



普通高等教育“十三五”规划教材

# 食品生物化学

赵国华 白卫东  
于国萍 潘永贵

◎ 主编

Food Biochemistry



中国农业大学出版社

China Agricultural University Press



普通高等教育“十三五”规划教材

# 食品生物化学

赵国华 白卫东 于国萍 潘永贵 主编

中国农业大学出版社  
· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书涵盖基础生物化学的核心内容以及食品生物相关过程的化学本质认识。前者主要是对生命基本物质和重要过程(碳水化合物、蛋白质、脂类、核酸、酶、生物氧化等)的阐述,后者主要是对食品采后储藏、加工处理、腐败变质、检验检测等过程所涉及生物化学过程的描述,做到了理论与实践的统一。本书还采用二维码形式对有关知识进行了扩展,使读者对相关知识的了解更为便捷,增加了本书的可读性。

本书可作为食品科学与工程、食品质量与安全等食品学科相关专业本科学生的教材,亦可作为食品领域相关专业研究生、科研人员、企业生产人员的参考资料或培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

食品生物化学 / 赵国华等主编. —北京: 中国农业大学出版社, 2019. 1  
ISBN 978-7-5655-2038-9

I. ①食… II. ①赵… III. ①食品化学-生物化学-高等学校-教材  
IV. ①TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 113447 号

书 名 食品生物化学

作 者 赵国华 白卫东 于国萍 潘永贵 主编

策划编辑 宋俊果 刘 军

责任编辑 冯雪梅

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525, 8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617, 2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail [cbsszs@cau.edu.cn](mailto:cbsszs@cau.edu.cn)

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月第 1 次印刷

规 格 889×1 194 16 开本 19.5 印张 590 千字

定 价 56.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

全国高等学校食品类专业系列教材

编审指导委员会委员

(按姓氏拼音排序)

- |     |        |     |              |
|-----|--------|-----|--------------|
| 毕 阳 | 甘肃农业大学 | 孟素荷 | 中国食品科学技术学会   |
| 陈 卫 | 江南大学   | 南庆贤 | 中国农业大学       |
| 陈复生 | 河南农业大学 | 蒲 彪 | 四川农业大学       |
| 陈绍军 | 福建农林大学 | 钱建亚 | 扬州大学         |
| 陈宗道 | 西南大学   | 史贤明 | 上海交通大学       |
| 董海洲 | 山东农业大学 | 孙宝国 | 北京工商大学       |
| 郝利平 | 山西农业大学 | 孙远明 | 华南农业大学       |
| 何国庆 | 浙江大学   | 田洪涛 | 河北农业大学       |
| 贾英民 | 河北科技大学 | 王 硕 | 天津科技大学       |
| 江连洲 | 东北农业大学 | 夏延斌 | 湖南农业大学       |
| 李洪军 | 西南大学   | 谢笔钧 | 华中农业大学       |
| 李新华 | 沈阳农业大学 | 谢明勇 | 南昌大学         |
| 李云飞 | 上海交通大学 | 薛长湖 | 中国海洋大学       |
| 林家栋 | 中国农业大学 | 严卫星 | 国家食品安全风险评估中心 |
| 刘金福 | 天津农学院  | 岳田利 | 西北农林科技大学     |
| 刘景圣 | 吉林农业大学 | 赵丽芹 | 内蒙古农业大学      |
| 刘静波 | 吉林大学   | 赵谋明 | 华南理工大学       |
| 罗云波 | 中国农业大学 | 周光宏 | 南京农业大学       |
| 马 涛 | 渤海大学   |     |              |

# 编写人员

**主 编** 赵国华 (西南大学)  
白卫东 (仲恺农业工程学院)  
于国萍 (东北农业大学)  
潘永贵 (海南大学)

**副 主 编** 叶发银 (西南大学)  
项锦欣 (重庆理工大学)  
郑亚凤 (福建农林大学)  
邵 颖 (信阳农林学院)  
黄慧福 (曲靖师范学院)

**编写人员** (按姓氏音序排序)  
白卫东 (仲恺农业工程学院)  
褚盼盼 (吕梁学院)  
黄慧福 (曲靖师范学院)  
黄业伟 (云南农业大学)  
李 玲 (天津农学院)  
潘永贵 (海南大学)  
任 静 (东北农业大学)  
邵 颖 (信阳农林学院)  
汪 薇 (仲恺农业工程学院)  
项锦欣 (重庆理工大学)  
叶发银 (西南大学)  
于国萍 (东北农业大学)  
张国寿 (武夷学院)  
赵国华 (西南大学)  
郑亚凤 (福建农林大学)  
周 韵 (西南大学)

# 出版说明

## (代总序)

时光荏苒，食品科学与工程系列教材第一版发行距今，已有14年。总计120余万册的发行量，已经表明了这套教材受欢迎的程度，应该说它是全国食品类专业教育使用最多的系列教材。

这套教材已成为经典，作为总策划的我，在再再版的今天，重新翻阅这套教材的每一科目、每一章节，在感慨流年如水的同时，更有许多思考和感激。这里，借写出版说明（代总序）的机会，再一次总结本套教材的编撰理念和特点特色，也和我挚爱的同行们分享我的感悟和喜乐。

第一，优秀的教材一定是心血凝成的精品，杜绝任何形式的粗制滥造。

14年前，全国40余所大专院校、科研院所，300多位一线专家教授，涵盖生物、工程、医学、农学等领域，齐心协力组建出一支代表国内食品科学最高水平的教材撰写队伍。著作者们呕心沥血，在教材中倾注平生所学，那字里行间，既有学术思想的精粹凝结，也不乏治学精神的光华闪现，诚所谓学问人生，经年积成，食品世界，大家风范。这精心的创作，和彼敷衍的粘贴，其间距离，岂止云泥！

第二，优秀的教材必以学生为本，不是居高临下的自说自话。

注重以学生为本，就是彻底摒弃传统填鸭式的教学方法。著作者们谨记“授人以鱼不如授人以渔”，在传授食品科学知识的同时，更启发食品科学人才获取知识和创造知识的思维与灵感。润物细无声中，尽显自由思想，彰耀独立精神。在写作风格上，也注重学生的参与性与互动性，接地气，说实话，深入浅出，有料有趣。

第三，优秀教材与时俱进、推陈出新，绝不墨守成规、原地不动。

首版再版再再版，均是在充分收集和尊重一线任课教师和学生意见的基础上，对新增教材进行科学论证和整体策划。每一次工作量都不小，几乎覆盖食品学科专业的所有骨干课程和主要选修课程，但每一次都不敢有丝毫懈怠，内容的新颖性，教学的有效性，齐头并进，一样都不能少。具体而言，此次再再版，不仅增添了食品科学与工程最新理论发展，又以相当篇幅强调了食品工艺的具体实践。每本教材，既相对独立又相互衔接互为补充，构建起系统、完整、实用的课程体系。

第四，优秀教材离不开出版社编辑人员的心血倾注。

同为他人作嫁衣裳，教材的著作者和编辑，都一样的忙忙碌碌，飞针走线。这套系

列教材的编辑们站在出版前沿，以其炉火纯青的专业技能，辅以最新最好的出版传播方式，保证了这套教材的出版质量和形式上的生动活泼。编辑们的高超水准和辛勤努力，赋予了此套教材蓬勃旺盛的生命力。

这里，我也想和同行们分享以下数字，以表达我发自内心的喜悦：

第1版食品科学与工程系列教材出版于2002年，涵盖食品学科15个科目，全部入选“面向21世纪课程教材”。

第2版（再版）食品科学与工程系列教材出版于2009年，涵盖食品学科29个科目。

第3版（再再版）食品科学与工程系列教材将于2016年暑期出版（其中《食品工程原理》为第4版），涵盖食品学科36个科目，增加了《食品工厂设计》《食品分析》《食品感官评价》《葡萄酒工艺学》《生物技术安全与检测》等9个科目，调整或更名了部分科目。

需要特别指出的是，这其中，《食品生物技术导论》《食品安全导论》《食品营养学》《食品工程原理》4个科目为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材；《食品化学》《食品化学综合实验》《食品工艺学导论》《粮油加工学》《粮油加工学实验技术》《食品酶学与工程》6个科目为普通高等教育农业部“十二五”规划教材；《食品生物技术导论》《食品营养学》《食品工程原理》《粮油加工学》《食品试验设计与统计分析》为“十五”或“十一五”国家级规划教材。

本套食品科学与工程系列教材出版至今已累计发行超过126万册，使用教材的院校140余所。

第3版有500余人次参与编写，参与编写的院所近80家。

本次出版在纸质基础上引入了数字化元素，增加了二维码，内容涉及推荐阅读文字，直观的图片展示，以及生动形象的短小视频等，使教材的内容更加丰富、信息量更大，形式更加活泼，使用更加便捷，与学生的阅读和学习习惯更加贴近。

虽然我的确有敝帚自珍的天性，但我也深深地知道，世上的事没有百分百的完美。我还要真心地感谢在此套教材中肯定存在的那些不完美，因为正是它们给了我们继续向前的动力。这里，我真诚地期待大家提出宝贵意见，让我们与这套教材一起共同成长，更加进步。

罗云波

2016年5月5日 于马连洼

# 前 言

生物学、化学和工程学是食品学科的三大支柱，前两者为本学科的理论基础，而后者为本学科的落脚点。生物化学横跨生物学与化学，因此对食品学科具有非常重要的现实意义。纵观全国各类食品院校食品相关专业的本科生培养方案，都将生物化学的内容作为学科基础课程，但形式各不一样。有些院校只开设了基础生物化学，有些院校只开设了食品生物化学，也有些院校将基础生物化学作为必修课，同时开设了食品生物化学的选修课程。甚至有些院校只开设了食品生物化学，而没有开设食品化学。鉴于以上情况，本教材编写的出发点确定为既要涵盖基础生物化学的原理性核心内容，也要包括食品生物化学的应用性实践认知，使该教材能很好地体现食品学科从理论到实践的演绎过程，体现应用性学科教学的特点。因此，本书的内容大致可以分为两个部分：1) 基础生物化学的精要（第1章至第6章）；2) 生物化学在食品学科的具体体现和应用（第7章至第15章）。同时，本教材在编写过程中尽可能减少与传统食品化学课程的重复，所有与生物化学无关的变化或过程，也就是纯粹的化学过程（如油脂的自动氧化、物料的化学改性等）均不在此阐述。

本教材绪论由西南大学赵国华编写，第1章由武夷学院张国寿编写，第2章由海南大学潘永贵编写，第3章由西南大学叶发银编写，第4章由东北农业大学于国萍编写，第5章由天津农学院李玲编写，第6章由福建农林大学郑亚凤编写，第7章由吕梁学院褚盼盼编写，第8章由云南农业大学黄业伟与西南大学周韵编写，第9章由仲恺农业工程学院白卫东编写，第10章由东北农业大学任静编写，第11章由信阳农林学院邵颖编写，第12章由仲恺农业工程学院汪薇编写，第13章由重庆理工大学项锦欣编写，第14章由西南大学叶发银编写，第15章由西南大学赵国华和曲靖师范学院黄慧福编写。编写过程中四位主编分工先对各章节初稿进行了审阅，潘永贵和赵国华又进行了复审，最后的全书统稿由赵国华完成。

本书的编写成员都是长期从事生物化学教学和科研工作、富有经验的一线教师。在教材编写过程中，虽然水平各有差异，但他们认真工作，付出了辛苦的劳动，令人敬佩。本书在编写过程中得到了海南大学教育教学改革项目（hdjy1644；hdwlkc201706）的支持以及中国农业大学出版社的支持与帮助，在此表示由衷的感谢。

由于编者水平、经验和知识有限，书中难免会有不当之处，敬请广大读者批评指正。请联系 zhaoguohua1971@163.com。

赵国华

2018年2月25日于北碚



# 目 录

绪 论 .....	1	第 2 章 生物氧化 .....	23
第 1 章 酶与酶促反应 .....	3	2.1 生物氧化的方式和特点 .....	24
1.1 酶的特性 .....	4	2.1.1 生物氧化的方式 .....	24
1.2 酶的分类 .....	4	2.1.2 生物氧化特点 .....	24
1.2.1 根据酶催化反应类型分类 .....	4	2.2 生物氧化和生物能 .....	25
1.2.2 根据酶蛋白结构特点分类 .....	6	2.2.1 生物化学反应的自由能变化 .....	25
1.2.3 根据酶的分子组成分类 .....	6	2.2.2 高能化合物 .....	25
1.3 辅酶 (或辅基) .....	7	2.2.3 ATP 在能量代谢中的作用 .....	25
1.3.1 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸和 烟酰胺腺嘌呤磷酸二核苷酸 .....	7	2.3 呼吸链 .....	26
1.3.2 黄素单核苷酸和黄素腺嘌呤 二核苷酸 .....	7	2.3.1 呼吸链的场所——线粒体 .....	26
1.3.3 辅酶 A .....	8	2.3.2 呼吸链 .....	27
1.3.4 四氢叶酸 .....	8	2.3.3 其他末端氧化酶系统 .....	33
1.3.5 焦磷酸硫胺素 .....	9	2.4 氧化磷酸化 .....	33
1.3.6 磷酸吡哆醛和磷酸吡哆胺 .....	9	2.4.1 ATP 生成的方式 .....	33
1.3.7 生物素 .....	10	2.4.2 氧化磷酸化偶联部位和 P/O 值 .....	34
1.3.8 维生素 B <sub>12</sub> 辅酶 .....	10	2.4.3 氧化磷酸化机制 .....	34
1.3.9 硫辛酸 .....	10	2.4.4 线粒体外的 NADH 的氧化磷酸化 作用 .....	36
1.4 酶的结构 .....	11	2.4.5 氧化磷酸化的抑制 .....	37
1.4.1 酶的活性中心 .....	11	思考题 .....	39
1.4.2 调控部位 .....	12	第 3 章 糖类及其代谢 .....	40
1.5 酶的催化反应机制 .....	12	3.1 糖的概念 .....	41
1.5.1 酶催化反应的专一性机制 .....	12	3.2 糖的分类 .....	41
1.5.2 酶催化反应的高效性机制 .....	13	3.3 糖代谢 .....	50
1.6 酶促反应动力学 .....	14	3.3.1 糖的分解代谢 .....	50
1.6.1 酶促反应速率 .....	14	3.3.2 糖的合成代谢 .....	63
1.6.2 影响酶促反应速率的因素 .....	14	思考题 .....	68
1.7 固定化酶 .....	20	第 4 章 脂类及其代谢 .....	69
1.7.1 酶的固定化技术 .....	20	4.1 脂类分类 .....	70
1.7.2 酶固定化后的性质变化 .....	20	4.1.1 单纯脂 .....	70
1.7.3 固定化酶的评价指标 .....	21	4.1.2 复合脂 .....	70
1.7.4 固定化酶在食品工业中的应用 .....	21	4.1.3 衍生脂 .....	71
思考题 .....	22	4.2 脂类主要生物学功能 .....	71
		4.3 脂肪代谢 .....	72

4.3.1 脂肪分解代谢 .....	72	6.1.1 核酸的分类和组成 .....	115
4.3.2 脂肪的合成代谢 .....	79	6.1.2 核酸的结构 .....	116
思考题 .....	85	6.1.3 核酸的理化性质 .....	120
<b>第5章 蛋白质及其代谢</b> .....	<b>86</b>	6.1.4 核酸的分离纯化 .....	123
5.1 蛋白质元素组成和分类 .....	87	6.2 核酸的分解代谢 .....	123
5.1.1 蛋白质元素组成 .....	87	6.3 核苷酸的生物合成 .....	125
5.1.2 蛋白质分类 .....	87	6.3.1 嘌呤核苷酸的生物合成 .....	125
5.2 氨基酸——蛋白质基本构成单位 .....	88	6.3.2 嘧啶核苷酸的合成代谢 .....	128
5.2.1 氨基酸的一般结构特征 .....	88	6.3.3 脱氧核糖核苷酸的生物合成 .....	129
5.2.2 氨基酸分类 .....	88	6.4 核酸的生物合成 .....	130
5.2.3 氨基酸性质 .....	89	6.4.1 DNA的生物合成 .....	130
5.2.4 氨基酸的重要反应 .....	91	6.4.2 RNA的生物合成 .....	133
5.2.5 氨基酸混合物的分离和分析 .....	92	思考题 .....	135
5.3 肽 .....	93	<b>第7章 水果与蔬菜的生物化学</b> .....	<b>136</b>
5.4 蛋白质的结构 .....	94	7.1 果蔬中的主要生物物质 .....	137
5.4.1 蛋白质的一级结构 .....	94	7.1.1 水分 .....	137
5.4.2 蛋白质的二级结构 .....	97	7.1.2 碳水化合物 .....	137
5.4.3 超二级结构和结构域 .....	99	7.1.3 有机酸 .....	139
5.4.4 蛋白质的三级结构 .....	100	7.1.4 维生素 .....	139
5.4.5 蛋白质的四级结构 .....	101	7.1.5 单宁 .....	140
5.5 蛋白质性质 .....	101	7.1.6 矿物质 .....	140
5.5.1 蛋白质的酸碱性质 .....	101	7.1.7 色素物质 .....	140
5.5.2 蛋白质的胶体性质 .....	102	7.1.8 含氮物质 .....	142
5.5.3 蛋白质的沉淀反应 .....	102	7.1.9 糖苷类物质 .....	142
5.5.4 蛋白质的变性作用与复性 .....	103	7.1.10 芳香物质 .....	143
5.6 蛋白质的分离纯化和测定 .....	103	7.2 果蔬中的主要酶类和微生物 .....	144
5.6.1 蛋白质分离纯化的一般原则 .....	103	7.2.1 酶类 .....	144
5.6.2 蛋白质分离纯化的主要方法 .....	104	7.2.2 微生物 .....	146
5.6.3 蛋白质相对分子质量的测定 .....	104	7.3 果蔬采后贮藏过程中的主要生化变化及其调控 .....	147
5.6.4 蛋白质的含量测定与纯度鉴定 .....	104	7.3.1 呼吸作用 .....	147
5.7 蛋白质降解和氨基酸代谢 .....	104	7.3.2 蒸腾作用 .....	152
5.7.1 蛋白质的降解 .....	104	7.3.3 成熟衰老 .....	154
5.7.2 氨基酸的分解代谢 .....	105	7.4 病害与腐烂 .....	158
5.7.3 氨基酸的生物合成 .....	110	7.4.1 生理性病害与腐烂 .....	158
5.7.4 氨基酸与一碳单位 .....	110	7.4.2 侵染性病害与腐烂 .....	160
5.8 蛋白质的生物合成 .....	110	思考题 .....	162
5.8.1 蛋白质合成体系的组成 .....	110	<b>第8章 谷物与薯类的生物化学</b> .....	<b>163</b>
5.8.2 蛋白质生物合成的步骤 .....	111	8.1 谷物 .....	164
5.8.3 真核细胞蛋白质的生物合成 .....	112	8.1.1 谷物原料中的主要生物物质 .....	164
5.8.4 肽链合成的修饰 .....	112	8.1.2 谷物原料中的主要酶类和微生物 .....	166
思考题 .....	113	8.1.3 谷物原料储藏中的主要生化过程 .....	
<b>第6章 核酸及其代谢</b> .....	<b>114</b>		
6.1 核酸概述 .....	115		

及其调控 .....	167	11.2 油脂的酶法加工 .....	224
8.2 薯类 .....	172	11.2.1 酶法制油技术 .....	224
8.2.1 薯类原料中的主要功能性物质 .....	172	11.2.2 酶法脱胶技术 .....	225
8.2.2 薯类原料中的主要酶类和微生物 .....	173	11.2.3 酶催化制备各种功能性结构脂质 .....	225
8.2.3 薯类原料储藏中的主要生化过程及其调控 .....	174	11.3 蛋白质的酶法加工 .....	226
思考题 .....	176	11.3.1 肉的酶法嫩化 .....	227
<b>第9章 肉与水产品的生物化学</b> .....	177	11.3.2 酶在其他蛋白质食品加工中的应用 .....	227
9.1 肉 .....	178	11.4 食品风味的酶法调控 .....	228
9.1.1 肉类中的主要生化物质 .....	178	11.4.1 风味概述 .....	228
9.1.2 肉类中主要酶类和微生物 .....	182	11.4.2 酶在食品风味调控中的应用 .....	228
9.1.3 肉类宰后成熟过程中的生物化学 .....	184	11.5 食品功能成分的酶法转化 .....	229
9.1.4 肉的酶法嫩化 .....	186	11.5.1 酶法制备活性糖 .....	229
9.1.5 肉类腐败过程中的生物化学 .....	187	11.5.2 酶法制备活性肽 .....	231
9.2 水产原料 .....	188	11.5.3 酶法制备核苷酸和核酸 .....	234
9.2.1 水产原料中的主要生化物质 .....	188	11.5.4 糖苷(配糖物) .....	236
9.2.2 水产原料中的主要酶类和微生物 .....	192	思考题 .....	236
9.2.3 水产原料腐败过程中的生物化学 .....	196	<b>第12章 食品发酵过程中的生物化学</b> .....	237
思考题 .....	198	12.1 食品用发酵微生物 .....	238
<b>第10章 乳与蛋制品的生物化学</b> .....	199	12.1.1 发酵蔬菜的微生物 .....	238
10.1 乳 .....	200	12.1.2 发酵肉品的微生物 .....	239
10.1.1 乳中的主要生化物质 .....	200	12.1.3 发酵豆制品的微生物 .....	240
10.1.2 乳中的主要酶类和微生物 .....	203	12.1.4 发酵乳制品的微生物 .....	241
10.1.3 乳腐败过程中的生物化学 .....	208	12.2 发酵蔬菜制品的生物化学 .....	241
10.2 蛋 .....	211	12.2.1 泡菜发酵的生物化学 .....	242
10.2.1 蛋中的主要生化物质 .....	211	12.2.2 腌菜发酵中的生物化学 .....	242
10.2.2 蛋中的主要酶类和微生物 .....	216	12.2.3 蔬菜中主要成分的代谢 .....	244
10.2.3 蛋腐败过程中的生物化学 .....	218	12.2.4 蔬菜发酵制品中的微生物腐败 .....	245
思考题 .....	218	12.3 发酵肉品的生物化学 .....	245
<b>第11章 酶促食品加工过程的生物化学</b> .....	219	12.3.1 肉发酵成熟过程中的生物化学变化 .....	245
11.1 酶法制备碳水化合物 .....	220	12.3.2 发酵肉制品中微生物作用 .....	248
11.1.1 酶法制备葡萄糖 .....	220	12.4 发酵豆制品的生物化学 .....	248
11.1.2 酶法制备果葡糖浆 .....	221	12.4.1 酱油发酵中的生物化学 .....	248
11.1.3 酶法制备饴糖、麦芽糖和高麦芽糖浆 .....	222	12.4.2 腐乳发酵中的生物化学 .....	250
11.1.4 酶法制备麦芽糊精 .....	223	12.4.3 豆酱发酵的生物化学 .....	252
11.1.5 酶法制备偶联糖 .....	223	12.4.4 发酵豆制品的微生物腐败 .....	252
11.1.6 酶在其他糖制品加工中的应用 .....	223	12.5 发酵乳制品生物化学 .....	253
		12.5.1 酸乳发酵的生物化学 .....	253
		12.5.2 干酪发酵的生物化学 .....	253
		12.5.3 发酵乳制品的微生物腐败 .....	255

思考题 .....	256	应用 .....	278
<b>第 13 章 食品劣变过程的生物化学</b> .....	257	14.2.4 酶在食品安全监测中的应用 .....	279
13.1 酶促氧化 .....	258	14.3 细菌素在食品安全控制中的应用 .....	280
13.2 酶促褐变 .....	258	14.3.1 细菌素的定义 .....	280
13.2.1 酚类底物 .....	258	14.3.2 细菌素的来源及分类 .....	280
13.2.2 与酶促褐变相关的酶类 .....	259	14.3.3 活性细菌素及抑菌特性 .....	281
13.2.3 酶促褐变机理 .....	259	14.3.4 细菌素在食品安全控制中的	
13.2.4 酶促褐变的抑制 .....	260	应用 .....	282
13.3 酶促水解 .....	261	思考题 .....	283
13.3.1 蛋白质酶促水解 .....	261	<b>第 15 章 现代食品生物化学分析技术</b> .....	284
13.3.2 脂肪的酶促水解 .....	261	15.1 免疫酶技术 .....	285
13.4 异味产生 .....	261	15.1.1 免疫酶技术原理 .....	285
13.4.1 油脂回味 .....	261	15.1.2 免疫酶技术在食品分析中的	
13.4.2 油脂酸败味 .....	262	应用 .....	286
13.4.3 牛乳日照臭 .....	262	15.2 生物传感器分析技术 .....	287
13.5 微生物腐败 .....	263	15.2.1 生物传感器概念、组成及	
13.5.1 微生物引起食品腐败的原因 .....	263	分类 .....	287
13.5.2 导致食品腐败变质的微生物		15.2.2 生物传感器的原理 .....	288
种类 .....	264	15.2.3 生物传感器在食品分析中的	
13.5.3 微生物导致食品腐败变质的		应用 .....	288
过程 .....	265	15.3 DNA 芯片分析技术 .....	290
13.5.4 各类食品腐败变质 .....	267	15.3.1 DNA 芯片的基本原理 .....	290
思考题 .....	272	15.3.2 DNA 芯片的工作流程 .....	290
<b>第 14 章 食品安全控制中的生物化学</b> .....	273	15.3.3 DNA 芯片在食品工业中的	
14.1 酶在食品安全控制中的应用 .....	274	应用 .....	292
14.1.1 酶的解毒作用 .....	274	15.4 PCR 分析技术 .....	293
14.1.2 酶代替溴酸钾 .....	275	15.4.1 PCR 的原理及基本过程 .....	293
14.2 酶在食品工业中的应用 .....	276	15.4.2 PCR 的反应体系 .....	294
14.2.1 溶菌酶在食品安全控制中的		15.4.3 PCR 的分类 .....	294
应用 .....	276	15.4.4 PCR 在食品工业中的应用 .....	295
14.2.2 葡萄糖氧化酶在食品安全控制中		思考题 .....	296
的应用 .....	277	<b>参考文献</b> .....	297
14.2.3 果胶酶在食品安全控制中的			

# 绪 论

## 1. 食品生物化学的概念

要对食品生物化学定义，必须先弄清楚生物化学和食品的概念。生物化学是生命的化学，是研究生物体的化学组成和生命过程中的化学变化规律的学科，它是运用化学的原理和方法研究生命活动化学本质的学科，是从分子水平上来研究生物体（包括人类、动物、植物和微生物）内基本物质的化学组成、结构、生理功能以及在生命活动中这些物质所进行的化学变化（合成反应与代谢反应）的规律的一门学科，是一门生物学与化学相结合的基础学科。

从广泛意义上讲，食品指自然界存在的可供人食用的各类物质的统称，也可以理解为人经口摄入至人体内含有特定营养素的物质。绝大多数食品需要经过特定加工后才能食用或适宜食用。从来源讲，人类的食物主要来自其他生物体，主要包括动物、植物和微生物。从食品加工讲，许多食品加工过程都需要生物体或其关键物质参与，尤其是微生物和酶，如食品发酵和酿造。而从食品安全来看，大多数食品败坏是由于污染了微生物而引起的，这也是引起食物中毒的主要原因。因此，食品生物化学不仅涉及食品原料生产相关的基础生物化学的知识，还应涵盖与食品原料保藏、加工以及安全控制相关的生物化学知识。

因此，食品生物化学是利用化学的手段与原理从分子水平上对食品原料生产、采后保鲜、加工利用及安全保障中涉及的生化过程（生长、成熟、衰老、败坏、转化等）本质进行认识的科学。它能为食品原料的品质形成、安全储藏、合理加工以及产品安全保障提供坚实的理论基础，是食品工程操作基本原理的主要支持之一，其根本目的是高效、合理利用生物体及生物过程，促进人类健康。食品学科是一门以生物学、化学和工程学为主要基础的综合学科。而食品生物化学是前两个基础的有机结

合。由此可见，食品生物化学是食品学科基础领域的重要分支。

## 2. 食品生物化学的主要内容

从主要研究内容上来看，首先，食品生物化学不同于以研究生物体化学组成、生命物质的结构与功能、生命过程中物质变化和能量变化的规律、一切生命现象的化学本质为基本内容的普通生物化学。以动植物来说，普通生物化学研究的是其发育、生长和衰老等生命过程，而食品生物化学的对象一般是达到成熟状态、已经收获并即将走向衰老和死亡的动植物体。另外，普通生物化学只注重原理的阐释，而食品生物化学作为应用基础科学，介于基础与工程的交界处，在阐释原理的同时要实现主动的调控。其次，食品生物化学也不同于以研究食品物质组成、特性及其在食品加工、储藏等条件下产生的化学变化为基本内容的食品化学。食品生物化学更强调食品原料的生物属性以及变化过程的生物相关性。从某种程度上讲，其广泛性和重要性远高于食品化学。再者，食品生物化学也不同于以关注物质在人体内消化、吸收、转运、代谢和利用为主要内容的食品营养学。它关注的对象始终为食品，而营养学关注的是食品与人体的交互作用。总结起来食品生物化学的主要内容如下：

(1) 普通生物化学中与食品相关的部分内容，如生物体的物质（糖、脂类、蛋白质、核酸）及其合成代谢与分解代谢。

(2) 各类食品在储藏、加工过程中所涉及到的生物化学内容，如水果与蔬菜在贮运过程中的呼吸作用及其调控、鲜肉和水产的成熟及腐败、粮食的陈化与霉变、蛋和奶的劣变等。

(3) 典型食品生物相关过程的本质阐释，如食品酶法加工、食品发酵以及食品生物性腐败等的本质、规律及调控。

(4) 食品安全的生物调控技术与方法相关内


容，主要包括食品安全的生物控制以及食品生物化学分析技术的开发与应用。

### 3. 学习食品生物化学的目的

食品生物化学是普通生物化学的应用分支，也是食品学科的应用基础。因此，学习食品生物化学的目的主要包括两个方面：


(1) 认识食品工业相关过程发生的生物化学本质，掌握其规律，为食品技术的开发提供理论支撑。

(2) 了解食品中各类生物化学过程发生的影响因素，进一步对这些过程进行调控，为高品质、富营养、安全可靠的食物生产提供技术供给，从而造就人类健康。



第 1 章

# 酶与酶促反应



## 本章学习目的与要求

1. 掌握酶的概念、特性、酶的化学组成和结构特点、酶催化高效性机制和影响酶促反应的因素；
2. 熟悉酶活性的测定和米氏方程式的运用和计算；
3. 了解酶的分类和命名、固定化酶在食品工业中的应用。

新陈代谢是生命活动的基本特征之一，是由种类繁多物质代谢、能量代谢、信息代谢所涉及的各式各样化学反应所组成。新陈代谢是由一系列的化学反应完成的。同样的化学反应，在体外进行则速度非常之慢，甚至需要高温、高压、强酸或强碱等剧烈条件才能得以进行。而在生物体内却能在常温常压下以极高的速度进行，就在于体内存在生物催化剂——酶。酶是生物细胞产生的生物催化剂，酶分子的结构是其催化功能的物质基础。现已知的绝大多数酶主要组成都为蛋白质，但也发现少数具有催化作用的核酸，其主要作用于 RNA 的剪接，被称为核酶，本章讨论的主要为蛋白酶，不包括核酶。

## 1.1 酶的特性

作为生物催化剂，酶既有与一般催化剂相同的性质，同样都是通过降低反应活化能而加快反应速度，只能催化热力学上允许进行的化学反应，缩短达到反应平衡的时间而不改变反应的平衡点，酶在反应的前后没有质和量的变化。然而，与一般催化剂相比，酶又具有生物催化剂本身的特性，包括催化效率的高效性、催化作用的专一性、催化活性的可调控性和易失活性等。

(1) 催化效率的高效性 酶的催化效率极高，是非催化反应的  $10^8 \sim 10^{20}$  倍，是一般催化剂的  $10^6 \sim 10^{13}$  倍。蔗糖酶催化蔗糖水解的速度是  $H^+$  催化速度的  $2.5 \times 10^{12}$  倍，在过氧化氢分解反应中，1 mol 的化学催化剂  $Fe^{2+}$ ，1 min 内能催化  $6 \times 10^{-4}$  mol 的  $H_2O_2$  分解，同样条件下，1 mol 的过氧化氢酶在 1 min 内可催化  $5 \times 10^6$  mol 的  $H_2O_2$  分解。二者相比，过氧化氢酶的催化效率大约是  $Fe^{2+}$  的  $10^{10}$  倍。

(2) 催化作用的专一性 酶的催化作用具有高度专一性，一种酶只作用于一种或一类化合物，催化特定的化学反应，生成特定的产物，这种催化作用的特点称为酶的专一性。由于酶催化反应的专一性，所以生物体内的代谢过程才能表现出一定的方向和严格的顺序。根据酶对底物选择的严格程度，酶的专一性可分为三种类型。

①绝对专一性 有些酶对底物的要求非常严格，只能作用于某一特定的底物，而不能作用于其他任何物质，这种专一性称为酶的“绝对专一性”，如麦芽糖酶只作用于麦芽糖；淀粉酶只催化淀粉水

解反应；脲酶只催化尿素发生水解反应，而对尿素的各种衍生物均不起作用。

②相对专一性 有些酶对底物的要求不如绝对专一性高，可以作用于一类结构相近的化合物，这种专一性称为“相对专一性”，其包括基团专一性和键专一性两种。前者对所催化的化学键两端的基团要求的严格程度不同，对其中一个要求严格，而对另一个基团没有什么要求。例如  $\alpha$ -D-葡萄糖苷酶，不仅要求水解  $\alpha$  糖苷键，且要求  $\alpha$  糖苷键一端必须是葡萄糖残基，而对另一端基团要求不严；后者只要求作用于底物一定的化学键，而对化学键两端的基团没有要求。例如蔗糖酶，其要求是  $\alpha$ 1, 2-糖苷键就可水解，而对于两端基团没有要求。

③立体专一性 立体专一性是酶对具有立体异构体的底物只作用于其中的一种，而对另一种无效的性质。立体专一性可以进一步分为旋光异构专一性和几何异构专一性两种。前者是底物有旋光异构体时，酶只作用于其中的一种，如 L-乳酸脱氢酶的底物只能是 L-乳酸，而不能是 D-乳酸；后者是当底物具有几何异构体时，酶只能作用于其中的一种。例如琥珀酸脱氢酶只能催化延胡索酸（反丁烯二酸）加水生成苹果酸，而不能催化顺丁烯二酸的加水反应。

(3) 催化活性的可调控性 生物细胞内的代谢途径错综复杂，为了使体内代谢作用有条不紊地进行，生物体内酶催化活性受到严格的调节和控制。细胞内的酶的调控有多种方式，具体主要是通过改变酶的结构和浓度来进行的，如酶的别构调节、酶的化学修饰、酶原的激活、代谢产物对酶的反馈调节、酶的生物合成的诱导和阻遏等。

(4) 易失活性 酶的化学本质是蛋白质，因此，凡是使蛋白质变性的因素都可能使酶的结构遭到破坏而失去催化活性，如强酸、强碱、有机溶剂、重金属盐、高温、紫外线、剧烈震荡等。所以，酶所催化的反应多在比较温和的常温、常压和接近中性的酸碱条件下进行。

## 1.2 酶的分类

### 1.2.1 根据酶催化反应类型分类

根据各种酶催化反应的类型，国际酶学委员会将蛋白酶分为六类（二维码 1-1）。

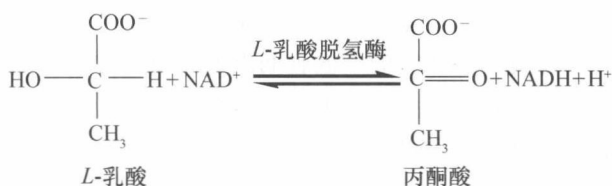


### 1.2.1.1 氧化还原酶类

凡能催化底物发生氧化还原反应的酶，均属氧化还原酶类。生物体内的氧化还原反应以脱氢为主，还有脱电子及直接与氧化合的反应，其中数量最多的是脱氢酶。脱氢酶催化的反应可用通式表示为：



例如，乳酸脱氢酶催化乳酸与丙酮酸之间的可逆反应。

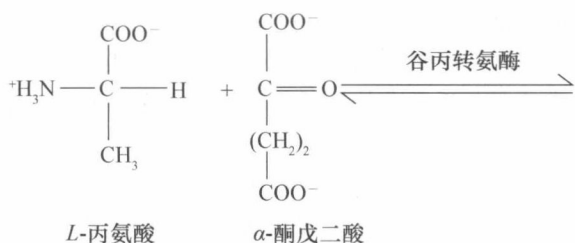


### 1.2.1.2 转移酶类

凡能催化底物发生基团转移或交换的酶，均属转移酶类。常见的转移酶有氨基转移酶、甲基转移酶、酰基转移酶、激酶及磷酸化酶。转移酶所催化的反应可用通式表示为：



例如，谷丙转氨酶催化 *L*-丙氨酸与 *L*-谷氨酸之间转换的可逆反应。



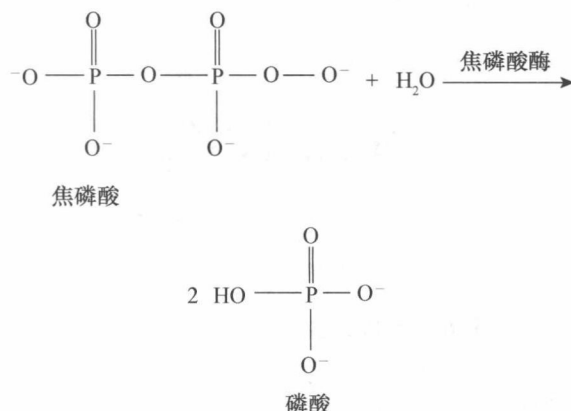
### 1.2.1.3 水解酶类

凡能催化底物发生水解反应的酶，均属水解酶类。常见的水解酶主要包括淀粉酶、麦芽糖酶、蛋

白酶、肽酶、脂肪酶、核酸酶及磷酸酯酶等。水解酶所催化的反应通式表示为：



例如，焦磷酸酶催化无机焦磷酸水解形成两分子无机磷酸。

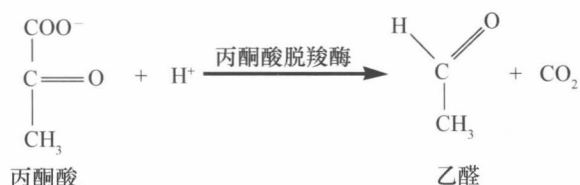


### 1.2.1.4 裂合酶类

凡能催化底物移去一个基团并形成双键的反应或逆反应的酶，均属裂合酶类。移去基团的反应不包括水解反应、氧化反应和消去反应。常见的裂合酶有醛缩酶、水化酶、脱水酶、脱羧酶、裂解酶等，裂合酶所催化的反应通式表示为：



例如，丙酮酸脱羧酶催化丙酮酸分解成乙醛和二氧化碳。



### 1.2.1.5 异构酶类

凡能催化底物分子发生几何学或结构学的同分异构体之间的相互转变的酶，均为异构酶类。几何学上的变化有顺反异构、差向异构（表异构）和分子构型的改变；结构学上的变化有分子内部的基团转移（变位）和分子内的氧化还原。常见的异构酶有顺反异构酶、表异构酶、变位酶和消旋酶，异构酶所催化的反应通式表示为：



例如，6-磷酸葡萄糖异构酶催化葡萄糖 6-磷酸和果糖 6-磷酸间的可逆反应。