того, на объемный выход хлеба заметное влияние оказывают свойства углеводно-амилазного комплекса, прежде всего крахмала. Для «силы» муки большое значение имеют коллоидные свойства разнокачественных фракций пшеничного

крахмала амилозы и амилопектина с его высокой клеящей способностью.

Под смесительной ценностью пшеницы понимают обусловленную физико-химическим и биологическим комплексом способность зерна данной партии (или сорта) взаимодействовать с разнокачественным зерном других (одной или нескольких) партий (или сортов) и давать при определенных их количественных соотношениях зерновую смесь заданного технологического достоинства. В связи с практической невозможностью заранее рассчитать необходимое технологическое достоинство смеси зерна по качественным показателям смешиваемых партий необходимо при составлении помольных смесей производить предварительный анализ показателей качества смеси в лабораторных условиях на небольших пробах зерна.

## § 2. ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА

Под гидротермической обработкой понимают обработку зерна водой и теплом для направленного изменения (улучшения) всего технологического комплекса (мукомольных, хлебопекарных, макаронных, крупяных свойств) зерна, обеспечивающего наибольший выход готовой продукции с лучшими показателями качества и наименьшей затратой энергии.

Гидротермической обработке подвергают в основном зерно пшеницы, значительно реже зерно ржи, а также при переработке в крупу риса, овса, гречихи, кукурузы и гороха. При подготовке к переработке зерна применяют гидротермическую обработку и пропаривание. При гидротермической обработке на зерно воздействуют: вода, используемая для увлажнения зерновой массы; тепло, применяемое для прогрева зерна или его обезвоживания (сушки); длительность обработки зерна водой и теплом (пребывание в кондиционере), отволаживание в специальных бункерах; воздушная среда, в которой происходит гидротермическая обработка.

Влияние этих факторов на зерно усиливается при комплексном их воздействии. При подготовке зерна к помолу различают холодное, горячее, скоростное и вакуумное кондиционирование.

При холодном кондиционировании с водой температурой 18–20 °С или подогретой до 30–35 °С в аппаратах или моечных машинах зерно увлажняют до 14,0–16,5% и затем отволаживают в течение 4–24 ч без регулирования температуры. При горячем кондиционировании используют специальные аппараты-кондиционеры. Зерно, увлажненное до 14–16%, проходит тепловую обработку в кондиционере при температуре 45–57 °С. Температурный режим обработки и его продолжительность (4–12 ч) устанавливают в зависимости от реологических свойств клейковины, стекловидности и других показателей.

Горячее кондиционирование сопровождается более глубокими изменениями зерна и ускорением физико-химических и биохимических процессов по сравнению с холодным кондиционированием. Скоростное кондиционирование — это обработка зерна паром с применением специальных аппаратов (АСК), ускоряющая процессы, происходящие в зерне. На мукомольных заводах чаще используют холодное кондиционирование, реже горячее и изредка скоростное.

Кондиционирование зерна оказывает большое влияние на его мукомольное достоинство. Эндосперм становится рыхлее, оболочки эластичнее, связь их с эндоспермом ослабляется. Все это увеличивает выход и улучшает качество крупок и дунстов в драном процессе, повышает выход и качество (снижает зольность) готовой продукции, уменьшает удельный расход энергии. Воздействие воды и тепла вызывает в зерне комплексные физико-химические, коллоидные и биохимические процессы, приводящие к изменению его хлебопекарного достоинства.

Вода и тепло, применяемые при кондиционировании, создают для зерна (живой биологической системы) условия, совпадающие с теми, при которых зародыш зерна начинает расти. Это приводит к активизации его ферментных систем, к началу расщепления высокомолекулярных, до этого физиологически неподвижных веществ — начальному этапу перевода их в растворимое состояние и перемещения в зону зародыша для синтеза и формирования зачаточных тканей будущего растения.

Можно назвать две движущие силы переноса: первая — температурный градиент в теле зерновки, образуемый физическим процессом — набуханием, которое сопровождается



выделением теплоты набухания и биохимическим процессом — усилившимся процессом дыхания, генерирующим тепло; вторая — активизация щитка, выполняющего физиологическую роль передатчика питательных веществ из эндосперма к пробуждающемуся зародышу через соприкасающуюся с ним систему сосущих клеток.

Биохимические процессы в зерне и зародыше, усиливающиеся при гидротермической обработке, тесно связаны с одновременно развивающимися теплофизическими явлениями. Те и другие, имея разную природу, в условиях гидротермической обработки активизируют биохимические процессы в зародыше, способствуют перемещению растворенных органических веществ.

Комплекс физико-химических и биохимических изменений тканей зерна при гидротермической обработке неоднозначно сказывается на изменении технологического достоинства зерна. Все зависит от генетических особенностей, зрелости и качества обрабатываемого зерна. Для повышения хлебопечкарного достоинства наиболее часто необходимо улучшать зерно пшеницы с очень слабой или, наоборот (более редко), с очень крепкой клейковиной, т. е. в одном случае клейковину требуется укрепить, во втором — ослабить. У слабой клейковины улучшают реологические свойства, т. е. укрепляют при частичной тепловой денатурации белковых веществ, что достигается обработкой увлажненного зерна при повышенной температуре. Физические свойства крепкой клейковины улучшаются в результате частичного протеолиза белковых веществ. Этой цели наиболее полно отвечают условия холодного кондиционирования — продолжительного отволаживания при температуре 20–35 °С.

При увлажнении зерна от 12–13 до 17–18% и отволаживании в течение 24 ч наиболее сильно и в нежелательном направлении изменяются свойства слабой клейковины (упругость уменьшается, растяжимость возрастает). Это указывает на нецелесообразность применения к обработке слабой пшеницы холодного кондиционирования. Клейковина сильной пшеницы при холодном кондиционировании более устойчива, но ее качество (в результате ослабления) улучшается.

Величина соотношения —S—S—/—SH в смесях муки из слабой и сильной пшеницы

Наименование	Доля в смеси муки из сильного зерна, %					
	Расчетная			Фактическая		
	20	40	60	20	40	60
Без гидротермической обработки	3,7	4,2	4,7	3,9	4,6	5,3
Кондиционирование:						
холодное	4,0	4,5	5,0	4,1	5,0	5,8
горячее	4,3	4,8	5,5	4,5	5,3	6,1
скоростное	4,7	5,2	5,8	5,3	6,0	6,5

Физические свойства теста из зерна с крепкой клейковиной при использовании горячего кондиционирования ухудшаются. Реологические свойства клейковины пшеницы связывают наряду с другими факторами с количеством и соотношением сульфгидрильных групп и дисульфидных связей. Установлено, что сильная пшеница имеет значительно большую величину отношения —S—S—/—SH-групп по сравнению со слабой.

При смешивании муки из зерна сильной и слабой пшеницы отношение —S—S—/—SH всегда возрастает в одной и той же последовательности — с увеличением в смеси доли муки из сильного зерна и с переходом от более мягкого режима гидротермической обработки к более жесткому (фактические данные во всех случаях выше расчетных табл. 86).

Гидротермическая обработка зерна усиливает технологический эффект смешивания муки разной хлебопекарной силы в зависимости от метода и режима. Наблюдаемое возрастание отношения —S—S—/—SH (фактическое в большей степени, чем расчетное) свидетельствует о глубокой структурной перестройке и активном химическом взаимодействии белковых фракций смешиваемых партий зерна и муки.

В результате кондиционирования происходит значительное изменение активности ферментов зерна. Активность протеолитических ферментов с увеличением влажности зерна и температуры повышается, но до определенного предела, а затем снижается. Оптимальные для действия протеолитических

ферментов условия получены в опытах с мягкой озимой пшеницей: влажность зерна 17%, температура 50 °С и продолжительность обработки 30 мин (активность возросла при отволаживании в течение 24 ч в 1,5 раза). При более продолжительной экспозиции и повышении температуры активность протеаз постепенно уменьшается.

При влажности зерна выше 13,5–14,5% резко возрастает (неодинаково в разных партиях пшеницы) активность глутамат-декарбоксилазы, особенно в призародышевой части зерна. В результате содержание свободной глутаминовой кислоты уменьшается при одновременном увеличении количества  $\gamma$ -аминомасляной кислоты.

На рис. 62 приведено изменение активности при гидротермической обработке зерна пшеницы ферментных вытяжек  $\beta$ -амилазы и  $\beta$ -фруктофуранозидазы. Активность  $\beta$ -амилазы и  $\beta$ -фруктофуранозидазы зависит от влажности зерна. С увеличением влажности зерна повышается активность этих ферментов. Существенное влияние на их активность оказывает также температура обработки зерна.

Осахаривающая способность цельноразмолотого зерна при кондиционировании возрастает. По опытным данным, у пшеницы сорта Безостая 1 и рядовой она была соответственно (мг мальтозы на 10 г): в контроле 163 и 216, при холодном кондиционировании 220 и 264 и при горячем 300 и 336. Активность ферментов при гидротермической обработке повышается в результате увеличения их растворимости под влиянием нагрева и увлажнения зерна. Об этом свидетельствует возрастание доли азота водорастворимого белка (при холодном и горячем кондиционировании почти одинаково — примерно в два раза) при одновременном незначительном изменении процентного содержания небелкового азота в общем содержании азота.

Содержание связанных липидов в зерне при кондиционировании остается почти без изменения, проявляя слабо выраженную тенденцию к увеличению при горячем и скоростном кондиционировании. Гидротермическая обработка зерна сопровождается значительным изменением в групповом составе липидов. Опытным путем установлено, что наибольшее изменение претерпевают полярные липиды. Их содержание умень-

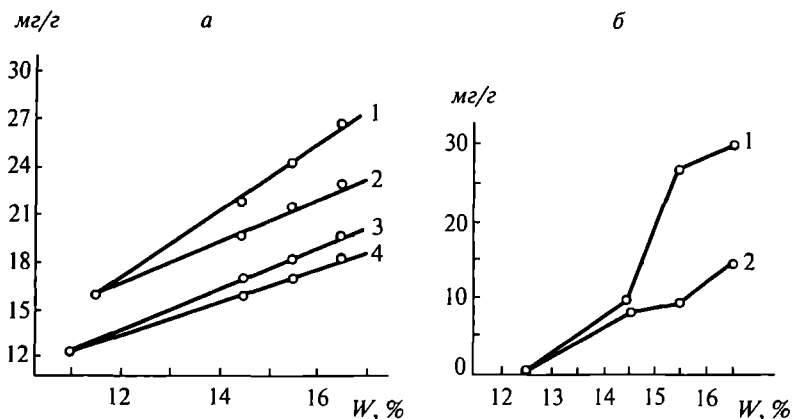


Рис. 62. Влияние влажности зерна на активность ферментов при гидротермической обработке зерна пшеницы:

*а* — активность (β-амилазы: 1 — горячее кондиционирование Безостая 1; 2 — холодное кондиционирование Безостая 1; 3 — горячее кондиционирование зерна рядовой пшеницы; 4 — холодное кондиционирование зерна рядовой пшеницы; *б* — активность β-фруктофуранозидазы зерна рядовой пшеницы: 1 — холодное кондиционирование; 2 — горячее кондиционирование

шается, причем особенно сильно в группе связанных липидов: после холодного кондиционирования в 4 раза, горячего в 1,8 и скоростного в 2,3 раза.

Количество свободных жирных кислот заметно возрастает: это результат гидролитического расщепления, прежде всего триацилглицеринов, а также и других фракций липидов. Исследователи указывают, что гидротермическая обработка зерна приводит к увеличению содержания витаминов в пшеничной муке (табл. 87).

Гидротермическая обработка зерна пшеницы вызывает уменьшение концентрации водорастворимых витаминов в периферийных слоях зерна и одновременно значительное возрастание их количества в зоне зародыша и небольшое — в эндосперме. Направленность в миграции водорастворимых витаминов при гидротермической обработке зерна биологически связана с тем, что витамины как составная часть коферментов играют большую роль при эмбриональном пробуждении зерна.

Перемещение витаминов в зерне при обработке теплом и водой повышает их концентрацию в пшеничной муке. При нагреве зерна свыше 45–50 °С количество витаминов в муке снижается. Один из результатов гидротермической обработки — снижение зольности пшеничной муки высоких сортов: при холодном кондиционировании на 0,10–0,12%, при горячем на 0,12–0,15%. Это происходит по следующим причинам: гидротермическая обработка делает более эластичными оболочки, в связи с чем они с большей легкостью отделяются при размоле, снижая количество поступающих в муку высокозольных частиц; при обработке зерна водой и теплом происходит перемещение минеральных веществ вместе с растворенными питательными соединениями из периферийных слоев и эндосперма в зону зародыша (табл. 88).

При получении пшеницы из зерна I типа односортовой муки 70%-ного выхода общее снижение зольности в результате

Таблица 87

Содержание витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР при холодном кондиционировании яровой пшеницы сорта Цезиум 31, мг % сухого вещества

Влажность зерна	Целое зерно	Зародыш	Зерно без зародыша	Отруби очищенные	Эндосперм
<i>Витамин В<sub>1</sub> (тиамин)</i>					
11,2	0,66	4,80	0,56	2,69	0,07
14,5	0,66	5,86	0,54	2,40	0,10
17,6	0,66	6,39	0,52	2,21	0,20
<i>Витамин В<sub>2</sub> (рибофлавин)</i>					
11,2	0,14	0,96	0,12	0,69	Следы
14,5	0,14	1,02	0,13	0,61	0,03
17,6	0,14	1,11	0,12	0,47	0,04
<i>Витамин РР (ниацин)</i>					
11,2	8,18	8,26	8,12	36,75	1,34
14,5	8,18	9,74	8,10	34,90	1,68
17,6	8,18	14,98	7,92	31,62	2,23
<i>Соотношение анатомических частей зерновки</i>					
11,2			2,51	18,96	78,53
14,5			2,44	19,79	78,77
17,6			2,31	18,44	79,25
среднее			2,42	18,73	78,85

Зольность зерна мягкой пшеницы сорта Лютеценс 758 при гидротермической обработке, %

		Холодное кондиционирование		Горячее кондиционирование	
		$\omega = 16\%, \tau = 24 \text{ ч}$		$\omega = 16\%, \tau = 50 \text{ ч}$	
		зольность	изменение зольности	зольность	изменение зольности
Плодовая оболочка	2,98	2,84	-0,14	2,77	-0,21
Семенная оболочка с алейроновым слоем	9,12	8,54	-0,58	8,84	-0,28
Эндосперм (без алейронового слоя)	0,40	0,38	-0,02	0,39	-0,01
Зародыш	5,54	5,82	+0,27	5,79	+0,25
Целое зерно	1,90	1,92	-	1,91	-

гидротермической обработки зерна происходит на 15–30% из-за уменьшения зольности эндосперма и на 70–85% благодаря более полному отделению оболочек в связи с повышением их эластичности и пластичности.

Отдельные элементы, переходящие в состав золы, перемещаются по-разному. Перемещение фосфорсодержащих веществ сопровождается изменением различных форм фосфора. Содержание кислоторастворимого фосфора в целом при холодном способе обработки увеличивается больше, чем при горячем, а фосфора фитина, наоборот, при холодном кондиционировании уменьшается больше, чем при горячем. Неорганического фосфора при обоих вариантах гидротермической обработки становится больше.

Гидротермическая обработка вызывает отток фосфора из срединной и верхушечной частей и обогащение зародышевой части. В том же направлении (в зону зародыша) при холодном и горячем кондиционировании перемещаются железо и микроэлементы калий и магний.

Содержание кальция и натрия в зародыше уменьшается, и одновременно в эндосперме оно увеличивается. Иначе изменяется содержание марганца, никеля и цинка. Если при холодном кондиционировании они накапливаются в срединной части зерна при одновременном обеднении зародышевой, то

при горячем кондиционировании концентрация этих микроэлементов в зародышевой части заметно повышается, а во всех остальных уменьшается. Фитин, перемещаясь в зону зародыша, под влиянием фермента фитазы гидролизуется с выделением фосфорной кислоты, вовлекаемой в многочисленные последующие превращения. Весь поступивший в эту зону магний также используется в процессах, развивающихся в пробуждающемся зародыше.

Обработка зерна паром с давлением 0,35 МПа в течение 40 с (скоростное кондиционирование) уменьшает время кондиционирования зерна в 4–6 раз по сравнению с холодным, улучшает качество муки высшего, первого и второго сортов по цвету на 3–4 единицы и более при снижении зольности на 0,02–0,03%. Выход муки высоких сортов повышается на 1,5–2,0%. Хлебопекарное достоинство зерна улучшается так же, как и при горячем кондиционировании. Наилучших результатов достигают при обработке слабой клейковины. Создается возможность более широкого и эффективного использования зерна пшеницы, в том числе с пониженным качеством.

Все сказанное о химических и технологических изменениях зерна при ГТО указывает на необходимость строго дифференцированного выбора режима кондиционирования зерна пшеницы с учетом ее исходного состояния и качества.

Нагревание или термическую обработку используют в тех случаях, когда клейковина слабая (сортовая особенность зерна, зерно поражено клопом-черепашкой, проросшее и др.). Цель обработки заключается в том, что, нагревая зерно до температуры 55–65 °С, добиваются частичной денатурации белкового комплекса. В результате уменьшается гидратационная способность клейковины, она укрепляется, что приводит к улучшению ее физических свойств и, как следствие, к повышению хлебопекарного достоинства.

Разные фракции белкового комплекса при тепловом воздействии претерпевают неодинаковые изменения. Уже на этапе предварительного нагрева влажного зерна пшеницы при температуре 50 °С, еще не приводящем к денатурационной перестройке белковых веществ, наблюдаются глубокие из-

менения белка, различные для отдельных белковых фракций и при разных режимах сушки. Наиболее значительны они для альбуминов. Белки клейковины обладают более высокой стойкостью.

Метод улучшения технологического достоинства зерна пшеницы требует дифференцированного выбора режимов и скорости сушки с учетом исходного качества и состояния зерна с обязательной предварительной опытной проверкой. При этой проверке, исходя из состояния клейковинного комплекса, причины, вызвавшей ослабление клейковины, влажности и других показателей качества зерна, приходится устанавливать оптимальную температуру и продолжительность нагрева на небольших пробах зерна.

Метод не получил широкого производственного применения из-за сложности ведения процесса и в результате того, что неполноценное зерно улучшается только частично.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Каковы меры повышения качества муки, применяемые при подготовке зерна к помолу?
2. Когда смешивают две или несколько партии зерна? Как проверяют результаты смешивания?
3. В чем сущность, формы и условия, при которых применяют гидротермическую обработку зерна?
4. Как изменяются физические свойства и мукомольное достоинство зерна при гидротермической обработке?
5. Какие химические изменения зерна происходят при его гидротермической обработке, и как это отражается на качестве муки?



## **ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА В МУКУ И КРУПУ**

### **§1. ПЕРЕРАБОТКА ЗЕРНА В МУКУ**

Мука — пищевой продукт, получаемый измельчением зерна злаков и других культур с той или иной примесью оболочечных частиц (отрубей). Сущность переработки зерна в муку на мукомольном заводе при сортовом помоле сводится к тому, чтобы при помощи постепенных повторяющихся механических воздействий и последующего, также повторяющегося просеивания (сепарирования) удалить плодовые, семенные оболочки, алейроновый слой и зародыш зерна, а также одновременно и тоже постепенно, мучнистое ядро, в основном эндосперм, раздробить на частицы заданной крупности (рис. 63).

В связи с неравномерностью распределения химических веществ в зерновке химический состав зерна, подготавливаемого к помолу и промежуточные продукты размола изменяются по-разному (рис. 64).

Химический состав зерна, перерабатываемого на крупяном заводе, также изменяется. Химический состав зерна при подготовке его к помолу и в процессе размола изменяется не только в результате механического удаления его покровных тканей и измельчения. Одновременно в зерне и промежуточных продуктах размола происходят биохимические изменения, часто существенные.

Это служит основанием для применения метода химического анализа на предприятиях по переработке зерна для оценки его исходного качества с точки зрения требований того или иного производства, для проверки и регулирования технологического процесса переработки зерна, для оценки качества готовой продукции в зависимости от ее целевого назначения

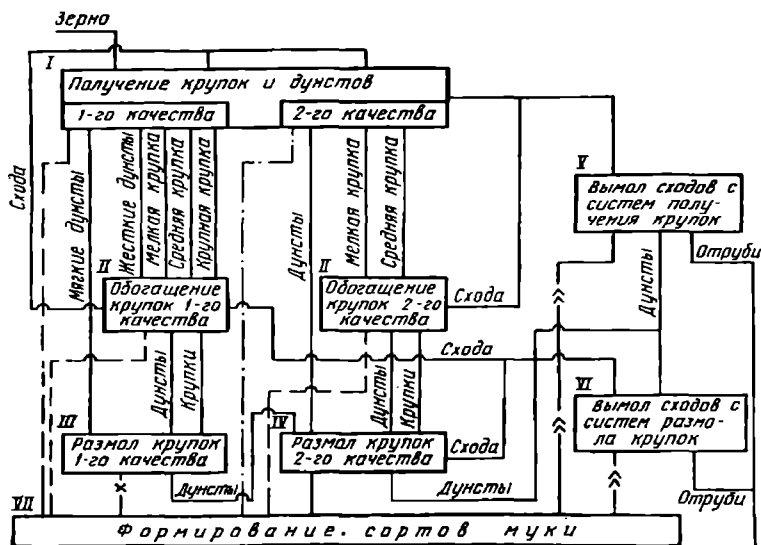


Рис. 63. Принципиальная схема сортового помола зерна пшеницы. Мука из зон крахмального ядра эндосперма: центральной — × — — внутренней спинной — — — внутренней боковой — - - - периферической — — — — —

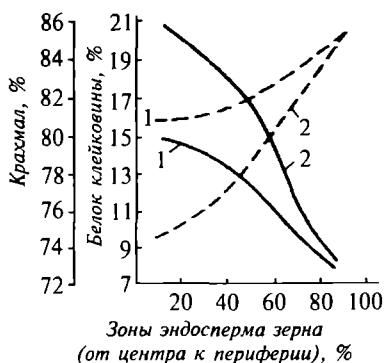


Рис. 64. Распределение крахмала и белков по крахмалистому ядру эндосперма зерна пшеницы различной консистенции: 1 — стекловидное зерно; 2 — мучнистое зерно; — крахмал; --- белок клейковины

(для хлебопекарной, макаронной, кондитерской и других видов промышленности).

При переработке зерна в муку и крупу необходимо контролировать химические и биохимические изменения, происходящие при подготовке зерна к помолу и других видах обработки; в продуктах размола зерна на отдельных технологических этапах его дробления; в результате применения тех или иных пищевых добавок или технологических приемов, направленных на повышение выходов и качества готовой продукции и исправление неполноценного зерна.

## **§ 2. ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗЕРНА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЕГО К ПОМОЛУ И ПЕРЕРАБОТКЕ В КРУПУ**

В зерноочистительном отделении мукомольного завода из зерновой массы удаляют примеси (органические и неорганические) при помощи сепараторов, аспираторов, куколеотборочных, овсюгоотборочных, камнеотделительных машин и магнитных аппаратов. Очищают поверхность зерна от пыли и грязи, а также частично удаляют бородку, оболочки и зародыш, используя для этого обоечные машины с абразивными и стальными цилиндрами, а также щеточные и моечные машины.

Химические изменения зерна (в результате обработки в зерноочистительном отделении) в основном сводятся к снижению его зольности из-за удаления пыли и грязи, а также частично поверхностных слоев и зародыша, имеющих повышенную зольность. Общее снижение зольности после обработки зерна в зерноочистительном отделении составляет 0,10–0,15%.

После зерноочистительного отделения в зерне уменьшается осаживающая способность, связанная с удалением зародыша. Опытным путем установлено уменьшение осаживающей способности (в условных единицах) в одном случае от 150 до 125 и в другом — от 162 до 116. Содержание зерен с поврежденным зародышем резко возрастает, достигая 50% и выше, всхожесть в результате этого снижается в 1,5–2 раза. Количество битых зерен значительно увеличивается. Зерно ржи после обработки в зерноочистительном отделении повреждается больше, чем зерно пшеницы, его всхожесть почти полностью утрачивается.

## **§ 3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ РАЗМОЛА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ**

В соответствии с Правилами организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах вырабатывают муку первого, второго и третьего сортов, также обойную. Химический состав обойной муки мало отличается от состава зерна. Из зерна удалены часть плодовых оболочек и зародыша, в

результате чего зольность обойной муки на 0,07–0,10% и содержание клетчатки на 0,15–0,20% меньше, чем в зерне, Мука сравнительно крупная, неоднородная по размеру. Наибольший размер частиц 600 мкм, а наименьший — 30–40 мкм. Обойная мука обладает высокими влагоемкостью и сахарообразующей способностью. Выход сырой клейковины из нее от 20% и выше (в зависимости от качества зерна).

Сортовой помол (с получением одновременно нескольких сортов муки) ведут по принципу многократного избирательного (позапного) измельчения. На каждом из последовательных этапов измельчения получают частицы, отличающиеся друг от друга по физическим свойствам. Их сепарируют на фракции, каждая из которых состоит из частиц, однородных по составу. На каждом из этапов получают характерные промежуточные продукты размола и небольшое количество муки, направляемое на формирование муки того или другого сорта.

Избирательное измельчение пшеницы и ржи основано на структурно-механических свойствах эндосперма и оболочек этих культур, которые еще более изменяются после гидротермической обработки.

Основная задача многократного избирательного измельчения — свести к минимуму дробление оболочек зерна и извлечь из него максимальное количество эндосперма. В связи с неоднородностью химического состава зерна промежуточные продукты размола (крупки крупные, средние, мелкие и дунсты — промежуточные фракции между крупками и мукой) значительно отличаются по химическому составу и биохимическим свойствам.

На первом этапе измельчения (его называют драным процессом) зерно грубо дробят на вальцовых станках и затем в рассевах извлекают частицы эндосперма в виде крупок и дунстов. Смесь крупок и дунстов обогащают при помощи ситовеечных машин, получая крупки и дунсты первого качества (частицы из чистого эндосперма) и второго качества (эндосперм с оболочками, оболочки с незначительным содержанием эндосперма).

Химический состав промежуточных продуктов размола зависит от составных частей зерна. В опытном помоле зерна озимой пшеницы IV типа второй группы стекловидности сред-

няя крупка, полученная с IV драной системы, и крупная крупка с первых трех драных систем имели следующий химический состав (первая цифра — средняя крупка, вторая — крупная крупка), %: эндосперм 61,76; 87,20, отрубянистые частицы (оболочки и алейроновый слой) 35,46; 11,79, зародыш 2,78; 1,01, зольность 2,95; 1,24, клетчатка 3,87; 1,52, белок 17,20; 15,39, клейковина 33,2; 33,9.

При измельчении крупок в муку происходит повреждение зерен крахмала на их поверхности и внутри. Неповрежденные зерна крахмала имеют кристаллическую структуру, они оптически анизотропны и показывают характерное двойное преломление света. Поврежденные зерна крахмала теряют эти свойства.

Внутренние повреждения крахмальных зерен (трещиноватость) наблюдаются в основном у крупных частичек муки и при измельчении крупок и дунстов из стекловидной пшеницы. При получении муки из мягкой пшеницы зерна крахмала внутри массы частиц почти не повреждаются, а наружная поверхность их повреждается незначительно. Микротрещины на поверхности крахмальных зерен, расположенных внутри массы частичек муки, появляются при измельчении крупок повышенной прочности. Такие крупки получают при измельчении пшеницы со стекловидным эндоспермом. Крупки и дунсты при измельчении разделяются по местам наименьшего сопротивления: в стекловидном эндосперме — по зернам крахмала, в мучнистом — между ними. Этим объясняется более высокая сахарообразующая способность муки из стекловидной пшеницы по сравнению с мукой из мучнистой пшеницы.

Влияние повреждения крахмала на качество пшеничной муки проявляется главным образом по двум признакам: повышению водопоглотительной способности (сорбции воды) и активности амилалитических ферментов. Механическое повреждение крахмальных зерен муки обычно сказывается положительно на ее хлебопекарном достоинстве. При этом увеличивается водопоглотительная и сахарообразующая способность, продолжительность формирования теста сокращается, цвет корки хлеба улучшается, хлеб медленнее черствеет.

Однако увеличение степени повреждения крахмальных зерен и связанное с этим улучшение хлебопекарного достоинства

**Физико-химический состав и свойства муки, полученной на различных этапах  
сортового помола озимой пшеницы сорта Украинка**

Наименование	Зерно, поступившее на 1 драную систему	Мука на этапе					Отруби
		получения крупок или дунстов	Размола крупок и дунстов качества		Вымола сходов системы		
			1-го	2-го	полученных крупок и дунстов	размола крупок	
Выход, % к массе зерна при влажности 14,5%	100,00	13,20	33,40	14,00	6,00	8,40	25,00
Состав муки, % сухого вещества:							
эндосперм	79,20	95,60	98,70	96,80	89,00	85,50	30,00
отрубянистые частицы зерна	18,55	4,40	1,30	3,20	11,00	14,50	65,47
зародыши	2,55	—	—	—	—	—	4,60
клетчатка	2,23	0,24	Следы	0,22	0,45	0,68	22,05
пентозаны	6,52	1,84	1,14	1,59	2,87	3,79	22,05
крахмал	64,72	78,50	82,60	79,80	70,00	67,80	22,80
восстанавливающие сахара	—	0,13	0,12	0,13	0,17	0,29	—
сахароза	—	1,36	1,20	1,29	1,86	2,85	5,49
липиды	2,05	1,18	0,52	0,96	1,43	2,04	4,77
азот:							
общий	2,89	2,86	2,74	2,76	2,93	2,99	3,25
глиадина	—	1,14	1,29	1,22	1,03	0,91	0,55
водорас-творимый	—	0,45	0,37	0,39	0,52	0,62	0,97
Клейковина:							
сырая	32,10	46,70	36,60	38,70	39,20	35,90	18,00
сухая	11,60	14,80	11,10	12,20	14,80	13,970	7,20
Свойства муки:							
гидратация клейковины, %	177,00	215,00	230,00	217,00	162,00	160,00	150,00

Таблица 89 (продолжение)

Наименование	Зерно, поступившее на 1 драную систему	Мука на этапе					Отруби
		получения крупок или дунстов	Размола крупок и дунстов качества		Вымола сходов системы		
			1-го	2-го	полученных крупок и дунстов	размола крупок	
удельная растяжимость клейковины, см/мин	—	1,10	0,60	1,00	1,40	1,30	—
зольность	1,85	0,61	0,40	0,59	1,13	1,38	5,49
Минеральный состав, мг на 100 г сухого вещества:							
калий	439,20	190,50	116,40	181,50	297,00	354,90	1197,50
кальций	53,80	24,30	16,80	22,20	33,10	37,10	115,00
магний	170,00	57,40	30,00	55,00	86,90	119,50	475,80
железо	7,20	3,70	2,60	3,50	4,90	5,60	17,80
общий фосфор	370,80	170,30	106,70	164,90	254,90	305,30	994,30
фитиновый	260,00	83,90	21,50	80,60	156,10	181,90	854,40
отношение Са : Mg	0,343	0,140	0,559	0,404	0,381	0,310	0,242
Фитиновый фосфор, %	67,10	49,00	20,90	48,80	61,30	59,60	85,90
нефитиновый фосфор, мг %	—	85,20	85,10	84,40	98,90	—	139,90
Осахаривающая способность, мг мальтозы на 10 г муки	—	128,00	132,00	150,00	228,00	210,00	—
Коэффициент отражения, %: по сухой пробе (ρ <sub>c</sub> )	—	81,20	86,30	82,70	78,00	76,50	—

Таблица 89 (продолжение)

Наименование	Зерно, поступившее на 1 драную систему	Мука на этапе					Отруби
		получения крупок или дунстов	Размола крупок и дунстов качества		Вымола сходов системы		
			1-го	2-го	полученных крупок и дунстов	размола крупок	
по мокрой пробе ( $\rho_d$ ) Способность муки к потемнению	—	67,40	77,70	70,30	53,00	47,50	—
$\frac{\rho_m - \rho_d}{\rho_m}$	—	17,00	10,00	15,00	32,00	38,00	—

муки имеет свои пределы. Высокая сорбция воды не всегда указывает на сильную муку, из которой получают хлеб высокого качества с хорошим выходом. Увеличенное поглощение воды может дать слабая мука с высоким уровнем повреждения крахмальных зерен, что ведет к ухудшению качества хлеба.

Физико-химический состав и свойства муки, полученной на различных этапах размола мягкой озимой пшеницы сорта Украинка, приведены в таблице 89.

Отдельные потоки муки, получаемые на различных этапах размола, во многих случаях резко различаются по химическому составу, качеству, технологическому (хлебопекарному) достоинству и пищевой ценности. Это связано с особенностями дифференцированного измельчения зерна при сортовом помоле, приводящим к тому, что образование муки происходит последовательно из определенных участков эндосперма (рис. 65).

Важный показатель сортовой муки — ее зольность, по которой судят о содержании в муке периферических частей зерна.

Зольность муки, получаемой на разных этапах размола, колеблется от 0,55 до 1,40% и выше, с отдельных систем — до 3%. Наименьшую зольность имеет мука, полученная при раз-



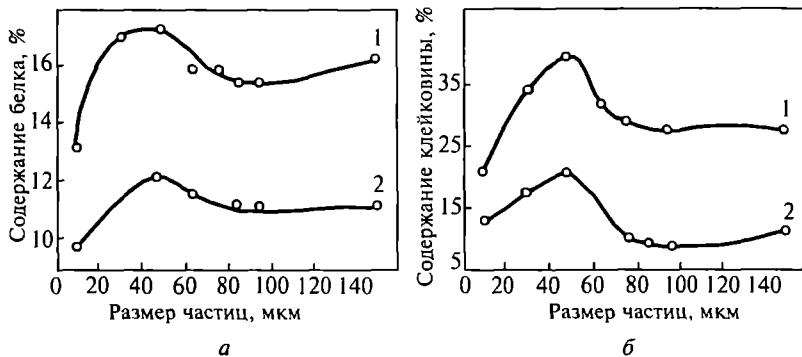


Рис. 65. Распределение белка (а) и клейковины (б) по фракциям муки: 1 — мука из пшеницы со стекловидной консистенцией эндосперма; 2 — мука из пшеницы с мучнистой консистенцией эндосперма

моле крупок и дунстов первого качества (0,55%), наибольшую — при вымоле сходов разных систем.

Введение норм зольности на муку сыграло прогрессивную роль, так как позволило отказаться от субъективной органолептической оценки качества промежуточных продуктов помола и готовой продукции. Однако при современных способах многосортного помола и в связи с непостоянством зольности составных частей зерна этот показатель не обеспечивает стабильности выходов муки по сортам и дальнейшего совершенствования процесса размола.

Установлено, что при равных условиях (содержание и качество белка, активность ферментов и т. д.) хлебопекарное достоинство муки зависит от степени измельчения эндосперма и его пигментации (рис. 66). Эти признаки сказываются на степени белизны муки. В последние годы в РФ проводятся работы по оценке сортов муки показателем белизны, измеряемым фотоэлектрическим фотометром.

После избирательного измельчения при сортовом помоле пшеницы по хлебопекарному достоинству, усвояемости и содержанию отрубянистых частиц муку можно объединить в три группы (по степени снижения качества муки): получаемую на системах размола крупок 1-го качества и состоящую в основном из центральной части эндосперма (крахмалистого ядра) с минимальным содержанием оболочечных частиц; из внутрен-

них частей крахмалистого ядра эндосперма (спинки и боковых частей зерна), получаемую на системах образования крупок и размола крупок 2-го качества; из периферических частей крахмалистого ядра эндосперма (расположенного у бороздки и примыкающего к алейроновым клеткам), получаемую на системах вымола сходовых продуктов и содержащую максимальное количество отрубянистых частиц.

Распределение извлекаемых участков эндосперма (крахмалистого ядра) по потокам муки зависит от стекловидности зерна; чем выше стекловидность зерна, тем больше их переходит в муку первой группы из центральной части зерна (при стекловидности свыше 70% — до 40%, при стекловидности ниже 40% — не больше 20%) и тем меньше из остальных частей. Содержание крахмала и белков в эндосперме зерна пшеницы показано на рисунке 64.

Баланс опытного помола (табл. 90) показывает, что в муку (общий выход 75%) перешел почти весь крахмал зерна (91,2%) и 72,2% общего белка. Часть сухой клейковины (9,2%) вошла в состав отрубей.

Сортовая мука вместе с тем не полностью освобождена от периферических оболочечных частиц и алейронового слоя. В нее также перешло (%): 17 отрубянистых частиц, 6,6 клетчатки и 19,5 пентозанов.

В отрубях осталась основная часть клетчатки 93,4% и пентозанов 80,5%, а также фитиновый фосфор (81,3%) (рис. 67).

В отруби перешло свыше половины зародыша (51,1%), а вместе с ним и отрубянистыми слоями большинство таких ценных для питания человека веществ, как минеральные вещества (74,2%), липиды (62,3%) и, наконец, заметная часть общего белка (27,8%).

Из минеральных веществ особый интерес представляют



Рис. 66. Зависимость объемного выхода (1) и белизны мякиша (2) хлеба от содержания в муке отрубянистых частиц зерна

Морфологический и химический баланс сортового помола пшеницы, %

Наименование	Мука на этапе						Итого	Отруби
	получе- ния крупок или дунстов	размола кру- пок и дунстов качества		вымола сходových систем при				
		1-го	2-го	получении крупок и дунстов	размоле крупок			
Выход	13,2	33,4	14,0	6,0	8,4	75,0	25,0	
Эндосперм	15,9	41,6	17,1	6,7	9,2	90,5	9,5	
Отрубяни- стые частицы	2,9	2,2	2,3	3,5	6,3	17,0	83,0	
Зародыш	—	—	—	—	—	—	51,1	
Зольность	4,4	7,2	4,4	3,6	6,2	25,8	74,2	
Клетчатка	1,4	0	1,4	1,2	2,6	6,6	93,4	
Пентозаны	3,5	5,6	3,3	2,5	4,6	19,5	80,5	
Крахмал	16,0	42,6	17,3	6,5	8,8	91,2	8,8	
Липиды	8,2	9,1	7,0	4,5	8,9	36,7	62,3	
Белок	12,9	31,4	13,3	6,0	8,6	72,2	27,8	
Клейковина сухая	17,4	33,1	15,2	7,9	10,3	90,8	9,2	
Калий	6,1	8,8	6,4	4,0	7,1	32,4	67,6	
Кальций	6,0	10,3	5,8	3,7	6,9	32,7	67,3	
Магний	4,8	6,3	4,9	3,3	4,9	24,2	75,8	
Железо	6,8	12,2	6,9	3,4	8,4	37,7	62,3	
Фосфор: общий								
фосфор	6,1	9,6	6,2	4,1	6,9	32,9	67,1	
фитиновый	4,2	2,7	4,3	3,6	3,9	18,7	81,3	

*Примечание.* Количество каждой морфологической части и каждого химического вещества зерна, поступивших на I драную систему, взято за 100%.

кальций и магний, а также фитиновый фосфор. Содержание кальция в продуктах переработки зерна значительно ниже потребности в нем человека. Чем выше соотношение между содержанием кальция и магния, тем меньшее количество кальция выводится из организма.

Высокие сорта муки, лишенные периферических слоев зерна, обеднены многими витаминами. Поэтому на некоторых мукомольных заводах производят витаминизацию муки, вводя в нее синтетические витамины (табл. 91).

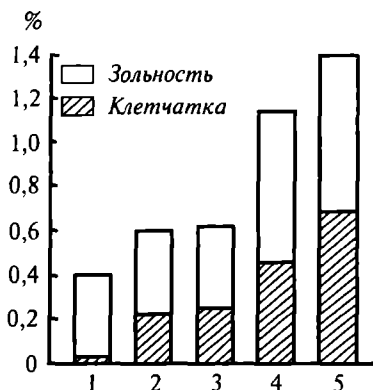


Рис. 67. Зольность и содержание клетчатки в пшеничной муке: 1 — мука с систем размола крупок 1-го качества; 2 — мука с систем размола крупок 2-го качества; 3 — мука с систем получения крупок; 4 — мука с систем сходов получения крупок; 5 — мука с систем размола крупок

Завершающий этап технологического процесса размола зерна — формирование сортов муки. При формировании отдельных сортов муки учитывают химический состав и биохимические особенности потоков муки, получаемых при поэтапном размоле зерна. При этом берут в расчет соотношение зон крахмалистого ядра эндосперма; содержание отрубянистых частиц; требования, предъявляемые к каждому сорту стандартом (зольность, крупность помола, количество клейковины, цвет, оцениваемый органолептически).

Во всех случаях необходимо стремиться максимально полностью удовлетворить потребности промышленности перерабатывающей муку по ее качеству, составу и технологическому достоинству. При установлении ассортимента и качества сортовой муки требования предприятий — потребителей муки должны быть решающими для мукомольных заводов. В таблице 92 приведен химический состав пшеничной муки разных сортов по данным справочных таблиц, одобренных Минздравом РФ.

В связи с ростом механизации промышленного хлебопечения в последние годы предъявляют более высокие требования к качеству пшеничной муки. Получили распространение не-

Таблица 91  
Нормы добавок синтетических витаминов, утвержденные Минздравом РФ, мг/100 г муки

Сорт пшеничной муки	Тиамин (В <sub>1</sub> )	Рибофлавин (В <sub>2</sub> )	Ниацин (РР)
Высший	0,4	0,4	2,0
первый	0,4	0,4	2,0

которые высокоурожайные сорта пшеницы с очень слабой клейковиной. Мука из пшеницы этих сортов дает липкое, влажное и расплывающееся тесто, она непригодна для выпечки хлеба и создает большие трудности при механизированном тестоведении. Такое зерно, используемое в смесях с другими сортами, ухудшает физические свойства теста подобно зерну, пораженному клопом-черепашкой. Возникла необходимость выделения нехлебопекарной пшеницы (непригодной для хлебопечения), которую следует отдельно хранить.

#### **§ 4. ПОЛУЧЕНИЕ ПШЕНИЧНЫХ ОТРУБЕЙ ПИЩЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Современные требования устанавливают необходимость обогащения суточного рациона питания пшеничными отрубями, содержащими пищевые волокна — целлюлозу, гемицеллюлозу, протопектин, лигнин. Выявлены свойства пищевых волокон в нормализации деятельности желудочно-кишечного тракта, установлена также эффективность применения пшеничных отрубей в лечении и профилактике проктологических\* заболеваний.

В связи с этим мукомольная промышленность приступила к изготовлению на мукомольных заводах пищевых отрубей.

Технологию изготовления пищевых отрубей разрабатывали, учитывая требования содержания в них возможно большего количества пищевых волокон при максимально возможном сохранении биологически активных веществ, а также с размерами частиц > 800 мкм (для профилактики заболеваний) и 500—800 мкм (легче переносимых больными) при условии снижения микробиологической обсемененности до норм санитарно-гигиенического состояния.

Установлено, что для пищевых целей необходимо отбирать отруби, получаемые при переработке доброкачественного зер-

---

\* Проктология — раздел внутренних болезней, изучающий болезни прямой кишки и разрабатывающий методы их диагностики, лечения и профилактики. Входит в состав гастроэнтерологии, изучающей болезни органов желудочно-кишечного тракта.

Средний химический состав пшеничной муки разных сортов, г на 100 г муки

Мука сорта	Белки	Жиры	Углеводы		Клетчатка	Зола	Минеральные вещества, мг							Витамины, мг			Энергетическая ценность, ккал
			моно- и дисахариды	крахмал			Na	K	Ca	Mg	P	Fe	β-каротин	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	PP	
Высшего	10,3	1,1	0,2	68,7	0,1	0,5	3	122	18	16	86	1,2	0	0,17	0,04	1,20	334
Высшего витаминизированного	10,3	1,1	0,2	68,7	0,1	0,5	3	122	18	16	86	1,2	0	0,57	0,44	3,20	334
Мука высшего сорта мельзаводов, оснащенных высокопроизводительным комплектом оборудования	11,0	1,4	0,3	67,0	0,3	0,5	4	158	28	33	102	2,4	0	0,17	0,06	—	332
Первого	10,6	1,3	0,5	67,1	0,2	0,7	4	176	24	44	115	2,1	Сл.	0,25	0,08	2,20	331
Первого витаминизированного	10,6	1,3	0,5	67,1	0,2	0,7	4	176	24	44	115	2,1	Сл.	0,65	48,00	4,20	331
Второго	11,7	1,8	0,9	62,8	0,6	1,1	6	251	32	73	184	3,9	0,01	0,37	0,12	4,55	324
Обойного	11,5	2,2	1,0	55,8	1,9	1,5	7	310	39	94	336	4,7	0,01	0,41	0,15	5,50	298

на пшеницы, отвечающего требованиям мельничных кондиций с обесцвеченностью не более I степени, хранившегося при оптимальных условиях, исключающих процессы порчи зерна. В схему получения пищевых пшеничных отрубей входят следующие производственные операции: отбор выделенных отрубей — верхний сход с IV драной системы сортового помола или отрубей после вымольных бичевых машин на комбинатах, оснащенных высокопроизводительным оборудованием; удаление мелкой фракции на рассеве или радиально-бичевой машине; отделение металломагнитных примесей; термообработка отрубей и их охлаждение; фасовка и упаковка.

Термообработка для снижения микробиологической обсемененности отрубей до уровня, установленного Минздравом РФ, с целью обеспечения хранения без снижения их качества проводится в псевдоожиженном слое при температуре отрубей и горячего воздуха 120 °С в течение 5 мин. На пищевые пшеничные отруби разработаны ТУ.

## **§ 5. ПОЛУЧЕНИЕ ПШЕНИЧНЫХ ЗАРОДЫШЕВЫХ ХЛОПЬЕВ**

Зародыши зерна пшеницы, на долю которых приходится до 3,2%, богаты полноценными белками, липидами, витаминами, минеральными веществами. По усредненным данным, в зародышах пшеницы юга европейской части России содержится белка 37,6% при 12,9% в эндосперме. Зародыши обладают высокой биологической и пищевой ценностью. Однако при сортовом помолу зародыши обычно направляют в отруби, используемые на кормовые цели. В последнее время установлена практическая целесообразность применения зародышей для обогащения хлебных изделий. Зародыши выделяют при сортовом помолу пшеницы I сходом с 4-й размольной системы. Они содержат 65—90% пшеничного зародыша и 10—35% отрубянистых частиц. Разработана технология, составлены рецептуры и технологический режим приготовления новых сортов хлеба, предназначенных для лечебного и профилактического питания при нарушении обмена веществ в организме. Так, в булочку «Витаминная» за-

родышевые хлопья (5%) вносят взамен муки I сорта. В булочках увеличено содержание (%): белка — на 8–12, лизина — на 24–29, других незаменимых аминокислот — на 5–9, витаминов (%): В<sub>1</sub> — на 9–18, В<sub>2</sub> — на 40–60, РР — на 10–18.

Хранение зародышей затруднено в связи с повышенным содержанием жира — лабильного вещества, приводящего к их быстрой порче. Для уменьшения микробиологической обсемененности и снижения влажности пшеничные зародышевые хлопья сушат в «кипящем» слое при температуре 130 и 140 °С. В результате термообработки влажность зародышевых хлопьев уменьшается до 5% (при температуре 130 °С) и до 3% (при температуре 140 °С). Хлопья при этом нагревают до 65–70 °С с сохранением пищевой ценности. В зависимости от исходного числа жира зародышевые хлопья в водонепроницаемой упаковке хранят без заметного изменения в течение 3–6 мес.

## § 6. ПЕРЕРАБОТКА ЗЕРНА РЖИ В МУКУ

Из ржи вырабатывают муку сеяную с выходом 63% (при односортном помоле), обдирную с выходом 87% (при односортном помоле) и обойную с выходом 95%. Остальное (при сортовом сеянном помоле) приходится на: мучку кормовую — 15%, отруби — 2–18%, отходы кормовые — 2–3%, отходы негодные и механические потери — 0,7%, усушку — 0,3%.

Наиболее часто рожь перерабатывают в обойную муку с выходом 95%. При очистке удаляют пыль и грязь с поверхности зерен, частично отделяют плодовые оболочки. Содержание оболочек снижается на 2,5–3%. Зольность ржаной обойной муки по стандарту должна быть на 0,07% ниже зольности зерна перед очисткой, но не более 2%. Муку обдирную получают при односортном помоле с выходом 87% или при двухсортном с выходом 65%. Обдирная мука больше освобождена от плодовых оболочек и частично от семенных и зародыша. Предельная зольность обдирной муки по стандарту установлена ниже, чем для обойной, — 1,45%.

При двухсортном помоле получают обдирную муку более тонкую, с большей автолитической активностью и с большим



содержанием водорастворимых веществ, чем у муки, получаемой при односортном помоле. Химический состав ржаной обойной муки близок к составу ржи. Зольность ее несколько меньше, немного снижено содержание клетчатки, пентозанов, липидов, сахаров.

Химический состав обдирной муки изменяется больше, чем у обойной. В связи с меньшим выходом периферийные части при размолу зерна удаляются в большем количестве. В обдирной муке по сравнению с обойной значительно ниже зольность, меньшее содержание клетчатки, пентозанов, белков, липидов, сахаров, количество крахмала больше. Различия еще более выражены при сравнении химического состава зерна ржи и обдирной муки.

Обойная мука богаче витаминами и минеральными веществами, чем обдирная. Та и другая в среднем содержат (первая цифра — для обойной муки, вторая — для обдирной), мг/кг: тиамин 6,5; 3,0, рибофлавин 2,0; 1,2; ниацин 16; 13 и соответственно минеральных веществ (%):  $P_2O_5$  — 0,66, 0,46; CaO — 0,08, 0,06;  $Fe_2O_3$  — 0,009, 0,006.

При переработке зерна ржи в сеяную муку его химический состав претерпевает глубокие изменения. Проанализирован химический состав промежуточных и конечных продуктов при 72%-ном помолу ржи сорта Вятка с содержанием эндосперма 78% на лабораторной мельнице «Нагема». Содержание белка в продуктах с драных и размольных систем с увеличением числа пропусков через них постепенно возрастает. Содержание пентозанов, клетчатки, минеральных веществ, жира, тиамин и рибофлавин также повышается. Содержание крахмала постепенно уменьшается.

Химический состав промежуточных продуктов двухсортного производственного помола товарной ржи (табл. 93) с выработкой 15% сеяной и 65% обдирной муки подтверждает приведенные закономерности. При большой схожести в распределении различных веществ в промежуточных продуктах сортового помола ржи и пшеницы имеется важное различие. При сортовом помолу пшеницы лучшая по зольности мука получается с первых размольных систем. Сортовой помол ржи приводит к другим результатам — лучшая мука получается с первых драных систем.

## Химический состав продуктов

Наименование	Выход продукта, %	Зольность		Клетчатка	
		I	II	I	II
Рожь:					
в приемном бункере	100,0	2,03	—	3,29	—
на I драную систему	96,5	1,95	100,00	3,15	100,00
Мука:					
с I драной системы					
обдирная	9,5	0,76	3,71	1,07	3,47
со II драной системы					
обдирная	6,2	0,85	2,70	1,20	3,62
сеянная	5,2	0,69	1,84	0,71	1,17
с III драной системы					
обдирная	7,0	1,20	4,30	1,59	3,53
сеянная	3,2	0,75	1,23	0,77	0,81
с IV драной системы					
обдирная	7,6	1,70	6,62	2,55	6,16
с V драной системы					
обдирная	4,8	2,40	5,90	4,14	6,32
с 1-й размольной					
системы сеяная	4,4	0,78	1,76	0,91	1,27
со 2-й размольной					
системы обдирная	5,0	1,33	3,41	2,59	4,10
сеяная	3,2	0,90	1,47	1,16	1,15
с 3-й размольной					
системы обдирная	6,2	1,40	4,45	2,97	5,84
с 4-й размольной					
системы обдирная	5,5	1,85	5,27	3,81	6,68
с 5-й размольной					
системы обдирная	4,2	2,41	5,19	6,31	8,42
пересева продуктов со					
щеточных машин	3,2	2,21	3,62	5,14	5,24
Сход с контрольных					
рассево:					
обдирная	0,8	3,30	—	4,45	—
сеяная	0,5	1,32	—	1,80	—
Отруби	16,4	5,30	44,57	7,95	41,30
Мука:					
сеяная	15,5	0,75	—	0,97	—
обдирная	64,5	1,44	—	2,63	—
Фактически обнаружено	—	—	99,95	—	102,26

Примечание. I — содержание в продукте; II — к общему содержанию в

**сортового помола ржи (15 + 65%)**

Белок (Nx5,7)		Жир		Пентозаны	
I	II	I	II	I	II
10,94	—	2,17	—	8,03	—
10,55	100,00	2,08	100,00	7,99	100,00
6,38	5,75	0,87	3,97	3,94	4,70
7,98	4,07	1,32	3,94	5,00	3,89
6,84	3,37	0,97	2,43	3,00	2,01
10,15	6,74	1,96	6,59	5,93	5,20
7,01	2,12	1,00	1,54	3,03	1,21
12,20	8,65	2,62	9,57	7,28	6,92
14,93	6,79	3,43	7,94	9,58	5,27
5,59	2,34	1,16	2,45	3,42	1,86
11,91	5,65	2,49	5,96	6,91	4,27
9,12	2,78	1,62	2,48	3,94	1,58
11,51	6,76	2,47	7,96	7,68	5,96
13,57	7,26	3,23	8,50	9,13	6,30
14,02	5,58	3,79	6,50	14,16	7,46
14,71	4,47	3,12	4,81	12,00	6,03
15,63	—	3,02	—	15,20	—
9,80	—	1,20	—	6,47	—
16,13	25,01	3,32	25,99	18,55	38,60
7,38	—	1,19	—	3,84	—
10,70	—	2,07	—	7,16	—
—	102,74	—	106,30	—	105,90

зерне, поступившем на I драную систему.

Средний химический состав ржаной

Наименование	Вода	Белки	Жиры	Углеводы		Клетчатка	Зола
				моно- и дисахариды	крахмал		
Мука:							
сеяная	14	6,9	1,4	0,7	63,6	0,5	0,6
обдирная	14	8,9	1,7	0,9	59,3	1,2	1,2
обойная	14	10,7	1,9*	1,1	55,7	1,8	1,6

При зольности зерна ржи, поступившего на размол, равной 2,03%, зольность муки со II и III драных систем (соответственно) 0,69 и 0,75%, а с первых двух размольных систем — 0,78 и 0,99%. Изменение в распределении веществ по продуктам сортового помола пшеницы и ржи связано не с особенностями

распределения веществ в зерновке ржи, а с тем, что зерно ржи содержит в отличие от зерна пшеницы большое количество слизи. Это сказывается на особенностях структурно-механических свойств ржи, что приводит к иному распределению минеральных веществ и клетчатки по потокам промежуточных продуктов.

Особенность формирования готовой ржаной муки — мука с первых драных систем (особенно с первой) обладает повышенной активностью амилолитических ферментов. При переработке зерна ржи с высокой активностью амилаз необходимо с осторожностью направлять эти потоки в сортовую муку. Разработан и вне-

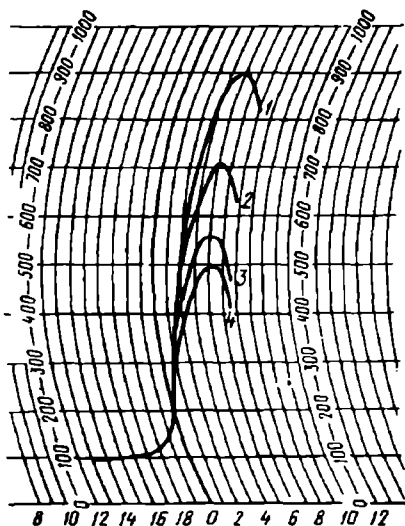


Рис. 68. Амилограмма ржаной обдирной муки 87%-ного выхода:

- 1 — из шелушеного зерна; 2 — из шелушеного зерна с отделением 4,3% оболочек; 3 — из шелушеного зерна с отделением 5% оболочек; 4 — из шелушеного зерна с отделением 7% оболочек

Таблица 94

муки разных сортов (г на 100 г муки)

№	Минеральные вещества, мг					Витамины, мг				Энергетическая ценность, ккал
	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	β-каротин	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	
1	200	19	25	129	2,9	Сл.	0,17	0,04	0,99	304
2	350	34	60	189	3,5	Сл.	0,35	0,13	1,02	298
3	396	43	75	256	4,1	0,01	0,42	1,15	1,16	293

дрен новый способ производства ржаной муки. Особенность этого способа состоит в том, что при подготовке зерна к помолу его поверхность очищают от пыли и грязи с удалением верхних, непрочно связанных и легко отделяемых оболочек: при сортовых помолах 3,5–4,0% и обойном 2,2–5,0%. Для этого применяют шелушильные машины и для обработки продуктов размола на драных системах — бичевые машины. Предварительное шелушение зерна ржи перед размолом, улучшая показатели мукомольного достоинства, одновременно заметно повышает качество муки.

Удаление большого количества оболочек при шелушении повышает максимальную высоту амилограмм муки (рис. 68); автолитическая активность зерна и муки снижается в связи с повреждением и удалением зародыша, в котором сосредоточены наиболее активные ферменты. Качество выпеченного хлеба повышается, улучшается внешний вид (мякиш и корка светлеют), возрастают объем (на 7–27 см<sup>3</sup> на 100 г муки), пористость (на 2–4%) и упругость мякиша. В справочных таблицах, одобренных Министерством здравоохранения РФ (табл. 94), приведен средний химический состав ржаной муки, содержание основных питательных веществ и энергетическая ценность пищевых продуктов.

## § 7. ПЕРЕРАБОТКА ЗЕРНА В КРУПУ

Основная задача переработки зерна в крупу — максимальное удаление внешних покровов зерна. Зерно без оболочек легче и быстрее приготовить для употребления в пищу.

Частично эта задача выполняется при подготовке зерна к переработке. Зерно очищают от семян сорных растений, неполноценных и неразвитых (мелких) зерен основной культуры, зерен других культур, от органических, минеральных и металломагнитных примесей. Зерно подвергают гидротермической обработке при переработке овса, гречихи, кукурузы, гороха. При этом зерно увлажняют и пропаривают при давлении пара 0,15–0,30 МПа в течение 3–5 мин, затем высушивают до влажности 12–14%. В результате гидротермической обработки разрушаются клейящие вещества в пленках и оболочках зерна, в периферийных слоях эндосперма происходит частичная клейстеризация крахмала. Кратковременная обработка паром, а затем подсушивание удаляют из овса присущую ему горечь.

Гидротермическая обработка инактивирует ферменты, в том числе моноацилглицероллипазу и липоксигеназу, способствующие прогорканию жира, и тем самым предотвращают появление в крупе горечи. При пропаривании овса в течение 2-х мин при давлении 0,5–10<sup>5</sup> МПа и 0,3–10<sup>5</sup> МПа активность липазы уменьшается почти в 10 раз, а липоксигеназы — в 2–3 раза.

Дыхание после гидротермической обработки почти полностью прекращается. Все это повышает устойчивость крупы (овсяной, гречневой) при хранении. Цветковые оболочки овса, проса, ячменя, риса и плодовые оболочки гречихи становятся более эластичными, а ядро более прочным, что облегчает шелушение зерна, обеспечивает увеличение выхода недробленой крупы.

Подготовка зерна к переработке несколько изменяет состав крупы: уменьшается количество клетчатки, минеральных веществ, содержание водорастворимых и летучих веществ (рис. 69).

Следующий этап производства крупы состоит из шелушения (снятия цветковых или плодовых оболочек), шлифования (в некоторых случаях и полирования), сортирования полученных продуктов для удаления лузги, мучки и разделения готовой продукции на сорта, а также контроля.

Наиболее важный технологический прием шелушение (удаление грубых цветковых пленок), приводящее к значительному уменьшению содержания неусвояемых веществ (табл. 95).

В результате шелушения клетчатка удаляется на 85–90% и пентозаны на 61–79% от первоначального их содержания в зерне; зольность снижается на 56–80% (рис. 70).

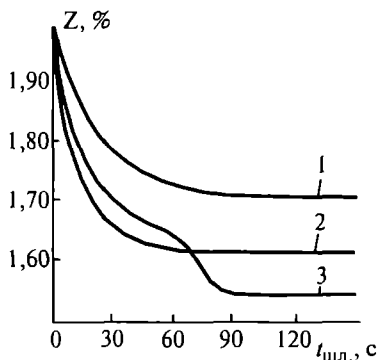


Рис. 69. Изменение зольности овсяной крупы при гидротермической обработке и шлифовании: 1 — контроль; 2 — оптимальный режим пропаривания и 2 ч отволаживания; 3 — ГТО, оптимальный вариант

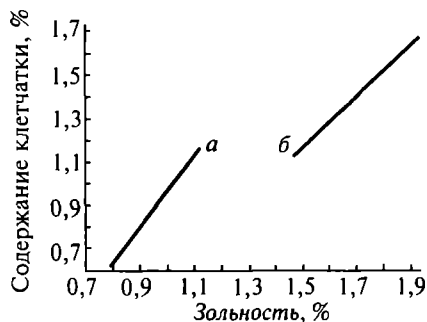


Рис. 70. Связь между зольностью и содержанием клетчатки в крупе: а — перловой; б — ячневой

При переработке проса и овса применяют шлифование, а риса и гороха — шлифование и полирование. В результате из пшеницы удаляются зародыш, плодовые и семенные оболочки, у овсяного ядра опушение и частично зародыш, а у риса и хорошо отшлифованного пшеницы, кроме того, почти полностью алейроновый слой.

Таблица 95

Содержание золообразующих веществ, клетчатки и пентозанов в крупяном зерне до и после шелушения, % сухого вещества

Наименование	Клетчатка	Пентозаны	Зольность
Просо:			
нешелушеное	13,0	6,5	3,5
шелушеное	1,0	2,5	1,5
Гречиха:			
нешелушенная	14,5	8,0	2,2
шелушенная	1,3	2,0	2,2
Овес:			
нешелушенный	13,0	14,0	4,5
шелушенный	2,0	3,0	2,0
Рис:			
нешелушенный	15,5	3,3	6,0
шелушенный	0,8	1,2	1,2

## Химический состав шлифованной и полированной крупы, % сухого вещества

Наименование	Золообразующие элементы	Клетчатка	Жир	Белок	Крахмал
Пшено:					
нешлифованное	1,40	0,80	3,7	14,8	69
шлифованное	1,10	0,55	2,6	14,6	71
Рис:					
шелушенный	1,20	0,80	2,5	10,3	82
шлифованный	0,50	0,44	0,5	9,9	85
полированный	0,36	0,16	0,4	8,2	87

Крупа приобретает определенную форму и однородность. Химический состав крупы изменяется, усвояемость повышается, вкусовые и кулинарные достоинства улучшаются (скорость разваривания и увеличение объема при варке).

После шлифования и полирования в крупе уменьшается зольность, содержание клетчатки, жира и белка. Увеличива-

## Средний химический состав крупы

Мука сорта	Белки	Жиры	Углеводы		Клетчатка	Зола
			моно- и дисахариды	крахмал		
Манная	10,3	1,0	0,3	67,4	0,2	0,5
Гречневая:						
ядрица	12,6	3,3	1,4	60,7	1,1	1,7
продел	9,5	2,3	1,1	64,8	1,1	1,3
Рисовая	7,0	1,0	0,7	70,7	0,4	0,7
Пшено	11,5	3,3	1,7	64,8	0,7	1,1
Овсяная	11,0	6,1	0,9	48,8	2,8	2,1
Толокно	11,5	6,0	1,5	48,7	1,9	1,8
Овсяные хлопья «Геркулес»	11,0	6,2	1,2	48,9	1,3	1,7
Перловая	9,3	1,1	0,9	65,6	1,0	0,9
Ячневая	10,0	1,3	1,1	65,2	1,4	1,2
Пшеничная:						
Полтавская	11,5	1,3	1,0	62,1	0,7	0,9
Артек	11,0	1,2	0,8	67,5	0,3	0,7
Кукурузная	8,3	1,2	1,2	70,4	0,8	0,7
Горох лущеный	23,0	1,6	3,4	47,4	1,1	2,6

*Примечание.* Содержание воды (г) в овсяной крупе и «Геркулесе» — 12, в



ется количество зерен, лишенных зародыша. Процентное содержание крахмала возрастает (табл. 96).

Шлифование и полирование приводят также к уменьшению содержания важных биологических веществ (витаминов, макро- и микроэлементов и др.). Содержание тиамина в рисе шелушенном составляет 4–5 мг/кг, в рисе шлифованном — 1,5 мг/кг и в рисе полированном только 0,5 мг/кг. Шлифование значительно обедняет крупу минеральными веществами. После шлифования в течение 120 с содержание фосфора в рисовой крупе (без гидротермической обработки) уменьшается на 80,5%, калия — на 83%, кальция — на 70%, железа — на 83%, в овсяной крупе содержание фосфора уменьшается на 30%, калия — на 49,2%, кальция — на 60%, железа — на 75%.

Соответственно изменяется химический состав побочного продукта — мучки, в которую переходят отделяемые от зерна при шлифовании вещества. Мучка после шлифования пшена содер-

Таблица 97

разных сортов (на 100 г крупы)

№	Минеральные вещества, мг					Витамины, мг				Энергетическая ценность, ккал
	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	β-каротин	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	
3	130	20	18	85	1,0	0	0,14	0,04	1,20	328
3	380	20	200	298	6,7	0,01	0,43	0,20	4,19	335
3	320	20	150	253	4,9	0	0,42	0,17	3,76	329
12	100	8	50	150	1,0	0	0,08	0,04	1,60	330
10	211	27	83	233	2,7	0,02	0,42	0,04	1,55	348
35	362	64	116	349	3,9	Следы	0,49	0,11	1,10	303
23	351	58	111	325	3,0	0	0,22	0,06	0,70	306
20	330	52	129	328	3,6	0	0,45	0,10	1,00	305
10	172	38	40	323	1,8	0	0,12	0,06	2,00	320
15	205	80	50	343	1,8	0	0,27	0,08	2,74	324
—	—	—	—	261	4,4	0	0,30	0,10	1,40	316
—	—	—	—	276	4,7	0	0,30	0,10	1,40	335
4	147	20	36	109	2,7	0,20	0,13	0,07	1,10	337
27	731	89	88	226	7,0	0,01	0,90	0,18	2,37	314

толокне — 10, во всех остальных крупах — 14.

жит зародыш, алейроновый слой, небольшое количество эндосперма. В мучке свыше 20% жира, столько же белка, повышенное содержание минеральных веществ. По справочным таблицам Минздрава РФ определяют средний химический состав крупы, содержание основных пищевых веществ и энергетическую ценность пищевых продуктов (табл. 97). По аналогии с мукой крупу витаминизируют, прежде всего, тиамином, рибофлавином и ниацином. Лучшим способом введения витаминов в крупу признают распыление их по поверхности крупяных продуктов.

Разработана технология получения круп повышенной питательной ценности. Должны быть введены в действие новые заводы для производства крупы повышенной питательной ценности. Новые виды круп представляют собой комбинированные продукты, получаемые на основе обычного крупяного сырья с введением обогатителей животного (обезжиренное сухое молоко — ОСМ, сухой яичный белок) или растительного происхождения (горох, соя), а также витаминов и минеральных веществ. Основное сырье при производстве крупы повышенного качества — крупяные продукты, не уступающие по химическому составу основным видам крупы: рис дробленый, продел гречневый, дробленая овсяная и ячменная крупа, гороховая смесь и т. д. Кроме того, в рецептуру некоторых видов крупы входит пшеничная и кукурузная мука.

Таблица 98

**Химический состав крупы повышенной питательной ценности**

Наименование	Содержание белка, %	Соотношение белков животного и растительного происхождения	Суммарное содержание незаменимых аминокислот, мг/г белка	Суммарное содержание кальция, фосфора, железа, калия и магния, мг %
<i>Обычная крупа</i>				
Рис полированный	7,86	—	340,8	243,3
Ядрица	12,50	—	314,4	365,8
Пшено	12,00	—	296,7	337,7
<i>Крупы повышенной питательной ценности</i>				
Пионерская	17,70	1 : 1,41	493,2	1058,0
Спортивная	18,70	1 : 5	479,4	1355,1
Молодежная	18,08	1 : 5	356,1	1066,2

Повышенное содержание белка в комбинированных (табл. 98) крупах сочетается с их высокой питательной ценностью, а повышенное содержание в новых видах крупы легкоусвояемого молочного кальция делает их ценными продуктами для детского питания. Новые виды крупы богаты витаминами.

Производство и потребление новых видов крупы имеют большие перспективы. Они не только обогащают рацион продуктами высокого пищевого достоинства, но и позволяют использовать значительные запасы менее ценной крупы, получаемой при изготовлении крупы высоких сортов.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Что такое мука, в чем сущность переработки зерна при сортовом помоле, какими изменениями химического состава продуктов помола она сопровождается?

2. Как изменяется химический состав зерна при его обработке в зерноочистительном отделении?

3. Какие изменения химического состава происходят в промежуточных продуктах, получаемых с драных систем?

4. Каковы особенности химического состава промежуточных продуктов, получаемых на начальных и конечных системах размольного отделения?

5. Как сказывается на хлебопекарном качестве муки повреждение крахмальных гранул при размоле зерна?

6. Как изменяется морфологический и химический баланс продуктов сортового помола по его отдельным этапам?

7. Как витаминизируют пшеничную муку?

8. Как получают пшеничные отруби пищевого назначения, каков их химический состав?

9. Каков химический состав пшеничных зародышевых хлопьев, направляемых для пищевого использования?

10. Какие химические изменения происходят в зерне и каковы особенности химического состава конечного продукта при переработке зерна в крупу?

11. Каков химический состав крупы повышенного пищевого достоинства?

## **БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В МУКЕ И КРУПЕ ПРИ ХРАНЕНИИ**

### **§ 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В МУКЕ ПРИ ХРАНЕНИИ**

Мука лишена биологической координации процессов, происходящих в живом зерне. Масса мелких частиц, составляющих муку, утратив защитные оболочки зерна, легкодоступна неблагоприятному воздействию внешней среды (влаги, кислорода воздуха, микроорганизмов и т. д.). Мука состоит из кусочков живой ткани, не утративших способности к биохимическим изменениям. В живых клетках муки сохраняется способность к газообмену, более заметному вначале и затем постепенно затухающему в последующий период хранения — мука поглощает кислород и выделяет углекислый газ (табл. 99).

Газообмен муки II сорта происходит более интенсивно в результате большего содержания периферийных частиц зерна, в том числе зародышей ткани. Газообмен — это суммарное следствие дыхания частиц муки и аэробных микроорганизмов, а также химических окислительных процессов (окисления ненасыщенных липидов и каротиноидных пигментов — каротина, ксантофилла и др.).

Окисление каротиноидов приводит к посветлению муки, что практического значения не имеет, так как процесс развивается медленно и может продолжаться в течение длительного времени. В муке происходят и другие окислительно-восстановительные процессы. Все это создает благоприятные условия для биохимических процессов, происходящих в муке, особенно интенсивно протекающих при повышенной влажности и температуре.

Различают два этапа процессов, происходящих в муке при хранении после ее изготовления (размола зерна), которые по-разному влияют на технологическое достоинство муки. Одни из них улучшают хлебопекарное достоинство муки (период созревания), другие ухудшают ее качество — если не принять соответствующих мер, эти процессы способны привести к порче муки.

## § 2. СОЗРЕВАНИЕ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Пшеничная мука сразу же после размола дает из высокого по качеству зерна хлеб с низкими качественными показателями, особенно при переработке только что убранного зерна.

Тесто получается липковатое, мажущееся и быстро разжижающееся при брожении. Для хлеба характерен пониженный объем, нередко мелкие трещины в корке. Подовый хлеб расплывчат, его выход снижен.

Требуется некоторое время (отлежка муки), и только тогда мука приобретает технологическое достоинство, соответствующее высокому качеству зерна. Мука должна пройти период созревания. В результате созревания пшеничная мука становится более сильной, объем хлеба увеличивается, пористость мякиша возрастает и улучшается, расплываемость подовых изделий снижается. В слабой муке в результате созревания происходят особенно глубокие изменения, хлебопекарное качество ее улучшается в наибольшей степени. В муке средней силы эти изменения выражены слабее. Сильная мука в результате созревания становится еще более сильной.

Таблица 99

Интенсивность газообмена пшеничной муки I и II сортов

Температура, °С	Количество углекислого газа (мг), выделяемого 100 г муки за 24 ч.			
	сразу после помола		через месяц хранения	
	I сорт	II сорт	I сорт	II сорт
5	0,193	0,159	0,095	0,077
5—10	0,322	0,639	0,162	0,212
10—12	0,678	0,936	—	—
22	1,081	1,404	—	—

В течение периода созревания в муке происходят физические, коллоидные и биохимические процессы. В ней изменяются влажность, цвет, кислотность, содержание жира, белково-протеиназный и углеводно-амилазный комплексы. Влажность пшеничной муки при хранении изменяется в зависимости от параметров воздуха (относительной влажности и температуры) в сторону приближения к равновесной. При хранении муки в мешках, уложенных в штабеля, ее влажность изменяется медленно. В этих условиях практически значимое изменение влажности может происходить только при длительном хранении муки в складе. При хранении свежемолотой муки ее титруемая и активная кислотность возрастает. Повышение кислотности вызывает гидролитическое расщепление жира и образование свободных жирных кислот, распад фосфорорганических соединений и образование кислых фосфатов типа  $\text{KН}_2\text{PО}_4$  (первичных фосфатов), очень небольшой гидролиз белков и образование продуктов кислотного характера, в которых имеются незанятые концевые группы —  $\text{COOH}$  и наличие в незначительных количествах органических кислот (молочной, уксусной и других).

На увеличение титруемой кислотности влияют выход и влажность муки, а также температура: чем выше эти три показателя, тем больше и быстрее возрастает кислотность. Нарастание титруемой кислотности муки наиболее интенсивно происходит в течение первых 15–20 сут после размола зерна. При опытном хранении муки с влажностью 13,5% титруемая кислотность за 24 сут возросла при температуре 15 °С от 4,1 до 4,2°, при температуре 45 °С — от 4,1 до 4,6°, а за 63 сут в первом случае — до 4,2° и во втором — до 4,8°. При влажности муки 15% те же показатели изменяются следующим образом: за 24 сут хранения при температуре 15 °С — от 4,1 до 4,2°, при температуре 45 °С — от 4,1 до 5,2°, а за 63 сут хранения при температуре 15 °С — до 4,3° и при температуре 45 °С — до 5,3°.

Изменение кислотности в период созревания не влияет на хлебопекарные достоинства муки. Основная причина повышения силы пшеничной муки при созревании — изменение физических свойств клейковины и теста (их укрепление). Белково-протеиназный комплекс изменяется под влиянием окис-

Таблица 100

Ферментативная активность и качество клейковины пшеничной муки 70%-ного выхода при хранении в течение 30 сут. при температуре 20°C

Продолжительность хранения, сут	Активность протеаз, $E_{280}$ на 1 г муки	Атакуемость белка, мг расщепляемого белка на 1 г муки	Физические свойства клейковины по глютографу	
			сопротивление растяжению P, ед. прибора	растяжимость, см
<i>Мироновская 808</i>				
0	0,235	7,2	620	28,0
30	0,100	10,8	690	20,4
<i>Саратовская 29</i>				
0	0,265	4,8	720	29,4
30	0,060	6,5	460	24,1

лительного воздействия, прежде всего кислорода воздуха. Окисление изменяет все компоненты белково-протеиназного комплекса.

Активность протеаз закономерно снижается, а атакуемость белка возрастает (табл. 100).

Изменение активности протеаз и атакуемости белков оказывает меньшее влияние на физические свойства клейковины и более полно коррелирует с реологическими свойствами теста (рис. 71). В белках муки заметно снижается количество SH-групп. Изменение белкового комплекса при созревании муки происходит неодинаково по сортам зерна пшеницы.

Важную роль в повышении силы пшеничной муки при созревании играет гидролиз жиров. Образующиеся при гидролизе

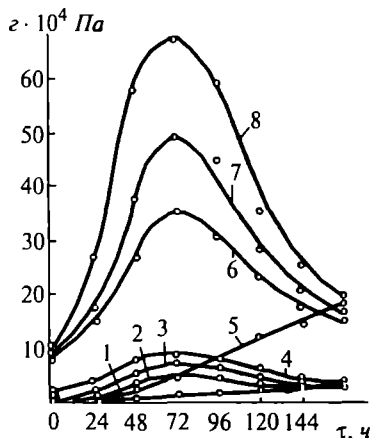


Рис. 71. Изменение вязкости клейковины при созревании пшеничной муки 1-го сорта:

- 1 — при естественном созревании (контроль);
- 2 — прогретой до 60°;
- 3 — аэрированной воздухом с повышенным содержанием кислорода;
- 4 — прогретой и аэрированной воздухом с повышенным содержанием кислорода;
- 5, 6, 7, 8 — соответственно то же в  $D_2O$

жира ненасыщенные жирные кислоты изменяют физические свойства клейковины, укрепляют ее и тесто. Видимо, на клейковину влияют не столько сами жирные кислоты, сколько продукты их окисления. Фермент липоксигеназа (в зерне и муке) окисляет ненасыщенные жирные кислоты, превращая их в перекиси и гидроперекиси — соединения с большой окислительной активностью, оказывающие окислительное воздействие на белково-протеиновый комплекс муки.

Изменения углеводно-амилазного комплекса при созревании пшеничной муки существенного влияния на ее технологическое достоинство не оказывают. На продолжительность периода созревания пшеничной муки влияют многие факторы: степень законченности послеуборочного дозревания зерна, сила муки сразу же после размола зерна, выход (сорт), влажность, температура при хранении, способ размещения. При получении муки из зерна с незаконченным периодом послеуборочного дозревания и свежееубранного требуются более длительные сроки отволаживания.

При хранении муки в неотопливаемом складе в условиях пониженной температуры практически приостанавливаются процессы, вызывающие ее созревание. От способа размещения, размера штабелей мешков с мукой и плотности их укладки зависит степень аэрации муки, доступа воздуха к каждому мешку и длительность созревания муки, заложенной на хранение.

Для полного созревания слабую муку приходится хранить более длительное время и при более высокой температуре. При хранении сильной муки не требуются повышенная температура и длительное время. О продолжительности созревания пшеничной муки нет точных данных. По одним данным свежесмолотая мука высшего, I и II сортов при хранении в отопливаемом складе в мешках достигает оптимальных хлебопекарных достоинств (заканчивает созревание) в течение 1,5–2,0 мес., а обойная пшеничная мука в тех же условиях — через 3–4 недели. По другим данным срок созревания пшеничной муки 1–2 мес., ржаной — вдвое меньше.

При условиях, вызывающих интенсивный гидролиз жира или большое окисление муки, клейковина излишне укрепляется, происходит перезревание муки. В муке с хорошими исходными



достоинствами клейковины при хранении в условиях положительной температуры это происходит значительно быстрее, чем в муке со слабой клейковиной. Продолжительные сроки хранения для достижения оптимальных хлебопекарных качеств пшеничной муки в результате ее созревания создают ряд дополнительных трудностей, удорожают производство муки и хлеба.

Разработаны способы ускорения созревания муки. В последние годы в практику все больше внедряется бестарное хранение и перевозка муки, ускоряющие ее созревание. Созревание свежесмолотой пшеничной муки при хранении в силосах, оборудованных для бестарного хранения, можно значительно ускорить, применяя принудительное аэрирование. Оптимальные условия ускоренного созревания пшеничной муки при бестарном хранении в силосах — аэрирование воздухом при 25 °С в продолжение 6 ч и удельном расходе воздуха 2–3 м<sup>3</sup>/ч на 1 т муки.

При слабой или нормальной исходной клейковине в муке эффект от аэрирования лучше, чем при изначальной крепкой клейковине. Клейковина заметно укрепляется, содержание сырой клейковины и ее гидратация уменьшаются, количество сухой клейковины остается без изменения. Объемный выход хлеба из муки I и II сортов со слабой клейковиной увеличивается (на 15–25 см<sup>3</sup>). Однако аэрирование, являясь сильно действующим фактором, в короткие сроки резко улучшающим технологическое достоинство пшеничной муки, может сказаться отрицательно на некоторых показателях ее качества. Так, в свежесмолотой муке, упакованной в мешки, содержание каротиноидов составляло 0,186 мг%. После пневмосепарирования количество каротиноидов уменьшилось до 0,133 мг%, а через 15 сут хранения в первом случае их оказалось 0,083, а во втором — 0,078 мг%.

Потери каротиноидов при аэрировании свежесмолотой муки оказались большими, чем при дальнейшем хранении. Хороших результатов достигают при нагреве муки в системе внутризаводского пневмотранспорта и последующим бестарным хранением. В опыте прогретая мука I сорта со слабой клейковиной достигла оптимального хлебопекарного достоинства за 96 ч (4 сут.). Непрогретая мука приобретает необходимые свойства за 1,0–1,5 мес. отволаживания. Внешний вид хлеба, пористость и цвет мякиша при прогреве муки улучшились, объем-

ный выход и сжимаемость мякиша увеличились, черствение хлеба замедлилось.

Созревание пшеничной муки можно ускорить, прогревая ее инфракрасным облучением. Газообразные соединения окислительного действия (двуокись хлора, окислы азота, треххлористый азот, озон, нитрозилхлорид и др.), обесцвечивающие красящие пигменты, воздействуют также на белково-протеиназный комплекс, что приводит к повышению силы муки.

Разработан ферментативный (липоксигеназный) способ улучшения пшеничного хлеба. В тесто вводят жидкую окислительную фазу (ЖОФ), содержащую не обезжиренную и не подвергавшуюся термической обработке соевую муку и рафинированное растительное масло (хлопковое, кукурузное или подсолнечное). Соевая мука богата активной липоксигеназой, образующей гидроперекиси ненасыщенных жирных кислот внешнего жира. Гидроперекиси окисляют компоненты белково-протеиназного комплекса, в том числе SH-группы и красящие пигменты пшеничной муки, что приводит к резкому улучшению ее хлебопекарного достоинства, аналогичному созреванию. Ферментативный способ сокращает период естественного созревания пшеничной муки от 1–2 мес. до нескольких минут.

Улучшение хлебопекарного достоинства пшеничной муки при хранении ограничено периодом ее созревания. Более длительное хранение, даже в оптимальных условиях, приводит к постепенному ухудшению ее качества.

Созревание ржаной муки менее изучено. Установлено, что в первые 15–30 сут хранения свежесмолотой ржаной муки (60–70%-ного выхода) повышается устойчивость крахмала к действию амилаз и температура его клейстеризации, накапливаются свободные ненасыщенные жирные кислоты, замедляющие процесс клейстеризации крахмала, понижается растворимость белковых веществ; увеличивается способность к набуханию нерастворимой части белков; улучшаются физические свойства теста.

В свежесмолотой ржаной муке в начальный период ее хранения протекают биохимические изменения, аналогичные наблюдаемым при созревании свежесмолотой пшеничной муки, но значительно слабее. В одних случаях эти изменения приводят к

небольшому улучшению хлебопекарного достоинства, в других такого улучшения не наблюдается. На биохимические процессы, протекающие в свежесмолотой ржаной муке, оказывают влияние природно-климатические условия выращивания ржи, особенно в период налива и созревания.

Созревание ржаной муки, его характер и условия требуют дополнительного исследования.

### **§ 3. ХРАНЕНИЕ МУКИ ПОСЛЕ ПЕРИОДА СОЗРЕВАНИЯ**

Процессы, происходящие в свежесмолотой муке и приводящие к улучшению ее технологического достоинства, продолжают в последующий период хранения. Одни из них, не имея существенного значения в период созревания, при дальнейшем хранении могут привести к ухудшению качества муки (титруемая кислотность). Другие, игравшие положительную роль при созревании муки, становятся источником избыточного накопления веществ, ухудшающих хлебопекарное ее достоинство (распад жира с образованием свободных ненасыщенных жирных кислот и их окисление).

Обобщение практики хранения пшеничной муки указывает на целесообразность отдельного рассмотрения процессов, происходящих в муке с повышенной влажностью (более 15%) и в сухой муке (до 13,5%). Мука может быть с повышенной исходной влажностью. Содержание влаги увеличивается и при хранении муки в неблагоприятных условиях. Главная особенность хранения такой муки — интенсивное развитие микроорганизмов, в основном плесеней, что приводит к быстро наступающему самосогреванию и порче продукта. Плесневение ухудшает вкус муки (становится кислым) и ее запах (становится плесневелым, затхлым), повышает кислотность. Содержание ниацина и тиамин уменьшается.

Повышенная влажность, особенно при высокой температуре, наряду с усиленным развитием плесеней вызывает в муке (как при этих условиях и в зерне) интенсификацию окислительных процессов, повышенный расход углеводов на дыхание, накопление одних метаболитов, уменьшение других.

Окисление липидов — одна из наиболее важных причин изменения муки при хранении. Этот процесс сопровождается образованием гидроперекисей, что приводит к прогорканию муки. Витамин Е, особенно  $\alpha$ -токоферол, представляет собой антиокислитель липидов. При хранении муки содержание антиокислительного комплекса под влиянием разрушающего действия компонентов прогоркшего жира уменьшается, что способствует возрастанию самоокисления липидов. То же происходит при повышении температуры, интенсифицирующей действие ферментов. Окисление липидов приводит к отмиранию клеток и к глубокому изменению биохимических процессов, происходящих в тканях, входящих в состав муки.

Продукты окисления липидов разрушают многие витамины (ретинол, витамины группы D, биотин, каротин), ухудшают качество клейковины. Кислотное число жира сильно возрастает, достигая максимума в рыхлой муке (в мешках верхней части бунта) через полгода, после чего начинает снижаться. В уплотненной муке (в нижних мешках бунта) это число, хотя и замедленно, продолжает возрастать.

Содержание сырого жира в результате потребления его микроорганизмами в течение первых 4 мес. хранения стремительно уменьшается, приближаясь к почти полному исчезновению. Влажность муки и продолжительность хранения по-разному сказываются на изменении свободных, связанных и прочно-связанных липидов.

В свободных липидах пшеничной муки с первых дней хранения наблюдаются гидролитические и окислительные процессы. Связанные липиды более стойки — они начинают изменяться только после 40 сут хранения. Состав липидов существенно изменяется. Свободные липиды частично переходят в связанные, которые, в свою очередь, — в прочносвязанные. В групповом составе липидов также происходят заметные изменения.

При хранении пшеничной муки в свободных липидах уменьшается содержание триацилглицеринов и полярных соединений, в связанных липидах резко снижается количество полярных липидов, причем повышение влажности и температуры сопровождается перегруппировкой состава липидов.

Таблица 101

Содержание нейтральных липидов и гликолипидов пшеничной муки, мг на 100 г

Сроки и температура хранения	Нейтральные липиды		Гликолипиды
	всего	в том числе свободные жирные кислоты	
<i>Мука высшего сорта</i>			
До начала хранения	433	76	427
6мес., 15°C	489	159	394
4мес., 25°C	462	144	420
<i>Мука II сорта</i>			
До начала хранения	848	141	503
6мес., 15°C	855	268	501
4мес., 25°C	910	354	546

Содержание свободных жирных кислот в результате гидролитических процессов во всех случаях нарастает (табл. 101).

Состав свободных жирных кислот при хранении также изменяется. При длительном хранении пшеничной муки после периода созревания в ней увеличивается количество кислотореагирующих веществ. Известны причины, вызывающие повышение кислотности пшеничной муки при хранении. Экспериментальные данные говорят о том, что одна из основных причин повышения кислотности пшеничной муки — гидролиз липидов с образованием свободных жирных кислот. Очевидна также важная роль продуктов гидролиза фосфорорганических соединений, в первую очередь фитина и фосфолипидов. Кислотность муки изменяется так же, как и кислотное число жира, — сначала быстро увеличивается, а затем уменьшается под влиянием продуктов распада белков (вкус вместо кислого становится землистым). Количество клейковины почти не уменьшается и она становится более упругой.

В сухой муке (с влажностью до 13,5%) при хранении происходят различные окислительные процессы, которые после завершения периода созревания постепенно ухудшают ее качество. Особенность хранения сухой муки состоит в отсутствии плесеней. Процессы, протекающие в сухой муке, происходят медленно, они влияют на ее качество в меньшей степени и через более продолжительное время, чем во влажной

муке. Кислотность сухой муки при хранении также возрастает, но кислого вкуса не ощущается. Образующиеся при гидролизе жиров жирные кислоты растворимы только в органических растворителях. Большое значение имеют температура и условия хранения. Повышенная температура ускоряет нежелательные процессы в муке.

В условиях хранения муки с различными температурами могут создаваться очаги повышенной влажности, что влечет быструю порчу не только влажной муки, но и сухой и средней сухости (с влажностью 14,0–14,5%). Мука сухая и средней сухости из нормального зерна при температуре 15–20 °С может сохранять свое исходное достоинство без признаков порчи (прогоркание, прокисание) в течение 6–8 мес.

Свободный доступ воздуха ускоряет порчу муки. Мука высоких сортов содержит меньше жира, но портится (прогоркает) быстрее обойной, в которой большее содержание жира и больше зародышевой ткани, содержащей антиокислители.

#### **§ 4. БЕСТАРНОЕ ХРАНЕНИЕ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ**

Проведены исследования по изучению изменения свойств муки при бестарном хранении. Процессы, происходящие при хранении муки в силосах, в основном такие же, как и при хранении в обычных складах (в мешках). Процесс созревания пшеничной муки высшего и I сортов с нормальным клейковинным комплексом сухой и средней сухости при хранении в силосах заканчивается в течение 7–10 сут, II сорта 3–5 сут.

При хранении пшеничной муки в силосах сверх срока созревания в ней происходит прогоркание, прокисание, плесневение и самосогревание в зависимости от условий. Непродолжительное хранение муки (20 сут) не приводит к изменению ее сыпучести и хлебопекарных достоинств. Муку из силосов при бестарном хранении выпускают при помощи системы аэрации.

В пшеничной муке, хранившейся в силосе и подвергавшейся аэрированию, замечены химические изменения. Гидролиз жира, вызывающий уменьшение содержания жира и повыше-

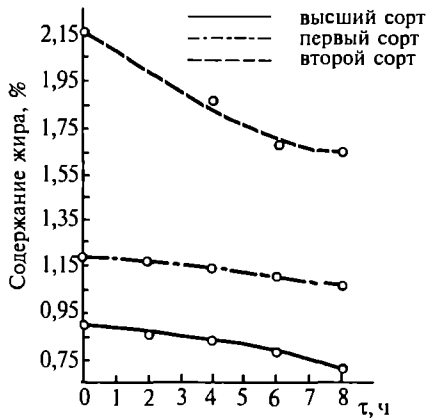


Рис. 72. Содержание жира в пшеничной муке в зависимости от продолжительности аэрирования

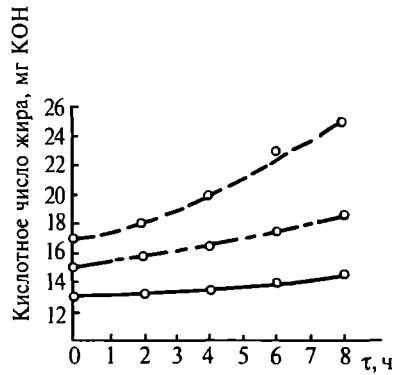


Рис. 73. Кислотное число жира в муке в зависимости от продолжительности аэрирования

ние его кислотного числа, зависит от продолжительности аэрирования, удельного расхода и температуры воздуха. Наиболее интенсивно этот процесс происходит в муке II сорта. Во всех случаях мука становится менее устойчивой к дальнейшему хранению, быстрее прокисает, плесневеет и прогоркает.

Аэрирование в силосах ускоряет созревание пшеничной муки (улучшает ее хлебопекарное достоинство) только при оптимальных параметрах (6 ч, удельном расходе воздуха  $3 \text{ м}^3/\text{т} \cdot \text{ч}$  и температуре  $26\text{--}27^\circ\text{C}$ ).

При более продолжительном аэрировании и температуре воздуха выше  $28^\circ\text{C}$  повышается кислотное число жира, ускоряются прогоркание и порча муки (рис. 72, 73).

## § 5. ХРАНЕНИЕ РЖАНОЙ МУКИ

При хранении пшеничной и ржаной муки важно поддерживать требуемую влажность муки (повышенная влажность — решающий фактор быстрой порчи), состояние окружающей среды (относительная влажность и температура воздуха). При хранении ржаной обойной, обдирной и сеяной муки в течение 30 сут в условиях различной температуры ( $17\text{--}21^\circ\text{C}$ ) и относительной влажности воздуха ( $52\text{--}84\%$ ) содержание обще-

Показатели углеводно-амилазного комплекса ржаной муки при хранении в течение 30 сут.\*

Наименование	Атакуемость крахмала	Активность α-амилазы	Содержание редуцирующих сахаров		Сахаробразующая способность		Газообразующая способность
			непосредственно	после 5 мин гидролиза	общая	истинная	
<i>I группа партий муки</i>							
Обойная	0,76	0,79	1,05	1,08	1,17	—	1,05
Сеяная	0,83	0,83	1,09	1,27	0,90	—	1,02
<i>II группа партий муки</i>							
Обойная	0,15	1,15	0,86	1,10	1,09	—	0,96
Обдирная	0,16	1,35	1,05	1,07	1,10	—	1,08
Сеяная	0,22	0,96	1,13	1,01	1,00	—	0,97
<i>III группа партий муки</i>							
Обойная	0,79	1,02	1,56	0,98	1,18	1,02	1,06
Обдирная	0,83	0,91	1,46	1,00	1,05	0,90	1,05
Сеяная	0,79	0,97	1,78	0,87	1,03	0,82	1,06

\* Исходные данные взяты за единицу

го азота и белковых веществ остается практически без изменения. В ржаной и пшеничной муке наблюдаются наибольшие количественные изменения (возрастание) в спирторастворимой фракции белков. Содержание щелочерастворимой фракции белков при хранении также возрастает.

Количество солерастворимой фракции снижается, причем это наиболее ясно выражено при влажности муки 13%. Доля нерастворимого остатка азотсодержащих веществ при повышенной влажности уменьшается под влиянием жизнедеятельности микрофлоры. Укрепление ржаной клейковины при хранении муки происходит под влиянием непредельных жирных кислот, образующихся из липидов муки в результате жизнедеятельности микрофлоры. Аминокислотный состав белков ржаной муки при хранении изменяется незначительно. Атакуемость белков и протеолитическая активность при хранении всех сортов ржаной муки уменьшается.

Наибольшими изменениями характеризуется атакуемость крахмала (табл. 102). Во второй группе партий муки она снизилась по



сортам на 78–85%, что связано с высокой исходной влажностью (17,8–18,5%). Это обстоятельство стало причиной повышения в этих партиях муки активности  $\alpha$ -амилазы (на 15–35%). Во всех остальных случаях атакуемость крахмала и активность  $\alpha$ -амилазы незначительно изменились. Содержание собственных сахаров при хранении муки изменилось немного, в большинстве проб — в сторону увеличения. Только в третьих партиях количество их возросло на 46–78% из-за высокой исходной сахарообразующей способности и активности  $\alpha$ -амилазы.

Общая сахарообразующая способность (без вычета содержания собственных непосредственно восстанавливающих сахаров) и газообразующая способность муки изменились сравнительно немного — в большинстве случаев в сторону увеличения. Число падения и диастатическая активность при хранении изменяются незначительно. Небольшое снижение сахарообразующей способности при хранении муки с влажностью 13% вызвано также небольшим повышением числа падения.

При хранении ржаной муки происходит заметный рост конечной температуры клейстеризации крахмала, соответствующей вершине амилограммы. Хранение ржаной муки приводит к увеличению содержания пентозанов в извлекаемых слизях. Вязкость слизистых веществ также возрастает. Все это свидетельствует о больших изменениях структуры и состава слизей при хранении ржаной муки. Начальный период хранения ржаной муки сопровождается резким увеличением кислотного числа жира. Это происходит в результате гидролиза триацилглицеринов с образованием свободных жирных кислот и накопления низших жирных кислот из-за распада перекисей и гидроперекисей ненасыщенных жирных кислот. Скорость прогоркания зависит от повышения температуры.

Липиды оказывают значительное влияние на клейстеризацию крахмала ржаной муки. Они снижают высоту амилограммы и повышают температуру клейстеризации крахмала. Предельный срок сохранности ржаной муки зависит от условий хранения. Ухудшение пищевого достоинства сухой ржаной муки (при влажности 13%) происходит главным образом в результате окислительного прогоркания, а при влажности 15% — преимущественно из-за развития грибной микрофлоры.

По данным ВНИИЗ, порча ржаной муки наступает в зависимости от влажности при температуре 10 °С через 10–11 мес. хранения, при температуре 20° С — через 4–6 мес., при температуре 30 °С — через 1–3 мес. Хлебопекарное достоинство ржаной муки при продолжительном хранении постепенно снижается. Главная причина этого явления — изменение характера клейстеризации веществ муки при выпечке, в основном под влиянием липидов. В хлебе наиболее существенно ухудшаются пористость и физические свойства мякиша, в формовом хлебе появляется закал.

## § 6. ХРАНЕНИЕ КРУПЫ

Хранение крупы имеет свои особенности. Размеры частиц крупы значительно больше, чем у пшеничной и ржаной муки, у них меньшая плотность по сравнению с исходным зерном (результат механического воздействия при переработке). Биохимические процессы, происходящие в периферических слоях крупы, начинаются и протекают более интенсивно, чем внутри ее частиц. При хранении крупы не наблюдается первоначального улучшения технологического качества, как у пшеничной муки (периода созревания).

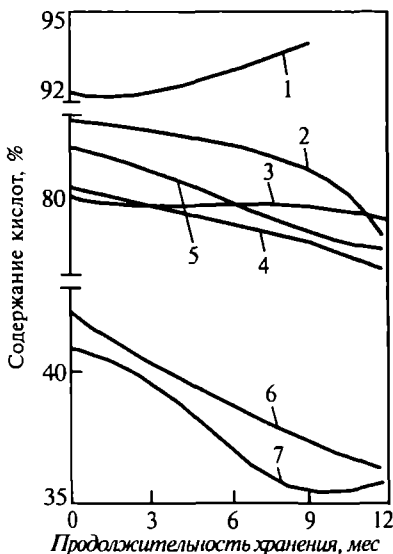
Свежевыработанная крупа некоторое время сохраняет стабильное качество, затем оно начинает ухудшаться с той или иной скоростью в зависимости от условий хранения.

Наиболее лабильную фракцию — липиды крупа содержит в большем количестве, чем мука. По этой причине окислительные процессы порчи крупы протекают более интенсивно по сравнению с мукой.

В крупе, лишенной защитных оболочек (цветковых — просо, овес, рис; плодовых — гречиха, кукуруза), при равных условиях хранения происходят более глубокие изменения липидов по сравнению с зерном (рис. 74). Накапливаются разнообразные продукты окисления липидов, в том числе токсичные. Продукты окисления липидов, взаимодействуя с другими веществами крупы (зерна), образуют комплексы и соединения различной прочности и снижают биологическую и пищевую ценность не только жиров, но белков, углеводов и других соединений. Кру-

Рис. 74. Содержание линолевой (Л) и суммы ненасыщенных кислот (ΣН) в свободных липидах зерна и крупы при хранении:

1 — ΣН, просо (влажность 12,8%); 2 — ΣН овсяная крупа (ГТО); 3 — ΣН, овес (влажность 12,6%); 5 — ΣН, овсяная крупа (без ГТО); 4 — ΣН, овсяная крупа (ГТО); 6 — Л, овес (влажность 12,%); 7 — Л, овсяная крупа (без ГТО)



па при этом прогоркает, стойкость ее при дальнейшем хранении резко снижается.

На содержание липидов и их соотношение в крупе при хранении влияют ее химический состав, активность ферментов и условия хранения, главным образом влажность и температура. Наиболее легко подвергается порче при хранении крупа из проса и овса.

Через 6 мес. хранения при любой температуре и относительной влажности воздуха содержание триацилглицеринов резко падает при одновременном (почти с той же скоростью) возрастании количества свободных жирных кислот.

Кислотное число жира одних видов крупы при хранении все время возрастает, в других изменяется незначительно. В пропаренной крупе кислотное число жира изменяется иначе, чем в непропаренной.

Так, при хранении ядрицы в лабораторных условиях в течение 17 мес. кислотное число жира из пропаренного зерна возросло на 4 мг КОН, а из непропаренного — на 14 мг КОН. При хранении пшена в тех же условиях в течение 5 мес. кислотное число жира в крупе из пропаренного зерна достигает 60,3 мг КОН, а из непропаренного — 103,1 мг КОН.

Повышение температуры хранения вызывает в пропаренной крупе более ускоренное нарастание кислотного числа жира по сравнению с непропаренной крупой. Крупа из пропаренного зерна плесневеет быстрее, чем из непропаренного зерна.

Увеличение кислотного числа жира при хранении пропаренной крупы свидетельствует о неполной инактивации липазы во время пропаривания зерна перед выработкой крупы.

Хранение крупы сопровождается понижением йодного числа, что представляет собой одно из следствий окислительных процессов, происходящих в жире. Гидротермическая обработка ускоряет окисление жира — пропаренные крупы имеют меньшие йодные числа, чем непропаренные. При хранении пшеница каротиноиды окисляются, и крупа по окраске становится серовато-белой. Вместе с зародышем в крупу попадает витамин Е, некоторые формы которого обладают антиокислительными свойствами. Жир крупы, содержащей витамин Е, более устойчив к окислению.

Количество водорастворимых веществ при хранении уменьшается незначительно. Наибольшие уменьшения таких веществ отмечаются у ядрицы, кукурузной крупы и быстро-разваривающейся ядрицы.

При хранении крупы увеличивается ее кислотность (рис. 75). Это происходит в результате гидролитического расщепления под влиянием ферментов составных ее веществ, прежде всего жира и белковых веществ. Титруемая кислотность крупы так же,

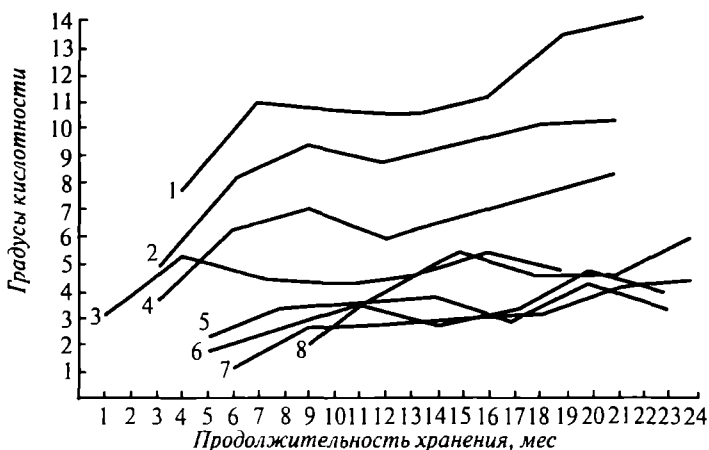


Рис. 75. Изменение кислотности крупы по спиртовой вытяжке при хранении: 1 — овсяной крупы; 2 — пшеница; 3 — ядрицы; 4 — кукурузной; 5 — ядрицы быстро-разваривающейся; 6 — перловой; 7 — рисовой; 8 — ячневой

Таблица 103

Изменение кислотности крупы в спиртовой вытяжке (град) при хранении в течение 3 мес. в условиях разной относительной влажности воздуха и температуры 18–23 °С

Наименование	Относительная влажность воздуха, %		Наименование	Относительная влажность воздуха, %	
	60–65	85		60–65	85
Пшено	4,8	9,5	Рисовая	1,1	3,4
Овсяная	7,7	10,0	Кукурузная	3,7	7,4
Ядрица	5,3	4,5	Перловая	1,7	3,1
Ядрица быстро- разваривающаяся	2,3	3,4	Ячневая	5,0	4,0

как и муки возрастает в связи с высвобождением из фитина под действием фермента фитазы фосфорной кислоты.

В начале хранения у всех видов крупы наблюдается увеличение кислотности по болтушке, заканчивающееся в разное время (через мес.): 4 — в ядрице, 6 — в кукурузной крупе и пшене, 8 — в перловой и ядрице быстрорастваривающейся, 12 — в ячневой, 19–22 — в овсяной и рисовой.

Наименьшее изменение кислотности при хранении, как по болтушке, так и по водной вытяжке отмечено у кукурузной и перловой круп. Рисовая крупа имеет наименее низкую кислотность, но при хранении она нарастает наиболее интенсивно. Увеличивается кислотность при хранении пшена и овсяной крупы. Значительное увеличение кислотности по водной вытяжке происходит только при длительном хранении. Пропаривание зерна перед выработкой крупы приводит к небольшому понижению кислотности в результате частичной денатурации белков и уменьшения их способности связывать щелочь. Строгой зависимости между кислотностью крупы по водной вытяжке, по болтушке и вкусовыми качествами приготовленной из нее каши не установлено.

Для всех видов крупы при хранении характерен значительный рост кислотности в спиртовой вытяжке (табл. 103).

Кислотность по спиртовой вытяжке может служить показателем качества (свежести) крупы. Она коррелирует с кислотным числом жира и изменением вкусовых качеств каши.

## § 7. ХРАНЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ПШЕНИЧНЫХ ОТРУБЕЙ

Пищевые пшеничные отруби неустойчивы при хранении. Хранение их с влажностью выше 13% в течение недели приводит к интенсификации микробиологических процессов. Через 2 мес. хранения численность микрофлоры увеличивается в 10–300 раз в зависимости от условий хранения. Одновременно наблюдается значительное нарастание кислотного числа жира: с 15–19 до 127 мг на 1 г жира.

Разработаны следующие оптимальные режимы и сроки хранения. Свежевыработанные отруби при температуре 20–30 °С можно хранить сроком до недели, а при температуре около 10° С — до двух недель. После термообработки продолжительность хранения значительно возрастает. Отруби можно хранить при относительной влажности воздуха не более 60% и температуре 20–30 °С: в бумажной упаковке — до 3 мес., в упаковке с полиэтиленовым вкладышем — до 5 мес. При относительной влажности воздуха более 60% и температуре 20–30 °С отруби необходимо хранить только в упаковке с полиэтиленовым вкладышем сроком — до 5 мес.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы особенности биохимических процессов в муке при хранении?
2. В чем выражается созревание пшеничной муки, какими способами можно его ускорить?
3. Какие два периода хранения пшеничной муки существуют после этапа ее созревания, какие химические особенности имеет тот и другой?
4. Какие химические изменения происходят в пшеничной муке при ее бестарном хранении?
5. Какими особенностями химических изменений характеризуется ржаная мука при хранении?
6. В чем заключаются особенности хранения крупы?
7. Как изменяется химический состав пищевых пшеничных отрубей при хранении?

# **БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В МУКЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ИЗ НЕЕ ХЛЕБА, МАКАРОННЫХ, МУЧНЫХ И КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

## **§ 1. ХЛЕБОПЕКАРНОЕ ДОСТОИНСТВО ПШЕНИЧНОЙ МУКИ**

Из зерна пшеницы получают муку пшеничную хлебопекарную и макаронную. Хлебопекарное достоинство муки — ее способность давать заданные сорта хлеба высокого качества с наибольшим выходом при соответствующем режиме тестоведения и выпечки. Признаки высокого качества хлеба: объем, форма, приятно окрашенная (румяная) корка без разрывов и трещин, эластичный мякиш, мелкая тонкостенная и равномерная пористость. Мякиш хлеба должен быть светлым, ароматным и вкусным. Хлебопекарное достоинство пшеничной муки определяется совокупностью следующих ее свойств: сахараобразующей, газообразующей и газодерживающей способностью; способностью образовывать тесто с определенными физическими свойствами (силой муки); цветом муки и способностью к потемнению в ходе приготовления хлеба; крупностью частиц.

При тестоведении под влиянием дрожжевых клеток происходит процесс спиртового брожения. Образовавшийся этиловый спирт частично улетучивается, а оставшийся участвует в образовании аромата хлеба. Выделяющийся диоксид углерода, стремясь вырваться из вязкого теста, поднимает и разрыхляет его, придавая ему пористое строение, от которого зависит пористость мякиша выпеченного хлеба. Чем больше выделится диоксида углерода, тем более пористым будет тесто и хлеб. Газообразующую способность пшеничной муки измеряют количеством кубических миллиметров или сантиметров  $\text{CO}_2$ , образовавшегося за 5 ч брожения при температуре

теста 30 °С из 100 г муки, 60 мл воды, 10 г прессованных дрожжей. При высоком хлебопекарном достоинстве муки в этих условиях образуется до 2000 см<sup>3</sup> СО<sub>2</sub> и более.

В образовании диоксида углерода участвуют содержащиеся в муке глюкоза, а также фруктоза и олигосахариды — сахароза, фруктозиды. Запасов этих сахаров достаточно только в самом начале брожения. В ходе тестоведения образуется дополнительное количество сахаров из крахмала под влиянием β-амилазы, которая образует в основном мальтозу и небольшое количество высокомолекулярных декстринов. В нормальном непроросшем зерне пшеницы содержится только β-амилаза и нет α-амилазы. Сахарообразующая способность пшеничной муки зависит от активности β-амилазы, кислотности теста (рН 5,7—5,9), температуры (32—34 °С), крупности пшеничного крахмала и его атакемости.

Образующиеся при амиллизе сахара нужны для брожения и выделения диоксида углерода. Свободные несброженные сахара при выпечке вступают в верхнем слое теста — корке во взаимодействие с белком и продуктами его распада, прежде всего со свободными аминокислотами, что приводит к образованию меланоидинов. Эти темноокрашенные вещества придают корке хлеба специфическую золотисто-буроватую окраску. Образовавшийся в результате диоксид углерода хорошо разрыхляет тесто, если оно имеет соответствующие физические (реологические) свойства. Потенциальную возможность образования теста с теми или другими реологическими свойствами хлебопеки называют силой муки. Жидкое тесто не удерживает диоксид углерода, и он улетучивается. Если тесто слишком плотное, то разрыхление также будет неудовлетворительным, и в том и другом случае хлеб получается с недостаточной пористостью, низкого качества. Главный фактор, от которого зависит сила пшеничной муки, — белково-протеиназный комплекс, т. е. количество, состояние и качество белков (практически количество и качество клейковины) и протеолитические ферменты (их количество и активность). Сила муки обуславливает газодерживающую способность теста.



Расщепляя белки (значит, клейковину), протеолитические ферменты изменяют их коллоидные свойства, способность поглощать воду и набухать, следовательно, реологические свойства теста. На хлебопекарное достоинство влияет цвет пшеничной муки, особенно способность к потемнению при изготовлении хлеба. Из светлой муки нередко получают темный хлеб, что снижает его товарную ценность. Потемнение муки при тестоведении происходит в результате образования темноокрашенных веществ меланинов — продуктов окисления аминокислот тирозина и фенилаланина под воздействием фермента монофенол-монооксигеназы. Этот фермент всегда присутствует в пшеничной муке и дрожжах, а его действие заметно сказывается при появлении достаточного количества свободного тирозина. Хлебопекарное достоинство пшеничной муки связано с крупностью ее частиц.

## **§ 2. ТЕХНОЛОГИЯ ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА**

Производство хлеба распадается на пять тесно связанных между собой технологических этапов: подготовка сырья, приготовление теста, разделка теста, выпечка, а затем охлаждение и хранение хлеба.

**Подготовка сырья.** Муку, дрожжи и другое сырье подвергают анализу в лаборатории хлебозавода, определяя соответствие стандартам, устанавливают хлебопекарные достоинства. Из отдельных партий муки одного сорта в соответствии с их качеством при помощи мукосмесителя составляют смесь муки в определенных соотношениях. Поваренную соль растворяют и фильтруют в солерастворительной установке. Прессованные дрожжи размешивают в теплой воде. Горячую и холодную воду смешивают до определенной температуры и отмеривают в нужном количестве.

**Приготовление пшеничного теста.** Пшеничное тесто готовят по установленной рецептуре — перечню и соотношению отдельных видов сырья, употребляемых для производства определенного сорта хлеба. Для основных сортов хлеба применяют следующую примерную рецептуру: мука 100, вода 50–70, прессованные дрожжи 0,5–2,5, соль 1,3–2,5, сахар 0–20, жир 0–13. В рецептуру некоторых сортов хлеба и хлебных изделий,

кроме того, входят яйца, солод, изюм, молоко, ванилин и другие продукты.

Пшеничное тесто готовят двумя основными способами: опарным и безопарным.

Опарный способ: готовят опару (первая фаза) и готовят тесто (вторая фаза). На приготовление опары идет до 0,5 общего количества муки, до 2/3 воды, все количество дрожжей. Продолжительность брожения опары 3,0—4,5 ч при ее начальной температуре 28—32 °С. Опара более жидкая, чем тесто.

На приготовленной опаре замешивают тесто, вносят остальную часть муки, воды и соль. Брожение продолжается от 1 ч до 1 ч 45 мин с начальной температурой теста 28—30 °С. Тесто из сортовой муки за время брожения подвергают одной или двум обминкам.

Обминка теста — кратковременный (1,5—2,5 мин) повторный промес, который улучшает структуру и физические свойства теста.

При замесе безопарным способом (однофазным) вносят все количество муки, воды, соли и дрожжей. Продолжительность брожения 2—4 ч, начальная температура теста 28—30 °С, обминок одна или несколько.

В результате брожения тесто приобретает свойства, наилучшие для разделки и выпечки. Совокупность протекающих при этом физико-химических процессов называют созреванием теста.

В последние годы разработаны и применяются новые способы поточно-непрерывного и ускоренного приготовления теста. Это усиление механической обработки теста, увеличение количества прессованных или жидких дрожжей, повышение температуры опары и теста и др. Известны химические пути ускорения созревания теста. В одном случае используют окислители в сочетании с восстановительно действующими агентами. Так, добавление цистеина, сыворотки и бромата калия ( $\text{KBrO}_3$ ) ускоряет образование и созревание теста и вместе с тем значительно снижает энергию (работу) на механическую обработку теста. Эффект введения подобных добавок усиливается в сочетании с небольшим количеством жира, имеющим повышенную температуру плавления.

Для ускорения образования и созревания теста, а также для улучшения качества хлеба в тесто вносят поверхностно-активные вещества (ПАВ) — пищевые эмульгаторы (фосфатиды и их препараты — фосфатидные концентраты, лецитин и др., эфиры сорбита; эфиры пропиленгликоля и т. д.). Наилучших результатов достигают при совместном внесении эмульгаторов и жиров в виде тонкодисперсных жироводных эмульсий.

В хлебопечении с успехом применяют следующие ферментные препараты:  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилазу,  $\beta$ -фруктофуранозидазу, глюкоамилазу, глюкозооксидазу, лактазу и др. При работе с мукой, имеющей пониженную сахаро- и газообразующую способность, а также короткорвущуюся или крошашуюся клейковину с большим эффектом используют комплексные ферментные препараты оризин ПК и аваморин ПК, получаемые из плесеней *Asp. oryzae* и *Asp. awamori*. Обминку теста применяют при приготовлении на тестомесильных машинах периодического действия с подкатными дежами.

**Разделка теста.** Включает деление теста на куски, округление этих кусков, предварительную (промежуточную) расстойку, окончательное формирование изделий и окончательную расстойку тестовых заготовок. Перед выпечкой сформированные тестовые заготовки оставляют для окончательной расстойки при температуре 35–40 °С и относительной влажности воздуха 75–85% в течение 25–120 мин.

Происходящее при окончательной расстойке брожение сопровождается образованием диоксида углерода, который разрыхляет тесто, увеличивая его объем, что обеспечивает высокое качество хлеба.

**Выпечка.** Происходит в результате радиационно-конвективного прогрева тестовых заготовок при температуре пекарной камеры 220–250 °С. Продолжительность выпечки колеблется от 8 до 12 мин для мелкоштучных изделий, до 60 мин — для хлеба крупного развеса (1 кг). В зависимости от вида и сорта хлеба его выпекают на поду или в формах. При достижении высоких температур процесс брожения прекращается и тесто до конца выпечки сохраняет достигнутый объем. Тесто, помещенное в пекарную камеру, быстро покрывается тонкой сухой пленкой, постепенно превращающейся в утолщенную корку. Превраще-

ние теста в хлеб при выпечке происходит в результате большого комплекса следующих процессов: физических, микробиологических, коллоидно-химических и биохимических.

К биохимическим процессам относится брожение, продолжающееся до полного отмирания микроорганизмов под действием высоких температур. В этот период продолжается образование спирта, диоксида углерода, молочной и уксусной кислот и других продуктов брожения. Содержание крахмала в тесте уменьшается, происходит его клейстеризация и частичный гидролиз под влиянием  $\beta$ -амилазы. Часть сахаров, образующихся при амилолизе крахмала, расходуется на брожение.

В начале выпечки белково-протеиновый комплекс резко изменяется. Происходит протеолиз белковых веществ. При достижении температуры 70 °С растворимость белков падает в результате начавшейся тепловой денатурации. Выраженные вкус и аромат хлеба появляются в результате сложной цепи биохимических процессов, происходящих при приготовлении теста, особенно в корке хлеба при выпечке.

Установлено, что наибольшее влияние на аромат хлеба оказывают карбонильные соединения (альдегиды и кетоны). Содержание свободных аминокислот в хлебе существенно изменяется. Количество большинства свободных аминокислот в тесте по сравнению с их содержанием в муке возрастает. Содержание свободных аминокислот в мякише изменяется незначительно: количество одних (треонина, аланина) — немного возрастает, других (аспарагиновой и глютаминовой кислот) — немного уменьшается. Содержание всех свободных аминокислот в корке хлеба резко снижается (они расходуются на меланоидинообразование). Содержание лизина (важнейшей незаменимой аминокислоты) в белках хлеба при выпечке, особенно в корке, значительно уменьшается.

### § 3. ПРОИЗВОДСТВО МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Макаронные изделия (трубчатые, нитеподобные, ленточные, фигурные) получают прессованием или штампованием пшеничного теста с последующей сушкой. Это мучные изделия, прошедшие стадию тестообразования и превращенные в

сухие консервы. В отличие от хлеба, перед употреблением в пищу они нуждаются в кратковременной варке. Достоинство макаронных изделий состоит в их устойчивости при хранении (они не подвержены черствению), быстроте кулинарной обработки, высокой питательности. Макароны изготавливают из крупки и полукрупки макаронной пшеничной муки высшего и I сортов (из твердой пшеницы — семолина). Допускается мука из мягкой ультростекловидной пшеницы.

Макаронное тесто имеет наиболее простой компонентный состав (мука и вода) из всех видов пшеничного теста. Только для некоторых сортов макарон в тесто добавляют белковые и другие обогатители. Макароны не подвергают брожению и другим видам ферментативных процессов. Протеолитические ферменты проявляют очень слабую активность. Заметного протеолиза не наблюдается. Гидролитический распад белков происходит только в результате затянувшейся сушки макаронных изделий при высокой температуре и влажности воздуха, приводящим к их слипанию.

Атакуемость крахмала низкая, амилолитические ферменты существенной роли не играют. Большое значение имеют ферменты класса оксидоредуктаз — монофенол-монооксигеназа (тирозиназа) и липоксигеназа. Монофенол-монооксигеназа окисляет аминокислоты тирозин и фенилаланин с образованием меланинов — темноокрашенных соединений. В результате происходит интенсивное потемнение макаронных изделий, особенно при сушке. Липоксигеназа окисляет в присутствии кислорода непредельные жирные кислоты с образованием сильно действующих окислителей (перекисей и гидроперекисей).

Совокупность окислительных процессов, катализируемых липоксигеназой, разрушает пигментные вещества муки — каротиноиды в результате чего макаронные изделия несколько утрачивают кремово-желтый цвет. Потемнение макаронных изделий может быть вызвано также неферментативным взаимодействием свободных аминокислот и сахаров, реакцией меланоидинообразования при высокотемпературной сушке.

Макаронные изделия формуют двумя способами — пресованием и штампованием. После прессования приступают к

разделке сырых изделий, подготавливая их к наиболее продолжительной и трудоемкой стадии производства — сушке. Разделка состоит из обдужки с помощью вентиляционной установки, резки, раскладки и транспортирования. Сушка консервирует макаронное тесто, прекращая в нем физико-химические, биохимические и другие процессы.

Основным сырьем производства макаронных изделий высокого качества служит мука из твердой пшеницы. В связи с недостатком производства твердой пшеницы изготавливают макаронные изделия из муки хлебопекарной мягкой пшеницы, уступающие по качеству изделиям из муки твердой пшеницы. Макароны производят из пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта с использованием добавок — улучшителей: микроскопической целлюлозы (МКЦ), «Умник-янтарь», «Глютекс», «Экспресс», «Супермак» и других.

Прибавки заметно улучшают качество макаронных изделий: повышается скорость прессования, изделия хорошо сохраняют форму, не слипаются, потери сухих веществ в варочную жидкость уменьшаются.

#### **§ 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУКИ В КОНДИТЕРСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Для изготовления большого ассортимента мучных кондитерских изделий (печенья, пряников, вафель, тортов, пирожных, кексов и др.) используют в основном пшеничную муку. В качестве разрыхлителей теста при изготовлении мучных кондитерских изделий применяют химические вещества (смесь двууглекислого натрия и углекислого аммония), а также белковые пены. Кондитерская промышленность предъявляет высокие требования к качеству пшеничной муки, используя главным образом муку высшего и первого сортов, значительно реже муку второго сорта.

Требования, предъявляемые к зерну из которого получают муку, зависят от вида и сорта мучных изделий. Печенье затяжное из эластичного тягучего затяжного (с небольшой добавкой жира и сахара) теста целесообразнее изготавливать из муки помола средней крупности и со слабой клейковиной. Пече-

ные, изготовленное из сильной муки, имеет более низкие показатели хрупкости и набухаемости. При замесе теста из муки, полученной из сильной пшеницы, требуется больше воды и при выпечке расходуется больше тепловой энергии.

Для сахарного печенья требуется мука со средней и слабой клейковиной, количество клейковины в муке не имеет значения. Вафли должны быть пористыми и легкими. Для их изготовления пригодна мука с содержанием клейковины 35–40%, в этом случае вафельный лист получается связным и упругим. Для изготовления заварных пряников тесто замешивают на горячем (с температурой 70–75 °С) сахарном или медовом сиропе, а затем длительное время выдерживают при низкой температуре (10 °С). В тесте происходят слабые ферментативные процессы осахаривания крахмала, протеолиза белков и др. Для приготовления пряников используют муку из зерна любой пшеницы нормального качества.

В кондитерской промышленности применяют маисовый крахмал, соевую и кукурузную муку, мак, кунжут, кориандр, плоды и семена многих других сельскохозяйственных растений, а также продукты их переработки. Кукурузную муку используют в виде добавки (5–20%) при приготовлении тортов, печенья, пирожных и т.д. Количество и разновидность добавок зависят от типа и рецептуры изделий. Из зерна кремнистых и лопающихся сортов кукурузы изготавливают кукурузные хлопья, взорванные зерна, осахаренные зерна и т.д.

## **§ 5. ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДОСТОИНСТВА ПШЕНИЧНОЙ МУКИ И КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ НЕЕ**

В соответствии с действующими стандартами, временными качественными нормами и практикой работы хлебопекарных предприятий качество пшеничной муки всех сортов оценивают следующими показателями: органолептическая оценка (цвет, вкус, запах, хруст); влажность; белизна (на приборе СКИБ-М); кислотность; металломагнитная примесь; зараженность вредителями; количество сырой клейковины и ее

качество (на приборе ИДК-1 и других моделях); лабораторная выпечка; зараженность муки картофельной болезнью (в летнее время); сила муки, автолитическая активность или показатель вязкости; газообразующая способность; сахарообразующая способность; крупность помола.

Обязательно испытывают пшеничную муку на автолитическую активность в том случае, если в удостоверении о качестве не указана примесь проросшего зерна, а также когда при пробной выпечке получена излишне румяная корка или липкость мякиша. При проведении исследовательских работ применяют разнообразные приборы: альвеограф, фаринограф, пенетрометр, экстенсограф, валориграф.

Качество готовых изделий оценивают в соответствии со стандартами, техническими условиями и положением о балльной оценке. Балльную оценку проводят по органолептическим показателям (состояние формы, поверхности, мякиша, отклонение массы отдельных изделий от установленной нормы). Максимальное количество баллов — десять. В стандартах на хлебные изделия установлены нормы массы, влажности, кислотности и пористости. Если в рецептуру входят сахар и жир, определяют содержание этих веществ в выпеченном хлебе. Так, хлеб пшеничный из муки II сорта формовой выпечки, штучный, массой 1,0 и 0,5 кг должен иметь влажность не более 45%, кислотность не более 4° и пористость не менее 65%.

Требования по стандарту к штучным батонам нарезным из пшеничной муки I сорта следующие: масса 0,4 кг; влажность не более 43%; кислотность, до 3°; пористость не менее 68%; содержание сахара (на сухое вещество) не менее 5,2%; жира не менее 3%.

## **§ 6. ПРИМЕНЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК К ХЛЕБНЫМ ИЗДЕЛИЯМ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА**

В последние годы стали широко применять при изготовлении хлеба, главным образом пшеничного, различные пищевые добавки для улучшения товарного вида и качественных показателей хлебных изделий. Это вызвано возрастающим ис-



тощением плодородия почвы и, как следствие, увеличенным производством зерна и муки пониженного качества при одновременном сокращении количества «сильной» пшеницы.

Ферментные препараты, зерновой солод, солодовые препараты, соевая мука, обезжиренное молоко и др. с давних пор применяются для улучшения хлебопекарного достоинства хлебопекарной муки. В настоящее время пищевые добавки широко используют во всех отраслях пищевой промышленности и во всех странах, их насчитывают больше тысячи. Созданы специализированные предприятия, которые вырабатывают широкий круг пищевых добавок, в том числе и на химической основе. Все пищевые добавки, используемые при производстве пищевых добавок можно объединить в три группы, что в равной степени относится и к хлебу: первое — добавки, несущие технологическую нагрузку, применяемые при промышленном изготовлении пищевых продуктов — для улучшения физических свойств, вкуса, аромата, цвета, консервации, товарного вида; второе — биологически активные добавки (БАД), вводящие в продукты недостающие в них биологические нутриенты — витамины, ненасыщенные жирные кислоты, незаменимые аминокислоты и др.; третье — добавки, вносящие в продукты для строго определенных групп населения лекарственные средства для страдающих теми или другими болезнями.

Биологические добавки подразделяются на две группы: нутрицевтики и парафармацевтики. Использование нутрицевтиков позволяет: во-первых, достаточно легко и быстро ликвидировать дефицит эссенциальных пищевых веществ у большинства взрослого и детского населения России; во-вторых, в максимально возможной степени индивидуализировать питание конкретного здорового человека в зависимости от потребностей и условий обитания. Таким образом, применение БАД — нутрицевтиков являются формой первичной и вторичной профилактики, а также комплексного лечения таких широко распространенных хронических заболеваний, как ожирение, атеросклероз и другие сердечно-сосудистые заболевания.

В продаже имеется большое количество наборов нутрицевтиков. В состав парафармацевтиков входят комплексы БАД,

содержащие биологические вещества, выделенные из лекарственных растений. Среди них особое место занимают растения, способные оказывать тонизирующее действие, повышать адаптационные возможности организма, улучшать тканевый обмен, корректировать иммунный статус организма, обладающей антиоксидантной и адсорбционной активностью — женьшень, элеутерококк, родиола розовая, левзея сафлоровидная. Приходится обратить внимание на то, что обо всех пищевых добавках — это относится, прежде всего, к добавкам технологической направленности — обычно пишут только об их пользе. Не учитывают, что все добавки, в том числе и лекарственные, могут подвергаться в организме биотрансформации и взаимодействию с поступающим в организм пищевым продуктом. За редким исключением они не остаются инертными. Взрослые люди, дети, старики, беременные женщины и кормящие матери обладают различной восприимчивостью.

Большое значение имеет частое или длительное поступление пищевых добавок в организм. Могут быть случаи, когда поступления малых доз вещества оказываются более опасными, если часто повторяются, чем больших, но редко поступающих в организм. Хроническое отравление наступает, если химическое вещество обладает способностью к кумуляции, т. е. накоплению в организме по мере поступления. Возможно суммирование токсического эффекта непрямым путем: поступившее в организм вещество, будучи относительно нетоксичным, подвергается превращениям и приобретает выраженные токсические свойства. Существует группа веществ, обладающая способностью и к материальной и к метаболической кумуляции. Возможность отравления разрешаемыми пищевыми добавками не всегда может быть выявлена существующими биологическими методами, поэтому контролирующие органы не всегда способны обеспечить надежную гарантию безопасности их применения для человека. В этом случае приходится констатировать известную степень риска использования в пищу продуктов, изготовленных с производственными пищевыми добавками. Применение пищевых добавок к хлебу допустимо только при гарантии безопасности потребителя. Безопасность хлеба, изготовляемого с использо-

ванием пищевых добавок, требует от хлебопеков соблюдения ряда обязательных требований:

— строгого контроля режима применения пищевых добавок в муку и тесто по разрешенным дозам, срокам и условиям внесения их в хлебные изделия;

— указания на упаковках хлебных изделий названия и количества пищевых добавок;

— обязательная сертификация хлебных изделий перед выпуском на рынок, изготовленных с принятым режимом использования добавок. ✓

Рекомендуется не использовать хлебные изделия с технологическими пищевыми добавками для детского питания, а также ограничивать их направление в больницы и санатории.

## **§ 7. СЕРТИФИКАЦИЯ ЗЕРНА И ЗЕРНОПРОДУКТОВ**

Развитие промышленности, отходы промышленных предприятий, увеличение количества автотранспорта, аварии атомно-энергетических установок и газопроводов, сокращения лесных территорий, нарушения в применении химии в сельском хозяйстве (минеральные удобрения, пестициды) оказывают влияние на окружающую среду. Необходимость применения гербицидов, без которых невозможно производить зерно, приводит к их накоплению в почве. Химические препараты (5–40%) расходуются на уничтожение сорных растений. Поражение зерна в поле вредителями и болезнями, а также примеси ядовитых растений могут сопровождаться накоплением в нем токсических веществ. Расходование инсектофунгицидов (веществ, используемых одновременно для уничтожения насекомых — инсектицидов и грибов — фунгицидов) не превышает 1%. Остальная неиспользованная по назначению часть гербицидов и инсектофунгицидов поступает в почву и на хлебные растения, как загрязнители. Кроме того, в зерне могут образовываться токсические вещества при самосогревании, в результате обработки его химическими препаратами при борьбе с вредителями хлебных запасов. Все это и многое другое вызвало значительное загрязнение окружающей нас среды — почвы,

воздуха, водоемов. Сельскохозяйственные растения в результате изменившихся условий выращивания могут приобретать токсические свойства. Большое количество пищевых продуктов низкого качества с грубыми нарушениями к их безопасности, насыщенными токсинами различного происхождения, поступает из-за рубежа, что при недостаточном контроле и несоблюдении необходимых условий и срока хранения в торговой сети создает опасность их использования населением. Назрела необходимость защитить потребителя от пищевых продуктов с вредными для человека веществами. Такую защиту широко применяют в цивилизованных странах мира при помощи сертификации продукции. Сертификация зерна и зернопродуктов в нашей стране введена в практику отрасли хлебопродуктов в соответствии с «Законом Российской Федерации о защите прав потребителей» и «Законом Российской Федерации о сертификации продукции и услуг», принятыми Верховным Советом Российской Федерации в 1993 году. Под сертификацией понимают деятельность государственных органов, направленную на подтверждение соответствующего качества продукции установленным требованиям. Целенаправленно для пищевых продуктов ВНИИ стандартизации, ВНИИЗ и ВНИИХП совместно с Госстандартом России разработаны: «Система сертификации продуктов и продовольственного сырья» и «Правила сертификации зерна и продуктов его переработки на соответствия требованиям безопасности» и «Правила сертификации хлеба, хлебобулочных и макаронных изделий в соответствии с требованиями безопасности».

В чем разница между стандартом и сертификатом? Стандарт содержит общие требования к зерну (продукции) при его закупке, хранении и переработке. Сертификат оценивает качество определенной партии зерна (продукции) или серийно выпущенной продукции. Сертификат является документом, гарантирующим безопасность зерна и зернопродуктов для жизни и здоровья населения. Государственный Комитет Российской Федерации по стандартизации и сертификации (Госстандарт России) создает системы сертификации однородной продукции (в нашем случае зерна и зернопродуктов), устанавливает правила ведения сертификации в этих системах и оп-

ределяет Органы по сертификации. Для этого Госстандарт России аккредитует Органы по сертификации однородной продукции и испытательные центры (лаборатории).

Для сертификации зерна и продуктов его переработки Госстандартом России аккредитован в качестве Органа по сертификации ВНИИЗ.

По зерновым, бобовым и масличным культурам при обязательной сертификации необходимо подтвердить соответствие требованиям безопасности по следующим показателям:

— токсичные элементы — свинец, кадмий, мышьяк, медь, ртуть, цинк;

— микотоксины — афлатоксин В<sub>1</sub>, зеараленон, Т-2 токсин дезоксиниваленон;

— нитрозамины, пестициды;

— зараженность и загрязненность вредителями хлебных запасов, испорченность ядра зерна, вредная примесь (по медико-биологическим требованиям — спорынья, горчак ползучий, софора лисохвостая, термопсис ланцетный, вязель разноцветный, гелиотроп опушенноплодный, триходесма седая, куколь, плевел опьяняющий, головневые (мараные и синегузочные) зерна, семена клещевины);

— зерна с признаками фузариоза;

— кислотное число масла (для подсолнечника);

— радиоактивные вещества — стронций 90, цезий 134, цезий 137.

По продуктам переработки зерна (мука, крупа, побочные продукты мукомольно-крупяной промышленности — все по перечню, приведенному выше для зерновых и масличных культур, минеральная примесь (в крупе), испорченные ядра (в крупе), металломагнитная примесь. По хлебу, хлебобулочным изделиям, макаронам, пищевым концентратам и другим изделиям из муки — все показатели, перечисленные выше, и кислотность.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое хлебопекарное достоинство муки?
2. Какими свойствами пшеничной муки определяется ее хлебопекарное достоинство?

3. Какова общая технологическая схема приготовления пшеничного теста?

4. Какие биохимические процессы происходят в тесте при брожении?

5. В чем различия между опарным и безопарным способами приготовления теста из пшеничной муки?

6. Каковы особенности химических процессов, происходящих при производстве макарон?

7. Какие требования к химическому составу пшеничной муки предъявляет кондитерская промышленность?

8. Какие показатели качества и химического состава необходимы при оценке технологического достоинства пшеничной муки?

9. По каким показателям оценивают качество хлеба? Каковы правила применения пищевых добавок к хлебным изделиям?

## РЖАНАЯ МУКА И ПОЛУЧЕНИЕ ИЗ НЕЕ ХЛЕБА

### § 1. ОСОБЕННОСТИ РЖАНОЙ МУКИ

Ржаная мука по сравнению с пшеничной имеет ряд отличительных особенностей. Она содержит меньше белков на 10–15%. Наиболее дефицитных для злаковых культур незаменимых аминокислот лизина и треонина в ржаной муке примерно в 1,5 раза больше, чем в пшеничной (первая цифра — в муке сеяной, вторая — в обдирной), % к общему содержанию белков: лизин — 3,30; 3,46, треонин 2,54; 3,29. Ржаная мука богата валином, лейцином, гистидином. Для белков ржаной муки характерна большая доля водо- и солерастворимых фракций, способных к неограниченному набуханию — до 50–52% их общего содержания.

Ржаная мука содержит 80–85% углеводов, они представлены крахмалом, сахарами, слизями, пентозанами и клетчаткой. Мелких крахмальных зерен в ржаной муке меньше, чем в пшеничной. Крахмал ржи начинает клейстеризоваться при температуре 52–55 °С, т.е. при температуре более низкой, чем крахмал пшеницы (60–67 °С). Из него получается вязкий, медленно стареющий клейстер. Это свойство в сочетании с общим высоким содержанием растворимых веществ обуславливает мягкую консистенцию и медленное черствение ржаного хлеба.

По сравнению с крахмалом пшеницы крахмальные зерна ржи, защищенные набухающими веществами (слизями и др.), менее подвержены механическим повреждениям при размоле. При использовании гладких вальцов наблюдаются незначительные различия в повреждении крахмальных гранул в муке грубого и тонкого помола. Рифленные вальцы еще менее повреждают крахмал, чем гладкие.

До 80% всех сахаров приходится на долю сахарозы (4–6% от массы муки), восстанавливающих сахаров немного (0,2–0,4%). Характерная особенность ржаной муки — содержание рафинозы и водорастворимых полифруктозидов (левулезанов). Ржаная мука содержит 4,8–9% пентозанов, из них водорастворимых — 1–3% от массы муки. Повышенное содержание слизи в ржаной муке влияет на консистенцию ржаного теста, уменьшает его разжижение при брожении. Клетчатки в ржаной муке примерно столько же, сколько и в пшеничной (0,4–2,1%), в зависимости от сорта, хотя оболочечных частиц в ней содержится больше, чем в пшеничной (например, в обойной — 20–25%). Это объясняется меньшим содержанием клетчатки в оболочках и алейроновом слое зерна ржи. Клетчатка ржаной муки существенно не влияет на консистенцию хлеба, что связано с особенностями состава и строения оболочечных частиц зерна ржи. При небольшом количестве жира (1–2%) в ржаной муке по сравнению с пшеничной содержится больше непредельных жирных кислот, фосфолипидов, каротиноидов.

Ржаная мука богаче, чем пшеничная, рибофлавином, но значительно беднее ниацином. В обойной и обдирной муке содержатся витамины группы Е. При большем, чем в пшеничной муке наличии витаминов группы Е и фосфолипидов жир ржаной муки отличается большей устойчивостью и медленнее прогоркает.

Кроме каротиноидов, в ржаной муке содержатся красящие вещества (флавоны, антоцианы), в муке из зеленозерной ржи — хлорофилл. К ценным особенностям ржаной муки относится повышенное содержание в ней йода и фтора. По сравнению с другими зерновыми культурами в ржаной муке содержится больше всего фтора, мг%: в сеяной 0,035–0,052; обойной 0,085, в пшеничной — высшем сорте 0,011–0,016; во II сорте 0,019–0,034.

Зерно ржи значительно отличается от зерна пшеницы морфолого-анатомическими особенностями, зерно ржи имеет вытянутую узкую веретенообразную форму, у зерна пшеницы она широкая округловатая. Длина ржи составляет 5,0–10,0 мм, у пшеницы 4,2–8,6 мм, ширина (соответственно) 1,4–3,6 мм и 1,6–4,0 мм. Бороздка ржи сомкнутая, закрытая, глубоко про-



Таблица 104

Среднее соотношение частей по массе у зерна пшеницы и ржи, %

Культура	Эндосперм без алейронового слоя	Алейроновый слой	Зародыш	Оболочки	
				плодовые	семенные
Пшеница	82,0	8,0	3,2	4,6	2,2
Рожь	75,1	11,2	3,5	7,4	2,8

Таблица 105

Технологическая твердость зерна и соотношение удельного расхода энергии при размоле зерна пшеницы и ржи при влажности 12%

Показатели	Пшеница	Рожь
Технологическая твердость абсолютное значение М (КГм)	0,187	0,260
относительное значение, %	100	140
Соотношение удельного расхода энергии при размоле, %	100	135

никающая вглубь зерновки, у пшеницы она открытая, меньше погружена в тело зерновки и внутри ее заметно свободную петлю. Соотношение частей зерновки у той и другой культуры также различаются (табл. 104).

Объем одной зерновки колеблется в таких размерах (мм<sup>3</sup>): у пшеницы 11–56, ржи 10–30; масса тысячи зерен (соответственно, г) 12–75 и 10–45. Морфолого-анатомические особенности и химический состав зерна ржи приводят к увеличению энергии, необходимой к размалыванию его в муку. Известны данные о технологической твердости и соотношении удельного расхода энергии при размоле зерна пшеницы и ржи (табл. 105).

## § 2. ХЛЕБОПЕКАРНОЕ ДОСТОИНСТВО РЖАНОЙ МУКИ

Показатели качества ржаного хлеба те же, что и пшеничного: вкус, аромат, форма, объем, окраска и состояние корки, разрыхленность мякиша, пористость, цвет мякиша, расплываемость подового хлеба. Количественно они изменяются в более узких пределах. Величина объема формового хлеба и структу-

ра его пористости в отличие от пшеничного играют второстепенную роль. Цвет муки и способность ее к потемнению при производстве ржаного хлеба несущественны. Их учитывают только при оценке качества сеяной муки.

Наибольшее значение в оценке качества ржаного хлеба придают физическим свойствам мякиша (степени липкости, заминаемости, влажности или сухости на ощупь). Для ржаного хлеба, особенно из обойной и обдирной муки, характерны по сравнению с пшеничным меньший объем, темноокрашенные мякиш и корка, меньшая пористость и более липкий мякиш.

Если при оценке хлебопекарного достоинства пшеничной муки решающую роль отводят белково-протеиназному комплексу, то для ржаной муки наибольшее значение приобретает углеводно-амилазный комплекс. Ржаная мука отличается повышенным содержанием собственных сахаров, левулезанов, водорастворимых коллоидных полисахаридов — полифруктозидов, более низкой температурой клейстеризации крахмала, большей его атакуемостью и наличием в муке даже из непропорощенного зерна  $\alpha$ -амилазы. Сахаро- и газообразующая способность ржаной муки никогда не вызывает заботы хлебопека (она всегда более чем достаточна).

В образовании вязких свойств ржаного теста большую роль играют набухание крахмала и гидратация слизи. Более низкая температура клейстеризации, большая атакуемость, высокая активность амилазного комплекса, создают благоприятные условия для гидролиза крахмала при брожении теста и выпечки ржаного хлеба, что составляет еще одну особенность хлебопекарного достоинства зерна ржи. В формировании физических свойств ржаного теста участвуют белковые вещества. Особенность белков ржаной муки заключается в том, что, несмотря на сходство с белками пшеницы, наличия глиадиновой и глютелиновой фракции, они способны к быстрому и интенсивному набуханию, пептизированию, переходу в состояние коллоидного раствора, не образуют упругоэластичного структурного каркаса теста.

Активность протеиназ — заметный фактор реологических свойств ржаного теста, поскольку ферментативная деагрегация белков повышает их способность переходить в

водный раствор. Улучшающее влияние гидротермической обработки на проросшие зерна ржи и прогрев ржаной муки в основном — следствие изменений белково-протеинозного комплекса. Все эти особенности ржаной муки составляют основу специфической деформационной характеристики теста — его высокую вязкость и резко пониженную величину упругой деформации.

У ржаного хлеба объем и структура мякиша в отличие от пшеничного колеблются в меньших пределах. Это обусловлено особенностями углеводно-амилазного и белково-протеинозного комплексов зерна ржи. По хлебопекарным достоинствам сорта нормально вызревшей ржи, полноценной не имеют заметных различий между собой.

### **§ 3. ПРОИЗВОДСТВО РЖАНОГО ХЛЕБА**

Отличительная особенность ржаного теста — его высокая кислотность. Кислотность готового выброженного теста из ржаной обойной муки доводят примерно до 12°. Повышенная кислотность, в частности содержание молочной кислоты, благоприятно влияет на физические свойства ржаного теста, способствует пептизации белков и одновременно набуханию части белков.

Повышенная кислотность тормозит действие  $\alpha$ -амилазы при выпечке, сокращает период образования под ее влиянием декстринов, что предотвращает повышенную липкость и заминаемость мякиша готового хлеба. Высокой кислотности достигают замешиванием ржаного теста на густых и жидких заквасках из муки, воды и старой порции закваски или теста. Они содержат дрожжи и молочнокислые бактерии, вызывающие брожение теста и образующие молочную и уксусную кислоты. Соотношение количества дрожжей и молочнокислых бактерий в ржаном тесте равно 1:100.

Приготовление теста на густых заквасках при интенсивном кислотонакоплении придает хлебу специфический вкус и аромат. Таким хлебом питается население центральных и северных районов нашей страны. Хлеб на жидких заквасках при меньшей интенсивности кислотонакопления в тесте менее

кислый и ароматный. Такой хлеб распространен в южных районах России.

Во ржи содержится активный фермент тирозиназа, окисляющий аминокислоту тирозин в меланины, окрашенными в черный или коричнево-черный цвет. Темный цвет ржаного хлеба, по-видимому, частично объясняется именно действием тирозиназы.

#### **§ 4. ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДОСТОИНСТВА РЖАНОЙ МУКИ И КАЧЕСТВА РЖАНОГО ХЛЕБА**

Для оценки хлебопекарных достоинств ржаной муки используют требования, приведенные в стандарте, и дополнительные методы.

Хлебопекарные достоинства ржаной муки в отличие от пшеничной зависят преимущественно от состояния ее углеводно-амилазного комплекса (особенно крахмала) и его изменений при брожении, расстойке и выпечке под влиянием амилитических ферментов. Зерно ржи по своим свойствам часто подвергается прорастанию на корню, чему способствуют природно-климатические условия основных районов ее выращивания. Прорастание сопровождается значительной активацией ферментов зерна — протеиназы и особенно  $\alpha$ -амилазы, что увеличивает автолитическую активность муки, получаемой из такого зерна, и представляет собой наиболее частую причину неполноценности ржаной муки. Из большого количества методов определения хлебопекарного достоинства ржаной муки наиболее часто применяют методы, оценивающие величину автолитической активности и отдельных ее компонентов.

Автолитическую активность ржаной муки (способность образовывать водорастворимые вещества при нагревании) определяют по автолитической пробе автолизом мучной болтушки с последующим определением количества водорастворимых веществ при помощи прецизионного рефрактометра. Ржаная обойная мука с количеством водорастворимых веществ до 55% на сухое вещество, ржаная обдирная, ржано-пшенич-

ная и сеяная с содержанием водорастворимых веществ до 50% обладают нормальными хлебопекарными достоинствами. При больших количествах водорастворимых веществ хлебопекарные качества муки снижаются и ухудшаются по мере увеличения содержания этих веществ. Для быстрого (экспрессного) определения хлебопекарного достоинства ржаной муки применяют выпечку колобка из 50 г муки и 41 мл воды при температуре 230 °С в течение 20 мин. После охлаждения колобок оценивают органолептически по объему, внешнему виду, окраске поверхности, отсутствию или наличию разрывов и выплавов мякиша, цвету и состоянию мякиша; в колобке определяют количество водорастворимых веществ. Хорошие результаты дает амилограф (ротационный вискозиметр), графически фиксирующий на ленте самопишущего прибора изменение вязкости водно-мучной суспензии. Полученная кривая (амилограмма) позволяет определить максимальную вязкость болтушки по высоте подъема кривой (основной показатель) и температуру начала ее клейстеризации.

Определение автолитических свойств ржаной муки по числу падения стандартизован в качестве метода изменения активности  $\alpha$ -амилазы зерна и муки. Число падения определяют продолжительностью опускания (с) стандартизованного стержня в калиброванную пробирку, находящуюся в кипящей водяной бане и содержащую суспензию из муки и воды.

Пробные лабораторные выпечки для оценки качества ржаной муки в лабораториях мукомольных заводов и хлебозаводов не применяют из-за продолжительности и многофазности приготовления необходимых для этого заквасок, неустойчивости и различия их бродильной активности, а также трудности сохранения их в активном состоянии. Пробные выпечки из ржаной муки используют иногда в исследовательской работе. Качество ржаного хлеба, особенно из обойной и обдирной муки, значительно отличается от качества хлеба из пшеничной муки. Для него характерны меньший объем, более темноокрашенные мякиш и корка, меньший процент пор и относительно более липкий мякиш.

*КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. В чем заключаются различия в химическом составе ржаной и пшеничной муки?
2. Каковы различия в составе и свойствах белков и клейковины ржаной и пшеничной муки?
3. Как влияет углеводно-амилазный комплекс ржаной муки на качество хлеба?
4. По каким показателям характеризуется технологическое достоинство ржаной муки?
5. В чем заключаются особенности производства ржаного теста?
6. По каким показателям оценивают качество ржаного хлеба? Каковы отличия хлебопекарного качества ржано-пшеничной муки по сравнению с пшеничной и ржаной мукой?

## ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ ХЛЕБА

### § 1. ПИТАНИЕ

В результате широких эпидемиологических исследований, а также организованного в последние годы мониторинга состояние питания населения России установлены основные показатели нарушения пищевого статуса в стране.

К ним относятся:

— дефицит животных белков, составляющий 15–20% рекомендуемых норм, особенно в группах населения с низким уровнем материальной обеспеченности;

— избыточное потребление животных жиров и выраженный дефицит полиненасыщенных жирных кислот;

— большой дефицит у 70–100% населения витамина С, у 60–80% витаминов группы В, у 40–60% β-каротина;

— недостаточность потребления многих минеральных веществ и микроэлементов — кальция, железа, йода, фтора, селена, цинка;

— дефицит пищевых волокон;

— ведущее значение разрушающего влияния на здоровье населения приобрел дефицит микронутриентов — витаминов, микроэлементов, отдельных полиненасыщенных жирных кислот.

Особое внимание специалисты отводят недостатку кальция, железа, йода, микроэлементов. Недостаточное количество кальция, особенно у лиц пожилого возраста, приводит к развитию остеопороза (дистрофия костной ткани, и истончение, искривление многих структурных ее элементов), что приводит к повышенной ломкости костей.

Недостаток железа, особенно у беременных женщин и детей раннего возраста, сопровождается развитием анемии — ма-

локровием, т. е. уменьшением гемоглобина — дыхательного пигмента, переносящего кислород из легких в ткани и участвующего в переносе углекислого газа из тканей в легкие.

При недостатке в организме йода, особенно у детей до 17 лет, в период интенсивного развития центральной нервной системы ослабляются интеллектуальные способности.

Дефицит микронутриентов порождает, прежде всего, резкое уменьшение резистентности (устойчивости организма к воздействию различных повреждающих факторов).

В результате ограничивается перечень потребляемых необходимых продуктов и заменяется хлебом, хлебопродуктами и картофелем. При всех их достоинствах они не обеспечивают требуемых нутриентов при нормальном статусе питания населения.

В основе рационального питания лежат три естественных закона. Первым из них является соответствие энергозатрат энергопотреблению, энергетический баланс организма. Второй закон требует обязательности потребления основных пищевых веществ (белков, жиров и углеводов) в физиологически необходимых количествах и их соотношениях. Третий закон призван научно обоснованно регулировать потребление продуктов питания по группам населения и во многих случаях индивидуально в зависимости от роста, пола, состояния здоровья, выполняемой работы и среды обитания людей. Отступление от этих законов неизбежно приведет к нарушению пищевого статуса и к алиментарно-зависимым заболеваниям.

Какое место занимает в этом статусе хлеб? Исторически сложилось и до сих пор остается незыблемым, что хлеб является продуктом номер один, основой питания. Он отличается многими особенностями. По сравнению со всеми другими продуктами в хлебе наиболее полно представлены необходимые питательные вещества. В этом смысле хлеб — уникальный продукт: наиболее длительный период времени можно питаться только хлебом и крупами с добавлением картофеля без серьезных заболеваний и не утрачивая работоспособности.

Есть у хлеба одна особенность, которой нет у других продуктов — неприедаемость. Хлеб мы употребляем ежедневно



в течение всей жизни и не один раз. И все же он никогда не приедается. Хлеб обладает постоянной, не снижающейся при ежедневном употреблении усвояемостью. Высокая усвояемость хлеба связана с особенностями его химического состава и благоприятным состоянием слагающих его веществ. Белки находятся в денатурированном состоянии, крахмал частично клейстеризован, частично карамелизован и частично перешел в растворимое состояние, жир — в виде эмульсии или абсорбирован белками и крахмалом, соль и сахар — в растворенном виде, оболочечные частицы — пищевые волокна (клетчатки, гемицеллюлозы) — в набухшем и размягченном состоянии. Вещества хлеба в ходе его приготовления становятся легко доступными для действия ферментов, участвующих в процессах пищеварения. Повышенная усвояемость хлеба связана также с его строением и консистенцией. Мягкая консистенция позволяет легко и полностью уже во рту измельчить его до кашицеобразного состояния. Хлеб придает массе остальной поглощаемой пищи благоприятную консистенцию и структуру, способствующую наиболее эффективной работе пищеварительного тракта, и это обеспечивает более полное усвоение организмом супа, соусов, масла, варенья, овощей и т. д. В питании человека хлеб имеет огромное теплофизиологическое значение в связи с его такими ценными свойствами как вкус, аромат, эластичность и пористость мякиша, цвет корки, внешний вид. Хлеб обладает отличной текстурой, которую за рубежом высоко ценят, а мы обычно не обращаем внимания. Текстура — это трудноопределяемая, внутренняя упорядоченность структуры продуктов питания, связанной с реологией и деформацией. К текстурным параметрам относят вязкость, скольжение, эластичность, временной параметр, способность дисперсно восстанавливать исходную структуру, разрушенную механическим воздействием. Текстурные свойства продукта ощущаются при прикосновении руками, попадании в рот, при жевании, глотании, определяют вкусовые ощущения, что является сигналом в центральную нервную систему, которая передает ощущения, сопровождающие восприятие пищи. Текстура отличается от других органолептических показате-

лей. Она входит в число подсознательных информации. Текстура связана с пониманием психологии, психореологии, физики. Текстура, хороший вкус и запах свежего хлеба возбуждает аппетит и активность пищеварительных органов. Именно это свойство продуктов для питания имел в виду И.П. Павлов, когда говорил, что полезная еда есть еда с аппетитом, еда с испытываемым наслаждением; всякая другая еда, еда по расчету, по приказу признается уже с большей или меньшей степенью злом, и «инстинкт человеческого здоровья побуждает об его устранении».

Хлеб неотделим от зерна, и это увеличивает его социально-экономическое значение. Огромное преимущество зерна, без которого нет хлеба перед другими видами продовольствия (масла, молочных продуктов) заключается в том, что его можно хранить долгие годы и перевозить на тысячи километров без особой тары и применения технических средств — холодильных и других дополнительных установок, требующих большого количества энергии. В самых сложных и трудных условиях его можно без особых усилий и оборудования превратить в доступную для питания форму. И наконец, еще одно достоинство хлеба, приобретающее зачастую решающее значение — он дешевле других важных пищевых продуктов.

## § 2. УСВОЯЕМОСТЬ ХЛЕБА

Усвояемость влияет на величину биологической и энергетической ценности продукта. Усвояемость хлеба и его отдельных компонентов зависит от многих причин: индивидуальных особенностей человека, его состояния, вкуса к данному сорту хлеба, степени измельчения муки и ее выхода, химического состава и состояния отдельных веществ хлеба, его качества, влажности мякиша и других. Имеет значение и то, с чем употребляют в пищу хлеб: усвояемость белков, жиров и углеводов в смешанной пище намного выше, чем в однородной. Тщательные исследования этого вопроса были проведены в Институте питания АМН (табл. 106). Как видно из таблицы, усвояемость пшеничного хлеба в целом и по важнейшим веществам выше, чем усвояемость ржаного. Особенно велика разница в усвояе-

Таблица 106

Усвояемость пшеничного и ржаного хлеба из муки различных выходов, %

Выход муки, %	Сухое вещество	Белок	Углеводы	Зола
Пшеничный				
96	91,60	88,50	96,03	74,35
85	94,47	88,21	97,57	82,38
75	95,37	91,74	98,19	84,28
Ржаной				
97,5	7,08	61,71	95,17	70,66
96*	86,96	73,60	93,12	72,05
96	88,80	74,39	94,46	78,79
93	87,64	72,46	93,56	70,43

\* Мука мелкого помола

мости белка. Снижение выхода пшеничной и ржаной муки сопровождается возрастанием усвояемости.

### § 3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ (КАЛОРИЙНОСТЬ) ХЛЕБА

Средний состав пищевых продуктов, в том числе зерна и хлеба, изложены в справочных таблицах содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов, одобренных Министерством здравоохранения РФ. В табл. 107 приведено содержание основных пищевых веществ в разных сортах хлеба. По мере снижения выхода муки калорийность повышается. Наибольшей обменной энергией обладают хлебные изделия с наименьшей влажностью и максимальным содержанием жира. К таким хлебным изделиям относятся сдобные сухари и сдобные сорта баранок из пшеничной муки высшего и 1-го сорта. При употреблении 350 г хлеба в сутки (из пшеничной муки 1-го сорта — нарезной батон) взрослый человек получает 775 ккал, или 31% суточной нормы.

### § 4. ХЛЕБ КАК ИСТОЧНИК БЕЛКА И НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ

Для взрослого человека требуется в сутки 73 г белков. Содержание белка колеблется в хлебе (г/100 г): из ржаной муки —

## Химический состав и энергетическая ценность

Продукт	Сорт муки и важнейшее сырье	Вода, г	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г		Клетчатка, г	Органические кислоты, г	Зола, г
					общие	в том числе добавленные моно- и дисахариды			
Хлеб ржаной простой формовой	Обойная	47,5	6,5	1,0	40,1	0	1,1	1,3	2,5
Хлеб ржаной формовой	Обдирная	45,8	5,6	1,1	43,3	0	0,8	1,1	2,3
Хлеб ржано-пшеничный простой формовой	Обойная	46,9	7,0	1,1	40,3	0	1,1	1,1	2,5
Хлеб орловский простой штучный формовой	Ржаная обдирная и пшеничная 2-го сорта	43,0	6,1	1,1	46,3	0,5	0,6	0,9	2,0
Хлеб пшеничный формовой	Обойная	44,3	8,1	1,2	42,0	0	1,2	0,7	2,5
То же	Пшеничная 2-го сорта	41,2	8,1	1,2	46,6	0	0,4	0,5	2,0
То же	Пшеничная 1-го сорта витаминизированная	39,5	7,6	0,9	49,7	0	0,2	0,3	1,8
Батоны нарезные	Пшеничная 1-го сорта	36,3	7,4	2,9	51,4	3,3	0,2	0,3	1,5
Булки	То же	34,3	7,7	2,4	53,4	3,4	0,2	0,4	1,6

разных сортов хлеба (на 100 г хлеба)

Минеральные вещества, мг						Витамины, мг			Энергетическая ценность, ккал	
Na	K	Ca	Mg	P	Fe	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	PP	ккал	кДж
583	206	38	49	156	2,6	0,18	0,11	0,67	190	795
600	94	34	41	120	2,3	0,11	0,08	0,64	199	833
589	195	37	55	178	2,7	0,19	0,11	1,46	193	808
484	113	31	43	119	2,3	0,14	0,08	0,95	211	883
578	185	37	65	218	2,8	0,21	0,12	2,81	203	849
479	175	32	53	128	2,4	0,23	0,10	1,92	220	920
488	127	26	35	83	1,6	0,41	0,34	2,89	226	946
402	125	25	33	82	1,5	0,15	0,08	1,51	250	1046
417	130	26	34	85	1,6	0,41	0,34	2,94	254	1063

Продукт	Сорт муки и важнейшее сырье	Вода, г	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г		Клетчатка, г	Органические кислоты, г	Зола, г
					общие	в том числе до-бавленные моно- и ди-сахариды			
городские	витами- минизи- рованная								
Сдоба выборгская с повидлом	Пшенич- ная выс- шего сорта	28,2	6,5	4,0	59,8	19,3	0,2	0,3	1,0
Рожки сдобные	Пшенич- ная 1-го сорта	23,3	8,3	12,1	54,4	2,1	0,2	0,3	1,4
Батоны нарезные молочные	Пшенич- ная 1-го сорта, ОМС лак- тоза 0,9 г	34,9	8,2	1,5	53,2	4,2	0,2	0,3	1,7
Булка черкизов- ская	Пшенич- ная 1-го сорта, мо- локо цель- ное, лак- тоза 0,7 г	32,0	7,8	5,5	52,6	5,3	0,2	0,3	1,6
Сушки простые	Пшенич- ная 1-го сорта	12,0	11,0	1,3	73,0	0,	0,2	0,2	2,3
Сухари ванильные	Пшенич- ная выс- шего сорта	8,0	8,5	10,6	71,3	15,2	0,1	0,3	1,2
Нацио- нальные сорта: чурек азербайд- жанский хлеб матнакан	Пшенич- ная 1-го сорта	37,3	7,9	1,0	51,6	0	0,2	0,4	1,6
		35,2	8,3	1,0	53,2	0	0,2	0,3	1,8

Таблица 107 (окончание)

Минеральные вещества, мг						Витамины, мг			Энергетическая ценность, ккал	
Na	K	Ca	Mg	P	Fe	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	PP	ккал	кДж
270	91	19	13	61	1,0	0,10	0,06	0,90	287	1201
327	124	26	36	98	1,7	0,18	0,10	1,89	347	1452
416	149	45	37	97	1,6	0,16	0,11	1,57	247	1033
410	145	42	35	95	1,6	0,16	0,10	1,55	279	1167
615	185	36	50	121	2,3	0,23	0,12	2,22	330	1381
301	109	24	17	75	1,1	0,12	0,08	1,07	397	1661
422	134	27	36	88	1,6	0,17	0,09	1,62	236	987
464	146	28	38	96	1,8	0,18	0,10	1,83	243	1017

от 4,7 до 6,5; из смеси ржаной и пшеничной — от 5,3 до 7,3; из пшеничной — от 7,4 до 8,3; в сладких изделиях — от 6,5 до 8,3; в изделиях с молоком — от 7,2 до 8,3.

При расчете на 350 г хлеба в день человек получает 27,9 г белка, или 38,2% средней потребности.

Содержание отдельных аминокислот в пшеничном хлебе приведено в таблице 108. Зерно пшеницы разных видов содержит белка в среднем 11,6–12,7%, а пшеничный хлеб — от 6,5 до 8,3%. Это означает, что содержание белка в хлебе снижено по сравнению с зерном в среднем на 40%\*

Снижение выхода муки сопровождается уменьшением количества незаменимых аминокислот, т.е. хлеб из муки грубого помола биологически более ценен, чем хлеб из муки высоких сортов. Это различие несколько ослабляется в связи с более высокой усвояемостью хлеба из муки высоких сортов.

Таблица 109 содержит данные о том, в какой мере потребность человека в незаменимых аминокислотах покрывается хлебом.

Таблица 108

**Содержание отдельных аминокислот в пшеничном хлебе, г/100 г**

Аминокислота	Содержание аминокислот		Аминокислота	Содержание аминокислот	
	в батоне из пшеничной муки 1-го сорта	в хлебе из пшеничной муки 2-го сорта		в батоне из пшеничной муки 1-го сорта	в хлебе из пшеничной муки 2-го сорта
Лизин	0,17	0,21	Аргинин + аспарагин	0,36	0,40
Лейцин + изолейцин	0,77	0,80	Аспарагиновая кислота	0,41	0,41
Метионин	0,14	0,14	Серин	0,26	0,27
Треонин	0,19	0,23	Глицин	0,38	0,39
Триптофан	0,04	0,04	Глютаминная кислота	2,07	2,09
Валин	0,39	0,41	Аланин	0,25	0,29
Фенилаланин	0,41	0,42	Тирозин	0,15	0,13
Гистидин	0,18	0,19	Пролин	0,19	0,14

\* Следует отметить, что для здоровья человека вредны как недостаточность отдельных незаменимых аминокислот и других элементов питания, так и их избыточное количество.



Таблица 109

Покрытие потребности человека в незаменимых аминокислотах суточным пайком в количестве 350 г хлеба, % к норме

Аминокислота	Потребность в среднем, г	Хлеб из муки		
		пшеничной 1-го сорта	пшеничной 2-го сорта	ржаной обдирной
Лизин	4,0	15	18,5	32
Лейцин	5,0	35	36	56
Изолейцин	3,5	27	29	34
Метионин	3,5	12	12	13
Треонин	2,5	26	32	47
Триптофан	1,0	14	14	10
Валин	3,5	37	41	59
Фенилаланин	3,0	48	49	69
<b>Сумма</b>	<b>25,5</b>	<b>23</b>	<b>29</b>	<b>40</b>

Приведенные цифры весьма условны. Они могут изменяться по сортам, географическому признаку, условиям переработки зерна. Важнейшую роль играет соотношение аминокислот.

Хлеб из пшеничной муки 2-го сорта незаменимыми аминокислотами обеспечен полнее, чем хлеб из муки 1-го сорта.

В хлебе из пшеничной муки наиболее дефицитные аминокислоты метионин, триптофан и лизин, но в хлебе из муки 1-го сорта недостаточность лизина выражена более глубоко. Ржаной хлеб по большинству незаменимых аминокислот обеспечен полнее, чем хлеб из пшеничной муки. Исключения составляют метионин и триптофан: по их содержанию ржаной хлеб немного уступает пшеничному. Важно подчеркнуть, что ржаной хлеб богаче пшеничного по содержанию лизина. Пшеничный и особенно ржаной хлеб в наибольшем количестве по сравнению с нормой содержат фенилаланин, валин и лейцин.

#### § 4. ХЛЕБ КАК ИСТОЧНИК ВИТАМИНОВ

Потребность человеческого организма в разных витаминах не может быть определена с большой точностью, так как она зависит от многих условий: общего уровня питания, состоя-

ния организма, пола, возраста, характера работы, выполняемой человеком, и т. д. Источником витаминов в хлебе, кроме зерна, служат дрожжи и закваски.

Пекарские дрожжи содержат значительное количество витаминов (мг/100 г): тиамин 1,20–1,29; рибофлавин 1,73–3,11; ниацин 10,6–11,7. Содержание витаминов в хлебе уменьшается в связи с разрушением их при выпечке. Тиамин интенсивно реагирует с глюкозой (реакция Майяра) при  $pH = 4$ , образуя различные соединения. После выпечки витамины в хлебе сохраняются: тиамин из ржаной обойной муки на 70%, из пшеничной обойной — на 80%, пшеничной 1-го сорта — на 88% и 2-го сорта — на 80%; рибофлавин соответственно на 88, 78, 64, 69%; ниацин — во всех случаях на 95–100%. Добавляемые в тесто витамины при выпечке сохраняются в хлебе из ржаной муки на 75%, из пшеничной муки: тиамин — на 75–80%, рибофлавин — на 50–64%, ниацин — на 80–89%, причем они хуже сохраняются при выпечке хлеба из сортовой муки. Витамин Е в хлебе сохраняется в среднем на 80%.

При хранении хлеба наблюдают стабильность тиамин и нестойкость рибофлавина. Хлеб содержит тем меньше тиамин, рибофлавин и ниацин, чем меньше содержалось в использованной муке частиц оболочек и зародыша.

Таблица 110

**Покрытие суточной потребности взрослого человека в витаминах тиамине, рибофлавине и ниацине в среднем, %**

Продукт	Тиамин (1,75мг*)	Рибофлавин (2,25мг*)	Ниацин (20мг*)
Хлеб ржаной из обойной муки	35	17	12
Хлеб ржано-пшеничный из обойной муки	38	17	29
Хлеб пшеничный из муки 2-го сорта	45	17	34
То же, 1-го сорта	32	12	27
Батоны нарезные из пшеничной муки 1-го сорта	30	12	26

\* Средняя суточная потребность взрослого человека

Если исходить из суточного потребления взрослым человеком в среднем 350 г хлеба, то потребность в витаминах покрывается в размерах, показанных в табл. 110.

Наиболее полно хлеб покрывает потребность человека в тиамине. Ниацин немного уступает в этом отношении тиамину. В наименьшем количестве человек получает с хлебом рибофлавина.

Наилучшим образом обеспечивает потребность человека в витаминах хлеб, получаемый из смеси ржаной и пшеничной обойной муки. Простые батоны нарезные из пшеничной муки 1-го сорта содержат наименьшее количество витаминов.

## **§ 5. ХЛЕБ КАК ИСТОЧНИК МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Минеральные вещества — это важная составная часть продуктов питания.

В таблице 107 приведены данные о среднем содержании минеральных веществ в хлебе разных сортов.

Для взрослого человека обеспеченность минеральными веществами при потреблении 350 г хлеба в сутки приведена в таблице 111.

Наиболее полно потребность человека покрывается хлебом по железу при наибольшем выходе ржаной и пшеничной муки (обойной и 85% выхода). Несколько меньше, но также свыше 50% необходимых натрия, магния и фосфора человек получает с ржаным и ржано-пшеничным хлебом из обойной муки. Значительно меньше потребность в минеральных веществах обеспечивается хлебом из высоких сортов муки, т. е. из муки, хорошо освобожденной от отрубей и частей зародыша.

Дефицитные элементы во всех сортах хлеба — это калий и, особенно, кальций.

При преимущественном употреблении в пищу хлеба и других изделий из злаков, особенно овса, выявляется их рахитогенное действие.

Это происходит в результате того, что злаки содержат фосфорную кислоту в неусвояемой форме, а именно в форме инозитфосфорной кислоты и фитина. Обработка муки 1%-ной со-

**Покрытие потребности взрослого человека в среднем  
в минеральных веществах (при потреблении 350 г хлеба в сутки), %**

Продукт	Na	K	Ca	Mg	P	Fe
Хлеб ржаной из обойной муки	41	19	14	42	42	60
Хлеб ржано-пшеничный из обойной муки	41	18	15	49	49	62
Хлеб пшеничный из муки 2-го сорта	33	16	12	46	35	55
То же, 1-го сорта	34	12	10	30	23	37
Батоны нарезные из пшеничной муки 1-го сорта	25	12	11	30	24	37

ляной кислотой, уменьшает ее рахитогенное действие благодаря гидролизу фитина.

На содержание фитинового фосфора большое влияние оказывает фермент фитаза. Активность ее возрастает при прорастании. Наибольшая концентрация фитазы в зародыше и алейроновом слое. Вместе с тем в процессе тестоведения под влиянием активной фитазы муки и микроорганизмов теста происходит глубокое расщепление фитиновой кислоты.

В хлебе из ржаной муки 95% выхода содержание ее уменьшается до 20% от первоначального. Расщепление фитина происходит также на первых стадиях выпечки хлеба. Высокая кислотность ржаного теста способствует более глубокому расщеплению фитина.

## § 6. ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЧЕЛОВЕКА УГЛЕВОДАМИ, СОДЕРЖАЩИМИСЯ В ХЛЕБЕ

Главное назначение углеводов в организме — снабжение его энергией. Они обеспечивают 56–58% всех энергетических затрат организма.

Быстрота усвоения и окисления углеводов определяет ведущую их роль в энергетическом обмене организма. Углеводы используются как пластический материал для различных синтезов. При недостатке углеводов в пищевом рационе на производство энергии расходуются белки, что нежелательно.

Таблица 112

Покрытие потребности взрослого человека в среднем углеводами хлеба  
(при 350 г хлеба в сутки), %

Продукт	% покрытия потребности
Хлеб ржаной из обойной муки	40,1
Хлеб ржано-пшеничный из обойной муки	40,3
Хлеб пшеничный из муки 2-го сорта	46,7
То же, 1-го сорта	49,7
Батоны нарезные из пшеничной муки 1-го сорта	51,9

Средняя потребность взрослого человека в углеводах составляет 400–500 г, в том числе: крахмал 400–450 г, моно- и дисахариды 50–100г.

Содержание углеводов в хлебе приведено в табл. 107.

Обеспеченность человека (в среднем) углеводами, получаемыми с хлебом, показана в табл. 112.

Между выходом муки и обеспеченностью потребности человека в углеводах наблюдается обратная зависимость: чем ниже выход муки, тем больше их содержание в хлебе.

С пищевыми волокнами обратное соотношение.

Мука с более высоким выходом дает хлеб с большим содержанием пищевых волокон. В целом обеспеченность человека пищевыми волокнами из хлеба очень низкая, особенно из пшеничной муки высоких сортов, что указывает на необходимость значительного восполнения пищевого рациона пищевыми волокнами главным образом за счет овощей и фруктов, богатых клетчаткой и гемицеллюлозами.

## § 7. ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЧЕЛОВЕКА ЛИПИДАМИ, СОДЕРЖАЩИМИСЯ В ХЛЕБЕ

В теле человека жиры выполняют функции энергетического и пластического материала. Входящие в состав растительных жиров непредельные жирные кислоты (линолевая, линоленовая) имеют двойные ненасыщенные связи, что определяет их значительную физиологическую активность. Биологическая ценность жиров зависит от легкости переваривания и усвоения в пищеварительном тракте и главным образом от коли-

чества полиненасыщенных жирных кислот, играющих большую роль в процессах обмена веществ.

Средняя суточная потребность взрослого человека в жирах составляет 83 г, в том числе растительных — одна треть.

Хлеб — ограниченный источник растительных жиров и покрывает потребность человека в них на 5–6%.

В хлебе содержатся также в небольших количествах фосфатиды, стерины и другие жироподобные вещества. Главный их источник для человека — продукты животного происхождения, а также семена масличных культур.

## § 8. ВКУС И АРОМАТ ХЛЕБА

Вкус и аромат хлеба — важнейшие его признаки, влияющие на аппетит, усвояемость и, следовательно, на пищевую ценность хлеба. Вкус и аромат хлеба зависит, прежде всего, от качества муки и других продуктов, используемых при его приготовлении. Образующие тесто вещества в процессе брожения под влиянием ферментов муки, дрожжей, а также молочнокислых бактерий подвергаются существенным изменениям, от совокупности которых зависят вкус и аромат хлеба. С помощью современных методов анализа (бумажная и газовая хроматография, масс-спектрометрия, инфракрасная спектроскопия) многочисленными исследователями установлено около 250 веществ, образующих вкусовой и ароматический комплекс теста, хлеба и паров, выделяющихся из теста при выпечке. Аромат хлеба, определяемый большой совокупностью веществ, достаточно хорошо улавливается потребителем.

Вкус и аромат, будучи комплексными ощущениями, вместе с тем весьма индивидуальны.

Потребитель, как правило, дает высокую оценку хлебу с золотистым цветом корки и нежным мякишем.

Важнейшие компоненты вкуса и аромата — карбонильные соединения, образующиеся главным образом в корке хлеба при выечке.

Разработан метод объективного определения ароматических веществ в хлебе, основанный на связывании летучих карбонильных соединений бисульфитом натрия.

Решающую роль в формировании ароматического комплекса хлеба играют реакции окислительно-восстановительного взаимодействия восстанавливающих сахаров с аминокислотами и белками, происходящие при высокой температуре выпечки — меланоидинообразование (реакция Майяра). На вкус и аромат хлеба оказывают влияние такие технологические приемы, как способ приготовления теста, продолжительность брожения, температура и продолжительность выпечки, количество дрожжей, влажность полуфабрикатов, количество пара в печной камере, интенсивность обработки теста, размеры (развес) хлеба, применение ферментных препаратов и пищевых добавок. Интенсивная обработка теста и связанное с ней ускорение приготовления теста ведут к уменьшению ароматических веществ и ухудшают аромат хлеба. При большем развесе хлеба продолжительность выпечки удлиняется и аромат хлеба улучшается.

При хранении хлеба в обычных условиях (при температуре 18° С и относительной влажности воздуха 65%) содержание ароматических веществ в первое время в корке уменьшается и одновременно в мякише возрастает в результате диффузии. При последующем хранении (по одним данным — через 12 ч, по другим — через 72 ч) содержание этих веществ быстро уменьшается и в мякише.

В питании человека хлеб имеет огромное психофизиологическое значение. Вкус, аромат, эластичность и пористость мякиша, цвет корки, внешний вид, возбуждают аппетит и активность пищеварительных органов. Восприятие человеком пищи (и хлеба) — это большой комплекс его ощущений, который связывают с текстурой пищевых продуктов.

Подготовка зерна к помолу и переработка его в муку сопровождается воздействиями и методами, приводящими к переходу обычной для него структуры к текстуре организовано расположенными в объеме зерновки и ее частях составляющих их элементов. В хлебопечении текстура проявляется в процессах приготовления теста, его реологических свойствах и по таким качественным признакам хлеба, как состояние корки, пористость мякиша, вкусовые свойства и усвояемость.

При хранении хлеба в обычных температурных условиях (15–25 °С) через 10–12 часов появляются признаки черствев-

ния, усиливающиеся при дальнейшем хранении. При черствении изменяются фактические свойства мякиша — снижаются его сжимаемость и эластичность, появляется и возрастает крошковатость. Выраженный приятный аромат и вкус свежего хлеба постепенно утрачивается. Количество карбонильных и других ароматических веществ уменьшается. Вкус и аромат хлеба при хранении ухудшаются. Хлеб приобретает специфический запах и вкус черствого (лежалого) хлеба.

Причиной черствения хлеба считают изменение состояния мякиша. При выйечке тестовых заготовок в хлебопекарной печи крахмал частично клейстеризуется, поглощая воду, выделяемую коагулируемыми белковыми веществами. Крахмал при этом переходит из кристаллического в измененное аморфное состояние, поглощая значительное количество воды.

При хранении хлеба в крахмале мякиша происходит ретроградация, т. е. частичный обратный переход его в кристаллическое состояние. Структура крахмала уплотняется, растворимость его уменьшается, происходит частичное выделение влаги. Выделяемая вода воспринимается белками мякиша. Многие исследователи считают, что в ретроградации крахмала мякиша главную роль играет амилопектин крахмальной гранулы.

Качество хлеба устанавливают по влажности, кислотности и другим стандартным методам.

## **§ 9. ИСТОЧНИКИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ХЛЕБА**

При производстве хлеба в прошлом часто использовали добавки для повышения пищевой ценности. Для этого обычно применяли различные натуральные продукты, содержащие значительное количество витаминов, минеральных веществ, белков (дрожжи, соевая мука, зародыши злаков, пищевые жмыхи, белковые изоляты семян масличных и бобовых культур, ОСМ и т. д.). Дрожжи содержат много белка (до 50–60% к сухой массе) и витаминов группы В. Из дрожжей получают также ценные белковые изоляты.

Для обогащения хлеба рекомендовали использовать зародыши злаков (пшеницы, кукурузы) с большим содержанием



биологически ценного белка, непредельных жирных кислот, витаминов Е и группы В, а также сухую не денатурированную пшеничную клейковину. Богатый источник белка — жмых, получаемый при переработке семян подсолнечника и хлопчатника. В качестве дешевого источника полноценного белка могут быть: гороховая мука (20–30% белка), белковый концентрат из семян арахиса (54–56% белка) и конских бобов (лизина в 3,8 раза больше, чем в пшеничной муке), различные водоросли, отличающиеся сбалансированным содержанием аминокислот, низким содержанием нуклеиновых кислот и высоким — витаминов и каротиноидов.

Среди продуктов, рекомендуемых в качестве белковых обогатителей сортовой пшеничной муки, особо выделяют сою и различные виды соевой муки из-за высокого содержания в них весьма ценного по своему аминокислотному составу белка.

При обогащении хлеба белком особенно хорошие результаты дают молочные продукты: цельное и обезжиренное молоко, ОСМ, сыворотка пахты и другие. Они содержат высокопитательные белки — казеин, молочный альбумин и глобулины, витамины и, что весьма существенно, значительное количество хорошо усваиваемых солей кальция. Поэтому применение молочных продуктов считают эффективным способом обогащения хлеба. Из обезжиренного молока получают белковый обогатитель, содержащий белковых веществ свыше 60%, лактозы свыше 30%. Белки этого продукта содержат казеин, молочный альбумин и глобулин.

Ценным источником пищевого белка служат отходы мясной промышленности — боенская кровь, белки которой богаты лизином.

Важнейшим источником пищевого сырья является рыбная промышленность. Из ее отходов можно получать белковые и аминокислотные концентраты и гидролизаты. Проведены успешные опыты добавления рыбной муки к пшеничной и кукурузной, к полированному рису.

Для обогащения хлеба кальцием наряду с ОСМ использовали также пищевой мел. Этот способ применялся в некоторых странах.

Ферментные препараты, выделенные из культур микроорганизмов (грибов и бактерий), также повышают качество ржа-

ного и пшеничного хлеба из муки различного хлебопекарного достоинства. В основном используются комплексные ферментные препараты, содержащие амилазы и протеазы. Ферментные препараты увеличивают объем хлеба и сжимаемость мякиша, усиливают окраску корки, улучшают вкус и аромат, повышают содержание сахара в мякише.

Особенно эффективно применение ферментных препаратов при переработке муки пониженного хлебопекарного качества.

Используется промышленно изготавливаемый комплексный грибной ферментный препарат амилоризин П10Х — эффективный биологический улучшитель качества пшеничного и ржаного хлеба.

В настоящее время хлебопекарная промышленность не всегда получает в необходимых размерах хлебопекарную муку хорошего качества. Это вынуждает применять пищевые добавки для улучшения ее технологического качества. Принципы и цели их применения изложены в главе 17 «Биохимические процессы, происходящие в муке при получения из нее хлеба».

Задача заключается в том, чтобы обеспечить систематический санитарно-эпидемиологический контроль за безвредностью хлебных изделий и охрану здоровья населения от возможности вредных влияний применяемых пищевых добавок при производстве хлеба через Госсанэпиднадзор и Госхлебинспекцию.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

1. Что представляют собой основные положения теории адекватного питания?
2. Какими достоинствами обладает хлеб как продукт питания?
3. Какова энергетическая ценность хлеба?
4. По каким незаменимым аминокислотам дефицитен хлеб?
5. Насколько хлеб покрывает среднюю потребность человека в белках и углеводах?
6. Какие минеральные элементы в хлебе дефицитны?
7. Какие витамины в хлебе содержатся в наибольшем количестве?
8. Какие процессы происходят при черствении хлеба?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зерно — живая биологическая система, чутко реагирующая на внешние условия. Имея сложный химический состав, зерно находится в состоянии постоянных изменений, в нем происходит непрерывный биологический обмен веществ (метаболизм) как внутри самого зерна, так и окружающей средой. В обмен веществ вовлекается весь сложный химический состав зерна, что, в конечном счете, определяет его технологическое достоинство и пищевую ценность. Динамическое изменение массы и состава зерна проявляет себя с момента высева семян в поле, в период роста и развития злакового растения, при его созревании, уборке, транспортировании, хранении и переработке.

Существуют три фактора, от которых зависит состояние зерна, его качество и технологические особенности. Первый фактор — генетический, заложенный в биологической природе зерна, передаваемый по наследству и заложенный в его клетках и тканях. Второй фактор — внешние условия, при которых злаковое растение растет и развивается, а затем хранится и перерабатывается: здесь учитываются производственные условия и оборудование, материальная основа хранения — различные типы хранилищ и переработки — промышленные предприятия (мукомольные заводы, хлебозаводы, макаронные фабрики и т. д.). Третий фактор — совокупность воздействий, оказываемых человеком на зерно на всех этапах его роста, развития, хранения, транспортирования и переработки (агротехнических, механических, физико-химических, биологических).

Интенсивная технология, применяемая в производстве зерна, улучшает условия его развития и созревания, приближает их к оптимальным, улучшает качество зерна.

В основе всех изменений зерна, его составных частей, отдельных тканей лежат разнообразные и сложные биохимические процессы, нашедшие отражение в данном учебнике.

С момента закупок зерна от его производителей ответственность за его сохранность, переработку и рациональное использование ложится на работников предприятий (элеваторов, мукомольных и комбикормовых заводов, хлебозаводов и др.).

Инженеры-технологи, механики и экономисты только тогда могут обеспечить необходимый производственный уровень на всех этих предприятиях, когда они будут вооружены прочными знаниями о процессах, происходящих в зерне, изучат биохимию зерна и продуктов его переработки. Эти знания составной частью входят в подготовку руководителей и инженерно-технических работников системы хлебопродуктов. Без этих знаний невозможно получение высокого производственного эффекта в хранении и переработке зерна — предотвращении снижения качества и порчи зерна, добиться получения максимальных выходов и хорошего качества готовой продукции (муки, хлеба, крупы, комбикормов и др.), ликвидации потерь зерна.

В последние годы биохимия зерна, а также практика его хранения и переработки пополнились новыми достижениями. Получены данные о нуклеиновых кислотах, играющих такую же важную роль в жизненных процессах, как белки, в том числе в генетическом механизме. При все более возрастающем применении минеральных удобрений и пестицидов в результате нарушений, допускаемых при их использовании, в зерне накапливаются токсические вещества, в том числе тяжелые металлы (кадмий, свинец, мышьяк и др.). Разрабатываются меры для их удаления при переработке зерна. Выявлено существенное влияние на процессы обмена веществ пищевых волокон клетчатки и других веществ. Установлено, что наибольший эффект достигается при включении в суточный рацион человека пищевых волокон — пшеничных отрубей (оболочечных частиц зерна).

Мукомольные заводы приступили к массовому производству пищевых пшеничных отрубей. Выделяемый при переработке пшеницы в муку зародыш, богатый биологически полноценными белками, витаминами и минеральными ве-

ществами, раньше направлялся в корма для животных. В последнее время мукомольные заводы начали выработку пшеничных зародышей, применяемых также для биологического обогащения пшеничного хлеба. Расширено изучение химического состава пищевых пшеничных отрубей и зародыша, а также их изменения при их хранении. В биологических процессах злаковых растений активное участие принимают фенольные соединения. За последнее десятилетие выявлены ранее неизвестные данные об этом классе соединений, содержащихся в большом количестве (3–4 и до 10%) в зерне.

Содержание и качество клейковины является наиболее информативной мерой хлебопекарного достоинства зерна и муки пшеницы. Клейковина известна свыше 200 лет. Однако до сих пор не раскрыты до конца ее уникальные свойства, благодаря которым пшеница является единственной культурой, дающей хлеб с присущими только ей качественными признаками. Нет удовлетворительного экспресс-метода (механизованного) выделения клейковины из зерна и муки.

Для улучшения качества хлеба зерно с низкими хлебопекарными достоинствами смешивают с зерном лучшего качества (сильной). В этой связи возникает необходимость оценить смешительную ценность зерна пшеницы разного качества. Предполагается, что смешительная ценность зерна есть его способность, обусловленная биологическим и физическим комплексом партии зерна, прежде всего белка с его уникальными свойствами, взаимодействовать с разнокачественным зерном других партий и давать при определенных их количественных соотношениях зерновую смесь заданного технологического достоинства. Остается нерешенным вопрос, каким образом происходит это взаимодействие, каков его механизм. Только установив такой механизм, можно будет, зная химический состав зерна, регулировать процесс смешивания разнокачественных партий зерна с точно намечаемыми оптимальными результатами.

Качество зерна зависит от большого числа признаков (химических, физических и др.) — не менее 100. Зависимости между показателями качества зерна из-за большого числа фак-

торов колеблются в значительных пределах (при коэффициентах корреляции от 0,1 до 0,9).

Выявление закономерностей варьирования признаков качества и их взаимной обусловленности — задача исключительной важности. Ее решение позволит найти математические выражения взаимообусловленности, которые станут основой однозначной оценки технологического качества зерна при помощи ЭВМ.

Еще одно направление совершенствования биохимического исследования зерна заключается в том, чтобы, опираясь на достижения других отраслей науки (физики, оптики, электроники, молекулярной биологии и т. д.), изыскать методы экспресс-определений, в том числе с привлечением автоматизированных средств, содержания и состава важнейших веществ зерна — белков, различных углеводов (прежде всего сахаров и клетчатки), липидов (жира), витаминов, минеральных веществ (в том числе токсичных).

Необходимо стремиться к тому, чтобы ускоренные автоматизированные системы оценки химического состава зерна, промежуточных и конечных продуктов его переработки можно было включить в общую технологическую схему и тем самым создать предпосылки перехода к мукомольному заводу-автомату.

Велики успехи биохимии зерна. Еще более грандиозны ее будущие достижения, которых она обязательно добьется в тесном содружестве с другими интенсивно развивающимися отраслями науки.

Учебное издание

**Казakov Евгений Дмитриевич**

*Карпиленко Геннадий Петрович*

**БИОХИМИЯ ЗЕРНА И ХЛЕБОПРОДУКТОВ**

*3-е переработанное и дополненное издание*

Главный редактор *Дубров В.М.*

Технический редактор *Павлова С.В.*

Подписано к печати с готовых диапозитивов 13.12.04.

Формат 60 × 90<sup>1/16</sup>. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Ньютон.

Усл. печ. л. 32. Тираж 2 000 экз. Заказ № 42.

ЗАО «ГИОРД»

192148, Санкт-Петербург, а/я 8, тел. (812) 327-92-20.

ОАО «Санкт-Петербургская типография № 6».

191144, Санкт-Петербург, ул. Моисеенко, 10.

Телефон отдела маркетинга 271-35-42.

# КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА **ГИОРД**

- † Антипова Л. В. и др. Прикладная биотехнология: УИРС для специальности 270900. – 2-е изд., 2003
- † Биохимия: Учебник для вузов / Щербаков В. Г. и др., 2003
- † Гавриленков А. М. и др. Экологическая безопасность пищевых производств: Учебное пособие для вузов, 2005
- † Голубев В. Н., Кутина О. И. Справочник технолога по обработке рыбы и морепродуктов, 2005
- † Горбатова К. К. Химия и физика молока: Учебник для вузов, 2004
- † Ершов А. М. и др. Проектирование рыбообработывающих производств (учебник для вузов), 2004
- † Закревский В. В. Безопасность пищевых продуктов, БАД и ГМИ, 2004
- † Карпиленко Г. П., Казаков Б. Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов (учебник для вузов), 2005
- † Лабораторный практикум по химии жиров / Н. С. Арутюнян, Е. П. Корнена, Е. В. Мартовщук и др. – 2-е изд., 2004
- † Нечаев А. П. и др. Пищевая химия: Учебник для вузов. – 3-е изд., 2005
- † Олейникова А. Я. и др. Практикум по технологии кондитерских изделий, 2005
- † Олейникова А. Я., Магомедов Г. О. Проектирование кондитерских предприятий, 2004
- † Остриков А. Н. Абрамов О. В. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств: Учебник для вузов, 2004
- † Пучкова Л. И. и др. Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий. Часть I. Технология хлеба, 2005
- † Хромеев В. М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик: Учебник для вузов, 2004

Эти книги, а также около 300 других книг по пищевой промышленности вы можете заказать по адресу:

192148, Санкт-Петербург, а/я 8, ЗАО «Торговый Дом ГИОРД»

Тел./факс:  
(812) 327-92-20  
(095) 218-07-08

e-mail:  
gras@glord.com

Internet:  
www.glord.ru

