

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

З. Е. Егорова, Е. Н. Зеленкова

ПИЩЕВАЯ ХИМИЯ

В 2-х книгах

Книга 1

Допущено

*Министерством образования Республики Беларусь в качестве
учебного пособия для студентов учреждений высшего
образования по специальности «Физико-химические
методы и приборы контроля качества продукции»*

Минск 2023

УДК 664.014(075.8)

ББК 65.305.6я73

Е30

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра технологии пищевых производств
учреждения образования «Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий» (кандидат технических наук,
доцент кафедры *С. В. Волкова*);

кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры биоорганической
химии учреждения образования «Белорусский государственный
медицинский университет» *Ф. Ф. Лахвич*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или
ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образо-
вания «Белорусский государственный технологический университет»*

Егорова, З. Е.

Е30 Пищевая химия : учеб. пособие для студентов учреждений
высшего образования по специальности «Физико-химические
методы и приборы контроля качества продукции» : в 2 кн. /
З. Е. Егорова, Е. Н. Зеленкова. – Минск : БГТУ, 2023. – Кн. 1. –
280 с.

ISBN 978-985-897-097-0.

Учебное пособие состоит из двух книг. В книге 1 освещены совре-
менные научные знания в области нутрициологии, химического состава
продовольственного сырья и пищевых продуктов, представлены законо-
дательные основы применения пищевых добавок (в том числе биологи-
чески активных), ароматизаторов и технологических вспомогательных
средств в производстве пищевых продуктов, рассмотрены изменения,
происходящие с нутриентами пищи в процессе технологической перера-
ботки, и основные типы порчи пищевых продуктов в зависимости от раз-
ных физических, химических и микробиологических факторов.

УДК 664.014(075.8)

ББК 65.305.6я73

**ISBN 978-985-897-097-0 (Кн. 1) © УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2023**

ISBN 978-985-897-096-3

© Егорова З. Е., Зеленкова Е. Н., 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	7
Глава 1. Нутриенты (пищевые вещества)	13
1.1. Белки, пептиды, аминокислоты, ферменты, гормоны	13
1.1.1. Белки.....	13
1.1.2. Пептиды	30
1.1.3. Аминокислоты.....	32
1.1.4. Ферменты.....	40
1.1.5. Гормоны.....	44
1.2. Липиды.....	46
1.3. Углеводы.....	63
1.4. Органические кислоты.....	80
1.5. Витамины и витаминоподные вещества	96
1.5.1. Витамины	96
1.5.2. Витаминоподобные вещества	118
1.6. Минеральные вещества	132
1.6.1. Макроэлементы.....	133
1.6.2. Микроэлементы.....	143
1.6.3. Ультрамикроэлементы	153
1.7. Вода.....	157
Глава 2. Антиалиментарные факторы и природные токсичные компоненты, влияющие на формирование качества и безопасности пищевых продуктов	171
2.1. Антиалиментарные факторы.....	171
2.1.1. Антиферменты	174
2.1.2. Антивитамины.....	176
2.1.3. Деминерализующие вещества	178
2.1.4. Другие антиалиментарные факторы	179
2.2. Природные токсиканты	180
2.3. Природные фармакологически активные вещества	181
2.4. Пищевые аллергены.....	184
Глава 3. Пищевые добавки, ароматизаторы и технологические вспомогательные средства.....	198
3.1. Пищевые добавки.....	204

3.2. Ароматизаторы	225
3.3. Технологические вспомогательные средства.....	228
Глава 4. Биологически активные добавки к пище	235
4.1. Нутрицевтики	239
4.2. Парафармацевтики	239
4.3. Биологически активные добавки, обеспечивающие поддержание нормального состава и функциональной активности микрофлоры кишечника	245
4.3.1. Эубиотики (пробиотики).....	245
4.3.2. Пребиотики.....	247
4.3.3. Синбиотики.....	248
Глава 5. Химические превращения алиментарных компонентов пищи в процессе ее изготовления.....	251
5.1. Изменение структуры и свойств белков	251
5.2. Изменение свойств липидов.....	259
5.3. Изменение свойств углеводов.....	263
5.4. Изменение свойств других пищевых веществ	266
Глава 6. Химические превращения алиментарных компонентов пищи в процессе ее хранения.....	269
6.1. Ухудшение качества и порча пищевых продуктов, вызываемые физическими факторами	270
6.2. Порча пищевых продуктов, вызываемая химическими процессами.....	274
6.3. Порча пищевых продуктов, вызываемая микроорганизмами	274

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная политика любого государства в области здорового питания предусматривает максимально полное удовлетворение потребностей населения различных возрастных групп, уровней физической и умственной нагрузки, условий проживания, особенностей национального питания в пищевых продуктах улучшенного качества. Научной основой для разработки таких принципиально новых, сбалансированных по составу продуктов, обогащенных функциональными ингредиентами, служит теория сбалансированности пищевых рационов по основным и эссенциальным компонентам пищи. Принципиальным отличием ее от других теорий является возможность создания гаммы натуральных пищевых продуктов функционального назначения с учетом химического состава сырья, пищевой ценности, режимов технологической обработки, объема и структуры пищевого рациона.

Очевидно, что имеющийся в данной области потенциал научно-технических знаний способен обеспечить комплексную переработку и более рациональное использование сельскохозяйственного сырья (фруктов, овощей, мяса, рыбы, молока, зерна) наряду с резким сокращением его потерь и отходов. Современная перерабатывающая промышленность позволяет за счет универсальности процессов и оборудования на одних и тех же технологических линиях перерабатывать разнообразное сельскохозяйственное сырье. Успехи технологии демонстрируют уже сегодня способность максимально фракционировать сырье на ценные, однородные по составу и свойствам пищевые ингредиенты с последующим конструированием на их основе высококачественных конкурентоспособных продуктов. Ценность этой стратегии неизмеримо возрастает при освоении новых видов продуктов для детского, профилактического и других видов функционального питания.

Таким образом, несомненно, что для практического воплощения данной стратегии необходимо объединение усилий разных специалистов, среди которых немаловажная роль отводится специалистам в области обеспечения качества и безопасности

продовольствия. Именно они должны уметь осуществлять контроль и испытание пищевой продукции на всех этапах ее жизненного цикла, определять оптимальные точки и объем контроля по технологической цепи, предотвращая, таким образом, выпуск некачественной и небезопасной конечной продукции, разрабатывать технические документы для организации производства новых видов пищевой продукции. Для надлежащего выполнения указанных функций необходимы глубокие знания пищевой химии, биохимических превращений пищевых компонентов, которые происходят в процессе технологической обработки продовольственного сырья и хранения готовой продукции, а также умение использовать современные научные результаты в данной области.

Для профессионального выполнения указанной деятельности требуются квалифицированные специалисты, обладающие современными знаниями в области гигиенических основ питания и пищевой химии. Поэтому при подготовке студентов первой ступени образования по специальности «Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции» специализации «Сертификация продовольственных товаров» предусмотрено изучение дисциплины «Химия пищевого производства», учебная программа которой рассчитана на освоение современных знаний в области химического состава, химических и биохимических процессов, протекающих при технологической обработке и хранении продовольственного сырья и пищевых продуктов.

Настоящее учебное пособие построено в соответствии с учебной программой дисциплины «Химия пищевого производства» и включает три части: теоретическую, т. е. лекционную (книга 1), лабораторный практикум и методические разработки к практическим занятиям (книга 2). В основу пособия положены современные научные знания в области нутрициологии, пищевой химии, современных методов измерений физико-химических характеристик пищевой продукции и продовольственного сырья, а также результаты научных исследований авторов книги в данной области, опубликованные в открытой печати.

Авторы выражают искреннюю признательность и благодарят рецензентов за ряд полезных и ценных советов, которые способствовали улучшению качества издания.

ВВЕДЕНИЕ

Пищевая продукция – это продукты животного, растительного, микробиологического, минерального, искусственного или биотехнологического происхождения в натуральном, обработанном или переработанном виде, которые предназначены для употребления человеком в пищу. В соответствии с техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021 к пищевой продукции относят группы продуктов, представленные на рис. В1.1.



Рис. В1.1. Продукция, являющаяся пищевой

Для производства (изготовления) пищевой продукции используется продовольственное (пищевое) сырье, представляющее собой продукты животного, растительного, микробиологического, минерального, искусственного или биотехнологического происхождения, и питьевая вода. По функциональному назначению пищевая продукция делится на две группы: общего назначения

и специализированную. *Специализированной* считается пищевая продукция, для которой:

1) установлены требования к содержанию и (или) соотношению отдельных веществ или всех веществ и компонентов;

2) и (или) изменено содержание и (или) соотношение отдельных веществ относительно естественного их содержания в такой пищевой продукции;

3) и (или) в состав включены не присутствующие изначально вещества или компоненты (кроме пищевых добавок и ароматизаторов);

4) и (или) изготовитель заявляет об их лечебных и (или) профилактических свойствах.

Такая продукция предназначена для питания отдельных категорий людей и классифицируется следующим образом.

Пищевая продукция:

- диетического лечебного питания;
- диетического профилактического питания;
- для детского питания;
- для питания спортсменов.

Пищевая продукция *диетического лечебного питания* обладает заданной пищевой и энергетической ценностью, физическими и органолептическими свойствами и предназначена для использования в составе лечебных диет. Пищевая продукция *диетического профилактического питания* предназначена для коррекции углеводного, жирового, белкового, витаминного и других видов обмена веществ, а также для снижения риска развития заболеваний, в которой изменено содержание и (или) соотношение отдельных веществ относительно естественного их содержания и (или) включены не присутствующие изначально вещества либо компоненты. Пищевая продукция *для детского питания* отвечает соответствующим физиологическим потребностям детского организма, не причиняет вреда здоровью ребенка соответствующего возраста и предназначена для питания детей:

- раннего возраста от – 0 до 3 лет;
- дошкольного возраста – от 3 до 6 лет;
- школьного возраста – от 6 лет и старше.

Пищевая продукция *для питания спортсменов* имеет заданный химический состав, повышенную пищевую ценность и (или) направленную эффективность, состоит из комплекса продуктов либо представлена их отдельными видами, которая оказывает специфическое

влияние на повышение адаптивных возможностей человека к физическим и нервно-эмоциональным нагрузкам.

Необходимо отличать специализированную пищевую продукцию от *обогащенной*, в которой:

1) добавлены одно или более пищевых и (или) биологически активных веществ и (или) пробиотические микроорганизмы, не присутствующие в ней изначально, либо присутствующие в недостаточном количестве или утерянные в процессе производства (изготовления);

2) содержание каждого пищевого или биологически активного вещества, использованного для обогащения, доведено до уровня, соответствующего критериям для пищевой продукции – источника пищевого вещества или других отличительных признаков пищевой продукции;

3) максимальный уровень содержания пищевых и (или) биологически активных веществ не должен превышать верхний безопасный уровень потребления таких веществ при поступлении из всех возможных источников (при наличии таких уровней).

Согласно современным представлениям о пище, все химические вещества, входящие в пищевые продукты, могут быть условно разделены на три основные группы:

– соединения, имеющие алиментарное значение (необходимые организму нутриенты);

– условно неалиментарные соединения;

– чужеродные потенциально опасные соединения антропогенного или природного происхождения (контаминанты).

С учетом того, что качество продовольственного сырья и пищевых продуктов – это совокупность свойств и характеристик, которые обуславливают способность удовлетворять физиологические потребности человека при обычных условиях их использования, встает закономерный вопрос о том, сколько и какую пищу необходимо употреблять. В современной нутрициологии ответы на этот вопрос существуют.

Так, в нашей стране применяются *нормы физиологических потребностей* в энергии и пищевых веществах – уровень суточного потребления пищевых веществ, достаточный для удовлетворения физиологических потребностей не менее чем 97,5% населения с учетом возраста, пола, физиологического состояния и физической активности. Эти нормы являются усредненной величиной необходимого

поступления пищевых и биологически активных веществ, обеспечивающих оптимальную реализацию физиолого-биохимических процессов, закрепленных в генотипе человека. Например, рекомендуемый среднесуточный расход энергии для работников умственного труда составляет 2550–2800 ккал (для мужчин) и 2200–2400 ккал (для женщин), а для работников тяжелого физического труда, независимо от пола, – 3900–4000 ккал. Наиболее благоприятное соотношение в потребляемом рационе белков, жиров и углеводов равно, соответственно, 1 : 1,2 : 4, или от общей калорийности – 12% белков, 30–35% жиров, остальное – углеводы.

Современной наукой сформулированы принципы здорового питания, способствующие укреплению здоровья человека и будущих поколений, снижению риска развития заболеваний:

- соответствие энергетической ценности ежедневного рациона энерготратам;

- соответствие химического состава ежедневного рациона физиологическим потребностям человека в макронутриентах (белки и аминокислоты, жиры и жирные кислоты, углеводы) и микронутриентах (витамины, минеральные вещества и микроэлементы, биологически активные вещества);

- наличие в составе ежедневного рациона пищевых продуктов со сниженным содержанием насыщенных жиров (включая транс-изомеры жирных кислот), простых сахаров и поваренной соли, а также пищевых продуктов, обогащенных витаминами, пищевыми волокнами и биологически активными веществами;

- обеспечение максимально разнообразного здорового питания и оптимального его режима;

- применение технологической и кулинарной обработок пищевых продуктов, обеспечивающих сохранность их исходной пищевой ценности;

- обеспечение соблюдения санитарно-эпидемиологических требований на всех этапах обращения пищевых продуктов;

- исключение использования фальсифицированных пищевых продуктов, материалов и изделий.

Схематично сущность здорового питания представлена специалистами из Гарварда в виде так называемой «Гарвардской тарелки здорового питания» (рис. В.1.2 видоизменен авторами с целью

удобочитаемости), т. е. совокупности научно обоснованных рекомендаций по приему пищи. Чтобы получать все жизненно необходимые вещества и питаться сбалансированно, эксперты предлагают пользоваться простым методом: в каждый прием пищи мысленно разделять тарелку на четыре неравные части и наполнять сегменты продуктами из разных групп.



Рис. В1.2. Принципы здорового питания

Принципы здорового питания воплощены в концепции сбалансированного питания академика А. А. Покровского, сформулированной как определение пропорций отдельных пищевых веществ в рационе, которые (пропорции) соответствуют ферментным наборам организма, отражают сумму обменных реакций и их химизм. Согласно этой концепции, обеспечение нормальной жизнедеятельности возможно при условии снабжения организма необходимым

количеством белков, жиров, углеводов, минеральных элементов, витаминов, балластных веществ и при соблюдении сложных взаимодействий между многочисленными незаменимыми факторами питания, каждому из которых в обмене веществ принадлежит специфическая роль. Закон сбалансированного питания обуславливает пропорции отдельных веществ в рационах питания, отражает всю сумму обменных реакций, характеризующих химические процессы, лежащие в основе жизни организма. При этом главное внимание уделяется компонентам пищи, которые не могут быть заменены. Незаменимые (эссенциальные) факторы питания не синтезируются ферментными системами организма, но необходимы для поддержания нормального метаболизма человека. Пропорции отдельных пищевых веществ в рационе отражаются в формуле сбалансированного питания А. А. Покровского, приводимой в справочной литературе. Значение в этой формуле цифр заключается не только в абсолютных величинах, но и главным образом в определении оптимальных для усвоения организмом соотношений отдельных пищевых веществ. Именно такие соотношения пищевых веществ необходимы в среднем для поддержания нормальной жизнедеятельности взрослого человека.

Аналогами формулы сбалансированного питания А. А. Покровского, в определенной степени, являются индексы качества питания, которые разработаны в разных странах и известны под разными названиями, например, индекс качества (рациона) питания (ИКП, Diet quality index – DQI), индекс здорового питания (ИЗП, Healthy eating index – HEI), альтернативный индекс здорового питания (АИЗП, Alternative Healthy Eating Index – AHEI) и др. Указанные индексы основаны на оценке разнообразия пищи, адекватности потребления основных групп или некоторых подгрупп наиболее ценных пищевых продуктов, умеренности и сбалансированности рациона питания и состоят из двух групп индикаторов-компонентов:

- адекватности потребления пищевых продуктов;
- потребления критически значимых пищевых факторов, которые необходимо ограничивать.

Таким образом, очевидно, что здоровье человека напрямую зависит от его питания, качество и безопасность которого определяются веществами, содержащимися в пище. Именно изучению этих веществ в продовольственном сырье и пищевых продуктах, а также влиянию технологических процессов и процессов хранения на них и посвящено данное учебное пособие.

Глава 1

НУТРИЕНТЫ (ПИЩЕВЫЕ ВЕЩЕСТВА)

Нутриенты (пищевые вещества) – вещества, являющиеся составными частями пищевой продукции, которые используются организмом человека как источники энергии, источники или предшественники субстратов для построения, роста и обновления органов и тканей, образования физиологически активных веществ, участвующих в регуляции процессов жизнедеятельности, и определяющие пищевую ценность пищевой продукции. К нутриентам относятся:

- 1) белки;
- 2) липиды;
- 3) углеводы;
- 4) органические кислоты;
- 5) витамины и витаминоподобные вещества;
- 6) минеральные вещества;
- 7) вода.

1.1. Белки, пептиды, аминокислоты, ферменты, гормоны

1.1.1. Белки

Белок – важнейший химический компонент живого органического мира. На его долю приходится приблизительно 50% сухого веса клетки. С белком связаны основные проявления жизни: обмен веществ, сократимость, раздражимость, рост, размножение и высшая форма деятельности – мышление. Это инструмент, посредством которого генетическая информация получает свое материальное воплощение (в клеточном ядре содержится 1000 генов, каждый из которых определяет один какой-то признак живого организма).

Впервые белок получен в 1728 г. из пшеничной муки (в виде клейковины) итальянским ученым Якопо Бартоломео Беккари. В отдельный класс биологических молекул белки выделены в XVIII в.

в результате работ французского химика Антуана де Фуркруа и других ученых. Ими были исследованы такие белки, как альбумин («яичный белок»), фибрин (белок из крови) и глютен из зерна пшеницы, которые обладали общим свойством коагулировать (денатурировать) под воздействием нагревания или кислот. В начале XIX в. были получены некоторые сведения об элементарном составе белков. Так, стало известно, что при гидролизе белков образуются аминокислоты, среди которых глицин и лейцин уже были охарактеризованы.

Голландский химик Геррит Мульдер на основе анализа химического состава белков выдвинул гипотезу, что практически все они имеют сходную эмпирическую формулу. В 1836 г. Г. Мульдер предложил первую модель химического строения белков. Основываясь на теории радикалов, он после нескольких уточнений пришел к выводу, что минимальная структурная единица белка обладает следующим составом: $C_{40}H_{62}N_{10}O_{12}$. Эту единицу он назвал «протеином» (Pr) (от греч. *protos* – первый, главный и лат. *-in(e)* – суффикс, обозначающий «подобный»), а теорию – «теорией протеина». Следует отметить, что термин «протеин» был предложен в 1838 г. шведским химиком Якобом Берцелиусом для обозначения подобных молекул. По мере накопления новых данных о белках теория протеина стала подвергаться критике, но, несмотря на это, до конца 1850-х все еще считалась общепризнанной.

К концу XIX в. было исследовано большинство аминокислот, которые входят в состав белков. В конце 1880-х гг. русский ученый А. Я. Данилевский отметил существование пептидных групп (CO–NH) в молекуле белка. В 1894 г. немецкий физиолог Альбрехт Коссель выдвинул теорию, согласно которой именно аминокислоты являются основными структурными элементами белков. В начале XX в. немецкий химик Эмиль Фишер экспериментально доказал, что белки состоят из аминокислотных остатков, соединенных пептидными связями. Он же осуществил первый анализ аминокислотной последовательности белка и объяснил явление протеолиза.

Современная наука доказала, что **белки (протеины, полипептиды)** – высокомолекулярные органические вещества, состоящие из альфа-аминокислот, соединенных в цепочку пептидной связью. Пептидные связи образуются в результате взаимодействия α -карбоксовой группы (–COOH) одной аминокислоты с α -аминогруппой (–NH₂) другой аминокислоты (рис. 1.1).

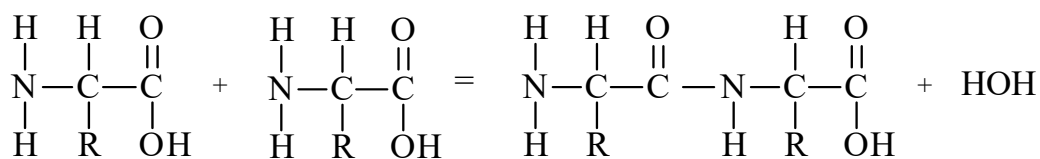


Рис. 1.1. Схематическое изображение образования пептидной связи

Концы белка называют N- и С-концом, в зависимости от того, какая из групп концевого аминокислотного остатка свободна: $-\text{NH}_2$ или $-\text{COOH}$ соответственно. В живых организмах аминокислотный состав белков определяется генетическим кодом.

При синтезе белков в большинстве случаев используется 20 стандартных аминокислот. Множество их комбинаций создают молекулы белков с большим разнообразием свойств. Молекулы белков представляют собой линейные полимеры, состоящие из остатков α -L-аминокислот (которые являются мономерами), также в состав белков могут входить модифицированные аминокислотные остатки и компоненты неаминокислотной природы. Белки длиной от двух до нескольких десятков аминокислотных остатков часто называют *пептидами*, при большей степени полимеризации – *белками*, хотя это деление условно.

Размер белка может измеряться числом аминокислотных остатков или молекулярной массой в дальтонах, килодальтонах (Да, кДа). Для большинства белковых молекул их масса находится в пределах 12 000–360 000 Да (яичный альбумин – 46 000, гемоглобин лошади – 68 000, γ -глобулин человека – 160 000, фермент каталаза – 250 000). Белки дрожжей в среднем состоят из 466 аминокислотных остатков и имеют молекулярную массу 53 кДа. Самый большой из известных в настоящее время белков – титин – является компонентом саркомеров мускулов; молекулярная масса его различных вариантов (изоформ) варьируется в интервале от 3000 до 3700 кДа.

Элементарный состав белка следующий, %: углерод – 50,0–55,5; водород – 6,5–7,3; азот – 15–18; кислород – 21–24; сера – 0,0–2,4. Характерный показатель – содержание азота, которое принимают равным 16%. Для расчета содержания белка количество азота, выделенное из исследуемой пробы пищевого продукта, умножают на коэффициент (фактор пересчета), равный 6,25 ($100 / 16 = 6,25$).

Чтобы понять, как формируется молекула белка, необходимо рассмотреть четыре уровня ее структуры: первичную, вторичную, третичную и четвертичную (рис. 1.2). Хотя такое деление несколько

устарело, им продолжают пользоваться. **Первичная структура** (последовательность аминокислотных остатков) полипептида определяется структурой его гена и генетическим кодом, а структура более высоких порядков формируется в процессе сворачивания белка. Первичную структуру белка, как правило, описывают, используя однобуквенные или трехбуквенные обозначения для аминокислотных остатков. Несмотря на то, что пространственная структура белка в целом определяется его аминокислотной последовательностью, она является довольно лабильной и может зависеть от внешних условий, поэтому более правильно говорить о предпочтительной и более энергетически выгодной конформации белка.

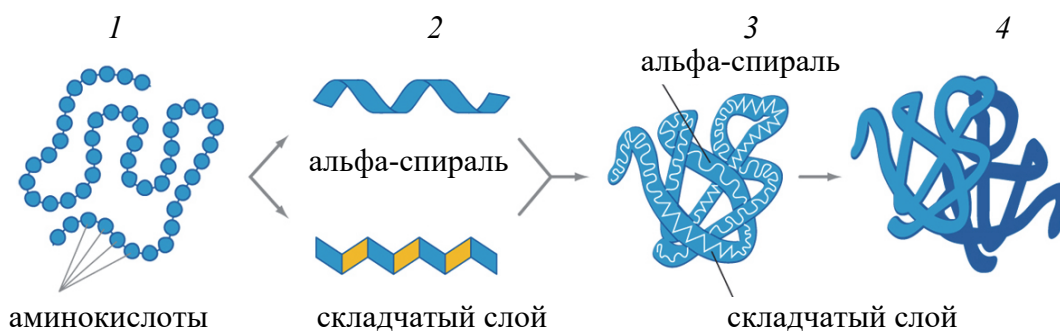


Рис. 1.2. Уровни структуры белков:

1 – первичная; 2 – вторичная; 3 – третичная; 4 – четвертичная

Первичная структура дает представление о расположении полипептидной цепи на плоскости. Ее важной особенностью являются устойчивые сочетания аминокислотных остатков, выполняющие определенную функцию и встречающиеся во многих белках. Эти сочетания сохраняются в процессе эволюции видов, по ним часто удается предсказать функции неизвестного белка. Изменения в последовательности ДНК могут привести к другому порядку аминокислот синтезируемого белка, а изменение даже одной аминокислоты в белковой последовательности может повлиять на его структуру и функции.

Вторичная структура представляет собой локальное упорядочивание фрагмента полипептидной цепи, стабилизированное водородными связями между кислородом карбонильной группы одной аминокислоты и водородом аминогруппы другой аминокислоты. Самыми распространенными типами вторичной структуры являются:

– α -спираль – плотные витки вокруг длинной оси молекулы. Один виток включает 3,6 аминокислотных остатков, шаг спирали – 0,54 нм.

α -спираль бывает право- и левозакрученной. В белках преобладает правозакрученный тип;

– β -листы (складчатые слои) – несколько зигзагообразных полипептидных цепей, в которых водородные связи образуются между относительно удаленными друг от друга (0,34 нм на аминокислотный остаток) аминокислотами в первичной структуре или разными цепями белка, а не близко расположенными, как в α -спирали;

– π -спирали;

– 3_{10} спирали;

– неупорядоченные фрагменты.

Под *третичной структурой* понимают пространственное строение полипептидной цепи, состоящей из элементов вторичной структуры, стабилизированных следующими связями:

– ковалентными (между двумя остатками цистеина – дисульфидные мостики);

– ионными (между противоположно заряженными боковыми группами аминокислотных остатков);

– водородными;

– гидрофобными взаимодействиями (при взаимодействии с окружающими молекулами воды белковая молекула сворачивается так, чтобы неполярные боковые группы аминокислот оказались изолированы от водного раствора; на поверхности молекулы оказываются полярные гидрофильные боковые группы).

Четвертичная структура (или субъединичная/доменная) представляет собой взаимное расположение нескольких полипептидных цепей в составе единого белкового комплекса. В состав белков с четвертичной структурой могут входить как идентичные, так и различающиеся полипептидные цепочки. В стабилизации четвертичной структуры принимают участие те же типы взаимодействий, что и в стабилизации третичной структуры.

Классификации белков. По общему типу строения белки можно разбить на три группы.

1. *Фибриллярные белки* образуют полимеры, их структура обычно высокорегулярна и поддерживается в основном взаимодействиями между разными цепями. Они образуют микрофиламенты (нити), микротрубочки, фибриллы, поддерживают структуру клеток и тканей. К фибриллярным белкам относятся кератин (роговые производные эпидермиса кожи – такие структуры, как волосы, ногти,

рога носорогов, перья и раффотека клюва птиц и др.) и коллаген (составляющий основу соединительной ткани организма (сухожилие, кость, хрящ, дерма и т. п.)).

2. **Глобулярные белки**, как правило, водорастворимы и отличаются от фибриллярных тем, что их молекулы (глобулы) по своей форме приближаются к шару или эллипсоиду вращения. К этой группе принадлежит подавляющее большинство белков, содержащихся в растениях, животных и микроорганизмах.

3. **Мембранные белки** имеют пересекающие клеточную мембрану домены, но части их выступают из мембраны в межклеточное окружение и цитоплазму клетки. Мембранные белки выполняют функцию рецепторов, т. е. осуществляют передачу сигналов, а также обеспечивают трансмембранный транспорт различных веществ. Белки-транспортёры специфичны, каждый из них пропускает через мембрану только определенные молекулы или определенный тип сигнала.

По **химическому строению** белки разделяют на две большие группы: *протеины* (простые белки) и *протеиды* (сложные белки). **Простыми** называют такие белки, которые состоят только из остатков α -аминокислот. По *растворимости* их делят на 7 групп.

1. **Альбумины** – глобулярные белки относительно небольшой молекулярной массы (25 000–70 000 Да), они имеют выраженный кислый характер, так как содержат большое количество аспарагиновой и глутаминовой кислот. Они растворяются в воде и разбавленных растворах кислот, щелочей и солей. Из водных растворов альбумины осаждаются сернокислым аммонием только при полном насыщении раствора, так как они – сильно гидратированные белки. При кипячении свертываются и выпадают в осадок в виде густых хлопьев денатурированного белка. Образование пенки на молоке, загустение содержимого яиц при варке объясняется денатурацией альбуминов. Пена, образующаяся при варке фруктов и овощей, частично состоит из свернувшихся растительных альбуминов. Встречаются как у животных (альбумины сыворотки крови, лактальбумин молока, овальбумин яичного белка, миоальбумин мышц животных), так и растений (лейкозин пшеницы, ржи и ячменя, легуменин гречихи и сои, рицин касторовых бобов). Альбумины выполняют в организме питательную, транспортную, обезвреживающую функции.

2. **Глобулины** – широко распространенная группа глобулярных белков, обычно сопутствующая альбуминам. Глобулины имеют более высокую молекулярную массу, чем альбумины. Являются слабокислыми или нейтральными белками. Глобулины растворимы в слабых солевых растворах, нерастворимы в дистиллированной воде и выпадают в осадок при 50%-ном и большем насыщении растворов сернокислым аммонием, при нагревании свертываются. К ним относятся сывороточный, молочный, яичный, мышечный и другие глобулины. В горохе содержится белок легумин, в сое – глиципин, в семенах фасоли – фазеолин, в картофеле – туберин, в крови – фибриноген, в молоке – лактоглобулин, в яйцах – яичный глобулин, в конопле – эдестин.

3. **Глутелины** – белки растительного происхождения, характеризующиеся высоким содержанием аминокислот пролина и глутаминовой кислоты. Глутелины растворяются в разбавленных кислотах и щелочах, не растворяются в воде, спирте и разбавленных солевых растворах. Они присутствуют в семенах злаковых культур вместе с проламинами. Представителями данного класса простых белков является оризенин (белок риса), глютелин (белок кукурузы) и глютенин (белок пшеницы). Глутелины занимают промежуточное положение между проламинами и глобулинами.

4. **Проламины** – белки растительного происхождения, содержатся в клейковине семян злаковых растений, где выполняют роль запасных белков. К ним относятся глиадин (белок пшеницы, ржи), гордеин (белок ячменя), зеин (белок кукурузы), авенин (белок овса). Проламины практически отсутствуют в бобовых и масличных культурах. В состав данной группы белков входит большое количество глутаминовой кислоты и пролина (отсюда название «проламины»). Проламины почти не содержат глицина и лизина, что делает невысокой их пищевую ценность. Характерной особенностью проламинов является то, что они нерастворимы в воде, солевых растворах, щелочах, хорошо растворимы в 60–80%-ном растворе этилового спирта (это связано с наличием большого количества неполярной аминокислоты пролина).

5. **Протеиноиды (альбуминоиды, склеропротеины)** – фибриллярные белки, их молекулы образуют многомолекулярные нитевидные комплексы – фибриллы. Протеиноиды – белки животного происхождения, богаты глицином, пролином, цистином. Они могут

иметь третичную и четвертичную структуры. Это – белки опорных тканей (костей, хрящей, сухожилий, связок). Они представлены коллагеном (основной белок кожи, костей и хрящей), эластином (белок сухожилий и соединительной ткани) и кератином (белок волос, шерсти, копыт, рогов и фиброин шелка). Протеиноиды не растворяются в воде, солевых растворах, разведенных кислотах и щелочах. Не перевариваются в желудочно-кишечном тракте большинства животных и человека и поэтому не могут выполнять питательную функцию. Однако некоторые членистоногие приспособились к питанию фибриллярными белками кожи, перьев птиц, шерсти (например, моль).

6. **Протамины** – низкомолекулярные положительно заряженные ядерные белки с резко выраженными основными свойствами (щелочные белки), низкой молекулярной массой – 4000–12 000 Да, содержат 60–85% аргинина. Протамины являются составной частью многих важных сложных белков (нуклеопротеидов), входящих в состав клеточных ядер. В ядрах клеток они находятся в комплексе с ДНК. Протамины хорошо растворяются в воде, кислой и нейтральной средах и осаждаются в щелочных средах, не осаждаются при кипячении. Выполняют главным образом структурную функцию, поэтому и присутствуют в клетках, не способных к делению.

7. **Гистоны** представляют собой низкомолекулярные (11 000–22 000 Да) белки с третичной структурой, обладают выраженными основными (щелочными) свойствами, так как содержат большое количество аргинина и лизина. Гистоны присутствуют в ядрах клеток высших организмов в соединении с нуклеиновыми кислотами, образуя нуклеопротеиды. Гистоны играют важную роль в регуляции генной активности. Это белки хромосом, они входят в структуру хроматина. В клетках положительно заряженные гистоны связаны с отрицательно заряженными ДНК в составе хроматина. Гистоны в хроматине формируют остов, на который накручивается молекула ДНК. Это очень стабильные белки, молекулы которых могут сохраняться в течение всей жизни клетки. Гистоны по своим свойствам близки к протаминам, растворимы в воде и разбавленных кислотах, нерастворимы в водном аммиаке и не свертываются при нагревании. Молекулы гистонов полярны, очень гидрофильны, поэтому они с трудом высаливаются из растворов. Основные функции гистонов – структурная (участвуют в стабилизации пространственной структуры ДНК, а, следовательно, хроматина, хромосом

и нуклеосом) и регуляторная (заключается в способности блокировать передачу генетической информации от ДНК к РНК).

Сложные белки (протеиды, холопротеины) – двухкомпонентные белки, в которых помимо пептидных цепей (простого белка) содержится компонент неаминокислотной природы – простетическая группа. При гидролизе сложных белков, кроме аминокислот, освобождается небелковая часть, или продукты ее распада. В качестве простетической группы могут выступать различные органические (липиды, углеводы) и неорганические (металлы) вещества. В зависимости от химической природы простетических групп среди сложных белков выделяют следующие классы:

1) **гликопротеины**. Содержат в качестве простетической группы ковалентно связанные углеводные остатки. Гликопротеины, содержащие остатки мукополисахаридов, относятся к подклассу *протеогликанов*. В образовании связи с углеводными остатками обычно участвуют гидроксильные группы серина или треонина. Большая часть внеклеточных белков, в частности иммуноглобулины, относится к гликопротеинам. В протеогликанах углеводная часть составляет ~95% от общей массы молекулы белка, они являются основным компонентом межклеточного матрикса;

2) **липопротеины**. Содержат в качестве простетической части нековалентно связанные липиды. Липопротеины, образованные белками-аполипопротеинами и связывающимися с ними липидами, используются для транспорта липидов в крови;

3) **металлопротеиды**. Содержат негемовые координационно связанные ионы металлов. Среди металлопротеидов есть белки, выполняющие депонирующие и транспортные функции (например, железосодержащие ферритин и трансферрин) и ферменты (например, цинксодержащая карбоангидраза и различные супероксиддисмутазы, содержащие в активных центрах ионы меди, марганца, железа и других металлов);

4) **нуклеопротеиды**. Содержат нековалентно связанные ДНК или РНК. К нуклеопротеидам относится хроматин, из которого состоят хромосомы. Именно нуклеопротеиды играют первостепенную роль в явлениях наследственности;

5) **фосфопротеины**. Содержат в качестве простетической группы ковалентно связанные остатки фосфорной кислоты. В образовании сложноэфирной связи с фосфатом участвуют гидроксильные группы

серина, треонина и тирозина. Фосфопротеином, в частности, является казеин молока;

б) *хромопротеиды*. Содержат окрашенные простетические группы различной химической природы. К ним относится множество белков с металлсодержащей порфириновой простетической группой, выполняющих разнообразные функции (гемопротеины (белки, содержащие в качестве простетической группы гем, например, гемоглобин и цитохромы); хлорофиллы; флавопротеиды с флавиновой группой и др.).

Белки различаются по **степени растворимости** в воде. Растворимость белка определяется не только его структурой, но и внешними факторами, такими как природа растворителя, ионная сила и рН раствора. Белки также делятся на *гидрофильные* и *гидрофобные*. К гидрофильным относится большинство белков цитоплазмы, ядра и межклеточного вещества, в том числе нерастворимые кератин и фиброин. К гидрофобным относится большинство белков, входящих в состав биологических мембран, – интегральных мембранных белков, которые взаимодействуют с гидрофобными липидами мембраны (у этих белков, как правило, есть и гидрофильные участки).

Белки обладают **амфотерными свойствами**, т. е. в зависимости от условий проявляют как кислотные, так и основные свойства. В белках присутствует несколько типов химических группировок, способных к ионизации в водном растворе: карбоксильные остатки боковых цепей кислых аминокислот (аспарагиновая и глутаминовая кислоты) и азотсодержащие группы боковых цепей основных аминокислот (ϵ -аминогруппа лизина и амидиновый остаток $\text{C}(\text{NH})(\text{NH}_2)$ аргинина, в меньшей степени имидазольный остаток гистидина).

Каждый белок характеризуется *изоэлектрической точкой* pI (кислотность среды (рН), при которой суммарный электрический заряд молекул данного белка равен 0, и, соответственно, они не перемещаются в электрическом поле (например, при электрофорезе)). В изоэлектрической точке гидратация и растворимость белка минимальны. Величина pI зависит от соотношения кислых и основных аминокислотных остатков в белке:

– у белков, содержащих много кислых аминокислотных остатков, изоэлектрические точки лежат в кислой области (такие белки называют кислыми),

– у белков, содержащих больше основных остатков, – в щелочной области (основные белки).

Значение pI конкретного белка также может меняться в зависимости от ионной силы и типа буферного раствора, в котором он находится, так как нейтральные соли влияют на степень ионизации химических группировок белка. В целом, pI белка зависит от выполняемой им функции. Изоэлектрическая точка большинства тканей позвоночных лежит в пределах от 5,5 до 7,0, однако в некоторых случаях значения pI могут быть в экстремальных областях: для пепсина (протеолитический фермент желудочного сока) $pI \sim 1$, а для сальмина (белок-протамин молока лосося, особенностью которого является большое содержание аргинина) $pI \sim 12$.

Также важным свойством белков является **денатурация**. Денатурацией белка называют любые изменения в его биологической активности и (или) физико-химических свойствах, связанные с потерей четвертичной, третичной или вторичной структуры.

Как правило, белки достаточно стабильны в тех условиях (температура, pH и др.), в которых они в норме функционируют в организме. Резкое изменение этих условий приводит к денатурации белка. Денатурированные белки, как правило, нефункциональны. В зависимости от природы денатурирующего агента выделяют денатурацию:

- механическую (сильное перемешивание или встряхивание);
- физическую (нагревание, охлаждение, облучение, обработка ультразвуком);
- химическую (кислоты и щелочи, поверхностно-активные вещества, мочевины).

Денатурация белка может быть полной или частичной, обратимой или необратимой. Примером такой необратимой реакции может быть жареное или вареное яйцо. Белок альбумин в яйце при высокой температуре в результате денатурации становится твердым и непрозрачным, но если яйцо охладить, то белок уже не вернется в жидкое прозрачное состояние. Денатурация в некоторых случаях обратима, как в случае осаждения водорастворимых белков с помощью солей аммония (метод высаливания), и этот метод используется как способ их очистки. Поскольку первичная структура полипептида сохраняется (последовательность аминокислот не изменяется), теоретически возможно вернуть белок в изначальный функциональный вид, если условия среды снова станут нормальными. Ученые обнаружили, что некоторые белки восстанавливают

форму после денатурации, даже если в пробирку поместить всего одну молекулу белка. Если они самостоятельно могут свободно переходить от неструктурированного состояния в упакованное, значит, в их аминокислотах содержится вся информация, необходимая для *фолдинга* – сворачивания молекулы в структуры более высоких порядков. Однако далеко не все белки способны на фолдинг, и образование в клетках их вторичной структуры и выше – более сложный процесс. Многие белки не способны выполнять это самостоятельно и прибегают к помощи белков *шаперонов* (класс белков, главная функция которых состоит в восстановлении правильной нативной третичной или четвертичной структуры белков, а также образование и диссоциация белковых комплексов).

Несмотря на огромное количество вариантов последовательностей аминокислот в полимерной молекуле, каждый конкретный белок обладает строгим постоянством состава аминокислот и их последовательности. Это его свойство детерминировано генетически. Постоянство аминокислотной последовательности в белке обуславливает высокую специфичность структуры и функционирования белка. По **функциональному признаку** белки можно разделить:

- на **ферменты** (РНКазы, цитохромы, трипсин и др.) – наиболее хорошо известная функция белков в организме – катализ различных химических реакций. Ферменты – это белки, обладающие специфическими каталитическими свойствами, т. е. каждый фермент катализирует одну или несколько сходных реакций. Ферменты катализируют реакции расщепления сложных молекул (катаболизм) и их синтеза (анаболизм), в том числе репликацию и репарацию ДНК, и матричный синтез РНК;

- **запасные белки**, к ним относятся так называемые резервные белки, которые запасаются в качестве источника энергии и вещества в семенах растений (например, глобулины 7S и 11S) и яйцеклетках животных. Ряд других белков используется в организме в качестве источника аминокислот, которые, в свою очередь, являются предшественниками биологически активных веществ, регулирующих процессы метаболизма;

- **транспортные белки** – растворимые белки, участвующие в транспорте малых молекул, должны иметь высокое сродство (аффинность) к субстрату, если он присутствует в высокой концентрации, и легко его высвободить в местах с низкой концентрацией

субстрата. К транспортным белкам можно отнести гемоглобин, который переносит кислород из легких к остальным тканям и углекислый газ от тканей к легким, а также гомологичные ему белки, найденные во всех царствах живых организмов;

– *сократительные / моторные / двигательные белки* (миозин, актин и др.) – целый класс белков обеспечивает движения организма, например сокращение мышц, в том числе локомоцию (миозин), перемещение клеток внутри организма (например, амёбное движение лейкоцитов), движение ресничек и жгутиков, а также активный и направленный внутриклеточный транспорт (кинезин, динеин);

– *защитные белки*, которые обладают такими видами защитных функций, как:

– *физическая*, которую обеспечивают коллаген – белок, образующий основу межклеточного вещества соединительных тканей (в том числе костей, хряща, сухожилий и глубоких слоев кожи (дермы)); кератин, составляющий основу роговых щитков, волос, перьев, рогов и других производных эпидермиса. Обычно такие белки рассматривают как белки со структурной функцией. Примерами белков этой группы служат фибриногены и тромбины, участвующие в свертывании крови;

– *химическая*, заключающаяся в связывании токсинов белковыми молекулами, что может обеспечивать детоксикацию. Особенно важную роль в детоксикации у человека играют ферменты печени, расщепляющие яды или переводящие их в растворимую форму, что способствует их быстрому выведению из организма;

– *иммунная* – защитный ответ организма как на повреждение, так и на атаку патогенов с участием белков, входящих в состав крови и других биологических жидкостей. Белки системы комплемента и антитела (иммуноглобулины) относятся к белкам второй группы; они нейтрализуют бактерии, вирусы или чужеродные белки. Антитела, входящие в состав адаптивной иммунной системы, присоединяются к чужеродным для данного организма веществам, антигенам, и тем самым нейтрализуют их, направляя к местам уничтожения. Антитела могут секретироваться в межклеточное пространство или закрепляться в мембранах специализированных В-лимфоцитов, которые называются плазмочитами;

– *белки-регуляторы*, многие процессы внутри клеток регулируются белковыми молекулами, которые не служат ни источником

энергии, ни строительным материалом для клетки. Эти белки регулируют продвижение клетки по клеточному циклу; транскрипцию (происходящий во всех живых клетках процесс синтеза РНК с использованием ДНК в качестве матрицы; перенос генетической информации с ДНК на РНК); трансляцию; сплайсинг (процесс вырезания определенных нуклеотидных последовательностей из молекул РНК и соединения последовательностей, сохраняющихся в «зрелой» молекуле); активность других белков и многие другие процессы. Регуляторную функцию белки осуществляют либо за счет ферментативной активности, либо за счет специфического связывания с другими молекулами;

– **белки, выполняющие сигнальную функцию**, служат сигнальными веществами, передавая сигналы между клетками, тканями, органами и организмами. Часто сигнальную функцию объединяют с регуляторной, так как многие внутриклеточные регуляторные белки тоже осуществляют передачу сигналов. Сигнальную функцию выполняют белки-гормоны, цитокины, факторы роста и др.;

– **белки, выполняющие структурную функцию** (гликопротеины, альфа-кератин, фиброин, мукопротеины и др.) – структурные белки цитоскелета, как своего рода арматура, придают форму клеткам и многим органоидам и участвуют в изменении формы клеток. Коллаген и эластин – основные компоненты межклеточного вещества соединительной ткани (например, хряща), а из кератина состоят волосы, ногти, перья птиц и некоторые раковины.

В зависимости от цели исследования, применяют разные методы определения белков. Рассмотрим наиболее часто применяемые.

Структуру и функции белков изучают как на очищенных препаратах *in vitro*, так и в их естественном окружении в живом организме, *in vivo*. Исследования чистых белков в контролируемых условиях полезны для определения их функций: кинетических особенностей каталитической активности ферментов, относительного сродства к различным субстратам и т. п. Исследования белков *in vivo* в клетках или в целых организмах предоставляют дополнительную информацию о том, где они функционируют и как регулируется их активность. Первичную структуру белка можно определить методами его секвенирования или по первичной структуре его мРНК, используя таблицу генетического кода. Для определения пространственной структуры белка применяют методы рентгеноструктурного анализа,

ядерного магнитного резонанса и некоторые виды микроскопии. Масс-спектрометрия позволяет идентифицировать выделенный белок по его молекулярной массе и массе его фрагментов.

Методы определения количества белка в образце:

– **биуретовый** метод – один из колориметрических методов количественного определения белков в растворе. Разработан в 1949 г. учеными Горналлом, Бардавиллом и Дэвидом. Основан на образовании биуретового комплекса (имеет фиолетовый цвет) пептидных связей белков с двухвалентными ионами меди. В методе используют так называемый биуретовый реактив, состоящий из KOH, CuSO₄ и цитрата натрия (или тартрата натрия). Полноценный комплекс образуется лишь с пептидами, состоящими более чем из 4 остатков. Оптическую плотность раствора (прямо пропорциональную концентрации пептида) определяют при 540–560 нм. К достоинствам метода стоит отнести его низкую чувствительность к посторонним веществам, невысокую погрешность. Чувствительность метода – 2–10 мг/мл;

– **микробиуретовый** метод основан на взаимодействии пептидных связей с Cu²⁺ в щелочной среде. В результате реакции образуется комплекс, окрашенный в фиолетовый цвет. К 0,2 мл раствора белка добавляют 3,5 мл раствора NaOH и 0,2 мл реактива Бенедикта. Смесь инкубируют 15 мин при комнатной температуре и определяют на спектрофотометре при длине волны 330 нм. Построение калибровочного графика проводят по стандартному раствору белка;

– метод **Бредфорда** – один из колориметрических методов количественного определения белков в растворе. Предложен биохимиком Марионом Бредфордом (англ. en: Marion M. Bradford) в 1976 г. Метод основан на реакции красителя кумасси (Coomassie Brilliant Blue G-250) с аргинином и гидрофобными аминокислотными остатками. Связанная форма имеет голубую окраску с максимумом поглощения при 595 нм. Увеличение светопоглощения раствора при длине волны, равной 595 нм, пропорционально количеству белка в растворе. Метод наиболее точен при концентрации белка в пределах от 2 мкг/мл до 120 мкг/мл (в этих границах соблюдается линейная зависимость увеличения абсорбции от концентрации). В целом чувствительность метода зависит от соотношения концентраций определяемого белка и красителя: чем больше красителя, тем чувствительней метод;

– метод *Лоури* – один из колориметрических методов количественного определения белков в растворе. Предложен Лоури (Lowry) в 1951 г. В щелочной среде ионы Cu^{2+} образуют комплекс с пептидными связями, переходя в Cu^+ . Одновалентные ионы меди реагируют с реактивом Фолина (фосфомолибденовая кислота с фенолом), образуя нестабильный продукт, переходящий в молибденовую синь, с максимумом поглощения при 750 нм. Увеличение поглощения при 750 нм пропорционально концентрации белка. Метод очень чувствителен к наличию в растворе посторонних восстановителей, что затрудняет его использование при определении белка в неочищенных препаратах, чувствительность к белку – 10–1000 мкг/мл;

– *спектрофотометрический* метод – физико-химический метод исследования растворов и твердых веществ, основанный на изучении спектров поглощения в ультрафиолетовой (200–400 нм), видимой (400–760 нм) и инфракрасной (>760 нм) областях спектра. Основная зависимость, изучаемая в спектрофотометрии, – зависимость интенсивности поглощения (как правило, измеряется оптическая плотность – логарифм светопропускания, так как она зависит линейно от концентрации вещества) падающего света от длины волны.

– метод *Кьельдаля*. При анализе пищевых продуктов часто под понятием «белок» понимают количество общего азота, определенного по методу Кьельдаля, умноженное на соответствующий коэффициент пересчета (6,25). Метод Кьельдаля – наиболее широко применяемый из известных. Это – стандартный метод, сущность которого заключается в следующем. Анализируемый образец окисляют горячей концентрированной серной кислотой, связанный азот которого превращается в ион аммония. К полученному раствору добавляют сильное основание, в результате чего образуется аммиак. Количество аммиака определяют титриметрическим или фотометрическим методом;

– метод *Дюма* – получение газообразного азота с последующим измерением его объема;

– *нейтронно-активационный* метод – получение изотопа ^{13}N и регистрация количества гамма-лучей.

Известно, что животные и растительные белки не в одинаковой степени усваиваются организмом человека: белки молока и яиц – в среднем на 96%; мяса и рыбы – на 95%; хлеба из муки I и II сорта – на 85%;

овощей – на 80%; картофеля, хлеба из обойной муки, бобовых – на 70%. Попадая в организм, большинство животных белков под воздействием ферментов почти полностью гидролизуются до аминокислот, за исключением некоторых фибриллярных белков (например, кератина). Напротив, многие растительные белки (например, зерен злаков) полностью не расщепляются из-за покрытия белковой части неперевариваемой целлюлозной оболочкой (шелухой). По скорости переваривания протеазами (пищеварительными ферментами, расщепляющими белки) в желудочно-кишечном тракте продуктов белки можно расположить следующим образом: содержащиеся в яйцах, молоке; рыбе; мясе; хлебе и крупах; бобовых, грибах.

В табл. 1.1 представлены данные содержания белка в основных пищевых продуктах.

Таблица 1.1

Содержание белка в некоторых пищевых продуктах

Продукты	Белок, г/100 г съедобной части	Продукты	Белок, г/100 г съедобной части
Говядина	9–22	Икра осетровая, кетовая	29–32
Баранина	16–21	Молоко коровье (сырое), кефир, простокваша	3
Свинина	12–20	Творог нежирный	18
Печень говяжья, свиная	18–19	Сыры твердые	23–30
Куры	18–21	Сыры плавленые	8–22
Утки	16–17	Горох, фасоль	20–21
Гуси	15–17	Хлеб из ржаной муки	6–7
Яйца куриные	12–13	Хлеб из пшеничной муки	8–9
Карп, минтай, треска	16	Макаронные изделия	10–12
Горбуша	21	Капуста белокочанная, картофель	1,8–2,0
Мойва	13	Лук репчатый, морковь красная, перец красный, редис, свекла	1,2–1,5
Сельдь атлантическая, сардина	19	Яблоки, груши, виноград	0,4–0,6
Судак, ставрида, кальмар	18	Земляника садовая, апельсины, абрикосы, персики, арбуз	0,7–0,9

И недостаток, и избыток белка в питании отрицательно сказываются на обмене веществ и приводят к ряду заболеваний. Характерными признаками белковой недостаточности являются замедление роста и умственного развития, нарушение костеобразования, кроветворения, обмена витаминов, снижение сопротивляемости к инфекции. Избыток белка в питании создает нагрузку на печень и почки вследствие большого поступления и выведения азотсодержащих веществ, приводит к перевозбуждению нервной системы, может вызвать гиповитаминоз ретинола (витамина *A*) и пиридоксина (витамина *B*₆). Из-за повышенного содержания нуклеиновых кислот в организме происходит накопление продукта обмена пуринов – мочевой кислоты в суставных сумках, органах и тканях, что служит причиной заболевания суставов, подагры, мочекаменной болезни.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) установила безопасный уровень потребления белка в размере 0,83 грамма в день на килограмм массы тела, что, согласно прогнозам, удовлетворит потребности в белке для 97,5% здорового взрослого населения по всему миру.

1.1.2. Пептиды

Пептиды (греч. *πεπτος* – «питательный») – семейство веществ, молекулы которых построены из двух и более остатков аминокислот, соединенных в цепь пептидными (амидными) связями – C(O)NH–. Обычно подразумеваются пептиды, состоящие из α-аминокислот, однако термин не исключает пептидов, полученных из любых других аминокислот. Пептиды, последовательность которых короче примерно 10–20 аминокислотных остатков, могут также называться олигопептидами (от др.-греч. *ὀλίγος* – «малочисленный»). При большей длине последовательности они называются полипептидами (от греч. *πολύ* – «много»). Полипептиды могут иметь в молекуле неаминокислотные фрагменты, например углеводные остатки. Если полипептиды содержат более 50 аминокислотных остатков с молекулярной массой более 5000, 6000 или 10000 Да, их относят к белкам.

Пептиды постоянно синтезируются во всех живых организмах для регулирования физиологических процессов. Свойства пептидов

зависят главным образом от их первичной структуры – последовательности аминокислот, а также от строения молекулы и ее конфигурации в пространстве (вторичная структура). Молекула пептида – это последовательность аминокислот: два и более аминокислотных остатка, соединенных между собой амидной связью, составляют пептид. По количеству аминокислот в пептиде, которые могут сильно варьироваться, различают:

– *олигопептиды* – молекулы, содержащие до десяти аминокислотных остатков; иногда в их названии упоминается количество входящих в их состав аминокислот, например, дипептид, трипептид, пентапептид и др.;

– *полипептиды* – молекулы, в состав которых входит более десяти аминокислот.

По качественному составу различают пептиды:

– *гомомерные* – соединения, состоящие только из аминокислотных остатков;

– *гетеромерные* – вещества, в состав которых входят также небелковые компоненты.

Пептиды также делятся по способу связи аминокислот между собой:

– *гомодетные* – пептиды, аминокислотные остатки которых соединены только пептидными связями;

– *гетеродетные* – соединения, в которых помимо пептидных связей встречаются еще и дисульфидные, эфирные и тиоэфирные связи.

Для правильной работы клеток и тканей необходимо адекватное количество пептидов. Однако с возрастом и при патологии возникает дефицит пептидов, который существенно ускоряет износ тканей, что приводит к старению всего организма. Сегодня проблему недостаточности пептидов в организме научились решать. Пептидный пул клетки восполняют синтезированными в лабораторных условиях короткими пептидами.

Пептиды, обладающие высокой физиологической активностью, регулируют различные биологические процессы. По **биорегуляторному действию** пептиды принято делить на несколько групп:

1) соединения, обладающие гормональной активностью (глюкагон, окситоцин, вазопрессин и др.);

2) вещества, регулирующие пищеварительные процессы (гастрин, желудочный ингибирующий пептид и др.);

3) пептиды, регулирующие аппетит (эндорфины, нейропептид-У, лептин и др.);

4) соединения, обладающие обезболивающим эффектом (опиоидные пептиды);

5) пептиды, которые регулируют артериальное давление и тонус сосудов (ангиотензин II, брадикинин и др.);

6) органические вещества, регулирующие высшую нервную деятельность; биохимические процессы, связанные с механизмами памяти, обучения, возникновением чувства страха, ярости и др.;

7) пептиды, которые обладают противоопухолевым и противовоспалительными свойствами (луназин).

Однако такое деление условно, так как действие многих пептидов не ограничивается каким-либо одним направлением (например, вазопрессин, помимо сосудосуживающего и антидиуретического действия улучшает память).

Современным методом определения пептидов является масс-спектрометрия высокого разрешения.

1.1.3. Аминокислоты

Как уже упоминалось, белки – наиболее ценные и незаменимые компоненты пищи. В процессе пищеварения под действием соответствующих ферментов происходит разрушение белков до аминокислот. Часть образовавшихся аминокислот распадается на органические кетокислоты; из них вновь синтезируются необходимые организму аминокислоты, белки и вещества белковой природы. Аминокислоты, не использованные непосредственно для биосинтеза белка, подвергаются для получения энергии дальнейшим превращениям:

- дезаминированию (неокислительному и окислительному);
- трансаминированию (переаминированию);
- декарбоксилированию ($-\text{CO}_2$).

Аминокислоты (аминокарбоновые кислоты; АМК) – органические соединения, в молекуле которых одновременно содержатся карбоксильные (COOH) и аминные (NH_2) группы, радикал (различается у всех α -аминокислот), α -атом углерода (в центре) (рис. 1.3)

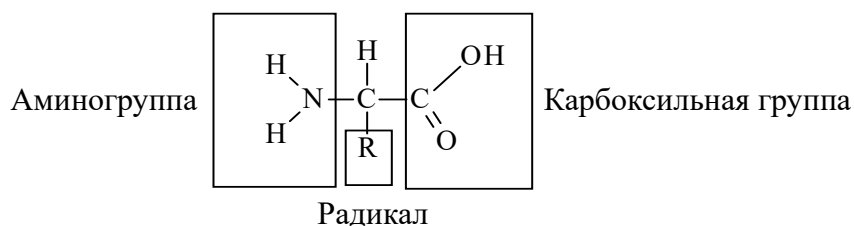


Рис. 1.3. Общая структура α -аминокислот, составляющих белки (кроме пролина)

Основные химические элементы аминокислот: углерод (С), водород (Н), кислород (О) и азот (N), в радикале определенных аминокислот также встречаются другие элементы. Известно около 500 встречающихся в природе аминокислот (хотя только 20 используются в генетическом коде) (рис. 1.4). Аминокислоты могут рассматриваться как производные карбоновых кислот, в которых один или несколько атомов водорода заменены на аминогруппы.

По физическим свойствам аминокислоты резко отличаются от соответствующих кислот и оснований. Все они – кристаллические вещества, лучше растворяются в воде, чем в органических растворителях, имеют достаточно высокие температуры плавления; у многих из них сладкий вкус. Эти свойства отчетливо указывают на солеобразный характер этих соединений. Особенности физических и химических свойств аминокислот обусловлены их строением – присутствием одновременно двух противоположных по свойствам функциональных групп: кислотной и основной.

Все аминокислоты – амфотерные соединения, они могут проявлять как кислотные свойства, обусловленные наличием в их молекулах карбоксильной группы $-\text{COOH}$, так и основные свойства, обусловленные аминогруппой $-\text{NH}_2$. Аминокислоты взаимодействуют с кислотами и щелочами. Растворы аминокислот в воде обладают свойствами буферных растворов, т. е. находятся в состоянии внутренних солей. Аминокислоты обычно могут вступать во все реакции, характерные для карбоновых кислот и аминов. Важной особенностью аминокислот является их способность к поликонденсации, приводящей к образованию полиамидов, в том числе пептидов, белков. Изoeлектрической точкой аминокислоты называют значение pH, при котором максимальная доля молекул аминокислоты обладает нулевым зарядом. При таком pH аминокислота наименее подвижна в электрическом поле, и данное свойство можно использовать для разделения аминокислот, а также белков и пептидов.

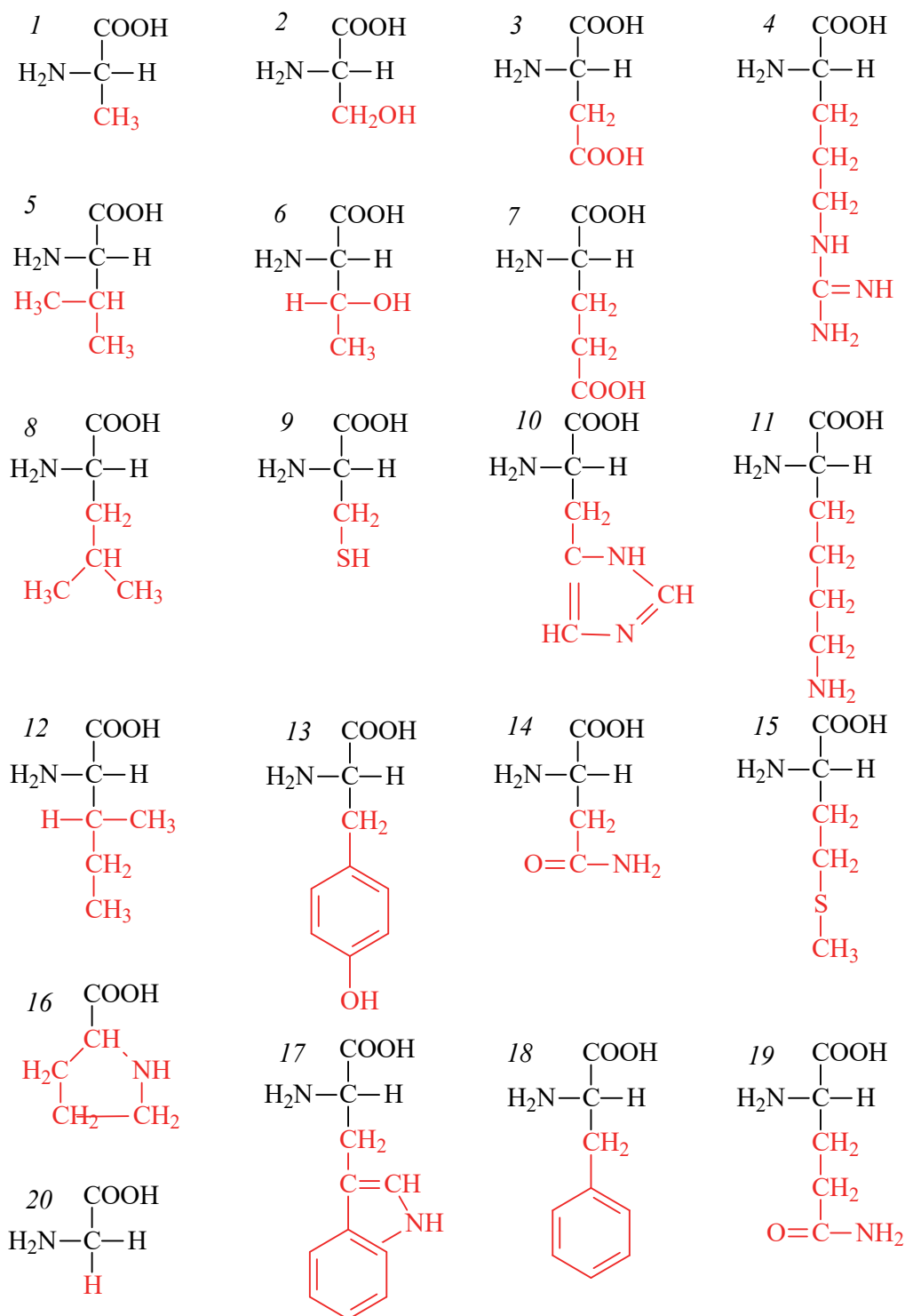


Рис. 1.4. Протеиногенные аминокислоты:

1 – аланин; 2 – серин; 3 – аспарагиновая кислота; 4 – аргинин; 5 – валин;
 6 – треонин; 7 – глутаминовая кислота; 8 – лейцин; 9 – цистеин; 10 – гистидин;
 11 – лизин; 12 – изолейцин; 13 – тирозин; 14 – аспаргин; 15 – метионин;
 16 – пролин; 17 – триптофан; 18 – фенилаланин; 19 – глутамин; 20 – глицин

Аминокислоты классифицируют:

1) **по радикалу**: неполярные – аланин, валин, изолейцин, лейцин, пролин; полярные незаряженные (заряды скомпенсированы) при $pH = 7$ – серин, треонин, цистеин, метионин, аспарагин, глутамин; полярные заряженные отрицательно при $pH = 7$ – аспартат, глутамат; полярные заряженные положительно при $pH = 7$ – лизин, аргинин, гистидин; ароматические – фенилаланин, триптофан, тирозин;

2) **по функциональным группам**: алифатические – аланин, валин, лейцин, изолейцин, серин, треонин, аспартат, глутамат, аспарагин, глутамин, лизин, аргинин, цистеин, метионин; ароматические – фенилаланин, тирозин, триптофан, гистидин; гетероциклические: гистидин, пролин.

Определенная часть аминокислот, образовавшаяся в процессе расщепления белка в организме, распадается до органических кетокислот, из которых в организме синтезируются вновь новые аминокислоты, а затем – белки. Это – **заменимые** аминокислоты. К ним относятся: аланин, аргинин, аспарагин, аспарагиновая кислота, гистидин, глицин, глутамин, глутаминовая кислота, пролин, серин, тирозин, цистеин. **Незаменимые** аминокислоты – необходимые аминокислоты, которые не могут быть синтезированы в том или ином организме. Для разных видов организмов список незаменимых аминокислот различен. Невозможность сборки определенного белка организмом приводит к нарушению его нормальной работы, поэтому необходимо поступление незаменимых аминокислот в организм с пищей. Восемь аминокислот не синтезируются организмом человека: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин (организм грудных детей не синтезирует также гистидин и аргинин). При недостатке фенилаланина и метионина незаменимыми становятся также цистеин и тирозин. В экспериментах на животных была определена значимость незаменимых аминокислот, а именно:

– **валин (Val)** – участвует в поддержании обмена азота в организме; его недостаток вызывает повышенную чувствительность, нарушение координации движений, потерю аппетита;

– **лейцин и изолейцин (Leu и Ile)** – их нехватка ведет к резкому снижению массы тела, изменениям в почках и щитовидной железе.

Изолейцин присутствует в организме почти во всех белках, за исключением гемоглобина;

– **лизин (Lys)** – при его недостатке отмечается нарушение процесса кроветворения, снижение количества эритроцитов и уровня гемоглобина в крови, нарушение азотистого равновесия, наблюдается также уменьшение подкожного жира, истощение мышц, нарушение процесса кальцификации костей;

– **метионин (Met)** – серосодержащая аминокислота, которая участвует в синтезе белка эпидермиса, некоторых гормонов, в том числе инсулина. Метионин также дает метильные группы для синтеза холина – вещества, обладающего высокой биологической активностью, с выраженной липотропной функцией. Метионин участвует в обмене жиров и фосфолипидов в печени, имеет большое значение для функции надпочечников и необходим для синтеза адреналина;

– **треонин (Thr)** – липотропное вещество, которое участвует в борьбе с отложением жира и тем самым влияет на массу тела, стабилизирует работу желудочно-кишечного тракта, способствует образованию коллагена, эластина, зубной эмали;

– **триптофан (Trp)** – его недостаток вызывает нарушение азотистого равновесия, влияет на образование сывороточных белков, синтез гемоглобина и никотиновой кислоты;

– **фенилаланин (Phe)** – в организме он связан с тирозином, из которого образуется адреналин.

При дефиците в пище названных аминокислот у человека может происходить нарушение обмена веществ и, как результат, возникновение различных заболеваний. Таким образом, по своему аминокислотному составу белки пищевых продуктов имеют разную *биологическую ценность* (показатель качества пищевого белка, отражающий степень соответствия его аминокислотного состава потребностям организма в аминокислотах для синтеза белка). Содержание незаменимых аминокислот в 1 г идеального в пищевом отношении белка было определено экспертами ФАО (FAO, Food and Agriculture Organization – Продовольственная и сельскохозяйственная организация при ООН) и ВОЗ (WHO, World Health Organization – Всемирная организация здравоохранения) в 1973 г. и уточнено в 1985 г. Эксперты ФАО считают, что в 1 г идеального пищевого белка должны содержаться следующие аминокислоты в

соответствующем количестве, мг: валин – 50, изолейцин – 40, лейцин – 70, лизин – 55, метионин + цистеин – 35, треонин – 40, триптофан – 10, фенилаланин + тирозин – 60. Для определения биологической ценности пищевого белка используют аминокислотный химический скор (АС). Одним из доступных способов его расчета является вычисление отношения количества каждой незаменимой аминокислоты в испытуемом белке с идеальной аминокислотной шкалой:

$$AC = \frac{AK [\text{мг/г исследуемого белка}]}{AK [\text{мг/г идеального белка}]} \cdot 100, \quad (1.1)$$

где АС – аминокислотный химический скор; АК – незаменимая аминокислота.

В идеальном белке химический скор каждой незаменимой аминокислоты принимается за 100%. Исследуемый белок сравнивают с оптимальным для питания человека эталонным белком по каждой аминокислоте. Скор аминокислот исследуемого белка может быть больше, меньше или равен 100%. В случае, если аминокислотный скор превышает 100%, данная аминокислота находится в избытке по сравнению с ее оптимальным содержанием. Если аминокислотный скор равен 100%, содержание данной аминокислоты в исследуемом белке оптимально для питания человека. Наконец, если аминокислотный скор меньше 100%, то данной аминокислоты в пищевом отношении недостает. Аминокислота, скор которой имеет самое низкое значение, называется первой лимитирующей аминокислотой.

Животные белки (белки мяса, молока, яиц) по химическому скору наиболее близки к идеальному, в отличие от растительных белков, в которых присутствует дефицит отдельных аминокислот. Например, белок пшеницы содержит лишь около 50% лизина, картофель и большинство бобовых – около 60% метионина и цистеина по сравнению с идеальным белком (табл. 1.2). Помимо расчета аминокислотного химического сора, биологическую ценность пищевого белка можно определить с помощью еще двух показателей:

1) выраженного в граммах аминокислоты на 1 г азота отношения содержания незаменимых аминокислот (НАК) и общего азота белка (ОАБ) в 100 г белка (НАК / ОАБ);

2) количества незаменимых аминокислот (НАК) в 100 г белка.

Таблица 1.2

**Аминокислотный состав и химический скор белков
некоторых пищевых продуктов**

Аминокислота	Справочная шкала ФАО/ВОЗ, 1973 г.		Говядина		Пшеница		Рис		Коровье молоко	
	А	АС	А	АС	А	АС	А	АС	А	АС
Изолейцин	4,0	100	4,8	120	3,5	87	4,4	110	4,7	117
Лейцин	7,0	100	8,1	116	7,2	103	8,6	123	9,5	136
Лизин	5,5	100	8,9	162	3,1	56*	3,8	69*	7,8	142
Метионин + цистеин	3,5	100	4,0	114	4,3	123	3,8	108	3,3	94*
Фенилаланин + тирозин	6,0	100	8,0	133	8,1	135	8,6	143	10,2	170
Треонин	4,0	100	4,6	115	3,1	77	3,5	87	4,4	110
Валин	5,0	100	5,0	100	4,7	94	6,1	122	6,4	128
Триптофан	1,0	100	1,1	110	1,2	120	1,4	140	1,4	140
Гистидин**	–	–	–	–	–	–	–	–	2,7	104

Примечание. * Первая лимитирующая аминокислота. ** Незаменимая аминокислота только для грудных детей. А – содержание аминокислоты, г/100 г белка; АС – химический скор в процентах относительно шкалы ФАО/ВОЗ (1973).

При оценке с помощью этих показателей исходят из того, что у белков с высокой биологической ценностью НАК/ОАБ составляет не менее 2,5, а количество НАК в 100 г белка – не менее 40. В табл. 1.3 приведена биологическая оценка белков некоторых видов продовольственного сырья по данным показателям.

Таблица 1.3

**Биологическая оценка белков некоторых видов
продовольственного сырья животного и растительного происхождения**

Белки	НАК/ОАБ	Количество НАК в 100 г белка
Яйца куриные	3,2	47,2
Молоко коровье	3,1	45,0
Мясо убойных животных	2,8–2,9	41,2–42,5
Рыба промысловых видов	2,7	40,0–42,0
Зерно ржи	2,1	29,3
Зерно пшеницы	2,0	27,6

Пищевые источники аминокислот: *валина* – зерновые, бобовые, арахис, грибы, молочные продукты, мясо; *изолейцина* – миндаль, кешью, турецкий горох (нут), чечевица, рожь, большинство семян, соя, яйца, куриное мясо, мясо убойных животных, рыба, печень; *лейцина* – чечевица, орехи, большинство семян, овес, бурый (неочищенный) рис, рыба, яйца, куриное мясо, мясо убойных животных; *лизина* – пшеница, орехи, амарант, гречиха, молочные продукты, рыба, мясо, горох; *метионина* – бобы, фасоль, чечевица, соя, гречиха, молоко, яйца, рыба, мясо; *треонина* – орехи, бобы, молочные продукты, яйца; *триптофана* – бобовые, овес, сушеные финики, арахис, кунжут, кедровые орехи, молоко, йогурт, творог, рыба, курица, индейка, мясо убойных животных; *фенилаланина* – бобовые, орехи, говядина, куриное мясо, рыба, яйца, творог, молоко; *аргинина* (частично заменимая аминокислота, образуется из аминокислот, поступающих с пищей, не путать с условно-заменимыми, которые образуются из незаменимых кислот, не поступающих с пищей) – семена тыквы, арахис, кунжут, йогурт, швейцарский сыр, свинина, говядина, горох; *гистидина* (частично заменимая аминокислота) – соевые бобы, арахис, чечевица, тунец, лосось, куриная грудка, свиная вырезка, говяжье филе.

Ниже представлена характеристика аминокислотного состава некоторых групп продовольственного сырья и пищевых продуктов. Так, зерновые относительно мало содержат лизина, метионина и триптофана. В масличном сырье высокое содержание триптофана, тирозина и фенилаланина. Наиболее ценны белки рапса, подсолнечника и кунжута. В крупах лимитирующей аминокислотой является лизин, в семенах бобовых – метионин и цистин. Ячменная мука по сравнению с пшеничной и кукурузной относительно богата лизином, валином, метионином и цистеином. Картофель по аминокислотному составу белка мало уступает животному, из незаменимых аминокислот больше всего лизина, валина и лейцина. Капустные овощи (особенно брюссельская) – источники повышенного содержания серосодержащих аминокислот. Орехи содержат все 8 незаменимых аминокислот, особенно много лейцина, фенилаланина и валина. В молоке содержится 18 аминокислот, в том числе 8 незаменимых.

Для определения аминокислот применяют различные методы. Например, *биуретовую реакцию* (щелочной раствор биурета и разбавленных водных растворов солей меди (II)) дают концентрированные

растворы аминокислот и амидов; *нингидриновая реакция* – цветная реакция на α -аминокислоты (глицин, изолейцин, лейцин, серин, фенилаланин, цистеин, тирозин, триптофан); *реакция с 1-нафтолом* (*α -нафтолом*) – для определения аргинина, гистидина и тирозина; *реакция Сакагучи* – для определения аргинина; *реакция Миллона* – на тирозин (эту реакцию дают все белки, за исключением не содержащих тирозин (желатин, клупеин и др.)); *реакция Фоля* – на серосодержащие аминокислоты; *ксантопротеиновая реакция* – на фенилаланин, тирозин, триптофан; *реакция Адамкевича* – на триптофан.

Для определения аминокислотного состава используют *бумажную, тонкослойную (адсорбционную и распределительную) и ионообменную хроматографию; высоковольтный электрофорез* на инертных носителях.

1.1.4. Ферменты

Ферменты (от лат. *fermentum* – «закваска»), или энзимы (от греч. ζύμη, ἔνζυμον – «закваска»), – обычно сложные белковые соединения, РНК (рибозимы) или их комплексы, ускоряющие химические реакции в живых системах. Термины «фермент» и «энзим» давно используют как синонимы: первый в основном в русской и немецкой научной литературе, второй – в англо- и франкоязычной. Наука о ферментах называется энзимологией.

Каждый фермент, свернутый в определенную структуру, ускоряет соответствующую химическую реакцию. Реагенты в такой реакции называются субстратами, а получающиеся вещества – продуктами. Ферменты специфичны к субстратам, например, АТФ-аза катализирует расщепление только АТФ, а киназа фосфоорилазы фосфорилирует только фосфоорилазу. Ферментативная активность может регулироваться активаторами (повышаться) и ингибиторами (понижаться).

Ферменты могут быть простыми белками (рибонуклеаза), они состоят только из белковой части. Большинство ферментов – это сложные белки, которые состоят из белковой части – апофермента и небелковой – кофактора. По химической природе кофакторы могут быть неорганическими (металлы) или органическими (коферменты). Коферменты – это органические вещества, в состав которых часто входят витамины или их производные. Комплекс

апофермента с кофактором называется холоферментом. Если кофактор с апоферментом связан прочной ковалентной связью, его называют простетической группой. Коферментами являются НАД, НАДФ, КоА. Простетические группы – это, например, ФАД, ФМН, биотин, гем. Роль кофакторов в катализе очень разнообразна. В целом они, как правило, переносчики каких-либо химических групп.

Ферменты присутствуют во всех живых клетках и способствуют превращению одних веществ в другие. Ферменты выступают в роли катализаторов практически во всех биохимических реакциях, протекающих в живых организмах. Подобно всем катализаторам, ферменты ускоряют как прямую, так и обратную реакцию, понижая энергию активации процесса. Химическое равновесие при этом не смещается ни в прямую, ни в обратную сторону. Отличительной особенностью ферментов по сравнению с небелковыми катализаторами является их высокая специфичность – константа связывания некоторых субстратов с белком может достигать 10^{-10} моль/л и менее. Каждая молекула фермента способна выполнять от нескольких тысяч до нескольких миллионов «операций» в секунду. Например, одна молекула фермента реннина, содержащегося в слизистой оболочке желудка теленка, створаживает около 10^6 молекул казеиногена молока за 10 мин при температуре 37°C . При этом эффективность ферментов значительно выше эффективности небелковых катализаторов – ферменты ускоряют реакцию в миллионы и миллиарды раз, небелковые катализаторы – в сотни и тысячи раз. Обычно ферменты именуют по типу катализируемой реакции, добавляя суффикс «-аза» к названию субстрата (например, лактаза – фермент, участвующий в превращении лактозы).

Таким образом, у различных ферментов, выполняющих одну функцию, будет одинаковое название или один и тот же фермент имеет два и более названий. Такие ферменты различают по другим свойствам, например, по оптимальному рН (щелочная фосфатаза) или локализации в клетке (мембранная АТФаза). Многие ферменты, например пепсин и трипсин, имеют исторически сложившиеся тривиальные названия, не связанные с названиями их субстратов. Из-за этих и других затруднений, а также вследствие всевозрастающего числа вновь открываемых ферментов было принято международное соглашение о создании систематической номенклатуры и классификации ферментов.

По типу катализируемых реакций ферменты подразделяются на 6 классов согласно иерархической классификации ферментов (КФ, ЕС – Enzyme Comission code). Классификация была предложена Международным союзом биохимии и молекулярной биологии (International Union of Biochemistry and Molecular Biology). Каждый класс содержит подклассы, так что фермент описывается совокупностью четырех чисел, разделенных точками. Например, пепсин имеет название ЕС 3.4.23.1: первое число грубо описывает механизм реакции, катализируемой ферментом; второе число в наименовании фермента отражает подкласс; третье – подподкласс; а четвертое – порядковый номер фермента в его подподклассе.

Характеристика основных классов ферментов:

ЕС (КФ) 1: оксидоредуктазы, катализирующие перенос электронов, т. е. окисление или восстановление (окислительно-восстановительные ферменты), катализируют окислительно-восстановительные реакции (дегидрогеназы – отнимают водород от конкретного вещества и передают другому веществу, оксидазы – отнимают водород от конкретного вещества и передают кислороду воздуха). Например, каталаза, алкогольдегидрогеназа;

ЕС (КФ) 2: трансферазы, катализирующие перенос химических групп с одной молекулы субстрата на другую (ферменты переноса), катализируют перенос целых атомных группировок (остатков фосфорной кислоты, остатков моносахаридов и аминокислот, аминных или метильных групп) от одного соединения к другому. Например, фосфотрансфераза, аминотрансфераза;

ЕС (КФ) 3: гидролазы, катализирующие гидролиз химических связей, т. е. катализируют расщепление сложных органических веществ при участии воды до более простых, эстеразы катализируют реакции расщепления и синтеза сложных эфиров, карбогидралазы катализируют гидролиз и синтез гликозидов, ди-, три-, полисахаридов. Например, эстеразы, пепсин, трипсин, амилаза, липопроотеинлипаза.

ЕС (КФ) 4: лиазы, катализирующие разрыв химических связей без гидролиза с образованием двойной связи в одном из продуктов, а также обратные реакции, т. е. катализируют реакции негидролитического отщепления каких-либо групп от субстратов, при этом образуются двойные связи или, наоборот, происходит присоединение группы к двойной связи: катализируют отщепление воды, углекислого газа, аммиака.

ЕС (КФ) 5: изомеразы, катализирующие структурные или геометрические изменения в молекуле субстрата с образованием изомерных форм, т. е. катализируют превращение органических соединений в их изомеры;

ЕС (КФ) 6: лигазы, катализирующие образование химических связей С–С, С–S, С–О и С–N между субстратами за счет реакций конденсации, сопряженных с гидролизом АТФ. По-другому их называют синтетазы – катализируют соединение двух молекул, связанное с расщеплением пирофосфатной связи в аденозинтрифосфорной кислоте (АТФ) или других нуклеозидтрифосфатах. Например, лигаза.

Активность фермента измеряется единицей ферментов Е, т. е. количеством фермента, которое катализирует превращение 1 мкмоль субстрата в 1 мин при заданных условиях: температура – 30°C; рН среды, концентрация субстрата – оптимальны для данного фермента (1.2).

Удельная активность фермента выражается в скорости накопления продукта или скорости убыли субстрата в пересчете на количество материала, содержащего фермент (1.3).

$$E = \frac{1 \text{ мкмоль превращенного субстрата}}{1 \text{ мин}}; \quad (1.2)$$

$$E_y = \frac{\text{Количество превращенного субстрата (мкмоль)}}{\text{Время (мин)} \times \text{количество белка (мг)}}, \quad (1.3)$$

где E – активность фермента; 1 мин – время работы фермента; E_y – удельная активность фермента.

В практике обычно используют единицы количества вещества – моль (и его производные ммоль, мкмоль), грамм (кг, мг); единицы времени – с, мин, ч; единицы массы или объема – грамм (производные кг, мг), литр (мл). В настоящее время в основном применяются единицы активности – катал (моль/с), международная единица активности (МЕ, Unit) соответствует мкмоль/мин. Таким образом, активность фермента может выражаться, например: миллимоль/секунда·литр, грамм/час·литр, МЕ/литр, катал/миллилитр и т. д. Знание активности ферментов необходимо не только для прогнозирования результатов их деятельности в продовольственном сырье и пищевых продуктах, но и для подбора оптимального режима ферментализации при практическом использовании в разных технологических процессах изготовления продуктов питания (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Применение ферментов в пищевой промышленности

Пищевая отрасль	Используемые ферменты	Применение
Пивоварение	Амилаза, глюконазы, протеазы	Расщепление полисахаридов и белков в солоде
	Бетаглюканазы	Улучшение фильтрационных характеристик сусле и пива
	Амилоглюкозидаза и пуллуланазы	Производство низкокалорийного пива и регуляция ферментируемости
	Ацетолактатдекарбоксилаза (ALDC)	Повышение эффективности ферментации за счет снижения диацетила
Молочная	Реннин	Гидролиз белков в производстве сыров
	Липазы	Производство сыра камамбер и голубых сыров, таких как рокфор
Сахарная, соковая, кондитерская	Амилазы	Производство сахара из крахмала (приготовление кукурузного сиропа с высоким содержанием фруктозы)
	Протеазы	Снижение уровня белка в муке для приготовления печенья
	Трипсин	Производство гипоаллергенного детского питания
	Целлюлазы, пектиназы	Очистка фруктовых соков
Кулинария	Папаин	Размягчение мяса для приготовления пищи

1.1.5. Гормоны

Гормоны (др.-греч. *ὁρμῶν* – «двигаю, побуждаю, привожу в движение») – биологически активные вещества органической природы, вырабатываемые в специализированных клетках желез внутренней секреции (эндокринные железы), поступающие в кровь, связывающиеся с рецепторами клеток-мишеней и оказывающие регулирующее влияние на обмен веществ и физиологические функции. Гормоны служат гуморальными (переносимыми с кровью) регуляторами определенных процессов в различных органах. Существуют и другие определения, согласно которым трактовка понятия «гормон» более широка: «сигнальные химические вещества, вырабатываемые клетками тела и влияющие на клетки других частей тела».

Гормоны оказывают дистантное действие: попадая с потоком крови в различные органы и системы организма, они регулируют деятельность органа, расположенного вдали от синтезирующей их железы, при этом даже очень малое количество гормонов способно вызвать значительные изменения деятельности органа.

В соответствии с современными представлениями, для гормонов характерны специфические особенности их биологического действия:

- эффекты гормонов проявляются в крайне малых их концентрациях – в диапазоне от 10^{-6} до 10^{-12} М;

- реализация гормонального воздействия осуществляется через белковые рецепторы и внутриклеточные вторичные посредники, называемые также мессенджерами;

- эффекты гормонов осуществляются посредством изменения скорости либо ферментативного катализа, либо синтеза ферментов, хотя сами гормоны не являются ни ферментами, ни коферментами;

- центральная нервная система контролирует действие гормонов и оказывает определяющее влияние на их воздействие на организм;

- между гормонами и железами внутренней секреции, их вырабатывающими, существует как прямая, так и обратная связь, объединяющая их в общую систему.

В настоящее время имеются довольно подробные сведения о химической природе практически всех гормонов, известных науке, однако общие принципы их номенклатуры все еще не разработаны. Структуру того или иного гормона точно отражает его химическое наименование, однако оно, как правило, громоздко и сложно в употреблении и запоминании. Чаще применяются тривиальные наименования, которые указывают на источник (к примеру, инсулин) или на функцию гормона в организме (например, пролактин).

В том, что касается подразделения гормонов на классы, известна, в частности, анатомическая классификация, которая ассоциирует гормоны с конкретными железами, выполняющими их синтез. На этом основании выделяют гормоны гипоталамуса, гипофиза, надпочечников и т. п. Данная классификация не вполне надежна, поскольку гормоны могут, к примеру, синтезироваться в одной железе, а выбрасываться в кровь – из другой. В связи с этим была разработана альтернативная система, которая опирается на химическую природу гормонов.

По химическому строению известные гормоны позвоночных делят на основные классы:

- стероиды;

- производные полиеновых (полиненасыщенных) жирных кислот;

- производные аминокислот;
- белково-пептидные соединения.

Примеры гормонов:

инсулин – при недостатке повышается содержание глюкозы в крови, глюкоза выделяется с мочой – сахарный диабет.

тироксин – гормон щитовидной железы, повышает основной обмен, тканевое дыхание, необходим для нормального зародышевого развития животного организма.

Гормоны характерны для животного организма. Есть данные о наличии гормональных веществ у растений. Фитогормоны – низкомолекулярные органические вещества, вырабатываемые растениями и имеющие регуляторные функции.

Действуют в очень низких концентрациях (порядка 10^{-11} моль/л), вызывают различные физиологические и морфологические изменения в чувствительных к их действию частях растений. В отличие от животных, растения не имеют специальных органов, синтезирующих гормоны; вместе с тем отмечается большая насыщенность гормонами некоторых органов по сравнению с другими. Так, ауксинами богаче всего верхушечные меристемы стебля, гиббереллинами – листья, цитокининами – корни и созревающие семена. Фитогормоны обладают широким спектром действия. Фитогормоны регулируют многие процессы жизнедеятельности растений: прорастание семян, рост, дифференциацию тканей и органов, цветение, созревание плодов и т. п. Образующиеся в одном органе (или его части) растения, фитогормоны обычно транспортируются в другой (или его часть).

Завершая рассмотрение основных сведений о белке и белковых соединениях, следует еще раз подчеркнуть важность белоксодержащих пищевых продуктов для поддержания необходимого уровня здоровья человека.

1.2. Липиды

Липиды (от греч. *lipos* – «жир») – обширная группа органических соединений, включающая **жиры** и **жироподобные вещества**. Молекулы простых липидов состоят из спирта и жирных кислот, сложных – из спирта, высокомолекулярных жирных кислот и других

компонентов. К липидам относятся некоторые жирорастворимые вещества, в молекулы которых не входят жирные кислоты (например, терпены, стерины). Согласно нестрогому определению, липиды – это гидрофобные органические вещества, растворимые в органических растворителях. Более правильное химическое определение гласит: липиды – это гидрофобные или амфифильные молекулы (обладающие одновременно лиофильными, в частности гидрофильными, и лиофобными, например гидрофобными, свойствами), полученные путем конденсации тиоэфиров и изопренов. Вместе с белками и углеводами липиды составляют основную массу органического вещества живых клеток и тканей и обладают общим свойством – растворимостью в неполярных растворителях. По способности к гидролизу данная группа биоорганических веществ делится на две большие группы:

– омыляемые (сложные эфиры спиртов и жирных кислот: триглицериды, фосфолипиды и т. д.);

– неомыляемые липиды (холестерин, витамины *A, E, D, K*).

Липиды при комнатной температуре (+20°C) могут находиться в твердом (жиры) или жидком (масла) состоянии. В основном жирами являются липиды животного (теплокровные) происхождения (исключение, например, триглицериды какао и ореха кокоса). Маслами являются липиды растений, холоднокровных животных (например, рыбы). Современная классификация основывается на структурных и биосинтетических особенностях разных липидов. Так, в соответствии с химическим строением среди липидов различают: 1) жирные кислоты и их окисленные производные; 2) глицеролипиды: моно-, ди- и триацилглицерины (триглицериды, или жиры), их алкил- и алкениланоалогии, а также гликозилглицериды и фосфолипиды, липиды, содержащие вместо глицерина диолы (этилен-, пропилен- и бутиленгликоли), воски; 3) сфинголипиды, в молекулах которых вместо глицерина присутствуют аминоспирты (аминодиолы) с длинной углеводородной цепью – сфингозины. Предложена также классификация, по которой все липиды делятся на нейтральные (в том числе воски, триглицериды и диольные липиды), фосфолипиды и гликолипиды. Также существует классификация деления липидов на простые (эфиры жирных кислот и спиртов) и сложные (глицерофосфаты, глицерингликолипиды, сфингогликолипиды и сфингофосфолипиды).

Липиды выполняют самые разнообразные **функции**: снабжают энергией клеточные процессы, формируют клеточные мембраны, участвуют в межклеточной и внутриклеточной сигнализации. Липиды служат предшественниками ряда химических веществ, играющих важную роль в живом организме. Некоторые липиды используются для создания наночастиц, например липосом (рис. 1.5).

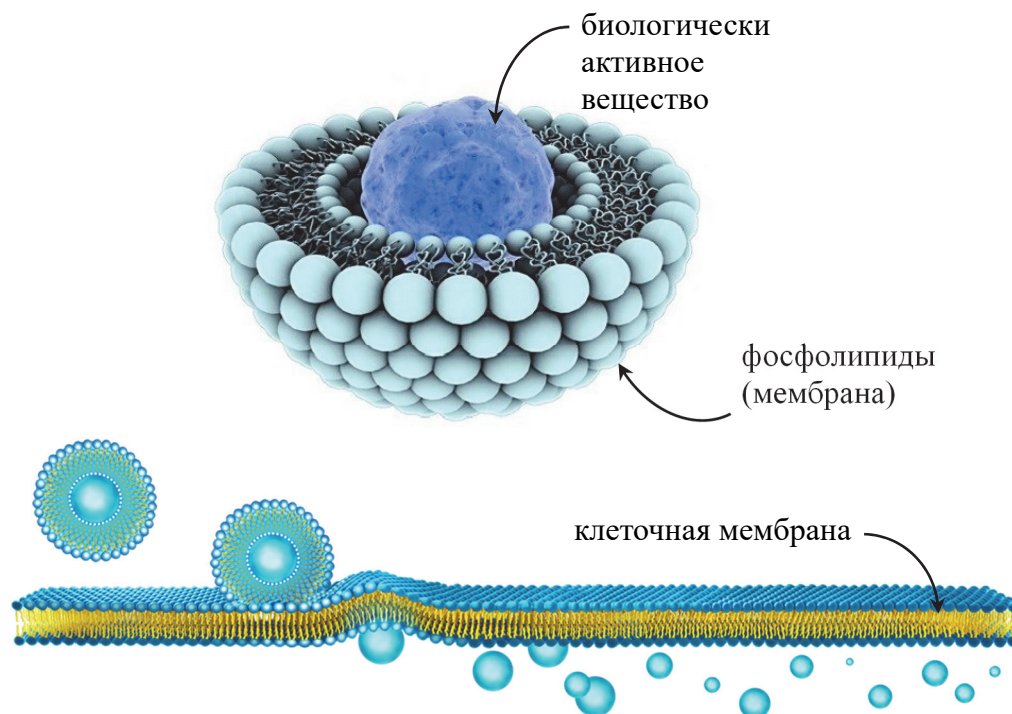


Рис. 1.5. Схематическое изображение липосомы

К **биологическим функциям** липидов следует отнести энергетическую (резервную), структурную, регуляторную, защитную (амортизационную) функции и функцию теплоизоляции. Многие липиды, в первую очередь триглицериды, используются организмом как *источник энергии*. При полном окислении 1 г жира выделяется около 9 ккал энергии, примерно вдвое больше, чем при окислении 1 г углеводов (4,1 ккал). Существуют две основные причины, по которым именно эти вещества лучше всего подходят для выполнения такой функции. Во-первых, жиры содержат остатки жирных кислот, уровень окисления которых очень низкий (почти такой же, как у углеводородов нефти). Поэтому полное окисление жиров до воды и углекислого газа позволяет получить более чем

в 2 раза больше энергии, чем окисление той же массы углеводов. Во-вторых, жиры – гидрофобные соединения, поэтому организм, запасая энергию в такой форме, не должен нести дополнительную массу воды, необходимую для гидратации, как в случае с полисахаридами, на 1 г которых приходится 2 г воды. Однако триглицериды – это «более медленный» источник энергии, чем углеводы. Жиры запасаются в форме капель в цитоплазме клетки. У позвоночных имеются специализированные клетки – адипоциты, почти полностью заполненные большой каплей жира. Также большое содержание триглицеридов находится в семенах многих растений. Мобилизация жиров в адипоцитах и клетках прорастающих семян происходит благодаря ферментам липазам, которые расщепляют их до глицерина и жирных кислот.

Ряд липидов выполняет *структурные функции*. Например, фосфолипиды составляют основу биослоя клеточных мембран, холестерин – регулятор текучести мембран. Воски образуют кутикулу на поверхности надземных органов (листьев и молодых побегов) растений. Все живые клетки окружены плазматическими мембранами, основным структурным элементом которых является двойной слой липидов (липидный биослой). На 1 мкм² биологической мембраны содержится около миллиона молекул липидов. Основными структурными липидами, которые входят в состав мембран животных клеток, являются глицерофосфолипиды и холестерин, способствующие увеличению их (мембран) непроницаемости (рис. 1.6). В мембранах растительных клеток холестерин отсутствует, однако встречается другой стероид – эргостерол.

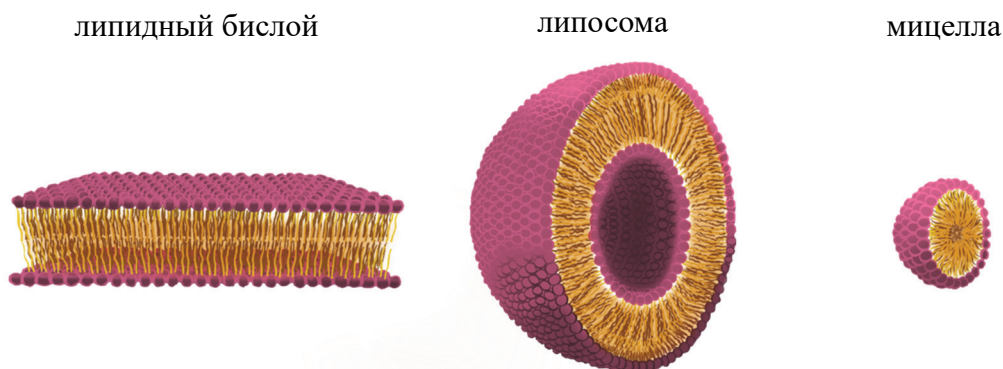


Рис. 1.6. Самоорганизация фосфолипидов: сферические липосомы, мицеллы и липидный бислой

Некоторые липиды играют активную роль в *регуливании* жизнедеятельности отдельных клеток и организма в целом. В частности, к липидам относятся стероидные гормоны, секретируемые половыми железами и корой надпочечников. Эти вещества переносятся кровью по всему организму и влияют на его функционирование.

Среди липидов есть также и вторичные посредники – вещества, участвующие в передаче сигнала от гормонов или других биологически активных веществ внутри клетки. Производные арахидоновой кислоты – эйкозаноиды участвуют в регуляции широкого спектра физиологических функций, в частности, они необходимы для работы половой системы, для индукции и прохождения воспалительного процесса (в том числе обеспечение таких его аспектов, как боль и повышенная температура), для свертывания крови, для регуляции кровяного давления, а также они могут быть задействованы в аллергических реакциях.

Рассмотрим характеристику некоторых представителей липидов, чаще всех встречающихся в пищевых продуктах.

Жирные кислоты содержат, как правило, неразветвленную цепь, состоящую из четного числа атомов углерода (от 4 до 24, включая карбоксильный углерод). Жирные кислоты условно делятся на низшие (до 7 атомов углерода), средние (8–12 атомов углерода) и высшие (более 12 атомов углерода). Карбоновые кислоты могут содержать циклические группы, и иногда их также относят к жирным кислотам. Карбоновые кислоты, начиная с масляной (C₄), считаются жирными, в то же время жирные кислоты, полученные непосредственно из животных жиров, имеют в основном 8 и более атомов углерода. Большая группа жирных кислот (свыше 400 различных структур) находится в растительных маслах семян, однако распространены из них только 10–12.

Различают насыщенные (с прямой и разветвленной цепью), ненасыщенные (с одной, двумя, тремя, четырьмя, пятью двойными связями), циклические жирные кислоты и оксикислоты (насыщенные и ненасыщенные). *Насыщенные жирные кислоты* содержат только одинарные связи между атомами углерода. Такие их представители, как пальмитиновая, стеариновая, миристиновая и другие, используются в основном как энергетический материал и содержатся в наибольших количествах в животных жирах, что

определяет высокую температуру плавления этих жиров и их твердое состояние. **Ненасыщенные жирные кислоты** бывают:

1) *мононенасыщенные* (олеиновая) – с одной двойной (или моноеновые) или тройной связью между атомами углерода;

2) *полиненасыщенные* (линолевая, линоленовая, арахидоновая, клупанодоновая) – с двумя и более двойными (или полиеновые) или тройными связями, либо теми и другими, находящимися, как правило, через CH_2 -группу.

Типичным представителем мононенасыщенных жирных кислот является *олеиновая кислота*, содержание которой в оливковом масле составляет 65%, в маргаринах – 43–47%, свином жире – 43%, говяжьим – 37%, в сливочном масле – 23%. Среди мононенасыщенных жирных кислот следует отметить *эруковую кислоту*, которая в виде триглицерида содержится в растениях семейства крестоцветных. Наибольшее ее количество обнаружено в рапсе, горчице и сурепке. Негативные физиологические свойства эруковой кислоты делают растительные масла с высоким ее содержанием малоприменимыми для пищевых целей, поэтому в странах Евросоюза и Евразийского экономического союза (ЕАЭС) данное соединение подлежит контролю в рапсовом масле (не более 3%) и в растительных маслах из семян других крестоцветных (не более 5%).

К полиненасыщенным жирным кислотам (ПНЖК) относят линолевую, линоленовую и арахидоновую кислоты. Последняя, содержащая четыре двойные связи, широко распространена в животных тканях и обладает наибольшей биологической активностью. Содержание арахидоновой кислоты в пищевых продуктах незначительно и составляет, %: в мозгах – 0,5; яйцах – 0,1; свиной печени – 0,3; сердце – 0,2. Недостаточное содержание в организме полиненасыщенных жирных кислот приводит к прекращению роста, некротическим поражениям кожи, изменениям проницаемости капилляров, другим патологическим нарушениям. Отмечено, что ПНЖК являются предшественниками в биосинтезе гормоноподобных веществ – простогландинов, которые препятствуют отложению холестерина в стенках кровеносных сосудов, предотвращая тем самым образование атеросклеротических бляшек. Применение полиненасыщенных жирных кислот эффективно при лечении гипертонической болезни, тромбозов, сахарного диабета, бронхиальной астмы, кожных заболеваний, иммунодефицитных состояний.

Некоторые жирные кислоты являются *незаменимыми*, т. е. они не могут синтезироваться в организме. Для человека таковыми считаются жирные кислоты, содержащие, по крайней мере, одну двойную связь на расстоянии более девяти атомов углерода от карбоксильной группы. Типичным представителем таких кислот считают линолевую, основным источником которой является подсолнечное масло, состоящее на 60% из данной кислоты. Из линолевой кислоты при участии витамина *B*₆ образуется арахидоновая и другие полиненасыщенные кислоты, функции которых менее изучены. Оптимальная потребность организма в линолевой кислоте составляет 10 г в сутки, минимальная – от 2 до 6 г. Среднее содержание полиненасыщенных жирных кислот в рационе, в пересчете на линолевую кислоту, должно составлять 4–6% от общей калорийности пищи. Избыток полиненасыщенных жирных кислот, как и недостаток, отрицательно сказывается на здоровье человека.

Различают два семейства незаменимых ПНЖК: омега-3 (ω 3) (имеют двойную углерод-углеродную связь в омега-3-позиции, т. е. после третьего атома углерода, считая от метилового конца цепи жирной кислоты) и омега-6 (ω 6) (имеют двойную углерод-углеродную связь в омега-6-позиции, т. е. между шестым и седьмым атомами углерода, считая от метилового конца цепи жирной кислоты). Организм способен преобразовывать кислоты одного семейства в другое, но синтезировать их из более простых соединений не может. Семейство ω 3 включает одиннадцать полиненасыщенных жирных кислот, основными из которых являются α -линоленовая, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты. В составе ω 6 также одиннадцать полиненасыщенных жирных кислот, в том числе линолевая, γ -линоленовая, арахидоновая кислоты. Рекомендуемое соотношение омега-6 и омега-3 (ω 6 : ω 3) в рационе здорового человека – от 1 : 1 до 4 : 1 (по другим данным, 10 : 1; 5 : 1; 3 : 1), для лечебного питания – от 3 : 1 до 5 : 1. Природными источниками ω 3 и ω 6 являются растительные масла из зародыша пшеницы и семян льна, рыжиковое, горчичное, подсолнечное, соевое и арахисовое масла, а также масла из грецкого ореха и миндаля, рыбный жир, рыба жирных и полужирных пород (лосось, макрель сельдь, сардины, форель, тунец) и моллюски. Вследствие наличия двойной связи у молекул жирных кислот возможна *цис-транс*-изомерия (рис. 1.7).

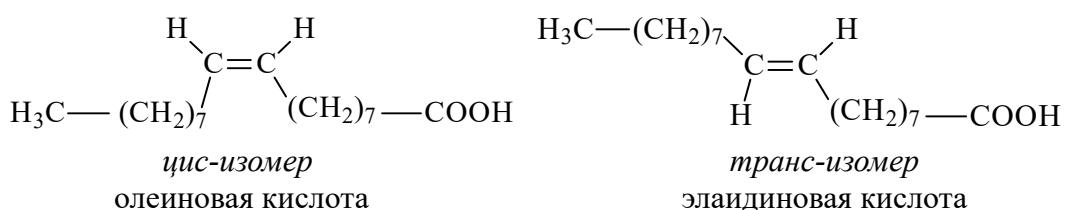


Рис. 1.7. Цис- и трансизомеры жирных кислот

Транс-изомеры ненасыщенных жирных кислот отличаются от их *цис*-изомеров структурой и физическими свойствами. Так, у *цис*-изомеров межмолекулярные силы взаимодействия сравнительно невелики, поэтому агрегатное состояние у таких кислот жидкое. Молекулы *транс*-изомеров более вытянуты, они могут более плотно примыкать друг к другу, межмолекулярные силы взаимодействия значительны, поэтому агрегатное состояние – твердое. *Транс*-изомеры не превращаются в обычные метаболиты *цис*-кислот и влияют на эффективность их образования. Например, из *транс-транс*-линоленовой кислоты не образуется арахидоновая кислота (важнейший компонент биомембран). Излишек *транс*-изомеров приводит к дефициту незаменимых жирных кислот, повышает риск кардиологических болезней, способствует увеличению содержания холестерина в крови. *Транс*-изомеры присутствуют в молочных продуктах, мясе и жире крупного рогатого скота, продуктах масложировой промышленности (маргарине, фритюрных жирах, кондитерской глазури, заменителях масла какао) и не содержатся в растительных маслах, жире диких животных, морских млекопитающих и беспозвоночных, морских и речных рыб.

С учетом отрицательного действия *транс*-изомеров жирных кислот на организм человека существуют разные способы его предупреждения. Например, в Европейском союзе установлены следующие нормативы их содержания в маргаринах и жировых продуктах: для розничной торговли – не более 1%, для промышленной переработки – не более 5%. В США подобные нормативы отсутствуют, но изготовители жиросодержащей продукции обязаны указывать в маркировке содержание *транс*-изомеров жирных кислот. Комиссия Codex Alimentarius рекомендует маркировать жировые продукты, безопасные в отношении содержания *транс*-изомеров, одной из следующих фраз: «низкое содержание насыщенных жиров»; «пониженный холестерин»; «без холестерина».

В нашей стране для некоторых жиросодержащих продуктов установлены предельно допустимые концентрации *транс*-изомеров жирных кислот (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Предельно допустимые концентрации *транс*-изомеров жирных кислот в пищевых продуктах

Продукция	Допустимые уровни, % (от содержания жира в продукте), не более
Эквиваленты масла какао, улучшители масла какао SOS-типа, заменители масла какао POP-типа	2
Заменители молочного жира, мягких и жидких маргаринов, спреды растительно-жировые, смеси топленые растительно-жировые	8
Спреды растительно-сливочные, смеси топленые растительно-сливочные	8

Для изучения индивидуального состава жирных кислот, их строения и содержания в продовольственном сырье и пищевых продуктах применяются следующие методы испытаний: хроматография (газовая, газожидкостная, жидкостная, в том числе высокоэффективная); капиллярный электрофорез и тонкослойная хроматография с денситометрией или с колориметрией.

Другим представителем простых липидов, содержащимся в пищевых продуктах, являются *жирные спирты*, в том числе стерины – одноатомные спирты сложного строения, широко распространенные в живой природе. Они бывают животного (зоостерины) и растительного (фитостерины) происхождения. В природных источниках в наибольшем количестве встречаются такие стерины, как холестерин ($C_{27}H_{45}OH$), эргостерин ($C_{28}H_{43}OH$), стигмастерин ($C_{29}H_{47}OH$) и β -ситостерин ($C_{29}H_{49}OH$). Стерины, являющиеся другим основным компонентом клеточных мембран, выполняют важные функции в живом организме. Стерины переносят белки через систему кровотока во все органы и ткани, а холестерин участвует в обмене желчных кислот и гормонов.

Холестерин, или *холестерол*, – органическое соединение, природный жирный (липофильный) спирт (рис. 1.8), содержащийся в клеточных мембранах всех живых организмов, за исключением безъядерных (прокариотов). Он нерастворим в воде, но растворим в жирах и органических растворителях. Около 80% холестерина

вырабатывается самим организмом, остальные 20% поступают с пищей. Больше всего холестерина содержится в следующих продуктах, %: яйцах – 0,57; сливочном масле – 0,17–0,27; печени – 0,13–0,27; мясе – 0,06–0,10; рыбе – до 0,3. Имеются исследования, подтверждающие присутствие этого вещества и в растениях, но в очень малых количествах (например, в мякоти клубней картофеля – около 2 мкг/г сырой ткани). Холестерин является предшественником в биосинтезе витамина *D*, ряда гормонов, принимает участие в обмене желчных кислот и других процессах жизнедеятельности организма. В обычном суточном рационе человека содержится в среднем 500 мг холестерина. Известно, что высокий уровень холестерина в крови является фактором риска возникновения атеросклероза, поэтому при соответствующих заболеваниях рекомендуют ограничить потребление пищевых продуктов с высоким содержанием холестерина.

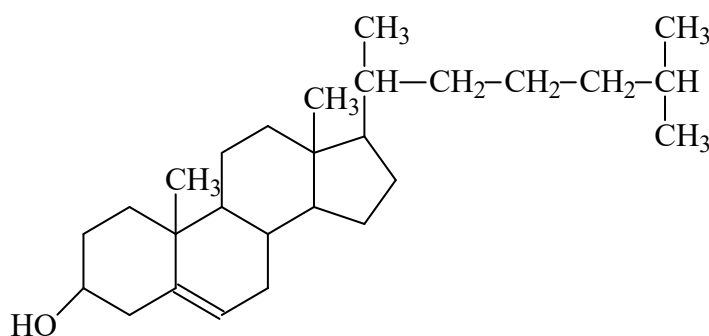


Рис. 1.8. Химическая формула холестерина

β-ситостерин – вещество растительного происхождения, фитостерин, похожий по структуре на холестерин, представляет собой белый воскообразный порошок с характерным запахом. Основными источниками *β*-ситостерина являются растительное масло, орехи, авокадо. *β*-ситостерин обладает способностью образовывать с холестерином нерастворимые комплексы, что препятствует всасыванию холестерина и снижает его уровень в крови. Кроме этого, по данным ряда исследований, он способен снижать доброкачественную гиперплазию предстательной железы.

Также распространены в растительном и животном мире **воски** – сложные эфиры высших высокомолекулярных спиртов и высших жирных кислот. Это историческое название совершенно разных по составу и происхождению продуктов, преимущественно природных, которые по свойствам близки пчелиному воску. Отличие восков от

жиров заключается в том, что вместо глицерина в их состав входят стеринны или высшие алифатические спирты с четным числом атомов углерода ($C_{(16-36)}$). Воски – очень устойчивые соединения, нерастворимы в воде, хорошо растворимы в бензине, хлороформе и эфире. По **происхождению** воски бывают:

1) животные: пчелиный; шерстяной (ланолин), предохраняющий шерсть и кожу животных от влаги, засорения и высыхания; спермацетовый, добываемый из спермацетового масла кашалотов;

2) растительные (покрывают тонким слоем листья, стебли, плоды, предохраняя их от смачивания водой, высыхания, действия вредных микроорганизмов (в оболочках семян подсолнечника, сои и риса содержится 0,20; 0,01 и 0,05% восков соответственно); иногда в качестве резервных липидов входят в состав семян (так называемое «масло жожоба»);

3) ископаемые (озокерит), состоящие, главным образом, из предельных углеводородов.

Воски зарегистрированы в качестве пищевых добавок под номерами E901–E903 и применяются только для защиты пищевых продуктов (фруктов, сыров) при транспортировании.

Среди сложных липидов интерес для пищевой промышленности представляют *триглицериды* и *фосфолипиды*.

Триглицериды (жиры) – запасные вещества, накапливающиеся в очень больших количествах в семенах и плодах многих растений (табл. 1.6), используемых в жировой промышленности. В живых организмах выполняют, прежде всего, структурную и энергетическую функции: они являются основным компонентом клеточной мембраны, а в жировых клетках сохраняется энергетический запас организма.

Таблица 1.6

Среднее содержание жира в семенах и плодах различных культурных растений

Культура	Содержание жира, %	Культура	Содержание жира, %
Соя	20	Кунжут	53
Арахис	49	Мак	45
Подсолнечник	24–38	Маслина	50
Лен	29	Пшеница, рожь, ячмень	2
Конопля	30	Кукуруза	5
Хлопчатник	23	Горох, фасоль	2
Горчица	60	Клещевина	60

Триглицериды бывают животного и растительного происхождения. Типичными представителями животных жиров являются масло из коровьего молока, говяжье, баранье и свиное сало, а также костный жир, среди растительных жиров – подсолнечное, кукурузное, рапсовое, соевое, оливковое масла. Ниже представлен перечень пищевых продуктов и содержание жиров в них (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Содержание триглицеридов (жиров) в пищевых продуктах

Пищевые продукты	Содержание жиров	Пищевые продукты	Содержание жиров
Яйцо куриное, %		Мясо кур, г/100 г	
Целое	11,8	Филе	1,9
Желток	32,6	Окорочка	11
Крупы, мг/100 г		Сыры, г/100 г	
Рисовая	0,7	Голландский	30,5
Гречневая	3,0	Брынза	20,1
Овсяная	6,6	Плавленный колбасный копченый	19,0
Орехоплодные, %		Масло из коровьего молока, %	
Лещина	58–60	Вологодское	82,5
Фундук	64–72	Крестьянское	72,5
Грецкий орех	58–75	Любительское	78
Фисташки	55–68	Шоколадное	62
Кедровые орехи	55–60	Топленое	99
Мясо, %		Рыба, %	
Говядина	2–23	Палтус	13,8–16,1
Баранина	6,4–26,0	Треска	0,6
Конина	2,5–10,0	Путассу	0,9
		Сельдь тихоокеанская	22,0
Свинина:		Сельдь атлантическая:	
– беконная	27,8	– летняя	6,5
– мясная	33,3	– осенняя	19,5
– жирная	49,3	Хек	2,2
Крольчатина	11	Морской окунь	5,2
		Семга	15,6
		Кета	5,6–12,1
		Горбуша	8,3
		Карп	5,3
		Щука	0,4

По химическому строению триглицериды (жиры) – смесь сложных эфиров (глицеридов) трехатомного спирта глицерина и высокомолекулярных жирных кислот. По виду жирных кислот триглицериды делятся на простые и смешанные. Простые жиры содержат остатки только одной жирной кислоты, смешанные – остатки разных кислот.

Природные триглицериды чаще всего содержат следующие жирные кислоты: *насыщенные* (алкановые кислоты: стеариновая ($C_{17}H_{35}COOH$), маргариновая ($C_{16}H_{33}COOH$), пальмитиновая ($C_{15}H_{31}COOH$), капроновая ($C_5H_{11}COOH$), масляная (C_3H_7COOH)) и *ненасыщенные* (алкеновые кислоты: пальмитолеиновая ($C_{15}H_{29}COOH$, одна двойная связь), олеиновая ($C_{17}H_{33}COOH$, одна двойная связь); алкадиеновые кислоты: линолевая ($C_{17}H_{31}COOH$, две двойные связи); алкатриеновые кислоты: линоленовая ($C_{17}H_{29}COOH$, три двойные связи), арахидоновая ($C_{19}H_{31}COOH$, четыре двойные связи, реже встречается)).

О качестве и безопасности жиров на стадиях получения, переработки и хранения судят по следующим показателям:

1) кислотному числу – массе КОН (мг), необходимой для нейтрализации 1 г жира (данный показатель характеризует содержание в жире свободных кислот);

2) перекисному числу – количеству миллиграммов-эквивалентов активного кислорода, содержащегося в 100 г жира;

3) йодному числу – массе йода (г), присоединяющегося к 100 г жира, которое характеризует содержание ненасыщенных соединений;

4) числу омыления – массе КОН (мг), необходимой для взаимодействия со свободными кислотами и сложными эфирами, содержащимися в 1 г жира;

5) содержанию неомыляемых продуктов – веществ, не гидролизующихся под действием щелочей и образующих при этом нерастворимый в воде остаток.

Вследствие протекания процессов *гидролиза, окислительного и биохимического прогоркания* при хранении и технологической переработке жиры превращаются в другие соединения (углеводороды, кетоны, альдегиды, эпоксиды, спирты, жирные кислоты и др.), которые не только ухудшают запах, цвет и вкус этих продуктов, но могут быть и опасными для здоровья человека. Вышеперечисленные показатели позволяют судить о глубине протекания этих процессов, а следовательно, принять верное решение в отношении качества и безопасности жиросодержащих пищевых продуктов.

В результате *гидролиза*, который инициируется кислородом воздуха, водой, ферментами и микроорганизмами, из твердых и жидких жиров образуются глицерин и жирные кислоты. *Окислительное прогоркание* вызывают те же факторы, что и гидролиз, а также свет, при этом образуются первичные и вторичные продукты окисления, присутствующие одновременно. *Биохимическим прогорканием*, которое характерно для жиров, содержащих значительное количество воды и примесей белков и углеводов (например, масло из коровьего молока), называют процессы взаимодействия глицерина, жирных кислот с белками и углеводами, в результате которых образуются липид-белковые и липид-углеводные комплексы. Все указанные реакции проходят одновременно, а их глубина и интенсивность зависят от химического состава жиров, характера сопутствующих, добавляемых и образующихся веществ (например, антиоксидантов, меланоидинов), влажности, присутствия микроорганизмов, активности ферментов, контакта с кислородом воздуха. Согласно теории А. Н. Баха и Н. Н. Семенова, процесс окисления жиров включает следующие основные стадии:

- инициирование цепных реакций;
- образование свободных (пероксильных) радикалов (гидропероксиды, пероксиды жирных кислот);
- развитие цепи;
- вырожденное разветвление цепи;
- самопроизвольный обрыв цепи;
- образование вторичных продуктов окисления (окси- и эпоксисоединения, спирты, альдегиды, кетоны, кислоты и их производные с углеродной цепочкой различной длины).

Для жиров, в которых преобладают насыщенные жирные кислоты, характерно кетонное прогоркание, а для жиров, в которых преобладают ненасыщенные жирные кислоты, – альдегидное. Считается, что первичные продукты окисления (гидропероксиды жиров) на вкус и запах не влияют, а соединениями, вызывающими привкус и запах прогорклости, являются летучие вторичные продукты окисления, образующиеся при распаде этих гидропероксидов. Наименее устойчивыми при хранении являются: коровье масло, маргарин, куриный жир.

Для определения содержания триглицеридов (жиров) в продовольственном сырье и пищевых продуктах применяются разные

стандартизированные методы, в которых используются следующие приемы извлечения жира из пищевых продуктов:

- многократное экстрагирование растворителем (аппарат Сокслета), отгонка растворителя, высушивание остатка и взвешивание;
- экстракция смесью полярного (метанол или этанол) и неполярного (хлороформ, бензол, петролейный эфир) растворителей;
- щелочной или кислотный гидролиз, выделение полученных жирных кислот петролейным эфиром, отгонка эфира и определение количества жирных кислот, которое пересчитывают на содержание триглицерида (жира).

В некоторых случаях необходим контроль содержания жира в режиме on-line по ходу технологического процесса. Для этих целей применяют, например, метод ЯМР (в семенах масличных культур), ИК-спектроскопию и турбодиметрию (в молоке сырье).

Фосфолипиды – сложные липиды, содержащие в качестве структурного компонента остаток фосфорной кислоты (рис. 1.9).

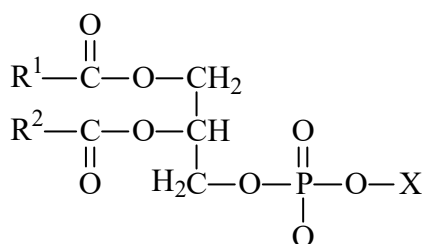


Рис. 1.9. Общая формула фосфолипидов:
 заместители R^1 и R^2 – остатки жирных кислот,
 X зависит от типа фосфолипида

В зависимости от входящего в их состав многоатомного спирта фосфолипиды принято делить на три группы:

1) глицерофосфолипиды (глицерофосфатиды) – содержат остаток глицерина (фосфатидилхолин (лецитин), фосфатидилэтаноламин (кефалин), фосфатидилсерин, кардиолипин, плазмалоген (этаноламиновый плазмалоген));

2) фосфосфинголипиды – содержат остаток сфингозина (сфингомиелины);

3) фосфоинозитиды – содержат остаток инозитола (фосфатидилинозитол).

Фосфолипиды широко распространены в живой природе. В тканях животных, растений, в клетках бактерий фосфолипиды

участвуют в разнообразных метаболических процессах. Универсальность распространения фосфолипидов в живой природе обусловлена рядом их физических свойств. Они – амфифильные вещества, состоящие из полярных (гидрофильных) и неполярных (гидрофобных) участков (рис. 1.9), что и определяет их поведение в водных растворах. На поверхности раздела вода – воздух молекулы фосфолипидов образуют мономолекулярный слой, в котором гидрофобные части молекулы (остатки жирных кислот) обращены в воздух, а гидрофильные (глицерин или другой многоатомный спирт, отрицательно заряженный остаток фосфорной кислоты и часто несущая положительный заряд группа атомов) – в воду. При повышении температуры они способны плавиться, что осуществляется с переходом через промежуточное жидкокристаллическое состояние.

В пищевых продуктах встречается, главным образом, представитель фосфолипидов – *лецитин*, в состав которого входят *холин* и *кефалин*, основным компонентом последнего является этаноламин. Фосфолипиды способствуют лучшему усвоению жиров, поэтому лецитин и холин применяются в качестве фармакологических препаратов, препятствующих ожирению печени. Лецитин проявляет выраженное липотропное действие, предотвращая накопление холестерина в организме и способствуя его выведению.

Наибольшее содержание фосфолипидов отмечается, %: в яйцах – 3,4; нерафинированных растительных маслах – 1–2; мясе – 0,8; птице – 0,5–2,5; зерне и бобовых – 0,3–0,9. Оптимальное количество фосфолипидов в рационе составляет около 5–10 г в день. Фосфолипиды применяются в качестве биологически активных добавок к пище (мослецитин, тонус, витол и др.). Они усиливают эффективность антиоксидантных систем организма, нормализуют процесс транспорта липидов в кровотоке, активизируют иммунокомпетентные клетки, усиливают всасывание жиров в желудочно-кишечном тракте.

Представленная выше характеристика основных компонентов липидов свидетельствует о том, что животные и растительные жиры в равной степени необходимы человеку. Животные жиры – это единственный источник витаминов *A* и *D*, растительные – витамин *E* и β -каротин. Ограничение жиров в рационе, как и избыток, отрицательно сказывается на нормальном функционировании метаболических систем организма, приводит к возникновению специфических заболеваний.

Рекомендации по питанию, сделанные большинством специалистов западноевропейских стран, главным образом основаны на гипотезе холестерина и направлены на сокращение потребления общих и насыщенных жиров (животного происхождения) как средства снижения уровня холестерина в крови. Известно, что полиненасыщенные жирные кислоты уменьшают уровень холестерина в крови, однако все большее потребление ПНЖК населением стало вызывать опасение. Это связано с тем, что эти липиды подвержены окислению не только в пищевых продуктах, но и в организме человека, где они участвуют в чрезмерном производстве свободных радикалов и окислении липопротеинов низкой плотности.

Рекомендуемые значения потребления общих жиров составляют 30–35% от общей энергии, для насыщенных жирных кислот – 10% от общей энергии. Признание того факта, что стеариновая кислота (насыщенная жирная кислота) не повышает уровень холестерина в крови, дало возможность предположить, что она может применяться в большем количестве и чаще в пищевой промышленности как заменитель других насыщенных жирных кислот.

Обычно взрослые должны получать не менее 15% энергии из пищевых жиров и растительных масел. Женщинам репродуктивного возраста необходимо получать не менее 20%, чтобы обеспечить достаточное потребление незаменимых жирных кислот, которые нужны для развития головного мозга плода и младенца. Активные люди, не страдающие ожирением, могут потреблять до 35% энергии из жиров при условии, что на долю насыщенных жирных кислот будет приходиться не более 10% от количества потребляемой энергии. Люди, ведущие сидячий образ жизни, должны ограничить потребление жира до 30% в пересчете на общую сумму калорий. Считают, что оптимальное соотношение животных и растительных жиров должно составлять 70% к 30%; жирных кислот: 10% полиненасыщенных, 30% насыщенных и 60% мононенасыщенных. Для лиц пожилого возраста и предрасположенных к атеросклерозу соотношение растительных и животных жиров должно быть приблизительно равным.

При рассмотрении вопросов пищевой ценности жиров следует еще раз отметить, что, с одной стороны, жиры являются основным источником жирорастворимых витаминов, с другой – жирные кислоты обладают способностью наиболее полно обеспечивать синтез

структурных компонентов клеточных мембран. Последнее можно охарактеризовать с помощью специального коэффициента, отражающего отношение количества арахидоновой кислоты (как главного представителя полиненасыщенных жирных кислот в мембранных липидах) к сумме всех других полиненасыщенных жирных кислот с 20 и 22 углеродными атомами. Этот коэффициент получил название *коэффициента эффективности метаболизации* эссенциальных жирных кислот (КЭМ), который рассчитывается по формуле (1.4).

$$\text{КЭМ} = \frac{C_{20}^4}{C_{20}^2 + C_{20}^3 + C_{20}^5 + C_{22}^3 + C_{22}^5 + C_{22}^6}, \quad (1.4)$$

где C – количество полиненасыщенной жирной кислоты, г; двузначное число – количество углеродных атомов в полиненасыщенной жирной кислоте; однозначное число – количество двойных связей в ней.

По мнению ученых Научно-исследовательского института питания Российской академии медицинских наук (РАМН), КЭМ можно использовать для оценки адекватности жирового компонента рациона и при разработке жироемких пищевых продуктов. Организация American Heart Association рекомендует употреблять липиды в количестве не более 30% от общего рациона, сократить содержание насыщенных жирных кислот в диете до 10% от всех жиров и не принимать более 300 мг (количество, содержащееся в одном желтке) холестерина в сутки.

Таким образом, в зависимости от состава липидов пищевые продукты могут не только удовлетворять определенные физиологические потребности человека, но и обладать профилактическими и лечебными свойствами.

1.3. Углеводы

Углеводы – это важнейший класс природных веществ, значение которых для растительных и животных организмов исключительно велико. Углеводы – основной питательный и главный опорный материал растительных клеток и тканей. Они составляют до 85–90% всей массы растительного организма, встречаются в животных (около 2%) и бактериальных организмах. Образование углеводов

в растениях происходит в результате фотосинтеза: из углекислого газа и воды синтезируется глюкоза, которая включается в обменные процессы и запасается в виде крахмала или превращается в целлюлозу – структурную основу растений. Животные и человек способны синтезировать ряд углеводов из жиров и белка, но бóльшая часть углеводов поступает с растительной пищей.

Первые известные представители этого класса веществ по составу отвечали общей формуле $C_m(H_2O)_n$, т. е. углерод + вода (отсюда название «углевод»). Позднее к ним стали относить их многочисленные производные с иным составом, образующиеся при окислении, восстановлении или введении заместителей. Углеводы содержат одновременно альдегидную и кетогруппу и несколько спиртовых групп. Важнейшей особенностью ряда углеводов является сладость, которую выражает коэффициент сладости (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Коэффициенты сладости некоторых углеводов

Углевод	Коэффициент сладости	Углевод	Коэффициент сладости
Сахароза	1	Манноза	0,32
Глюкоза	0,74	Ксилоза	0,40
Фруктоза	1,73	Мальтоза	0,32
Галактоза	0,32	Лактоза	0,16

По способности к гидролизу на мономеры все углеводы делятся на три группы: простые, или моносахариды; олигосахариды; сложные, или полисахариды (гликаны) (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Схема разделения углеводов на отдельные группы

Обычные **моносахариды** – органические вещества, представляющие собой линейную цепь атомов углерода ($m = 3–10$), каждый из которых (кроме карбонильного углерода) связан с гидроксильной группой. Простейший из моносахаридов – *глицериновый альдегид* содержит один асимметрический атом углерода и известен в виде двух энантиомеров D и L (рис. 1.11). Другие моносахариды имеют несколько асимметрических атомов углерода; их рассматривают как производные D- или L-глицеринового альдегида и относят к D- или L-ряду. Согласно правилу Розанова, моносахарид относится к D-ряду, если конфигурация асимметрического атома углерода, наиболее удаленного от оксогруппы, совпадает с конфигурацией атома углерода в D-глицериновом альдегиде (т. е. в стандартной формуле Фишера OH-группа расположена справа), если слева – то к L-ряду. Различия между моносахаридами в каждом ряду обусловлены относительной конфигурацией остальных асимметрических центров.

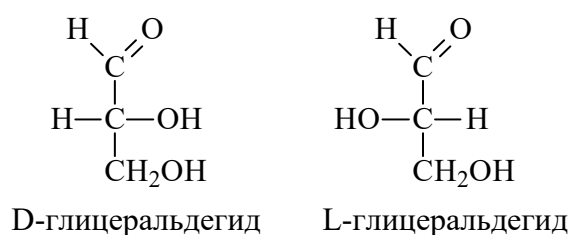


Рис. 1.11. Пространственная структура молекулы глицеринового альдегида

Моносахарид, у которого карбонильная группа расположена у концевого атома углерода, представляет собой альдегид и называется *альдоза*. При любом другом положении карбонильной группы моносахарид является кетоном и называется *кетозой*. В зависимости от длины углеродной цепи (от 3 до 9 атомов углерода) различают *триозы*, *тетрозы*, *пентозы*, *гексозы*, *гептозы* и т. д. К наиболее типичным моносахаридам относятся: *D-глюкоза*, *D-манноза*, *D-галактоза*, *D-фруктоза*, *D-ксилоза*, *L-арабиноза*. К моносахаридам принадлежат также:

– *дезоксисахара*, в молекулах которых один или несколько гидроксилы заменены атомами водорода (*L-рамноза*, *L-фукоза*, *2-дезокси-D-рибоза*);

– *аминосахара*, в молекулах которых один или несколько гидроксилы заменены на аминогруппы (*D-глюкозамин*, *D-галактозамин*);

- *многоатомные спирты*, или *альдиты*, образующиеся при восстановлении карбонильных групп моносахаридов (*сорбит*, *маннит*);
- *уроновые кислоты*, т. е. моносахариды, у которых первичная спиртовая группа окислена до карбоксильной;
- *разветвленные сахара*, содержащие нелинейную цепь углеродных атомов (*апиоза*, *L-стрептоза*);
- *высшие сахара* с длиной цепи более шести атомов углерода (*седогептулоза*, *сиаловые кислоты*).

Моносахариды – стандартные блоки, из которых синтезируются дисахариды, олигосахариды и полисахариды. За исключением D-глюкозы и D-фруктозы, свободные моносахариды встречаются в природе редко. Обычно они входят в состав разнообразных гликозидов, олиго- и полисахаридов и могут быть получены из них кислотным гидролизом.

Глюкоза, *виноградный сахар*, или *декстроза*, – представитель моносахаридов из группы гексоз, относящийся к альдозам (рис. 1.12), структурная единица (мономер) дисахаридов (мальтозы, сахарозы и лактозы) и полисахаридов (целлюлозы, крахмала). Молекулярная масса составляет 180,16.

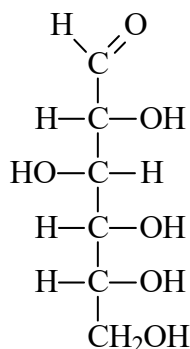


Рис. 1.12. Строение D-глюкозы (линейная форма)

Глюкоза кристаллизуется с одной молекулой воды. Безводная глюкоза плавится при 146°C. Хорошо растворима в воде. Она менее сладкая, чем сахар (табл. 1.8). В растениях глюкоза содержится в плодах, семенах, листьях, цветах. В животных организмах она входит в состав крови, лимфы, цереброспинальной жидкости. Глюкозу применяют в пищевой, кондитерской и хлопчатобумажной промышленности. В медицине и ветеринарии в качестве лечебных средств ряда заболеваний используют 10-, 20- и 40%-ные растворы

чистой глюкозы. Ее применяют также для получения препаратов аскорбиновой кислоты, сорбита и др.

Глюкоза усваивается организмом наиболее эффективно и быстро при наличии соответствующих ферментных систем. Содержание глюкозы в организме зависит от количества углеводов в рационе, в частности самой глюкозы, сахарозы и крахмала. Нормальный уровень глюкозы в крови составляет 80–100 мг/100 мл и регулируется гормоном поджелудочной железы – инсулином.

При недостатке глюкозы ее запасы могут компенсироваться за счет расщепления сахарозы, крахмала и других полисахаридов. Накопление глюкозы в крови до 200–400 мг/100 мл приводит к перенапряжению гормональной системы, инсулин начинает вырабатываться в недостаточном количестве, в моче появляется сахар, что свидетельствует о возникновении заболевания – сахарного диабета. В этой ситуации следует ограничить (или исключить) потребление углеводов, вызывающих увеличение сахара в крови, в рационе необходимо использовать заменители сахара и подсластители.

Фруктоза, плодовый сахар, или левулоза (рис. 1.13), – представитель моносахаридов из группы гексоз, является *кетоспиртом*. D-фруктоза встречается в основном во фруктах, поэтому и получила название плодового сахара.

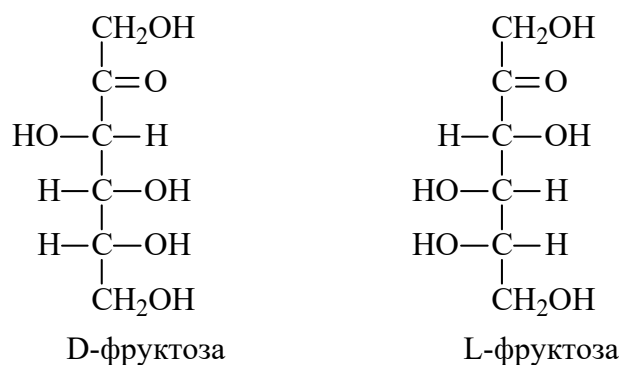


Рис. 1.13. Структурные формулы D- и L-фруктозы, записанные в виде проекционных формул Фишера

Среди простых углеводов она самая сладкая, в 2,5 раза слаще глюкозы и в 1,7 раза – сахарозы (табл. 1.8). Безводная фруктоза плавится при температуре 102–104°C. Оптически активна, удельный угол вращения в равновесном состоянии – 92°, поэтому ее называют левулезой. В гигиеническом отношении фруктоза – наиболее

благоприятный углевод: не является фактором увеличения концентрации сахара в крови, не вызывает кариес зубов в отличие от глюкозы и сахарозы. Наибольшее количество фруктозы содержится в меде (около 37%), во фруктах – 4–7%.

Углеводы, состоящие из небольшого числа (от двух до десяти) остатков моносахаридов, называются *олигосахариды* (греч. *ολίγος* – «немногий»). В зависимости от количества моносахаридов, входящих в молекулу олигосахаридов, они делятся на дисахариды (рис. 1.14), трисахариды (рис. 1.15), тетрасахариды и т. д.

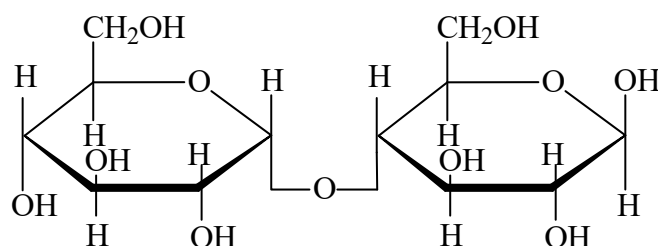


Рис. 1.14. Пространственная структура молекулы мальтозы (солодового сахара) – природного дисахарида, состоящего из двух остатков глюкозы

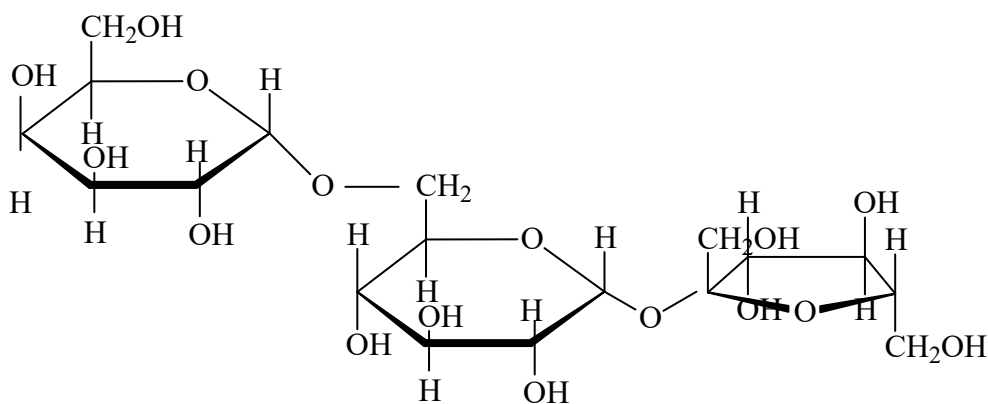


Рис. 1.15. Пространственная структура молекулы рафинозы – природного трисахарида, состоящего из остатков D-галактозы, D-глюкозы и D-фруктозы

Среди олигосахаридов наибольший интерес представляет группа широко распространенных в природе *дисахаридов* (греч. *δύο* – «два», *ζάχαρος* – «сахар»): сахароза, лактоза, мальтоза, целлобиоза и трегалоза. По строению дисахариды представляют собой гликозиды, в которых две молекулы моносахаридов соединены друг с другом гликозидной связью, образованной в результате взаимодействия гидроксильных групп (двух полуацетальных или одной

полуацетальной и одной спиртовой). В зависимости от строения олигосахариды делятся на две группы: восстанавливающие и невосстанавливающие. Если связь между кольцами моносахаридов образована двумя гликозидными (полуацетальными) гидроксильными группами, то углевод может существовать только в одной форме (циклической), а следовательно, не проявляет восстановительных свойств, т. е. невосстанавливающий сахар (сахароза). Если в образовании связи участвуют один гликозидный и один спиртовой гидроксилы, то сохраняется один гликозидный гидроксил, поэтому такие дисахариды являются восстанавливающими (мальтоза, лактоза). Ниже представлена характеристика восстанавливающего и невосстанавливающего дисахаридов.

Лактоза, молочный сахар – представитель дисахаридов. Лактоза плохо растворима в воде, ее можно получить путем выпаривания молочной сыворотки. Основным источником является коровье молоко (около 5%). В женском грудном молоке ее содержится около 8%. В организме человека лактоза расщепляется под воздействием фермента лактазы. У некоторых людей этот фермент может быть недостаточно активен или отсутствовать, что приводит к непереносимости молока. Таким людям рекомендуют кисломолочные продукты, в которых лактоза частично потребляется кефирными дрожжами. Кроме того, молочнокислые бактерии и дрожжи обладают способностью подавлять деятельность кишечной микрофлоры, развивающейся в условиях большого количества лактозы и приводящей к обильному газообразованию (вспучиванию живота).

Сахароза, свекловичный или тростниковый сахар, – представитель дисахаридов, имеющий молекулярную массу 342,49. Это один из самых распространенных в природе и практически наиболее важных дисахаридов. Сахарозы много в стеблях, корнях, клубнях и плодах растений. В корнеплодах сахарной свеклы ее накапливается до 24%, а в стеблях сахарного тростника – около 20%. Это важный питательный продукт, имеющий большое энергетическое значение в организме: при сгорании 1 г сахарозы образуется около 16,7 кДж.

Другой многочисленной группой сложных углеводов являются **полисахариды** – высокомолекулярные, линейные или разветвленные соединения, молекулы которых построены из моносахаридов, связанных гликозидными связями. В состав полисахаридов могут входить также заместители неуглеводной природы (остатки фосфорной, серной и жирных кислот).

С точки зрения общих принципов строения в группе полисахаридов возможно различить *гомополисахариды*, синтезированные из однотипных моносахаридных единиц, и *гетерополисахариды*, для которых характерно наличие двух или нескольких типов мономерных остатков. *Гомополисахариды* (*гликаны*), состоящие из остатков одного моносахарида, могут быть гексозами или пентозами, т. е. в качестве мономера может быть использована гексоза или пентоза. В зависимости от химической природы полисахарида различают глюканы (из остатков глюкозы), маннаны (из маннозы), галактаны (из галактозы) и другие подобные соединения. К группе гомополисахаридов относятся органические соединения растительного (крахмал, целлюлоза, пектиновые вещества), животного (гликоген, хитин) и бактериального (декстраны) происхождения. *Гетерополисахаридами* являются гиалуроновая кислота, гепарин и некоторые другие полисахариды.

Крахмал – смесь двух гомополисахаридов: линейного – *амилозы* и разветвленного – *амилопектина*, мономером которых является α -глюкоза (рис. 1.16). Белое аморфное вещество, нерастворимое в холодной воде, способное к набуханию и частично растворимое в горячей воде. Крахмал, синтезируемый разными растениями в хлоропластах, под действием света при фотосинтезе несколько различается по структуре зерен, степени полимеризации молекул, строению полимерных цепей и физико-химическим свойствам.

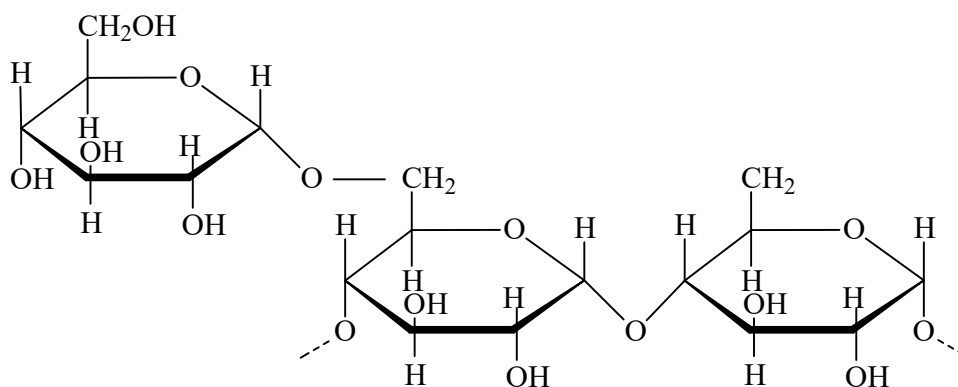


Рис. 1.16. Пространственная структура молекулы компонента крахмала – амилопектина

Как правило, содержание амилозы в крахмале составляет 10–30%, амилопектина – 70–90%. Молекула *амилозы* представляет собой длинную неразветвленную цепь спиралевидного строения, содержащую от 100 до 2000 α -D-глюкопиранозных остатков, соединенных

α -1,4-глюкозидными связями. Каждый виток спирали состоит из шести последовательных α -D-глюкопиранозных остатков. Внутри спирали образуется канал диаметром 0,5 нм. Молекулярная масса колеблется в пределах 10^5 – 10^6 Да. Амилоза хорошо растворяется в теплой воде и дает растворы со сравнительно невысокой вязкостью, она окрашивается йодом в синий цвет.

Амилопектин состоит из множества коротких и разветвленных полиглюкозидных цепочек, каждая из которых в среднем содержит 17–26 остатков α -D-глюкопиранозы. Пространственная структура амилопектина до сих пор не полностью понятна, поэтому в научной литературе можно встретить разные ее модели. Однако все исследователи признают особенность пространственной структуры амилопектина, заключающуюся в одновременном наличии разветвлений в цепях и способности образовывать регулярные кристаллические области. Молекулярная масса амилопектина колеблется в пределах 10^7 – 10^8 Да. Он растворяется в воде лишь при нагревании под давлением и дает очень вязкие растворы, окрашивается раствором йода в сине-фиолетовый цвет. Содержание амилозы и амилопектина в крахмале разных растений представлено в табл. 1.9.

Таблица 1.9

**Содержание амилозы и амилопектина
в крахмале некоторых культур**

Виды крахмала	Содержание, %	
	амилозы	амилопектина
Картофельный	19–22	78–81
Пшеничный	24	76
Кукурузный	21–23	77–79
Рисовый	17	83

Крахмал занимает в рационе человека 80% от общего количества потребляемых углеводов. Под действием фермента амилазы, содержащегося в большом количестве в проросшем зерне, слюне и соке, выделяемом поджелудочной железой, происходит ферментативное осахаривание крахмала – он расщепляется с образованием в конечном итоге мальтозы. Основным источником крахмала – картофеля и злаковых культур. Особенно большое его количество содержится в зернах риса (около 80%), пшеницы (70%), кукурузы (68%) и в клубнях картофеля (около 20%).

Крахмал широко используется в кондитерской и других отраслях пищевой промышленности, в текстильной, лакокрасочной и бумажной промышленности, а также для получения чистых препаратов глюкозы и декстринов. Декстрины являются промежуточным продуктом при кислотном гидролизе крахмала и представляют собой полисахариды меньшей степени полимеризации разной молекулярной массы. Они растворимы в воде, нерастворимы в спирте, что используется для разделения сахаров и декстринов. При полном гидролизе крахмала образуется глюкоза. В научно-исследовательских лабораториях часто применяется так называемый «растворимый крахмал», который образуется при слабом воздействии кислот (например, 7,5%-ной соляной кислоты, в течение 7 дней при комнатной температуре).

Инулин – высокомолекулярный углевод, растворимый в воде, осаждающийся из водных растворов при добавлении спирта. Содержится в большом количестве в клубнях земляной груши, в корнях цикория, в артишоках и др. В этих растениях инулин заменяет крахмал, который используется для получения фруктозы.

Гликоген – полисахарид, построенный из остатков α -D-глюкозы (рис. 1.17). Это главный резервный полисахарид высших животных и человека, который содержится в виде гранул в цитоплазме клеток практически во всех органах и тканях, однако наибольшее его количество накапливается в мышцах (в среднем 0,7%) и печени (в среднем 5%). Молекула гликогена построена из ветвящихся полиглюкозидных цепей, в линейной последовательности которых остатки глюкозы соединены α -1,4-связями, а в точках ветвления – межцепочечными α -1,6-связями.

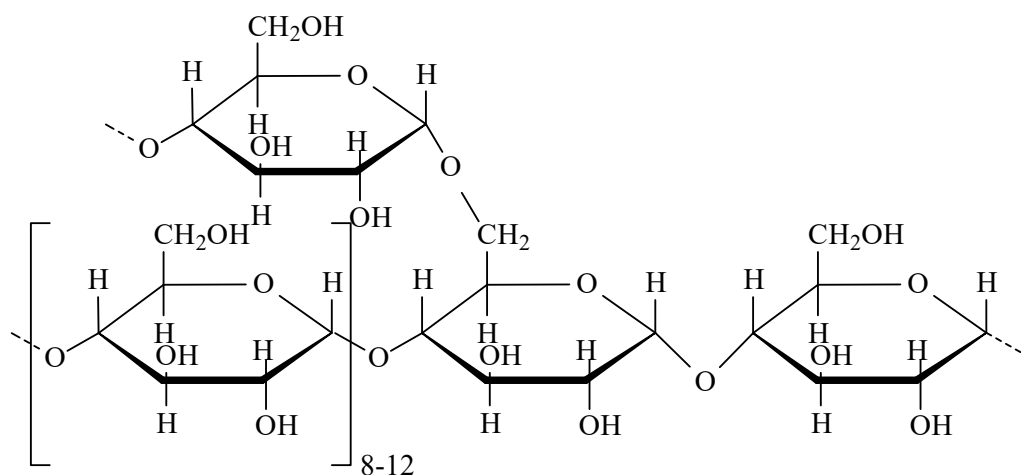


Рис. 1.17. Пространственная структура молекулы гликогена

Эмпирическая формула гликогена идентична формуле крахмала. По химическому строению гликоген близок к амилопектину с более выраженной разветвленностью цепей, поэтому иногда называется неточным термином «животный крахмал». Молекулярная масса – 10^5 – 10^8 Да и выше. В чистом виде гликоген – белый аморфный порошок, легко растворим в горячей воде с образованием коллоидного раствора. С йодом гликоген дает красную, коричневую, реже фиолетовую окраску, при гидролизе кислотами превращается в D-глюкозу. Гликоген образует энергетический резерв, который при необходимости может восполнить внезапный недостаток глюкозы. В незначительных количествах он найден в грибах, дрожжах и зерне сахарной кукурузы.

Целлюлоза, клетчатка – наиболее распространенный структурный полисахарид растительного мира, состоящий из остатков α -глюкозы (до 10 000), представленных в β -пиранозной форме. Таким образом, в молекуле целлюлозы β -глюкопиранозные мономерные единицы линейно соединены между собой β -1,4-связями. При частичном гидролизе целлюлозы образуется дисахарид целлобиоза, а при полном – D-глюкоза. Целлюлоза является основным структурным полисахаридом (главным компонентом) клеточных стенок большинства растений, обуславливает их прочность и эластичность, синтезируется в растениях. В листьях содержится около 30% целлюлозы, в древесине – порядка 70%, а в волосках семян хлопка – примерно 90%. Целлюлоза в чистом виде – белое волокнистое вещество без запаха и вкуса. Не растворяется в воде, эфире и спирте вследствие особенностей своей структуры: линейные молекулы целлюлозы прочно соединены друг с другом в длинные волокна за счет химического взаимодействия между цепями.

Клетчатка (целлюлоза) – основной компонент грубых пищевых волокон, который является обязательным фактором процесса пищеварения: нормализует деятельность полезной микробиоты кишечника, способствует нормальному продвижению пищи по желудочно-кишечному тракту, тем самым препятствуя задержке каловых масс в толстой кишке. Последнее имеет важное значение в профилактике рака толстой кишки, поскольку в ней способны накапливаться и всасываться в кровь различные канцерогенные амины, другие конечные продукты обмена веществ.

Клетчатка способствует выведению из организма холестерина, создает чувство насыщения. Установлено, что дефицит клетчатки в рационе приводит к ожирению, развитию желчнокаменной болезни, сердечно-сосудистых заболеваний и др. Вместе с тем избыток клетчатки снижает усвояемость пищевых веществ на 5–15%, связывает некоторые витамины и минеральные вещества, провоцирует диарею, т. е. неблагоприятно действует на организм. Наибольшее количество клетчатки содержится в сушеных овощах и фруктах (1,6–6,1%), свежих фруктах (2–5%), овощах (1,0–1,5%).

Хитин – структурный полисахарид низших растений, грибов и беспозвоночных животных (в основном роговые оболочки членистоногих – насекомых и ракообразных). Хитин, подобно целлюлозе в растениях, выполняет опорные и механические функции в организмах грибов и животных. Молекула хитина построена из остатков N-ацетил-D-глюкозамина, связанных между собой β -1,4-гликозидными связями. Макромолекулы хитина неразветвленные, и их пространственная укладка не имеет ничего общего с целлюлозой.

Гемицеллюлозы (полуклетчатка). Название «гемицеллюлозы» первоначально было дано группе полисахаридов, обладающих сходными физическими свойствами: растворимы в кислотах и щелочах, но нерастворимы в воде. Сейчас термин «гемицеллюлозы» применяется для обозначения различных химических структур. В отличие от целлюлозы они содержат и другие мономеры, кроме глюкозы. Гемицеллюлозы могут иметь большое число разветвлений и, как правило, включают 50–200 мономерных остатков. Химический состав гемицеллюлоз, выделенных из различных продуктов, значительно варьируется. Так, например, в крупах есть полимер, содержащий в основном арабинозу и глюкозу, в то время как в картофеле – включающий галактозные остатки.

Гемицеллюлозы содержатся в значительном количестве в одревесневших частях растений: соломе, семенах, орехах, древесине, кукурузных початках. Большое количество гемицеллюлоз находится в отрубях. Для практических целей гемицеллюлозы извлекают чаще всего из водорослей. Применяются они как стабилизатор пищевых продуктов, дающий вязкие суспензии, а также в фармацевтической и косметологической промышленности.

Пектиновые вещества, полигалактурониды, – представители полисахаридов. Входят в состав клеточных стенок и межклеточных

образований высших и низших растений, являются кальциевыми и магниевыми солями D-галактуроновой кислоты. Пектиновые вещества широко представлены в некоторых фруктах (земляника, яблоки, груши, крыжовник, персики), корнеплодах (свекла, лук), стеблях (лен). Являясь лиофильными коллоидами, пектиновые вещества имеют определенные адгезионные свойства, влияющие на влагоудерживающую способность и тургесцентность растительных тканей. Данные о содержании пектиновых веществ в фруктах и овощах (по Ф. В. Церевитинову) представлены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Содержание пектиновых веществ в фруктах и овощах

Фрукты и овощи	Содержание пектиновых веществ, %
Яблоки	0,82–1,29
Абрикосы	1,03
Слива	0,96–1,14
Черная смородина	1,52
Клюква	0,5–1,3
Морковь	2,5
Сахарная свекла	2,5

В зеленых растениях пектиновые вещества присутствуют в виде нерастворимого протопектина. В процессе созревания плодов протопектин под действием фермента протопектиназы превращается в растворимый пектин. Получают пектин в основном из яблочных выжимок, содержащих до 10–15% пектиновых веществ, и из кожуры цитрусовых (лимон, апельсин, грейпфрут), где содержится 20–30% пектиновых веществ. В присутствии органических кислот пектиновые вещества способны к желеобразованию, применяются в пищевой промышленности для приготовления желе, джема, мармелада, пастилы и фруктовых карамельных начинок. Некоторые пектиновые вещества оказывают противоязвенный эффект и являются активной составляющей ряда фармацевтических препаратов. Пектин, как и клетчатка, не усваивается организмом человека, однако этот углевод является спутником в осуществлении большинства полезных физиологических функций. Имеются данные о благоприятной роли пектина при отравлении токсичными металлами, в подавлении развития гнилостных микроорганизмов.

Растительные камеди (гумми) и слизи. К этой группе коллоидных полисахаридов принадлежат растворимые в воде углеводы,

образующие чрезвычайно вязкие и клейкие растворы. Типичными представителями данной группы являются *гумми*, выделяемые в виде наплывов вишневыми, сливовыми или миндальными деревьями в местах повреждения ветвей и стволов. В пищевой промышленности широко используются в качестве загустителей аравийская камедь (гумми), трагакантовая камедь и др. Эти вещества имеют сильно разветвленную структуру, состоящую из уроновых кислот и неионизированных сахаров (ксилозы, арабинозы и др.). Камеди семян бобовых (гуар и бобовая камедь), содержащие в структуре полимерной молекулы маннозу и галактозу, также широко применяются в пищевой промышленности как желирующие агенты.

Слиз обнаружены в клетках наружного слоя семян растений семейства подорожников (например, исфагулы), в льняных семенах и в зерне ржи. Данные полисахариды, обладающие высокой водосвязывающей способностью, используются как слабительные средства.

Полисахариды морских водорослей. Эта группа содержит альгинаты, каррагенаны и агар, которые широко применяются в качестве пищевых добавок. Альгинаты обычно включают 200–300 кислотных сахаридных мономеров, в то время как каррагенаны и агар являются полимерами глюкозы с сульфатными группами, присоединенными к определенным глюкозным остаткам.

В живых организмах углеводы выполняют следующие **функции**:

1) структурную и опорную (участвуют в построении различных опорных структур: целлюлоза является основным структурным компонентом клеточных стенок растений, хитин выполняет аналогичную функцию у грибов, а также обеспечивает жесткость экзоскелета членистоногих);

2) защитную (у некоторых растений есть защитные образования (шипы, колючки и др.), состоящие из стенок мертвых клеток);

3) пластическую (входят в состав сложных молекул – пентозы (рибоза и дезоксирибоза), участвуют в построении АТФ, ДНК и РНК);

4) энергетическую (источники энергии для осуществления клеткой различных форм активности: движения, секреции, биосинтеза, свечения и др. (при окислении 1 г углеводов выделяются 4,1 ккал энергии и 0,4 г воды));

5) запасную (выступают в качестве запасных питательных веществ: гликоген у животных, крахмал и инулин у растений);

б) осмотическую (участвуют в регуляции осмотического давления в организме: в крови содержится 100–110 мг/% глюкозы, от концентрации которой зависит осмотическое давление крови);

7) рецепторную (олигосахариды входят в состав воспринимающей части многих клеточных рецепторов или молекул-лигандов).

Некоторые представители углеводов, обладающих биологической активностью, выполняют специализированные функции. Например, гепарин предотвращает свертывание крови в сосудах, а гиалуроновая кислота препятствует проникновению бактерий через клеточную оболочку.

Углеводы составляют большую (часто основную) часть пищевого рациона человека. Главными пищевыми источниками углеводов являются: хлеб, картофель, макароны, крупы, сладости. Чистым углеводом является сахар (более 99% сахарозы). Мед, в зависимости от своего происхождения, содержит 70–80% глюкозы и фруктозы. В зависимости от участия в обмене веществ их условно можно разделить на *усвояемые* (глюкоза, фруктоза, сахароза, мальтоза, галактоза, лактоза, рафиноза, инулин, крахмал, декстрины) и *неусвояемые*. К неусвояемым углеводам относятся грубые (целлюлоза, гемицеллюлозы) и мягкие пищевые волокна (пектиновые вещества, камеди, декстраны и др.). *Усвояемость* углеводов зависит от наличия определенных ферментов в желудочно-кишечном тракте человека. Например, легче всего усваивается фруктоза, глюкоза, сахароза, мальтоза и лактоза, несколько медленнее – крахмал и декстрины, так как они должны предварительно расщепиться до простых углеводов. Гемицеллюлозы, целлюлоза и пектины человеком, в отличие от жвачных животных, не усваиваются. Однако частичное их расщепление происходит в толстом кишечнике под воздействием ряда микроорганизмов (на долю этих веществ приходится около 1% энергии, поэтому ею пренебрегают).

В строгом понятии пищевого рациона суточная потребность в углеводах чрезвычайно мала: по оценкам специалистов, приблизительно 50 г в день, что достаточно для удовлетворения потребностей нервной системы в энергии в виде глюкозы. Поскольку углеводы рассматриваются как нутриенты, поставляющие энергию, в прошлом рекомендовалось ограничивать потребление углеводов для снижения веса тела. Как следствие, во многих западных странах пищевые продукты, содержащие углеводы, рассматривались как

продукты, от которых полнеют, что отрицательно сказалось на потреблении хлеба, картофеля, риса и макаронных изделий. В настоящее время интерес к пищевым продуктам, богатым углеводами, значительно вырос, о чем свидетельствуют большинство рекомендаций по питанию, составленных таким образом, чтобы стимулировать потребление большего количества углеводов, особенно неусваиваемых. Сегодня имеются данные, полученные в результате проведения эпидемиологических и экспериментальных исследований на животных и человеке, которые поддерживают точку зрения о том, что неусваиваемые углеводы (включая балластные вещества и стойкие крахмал и сахара) могут играть защитную роль в предотвращении рака ободочной кишки. Медленно перевариваемые углеводы, которые содержатся в зерновых злаках и корнеплодах, также могут выполнять защитную функцию против диабета и, возможно, ишемической болезни сердца, предотвращая заметные колебания количества глюкозы в крови после приема пищи, поддерживая чувствительность к инсулину и давая чувство насыщения от принимаемой пищи.

Мнения в отношении отрицательного воздействия сахарозы на этиологию кариеса зубов, а также попытки ограничить потребление сахара или вообще не добавлять его в пищевой рацион претерпели некоторые изменения в последние годы. Это связано с признанием того, что:

- фторирование воды и зубной пасты очень эффективно предотвращает кариес зубов – в значительной степени сократилось число случаев кариеса во многих странах;
- частота потребления сахара и связанная с этим гигиена ухода за зубами являются более важными факторами, чем сам источник поступления сахара в пищевой рацион.

Самые последние рекомендации по потреблению углеводов в пищевом рационе человека следующие: 55% энергии должно приходиться на углеводы, за исключением детей в возрасте до 2 лет.

Для определения количественного и качественного состава углеводов применяются разные методы испытаний, которые различаются в зависимости от группы углеводов. Так, предварительная подготовка образцов для определения простых сахаров и олигосахаридов предусматривает следующие приемы: трехкратную экстракцию 80%-ным этиловым спиртом при +80°C; упаривание

спирта при пониженном давлении при +40°C; разбавление водой и фильтрование. Для удаления белков и фенольных соединений фильтрат дополнительно обрабатывают нейтральным ацетатом свинца или гидратом окиси меди, затем выпавший осадок отфильтровывают. Восстанавливающие сахара определяют одним из химических методов, например, с растворами Фелинга, йодометрическим методом и др. Для определения общего количества сахара проводят инверсию (нагревание раствора сахара с 0,1 н раствором соляной кислоты, охлаждение, нейтрализацию). Качественный и количественный анализ отдельных сахаров проводят следующими методами: газожидкостной ионно-обменной или жидкостной хроматографией высокого разрешения; ионометрией с использованием ферментных электродов, обладающих исключительной селективностью к определенным сахарам.

Для определения крахмала в пищевых продуктах стандартизированный метод отсутствует. Применяемые оригинальные методики измерений включают следующие стадии: освобождение образца от простых сахаров экстракцией 80%-ным спиртом; извлечение крахмала (растворение сначала в холодной, а потом в горячей воде; растворение в щелочном (солевом) растворе (хлорной кислоты); гидролиз слабой кислотой); очистка раствора крахмала от белков белковыми осадителями (желтой кровяной солью); непосредственное определение крахмала весовым (осаждение 90%-ным этанолом) или химическим (после кислотного или ферментативного гидролиза – по содержанию восстанавливающих сахаров) методами.

Определение декстринов включает такие приемы, как извлечение теплой водой; осаждение 96%-ным спиртом; гидролиз осадка с соляной кислотой. Для определения пектина применяют следующий алгоритм: освобождение образца от простых сахаров; извлечение пектинов; осаждение пектинов раствором хлористого кальция и едкого натра; отмывка осадка от хлоридов, высушивание и взвешивание. Вместо взвешивания концентрацию пектинов вычисляют по определению количества кальция с трилоном Б комплексометрическим методом.

Таким образом, количественный и качественный состав углеводов так же, как белков и липидов, определяет энергетическую ценность пищевых продуктов, позволяет потребителям принять решение о приемлемости или неприемлемости для себя пищи, богатой углеводами.

1.4. Органические кислоты

Органические кислоты содержатся в основном в продуктах растительного происхождения. На их долю приходится довольно значительная часть сухих веществ растений. Они – своеобразный «метаболический котел», в котором перекрещиваются пути обмена углеводов, белков, жиров и откуда, главным образом, поступает необходимая живой клетке энергия. Это так называемый цикл ди- и трикарбоновых кислот, или цикл Кребса, в котором дыхательный субстрат в конечном счете превращается в одну из кислот, окисляющуюся до конечных продуктов: CO_2 и H_2O (рис. 1.18).

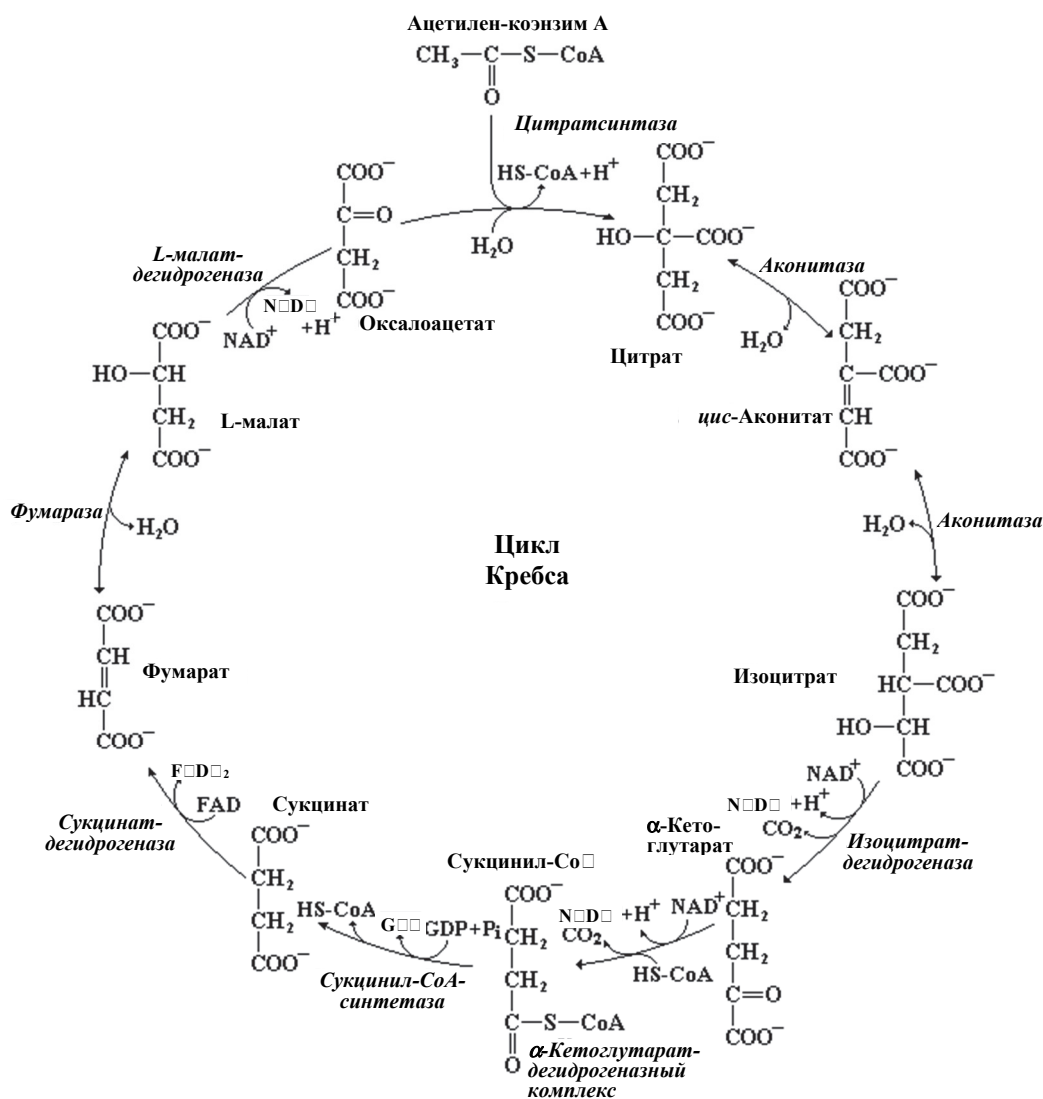


Рис. 1.18. Схематическое изображение цикла Кребса

Цикл трикарбоновых кислот (сокр. ЦТК, цикл Кребса, цитратный цикл, цикл лимонной кислоты) – центральная часть общего пути катаболизма, циклический биохимический процесс, в ходе которого ацетильные остатки ($\text{CH}_3\text{CO}-$) окисляются до диоксида углерода (CO_2). При этом за один цикл образуется две молекулы CO_2 , три молекулы кофермента НАДН (никотинамидадениндинуклеотид плюс катион водорода), одна молекула кофермента ФАДН₂ (флавинадениндинуклеотид плюс молекула водорода) и одна молекула ГТФ (или АТФ). Электроны, находящиеся на НАДН и ФАДН₂, в дальнейшем переносятся на дыхательную цепь, где в ходе реакций окислительного фосфорилирования образуется АТФ. НАДН и ФАДН₂ выделяются в ходе цикла Кребса, чтобы потом принять участие в переносе электронов в дыхательную цепь клетки. Иными словами, эти два вещества играют важнейшую роль в клеточном дыхании. АТФ имеет две связи, разрыв которых дает большое количество энергии. Этой энергией снабжаются многие жизненно важные реакции. Таким образом, цикл трикарбоновых кислот – это ключевой этап дыхания всех клеток, использующих кислород; центр пересечения множества метаболических путей в организме (им заканчивается катаболизм (распад), им начинается анаболизм (синтез)); промежуточный этап между гликолизом и электрон-транспортной цепью.

Кроме значительной энергетической роли, циклу отводится также и существенная пластическая функция, т. е. это важный источник молекул-предшественников, из которых в ходе других биохимических превращений синтезируются такие важные для жизнедеятельности клетки соединения, как аминокислоты, углеводы, жирные кислоты и др.

Цикл превращения лимонной кислоты в живых клетках (т. е. цикл трикарбоновых кислот) был открыт и изучен немецким биохимиком Хансом Кребсом. За эту работу в 1953 г. он совместно с Ф. Липманом был удостоен Нобелевской премии.

У эукариот (домен (надцарство)) живых организмов, клетки которых содержат ядро, – животные, грибы и растения) все реакции цикла Кребса протекают внутри митохондрий, а у большинства бактерий (прокариоты) – в цитозоле (цитозоль – сложная смесь веществ, растворенных в жидкости, часть цитоплазмы клетки).

Неотъемлемой частью органических кислот, их основной функциональной группой, от которой отщепляется ион водорода,

является карбоксильная группа (COOH). Поэтому органические кислоты называются иначе карбоновыми (рис. 1.19). В соответствии с числом содержащихся карбоксильных групп органические кислоты делят на моно- (одноосновные), ди- (двухосновные), трикарбоновые (трехосновные) и др. По **характеру углеводородного радикала** различают кислоты:

- предельные (например, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ – масляная кислота);
- непредельные (например, $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{COOH}$ – акриловая кислота);
- ароматические (например, $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ – бензойная кислота);
- алициклические (например, циклопропанкарбоновая кислота).

Многие органические кислоты наряду с карбоксильной группой имеют другие функциональные группы ($-\text{Hal}$, $-\text{OH}$, $-\text{CH}=\text{O}$, $>\text{C}=\text{O}$, $-\text{NH}_2$ и пр.), от которых также зависят их свойства; соответственно, различают *гидроксикислоты*, *галогенкарбоновые кислоты*, *аминокислоты*, *фенолкарбоновые кислоты*, *кетокислоты*, *альдегидокислоты* (рис. 1.19).

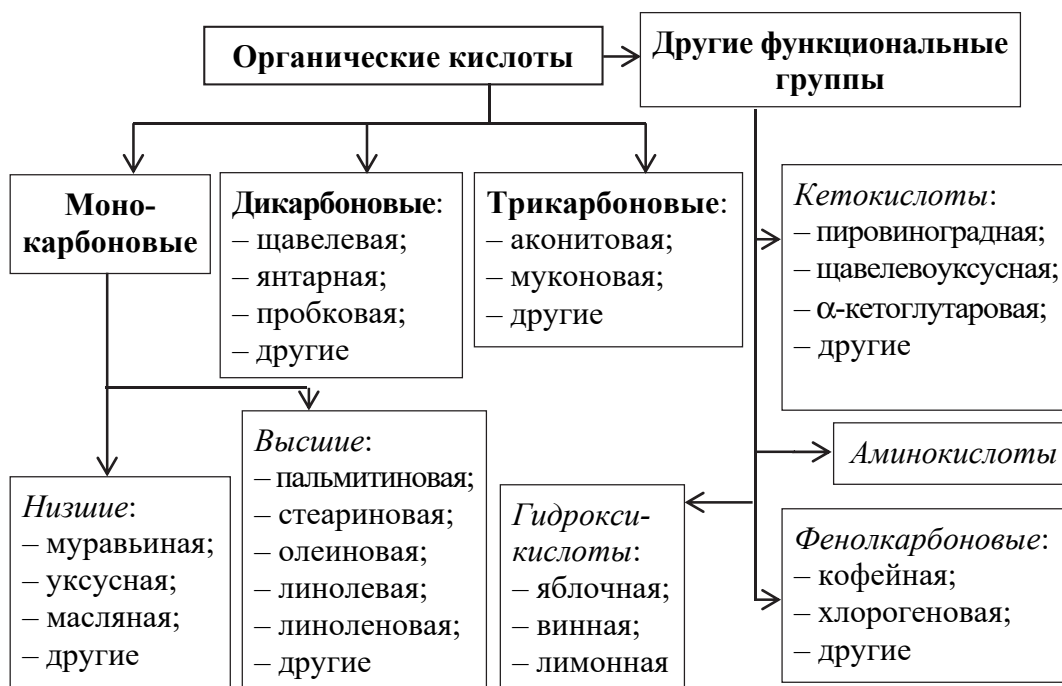


Рис. 1.19. Классификация органических кислот

Гидроксикислоты (молочная, винная, яблочная, лимонная, хинная и др.) имеют дополнительные гидроксильные группы помимо тех, которые входят в состав карбоксилатов (рис. 1.20)

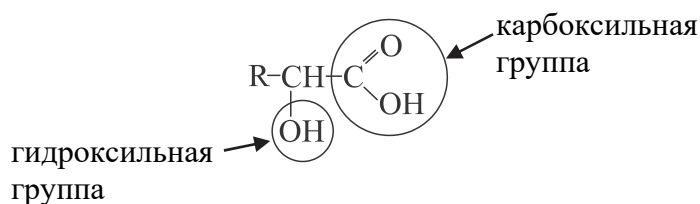


Рис. 1.20. Схема строения гидроксикислот

Гидроксикислоты делятся по классификационным признакам в зависимости:

- от количества карбоксильных групп – по *основности*;
- количества гидроксильных групп – по *атомности*;
- природы углеводородного радикала, связанного с функциональными группами, – на *алифатические, ароматические и гетероциклические*.

Кетокислоты (пировиноградная, щавелевоуксусная, α -кетоглутаровая и др.) имеют в составе дополнительно кетонную группу C=O. В зависимости от взаимного положения этих функциональных групп различают **α -кетокислоты**, в которых кетокарбонильная группа непосредственно связана с атомом углерода карбоксильной группы (пировиноградная и α -кетоглутаровая кислоты); **β -кетокислоты**, в которых кетокарбонильная группа присоединена дополнительным атомом углерода (ацетоуксусная кислота); **γ -кетокислоты**, в которых кетокарбонильная группа присоединена через два атома углерода (левулиновая кислота) и т. д. (рис. 1.21).

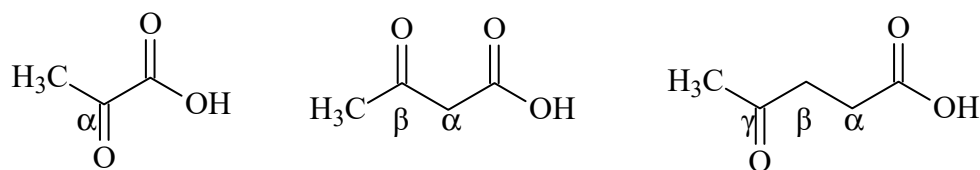


Рис. 1.21. Строение кетокислот в зависимости от взаимного положения кетонной группы

Рассмотрим краткую характеристику некоторых представителей кетокислот. *Пировиноградная кислота* $\text{CH}_3\text{--CO--COOH}$ – простейшая α -кетокислота, открыта шведским химиком Й. Берцелиусом в 1835 г., получившим ее осторожной перегонкой (не выше 220°C) виноградной и винной кислот (откуда и название). Это бесцветная жидкость с резким запахом, хорошо растворяется в воде, диэтиловом эфире и этаноле, кипит при 165°C (с разложением). Одновременно имеет

свойства кислот и кетонов. Важнейший внутриклеточный метаболит. Образуется в результате гликолиза, при фотосинтезе (C_4 -цикл), окислении α -гидроксикислот, декарбоксилировании щавелевоуксусной кислоты. Получают из винной кислоты. Пировиноградная кислота в большом количестве находится в цитрусовых фруктах, а также в меде. Соли и эфиры пировиноградной кислоты называют пируватами.

Щавелевоуксусная кислота (оксалоацетат) $HO_2C-C(O)-CH_2-CO_2H$ – органическое соединение, четырехуглеродная двухосновная кетокислота, является одновременно α - и β -кетокислотой, имеет температуру плавления $161^\circ C$. Щавелевоуксусная кислота – это промежуточное соединение в цикле Кребса и глюконеогенезе. Содержится в большинстве продуктов питания.

Ацетоуксусная кислота $C_4H_6O_3$ – органическое соединение, одноосновная кетокислота, первый представитель β -кетокислот, участвует в обмене веществ. Является неустойчивым соединением. Ацетоуксусная кислота является метаболитом β -окисления жирных кислот *in vivo*, характерное увеличение ацетоуксусной кислоты в плазме крови наблюдается при очень серьезных патологических процессах: она накапливается в организме у больных сахарным диабетом (относится к кетоновым телам).

α -Кетоглутаровая кислота – кристаллическое вещество с температурой плавления $115^\circ C$, растворяется в воде и этаноле. Ее основные функции: способствует предупреждению стрессовых состояний; ускоряет метаболизм; улучшает всасывание аминокислот и пептидов из пищи; улучшает работу иммунной системы в период сильного стресса; участвует в нормальном обмене веществ (связывает углеводный обмен с превращениями жиров и углеводов); используется для лечения печеночной энцефалопатии. Основными источниками являются клюква и биологически активные добавки (БАД).

У *фенолкарбоновых кислот* (ванилиновая, галловая, прокатеховая, салициловая кислоты и др.) функциональной группой является фенольный радикал в боковой цепи (основная структура C_6-C_1). Так, *галловая кислота* (3,4,5-триоксибензойная кислота) – фенолокислота, содержит в составе молекулы одну карбоксильную ($-COOH$) и три гидроксильные ($-OH$) группы. Имеет вяжущий вкус и является составной частью молекул дубильных веществ,

в частности главного из них – танина, которого много в коре дуба и особенно в чернильных орешках. Таннин – аморфный порошок желтоватого цвета, хорошо растворяется в воде, обладает сильно вяжущим вкусом. В медицине и ветеринарии его используют как вяжущий препарат. Он применяется также в кожевенной промышленности для дубления кож и меховых изделий. В химическом анализе его применяют как алкалоидный реактив. Галловую кислоту применяют в аналитической химии как реагент для фотометрического определения трехвалентных висмута и церия; для синтеза красителей и лекарственных препаратов; в микроскопии; как цветообразователь в термочувствительной фотокопировальной бумаге. Сложные эфиры галловой кислоты являются антиоксидантами. *Протокатеховая кислота* (3,4-дигидроксibenзойная кислота) встречается в природе в виде производных или в свободном виде (в масле асаи, в составе коры босвеллии, в розелле, шампиньонах, кожуре лука). Протокатеховая кислота обнаруживается среди продуктов щелочного плавления многочисленных природных веществ. Эта кислота является антиоксидантом и противовоспалительным средством.

Кроме того, органические кислоты подразделяют **по способности перегоняться с водяным паром** на две большие группы: **летучие** (перегоняющиеся с водяным паром) и **нелетучие**.

Летучие кислоты формируют аромат свежих фруктов и овощей. Наибольший вклад при этом вносят такие кислоты, как муравьиная, уксусная, валериановая, изовалериановая, а также ароматические (бензойная, салициловая, коричная) и сложные эфиры этих кислот. Ниже приведена краткая характеристика некоторых летучих органических кислот.

Муравьиная кислота HCOOH. Систематическое наименование: метановая кислота – органическое соединение, первый представитель в ряду насыщенных одноосновных карбоновых кислот. Зарегистрирована в качестве пищевой добавки под обозначением E236. Свое название муравьиная кислота получила потому, что впервые она была выделена в 1670 г. английским натуралистом Джоном Рэйем (англ. John Ray) из рыжих лесных муравьев. В природе также обнаружена у пчел, в крапиве, хвое. Соли и анионы муравьиной кислоты называются формиатами.

При нормальных условиях представляет собой подвижную жидкость с резким запахом. Растворима в ацетоне, бензоле, глицерине, толуоле; смешивается с водой, диэтиловым эфиром, этанолом. Опасность муравьиной кислоты зависит от концентрации. Согласно классификации Европейского союза, концентрация до 10% обладает раздражающим эффектом, больше 10% – разъедающим.

Уксусная (этановая) кислота CH_3COOH – органическое соединение, слабая, предельная одноосновная карбоновая кислота. Существует в виде циклических и линейных димеров. Соли и сложные эфиры уксусной кислоты называются ацетатами. Уксус является продуктом брожения вина и известен человеку с давних времен. Первое упоминание о практическом применении уксусной кислоты относится к III в. до н. э. Греческий ученый Теофраст впервые описал действие уксуса на металлы, приводящее к образованию некоторых используемых в искусстве пигментов. Уксус применялся для получения свинцовых белил, а также ярь-медянки (зеленой смеси солей меди, содержащей помимо всего ацетат меди). В Древнем Риме готовили специально прокисшее вино в свинцовых горшках. В результате получался очень сладкий напиток, который называли «сапа». Сапа содержала большое количество ацетата свинца – очень сладкого вещества, которое также называют свинцовым сахаром или сахаром Сатурна. Высокая популярность сапы была причиной хронического отравления свинцом, распространенного среди римской аристократии.

Свойства уксусной кислоты меняются в зависимости от содержания в ней воды. В связи с этим многие века химики ошибочно считали, что кислота из вина и кислота из ацетатов являются двумя разными веществами. Идентичность веществ, полученных различными способами, была показана немецким алхимиком XVI в. Андреасом Либавиусом (нем. Andreas Libavius) и французским химиком Пьером Огюстом Аде (фр. Pierre Auguste Adet).

Уксусная кислота представляет собой бесцветную жидкость с характерным резким запахом и кислым вкусом, гигроскопична, неограниченно растворима в воде. Смешивается со многими растворителями. В уксусной кислоте хорошо растворимы неорганические соединения и газы, такие как HF , HCl , HBr , HI и др.

При биохимическом производстве уксусной кислоты используется способность некоторых микроорганизмов окислять этанол.

Этот процесс называют уксуснокислым брожением. В качестве сырья используются этанолсодержащие жидкости (вино, забродившие соки) либо просто водный раствор этилового спирта. В зависимости от сырья, из которого получают уксусную кислоту, различают винный, фруктовый, яблочный, спиртовой уксус и синтетическую уксусную кислоту.

Уксусную кислоту, концентрация которой близка к 100%, называют ледяной, так как при замерзании она образует льдовидную массу; 70–80%-ный водный раствор уксусной кислоты называют уксусной эссенцией, а 3–15%-ный – уксусом. Водные растворы уксусной кислоты широко используются в пищевой промышленности (пищевая добавка E260) и кулинарии, а также в консервировании и для избавления от накипи. Уксусную кислоту применяют для получения лекарственных и душистых веществ, как растворитель (например, в производстве ацетилцеллюлозы, ацетона); она используется в книгопечатании и крашении.

Действие уксусной кислоты на биологические ткани зависит от степени ее разбавления водой. Опасными считаются растворы, в которых концентрация кислоты превышает 30%. Токсикологические свойства уксусной кислоты не зависят от способа, которым она была получена. Смертельная доза составляет примерно 20 мл.

Уксусная кислота встречается в различных фруктах и растительных соках. По некоторым данным, она составляет до 85% всех органических кислот в зерне пшеницы и кукурузы. Содержится в свободном виде и в виде различных эфиров в яблоках.

Масляная кислота (бутановая кислота) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ – бесцветная жидкость с резким запахом прогорклого масла, которая имеет в своей структуре одну карбоксильную группу и относится к одноосновным (коротко цепочным) насыщенным жирным кислотам (англ. SCFA). Соли и сложные эфиры масляной кислоты называются бутиратами. Масляная кислота и ее эфиры в небольших количествах содержатся в сливочном масле и нефти. Встречается в небольших количествах в свободном виде и в виде сложных эфиров. Образуется при маслянокислом брожении. Применяется в парфюмерной и кондитерской промышленности в виде сложных эфиров, являющихся ценными ароматическими веществами (например, метиловый эфир масляной кислоты обладает запахом яблок, этиловый – ананасов и т. д.); при производстве ароматических

веществ; синтезе медикаментов; производстве пластификаторов, ацетилбутирата целлюлозы. Соли масляной кислоты (бутират кальция или натрия) широко применяются в качестве эффективных кормовых добавок в животноводстве и птицеводстве.

Сорбиновая C_5H_7COOH и *парасорбиновая* C_5H_7COOH кислоты (рис. 1.22) характерны для плодов рябины обыкновенной.

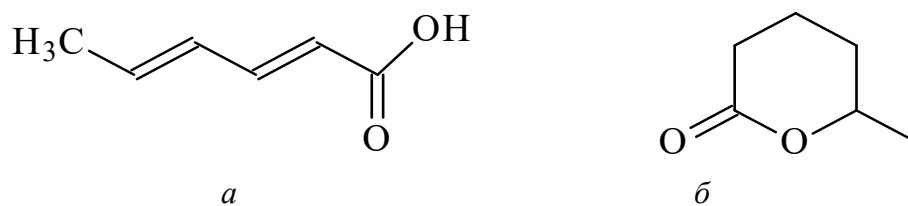


Рис. 1.22. Структурные формулы сорбиновой (*a*) и парасорбиновой (лактон сорбиновой кислоты) (*б*) кислот

Сорбиновая кислота выделена в 1859 г. путем перегонки масла рябины А. В. фон Хофманном с получением парасорбиновой кислоты, лактона сорбиновой кислоты, которая была превращена в сорбиновую кислоту путем гидролиза. Антимикробная активность сорбиновой кислоты обнаружена в конце 1930–1940-х гг., а в конце 1940–1950-х гг. она стала коммерчески доступной.

Салициловая кислота (2-оксибензойная кислота) $C_6H_4(OH)COOH$ (рис. 1.23) впервые выделена из коры ивы, откуда и происходит ее название – от лат. *salix* «ива».

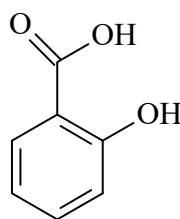


Рис. 1.23. Структурная формула салициловой кислоты

Данное соединение – твердое кристаллическое вещество. Ее соли и эфиры называются салицилатами. Благодаря бактерицидному действию их широко применяют в медицине и ветеринарии как лекарственные препараты. Салициловую кислоту широко используют для производства лекарственных средств, протравных красителей, пахучих веществ, антисептиков в пищевой промышленности, при консервировании, как реагент для колориметрического

определения железа и меди в растворах, как кислотно-основный индикатор при люминесцентном анализе (при pH = 2,5–4,6 и при наличии кислоты появляется синяя люминесценция). В природе встречается в растениях (малине, ежевике, землянике, клюкве, рябине, лесных яблоках) в виде производных. Свободная салициловая кислота в небольших количествах содержится в эфирном масле, выделяемом из цветков некоторых видов спиреи.

Сложная смесь *гидроксикоричных кислот* обнаружена в боярышнике, винограде амурском, рябине, смородине, лесных яблоках. Фенолоксикислоты (*n-гидроксibenзойная, протокатеховая, o-пирокатеховая, галловая*) характерны для семейства брусничных.

Нелетучие органические кислоты (лимонная, яблочная, винная, щавелевая, янтарная) распространены преимущественно в фруктах, содержание в которых колеблется от 0,6 до 6,0%. Наиболее высокая кислотность характерна для лимонника, алычи, барбариса, клюквы, облепихи, калины. Данная группа органических кислот участвует в формировании вкуса фруктов, интенсивность которого предопределяется количественным и качественным составом кислот, а также соотношением свободных и связанных кислот. Каждая кислота имеет свой вкус и порог ощущения:

- 1) чистый, мягкий, невяжущий – у яблочной и лимонной кислот;
- 2) кислый, вяжущий – у винной кислоты;
- 3) неприятный – у янтарной кислоты.

Сахара маскируют кислый вкус, дубильные вещества усиливают его и делают вяжущим. Для объективной оценки вкуса фруктов используют *сахарокислотный коэффициент*, учитывающий процентное содержание сахаров и степень их сладости:

$$K = \frac{C_{\text{глюкозы}} \cdot C_{\text{фруктозы}} \cdot 200 + C_{\text{сахарозы}} \cdot 145}{C_{\text{кислоты}}}, \quad (1.3)$$

где C – содержание вещества, %.

К наиболее распространенным представителям нелетучих органических кислот пищи относятся лимонная, яблочная, винная, молочная, щавелевая, фитиновая кислоты. Краткая характеристика некоторых из них приведена ниже.

Лимонная (2-гидроксипропан-1,2,3-трикарбоновая, 3-гидрокси-3-карбокспентандиовая) кислота $\text{HOOC-CH}_2\text{-C(OH)(COOH)-CH}_2\text{-COOH}$, или $(\text{HOOCCH}_2)_2\text{C(OH)COOH}$, – трехосновная карбоновая

слабая кислота – кристаллическое вещество белого цвета, температура плавления – 153°C. Хорошо растворима в воде, растворима в этиловом спирте, мало растворима в диэтиловом эфире. Соли и эфиры лимонной кислоты называются цитратами.

Лимонную кислоту раньше получали из сока лимона, а также листьев и стеблей махорки, где она в высокой концентрации содержится в виде комплекса с никотином. В настоящее время основной метод промышленного производства – биосинтез из сахарозы или сахаросодержащих веществ, например мелассы с помощью культурных штаммов плесневых грибов родов *Aspergillus* и *Penicillium*. Прогнозируется, что к 2024 г. мировой рынок лимонной кислоты достигнет 3,9 млрд долл. США, что соответствует совокупному годовому темпу роста (CAGR) в 4,5% за анализируемый период.

Лимонная кислота и ее соли (цитрат натрия, цитрат калия, цитрат кальция, дицитрат трикалия висмута) широко используются как вкусовая добавка, регулятор кислотности и консервант в пищевой промышленности (пищевые добавки E330–E333), для производства плавленых сыров, напитков, сухих шипучих напитков. На долю лимонной кислоты приходится около 60% количества всех кислот, используемых в технологии пищевых продуктов. Лимонная кислота применяется в медицине, в том числе в составе средств, улучшающих энергетический обмен (в цикле Кребса). В косметике используется как регулятор кислотности, буфер, хелатирующий агент (комплекс с металлом, который хорошо усваивается организмом), для шипучих композиций (ванны).

Лимонная кислота широко распространена в растениях (в южных – в больших количествах, чем в северных). В смородине, малине, землянике преобладает над яблочной кислотой. Много в плодах цитрусовых (в лимонах – до 9% сухой массы). В 100 г лайма содержится 7 г лимонной кислоты; лимонов – 5,6 г; малины – 2,5 г; черной смородины – 1,2 г; томатов – 1,0 г; ананаса и клубники – 0,6 г; клюквы – 0,2 г; яблок – 14 мг.

Яблочная (гидроксиянтарная, гидроксипутандиовая кислота, малат) кислота $\text{HOOC-CH}_2\text{-CH(OH)-COOH}$ – двухосновная гидроксикарбоновая кислота. Впервые выделена шведским химиком Карлом Вильгельмом Шееле (англ. Carl Wilhelm Scheele) в 1785 г. из незрелых яблок. Соли и анионы яблочной кислоты называются малатами. Представляет собой бесцветные

гигроскопичные кристаллы, хорошо растворимые в воде, этиловом спирте и диэтиловом эфире. В природе преобладает *L*-форма яблочной кислоты.

Яблочная кислота содержится в незрелых яблоках, винограде, рябине, барбарисе, малине и др. Чрезвычайно широко распространена в растениях: преобладает в рябине, барбарисе (до 6%), кизиле, яблоках, другими словами, в семечковых и косточковых фруктах; содержится в плодах томатов, семенах злаков и бобовых, а также в листьях. Растения махорки и табака содержат ее в виде солей никотина. Отсутствует в плодах цитрусовых и клюкве. Яблочная кислота имеет приятный вкус и безвредна для организма человека. Применяется как пищевая добавка (E296) природного происхождения при изготовлении фруктовых вод и кондитерских изделий. Также применяется в медицине.

Винная (диоксиянтарная, тартаровая, 2,3-дигидроксибутандиовая) кислота $\text{HOOC-CH(OH)-CH(OH)-COOH}$ – двухосновная оксикислота. Соли и анионы винной кислоты называют тартратами. Винная кислота – распространенное природное соединение. Встречается в растениях в виде оптически активной *D*-винной кислоты, а также в виде виноградной кислоты. Содержится преимущественно в растениях южных широт. В значительном количестве *D*-винная кислота присутствует в винограде вместе с *L*-яблочной и виноградной кислотами. В других фруктах *D*-винная кислота находится в очень незначительном количестве либо отсутствует. При изготовлении и выдержке виноградных вин получают значительные количества отходов в виде винного камня. Винная кислота и винный камень (пищевая добавка E334) широко применяются при производстве фруктовых вод, для изготовления химических разрыхлителей теста, в текстильной промышленности и медицине. Обладает способностью маскировать горький привкус интенсивных подсластителей.

Молочная (α -гидроксипропионовая, 2-гидроксипропановая, лактат) кислота $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$. Соли и эфиры молочной кислоты называются лактатами. Открыта шведским химиком Карлом Шееле в 1780 г. В 1807 г. Йенс Якоб Берцелиус выделил из мышц цинковую соль молочной кислоты. Обнаружена во многих растениях, довольно много ее содержат листья малины. Молочная кислота часто образуется при анаэробном дыхании растений; особенно в больших количествах – при молочнокислом брожении,

вызываемом молочнокислыми бактериями, что и является промышленным способом ее получения. Молочная кислота выпускается в двух формах, отличающихся концентрацией: 40%-ный раствор и концентрат, содержащий не менее 70% кислоты. В виде пищевой добавки E270 используется в производстве безалкогольных напитков, карамельных масс, кисломолочных продуктов. Проявляет антимикробную активность. Имеет ограничения к применению в продуктах детского питания. Помимо применения в пищевой промышленности (при изготовлении конфет, маринадов, безалкогольных напитков и т. д.), молочная кислота используется в кожевенном деле и медицине. Поликонденсацией молочной кислоты получают пластик PLA.

Щавелевая (этандиовая) кислота HOOC–COOH – органическое соединение, простейшая двухосновная предельная карбоновая кислота, первый член гомологического ряда двухосновных предельных карбоновых кислот. Принадлежит к сильным органическим кислотам. Обладает всеми химическими свойствами, характерными для карбоновых кислот. Впервые щавелевая кислота синтезирована в 1824 г. немецким химиком Фридрихом Вёлером из дициана (газ).

Соли и сложные эфиры щавелевой кислоты называются оксалатами. Для нее характерна кальциевая соль, нерастворимая в воде и даже в уксусной кислоте. Щавелевая кислота чрезвычайно широко распространена в растениях как в свободном виде, так и в виде солей. Большие количества щавелевой кислоты обнаружены в некоторых мясистых растениях (ревень, шпинат, щавель, красная свекла). Также богаты ею водоросли, грибы, лишайники, папоротники. Кислая калиевая соль содержится в щавеле и кислице, магниевая соль в листьях злаков. Во фруктах она содержится в незначительных количествах – от 0,005 до 0,060%. В молочных продуктах, рыбе и мясе данное вещество встречается редко и в малых количествах. Пищевые продукты, в которых присутствует щавелевая кислота, условно подразделяются на следующие группы:

– содержащие данное вещество в повышенной концентрации – бобы какао, мангольд, ревень, свекла, шпинат, пророщенная пшеница, некоторые орехи, сухое печенье;

– с умеренным содержанием указанного соединения – шоколад, лук-порей, овсяная крупа, петрушка, малина, виноград, сельдерей, красная смородина, зеленый горошек, клубника, баклажаны, посевной пастернак, сливы, фруктовые джемы и мармелад;

– с низким содержанием щавелевой кислоты и оксалатов – фруктовые соки, свинина, печень животных, бекон, морская рыба, молочные продукты, макаронные изделия, томатный сок, грибы, огурцы, помидоры, сухофрукты, чай, черная смородина, кофе, репчатый и зеленый лук, садовые фрукты, ананасы, цветная капуста и пр.

Суточная потребность в веществе составляет 20–30 мг. При нарушении минерального обмена соли данной кислоты принимают участие в образовании камней в мочевом пузыре и почках.

Янтарная кислота $\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$ представляет собой белые кристаллы, обладающие слабокислым и слегка солоновато-горьким привкусом. Она – побочный продукт производства адипиновой кислоты. Известен также способ ее выделения из отходов янтаря. Температура плавления – 183°C , температура кипения – 235°C . Выше 235°C отщепляет H_2O и переходит в янтарный ангидрид. Янтарная кислота легко возгоняется при $130\text{--}140^\circ\text{C}$. Растворима в воде, в этиловом спирте, диэтиловом эфире. Обладает химическими свойствами, характерными для дикарбоновых кислот, образует соли и эфиры, которые получили название сукцинаты. Янтарная кислота содержится в таких продуктах, как брокколи, ревень, сахарная свекла, неспелый крыжовник и виноград, свежие мясные экстракты, различные сыры и квашеная капуста. Она может присутствовать в сладостях, хлебобулочных изделиях и т. д. Кроме того, она присутствует в устрицах, твердых сырах, йогуртах, семенах подсолнечника, клубнике, вине, боярышнике, крапиве. Используется в пищевой промышленности для регулирования pH пищевых систем (пищевая добавка E363). Также она является вкусовым агентом.

Адипиновая (гександиовая) кислота $\text{HO}_2\text{C}(\text{CH}_2)_4\text{CO}_2\text{H}$ – двухосновная предельная карбоновая кислота. Получается в промышленности, главным образом двухстадийным окислением циклогексана. Обладает всеми химическими свойствами, характерными для карбоновых кислот, в частности, образует соли, большинство из которых растворимы в воде. Легко этерифицируется в моно- и диэфиры. Соли и эфиры адипиновой кислоты получили название адипинаты. Является пищевой добавкой (E355), обеспечивающей кислый вкус продуктов, в частности безалкогольных напитков. Также известно, что адипиновая кислота оказывает влияние на физико-химические свойства теста, улучшает внешний вид готового изделия, его структуру. Помимо улучшения вкусовых качеств и физико-химических показателей пищевой

продукции, данное соединение применяется для увеличения периода хранения продуктов, защиты их от порчи, а также является антиоксидантом. Адипиновую кислоту и ее соединения вносят в жвачки, ароматизированные сухие и желеобразные десерты, смеси для выпечки, начинки, отделочные полуфабрикаты для сдобы и мучных кондитерских изделий, карамельные конфеты, сухие порошкообразные композиции для приготовления напитков.

Фумаровая кислота $\text{HO}_2\text{CCH}=\text{CHCO}_2\text{H}$ является *транс*-изомером, а ее *цис*-изомер – это малеиновая кислота. По внешнему виду напоминает рассыпчатый кристаллический порошок белого цвета. Данное вещество очень плохо растворяется в воде. Кристаллы имеют фруктовый вкус. Соли и эфиры называют фумаратами. Содержится во многих растениях и грибах, образуется при брожении углеводов в присутствии *Aspergillus fumaricus*. Впервые фумаровая кислота была получена из янтарной кислоты. Промышленный способ производства основан на изомеризации малеиновой кислоты под действием HCl , содержащей бром. Соли и эфиры называются фумаратами. В пищевой промышленности фумаровую кислоту (пищевая добавка E297) используют как заменитель лимонной и винной кислот в производстве леденцовых конфет и различных сладких напитков, выпечки. Востребована фумаровая кислота при изготовлении жевательной резинки, мармелада из цитрусов, различных желе и растворимого чая.

Данная пищевая добавка признана нетоксичной и безопасной, однако некоторые страны все-таки оговаривают тот факт, что максимально возможная суточная доза с продуктами питания не должна превышать 6 мг на 1 кг массы тела.

Методы определения органических кислот. Для характеристики кислотности пищевых продуктов используют два показателя: массовую долю титруемых кислот (характеризующую общее содержание органических кислот) и рН. В свежих фруктах и овощах кислотность выражают в процентах на преобладающую кислоту: в семечковых и косточковых фруктах (яблоки, рябина, черемуха, терн, алыча) доминирует яблочная кислота, в составе цитрусовых – лимонная, в винограде – винная. В незрелых фруктах обнаруживается янтарная кислота.

В основе определения рН различных пищевых систем лежат стандартные методы, описанные в руководствах по аналитической

химии. К ним относятся колориметрический и потенциометрический методы. Определение кислотности, характеризующей общее содержание веществ, имеющих кислотный характер, основано на титровании этих веществ сильными основаниями (щелочами). Для различных пищевых продуктов характерны свои особые условия титрования, результаты которых представляют в соответствующих кислотных числах. Анализ кислотного состава пищевого продукта дает возможность обнаружить фальсификацию или подтвердить его натуральность. Для определения содержания органических кислот используют как стандартные, так и альтернативные методы контроля. Примеры стандартных методов:

- официальный метод анализа молочной кислоты основан на ее окислении перманганатом калия до уксусного альдегида, который определяют йодометрически;

- наиболее известные методы определения винной кислоты базируются на щелочном титровании выпадающего винного камня;

- большинство органических кислот можно определить хроматографическими методами.

К альтернативным относятся методы, основанные на использовании ферментативных систем. Характерными особенностями ферментативного анализа являются специфичность, обеспечивающая достоверность результатов, высокие точность и чувствительность. Перечень некоторых органических кислот в составе пищевых продуктов, определяемых ферментативными методами: молочная, лимонная, муравьиная, щавелевая, яблочная, янтарная. Использование ферментативных методов в аналитической химии органических пищевых кислот, в зависимости от группы анализируемых продуктов, может иметь различные цели, к которым относятся: производственный контроль; анализ состава с целью установления пищевых свойств и их соответствия нормативной документации; оценка гигиенического статуса; мониторинг качества; выявление нежелательных компонентов; установление фальсификации; определение доли натурального сырья, аутентичности (подлинности).

Качественный состав органических кислот, их соотношение, наличие специфических их представителей для отдельных видов фруктов и овощей является довольно надежным критерием идентификации соков и сокосодержащих напитков из этого вида растительного сырья.

Назначение органических кислот в питании определяется их энергетической ценностью, ккал/г: яблочная кислота – 2,4; лимонная – 2,5; молочная – 3,6; а также активным участием в обмене веществ. Исключение составляет винная кислота, которая не усваивается организмом человека.

В гигиеническом плане важно отметить благоприятное влияние органических кислот на процесс пищеварения – они снижают рН среды, способствуя созданию определенного состава микрофлоры, тормозят процессы гниения в желудочно-кишечном тракте. С токсикологических позиций необходимо учитывать способность *щавелевой кислоты* интенсивно связывать кальций, *фитиновой кислоты* – кальций, железо, цинк и другие металлы, что важно знать при составлении рациона, особенно для людей, нуждающихся в названных элементах. *Лимонная кислота*, наоборот, способствует усвоению организмом кальция.

Основная функция органических кислот, входящих в состав пищи, связана с участием в процессах пищеварения. К таким функциям органических кислот относятся: активация перистальтики кишечника; стимуляция секреции пищеварительных соков; влияние на формирование определенного состава микрофлоры путем снижения рН среды; торможение развития гнилостных процессов в толстом кишечнике.

Таким образом, несмотря на незначительное содержание в пищевых продуктах, органические кислоты не только участвуют в формировании потребительских свойств пищи, но и используются для обнаружения фальсификации фруктового и овощного сырья.

1.5. Витамины и витаминоподобные вещества

1.5.1. Витамины

Витамины (лат. *vita* – «жизнь») – важнейший класс незаменимых пищевых веществ. Они представляют собой группу сравнительно низкомолекулярных органических соединений разного химического строения, объединяемых по признаку их строгой необходимости для питания животного и человеческого организма. Витамины обладают высокой биологической активностью и требуются организму в очень маленьких количествах – от нескольких

микрограмм до нескольких миллиграмм в день. Витамины необходимы человеку, поскольку его организм не может синтезировать большинство из них, а синтезируемых, например, *D*, *PP*, *B₃*, *B₁₂*, *A*, *K*, не хватает. Хотя витамины не являются пластическим материалом и источником энергии, ввиду высокой биологической активности они регулируют множество биохимических и физиологических процессов (нормализуют обмен веществ, катализируют многие обменные процессы, участвуют в образовании ферментов, способствуют лучшему усвоению пищевых веществ). Даже при достаточном количестве в пище белков, жиров, углеводов и минеральных веществ нехватка или отсутствие витаминов приводит к нарушению основного обмена и развитию заболеваний.

Различают три вида заболеваний, связанных с количественным поступлением витаминов в организм: гипервитаминоз – избыточное поступление (возникает, как правило, при избыточном применении концентрированных витаминных препаратов), гиповитаминоз – недостаточное, авитаминоз – полное отсутствие. Наиболее часто встречаются полигиповитаминозы и полиавитаминозы, при которых существует недостаток или отсутствие нескольких витаминов одновременно.

Имеются две причины развития этих заболеваний – эндогенная и экзогенная. Причиной эндогенного гиповитаминоза является нарушение процессов ассимиляции витаминов и врожденные, генетически обусловленные нарушения обмена и функции витаминов. Поскольку данные процессы не связаны с недостаточным поступлением витаминов с пищей, они не будут рассматриваться нами.

В настоящее время известно 13 низкомолекулярных органических соединений, которые относят к витаминам. Согласно международной классификации, витамины делятся на **водо-** и **жирорастворимые**. Ряд витаминов представлен не одним, а несколькими соединениями, обладающими сходной биологической активностью (витамеры), например, витамин *B₆* включает пиридоксин, пиридоксаль и пиридоксамин. Для обозначения подобных групп родственных соединений используют слово «витамин» с буквенными обозначениями (витамин *A*, витамин *E* и др.). Для индивидуальных соединений, обладающих витаминной активностью, рекомендуется использовать рациональные названия, отражающие их химическую природу, например ретиналь (альдегидная форма витамина *A*) (рис. 1.24).



Рис. 1.24. Номенклатура и классификация витаминов

Для измерения биологической активности витаминов используется международная единица (МЕ, иногда – Единица действия, ЕД) – это единица измерения дозы вещества, основанная на его биологической активности. Используется для витаминов, гормонов, некоторых лекарств, вакцин, компонентов крови и подобных биологически активных веществ. Несмотря на название, МЕ не является частью международной системы измерения. Количество вещества в 1 МЕ для разных классов веществ различается:

- 1 МЕ витамина *A*: биологический эквивалент 0,3 мкг ретинола или 0,6 мкг β-каротина;
- 1 МЕ витамина *C*: 50 мкг аскорбиновой кислоты;
- 1 МЕ витамина *D*: биологический эквивалент 0,025 мкг холеили эргокальциферола;
- 1 МЕ витамина *E*: биологический эквивалент 2/3 мг d-α-токоферола или 1 мг ацетата dl-α-токоферола.

Водорастворимые витамины. Эта группа представлена наибольшим количеством витаминов: в нее входят витамины группы *B* и витамин *C*. Специфическая функция водорастворимых витаминов (кроме аскорбиновой кислоты) в организме – образование коферментов и простетических групп ферментов. Так, тиамин (B_1) в форме тиаминдифосфата – кофермент пируватдегидрогеназы, α -кетоглутаратдегидрогеназы и транскетолазы; витамин B_6 (пиридоксин) – предшественник пиридоксальфосфата (кофермента трансаминаз и других ферментов азотистого обмена). Связанные с различными витаминами ферменты принимают участие во многих важнейших процессах обмена веществ: энергетическом обмене (тиамин (B_1), рибофлавин (B_2), ниацин (PP)), биосинтезе и превращениях аминокислот (пиридоксин (B_6) и кобаламин (B_{12})), жирных кислот (пантотеновая кислота (B_5)), пуриновых и пиримидиновых оснований (фолацин (B_9)), образовании многих физиологически важных соединений – ацетилхолина, стероидов и т. п. Водорастворимые витамины всасываются в кровь воротной вены печени, их избыток выделяется с мочой. В организме может создаваться некоторый резерв этих витаминов, однако он должен постоянно пополняться витаминсодержащей пищей. Так, истощение резервов аскорбиновой кислоты (C) может наступить через несколько месяцев, а кобаламина (B_{12}) – через несколько лет. Избыток водорастворимых витаминов, за исключением никотиновой (PP) и аскорбиновой (C) кислот, а также пиридоксина (B_6), в целом переносится неплохо.

Рассмотрим основные сведения о водорастворимых витаминах.

Тиамин (витамин B_1), антинеуритический витамин, аневрин (рис. 1.25). История учения о витаминах связана с антинеуритическим фактором, получившим в дальнейшем название витамина B_1 . Этот витамин впервые выделил из рисовых отрубей и изучил К. Функ в 1912 г. На основании того, что в его состав входила аминогруппа, для этого вещества был введен термин «витамин» (т. е. «амин жизни»), который впоследствии был использован для обозначения большой группы органических соединений, имеющих разный состав и часто не содержащих аминогруппу. В 1926 г. из рисовых отрубей тиамин получен в виде гидрохлорида тиамина. Химическая формула тиамина установлена Р. Уильямсом в 1935 г. (рис. 1.25), а в 1937 г. витамин B_1 был синтезирован.

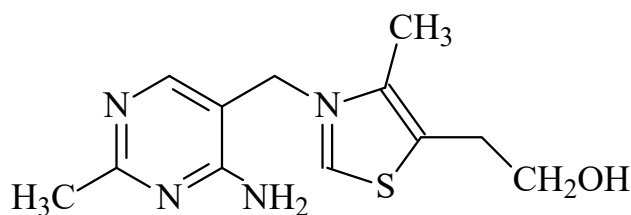


Рис. 1.25. Структурная формула тиамина

Тиамин – белый кристаллический порошок, хорошо растворим в воде, слабо – в метиловом и этиловом спиртах. Водные растворы тиамин в кислой среде выдерживают нагревание до высоких температур без снижения биологической активности. В нейтральной и особенно в щелочной среде витамин B_1 , наоборот, быстро разрушается при нагревании. Тиамин играет важную роль в процессах метаболизма углеводов, жиров и белков. Тело человека может хранить до 30 мг витамина B_1 в тканях. Тиамин в основном сосредоточен в скелетных мышцах; найден в мозгу, сердце, печени и почках. Данное соединение необходимо для нормального роста и развития, помогает поддерживать надлежащую работу сердца, нервной и пищеварительной систем. При его недостатке происходит неполное сгорание углеводов и накопление продуктов промежуточного обмена – молочной и пировиноградной кислот. Он способен усиливать в организме превращение углеводов в жир, воздействуя на функцию желудка, и ускорять эвакуацию его содержимого.

Тиамин, являясь водорастворимым соединением, не запасается в организме и не обладает отравляющими свойствами. Недостаток тиамин возникает при плохом питании и чрезмерном употреблении алкоголя и приводит к нарушению функций нервной системы (бессонница, раздражительность), пищеварительной системы. Авиитаминоз B_1 (болезнь бери-бери) характеризуется полиневритом с преимущественным поражением нижних конечностей. Заболевание возникает при длительном питании зерновыми продуктами высшей очистки или полированным рисом в странах, где эти продукты являются почти единственными. В настоящее время более распространен гиповитаминоз, так как из пищи исчезают мука грубого помола и неочищенные крупы. Болезнь проявляется в виде повышенной раздражительности, бессонницы, нарушений деятельности пищеварительной и сердечно-сосудистой систем. Гипервитаминоз тиамин встречается крайне редко.

Потребность в витамине B_1 составляет от 1,3 до 2,6 мг/сут (по иным данным от 0,2 до 1,2 мг/сут) и так же, как и для других витаминов, зависит от климата, физической нагрузки, возраста и прочих факторов. Пища, богатая углеводами, и алкоголь повышают потребность в витамине B_1 . Основные количества тиамин человек получает с растительной пищей. Источниками витамина B_1 являются оболочки, периферические части и зародыши злаковых и круп, бобовые, дрожжи и печень (табл. 1.11). Богаты тиамин пшеничный хлеб из муки грубого помола, соя, фасоль, горох, шпинат. Меньше содержание тиамин в картофеле, моркови, капусте. Из животной пищи содержанием тиамин выделяются свинина, говядина. В молоке его содержится около 0,5 мг/кг. Витамин B_1 синтезируется некоторыми видами бактерий, составляющих микрофлору толстого кишечника.

Таблица 1.11

Содержание витамина B_1 в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание витамина B_1 , мкг/г	Пищевой продукт	Содержание витамина B_1 , мкг/г
Пшеничные зародыши	15,6–62,0	Печень и почки	5,0–6,3
Пшеница	4,5–6,0	Говядина и баранина	1,7–2,0
Мука пшеничная обойная	5,2	Рыба	0,6–1,2
Мука ржаная обойная	3,5–4,7	Свежие фрукты и овощи	1–2
Отруби пшеничные	8–10	Картофель	0,9
Отруби рисовые	11–15	Дрожжи хлебопекарные	30
Дрожжи пивные	50	сухие	

Рибофлавин (витамин B_2 , лактофлавин, вердофлавин, овофлавин) – один из наиболее важных водорастворимых витаминов, кофермент многих биохимических процессов. Используется в качестве пищевого красителя, входит в Codex Alimentarius под кодом E101. Впервые описан в 1879 г. как желтый пигмент коровьего масла, а позже – солода, яиц, печени, свиного сердца. Выделен в 1933 г. из сыворотки молока, поэтому назван лактофлавином. В 1934 г. Р. Кун получил 1 г витамина B_2 в кристаллическом виде после переработки 5400 л молока. Витамин B_2 – вещество желто-оранжевого цвета, которое отнесено к группе животных пигментов – флавинов (рис. 1.26). В настоящее время витамин B_2 получают синтетически.

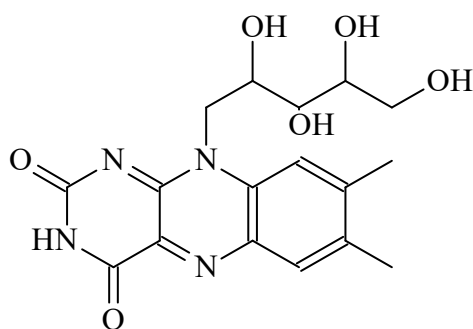


Рис. 1.26. Структурная формула рибофлавина

Витамин B_2 выдерживает нагревание до 120°C , не теряя витаминной активности, но под действием ультрафиолетовых лучей быстро ее утрачивает. При освещении в щелочной среде теряет 4 углеродных атома и превращается в люмифлавин, в кислой или нейтральной среде – в люмихром. Витамин B_2 входит в состав флавопротеидов и в организме человека представлен в виде коферментов, входящих в состав дыхательных ферментов. Он регулирует процессы окисления и восстановления в клетках и тканях, участвует в процессах роста и белковом, жировом и углеводном обменах, улучшает остроту зрения и способность различать цвета. Синтезируется большинством высших растений, дрожжами, грибами, плесенями, многими бактериями. В животных организмах основной биологической формой витамина является флавиновый кофермент ФАД, молекула которого построена из ФМН (флавиномононуклеотида) и адениловой кислоты. Авитаминоз B_2 проявляется в виде нарушения аппетита, падения веса, слабости, рези в глазах, болезненных ощущениях в слизистых оболочках рта.

Потребность в витамине B_2 составляет 1,5–3,0 мг/сут (по другим источникам 0,4–2,2 мг). Как правило, она полностью удовлетворяется пищей. Основными источниками витамина B_2 являются дрожжи, сыры, творог, молоко, почки, печень, яйцо, мясо, молоко, гречиха, горох (табл. 1.12).

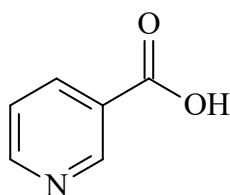
Ниацин (никотиновая кислота, витамин PP/ B_3) и ниацинамид (никотинамид) – два взаимозаменяемых витаминных вещества (рис. 1.27). В США и англоязычных странах никотиновая кислота была переименована в «ниацин» в 1942 г., чтобы отсечь всякие ассоциации с токсином под названием никотин и распространенные заблуждения о том, что табакокурение или жевание табака может восполнить потребности организма в витаминах.

Таблица 1.12

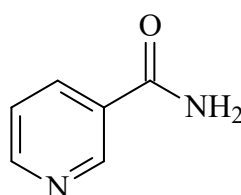
Содержание витамина B_2 в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание витамина B_2 , мкг/г	Пищевой продукт	Содержание витамина B_2 , мкг/г
Пшеничные зародыши	0,6	Печень быка	10–25
Пшеница	0,5–1,7	Почки быка	10–20
Яичный желток	2,5–4,0	Молоко	1
Рожь	1,8	Свежие овощи	0,1–0,5
Картофель	0,3–0,9	Дрожжи хлебопекарные сухие	40
Дрожжи пивные сухие	30		

Несмотря на то, что эти вещества были известны еще в XIX в., к витаминам их отнесли только в 1935–1937 гг. Белый кристаллический порошок без запаха, слабокислого вкуса. Трудно растворим в холодной воде (1 : 70), лучше в горячей (1 : 15), мало растворим в этаноле, очень мало – в эфире.



никотиновая кислота



никотинамид

Рис. 1.27. Две формы ниацина

Ниацин участвует во многих окислительно-восстановительных реакциях, образовании ферментов и обмене липидов и углеводов в живых клетках. Название витамина «РР» происходит от англ. *Pellagra-Preventive* – «предотвращающий пеллагру», когда в 1937 г. было обнаружено его противопеллагрическое действие. Ниацин и ниацинамид получают в больших количествах для использования в качестве добавок к пищевым продуктам и лекарственным средствам. Ниацин входит в состав простетической группы ферментов, переносящих кислород, нормализует функцию печени, желудка, улучшает секрецию и состав поджелудочной железы, участвует в накоплении гликогена. Ниацинамид входит в состав двух коферментов, НАД и НАДФ, играющих огромную роль в метаболизме углеводов. Ниацин в организме образуется из триптофана – аминокислоты, входящей в состав белков молока, мяса и яиц. Однако

полученного таким путем ниацина может быть достаточно лишь при значительном содержании триптофана в пищевых продуктах.

Авитаминоз проявляется в виде пеллагры – шершавой кожи (поэтому витамин *PP* иначе называют *антипелларгический*). Заболевание проявляется нарушениями психики, диареей, изъязвлением, шелушением и пигментацией кожи на открытых частях тела.

В пищевой промышленности используется в качестве пищевой добавки E375 (в ТР ТС 029/2012 отсутствует). Суточная потребность человека в ниацине составляет 14–28 мг (по другим источникам – от 2 до 25 мг). Большая ее часть удовлетворяется с пищей. При приготовлении и переработке пищевых продуктов ниацин и ниацинамид, как правило, не разрушаются. Он относительно устойчив к тепловой кулинарной обработке (разрушение около 20%), не распадается под воздействием света, кислорода воздуха, в кислых и щелочных средах. Может синтезироваться в организме человека из незаменимой кислоты триптофана, поэтому включение в рацион высокобелковых продуктов снижает потребность в нем. Источниками ниацина являются дрожжи, печень, почки, мясо, соя, горох, фасоль, сыр, мука грубого помола, гречиха, овес (табл. 1.13).

Таблица 1.13

Содержание ниацина в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание ниацина, мкг/г	Пищевой продукт	Содержание ниацина, мкг/г
Пшеничные зародыши	27–90	Мука высшего сорта	10
Пшеница	45–63	Отруби	50
Кукуруза	15	Мясо	50–60
Картофель	0,3–0,9		

Витамин *B*₅ (пантотеновая кислота, антидерматитный фактор). Пантотеновая кислота (азотсодержащая органическая кислота) обнаружена в 1939 г. в отрубях, в 1940 г. выделена в кристаллическом виде и синтезирована (рис. 1.28).

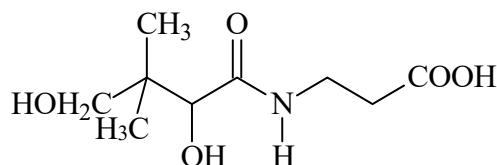
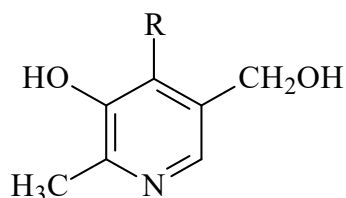


Рис. 1.28. Структурная формула пантотеновой кислоты

Чистая пантотеновая кислота – маслянистое вещество светло-желтого цвета, которое при взаимодействии с кальцием образует кристаллическое вещество. Она растворяется в воде, неустойчива к кислотам, щелочам и высокой температуре, легко расщепляется при стерилизации и длительной кулинарной обработке. Пантотеновая кислота является частью молекулы кофермента *A*, участвующего во многих биохимических процессах, в том числе в биологическом синтезе жиров и стероидов, с одной стороны, и в реакциях распада жиров – с другой. Ацетил-кофермент *A* играет ключевую роль в цикле трикарбоновых кислот и метаболизме углеводов, влияет на функцию нервной системы и нервно-трофические процессы, связанные с функцией щитовидной железы и надпочечников. Как-либо болезней человека, связанных с недостаточностью пантотеновой кислоты, не описано. Но у экспериментальных животных с помощью специальной диеты удавалось вызвать ярко выраженную недостаточность, сопровождающуюся дерматитом, диареей, перерождением нервной ткани и поседением шерсти.

Суточная потребность в витамине *B*₃ составляет 5–10 мг (по другим данным 4–12 мг). Среднее потребление пантотеновой кислоты в разных странах составляет 4,3–6,3 мг/сут. Верхний допустимый уровень потребления составляет 15 мг/сут. Витамин может синтезироваться в кишечнике микроорганизмами. Наиболее богаты пантотеновой кислотой печень, дрожжи, яйца, зеленый горошек, хлеб, говядина, молоко. Суточная потребность человека в пантотеновой кислоте удовлетворяется при нормальном смешанном питании.

Витамин *B*₆ (пиридоксин). Как и ниацин, витамин *B*₆ является производным пиридина. Собрательное название производных 3-гидрокси-2-метилпиридинов, обладающих биологической активностью пиридоксина – собственно пиридоксин, пиридоксаль, пиридоксамин (рис. 1.29), а также их фосфаты, среди которых наиболее важен пиридоксальфосфат.



Пиридоксин $R=CH_2OH$, пиридоксаль $R=CHO$,
пиридоксамин $R=CH_2NH_2$

Рис. 1.29. Структурная формула и биологические формы пиридина (витамина *B*₆)

Структура установлена в 1939 г. В зависимости от рН раствора образуются разные формы пиридоксина, а при его окислении – пиридоксаль и пиридоксамин, также обладающие витаминной активностью.

Витамин B_6 в организме связан с белками, входит в состав ферментов; участвует в синтезе жира из белка и в процессах использования ненасыщенных жирных кислот обеспечивает переаминирование аминокислот. Непосредственно влияет на расщепление триптофана и образование арахидоновой кислоты из линолевой.

Недостаток B_6 способствует жировой инфильтрации печени, развитию атеросклероза, нарушениям со стороны центральной нервной системы, отмечается задержка роста, раздражительность, сонливость, судороги, воспаление кожи головы и др. Суточная потребность в витамине B_6 составляет 1,5–3,0 мг, он также может синтезироваться в кишечнике. Витамин может частично образовываться в кишечнике человека в результате деятельности микроорганизмов (антибиотики подавляют их деятельность).

Наиболее богаты витамином дрожжи, фасоль, соя, постное мясо, печень, морская рыба, хлеб, крупы, цельные зерна злаковых растений. Меньше его содержится в овощах и фруктах.

Витамин B_9 (фолиевая кислота, фолацин, фолат). Впервые фолиевая, или птероилглутаминовая, кислота была выделена из листьев шпината, откуда и ее название. Выделена в 1938 г. из дрожжей, а в 1941 г. – из листьев шпината (лат. *folium* – «лист») как противоанемический фактор. Молекула построена из трех структурных единиц: производного птеридина, *n*-аминобензойной и *L*-глутаминовой кислот. Фолиевая кислота – это тонкие, бледно-желтые заостренной формы листочки, не имеющие определенной температуры плавления. Плохо растворима в воде. Разрушается при длительном воздействии света. По химической структуре представляет собой соединение глутаминовой и парааминобензойной кислот с желтым пигментом птерином (рис. 1.30). Своим названием птерин обязан крыльям бабочек, которым он придает окраску: греческое слово *pteron* означает «крыло».

Регулирует обмен холина, влияет на процессы кроветворения, препятствует развитию атеросклероза, снижая уровень холестерина в крови. Недостаток фолиевой кислоты приводит к развитию различных форм анемий, заболеваниям печени. Очень важна для беременных

женщин – недостаток этого витамина приводит к аномалиям в развитии будущего ребенка, в частности таких тяжелых патологических состояний, как незаращение трубки спинного мозга и учащение пороков развития сердца. В связи с этим в ряде стран осуществляется специальная профилактика недостаточности фолиевой кислоты. Например, в США законодательно принято решение об обогащении хлебопродуктов фолиевой кислотой.

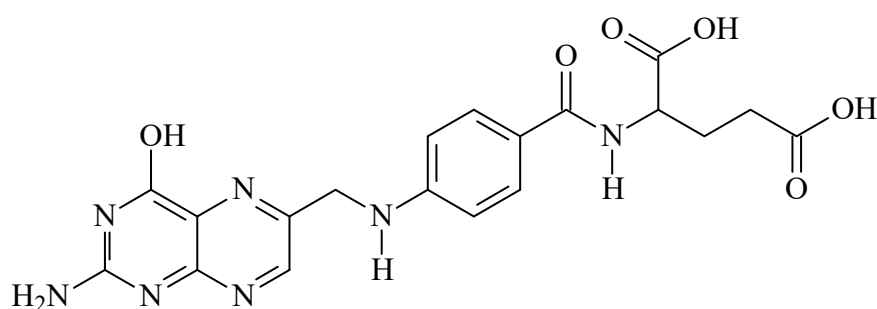


Рис. 1.30. Структурная формула фолиевой кислоты

Суточная потребность организма в фолиевой кислоте – 0,2–0,3 г. Наибольшее содержание фолиевой кислоты установлено в пивных дрожжах, сое, зеленых овощах и зелени, хлебе (цельнозерновом и из муки грубого помола), мясе, рыбе, молоке.

Витамин B_{12} (кобаламины, антианемический витамин). Кристаллическое состояние витамина B_{12} впервые получено в 1948 г. Его химическая природа была установлена в 1955 г. Витамин B_{12} – производное кобальтового комплекса коррина – структуры, содержащей 4 остатка дигидропиррола. Является наиболее сложным соединением среди витаминов. Этот витамин – единственное из биологически активных соединений, в состав которого входит кобальт, отсюда его другое название – кобаламин (рис. 1.31). Он был выделен в двух формах, обладающих одинаковой активностью: B_{12a} и B_{12b} .

Витамин B_{12} растворим в воде и этиловом спирте, его кристаллы имеют темно-красный цвет (благодаря атомам кобальта), на свету теряет активность, но в темноте может храниться долгое время. Термостабилен, но разрушается в кислой и щелочной средах. В биологическом действии имеет некоторое сходство с витамином B_9 , установлено также их взаимодействие между собой.

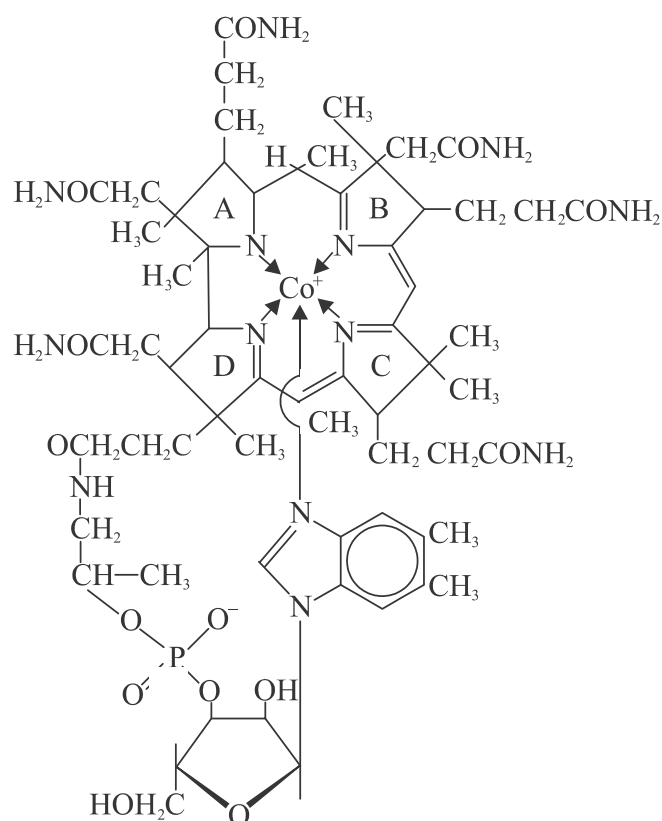


Рис. 1.31. Структурная формула витамина B_{12}
(цианокобаламина)

В пищевых продуктах растительного происхождения витамин B_{12} отсутствует; в отличие от других витаминов группы B его синтезируют не растения, а некоторые бактерии и почвенные грибы. Из природных источников был выделен кофермент, в состав которого входит витамин B_{12} . Присутствует в составе ферментов, участвующих в белковом и липидном обмене, процессах кроветворения, деятельности нервной системы. Недостаточность витамина B_{12} приводит к замедлению роста, развитию анемий, нарушению обмена основных веществ, появляется слабость, головокружение, одышка, снижение аппетита. Суточная потребность в витамине B_{12} – около 3 мкг. Витамин B_{12} содержится только в продуктах животного происхождения и в небольших количествах синтезируется микробиотой кишечника. Поэтому длительное вегетарианство может отрицательно сказаться на здоровье человека. Наиболее богаты витамином B_{12} печень (50–100 мкг/100 г), почки (20–30 мкг/100 г), менее – сельдь (10 мкг/100 г), мясо, яйцо, молочные продукты (0,4 мкг/100 г).

Биотин (витамин H) (нем. *haut* – «кожа») – сложное органическое соединение, в состав которого входят атомы серы и азота (рис. 1.32).

В составе ферментов принимает участие в азотистом и жировом обмене, регулирует функцию нервной системы. Биотин не только поступает в организм с пищей, но и синтезируется кишечными бактериями. Его недостаточность приводит к развитию анемий, выпадению волос, дерматитам, расстройству нервно-трофической функции.

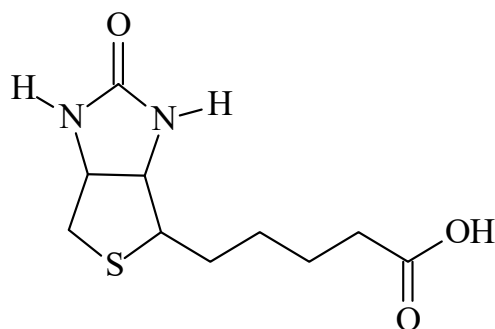


Рис. 1.32. Структурная формула биотина

Суточная потребность организма составляет 0,15–0,30 мг. Основным источником являются печень, почки и соя, меньше биотина содержится в яичном желтке, горохе, молоке, мясе (табл. 1.14).

Таблица 1.14

Содержание витамина *H* в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание витамина <i>H</i> , мкг/г	Пищевой продукт	Содержание витамина <i>H</i> , мкг/г
Пшеничная мука I сорта	0,007	Печень	0,96–1,12
Пшеница (зерно)	0,05	Яйца	0,09
Дрожжи пивные	0,07	Мясо	0,01–0,20
Картофель	0,006	Молоко	0,01–0,03
Почки	0,8–1,4	Горох	0,2
Соя	0,3		

Аскорбиновая кислота (витамин *C*, антицинготный, антискорбутный витамин). Известен с 1923 г., когда впервые были установлены его противцинготные свойства. Формула аскорбиновой кислоты установлена в 1933 г. независимо Р. Хербертом и Э. Хирстом. В этом же году кислота была синтезирована. В природных условиях встречается в виде *L*-аскорбиновой кислоты, дегидроаскорбиновой кислоты, аскорбигена, из которых около 70% приходится на последнюю, наиболее устойчивую к окислению форму (рис. 1.33).

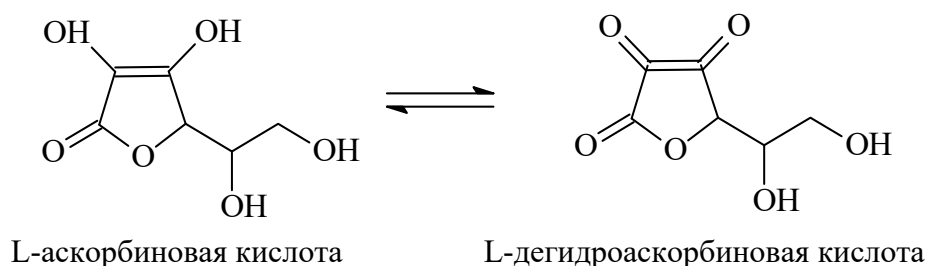


Рис. 1.33. Структурные формулы витамина С

В отличие от витаминов группы *B*, витамин *C* не обладает коферментными свойствами, но входит в белковую часть ферментных систем, что объясняет его широкий спектр действия; кроме того, он не синтезируется в организме человека.

Биологическая активность витамина *C* главным образом связана с участием в окислительно-восстановительных процессах, прежде всего в обмене триптофана и кортикостероидов. Он способствует нормальному функционированию нервной системы, стимулирует деятельность эндокринных желез, усвоение железа и нормальное кроветворение, повышает резистентность организма к инфекционным заболеваниям и воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды, особенно солей тяжелых металлов, уменьшает уровень холестерина в крови.

При недостаточном поступлении витамина *C* в организм снижается умственная и физическая работоспособность человека, нарушается нормальное состояние стенок капилляров и их эластичность, что приводит к повышенной ломкости и кровоизлияниям. В тяжелых случаях развивается ороговение кожи, кровоточивость и распухание десен, выпадают зубы, развивается анемия, нарушается желудочная секреция. Заболевание называется цингой. В результате нехватки витамина *C* может провоцироваться развитие фурункулеза, туберкулеза, онкологических заболеваний.

Обладает антиоксидантной активностью, которая усиливается в присутствии витамина *E* и β -каротина. Как антиоксидант используется в пищевой промышленности при производстве жиров и фруктовых соков, для предотвращения образования нитрозоаминов при производстве колбасных изделий. Используется для обогащения соков, молока, напитков. Витамин *C* очень неустоек, легко разрушается кислородом воздуха, особенно в присутствии следов железа и меди, неустойчив к действию света.

Суточная потребность человека в витамине С составляет 70–100 мг, по данным некоторых исследователей, она может быть увеличена до 200 мг, другим данным – 40–90 мг (может быть увеличена на 35 мг). Основным источником витамина С являются растения. Наибольшее его количество содержится в цитрусовых, сладком перце, шиповнике, смородине, облепихе, белокочанной капусте, петрушке, зелени, картофеле, томатах (табл. 1.15).

Таблица 1.15

Содержание витамина С в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание витамина С, мг/100г	Пищевой продукт	Содержание витамина С, мг/100г
Печень и селезенка	20–50	Мышечная ткань	0,9
Картофель молодой	20–40	Картофель лежалый	7–10
Молоко	0,7–2,6	Перец	100–400
Кумыс	20–25	Плоды шиповника (северные)	2000–4500
Яйца	0	Лимон	55
Капуста белокочанная	30–40	Смородина черная	100–400
Укроп	135	Яблоки северные	20–40
Лук-репка	2–10	Яблоки южные	5–17
Лук-перо	16,5–33,0	Виноград	0,4–12,0
Томаты	20–40	Мандарин	25–45
Орехи грецкие незрелые	До 3000	Смородина красная	8–16

Жирорастворимые витамины. Присутствуют в липидах пищевых продуктов животного и растительного происхождения. Как и витамины группы В, некоторые жирорастворимые витамины также выполняют коферментные функции. Так, витамин А в форме ретиналя – простетическая группа зрительного белка родопсина; витамин К осуществляет коферментную функцию в реакции γ -карбоксилирования остатков глутаминовой кислоты в молекуле препротромбина и ряда других белков, что придает им способность связывать ионы Са. Витамин Е стабилизирует и защищает ненасыщенные липиды биологических мембран от окисления; витамин D необходим для осуществления транспорта ионов Са и остатков фосфорной кислоты через клеточные барьеры в процессах их всасывания в кишечнике, реабсорбции в почках и мобилизации из скелета.

Попадая в организм, жирорастворимые витамины *A*, *D*, *K* перевариваются с липидами, всасываются в кишечнике и затем переносятся в печень, где запасаются. Главным местом резервирования витамина *E* является жировая ткань. Данная группа витаминов не выделяется с мочой, в связи с этим их избыток (особенно витаминов *A* и *D*) в организме оказывает токсический эффект.

Ниже приведена характеристика жирорастворимых витаминов.

Витамин *A* (ретинол, ретинилацетат, ретиналь, ретиноевая кислота) представляет собой жирорастворимый спирт бледно-желтого цвета, который образуется из красного растительного пигмента β -каротина (провитамина *A*). В организме животных и человека происходит превращение β -каротина в витамин *A*. Поэтому каротин можно рассматривать как растительную форму витамина *A*. Важнейшими представителями витамина *A* являются ретинол (*A*₁-спирт), ретиналь (*A*₁-альдегид) и ретиноевая кислота (*A*₂) (рис. 1.34).

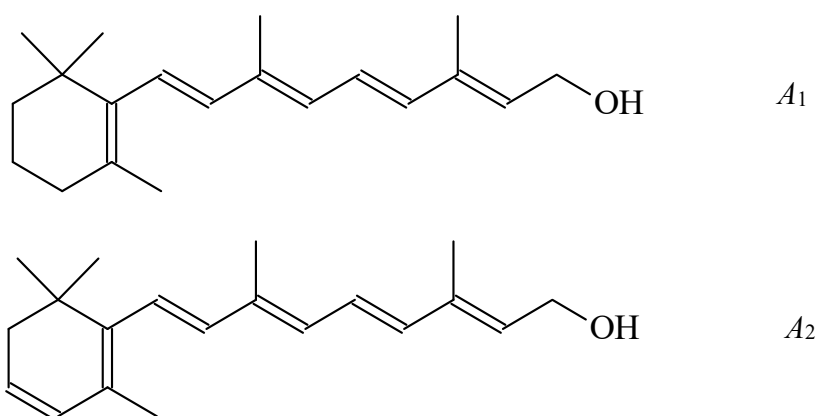


Рис. 1.34. Структурные формулы витамина *A*

В 1931 г. швейцарский химик Пауль Каррер (1889–1971) описал химическую структуру витамина *A* (Нобелевская премия по химии, 1937). Гарри Холмс (1879–1958) и Рут Корбет кристаллизовали витамин *A* в 1937 г. В 1946 г. Давид Адриан ван Дорп (1915–1995) и Йозеф Фердинанд Аренс (1914–2001) синтезировали витамин *A*. Отто Ислер (1920–1992) в 1947 г. разработал промышленный метод его синтеза.

И витамин *A*, и β -каротин – ненасыщенные соединения, они легко окисляются на воздухе и разрушаются. Вещества группы

витамина *A* являются кристаллическими. Они нерастворимы в воде, но хорошо растворимы в органических растворителях. Все соединения склонны к *цис-транс*-изомеризации.

Раньше основным источником концентрированного витамина *A* служил рыбный жир, в основном из печени акулы. В настоящее время этот витамин синтезируют химическим путем. Витамин *A* имеет следующие фармакологические эффекты, а именно синтез:

- ферментов для образования хондроитинсерной кислоты и сульфогликанов; гиалуроновой кислоты; гепарина; сульфocereброзидов; таурина; ферментов печени и других жизненно важных соединений;

- половых гормонов, а также интерферона, иммуноглобулина *A*, лизоцима;

- родопсина в палочках сетчатки глаза, необходимого для сумеречного зрения.

Витамин *A* оказывает воздействие на рост и развитие организма, участвует в процессах костеобразования, в нормализации состояния и функции клеточных мембран, осуществляет взаимосвязь между липидами и внутриклеточными мембранами, участвует в формировании зрения, особенно ночного, необходим для образования зрительных ферментов. От витамина *A* зависит способность видеть при слабом освещении. Дело в том, что важным компонентом сетчатки является производное витамина *A* – родопсин, или зрительный пурпур, который принимает участие в зрительном процессе. Недостаточность витамина *A* ведет к утрате родопсина, что, в свою очередь, вызывает ночную («куриную») слепоту, т. е. неспособность видеть в сумерках. Благодаря своей роли в деятельности сетчатки витамин *A* получил название «ретинол» (от *retina* – «сетчатка»). Избыток витамина *A* приводит к повреждению лизосом, мембран митохондрий, эритроцитов.

Суточная потребность человека составляет 0,8–1,0 мг. Основным источником витамина *A* являются печень рыб и животных, икра рыб, яйца, в меньшей степени – молочные продукты. Высокое содержание провитамина *A* (каротина) отмечено в моркови, красно-оранжевых овощах (томат, перец), зеленых растениях, черноплодной рябине, облепихе (табл. 1.16).

Таблица 1.16

Содержание витамина А (β-каротина) в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание, мкг/г	Пищевой продукт	Содержание, мкг/г
Растительные масла	0	Картофель	0
Пшеница, пшеничная мука, хлеб	(0–0,2)	Мясо и птица	0,04
Молоко летнее	1	Масло сливочное	12
Абрикосы	20	Томаты	(20)
Салат и шпинат	(25–50)	Морковь красная	(90)
Жир из печени трески	300	Жир из печени акулы	750
Жир из печени морского окуня	900	Жир из печени кашалота	60 000

Витамин D (кальциферолы, антирахитный витамин) структурно связан со стероидными соединениями – классом жирорастворимых веществ (см. подразд. 1.2), входящих в состав животных тканей, грибов и различных растений (рис. 1.35). Витамин D – это семейство соединений, каждое из которых образуется из определенного стерина, своего предшественника в животном организме под действием ультрафиолетовых лучей. Биологически активные вещества (холекальциферол, эргокальциферол, ситокальциферол, 2,2-дигидроэргокальциферол и другие). Холекальциферол (витамин D₃) синтезируется у человека в коже под действием ультрафиолетовых лучей диапазона «В», а также поступает в организм человека с пищей. Эргокальциферол (витамин D₂) может поступать только с пищей.

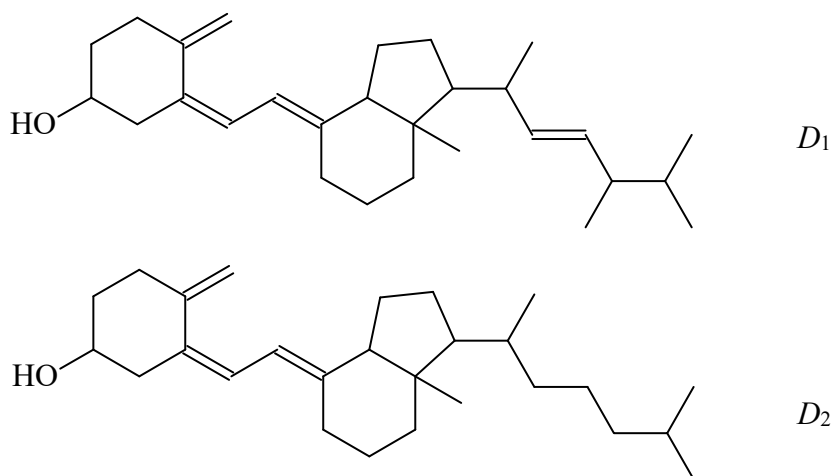


Рис. 1.35. Структурные формулы витамина D

Изучение этих витаминов начато в 1916 г., а в 1931 г. они были получены синтетически. Витамин *D* регулирует в организме обмен кальция и фосфора, нормализует их всасывание из кишечника и способствует отложению фосфата кальция в костях, стимулирует превращение органического фосфора в неорганический. Недостаток витамина *D* проявляется в виде рахита – типичного заболевания у детей. Наблюдается общая слабость и раздражительность, потливость, задержка окостенения родничка и прорезывания зубов, размягчение, деформация и искривление костей. У взрослых – остеопороз и остеомаляция, сопровождающиеся переломами костей. Витамин *D* чувствителен к свету и кислороду воздуха, но почти не разрушается при кулинарной обработке пищи.

Суточная потребность взрослого человека – 0,0025 мг. Существует два пути поступления витамина *D*. Во-первых, он может синтезироваться в организме под воздействием ультрафиолетовых лучей: достаточно 15 мин 3 раза в неделю между 11–14 часами подержать тыльные стороны ладони на солнце, чтобы получить суточную дозу. Второй путь – употребление продуктов животного происхождения: печени и жира тресковых рыб, жирных видов рыб, икры, яиц, печени животных, масла, молока. Наиболее благоприятным является сочетание обоих путей поступления витамина *D*. Однако в высоких дозах витамин *D* может оказывать токсическое действие, выражающееся в повышении уровня кальция в крови (кальциноз почек и сердца). Содержание витамина *D* в некоторых пищевых продуктах представлено в табл. 1.17.

Таблица 1.17

Содержание витамина *D* в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание витамина <i>D</i> , мкг/100 г	Пищевой продукт	Содержание витамина <i>D</i> , мкг/100 г
Растительные масла	0	Дрожжи пивные сухие (после облучения УФ-лучами)	12 500–
Печень животных	0,2–1,2		25 000
Молоко	0,02–0,10	Масло сливочное (летом)	1–2
Яичный желток (зимой)	3,5	Масло сливочное (зимой)	0,3–0,5
Яичный желток (летом)	12,5	Зеленые части растений	0

Витамин Е (токоферолы, антистерильный витамин) – вещества, необходимые для нормального процесса размножения

(фактор размножения). Токоферол, что по-гречески означает «рождение младенца», играет важную роль в репродукции. Впервые он был выделен из масла зародышей пшеницы. Химическая природа витамина *E* была выяснена в 1936–1938 гг. Известны четыре формы токоферола – альфа, бета, гамма и дельта (рис. 1.36).

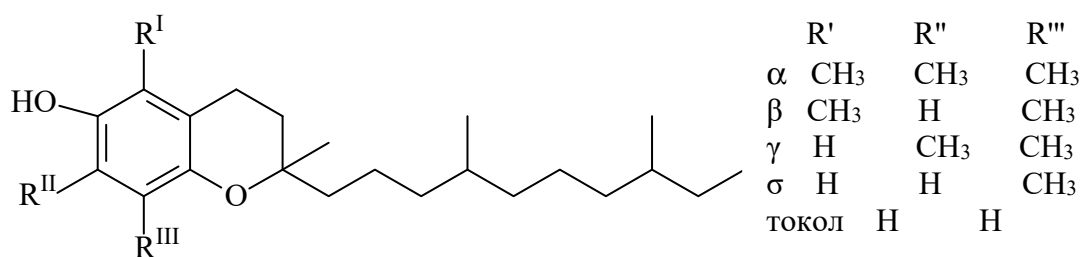


Рис. 1.36. Химическая формула и формы витамина *E*

Витамин *E* и его химические аналоги представляют собой производные токола, содержащие различное количество метильных групп в ароматическом кольце: например, α -токоферол – 5,7,8-триметилтокол, а β -токоферол – 5,7-диметилтокол. Все эти близкородственные соединения сходны по химической структуре с хлорофиллом – зеленым пигментом растений. Наиболее активен α -токоферол.

Витамин *E* – бесцветная маслянистая жидкость, хорошо растворима в растительных маслах, спирте. Он стойкий при воздействии высокой температуры (150–175°C), в меньшей степени – против кислот и щелочей. Активно участвует в обмене углеводов, белков и особенно жиров. Стимулирует окисление внутриклеточных липидов, повышает накопление жирорастворимых витаминов в тканях, прежде всего ретинола. Влияет на состояние и функцию клеточных мембран, половых желез, процессы тканевого дыхания. Недостаточность витамина *E* проявляется в развитии мышечной дистрофии, нарушении полового цикла вплоть до бесплодия.

Суточная потребность составляет 12–15 мг. Основными источниками витамина *E* являются растительные масла, мг/100 г: соевое – 115, подсолнечное – 42 и хлопковое – 99; однако наиболее биологически активный α -токоферол в большей степени содержится в хлопковом и подсолнечном маслах. Кроме того, токоферолы присутствуют в зародышах злаковых (150–30 мкг/г), зеленых овощах, печени, гречихе, облепихе. Хорошим источником этого витамина

является также маргарин, приготовленный из растительного масла. Промышленностью выпускается и синтетический α -токоферол.

Витамин К (филлохиноны, антигеморрагический витамин) (нем. *koagulation* – «коагуляция»). Химическая природа витамина К установлена в 1939 г. швейцарским химиком П. Каррером. Витамин К существует в природе в двух формах: K_1 (филлохинон) и K_2 (менахинон) (рис. 1.37). Обе формы жирорастворимы. К настоящему времени химически получено много других форм витамина К, в том числе и водорастворимых. Самая простая форма витамина К – синтетический продукт менадион (2-метил-1,4-нафтохинон), который представляет собой желтоватое масло с резким вкусом. Витамин К активно участвует в процессах свертывания крови, повышает содержание протромбина в плазме крови. При недостатке этого витамина наблюдается нарушение свертываемости крови, кровотечение, кровоизлияния под кожей и в мышцах.

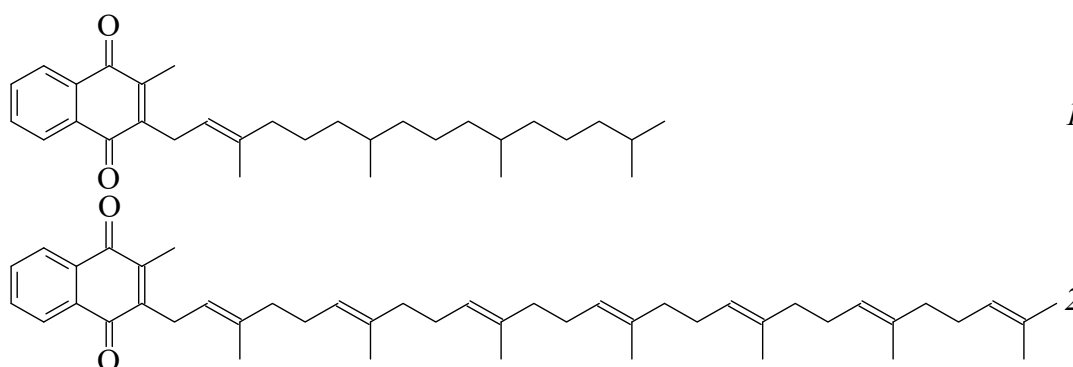


Рис. 1.37. Две формы витамина К:
1 – филлохинон; 2 – менахинон

Суточная потребность (около 80 мкг, по другим данным – 120 мкг/сут) в витамине К может быть удовлетворена за счет синтеза его микробиотой кишечника, которая продуцирует витамин K_2 . Витамин K_1 содержится в продуктах растительного происхождения: капустных и зеленых овощах, бобовых, картофеле, злаках, пшеничных отрубях, крапиве, авокадо, бананах, киви, сое и продуктах из нее. В печени, мясе, коровьем молоке и других молочных продуктах, яйцо также обнаружено присутствие витамина К.

1.5.2. Витаминоподобные вещества

Наряду с витаминами, необходимость которых для человека и животных бесспорно установлена, в пище содержатся биологически активные вещества, дефицит которых не приводит к обнаруживаемым нарушениям в организме или которые по своим функциям ближе не к витаминам, а к другим незаменимым пищевым веществам (незаменимым аминокислотам, полиненасыщенным жирным кислотам). Эти вещества называются **витаминоподобными** (табл. 1.18).

Таблица 1.18

Номенклатура и классификация витаминоподобных соединений

Классификационная группа	Индивидуальные представители
Незаменимые пищевые вещества	Холин (витамин <i>B</i> ₄) Инозит (витамин <i>B</i> ₈ , миоинозит, мезоинозит)
Биологически активные вещества	Оротовая кислота (витамин <i>B</i> ₁₃) Карнитин
Фармакологически активные вещества пищи	Липоевая кислота (витамин <i>N</i>) Биофлавоноиды (витамин <i>P</i>) Метилметионинсульфоний (витамин <i>U</i>) Пангамовая кислота (витамин <i>B</i> ₁₅)
Факторы роста микроорганизмов	Пара-аминобензойная кислота (витамин <i>H</i> ₁)

Холин (витамин *B*₄) (от греч. *χολή* – «желчь») выделен из желчи еще в XIX в., но только в прошлом столетии ему приписали функции витаминоподобного вещества. Холин обычно относят к витаминам группы *B*, хотя он синтезируется в организме, и в тканях его содержание гораздо выше, чем других витаминов (в сырой печени, например, примерно 0,5% веса органа). В организме млекопитающих холин образуется из аминокислоты метионина.

Холин в виде основания представляет собой очень гигроскопичные бесцветные кристаллы, хорошо растворимые в воде, этаноле; хуже растворимые в амиловом спирте, ацетоне и хлороформе; нерастворимые в диэтиловом эфире, сероуглероде, четыреххлористом углероде, бензоле. С химической точки зрения холин представляет собой соединение азота, похожее на аммиак (рис. 1.38).

Биологическая роль связана, прежде всего, с обменом жиров. Он является структурным компонентом ацетилхолина, лецитина, сфингомиелина, участвует в синтезе фосфолипидов, влияет на белковый обмен, процессы кроветворения и всасывания жиров

из кишечника, регулирует депонирование нейтральных жиров и обмен холестерина. Производное холина – ацетилхолин – играет важную роль в нервной деятельности. Недостаточное поступление холина с пищей может привести к жировой инфильтрации печени, циррозу и в особо тяжелых случаях – опухолевым заболеваниям.

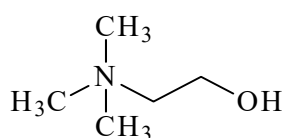


Рис. 1.38. Структурная формула холина

Суточная потребность в холине точно не установлена. Принято считать, что она составляет 0,5–1,0 г, однако для больных атеросклерозом и лиц пожилого возраста она должна быть выше. Основными источниками холина являются продукты животного происхождения: печень, яйцо, молочные продукты, постное мясо, рыба. Также холин содержится в овсяной крупе, некоторых видах хлеба, сое и арахисе. Растительные и животные жиры, используемые для приготовления пищи (например, для жарки), содержат в среднем 5 мг общего холина в 100 г жира.

В США этикетки на пищевых продуктах указывают содержание холина в 100 г продукта и в одной порции продукта в процентах от рекомендованной дневной нормы адекватного потребления холина, которая принята равной 550 мг/сут.

Инозит (витамин B₈) – гексаоксициклогексан (рис. 1.39), циклит, циклический шестиатомный спирт со сладким вкусом, хорошо растворим в воде. Несмотря на сходную с сахарами брутто-формулу C_x(H₂O)_y, инозитол по химической природе не является углеводом. Из девяти возможных стереоизомеров инозита свойствами витамина обладает только мезоинозит. Инозитол называли «витамином B₈», однако было показано, что около 3/4 суточной потребности инозитола вырабатывается самим организмом, поэтому инозитол относят к витаминоподобным веществам.

Его биологическая роль в организме разнообразна. Известно, что он так же, как и холин, имеет липотропные свойства. Его свойства наиболее проявляются в присутствии витамина E при недостаточном поступлении жиров с пищей. Инозит нормализует деятельность нервной системы.

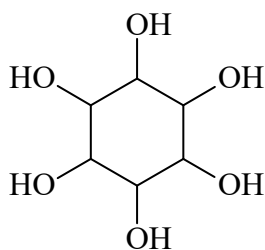


Рис. 1.39. Структурная формула инозита

При хронической нехватке инозита в организме нарушается работа многих органов и систем: появляется нервозность, нарушается кровообращение, повышается уровень «плохого» холестерина и развивается множество связанных с этим заболеваний. Кроме того, ослабевает зрение, на коже появляются неприятные чешуйчатые высыпания, начинают выпадать волосы. Дефицит инозита также вызывает некоторые заболевания желудочно-кишечного тракта и почек – в таких случаях специалисты рекомендуют его прием вместе с холином, так как они лучше усваиваются организмом в комбинации друг с другом.

Суточная потребность в инозите составляет 4–8 г (по другим данным – 1,0–1,5 г). Наибольшее его количество содержится в растениях (орехах, пшеничных отрубях и зародышах, апельсинах, зеленом горошке, дыне, персиках, цветной капусте, цитрусовых, миндале, кунжутном масле и семечках) и следующих животных продуктах: печени и сердце животных, яйцах, мясе (телятине, свинине и др.), молоке, икре рыб.

Липоевая (тиоктовая) кислота (витамин N) относится к витаминоподобным веществам (рис. 1.40), обладающим мощными свойствами антиоксиданта, присутствует во всех клетках человеческого организма, отвечает за сохранение молодости.

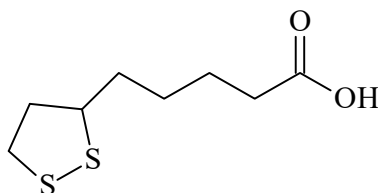


Рис. 1.40. Структурная формула α-липоевой кислоты

У этого соединения много названий: липамид, берлитион, тиоктовая кислота (международное название). Это желтоватый кристаллический порошок, горьковатый и с особым запахом; в спирте он

растворяется отлично, а в воде – плохо, однако натриевая соль липоевой кислоты в воде растворяется хорошо. Липоевая кислота была открыта еще в середине прошлого века, и буквально за несколько лет ее научились синтезировать – вначале же это вещество биохимики получали из говяжьей печени.

Сначала на липоевую кислоту обращали мало внимания, но потом оказалось, что она есть в каждой клетке нашего организма и к тому же обладает мощными антиоксидантными свойствами, может замещать инсулин и вообще является уникальным веществом, постоянно поддерживающим наши жизненные силы. Эта кислота принимает участие во многих биохимических реакциях: обмене белков и липидов, преобразовании углеводов и образовании важных ферментов. Благодаря ей в организме сохраняется больше витаминов *C* и *E*, а также глутатиона – важнейшего антиоксиданта, считающегося главным защитником клеток от свободных радикалов. Липоевая кислота выводит из клеток токсины и тяжелые металлы, поддерживает работу печени даже при гепатите и циррозе, укрепляет иммунитет и нервную систему. Теперь ее официально называют лекарственным средством из группы витаминов.

Суточная потребность составляет 0,5 мг (по другим данным 1 г). Источниками поступления липоевой кислоты являются продукты питания, поскольку она содержится во многих из них в больших количествах. В природе липоевая кислота распространена довольно широко, и во многих обычных продуктах ее вполне достаточно для того, чтобы удовлетворять суточную потребность здорового человека. Источники липоевой кислоты: говядина и говяжья печень, сердце, почки, молоко и молочные продукты (сливки, коровье масло, кефир, сыр, творог), яйца, рис, капуста, бобовые, дрожжи, листовая зелень, грибы, пшеничная крупа. Несколько меньше этого вещества во фруктах и овощах.

Недостаток липоевой кислоты не вызывает у человека каких-либо ярко выраженных симптомов, но при нарушениях ее усвоения могут возникать расстройства в работе печени, нарушается выработка желчи и накапливается жир; сосуды тоже поражаются – в них появляются атеросклеротические отложения и бляшки. Избытка витамина *N* тоже практически не бывает, так как он быстро выводится из организма, т. е. получить гипервитаминоз этого витамина из продуктов питания нереально, но при инъекциях, если введение

препарата избыточно, это становится возможным. Основные симптомы избытка липоевой кислоты выражаются в повышенной кислотности желудка, изжоге, боли в подложечной области. Возможны аллергические реакции, проявляющиеся поражениями кожных покровов с воспалительными процессами.

Оротовая кислота (витамин B_{13}) по химической структуре является гетероциклическим соединением, известным как пиримидинкарбоксильная кислота (4-карбоксиурацил, 2,6-диоксипиримидин-4-карбоновая кислота) (рис. 1.41).

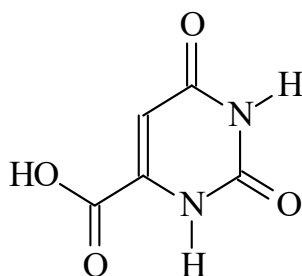


Рис. 1.41. Структурная формула оротовой кислоты

Представляет собой бесцветные кристаллы, плохо растворимые в воде и органических растворителях. Под воздействием воды и света разрушается. Оротовая кислота была открыта в 1904 г. Бискарро (англ. G. Biscaro) и Белони (англ. E. Belloni); впервые выделена в 1905 г. из коровьего молока, позже найдена в молоке других животных, а также и в женском. В 1930 г. Бахстец (англ. M. Bachstetz) описал ее структуру. В 1947–1948 гг. Митчел (N. K. Mitchell) и его соавторы установили, что оротовая кислота является промежуточным продуктом биосинтеза пиримидиновых нуклеотидов и входит в состав всех живых клеток. В 1948 г. был открыт фактор роста крыс и цыплят под названием «витамин B_{13} ». В 1953 г. Манна (англ. L. Manna) и Хауге (S. M. Hauge) доказали, что витамин B_{13} и оротовая кислота – идентичные вещества. Позже было установлено, что оротовая кислота может синтезироваться микробиотой кишечника.

Оротовая кислота входит в состав практически всех тканей и органов человеческого тела, поскольку она участвует в ряде важнейших биохимических реакций. Витамин B_{13} необходим для образования особых веществ – *фосфолипидов*, без которых невозможно построение и нормальное функционирование клеточных мембран (см. подразд. 1.2). Принимая участие в биосинтезе нуклеиновых

кислот, витамин B_{13} обеспечивает условия для нормального роста как отдельных клеток, так и организма в целом. В ходе исследований установлено положительное влияние оротовой кислоты на процессы кроветворения. В частности, отмечена способность витамина B_{13} усиливать синтез клеток крови – эритроцитов и лейкоцитов. Данное свойство оротовой кислоты позволяет использовать это соединение при лечении малокровия, обусловленного воздействием ионизирующей радиации, поскольку при облучении в первую очередь нарушаются процессы кроветворения. Недостаток оротовой кислоты способствует развитию хронической сердечной недостаточности, замедлению процессов регенерации в послеоперационном периоде, утяжелению патологических процессов при хронических заболеваниях печени.

В пище оротовая кислота находится в виде слабо растворимых в воде соединений с минералами (соли магния, калия, кальция). Эти органические соли из полости тонкой кишки легко всасываются в кровь путем простой диффузии. В крови происходит отделение минералов, и свободная оротовая кислота транспортируется в печень, другие органы и ткани. Наибольшее содержание оротовой кислоты обнаружено в печени и дрожжах, также большое количество ее присутствует в молоке и молочных продуктах. Главным источником оротовой кислоты для человека является коровье молоко. Средняя суточная потребность организма в этом веществе, по мнению большинства ученых, составляет 0,5–3,0 г.

***L*-карнитин (витамин B_m , B_{11})** (лат. *carnis* – «мясо») был открыт В. С. Гулевичем и Р. П. Кримбергом в 1905 г. Впервые синтезирован в 1960 г. Роль карнитина была определена в 1962 г.: он переносит длинноцепочечные жирные кислоты в митохондрии через внутреннюю мембрану последних. *L*-карнитин часто называют витаминоподобным веществом, однако витамином он не является, так как организм может синтезировать его самостоятельно. Уровень *L*-карнитина является гомеостатичным, все его излишки эффективно выводятся из организма, сверх меры он не накапливается.

L-карнитин – белый кристаллический, гигроскопический порошок. Температура плавления составляет 197°C. Легко растворим в воде и горячем спирте. Практически нерастворим в ацетоне, эфире и бензоле. Удельное вращение от -29° до -32° . Карнитин существует в двух стереоизомерных формах: *L*-карнитин и *D*-карнитин.

L-карнитин содержится в клетках млекопитающих, *D*-карнитин имеет синтетическое происхождение. Биологической активностью обладает только *L*-карнитин (рис. 1.42). *D*-карнитин не оказывает положительного действия на организм, так как является конкурентным антагонистом *L*-карнитина.

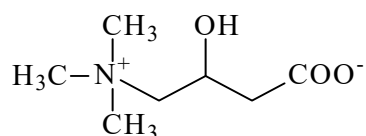


Рис. 1.42. Структурная формула *L*-карнитина

L-карнитин синтезируется в печени и почках, из которых транспортируется в другие ткани и органы. Синтез *L*-карнитина протекает при участии витаминов *C*, *B*₃, *B*₆, *B*₉, *B*₁₂, железа, лизина, метионина и некоторых ферментов. При дефиците хотя бы одного из компонентов может развиваться недостаточность *L*-карнитина с нарушением функций организма, что наблюдается редко, преимущественно при генетическом дефекте ферментов, ответственных за синтез *L*-карнитина.

L-карнитин снижает основной обмен, замедляет распад белковых и углеводных молекул. Мобилизует жир из жировых депо (благодаря наличию трех лабильных метильных групп). Повышает секрецию и ферментативную активность пищеварительных соков (желудочного и кишечного), улучшает усвоение пищи. Снижает избыточную массу тела и уменьшает содержание жира в скелетной мускулатуре. Повышает порог резистентности к физической нагрузке. Восстанавливает структуру нервной ткани.

Основными пищевыми источниками *L*-карнитина являются: мясо, рыба, птица, молоко, сыр, творог. Рекомендуемой суточной дозой *L*-карнитина является: для взрослых – до 300 мг, для детей в зависимости от возраста от 10–15 мг до 100–300 мг. При повышенных умственных, физических и эмоциональных нагрузках, многих заболеваниях, в стрессовом состоянии, при беременности или кормлении грудью, занятиях спортом потребность в *L*-карнитине может увеличиться в несколько раз.

Биофлавоноиды (витамин P) – группа водорастворимых веществ растительного происхождения, представляющих собой полиокси- и полиметоксипроизводные флавона, флавонона, катехинов,

антоцианидов (рис. 1.43). Флавоноиды известны как растительные пигменты более столетия. Первая работа, посвященная возможной биологической роли флавоноидов для человека, была опубликована лауреатом Нобелевской премии по физиологии или медицине Альбертом де Сент-Дьерди в 1936 г. Он предположил, что это соединение относится к витаминам, и дал ему название «витамин Р». Наименование «витамин Р» употреблялось для обозначения ряда флавоноидов до 1950-х гг. В более поздний период было предложено название «биофлавоноиды».

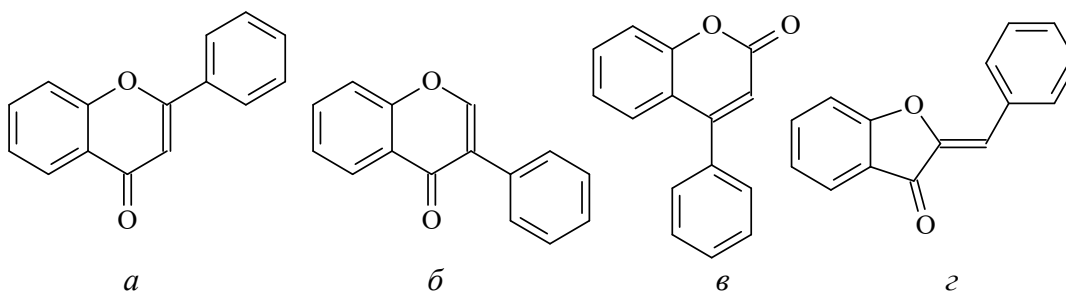


Рис. 1.43. Структурные формулы флавона (а), изофлавона (б), фенилкумарина (в), аурана (г)

Известно около 150 веществ, составляющих группу биофлавоноидов, наиболее распространенными представителями каждой из групп являются гесперидин, рутин, квертицин, катехин, красящие вещества свекольного сока – бетаин, бетанин. Так, катехины получают из чайного листа, антоцианы – из оболочки черных видов винограда, черешни, черноплодной рябины, столовой свеклы и др. Красящее вещество свеклы – антоциан содержит биофлавоноиды бетаин и бетанин. Первый обладает противосклеротическими, липотропными свойствами, второй – способностью нормализовывать кровяное давление. Биофлавоноиды нормализуют и укрепляют состояние капилляров и повышают их прочность, обладают способностью активировать окислительные процессы в тканях, а также усиливать восстановление дегидроаскорбиновой кислоты в высокоактивную действенную аскорбиновую кислоту.

Биофлавоноиды не синтезируются в организме человека, поэтому необходимо употреблять в пищу продукты, в которых они содержатся. Источники биофлавоноидов: белая оболочка под кожурой цитрусовых фруктов, перец, гречка, черная смородина, а также

абрикосы, вишня, грейпфруты, виноград, лимоны, апельсины, чернослив, плоды шиповника, ягоды бузины, ягоды боярышника, хвощ, плоды шиповника. Суточная потребность в биофлавоноидах составляет 35–50 мг.

Метилметионинсульфоний (*S*-метилметионин, витамин *U*) (лат. *ulcus* – «язва», «противоязвенный фактор»). Первые сообщения об успешном лечении больных язвенной болезнью капустным соком появились в 1949 г. Метилметионинсульфоний относится к липотропным факторам, имеет выраженные противоязвенные, антигистаминные, антиатеросклеротические свойства. Данное соединение образуется из метионина (одной из незаменимых аминокислот) (рис. 1.44), поэтому противоязвенный витамин многие исследователи рассматривают как витаминоподобное вещество. Совсем уж обязательным для организма витамин *U* назвать нельзя, но важно отметить, что в клетках тканей и органов он не образуется, поэтому должен поступать с пищей. Данный витамин хорошо растворяется в воде, неустойчив к длительному воздействию повышенных температур, щелочей, однако неплохо сохраняется в кислой среде.

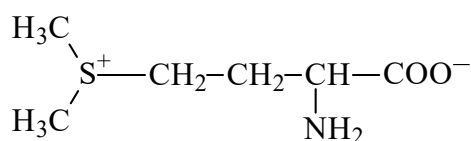


Рис. 1.44. Химическая формула метилметионинсульфония

Витамин *U* в организме выполняет множество важных функций, одной из которых является обезвреживание опасных для организма соединений, например гистамина. Главная особенность этого витамина заключается в способности заживлять всевозможные эрозии и язвы на слизистой оболочке желудочно-кишечного тракта. Витамин *U* нормализует кислотность в желудке, улучшает обмен жиров, защищая сосуды и печень от повреждения, помогает распознавать чужеродные вещества и избавляться от них. Данное вещество также является одним из участников синтеза многих других биологически активных веществ, к примеру холина (витамина *B*₄).

Определить суточную потребность витамина *U* является затруднительным вследствие того, что данное соединение постоянно поступает в организм вместе с овощными продуктами. Однако среднее значение потребления витамина *U* в сутки все же установлено и

составляет от 100 мг до 300 мг. Благодаря тому, что данный витамин хорошо растворяется в воде, быстро расходуется, а его избыток благополучно выводится почками, признаков гипervитаминоза не наблюдается.

Витамин *U* является очень распространенным веществом в природе. В организм человека он поступает в основном с растительной пищей: капустой, зеленью петрушки, лука и сельдерея, морковью, спаржей, свеклой, томатами, сладким перцем, шпинатом, репой, сырым картофелем, бананами, зеленым чаем. В продуктах животного происхождения витамин *U* обнаружен в незначительных количествах в сыром молоке, сырых яичных желтках и печени.

Пангамовая кислота (витамин B_{15}) (6-(2-диметиламино-ацетокси)-2,3,4,5-тетрагидроксигексановая кислота) выделена в 1951 г. Э. Д. Кребсом из абрикосовых косточек и названа им витамином B_{15} , но она не является витамином, так как не была показана строгая необходимость данного вещества в диете человека, а дефицит пангамовой кислоты не связан с какими-либо известными заболеваниями. Оказалось, что она широко распространена в пищевых продуктах растительного и животного происхождения и всегда входит в состав семян растений. Этим объясняется ее название (греч. *pan* – «всюду», *gamy* – «семя»). В 1955 г. Э. Д. Кребс определил ее химическое строение (рис. 1.45) и осуществил синтез.

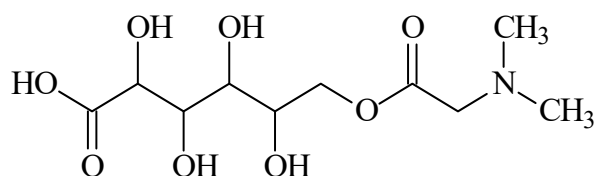


Рис. 1.45. Структурная формула пангамовой кислоты

Витамин B_{15} в очищенном виде представляет собой белый кристаллический порошок, хорошо впитывающий воду. Натриевая соль пангамовой кислоты имеет точку плавления, равную 186°C , растворяется в воде, плохо растворяется в органических растворителях, в нейтральной среде быстро гидролизуется. Пангамовая кислота участвует в регуляции жирового и белкового обмена. Это соединение способствует синтезу веществ, играющих важную роль в обеспечении работоспособности тканей и органов человеческого тела, увеличивает скорость процессов восстановления после интенсивных

нагрузок, продлевает период жизни клеток. Витамин B_{15} предупреждает жировое перерождение печени, нормализует уровень холестерина в крови и препятствует образованию атеросклеротических бляшек, закупоривающих кровеносные сосуды. При нормальной обеспеченности организма пангамовой кислотой поддерживается необходимая активность надпочечников, повышается выработка ими гормонов.

Предполагают, что суточная потребность пангамовой кислоты составляет около 2 мг. В лечебных целях используют в дозе 0,1–0,3 мг. Недостаток данного соединения в рационе человека может приводить к осложнению сердечно-сосудистых заболеваний вследствие ухудшения снабжения клеток тела кислородом. Также при этом появляются расстройства деятельности нервной системы и нарушения работы некоторых желез внутренней секреции. Наиболее частым проявлением дефицита пангамовой кислоты является повышенная утомляемость и снижение работоспособности. Поступившие с пищей излишки витамина B_{15} без особых проблем удаляются из организма, не оказывая токсического воздействия на клетки тела. Пангамовая кислота в достаточном для человека количестве встречается в таких продуктах, как изделия из зерновых культур, семена тыквы, кунжута и подсолнечника, пивные дрожжи, орехи, печень, ядра косточек абрикосов.

Парааминобензойная (p-аминобензойная) кислота (витамин H_1 , витамин B_{10}) – аминокислота, производное бензойной кислоты (рис. 1.46), порошок белого цвета, широко распространенный в природе.

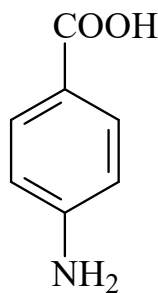


Рис. 1.46. Структурная формула парааминобензойной кислоты

Парааминобензойная кислота участвует в синтезе фолиевой кислоты, в процессе усвоения белка, а также в производстве красных кровяных телец, снабжающих наши клетки кислородом. Но самая главная задача этого витамина заключается в поддержании

здоровья кожи. Суточная потребность организма в этом веществе не определена, предполагают, что она в значительной степени покрывается за счет эндогенного синтеза. N-аминобензойная кислота является «фактором роста» для многих видов бактерий, например, лакто- и бифидобактерий, кишечной палочки.

В природе парааминобензойная кислота широко распространена. К основным источникам парааминобензойной кислоты относятся, мкг/кг: дрожжи пивные – 0,9–5,9; яйца – 0,04; картофель – 0,04; овощи – 0,02; молоко – 0,01.

Убихинон (кофермент Q, Ко Q) – это жирорастворимые коферменты, представленные преимущественно в митохондриях эукариотических клеток. Убихинон является компонентом цепи переноса электронов и принимает участие в окислительном фосфорилировании. Максимальное содержание убихинона фиксируется в органах с наибольшими энергетическими потребностями, например в сердце и печени. По химической структуре – это 2,3-диметокси-5-метил-1,4-бензохинон с изопреноидной цепью в положении 6-го хинонового кольца (рис. 1.47).

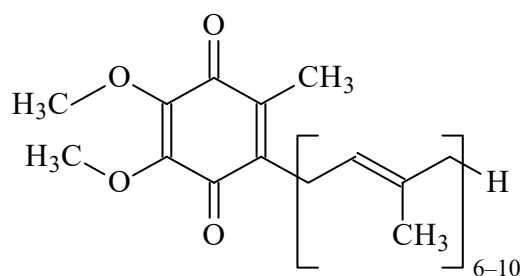


Рис. 1.47. Структурная формула убихинона

Кофермент Q представляет собой желто-оранжевые кристаллы без вкуса и запаха. Температура плавления – 49–51°C. Растворим в диэтиловом эфире, очень слабо растворим в этаноле, практически нерастворим в воде. На свету постепенно разлагается и окрашивается. Синтезируется в клетках человека из мевалоновой кислоты и продуктов обмена фенилаланина и тирозина. Суточная потребность не определена. Содержание кофермента Q, мг (на 100 г), в некоторых пищевых продуктах: красное пальмовое масло – 5,4; говядина жареная – 3,1; сельдь маринованная – 2,7; цыпленок жареный – 1,6; соевое масло – 8,7; арахис – 2,8; радужная форель (на пару) – 1,1; кунжут – 1,8–2,3; фисташки – 2,1; брокколи вареная – 0,5; цветная капуста вареная – 0,4; апельсин – 0,2; клубника – 0,1; яйцо вареное – 0,1.

Витамин F. Существует условный, или устаревший, термин «витамин F», под которым понимается общность нескольких незаменимых жирных кислот: олеиновой, арахидоновой, линолевой и линоленовых кислот. Некоторые авторы включают в эту общность только линолевою и линоленовую кислоту. Эту группу веществ могут относить к витаминоподобным жирорастворимым веществам или к веществам с сомнительными витаминными свойствами. Используется также термин «эссенциальные жирные кислоты». Ранее некоторые авторы относили «витамин F» к витаминам. Природными источниками «витамина F» являются растительные масла из зародышей пшеницы, кедровое масло, семена льна, рыжиковое, горчичное, масло подсолнечника, соевых бобов, а также грецкий орех, миндаль, семечки подсолнуха, рыбий жир и рыба жирных и полужирных видов (лосось, макрель, сельдь, сардины, форель, тунец и др.) и моллюски.

Методы определения витаминов. Для определения витаминов и витаминоподобных веществ в продовольственном сырье и пищевых продуктах применяются различные стандартизированные методы и оригинальные методики. Причины трудоемкости и длительности определения витаминов:

1) многие из них находятся в связанном состоянии в виде комплексов с белками, пептидами, в виде фосфорных эфиров. Эти комплексы необходимо разрушить (кислотный, щелочной или ферментативный гидролиз, автоклавирование);

2) почти все витамины – неустойчивые соединения, легко подвергаются окислению, изомеризации и полному разрушению под воздействием высокой температуры, кислорода воздуха, света и др. Необходимо избегать этих воздействий;

3) в пищевых продуктах витамины содержатся в смеси соединений, сходных по химической структуре, но различающихся по биологической активности, т. е. не все они обладают витаминной активностью;

4) витамины принадлежат к разным классам органических соединений, поэтому для них нет общих групповых реакций и общих методов исследований;

5) наличие сопутствующих веществ, количество которых может во много раз превышать содержание определяемого витамина.

Поэтому необходимы тщательная очистка и концентрирование витамина.

Все применяемые методы определения витаминов и витаминоподобных веществ можно разделить на две группы: микробиологические и физико-химические. Микробиологические методы применяют для определения витаминов группы *B* (*B*₆, *B*₁₂, *B*₉), пантотеновой кислоты и биотина. Они основаны на реакции роста конкретного вида микроорганизма (контроль – питательная среда без витамина, опыт – питательная среда с конкретной концентрацией витамина). Измеряют активность роста с помощью титрования образующихся кислых продуктов жизнедеятельности микроорганизма. Достоинства микробиологических методов заключаются в высокой чувствительности; отсутствии дополнительной подготовки природного образца. К недостаткам следует отнести повышенные требования к чистоте посуды, реактивов, дистиллированной воде, трудоемкость и длительность испытаний, а также способность некоторых микроорганизмов усваивать аналоги витаминов или отдельные части молекулы витамина.

Среди физико-химических методов наиболее часто применяемыми являются высокоэффективная жидкостная хроматография (витамины *A*, *D*, *E*, *C*, *B*₁, β-каротин), прямая спектрофотометрия или спектрофотометрия в сочетании с хроматографией (витамины *A*, *D*, *K*, *B*₁), колориметрия и флуоресценция (витамины *A*, *E*, *K*, *C*, *B*₁), а также химические методы (β-каротин, витамин *C*), газожидкостная и тонкослойная хроматография.

Завершая рассмотрение витаминов и витаминоподобных веществ, следует добавить, что в большинстве стран действуют научно обоснованные и утвержденные органами здравоохранения нормы потребления витаминов, которые существенно зависят от возраста и пола человека, характера и интенсивности его труда, а также от физиологического состояния. Для некоторых витаминов рекомендуемые суточные нормы потребления не зависят от пола, а также характера и интенсивности труда. К таким витаминам относятся: витамин *B*₁₂, фолицин, витамины *A*, *E*, *D*. Таким образом, одной из задач оценки соответствия пищевых продуктов, заявленных изготовителем как обогащенных витаминами или специализированных, – подтвердить достоверность этого заявления.

1.6. Минеральные вещества

Как и витамины, **минеральные вещества** не обладают энергетической ценностью, но играют важную роль в различных обменных процессах организма: выполняют пластическую функцию, участвуют в построении костной ткани, регуляции водно-солевого и кислотно-щелочного равновесия, входят в состав ферментных систем. Биологическая роль использования минеральных веществ в организме определяется уровнем сбалансированности по питательным и биологически активным веществам пищевых рационов, степенью усвоения и депонирования, взаимодействием между собой и с другими веществами, состоянием организма, полом, возрастом.

В организме человека минеральные вещества могут существовать в трех формах:

1) ионизированной форме (в ней минеральные вещества существуют в виде растворенных диссоциированных солей, при этом ионы могут связываться с белковыми молекулами, образуя комплексы);

2) в составе органических молекул (в этой форме связь прочная и специфическая, например, железо в гемоглобине или йод в тироксине);

3) в виде нерастворимых солей (в данной форме минеральные вещества входят в состав ткани, например, фосфаты кальция и соли фтора в составе костной ткани и тканей зубов).

Неоспорима биологическая роль десяти элементов, называемых *металлами жизни*: калия, натрия, магния, кальция, железа, марганца, цинка, меди, кобальта, молибдена. Полагают, что для создания первых живых организмов природа использовала магний, кальций, натрий, железо, медь. Возможно, поэтому не существует растений, в составе которых не было бы этих элементов.

Характерным признаком необходимости элемента является колоколообразный вид кривой зависимости ответной реакции организма от дозы элемента, заключающейся в следующем. При малом поступлении необходимого элемента с пищей или водой организм находится на грани выживания вследствие снижения активности ферментов, в состав которых он входит. Оптимальное количество, которое для разных элементов составляет широкий интервал концентраций, обеспечивает нормальное функционирование организма. Избыток необходимого элемента может вызывать токсичный эффект и даже гибель организма.

Минеральные вещества, входящие в состав пищи, подразделяются на основные (щелочные) и кислотные. Известно около 70 минеральных веществ, присутствующих в организме человека, из которых 26 являются незаменимыми. Наряду с конституционными элементами (O, C, H, N) выделяют:

– **макроэлементы** (кальций, магний, фосфор, калий, натрий, хлор и сера), содержание их в пищевых продуктах составляет десятки, сотни мг/кг, в организме человека – более 0,01%;

– **микроэлементы** (железо, медь, марганец, цинк, кобальт, йод, фтор, хром, молибден, ванадий, никель, стронций, кремний и селен) присутствуют в пищевых продуктах в количествах ≤ 1 мг/100 г, в организме человека – более $10^{-5}\%$. Микроэлементы условно делят на две группы: жизненно необходимые (кобальт, железо, медь, цинк, марганец, йод, бром, фтор) и вероятно необходимые (алюминий, стронций, молибден, селен, никель, ванадий и др.);

– **ультрамикроэлементы** (золото, свинец, ртуть, серебро, радий, рубидий, уран, барий, литий).

Общие сведения о минеральных веществах пищевых продуктов приведены ниже.

1.6.1. Макроэлементы

Макроэлементы требуются организму в относительно больших количествах (порядка нескольких граммов в сутки). Каждый из них выполняет несколько задач, дополняя друг друга.

Кальций (Ca). В организме человека кальция больше, чем любого другого минерального вещества. Общее содержание его в организме взрослого – 25 тыс. моль на 1 кг веса, и почти все количество кальция содержится в костях и зубах. Его можно поставить в ряд с витаминами, аминокислотами белков и полиненасыщенными жирными кислотами жиров. Кальций является также составной частью крови, клеточных и тканевых соков, входит в состав клеточного ядра, играет важную роль в процессах роста и деятельности клеток, ощелачивании организма и предупреждении развития ацидоза (нарушения кислотно-основного баланса в органах и тканях в сторону преобладания содержания продуктов кислотного характера).

Кальций поставляет энергию, участвует в белковом строительстве ДНК и РНК, активизирует некоторые ферменты, обеспечивает

необходимую проницаемость мембран, влияет на нейромускульную активность и предохраняет от развития преэклампсии (смертности рожениц).

Недостаток Са вызывает разрушение костной и нервной тканей, кровоточивость капилляров, боли в суставах, расслоение ногтей, повышение холестерина в крови и артериального давления, нарушение сна, нервозность, мышечные судороги, отеки, кариес, общую депрессию и постоянное стрессовое состояние. При дефиците кальция развиваются остеопороз, артрит, гипертония, судороги, осложненная беременность, бессонница и рак.

При избытке наблюдается потеря аппетита, мышечная слабость, потеря баланса при ходьбе и беге, различные ментальные и эмоциональные симптомы (от психозов до провалов в памяти, депрессии и раздражительности).

Кальций – трудноусвояемый элемент, практически нерастворимый в воде. Усвояемость кальция зависит от количества жиров, магния, фосфора и других микро- и макроэлементов. В продуктах питания кальций находится в молекулярной форме, а организму он необходим в ионной. Поэтому для такого перевода требуется много желудочного сока и высокая его концентрация. Суточная норма кальция для человека зависит от нескольких факторов: возраста, пола, наличия заболеваний, особенно желудочно-кишечного тракта с нарушением всасывания различных веществ (табл. 1.19).

Таблица 1.19

Ежедневная потребность организма в кальции

Дети		Женщины		Мужчины	
Возраст	Норма, мг	Возраст	Норма, мг	Возраст	Норма, мг
Дети первого года жизни	400–600	18–60	1000	18–60	1000
1–3 года	800	При наступлении климактерической паузы	1200	60 лет и старше	1200
3–11 лет	900–1100	Период беременности	1300–1400		
11–18 лет	1200	и лактации			

Из пищи усваивается около 10–40% кальция. 100 г сыра в день обеспечивают суточную потребность в кальции. Наилучшим натуральным продуктом, содержащим Са, все же считается молоко, так как в нем соотношение Са, Mg и P оптимально (Са : Mg = 1 : 0,1;

Ca : P = 1 : 0,7). Невысоким содержанием, но благоприятным соотношением с Mg и P характеризуются овощи и фрукты. Злаковые и хлебные продукты (хлеб, крупа, макароны) по общему содержанию Ca могли бы служить важным его источником, но усвояемость невысока, поскольку неблагоприятно соотношение Mg и P (Ca : Mg = 1 : 2; Ca : P = 1 : 6), а также в них присутствуют фитиновые соединения фосфора – изонитрофосфорная кислота. Кроме того, без витамина D, который присутствует только в продуктах животного происхождения, кальций не усваивается.

Имеются следующие данные о содержании кальция в некоторых продуктах (табл. 1.20)

Таблица 1.20

Содержание кальция в некоторых пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание Ca, мг/100 г	Пищевой продукт	Содержание Ca, мг/100 г
Молоко	90–180	Телятина	26
Кефир	120	Яйцо 1 шт. (около 50 г)	58
Сметана	80	Консервированная рыба с костями	400
Творог обезжиренный	120	Пивные дрожжи	2000
Сыры твердые	800–1200	Петрушка (зелень)	245
Минеральная вода	460–580	Чернослив	800

Повышенное количество кальция содержится также в сушеных абрикосах, фасоли, яблоках, гороховой и овсяной крупе.

Магний (Mg). Этот элемент необходим в большом количестве для строительства нашего тела. Костный скелет человека содержит более половины всего Mg (25 г), присутствующего в организме; 1% этого элемента содержится в жидкостях организма, остальное – в мышцах и тканях. Магний является антагонистом кальция; активизирует более 300 ферментов, участвующих в обмене и восстановлении веществ, необходим для синтеза белков и выработки витамина E. Без него невозможно усвоение витаминов группы B, а также кальция. Магний является антистрессовым макроэлементом, оказывает нормализующее действие на состояние центральной нервной системы и ее высших отделов (особенно в сочетании с витамином B₆) при нервном напряжении, депрессии и неврозах. При сахарном диабете предотвращает сосудистые осложнения и в сочетании с Zn, Cr, Se улучшает функцию β-клеток поджелудочной железы.

При заболеваниях органов дыхания способствует расширению бронхов и снятию бронхоспазмов. Оказывает положительное влияние на состояние репродуктивной системы. У беременных предотвращает недостаточность развития плода (вместе с фолиевой и пантотеновой кислотами), преждевременные роды и выкидыш. Увеличивается потребность организма в магнии при физических нагрузках, у спортсменов при длительных и интенсивных тренировках, во время соревнований, стрессовых ситуаций. Потребление магния в этих случаях адекватно степени физической и эмоциональной нагрузки.

Дефицит Mg порождает остеопороз и нарушения в работе паращитовидной железы, сердца, нервных мышечных тканей, вызывает раздражимость и нервозность. Человек становится раздражительным и рассеянным, его преследуют бессонница и хроническая усталость.

Суточная потребность в магнии – 250–400 мг (по другим источникам 500–600 мг); при этом дети до 15 лет должны потреблять магний в количестве 6 мг/кг массы тела. Наиболее богатые по содержанию магния продукты растительного происхождения приведены в табл. 1.21.

Таблица 1.21

Содержание магния в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание Mg, мг/100 г	Пищевой продукт	Содержание Mg, мг/100 г
Пшеничные отруби	490	Чеснок	36
Пророщенная пшеница	336	Изюм	35
Миндаль	270	Зеленый горошек	35
Орехи кешью	267	Картофель с кожурой	34
Пивные дрожжи	231	Крабы	34
Гречиха	229	Бананы	33
Фундук	184	Батат	31
Арахис	175	Ежевика	30
Просо	162	Свекла	25
Зерна пшеницы	160	Брокколи	24
Орехи пекан	142	Цветная капуста	24
Грецкие орехи	131	Морковь	23
Зерна ржи	115	Сельдерей	22
Тофу	111	Говядина	21
Сушеные кокосы	90	Цыплята	19
Соевые бобы	88	Томаты	14
Сушеные абрикосы	62	Белокочанная капуста	13

Недостаточность магния в растениях связана с закислением почв и нарушением его биодоступности, поэтому у населения промышленных стран может наблюдаться отрицательный баланс в организме по этому элементу.

Фосфор (P). У человека с массой 75–80 кг в организме содержится около 800 г фосфора, обмен которого тесно связан с кальцием, в меньшей степени с магнием. 80% фосфора содержится в костной ткани, а остальное – в ферментных системах. Соединения фосфора являются самыми распространенными в организме компонентами, активно участвующими во всех обменных процессах:

- 1) входит в состав костной ткани, клеточных мембран;
- 2) участвует в биохимических процессах, протекающих в мышечной и нервной тканях;
- 3) входит в состав нуклеиновых кислот и нуклеотидов, сохраняющих и передающих генетическую информацию;
- 4) содержится в биологических жидкостях организма для поддержания кислотно-щелочного равновесия.

Для нормального протекания всех указанных процессов необходимо определенное соотношение солей кальция и фосфора – примерно 1 : 1,5. В организм P поступает в виде фосфолипидов, фосфопротеинов и фосфатов. Всасывание элемента происходит при участии фермента щелочной фосфатазы, а ее активность повышает витамин D. В организме человека фосфор всасывается хуже из растительных продуктов, чем из продуктов животного происхождения. Усвояемость его зависит от количества потребляемых белков, жиров, углеводов и кальция. При недостаточном потреблении белка резко увеличивается потребность в фосфоре. Соединения фосфора с белками, жирными кислотами и другими веществами образуют комплексы с высокой биологической активностью: нуклеопротеиды клеточных ядер, фосфопротеиды (казеин), фосфатиды (лецитин). Трудно всасывается фитиновая кислота.

При дефиците фосфора в питании организм использует собственный фосфор из костной ткани, в результате чего происходит деминерализация костей и нарушение их структуры – разрежение. Дефицит фосфора в организме человека приводит к снижению умственной и физической работоспособности, болям в ногах, общей слабости, нарушению дыхания, раздражимости, повышению костной чувствительности, дрожи, слабости и потере аппетита. В тканях

нарушается высвобождение кислорода из гемоглобина. При избытке фосфора происходит выведение кальция из костей. Согласно имеющимся данным, фосфорная недостаточность у людей не встречается.

Средняя суточная доза для взрослых составляет 1200 мг, для детей и подростков – 1400–1800 мг. Среднее потребление фосфора колеблется в пределах 470–620 мг на 1000 ккал. Основное его количество (25–40%) взрослые получают с мясом, рыбой, яйцами; 20–30% – с молочными продуктами; 12–20% – с хлебобулочными изделиями (соотношение Са : Р в молоке составляет 1 : 1, в других продуктах содержится больше фосфора: в хлебе и картофеле – 1 : 5, рыбе и мясе – 1 : 10–20). Содержание фосфора в некоторых пищевых продуктах приведено в табл. 1.22.

Таблица 1.22

Содержание фосфора в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание Р, мг/100 г	Пищевой продукт	Содержание Р, мг/100 г
Хлеб	около 200	Желток яйца	524
Овсяная, перловая, ячневая крупы	320–350	Фасоль	Около 480
Рыба свежая	Около 250	Горох	Около 330
Говядина	Около 180	Молоко	90–180
Молоко коровье сгущенное	235	Плавленый сыр	430–760
Сыр	500–600	Масло	13–18
Творог	192	Кефир, сметана	85–150

Натрий (Na). В соответствии с научными данными натрий содержится во всех тканях организма и преимущественно в виде хорошо растворимых в воде солей – хлоридов, фосфатов, бикарбонатов и др. Характерно наличие большого количества натриевых солей во внеклеточных жидкостях – плазме крови, лимфе, пищеварительных соках и т. д. Много натрия в подкожной жировой клетчатке, костях, хрящевой, легочной тканях, печени, сердце, почках, мозгу и др. Наиболее важным депо натрия является кожа.

Значение натрия в жизнедеятельности организма определяется его участием:

- в регуляции осмотического давления, водного обмена (обладает свойством удерживать воду в тканях);
- поддержании кислотно-щелочного равновесия, нормальной работы почечного эпителия;

- активировании ферментов;
- ускорении всасывания глюкозы и др.

В виде хлористого натрия он участвует в образовании соляной кислоты желудка. Также натрий оказывает влияние на высшую нервную деятельность. При этом характер и интенсивность наблюдаемых изменений зависят от типовых особенностей высшей нервной деятельности. В организм натрий поступает в основном с пищей (табл. 1.23), в том числе за счет добавления поваренной соли. Суточная потребность составляет около 1 г. Нормальное потребление соли – 4–6 г, однако большинство населения использует от 10 г до 20 г в сутки. Избыточное потребление поваренной соли перегружает почки и вызывает отеки ног, лица, повышает кровяное давление.

Таблица 1.23

Содержание натрия в пищевых продуктах

Пищевые продукты	Содержание Na, мг/100 г	Пищевые продукты	Содержание Na, мг/100 г
Зеленые оливки	2400	Морковь	47
Соления, укроп	1428	Йогурт	47
Зрелые оливки	828	Петрушка	45
Квашеная капуста	747	Артишок	43
Прессованный творог	229	Сушеный инжир	34
Омары	210	Чечевица	30
Пахта	130	Изюм	27
Сельдерей	126	Краснокочанная капуста	26
Яйца	122	Чеснок	19
Треска	110	Белая фасоль	19
Шпинат	71	Брокколи	15
Баранина	70	Грибы	15
Свинина	65	Цветная капуста	13
Цыплята	64	Лук	10
Говядина	60	Огурцы	6
Свекла	60	Арахис	5
Семена кунжута	60	Томаты	3
Цельное коровье молоко	50	Баклажаны	2
Репа	49		

И наоборот, при натриевой недостаточности отмечается общая слабость, лабильность нервной системы, ослабление памяти, сонливость, снижение, а затем исчезновение вкусовых ощущений, аппетита. В более тяжелых случаях появляется рвота, диарея, сердечная

слабость, падение кровяного давления, сдвиг азотистого равновесия в сторону отрицательного азотистого баланса.

Необходимо отметить, что обмен натрия в организме тесно связан с количеством солей калия, присутствующих в нем, и, наоборот, во взаимоотношениях этих веществ во многих случаях отмечается явление физиологического антагонизма.

Калий (K), как и натрий, содержится во всех тканях организма в виде хорошо растворимых хлористых, двууглекислых и фосфорнокислых солей. Некоторая часть калия связана с органическими кислотами и белками. В организме человека имеется также радиоактивный калий (K^{40}), значение которого для живого организма еще окончательно не выяснено. Очень богаты калием эритроциты, кроме того, особенно много калия содержится в нервных волокнах. В цельной крови концентрация калия достигает 210 мг%, а в сыворотке – 16–22 мг%. Высокая концентрация калия обнаружена в мозгу, мышцах, печени. Меньше всего его в соединительной ткани, костях, хрящах.

Значение калия в жизнедеятельности организма определяется, прежде всего, его участием в поддержании постоянства кислотно-щелочного равновесия внутренней среды организма, в процессах внутриклеточного обмена, а также нервно-рефлекторной деятельности центральной нервной системы. Соли калия играют важную роль в проведении нервных импульсов к мышцам, а также в различных реакциях, протекающих внутри организма. Также, как и натрий, калий облегчает выведение жидкости из организма.

Избыточное накопление калия в тканях ведет к нарушению сердечной деятельности. При высоком уровне содержания калия в сыворотке крови (39 мг%) сердце останавливается в диастоле и возможно наступление смерти.

Состояние недостаточности калия в крови и тканях сопровождается явлениями крайней мышечной слабости, летаргией, дегенеративными явлениями в миокарде, отеках легких и др. Может наблюдаться падение кровяного давления, а также нарушение водного, белкового и минерального обмена (обмена Ca, Na и др.).

В организме человека должно быть адекватное соотношение солей калия и натрия. Больше всего калия в организм поступает с растительными продуктами. В растительных продуктах, в отличие от животных, калия во много раз больше, чем натрия. В картофеле

соотношение натрия к калию составляет 1 : 20, в яблоках – 1 : 10, а в молоке – 1 : 3.

Суточная потребность взрослого человека в калии – 2500–5000 мг. Она удовлетворяется с суточным рационом, преимущественно картофелем. Наиболее богаты калием пивные дрожжи, курага и чечевица, фасоль, горох, финики, чернослив, грецкие орехи, бананы, какао (табл. 1.24).

Таблица 1.24

Содержание калия в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание К, мг/100г	Пищевой продукт	Содержание К, мг/100г
Горох	870	Томат	290
Шпинат	774	Свекла	288
Грецкие орехи	664	Яблоки	278
Фасоль	1100	Редис	255
Грибы	440–460	Виноград	255
Капуста белокочанная, кольраби, брюссельская	185–375	Молочные продукты	Около 145
		Яйцо куриное	140
Картофель	570	Мука пшеничная	122
Персики	363	Творог жирный	112

Хлор (Cl). Соединения хлора участвуют в образовании желудочного сока, плазмы крови, активирует некоторые ферменты. Соединения хлора содержатся практически во всех клетках тела, однако наибольшая концентрация сосредоточена в кожном покрове, межклеточной жидкости, костной ткани, крови и лимфе. Помимо регуляции кислотно-щелочного баланса, хлориды участвуют в поддержании осмотического равновесия внутри каждой клетки. В избыточном количестве соединения хлора способствуют удержанию воды в организме. Также хлориды участвуют в механизмах транспортировки веществ в клетки; улучшают пищеварение за счет присутствия в желудочном соке; «отвечают» за полноценную работу головного мозга, в том числе передачу нервных импульсов между нейронами; потенцируют расщепление жиров; регулируют кислотно-щелочной баланс в организме; предотвращают появление отечности; нормализуют артериальное давление; активируют амилазу; улучшают функционирование сердечно-сосудистой системы; предохраняют организм от обезвоживания; поддерживают

нормальный уровень рН клеток, жизнеспособность эритроцитов; потенцируют выведение из клеток и тканей углекислого газа, шлаков, токсинов; улучшают функциональное состояние печени; помогают суставной ткани оставаться гибкой и эластичной. Биохимические реакции в организме человека, в которых участвуют ионы натрия и калия, происходят только в присутствии ионов хлора.

Для здоровых людей дневная потребность в хлоридах составляет 4000–6000 мг. Верхний допустимый предел потребления соединений хлора пока не установлен, однако минимальная дозировка составляет не менее 800 мг в день. Для детей суточная потребность в хлоридах варьируется от 300 до 2300 мг в зависимости от возраста ребенка. Следует отметить, что потребность в хлоридах возрастает в жаркую погоду, при интенсивных занятиях спортом, повышенном потреблении воды и обильном потоотделении.

С учетом того, что заготовленные впрок продукты содержат соль, а обезжелезивание водопроводной воды осуществляется хлорированием, нехватка хлоридов в здоровом организме – редкое явление. Однако часто дефицит макроэлемента возникает на фоне патологической функции внутренних органов. Избыток хлора в 80% случаев возникает у людей, работающих в фармацевтической, химической, целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности.

В повседневной жизни передозировка хлоридов практически невозможна, поскольку они выводятся с выделительной системой организма. Источники макроэлемента: хлорированная вода, хлорид натрия или обычная поваренная соль, морепродукты, злаки, животные белки, овощи, фрукты, зелень. С поваренной солью в организм человека поступает до 90% дневной нормы хлоридов.

Сера (S). Роль серы в обмене веществ определяется ее участием в структуре серосодержащих аминокислот (метионина, цистина), некоторых гормонов и витаминов. Она участвует в энергетическом метаболизме и реакциях детоксикации. Необходимая концентрация серы обеспечивает нормальное течение синтеза инсулина – важного гормона, регулирующего углеводный обмен, функцию и структуру соединительной ткани и сохраняющего структуру

суставных поверхностей. Сера входит в состав гемоглобина, содержится во всех тканях организма, необходима для синтеза коллаген-белка, определяющего структуру кожи. Суточная потребность в соединениях серы составляет от 0,5 до 1 г, которая компенсируется обычным рационом. Наиболее богаты серой репчатый лук, различные виды капусты, брюква, хрен, горчица, горох, бобы, женьшень, мясо говядины, свинины, козы, кролика, индейки, курицы, цесарки, мясо большинства видов рыб (щука, сардины, морской окунь, горбуша и др.). Молочные продукты (молоко, сыр, сметана) также являются продуктами с высокой концентрацией макроэлемента. Среди фруктов богатыми на соединения серы являются бананы, ананасы и арбуз. Много серы есть в орехах (грецкие, миндаль, кешью, кокосы) и семенах (подсолнечника, кунжута).

1.6.2. Микроэлементы

Микроэлементы делятся на незаменимые компоненты пищи (железо, медь, цинк, марганец, кобальт, молибден, хром, никель, олово, ванадий, йод, фтор, селен), токсичные микроэлементы (ртуть, свинец, кадмий, мышьяк), нейтральные, не оказывающие выраженных физиологических или токсических воздействий на организм (бор, алюминий, рубидий). Такая классификация может изменяться и развиваться в зависимости от появления новых данных в этой области науки. Рассмотрим характеристику некоторых наиболее важных микроэлементов.

Железо (Fe) – кроветворный элемент. В организме его содержится 3–5 г, из которых 70–80% приходится на миоглобин, а 20–25% составляют резерв в виде ферритина и гемосидерина. Почти все железо находится в виде органических компонентов и лишь ничтожная часть в виде ионов. Fe играет большую роль в окислительных и восстановительных процессах, входит в состав гемоглобина эритроцитов, миоглобина и многих ферментов, участвующих в кроветворении, т. е. самая важная функция железа – производство гемоглобина и снабжение кислородом красных кровяных телец («гем» – вводит кислород в клетку, «глобин» – транспорт углекислоты из клетки).

Всасывается в среднем 5–10% поступившего железа. Достаточное количество витаминов C, B₆, B₁₂, фолиевой кислоты, Cu, Ni, Mn и Co стимулируют всасывание Fe и образование гемоглобина.

Недостаток в пище белка, избыток фитиновой и щавелевой кислот, пектин, клетчатка, соевые продукты в определенной мере тормозят всасывание железа. Железодефицитная анемия составляет до 80% всех анемий. По данным ВОЗ, в мире ею страдают около 600 млн человек. В Европе заболевание встречается у 40% женщин, 15% мужчин и 90% беременных, а в некоторых африканских, азиатских и латиноамериканских странах – у 70–90% населения. Считается, что оптимальная интенсивность поступления железа в организм человека составляет 10–20 мг/сут. Дефицит железа может развиваться, если поступление этого элемента в организм будет менее 1 мг/сут. Порог токсичности железа для человека составляет 200 мг/сут. Летальная доза для человека колеблется от 7 до 35 г в сут.

Поступление в организм избыточного количества железа приводит к отложению железа в тканях и органах; головным болям, головокружению, повышенной утомляемости, слабости; пигментации кожи; изжоге, тошноте, рвоте, болям в желудке; снижению уровня сывороточного железа (в 1,5–3 раза); повышению риска развития атеросклероза, болезней печени и сердца, артритов, диабета и другим нежелательным явлениям.

В пищевых продуктах встречаются два вида железа: гемовое (входящее в состав гемоглобина) и негемовое (элемент, полученный из растительных продуктов). Гемовое железо быстрее и легче всасывается организмом. Его источники – вся пища животного происхождения и морепродукты. Для формирования гемоглобина негемовое железо используется только частично, и то лишь в сочетании с витамином С. Для достижения максимальной пользы, диетологи рекомендуют совмещать продукты животного и растительного происхождения.

Имеются данные (Мак Коллум), что в зерновых продуктах около 60% Fe находится в неусвояемой форме. Железо из фруктов и овощей легче всасывается (хотя его там и мало) благодаря присутствию в них аскорбиновой кислоты. Поэтому фрукты и овощи могут быть существенным источником железа.

Суточная потребность в железе составляет: у мужчин – 10–15 мг; у женщин – 15–20 мг. Для беременных женщин требуется 2,5–5-кратное увеличение нормы. Железо из продуктов животного происхождения усваивается в 2–4 раза лучше, чем из растительной пищи. Наиболее богаты железом кровяная колбаса, мидии, пивные дрожжи, какао, печень, сухие овощи, бобовые, зелень, сушеные грибы (табл. 1.25).

Таблица 1.25

Содержание железа в пищевых продуктах

Пищевой продукт	Содержание Fe, мг/100 г	Пищевой продукт	Содержание Fe, мг/100 г
Пивные дрожжи	17,3	Чечевица	2,1
Пшеничные отруби	14,1	Арахис	2,1
Семена тыквы	11,2	Баранина	1,9
Семена кабачка	11,2	Тофу	1,9
Пророщенная пшеница	9,4	Зеленый горошек	1,9
Говяжья печень	8,8	Цыплята	1,8
Семена подсолнечника	7,1	Лосось	1,5
Просо	6,8	Брокколи	1,1
Петрушка	6,2	Смородина	1,1
Съедобные моллюски	6,1	Цветная капуста	1,1
Изюм	3,5	Ежевика	0,9
Артишок	3,4	Краснокочанная капуста	0,8
Финики	3,0	Тыква	0,8
Свинина	2,9	Грибы	0,8
Орехи пекан	2,4	Бананы	0,7
Яйца	2,3	Свекла	0,7

Цинк (Zn). В организме взрослого человека содержание цинка составляет около 2 г. Он играет важную роль в метаболизме РНК и ДНК, метаболизме липидов и белков; влияет на увеличение емкостной и транспортной способностей гемоглобина по отношению к кислороду. Наряду с противоокислительным действием цинк снижает неспецифическую проницаемость мембран клеток, являясь их протектором, и участвует в предотвращении фиброза (патологическое разрастание волокнистой составляющей соединительной ткани различных органов вследствие облучения, воспалительных, инфекционно-аллергических и других процессов).

В пищевых продуктах цинк содержится в виде альбуминатов, глобулинов, нуклеопротеидов. Часть их легко гидролизуется, поэтому в процессе холодной и тепловой обработки некоторое количество цинка из пищи может теряться, особенно при длительном вымачивании и отваривании (если не используются отвары).

Добавки Са и богатый кальцием пищевой рацион снижают усвоение Zn на 50%. Все злаки и большинство овощей содержат фитин, который может связывать цинк, особенно в присутствии кальция, и снижать его биологическую доступность. Также на снижение степени его усвоения влияют некоторые гемицеллюлозы и

комплексы аминокислот с углеводами. Дефицит цинка может наблюдаться у строгих вегетарианцев, курильщиков и алкоголиков, при потреблении молока с низким его содержанием. При избытке цинка развивается болезненная чувствительность желудка и тошнота, неврологические расстройства.

Суточная потребность взрослого человека в цинке составляет 15 мг, у беременных и кормящих женщин – 20–25 мг. Эта потребность удовлетворяется с пищей, из которой цинк усваивается на 50%. Наиболее богаты цинком следующие продукты, мг/кг: устрицы – 60, мясо – 7–9, печень телячья жареная – 15, угорь вареный – 13, пшеничные отруби – 16–18, тыквенные и подсолнечные семечки – 5,5–7,5. Лучшим источником биодоступного цинка является красная говядина, которая может обеспечить до 50% необходимого суточного потребления этого элемента.

Медь (Cu). Является вторым по значению микроэлементом, участвующим в синтезе гемоглобина, обмене ферментов, витаминов, гормонов, образовании миелина, регуляции обмена веществ, влияет на повышение резистентности организма. Избыточное накопление меди приводит к циррозу, вызывает деструктивные процессы в головном мозге. Недостаточное поступление меди усиливает в организме йодную недостаточность, замедляет абсорбцию железа, наступает дефектный синтез коллагена и нарушение костеобразования. В здоровом организме концентрация меди составляет 1–2 мкг/г. Недостаток меди в организме детей и взрослых встречается редко, гораздо чаще отмечают повышенное содержание данного элемента, что приводит к нарушениям активности ряда ферментов, деятельности центральной нервной системы (ЦНС), изменениям пигментации кожи. Острые отравления наблюдаются при использовании питьевой воды с высоким содержанием меди или при умышленном приеме ее солей.

Достаточное количество микроэлемента способствует защите от раннего старения: медь входит в состав супероксиддисмутазы – фермента-антиоксиданта, защищающего клетки от разрушения. Другие полезные функции меди проявляются в усилении иммунитета, укреплении волокон нервной системы, предохранении от развития онкологических болезней, выведении токсических веществ, способствовании правильному пищеварению, участии в регенерации тканей, активизации выработки инсулина, усилении действия антибиотиков, бактерицидных свойств, уменьшении воспалений.

Суточная потребность взрослого человека находится в пределах 2–4 мг, детям требуется большее количество. К 6–10 годам у детей наступает равновесие в отношении содержания меди в организме при ежедневном поступлении 40 мкг/кг. Источники меди, мг/100 г: орехи (0,50–1,14), бобовые (0,48–0,75), злаки (0,37–0,66), печень трески (12,20), какао-порошок (4,55), а также сырой яичный желток, многие овощи, фрукты, кисломолочная продукция, свежее мясо, рыба и морепродукты.

Фтор (F). Этот элемент участвует в формировании дентина, зубной эмали, костеобразовании. Положительный баланс фтора в организме предотвращает кариес и остеопороз. В сутки человек потребляет 0,25–0,35 мг фтора, источником которого является вода, в ней содержится 1 мг/л. Потребность организма во фторе – 0,5–1,0 мг/сут.

Недостаточное поступление фтора с питьевой водой вызывает кариес, а избыточное – флюороз – развитие крапчатости зубной эмали. В этом случае рекомендуется проводить очистку воды.

Наибольшее количество фтора содержится в сухом чае (до 100 мг/кг), телятине, баранине, печени, орехах, рыбе (особенно в треске и соме), овсяной крупе, хлебе грубого помола.

Хром (Cr). В организме он содержится в низкой концентрации – 6–12 мг и усиливает действие инсулина во всех метаболических процессах, регулируемых этим гормоном. Наиболее часто дефицит хрома развивается у больных диабетом, беременных и кормящих женщин. В виде неорганических солей он усваивается организмом человека всего на 0,5–0,7%. Хром, находящийся в составе органических соединений, усваивается на 25%, именно эта форма оказывает активное влияние на усвояемость глюкозы и уровень сахара в крови.

Суточная потребность в хrome колеблется в пределах 50–200 мкг. Наиболее значимые пищевые источники хрома: черный перец, телячья печень, проросшие зерна пшеницы, пивные дрожжи, хлеб из муки грубого помола. Особенно важно, что хром в этих продуктах содержится в биологически активной и легкоусвояемой форме.

Марганец (Mn). Входит в состав ряда ферментов, участвует в процессах кроветворения, роста, костеобразования. С пищей поступает около 5–10 мг марганца, что вполне достаточно для удовлетворения потребностей человека.

Недостаточность марганца часто фиксируют при различных формах анемии. Недостаточность марганца в пище может привести

к развитию остеопороза, причем прием кальция усугубляет этот дефицит, так как затрудняет его усвоение в организме.

В растительных пищевых продуктах марганца содержится больше, чем в животных. Основными источниками марганца являются, мкг/100 г: фундук – 4200, черная смородина – 1300, белокочанная капуста – 300, картофель – 170, рыба и рыбопродукты – 100–120. По мнению В. Поздняковского (г. Новосибирск), признанными накопителями марганца (манганофиллами) являются ягоды семейства брусничных (брусника, черника, красника), в которых марганца содержится до 6,3 мг/100 г. Малина и ее сородичи, черемуха, калина, земляника, черная смородина содержат марганца в пределах 1,6–3,4 мг/100 г.

Селен (Se). В организме человека присутствует 16–20 мг селена. В тканях и органах он встречается в основном в виде специфических белков. Селен аккумулируется в печени, почках, мышцах, щитовидной железе. Микроэлемент входит в состав ряда белков и ферментов, чем объясняется его биологическая роль.

Селен оказывает многостороннее положительное воздействие на функции ряда систем организма:

- 1) снижает риск заболеваний сердечно-сосудистой системы и онкологических заболеваний;
- 2) стимулирует иммунную систему;
- 3) препятствует снижению остроты зрения;
- 4) способствует повышению резистентности к радионуклидам;
- 5) оказывает антитоксическое действие против солей тяжелых металлов;
- 6) стимулирует функционально-биохимическое и морфологическое состояние печени и синтез первичных желчных кислот;
- 7) эффективен при вирусном и токсическом гепатите;
- 8) обладает антиоксидантными свойствами.

Дефицит селена приводит к развитию различных болезней, особенно у детей и беременных женщин. Суточная потребность в селене, по рекомендациям ФАО и ВОЗ (Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций и Всемирной организацией здравоохранения), колеблется от 50 до 200 мкг для взрослых. Доза селена, равная 1 мг, является токсичной для человека. Основным путем поступления селена – пищевые продукты. Наиболее богаты селеном морепродукты – 0,33–2,61 мг/кг; грибы –

2,5–3,6 мг/кг сухой массы. В злаках и продуктах их переработки, овощах и фруктах содержание селена зависит от его концентрации в почвах. В связи с этим население регионов с недостаточным содержанием селена в почве нуждается в дополнительном введении микроэлемента в рацион питания. В США дополнительное введение селена в рацион составляет 50–700 мкг/сут, Новой Зеландии – 28–32 мкг/сут, Китае – 55–70 мкг/сут для женщин и мужчин соответственно. В Финляндии селен вносится в почву. В некоторых странах разработаны технологии обогащения селеном удобрений, зеленых овощей, хлеба.

В нашей стране также зафиксировано недостаточное поступление селена с пищей. Следует отметить, что 50% территории Беларуси относится к биогеохимическому региону с уровнем содержания селена в почве ниже критического (0,1 мкг/кг), а в питьевой воде – не более 10 мкг/л. В нашей стране выпускают обогащенные селеном куриные яйца («Молодецкие», Солигорская птицефабрика). Был опыт выпуска питьевой воды, обогащенной биоселеном (компания «АкваТрайпл», разработка российских ученых), и выпечки хлебопродуктов на дрожжах, обогащенных селеном.

Йод (I). В организме взрослого человека содержится около 20–50 мг йода, из которых 1/3 концентрируется в щитовидной железе. В организме он циркулирует в виде йодита и в связанном с белками состоянии. Около 2/3 поступившего с пищей йода выводится почками, а остальная часть с кровью переносится в щитовидную железу. Биологическая роль йода связана с образованием гормонов щитовидной железы – трийодтиронина и тироксина, при этом до 90% циркулирующего в крови органического йода приходится на долю тироксина.

Недостаточность йода приводит к развитию эндемического зоба, связанного с нарушением синтеза тиреоидных гормонов и угнетением функции щитовидной железы. Это заболевание развивается на территориях (биогеохимических провинциях), где содержание йода в почве и воде недостаточно. 16–18% населения планеты испытывают дефицит йода, что приводит к развитию заболеваний мозга, кретинизма, опухоли щитовидной железы.

Физиологическая потребность человека в йоде составляет 0,15–0,30 мкг/сут. 90% его поступает в организм с пищей. Наиболее богаты йодом морепродукты, например, в сухой ламинарии

содержится 160–800 мг/100 г, морской капусте – 200–220 мг/100 г. Йод входит в состав следующих пищевых продуктов, мкг/100 г: яйца – 60; молоко – 45; лук – 44; щавель – 39; белокочанная капуста – 37; морковь, говяжья печень – 35%; картофель – 32; фасоль – 24; ржаной хлеб, баклажаны – 14; огурцы – 11; пшеничный хлеб, горох – 10; речная рыба – 9. Признанными накопителями йода считаются арония и фейхоа.

Согласно рекомендациям ВОЗ, в мире используется несколько методов йодной профилактики: йодирование соли, хлеба, масла, прием йодированных препаратов (антиструмин, раствор Люголя; однако лучшим из них считают первый). Использование в домашнем обиходе только йодированной соли 4–6 г/сут позволяет обеспечить организм необходимым количеством йода.

Республика Беларусь является биогеохимической провинцией и относится к эндемичным по зобу регионам Центральной Европы и к странам с легкой – средней степенью йодной недостаточности. Благодаря национальной «Стратегии ликвидации йоддефицитных заболеваний в Республике Беларусь на 2004–2007 гг.», предусматривающей всеобщее использование йодированной соли, проблема йодной недостаточности в целом решена.

Молибден (Mo) входит в состав ряда ферментов (сульфитоксидаза, альдегидрогидрогеназа, ксантиноксидаза, нитратредуктаза). Ксантиноксидаза является важным ферментом обмена пуринов, катализирующим реакцию, которая завершает образование мочевой кислоты в организме. Сульфитоксидаза превращает сульфит в сульфат и строго специфична к своему субстрату.

Молибден играет важную роль в организме, так как участвует в процессе детоксикаций, активирует фермент, предотвращающий образование канцерогенных нитрозаминов, способствует задерживанию в организме фтора и таким образом препятствует развитию кариеса. При избыточном поступлении в организм может развиваться «молибденовая подагра». Недостаток молибдена приводит к задержке роста, деформации костей, анемии.

Суточная потребность в молибдене составляет 0,1–0,5 мг. Основными пищевыми источниками молибдена для человека являются продукты растительного происхождения (зерновые и бобовые культуры), а также говяжья печень и почки.

Кобальт (Co) чрезвычайно важен в организме для кроветворения, улучшения обмена веществ. До настоящего времени ученые

спорят о роли кобальта в развитии онкологических заболеваний. С одной стороны, в крови онкологических больных содержание кобальта повышено в 1,5–2,5 раза по сравнению с нормой, с другой – установлено тормозящее действие кобальта на рост некоторых разновидностей опухолевых клеток. Этот аспект действия данного микроэлемента еще до конца не изучен и требует дальнейших исследований. После открытия физиологического значения солей кобальта, когда их стали широко использовать в качестве стимуляторов кроветворения, была установлена также их токсичность.

Избыток кобальта в суточном пищевом рационе вызывает кардиопатию с выраженной сердечной недостаточностью. У рабочих, контактирующих с кобальтом, наблюдаются кашель, диспептические расстройства, нарушения обоняния, хронические риниты, ларингиты, фарингиты. При длительном контакте могут развиваться хронический бронхит, пневмония, пневмосклероз.

Суточная потребность в кобальте составляет 0,1–0,2 мг. При достаточном содержании в пище овощей и фруктов организм человека, как правило, не испытывает недостатка или избытка кобальта. Основными пищевыми источниками кобальта являются капуста, картофель, лук, чеснок, салат, морковь, груши, абрикосы, виноград, смородина, земляника.

Кремний (Si) – эссенциальный минерал, структурный компонент костной и соединительной тканей. Играет важную роль в поддержании гибкости опорно-двигательного аппарата, повышает эластичность сосудов, улучшает функциональное состояние кожи, волос, ногтей, нормализует липидный метаболизм, ускоряет передачу нервных импульсов. По содержанию в человеческом организме кремний занимает вторую позицию после кислорода и составляет 0,01% от массы тела. Накапливается преимущественно в щитовидной железе (310 мг), надпочечниках (250 мг), гипофизе (81,4 мг), легких (40–80 мг), мышцах (2–8 мг), крови и лимфе (0,1–0,9 мг). Главная функция кремния состоит в поддержании гибкости соединительной и эпителиальной тканей суставов, сосудов, сухожилий, хрящей и слизистых оболочек. К полезным свойствам следует отнести повышение минерализации костей; участие в усвоении эссенциальных нутриентов, в частности кальция, фосфора, серы, магния, калия, натрия, железа; стимулирование фагоцитоза, улучшающих сопротивляемость организма к бактериальным

и вирусным инфекциям; препятствие проникновению липидов в плазму крови, т. е. снижение риска развития атеросклероза; предотвращение дегенерации межпозвоночных дисков; участие в процессах реполяризации клеток за счет ускорения передачи нервных импульсов в мозг и др.

Физиологическая потребность в кремнии составляет 20–30 мг в день. Максимальная безопасная доза минерала, согласно исследованиям Научного комитета по продуктам питания Европейского союза (Scientific Committee on Food), для взрослого человека составляет 100 мг в день. Кремний содержится в продуктах растительного и животного происхождения. Лучшим источником данного соединения является пища, содержащая клетчатку, мг/100 г: рис нешлифованный – 1240; зерна овса – 1000; просо – 760; ячмень – 620; семя кунжута – 200; соевые бобы – 170; гречка – 120; земляника – 100; ананас – 94; нут, фасоль – 92; репа – 90; горох – 82; дыня – 81; чечевица, арахис – 80; свекла, брокколи – 78; банан – 75; капуста кольраби – 70; авокадо – 65; кукуруза – 60; орех грецкий – 58; капуста белокочанная – 55; огурцы – 53; миндаль, фундук, фисташки – 50; картофель – 50.

Барий (Ba). В организм человека барий поступает с продуктами питания и водой. В некоторых морепродуктах его в десятки (а в морских растениях – в сотни) раз больше, чем в морской воде. В растениях (томатах, соевых бобах и др.) бария может быть в десятки раз больше, чем в почвах, на которых они растут. Хотя роль бария не изучена, его суточная доза для человека определена – от 0,3 до 0,9 мг. Барий относится к токсичным ультрамикроэлементам (оказывает нейротоксическое, кардиотоксическое и гемотоксическое действие). Токсичны все соединения бария, за исключением сульфата бария, применяемого в рентгенологии. Токсическая доза для человека составляет 200 мг, летальная – 3,7 г.

Алюминий (Al). В организме взрослого человека содержание алюминия составляет 5 мг. Алюминий участвует в формировании эпителия, построении соединительной, костной тканей, влияет на активность пищевых желез, ферментов. Суточная норма для взрослого человека варьируется в диапазоне 30–50 мкг. Считается, что в ежедневном рационе присутствует 100 мкг алюминия. Поэтому потребность организма в данном микроэлементе в полной мере удовлетворяется за счет пищи.

Функции алюминия: регулирует, ускоряет регенерацию клеток, тем самым продлевая здоровье и молодость; участвует в формировании хрящей, связок, скелета, мышечной, костной и соединительной тканей, способствует эпителизации кожи; повышает активность ферментов для пищеварения и переваривающую способность желудочного сока; необходим для выработки и улучшения восприятия организмом фосфатных, белковых комплексов; активизирует работу щитовидной железы; укрепляет костную ткань. Помимо этого, алюминий содержится в биомолекулах, создавая прочную связь с атомами азота, кислорода.

Микроэлемент показан людям при переломах костей и лицам, страдающим острым, хроническим гиперацидным гастритом, язвенной болезнью желудка, остеопорозом. Алюминий содержится преимущественно в растительной пище и хлебобулочных изделиях, из-за выпекания последних в алюминиевой посуде. Помимо этого, красители, пищевые добавки под кодами E520–E523, дрожжи, консервы регулярно снабжают человека данным соединением. Мясо, рыба, молочнокислые изделия, яйца в 50–100 раз содержат меньше микроэлемента, чем овощи и фрукты. Содержание в пищевых продуктах, мкг/100г: овсяные хлопья – 1970; зерна ржи – 1670; злак сорго – 1548; зерна пшеницы – 1520; сухарики, бублики, сдоба – 1500; фисташки, мускатный орех – 1500; макароны – 1500; горох – 1180; рисовая крупа – 912; картофель – 860; киви – 815; топинамбур – 815; авокадо – 815; баклажан – 815; огурцы – 425.

1.6.3. Ультрамикроэлементы

Ультрамикроэлементы содержатся в организме в ничтожно малых количествах, но обладают высокой биологической активностью. Некоторые из них отличаются не только малым содержанием в обычных продуктах питания, но и токсичностью, если их потреблять в сравнительно больших дозах. Рассмотрим краткую характеристику двух из немногочисленных представителей этих веществ.

Литий (Li). В организме взрослого человека содержится около 70 мг лития (в лимфоузлах, плазме крови, надпочечниках, кишечнике, печени, легких, сердце, щитовидной железе и других органах – в очень малых количествах). Пониженное содержание лития наблюдается в организме у больных алкоголизмом, а также при состояниях иммунодефицита и некоторых новообразованиях.

Литий способствует снижению возбудимости нервной системы, что важно при лечении различных психических заболеваний (высвобождая магний из клеточных «депо», он тормозит передачу нервного импульса, уменьшает количество свободного норадреналина, понижает содержание в мозге серотонина, повышает чувствительность мозга к действию дофамина). Влияет на нейроэндокринные процессы, жировой и углеводный обмен (увеличивает поглощение глюкозы, синтез гликогена и уровень инсулина в сыворотке крови больных диабетом); оказывает антианафилактическое и антиаллергическое действие; повышает иммунитет; улучшают состояние здоровья при инфаркте, болезни Альцгеймера и болезни Гентингтона и нейтрализует воздействие на организм этанола, радиации, солей тяжелых металлов.

Физиологическая суточная потребность в литии на данный момент точно не определена. Порог токсической дозы для человека определен в зависимости от возраста, веса и пола на уровне 90–200 мг. Содержание лития, мкг/100 г: сладкий болгарский перец – 87; картофель – 77; чечевица – 74,8; баклажан – 68; морковь – 6; листья салата – 40.

Титан (Ti). В организме человека титана около 20 мг, и поступает он обычно с продуктами питания и водой. Его биологическая роль не выяснена, но он участвует в процессе образования эритроцитов в костном мозге, в синтезе гемоглобина и в процессе формирования иммунитета. Титан присутствует в головном мозге человека, в слуховом и зрительном центрах. Данный элемент активизирует обменные процессы и улучшает общий состав крови, снижая в ней содержание холестерина и мочевины. В сутки человек получает около 0,85 мг титана с водой и продуктами питания, а также с воздухом, но в желудочно-кишечном тракте он всасывается слабо – от 1 до 3%. Для человека титан нетоксичен или мало токсичен. Но при регулярном вдыхании двуокиси титана происходит накопление в легких и развитие хронических заболеваний (трахеит, альвеолит).

Титан содержится в яйцах и молоке, мясе животных и растениях (листьях, стеблях, плодах и семенах) в небольших количествах. Растения, особенно водоросли, содержат больше титана, чем ткани животных; много его в кладофоре – кустистой ярко-зеленой водоросли, часто встречающейся в пресных водоемах и морях. Обнаружен в ягодах семейства брусничных (черника, брусника, красника, голубика, клюква) – в количестве от 0,07 до 0,34 мг/кг.

Как уже упоминалось выше, человеческий организм нуждается в определенном количестве многих минеральных веществ. В табл. 1.26 приведены обобщенные данные о потребностях в этих соединениях.

Таблица 1.26

Среднесуточная потребность человека в минеральных веществах

Минеральные вещества	Потребность, мг/сут	Минеральные вещества	Потребность, мг/сут
Хлориды	5000–7000	Сера	1
Натрий	4000–6000	Титан	0,3–0,6
Калий	1500–3500	Хром	0,1–0,2
Фосфор	1000–1500	Йод	0,1–0,2
Кальций	800–1200	Литий	0,1
Магний	300–500	Селен	0,1
Железо	15	Молибден	0,05
Цинк	10–15	Ванадий	0,05
Кремний	3–5	Алюминий	0,03–0,10
Медь	2–3	Серебро	0,03–0,08
Марганец	2	Бром	0,02–0,07
Бор	2	Кобальт	0,010–0,015
Фтор	1,5–2,0	Олово	0,01
Германий	1,5		

Так как минеральные вещества поступают в организм человека с пищей, в нашей стране законодательно установлены требования к содержанию некоторых из них в специализированных пищевых продуктах. Например, в пищевой продукции для питания детей раннего возраста регламентируется содержание кальция, фосфора (кальций/фосфор – 1,2–2,0); калия, натрия (калий/натрий – 2,5–3,0); магния, меди, марганца, железа, цинка, хлоридов, йода, селена, золы, а в пищевых продуктах для питания школьников и дошкольников – железо и поваренная соль. Специализированные продукты для лечебного питания детей регламентируются по содержанию кальция, фосфора (кальций/фосфор – 1,2–2,0); калия, натрия, магния, меди, марганца, железа, цинка, хлоридов, йода, селена, золы. В продуктах для питания беременных и кормящих женщин нормируются кальций, фосфор (кальций/фосфор – 1,1–2,0); калий, натрий (калий/натрий – 2–3); магний, медь, марганец, железо, цинк, хлориды, йод, зола.

Все методы определения индивидуальных элементов можно разделить на три группы:

– наиболее точные и сложные, которые используются в исследовательских лабораториях (например, нейтронно-активационный анализ, для испытаний пищевых продуктов не применяется);

– арбитражные, требующие сложного оборудования, но могут быть использованы в производстве (ААС);

– альтернативные методы (для текущих анализов), которые не требуют сложного оборудования, но по точности не уступают методам II группы (колориметрические, полярографические).

Для контроля минеральных веществ чаще всего используют *оптические* и *электрохимические* методы. Среди оптических методов наиболее распространенными являются фотометрический (молекулярная абсорбционная спектроскопия), основанный на поглощении молекулами вещества излучений в УФ, видимой, ИК областях электромагнитного спектра (медь, железо, хром, никель и др.); атомно-эмиссионный спектральный анализ – на измерении длины волны, интенсивности и других характеристик света, излучаемого атомами и ионами вещества, находящегося в газообразном состоянии; атомно-абсорбционная спектроскопия – на способности свободных атомов элементов в газах пламени поглощать световую энергию при характеристических для каждого элемента длинах волн.

К электрохимическим методам следует отнести ионометрию (используется для определения ионов калия, натрия, кальция, магния, фтора, йода, хлора и других и основана на применении ионселективных электродов, мембрана которых проницаема для определенного типа ионов); полярографию (для меди и железа), созданную на изучении вольтамперных кривых, полученных при электролизе окисляющегося или восстанавливающегося вещества (электрод – чаще всего ртутный капельный, иногда – платиновый, графитовый); инверсионную вольтамперометрию (основана на способности элементов, осажденных на индикаторном ртутно-пленочном электроде, электрохимически растворяться при определенном потенциале, характерном для каждого элемента. Регистрируемый максимальный анодный ток элемента линейно зависит от концентрации определяемого элемента).

Таким образом, индивидуальный состав и содержание минеральных веществ в пище отражают не только ее качество и назначение по применению, но и безопасность.

1.7. Вода

Вода – одно из самых распространенных веществ на земле. Вода является необходимым условием жизни и входит в состав всех пищевых продуктов и материалов (табл. 1.27).

Таблица 1.27

Содержание воды в некоторых пищевых продуктах

Пищевые продукты	Массовая доля влаги, %	Пищевые продукты	Массовая доля влаги, %
Мясо	60–80	Сыр	37
Фрукты и овощи	65–95	Маргарин	16–18
Молоко	87–90	Мука	12–14
Рыба	62–84	Обжаренные зерна кофе	5
Напитки	≥90	Сахар	0,14–0,40

Содержание воды – важный показатель качества пищевых продуктов. Хотя она не имеет питательной ценности, но повышенное или пониженное ее содержание ухудшает качество и безопасность пищи. Вода является клеточным и внеклеточным компонентом, служит диспергирующей средой и растворителем в растительных и животных продуктах, обуславливает консистенцию и структуру продукта, влияет на его внешний вид и вкус. Ее взаимодействие с присутствующими в продукте химическими компонентами определяет устойчивость его при хранении.

В настоящее время разработана прочная научная основа для понимания состояния и свойств этого наиболее распространенного компонента пищевых продуктов. В молекуле воды атом кислорода имеет четыре электронные пары: две из них участвуют в образовании двух полярных ковалентных связей Н–О (связывающие), две другие – несвязывающие. Ковалентные связи воды образованы за счет перекрывания двух одноэлектронных *p*-облаков атома кислорода и одноэлектронных *s*-облаков двух атомов водорода, угол между которыми равен $104,5^\circ$. В молекуле воды имеется четыре полюса зарядов: два положительных и два отрицательных. Положительные заряды сосредоточены у атомов водорода, так как кислород электроотрицательней водорода. Два отрицательных полюса приходятся на две несвязывающие электронные пары кислорода. Благодаря строению молекулы воды, влага в пищевых продуктах находится в двух формах: прочно связанной и свободной.

Прочно связанная вода входит в состав кристаллов солей (кристаллогидратов), а также белка, углеводов, липидов и может быть высвобождена путем затраты определенного количества энергии. Плотность связанной влаги составляет $\geq 1,2$ г/см³, температура замерзания – от минус 50°С до минус 70°С. Большая часть воды в пищевом продукте может быть превращена в лед при минус 5°С, вся вода – при минус 50°С и ниже. Однако определенная доля прочно связанной воды не замерзает даже при температуре минус 60°С. Например, большая часть воды в свежих фруктах и овощах находится в свободной подвижной форме и лишь незначительное количество (не более 5%) – в связанном состоянии, прочно удерживаемом клеточными коллоидами. По этой причине сравнительно легко высушить фрукты и овощи до 10–12%-ной влажности. Дальнейшее удаление воды сопряжено с определенными трудностями и может быть достигнуто лишь с помощью специальных методов сушки. То же наблюдается при замораживании фруктов и овощей, когда большая часть воды переходит в лед при температуре около минус 5°С, а для замерзания почти всей воды температуру нужно понизить до минус 35°С и даже ниже минус 50°С.

Свободная вода, физические свойства которой приведены в табл. 1.28, не связана физически или химически, она находится в молекулярном состоянии в межмолекулярных промежутках белков, углеводов, липидов и частично сориентирована в нестойкое флуктуирующее образование.

Таблица 1.28

Физические свойства свободной воды

Свойства	Значение
Внешний вид	Бесцветная жидкость без вкуса и запаха
Температура кипения (при давлении 101,3 кПа), °С	100
Температура замерзания, °С	0
Максимальная плотность (при +4°С), г/см ³	1

Степень взаимодействия воды с химическими компонентами и влияния на консистенцию пищевого продукта определяется как ее количеством в продукте, называемом содержанием влаги (г воды/100 г

сухих веществ), так и ее термодинамическим состоянием, называемым химическим потенциалом. Химический потенциал воды μ_1 можно вычислить по формуле

$$\mu_1 = \mu_0 + RT \cdot \ln a, \quad (1.4)$$

где μ_0 – стандартное состояние химического потенциала; R – газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – абсолютная температура, К; a – термодинамическая активность воды.

Термодинамическую активность воды исследователи и специалисты пищевой промышленности называют «активностью воды» (термин введен в 1952 г., когда было доказано, что существует зависимость между состоянием воды в продукте и ростом микроорганизмов в нем) и обозначают A_w , a_w , AB . Термодинамическую активность можно рассчитать из уравнения

$$A_w = \frac{p}{p_0} = \frac{\text{р.о.в}}{100}, \quad (1.5)$$

где p – парциальное давление пара над поверхностью продукта, Па; p_0 – давление пара чистой воды, Па; р.о.в – относительная влажность в состоянии равновесия, при котором продукт не впитывает влагу и не теряет ее в атмосферу, %.

Давление водяных паров у поверхности продукта принято отождествлять со значением активности воды. Его можно обнаружить с помощью измерительных приборов и выразить в соответствующих единицах. В качестве величин сравнения для обнаруживаемого давления водяных паров над продуктом берут давление пара чистой воды при той же температуре. Если принять давление пара чистой воды за P_0 , а давление пара над продуктом – за P , то

$$\frac{(P_0 - P)}{P_0} = 1 - \frac{P}{P_0} = 1 - A_w. \quad (1.6)$$

Исходя из этого, активность воды можно определить по такой же формуле, как и термодинамическую активность воды:

$$A_w = \frac{P}{P_0}. \quad (1.7)$$

В соответствии с законом Рауля о моляльных фракциях, активность воды можно рассчитать посредством деления числа молей

воды в растворе на общее число молей в растворе (растворенные вещества и вода):

$$A_w = \frac{\text{моли воды}}{\text{моли воды} + \text{моли растворенного вещества}}. \quad (1.8)$$

Отношение P / P_0 численно соответствует значению A_w , однако полностью отождествлять понятия A_w и относительную влажность воздуха над поверхностью продукта нельзя. Это объясняется тем, что относительная влажность характеризует состояние влаги в атмосфере над продуктом и можно рассматривать ее воздействие на продукт с точки зрения влагомассообмена с окружающей средой. Относительная влажность – понятие сугубо физическое, не характеризующее свойства самого продукта, активность воды определяет состояние «свободной» воды в веществе и представляет собой сложный комплекс свойств общей массы «несвязанной» воды продукта.

Кривые, показывающие связь между содержанием влаги в пищевом продукте и активностью воды в нем при постоянной температуре, называются изотермами сорбции. Информация, которую они дают, полезна для характеристики процессов концентрирования и дегидратации (так как легкость, или трудность, удаления воды связана с A_w), а также для оценки стабильности пищевого продукта.

На рис. 1.48 показана изотерма влаги для обычного типа пищевых продуктов. Ее можно разделить на три участка. Верхняя часть кривой показывает значение A_w , характерное для продуктов с высоким содержанием влаги (мясо, рыба, овощи, фрукты, супы, напитки и т. д.).

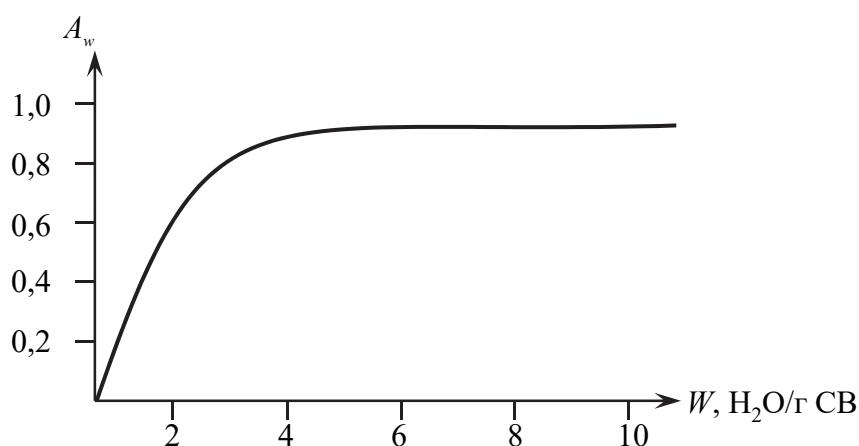


Рис. 1.48. Общая изотерма продукта – зависимость равновесной относительной влажности от содержания влаги

Нижняя часть кривой ($A_w < 0,5$) характеризует большинство высушенных продуктов, таких как сухое молоко, пасты, зерновые, растворимый кофе и др. Средняя часть кривой характеризует продукты с промежуточной влажностью (джемы, конфеты, вяленая говядина и др.). Влияние воды на устойчивость продукта к порче в разных частях изотермы значительно различается. Так, в продуктах с низкой влажностью активность микроорганизмов подавлена, однако могут происходить процессы окисления жиров и неферментативного потемнения, потеря водорастворимых веществ (витаминов), ферментативная порча продуктов. В продуктах с промежуточной влажностью могут протекать разные процессы, в том числе с участием микроорганизмов. В процессах, протекающих в продуктах с высокой влажностью, микроорганизмам принадлежит решающая роль.

Изотермы сорбции влаги для многих пищевых продуктов имеют гистерезис (рис. 1.49). Величина гистерезиса, наклон кривых, точки начала и конца петли гистерезиса могут значительно изменяться в зависимости от таких факторов, как природа пищевого продукта, температура, скорость десорбции, уровень воды, удаленной при десорбции.

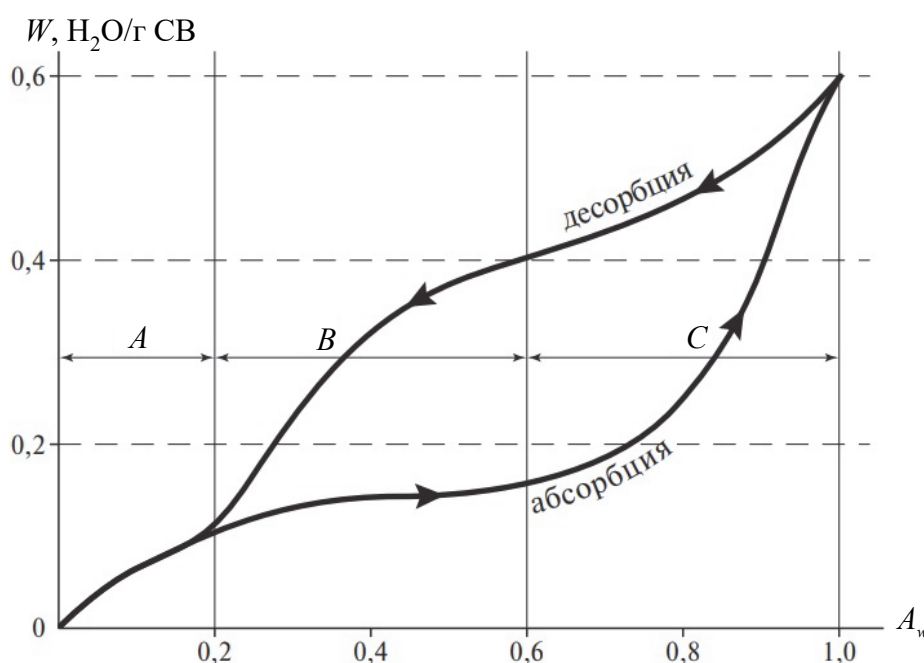


Рис. 1.49. Изотерма типа II, отражающая гистерезис сорбции

Как показано на рис. 1.49, изотерма делится на три участка: часть A характеризует область, в которой вода тесно связана или

недоступна для реакции, часть *B* – область, в которой вода связана слабо, часть *C* – область, в которой вода, предположительно, находится в капиллярах и относительно доступна для реакции.

Являясь физической величиной, активность воды имеет биологическое значение как общий показатель ее доступности для микроорганизмов. Поэтому показатель «активность воды» свидетельствует о степени устойчивости пищевых продуктов и продовольственного сырья к порче. Установлено, что активность воды оказывает непосредственное влияние на способность микроорганизмов к росту и размножению, на активность обмена веществ и сопротивляемость воздействию различных неблагоприятных факторов внешней среды. Бактерии, дрожжи и плесневые грибы имеют в своем составе 70–75% воды. Следовательно, для образования новых микробных клеток необходима свободная влага, содержащаяся в продукте. Так как активность воды характеризует наличие в продукте «свободной влаги», то, чем выше значение A_w , тем лучше будут условия для жизнедеятельности микроорганизмов. Если же значение A_w будет ниже минимального для каждого вида микроорганизмов, чем пороговая величина, то размножение соответствующей группы микроорганизмов исключается. Для каждого вида микроорганизмов существуют максимальное, минимальное и оптимальное значения активности воды. В табл. 1.29 приведены предельные значения A_w для роста микроорганизмов (средние данные по разным источникам).

Таблица 1.29

Минимальные значения A_w для роста микроорганизмов, встречающихся в пищевых продуктах

min A_w	Бактерии	Дрожжи	Плесени
0,98	<i>Pseudomonas</i>		
0,96	<i>Klebsiell, Shigella</i>		
0,93	<i>Clostridium, Lactobacillus</i>		
0,92	<i>Salmonella</i>		
0,90	<i>Vibrio, Pediococcus</i>		
0,88		<i>Rhodotorula, большинство Saccharomyces, Candida, Torulopsis; большинство Debaryomyces</i>	<i>Cladosporium</i>
0,86	<i>Staphylococcus</i>		Микотоксигенные виды <i>Penicillium</i>
0,80			
0,75	<i>Halophilic bacteria</i>		Ксерофильные виды <i>Aspergillus</i>
0,62		Осмофильные виды <i>Saccharomyces</i>	<i>Aspergillus echinulatus</i>
0,60			

Активность воды влияет на метаболизм токсигенной микробиоты, встречающейся в пищевых продуктах (табл. 1.30). В настоящее время уже достаточно полно изучены и определены для многих продуктов пороговые значения A_w , за пределами которых замедляются или прекращаются процессы роста микроорганизмов (табл. 1.30).

Таблица 1.30

Минимальные значения активности воды для роста патогенных микроорганизмов и образования ими токсинов

Наименование микроорганизма	Токсин	Минимальная A_w	
		для роста микроорганизма	для токсинообразования
<i>Aspergillus flavus</i>	Афлатоксин	0,78–0,80	0,83
<i>Penicillium expansum</i>	Патулин	0,81	0,85
<i>Aspergillus ochraceus</i>	Охратоксин	0,77	0,85
<i>Clostridium botulinum</i>	Ботулинические токсины	0,94	0,97
<i>Staphylococcus aureus</i>	Энтеротоксины		
	В	0,86–0,91	0,96–0,97
	А	0,87–0,90	0,87–0,89

Так, для большинства бактерий предельное значение A_w , обеспечивающее их нормальное развитие, должно быть не ниже 0,90. Дрожжи и многие плесневые грибы хорошо развиваются даже в пределах $A_w = 0,65$. Пища с $A_w < 0,6$ является стабильной при хранении, однако и в ней могут происходить различные химические и ферментативные реакции, приводящие к порче пищевого продукта. Таким образом, активность воды – показатель ее доступности и для ферментов. Под действием ферментов белки, липиды и углеводы могут расщепляться, при этом образуются химические соединения, отрицательно влияющие на качество пищевых продуктов. Большая группа ферментов снижает свою активность при A_w менее 0,85, тем самым исключается их биохимическое воздействие. Липаза, расщепляющая жиры, сохраняет свою активность даже при очень низких значениях активности воды ($A_w < 0,3$). Понижение A_w до 0,2 приводит к значительному замедлению химических и ферментативных реакций, кроме процесса окисления липидов и реакции Майяра. Этим можно объяснить прогорклость долго хранившихся продуктов, содержащих масла и жиры. Оптимальным интервалом значений активности воды для стабильного длительного хранения пищевых продуктов является 0,2–0,3.

Таблица 1.31

**Активность воды и рост микроорганизмов
в пищевых продуктах**

Область A_w	Пищевые продукты, характерные для этой области A_w	Микроорганизмы, рост которых прекращается при более низком значении A_w , чем эта область
1,00–0,95	Фрукты, овощи, мясо, рыба, молоко, домашняя колбаса и хлеб, продукты с содержанием сахара (~40%) и хлорида натрия (~7%)	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , некоторые дрожжи
0,95–0,91	Некоторые сыры, консервированная ветчина, некоторые концентрированные фруктовые соки, продукты с содержанием сахара (~55%), хлорида натрия (~12%)	<i>Salmonella</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , некоторые грибы, дрожжи (<i>Rhodotorula</i> , <i>Pichia</i>)
0,91–0,87	Ферментированная колбаса типа салями, сухие сыры, маргарин, рыхлые бисквиты, продукты с содержанием сахара (65%), хлорида натрия (15%)	Многие дрожжи (<i>Candida</i> ; <i>Torulopsis</i> , <i>Hansenula</i>), <i>Micrococcus</i>
0,87–0,80	Большинство концентрированных фруктовых соков, сладкое сгущенное молоко, шоколад, сироп, мука, рис, взбитые изделия с содержанием влаги 15–17%, фруктовые пирожные, ветчина	Многие грибы (токсигенные штаммы <i>Penicillium</i>), <i>Staphylococcus aureus</i> , большинство <i>Saccharomyces</i> , <i>Debaryomyces</i>
0,80–0,75	Джем, мармелад, замороженные фрукты	Большинство галофильных бактерий, токсигенные штаммы <i>Aspergillus</i>
0,75–0,65	Патока, сухие фрукты, орехи	Ксерофильные виды плесеней рода <i>Aspergillus</i> , <i>Wallemia sebi</i> , <i>Saccharomyces bisporus</i>
0,65–0,60	Сухофрукты, содержащие 15–20% влаги, карамель, мед	Осмофильные дрожжи рода <i>Saccharomyces</i> , некоторые плесени родов <i>Aspergillus</i> и <i>Monascus</i>
0,5	Тесто с влажностью 12%, специи с влажностью 10%	Не известны
0,4	Яичный порошок с влажностью ~5%	Не известны
0,3	Печенье, крекеры, сухари с влажностью ~3–5%	Не известны
0,2	Сухое молоко с влажностью ~2–3%, сухие овощи с влажностью ~5%, зерновые хлопья с влажностью ~5%, крекеры	Не известны

Таким образом, показатель A_w может быть использован для прогнозирования микробиологической и ферментативной стабильности пищевых продуктов как в процессе производства, так и при хранении. Активность воды в продукте можно изменять. Для этого существует масса способов: добавление растворимых солей, сахаров и других ингредиентов, высушивание, повышение осмотического давления, превращение части воды в лед при замораживании. В пищевой технологии традиционно в качестве веществ, понижающих активность воды, используют соль, сахара и другие пищевые добавки, молекулы которых имеют большую или меньшую степень диссоциации.

С учетом важности и большой информативности показателя «активность воды» в странах Европейского Союза его определение наряду с показателями «влажность» и «концентрация водородных ионов» является обязательным при экспертизе целого ряда продуктов, а в США определение A_w включено в инструкцию по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных препаратов. В Украине с 2006 г. применяется ДСТУ ISO на использование показателя «активность воды» для определения качества и безопасности пищевых продуктов и кормов. В нашей стране данный показатель используется для определения сроков годности некоторых пищевых продуктов, что закреплено постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 1 сентября 2010 г. № 119, санитарными нормами, правилами и гигиеническими нормативами «Государственная санитарно-гигиеническая экспертиза сроков годности (хранения) и условий хранения продовольственного сырья и пищевых продуктов, отличающихся от установленных в действующих технических нормативных правовых актах в области технического нормирования и стандартизации».

Помимо влияния на химические реакции и рост микроорганизмов, активность воды имеет значение и для текстуры продуктов. Например, максимальная активность воды, допустимая в сухих продуктах без потери желаемых свойств, может изменяться в пределах от 0,35 до 0,50 в зависимости от вида продукта (сухое молоко, крекеры, инстант-продукты и т. п.). В процессе переработки и хранения пищевых продуктов вода может переходить из одного состояния в другое. Так, при варке картофеля или выпечке хлеба в результате набухания белков и клейстеризации крахмала свободная

вода переходит в связанное состояние. При оттаивании замороженных овощей или мяса часть связанной влаги переходит в свободное состояние.

Таким образом, состоянием воды в пищевом продукте определяются его органолептические свойства, стабильность при хранении, устойчивость к отрицательному воздействию ферментов и микроорганизмов.

Для определения содержания влаги, в том числе форм ее связи в продукте, а также для измерения показателя активности воды применяются разные методы испытаний. Так, **метод высушивания** заключается в высушивании определенной навески продукта до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 100–105°C и нахождении влаги по разности между начальным весом и весом сухого остатка. Достоинствами данного метода является простота и доступность. Однако длительность получения конечного результата относится к его недостаткам. В связи с этим сегодня применяется специальный прием для ускорения высушивания, например, применение разрыхлителей (специально подготовленный песок) для вязких продуктов (консервы, джем, повидло, мед и др.). Разновидностью метода высушивания является *двухэтапное высушивание* – вначале высушивают навеску продукта (фрукты, овощи, хлеб, мясо и др.) до воздушно-сухого состояния, предохраняя ее от возможных загрязнений, при комнатной температуре, а затем – в сушильном шкафу при 103°C.

Для продуктов, прочно удерживающих влагу (вещества, богатые белком, полисахаридами и пр.), применяется *лиофильная сушка*, основанная на испарении (возгонке) льда без промежуточного образования воды. Высушивание ведется в вакууме, проба предварительно замораживается при помощи диоксида углерода. Иногда для удаления остаточной влаги применяют сушку в вакуум-эксикаторе над P₂O₅. Содержание влаги вычисляют по изменению массы.

Высушивание инфракрасными лучами ($\lambda = 750 \text{ нм} - 0,1 \text{ мм}$) основано на способности тепловых лучей проникать на некоторую глубину в продукт, при этом вода сильно поглощает тепловые лучи и легко испаряется. Данный метод используется в контроле производственных процессов, для чего существуют специальные анализаторы влажности.

Иным методом определения общего содержания влаги является *титрование по модифицированному методу Карла Фишера*, которое основано на использовании реакции окисления-восстановления с участием йода и диоксида серы (реактив Фишера – раствор йода и диоксида серы в пиридине и метаноле), протекающей в присутствии воды. Содержание влаги рассчитывается по количеству йода, затраченному на титрование. К достоинствам метода следует отнести высокую точность и стабильность результатов, однако данный метод не пригоден для определения влажности окислителей и восстановителей, реагирующих с его компонентами с поглощением или выделением воды и йода.

Для определения влаги в специях и приправах применяют *дистилляционный метод*, основанный на отгонке гигроскопической воды и измерении ее количества из взятой навески продукта. С этой целью навеску заливают органической жидкостью, не смешивающейся при низких температурах с водой и образующей с ней азеотропные смеси (бензин, бензол, толуол и др.). Воду отгоняют вместе с частью органического растворителя, в результате чего в приемном сосуде получают два слоя несмешивающихся жидкостей, одним из которых является вода.

Влагу в сиропах, соках, настоях и т. п. определяют *рефрактометрическим методом*, основанным на изменении показателя преломления растворов в зависимости от количества растворенных в них сухих веществ.

Иногда необходимо знать количество свободной и связанной влаги в продукте. Для этого применяют следующие методы:

- дифференциальную сканирующую калориметрию (образец охлаждают до температуры ниже 0°C (свободная влага замерзнет, связанная – нет). При нагревании замороженного образца в калориметре измеряют тепло, потребляемое при таянии льда. Незамерзающая вода определяется как разница между общей и замерзшей водой);
- термогравиметрический метод (определяют скорость высушивания. Граница между областью постоянной скорости высушивания и областью, где эта скорость снижается, характеризует связанную влагу);
- диэлектрические измерения;
- измерения теплоемкости;
- ядерный магнитный резонанс.

Существующие методы определения показателя активности воды можно разделить по принципам, заложенным в основу этих методов, на три категории:

1) методы, основанные на установлении равновесной влажности между продуктом и средой – метод равновесия Лэндрокка и Проктора; метод с использованием волосяного гигрометра; метод с применением растворов солей (приборы фирмы Novasina); метод определения точки росы.

Метод Лэндрокка – Проктора основан на том факте, что содержание воды в продукте зависит от относительной влажности окружающей среды. Для его осуществления не требуется применение дорогостоящих приборов, однако он очень требователен к наличию достаточно большого термостатированного пространства, и здесь необходим камерный или хотя бы шкафной термостат. Ход работы при использовании этого метода состоит в том, что в стеклянную банку объемом около 500 мл наливают 300 мл серной кислоты различной концентрации и, следовательно, известной активности воды. Над уровнем кислоты в банку помещают образец весом $(5 \pm 0,5)$ г. Готовят серию из 8–10 образцов одного и того же продукта и такое же количество растворов серной кислоты различной концентрации, согласно ожидаемой A_w образца. Банки герметично закрывают и помещают в термостат при 25°C . Образцы взвешивают ежедневно до достижения неизменного веса в течение 2 сут подряд (колебания значений массы продукта допускаются в 3-м знаке после запятой). По известным величинам A_w раствора серной кислоты и по процентной убыли или приращению веса серии образцов путем графической интерполяции затем устанавливается A_w образца, т. е. величина, когда наступило равновесное состояние между влажностью образца и влагосодержанием серной кислоты.

Принцип действия *волосяного гигрометра* основан на свойстве обезжиренного человеческого волоса изменять свою длину с изменением влажности воздуха. При уменьшении или увеличении влажности воздуха длина волоса меняется. Определение активности воды осуществляют в такой последовательности. Навеску исследуемого образца помещают в измерительную кювету и закрывают крышкой, термостатируют при температуре измерения (обычно от 20 до 25°C) в течение 3–4 ч до выравнивания температуры образца с температурой окружающей среды. Затем кювету с образцом

помещают в корпус волосяного гигрометра, снимают крышку с кюветы и сверху устанавливают измерительную станцию. После этого включают гигрометр, на индикаторе которого отображаются значения температуры и активности воды. Когда наступит гигротермическое равновесие, о котором свидетельствует появление значений активности воды и температуры напротив разнонаправленных треугольных символов, снимают показания прибора. В других конструкциях используется стрелочный механизм со шкалой делений, показывающей значение относительной влажности воздуха. Активность воды исследуемого образца рассчитывают по формуле (1.9):

$$A_w = \frac{ERH}{100}, \quad (1.9)$$

где ERH – равновесная относительная влажность, %.

Величину активности воды можно найти *методом определения точки росы* с применением анализатора типа Roremeter RM-10 (рис. 1.50). Подготовленную пробу помещают в специальную пластиковую емкость, заполняя ее на высоту, равную либо половине, либо двум третьим высоты емкости (в зависимости от консистенции пробы). Емкость с пробой вставляют в измерительную ячейку прибора, в которой выдерживают 5–7 мин, после чего проводят измерение в трехкратной повторности. Для каждого испытания одного и того же объекта исследования готовят отдельные пробы;



Рис. 1.50. Прибор для измерения активности воды
Roremeter RM-10

2) методы измерения, основанные на определении давления водяных паров над измеряемым образцом (группа манометрических методов) построены на принципе определения разницы давлений водяного пара. Проведение эксперимента заключается в измерении

давления в двух одинаковых емкостях, в одной из которых находится, например, чистый лед, а в другой – замороженный образец. С помощью манометра устанавливают равновесное давление водяного пара в равновесном состоянии. Если измерения проводятся при температуре, приближенной к комнатной, то следует пользоваться масляным манометром;

3) методы, которые нельзя отнести ни к одной из вышеперечисленных групп, т. е. специальные (методы емкостного сопротивления, ядерно-магнитного резонанса, микроволнового и инфракрасного излучения).

При подведении итога по основным компонентам пищи (алиментарным факторам) необходимо заметить, что рассмотренный в данном разделе материал показывает: пищевые продукты – это сложная биохимическая система, состоящая из множества простых и сложных веществ, роль которых для здоровья человека неоднозначна. Поэтому предоставление достоверной информации о составе продукта питания, характеризующем его полезность для той или иной категории потребителей, является важной задачей для изготовителей пищевой продукции, работников испытательных лабораторий и тех организаций, которые ее контролируют.

Глава 2

АНТИАЛИМЕНТАРНЫЕ ФАКТОРЫ И ПРИРОДНЫЕ ТОКСИЧНЫЕ КОМПОНЕНТЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

В предыдущей главе мы рассмотрели характеристику нутриентов, т. е. основных компонентов пищевых продуктов, отражающих их качество и питательную ценность. Вместе с тем пища состоит не только из полезных веществ. В ней присутствуют и условно неалиментарные соединения (вещества, участвующие в формировании вкуса, аромата, цвета, предшественники и продукты распада основных нутриентов, природные соединения, обладающие антиалиментарными и токсичными свойствами) (рис. 2.1). Среди этой группы веществ особый интерес представляют *антиалиментарные* и *токсичные компоненты*, а также *природные соединения с выраженной фармакологической активностью* и *пищевые аллергены*.

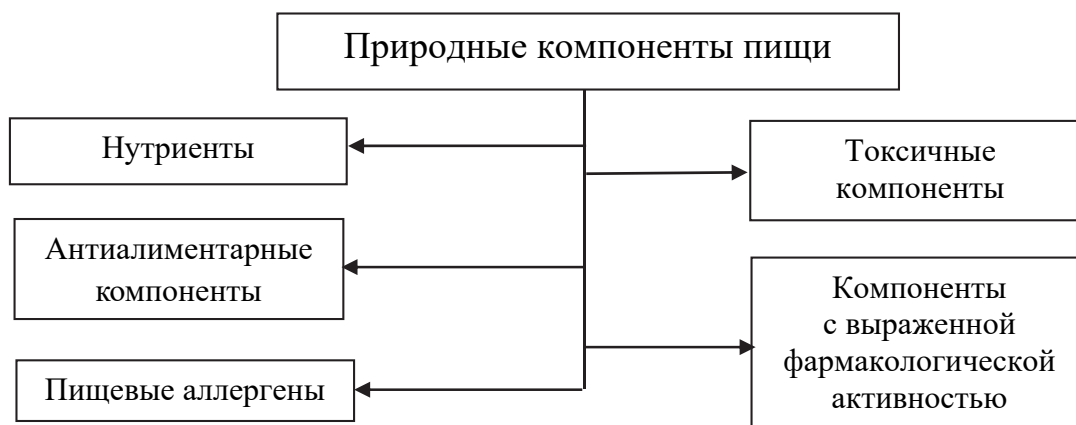


Рис. 2.1. Классификация природных компонентов пищи

2.1. Антиалиментарные факторы

Термин «антиалиментарные (непищевые) вещества (факторы)» распространяется только на вещества природного происхождения, являющиеся составными частями натуральных пищевых продуктов. Сами по себе они не обладают токсическим действием, но специфическим образом снижают усвояемость отдельных пищевых веществ, поэтому их рассматривают как своеобразных антагонистов обычных нутриентов (А. А. Покровский). Как правило, антиалиментарные факторы при соблюдении общепринятой диеты не имеют заметного влияния. Они могут проявляться в случае уже имеющихся проблем (например, дефицита каких-нибудь веществ), либо в случае использования человеком продолжительное время нерациональной диеты, при которой действие антиалиментарных факторов более выражено. С другой стороны, традиционные (сложившиеся) подходы к приготовлению пищевых продуктов (тепловая обработка, ограниченное или дополнительное введение тех или иных компонентов) и к выбору состава рациона могут свести к минимуму действие антиалиментарных факторов. При разработке же новых рационов и диет действие указанных веществ должно максимально учитываться. Среди антиалиментарных факторов выделяют (табл. 2.1):

- антиферменты;
- антивитамины;
- деминерализующие вещества;
- другие, которые невозможно объединить по одному признаку.

Таблица 2.1

Антиалиментарные факторы и возможные пути устранения их влияния

Ингибируемый нутриент	Природный антиалиментарный фактор	Источники и условия действия	Пути устранения влияния
Ферменты: трипсин, химотрипсин, α -амилаза	Соответствующие белки-ингибиторы	Бобовые, пшеница и другие злаковые, белок куриного яйца при употреблении в сыром виде	Тепловая обработка
Аминокислоты: – лизин, триптофан и др.	Редуцирующие углеводы	Продукты, содержащие аминокислоты и восстанавливающие сахара, подвергшиеся тепловой обработке	Щадящая тепловая обработка
– триптофан	Лейцин	Избыточное употребление пшеницы	Соблюдение норм потребления пшеницы

Продолжение табл. 2.1

Ингибируемый нутриент	Природный антиалиментарный фактор	Источники и условия действия	Пути устранения влияния
Витамины: – аскорбиновая кислота	Аскорбатоксидаза, полифенолоксидазы, пероксидазы	Огурцы, капуста, тыква, кабачки, петрушка (листья и корень), хрен, картофель, лук зеленый, морковь, яблоки и др. овощи и фрукты при нарезании	Бланширование до резки, употребление в целом виде
– кальциферол	Недостаточно идентифицированные вещества	Недостаточно термически обработанная соя	Тепловая обработка
– тиамин	Тиаминаза	Карповые и другие виды рыб в сыром виде или при недостаточной тепловой обработке	Тепловая обработка
	Биофлавоноиды, ортодифенолы	Избыточное потребление кофе и чая	Ограничение потребления
	Окситиамин	Длительное нагревание кислых фруктов	Щадящая тепловая обработка
– биотин	Авидин	Употребление в сыром виде яичного белка	Тепловая обработка
– ниацин	Индолилуксусная кислота, ацетилпиридин	Чрезмерное употребление кукурузы	Разнообразный рацион
– ретинол	Перегретые и гидрогенизированные жиры	Жироемкие продукты	Щадящая тепловая обработка, рекомендуемое употребление маргарина
– токоферол	Полиненасыщенные жирные кислоты	Избыточное употребление растительных масел	Рекомендуемое употребление
	Неидентифицированные вещества	Недостаточная тепловая обработка фасоли и сои	Тепловая обработка
Минеральные вещества: – кальций, магний, цинк, натрий	Щавелевая кислота и оксалаты	Избыточное употребление щавеля, ревеня, шпината, картофеля, инжира	Ограничение потребления
	Фитин	Недостаточная тепловая обработка бобовых, некоторых круп, отрубей	Тепловая обработка
– железо	Кофеин	Избыточное употребление кофе	Рекомендуемое потребление

Окончание табл. 2.1

Ингибируемый нутриент	Природный антиалиментарный фактор	Источники и условия действия	Пути устранения влияния
– железо	Балластные вещества	Избыточное употребление отрубей, черного хлеба, овощей, круп	Увеличение потребления источников железа, аскорбиновой кислоты, кальция и фосфора
– йод	Дубильные вещества	Избыточное употребление чая	Умеренное потребление
	Серосодержащие вещества (зобогены)	Избыточное потребление крестоцветных, арахиса и некоторых бобовых	Ограничение употребления при недостатке йода в воде и пище

2.1.1. Антиферменты

К **антиферментам** относятся вещества белковой природы, блокирующие (ингибирующие) активность главных протеолитических ферментов поджелудочной железы: трипсина, химотрипсина и эластазы. К настоящему времени белковые ингибиторы хорошо изучены и подробно охарактеризованы, а именно: расшифрована их первичная структура, изучено строение активных центров ингибиторов, исследован механизм их действия и т. п. Так, установлено, что антиферменты оказывают свое действие в просвете желудочно-кишечного тракта (в желудке и тонком кишечнике), которое заключается в образовании не обладающих соответствующей протеолитической активностью устойчивых комплексов «фермент – ингибитор». В результате часть потребленной белковой пищи не переваривается и не усваивается.

Доказано, что антиферменты содержатся в не подвергшихся тепловой обработке пищевых продуктах растительного (злаковые (рис, пшеница), бобовые (фасоль, соя), овощи (картофель, томаты, баклажаны)) и животного происхождения (белки яиц кур, индеек, уток). Согласно современным представлениям, антиферменты классифицируются по виду ингибируемой ими протеиназы. Например, трипсиновые ингибиторы, в зависимости от природы содержащейся в них диаминомонокарбоновой кислоты, подразделяются на два типа: аргининовый и лизиновый. К аргининовому типу относят соевый

ингибитор Кунитца, ингибиторы пшеницы, кукурузы, ржи, ячменя, картофеля, овомукоид куриного яйца и некоторые другие; к лизино-вому – соевый ингибитор Баумана – Бирка, овомукоиды яиц индейки, пингвинов, утки, а также ингибиторы, выделенные из молозива коровы. В клубнях картофеля содержится целый набор ингибиторов химотрипсина и трипсина, которые различаются по своим физико-химическим свойствам: молекулярной массе, особенностям аминокислотного состава, изоэлектрическим точкам, термо- и рН-стабильности и т. п. Кроме картофеля, белковые ингибиторы обнаружены в других пасленовых, таких как томаты, баклажаны, табак. Наряду с ингибиторами сериновых протеиназ в них выявлены и белковые ингибиторы цистеиновых, аспартильных протеиназ, а также металлоэкзопептидаз.

При тепловой обработке пищевых продуктов белковые молекулы антифермента денатурируют и не оказывают своего ингибирующего влияния. При этом антиферменты растительного происхождения требуют более длительного и интенсивного нагревания, проявляя нехарактерную для белковых веществ термостабильность. Например, полное разрушение соевого ингибитора трипсина достигается лишь 20-минутным автоклавированием при 115°C или кипячением соевых бобов в течение 2–3 ч. Из этого следует, что применение семян бобовых культур, особенно богатых белковыми ингибиторами пищеварительных ферментов, как в кормах сельскохозяйственных животных, так и в пищевом рационе человека возможно лишь после соответствующей тепловой обработки. В связи с этим соя и продукты ее переработки регламентируются по предельно допустимому содержанию ингибиторов трипсина стандартами Кодекс Алиментариус, законодательными документами нашей страны (табл. 2.2) и партнеров по Таможенному союзу и ЕАЭС.

Таблица 2.2

**Предельно допустимые концентрации ингибитора трипсина
в пищевых продуктах**

Продукция	Допустимые уровни, %, не более
Отруби пищевые (для соевых белковых продуктов диетического и детского питания)	0,5
Зародыши семян зерновых, зернобобовых и других культур, хлопья и шрот из них, отруби (для соевых белковых продуктов диетического и детского питания)	0,5

Окончание табл. 2.2

Продукция	Допустимые уровни, %, не более
Продукты белковые из семян зерновых, зернобобовых и других культур: напитки, в том числе сквашенные, тофу и окара	0,5
Изоляты, концентраты, гидролизаты и текстуранты растительных белков; пищевой шрот и мука с различным содержанием жира из семян бобовых, масличных и нетрадиционных культур (для соевых белковых продуктов диетического и детского питания)	

2.1.2. Антивитамины

Антивитамины (другая группа антиалиментарных веществ) названы так потому, что способны полностью или частично блокировать биологическое действие витаминов. Различают два механизма действия антивитаминов. Первый основан на конкуренции антивитаминов с витаминами в физиологических процессах, при этом антивитамины не обладают необходимой физиологической активностью. Данный механизм характерен для соединений, являющихся химическими аналогами витаминов, в которых какая-либо функционально важная группа замещена неактивным радикалом. Второй механизм действия связан с химическими изменениями витаминов под влиянием антивитаминов, при этом витамины теряют свою физиологическую активность и могут разрушаться. Такой тип действия встречается у соединений, тем или иным образом специфически инактивирующих, разрушающих витамины, например, с помощью их модификации или ограничения их биологической активности.

Если классифицировать антивитамины по характеру действия, как это принято в биохимии, то первая (антиметаболитная) группа может рассматриваться в качестве конкурентных ингибиторов, а вторая – неконкурентных, причем во вторую группу попадают очень разнообразные по своей химической природе соединения и даже сами витамины, способные в ряде случаев ограничивать действие друг друга. Рассмотрим некоторые конкретные примеры соединений, имеющих ярко выраженную антивитаминную активность.

Так, *лейцин* способен нарушать обмен триптофана, в результате чего блокируется образование ниацина (витамина *PP*) – одного

из важнейших водорастворимых витаминов. Таким же эффектом обладают *индоллилуксусная кислота* и *ацетилпиридин*, присутствующие в кукурузе. Чрезмерное потребление пищевых продуктов, содержащих указанные авитамины, может усиливать развитие пеллагры, обусловленной дефицитом (гиповитаминозом) витамина *РР*.

Для аскорбиновой кислоты (витамина *С*) авитаминами являются ферменты, способствующие ее окислению: *аскорбатоксидаза*, *полифенолоксидазы* и др. Известно, что активность аскорбатоксидазы в различных продуктах неодинакова: наиболее активна она в огурцах и кабачках, наименее – в моркови, свекле и томатах. Однако важно подчеркнуть, что аскорбатоксидаза проявляет свою активность вне растительного организма. Потеря витаминной ценности фруктов и овощей происходит при их переработке. Например, в процессе 6-часового хранения измельченных овощей может разрушиться более половины содержащегося в них витамина *С* в результате взаимодействия фермента и субстрата. Это объясняется тем, что продукт окисления – дегидроаскорбиновая кислота – крайне нестойка и необратимо разрушается до других продуктов в течение короткого времени.

Тиаминаза – авитаминальный фактор для витамина *В₁* – тиамин. Она содержится в продуктах растительного и животного происхождения. Наибольшее содержание этого фермента отмечено у пресноводных и морских рыб, в частности карповых. Так, например, описаны случаи тиаминовой недостаточности у жителей Таиланда, употреблявших в пищу сырую рыбу, несмотря на то, что в их рационе присутствовало значительное количество витамина *В₁*. Кроме того, тиаминаза продуцируется бактериями кишечного тракта (*Bacteria thiaminolytic*, *Bakteria anekrinolytieu*), в этом случае дефицит тиамина рассматривают как одну из форм дисбактериоза. Авитаминальную активность по отношению к тиамину проявляют также *ортодифенолы* и *биофлавоноиды* (вещества с *Р*-витаминной активностью), содержащиеся в кофе и чае, а также *окситиамин*, который образуется при длительном кипячении кислых ягод и фруктов.

Для пиридоксина (витамина *В₆*) авитаминальным фактором является *линатин* (содержится в семени льна, льняных жмыхе и шроте). Кроме того, ингибиторы пиридоксальных ферментов обнаружены в съедобных грибах и некоторых видах семян бобовых.

При избыточном потреблении сырых яиц может возникнуть дефицит биотина (витамина *Н*) вследствие связывания и перевода его

в неактивное состояние *авидином* – белковой фракцией, содержащейся в яичном белке. Тепловая обработка яиц приводит к денатурации белка и лишает его антивитаминовых свойств.

Гидрогенизированные жиры являются факторами, снижающими сохранность витамина *A* (ретинола), что указывает на необходимость щадящей тепловой обработки жироемких продуктов, содержащих ретинол.

Соевый белок, особенно в сочетании с кукурузным маслом, способен нейтрализовать действие витамина *E* (токоферола). Происходит это в связи с тем, что в сое содержатся *антивитамины токоферола*. Подобный эффект наблюдается и при употреблении сырой фасоли. Термическая обработка этих продуктов приводит к разрушению антагониста витамина *E*.

Несмотря на то, что вещества-антагонисты витаминов не являются объектом контроля в процессе оценки соответствия пищевых продуктов, однако их неблагоприятное действие должно учитываться при проектировании технологий и рецептур пищевых продуктов, в том числе обогащенных различными витаминами.

2.1.3. Деминерализующие вещества

Еще одна группа антиалиментарных веществ характеризуется *деминерализующим действием*, выражающимся в резком понижении усвоения кальция, железа, цинка и ряда других минеральных элементов за счет образования с ними труднорастворимых соединений. Типичными представителями деминерализующих веществ являются щавелевая кислота и ее соли (оксалаты), фитин (инозитолгексафосфорная кислота), танины, некоторые пищевые волокна, серосодержащие соединения крестоцветных культур и ряд других веществ.

Щавелевая кислота резко снижает усвоение кальция за счет образования нерастворимой в воде соли. Описаны случаи отравления, в том числе со смертельным исходом (летальная доза составляет 5–150 г), при злоупотреблении продуктами с высоким содержанием щавелевой кислоты. К таким продуктам можно отнести следующие овощные культуры (среднее содержание щавелевой кислоты в мг/100 г): шпинат – 1000, портулак – 1300, ревень – 800, щавель – 500, красная свекла – 275. В остальных овощах и фруктах щавелевая кислота содержится в незначительных количествах.

Фитин благодаря своему химическому строению легко образует труднорастворимые комплексы с ионами кальция, магния, железа, цинка и меди. Достаточно большое количество фитина содержится в злаковых и бобовых культурах: в пшенице, горохе, кукурузе, фасоли, (около 400 мг/100 г), причем основная часть сосредоточена в наружном слое зерна. Поэтому фитин практически отсутствует в хлебе, выпеченном из муки высшего сорта. Также фитина нет в хлебе из ржаной муки, где в процессе подготовки теста он разрушается ферментом фитазой.

Дубильные вещества чая образуют с железом хелатные соединения, не всасывающиеся в тонком кишечнике. Такое воздействие дубильных веществ не распространяется на гемовое железо мяса, рыбы и яичного желтка. Кроме того, аскорбиновая кислота, цистеин, кальций и фосфор снижают степень неблагоприятного влияния дубильных и балластных соединений на усвояемость железа, что указывает на необходимость их совместного использования в рационе.

Кофеин способствует выведению кальция, магния, натрия и других элементов. **Серосодержащие соединения (зобогенные вещества)** нарушают усвоение йода. К продуктам зобогенного действия (при условии их избыточного потребления) относятся капуста белокочанная, цветная, кольраби, турнепс, редис, некоторые бобовые, арахис. В связи с этим, в условиях недостатка йода в воде и пище необходимо их ограниченное потребление.

2.1.4. Другие антиалиментарные факторы

Завершая рассмотрение антиалиментарных факторов, остановимся на двух группах соединений, которые не обладают ни одним из вышеописанных свойств. К первой группе относятся **лектины** (лат. *legere* – «собирать») – белки и гликопротеины, обладающие способностью повышать проницаемость стенок кишечника для чужеродных веществ, нарушать всасывание нутриентов, вызывать склеивание эритроцитов (агглютинацию), а также оказывающие ряд других неблагоприятных воздействий. Эти вещества широко распространены в живой природе, их много в пшенице, томатах, арахисе, бобовых, проростках растений, икре рыб, молочных продуктах. Обычная кулинарная обработка снижает содержание лектинов в пищевых продуктах и, таким образом, нивелирует возможные отрицательные воздействия на здоровье человека.

Вторую группу составляют *олигосахариды*, в частности трисахарид *раффиноза*, которая состоит из молекул глюкозы, фруктозы и галактозы, и тетрасахарид *стахиоза*, образованная молекулами глюкозы, фруктозы и двумя молекулами галактозы. Данные олигосахариды в большом количестве присутствуют в бобовых (соя, фасоль, вика, чечевица, люцерна). Например, в семенах сои раффиноза содержится в количестве 1,0–1,6%, стахиоза – 3,0–6,0%. Ферментами человека эти олигосахариды не расщепляются, а усваиваются кишечной микробиотой, что приводит к производству CO₂, CH₄, и H₂. Данные газы вызывают ощущение дискомфорта. В связи с этим все белковые продукты, полученные из сои и применяемые для детского и диетического питания, не должны содержать в своем составе более 2% олигосахаридов. В отличие от некоторых других содержащихся в сое нежелательных компонентов, таких как ингибитор трипсина и липоксигеназа, раффиноза и стахиоза не термолабильны, однако, путем замачивания, отваривания и ферментации можно до некоторой степени уменьшить их количество. Другим способом снижения содержания олигосахаридов в бобовых является селекция.

2.2. Природные токсиканты

Помимо антиалиментарных факторов в некоторых пищевых продуктах присутствуют **природные токсичные компоненты**, представляющие в определенных условиях опасность для здоровья потребителя. Так, белая фасоль, горький миндаль (до 8%), ядра косточек абрикосов, персиков, вишен (от 4 до 6%) и других фруктов содержат токсичные компоненты – *цианогенные гликозиды*. Это – **фитотоксины** (т. е. токсические соединения, вырабатываемые растениями), встречающиеся в составе по меньшей мере 2000 видов растений, многие из которых употребляются в пищу в некоторых регионах мира. К наиболее массово потребляемым продуктам питания, содержащим цианогенные гликозиды, относятся маниок, сорго, ядра косточковых плодов, корни бамбука и миндаль. Из представителей цианогенных гликозидов в растениях заслуживают внимание *лимарин*, содержащийся в белой фасоли, и *амигдалин*, присутствующий в косточках персиков, абрикосов, других фруктов. Токсический потенциал цианогенного растения зависит, главным

образом, от того, насколько высокой будет концентрация цианида в организме человека в результате его употребления в пищу.

Также к природным токсическим соединениям относятся **фуранокумарины**. Эти токсины продуцируются разными растениями: пастернаком (растение, родственное моркови и петрушке), корнеклубнями сельдерея, цитрусовыми (лимон, лайм, грейпфрут, бергамот) и некоторыми лекарственными растениями. У чувствительных людей эти токсины могут вызвать нарушения работы желудочно-кишечного тракта. Фуранокумарины обладают фотосенсибилизирующим действием и могут вызывать серьезные раздражения кожи под воздействием ультрафиолета. Чаще всего такие реакции возникают при попадании сока этих растений на кожу, однако описаны случаи аналогичного эффекта в результате употребления в пищу больших количеств овощей, богатых фуранокумарином.

Все растения семейства пасленовых, к которому относятся томаты, картофель и баклажаны, содержат природные токсины **соланин** и **чаконин (гликоалкалоиды)**. Как правило, концентрация этих веществ в растениях невысока. Тем не менее в более высокой концентрации они присутствуют в побегах картофеля и кожуре, а также зеленых частях его клубней, имеющих горький привкус, мг%: в цветках – до 3540; листьях – 620; стеблях – 55; ростках, проросших на свету, – 4070; кожуре – 270; мякоти клубня – 40. Эти соединения обладают антихолинэстеразной активностью. Для предупреждения возникновения соланина и чаконина в картофеле важно хранить клубни в темном, прохладном и сухом месте. Также не рекомендуется употреблять в пищу позеленевшие или пускающие ростки части клубней.

Для предотвращения попадания вышеуказанных веществ в пищевые продукты предусмотрены разные технологические приемы (удаление косточек из фруктов при консервировании, отбраковка позеленевших клубней картофеля и незрелых баклажанов при переработке и др.).

2.3. Природные фармакологически активные вещества

Отдельную группу непищевых веществ составляют природные компоненты, обладающие выраженной **фармакологической активностью**. К ним относят этанол (этиловый или винный спирт) и

алкалоиды (диэтиламид лизергиловой кислоты, морфин, кофеин, теобромин, теofilлин и др.).

Этанол, попадая в организм человека, под воздействием фермента алкогольдегидрогеназы окисляется до ацетальдегида, который далее под воздействием другого фермента (альдегиддегидрогеназы) окисляется до ацетата (уксусной кислоты). Затем происходит образование ацетил-кофермента *A* и дальнейшее окисление в цикле лимонной кислоты. Алкоголь синтезируется ферментными системами организма для собственных нужд, и в течение дня организм человека способен синтезировать от 1 до 9 г этилового спирта. Эндогенный алкоголь является естественным метаболитом, и ферментных способностей организма вполне хватает для его окисления в энергетических целях.

При потреблении алкоголя в больших количествах ферменты не справляются, происходит накопление этилового спирта и уксусного альдегида, что вызывает симптомы обширной интоксикации (головная боль, тошнота, аритмия сердечных сокращений). У людей, потребляющих большие количества алкоголя, обнаруживается дефицит незаменимых веществ (витаминов), нарушается углеводный, жировой и белковый обмен и заканчивается, как правило, биохимической катастрофой с тяжелыми патологиями. Также доказано наркотическое действие алкоголя, выражающееся в устойчивой зависимости, которая приводит к негативным изменениям психики. Таким образом, алкоголь можно рассматривать как антиалиментарный фактор питания, приводящий к специфическим нарушениям обмена веществ.

К этому необходимо добавить следующее. Сопутствующим соединением, образующимся при сбраживании сахаров на этанол, является **метиловый спирт (метанол)** – ядовитое вещество, смертельная доза которого составляет около 30 мл. С учетом этого, допустимое содержание метанола в водках, этиловых пищевых спиртах, включая спиртовые полуфабрикаты, составляет не более 0,02% (объемная доля в пересчете на безводный спирт), в коньяках и коньячных спиртах – не более 2 г/дм³.

Алкалоиды – обширный класс органических соединений, оказывающих самое различное действие на организм человека. Они одновременно сильнейшие яды и полезные лекарственные средства. Например, **морфин**, известный с 1806 г. и выделенный из сока головок мака, является мощным обезболивающим средством, благодаря чему нашел применение в медицине, однако может привести к развитию наркомании. Печально известное психоактивное

вещество, сильнейший галлюциноген *ЛСД* – *диэтиламид лизергиловой кислоты*, был выделен из спорыньи (грибок, растущий на колосьях ржи). Хорошо изучены в настоящее время так называемые *пуриновые алкалоиды*, к которым относятся *кофеин* и часто сопровождающие его *теобромин* и *теофиллин*. Систематическое употребление кофеина в количестве 1000 мг в день вызывает у человека постоянную потребность в нем, напоминающую алкогольную зависимость. Содержание кофеина в сырье и различных продуктах колеблется в достаточно широких пределах:

1) в зернах кофе – от 1,1 до 2,2% кофеина от массы бобов; в листьях чая – до 3,5% кофеина от общей массы сухого листа;

2) в напитках кофе и чая, в зависимости от способа приготовления, – до 1500 мг/л (кофе) и до 350 мг/л (чай);

3) в напитках пепси-кола и кока-кола – до 1000 мг/л и выше.

Еще одним алкалоидом, заслуживающим внимания, является *хинин*, обладающий горьким вкусом, содержащийся в коре и других частях хинного дерева (*Cinchona*) и ремиджии (*Remijia*) семейства мареновых, произрастающих в тропических странах. Благодаря своему фармакологическому действию (противомалярийное, противопротозойное), он в течение длительного времени использовался в качестве лекарственного препарата. Сегодня с этой целью употребляют более эффективные синтетические препараты, но по ряду причин хинин находит свое применение и в настоящее время. Наряду с кофеином, хинин используется в производстве напитков-тоники.

С учетом отрицательных последствий для здоровья человека вследствие чрезмерного употребления продуктов, содержащих вещества фармакологического действия, законодательно определены предельно допустимые концентрации этих соединений (табл. 2.3).

Таблица 2.3

**Предельно допустимые концентрации некоторых алкалоидов
в пищевых продуктах**

Продукция	Допустимые уровни, мг/кг, не более	Продукция	Допустимые уровни, мг/кг, не более
Кофеин		Хинин	
Напитки безалкогольные, содержащие кофеин	150	Напитки безалкогольные, содержащие хинин	85
Напитки безалкогольные специализированные, содержащие кофеин	400	Спиртовые напитки, содержащие хинин	300

Также для разных групп населения существуют ограничения по применению таких продуктов, информация о которых в обязательном порядке наносится на этикетку.

2.4. Пищевые аллергены

Несмотря на значительные достижения нутрициологии, все еще остается ряд труднообъяснимых эффектов отрицательного действия на здоровье человека ряда природных компонентов пищи. **Пищевая аллергия** – одно из таких явлений, ставшее сегодня особенно актуальным. С медицинской точки зрения под *аллергией* понимают повышенную чувствительность организма к некоторым веществам окружающей среды, которые воздействуют на нас через иммунную систему. Пищевая аллергия – это повышенная чувствительность организма к пищевым продуктам, в основе которой чаще всего лежат иммунные нарушения. Статистика последних лет свидетельствует о неуклонном росте аллергических реакций на пищу. По данным отечественных и зарубежных исследователей распространенность пищевой аллергии колеблется в широких пределах и охватывает от 0,01 до 50% всего населения.

Пищевыми аллергенами являются белки гликопротеины с молекулярной массой 10–70 кДа, содержащиеся в пищевых продуктах. В редких случаях аллергенами могут быть полипептиды и гаптены (греч. *ἄπτω* (hapto) – «прикреплять»); простые химические соединения, в основном ароматического ряда (фениларсонат, моно- и олигосахариды, а также олигопептиды)), которые соединяются с белками пищи. Обозначение всех аллергенов дается следующим образом: первые три буквы обозначают латинское название рода источника аллергена, следующие буква и цифра – первая буква вида и номер аллергена. Например, *Arachis hypogaea* (арахис) – *Ara h1*, *Ara h2*, *Ara h3*; *Secale cereale* (рожь) – *Sec c1*; *Malus domestica* (яблоко) – *Mal d1*; *Betulla verrucosa* (береза) – *Bet v1*, *Bet v2* и т. д. Варианты аллергенов (изомерные формы) обозначаются дополнительными цифрами.

Пищевые аллергены имеют трехмерную структуру, хорошо растворимы в воде, некоторые из них термостабильны и устойчивы к воздействию протеолитических ферментов. Развитие молекулярной биологии и появление новых методов идентификации белковых молекул в последние десятилетия позволили получить информацию о

структурных и функциональных свойствах **растительных аллергенов**. Многие из них являются так называемыми *патогенетическими белками*, синтезируемыми растениями в стрессовых ситуациях (воздействие инфекции, ультрафиолетового облучения, неблагоприятных метеорологических условий, некоторых химических веществ, механических повреждений). Выделяют 14 различных групп (типов) патогенетических белков, 7 из которых обладают аллергенной активностью, а 6 входят в состав пищевых растительных аллергенов. В процессе формирования перекрестной реактивности наиболее значимыми являются патогенетические белки 2, 3, 5 и 10-й групп.

К белкам 2-го типа относятся бета-1,3-глюканазы – гидролитические ферменты с молекулярной массой 25–35 кДа. Один из таких ферментов был выделен из натурального латекса, полученного из *Hevea brasiliensis*, и охарактеризован как один из аллергенов латекса *Hev b2*. Гомологичные ему пептиды содержат многие фрукты и овощи, особенно авокадо, бананы, киви, фиговые, каштаны, томаты и картофель. Патогенетические белки 3-го типа являются преимущественно хитиназами 1-го класса, обладающими способностью расщеплять хитин. Обычно они существуют в виде мономеров с молекулярной массой от 25 до 35 кДа. К хитинсвязывающим протеинам относятся аллергены латекса (прогевеин (*Hev b 6.01*) и гевеин (*Hev b 6.02*)), главный аллерген авокадо (*Pres a1*), аллергены банана и каштана. Патогенетические белки 4-го типа белков также принадлежат к хитиназам. Они выделены из турнепса и ежевики. Белки 5-го типа называют тауматиноподобными протеинами. Тауматин – белок с очень сладким вкусом, синтезирующийся в плодах западноафриканского кустарника *Thaumatococcus daniellii*. Тауматиноподобные белки обладают антифунгальной активностью. К ним относятся аллергены яблока (*Mal d2*) и вишни (*Pru av2*). Основным аллергеном пыльцы березы (*Bet v1*) принадлежит к белкам 10-го типа. Гомологичные ему протеины присутствуют в большинстве цветущих растений:

- *Cor a1* – главный аллерген пыльцы орешника;
- *Mal d1* – главный аллерген яблока;
- *Pru av1*, *Pru ar1*, *Api g1*, *Dau c1*, *Pyr c1* – аллергены вишни, абрикоса, сельдерея, моркови и груши соответственно.

Гомологичные протеины *Bet v1* также обнаружены в петрушке и картофеле.

Патогенетические белки 14-го типа – полипептиды с молекулярной массой 9 кДа, состоящие из 90–95 аминокислотных остатков. Они относятся к трансфер-факторам липидов, и их биологическая функция

состоит в переносе фосфолипидов из липосом в митохондрии. Аллергены плодов розоцветных растений (персика (*Pru p3*), абрикоса (*Pru ar3*) и яблока (*Mal d3*)) представляют собой транс-факторы липидов.

По степени аллергенности (способности вызывать аллергенные реакции) можно выделить три группы пищевых продуктов (рис. 2.2). Однако, безусловно, аллергенными принято считать следующие 15 групп пищевых продуктов и добавок:

- 1) арахис и продукты его переработки;
- 2) аспартам и аспартам-ацесульфама соль;
- 3) горчица и продукты ее переработки;
- 4) диоксид серы и сульфиты, если их общее содержание составляет более 10 мг на один килограмм или 10 мг на 1 л в пересчете на диоксид серы;
- 5) злаки, содержащие глютен, и продукты их переработки;
- 6) кунжут и продукты его переработки;
- 7) люпин и продукты его переработки;
- 8) моллюски и продукты их переработки;
- 9) молоко и продукты его переработки (в том числе лактоза);
- 10) орехи и продукты их переработки;
- 11) ракообразные и продукты их переработки;
- 12) рыба и продукты ее переработки (кроме рыбного желатина, используемого в качестве основы в препаратах, содержащих витамины и каротиноиды);
- 13) сельдерей и продукты его переработки;
- 14) соя и продукты ее переработки;
- 15) яйца и продукты их переработки.

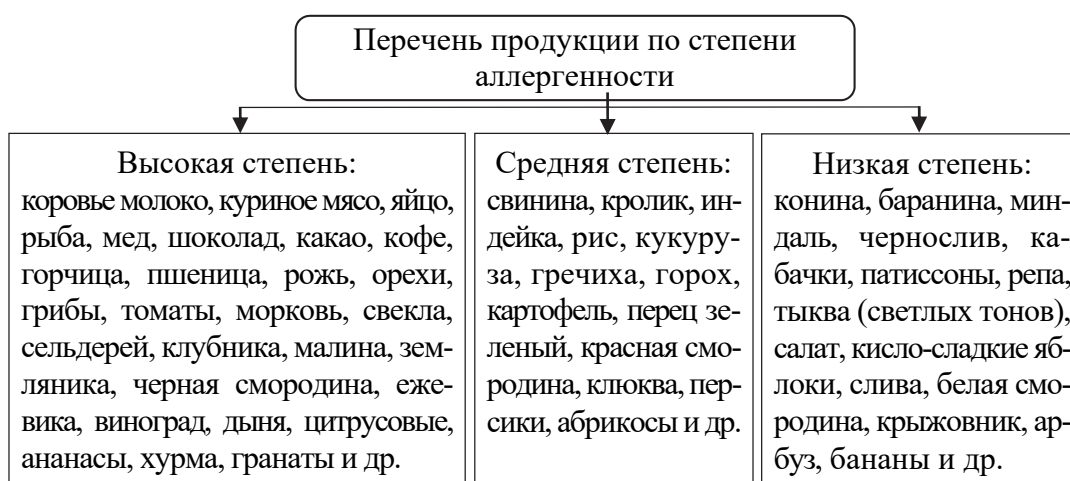


Рис. 2.2. Классификация пищевых продуктов по степени аллергенности

Рассмотрим подробнее характеристику некоторых аллергенных пищевых продуктов, включенных в вышеперечисленный список.

Арахис считают одним из самых аллергенных продуктов питания. Он широко применяется в пищевой промышленности и часто становится так называемым «скрытым аллергеном». После обжаривания и варки его аллергенные свойства усиливаются. Симптомы аллергической реакции на арахис и продукты его переработки могут включать зуд, крапивницу, экзему, отеки лица, чихание, астму, боль в животе, снижение артериального давления, остановку сердца и анафилаксию. Арахисовая аллергия является наиболее распространенной причиной анафилаксии после приема пищевых продуктов, содержащих данный аллерген. Среди белков арахиса известно 9, проявляющих аллергенные свойства, а именно:

- белки, запасающие питательные вещества, относящиеся к глобулинам: вицилин, конглоутин, глицинины, гомологи конглоутина (белки, сходные с ним по строению);
- белки, защищающие растение от стрессовых воздействий: профилин, белок PR-10;
- агглютинин лектин.

Для выявления аллергенов арахиса используют следующие методы испытаний:

- метод ИФА (иммуноферментный анализ) – количественный тест для испытаний пищевых продуктов, имеющий высокую чувствительность (<1 мг/кг) и специфичность. Этот метод можно использовать для проверки пищевых продуктов, в которых присутствие белка арахиса исключено;

- тест-набор для определения наличия арахиса в пищевых продуктах представляет собой готовые к использованию тест-полоски (LFD) для проведения экспресс-анализа широкого диапазона образцов продуктов питания в течение 11 мин (включая экстракцию). Сущность определения заключается в том, что на тест-полоски нанесены специальные антитела, обозначенные коллоидальным золотом, цвет которых изменяется в присутствии арахиса в исследуемой пробе. Для исключения ложноположительного результата тест-полоска разделена на контрольную и тестовую зоны.

Горчица – род растений из семейства крестоцветных. Семена горчицы содержат 16,5–38,5% жирного масла и приблизительно 0,2–1,0% эфирного (горчичного) масла, синальбин (около 2,5%), белки, минеральные вещества (до 10%), фермент мирозин. В состав

масла входят гликозид синальбин, слизь, кислоты (эруковая, олеиновая, линолевая, пальмитиновая, арахидоновая, линоленовая). Горчичное масло применяется в кондитерской, парфюмерной, консервной отраслях промышленности, хлебопечении, а эфирное масло используют в медицине в виде горчичного спирта. Горчица применяется в косметологии, в медицине для изготовления горчичников, в пищевкусовой отрасли промышленности для производства приправ (дижонская (французская), с медом, фруктовая, зеленая, донская (на рассоле) и др.). Основными аллергенами горчицы являются *Sin a 1* и альбумин 2S. Все горчичные белки, вызывающие аллергию, являются термоустойчивыми и не зависят от вида и интенсивности технологической обработки. К симптомам аллергической реакции на горчицу относятся зуд и отек языка, неба, губ, горла; крапивница (внезапное, быстрое и сильное высыпание на коже); системная анафилаксия (слезотечение, чихание, отек бронхов, кашель, тошнота, рвота, беспокойство, выраженная одышка, в редких случаях возможна остановка дыхания).

К **злакам**, содержащим глютен, относятся пшеница, рожь, ячмень, некоторые сорта овса, а также любые гибриды этих злаков. В табл. 2.4 приведена классификация пищевых продуктов по степени содержания глютена.

Таблица 2.4

Классификация пищевых продуктов по степени содержания глютена

Продукты с низким содержанием или следами глютена	Продукты, содержащие глютен	
	явный	скрытый
Рис	Хлеб пшеничный	Вареные колбасы, сосиски
Гречка	Хлеб ржаной	Полуфабрикаты из мяса и рыбы
Кукуруза	Отруби	Консервы
Пшено	Кондитерские изделия из муки	Томатные пасты, кетчупы
Мясо	Макаронные изделия	Концентрированные сухие супы
Высшие сорта колбас	Манная крупа	Бульонные кубики
Рыба	Овсяная крупа	Имитации морепродуктов (крабовые палочки и др.)
Яйца	Перловая крупа	Соусы, майонезы
Молоко	Ячневая крупа	Сыры, творожные сырки, йогурты, мороженое
Овощи	Пшеничная крупа	Кукурузные хлопья с использованием ячменной патоки
Картофель	Котлеты	
Фрукты	Блюда в панировке	
Ягоды		
Орехи		
Бобовые		
Мед		
Желатин		

Глютен (клейковина) – понятие, объединяющее группу запасющих белков, обнаруженных в семенах злаковых растений, в особенности пшеницы, ржи и ячменя, а также в продуктах, полученных из этих зерен, таких как хлеб и солод. Термином «клейковина» обозначаются белки фракции проламинов и глютелинов. Этот белковый комплекс составляет 75–85% от общего белка в хлебной пшенице. Глютен обладает уникальными вязкоупругими и клеющими свойствами, которые придают тесту эластичность, помогают ему расти и сохранять свою форму. Эти свойства и его сравнительно низкая стоимость являются причинами, по которым глютен так широко востребован. Средний человек употребляет от 10 до 40 г глютена в сутки. Большая часть потребления приходится на различный хлеб, макаронные изделия и хлебобулочные изделия, в которых глютен составляет 10–15% сухого веса.

С непереносимостью глютена связаны (по некоторым данным) три клинических диагноза: целиакия (англ. *celiac disease, CD*), аллергия на пшеницу (*wheat allergy, WA*) и непереносимость глютена без целиакии (*nonceliac gluten sensitivity, NCGS*). О частоте этих трех состояний нет точных данных. По оценкам, люди со всеми ими в сумме составляют от 0,2 до 6,0% популяции в разных регионах мира. К «безглютеновым» изделиям могут быть отнесены продукты, содержащие не более 200 мг глютена на 1 кг продукта (0,02%) в пересчете на сухое вещество. Как правило, содержание глиадинов в глютене находится на уровне 50%, поэтому предельная концентрация глиадина в таких продуктах не должна превышать 100 мг/кг (0,01%).

Для определения глютена в пищевых продуктах применяют стандартизированные методы (ГОСТ 27839–2013, ГОСТ 31699–2012 (ISO 21415-1:2006), ГОСТ ISO 21415-2–2019), основанные на отмывании клейковины от крахмала, растворимых белков и некоторых других соединений и определении ее количества.

Коровье молоко относят к сильным аллергенам. Оно содержит около 40 видов белков, 7 из которых признаны сильными аллергенами. Вызвать аллергию может не только коровье молоко, но и продукты его переработки. Казеин входит в состав многих молочных продуктов. Наибольшее количество казеина содержится в коровьем и козьем молоке. Казеин составляет 80% состава такого молока, остальные 20% – сывороточные продукты. В молоке других животных его

количество в составе меньше 80%. На втором месте по вместительности казеина располагаются сыры разных сортов и творог. Большое количество казеина находится в сырах Гауда, Чеддер, Моцарелла и др. Также казеин содержится в молочных продуктах, таких как сметана, сливки, кефир, простокваша, мороженое и др. Из-за того, что белок казеина является сложноструктурным, некоторые организмы не могут расщепить его, в результате он воспринимается как чужеродное вещество. После этого, иммунная система начинает выделять антитела к казеину, тем самым вызывая аллергическую реакцию. Степень тяжести зависит от индивидуальных особенностей организма. Но в аллергии на молочные продукты не всегда виноват казеин. У взрослых и детей возможна реакция на другие сывороточные белки продукта. Часто можно встретить именно непереносимость молока, а не аллергию. Непереносимость связывают с недостаточным количеством фермента, расщепляющего лактозу.

Аллергия на белки молока и лактозу – это патология, которую диагностируют реже непереносимости. Несмотря на меньшую частоту случаев, симптомы такого состояния считаются более опасными и могут стать причиной развития опасных и угрожающих жизни последствий. Лактоза, содержащаяся в натуральной молочной продукции, переваривается под воздействием фермента лактазы. В том случае, когда у пациента отмечается низкий уровень этого фермента, возникает аллергия на лактозу. Аллергия на лактозу также похожа на глютеную энтеропатию (целиакию). При энзимопатии возникает нарушение пищеварения, вызванное недостаточной выработкой ферментного комплекса, расщепляющего глютен. Аллергия на лактозу не относится к иммунным ответам, в то время как при целиакии происходит аутоиммунное поражение. Людям с лактозной аллергией следует постепенно вводить в рацион продукты животного происхождения и употреблять не как самостоятельное блюдо, а в качестве дополнения к основному меню.

Ракообразные – это одна из групп членистоногих, который также включает насекомых, многоножек и паукообразных. Все они обладают хитиновым экзоскелетом. К ракообразным относятся раки, крабы, омары, креветки, криль, а также мокрицы, морские жиди, дафнии и др. Многие из ракообразных съедобны. Ракообразные относятся к основным пищевым аллергенам, причем аллергия

на них не проходит с возрастом и часто проявляется в форме анафилаксии. Аллергическая реакция может возникать не только при употреблении ракообразных в пищу, но и при контакте с ними. Считается, что для развития реакции достаточно 0,25–10,00 мг белка ракообразных.

Основной аллерген в большинстве исследованных видов ракообразных – тропомиозин, который принадлежит к семейству высококонсервативных структурных белков, найден в мышечных и немuscularных клетках. Тропомиозин был описан как важный пищевой аллерген у креветок, лобстеров, крабов, устриц, кальмаров и других беспозвоночных. Еще одним аллергеном является фермент аргининкиназа, который присутствует в тигровых креветках, также обнаружен у более чем шести видов ракообразных и одного вида моллюсков. Миозин, молекулы которого имеют молекулярную массу от 17 до 20 кДа, хорошо охарактеризован у четырех видов ракообразных и, по-видимому, устойчив к нагреванию. Недавние исследования подчеркнули значение саркоплазматических кальцийсвязывающих белков (SCBP) как аллергена моллюсков.

Для определения белков ракообразных в пищевом сырье и продуктах питания можно использовать тест-системы для ИФА и иммунохроматографические тест-полоски. Эти методы позволяют быстро обнаруживать присутствие в продукции тропомиозина и других белков ракообразных и обладают высокой чувствительностью. Для анализа ДНК ракообразных в продукции применяются системы для проведения ПЦР.

По статистике, аллергия на *орехи* возникает более чем у 20% взрослого населения и у 5% детей, при этом 90% всех летальных случаев, вызванных приступами пищевой аллергии, приходится на аллергию к орехам. Аллергические реакции вызываются белками-аллергенами лектином, профилином, бициллином, легуминоподобными белками и др. В грецком орехе аллергенами являются: запасующий альбумин семени (*Jug r 1*) и запасующий вицилин семени (*Jug r 2*). Пищевая аллергия к кашью встречается реже, чем к другим орехам. Аллергенами в нем являются вицилиноподобный белок *Ana o 1*, легуминоподобный белок *Ana o 2* и 2S альбумин (*Ana o 3*). У 10% людей, имеющих аллергию на данный орех, реакция проявляется при употреблении 3,5–4,3 мг белков, у 50% – от 108,4 мг до 149,1 мг. К пищевым аллергенам миндаля относятся *Pru du 3*, *Pru du 4* (профилин),

Pru du 5 и *Pru du 6* (амандин). Последний белок является термостабильным. Что касается ореха *пекан*, то аллергенами, содержащимися в нем, являются белки *Car i 1* (2S запасающий альбумин семян), *Car i 2* (вицилин подобный белок) и *Car i 4* (запасающий легумин семян). К пищевым аллергенам *фисташек* традиционно относят белки *Pis v 1* (2S альбумин), *Pis v 2* (11S глобулин), *Pis v 3* (вицилин), *Pis v 4* (марганец супероксиддисмутаза) и *Pis v 5* (11S глобулин). Также фисташки содержат урушиолы, которые при попадании на кожу вызывают аллергическую реакцию. К аллергенам *фундука* относятся *Cor a 1*, *Cor a 2* (профилин), *Cor a 8* (неспецифический липид, транспортирующий белок 1 типа), *Cor a 9* (11S запасающий глобулин семян), *Cor a 11* (7S вицилин подобный запасающий глобулин семян), а также *Cor a 12* (17 кДа олеозин), *Cor a 13* (14–16 кДа олеозин), *Cor a 14* (2S альбумин).

Аллергическая реакция к **рыбе** имеется примерно у 0,2% населения. Основной аллерген в рыбе – это белок парвальбумин, связывающий кальций, а также альбумины, тропомиозин и некоторые другие. Примерная доза для развития аллергической реакции – 1–100 мг белков. Очень часто аллергия к одному виду рыбы вызывает таковую к другому. Приведем краткую характеристику некоторых аллергенов рыбы.

Альбумины – простые растворимые в воде белки. Альбумин представляет собой самую большую фракцию белков плазмы крови человека – 55–65%. В состав белковой молекулы альбумина входят все 20 аминокислот. Синтез альбумина происходит в печени. Основная функция альбумина в организме человека – поддержание коллоидно-осмотического давления крови. В молекуле альбумина идентифицирован целый ряд центров связывания лигандов, каждый из которых характеризуется присущими ему стереохимическими чертами и специфичностью. Так, установлено, что молекула альбумина имеет один центр связывания билирубина, фиксирующий пигмент наиболее прочно и специфично, а также еще несколько вторичных центров с менее высокими константами связывания. Выделены как минимум четыре центра связывания для свободных жирных кислот. В процессе кипячения альбумин распадается, однако в продуктах остаются его следы. Парвальбумин (кальцийсвязывающий белок, относящийся к группе альбуминов) содержится практически в любой рыбе, кроме тунца. Он не удаляется при термической

обработке и замораживании. Именно этот белок чаще всего воспринимается иммунной системой как чужеродный. Когда аллерген связывается с иммуноглобулином, происходит выделение веществ, вызывающих воспалительную реакцию. Гистамин высвобождается, выходит за пределы клеток, и организм попадает под его воздействие. Это вызывает жжение, зуд, повышение температуры, снижение артериального давления, расстройства пищеварения и т. д.

Сельдерей – полезное растение, его стебель употребляют в пищу, а высушенные семена используются как специи, а также используются для изготовления некоторых гомеопатических средств, улучшающих пищеварение и мочевыделение. При этом сельдерей обладает высокой аллергенной активностью и может вызвать тяжелые угрожающие жизни аллергические реакции. В его состав входят аллергены, которые имеют сходную структуру с белками пыльцы березы. Основными аллергенами сельдерея являются 7 белков, среди которых присутствуют белки – переносчики липидов, защитные белки, профилины. Аллергены обнаруживаются во всех частях растения. Некоторые аллергенные белки сельдерея характеризуются высокой термостабильностью, а поэтому риск развития реакции у сенсibilизированных лиц возможен даже при употреблении блюда с термически обработанным овощем. Зафиксированы аллергические синдромы «береза – полынь – сельдерей», «сельдерей – морковь – береза – полынь – специи». Однако чаще всего отмечается развитие перекрестных реакций с аллергенами других представителей семейства зонтичных, например, морковью, анисом, кумином, фенхелем, кориандром, тмином, укропом, петрушкой, при этом возможны перекрестные аллергические реакции с латексом, экзотическими фруктами, плодами растений семейства розовых и орехами. Примерно у 20% лиц, страдающих аллергией на пыльцу березы, обнаруживаются антитела к профилинам сельдерея.

Яйца – один из самых распространенных аллергенов, вызывающих реакцию у детей. При аллергии на яйца иммунная система ошибочно определяет некоторые яичные белки вредоносными, ее клетки (антитела) распознают их и сигнализируют иммунной системе о выделении гистамина и других химических веществ, которые вызывают аллергические симптомы. Основными аллергенами яичного белка являются овальбумин, овомукоид, кональбумин, лизоцим. Яичный желток содержит аллерген вителлин, который разрушается при варке.

Овальбумин – основной яичный белок (около 60–65%). Термолабильный, теряет часть своих аллергенных свойств после термической обработки. Функция его до конца не выяснена. Считается резервным белком для развития зародыша. Имеет массу около 45 кДа и состоит из 385 аминокислотных остатков. Существует три фракции овальбумина в зависимости от количества фосфорилированных остатков: два у овальбумина А1, один у овальбумина А2 и ни одного у овальбумина А3. Он применяется в кондитерской промышленности, фотографии в процессе альбуминовой печати. Является важным белком для различных областей исследований, в том числе общего исследования структуры и свойств белка (потому что она доступна в большом количестве); исследования структуры и функции серпина; иммунологии (обычно используется для стимулирования аллергических реакций у испытуемых).

Овомукоид – главный доминирующий аллерген куриного белка. Его молекулярная масса 28 кДа. Содержание овомукоида в яйце в 5 раз меньше количества овальбумина. Термостабилен и устойчив к термической обработке при 100°C в течение часа, а его структура очень схожа с ингибитором фермента трипсина поджелудочной железы, что препятствует его расщеплению протеолитическими энзимами.

Кональбуин (овотрансферрин) – белок с молекулярной массой 66–78 кДа. Он присутствует в яичном белке, желтке и плазме и имеет совместный ген с трансферрином куриной сыворотки, однако отмечается лишь частичная перекрестная реактивность данных белков. Он относится к термолабильным белкам, его аллергенные свойства снижаются при термической обработке и под воздействием пищеварительных ферментов.

Лизоцим – белок с молекулярной массой 14,5 кДа. Относится к глобулярным пептидам, распространенным в различных тканях и органах животных. Он обладает антибактериальными свойствами и присутствует в сыворотке, слюне и других секретах, а его структура отличается у различных видов живых организмов. Применяется в пищевой промышленности как добавка Е1105, биологический катализатор в производстве твердых сыров, в качестве консерванта в фармацевтической промышленности, также он входит в состав лекарственных препаратов для лечения респираторных заболеваний и используется как местное антисептическое средство.

Как указывалось выше, к особенностям пищевых аллергенов относится способность изменять свои антигенные свойства в процессе кулинарной обработки продуктов. Несмотря на то, что нагревание приводит к денатурации белка, в некоторых пищевых продуктах аллергенные компоненты теряют активность, а в других, напротив, становятся более реакционными. Пастеризация, стерилизация, глубокое замораживание мало влияют на степень аллергенности пищевых продуктов. Неферментативное потемнение продуктов (например, в процессе созревания овощей или фруктов), наоборот, резко повышает их аллергенность.

Поскольку пищевые аллергии влияют на качество жизни и благосостояние подверженных аллергии лиц, а также на экономику пищевой промышленности и государства в целом, то являются проблемой как для лиц, страдающих от проявления аллергических реакций, так и для всех тех, кто причастен к поставкам и приготовлению пищевых продуктов. Анализ современной научно-технической литературы и законодательных документов в данной области показал, что существуют несколько способов решения этой проблемы. Например, указание на этикетке пищевого продукта ингредиентов, содержащих известные аллергены, предупреждает о возможной опасности лиц, подверженных пищевым аллергиям. Так, Европейская Директива 2003/89/ЕС с ноября 2005 г. обязывает изготовителей указывать присутствие аллергенных компонентов на этикетках пищевых продуктов. Согласно требованиям технического регламента ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», в случае использования аспартама и аспартамацесульфата соли при производстве пищевой продукции на этикетке после указания ее состава должна размещаться надпись: «Содержит источник фенилаланина». Также, если указанные выше аллергенные компоненты не использовались в производстве пищевой продукции, но их наличие в конечном продукте полностью исключить невозможно, информация о возможном наличии таких компонентов размещается непосредственно после указания состава пищевой продукции.

Другой способ решения проблемы пищевых аллергенов заключается в управлении ими на пищевом предприятии путем разработки и внедрения эффективной программы менеджмента аллергенов, включающей контроль поставщиков по всей пищевой цепи (рис. 2.3).

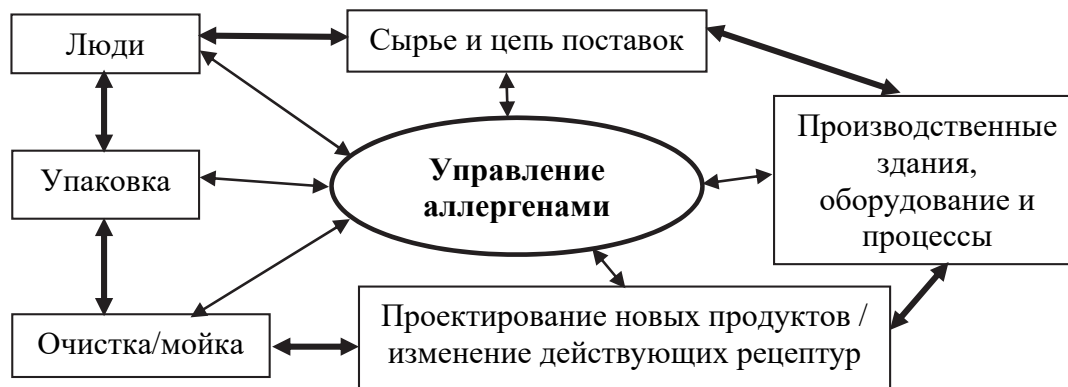


Рис. 2.3. Схематическое изображение элементов программы менеджмента аллергенов

Чтобы разработать, внедрить и эффективно применять программу менеджмента аллергенов, необходимы:

- эффективная организационная структура (назначение ответственных лиц за контроль аллергенов; документально оформленная технологическая схема с отметкой этапов, на которых возможно проникновение аллергенов, и определение ответственного персонала на каждом этапе; график проведения тренингов для рабочих);
- доскональное знание особенностей производства продукта (определение критических контрольных точек (ККТ); наличие разработанного плана контроля аллергенов, специфичного для каждого производства);
- разработанная и введенная в действие программа управления аллергенами поставщиков сырьевых компонентов (необходимо принудить поставщиков указывать наличие аллергенов в поставляемой продукции; поставщики должны разработать и документально оформить собственную программу контроля аллергенов; необходимо требовать у поставщиков документальных доказательств отсутствия в закупаемой продукции аллергенов; следует регулярно проводить аудит поставщиков, обращая внимание на наличие у них разработанных процедур по контролю аллергенов);
- отделение аллергенов в производственных условиях (выявление аллергенов при входном контроле: проверка этикеток сырья, идентификация в нем аллергенов и осмотр транспортных средств; изоляция аллергенов путем раздельного хранения сырья, использование маркированных специальным образом контейнеров и выполнение документированных процедур реализации сырья внутри предприятия);

– отсутствие (минимизация) перекрестных загрязнений (пространственное отделение аллергенов; изготовление продукта, содержащего аллерген, в конце производственного цикла; установление барьеров в виде закрытых лент (конвейеров), которые транспортируют материалы и защищают их от попадания ингредиентов, содержащих аллерген с того или иного ленточного транспортера);

– контроль информации, приводимой на этикетке продукта, в отношении веществ-аллергенов;

– эффективная система очистки оборудования и инвентаря от аллергенов (тщательная очистка оборудования после контакта его с аллергеносодержащими компонентами; при возможности необходимо осуществлять влажную очистку или рассматривать иные варианты очистки; процедуры очистки должны быть четко определены и подтверждены соответствующими записями о их выполнении; посредством внутренних и внешних аудитов необходимо отслеживать выполнение процедур очистки).

Также рекомендуется программу менеджмента аллергенов проверять ежегодно на эффективность и соответствие действующему законодательству.

Подводя итог обсуждения природных компонентов пищи, оказывающих при определенных условиях неблагоприятное воздействие на организм человека, необходимо еще раз подчеркнуть, что благодаря современным знаниям пищевой химии перечень показателей, требующих контроля, расширяется за счет компонентов, естественно присутствующих в пищевых продуктах, но не имеющих алиментарного значения.

Глава 3

ПИЩЕВЫЕ ДОБАВКИ, АРОМАТИЗАТОРЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Современная пищевая промышленность широко применяет различные вещества и их смеси для улучшения потребительских характеристик и удлинения срока годности выпускаемых продуктов, а также для повышения экономической эффективности производства. В зависимости от выполняемых функций их делят на три группы: пищевые добавки, ароматизаторы и технологические вспомогательные средства. Определения этим категориям веществ дано в Техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (рис. 3.1).

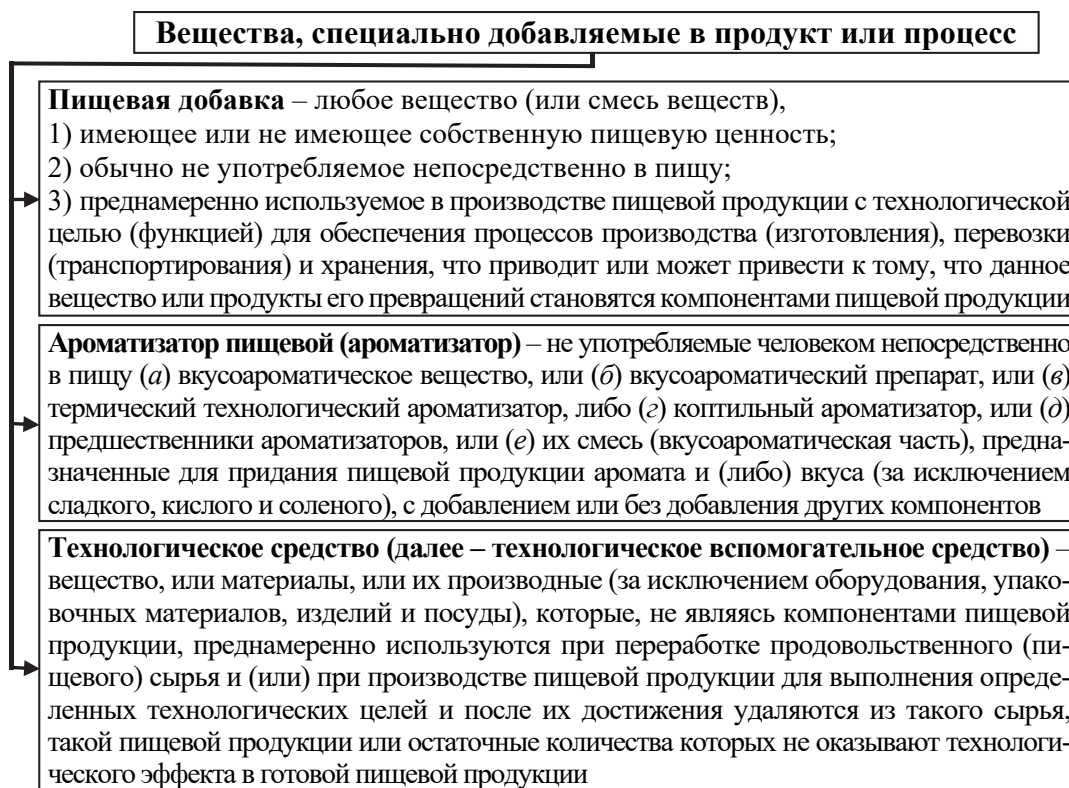


Рис. 3.1. Термины и их определения

Вопросами безопасного применения пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств занимается международный экспертный научный комитет, которым совместно управляют Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций и Всемирная организация здравоохранения – Объединенный комитет экспертов ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам (JECFA – Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), которому в 2006 г. исполнилось 50 лет.

Данная организация осуществляет:

- оценку рисков (оценку безопасности) пищевых добавок (преднамеренно добавленных), технологических добавок (считающихся пищевыми добавками), ароматизаторов (по функциональным группам), остаточных количеств ветеринарных препаратов в продуктах животного происхождения, загрязнителей, природных токсинов;
- оценку воздействия;
- экспертизу спецификаций и аналитических методов, определение остаточных количеств ветеринарных препаратов;
- разработку общих принципов.

К настоящему времени JECFA исследовал более 2500 пищевых добавок, около 40 загрязняющих веществ и встречающихся в природе токсикантов, а также остатки примерно 90 ветеринарных препаратов. Комитет также разработал принципы оценки безопасности химических веществ в пищевых продуктах, которые соответствуют современным представлениям об оценке риска и учитывают достижения в области токсикологии и других взаимосвязанных наук.

В общем случае такая оценка предусматривает следующее: определение степени токсичности однократно вводимого подопытным животным исследуемого вещества в остром опыте; изучение кумулятивных свойств в подостром эксперименте; изучение возможных отдаленных эффектов. Полученные результаты используются для обоснования предельно допустимой концентрации (ПДК) – концентрации, которая не вызывает отклонений в здоровье при ежедневном воздействии на организм в течение сколь угодно длительного времени, т. е. обеспечивает соответствие нижеперечисленным принципам:

- безвредность для человека при сколь угодно длительном употреблении данного продукта в реально возможном для большинства населения (не менее 95%) суточном количестве (токсикологический показатель вредности);

- не ухудшать органолептические свойства пищевых продуктов (органолептический показатель вредности);
- не оказывать негативного влияния на пищевую ценность продукта, его сохранность и технологические свойства (общегигиенический показатель вредности);
- не превышать требуемую по технологическим условиям, а также фактическую концентрацию в пищевом продукте (технологический показатель вредности).

При этом, согласно рекомендации ЖЕСФА, допустимая суточная доза (ДСД (ADI – Acceptable Daily Intake) определяется как максимальное количество химического вещества, которое может ежедневно поступать в организм в течение жизни без заметного риска для здоровья и основывается на максимальном потреблении, которое не приводит к наблюдаемым неблагоприятным последствиям) пищевых добавок и ароматизаторов в пищевом продукте должна быть значительно ниже безвредного для организма человека уровня. Помимо ПДК и ДСД в отношении пищевых добавок и ароматизаторов применяются следующие показатели:

- ДСП (мг/сут) – допустимое суточное потребление – величина, рассчитываемая как произведение ДСД на среднюю величину массы тела (60 кг);
- ПСП – приемлемое суточное поступление – это количество определенного вещества в пище или питьевой воде, которое можно принимать внутрь (перорально) ежедневно;
- приемлемое суточное поступление не установлено (NO ADI allocated) для пищевых добавок, по которым не имеется достаточной информации по безопасности, не разработана спецификация идентичности и чистоты или нет информации по применению добавки в пище;
- приемлемое суточное поступление не уточнено или не лимитируется (ADI not specified, ADI not limited) для пищевых добавок очень низкой токсичности, для которых даже максимальный уровень их потребления для достижения технологического эффекта, по мнению Комитета ФАО/ВОЗ, не может представлять опасности для здоровья.

Следует отметить, что пересмотр решения о безопасности пищевых добавок и ароматизаторов может быть обусловлен разными причинами, в том числе новым процессом их обработки; новой

спецификацией; новыми данными о биологических свойствах соединения; новыми данными относительно природы, биологических свойств примесей, содержащихся в пищевых добавках и ароматизаторах; научными открытиями, имеющими отношение к природе и механизму действия пищевых добавок и ароматизаторов; изменением характера или уровня их потребления; изменением стандарта оценки безопасности.

Комиссия Codex Alimentarius выделяет 27 функциональных классов пищевых добавок (CXG 36-1989 Class Names and the International Numbering System for Food Additives). Примеры некоторых классов: 1 – регуляторы кислотности; 4 – антиоксиданты; 9 – красители; 17 – желирующие агенты; 20 – газы для упаковки; 27 – загустители. Для классификации пищевых добавок разработана Международная система нумерации пищевых добавок (INS – International Numeral System), задуманная как согласованная система наименования пищевых добавок в качестве альтернативы использованию конкретного наименования, которое может быть длинным. Каждая добавка имеет уникальный номер, начинающийся с буквы «Е», а первая цифра кода говорит об общем назначении добавки (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Классификация некоторых пищевых добавок

Код	Наименование	Технологическая функция
E100–E182	Красители	Усиливают или восстанавливают цвет продукта
E200–E299	Консерванты	Повышают срок хранения продуктов, защищая их от микробов, бактериофагов, химические стерилизующие добавки при созревании вин, дезинфектанты
E300–E399	Антиокислители	Защищают от окисления, например от прогоркания жиров и изменения цвета
E400–E449	Стабилизаторы консистенции	Сохраняют заданную консистенцию. Загустители. Повышают вязкость
E450–E499	Эмульгаторы	Создают однородную смесь не смешиваемых фаз, например воды и масла
E500–E599	Регуляторы кислотности, Разрыхлители	Регулируют кислотность или щелочность пищи
E600–E699	Усилители вкуса	Улучшают существующий вкус и/или запах пищи
E 700–E 899	Запасные индексы	

Окончание табл. 3.1

Код	Наименование	Технологическая функция
E900–E940	Пеногасители	Предупреждают или снижают образование пены
E941–E949	Газы для упаковки	Вводятся в контейнер до, во время или после заполнения пищевыми продуктами с целью защиты пищевых продуктов, например, от окисления или порчи.
	Пропелленты	Вытесняют пищу из контейнера
E950–E969	Подсластители	Придают сладкий вкус пищевому продукту (кроме моно- или дисахарида)
E1101–E1200	Ферменты	Улучшают качество хлеба

Для поставки пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств на рынок Беларуси указанные продукты должны пройти процедуру оценки соответствия согласно техническими регламентам ТР ТС 021 и ТР ТС 029. Если пищевые добавки, ароматизаторы и технологические вспомогательные средства впервые ввозятся на таможенную территорию ЕАЭС или впервые изготавливаются на ней (новый вид), они должны пройти процедуру государственной регистрации, включающую следующие действия:

- подачу заявки на регистрацию с соответствующими документами;
- анализ и экспертизу представленных документов;
- проведение исследований с целью получения свидетельства о государственной регистрации;
- анализ полученных результатов и принятие решения;
- выдачу свидетельства о государственной регистрации или отказ в государственной регистрации.

Все зарегистрированные в Едином реестре свидетельств о государственной регистрации пищевые добавки, ароматизаторы и технологические вспомогательные средства подлежат декларированию соответствия требованиям ТР ТС 029. Применение пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств возможно при соблюдении следующих основных принципов:

- 1) не должна быть увеличена степень риска возможного неблагоприятного действия пищевой продукции на здоровье человека;
- 2) содержание пищевых добавок, остаточных количеств технологических вспомогательных средств и биологически активных

веществ, содержащихся в ароматизаторах, вкусоароматических препаратах и (или) в натуральных источниках ароматизаторов, *должно* соответствовать установленным требованиям;

3) *если существует* необходимость совершенствования технологии, улучшения потребительских свойств пищевой продукции, увеличения сроков их годности, чего добиться иным способом невозможно или экономически не оправдано;

4) *недопустимо* введение приобретателя (потребителя) в заблуждение в отношении потребительских свойств пищевой продукции;

5) *не должны* ухудшаться органолептические показатели пищевой продукции;

6) *должны* применяться при производстве пищевой продукции в минимальном количестве, необходимом для достижения технологического эффекта;

7) *не допускается* сокрытие порчи и недоброкачества сырья либо готовой пищевой продукции, их фальсификация с целью введения в заблуждение потребителей;

8) если используются генно-модифицированные организмы и другие биотехнологии, *должно* быть обеспечено их соответствие установленным требованиям.

Требования к маркировке пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств установлены в ТР ТС 029 и ТР ТС 022, согласно которым наличие этих веществ в пищевом продукте должно указываться в миллиграммах на килограмм (или ppm – parts per million – частей на миллион) на потребительской упаковке, этикетке и в рецептуре. Наименование пищевой добавки должно содержать слова «пищевая добавка» («комплексная пищевая добавка») и (или) функциональный класс пищевой добавки (консервант, краситель, антислеживающий агент и т. д.), наименование пищевой добавки (гидросульфит натрия (Sodium Hydrogen Sulphite), диоксид титана (Titanium Dioxide) и т. д.) и (или) индекс пищевой добавки согласно Международной системе нумерации (INS). Наименование ароматизатора должно содержать слово «ароматизатор» («вкусоароматическое вещество», либо «вкусоароматический препарат», или «копильный ароматизатор», или «термический технологический ароматизатор», либо «предшественник ароматизатора»). Наименование ароматизатора может быть

дополнено словом «натуральный», если ароматизатор содержит только вкусоароматические препараты и (или) натуральные вкусоароматические вещества, полученные из натуральных исходных материалов. Использование в придуманных названиях натуральных ароматизаторов указания на пищевую продукцию, вкус и (аромат) которой данные ароматизаторы имеют, допускается только в случаях, если такие натуральные ароматизаторы содержат только натуральные вкусоароматические вещества и (или) натуральные вкусоароматические препараты, выделенные из данной пищевой продукции. Наименование технологических вспомогательных средств должно содержать слова «технологическое вспомогательное средство» и наименование технологического вспомогательного средства (акриламидные смолы модифицированные, бентонит и т. д.). Маркировка ферментных препаратов дополнительно должна содержать указание вида активности фермента, вида микроорганизма-продуцента, источника происхождения.

Рассмотрим характеристику некоторых представителей пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств.

3.1. Пищевые добавки

Красители – пищевые добавки, предназначенные для придания, усиления или восстановления окраски пищевой продукции. К пищевым красителям не относится пищевая продукция, обладающая вторичным красящим эффектом, а также красители, применяемые для окрашивания несъедобных наружных частей пищевой продукции (например, для окрашивания оболочек сыров и колбас, для клеймения мяса, для маркировки сыров и яиц). Красители могут применяться для сохранения исходного внешнего вида пищевого продукта, цвет которого изменяется в результате технологической обработки, хранения, упаковки и др., а также для придания цвета бесцветной пищевой продукции и изменения ее органолептических свойств. Для окрашивания пищевых продуктов допускается использование нерастворимых в воде лаков. Для *клеймения* мяса, *маркировки*

яиц и сыров разрешены следующие красители: метилвиолет (по международной классификации красителей – С.І. 42535), родамин С (С.І. 45170), фуксин кислый (С.І. 45685), а также пищевые красители. Для *окрашивания* яиц допускается использовать только пищевые красители.

Существует несколько классификационных признаков пищевых красителей. Например, по происхождению пищевые красители делятся:

- на натуральные растительного или животного происхождения;
- синтетические органические;
- неорганические минеральные.

С гигиенической точки зрения среди красителей, применяемых для окраски продуктов, особое внимание уделяется синтетическим красителям, безопасность которых оценивается по токсическому, мутагенному и канцерогенному действию. При токсикологической оценке природных красителей учитывают характер объекта, из которого он был выделен, и уровни его использования. Модифицированные природные красители, а также красители, выделенные из непищевого сырья, проходят токсикологическую оценку по той же схеме, что и синтетические.

Источниками получения *натуральных пищевых красителей* (каротиноидов (Е160), антоцианов (Е163), хлорофиллов (Е140) и др.) является растительное сырье (цветы, корни, листья растений) – шафран, куркума, сок петрушки, сушеная черника, свекла, сандаловое дерево, хна, индиго, морковь и экстракты из них; отходы их переработки винодельческими, сокодобывающими и консервными заводами; а также химический или микробиологический синтез (рибофлавин (Е101i) из 3,4-диметиланилина и рибозы или с использованием гриба *Eremothecium ashbyi* и генетически измененных бактерий *Bacillus subtilis*). Натуральные пищевые красители, как правило, не обладают токсичностью, но для некоторых из них установлены допустимые суточные дозы. Некоторые натуральные пищевые красители или их смеси и композиции обладают биологической активностью, повышают пищевую ценность окрашиваемого продукта. Природные красители, в том числе и модифицированные, чувствительны к действию кислорода воздуха (например, каротиноиды), кислот и щелочей (например, антоцианы и рибофлавин), температуры, к видимому и УФ-излучению (например, рибофлавин), могут подвергаться микробиологической порче.

Каротиноиды – растительные красно-желтые пигменты, обеспечивающие окраску ряда овощей, фруктов, жиров, яичного желтка и других продуктов (рис. 3.2).

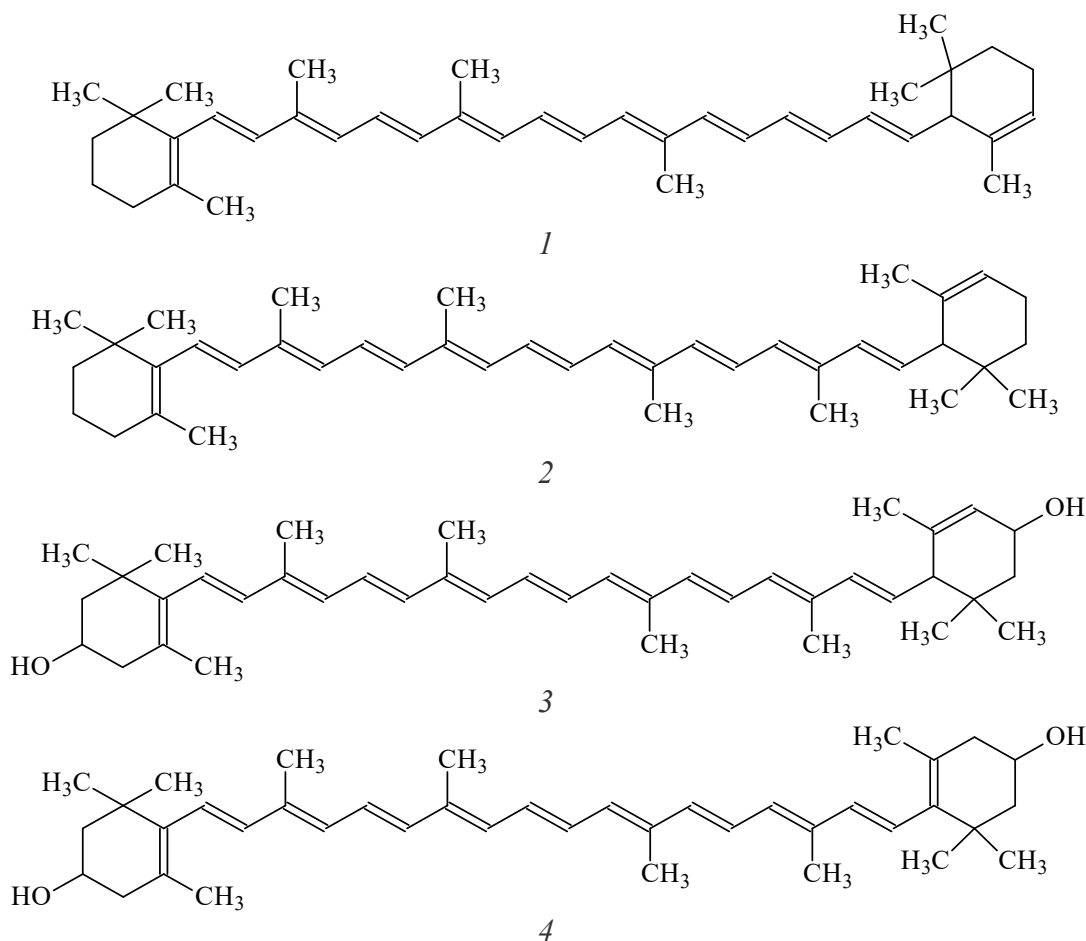


Рис. 3.2. Структурные формулы основных каротиноидов:

1 – β-каротин; 2 – α-каротин; 3 – лютеин; 4 – зеаксантин

β-каротин является не только красителем, но и провитамином А, антиоксидантом. Он применяется для окрашивания и витаминизации маргаринов, майонезов, кондитерских, хлебобулочных изделий, безалкогольных напитков. Из пигментов этой группы следует также отметить ликопин (E160d) и желто-оранжевый краситель аннато (E160b) – водный экстракт из корней *Bixa orellana L*, разрешенный для окраски маргаринов, ароматизированных сыров, сухих завтраков из зерна, сливочного масла. К этой же группе красителей относятся маслосмолы паприки (E160c) – экстракты из красного перца *Capsicum annuum L*. Применяются при изготовлении копченостей, кулинарных

изделий, соусов, сыров. Необходимо упомянуть еще β -апокаротиналь (E160e) – β -апокаротиновый альдегид, получаемый синтетическим путем, и метиловые или этиловые эфиры β -апо-8'-каротиновой кислоты (E160f). Большую группу составляют производные каротиноидов: флавоксантин (E161a), лютеин (экстракт бархатцев, E161b), криптоксантин (E161c), рубиксантин (E161d), виолоксантин (E161e), родоксантин (E161f), кантаксантин (E161g).

Хлорофиллы (магнийзамещенные производные порфирина) – природные пигменты, придающие зеленую окраску многим овощам и фруктам (салат, зеленый лук, зеленый перец, укроп, яблоки и т. д.) (рис. 3.3).

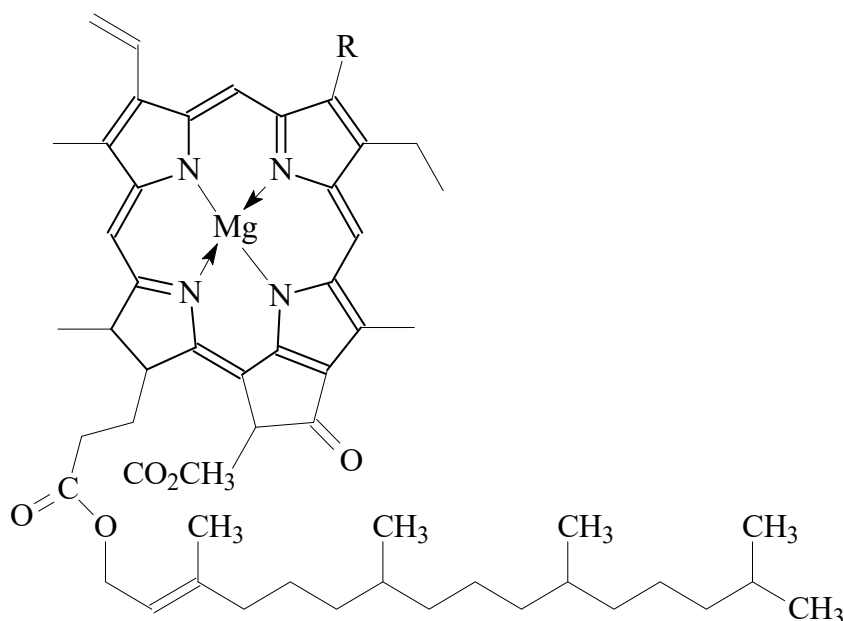


Рис. 3.3. Структурные формулы хлорофиллов:
хлорофилл *a* (R = CH₃); хлорофилл *b* (R = HC–O)

Применение в качестве красителя (E140) в пищевой промышленности сдерживается их нестойкостью: при повышенной температуре в кислых средах зеленый цвет переходит в оливковый, затем в грязно-желто-бурый вследствие образования феофитина. Большое практическое значение могут иметь медные хлорофиллоподобные комплексы (E141i), содержащие медь в качестве центрального атома с интенсивной зеленой окраской, а также натриевые и калиевые соли медного комплекса хлорофиллина (E141ii). Для окраски продуктов питания используются зеленые пигменты, выделенные из крапивы, капусты, ботвы моркови и т. д.

Антрахиноновые красители содержат в качестве основной хромофорной группы гидроксиантрахинон, обладающий стабильной окраской. К природным пигментам этой группы относятся ализарин, кармин, алканин. Кармин (E120) получают экстракцией из кошениля (высушенные и растертые женские особи насекомых – червецы вида *Dactylopius coccus (Sacta)*), обитающего на кактусах, которые произрастают в Южной Америке, Африке. Краситель устойчив к нагреванию, действию кислорода воздуха, свету. Применяется при производстве джемов, желе, в кондитерской, безалкогольной, мясной промышленности. Алканин (алканет) (E103) – красно-бордовый краситель, производное 1,4-нафтохинона – известен как краситель еще с древних времен. Он растворим в жирах, но не нашел широкого применения для их окраски, так как обладает недостаточной стабильностью и нехарактерным для жировых продуктов цветом. Куркумин (E100i) – желтый природный краситель получают из многолетних травянистых растений семейства имбирных *Curcuma longa, L.* К этой группе относится и турмерик (E100ii) – порошок корневища куркумы. Куркумины не растворяются в воде и часто используются в пищевой промышленности в виде спиртового раствора.

Важной группой водорастворимых природных красителей являются **антоцианы** (E163i) (рис. 3.4).

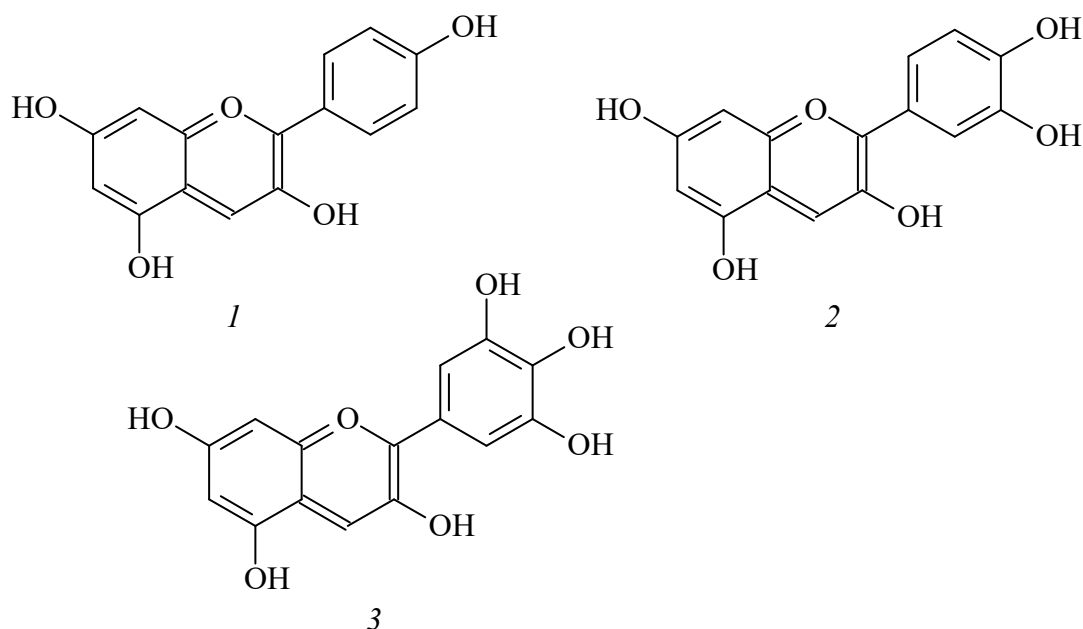


Рис. 3.4. Структурные формулы антоцианов:
1 – пеларгонидин; 2 – цианидин; 3 – дельфинидин

Это фенольные соединения, являющиеся моно- и дигликозидами. Характер окраски природных антоцианов зависит от многих факторов: строения, рН среды, образования комплексов с металлами, способности адсорбироваться на полисахаридах, температуры, света. Представителями этой группы красителей являются собственно антоцианы, энокраситель и экстракт из черной смородины. Энокраситель (E163ii) получают из выжимок темных сортов винограда и ягод бузины в виде жидкости интенсивно-красного цвета. Окраска продукта энокрасителем зависит от рН среды: красная окраска в подкисленных средах, в нейтральных и слабощелочных средах придает продукту синий оттенок. Поэтому при использовании энокрасителя в кондитерской промышленности одновременно применяют и органические кислоты для создания необходимой кислотности среды. В последнее время начали использовать в качестве желтых и розово-красных красителей пигменты антоциановой природы, содержащиеся в соке черной смородины (E163iii), кизила, красной смородины, клюквы, брусники, пигменты чая, содержащие антоцианы и катехины, а также краситель темно-вишневого цвета, выделенный из свеклы, – свекольный красный (E162). Составной частью его является бетанин (рис. 3.5).

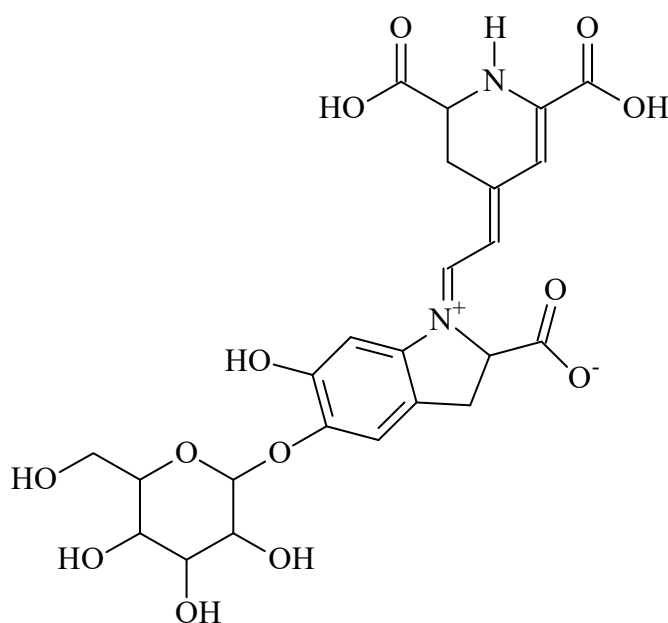


Рис. 3.5. Структурная формула бетанина

Сахарный колер (карамель, E150) – темноокрашенный продукт карамелизации (термического разложения) сахаров, получаемый по различным технологиям. Его водные растворы представляют собой приятно пахнущую темно-коричневую жидкость. Применяется для окраски напитков, ячменного хлеба, кондитерских изделий, желе, джемов и в кулинарии.

Рибофлавины (рибофлавин E101i) и натриевая соль рибофлавин-5'-фосфата (E111ii) используются в качестве желтого пищевого красителя для окрашивания кондитерских изделий, майонезов и т. п.

Синтетические органические красители обладают следующими преимуществами по сравнению с большинством натуральных пигментов:

- дают яркие, легковоспроизводимые цвета;
- менее чувствительны к различным воздействиям в ходе технологического процесса.

Представители нескольких классов органических соединений: азокрасители (тартразин (E102), желтый «солнечный закат» (E110), кармуазин (E122), пунцовый 4R (E124), черный блестящий (E151); триарилметановые красители (синий патентованный V (E131), синий блестящий (E133), зеленый S (E142); хинолиновые (желтый хинолиновый (E104)); индигоидные (индигокармин (E132)). Например, индигокармин (индиготин) применяется в кондитерской промышленности, технологии напитков (обладает низкой устойчивостью к редуцирующим сахарам и свету, что необходимо учитывать при использовании для окраски напитков) (рис. 3.6).

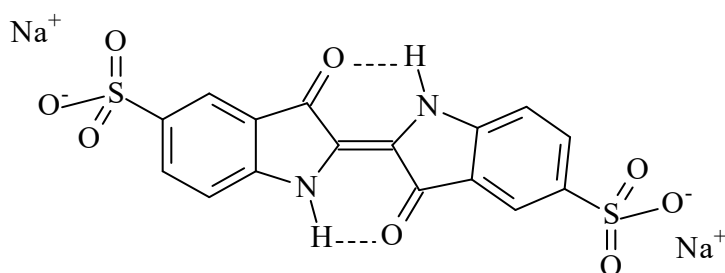


Рис. 3.6. Структурная формула индигокармина

Тартразин (рис. 3.7) хорошо растворим в воде, его растворы окрашены в оранжево-желтый цвет. Используется в кондитерской промышленности, при производстве напитков, мороженого.

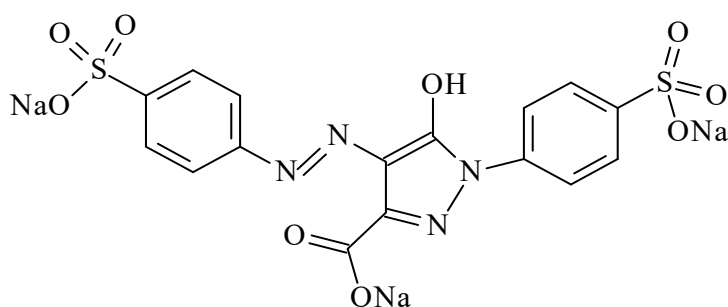


Рис. 3.7. Структурная формула тартразина

Все эти соединения хорошо растворимы в воде, большинство из них образуют нерастворимые комплексы с ионами металлов и применяются в этой форме для окрашивания порошкообразных продуктов. Синтетические красители в пищевой технологии применяются в виде индивидуальных продуктов и соединений с содержанием основного вещества не менее 70–85%, в смеси друг с другом, а также разбавленные наполнителями (поваренной солью, сульфатом натрия, глюкозой, сахарозой, лактозой, крахмалом, пищевыми жирами и др.), что упрощает обращение с ними. Для окрашивания пищевых продуктов используются главным образом водные растворы пищевых красителей. Порошкообразные красители применяются обычно лишь в сухих полуфабрикатах (концентратах напитков, сухих смесях для кексов, желе и т. д.).

Минеральные красители – это пищевые красители, получаемые из минерального сырья природного происхождения. Эти красители устойчивы к воздействию температуры, света и к изменениям pH среды. Минеральные красители применяются для улучшения цвета пищевых продуктов, стандартизации внешнего вида, восстановления цвета, утерянного в процессе производства, придания бесцветному продукту необходимого оттенка. Например, для окраски поверхности драже и других кондитерских изделий применяют диоксид титана (E171), оксиды железа (E171), алюминия (E173), серебра (E174) и золота (E175). Такие минеральные красящие вещества, как ультрамарин, свинцовый сурик, киноварь, хромовокислый свинец и другие, являются ядовитыми и запрещены к применению в пищевых производствах.

Консерванты – пищевые добавки, предназначенные для prolongации (увеличения) сроков годности пищевой продукции путем

защиты от микробной порчи и (или) роста патогенных микроорганизмов. Использование консервантов *не допускается* при производстве молока, сливочного масла, муки, хлеба (кроме упакованного для длительного хранения), мяса-сырья для производства пищевой продукции. Консерванты по отношению к патогенным микроорганизмам и микроорганизмам порчи обладают либо бактерицидным, либо бактериостатическим эффектом. Степень этого эффекта оценивается показателем антимикробного действия МЭК (минимальной эффективной концентрацией) – концентрацией, при которой рост микроорганизмов полностью подавляется. Антимикробная эффективность консервантов зависит от состава и физико-химических свойств продукта, а именно величины рН и активности воды, наличия веществ, селективно адсорбирующих консерванты, природных антимикробных составляющих продукта. Некоторые из этих факторов усиливают или ослабляют эффективность консервантов. Помимо данного свойства консерванты *не должны*:

- отрицательно влиять на физиологию человека;
- вызывать токсикологические и экологические проблемы в процессе производства, переработки и использования пищевых продуктов;
- вызывать привыкание у микроорганизмов;
- реагировать с компонентами пищевого продукта;
- взаимодействовать с материалом упаковки или адсорбироваться им.

Большинство консервантов остаются неизменными в пищевом продукте до окончания его срока годности, за исключением нитритов (реагируют с аминами пищевого продукта и образуют канцерогенные нитрозоамины), сульфитов (реагируют с альдегидами и глюкозой), пероксида водорода, озона и пирокарбоната. Министерством здравоохранения Беларуси разрешено применение в пищевой промышленности около 40 наименований консервантов. Основной мишенью большинства консервантов являются микроорганизмы порчи: плесневые грибы и дрожжи. Самыми распространенными консервантами считаются сорбиновая и бензойная кислоты и их соли (натриевая, калиевая и кальциевая).

Регуляторы кислотности – пищевые добавки, предназначенные для изменения или регулирования рН (кислотности или щелочности) пищевых продуктов. К ним относятся пищевые кислоты (уксусная,

яблочная, молочная и другие) и подщелачивающие вещества (бикарбонат натрия, карбонат натрия, карбонат аммония и т. д.).

Антиокислители – пищевые добавки, предназначенные для замедления процесса окисления и увеличения сроков годности пищевой продукции (пищевого сырья). Вещества, включающиеся в процесс автоокисления различных продуктов, образуют стабильные промежуточные соединения, за счет чего блокируется цепная окислительная реакция.

Антиокислители классифицируют по механизму действия на собственно антиокислители, синергисты антиокислителей, комплексообразователи (связывают в комплексы ионы тяжелых металлов, ингибируя их проокислительное действие). К природным антиокислителям относятся токоферолы (E306, E307, E308, E309). Они хорошо растворимы в маслах, устойчивы к действию высокой температуры, особенно эффективны в животных жирах в концентрации около 30 мг/кг. ПСП токоферолов (по Codex Alimentarius) – 2 мг/кг массы тела человека.

Другим природным антиокислителем является аскорбиновая кислота (E300), которая хорошо растворима в воде и спирте, легко разрушается под действием высокой температуры и кислорода воздуха, неустойчива в щелочной среде.

К синтетическим веществам, имеющим сходный механизм антиокислительного действия, относятся бутилоксианизол (E320) и бутилокситолуол (E321). Эти вещества хорошо растворимы в жирах и нерастворимы в воде, эффективно подавляют процессы окисления жировых компонентов в концентрации 20–200 мг на 1 кг продукта, ими можно пропитывать упаковочный материал для жиров и изделий с ними.

Подсластители – пищевые добавки, предназначенные для придания пищевым продуктам сладкого вкуса или используемые в составе столовых подсластителей (пищевой продукции (пищевых добавок), содержащей разрешенные подсластители с добавлением или без добавления других пищевых добавок и (или) пищевых компонентов и предназначенной для реализации потребителю). Подсластители должны применяться:

– в пищевой продукции со сниженной энергетической ценностью и без добавленных сахаров;

- диетических продуктах, предназначенных для лиц, которым рекомендуется ограничивать (исключить) потребление сахара;
- специализированной продукции с заданным химическим составом;
- для замены сахара с целью увеличения срока хранения пищевой продукции.

По происхождению подсластители делят на **природные** (глюкоза, фруктоза, лактоза, сорбит, ксилит, маннит, глициризин, стевиозид) и **синтетические** (сахарин, цикламаты, аспартам, ацесульфам калия). Значения степеней сладости (в сравнении со сладостью сахарозы, принятой за единицу) природных подсластителей: ксилит – 0,85–1,20; маннит – 0,4; сорбит – 0,6; глициризин – в 50–100 раз слаще; стевиозид – в 300 раз слаще. Рассмотрим краткую характеристику некоторых природных подсластителей.

Ксилит (E967) относится к пятиатомным спиртам (рис. 3.8).

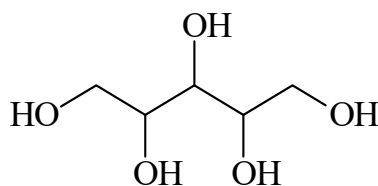


Рис. 3.8. Структурная формула ксилита

Впервые был получен путем гидролиза из хлопковой шелухи или кукурузных кочерыжек. Вкус ксилита не очень отличается от вкуса сахарозы. В организме он усваивается более медленно. Ксилит стал популярным благодаря производителям жевательных резинок. После заявлений ученых о том, что ксилит значительно снижает риск заболевания кариесом, его начали использовать ведущие производители жевательных резинок и зубных паст.

Сорбит (E420) (рис. 3.9) содержится в рябине, яблоках, абрикосах и других фруктах.

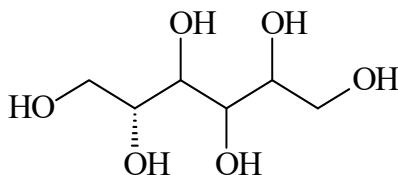


Рис. 3.9. Структурная формула сорбита

Он не является углеводом, а относится по химической структуре к шестиатомным спиртам. Для усвоения этого вещества в организме не требуется инсулин. Адекватный уровень потребления сорбита составляет 15 г в сутки, а верхний допустимый уровень – 40 г. Последние исследования показывают, что он помогает организму снижать расход витаминов В₁, В₆ и биотина, а также способствует улучшению микрофлоры кишечника, синтезирующей данные витамины.

Стевиозид (E960) – гликозид (рис. 3.10) из экстракта растений рода *Стевия*.

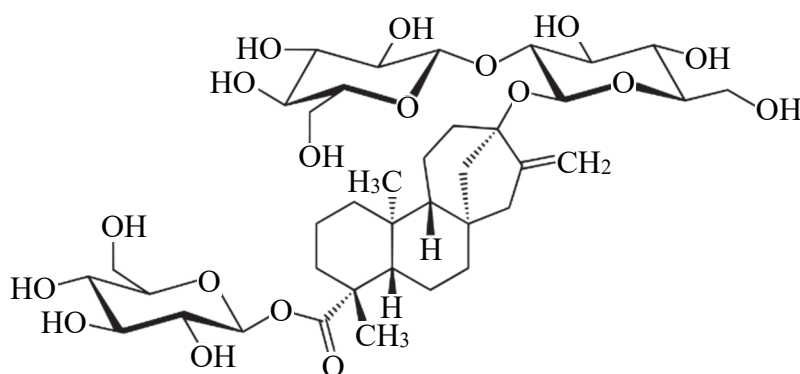


Рис. 3.10. Структурная формула стевиозида

Получают этот подсластитель из листьев одноименного травянистого растения, произрастающего в Южной Америке и Азии. Гликозиды стевии усваиваются организмом, но их калорийность ничтожно мала. Стевиозид безопасен и не имеет противопоказаний к употреблению. Допустимый уровень его суточного потребления составляет 4 мг/кг веса тела. Стевию также называют медовой травой. Раньше это лекарственное растение применялось для выравнивания уровня сахара в крови.

Эритрит (*эритритол*, *эритрол*) (E968) – новый натуральный подсластитель, не вызывающий повышения уровня сахара в крови (рис. 3.11).

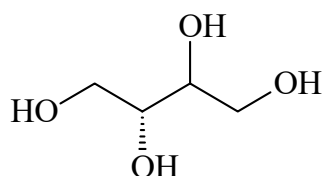


Рис. 3.11. Структурная формула эритрита

Он представляет собой хорошо растворимые в воде кристаллы без запаха, очень похожие на сахар. Эритрит содержится в грибах, фруктах и овощах (дынях, сливах, винограде, грушах), в таких ферментированных продуктах, как соевый соус и вино. Эритрит был обнаружен также в организме человека и животных, а также в водорослях, лишайниках, траве. Калорийность эритрита столь мала, что в большинстве стран принята равной нулю. Эритрит не вызывает кариес. Согласно многочисленным исследованиям, эритритол является безвредным, нетоксичным веществом для человека. Подсластитель быстро выводится из организма с мочой в неизменном виде, не метаболизируется, не всасывается в кишечнике. Эритрит часто называют инновационным заменителем сахара XXI в. благодаря большому количеству полезных свойств. В промышленных масштабах производится ферментацией глюкозы.

Особые требования предъявляются к *синтетическим подсластителям*. Так, эти вещества должны быть химически инертными к компонентам пищи; термически устойчивыми; хорошо растворяться в воде и жирах; быть физиологически безвредными, нетоксичными, подвергаться биотрансформации и полностью выводиться из организма; проявление сенсорных свойств не должно превышать 1–2 с. В соответствии с ТР ТС 029, данный вид пищевых добавок должен применяться исключительно:

- в пищевой продукции со сниженной энергетической ценностью и без добавленных сахаров;
- диетических продуктах, предназначенных для лиц, которым рекомендуется ограничивать (исключить) потребление сахара;
- специализированной продукции с заданным химическим составом;
- для замены сахара с целью увеличения срока хранения пищевой продукции.

Для оценки сладости подсластителей используется экспертный метод (сенсорный). Сравнение производят с 2, 5 или 10%-ным раствором сахарозы. Концентрация раствора сравнения оказывает существенное влияние на оценку сладости, так как зависимость сладости от концентрации нелинейная. В качестве единиц сладости указывается отношение концентрации сахарозы в растворе к концентрации определяемого вещества имеющих, по мнению экспертов, такую же степень сладости. Единицей измерения сладости

является SES (sweetness equivalency of saccharose) – сладость, эквивалентная сахарозе, которая приравнена к 1,0. Из более чем 150 видов известных заменителей сахара около 50 имеют SES менее 1, около 40 – слаще сахарозы в 50 раз, свыше 40 – от 50 до 500 раз, свыше 30 – слаще более чем в 500 раз.

Согласно рекомендациям ФАО/ВОЗ, ДСП (миллиграммов на 1 кг массы тела) некоторых синтетических подсластителей следующее:

- сахарин – 0–5 (в диетических продуктах – до 15);
- цикламаты – 0–11;
- аспартам – 40;
- ацесульфам калия – 0–15.

Ниже приведена краткая характеристика наиболее часто применяемых сахарозаменителей.

Сахарин (E954) – это самый первый синтетический заменитель сахара (рис. 3.12).

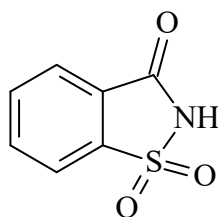


Рис. 3.12. Структурная формула сахарина

Был открыт в 1837 г. и широко используется до сих пор. Коэффициент сладости равен 450, энергетической ценности не имеет. Представляет собой белый кристаллический порошок, характеризуется хорошей растворимостью в водных растворах и высокой термостабильностью, также выдерживает заморозку. Широко применяется в производстве сладких напитков, фруктовых консервов, хлебопекарном и кондитерском производстве, производстве жевательной резинки, фармацевтической и косметической промышленности.

Аспартам (E951) – усваиваемый, низкокалорийный, высокоинтенсивный подсластитель, почти в 200 раз слаще сахара, имеет калорийность 3,85 ккал/г, содержит остатки аспарагиновой кислоты и фенилаланина (рис. 3.13).

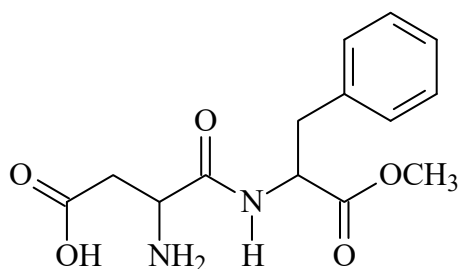


Рис. 3.13. Структурная формула аспартама

Используется в качестве подсластителя с 1981 г. под торговыми названиями «Свитли», «Нутра Свит», «Сукразид», «Сластилин». Неустойчив при нагревании, поэтому применяется в производстве таких продуктов, как напитки, йогурты, десерты, мороженое, жевательная резинка и т. д. Малое количество аспартама иногда добавляют в процессе приготовления салатов из капусты и картофеля, чипсов, некоторых супов. Аспартам нельзя употреблять людям с фенилкетонурией (при этом заболевании нарушен метаболизм фенилаланина).

Сукралоза (E955) получена в 1976 г. путем замены части гидроксильных групп сахарозы на атомы хлора. Полученный хлорид не обладает токсичными свойствами и присутствует в продуктах, которые человек потребляет ежедневно. Представляет собой белые или кремовые кристаллы. Сукралоза слаще сахара в 600 раз и не содержит калорий, а самое главное – не влияет на уровень сахара в крови (гликемический индекс равен нулю). Одно из главных достоинств сукралозы – это ее вкус, который по сравнению с остальными интенсивными подсластителями наиболее близок ко вкусу обычного сахара. Сукралоза может использоваться для приготовления пищи, так как полностью сохраняет свои качества при термической обработке и замораживании. Этот сахарозаменитель премиум-класса многократно исследовался не только на животных, но и на людях, в результате чего была доказана его полная безопасность для всех групп населения, включая детей и беременных. Допустимый уровень суточного потребления для сукралозы составляет 15 мг/кг веса тела. Сукралоза усваивается всего на 15% и через сутки полностью выводится из организма.

Загустители, гелеобразователи (желирующие агенты) – группа пищевых добавок, включающая соединения двух функциональных классов:

а) загустители – вещества, используемые для повышения вязкости продукта;

б) гелеобразователи – соединения, придающие пищевому продукту свойства геля (структурированной высокодисперсной системы с жидкой дисперсионной средой, заполняющей каркас, который образован частицами дисперсной фазы).

Желирующим агентам, стабилизаторам консистенции, загустителям присвоены коды от E400 до E499 (например, агар-агар (E406), каррагинан (E407), овсяная камедь (E411), пектины (E440), желатин (E441)). Загустители и гелеобразователи, введенные в жидкую пищевую систему в процессе приготовления пищевого продукта, связывают воду, в результате чего пищевая коллоидная система теряет свою подвижность, и консистенция пищевого продукта изменяется. Эффект изменения консистенции (повышение вязкости или гелеобразование) будет определяться, в частности, особенностями химического строения введенной добавки. По химической природе добавки этой группы являются полимерными соединениями, в макромолекулах которых равномерно распределены гидрофильные группы, взаимодействующие с водой. Они могут участвовать также в обменном взаимодействии с ионами водорода и металлов (особенно кальция), а кроме того, с органическими молекулами меньшей молекулярной массы. Главной технологической функцией добавок этой группы в пищевых системах является повышение вязкости, или формирование гелевой структуры различной прочности. Одним из основных свойств, определяющих эффективность применения таких веществ в конкретной пищевой системе, является их полное растворение, которое зависит прежде всего от химического строения. Поскольку большинство представителей этой группы относится к соединениям полисахаридной природы и содержит значительное количество гидроксильных групп, они являются гидрофильными и в основном растворимы в воде.

Растворимость повышается в присутствии ионизированных групп – сульфатных и карбоксильных, увеличивающих гидрофильность (каррагинаны, альгинаты), а также при наличии в молекулах полисахаридов боковых цепей, раздвигающих главные цепи, что улучшает гидратацию (ксантаны). Растворению способствует механическое воздействие (перемешивание) и нагревание. Растворимость понижается в присутствии факторов, способствующих образованию связей между полисахаридными цепями, к которым

относится наличие неразветвленных зон и участков без ионизированных групп (камедь рожкового дерева), а также присутствие ионов кальция или других поливалентных катионов, вызывающих поперечное сшивание полисахаридных цепей (пектины). Многие представители этой группы пищевых добавок имеют смежную технологическую функцию стабилизатора, поскольку повышение вязкости дисперсной пищевой системы при введении в нее загустителя или превращение такой системы в слабый гель при низких концентрациях гелеобразователя способствует предотвращению ее разделения на исходные компоненты (например, выпадение в осадок твердых частиц, диспергированных в жидкой дисперсионной среде).

подавляющее большинство загустителей и гелеобразователей со статусом пищевых добавок относится к классу полисахаридов (гликанов). К основным представителям загустителей и желирующих агентов относятся модифицированные крахмалы и целлюлозы, пектины, полисахариды морских водорослей, камеди и некоторые другие. Рассмотрим характеристику ряда представителей этой группы пищевых добавок.

Агар-агар (E406) применяется при производстве консервов, особенно мясных, а также зефира, пастилы, мармелада, суфле, желе, жевательной резинки. Это самый сильный желирующий агент растительного происхождения. Агар-агар изготавливают из морских водорослей красного и бурого цвета (анфельции, геллидиума, грациллярии, эухеума), произрастающих в Тихом океане, Черном и Белом морях. Данные водоросли либо добывают со дна моря, либо искусственно выращивают на специальных плантациях. Стоит отметить, что красные и бурые водоросли содержат фукоидан, который помогает избежать рак молочных желез у женщин, позитивно влияет на протекание онкологических заболеваний.

Каррагинаны (E407, E407a) получают водным извлечением из нескольких видов красных морских водорослей. Каррагинан применяется в производстве овощных, фруктовых и мясных консервов, сливок, мороженого, соусов, кисломолочных продуктов, концентрированного молока, маргарина как основной компонент рассолов для производства деликатесной продукции из свинины, говядины, мяса птицы, при производстве ветчинных изделий в оболочке. Каррагинан из водорослей *Eucheuma cottonii* применяется в молочной промышленности при производстве сливок, кисломолочных

продуктов, концентрированного молока, мороженого, маргарина. В колбасном производстве он находит широкое применение благодаря своей высокой влагоудерживающей способности при производстве вареных колбас, сосисок, сарделек, ветчин в оболочке и форме, жировых эмульсий для производства соусов и консервированных супов. На основании исчерпывающего научного обзора каррагинанов в июле 2014 г. Всемирная организация здравоохранения и Комитет экспертов по пищевым добавкам (JECFA) пришли к выводу, что каррагинан безопасен для использования в молочных смесях, включая смеси для новорожденных детей с особыми заболеваниями.

Пектин (E440) вырабатывается из яблок и цитрусовых и применяется в производстве кондитерских желейных и пастильных изделий, кисломолочных напитков, фруктовых консервов, йогуртов, молочных десертов, кетчупов. Рядовому потребителю пектин известен, прежде всего, в составе варенья, джема, конфитюра и мармелада. Добавление пектина позволяет сэкономить время при приготовлении желе, джемов и других блюд и насыщает изделия фруктовым ароматом. Заготовки с пектином требуют небольшого количества сахара, что делает их менее калорийными, а ягоды и фрукты меньше подвергаются тепловой обработке и, следовательно, лучше сохраняют витамины и полезные микроэлементы. Также пектин обладает способностью очищать организм от тяжелых металлов, радионуклидов, нитратов, пестицидов и других токсинов. Именно это свойство определяет пектин по рекомендации ВОЗ как профилактическое средство в экологически загрязненных территориях. Профилактическая суточная доза пектина составляет 5–7 г, а в условиях радиоактивного загрязнения – 15–16 г в сутки.

Желатин (E441) – белковое желирующее вещество, получаемое длительным кипячением с водой продуктов, содержащих коллаген (костей, сухожилий, хрящей). В зависимости от свойств и назначения желатин подразделяют на следующие виды: пищевой (марок К-13, К-11, К-10, П-19, П-17, П-16, П-13, П-11, П-9, П-7); технический (марок Т-11, Т-9, Т-7, Т-4 и Т-2,5). Буква «П» обозначает, что этот желатин относится к пищевой разновидности, а в том случае, если в начале указана буква «К», желатин относится к разновидности «желатин пищевой кондитерский». Марки пищевого желатина отличаются между собой показателями прочности

студня. Чем выше марка желатина, тем выше этот показатель и тем меньше требуемая дозировка желатина данной марки. Пищевой желатин выпускается в виде гранул, крупинок, пластинок, порошка; технический желатин – в виде гранул, крупинок, пластинок, порошка, хлопьев и чешуек. В пищевой промышленности желатин используется повсеместно. Его применяют при производстве мороженого, чтобы в нем не образовалось крупных ледяных комков. Он придает вязкость различным продуктам, например студням, консервам, варенью. Его используют как желирующее средство для сохранения формы пастилы, зефира, мармелада, при производстве тортов и десертов, в составе которых есть желе, также применяют при изготовлении соусов, кремов и муссов. Пищевым желатином осветляют такие напитки, как соки и вино. Технический желатин используется при производстве текстильных тканей, клея, фотоматериалов, качественной бумаги, спичек, шаров для пейнтбола и другой продукции. Помимо желирующих свойств, желатин обладает важными косметологическими и лечебными свойствами. Так, его используют для ухода за кожей, для укрепления и роста ногтей, для профилактики заболеваний суставов, костей и соединительной ткани. Благодаря содержащемуся в нем глицину, желатин в определенной степени стимулирует мозговую деятельность, уменьшает психоэмоциональное напряжение, конфликтность, агрессивность и в то же время повышает умственные способности, улучшает засыпание.

Антислеживающие агенты (*free flowing agents, anticaking agents, antibaking agents*), или вещества, препятствующие слеживанию и комкованию, присыпки, вещества, уменьшающие липкость, высушивающие добавки, добавки, препятствующие затвердению, – все они присоединяются к порошкообразным и мелкокристаллическим пищевым продуктам для предотвращения слипания их частиц и сохранения сыпучести. Действие антислеживающих агентов основано на адсорбировании влаги или образовании тонких гидрофобных слоев между частицами продукта. В результате решаются проблемы, связанные с гигроскопичностью веществ, например, преждевременное протекание реакций между компонентами пекарского порошка. Увеличивая расстояния между частицами продукта добавкой антислеживающих агентов, можно уменьшить силы когезии, а также уменьшить или предотвратить электростатическое взаимодействие разноименно заряженных частиц. Таким образом

можно воспрепятствовать склеиванию, слипанию и комкованию порошкообразных и мелкокристаллических пищевых продуктов. При хранении под собственным весом в больших емкостях они сохраняют сыпучесть и не создают проблем при автоматическом дозировании и фасовке. В качестве антислеживающих агентов используются инертные органические и неорганические вещества в виде тонкодисперсных порошков. Обычно они нерастворимы в воде. Дозировка, как правило, составляет 0,1–1,0%, ферроцианиды добавляют к соли в количестве 5–20 мг/кг. К антислеживающим агентам относятся также разделители (разделяющие агенты), снижающие адгезию при формовании и (или) упаковке. Области применения антислеживающих агентов: поваренная соль, смеси пряностей и приправ, порошкообразные сушеные овощи и фрукты, сухие супы и соусы, сухие смеси для мороженого, сухие напитки, пекарские порошки, сахарная пудра, кондитерские изделия.

Стабилизаторы (фиксаторы) окраски сохраняют природную окраску пищевых продуктов при их переработке и хранении или замедляют нежелательное изменение окраски. Среди них отбеливающие вещества – добавки, предотвращающие разрушение одних природных пигментов и разрушающие другие пигменты или окрашенные соединения, образующиеся при получении пищевых продуктов и являющиеся нежелательными. Иногда эти цветокорректирующие материалы оказывают и другое, сопутствующее (например, консервирующее) действие. Отбеливатели (отбеливающие вещества) предотвращают и устраняют нежелательное окрашивание продукта (например, муки) путем химической реакции с его компонентами. По химической природе это окислители или восстановители. Действие окислителей (перекисей, гипохлоритов) основано на выделении ими активного кислорода или хлора, который взаимодействует с нежелательными красящими веществами продукта, превращая их в неокрашенные соединения. Действие восстановителей (диоксида серы, сульфитов) заключается в замедлении процессов ферментативного и неферментативного побурения. Вещества, являющиеся отбеливателями, проявляют и другое действие. Более того, обычно отбеливающее действие рассматривается как побочное. Так, окислители чаще всего и прежде всего являются консервантами, а восстановители – антиокислителями. Применяемые для отбеливания окислители разрушают не только

нежелательные красящие вещества, но и другие, в том числе полезные компоненты пищи, в частности витамины. Кроме того, в пищевом продукте в результате неконтролируемого взаимодействия окислителей с компонентами могут образовываться вредные для человека вещества. Остановимся на таких стабилизаторах окраски пищевых продуктов, как диоксид серы, нитраты, нитриты и бромат калия.

Диоксид серы – SO_2 (E220), растворы H_2SO_3 и ее солей – NaHSO_3 , $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$, NaSO_3 (E221, E222, E223) и другие оказывают отбеливающее и консервирующее действие, тормозят ферментативное потемнение свежих овощей, картофеля, фруктов, а также замедляют образование меланоидинов. В отличие от других восстановителей, они обладают способностью очень быстро проникать сквозь клеточную мембрану, поэтому действуют более эффективно. При переработке фруктов обработку диоксидом серы или сульфитами проводят во время бланширования, остаток SO_2 удаляют промыванием. В то же время диоксид серы разрушает витамин B_1 , влияет на строение белковых молекул, разрывая дисульфидные мостики в белках, что может вызвать нежелательные последствия. Поэтому целесообразно отказаться от применения SO_2 для обработки продуктов, являющихся важным источником витамина B_1 для человека.

Нитрат натрия (E251) и **нитриты калия и натрия** (E249 и E250) применяют при обработке (посоле) мяса и мясных продуктов для сохранения красного цвета. Миоглобин (красный мясной краситель) при взаимодействии с нитритами образует красный нитрозомиоглобин, который придает мясным изделиям цвет красного соленого мяса, мало изменяющегося при кипячении. Аналогичное действие оказывают и нитраты, которые с помощью фермента нитратредуктазы, выделяемого микроорганизмами, превращаются в нитриты. Для создания необходимой для их жизнедеятельности питательной среды в рассол добавляют сахарозу. Однако нитрозомиоглобин может превращаться в нитрозомиохромоген, придающий изделиям зеленоватый или коричневый оттенок. Нитраты и нитриты в смеси с поваренной солью («посольная смесь») оказывают консервирующее действие. Добавление аскорбиновой кислоты (E300) ускоряет образование красного пигмента и позволяет сократить использование нитратов и нитритов. В настоящее время по совокупности показаний применение нитритов и нитратов вызывает

возражения медиков и требует особого внимания с позиций гигиенической регламентации.

Бромат калия – $KBrO_3$ (E924a) ранее применялся в качестве окисляющего отбеливателя муки; его использование частично разрушает витамин B_1 , никотинамид (витамин *PP*) и метионин и, возможно, приводит к образованию новых соединений с нежелательными свойствами, поэтому во многих странах его применение запрещено.

3.2. Ароматизаторы

Все компоненты пищевых продуктов сами или в комбинации с другими веществами, имеющими запах или вкус, создают характерный аромат пищи, в образовании которого могут участвовать от 50 до 250 отдельных ароматических веществ. Однако с развитием современных пищевых технологий, предусматривающих глубокую переработку сырья, пищевые продукты почти полностью освобождаются от летучих ароматических веществ, определяющих их запах. Поэтому возникает необходимость в применении ароматизаторов для придания или для усиления имеющегося вкуса и аромата пищевым продуктам. Ароматизаторы вводятся в пищевые продукты в таких количествах, чтобы содержание вкусоароматических веществ примерно соответствовало их содержанию в соответствующих, не подвергшихся переработке продуктах. При заметном превышении этих количеств органолептические свойства пищевого продукта ухудшаются и потребительские качества продукта теряются. Но для устранения запаха испорченных пищевых продуктов или недоброкачественного сырья в производстве нетрансформированных пищевых продуктов, муки, крахмала, сахара, стерилизованных консервов из фруктов и овощей, сухофруктов, натуральных вин использование ароматизаторов не допускается. Также запрещено применять ароматизаторы искусственного происхождения в производстве ферментированных молочных продуктов, молока, йогуртов, алкогольных напитков.

Согласно терминологии, установленной ТР ТС 029, в пищевых технологиях используют следующие **виды ароматизаторов**:

– ароматизатор пищевой (ароматизатор) – не употребляемые человеком непосредственно в пищу вкусоароматическое вещество,

или вкусоароматический препарат, или термический технологический ароматизатор, либо коптильный ароматизатор, либо предшественники ароматизаторов, или их смесь (вкусоароматическая часть), предназначенные для придания пищевой продукции аромата и (или) вкуса (за исключением сладкого, кислого и соленого), с добавлением или без добавления других компонентов;

– ароматизатор коптильный – смесь веществ, выделенная из дымов, применяемых в традиционном копчении, путем фракционирования и очистки конденсатов дыма;

– ароматизатор термический технологический – смесь веществ, полученная в результате нагревания пищевых или не используемых в пищу ингредиентов, один из которых должен быть аминосоединением, а другой – редуцирующим сахаром, при следующих условиях термообработки: температура не выше 180°C, продолжительность термообработки – 15 мин при 180°C с соответствующим увеличением времени при использовании более низких температур – удвоении времени нагревания при уменьшении температуры на каждые 10°C, но не более 12 ч; величина рН в течение процесса не должна превышать 8,0.

Примерная классификация ароматизаторов приведена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Классификация пищевых ароматизаторов

Классификационный критерий	Вид
1. Агрегатное состояние	Жидкие, порошкообразные, пастообразные, эмульсионные
2. Область применения	Напиточные, кондитерские, гастрономические, масложировые и т. д.
3. Способ изготовления	Композиционные (композиции из индивидуальных веществ и их смесей), реакционные (технологические), коптильные

Пищевые ароматизаторы выпускают в виде экстрактов из растений и животных; эфирных масел растительного происхождения; отдельных химических соединений, полученных из простых природных соединений или синтетическим путем. С учетом этого, важным аспектом является чистота ароматизаторов, т. е. отсутствие в них вредных примесей и остаточных количеств экстрагентов, которые могут оказаться в целевом продукте в результате нарушения технологических режимов производства.

Для изготовления пищевых ароматизаторов применяются:

- вкусоароматические вещества (химически определенное (химически индивидуальное) вещество со свойствами ароматизатора, обладающее характерным ароматом и (или) вкусом (за исключением сладкого, кислого и соленого) или вкусоароматическое вещество, выделенное с помощью физических, ферментативных или микробиологических процессов из сырья растительного, микробного или животного происхождения, в том числе переработанного традиционными способами производства пищевой продукции);
- натуральные источники вкусоароматических веществ (растения (части растений) и продукция животного происхождения);
- изготовленные из них вкусоароматические препараты (смесь вкусоароматических и иных веществ, выделенных физическими, ферментативными или микробиологическими процессами из пищевой продукции или из пищевого сырья, в том числе после обработки традиционными способами приготовления пищевой продукции; и (или) из продуктов растительного, животного или микробного происхождения, не используемых непосредственно в качестве пищи, применяемых как таковые или обработанных с использованием традиционных способов приготовления пищевой продукции);
- коптильные ароматизаторы;
- термические технологические ароматизаторы;
- предшественники ароматизаторов (вещество (или их смесь), которое может быть получено как из пищевой продукции, так из продукции, не используемой непосредственно в качестве пищи, не обязательно обладающее свойствами ароматизатора, преднамеренно добавляемое к пищевой продукции с единственной целью получения вкуса и аромата путем деструкции или реакции с другими компонентами в процессе приготовления пищи);
- смеси вышеперечисленных ароматизаторов.

При использовании в качестве натуральных источников вкусоароматических веществ лекарственных растений и (или) вкусоароматических препаратов из лекарственных растений их содержание (в пересчете на сухое сырье или содержащееся в них биологически активное вещество) в 1 кг (л) пищевой продукции не должно превышать количества, оказывающего фармакологический эффект. При производстве пищевой продукции применение натуральных

источников вкусоароматических веществ, а также вкусоароматических препаратов и ароматизаторов, изготовленных из них, имеет следующие ограничения:

– тетраплоидная форма Аира обыкновенного (*Acorus calamus L.*, СЕ 13) не допускается при производстве пищевой продукции и ароматизаторов;

– квассия горькая (*Quassia amara L.*, СЕ332) и пикрасма (квассия) высокая (*Picrasma excelsa (Sw.) Planch.*, СЕ 2092) допускаются в производстве только безалкогольных и алкогольных напитков и хлебобулочных изделий, содержание квассина регламентируется;

– губка листовая лекарственная (*Fomes officinalis (Vill. Fr.) Ames* или *Laricifomes officinalis (Vill. Fr.) Kotl. Et Pouz.*, СЕ2061а, СЕ359), зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum L.*, СЕ 234), дубровник пурпуровый (*Teucrium chamaedrys L.*, СЕ449) допускаются при производстве только алкогольных напитков. Содержание теуcriна *A* регламентируется.

3.3. Технологические вспомогательные средства

Технологические вспомогательные средства (ТВС) – любые вещества или материалы (исключая оборудование и посуду), которые:

– не являясь пищевыми ингредиентами, преднамеренно используются при переработке сырья и при производстве пищевых продуктов для выполнения определенных технологических целей;

– в ходе технологического процесса удаляются, хотя остаточные количества их могут оказаться в готовом продукте при условии отсутствия недопустимого риска для здоровья человека;

– не оказывают какого-либо технологического эффекта в конечном пищевом продукте.

ТВС предназначаются для использования, как правило, предприятиями пищевой промышленности, поэтому на их маркировке обязательно наличие информации «Не для розничной продажи». Технологические вспомогательные средства, в том числе ферментные препараты, не указываются в маркировке пищевых продуктов, в производстве которых они использовались. По показателям

безопасности технологические вспомогательные средства (кроме ферментных препаратов) должны соответствовать требованиям законодательства государств членов Таможенного союза. Вспомогательные средства регламентируются по их основным функциональным классам:

- осветляющие и фильтрующие материалы, флокулянты и сорбенты;
- экстракционные и технологические растворители;
- катализаторы;
- питательные вещества (подкормка) для дрожжей;
- ферментные препараты;
- материалы и носители для иммобилизации ферментов;
- другие вспомогательные средства (с другими функциями, не указанными выше).

Осветляющие материалы. В зависимости от вида осветлителя принцип их действия может быть связан с адсорбцией, коагуляцией или образованием труднорастворимых соединений с ионами металлов, которые выпадают в осадок и могут быть отфильтрованы от жидкой части продукта. С помощью осветлителей удаляют также мелкодисперсные и коллоидные компоненты, которые невозможно отфильтровать. Эти вещества обладают способностью связывать мельчайшие частички мути и осаждаться вместе с ними. Осветлители полностью удаляются фильтрацией или седиментацией из напитка, поэтому в готовом продукте они отсутствуют. Для осветления обычно используют агар, активированный уголь, каррагинан, целлюлозу, желатин, рыбий клей, древесный уголь, высушенный белок куриного яйца (10–20 г на 100 л), каолин, гексацианоферрат калия, кизельгур (300–400 г/100 л), фитиновую кислоту, поливинилполипирролидон, танин и другие вещества. Фруктовые соки, особенно яблочный, можно осветлять с помощью пектата натрия. В особых случаях для осветления вин применяют жидкий рыбий клей. Фулцеллеран облегчает осаждение белков в пиве. Для эффективного использования осветлителей рекомендуется предварительно уточнить их дозировку в лабораторных условиях. Осветлители полностью удаляются фильтрацией или седиментацией из напитка, поэтому в готовом продукте они отсутствуют.

Танины пищевые (E181) – это неоднородные смеси различных эфиров глюкозы и галловой кислоты (галлотанина). Танин имеет

вяжущий вкус, растворяется в этаноле и глицерине, в воде дает коллоидные растворы. Танин связывает белки и выпадает из растворов или суспензий в ряде осадков, поэтому он может быть использован как осветлитель пива, вина, уксуса и т. д. в концентрациях около 0,1 г/л.

Фитиновая кислота (E391) – это эфир фосфорной кислоты, встречающийся в растениях в виде солей кальция и магния. Применяется в основном в виде солей кальция для осветления вина. При добавлении их в количестве 200 мг/л в результате образования плохо растворимого комплекса выпадает в осадок.

Бентонит (E558) используют для осветления соков и вина. Действующим началом бентонита является коллоидный гидрат алюминиевой соли кремниевой кислоты. Большое содержание тонкодисперсных веществ обуславливает высокие адсорбционные свойства бентонитовых глин и способность образовывать тонкие суспензии в жидкостях. При растворении бентонитов в воде образуются полидисперсные растворы, коллоидные частицы которых заряжены отрицательно, тогда как белковые вещества, входящие в состав мути сока или вина, заряжены положительно. При взаимодействии частиц бентонита с частицами мути происходит нейтрализация зарядов, частицы мути выпадают из сока в виде хлопьев. Для осветления яблочного и виноградного соков бентонит применяют в количестве 0,5–1,0 г/л. Разрешен к применению во всех странах как технологическая добавка.

Фильтрующие материалы: ткани, нетканые материалы, полимерные мембраны, сетки из сплавов и металлов и другие материалы. При выборе фильтрующего материала учитывают физические и химические параметры, агрессивность и температуру среды. По составу фильтрующие материалы делятся:

- на волокна растительного и животного происхождения (лен, шерсть, хлопок, шелк);
- искусственные органические волокна (полиэфир (лавсан), полиамид (полипропилен, капрон, нитрон, арселон и т. д.));
- минеральные волокна (асбест);
- искусственные неорганические волокна (металлоткань, стеклоткань).

Среди фильтровальных тканей используются следующие:

- натуральные хлопчатобумажные (фильтробельтинг, фильтродиagonalь, фильтромиткаль и др.);

– синтетические (полиамидные, полипропиленовые, полиэфирные);

– комбинированные, или смешанные.

Фильтробельтинг, смешанные и полиэфирные ткани применяют в пищевой промышленности при производстве масел; капрон и лавсан – в сахарной промышленности; ситовые ткани из полиэфирных и полиамидных мономеров нашли свое применение в переработке зерна, производстве крахмала.

Флокулянты. Флокулянт – технологическое вспомогательное средство, предназначенное для повышения эффективности процессов осаждения (адсорбции) примесей. Назначение флокулянтов состоит в укрупнении мелких частичек взвесей путем образования больших флокул, что обеспечивает существенное улучшение их седиментационных свойств. Чаще всего для облегчения фильтрования используют целлюлозу, кизельгур и перлит, которые добавляют к фильтруемой жидкости в виде суспензий или вспомогательного слоя на самом фильтре. Флокулянты преимущественно применяют в сахарном производстве и виноделии.

Кизельгур представляет собой тонкий порошок с размером частиц от 1 до 30 мкм (в зависимости от марки), состоящий примерно на 90% из аморфной кремниевой кислоты, в составе которой 2–3% Al_2O_3 и 1,0% Fe_2O_3 , и имеющий объемную массу 300–350 кг/м³.

Перлит – порошок вулканического происхождения, состоящий, главным образом, из гидратированных силикатов кальция, подвергнутых термической обработке. Насыпная масса перлита несколько меньше – 200–300 кг/м³. Частицы перлита не имеют заряда.

Сорбенты. Адсорбенты – это обычно твердые нерастворимые вещества, которые благодаря большой удельной поверхности могут селективно адсорбировать из жидкостей определенные вещества и вместе с ними выпадать в осадок. В пищевой промышленности адсорбция применяется при очистке водно-спиртовых смесей в ликероводочном производстве, при очистке и стабилизации вин, соков и других напитков. В свеклосахарном производстве адсорбцией обеспечивается основная очистка диффузионного сока в процессе его сатурации, а также обесцвечивание сахарных сиропов перед кристаллизацией. В пищевых производствах широко используют следующие адсорбенты: активные угли, силикагели (гель кремниевой кислоты), алюмогели (гидроксид алюминия), цеолиты, глины и

другие природные адсорбенты. Адсорбенты, которые непосредственно контактируют с продуктами, должны быть биологически безвредными, т. е. они должны быть нетоксичными и прочными, не должны засорять продукт.

Активные угли представляют собой пористые сорбенты с сильно развитой удельной поверхностью. Изготавливают их в виде зерен неправильной формы черного цвета размером 1,0–3,6 мм из древесного угля-сырца методом парогазовой активации при температуре 850–900°C с последующим дроблением. Активные угли применяют в очистке питьевой воды и промышленной водоподготовке, для очистки крахмалопаточных растворов, сахарных сиропов, глюкозы, в ликероводочном производстве, а также в производстве соков и напитков.

Силикагели представляют собой продукты обезвоживания геля кремниевой кислоты. Их получают обработкой раствора силиката натрия минеральными кислотами или растворами их солей. Удельная площадь поверхности силикагелей составляет 400–780 м²/г, их насыпная плотность – 100–800 кг/м³. Диаметр гранул силикагеля достигает 7 мм. Силикагели используют для осушки воздуха, осветления пива и фруктовых соков.

Цеолиты – водные алюмосиликаты природного или синтетического происхождения. Размер пор синтетических цеолитов соизмерим с размерами сорбируемых молекул, поэтому они могут адсорбировать молекулы, проникающие в поры. Такие цеолиты называются молекулярными ситами. Цеолиты некоторых марок используют для концентрирования соков. Цеолиты характеризуются высокой поглощательной способностью, их применяют для осушки газов и жидкостей, выпускают в гранулированном виде, диаметр гранул 2–5 мм.

Ферментные препараты – очищенные и концентрированные продукты, содержащие определенные ферменты или комплекс ферментов растительного, животного и микробного (продуцент) происхождения, необходимых для осуществления биохимических процессов, происходящих при производстве продуктов. По источнику получения данные препараты подразделяются на ферменты:

- из тканей животных, обычно используемых в пищу;
- из частей растений, обычно используемых в пищу;
- микроорганизмов, традиционно используемых для приготовления пищи;

- непатогенных микроорганизмов-контаминантов пищи;
- малоизвестных микроорганизмов.

Для получения ферментных препаратов в качестве источников и продуцентов допускается использовать органы и ткани здоровых сельскохозяйственных животных, культурных растений, а также специальные непатогенные и нетоксигенные штаммы бактерий и низших грибов. С учетом того факта, что источниками получения ферментных препаратов могут быть микроорганизмы, наименование этих технологических вспомогательных средств должно содержать следующую информацию:

- вид ферментативной активности продуцента (протеолитическая, амилолитическая и др.);
- метод культивирования (поверхностный – П; глубинный – Г);
- степень концентрирования фермента по сравнению с исходной культурой ($10\times$ – десятикратно).

Несмотря на то, что в пищевом продукте не допускается содержание жизнеспособных форм продуцентов и не должна обнаруживаться активность ферментов, к безопасности ферментных препаратов предъявляются следующие требования:

- содержание свинца не должно превышать 5,0 мг/кг;
- количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), КОЕ/г, не должно быть более:
 - $5 \cdot 10^4$ для ферментных препаратов растительного, микробного (бактериального и грибного) происхождения;
 - $1 \cdot 10^4$ для ферментных препаратов животного происхождения, в том числе молокосвертывающих;
- бактерии группы кишечных палочек (БГКП, колиформы) не допускаются в 0,1 г;
- патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, не допускаются в 25 г;
- *Escherichia coli* не допускается в 25 г;

Кроме этого, ферментные препараты микробного (бактериального и грибного) происхождения не должны иметь антибиотической активности, а ферментные препараты грибного происхождения не должны содержать следующие микотоксины: стеригматоцистин, афлатоксин B_1 , Т-2 токсин, зеараленон, охратоксин А.

Ферментные препараты могут содержать в своем составе пищевые добавки, целью применения которых является стандартизация активности и повышение стабильности данных компонентов. Также в производстве ферментных препаратов могут быть использованы технологические вспомогательные средства (альгинат натрия, диатомит (диатомная земля), керамика, кизельгур и др.) в качестве иммобилизующих материалов и твердых носителей.

Завершая рассмотрение пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств, следует отметить важность контроля их содержания (пищевых добавок, ароматизаторов) или присутствия (технологических вспомогательных средств). Для этих целей применяют стандартизованные методы испытаний или контроль за соблюдением рецептурной закладки. При этом основным методом, применяемым на пищевых производствах, является контроль за соблюдением рецептуры или рекомендаций изготовителя пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств с учетом требований ТР ТС 029. Проверка содержания этих веществ в пищевом продукте с помощью соответствующих методов испытаний осуществляется, как правило, в независимых аккредитованных лабораториях согласно программе производственного контроля, принятой конкретным изготовителем пищевой продукции.

Глава 4

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ДОБАВКИ К ПИЦЕ

Биологически активные вещества известны с глубокой древности и часто отождествляются с лекарствами, которые являются только частным случаем БАВ. Значительно больше этих веществ, оказывающих разное воздействие на организм человека, содержится в пищевых продуктах. Например, в чае и кофе находятся стимулирующие химические вещества, соединения наркотического действия присутствуют в маке, ядовитые вещества могут содержаться в грибах, а в моркови, капусте, черносливе, цитрусовых и других растительных продуктах имеются вещества, обладающие лечебно-профилактическим действием. Примером может служить традиционная медицина Юго-Восточной Азии, практикующая в качестве лекарств множество растений, используемых в пищу, и очень малое количество токсичных лекарств.

Современную науку о лекарствах (фармакологию) подразделяют на фармакотерапию (изучение способов лечения болезней лекарствами) и фармакосанацію (исследование действия БАВ, которые поступают в организм с пищей или в виде лекарственных средств (ЛС)). При этом фармакосанація может быть:

1) алиментарной, т. е. рассматривающей роль БАВ, поступающих в организм с пищевыми продуктами. Объекты ее исследований – чай, кофе, сахар, сахарозаменители, безалкогольные напитки, фрукты, овощи, пряности, приправы, вина и различные настойки на их основе;

2) медицинской, изучающей полезные и вредные аспекты воздействия БАВ на память, зрение, слух, поведение, профессиональную деятельность человека, а также роль в профилактике инфекционных и неинфекционных заболеваний (грипп, атеросклероз, ожирение и т. д.).

3) специальной, изучающей действие БАВ на людей в экстремальных и трудных условиях длительных экспедиций, на высокогорье, под водой, в воздухе, под землей, на Северном и Южном полюсах, в тропиках и космосе.

В настоящее время бурно развивается фармаконутрициология – пограничная область между наукой о питании и фармакологией. Очевидно, что от открытия молекулы лечебного вещества до производства лекарственного средства проходит много времени и затрачивается значительное количество средств. Короче, дешевле и часто не менее эффективно обнаружение биологической активности у биосубстратов и создание препаратов, обладающих биологической активностью, т. е. биологически активных добавок. Поэтому достаточно часто встает вопрос: есть ли разница между этими добавками и лекарством?

Согласно современным представлениям, **биологически активные добавки**, или **биологически активные добавки к пище (БАД)** (от англ. *food supplement*) – концентраты натуральных или идентичных натуральным биологически активных веществ (включая эссенциальные пищевые вещества), предназначенные для непосредственного приема и (или) введения в состав пищевого продукта. Биологически активные добавки классифицируются по трем признакам:

- 1) по степени технологической модификации продукта;
- 2) происхождению основных компонентов;
- 3) составу и воздействию на организм человека.

По степени технологической модификации продукта различают следующие поколения БАД:

– природные концентраты пищевых веществ, находящие применение как самостоятельные продукты питания и добавки в пищу, так же как фактор физиотерапии и др. (вода минеральных источников, отложения солей морского и термального происхождения, продукты пчеловодства, мумие, водоросли, икра и печень рыб);

– традиционные для кухни многих народов, пригодные для длительного хранения (как правило, в высушенном состоянии) пищевые концентраты, пищевкусные добавки, травы и их смеси для приготовления чаев (это не лечебные сборы трав, относящиеся к фитотерапии). Примером могут служить сухофрукты, соленья, продукты брожения (спиртового и молочнокислого);

– вытяжки, экстракты, настойки (по аналогии с галеновыми препаратами – галеновы препараты (по имени древнеримского врача К. Галена, изучившего и описавшего способы получения лекарств, известных в его время), лекарственные средства, получаемые из растительного (корни, корневища, листья, цветы, кора и т. п.) и животного сырья путем специальной обработки, преследующей цель максимально извлечь активное начало и освободить его от балластных веществ.

Большинство галеновых препаратов получают экстрагированием из сырья водой, спиртом, эфиром или смесями спирта и воды, эфира и спирта, смеси экстрактов в виде сиропов, паст, пастилок, брикетов, бальзамов;

– высококонцентрированные и чистые экстракты, искусственные и синтетические витаминные препараты, фосфолипидные, полипептидные и гликопротеидные комплексные препараты, нашедшие широкое применение в фармакологии;

– препараты, сочетающие достоинства всех вышеназванных БАД, витаминизированные продукты питания, кефир и йогурт, обогащенные «элитными» штаммами молочнокислых бактерий;

– находящиеся в процессе формирования продукты высоких технологий (биоинженерии, цифровых технологий), ориентированные на максимальную приближенность к индивидуальным и ситуативным потребностям человека.

По происхождению основных компонентов БАД представляют собой растительные экстракты, цельные части растений; продукты пчеловодства; морепродукты; животные вытяжки; минеральные компоненты; продукты ферментации; продукты биотехнологии; синтетические аналоги природных пищевых веществ.

По составу и воздействию на организм человека БАДы условно подразделяют на три группы:

– **нутрицевтики** – биологически активные добавки к пище, применяемые для коррекции химического состава пищи человека (дополнительные источники таких нутриентов, как белок, аминокислоты, жиры, углеводы, витамины, минеральные вещества, пищевые волокна);

– **парафармацевтики** – биологически активные добавки к пище, применяемые для профилактики, вспомогательной терапии и поддержки в физиологических границах функциональной активности органов и систем человека;

– **БАД, обеспечивающие поддержание нормального состава и функциональной активности микрофлоры кишечника** – эубиотики (пробиотики), пребиотики, синбиотики.

В настоящее время параллельно с биологически активными добавками рассматривают такие направления, как спортивное питание, функциональное питание, диетическое питание, профилактическое питание (на некоторых предприятиях), государственные программы по введению некоторых веществ в продукты для населения (например, йодидов или перйодатов в соль («йодированная соль») в регионах естественной геологической депрессии йода в окружающей среде).

Следует отметить, что производство БАД является достаточно сложным, так как имеет ряд технологических особенностей в зависимости от вида используемого сырья и целевого продукта, способа переработки и упаковки. Поэтому помимо рассмотренной классификации БАД по целевому назначению существуют дополнительные условные классификации. Так, по форме выпуска биологически активные добавки делятся на классические пищевые формы (леденцы, желе, пасты, концентраты, бальзамы, чай, сиропы) и формы, аналогичные лекарственным (капсулы, таблетки, настойки, экстракты, порошки, гранулы, сборы, масла, настои, драже, шипучие таблетки). Кроме этого, БАДы можно условно разделить на шесть групп в зависимости от производимых готовых форм (табл. 4.1).

Таблица 4.1

**Перечень классификационных групп, готовых форм
и предприятий-изготовителей БАД**

Группа	Готовые формы	Категория предприятия-изготовителя
Кондитерская	Фруктовая пастила, карамель, мармелад, желе, жевательная резинка	Кондитерские и другие предприятия
Безалкогольная и слабоалкогольная (до 15% алкоголя)	Соки натуральные, концентраты соков, сиропы, бальзамы, экстракты, эликсиры, настойки, биококтейли	Консервные предприятия, заводы безалкогольных напитков, предприятия алкогольной и фармацевтической промышленности и др.
Чайная	Чай, сборы, гранулы, порошки, брикеты	Чайные фабрики и фармацевтические предприятия
Концентраты	Порошки, драже, таблетки, гранулы, кубики	Пищеконцентратные, фармацевтические, консервные предприятия, мясокомбинаты, молочные заводы, рыбокомбинаты
Масложировая	Масляные экстракты, масла, жиры	Мясокомбинаты, рыбозаводы, предприятия масложировой промышленности, фармацевтические предприятия и др.
Микробиологическая	Порошки, таблетки, капсулы, БАД, расфасованные в ампулы и флаконы	Предприятия микробиологической промышленности

Рассмотрим более подробно характеристику каждой группы биологически активных добавок.

4.1. Нутрицевтики

Нутрицевтики представляют собой природные ингредиенты пищи, а именно:

- витамины или их близкие предшественники;
- полиненасыщенные жирные кислоты семейства омега-3 и др.;
- некоторые минеральные вещества и микроэлементы;
- отдельные аминокислоты;
- некоторые моно- и дисахариды;
- пищевые волокна.

К основным функциям этой группы БАД относятся такие, как:

- легкая и быстрая ликвидация дефицита эссенциальных пищевых веществ;
- индивидуализация питания конкретного здорового человека;
- удовлетворение измененных физиологических потребностей в пищевых веществах больного человека;
- лечебное питание;
- повышение неспецифической резистентности организма к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды;
- усиление и ускорение связывания и выведения ксенобиотиков;
- направленное изменение промежуточного обмена отдельных веществ, в частности токсикантов;
- иммуномодулирующее действие.

Таким образом, благодаря коррекции химического состава пищи человека нутрицевтики способствуют улучшению пищевого статуса человека, укреплению его здоровья и применяются для профилактики ряда заболеваний.

4.2. Парафармацевтики

Парафармацевтики используются для профилактики заболеваний, вспомогательной терапии, а также для поддержки функциональной активности органов и систем в физиологических границах. Это – «минорные» компоненты пищи, к которым относятся органические кислоты, биофлавоноиды, гликозиды, кофеин, биогенные амины, регуляторные ди- и олигопептиды, некоторые олигосахариды и вещества, способствующие снижению суммарной энергетической

ценности или регулирующие аппетит. Приведем примеры благотворного действия некоторых веществ, являющихся действующим началом парафармацевтиков, на организм человека.

Органические кислоты: бензойная и салициловая кислоты оказывают антисептическое действие; производные кофейной и других гидроксикоричных кислот являются желчегонными, противовоспалительными веществами; уроновые кислоты и их производные (пектин) выводят из организма продукты обмена веществ, соли тяжелых металлов, радионуклиды, холестерин; лимонная и некоторые другие органические кислоты способствуют снижению риска синтеза в организме канцерогенных нитрозоаминов и, таким образом, снижают риск развития онкологической патологии; хлорогеновая кислота предупреждает ряд заболеваний почек, печени, укрепляет капилляры; яблочная кислота способствует усвоению из пищи железа и включение его в гемоглобин.

Алкалоиды обладают самой разнообразной биологической активностью: стимулируют дыхание, применяются при никотиновой абстиненции, усиливают тонус скелетных мышц, обладают спазмолитическим, болеутоляющим и противовоспалительным действием, снижают давление крови, оказывают транквилизирующий и седативный эффекты, им свойственна антибактериальная и антивирусная активность.

Гликозиды:

– *сердечные гликозиды* – вещества, стимулирующие сердечную мышцу – широко применяются в медицинской практике в химически чистом виде, что обеспечивает точное их дозирование с учетом их высокой токсичности;

– *сапонины* безвредны при приеме внутрь, однако ядовиты при прямом попадании в кровь, вызывают гемолиз эритроцитов и отравление. Сапонины обладают очень разнообразной биологической активностью: усиливают деятельность желез дыхательных путей, обладают противоаритмическим, успокаивающим, обезболивающим, противовоспалительным, противогрибковым, кардиотоническим, капилляроукрепляющим действием;

– *антрагликозиды* обладают разным биологическим (фармакологическим, физиологическим) эффектом (рвотным действием, слабительными свойствами, способствуют растворению и выведению

камней из мочевых путей), который зависит от того, употребляется растительный источник этих веществ в свежем виде или после высушивания;

– *горькие гликозиды (иридоиды)* проявляют некоторые виды биологической активности: гормональную (агнузид); мочегонную (катальпозид, аукубин); седативную и транквилизирующую (валепотриаты); ранозаживляющую (гарпагид); противоопухолевую (асперулозид); гипотензивную, сосудорасширяющую, спазмолитическую, антиаритмическую (олеуропеин); антибиотическую (аукубин, плюмерицин, генциопикрозид) и др.

– *цианогенные гликозиды*, содержащие в своем составе синильную кислоту, вызывают успокаивающее и обезболивающее действие;

– *тиогликозиды (глюкозинолаты)* характерны для семейства крестоцветных, в частности для горчицы, хрена, редьки, редиса, репы. Продукты распада этих соединений оказывают раздражающее и отвлекающее действие.

Фенольные соединения. Наиболее распространенный и многочисленный класс природных, чрезвычайно разнообразных по химическому строению соединений, выделенных из растений, насчитывающий более 1000 представителей. Эти соединения влияют на многие физиологические функции организма человека:

– кумарин, рутин, флавоноиды стимулируют деятельность коры надпочечников, активизируют секрецию глюкокортикоидов, которые проявляют противоаллергическое и противовоспалительное действие;

– гидрохинон, арбутин оказывают антимикробное и мочегонное действие;

– фенол и его производные оказывают антисептическое действие и применяются для лечения паразитарных и грибковых заболеваний кожи, экзем и т. д.;

– салидразиды проявляют адаптогенное и стимулирующее действие;

– фурукумарины оказывают фотосенсибилизирующее действие и обладают спазмолитической активностью.

Суточная доза парафармацевтика, или суточная доза действующего начала парафармацевтика (в случае композиции), не должна превышать разовую терапевтическую дозу, определенную при применении этих веществ в качестве лекарственных средств, при условии

приема этих веществ не менее двух раз в сутки. Все растения, входящие в состав парафармацевтика, должны быть разрешены для применения в пищевой промышленности и в составе лекарственных чаев и сборов в соответствии с принятыми в каждой стране требованиями. Ниже приведены показатели подлинности некоторых лекарственных растений, входящих в состав парафармацевтиков, и методы их определения (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Перечень показателей подлинности некоторых лекарственных растений, входящих в состав парафармацевтиков, и методы их определения

Наименование растения	Показатель	Метод контроля
Растения, оказывающие влияние на центральную нервную систему		
Женьшень (корень)	Панаксозиды	ТСХ, КЦР
Лимонник китайский (семена)	Эфирные масла	ГЖХ, ХМС
Валериана лекарственная (корневище, корень)	Эфирное масло борнилизовалерианат	ГЖХ, ХМС
Душица обыкновенная (трава)	Эфирные масла	В, ГЖХ
Пустырник пятилопастный (трава)	Флавоноиды, алкалоиды (стахидрин)	КЦР
Мята перечная (листья)	Эфирное масло (ментол, ментон, пинен, лимонен)	В, ГЖХ, ХМС
Растения, применяемые при атеросклерозе		
Боярышник кроваво-красный (цветки, плоды)	Флавоноиды (гиперозид)	ХСФ
Роза коричная (шиповник, плоды)	Витамин С	Т
Ламинария сахаристая (слоевище)	Йод	Т
Растения, содержащие вещества, обладающие общеукрепляющим и противовоспалительным действием		
Ромашка аптечная (цветки)	Эфирное масло	В, ГЖХ
Черёда трехраздельная (трава)	Флавоноиды, полисахариды	СФ
Толокнянка обыкновенная (листья)	Фенольные гликозиды (арбутин)	СФ
Календула лекарственная (цветки)	Каротин, ликопин	ХСФ
Сосна лесная (почки)	Эфирное масло	В, ГЖХ, ХМС
Девясил высокий (корневище и корни)	Инулин	КЦР
Алтей лекарственный (корни)	Полисахариды (слизи)	КЦР
Шалфей лекарственный (листья)	Эфирное масло (цинеол, туйон, сальвен)	ГЖХ, ХМС
Зверобой продырявленный (трава)	Флавоноиды (рутин)	СФ
Сушеница топяная (трава)	Флавоноиды (гиафалозид А)	В

Окончание табл. 4.2

Наименование растения	Показатель	Метод контроля
Подорожник большой (листья)	Полисахариды (галактоуроновая кислота)	В, КЦР
Растения, оказывающие влияние на пищеварительную систему		
Бессмертник песчаный (цветки)	Флавоноиды (изосалилпурпозид)	СФ, ХСФ
Растения, содержащие горечи		
Одуванчик лекарственный (корни)	Инулин	КЦР
Золотысячник зонтичный (трава)	Горькие гликозиды (аллизарин)	ХСФ
Аир (корневище)	Эфирное масло (каломен, камфен)	В, ГЖХ, ХМС
Тмин обыкновенный (плоды)	Эфирное масло (карвон, карвакрон, лимонен)	В, ГЖХ, ХМС
Растения, обладающие слабительными, закрепляющими и вяжущими свойствами		
Лист сенны	Производные антрацена (истизин)	СФ
Крушина ольховидная (кора)	Производные антрацена	СФ, ХСФ
Ревень тунгутский (корни)	Производные антрацена (истизин)	СФ
Ольха серая (соплодия)	Дубильные вещества	КЦР
Черемуха обыкновенная (плоды)	Дубильные вещества, амигдалин	КЦР
Бадан толстолистный (корневище)	Дубильные вещества	КЦР
Растения, обладающие диуретическими свойствами		
Брусника (листья)	Арбутин, дубильные вещества	КЦР
Можжевельник (плоды)	Эфирное масло	В, ГЖХ
Василек синий (цветки)	Антоцианы	СФ
Хвощ полевой (трава)	Флавоновые гликозиды	ТСХ

Примечание. Методы контроля: В – весовой, ГЖХ – газожидкостная хроматография, КЦР – качественная цветная реакция, СФ – спектрофотометрия, Т – титрование, ТСХ – тонкослойная хроматография, ХМС – хроматография-масс-спектрометрия, ХСФ – спектрофотометрический анализ с предварительным хроматографическим разделением образца

Основными функциями парафармацевтиков являются регуляция в физиологических границах функциональной активности отдельных органов и систем, в том числе деятельности нервной системы, включая высшую нервную деятельность, и микробиоценоза желудочно-кишечного тракта, а также активация систем, участвующих в развитии адаптационных компенсаторно-приспособительных

реакций организма. Эти свойства позволяют адаптировать организм к измененным, экстремальным условиям; проводить дополнительную, вспомогательную терапию различных заболеваний.

Основные отличия парафармацевтиков от лекарств заключаются в следующем:

1) парафармацевтики в большинстве случаев являются источниками природных компонентов пищи, не обладающими питательной ценностью, однако относящимися к незаменимым факторам питания, т. е. к органическим компонентам пищевых и лекарственных растений, продуктов моря и животных тканей. Биотехнологический или химический способы получения действующих начал БАД-парафармацевтиков применяются редко. Также к БАД-парафармацевтикам относятся и продукты, приготовленные на основе композиций микроорганизмов и предназначенные для нормализации и поддержания микробиоценоза кишечника (эубиотики/пробиотики). Действующие начала БАД-парафармацевтиков специфически поддерживают или регулируют в физиологических пределах функции отдельных органов и систем; применяются исключительно «per os» (пероральный прием, т. е. путем проглатывания) и реализуются в свободной продаже как через специальные отделы продовольственных магазинов, так и через отделы безрецептурных средств аптек. Перед применением БАД-парафармацевтиков в качестве вспомогательных средств при диетотерапии заболеваний человека или в качестве специфических профилактических средств необходима консультация врача-специалиста;

2) эффект БАД-парафармацевтиков реализуется путем инициации универсальных механизмов адаптационно-приспособительных реакций организма на воздействие раздражителей самой различной природы;

3) количественные изменения параметров функционирования систем и органов организма лежат в пределах их физиологической нормы;

4) широкий (гораздо больший, чем у лекарств) диапазон используемых доз, при которых БАД-парафармацевтики оказывают свое нормализующее и корректирующее действие на функции отдельных органов и систем организма человека при значительно более низкой вероятности проявления токсических и побочных эффектов в сравнении с лекарственными средствами. В подавляющем

большинстве они безопасны в применении, но возможны явления индивидуальной непереносимости отдельных компонентов.

В зависимости от биотехнологического способа их изготовления парафармацевтики можно разделить на 5 групп: БАД, содержащие продукты растительного синтеза; животного синтеза; микробиологического синтеза (эубиотики); пчеловодства; натурального химического синтеза. Основной отличительной особенностью парафармацевтиков является использование фармацевтических технологий; применение целенаправленных, ограниченных по времени курсов для решения конкретной клинической задачи в комплексной профилактике, терапии и реабилитации; стандартизация по содержанию наиболее важных ингредиентов; наличие противопоказаний и ограничений при приеме; необходимость контроля со стороны врача за продолжительностью применения, схемой и дозами; учет сочетаемости данных средств с медикаментозными и немедикаментозными методами лечения.

4.3. Биологически активные добавки, обеспечивающие поддержание нормального состава и функциональной активности микрофлоры кишечника

К группе БАД, обеспечивающих поддержание нормального состава и функциональной активности микрофлоры кишечника, относятся эубиотики (пробиотики), пребиотики и синбиотики.

4.3.1. Эубиотики (пробиотики)

Эубиотики, или **пробиотики** (принятый синоним понятия «эубиотики»), представляют собой препараты и продукты питания, в состав которых входят вещества микробного (живые микроорганизмы, представители нормальной микрофлоры (монокультуры или их комплексы), их структурные компоненты, метаболиты) и немикробного происхождения (вещества, стимулирующие рост и активность бифидобактерий и лактобацилл). Эубиотики подчас включают в себя и субстрат, способствующий росту дружественной флоры, но не усваиваемый человеческим организмом. Упомянутые

средства еще обобщают категорией «средства микрoэкологической терапии». В настоящее время производится несколько поколений препаратов, нормализующих микрофлору кишечника:

– первое поколение – монокомпонентные препараты, в составе есть только один штамм бактерий (такие препараты, как Бифидум-бактерин, Колибактерин, Лактобактерин);

– второе поколение – самоэлиминирующиеся антогонисты – это препараты конкурентного действия, состоящие из споровых бактерий и дрожжеподобных грибов, которые выполняют функцию подавления патогенных и многих условно патогенных микроорганизмов несмотря на то, что они не являются частью нормальной микрофлоры кишечника, оказавшись во внутрикишечной среде (препараты Бактистатин, Биоспорин, Споробактерин);

– третье поколение – поликомпонентные препараты, в которых содержатся сразу несколько штаммов бактерий и добавки (препараты Линекс и его аналоги, Ацилакт, Бифилиз, Бифиформ, Аципол, Лебенин);

– четвертое поколение – бифидосодержащие сорбированные пробиотики (препараты Бифидумбактерин Форте, Пробифор, Флорин Форте).

Эффективность пробиотика зависит от его состава, а также от состояния микробной экологии человека, которая связана с индивидуальными особенностями человека (полом, возрастом), условиями проживания и другими факторами.

Пробиотики делятся на подгруппы:

– пробиотики на основе чистых культур микроорганизмов;

– пробиотики смешанного состава (с добавлением аминокислот, микроэлементов, моно- и дисахаридов).

Источниками пробиотиков являются следующие виды микроорганизмов: *Bacillus subtilis*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Pediococcus*, *Streptococcus cremoris*, *Streptococcus lactis*. Микроорганизмы, используемые в качестве пробиотиков, должны иметь высокую скорость роста, колонизационный потенциал (устойчивость к низким рН, желчным кислотам) в пищевом тракте, стабильные характеристики клинической и технологической эффективности, быть совместимыми с другими микроорганизмами и не проявлять побочных эффектов при длительном использовании.

Основными функциями пробиотиков является стимуляция роста представителей флоры в результате продукции и изменение микробного метаболизма, проявляющееся в повышении или снижении активности ферментов. К специфическим эффектам пробиотиков относятся антибактериальные и антимуtagenные свойства, улучшение метаболизма лактозы и стимуляция иммунной системы. Получение препаратов пробиотиков состоит из следующих этапов:

- 1) проверка штаммов микроорганизмов на стерильность и соответствие паспортным характеристикам;
- 2) приготовление посевного материала;
- 3) ферментация – культивирование в ферментере в условиях, оптимальных для роста бактерий;
- 4) отделение клеточной массы от культуральной жидкости;
- 5) высушивание в присутствии ксеро- и криопротекторов;
- 6) получение лекарственной формы препарата (в ампулах, флаконах, пакетах, желатиновых капсулах, таблетках или свечах).

4.3.2. Пребиотики

Пребиотики – физиологически функциональный пищевой ингредиент в виде вещества или комплекса веществ, обеспечивающий при систематическом употреблении в пищу человеком в составе пищевых продуктов благоприятное воздействие на организм человека в результате избирательной стимуляции роста и (или) повышения биологической активности нормальной микрофлоры кишечника. Пребиотическим эффектом обладают:

- олигосахариды (соевый олигосахарид, фруктоолигосахариды, галактоолигосахариды);
- моносахариды (ксилит, раффиноза, сорбит, ксилобиоза и др.);
- дисахариды (лактоулоза);
- полисахариды (целлюлоза, гемицеллюлоза, пектины, камеди, слизи, декстрин, инулин и др.);
- пептиды (соевые, молочные и др.);
- ферменты (протеазы сахаромикетов, β -галактозидазы микробного происхождения и др.);
- аминокислоты (валин, аргинин, глутаминовая кислота);
- антиоксиданты (витамины *A*, *C*, *E*, каротиноиды, глутатион, Q10, соли селена и др.);
- жирные кислоты (эйкозапентаеновая и др.);

- органические кислоты (уксусная, лимонная и др.);
- растительные и микробные экстракты (морковный, картофельный, кукурузный, рисовый, тыквенный, чесночный, дрожжевой и др.);
- другие вещества (лецитин, парааминобензойная кислота, лизоцим, лактоферрин, лектины, экстракты различных водорослей и др.).

Пребиотики находятся в молочных продуктах, кукурузных хлопьях, крупах, хлебе, луке репчатом, цикории полевом, чесноке, фасоли, горохе, артишоке, спарже, бананах, плодах баобаба и многих других продуктах.

4.3.3. Синбиотики

Синбиотики относятся к пищевым ингредиентам или пищевым добавкам и представляют собой комбинацию пробиотиков, т. е. полезных микроорганизмов, и пребиотиков, т. е. веществ, которыми они питаются. Концепция синбиотиков была впервые введена как «смеси пробиотиков и пребиотиков, которые благотворно влияют на организм хозяина, улучшая выживаемость и имплантацию живых микробных пищевых добавок в желудочно-кишечном тракте, избирательно стимулируя рост и (или) активируя метаболизм одной или ограниченного числа полезных для здоровья бактерий, тем самым улучшая благосостояние хозяина». Для создания синбиотиков используют пробиотики, в том числе мультиштаммовые; пищевые волокна; иммуномодуляторы; ферменты; микроэлементы; растительные добавки; олигосахариды; отдельные витамины и их производные.

Так как БАД обладают различными свойствами, влияющими на организм человека, их обращение на рынке Беларуси регулируется Законом Республики Беларусь «О качестве и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов для жизни и здоровья человека», постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 02.12.2004 № 1537 «Об утверждении положения о порядке производства и оборота биологически активных добавок к пище», постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15.01.2019 № 24 «О порядке и условиях проведения контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище и специализированных пищевых продуктов для питания спортсменов», постановлением Совета Министров Республики Беларусь от

15.01.2019 № 23 «О порядке подтверждения сведений о специальных и (или) заявленных свойствах продовольственного сырья и пищевых продуктов».

Вышеприведенные документы устанавливают правила, по которым реализация биологически активных добавок может осуществляться либо через аптеки (БАД, применяемые для поддержания в физиологических границах функциональной активности организма (содержащие в своем составе биологически активные вещества, витамины, микроэлементы, минеральные вещества, аминокислоты, живые микроорганизмы и (или) их метаболиты, оказывающие нормализующее воздействие на состав и биологическую активность микрофлоры пищеварительного тракта), либо в специально отведенных местах в магазинах (БАД, применяемые для обогащения пищи человека (содержащие в своем составе дополнительные источники белков, жиров, углеводов, пищевых волокон)). Для реализации этих продуктов необходим документ, подтверждающий безопасность, оформленный уполномоченным органом (свидетельство о государственной регистрации по единой форме, удостоверение о государственной гигиенической регистрации Республики Беларусь). При контроле их качества устанавливается:

– количественное содержание биологически активных веществ для отнесения продукции к БАД и специализированным продуктам для питания спортсменов;

– соответствие информации, размещенной на упаковках, этикетках, в инструкциях по применению товаров, сведениям, указанным в свидетельстве о государственной регистрации, едином реестре свидетельств о государственной регистрации продукции.

При проведении контроля безопасности определяется соответствие указанных продуктов требованиям, установленным законодательством, международными договорами Беларуси, техническими регламентами Таможенного союза, ЕАЭС, иными международно-правовыми актами, составляющими право ЕАЭС. Контроль проводится в отношении каждого наименования БАД к пище и специализированного продукта для питания спортсменов при первичном выпуске в оборот, затем – не реже одного раза в год. Проведение контроля качества и безопасности осуществляется с помощью лабораторных исследований (испытаний), которые проводятся в лаборатории производителя такой продукции и (или) в лабораториях,

аккредитованных в Национальной системе аккредитации Республики Беларусь. Не прошедшие контроль качества и безопасности эти продукты в оборот не выпускаются.

Завершая рассмотрение биологически активных добавок к пище, следует сделать заключение о том, что их применение, а также пищевых добавок и ароматизаторов обусловлено, по крайней мере, двумя причинами: отсутствием пищевого сырья с повышенным содержанием эссенциальных нутриентов и уменьшением или разрушением питательных веществ пищи в процессе ее технологической обработки. В связи с этим в следующих главах данного учебного пособия приведены сведения о процессах, протекающих в пищевом сырье и продуктах при технологической переработке и хранении.

Глава 5

ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АЛИМЕНТАРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПИЩИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В предыдущих главах было указано, что большинство эссенциальных и «минорных» компонентов пищевых продуктов изменяются под воздействием факторов окружающей среды, а также технологических приемов, применяемых для изготовления пищевых продуктов или для обеспечения их сохранности в течение длительного времени. Поэтому в этой главе приведены основные сведения о химических превращениях алиментарных компонентов пищи в процессе ее изготовления.

5.1. Изменение структуры и свойств белков

Любое изменение условий среды при производстве пищевых продуктов оказывает влияние на нековалентные связи молекулярной структуры белка и приводит к разрушению его четвертичной, третичной и вторичной структуры. Разрушение нативной структуры, сопровождающееся потерей биологической активности (ферментативной, гормональной), называют **денатурацией**. Физический смысл денатурации заключается в разупорядочении конформации полипептидной цепи без изменения первичной структуры (рис. 5.1).

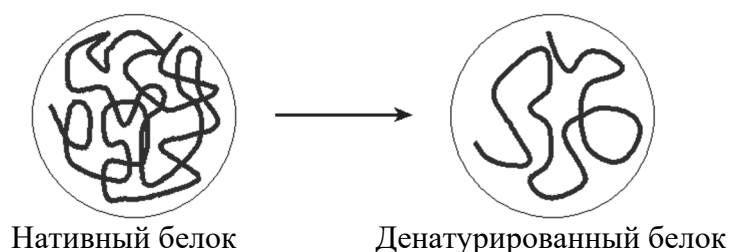


Рис. 5.1. Схематическое изображение результата денатурации белка

Денатурация включает диссоциацию полимерных структур, разворачивание мономерных структур, агрегацию белков и гелеобразование. Различают обратимую и необратимую денатурацию. **Обратимая денатурация** (ренатурация, ренактивация) представляет собой процесс повторной самоорганизации белковой молекулы в исходную структуру с восстановлением своей биологической активности после удаления денатурирующих веществ. **Необратимая денатурация** – это процесс, при котором после удаления денатурирующих агентов биологическая активность белковой молекулы не восстанавливается. Вместе с тем, известен и такой вид денатурации, как поверхностная. С ней мы встречаемся при взбивании яичного белка и сливок, в результате которого образуется пена, состоящая из пузырьков воздуха, окруженных тонкими белковыми пленками, представляющими собой развернутые полипептидные цепи вследствие разрыва связей при механическом воздействии. Таким образом, при образовании пленок происходит частичная или полная денатурация белка.

Известно, что денатурацию белков вызывают физические (температура, давление, механические воздействия, ультразвуковые и ионизирующие излучения) и химические (кислоты, щелочи, органические растворители, алкалоиды, соли тяжелых металлов) факторы. Для технологических процессов особое значение имеет **тепловая денатурация** белков, которая лежит в основе выпечки хлеба, печенья, бисквитов, пирожных, сухарей; сушки макаронных изделий и молочных продуктов; получения экструдатов и сухих завтраков; варки, жарения овощей, мяса, рыбы; консервирования фруктов, овощей, мяса, молока и рыбы; пастеризации и стерилизации молока, сливок, молочной сыворотки. Нагрев выше 100°C вызывает частичный гидролиз белка с образованием свободных аминокислот, распадающихся затем до аммиака, амидов, сероводорода, что снижает биологическую ценность продукта. С повышением температуры и увеличением продолжительности нагрева степень гидролиза белка возрастает.

Одновременно происходит реакция аминокислот с сахарами – реакция сахароаминной конденсации, или реакция Майяра, в результате которой уменьшается содержание азотистых веществ и происходит образование кетозаминов, редуктонов, бурых нитрогенных полимеров и меланоидинов. Общая схема образования

меланоидинов представлена на рис. 5.2. Этап 1 – начальная реакция – конденсация карбонильной группы редуцирующего сахара (альдозы) со свободной аминогруппой белка или аминокислоты, с потерей молекулы воды и образованием N-замещенного глюкозамина. Этап 2 – глюкозамин нестабилен и подвергается перегруппировке Амадори (реакция изомеризации N-гликозидов альдоз в 1-амино-1-дезоксикетозы, открыта итальянским химиком Марио Амадори, является типичной реакцией в химии углеводов) с формированием 1-амино-1-дезоксидеокси-2-кетозы (кетозамина). Продукты перегруппировки Амадори во второй фазе могут реагировать тремя путями:

1) дальнейшая дегидратация (потеря двух молекул воды) с образованием редуктонов и дегидроредуктонов (этап 3);



Рис. 5.2. Схематичное изображение этапов протекания реакции Майяра

2) образование короткоцепочечных продуктов гидролиза, таких как диацетил, ацетон, пировиноградный альдегид и т. д. (этап 4), которые далее с участием аминокислот подвергаются распаду по Стреккеру (заключается во взаимодействии дикарбонильных промежуточных продуктов реакции меланоидинообразования и аминокислот.

При этом образуются летучие вещества, формирующие характерный для продукта аромат (при выпечке хлеба, обжарке кофе и пр.) до альдегидов (этап 5) и альдольной конденсации либо при отсутствии аминных соединений реагируют с образованием альдолей и высокомолекулярных безазотистых полимеров (этап 6);

3) через Шиффовы основания и фурфурол, при этом отщепляются три молекулы воды (этап 3), затем протекает реакция с участием аминокислот и воды.

Все продукты второй фазы реагируют далее с аминокислотами в третьей фазе с образованием азотистых полимеров и сополимеров, называемых меланоидинами, коричневого цвета (этап 7). Они имеют различный аромат: от горького (жженого, лукового, прогорклого, капустного) до приятного (солодовый, корки хлеба, карамели, кофе). Этап 8 иллюстрирует прямой путь расщепления глюкозамина, минуя стадию перегруппировки Амадори. Образование меланоидинов сопровождается появлением множества ароматических веществ: фурфурола, оксиметилфурфурола, ацетальдегида, формальдегида, изовалерианового альдегида, метилглиоксаля, диацетила и др. Стандартный меланоидин содержит гидроксильные, карбонильные и карбоксильные группировки, кратные и эфирные связи, а его молекулярная масса колеблется между двумя и тридцатью тысячами дальтон. К факторам, влияющим на реакцию меланоидинообразования, относятся:

1) кислотность среды (рН). Потемнение может быть менее значительным в сильноокислой среде, при рН 6 имеет место небольшое потемнение, благоприятная область рН для реакции – 7,8–9,2;

2) влажность. При очень низком и при очень высоком содержании влаги потемнение не наблюдается. Максимально потемнение происходит при промежуточном влагосодержании;

3) температура. Скорость реакции увеличивается при повышенных температурах (увеличение на 10°C дает увеличение скорости в 2–3 раза);

4) наличие определенных ионов металлов. Повышается интенсивность потемнения в присутствии ионов меди и железа;

5) структура сахара. Наблюдается уменьшение способности образовывать коричневые пигменты в рядах: D-ксилоза-L-арабиноза (пентозы)-D-галактоза-D-манноза-D-глюкоза-D-фруктоза (гексозы)-мальтоза-лактоза-сахароза (дисахара);

б) положение аминокруппы: чем дальше расположена аминокруппа от карбоксильной, тем активнее данная аминоккислота в реакции Майяра.

Таким образом, можно заключить следующее:

– образование меланоидных пигментов и развитие запаха может быть желательным и нежелательным для продукта;

– может происходить потеря пищевой ценности продукта за счет потери незаменимых аминоккислот;

– продукты реакции меланоидинообразования и образование ароматических компонентов имеют большое значение для получения продуктов с красивым цветом и характерным ароматом. В иных случаях это рассматривается как недостаток;

– продукты реакции Майяра могут ухудшать усвояемость белков.

Рассмотрим тепловую кулинарную обработку некоторых белковых продуктов. Например, при тепловой обработке мяса и мясопродуктов происходит размягчение продукта, изменение формы, объема, массы, цвета, пищевой ценности, структурно-механических характеристик, а также формирование вкуса и аромата. Характер происходящих изменений зависит в основном от температуры и продолжительности нагрева. Так, тепловая денатурация *мышечных белков* начинается при 30–35°C, а при 65°C денатурирует около 90% всех мышечных белков, но даже при 100°C часть их остается растворимой. Наиболее лабилен основной мышечный белок – *миозин*. При температуре немногим выше 40°C он практически полностью денатурирует. *Миоглобин*, придающий сырому мясу красный цвет, при денатурации подвергается деструкции: происходит окисление ионов двухвалентного железа, входящего в активную группу молекулы этого белка (гем), до трехвалентного. При этом исчезает красная окраска мяса, образуется гемин серо-коричневого цвета. Полная денатурация миоглобина наступает при 80°C. Поэтому по изменению окраски мяса можно судить о степени его прогрева: при температуре 60°C окраска говядины ярко-красная, свыше 60–70°C – розовая, при 70–80°C и выше – серовато-коричневая, свойственная мясу, доведенному до кулинарной готовности.

Коллаген и *эластин* (основные белки соединительной ткани) в процессе тепловой обработки ведут себя по-разному. Эластин устойчив к нагреву. Коллаген при нагревании в присутствии воды, содержащейся в мясе, претерпевает следующие изменения: при

температуре 50–55°C коллагеновые волокна набухают, поглощая большое количество воды; при 58–62°C резко сокращается длина коллагеновых волокон, увеличивается их диаметр и они становятся стекловидными; процесс этот называется денатурацией или свариwанием коллагена; при дальнейшем нагреве происходит деструкция коллагеновых волокон – распад их на отдельные полипептидные цепочки; коллаген превращается в растворимый глютин. Переход коллагена в глютин – основная причина размягчения мяса. По достижении кулинарной готовности в глютин переходит 20–45% коллагена. При повышении температуры распад коллагена ускоряется. Особенно быстро он происходит при температуре выше 100°C (в условиях автоклавирования). Стерилизация значительно изменяет связь между нуклеотидами, нуклеозидами и свободными пуриновыми основаниями, влияющими на вкус и запах мяса. Кислая среда ускоряет распад коллагена (на этом основано маринование мяса, тушение его с кислыми соусами и приправами). Чрезмерный распад глютина приводит к разволокнению тканей, а глубокий гидролиз глютина – к образованию низкомолекулярных соединений, уменьшающих студнеобразование. Из аминокислот наименее устойчивыми к нагреву являются метионин и цистеин, разлагающиеся с выделением сероводорода, что снижает пищевую ценность и органолептические свойства мясных продуктов, а также вызывает сульфидную коррозию внутренней поверхности жестяной упаковки.

В зависимости от режимов тепловой обработки могут происходить различные изменения белковых компонентов молока, в частности *казеинов* и *сывороточных белков*. Казеин, в отличие от обычных глобулярных белков, имеет высокую термостабильность и выдерживает без признаков коагуляции нагревание при 140°C в течение 20–60 мин и более (стерилизация). При пастеризации молока (температура до 100°C) его структура не изменяется. Однако при пастеризации при температуре выше 80°C образуется комплекс денатурированного β -лактоглобулина с *к*-казеином, в результате чего ухудшается атакуемость последнего сычужным ферментом. Результатом является увеличение в несколько раз продолжительности сычужного свертывания молока по сравнению с продолжительностью сычужного свертывания сырого молока.

Сывороточные белки являются наиболее термолабильной частью белков молока. При пастеризации и стерилизации они подвергаются сравнительно глубоким изменениям: сначала происходит

денатурация сывороточных белков, т. е. конформационные изменения с нарушением третичной и вторичной структур, в результате которых компактно свернутая молекула превращается в беспорядочный клубок. Степень денатурации сывороточных белков зависит от температуры, продолжительности тепловой обработки и значения рН среды. Например, пастеризация при температуре 63°C продолжительностью 30 мин вызывает денатурацию 7% сывороточных белков; в то же время пастеризация при температуре 72–74°C с выдержкой 15–20 с приводит к денатурации 9% сывороточных белков. При нагреве молочного сырья до 85°C денатурирует около 30% сывороточных белков. Наиболее чувствительны к тепловой обработке белки при рН, равном 4,6, и в интервале значений активной кислотности от 5,8 до 6,2 ед. рН, минимум чувствительности они проявляют при рН = 2,5–3,5 и выше 6,5.

В продуктах растительного происхождения тепловая обработка приводит к разной степени денатурации белка, а значит, и к усвояемости. Наименее устойчивыми помимо серосодержащих аминокислот являются лизин, треонин, аргинин, валин и гистидин. Более стабильны пролин, изолейцин, аланин, аспарагиновая кислота. Данный вид превращений относится к категории полезных (ускоряет перевариваемость белков в желудочно-кишечном тракте). При излишней термической обработке могут образовываться вредные для человека вещества (канцерогенные, мутагенные).

Помимо тепловой обработки, в пищевой промышленности используется такой технологический процесс, как **воздействие высокого давления** (от 100 до 800 МПа). Данная технология нашла широкое применение в переработке рыбы. В процессе воздействия высокого давления на белки рыбы происходит разрушение ионной связи вследствие электрострикции (от лат. *Strictio* – «стягивание» – деформация диэлектрика под действием внешнего электрического поля, пропорциональная квадрату напряженности поля и не зависящая от изменения его направления на обратное (в отличие от обратного пьезоэффекта)) молекул воды. Возможность денатурации белков рыбы и инактивации ферментов зависит от величины давления и может быть обратимой и необратимой. Обратимые воздействия высокого давления обычно наблюдаются при значениях ниже 100–200 МПа (это относится к диссоциации белков в субъединицах). При давлении выше 200 МПа наблюдаются необратимые воздействия, включающие полную инактивацию ферментов и денатурацию

белков. Денатурация белков рыбы зависит также от действия внешних факторов, в частности температуры, рН и состава растворителя (содержания сахара, соли и других добавок). Первыми подвергаются воздействию давления менее 150 МПа гидрофобные взаимодействия, в связи с чем вначале изменяется четвертичная структура белков. Третичная структура претерпевает изменения при давлении выше 200 МПа, а вторичная – при давлении выше 700 МПа. Таким образом, денатурация белков, вызываемая действием высокого давления, включает в себя перестройку и (или) разрушение нековалентных связей – водородных связей и гидрофобных взаимодействий, а также ионных связей четвертичной и третичной структуры белков (при этом ковалентные связи не нарушаются). Основными белками мышечной ткани рыб являются *миофибриллярные* и *саркоплазматические* белки. Миофибриллярные составляют 65–80% общего содержания белков и состоят в основном из сократительных белков (*актина* и *миозина*), а также из регуляторных, эластичных и некоторых других второстепенных белков. Миозин денатурирует при давлении 100–200 МПа, а актин – при 300 МПа. Лишь некоторые растворимые белки выдерживают давление порядка 800 МПа.

Новым направлением в пищевой технологии является *применение импульсного электрического тока* (импульсные электрические поля высокой интенсивности). Известно, обработка яичного альбумина и других протеинов яичного белка импульсным электрическим полем напряженностью 27–33 кВ/см² с 50–400 импульсами не приводит к их денатурации. Использование этого вида обработки в переработке трески не дало положительного результата: белки рыбы не денатурировали. Аналогичные результаты дало изучение ферментативной активности амилазы, липазы, гидрогеназы, гексагеназы: поля свыше 30 кВ/см² не влияли на их активность. Вместе с тем поля напряженностью 64–87 кВ/см² заметно инактивировали α -амилазу, липазу и глюкозооксидазу.

Влияние *химических факторов* на белки используется в пищевой промышленности для удаления органических загрязнений с поверхностей, контактирующих с пищевыми продуктами, и предотвращения образования на них биопленки. Большинство белков денатурируют в присутствии сильных минеральных кислот (санитарная обработка технологического оборудования и продуктопроводов на молочных заводах) или оснований (обработка ПАВ (додecilсульфатом), щелоком, гуанидином технологического оборудования и инвентаря на предприятиях, перерабатывающих продовольственное сырье).

Таким образом, под воздействием технологических приемов в продовольственном сырье происходят как положительные, так и нежелательные изменения белковых веществ. При этом отрицательный эффект можно минимизировать разными способами, но исключить его пока не представляется возможным.

5.2. Изменение свойств липидов

Некоторые технологические процессы пищевых производств, а также производственная среда обуславливают химические превращения веществ липидной природы, к которым относятся *гидролиз, окислительное (химическое) и биохимическое прогоркание*. Причиной *гидролиза* липидов является действие кислорода воздуха, воды, ферментов, микроорганизмов. При этом из масел и жиров образуются глицерин и жирные кислоты. *Окислительному прогорканию* (действие кислорода, содержащегося в воздухе (автоокисление)) подвергаются как масла и жиры, так и жировые компоненты продовольственного сырья и пищевых продуктов. В результате образуются первичные и вторичные продукты окисления, присутствующие одновременно. Первая стадия – образование перекисных радикалов при атаке молекулярным O_2 углеводородных остатков как насыщенных, так и ненасыщенных жирных кислот. Реакция катализируется светом, теплом и соединениями, образующими свободные радикалы (пероксиды, переходные металлы). Перекисные радикалы начинают неразветвленные и разветвленные цепные реакции, а также распадаются с образованием ряда вторичных производных – гидроксикислот, эпоксидов, кетонов и альдегидов. Последние и вызывают изменение вкуса и запаха жира. Для жиров, в которых преобладают насыщенные жирные кислоты, характерно образование кетонов (кетонное прогоркание), для жиров с высоким содержанием ненасыщенных кислот – альдегидное прогоркание. Таким образом, процесс окисления липидов включает следующие основные стадии (согласно теории А. Н. Баха и Н. Н. Семенова):

- инициирование цепных реакций;
- образование свободных радикалов;
- развитие цепи;
- вырожденное разветвление цепи;

- самопроизвольный обрыв цепи;
- образование вторичных продуктов окисления.

Для замедления и предотвращения химического прогоркания используют ингибиторы радикальных реакций: смесь 2- и 3-трет-бутил-4-гидроксианизола (БОА), 3,5-ди-трет-бутил-4-гидрокситолуол (БОТ), эфиры галловой кислоты, а также соединения, образующие комплексы с тяжелыми металлами (например, лимонная, аскорбиновая кислоты).

Биохимическое прогоркание (действие температуры, света, механические воздействия) представляет собой взаимодействие жировых компонентов пищи с белками и углеводами с образованием липид-белковых и липид-углеводных комплексов. При этом с белками и углеводами реагируют глицерин, жирные кислоты, вторичные продукты окисления, образуя вышеуказанные комплексы. Все реакции проходят одновременно и разделить их сложно. Биохимическое прогоркание свойственно жирам, содержащим значительное количество воды и примеси белков и углеводов (например, коровье масло). Под воздействием содержащихся в белках ферментов (липаз) происходит гидролиз жиров и образование свободных жирных кислот. Увеличение кислотности может не сопровождаться появлением прогорклости. Микроорганизмы, развивающиеся в жирах, выделяют другие ферменты – липооксидазы, под действием которых жирные кислоты окисляются до β -кетокислот. Метилалкилкетоны, образующиеся при распаде последних, являются причиной изменения вкуса и запаха жира. Глубина и интенсивность этих процессов зависят от химического состава липидов, характера сопутствующих, добавляемых и образующихся веществ, влажности, присутствия микроорганизмов, активности ферментов, контакта с кислородом воздуха. Для минимизации биохимического прогоркания производится тщательная очистка жиров от примесей белковых веществ, хранение в условиях, исключая попадание микроорганизмов, и при низкой температуре, а также добавление консервантов (поваренной соли, бензойной кислоты) и антиоксидантов.

Рассмотрим некоторые примеры изменения свойств липидов пищевых продуктов. Так, в консервах для детского питания из мяса птицы уже при бланшировании начинаются гидролитические изменения липидов. Одновременно происходят и окислительные процессы с образованием перекисей, карбонильных соединений, снижением содержания незаменимых жирных кислот.

Окисление липидов мышечной ткани рыбы начинается после ее вылова. Используемые в пищу мышечные ткани рыбы, не защищенные от доступа воздуха, подвержены воздействию кислорода и окислению. Кислород способен вступать в реакцию с различными биохимическими компонентами тканей, в том числе с липидами. Именно окисление полиненасыщенных жирных кислот и вызывает развитие посторонних привкусов и запахов, часто описываемых как «прогорклость». Считается, что первичные продукты окисления жирных кислот (гидропероксиды липидов) на вкус и запах не влияют, а соединениями, вызывающими привкус и запах прогорклости, являются летучие вторичные продукты окисления, образующиеся при распаде этих гидропероксидов липидов. Факторы, влияющие на скорость и степень развития прогорклости в рыбе, можно разделить на:

- внутренние (содержание липидов и их жирнокислотный состав);
- внешние (концентрация кислорода, технологические операции, вызывающие повреждение тканей рыбы).

Содержание липидов в мышечных тканях рыбы зависит от ее вида. К маложирной рыбе, содержащей менее 2% липидов, относятся треска, пикша, сайда. В жирной рыбе (сельдь, скумбрия, лосось искусственного разведения) содержание липидов колеблется от 8 до 20%. Особенно чувствительна к прогорклости жирная рыба из-за высокого содержания омега-3-жирных кислот (эйкозапентаеновой и докозагексаеновой). Установлено, что реакции окисления липидов ускоряются при высоких температурах, связанных с горячим копчением или прямой сушкой рыбы на солнце. Исследования, посвященные влиянию высокого давления (от 200 до 610 МПа) на окислительные процессы липидов рыбы, свидетельствовали о следующем. После обработки экстрагированного рыбьего жира сардины гидростатическим давлением в 506 МПа в течение 60 мин индикаторы окисления перекисное и тиобарбитуровое числа (ТБЧ) не изменялись. При этом перекисное число экстрагированного жира из мяса трески, обработанного давлением 202, 404, 608 МПа в течение 15 и 30 мин, возрастало по мере повышения давления и времени обработки. Одной из основных причин такого явления считается высвобождение ионов металлов, действующих как катализаторы на липиды.

В процессе переработки мяса сбалансированная окислительная система разрушается под действием технологических факторов –

измельчения, посола и термической обработки. При измельчении мяса происходит смешивание липидов и катализаторов окисления (ионов металлов, пигмента, содержащего трехвалентное железо, – метмиоглобина, а также пигмента термически обработанного мяса, – гемохромогена), которые могут контактировать с кислородом. Не меньшую роль на скорость окислительных процессов оказывают вид и продолжительность термической обработки. Ученые считают, что вид тепловой обработки играет ключевую роль во влиянии на направленность окислительных процессов: при всех видах тепловой обработки (варка, жарка, запекание) происходит увеличение перекисного числа, однако наибольшее влияние на образование перекисей в результате окислительных процессов оказывает жарка мяса. Количество вторичных продуктов окисления увеличивается при всех видах термической обработки за исключением варки. Вместе с тем установлено, что варка мяса при температуре 70°C в течение 1 ч является причиной прогоркания жира при хранении. Однако нагрев до 80°C и выше (120°C) приводит к снижению значения тиобарбитурового числа (ТБЧ) и не способствует окислению липидов в говядине, свинине и баранине после 4 дней хранения при температуре 4°C. Снижение значений ТБЧ с увеличением конечной температуры обработки обусловлено окислительной деградацией миоглобина, который взаимодействует с пероксидами из полиненасыщенных жирных кислот, порождающих производство веществ с антиоксидантной активностью. Кулинарная обработка приводит к снижению количества фосфолипидов и значительному увеличению свободных жирных кислот, особенно полиненасыщенных жирных кислот, что объясняется гидролизом в результате воздействия высоких температур, а также действием эндогенных липаз. Однако значения ТБЧ не претерпевают существенных изменений в процессе тепловой обработки. К этому следует добавить, что существуют различные технологические приемы, позволяющие ингибировать окислительные процессы липидов в свежем мясном сырье до момента образования продуктов окисления, однако до сих пор нет способа устранения последствий окислительной порчи липидов мяса.

Возникновение пороков вкуса и запаха вследствие развития окислительных процессов характерно для молока (сырого и пастеризованного), сливочного масла, сухих молочных продуктов. В других

продуктах (сгущенное молоко с сахаром, сгущенное стерилизованное молоко, некоторые виды сыров, сметана, творог и др.) интенсивность образования данных пороков в процессе переработки невысокая. Основной мишенью окислительных процессов являются *фосфолипиды* молока, которые относительно легко окисляются кислородом воздуха: вначале фосфолипиды, находящиеся в плазме молока, затем – фосфолипиды оболочек шариков жира. Активное окисление фосфолипидов обусловлено высоким содержанием в их молекулах полиненасыщенных жирных кислот (линолевой, линоленовой и арахидоновой), которые окисляются кислородом воздуха с образованием пероксидов и карбонильных соединений, вызывающих ухудшение органолептических свойств изготавливаемых из молока продуктов. Однако в большей степени проблема окислительной порчи молочного жира характерна для хранящейся продукции, что будет более подробно рассмотрено в следующей главе.

5.3. Изменение свойств углеводов

Одним из важнейших явлений, происходящих с углеводами продовольственного сырья в процессе технологической переработки, является *гидролиз* гликозидов, олигосахаридов и полисахаридов. Он зависит от температуры, pH, аномерной конфигурации (аномеры – моносахариды, находящиеся в циклической пиранозной или фуранозной форме и отличающиеся конфигурацией ацетального атома углерода (аномерного центра)), комплекса ферментов.

Например, *гидролиз крахмала* может быть вызван действием кислот или амилолитических ферментов (α - и β -амилазы, глюкоамилазы, пуллуланызы). Под действием кислот вначале происходит ослабление и разрыв ассоциативных связей между макромолекулами амилозы и амилопектина. В результате нарушается структура крахмальных зерен и образуется гомогенная масса. Далее происходит гидролиз по гликозидным связям α -D-(1,4)- и α -D-(1,6)-. Нарастает число свободных альдегидных групп, уменьшается степень полимеризации. Критерием окончания процесса является образование глюкозы (рис. 5.3).

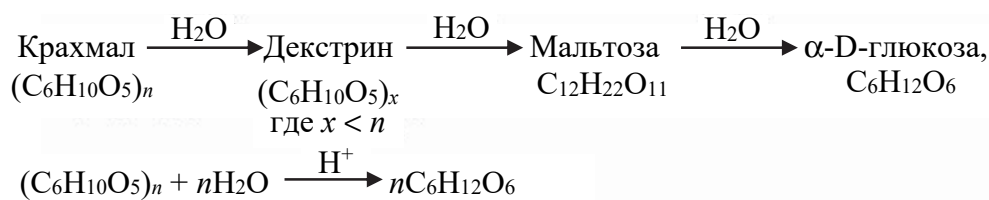


Рис. 5.3. Схема реакции гидролиза крахмала

Однако в процессе гидролиза крахмала можно получить не только глюкозу, как конечный продукт, но и декстрины, три- и тетрасахара, мальтозу, являющиеся промежуточными продуктами.

Гидролиз крахмала под действием амилазных ферментов (α - и β -амилазы, глюкоамилазы, пуллулаказы) также является многостадийным процессом. Так, α -амилаза, действуя на целое крахмальное зерно, атакует его, разрыхляя поверхность и образуя каналы и бороздки, т. е. раскладывает зерно на части. В результате ферментации (гидролиза) клейстеризованного крахмала образуются в основном низкомолекулярные α -декстрины с незначительным количеством мальтозы и глюкозы. β -амилаза практически не гидролизует нативный крахмал, а клейстеризованный крахмал гидролизует до мальтозы (54–58%) и β -декстрина (42–46%).

Гидролиз сахарозы происходит при ее нагревании в присутствии небольшого количества пищевых кислот. При этом образуются редуцирующие сахара (глюкоза, фруктоза), которые далее участвуют в реакции дегидратации, меланоидинообразования и карамелизации. В пищевых технологиях для предупреждения черствения помадных конфет, улучшения аромата хлебопекарных изделий применяется ферментативный гидролиз сахарозы – обработка β -фруктофуранозидазой. Инвертные сиропы, полученные благодаря действию β -фруктофуранозидазы на сахарозу, используются при производстве безалкогольных напитков. Этот процесс присутствует на начальной стадии производства виноградных вин.

Нагревание приводит к изменению свойств и структуры *пектиновых веществ* (пектиновые и пектовые кислоты, пектин, протопектин), являющихся важным компонентом растительных клеток и состоящих из остатков α -галактуроновой кислоты, соединенных α -1,4-гликозидной связью. Нагревание разрушает водородные связи в молекуле протопектина и может вызвать его деметилирование. В зависимости от свойств исходного протопектина и условий тепловой

обработки получают пектины, состоящие из полигалактуроновых кислот, различных по степени полимеризации и содержанию метоксильных групп. Расщепление протопектина, соответствующее кинетике реакции первого порядка (прямолинейная зависимость), приводит к уменьшению прочности срединных пластин, вследствие чего ослабляется связь между клетками паренхимной ткани и изменяется консистенция продукта. Этот процесс может быть охарактеризован величиной сопротивления разрыву тканей: чем выше температура обработки растительной ткани, тем меньше сопротивление разрыву.

Также примером изменения свойств и структуры углеводов в технологическом процессе являются *реакции образования коричневых продуктов*, например *реакции карамелизации*. Прямой нагрев углеводов, особенно сахаров и сахарных сиропов, способствует протеканию комплекса реакций, называемых карамелизацией, которые катализируют небольшие концентрации кислот, щелочей и отдельных солей. Регулируя условия данных реакций, можно получить определенный аромат или цвет (желто-коричневых оттенков) продукта благодаря разрыву гликозидных связей и образованию новых, а также образованию ангидроколец или включению в кольца двойных связей. Продуктами таких превращений являются дегидрофураноны, циклопентанолонны, циклогексанолонны, пироны и другие соединения.

Помимо реакций карамелизации, к реакциям образования коричневых продуктов относится *реакция Майяра*, о которой упоминалось в подглаве 5.1.

Еще одним из распространенных технологических приемов, используемым для получения из углеводов разнообразных пищевых продуктов, является *брожение* – основа в тестоприготовлении, пивоварении, производстве кваса, спирта, виноделии и др.

Спиртовое брожение осуществляется благодаря жизнедеятельности ряда микроорганизмов (дрожжей) и может быть выражено уравнением



Помимо этанола в процессе спиртового брожения образуются также янтарная и лимонная кислоты, смесь амилового, изоамилового, бутилового и других спиртов, уксусная кислота, дикетоны, уксусный альдегид, глицерин и ряд других соединений. По снижению скорости сбраживания углеводы располагаются в следующем порядке: глюкоза > сахароза > фруктоза > мальтоза > мелитриоза.

Молочнокислое брожение применяется при производстве кисломолочных продуктов (простокваши, ацидофилина, кефира и др.), квасов, «жидких дрожжей» для хлебопечения, при квашении капусты, огурцов, силосовании кормов. При этом из одной молекулы гексозы образуется две молекулы молочной кислоты, а также уксусная кислота, этиловый спирт, углекислый газ, метан, водород.

5.4. Изменение свойств других пищевых веществ

В процессе переработки продовольственного сырья происходят количественные и качественные изменения других пищевых веществ. Например, разрушение витаминов, на степень которого влияют рН и температура среды, наличие или отсутствие кислорода и УФ-излучения (света), таблица.

Влияние различных технологических факторов на стабильность витаминов

Витамин	Стабильность в растворах с разной реакцией среды (рН)			Отношение к действию различных факторов			Потери при нагревании, %
	<7	7	>7	O ₂	Свет (УФ)	Нагревание	
А	н	с	с	н	н	н	40
β-каротин	н	с	с	н	н	н	30
В ₁	с	н	н	н	с	н	80
В ₂	с	с	н	с	н	н	75
В ₅	н	с	н	с	с	н	50
РР	с	с	с	с	с	н	75
В ₃	с	с	с	с	н	н	40
В ₉	н	н	с	н	н	н	100
В ₁₂	с	с	с	н	н	с	20
С	с	н	н	н	н	н	100
D	с	с	н	н	н	н	40
Е	с	с	с	н	н	н	55
Н	с	с	с	с	с	н	100
К	н	с	н	с	н	с	5
Холин	с	с	с	н	с	с	5
Инозит	с	с	с	с	с	н	95

Примечание. с – стабилен; н – нестабилен.

Как видно из приведенных в таблице данных, наиболее термолабильны тиамин, аскорбиновая, фолиевая и пантотеновая кислоты. Витамин B_6 (пиридоксол, пиридоксаль, пиридоксамин) термолабилен только в форме пиридоксаля. Витамин A довольно чувствителен к нагреву, а его провитамины (β -каротин и др.) более термостойки.

Технологические факторы оказывают негативное влияние и на пигменты продуктов растительного и животного происхождения. Так, интенсивный нагрев приводит к необратимому изменению таких термочувствительных пигментов, как ликопин, β -каротин, ксантофил и флавоноиды, присутствующих в томатах, которые при дополнительном воздействии кислорода воздуха приобретают коричневый цвет. Установлено, что при стерилизации томатного сока в зависимости от ботанического сорта томатов разрушается от 1 до 13% ликопина и 1–32% β -каротина. Термическая деструкция β -каротина и ликопина происходит по реакции первого порядка. Константы скорости реакции при всех температурах самые низкие при рН, равном 4,5, и самые высокие – при рН = 2,5. Количество разрушенных антоцианов, пигментов от розового до фиолетового цвета, окрашивающих сливу, вишню, красный виноград, черную смородину, малину, бруснику, краснокочанную капусту, баклажаны и другое растительное сырье, зависит от температуры нагрева и в пределах 45–110°C подчиняется линейной зависимости. При нагреве зеленых овощей ярко-зеленые хлорофиллы превращаются в тускло-оливковые феофетины (результат реакции между хлорофиллом и кислотами клеточного сока растений). Стерилизация приводит к 100%-ному разрушению хлорофилла a , хлорофилла b остается 10%. Беталаины – пигменты, обуславливающие цвет свеклы, состоят из пурпурных бетацианинов и желтых бетаксантинов. Основной пигмент этой группы – бетанин (его изомер – изобетанин) – моногликозид. Они довольно термолабильны: термическая деструкция пигментов свеклы подчиняется кинетике реакции первого порядка и находится в зависимости от рН. Максимальная стабильность наблюдается при рН, равном 5,8. Миоглобин мяса в процессе нагревания обесцвечивается.

Наиболее стабильными в процессе тепловой обработки являются минеральные вещества. Они теряются лишь в технологических операциях, где используется вода, а не пар (мойка, бланширование,

варка). При стерилизации овощей и фруктов значительная часть минеральных веществ переходит в жидкую фазу. Так, при стерилизации зеленого горошка в жидкую часть переходит: 26–28% кальция; 34–43% магния; 32–41% калия; 24–27% фосфора. При производстве крупы и муки после обработки зерна содержание минеральных веществ снижается, поскольку в удаляемых оболочках и зародышах их больше, чем в самом зерне. При очистке овощей и картофеля теряется от 10 до 30% минеральных веществ. Мясные, рыбные продукты и птица в основном теряют такие макроэлементы, как кальций и фосфор, при отделении мякоти от кости. При тепловой кулинарной обработке (варке, жарении, тушении) мясо теряет от 5 до 50% минеральных веществ. Если обработку вести в присутствии костей, содержащих много кальция, то возможно увеличение его содержания в кулинарно обработанных продуктах на 20%.

Вместе с тем возможна миграция минеральных веществ из технологического окружения в пищевые продукты. Например, неорганическое железо, содержащееся в неподготовленной водопроводной воде, может быть обнаружено в соках и напитках. Технологическое оборудование, изготовленное из нержавеющей стали, может быть источником металломагнитных примесей в пищевых продуктах (процессы измельчения, протирания, перемешивания). Из технологического оборудования и инвентаря, изготовленных из цветных металлов, в процессах измельчения, протирания, хранения, термической обработки в пищевые продукты могут попасть неорганические соединения меди и цинка.

Таким образом, при технологической переработке пищевые вещества изменяются в сторону уменьшения их содержания или разрушения. При этом готовые продукты могут терять пищевую ценность по отношению к исходному сырью или приобретать новые свойства – как положительные, так и нежелательные. Технологам и специалистам по сертификации знания об этом нужны для проектирования новых технологий и пищевых продуктов, а также при анализе риска загрязнения пищевых продуктов.

Глава 6

ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АЛИМЕНТАРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПИЩИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ХРАНЕНИЯ

Все пищевые продукты состоят из первичных биоматериалов, которые со временем неизбежно изменяются из-за воздействия разнообразных внешних и внутренних факторов. Ухудшение качества пищевых продуктов в процессе хранения предотвратить невозможно, но можно замедлить химические и биохимические процессы, приводящие к нежелательным изменениям качественных характеристик пищи (внешнего вида, цвета, запаха, консистенции, вкуса, питательной ценности) путем подбора рецептуры, способа технологической обработки, упаковки, условий хранения и транспортирования. Период, в течение которого продукт перестает удовлетворять хотя бы одному из вышеперечисленных критериев, обычно называют сроком хранения.

Одной из причин снижения качества пищевых продуктов является их *порча*. Испорченный пищевой продукт неприемлем для потребителя, так как может привести к болезни, а иногда и к смерти человека. Поэтому в пищевой технологии применяется понятие «срок годности» – период времени, в течение которого пищевой продукт является безопасным для потребителя при условии применения его в соответствии с назначением. Процессы, приводящие как к ухудшению качества, так и к порче пищевых продуктов, могут быть классифицированы по трем основным группам (таблица):

- физические;
- химические;
- микробиологические.

**Виды и факторы, приводящие к плохому качеству
и порче пищевых продуктов**

Пищевой продукт	Виды порчи	Факторы
Молоко пастеризованное	Окисление, прогоркание, рост микроорганизмов	Кислород, температура
Молоко сухое	Окисление, потемнение, комкование	Кислород, влажность, температура

Окончание таблицы

Пищевой продукт	Виды порчи	Факторы
Сырая говядина	Рост микроорганизмов, окисление, потеря влаги	Температура, кислород, свет, влажность
Сырая рыба и морепродукты	Рост микроорганизмов, окисление	Температура, кислород
Фрукты	Ферментативное размягчение, рост микроорганизмов, ушибы, потеря влаги	Кислород, свет, температура, влажность, механические повреждения при транспортировке
Хлеб	Миграция влаги, ретроградация крахмала, рост микроорганизмов	Кислород, влажность, температура
Сухие зерновые завтраки	Миграция влаги, ретроградация крахмала, окисление, ломкость	Температура, окисление, механические повреждения при транспортировке, влажность
Пиво	Окисление, рост микроорганизмов	Кислород, свет, температура
Кофе, чай	Окисление, потеря летучих веществ	Кислород, влажность, свет
Шоколад	Кристаллизация сахара (сахарное поседение), жира (жировое поседение), окисление	Температура, влажность

Между видами порчи существует некоторая корреляция, выражающаяся в том, что порча, вызванная протеканием процессов определенного типа, может способствовать развитию порчи другого типа. Ниже приведена более подробная характеристика видов порчи и ухудшения качества пищевых продуктов.

6.1. Ухудшение качества и порча пищевых продуктов, вызываемая физическими факторами

К физическим процессам ухудшения качества пищевых продуктов относятся:

- механические повреждения;
- миграция влаги, или массообмен компонентов пищевого продукта;

- температура хранения, температура стеклования;
- относительная влажность окружающей среды;
- кристаллизация влаги, сахарозы, жира.

Примеры *механических повреждений* пищевых продуктов:

– *свежие фрукты и овощи*. При транспортировании, сбыте, в результате падения происходят ушибы, от степени которых данные продукты могут изменить цвет (повреждается клеточная структура и проявляется неферментативное потемнение), потерять влагу в месте ушиба, из-за нарушения целостности поверхностного слоя (воскового), внутрь растительной ткани проникают различные микроорганизмы, что приводит к порче и неприемлемости употребления фруктов и овощей потребителями;

– *сухие продукты*. При неаккуратной перевозке и погрузочно-разгрузочных работах возможна ломка этих продуктов, что приводит к их некондиционности. Правильно спроектированная система упаковки, защищающая от вибрации и механических повреждений при перевозке и погрузочно-разгрузочных работах, способна минимизировать механическое повреждение сухих продуктов.

В результате *миграции влаги*, или *массообмена компонентов пищевого продукта*, происходит:

- как потеря, так и увеличение его влажности;
- образование некондиционных экземпляров и инициация химических и микробиологических процессов порчи;
- изменение активности воды (a_w) вследствие переноса влаги под воздействием градиента химического потенциала.

Например, в хлебобулочных изделиях миграция влаги вызывает черствение, обусловленное перераспределением влаги мякиша (высокая a_w) в корку (низкая a_w). Это приводит к сухому, твердому и ломкому мякишу и более жесткой и менее хрустящей корке. В многокомпонентных продуктах (сухие завтраки с кусочками фруктов, мучные и кондитерские изделия с влажной начинкой) миграция влаги способствует ухудшению потребительских свойств (потеря хрустящей консистенции, увлажнение мучной части изделия) вследствие разных значений активности воды (a_w) отдельных компонентов. Потери влаги свежими фруктами и овощами, особенно листовыми, хранящимися на воздухе, вызывает их увядание и быстрое старение.

Влияние температуры на ухудшение качества и порчу пищевых продуктов можно продемонстрировать на следующих примерах. Так, качество фруктов и овощей зависит от интенсивности

дыхания и оптимального температурного диапазона хранения. Во время созревания ряда фруктов происходит увеличение продукции этилена, который является эффективным регулятором роста растений (ускоряет созревание большинства культур). Поэтому его полное устранение или снижение позволяет регулировать данные биохимические процессы. Многие фруктовые и овощные культуры чувствительны к повреждениям при медленном понижении температуры, когда продукт не полностью заморожен (повреждаются растительные клетки, что приводит к порче продукта). Тропические фрукты и овощи чувствительны к охлаждению при температуре от 5 до 15°C перед замораживанием, поэтому возникают такие дефекты, как точечная коррозия, размокание, обесцвечивание, развитие посторонних запахов, ускоренное старение или созревание (перезрелость).

На срок хранения ряда пищевых продуктов значительное влияние оказывает изменение *температуры стеклования* T_g (температура, при которой «стекловидное» или хрупкое состояние продукта меняется на «резиноподобное» или мягкое). Температура, при которой происходит стеклование продукта, зависит от содержания в нем влаги и форм ее связи. Например, крекеры должны быть хрустящими, однако при нарушении режимов относительной влажности воздуха в процессе хранения они впитывают влагу (T_g понижается) и подвергаются стеклованию, становясь вязкими и влажными. Хлебобулочные изделия, наоборот, склонны терять влагу, становясь «стекловидными», т. е. твердыми и хрупкими. Колебания температуры вокруг T_g влияют на скорость протекания многих реакций:

– при $T > T_g$ влага подвижна и скорость химических реакций, ограниченных диффузией, обычно подчиняется кинетике Williams-Landel-Ferry (представляет собой эмпирическое уравнение, связанное с суперпозицией время – температура);

– при $T < T_g$ влага менее мобильна, и скорости реакций обычно значительно ниже.

Для сухих порошков последствием стеклования является комкование, обусловленное впитыванием ими влаги, они становятся аморфными, слипаются и образуют комки.

Для глубоко замороженных продуктов потеря влаги сопровождается так называемым «морозным ожогом» – обезвоживанием вследствие испарения или сублимирования влаги с поверхности продукта. Поэтому такие продукты необходимо хранить в герметичной упаковке.

Кристаллообразование – еще одна причина ухудшения качества пищевых продуктов. Рост кристаллов льда в замороженных продуктах приводит к появлению зернистой текстуры (например, в мороженом). Образование кристаллов происходит вследствие медленного замораживания или повторных холодильных циклов. При быстром замораживании образуются мелкие кристаллы внутри клеток, являющиеся более стабильными, чем крупные кристаллы, образующиеся при медленном замораживании. Однако и это может привести к повреждению структуры клеток и началу ферментативных реакций. Для предотвращения этих процессов добавляют связывающие вещества, минимизируя образование крупных кристаллов, поддерживают температуру хранения ниже точки стеклования, при этом влага менее подвижна и не перераспределяется.

Подобные процессы происходят при *кристаллизации сахарозы* в продуктах с высоким содержанием сахара, когда некристаллический или «стекловидный» сахар подвергается стеклованию, вследствие поглощения влаги и роста температуры. В «резиноподобном» состоянии сахар может кристаллизоваться и выталкивать влагу, примером чего может служить сахарная вата, которая при высокой влажности приобретает зернистость; сахарное поседение шоколада, вызванное хранением шоколада во влажной среде, что приводит к конденсации влаги на его поверхности (молекулы сахарозы диффундируют из внутренних слоев продукта на поверхность, придавая ему серый или белый цвет). Считается, что кристаллизованный сахар является одним из факторов порчи сахарных кондитерских изделий и образования «зерен» в конфетах и мороженом.

Другой тип кристаллизации – *миграция и рекристаллизация жира* (какао-масла) в шоколаде – жировое поседение шоколада, характеризующееся белесым сальным налетом. Одним из основных способов предотвращения этого дефекта является темперирование шоколада (происходит кристаллизация какао-масла в полиморфную структуру надлежащего размера и формы). Однако неправильное ведение этого процесса может привести к образованию недостаточно стабильных форм кристаллов жира, и вероятность появления жирового поседения увеличивается. Жировое поседение может быть связано и с частичным плавлением и повторным охлаждением шоколада, истиранием поверхности, использованием несовместимых жиров или быстрым охлаждением с образованием трещин.

Также примером кристаллообразования является *разрушение эмульсии* в таких продуктах, как маргарин, майонез и салатные заправки (дрессинги). Нестабильность эмульсии происходит вследствие ошибки в выборе эмульгатора, который не сможет обеспечить получение соответствующей степени дисперсности фаз (размера частиц). Молекулы эмульгатора (например, лецитина, входящего в состав яичного желтка) адсорбируются на поверхности частиц, снижая поверхностное натяжение, поскольку обладают как гидрофобными, так и гидрофильными свойствами. Эмульсионная стабильность достигается:

– если силы притяжения (Ван-дер-Ваальса) уравновешены с силами отталкивания (электростатическими или пространственными взаимодействиями). Эти частицы препятствуют коалесценции частиц масла, т. е. расслаиванию эмульсии;

– путем увеличения вязкости непрерывной фазы.

Дестабилизация эмульсий происходит из-за нарушения режимов их образования (чрезмерная вибрация), потери эмульгатором своих свойств в результате частичного замораживания или под воздействием очень высоких температур.

Таким образом, физические факторы чаще всего ухудшают качество хранящихся пищевых продуктов и вместе с тем могут инициировать процессы их химической или микробиологической порчи.

6.2. Порча пищевых продуктов, вызываемая химическими процессами

Причиной порчи пищевых продуктов являются также и химические реакции, или реакции деградации их химических компонентов (белков, жиров, углеводов). Скорость этих химических реакций зависит от активности воды (a_w) продукта, температуры хранения T_g (температуры стеклования), pH, воздействия света, присутствия кислорода. Для каждой реакции существуют оптимальные условия протекания. Образующиеся в результате реакций продукты влияют на внешний вид, цвет, запах, вкус и (или) текстуру пищевого продукта, а также его химический состав и степень опасности для здоровья потребителей.

Катализаторами этих реакций являются ферменты и кислород воздуха. Известно, что ферментативная активность мала в продуктах с низким значением активности воды, особенно, если этот показатель меньше уровня влаги мономолекулярного слоя. Существует много ферментов, которые взаимодействуют с различными ингредиентами пищевых продуктов, вызывая ухудшение их качества и порчу. Например, *протеолитический плазмин* выдерживает температуру пастеризации молока и при его хранении вызывает расщепление молочных белков, коагуляцию и гелеобразование. Другие *протеолитические ферменты* способствуют расщеплению белков мяса, в результате оно приобретает кашеобразную консистенцию. Ферментативная порча фруктов и овощей приводит к потемнению и размягчению тканей. Эти реакции катализируются *фенолоксидазами*, ферментами, вступающими в реакцию с фенольными соединениями и кислородом с образованием пигментов коричневого цвета. Фенолоксидазы активируются при механических повреждениях ткани фруктов и овощей (удар, резка, удаление кожуры). Разрушение пектина во фруктах и овощах под действием *пектиназы* и *полигалактуроназы* вызывает размягчение растительной ткани. Порча жиров под действием *липолитических ферментов* (ферментативного гидролиза) происходит во многих липидсодержащих продуктах (орехах, сухофруктах, мясе, молочном порошке, кофе, маргарине) и активизируется под воздействием света, тепла, микроэлементов (в частности, меди и железа). Ингибиторами ферментативной порчи жиров являются токоферолы, лимонная кислота, экстракт розмарина и др.

Помимо ферментативной порчи, белки, жиры и углеводы подвергаются окислению. Так, миоглобин и оксимиоглобин мяса при наличии доступного кислорода окисляются и преобразуются в метмиоглобин (красный цвет становится коричневым); ферментативное потемнение (реакция Майяра) приводит к образованию летучих веществ и темных пигментов, что выражается в золотисто-коричневом цвете некоторых пищевых продуктов, изменении их текстуры, снижении пищевой ценности (быстро расходуется лизин). Кислород взаимодействует с ненасыщенными жирными кислотами, что приводит к изменению цвета, образованию посторонних запахов и даже токсичных веществ. Кислород может быть растворен в масле, других жидких пищевых ингредиентах, находиться в свободном пространстве упаковки или проникать сквозь нее во время хранения.

Рассмотрим более подробно окислительную порчу липидов молочных продуктов. Установлено, что в процессе длительного хранения *молока* при низких температурах, а также под воздействием светового излучения с длиной волны менее 500 нм в продукте возникают окисленные привкусы – «картонный» и «солнечный», которые иногда сопровождаются металлическим, рыбным и салыстым привкусами, которые обуславливаются образованием альдегидов (этанала, пропаналя, метионаля, пентакаля и др.), метилкетонов и спиртов. Предотвращению появления окисленного привкуса в молоке способствуют снижение степени механического воздействия при хранении, устранение действия света, внесение в молоко аскорбиновой кислоты (в количестве 25–50 мг на 1 кг), β -каротина, низина, пастеризация при высоких температурах и гомогенизация молока.

Образование пероксидов, альдегидов, кетонов, оксикислот и других соединений при окислении липидов *масла из коровьего молока* при хранении приводит к снижению его качества, биологической ценности и возникновению пороков вкуса и запаха – салыстого, прогорклого, рыбного, металлического и олеистого. Скорость и направленность процесса окисления, а следовательно, и стойкость сливочного масла при хранении зависят от многих факторов. К ним относятся: химический состав, структура масла, объем и состав плазмы, ее дисперсность, содержание в масле воздуха, металлов, хлорида натрия, молочной кислоты, естественных и синтетических антиоксидантов, вид упаковочных материалов, температура хранения. Химический состав молочного жира значительно влияет на стойкость масла при хранении, особенно содержание в нем полиненасыщенных жирных кислот (линолевой, линоленовой и арахидоновой). Масло, выработанное из весеннего молока, чаще всего нестойко при длительном хранении. Окислительная порча масла протекает, главным образом, на границе фаз жир – вода, жир – воздух. Следовательно, стойкость масла при всех прочих условиях зависит от степени диспергирования влаги (плазмы) и содержания в нем воздуха. С увеличением степени диспергирования влаги устойчивость масла к процессу окисления снижается. Масло, выработанное методом преобразования высокожирных сливок, характеризуется наиболее тонким распределением влаги. Поэтому в процессе хранения при низких отрицательных температурах (минус 18°C)

оно менее устойчиво, чем масло, полученное сбиванием сливок, характеризующееся более крупными каплями плазмы. Однако оно обладает повышенной устойчивостью при более высоких минусовых (минус 5°С) и плюсовых температурах, когда имеют место не только химические, но и ферментативные процессы. К факторам, влияющим на стойкость масла при хранении, относится содержание в нем антиокислителей (антиоксидантов), задерживающих окисление жира. Масло летней выработки, богатое естественными антиокислителями (токоферолами, β-каротином), более стойко при хранении, чем масло, выработанное зимой. Для повышения стойкости масла при длительном хранении необходимо снижать загрязненность сливок и масла медью и железом, вносить антиокислители, предохранять его от контакта с воздухом, светом, влагой, применять в качестве упаковочных материалов полимерные и комбинированные материалы, обладающие газо-, свето- и влагонепроницаемостью.

Окисление липидов *сухих молочных продуктов* является одним из видов порчи, которое приводит к ухудшению их органолептических свойств и снижению биологической ценности. Окисленный, салитый и другие привкусы могут быть вызваны большим содержанием в продукте воздуха (более 0,1%), свободного жира (выше 9%), солей меди и железа (более 10 мг/кг сухого вещества молока). Количество воздуха в сухих продуктах обусловлено размерами частиц, содержанием дестабилизированного жира в сырье. Количество воздуха и содержание свободного жира в сухих молочных продуктах зависят от режимов сгущения, распыления и сушки, скорости охлаждения продукта после выхода из сушильной башни, вида упаковки, температуры хранения и влажности окружающего воздуха. Устойчивость сухих молочных продуктов к окислению можно повысить путем внесения антиоксидантов, а также осуществления гомогенизации сгущенных продуктов перед сушкой, хранения их в атмосфере азота.

Отдельной проблемой, возникающей при хранении пищевых продуктов, является лабильность *витаминов*. Считается, что потери витаминов за время хранения продуктов очень велики и в некоторых случаях достигают 90%. Наибольшие потери этих эссенциальных нутриентов происходят при хранении *овощей и фруктов*. Кислород воздуха, повышение температуры и относительной влажности окружающего воздуха способствуют разрушению витамина С

и отчасти витамина *A*. Так как витамин *C* является наименее стойким, то те мероприятия, которые способствуют его сохранению, в значительной степени сохраняют также и другие витамины, содержащиеся в пищевых продуктах. Поэтому соблюдение надлежащей и постоянной температуры и относительной влажности, использование регулируемой газовой среды в местах хранения этого растительного сырья, а также определенной продолжительности хранения являются основными способами замедления распада витаминов в фруктах и овощах.

Известно, что *мясо и продукты его переработки* являются одним из источников витаминов группы *B*, устойчивость которых при хранении этих продуктов зависит от способа технологической переработки. Например, в замороженном мясе витамины группы *B* сохраняются длительное время, а продолжительное хранение мясных консервов приводит к значительным их потерям. В *масле из коровьего молока и сырах*, хранящихся в холодильниках, инактивация витамина *A* происходит крайне медленно, однако окислительная порча (прогоркание) масла способствует разрушению этого нутриента.

При обобщении информации о влиянии химических процессов, происходящих в процессе хранения пищевых продуктов, на их качество и безопасность следует сделать вывод о том, что во многих случаях начало этих процессов связано с физическими факторами. Также необходимо добавить, что результатом действия ферментов и кислорода воздуха на нутриенты, обуславливающие пищевую ценность продуктов, является ухудшение их качества, а затем и непригодность для употребления вследствие образования вредных для здоровья человека соединений.

6.3. Порча пищевых продуктов, вызываемая микроорганизмами

Так как микробиологическая порча пищевых продуктов – это объект изучения других учебных дисциплин, в данной подглаве приведены лишь общие сведения. Очевидно, что большинство пищевых продуктов содержат разные виды микроорганизмов, являющихся их естественной микробиотой, специально введенной полезной микробиотой (закваски, хлебопекарные, спиртовые и винные дрожжи) или

болезнетворными микробами, попавшими в продукты в результате нарушения технологических режимов, несоблюдения производственной санитарии и личной гигиены. Среди естественной и болезнетворной микробиоты возможно присутствие микроорганизмов, вызывающих порчу пищевых продуктов, к которым относятся некоторые бактерии, дрожжи, плесневые грибы, вирусы и микопаразиты. В результате их жизнедеятельности в пищевых продуктах подвергаются изменениям следующие нутриенты:

- белки и аминокислоты, которые разлагаются протеолитическими бактериями до аммиака, сероводорода, углекислого газа;
- углеводы, которые под действием диких дрожжей, молочнокислых, уксуснокислых, пропионовокислых бактерий превращаются в этиловый спирт, молочную, уксусную и пропионовую кислоты и другие соединения;
- липиды из-за действия липолитических микроорганизмов окисляются до окисных и перекисных соединений.

Микробиологическая порча пищевых продуктов может быть обнаружена визуально, а в некоторых случаях для доказательства ее существования необходимы лабораторные исследования. При этом урон от действия микроорганизмов порчи выражается не только в огромных потерях продовольствия, но и в значительных затратах на лечение отравившихся испорченной пищей людей и другие меры, связанные с исключением источника заражения. В современной пищевой технологии существуют разные способы предотвращения микробиологической порчи пищевых продуктов: санитарно-гигиенические мероприятия, применение барьерных технологий, использование специальной упаковки и др.

При подведении итога всему вышесказанному, необходимо еще раз отметить, что для обеспечения потребителей качественным и безопасным продовольствием важным является знание всех процессов, происходящих с пищевыми веществами при хранении в разных условиях окружающей среды.

Учебное издание

**Егорова Зинаида Евгеньевна
Зеленкова Елена Николаевна**

ПИЩЕВАЯ ХИМИЯ

Учебное пособие

В 2-х книгах

Книга 1

Редактор *Р. М. Рябая*
Компьютерная верстка *Е. А. Матейко*
Дизайн обложки *Е. А. Матейко*
Корректор *Р. М. Рябая*

Подписано в печать 20.10.2023. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 16,3. Уч.-изд. л. 15,0.
Тираж 50 экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.