

Н. Ю. Степанова, В. И. Марченко, А. Н. Богатырёв

БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по агрономическому образованию
в качестве учебного пособия для подготовки
бакалавров по направлению
35.03.07 «Технология производства
и переработки сельскохозяйственной продукции»

Санкт-Петербург
ГИОРД
2017

УДК 633.1:631.563(075)

ББК 36.91я73

С79

Авторы:

Степанова Наталья Юрьевна, канд. с.-х. наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (СПбГАУ);

Владимир Иванович Марченко, канд. техн. наук, доцент, СПбГАУ;
Богатырёв Андрей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, академик РАН

Рецензенты:

А. Л. Ишевский — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, декан факультета пищевых технологий Института холода и биотехнологий СПб НИУ ИТМО;

Ю. Я. Свириденко — доктор технических наук, профессор, действительный член Российской академии наук (академик)

Степанова Н. Ю.

С79 Биохимические основы переработки и хранения сырья растительного происхождения : учеб. пособие / Н. Ю. Степанова, В. И. Марченко, А. Н. Богатырёв. — СПб. : ГИОРД, 2017. — 312 с.

ISBN 978-5-98879-199-7

Приведены теоретические основы и методы анализа состава, строения, биохимических изменений, информация о методах контроля качества сырья растительного происхождения при переработке, хранении в охлаждённом и замороженном состояниях.

Книга рассчитана на студентов вузов, обучающихся по направлениям «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции», «Технология сырья и продуктов растительного происхождения», а также будет полезна специалистам АПК и пищевой промышленности.

УДК 633.1:631.563(075)

ББК 36.91я73

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ	10
ВВЕДЕНИЕ	11
ГЛАВА 1. СОСТАВ И СТРОЕНИЕ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	13
1.1. Состав и строение растительной ткани	13
1.1.1. Особенности строения растительной клетки	13
1.1.2. Состав и строение основных растительных тканей	22
1.1.3. Овощи — продукт здорового питания человека	32
1.1.4. Пищевая и физиологическая ценность растительного сырья	41
1.2. Химический состав растительного сырья	49
1.2.1. Вода, сухие вещества	49
1.2.2. Белки, аминокислоты, нуклеиновые кислоты	50
1.2.3. Углеводы — сахара, крахмал, целлюлоза, клетчатка	53
1.2.4. Жиры	58
1.2.5. Органические кислоты	60
1.2.6. Витамины	62
1.2.7. Красящие вещества	71
1.2.8. Фенольные соединения	74
1.2.9. Дубильные и пектиновые вещества	77
1.2.10. Минеральные вещества	79
1.2.11. Эфирные масла. Глюкозиды	82
1.2.12. Ферменты, фитонциды	85
Контрольные вопросы к гл. 1	87
ГЛАВА 2. ИЗМЕНЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ ПРИ ХРАНЕНИИ	89
2.1. Физиолого-биохимические и микробиологические процессы, происходящие в сырье в послеуборочный период	89

2.1.1.	Созревание, степени зрелости	89
2.1.2.	Послеуборочное дозревание зерна и его долговечность.....	96
2.1.3.	Дыхание	101
2.1.4.	Испарение влаги	108
2.1.5.	Раневые реакции.....	110
2.1.6.	Роль этилена при созревании плодов.....	113
2.1.7.	Покой и прорастание.....	116
2.1.8.	Физиологические расстройства у растений.....	118
2.1.9.	Микробиологические процессы, происходящие при хранении картофеля, овощей, плодов.....	120
2.1.10.	Самосогревание зерновой массы	121
2.2.	Изменение химического состава растительного сырья при хранении	122
2.2.1.	Изменение содержания воды и сухих веществ плодов и овощей	123
2.2.2.	Динамика углеводов в овощах и плодах	125
2.2.3.	Превращения пигментов плодов.....	127
2.2.4.	Изменение пектиновых веществ при созревании плодов и овощей	129
2.2.5.	Динамика органических кислот в плодах и овощах.....	131
2.2.6.	Изменение белков и других азотистых веществ.....	132
2.2.7.	Потери биологически активных веществ.....	133
2.2.8.	Изменения в летучих ароматических компонентах плодов и овощей	137
2.2.9.	Превращения красящих и фенольных веществ плодов и овощей	140
2.2.10.	Ферментативные процессы в липидном комплексе зерна.....	142
2.3.	Хранение плодов в регулируемой газовой среде	142
2.4.	Охлаждение и хранение плодов и овощей в охлаждённом состоянии.....	149
	Контрольные вопросы к гл. 2.....	152

ГЛАВА 3. ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ЕГО ЗАМОРАЖИВАНИИ 154

3.1.	Процессы, протекающие в растительных тканях при замораживании плодоовощного сырья	154
------	--	-----

3.2. Технологические схемы производства быстрозамороженных растительных продуктов.....	160
3.3. Способы замораживания плодоовощного сырья.....	163
3.4. Оборудование для замораживания сырья.....	168
3.5. Изменение состава и свойств плодов и овощей при замораживании	175
3.5.1. Изменения в ферментном комплексе продуктов	178
3.5.2. Изменения состава углеводов	180
3.5.3. Изменения содержания витаминов	183
3.5.4. Изменения фенольных соединений.....	184
3.5.5. Изменение аромата и вкуса.....	186
3.5.6. Изменение структуры замороженных растительных продуктов	187
Контрольные вопросы к гл. 3.....	189

ГЛАВА 4. ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ 190

4.1. Влияние технологических процессов (тепловой обработки) на содержание биологически активных веществ в пищевых продуктах.....	190
4.1.1. Изменения белков	191
4.1.2. Окислительные и гидролитические изменения жиров.....	196
4.1.3. Превращения углеводов	199
4.2. Изменение биологически активных веществ при консервировании овощей, плодов и ягод.....	206
4.3. Влияние предварительной тепловой обработки на ферментативную активность.....	212
Контрольные вопросы к гл. 4.....	214

ГЛАВА 5. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ 215

5.1. Определение содержания сухого вещества (по ГОСТ 28561–90)	215
5.2. Метод определения белка (по ГОСТ 10846–91)	217
5.3. Определение содержания азота (по ГОСТ Р 51438–99).....	222
5.4. Определение количества и качества сырой клейковины (по ГОСТ Р 54478–2011).....	224

5.5. Методы определения суммы сахаров (по ГОСТ 8756.13–87)	231
5.5.1. Перманганатный метод.....	231
5.5.2. Фотоколориметрический метод	235
5.6. Определение содержания крахмала в картофеле.....	238
5.7. Методы определения жира (по ГОСТ 8756.21–89).....	239
5.7.1. Гравиметрический метод с экстракцией жира смесью хлороформа и этилового спирта.....	239
5.7.2. Рефрактометрический метод.....	241
5.8. Методы определения титруемой кислотности (по ГОСТ 25555.0–82)	242
5.8.1. Потенциометрический метод.....	242
5.8.2. Визуальный метод.....	244
5.9. Определение содержания каротина (по ГОСТ 8756.22–80)	244
5.10. Методы определения витамина С (по ГОСТ 24556–89)	247
5.10.1. Титриметрический метод.....	247
5.10.2. Флуорометрический метод	251
5.11. Метод определения витамина В ₁ (по ГОСТ 25999–83).....	253
5.12. Рибофлавиновый метод определения витамина В ₂ (по ГОСТ 25999–83)	257
5.13. Метод определения содержания витамина РР (по ГОСТ Р 50479–93).....	259
5.14. Определение содержания хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i>	263
5.15. Определение содержания флавонолов	265
5.16. Метод определения содержания фенольных веществ	265
5.17. Определение содержания дубильных веществ (по ГОСТ 24027.2–80)	266
5.18. Титриметрический метод определения содержания пектиновых веществ (по ГОСТ 29059–91).....	268
5.19. Определение зольности (по ГОСТ Р 51411–99)	273
5.20. Метод определения содержания эфирного масла (по ГОСТ 24027.2–80)	274
5.21. Методы определения активности пероксидазы и полифенолоксидазы.....	277
5.22. Газохроматографический метод определения содержания сорбиновой кислоты (по ГОСТ 30670–2000).....	279
5.23. Ионметрический метод определения нитратов (по ГОСТ 29270–95)	284

Контрольные вопросы к гл. 5.....	287
СПИСОК ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ.....	288
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	295
Приложение 1. Режимы испытаний и ориентировочное время сушки до постоянной массы продуктов переработки плодов и овощей	295
Приложение 2. Поправочный коэффициент, учитывающий неполное извлечение влаги из продукта или потерю имевшихся или образовавшихся в продукте летучих соединений	297
Приложение 3. Аппарат для отгонки аммиака с водяным паром	298
Приложение 4. Определение сахаров	299
Приложение 5. Содержание нитратов в продуктах в зависимости от значения pC_{NO_3}	302
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	305

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- АК — аскорбиновая кислота
БАВ — биологически активные вещества
ВСИ — водно-спиртовые извлечения
ВУС — влагоудерживающая способность
ГСН — гидросульфит натрия
ДАК — дегидроаскорбиновая кислота
ДЖК — L-дикетогулоновая кислота
ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота
ДЭГС — диэтиленгликольсукцинат
КА — каталаза
ЛАВ — летучие ароматические вещества
НАК — незаменимые аминокислоты
НЖК — ненасыщенные жирные кислоты
ПВ — пектиновые вещества
ПО — пероксидаза
ПФО — полифенолоксидаза
РГС — регулируемая газовая среда
РНК — рибонуклеиновая кислота
СА — скороморозильный аппарат
ЦПМ — цитоплазматическая мембрана (плазматическая мембрана)
ЭПР — эндоплазматический ретикулум

ВВЕДЕНИЕ

С древних времён проблемы длительного хранения зерна, плодов и овощей заставляли человека внимательно присматриваться к процессам и явлениям, происходящим в них, изучать их, выявлять факторы, которые влияют на качество и сохранность продукции, находить приёмы и способы, снижающие их отрицательное воздействие на продукцию. Особенно большой вклад в создание современной науки о хранении и переработке растительной продукции внесли учёные XX столетия: К. А. Тимирязев, Л. А. Тривятский, В. Л. Кретович, А. Н. Бах, А. И. Опарин, Л. В. Метлицкий, Ф. В. Цереветинов, А. В. Думанский, А. С. Гинзбург, А. Ф. Наместников, Б. Л. Флауменбаум.

Учебное пособие составлено в соответствии с учебной программой дисциплины «Технология хранения и переработки продукции растениеводства». При составлении его использован опыт проведения лекций, лабораторно-практических занятий и производственный опыт авторов со студентами Института биотехнологий Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Данное пособие не только даёт теоретические знания, но и вырабатывает у будущих молодых специалистов практические навыки к решению сложных комплексных вопросов хранения и переработки.

Технология хранения и переработки продукции растениеводства — это наука о сохранении и повышении качества продукции растениеводства в процессе её производства, первичной обработки, хранения и переработки.

В книге предложен своеобразный подход к изложению материала. Издание состоит из пяти основных глав, содержание которых предполагает последовательность в познавательном процессе: «Состав и строение сырья растительного происхождения», «Изменения, происходящие в растительном сырье при хранении», «Изменение растительного сырья при его замораживании», «Изменение растительного сырья при переработке» и «Методы исследования

пищевого сырья растительного происхождения». В каждой главе в строгой логической последовательности систематизирован материал, несущий конкретную смысловую нагрузку.

В учебном пособии приведены теоретические основы и методы анализа состава, строения сырья растительного происхождения, биохимических изменений, а также дана информация о методах контроля качества сырья растительного происхождения при его переработке, хранении в охлаждённом и замороженном состояниях.

Глава 1

СОСТАВ И СТРОЕНИЕ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

1.1. Состав и строение растительной ткани

1.1.1. Особенности строения растительной клетки

Растение, как и всякий живой организм, состоит из клеток. Клетка — элементарная живая система, основная структурная единица растительных организмов, способная к самообновлению, саморегуляции и самовоспроизведению. Клетки образуют ткани и органы, структурная и функциональная совокупность которых составляет целостный организм. Существуют растения, построенные из одной-единственной клетки. К ним относятся одноклеточные водоросли и одноклеточные грибы. Большинство растений, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни, — это многоклеточные организмы. Обычно размеры клеток высшего растения колеблются в пределах 10...300 мкм. Правда, встречаются клетки-гиганты, например клетки сочной мякоти плодов цитрусовых.

Эволюционно сложились некоторые специфические особенности строения и роста растительных клеток (рис. 1.1). К ним относятся: прочная полисахаридная клеточная стенка, окружающая клетку и составляющая жёсткий каркас; пластидная система, возникшая в связи с автотрофным типом питания; вакуолярная система, которая в зрелых клетках обычно представлена крупной центральной вакуолью, занимающей до 95 % объёма клетки и играющей важную роль в поддержании тургорного давления.

Растительная клетка состоит из более или менее жёсткой клеточной оболочки и протопласта. *Клеточная оболочка* — это клеточная стенка и цитоплазматическая мембрана (ЦПМ). Тер-

мин *протопласт* происходит от слова «протоплазма», которое долгое время использовалось для обозначения всего живого. Протопласт — это протоплазма индивидуальной клетки. Протопласт состоит из цитоплазмы и ядра.

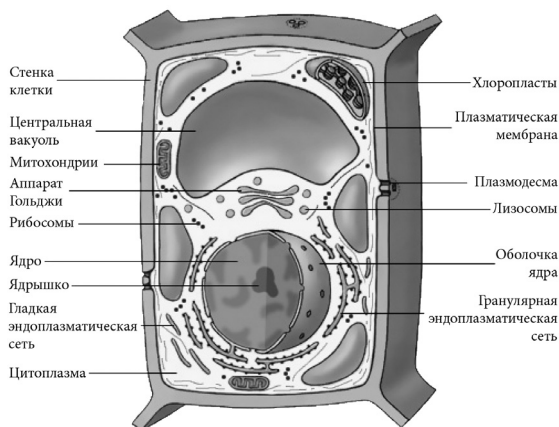


Рис. 1.1. Модель растительной клетки

В цитоплазме находятся органеллы (рибосомы, микротрубочки, пластиды, митохондрии) и мембранные системы (эндоплазматический ретикулум, диктиосомы). Цитоплазма включает в себя ещё цитоплазматический матрикс (*основное вещество*, в которое погружены органеллы и мембранные системы). От клеточной стенки цитоплазма отделена *плазматической мембраной*, которая представляет собой элементарную мембрану. В отличие от большинства животных клеток, растительные клетки содержат одну или несколько *вакуолей*. Это пузырьки, заполненные жидкостью и окруженные элементарной мембраной (*тонопластом*).

Клеточная стенка. Клеточная стенка ограничивает размер протопласта и предохраняет его от разрыва за счёт поглощения воды вакуолью. Клеточные стенки играют существенную роль в поглощении, транспорте и выделении веществ, а кроме того, в них может быть сосредоточена лизосомальная, или переваривающая, активность.

Химический состав и структура клеточной стенки определяют её важнейшие свойства — прочность, эластичность, высокую

гидрофильность. Основа химического состава клеточной стенки — полисахариды. В общей массе растения клеточным стенкам принадлежит основная доля. Это отражается в химическом составе целого растения. Так, в зрелом растении кукурузы углеводы составляют 83,3 % сухой массы, белки — 8,7, липиды — 2,3, зола — 5,7 %.

Наиболее типичным компонентом клеточной стенки является **целлюлоза**, которая в значительной степени определяет её архитектуру. Молекулы целлюлозы состоят из повторяющихся молекул глюкозы, соединённых конец к концу. Длинные тонкие молекулы целлюлозы объединены в **микрофибриллы** толщиной 10...25 нм. Микрофибриллы перевиваются и образуют тонкие нити, которые в свою очередь могут обматываться одна вокруг другой, как пряди в канате. Целлюлозный каркас клеточной стенки заполнен переплетающимися с ними целлюлозными молекулами матрикса. В его состав входят полисахариды, называемые **гемицеллюлозами**, и пектиновые вещества, или **пектины**, химически очень близкие к гемицеллюлозам.

Другой компонент клеточной стенки — **лигнин** — является самым распространённым после целлюлозы полимером растительных клеток. Лигнин увеличивает жёсткость стенки и обычно содержится в клетках, выполняющих опорную или механическую, функцию.

Кутин, суберин, воски обычно откладываются в оболочках защитных тканей растений. Кутин, например, содержится в клеточных оболочках эпидермы, а суберин — вторичной защитной ткани, пробки. Оба вещества встречаются в комбинации с восками и предотвращают чрезмерную потерю воды растением.

Цитоплазматическая мембрана. Представляет собой бислойную фосфолипидную структуру (рис. 1.2). Растительным клеткам свойственны впя-

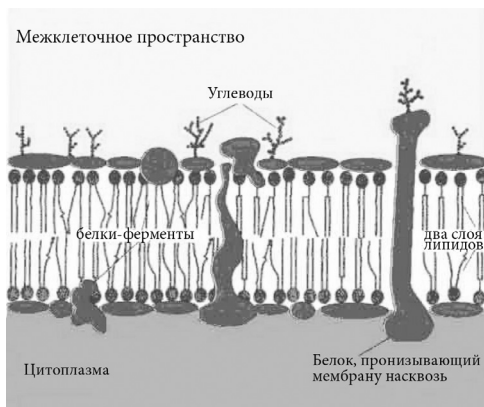


Рис. 1.2. Цитоплазматическая мембрана

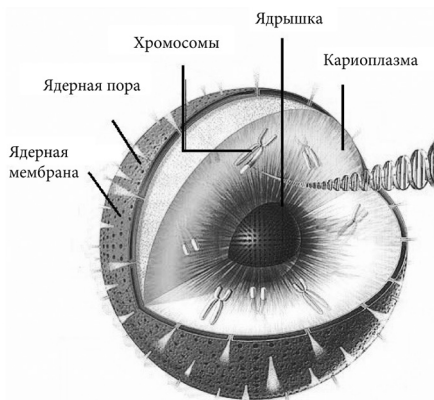


Рис. 1.3. Ядро

чивания плазматической мембраны.

ЦПМ выполняет следующие функции: участвует в обмене веществ между клеткой и окружающей средой; координирует синтез и сборку целлюлозных микрофибрилл клеточной стенки; передаёт гормональные и внешние сигналы, контролирующие рост и дифференцировку клеток.

Ядро. Это наиболее заметная структура в цитоплазме эукариотической клетки. Ядро выполняет две важные функции: контролирует жизнедеятельность клетки, определяя, какие белки и в какое время должны синтезироваться; хранит генетическую информацию и передаёт её дочерним клеткам в процессе клеточного деления.

Ядро эукариотической клетки окружено двумя элементарными мембранами, образующими *ядерную оболочку*. Она пронизана многочисленными порами диаметром от 30 до 100 нм, видимыми только в электронный микроскоп. В окрашенном специальными красителями ядре можно различить тонкие нити и глыбки хроматина и нуклеоплазму (основное вещество ядра).

Хроматин состоит из ДНК, связанной со специальными белками — гистонами. В процессе клеточного деления хроматин все более уплотняется и собирается в *хромосомы* (рис. 1.3). В ДНК закодирована генетическая информация. Под световым микроскопом можно рассмотреть сферические структуры — *ядрышки*. В каждом ядре имеется одно или несколько ядрышек, которые заметны в неделящихся ядрах. В ядрышках продуцируются и РНК и рибосомы, выполняющие синтетическую функцию только в ядре.

Нуклеоплазма (кариоплазма) представлена гомогенной жидкостью, в которой растворены различные белки, в том числе и ферменты.

Основное вещество довольно долго считали гомогенным (однородным), богатым белком раствором с малым количеством структур или вообще бесструктурным. Однако в настоящее вре-

мя установлено, что основное вещество представляет трёхмерную решётку, построенную из тонких (диаметром 3...6 нм) тяжей, заполняющих всю клетку. Другие компоненты цитоплазмы, включая микротрубочки и микрофиламенты, подвешены к этой *микротрабекулярной решётке*. Решётка осуществляет связь между отдельными частями клетки и направляет внутриклеточный транспорт.

Цитоплазма. Эндоплазматический ретикулум (ЭПР). Это сложная трёхмерная мембранная система неопределённой протяжённости. В разрезе ЭПР выглядит как две элементарные мембраны с узким прозрачным пространством между ними. Форма и протяжённость ЭПР зависят от типа клетки, её метаболической активности и стадии дифференцировки. Эндоплазматический ретикулум функционирует как коммуникационная система клетки. Он связан с внешней оболочкой ядра. Фактически эти две структуры образуют единую мембранную систему. ЭПР — это система транспортировки веществ (белков, липидов, углеводов) в разные части клетки. Эндоплазматические ретикулумы соседних клеток соединяются через цитоплазматические тяжи — плазмодесмы, которые проходят сквозь клеточные оболочки.

Пластиды. Вакуоли, целлюлозная клеточная стенка и пластиды — характерные компоненты растительных клеток. Каждая пластид имеет собственную оболочку, состоящую из двух элементарных мембран. Внутри пластиды различают мембранную систему и различной степени гомогенное вещество — *stromu*. Зрелые пластиды классифицируют на основании содержащихся в них пигментов.

Хлоропласты, в которых протекает фотосинтез, содержат хлорофиллы и каротиноиды. Обычно имеют форму диска диаметром 4...5 мкм. В одной клетке мезофилла (середина листа) может находиться 40...50 хлоропластов. В цитоплазме хлоропласты обычно располагаются параллельно клеточной оболочке (рис. 1.4).

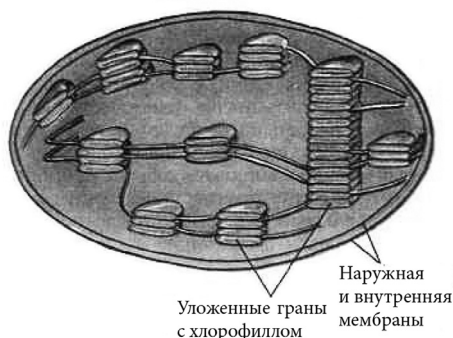


Рис. 1.4. Хлоропласты