



中国轻工业“十三五”规划教材

# 食品酶学 导论 (第三版)

INTRODUCTION TO FOOD  
ENZYMOLOGY (THIRD EDITION)



陈 中 主编



中国轻工业出版社 | 全国百佳图书出版单位

## 内容简介

---

本书共三篇十一章，介绍了食品酶学含义、食品酶学发展简史及趋势、食品酶学基础理论知识，以及食品酶学的应用等方面内容。学生在掌握食品酶学基础知识后，重点学习酶及食品酶制剂发展与生产技术，及其在食品工业中应用方面的内容。

本书可作为本科与硕士研究生的教材。建议理论课程32学时，授课时可根据需要添加视频内容以便学生学习。推荐实验课程16学时，开设基础实验和应用实验。此外，可以安排学生到相关企业进行参观学习，了解酶及食品酶制剂的生产与应用情况。这样既可提高学生的学习兴趣，又可以加深学生对相关知识的理解，使其能学以致用。



中国轻工业“十三五”规划教材

# 食品酶学导论

(第三版)

陈 中 主编

 中国轻工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

食品酶学导论/陈中主编. —3 版. —北京: 中国轻工业出版社, 2020. 4  
中国轻工业“十三五”规划教材  
ISBN 978 - 7 - 5184 - 2683 - 6

I. ①食… II. ①陈… III. ①食品工艺学—酶学—高等学校—教材  
IV. ①TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 220383 号

策划编辑: 马 妍            责任终审: 劳国强            整体设计: 锋尚设计  
责任编辑: 马 妍            责任校对: 晋 洁            责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷:

经 销: 各地新华书店

版 次: 2020 年 4 月第 3 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 14.75

字 数: 320 千字

书 号: ISBN 978 - 7 - 5184 - 2683 - 6 定价: 45.00 元

邮购电话: 010 - 65241695

发行电话: 010 - 85119835 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: [club@chlip.com.cn](mailto:club@chlip.com.cn)

如发现图书残缺请与我社邮购联系调换

170571J1X301ZBW

## 本书编写人员

主 编 陈 中（华南理工大学）

副主编 林伟锋（华南理工大学）

参 编 黎 攀（华南农业大学）

杜 冰（华南农业大学）

王德培（仲恺农业工程学院）

刘巧瑜（仲恺农业工程学院）

## 第三版前言 | Preface

食品酶学是酶学基本理论在食品工业与技术中应用的科学，是酶学的一个重要分支学科。

食品酶学是以普通酶学为基础，重点研究酶在食品工业领域中的基础应用、新酶源开发、酶固定化技术、酶的分子修饰及酶在食品加工及保藏中的应用等内容。食品酶学是生物科学和食品科学的基础，懂得酶学才能理解酶在动植物原料及其加工过程中的变化和作用，才能理解食物在体内的生理作用和营养功能。此外，酶对包括食品的感官指标、理化指标及卫生要求等在内的食品品质的影响是很大的，有可能产生好的效果，也有可能产生坏的作用。

食品酶学的重要特点是基础酶学和食品工程学相互渗透，它是将酶学、食品微生物学的基本原理应用于食品工程并与酶工程有机结合而产生的交叉科学技术。酶学、食品酶学与酶工程三者含义有所不同，但它们之间又能有机联系、互相渗透。特别是现代生物工程的兴起和发展，极大地丰富了酶学和食品酶学的研究内容。

食品酶学作为酶工程、生物工程的重要组成部分，随着酶工程、生物工程的发展日新月异，并与现代基因工程、蛋白质工程、发酵工程和细胞工程紧密结合。食品酶学与酶工程将为改造传统的食品工业、发展社会经济提供极大的帮助。

食品酶学是食品科学与工程一级学科的重要专业理论课程。国内许多院校已将该门课程列为培养本科生和研究生的必修课。本书作者在多年来为本科生和研究生讲授食品酶学、食品生物技术等课程的基础上，搜集了国内外大量文献资料，结合我国国情和现代生物技术发展，对彭志英老师主编的第二版《食品酶学导论》进行修订。第三版共分三篇十一章内容，在保留第二版优点的基础上，重点修订和补充了第三篇食品酶学应用部分，增加了新的内容。

本书可作为高等院校食品科学与工程及相关专业的本科生或研究生参考教材，也可供高、中级食品工程技术人员阅读和参考。由于水平所限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者  
2020年1月

## 第二版前言 | Preface

当今，酶与酶工程技术的发展日新月异。自 20 世纪 50 年代初分子生物学形成，70 年代初基因工程诞生以来，伴随着光谱、色谱、X 射线衍射和 PCR 分析等现代技术的应用，酶学不仅从理论上揭示了生命现象的本质，而且在食品、农业、化工、医药、环境等各个领域得到有效的应用，特别是食品酶学和酶工程对自然界天然资源的转化和传统的食品工业改造起着越来越重要的作用。

食品酶学的形成和发展，是科学技术发展的必然，它是基础酶学的一个重要分支，也是现代生物技术的组成部分。食品酶学是食品科学与工程学科的基础，国内许多有关院校已把食品酶学列为培养本科生和研究生的重要课程。本书作者于 2002 年编著的《食品酶学导论》一书，经过多年发行，有关院校反映良好。同时，在两岸文化交流中，2004 年该书以《食品酵素学》之名被台湾九州图书文化有限公司以繁体字版在台湾出版发行。台湾大仁技术学院食品科技系傅慧音教授认为：“该书以深入浅出的方式引用分子生物学概念，详尽讨论酵素在细胞内生物合成机制、生产及调控等内容……足以让读者摄取食品酵素学之精华。”虽然该书在食品人才培养和食品生产中起到了良好的作用，但是内容不足之处尚多，与当今酶学不断发展的新内容不相适应，因此，很有必要进行修订。

本书是在 2002 年《食品酶学导论（第一版）》基础上进一步修订与充实的。全书分三篇共十二章内容。包括第一篇绪论（食品酶学含义，食品酶学发展简史，酶的分类和命名）；第二篇食品酶学基础（酶的分子结构与催化功能，酶催化反应动力学和抑制作用，酶的生物合成与发酵生产，酶的分离、纯化技术，固定化酶和固定化细胞，酶分子改造和修饰）；第三篇食品酶学应用（食品酶学应用的基础研究，酶在食品产业化过程中的应用，酶在其他食品加工领域中的应用）。本书的撰写保留了第一版的优点，弥补了不足，力求创新，内容新颖，理论联系实际，文字规范，阐述清晰。每篇内容附有参考文献。本书可作为高等院校食品科学与工程专业及相关专业的本科生或研究生参考教材，也可供高、中级食品工程技术人员阅读和参考。

本书在编写过程中得到赵谋明教授、陈中副教授和林伟锋、任娇艳、赵海峰讲师在校对和提供素材等方面的帮助，在此谨表示感谢。本书涉及面广，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

彭志英  
华南理工大学

## | 第一版前言 | Preface

生命的重要特征自我复制和新陈代谢，这种复杂生物化学变化是由数千种酶所催化的。蛋白质是生命的体现者，而蛋白质（包括酶）是由活细胞中 DNA 作为基因信息载体，通过 mRNA 作为模板、rRNA、tRNA、ATP、辅助因子及酶的作用下合成的。因此，了解酶的生物合成机理，对于开发新酶源、阐明酶催化特性及其应用，具有重要理论指导意义。

食品酶学是基础酶学一个分支，酶技术是生物工程的重要组成部分。当今，酶工程发展日新月异，酶的固定化、细胞固定化技术及基因工程等新技术已在食品、医药、化工、农业、环保等部门得到广泛应用。丹麦 Novo Nordisk 公司是世界上最大的酶制剂生产企业，目前，该公司所生产酶制剂品种（包括食品级酶）有 60% 以上是通过基因工程改良微生物菌种生产的，同时研究证明，这些食品级酶是安全、无毒的。

食品酶学是食品科学与工程一级学科的重要专业理论课程。国内许多院校已将该门课程列为培养研究生的必修课。本书作者在多年来为研究生讲授《食品酶学》的基础上，搜集了国内外大量文献资料，同时得到曹劲松、徐建祥两位博士的大力协助，结合我国国情和现代生物技术发展，经过多年来教学实践，编著而成《食品酶学导论》。该书力求创新，内容新颖，理论联系实际，文字简练，阐述清晰，每章附有文献参考书目。可作为食品科学与工程学科专业研究生教学参考教材，也可供从事食品工业生产高中级科技人员阅读和参考。由于水平所限，不足之处难免，恳请读者批评指正。

彭志英  
华南理工大学

## 第一篇 绪论

<b>第一章</b>	<b>食品酶学含义</b> .....	3
	第一节 酶学 .....	4
	第二节 食品酶学 .....	5
<b>第二章</b>	<b>食品酶学发展简史</b> .....	7
	第一节 史前时期 .....	7
	第二节 近代发展 .....	7
	第三节 现代食品酶学发展 .....	8
<b>第三章</b>	<b>酶的分类和命名</b> .....	11
	第一节 习惯分类和命名法 .....	11
	第二节 国际系统命名法 .....	12
	第三节 国际系统数字编号分类和命名法 .....	12

## 第二篇 食品酶学基础

<b>第四章</b>	<b>酶的分子结构与催化功能</b> .....	17
	第一节 酶分子组成 .....	17
	第二节 酶的结构与功能 .....	26
	第三节 酶的催化作用本质 .....	31
	第四节 酶的催化机制 .....	32
	第五节 模拟酶 .....	36
<b>第五章</b>	<b>酶催化反应动力学和抑制作用</b> .....	38
	第一节 酶反应速度的测定 .....	38
	第二节 单底物酶促反应动力学 .....	40
	第三节 多底物酶促反应动力学 .....	45

第四节	酶催化的抑制作用 .....	49
第五节	酶催化的激活作用 .....	53
第六节	酶在非水介质中的催化 .....	56
<b>第六章</b>	<b>酶的生物合成与发酵生产 .....</b>	<b>61</b>
第一节	DNA 结构与功能 .....	61
第二节	酶蛋白合成过程 (机制) .....	65
第三节	酶 (或蛋白质) 合成的调节 .....	70
第四节	产酶微生物菌种选育 .....	75
第五节	食品级酶发酵法生产 .....	86
<b>第七章</b>	<b>酶的分离、纯化技术 .....</b>	<b>95</b>
第一节	酶的分离、纯化程度 .....	95
第二节	酶的抽提 .....	96
第三节	酶溶液的浓缩 .....	100
第四节	酶的纯化 .....	103
第五节	酶的提纯标准及剂型 .....	116
<b>第八章</b>	<b>固定化酶和固定化活细胞 .....</b>	<b>120</b>
第一节	酶固定化技术发展历史 .....	120
第二节	固定化酶的制备方法 .....	121
第三节	固定化酶的特性及其影响因素 .....	129
第四节	固定化酶的催化机理探讨 .....	135
第五节	固定化细胞 .....	138
第六节	酶反应器 .....	141
<b>第九章</b>	<b>酶分子改造和修饰 .....</b>	<b>147</b>
第一节	酶的化学修饰 .....	147
第二节	酶法有限水解 .....	149
第三节	亲和标记修饰 .....	149
第四节	酶的基因修饰技术 .....	150
<b>第三篇 食品酶学应用</b>		
<b>第十章</b>	<b>食品酶学应用的基础研究 .....</b>	<b>157</b>
第一节	再生资源转化的酶源研究 .....	157
第二节	蛋白质资源活性成分的酶法转化研究 .....	159
第三节	酶的固定化及其产业化应用研究 .....	160

第四节	新酶的开发及其应用研究	161
第五节	酶在蛋白质分子修饰的应用研究	162
第六节	酶在化学合成与非水相酶学的研究	163
第七节	多酶体系协同催化反应的研究	163
第八节	现代技术改良产酶微生物菌种的研究	164
<b>第十一章</b>	<b>酶在食品工业中的应用</b>	<b>167</b>
第一节	酶法生产淀粉糖	167
第二节	酶法生产功能性低聚糖	186
第三节	酶在干酪生产中的应用	195
第四节	酶在调味品生产中的应用	198
第五节	酶在焙烤食品生产中的应用	201
第六节	酶在酿造食品生产中的应用	204
第七节	酶在果蔬加工中的应用	206
第八节	酶在海洋生物资源开发中的应用	210
第九节	酶在食品添加剂生产中的应用	212
第十节	酶在肉类和鱼类加工中的应用	214
第十一节	酶在保健食品功能成分制备中的应用	215
第十二节	酶在食品工厂综合利用方面的应用	216
第十三节	酶在食品安全检查中的应用	216
第十四节	酶在饲料加工中的应用	217
第十五节	酶在其他与食品相关工业领域中的应用	217
附录	国内外微生物菌种保藏单位名称及地址	222
参考文献		224

# 第一篇 绪论

---

第一章 食品酶学含义

第二章 食品酶学发展简史

第三章 酶的分类和命名



# 食品酶学含义

任何生物体（包括细胞）要生长、发育、繁殖及进行复杂的新陈代谢，需要几千种化学反应，而且是在常温、常压下进行的。对这种生命现象的解释，至少在 100 多年前是不可能的。

例如，为了研究鹰是如何消化食物的，1773 年，意大利科学家 L. Spallanzani 设计了一个实验：将肉块放入小巧的金属笼中，然后让鹰吞下去。过一段时间他将小笼取出，发现肉块消失了，于是，他推断胃液中含有消化肉块的物质，但当时他不清楚具体是什么物质，直到 1836 年，德国科学家 T. Schwann 从胃液中提取出了消化蛋白质的物质，后来知道是胃蛋白酶，这才解开胃的消化之谜。

在对酶的认识及酶学理论建立的过程中，此类例子还有许多。1810 年，法国著名的化学家与物理学家 Louis Joseph Gay - lussac 发现酵母可将糖转化为酒精；1814 年 Rirchhoff 发现麦芽中含有能使淀粉分解的物质；1833 年，法国化学家 Payen 和 Persoz 用酒精处理麦芽提取液，分离出了一种能溶于水和稀酒精，不溶于浓酒精，对热不稳定的白色无定形粉末，取名为 diastase（即分离，separation。当时指淀粉酶，后来将 Amylase 命名为淀粉酶；将 diastase 命名为淀粉酶制剂）。它能使淀粉转化为糖，不久后用于棉布退浆；1835—1837 年，瑞典化学家 Berzelius 提出了酶具有作用能力的概念，该概念的产生对酶学和化学的发展都是十分重要的；1857 年，法国著名微生物学家 Louis Pasteur 首先对酒精发酵机理作了理论解释，认为酒精发酵是酵母活细胞引起的，因为酵母中存在一种“酵素”（ferment），并认为这种酵素在活细胞中才能起作用，提出“活体酵素”和“非活体酵素”的概念，实质上代表了“生机论”观点。当时 Liebig、Berzelius 和 Wohler 等提出不同看法，认为酒精发酵本质是物质的作用。因而这两派围绕酒精发酵的本质在科学史上发生了长达半个世纪的学术论战；1878 年，德国学者 Kühne 首次将酵母细胞中导致发酵的物质称为“酶”（enzyme），该词来源于希腊文，en 相当于英文中的 in，zyme 相当于 yeast，其涵义是指在酵母中的酶；1894 年，德国有机化学家 Fisher 提出了酶与底物作用的“锁与钥匙”学说，用以解释酶的催化作用；1897 年，德国学者 Büchner 兄弟俩在制造医药品时，用石英砂磨碎酵母细胞，经陶器过滤得到完全不含酵母活细胞的滤液（抽提物），为了防腐在滤液中添加了蔗糖，意外地发现发酵现象，从而奇迹般地发现了酶离开活细胞也可起作用，发表研究论文“无酵母的酒精发酵”，并因此在 1911 年荣获诺贝尔奖。这是酶学发展史上一个划时代的发现，它不仅从理论上阐明生命现象是物质的作用（即酶的催化作用），而且为酶制剂的开发应用奠定了科学依据。

## 第一节 酶 学

关于酶的定义, 1926年, Sumner 获得脲酶的结晶, 通过实验证实脲酶是蛋白质; 1930年, Northrop 等得到了胃蛋白酶、胰蛋白酶和胰凝乳蛋白酶的结晶, 并进一步证明了酶是蛋白质, 两位科学家在 1946 年荣获诺贝尔奖; 1964 年 Dixon 等认为酶是具有催化功能的一种特殊蛋白质; 1975 年 Stryer 指出酶是一类蛋白质, 其显著的特性是具有催化能力、催化作用的专一性和作用条件的限制性; 同年, Lemninger 认为酶是一种专一地催化生化反应的蛋白质, 具有非常高的催化效能和高度专一性; 1979 年 Wyun 指出酶是来源于生物体的一种分子, 它能提高某一特定反应的速度, 而不影响已确认的最终平衡状态, 酶可以从反应终了的混合物中回收; 1981 年 Schwimmer 认为酶作用具有高度的专一性、高度的催化效能以及高度的受控性; 1981 年, Cech 研究组发现 RNA 分子中含有一个具有自身切接功能的片段, 称为内含子 (intron), 这种具有催化功能 RNA 称为核酸类酶 (ribozyme); 1983 年, S. Altman 等研究 RNaseP (由 20% 蛋白质和 80% 的 RNA 组成), 发现 RNaseP 中的 RNA 可催化 *E. coli* 的 tRNA 前体的加工, 这一发现打破了酶是蛋白质的传统观念, 为此, Cech 和 Altman 于 1989 年共同获得诺贝尔化学奖。

现代科学发展认为, 酶是活细胞产生的具有高效催化功能、高度专一性和高度受控性的一类特殊蛋白质或核酸物质。

酶学 (enzymology) 研究包括酶在细胞内生物合成机理、酶的发酵生产及调节控制、酶分离提纯、酶的作用特性和反应动力学、酶的催化作用机制、酶的固定化技术、酶的分子修饰、酶分子的蛋白质工程改性和酶的应用等内容。第一部系统论述酶的专著是 1930 年英国 T. B. S Haldane 所著的 *Enzymes*。随后关于酶及相关理论的著作陆续出版。1932 年, 德国出版了 Haldane 和 Stern 合著的 *General Chemistry of Enzymes*; 1957 年, 美国出版了 Mchler 所著的 *Introduction to Enzymology*; 1983 年, 出版了 T. Godfrey 和 J. Reichelt 编著的 *Introduction to Industrial Enzymology*, 1983 年 (1996 第二版), 出版了 T. Godfrey 编著的 *Industrial Enzymology*, 1993 年, 出版了 Adlercreutz 编著的 *Immobilized Enzymes*, 1996 年, 出版了 O. R. Fennema 编著的 *Food Chemistry* (第三版); 2003 年, 出版了 J. R. Whitaker 编著的 *Hand Book of Food Enzymology*; 2017 年, 出版了 Robert J. Whitehurst, Marriten van Oort 编, 赵学超译的 *Enzymes in Food Technology* 等。同时, 国内外还出版了一系列关于酶学和酶在食品工业中应用的论著。

为了适应生物工程及酶工程日新月异的发展, 国内从 20 世纪 60 年代开始出版了系列有关酶学的专著、丛书。其中包括 1964 年, 鲁宝重编著的《酶学概论》; 1984 年, 张树政主编的《酶制剂工业》(上、下册); 1987 年, 陈石根、周润琦编著的《酶学》; 1988 年, 邬显章编著的《酶的生产技术》; 1989 年, 熊振平等编著的《酶工程》; 1990 年, 王璋编著的《食品酶学》; 1994 年, 陈驹声、胡学智编著的《酶制剂生产技术》; 1994 年, 郭勇编著的《酶工程》; 1999 年, 彭志英主编的《食品生物技术》; 2003 年, 罗贵民主编的《酶工程》; 2006 年, 郑宝东主编的《食品酶学》; 2007 年, 袁勤生主编的《现代酶学》(第二版)、2008 年, 彭志英主编的《食品生物技术导论》; 2009 年, 郑穗平、郭勇和潘力编著的《酶学》; 2012 年, 袁勤生

主编的《酶与酶工程》(第二版);2015年,陈清西编著的《酶学及其研究技术》(第二版)等。这些专著的出版在促进我国食品、发酵等工业与科技领域的发展,培养高层次专门人才和对繁荣我国食品科技等方面均发挥了重要作用。

## 第二节 食品酶学

食品酶学(food enzymology)是酶学基本理论在食品工业与技术中的应用的科学,是酶学的一个重要分支学科。由于酶在生命活动中的重要作用,以及酶在食品、农业、医药、化工和环保等部门的广泛应用,因此,食品酶学是以普通酶学为基础,重点研究酶在食品工业领域中的基础应用、酶源开发、酶固定化技术、酶的分子修饰及酶在食品加工及保藏中的应用等内容。酶学是生物科学和食品科学的基础,懂得酶学才能理解酶在动植物原料及其加工过程中的变化和作用,才能理解食物在体内的生理作用和营养功能。此外,酶对食品质量(包括食品的感官指标、理化指标及卫生要求等)的影响是很大的,有可能产生好的效果,也有可能产生坏的作用。例如,植物性食物的褐变在很大程度上是由于酚类物质在多酚氧化酶的酶促作用下发生的。但是有些酶促反应却能提高食品色素的质量。例如,蛋粉加工中添加葡萄糖氧化酶可促使蛋粉中葡萄糖氧化成葡萄糖酸,便可避免在蛋粉中发生美拉德(Maillard)反应而产生褐变。而这种反应对另一些食品加工又是有利的,例如在制造面包及其他油炸食品时。食品的风味物质绝大部分是食物原料在生长过程中,乃至收获后或屠宰后产生的。例如,大蒜的辛辣成分主要是二烯丙基二硫化物,它来源于蒜氨酸(S-烯丙基半胱氨酸亚砷),当蒜的组织细胞破损时,其中蒜氨酸裂合酶将蒜氨酸分解为蒜素(二烯丙基次磺酸),蒜素被还原为二烯丙基二硫化物。蒜素及二硫化物是蒜臭及辛辣味的成分。因此,要制备适口的大蒜饮料,需在加工前将蒜加热,促使蒜氨酸裂合酶失活。又例如,动物在屠宰后要经过一段时间肉味才能变得鲜美,因为经屠宰后肌肉中的三磷酸腺苷(ATP)被ATP酶水解为二磷酸腺苷(ADP),2分子ADP在腺苷酸激酶的作用下转变为ATP和一磷酸腺苷(AMP),AMP在脱氨酶的作用下脱去氨基,才成为具有肉鲜味的肌苷酸(IMP)。此外,控制食品加工中酶活力,对于确定果蔬罐头最佳灭菌公式也有重要价值。

食品酶学的重要特点是基础酶学和食品工程学相互渗透,它是将酶学、食品微生物学的基本原理应用于食品工程并与酶工程有机结合而产生的交叉科学技术。酶学、食品酶学与酶工程三者含义有所不同,但它们之间又能有机联系、互相渗透。特别是现代生物工程的兴起和发展,极大地丰富了酶学和食品酶学的研究内容。酶工程是生物工程的重要组成部分。酶工程(enzyme engineering)是从规模生产角度,采用酶催化技术,在生物反应器中控制性地将原料成分转化为人类所需要产品的工程技术。酶工程主要研究酶源开发、酶的发酵生产、酶的分离纯化、酶和细胞固定化、酶的分子修饰以及酶制剂的大规模开发应用等。

当今,酶工程的发展日新月异,并与现代基因工程(gene engineering)、蛋白质工程(protein engineering)、发酵工程(fermentation engineering)和细胞工程(cell engineering)紧密结合,对于改良产酶的菌种和采用细胞固定化技术等新技术,改造传统的食品、发酵、医药和环

保工业等均起着越来越重要的作用。从现代酶工程发展角度而言，酶工程又可分为化学酶工程和生物酶工程。前者包括固定化酶（细胞）、酶的化学修饰和有机溶剂中酶的催化作用等内容，而后者则包括核酸酶、酶分子定向进化和抗体酶等。总之，酶学与酶工程将为改造传统的食品工业、发展社会经济提供极大的帮助。