

# FENNEMA'S FOOD CHEMISTRY FIFTH EDITION

edited by

Srinivasan Damodaran  
Kirk L. Parkin



CRC Press

Taylor & Francis Group

Boca Raton London New York

---

CRC Press is an imprint of the  
Taylor & Francis Group, an **informa** business

# Химия пищевых продуктов

Издание 2-е, переработанное  
Перевод с англ. 5-го издания

Оуэн Р. Феннема

Редакторы-составители:  
Шринивасан Дамодаран  
Кирк Л. Паркин

Санкт-Петербург

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ПРОФЕССИЯ  
2020

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому изданию . . . . .	6
Предисловие к 5-му американскому изданию . . . . .	8
Сведения о редакторах-составителях . . . . .	11
Сведения об авторах отдельных глав . . . . .	12
1. Введение в химию пищевых продуктов . . . . .	13
<b>Часть I. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ . . . . .</b>	<b>29</b>
2. Вода и лед в пищевых продуктах . . . . .	31
4. Жиры . . . . .	164
5. Аминокислоты, пептиды и белки . . . . .	224
6. Ферменты . . . . .	330
7. Дисперсные системы . . . . .	430
<b>Часть II. МИНОРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПИЩИ . . . . .</b>	<b>495</b>
8. Витамины . . . . .	497
9. Минеральные вещества . . . . .	569
10. Красящие вещества . . . . .	615
11. Вкусоароматические вещества . . . . .	679
12. Пищевые добавки . . . . .	723
13. Биоактивные вещества. Нутрицевтики и токсичные соединения . . . . .	784
<b>Часть III. ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ . . . . .</b>	<b>819</b>
14. Свойства молока . . . . .	821
15. Физиология и химия съедобных мышечных тканей . . . . .	867
16. Физиология съедобных тканей растений после сбора урожая . . . . .	924
Предметный указатель . . . . .	987

*Подробное содержание отдельных глав см. в начале каждой главы.*

## 2. ВОДА И ЛЕД В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

*Шринивасан Дамодаран (Srinivasan Damodaran)*

Первод с англ. Д. К. Рапопорта

### Содержание

2.1.	Введение. . . . .	32
2.2.	Физические свойства воды и льда . . . . .	32
	Врезка 2.1. Аномальные свойства воды . . . . .	33
	2.2.1. Взаимодействие фаз. . . . .	35
	2.2.2. Резюме . . . . .	36
2.3.	Молекула воды . . . . .	37
	2.3.1. Водородные связи . . . . .	37
	2.3.1.1. Резюме . . . . .	40
2.4.	Структуры льда и воды . . . . .	40
	2.4.1. Структура льда . . . . .	40
	2.4.2. Структура воды в жидком состоянии . . . . .	42
	2.4.2.1. Резюме . . . . .	44
2.5.	Вода с растворенными в ней веществами. . . . .	45
	2.5.1. Взаимодействия «вода–растворенное вещество» . . . . .	45
	2.5.2. Взаимодействие воды с ионными группами . . . . .	45
	Врезка 2.2. Схематическое представление взаимодействия «ион — диполь» . . . . .	46
	Врезка 2.3. Схематическое представление взаимодействия «диполь — диполь». . . . .	48
	2.5.3. Взаимодействие молекул воды с нейтральными полярными группами. . . . .	48
	2.5.4. Взаимодействие воды с неполярными растворенными веществами . . . . .	49
	Врезка 2.4. Схематическое представление взаимодействия «диполь — наведенный диполь» . . . . .	50
	2.5.5. Гидрофобная гидратация. . . . .	50
	2.5.6. Понятие «связанной воды». . . . .	54
	2.5.7. Коллигативные свойства . . . . .	54
	2.5.7.1. Резюме . . . . .	56
2.6.	Активность воды. . . . .	56
	2.6.1. Определение и измерение. . . . .	57
	2.6.1.1. Резюме . . . . .	59
	2.6.2. Изотермы сорбции влаги . . . . .	59
	2.6.3. Интерпретация изотерм сорбции влаги . . . . .	60
	2.6.3.1. Резюме . . . . .	62
	2.6.4. Активность воды и стабильность пищевых продуктов . . . . .	62
	2.6.5. Пищевые продукты с промежуточным содержанием влаги . . . . .	63
	2.6.6. Определение ВЕТ-монослоя . . . . .	69
	2.6.6.1. Резюме . . . . .	71
	2.6.6.2. Зависимость активности воды от температуры и давления . . . . .	71
	2.6.7. Гистерезис. . . . .	72
2.7.	Технологические проблемы продуктов с промежуточным содержанием влаги . . . . .	75
	2.7.1. Миграция влаги в составных продуктах. . . . .	75
	2.7.2. Фазовые изменения в пищевых продуктах . . . . .	76
	Врезка 2.5. Миграция влаги в многокомпонентных продуктах . . . . .	77

2.8.	Молекулярная мобильность и стабильность пищевых продуктов. . . . .	78
2.8.1.	Стеклование . . . . .	78
2.8.2.	Мобильность молекул и скорости реакций. . . . .	81
2.8.3.	Скорость реакции в стеклоподобном состоянии . . . . .	82
2.8.4.	Диаграмма состояний . . . . .	83
2.8.5.	Ограничения уравнения <i>WLF</i> . . . . .	85
2.8.6.	Применимость диаграмм состояний к пищевым системам . . . . .	86
2.8.7.	Определение температуры стеклования. . . . .	86
2.8.8.	Зависимость температуры стеклования от молекулярной массы . . . . .	87
2.8.9.	Понимание поведения воды в пищевых продуктах в зависимости от концепций активности воды, содержания влаги и молекулярной мобильности. . . . .	89
Литература	. . . . .	90

## 4. ЖИРЫ

Д. Джулиан Мак-Клементс (*D. Julian McClements*), Эрик Э. Деккер (*Eric A. Decker*)  
Перевод Н. С. Селивановой под науч. ред. канд. биол. наук С. Н. Кулаковой

### Содержание

4.1.	Введение. . . . .	166
4.2.	Основные компоненты липидов . . . . .	166
4.2.1.	Жирные кислоты . . . . .	166
4.2.1.1.	Номенклатура насыщенных жирных кислот . . . . .	167
4.2.1.2.	Номенклатура ненасыщенных жирных кислот . . . . .	167
4.2.2.	Ацилглицерины . . . . .	169
4.2.3.	Фосфолипиды. . . . .	169
4.2.4.	Сфинголипиды . . . . .	170
4.2.5.	Стерины. . . . .	170
4.2.6.	Воски . . . . .	170
4.2.7.	Прочие жиры . . . . .	171
4.2.8.	Состав жиров . . . . .	171
4.2.9.	Резюме . . . . .	173
4.3.	Переработка жиров. Выделение, очистка и модификация . . . . .	173
4.3.1.	Рафинирование . . . . .	173
4.3.1.1.	Дегуммирование . . . . .	173
4.3.1.2.	Нейтрализация. . . . .	174
4.3.1.3.	Отбеливание. . . . .	174
4.3.1.4.	Дезодорирование. . . . .	174
4.4.	Молекулярные взаимодействия и структура триацилглицеринов. . . . .	174
4.5.	Физические свойства триацилглицеринов. . . . .	176
4.5.1.	Реологические свойства . . . . .	176
4.5.2.	Плотность . . . . .	177
4.5.3.	Термические свойства . . . . .	178
4.5.4.	Оптические свойства . . . . .	179
4.5.5.	Электрические свойства . . . . .	179
4.6.	Содержание твердого жира в ТАГ пищевых продуктов . . . . .	180
4.7.	Кристаллизация триацилглицеринов . . . . .	181
4.7.1.	Переохлаждение. . . . .	181
4.7.2.	Нуклеация . . . . .	182
4.7.3.	Рост кристаллов . . . . .	184
4.7.4.	Посткристаллизационные процессы . . . . .	184
4.7.5.	Морфология кристаллов. . . . .	185
4.7.6.	Полиморфизм. . . . .	185
4.7.7.	Кристаллизация съедобных жиров и масел. . . . .	187
4.7.8.	Кристаллизация жира в эмульсиях . . . . .	188
4.8.	Изменение состава твердых триглицеридов в пищевых жирах . . . . .	188
4.8.1.	Смешивание . . . . .	188
4.8.2.	Изменение состава кормов для животных. . . . .	189
4.8.3.	Генетические методы . . . . .	189
4.8.4.	Фракционирование . . . . .	189
4.8.5.	Гидрогенизация. . . . .	189

4.8.6.	Переэтерификация	191
4.8.7.	Резюме	192
4.9.	Роль триацилглицеринов в пищевых продуктах	192
4.9.1.	Текстура	192
4.9.2.	Внешний вид	193
4.9.3.	Вкус и аромат	193
4.10.	Химическое разложение жиров. Гидролитические реакции	193
4.11.	Химическая порча жиров. Окислительные реакции	194
4.11.1.	Механизмы окисления липидов	194
4.11.1.1.	Инициирование окисления	195
4.11.1.2.	Стадия развития окисления	196
4.11.1.3.	Стадия окончания окисления	197
4.11.2.	Прооксиданты	197
4.11.2.1.	Стимулирование образования гидропероксидов	198
4.11.2.2.	Стимулирование образования свободных радикалов	200
4.11.2.3.	Стимулирование разложения гидропероксидов	200
4.11.3.	Образование продуктов окислительного разложения липидов	202
4.11.3.1.	Реакции $\beta$ -расщепления	202
4.11.3.2.	Дополнительные реакции продуктов разложения жирных кислот	204
4.11.3.3.	Окисление холестерина	205
4.11.4.	Антиоксиданты	205
4.11.4.1.	Контроль образования свободных радикалов	205
4.11.4.2.	Токоферолы	206
4.11.4.3.	Синтетические фенольные соединения	208
4.11.4.4.	Фенольные соединения растительного происхождения	208
4.11.4.5.	Аскорбиновая кислота и тиолы	209
4.11.4.6.	Контроль прооксидантов	210
4.11.4.7.	Контроль содержания металлов с прооксидантными свойствами	210
4.11.4.8.	Контроль синглетного кислорода	210
4.11.4.9.	Контроль <i>LOX</i>	211
4.11.4.10.	Контроль промежуточных продуктов окисления	211
4.11.4.11.	Супероксид-анион	211
4.11.4.12.	Пероксиды	211
4.11.4.13.	Взаимодействия между антиоксидантами	212
4.11.4.14.	Локализация антиоксидантов	212
4.11.5.	Прочие факторы, влияющие на скорость окисления липидов	213
4.11.5.1.	Концентрация кислорода	213
4.11.5.2.	Температура	213
4.11.5.3.	Площадь поверхности	213
4.11.5.4.	Активность воды	213
4.11.6.	Способы измерения степени окисления липидов	213
4.11.6.1.	Органолептический анализ	214
4.11.6.2.	Первичные продукты окисления	214
4.11.6.3.	Конъюгированные двойные связи	214
4.11.6.4.	Гидропероксиды липидов	214
4.11.6.5.	Вторичные продукты окисления	215
4.11.6.6.	Анализ летучих вторичных продуктов окисления	215
4.11.6.7.	Карбонильные соединения	215
4.11.6.8.	ТБК-тест (тиобарбитуровой кислоты)	216
4.11.7.	Резюме	216

4.12. Пищевые жиры и их влияние на здоровье человека. . . . .	217
4.12.1. Биологическая активность жирных кислот. . . . .	217
4.12.2. Транс-изомеры жирных кислот. . . . .	217
4.12.3. Омега-3 жирные кислоты. . . . .	217
4.12.4. Конъюгированная линолевая кислота. . . . .	218
4.12.5. Фитостерины. . . . .	218
4.12.6. Каротиноиды. . . . .	218
4.12.7. Низкокалорийные жиры. . . . .	219
4.12.8. Резюме. . . . .	219
Литература. . . . .	220



# 5. АМИНОКИСЛОТЫ, ПЕПТИДЫ И БЕЛКИ

Шринивасан Дамодаран (*Srinivasan Damodaran*)

Перевод Н. С. Селивановой под науч. ред. канд. мед. наук В. М. Жминченко

## Содержание

5.1.	Введение . . . . .	212
5.2.	Физико-химические свойства аминокислот . . . . .	214
5.2.1.	Общие свойства . . . . .	214
5.2.1.1.	Структура и классификация . . . . .	214
5.2.1.2.	Стереохимия аминокислот . . . . .	216
5.2.1.3.	Кислотно-основные свойства аминокислот . . . . .	216
5.2.1.4.	Гидрофобность аминокислот . . . . .	218
5.2.1.5.	Оптические свойства аминокислот . . . . .	221
5.2.2.	Реакционная способность аминокислот . . . . .	221
5.2.3.	Резюме . . . . .	224
5.3.	Структура белка . . . . .	224
5.3.1.	Структурная иерархия белков . . . . .	224
5.3.1.1.	Первичная структура . . . . .	224
5.3.1.2.	Вторичная структура . . . . .	226
5.3.1.3.	Третичная структура . . . . .	229
5.3.1.4.	Четвертичная структура . . . . .	232
5.3.2.	Факторы стабильности структуры белка . . . . .	233
5.3.2.1.	Стерические взаимодействия . . . . .	233
5.3.2.2.	Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия . . . . .	233
5.3.2.3.	Водородные связи . . . . .	233
5.3.2.4.	Электростатические взаимодействия . . . . .	235
5.3.2.5.	Гидрофобные взаимодействия . . . . .	235
5.3.2.6.	Дисульфидные связи . . . . .	237
5.3.3.	Конформационная стабильность и изменчивость белков . . . . .	237
5.3.4.	Резюме . . . . .	239
5.4.	Денатурация белков . . . . .	239
5.4.1.	Термодинамика процесса денатурации . . . . .	240
5.4.2.	Денатурирующие факторы . . . . .	242
5.4.2.1.	Физические факторы . . . . .	242
5.4.2.2.	Химические факторы . . . . .	248
5.4.3.	Резюме . . . . .	252
5.5.	Функциональные свойства белков . . . . .	252
5.5.1.	Гидратация белка . . . . .	254
5.5.2.	Растворимость . . . . .	257
5.5.2.1.	Значение pH . . . . .	259
5.5.2.2.	Ионная сила . . . . .	260
5.5.2.3.	Температура . . . . .	260
5.5.2.4.	Присутствие органических растворителей . . . . .	260
5.5.3.	Поверхностно-активные свойства белков . . . . .	261
5.5.3.1.	Эмульгирующие свойства . . . . .	264
5.5.3.2.	Пенообразующие свойства . . . . .	268
5.5.4.	Связывание вкусоароматических веществ . . . . .	272
5.5.4.1.	Термодинамика взаимодействий белков со вкусоароматическими соединениями . . . . .	273
5.5.4.2.	Факторы, влияющие на связывание вкусоароматических соединений . . . . .	274

5.5.5.	Вязкость	274
5.5.6.	Гелеобразование	276
5.5.7.	Текстуризация	279
5.5.7.1.	Фильерная текстуризация	279
5.5.7.2.	Текстуризация экструзией	279
5.5.8.	Тестообразование	280
5.6.	Белковые гидролизаты	283
5.6.1.	Функциональные свойства белковых гидролизатов	284
5.6.2.	Аллергенные свойства	285
5.6.3.	Горькие пептиды	286
5.7.	Нутритивные свойства белков	286
5.7.1.	Качество белка	286
5.7.2.	Усвояемость	288
5.7.2.1.	Конформация белка	289
5.7.2.2.	Факторы, снижающие биологическую ценность (антипитательные)	289
5.7.2.3.	Промышленная переработка	289
5.7.3.	Оценка биологической ценности белков	289
5.7.3.1.	Биологические методы	289
5.7.3.2.	Химические методы	290
5.7.3.3.	Ферментативные и микробиологические методы	291
5.8.	Физические и химические изменения белков при промышленной переработке	
	Изменения пищевой ценности	291
5.8.1.	Изменение пищевого качества белков и образование токсичных соединений	292
5.8.1.1.	Влияние умеренной тепловой обработки	292
5.8.1.2.	Изменения в составе белков при экстракции и фракционировании	293
5.8.1.3.	Химические изменения аминокислот	293
5.8.1.4.	Влияние окислителей	298
5.8.1.5.	Реакции карбонильных соединений с аминами	301
5.8.1.6.	Прочие реакции пищевых белков	303
5.8.2.	Изменения функциональных свойств белков	306
5.9.	Химические и ферментативные модификации белков	307
5.9.1.	Химические модификации	307
5.9.1.1.	Алкилирование	307
5.9.1.2.	Ацилирование	308
5.9.1.3.	Фосфорилирование	309
5.9.1.4.	Сульфитоллизис	310
5.9.1.5.	Этерификация	310
5.9.2.	Ферментативная модификация белков	311
5.9.2.1.	Ферментативный гидролиз	311
5.9.2.2.	Пластеиновая реакция	311
5.9.2.3.	Перекрестная сшивка белков	311
	Литература	312

## 6. ФЕРМЕНТЫ

Кирк Л. Паркин (*Kirk L. Parkin*)

Перевод д-ра. хим. наук С. В. Макарова под науч. ред. д-ра биол. наук, проф. В. М. Коденцовой и канд. биол. наук О. А. Вржесинской

### СОДЕРЖАНИЕ

6.1.	Введение	331
6.2.	Общая природа ферментов	332
6.2.1.	Ферменты как биокатализаторы	332
6.2.2.	Белковая и небелковая природа ферментов	332
6.2.3.	Каталитическая активность ферментов	333
6.2.3.1.	Теория столкновений в катализе	334
6.2.3.2.	Теория переходного состояния в ферментативном катализе	334
6.2.4.	Механизмы ферментативного катализа	336
6.2.4.1.	Природа активных центров ферментов	336
6.2.4.2.	Специфические каталитические механизмы	337
6.2.5.	Кинетика ферментативных реакций	345
6.2.5.1.	Простые модели ферментативных реакций	345
6.2.5.2.	Уравнения скорости ферментативных реакций	346
6.2.5.3.	Графический анализ ферментативных реакций	347
6.2.6.	Специфичность и селективность ферментов	351
6.2.6.1.	Специфические свойства важнейших пищевых ферментов	351
6.2.6.2.	Номенклатура и классификация ферментов	356
6.3.	Применение экзогенных ферментов в производстве пищевых продуктов	358
6.3.1.	Общие положения	358
6.3.2.	Ферменты, катализирующие превращения углеводов	358
6.3.2.1.	Ферменты, катализирующие превращения крахмала	360
6.3.2.2.	Превращения сахаров	367
6.3.2.3.	Ферментативные превращения пектина	369
6.3.2.4.	Прочие гликозидазы	373
6.3.3.	Ферменты, катализирующие превращения белков	374
6.3.3.1.	Сериновые протеазы	374
6.3.3.2.	Аспарагиновые (кислотные) протеазы	374
6.3.3.3.	Цистеиновые (сульфгидрильные) протеазы	375
6.3.3.4.	Металлопротеазы	375
6.3.3.5.	Использование протеолитического эффекта	377
6.3.3.6.	Трансглутаминаза	380
6.3.4.	Ферменты, преобразующие липиды	381
6.3.4.1.	Липаза	381
6.3.4.2.	Применение липаз	382
6.3.4.3.	Липоксигеназы	384
6.3.4.4.	Фосфолипазы	385
6.3.5.	Прочие области применения ферментов	385
6.4.	Влияние внешних факторов на активность ферментов	385
6.4.1.	Температура	385
6.4.1.1.	Влияние температуры на активность ферментов	385
6.4.1.2.	Оптимум температуры для функционирования фермента	387

6.4.1.3.	Заключительные замечания	388
6.4.2.	Влияние рН	388
6.4.2.1.	Общие замечания	388
6.4.2.2.	Стабильность ферментов как функция рН	389
6.4.2.3.	Влияние рН на активность ферментов	390
6.4.2.4.	Другие типы рН зависимости активности ферментов	394
6.4.3.	Активность ферментов и содержание влаги	394
6.4.3.1.	Дегидратация и активность воды	394
6.4.3.2.	Осмотические эффекты дегидратации	397
6.4.3.3.	Дегидратация при замораживании	398
6.4.4.	Нетермические технологии	400
6.5.	Эндогенные ферменты пищевых продуктов и их контроль	400
6.5.1.	Клеточные и тканевые ферментативные эффекты	400
6.5.2.	Активность ферментов и цвет пищевых продуктов	402
6.5.2.1.	Фенолоксидазы	402
6.5.2.2.	Пероксидазы	406
6.5.2.3.	Прочие оксидоредуктазы	409
6.5.3.	Ферменты, участвующие в формировании вкуса и аромата	410
6.5.3.1.	Липоксигеназа	410
6.5.3.2.	Гидропероксидлиаза и ее превращения	413
6.5.3.3.	Биогенез прочих видов аромата, обусловленных липидами	415
6.5.3.4.	Возникновение и контроль едкого аромата, а также других биологически обусловленных факторов	415
6.5.4.	Ферменты, влияющие на текстуру пищевых продуктов	419
6.5.4.1.	Контроль ферментов, модифицирующих полисахариды	420
6.5.4.2.	Контроль ферментов, модифицирующих белки	421
6.5.4.3.	Исправление дефектов текстуры пищевых продуктов с помощью контроля активности ферментов небольшими молекулами	421
Литература		423
Дополнительная литература		428

## 7. Дисперсные системы

Петер Вальстра (*Pieter Walstra*), Тон ван Флиет (*Ton van Vliet*)

Перевод В. Д. Широкова под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. А. А. Кочетковой

### Содержание

7.1.	Введение.....	430
7.1.1.	Пищевые продукты как дисперсные системы.....	430
7.1.2.	Представление дисперсий.....	431
7.1.3.	Влияние на скорости реакций.....	434
7.1.4.	Резюме.....	435
7.2.	Поверхностные явления.....	435
7.2.1.	Поверхностное натяжение и адсорбция.....	435
7.2.2.	Поверхностно-активные вещества.....	437
7.2.2.1.	Амфифильные вещества.....	437
7.2.2.2.	Полимеры.....	438
7.2.3.	Краевые углы.....	440
7.2.4.	Криволинейные поверхности раздела фаз.....	441
7.2.5.	Реологические свойства на межфазных границах.....	443
7.2.6.	Градиенты поверхностного натяжения.....	443
7.2.7.	Функции ПАВ.....	445
7.2.8.	Резюме.....	445
7.3.	Коллоидные взаимодействия.....	445
7.3.1.	Ван-дер-Ваальсовы силы притяжения.....	446
7.3.2.	Электрические бислои.....	446
7.3.3.	Теория ДЛФО.....	447
7.3.4.	Силы стерического отталкивания.....	448
7.3.5.	Деплетивное взаимодействие.....	449
7.3.6.	Прочие аспекты.....	450
7.3.7.	Резюме.....	450
7.4.	Жидкие дисперсии.....	451
7.4.1.	Общие вопросы.....	451
7.4.2.	Седиментация.....	451
7.4.3.	Агрегация.....	452
7.4.4.	Резюме.....	454
7.5.	«Полутвердые» продукты.....	454
7.5.1.	Разделение фаз в смесях биополимеров.....	454
7.5.1.1.	Термодинамическая несовместимость.....	455
7.5.1.2.	Коацервация комплекса.....	456
7.5.2.	Гели.....	456
7.5.2.1.	Структура гелей.....	456
7.5.2.2.	Реологические характеристики.....	458
7.5.2.3.	Модуль.....	459
7.5.2.4.	Полимерные гели.....	460
7.5.2.5.	Гели из частиц.....	460
7.5.3.	Функциональные свойства гелей.....	461
7.5.4.	Некоторые пищевые гели.....	464
7.5.4.1.	Полисахариды.....	464
7.5.4.2.	Желатин.....	465

7.5.4.3.	Казеиновые гели . . . . .	466
7.5.4.4.	Гели из глобулярных белков . . . . .	467
7.5.4.5.	Смешанные гели . . . . .	467
7.5.5.	«Ощущение во рту» . . . . .	468
7.5.6.	Резюме . . . . .	470
7.6.	Эмульсии . . . . .	471
7.6.1.	Описание . . . . .	471
7.6.2.	Образование эмульсии . . . . .	472
7.6.2.1.	Дробление (дисперсия) капель . . . . .	472
7.6.2.2.	Повторная коалесценция . . . . .	473
7.6.2.3.	Выбор эмульгатора . . . . .	474
7.6.3.	Типы нестабильности эмульсий . . . . .	476
7.6.4.	Коалесценция . . . . .	477
7.6.4.1.	Разрыв пленки . . . . .	477
7.6.4.2.	Факторы, влияющие на коалесценцию . . . . .	477
7.6.5.	Частичная коалесценция . . . . .	480
7.6.5.1.	Мороженое . . . . .	482
7.6.6.	Резюме . . . . .	482
7.7.	Пены . . . . .	483
7.7.1.	Пенообразование. Краткие сведения . . . . .	484
7.7.1.1.	Перенасыщение . . . . .	484
7.7.1.2.	Применение механических воздействий . . . . .	484
7.7.1.3.	Изменение структуры пены . . . . .	485
7.7.2.	Нестабильность пен . . . . .	486
7.7.2.1.	Созревание Оствальда . . . . .	486
7.7.2.2.	Дренажное . . . . .	488
7.7.2.3.	Коалесценция . . . . .	488
7.7.3.	Резюме . . . . .	489
	Использованные обозначения . . . . .	490
	Греческие символы . . . . .	491
	Нижние индексы . . . . .	491
	Литература . . . . .	491
	Дополнительная литература . . . . .	4944

## 8. ВИТАМИНЫ

Джесси Ф. Грегори III (*Jesse F. Gregory III*)

Перевод д-ра хим. наук С. В. Макарова под науч. ред. д-ра биол. наук, проф. В. М. Коденцовой, канд. биол. наук О. А. Вржесинской и канд. хим. наук Н. А. Бекетовой

### Содержание

8.1.	Введение . . . . .	499
8.1.1.	Цели этой главы . . . . .	499
8.1.2.	Несколько слов о стабильности витаминов. . . . .	499
8.1.3.	Токсичность витаминов . . . . .	500
8.1.4.	Источники витаминов. . . . .	500
8.2.	Обогащение пищевых продуктов нутриентами . . . . .	501
8.3.	Рекомендации по питанию. . . . .	502
8.4.	Методы анализа и источники данных. . . . .	505
8.5.	Усвояемость (биодоступность) витаминов. . . . .	505
8.6.	Причины различного содержания и/или потерь витаминов в пищевых продуктах. . . . .	506
8.6.1.	Природная вариабельность содержания витаминов . . . . .	506
8.6.2.	Изменение содержания витаминов после сбора урожая (убоя). . . . .	507
8.6.3.	Влияние предварительной обработки (обрезка, мойка и измельчение). . . . .	507
8.6.4.	Влияние бланширования и тепловой обработки . . . . .	508
8.6.5.	Потери витаминов после переработки . . . . .	509
8.6.6.	Влияние технологических добавок и других компонентов пищевых продуктов . . . . .	510
8.7.	Жирорастворимые витамины. . . . .	511
8.7.1.	Витамин А . . . . .	511
8.7.1.1.	Структура и основные свойства. . . . .	511
8.7.1.2.	Стабильность витамина А и процессы его разложения . . . . .	514
8.7.1.3.	Биодоступность. . . . .	516
8.7.1.4.	Методы анализа . . . . .	517
8.7.2.	Витамин D . . . . .	517
8.7.2.1.	Строение и основные свойства . . . . .	517
8.7.2.2.	Методы анализа . . . . .	517
8.7.3.	Витамин E . . . . .	518
8.7.3.1.	Строение и основные свойства . . . . .	518
8.7.3.2.	Стабильность витамина E и механизм его разложения . . . . .	519
8.7.3.3.	Биодоступность. . . . .	522
8.7.3.4.	Методы анализа . . . . .	522
8.7.4.	Витамин K . . . . .	522
8.7.4.1.	Структура и основные свойства. . . . .	522
8.7.4.2.	Методы анализа . . . . .	522
8.8.	Водорастворимые витамины . . . . .	523
8.8.1.	Аскорбиновая кислота. . . . .	523
8.8.1.1.	Структура и основные свойства. . . . .	523
8.8.1.2.	Стабильность витамина C и процессы его разложения . . . . .	524
8.8.1.3.	Функции аскорбиновой кислоты в пищевых продуктах. . . . .	529
8.8.1.4.	Усвояемость. . . . .	530
8.8.1.5.	Методы анализа . . . . .	530

8.8.2.	Тиамин	531
8.8.2.1.	Структура и общие свойства	531
8.8.2.2.	Стабильность тиамина и процессы разложения	532
8.8.2.3.	Усвояемость	535
8.8.2.4.	Методы анализа	535
8.8.3.	Рибофлавин	536
8.8.3.1.	Структура и общие свойства	536
8.8.3.2.	Стабильность и процессы разложения	537
8.8.3.3.	Биодоступность	538
8.8.3.4.	Методы анализа	538
8.8.4.	Ниацин	538
8.8.4.1.	Строение и основные свойства	538
8.8.4.2.	Усвояемость	539
8.8.4.3.	Методы анализа	539
8.8.5.	Витамин В <sub>6</sub>	539
8.8.5.1.	Структура и основные свойства	539
8.8.5.2.	Стабильность и процессы разложения	542
8.8.5.3.	Усвояемость витамина В <sub>6</sub>	546
8.8.5.4.	Определение содержания витамина В <sub>6</sub>	546
8.8.6.	Фолат	547
8.8.6.1.	Структура и основные свойства	547
8.8.6.2.	Стабильность и процессы разложения	549
8.8.6.3.	Усвояемость фолатов	553
8.8.6.4.	Методы анализа	553
8.8.7.	Биотин	554
8.8.7.1.	Структура и основные свойства	554
8.8.7.2.	Стабильность	555
8.8.7.2.	Усвояемость	555
8.8.7.3.	Методы анализа	556
8.8.8.	Пантотеновая кислота	556
8.8.8.1.	Структура и основные свойства	556
8.8.8.2.	Стабильность и процессы разложения	557
8.8.8.3.	Методы анализа	557
8.8.8.4.	Усвояемость	557
8.8.9.	Витамин В <sub>12</sub>	557
8.8.9.1.	Структура и основные свойства	557
8.8.9.2.	Стабильность и процессы разложения	558
8.8.9.3.	Усвояемость	559
8.8.9.4.	Методы анализа	559
8.9.	Условно эссенциальные витаминоподобные соединения	560
8.9.1.	Холин и бетаин	560
8.9.2.	Карнитин	560
8.9.3.	Пирролохинолин хинон	561
8.9.4.	Кофермент Q <sub>10</sub>	561
8.10.	Сохранность витаминов в пищевых продуктах	561
8.10.1.	Оптимизация режимов тепловой обработки	562
8.10.2.	Прогнозирование потерь витаминов	562
8.10.3.	Влияние упаковки	563
8.11.	Резюме	563
	Литература	563
	Дополнительная литература	568



## 9. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Деннис Д. Миллер (*Dennis D. Miller*)

Перевод д-ра хим. наук С. В. Макарова под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Л. Н. Шатнюк

### Содержание

9.1.	Введение . . . . .	570
9.2.	Основные принципы химии минеральных веществ . . . . .	571
9.2.1.	Растворимость минеральных веществ в воде . . . . .	571
9.2.2.	Минеральные вещества и химия кислот и оснований . . . . .	571
9.2.2.1.	Теория кислот и оснований Бренстеда . . . . .	571
9.2.2.2.	Теория кислот и оснований Льюиса . . . . .	572
9.2.3.	Хелаты . . . . .	573
9.3.	Минеральные вещества в питании . . . . .	575
9.3.1.	Эссенциальные минеральные элементы . . . . .	575
9.3.2.	Рекомендации (США и Канада) по потреблению минеральных компонентов пищи . . . . .	575
9.3.3.	Усвояемость минеральных элементов . . . . .	578
9.3.3.1.	Факторы повышения биоусвояемости . . . . .	579
9.3.3.2.	Факторы снижения биоусвояемости . . . . .	581
9.3.4.	Эссенциальные минеральные вещества в питании. Общие сведения . . . . .	582
9.3.5.	Отдельные минеральные вещества в питании . . . . .	583
9.3.5.1.	Кальций . . . . .	584
9.3.5.2.	Фосфор . . . . .	585
9.3.5.3.	Натрий, калий и хлор . . . . .	585
9.3.5.4.	Железо . . . . .	587
9.3.5.5.	Цинк . . . . .	588
9.3.5.6.	Йод . . . . .	589
9.3.5.7.	Селен . . . . .	590
9.3.6.	Токсикология тяжелых металлов, присутствующих в пище . . . . .	591
9.3.6.1.	Свинец . . . . .	592
9.3.6.2.	Ртуть . . . . .	593
9.3.6.3.	Кадмий . . . . .	594
9.4.	Минеральный состав пищевых продуктов . . . . .	594
9.4.1.	Зола. Определение и значение зольности в анализе пищевых продуктов . . . . .	594
9.4.2.	Отдельные минеральные вещества . . . . .	595
9.4.3.	Факторы, влияющие на минеральный состав пищевых продуктов . . . . .	595
9.4.3.1.	Факторы, влияющие на минеральный состав пищевых продуктов растительного происхождения . . . . .	595
9.4.3.2.	Значение растительной пищи для удовлетворения потребности человека в минеральных веществах . . . . .	597
9.4.3.3.	Факторы, влияющие на минеральный состав пищевых продуктов животного происхождения . . . . .	597
9.4.3.4.	Значение животной пищи для удовлетворения потребности человека в минеральных веществах . . . . .	598
9.4.4.	Обогащение пищевых продуктов минеральными веществами . . . . .	598
9.4.4.1.	Железо . . . . .	598

9.4.4.2.	Цинк	601
9.4.4.3.	Йод	601
9.4.5.	Технологические аспекты	601
9.5.	Химические и функциональные свойства минеральных веществ в пищевых продуктах	602
9.5.1.	Кальций	604
9.5.2.	Фосфаты	604
9.5.3.	Хлорид натрия	605
9.5.4.	Железо	605
9.5.5.	Никель	606
9.5.6.	Медь	606
9.6.	Заключение, основные положения и термины	606
	Литература	609

# 10. КРАСЯЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Стивен Дж. Шварц (*Steven J. Schwartz*), Иоахим Г. фон Эльбе (*Joachim H. von Elbe*),  
М. Моника Жюсти (*M. Monica Giusti*)  
Перевод И. С. Горожанкиной под науч. ред. д-ра биол. наук В. В. Бессонова

## Оглавление

10.1. Введение . . . . .	616
10.2. Пигменты в растительных и животных тканях . . . . .	617
10.2.1. Гемовые соединения . . . . .	617
10.2.1.1. Мио- и гемоглобин . . . . .	618
10.2.1.2. Пигменты посоленного мяса . . . . .	621
10.2.1.3. Стабильность пигментов мяса . . . . .	622
10.2.1.4. Роль упаковки . . . . .	623
10.2.2. Хлорофилл . . . . .	623
10.2.2.1. Структура хлорофиллов и их производных . . . . .	623
10.2.2.2. Физические характеристики . . . . .	625
10.2.2.3. Модификации хлорофилла . . . . .	626
10.2.2.4. Обесцвечивание в ходе тепловой обработки . . . . .	631
10.2.2.5. Способы сохранения цвета . . . . .	632
10.2.3. Каротиноиды . . . . .	634
10.2.3.1. Структура каротиноидов . . . . .	635
10.2.3.2. Распространенность . . . . .	637
10.2.3.3. Физические свойства, экстракция и анализ . . . . .	638
10.2.3.4. Химические свойства . . . . .	639
10.2.3.5. Стабильность в ходе переработки . . . . .	641
10.2.4. Антоцианы и прочие фенольные соединения . . . . .	641
10.2.4.1. Антоцианы . . . . .	641
10.2.4.2. Прочие флавоноиды . . . . .	651
10.2.4.3. Хиноиды и ксантоны . . . . .	654
10.2.5. Беталаины . . . . .	654
10.2.5.1. Структура . . . . .	654
10.2.5.2. Физические свойства . . . . .	656
10.2.5.3. Химические свойства . . . . .	656
10.3. Пищевые красители . . . . .	659
10.3.1. Нормативные аспекты . . . . .	659
10.3.1.1. США . . . . .	659
10.3.1.2. Международные нормативные акты . . . . .	662
10.3.2. Свойства сертифицированных красителей . . . . .	663
10.3.3. Применение сертифицированных пищевых красителей . . . . .	666
10.3.4. Красители, не подлежащие сертификации . . . . .	667
10.3.5. Использование красителей, не требующих сертификации . . . . .	669
Литература . . . . .	670
Дополнительная литература . . . . .	678

# 11. ВКУСОАРОМАТИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

Роберт Линдсей (*Robert C. Lindsay*)

Перевод И. С. Горожанкиной под науч. ред. д-ра хим. наук, проф. К. И. Эллера

## Содержание

11.1. Введение . . . . .	680
11.1.1. Общая концепция . . . . .	680
11.1.2. Методы анализа вкусоароматических соединений . . . . .	681
11.1.3. Органолептическая оценка ароматов . . . . .	682
11.1.4. Молекулярные механизмы восприятия вкуса и аромата . . . . .	682
11.2. Вкусовые и вкусообразующие вещества . . . . .	684
11.2.1. Сладкие вещества . . . . .	684
11.2.2. Горькие вещества . . . . .	685
11.2.3. Солёные вещества . . . . .	690
11.2.4. Кислые вещества . . . . .	691
11.2.5. Вещества со вкусом умами . . . . .	691
11.2.6. Вещества со вкусом кокуми и прочие модификаторы вкуса . . . . .	692
11.2.7. Жгучие вещества . . . . .	694
11.2.8. Вещества освежающего действия . . . . .	695
11.2.9. Вяжущие вещества . . . . .	695
11.3. Вкусоароматические вещества плодов, овощей и специй . . . . .	696
11.3.1. Серосодержащие летучие вещества в растениях рода луковых . . . . .	696
11.3.2. Серосодержащие летучие вещества растений семейства крестоцветных . . . . .	698
11.3.3. Уникальное серосодержащее соединение в грибах шиитаке . . . . .	698
11.3.4. Метокси-алкилпиразиновые летучие соединения овощей . . . . .	699
11.3.5. Ферментативно образующиеся летучие соединения жирных кислот . . . . .	699
11.3.5.1. Ароматические соединения растений, образовавшиеся в результате действия липоксигеназы . . . . .	700
11.3.5.2. $\beta$ -окисление высокомолекулярных жирных кислот с образованием летучих соединений . . . . .	700
11.3.6. Летучие вещества из аминокислот с разветвленной цепью . . . . .	701
11.3.7. Ароматические вещества, образующиеся по метаболическому пути шикимовой кислоты . . . . .	701
11.3.8. Роль летучих терпеноидов в формировании вкуса и аромата . . . . .	702
11.3.9. Ароматические соединения цитрусовых . . . . .	703
11.3.11. Вкусоароматические вещества трав и специй . . . . .	704
11.4. Вкусоароматические продукты молочнокислого и спиртового брожения . . . . .	706
11.5. Ароматические летучие вещества жиров и масел . . . . .	707
11.5.1. Вкусоароматические вещества, образующиеся при гидролизе жиров и масел . . . . .	708
11.5.2. Характерные вкусоароматические продукты расщепления высокомолекулярных ПНЖК . . . . .	708
11.6. Ароматические летучие соединения молока и мясных продуктов . . . . .	709
11.6.1. Видоспецифичные ароматические соединения мяса и молока жвачных животных . . . . .	710
11.6.2. Видоспецифичные ароматические соединения мяса нежвачных животных . . . . .	710
11.6.3. Летучие соединения в рыбо- и морепродуктах . . . . .	712

11.7. Образование ароматических летучих соединений при химических реакциях в ходе переработки	713
11.7.1. Вкусоароматические вещества тепловой обработки	714
11.7.2. Образование летучих соединений при окислительном расщеплении каротиноидов	717
11.8. Перспективы химии и технологии вкусоароматических соединений.	718
Литература	719
Дополнительная литература	722

## 12. ПИЩЕВЫЕ ДОБАВКИ

Роберт К. Линдсей (*Robert C. Lindsay*)

Перевод И. С. Горожанкиной под науч. ред. канд. биол. наук Г. Н. Шатрова

### Содержание

12.1. Введение . . . . .	724
12.2. Кислоты . . . . .	725
12.2.1. Общие свойства . . . . .	725
12.2.2. Системы химического разрыхления теста . . . . .	726
12.3. Основания . . . . .	730
12.4. Буферные системы и соли . . . . .	731
12.4.1. Буферные системы и регулирование рН пищевых продуктов . . . . .	731
12.4.2. Соли в продуктах переработки молока . . . . .	733
12.4.3. Фосфаты и связывание воды в животных тканях . . . . .	733
12.5. Комплексообразователи . . . . .	734
12.6. Антиоксиданты . . . . .	736
12.7. Противомикробные вещества . . . . .	738
12.7.1. Сульфиты и диоксид серы . . . . .	738
12.7.2. Соли азотной и азотистой кислот . . . . .	741
12.7.3. Уксусная кислота . . . . .	741
12.7.4. Пропионовая кислота . . . . .	741
12.7.5. Сорбиновая кислота и другие кислоты со средней длиной цепи . . . . .	742
12.7.6. Глицерилловые эфиры . . . . .	744
12.7.7. Аргинат лауриновой кислоты . . . . .	744
12.7.8. Натамицин . . . . .	745
12.7.9. Бензойная кислота . . . . .	745
12.7.10. Парабены . . . . .	746
12.7.12. Эпоксиды . . . . .	747
12.7.12. Антибиотики . . . . .	748
12.7.13. Диэтилпиракарбонат . . . . .	748
12.8. Интенсивные низкокалорийные подсластители . . . . .	749
12.8.1. Сульфоамиды — цикламат, сахарин и ацесульфам К . . . . .	750
12.8.2. Пептиды — аспартам, неотам и алитам . . . . .	751
12.8.3. Хлорсахариды. Сукралоза . . . . .	753
12.8.4. Прочие интенсивные низкокалорийные подсластители . . . . .	754
12.9. Полиолы как подсластители, загустители и эмульгаторы . . . . .	756
12.10. Стабилизаторы и загустители . . . . .	759
12.12. Заменители жира . . . . .	760
12.12.1. Углеводные имитаторы жира . . . . .	760
12.12.2. Белковые имитаторы жира . . . . .	761
12.12.3. Синтетические триацилглицерины пониженной калорийности . . . . .	761
12.12.4. Синтетические заменители жира . . . . .	762
12.12.4.1. Полидекстроза . . . . .	762
12.12.4.2. Полиэфиры сахарозы . . . . .	763
12.12. Вещества, улучшающие жевательные свойства . . . . .	763

12.13. Вещества, повышающие твердость изделий . . . . .	764
12.14. Внешний вид изделий и осветлители . . . . .	765
12.15. Отбеливатели муки и хлебопекарные улучшители . . . . .	768
12.16. Антислеживатели . . . . .	770
12.17. Газы и пропелленты . . . . .	770
12.17.1. Защита от кислорода . . . . .	770
12.17.2. Карбонизация . . . . .	771
12.17.3. Пропелленты . . . . .	771
12.18. Сводная таблица добавок . . . . .	772
Литература . . . . .	781
Дополнительная литература . . . . .	783

---

# 13. БИОАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА. НУТРИЦЕВТИКИ И ТОКСИЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Хань Сяо (*Hang Xiao*), Чи-Тань Хо (*Chi-Tang Ho*)

Перевод Т. О. Зверевич под науч. ред. акад. РАМ, проф. В. А. Тутельяна

## Оглавление

13.1. Научные аспекты использования биологически активных веществ . . . . .	785
13.2. Полезные для здоровья вещества растительного происхождения . . . . .	786
13.2.1. Каротиноиды . . . . .	786
13.2.2. Флавоноиды . . . . .	788
13.2.3. Проантоцианидины . . . . .	792
13.2.4. Прочие полифенольные соединения . . . . .	792
13.2.5. Серосодержащие биоактивные вещества растений семейства луковых . . . . .	795
13.2.6. Изотиоцианаты и индолы . . . . .	796
13.3. Общие механизмы защитного действия соединений растительного происхождения . . . . .	797
13.4. Взаимодействия между биологически активными веществами . . . . .	800
13.5. Биодоступность нутрицевтиков . . . . .	801
13.6. Биологически активные добавки к пище (БАД) растительного происхождения . . . . .	802
13.7. Способы экстракции биоактивных веществ из растительного сырья . . . . .	804
13.8. Нутрицевтики, образующиеся при переработке пищевых продуктов . . . . .	806
13.9. Вредные компоненты пищевых продуктов . . . . .	807
13.10. Токсиканты пищевых продуктов, образующиеся при переработке . . . . .	812
Литература . . . . .	814



# 14. СВОЙСТВА МОЛОКА:

Дэвид С. Хоум (*David S. Home*)

Перевод Д. К. Рапопорта

## Содержание

14.1.	Введение . . . . .	822
14.1.1.	Цифры и факты . . . . .	822
14.2.	Стадии лактации, эволюция и синтез молока . . . . .	824
14.2.1.	Биосинтез молока . . . . .	825
14.3.	Состав коровьего молока . . . . .	827
14.3.1.	Молочные белки . . . . .	827
14.3.1.1.	Казеины и казеиновые мицеллы . . . . .	828
14.3.1.2.	Структура казеинов и их взаимодействия . . . . .	829
14.3.1.3.	Структура и сборка казеиновых мицелл . . . . .	830
14.3.1.4.	Сывороточные белки . . . . .	833
14.3.2.	Липиды молока и глобулы молочного жира . . . . .	835
14.3.2.1.	Липиды молока . . . . .	835
14.3.2.2.	Мембрана глобул молочного жира . . . . .	838
14.3.2.3.	Состав мембран глобул молочного жира . . . . .	838
14.3.2.4.	Структура МГМЖ . . . . .	840
14.3.3.	Соли и минеральные вещества молока, лактоза и минорные ферменты . . . . .	841
14.3.3.1.	Соли и минеральные вещества . . . . .	841
14.3.3.2.	Лактоза . . . . .	842
14.3.3.3.	Ферменты . . . . .	842
14.4.	Промышленно выпускаемые молочные продукты . . . . .	844
14.4.1.	Введение . . . . .	844
14.4.2.	Питьевое молоко . . . . .	845
14.4.2.1.	Пастеризация . . . . .	845
14.4.2.2.	Влияние тепловой обработки . . . . .	846
14.4.3.	Кисломолочные продукты . . . . .	848
14.4.4.	Сыр . . . . .	848
14.4.5.	Сливочное масло . . . . .	850
14.4.6.	Сгущенное и сухое молоко . . . . .	850
14.4.7.	Технологии мембранного разделения . . . . .	851
14.5.	Молочные белки как функциональные ингредиенты . . . . .	852
14.5.1.	Биоактивные пептиды молочных белков . . . . .	855
14.5.1.1.	Пептиды, образующиеся из казеинов . . . . .	856
14.5.1.2.	Пептиды-производные сывороточных белков . . . . .	857
14.6.	Питательные свойства молока . . . . .	857
14.6.1.	Непереносимость лактозы . . . . .	860
Литература	. . . . .	862
Дополнительная литература	. . . . .	866

# 15. ФИЗИОЛОГИЯ И ХИМИЯ СЪЕДОБНЫХ МЫШЕЧНЫХ ТКАНЕЙ

Гэйл Страсбург (*Gale Strasburg*), Ю Инь (*You Iing*), Л. Сюнь (*L. Xiong*)  
Перевод Д. К. Рапопорта под науч. ред. канд. фарм. наук О. И. Передеряева

## Содержание

15.1.	Введение . . . . .	868
15.2.	Пищевая ценность . . . . .	868
15.2.1.	Резюме . . . . .	872
15.3.	Структура и функции мышечных тканей . . . . .	872
15.3.1.	Структура скелетных мышц . . . . .	872
15.3.2.	Структура сердечной мышцы . . . . .	876
15.3.3.	Структура гладкой мышечной ткани . . . . .	876
15.3.4.	Мышечные белки . . . . .	877
15.3.4.1.	Белки соединительной ткани и внеклеточного матрикса . . . . .	877
15.3.4.2.	Саркоплазматические белки . . . . .	881
15.3.4.3.	Сократительные белки . . . . .	884
15.3.4.4.	Регуляторные белки . . . . .	887
15.3.4.5.	Структурные белки . . . . .	888
15.3.4.6.	Белки саркоплазматического ретикулума и сарколеммы . . . . .	892
15.3.5.	Механизм «возбуждение — сокращение» . . . . .	893
15.3.6.	Типы мышечной ткани . . . . .	895
15.3.7.	Резюме . . . . .	895
15.4.	Превращение «мышечной ткани» в «мясо» . . . . .	897
15.4.1.	Посмертное разрушение мышечных белков . . . . .	898
15.4.2.	Резюме . . . . .	899
15.5.	Влияние на качество мяса посмертных биохимических изменений . . . . .	901
15.5.1.	Бледное, мягкое и водянистое мясо ( <i>PSE</i> ) . . . . .	901
15.5.2.	Темное, жесткое и сухое мясо ( <i>DFD</i> ) . . . . .	902
15.5.3.	Холодовое сокращение . . . . .	903
15.5.4.	Окоченение при размораживании мяса . . . . .	904
15.5.5.	Электростимуляция . . . . .	905
15.5.6.	Резюме . . . . .	905
15.6.	Химические изменения в мясе при консервировании . . . . .	906
15.6.1.	Охлаждение и холодильное хранение . . . . .	906
15.6.2.	Замораживание . . . . .	906
15.6.3.	Обработка под высоким давлением . . . . .	907
15.6.4.	Обработка облучением . . . . .	908
15.6.5.	Резюме . . . . .	909
15.7.	Химические изменения в переработанных мясных продуктах . . . . .	909
15.7.1.	Посол . . . . .	910
15.7.2.	Гидратирование и удерживание влаги . . . . .	911
15.7.3.	Образование белкового гелевого матрикса . . . . .	912
15.7.4.	Иммобилизация и стабилизация жира . . . . .	914
15.7.5.	Реструктуризация мяса . . . . .	916
15.7.6.	Химия сурими . . . . .	917
15.7.7.	Резюме . . . . .	917
	Контрольные вопросы и задания . . . . .	918
	Литература . . . . .	918

# 16. ФИЗИОЛОГИЯ СЪЕДОБНЫХ ТКАНЕЙ РАСТЕНИЙ ПОСЛЕ СБОРА УРОЖАЯ

Кристофер Б. Уоткинз (*Christopher B. Watkins*)  
Перевод Д. Зуева

## Содержание

16.1.	Введение . . . . .	925
16.2.	Качество и физиология плодов после сбора урожая . . . . .	927
16.3.	Физиология и морфология съедобных частей растений . . . . .	928
16.3.1.	Морфология съедобных частей растений . . . . .	928
16.3.2.	Физиологическая стадия развития на момент сбора урожая . . . . .	929
16.3.3.	Процессы созревания и увядания . . . . .	931
16.3.4.	Влияние условий выращивания . . . . .	932
16.4.	Основные метаболические пути . . . . .	933
16.5.	Гормоны растений . . . . .	938
16.5.1.	Этилен . . . . .	939
16.5.1.1.	Биосинтез этилена . . . . .	939
16.5.1.2.	Климактерические и неклимактерические плоды . . . . .	940
16.5.2.	Ауксины . . . . .	943
16.5.3.	Гиббереллины . . . . .	943
16.5.4.	Абсцизовая кислота . . . . .	943
16.5.5.	Цитокины . . . . .	943
16.5.6.	Прочие гормоны . . . . .	944
16.5.6.1.	Полиамины . . . . .	944
16.5.6.2.	Оксид азота . . . . .	944
16.5.6.3.	Жасмоновая кислота, брассиностероиды и салициловая кислота . . . . .	944
16.6.	Состав растительных тканей и клеток . . . . .	945
16.6.1.	Вода . . . . .	945
16.6.2.	Углеводы . . . . .	945
16.6.2.1.	Структурные углеводы . . . . .	946
16.6.2.2.	Растворимые углеводы . . . . .	948
16.6.2.3.	Резервные углеводы . . . . .	949
16.6.3.	Органические кислоты . . . . .	951
16.6.4.	Фенольные соединения . . . . .	953
16.6.5.	Белки и аминокислоты . . . . .	954
16.6.6.	Липиды . . . . .	955
16.6.7.	Пигменты . . . . .	957
16.6.8.	Летучие органические соединения . . . . .	958
16.6.9.	Витамины и другие полезные вещества . . . . .	959
16.6.9.1.	Аскорбиновая кислота (аскорбат, витамин С) . . . . .	960
16.6.9.2.	Витамин А . . . . .	961
16.6.9.3.	Прочие антиоксиданты . . . . .	961
16.6.9.4.	Серосодержащие соединения . . . . .	961
16.7.	Способы сбора, хранения и транспортировки урожая . . . . .	961
16.7.1.	Температура хранения . . . . .	961
16.7.2.	Относительная влажность . . . . .	966

16.7.3.	Хранение в модифицированной и регулируемой газовой среде . . . . .	966
16.7.4.	Съедобные покрытия . . . . .	969
16.7.5.	Этилен . . . . .	972
16.7.5.1.	Предотвращение негативного действия этилена . . . . .	973
16.7.5.2.	Адсорбция, окисление и каталитическое разложение этилена . . . . .	974
16.7.5.3.	Ингибиторы действия этилена . . . . .	974
16.7.6.	Тепловая обработка . . . . .	975
16.7.7.	Обработка ионизирующим излучением. . . . .	976
16.7.8.	Прочие виды обработки . . . . .	977
16.8.	Трансгенные растения . . . . .	977
16.8.1.	Генетически модифицированные организмы . . . . .	977
16.8.2.	Продукты с повышенной пищевой ценностью. . . . .	978
16.8.3.	Модификация процессов созревания и старения . . . . .	979
16.9.	Хранение продуктов растительного происхождения . . . . .	979
16.9.1.	Зерна, орехи и семена . . . . .	979
16.9.2.	Цельные овощи и фрукты. . . . .	979
16.9.3.	Свеженарезанные овощи и фрукты (минимально обработанные) . . . . .	980
	Резюме . . . . .	982
	Литература . . . . .	982

# ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Общеизвестно, что здоровье человека в существенной степени зависит от характера питания. Нарушения питания являются одним из важнейших факторов развития целого ряда социально-значимых заболеваний, таких как заболевания сердечно-сосудистой системы, ожирение, сахарный диабет, онкологические заболевания и т. п., приводящие к преждевременной инвалидизации и сокращению ожидаемой продолжительности жизни. В случае же детей, особенно раннего возраста, правильное питание — это вопрос жизни и смерти, здоровья или нездоровья на всю оставшуюся жизнь.

Вместе с тем фактор питания является также наиболее мощным и эффективным рычагом сохранения и улучшения здоровья, увеличения продолжительности жизни, ее активного периода, повышения работоспособности. Именно поэтому вопросы здорового питания как важнейшего фактора формирования здорового образа жизни и профилактики неинфекционных заболеваний находится в центре внимания не только медицинской общественности, но и государства.

Вопросы обеспечения здорового питания поставлены в Московской декларации, принятой по итогам работы «Первой глобальной министерской конференции по здоровому образу жизни и неинфекционным заболеваниям» (28–29 апреля 2011 г., г. Москва), а также в «Политической декларации совещания высокого уровня Генеральной Ассамблеи ООН по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними» (A/RES/66/2, 24 января 2011 г.). В одном из первых Указов Президента РФ В. В. Путина (№ 598 от 07 мая 2012 г., «О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения») в качестве первоочередных задач Правительству РФ поручено обеспечить «реализацию мероприятий по формированию здорового образа жизни граждан Российской Федерации, включая популяризацию культуры здорового питания...», а также утвердить «план мероприятий по реализации Основ государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года».

В настоящее время интенсивное использование благ цивилизации в экономически развитых странах привело к существенному снижению энергозатрат населения: в эволюционном плане человек обогнал природу, резко снизив свои потребности в энергии, при этом сохранив прежнюю потребность в микронутриентах. Это означает, что рацион современного человека должен состоять из пищевых продуктов со сниженной энергетической ценностью, но повышенной пищевой плотностью, то есть на единицу калорийности должно приходиться максимально возможное количество необходимых нутриентов, в том числе и микронутриентов. Только в таких условиях возможно выдержать необходимый баланс и удовлетворить физиологические потребности человека в жизненно важных пищевых и биологически активных веществах. Этого можно достичь, изменяя химический состав продовольственного сырья (например, за счет селекции или генетической модификации), но, как представляется, в настоящее время наиболее эффективный путь — это технологическая модификация во время производства, то есть получение пищевого продукта заданного химического состава.

В основе развития таких технологий XXI века должно быть четкое представление об исходном химическом составе продовольственного сырья и пищевых продуктов со всеми его вариациями, возникающими из-за видовых, сортовых, региональных различий, особенностей условий окружающей среды, применяемых технологий и пр.

Без знаний химического состава пищевых продуктов невозможно правильно оценить соответствие рациона физиологическим потребностям человека, оценить состояние его пищевого статуса. Особенно важно иметь данные о химическом составе пищевых продуктов для больных людей, в том числе страдающих генетически обусловленными заболеваниями, когда направленными изменениями в химическом составе пищевых продуктов можно сделать их жизнь полноценной (например, использование при фенилкетонурии пищевых продуктов, не содержащих фенилаланин).

Работа по изучению химического состава пищевых продуктов должна проводиться непрерывно и не может быть когда-либо завершена. Химический состав — это постоянно меняющаяся величина, и всего за 5–10 лет благодаря развитию технологий существенно меняется ассортимент пищевых продуктов. Одновременно с изменениями в пищевой промышленности совершенствуется и приборная база, открываются

новые возможности для более точной оценки химического состава. Все это требует проведения новых систематических исследований, создания и обновления необходимых баз данных о химическом составе пищевых продуктов.

Именно этому посвящена книга «Химия пищевых продуктов», в которой системно изложены все современные научные представления о том, из чего состоят пищевые продукты и какие изменения в них происходят в процессе производства, технологической обработки и приготовления.

Книга представляет значительный интерес как для медицинских работников, гигиенистов, специалистов в области питания здорового и больного человека, так и для специалистов, занятых в различных областях агропромышленного комплекса, начиная от производителей сельскохозяйственного сырья и селекционеров до технологов пищевой промышленности, специалистов общественного питания. Знания химического состава пищевых продуктов необходимы как для организации питания в организованных коллективах (детские сады, школы, лечебные учреждения и пр.), так и при составлении индивидуальных рационов.

Несомненно, что предлагаемый читателю перевод на русский язык всемирно известной «Химии пищевых продуктов Феннема» должен стать настольной книгой не только ученых, химиков и технологов пищевых производств, но и специалистов-диетологов лечебно-профилактических учреждений, где персонализированное питание больного является неотъемлемой частью лечения. Книга также будет интересна всем людям, интересующимся современными достижениями в области пищевой химии и следящим за своим питанием.

Научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи»  
академик РАН В. А. Тутельян

## ПРЕДИСЛОВИЕ К 5-МУ АМЕРИКАНСКОМУ ИЗДАНИЮ

Поздравляем вас с выходом в свет 5-го издания Химии пищевых продуктов Феннема. 11-лет после появления 4-го издания неизбежно привели к изменению в составе авторов отдельных глав и составителей этой книги, а также к необходимости отражения последних достижений науки и техники. Новыми авторами были полностью переработаны главы «Вода и лед», «Пищевые красители», «Биоактивные вещества: нутрицевтики и токсиканты», «Свойства молока», а также «Физиология съедобных растительных тканей после сбора урожая». Мы решили отказаться в новом издании от глав «Физические и химические взаимодействия компонентов пищевых систем» и «Влияние биотехнологий на качество и поставки продовольствия». Вместе с тем, ряд материалов остался без изменения — так, несмотря на все наши усилия по поиску нового автора, д-р Роберт Линдсей остался единственным автором главы по пищевым добавкам во всех пяти изданиях этой книги (правда, в первом издании у нее было иное название) и глав по вкусоароматическим веществам (в изданиях со второго по пятое). Мы очень благодарны всем авторам-составителям этого 5-го издания за их серьезный и ответственный подход к подготовке соответствующих глав и разделов вплоть до полного переписывания устаревших текстов. Все это позволило существенно «осовременить» новое издание.

Многим читателям наверняка известно, что в августе 2012 г д-р Оуэн Феннема закончил свой жизненный путь. Как говорил сэр Исаак Ньютон, «если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов». Всем мы, кому посчастливилось близко знать Оуэна, можем сказать, что он подставил нам свои плечи, чтобы мы могли видеть дальше. Он был нам примером настоящего ученого, профессионала и человека. Мы посвящаем это 5-е издание его памяти и поэтому знакомим вас со следующими двумя документами.

*Шринивасан Дамодаран, Кирк Л. Патрик  
г. Мэдисон, штат Висконсин, США*

### Памяти почетного профессора Университета Висконсин-Мэдисон Оуэна Р. Феннема

В среду 1-го августа 2012 г. в возрасте 83 лет в кругу своей семьи после тяжелой и продолжительной болезни скончался почетный профессор Университета Висконсин-Мэдисон Оуэн Р. Феннема (*Owen Fennema*).

Родился он 23 января 1929 г. в г. Хинсдейл, штат Иллинойс, в семье владельцев молочной фермы Николаса и Ферн Феннема. В 1946 г. он закончил среднюю школу в Уинфилде (штат Канзас). В школе Оуэн познакомился со своей будущей женой Элизабет (в девичестве Хаммер) — свадьба состоялась 22 августа 1948 г.

Поступив в Канзасский университет, Оуэн в 1950 г. получил степень бакалавра по специализации «молочная промышленность», а в 1951 г. — степень магистра в университете Висконсин-Мэдисон. В 1951–1953 г. Оуэн проходил службу в армии (в Форт Худ) в чине младшего лейтенанта. В 1953 г. вместе с женой Элизабет он переехал в Миннеаполис, штат Миннесота, где Оуэн получил работу в научно-исследовательском отделе компании Пиллсбери. В 1957 г. они переехали в Мэдисон, где Оуэн закончил аспирантуру, получив в 1960 г. степень доктора философии по специализации «Пищевая и молочная промышленность (биохимия)».

В том же году Оуэн Феннема получил должность старшего преподавателя по курсу химии пищевых продуктов, в 1964 г. он стал доцентом, а в 1969 г. — профессором. В 1977–1981 г. Оуэн занимал должность декана факультета. До своего выхода на пенсию в 1996 г. он работал профессором в университете Висконсин-Мэдисон. За все это время Оуэн достиг огромных успехов, причем как на факультете пищевых наук сельскохозяйственного колледжа, так и в международном масштабе, став признанной величиной в своей профессиональной области.

Что касается науки, то проф. Феннема со своим коллективом занимался самыми передовыми областями, прежде всего низкотемпературной биологией пищевых продуктов, моделированием пищевых систем и съедобными пленками. Он придерживался холистического подхода к физико-химическим и биологическим свойствам пищевых систем, влияющим на качественные показатели пищевых продуктов. Можно отметить его фундаментальные открытия в области комплексных взаимодействий при фазовых изменениях, а также в области биохимических реакций и транспортировки растворенных веществ в пищевых системах, многие из которых до сих пор учитываются профессиональным сообществом. Основным направлением в научной деятельности проф. Феннема были природа, роль и контроль взаимодействий воды и льда в пищевых продуктах, и результаты этих исследований отражены в нескольких сотнях публикаций. Под руководством Оуэна было защищено более 60 диссертаций. Профессор Оуэн Феннема был удостоен многочисленных наград и титулов различных американских и международных организаций.

Как преподаватель проф. Феннема пользовался заслуженной любовью студентов. Он славился тщательной организацией учебного процесса, а его лекции были всегда просты для понимания. Основное внимание он уделял прояснению базовых принципов, приводя многочисленные примеры (которые он постоянно обновлял), тем самым помогая студентам «почувствовать» реальное состояние дел. Оуэн на самом деле переживал за своих студентов, поощрял вопросы с их стороны и зачастую после лекций занимался с ними дополнительно.

Студенты ценили Оуэна как своего «защитника» и очень уважали его за участие в процессе обучения. На самом пике его карьеры Оуэна очень ценили за создание учебных пособий по пищевой промышленности, в том числе и этой книги, известной как «Химия пищевых продуктов Феннема», которая уже 4 раза переиздавалась и была опубликована на разных языках. Этот труд Феннема считал главным своим достижением как преподавателя. Коллеги и студенты наградили Оуэна самыми разными эпитетами, в том числе «феноменальный наставник», «титан в своей области» и «отец науки о пищевых продуктах»; Феннема дал дорогу в профессию очень многим специалистам, ставшим сегодня лидерами в своих областях, получив многочисленные награды и премии как преподаватель.

Оуэн Феннема состоял в многочисленных профессиональных комитетах и комиссиях, в том числе в Американском химическом обществе, в Совете по сельскохозяйственным наукам и технологиям, а также в Институте технологов пищевой промышленности (*Institute of Food Technologists, IFT*), в котором он работал в самом разном качестве, в том числе казначея (1994–1999 гг.) и президента (1982–1983 гг.). Оуэн был также главным редактором специализированных научных журналов IFT (1999–2003 гг.) — ему удалось преодолеть снижение их качества и тиражей, выведя журналы на новый современный уровень. Работая в нескольких Национальных консультативных комитетах, Оуэн был удостоен особой награды Директора FDA США (2000 г.).

Можно сказать, что с учетом его вклада в мировую науку о пищевых продуктах Оуэн Феннема был «гражданином мира» — нельзя не отметить его работу в Международном Союзе специалистов и технологов пищевой промышленности (*International Union of Food Science and Technology, IUFoST*), под эгидой которого он читал лекции в разных странах. С 1999 по 2001 гг. Оуэн стал первым президентом Международной академии пищевых наук и технологий (*International Academy of Food Science and Technology*). Оуэн по праву заслужил всемирное признание, повлияв на судьбы и учебные планы многих институтов. Он был человеком без предрассудков, о чем свидетельствует тот факт, что Оуэн стал первым американским ученым, приглашенным в ЮАР и выступавшим перед многочисленными негритянскими аудиториями. Несмотря на многочисленные награды, профессор Феннема оставался очень скромным, заботливым и терпеливым человеком. Из-за его занятости студентам и коллегам зачастую приходилось ловить Оуэна буквально «на бегу», иногда прямо во время его пробежек и прогулок по студенческому кампусу. Мало кому удавалось выдержать его темп при пробежках, не задыхаясь при этом. Даже по своей спортивной форме проф. Феннема был на голову выше большинства из нас.



Оуэн был также состоявшимся поэтом, плотником-краснодеревщиком и специалистом по изготовлению витражного стекла. Он был одаренным художником, и многие его работы украшают помещения Университета Висконсин-Мэдисон, штаб-квартиру IFT в Чикаго и квартиры его друзей и знако-



мых. Один из его витражей встречает посетителей в главном входе в наш любимый Бэбкок-холл. Оуэн играет большую роль в жизни очень многих людей, в том числе студентов, коллег, друзей и членов семьи. В последние недели его жизни он получал огромное число писем, авторы которых писали о его роли как учителя и наставника по жизни. «Выдающийся ученый и всемирно признанный преподаватель, добрый и заботливый друг, он вдохновлял всех нас».

Вода ласково омывает нас при появлении на свет, поддерживает нас при жизни и слезами омывает нашу скорбь по ушедшим. Оуэн изучал воду всю свою профессиональную жизнь. Сегодня легко представить его «играющим» с водой, глядящим на нас с его привычной кривой ухмылкой, знающим то, что мы не знаем, но готовым поделиться своими знаниями. Мы скорбим о его уходе и ценим все то, что он нам оставил.

*Мемориальная комиссия: Шринисаван Дамодаран, Дэрил Б. Лунд, Кирк Л. Паркин, председатель  
© Университет Висконсиу-Мэдисон*

Профессор Оуэн Феннема был разносторонне талантлив, он владел словом и умел популяризовывать науку благодаря своему дару рассказчика. Приведем выдержку из написанной Феннема главы о свойствах воды и льда по третьему американскому изданию «Химии пищевых продуктов».

## **Пролог. Вода как весьма обманчивое вещество**

...Незаметная во тьме подземной пещеры, капля воды медленно стекала по сталактиту — по тропинке, проложенной ее бесчисленными предшественницами, оказывая, как и они, небольшое, но почти магическое влияние на красоту минерала. Замерев на кончике сталактита, капля медленно росла и затем быстро упала на дно пещеры, словно стремясь побыстрее выполнить другие задачи и принять другие формы. У воды таких возможностей бесчисленное множество. Некоторые капли предназначены играть роль спокойной красоты — например, на рукаве детского пальтишка в виде снежинки уникальной и совершенной формы; на паутине в виде капель росы, вспыхивающей в первых солнечных лучах; в деревне в виде летнего освежающего дождика или в городе в виде проникающего во все закоулки ночного тумана... Другие капли предназначены для шума и рева водопада, для всепоглощающей беспредельности ледника, для образования огромной штормовой волны или трогательной слезы на женской щеке... У иных капель роль не столь очевидна, но от этого она не менее важна. Это жизнь, которая начинается с воды и продолжается при ее поддержке самыми разными способами, иначе неизбежно наступает смерть, которую в особых условиях ускоряют несколько враждебных кристаллов льда; вода на лесной подстилке неумоимо разлагает ее так, что жизнь начинается заново.

Водой в той форме, которая больше всего знакома человеку, формы воды не исчерпываются; это просто самая обычная, не заслуживающая особого упоминания вода, текущая дома из водопроводного крана. «Бульк» — это прыгнула лягушка, равнодушно погрузившись в среду, от которой зависит вся ее жизнь. Самая примечательная особенность воды — это ее обманчивость, так как по сути это вещество с внутренне присущей ему сложностью, чрезвычайно важное, странное и прекрасное, восторгающее и ставящее в тупик любого, кто начнет ее изучать. ...

## СВЕДЕНИЯ О РЕДАКТОРАХ–СОСТАВИТЕЛЯХ

**Шринивасан Дамодаран** (*Srinivasan Damodaran*) — профессор химии пищевых продуктов в Университете Висконсин-Мэдисон. Он является редактором-составителем книги «Пищевые белки и липиды» (издательство *Plenum Press*), одним из редакторов (наряду с Аленом Парафом) книги «Пищевые белки и их применение» (издательство *Marcel Dekker, Inc.*), а также автором или соавтором 12 патентов и более 157 работ в своей профессиональной области, охватывающей химию белков, энзимологию, коллоидные системы, технологии переработки и промышленные биоразлагаемые полимеры. Д-р Дамодаран является членом Американского химического общества (отделение химии сельскохозяйственных и пищевых продуктов). Осенью 2016 г. он стал первым обладателем премии по пищевой химии имени проф. Оуэна Р. Феннема, учрежденной за счет частных пожертвований ради увековечения памяти и профессиональных заслуг д-ра Феннема. Д-р Дамодаран входит в состав редколлегии журнала «*Food Biophysics*». Звание бакалавра в области химии он получил в 1971 г. в индийском университете в г. Мадрас (ныне Ченнай), магистра в области технологии пищевых продуктов — в 1975 г. в индийском университете г. Мисор, а степень доктора философии — в 1981 г. в Корнелльском университете (г. Итака, штат Нью-Йорк, США).

**Кирк Л. Паркин** (*Kirk L. Parkin*) — профессор факультета пищевых наук Университета Висконсин-Мэдисон, причем на этом факультете он работает уже более 31 года. Его научные интересы охватывают химию и биохимию пищевых продуктов, в частности, биохимию морепродуктов, послеуборочную физиологию и обработку овощей и фруктов, теоретическую и прикладную энзимологию и потенциально полезные для здоровья биоактивные вещества растительного происхождения. Он является обладателем 3 патентов и автором более 110 публикаций в реферируемых журналах. В течение последних 19 лет Кирк занимает должность директора Научно-исследовательского центра по переработке растительного сырья при Сельскохозяйственном и биологическом колледже; кроме того, в 2003 г. он был избран в состав Американского химического общества (отделение химии сельскохозяйственных и пищевых продуктов). Д-р Паркин является также заместителем главного редактора «*Journal of Food Science*» и входит в состав редколлегии журнала «*Food Research International*». Звание бакалавра Паркин получил в 1977 г., доктора философии в области пищевой химии — в 2003 г. в Массачусетском университете Амхерст, а звание магистра в области пищевых наук — в 1979 г. в Калифорнийском университете, г. Дэвис.