



GAODENG XUEXIAO ZHUANYE JIAOCAI

• 高等学校专业教材 •

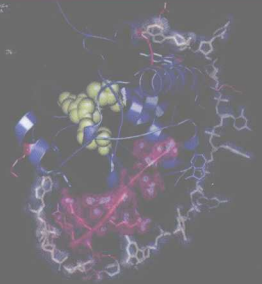
[高校教材]

食品酶学导论

(第二版)

彭志英 编著

INTRODUCTION TO ENZYMOLOGY
(SECOND EDITION)



中国轻工业出版社



THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILOSOPHY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILOSOPHY

PHILOSOPHY

PHILOSOPHY



高等学校专业教材

食品酶学导论

(第二版)

Introduction to Enzymology (Second Edition)

彭志英 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品酶学导论/彭志英编著. —2 版. —北京: 中国轻工业出版社, 2009. 6

高等学校专业教材

ISBN 978-7-5019-6855-8

I. 食… II. 彭… III. 酶学-应用-食品工业-高等学校-教材 IV. TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 018841 号

责任编辑: 马 妍

策划编辑: 李亦兵 责任终审: 张乃柬 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 王超男 责任校对: 李 靖 责任监印: 马金路

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: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 6 月第 2 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 14.25

字 数: 350 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-6855-8 定价: 28.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119845 65128898 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

80443J1X201ZBW

前 言

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，酶在其它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。

华南理工大学



中国轻工业出版社食品教材书目

本科教材

粮食机械原理及应用技术（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	44.60
粮油储藏学（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	40.00
食品工艺学（普通高等教育“十五”国家级规划教材）	48.00
食品分析（普通高等教育“十五”国家级规划教材）	38.00
食品工程原理（普通高等教育“十五”国家级规划教材）	60.00
食品工厂设计与环境保护（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	39.00
食品生物技术导论（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	43.00
粮油食品加工工艺学（普通高等教育“十五”国家级规划教材）	35.00
食品加工机械与设备（北京市高等教育精品教材立项项目）	55.00
功能食品教程（北京市高等教育精品教材立项项目）	50.00
现代食品微生物学（北京市高等教育精品教材立项项目）	55.00
现代食品微生物学实验技术（北京市高等教育精品教材立项项目）	30.00
天然产物提取工艺学（教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材）	45.00
食品物性学（教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材）	25.00
大豆制品工艺学（第二版）（教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材）	36.00
食品物流学（教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材）	26.00
食品原料与资源学（教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材）	32.00
动植物检验检疫学（教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材）	22.00
食品毒理学（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	41.00
现代食品检测技术（第二版）（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	42.00
食品质量与安全实验技术（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	36.00
食品安全保藏学（第二版）（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	32.00
水产品安全性（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	36.00
食品加工中的安全控制（第二版）（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	43.00
食品标准与法规（食品质量与安全专业）	36.00
食品原料安全控制（食品质量与安全专业）	38.00
食品工艺学概论（食品质量与安全专业）	45.00
食品环境学（食品质量与安全专业）	35.00
食品微生物学（食品质量与安全专业）	40.00
食品免疫学（食品质量与安全专业）	35.00
食品安全学导论（食品质量与安全专业）	32.00
动植物检验检疫学（食品质量与安全专业）	48.00
食品质量与安全专业英语（食品质量与安全专业）	30.00
食品工程导论（第三版）	54.00
食品加工原理（影印版）	37.00

食品科学导论（影印版）	43.00
功能性食品学（第二版）	48.00
食品研究与数据分析（第三版）	30.00（估）
食品酶学	24.00
食品化学与营养学	50.00
食品安全与检测	34.00
食品安全与质量控制	30.00
食品感官评定	18.00
食品保藏学	32.00
粮油检验与分析	35.00
粮油加工概论	30.00
食品化学实验手册	20.00
乳品微生物学实验技术	32.00
天然香料加工工艺学	20.00
乳品工艺学	48.00
食品科学实验技术	18.00
大学生饮食营养与健康	22.00
食品营养与健康	12.80
食品科学导论	50.00
食品加工技术装备（第二版）	60.00
冷库建筑	36.00
果蔬采后生理生化实验指导	22.00
发酵乳制品工艺学	33.00
食品病原微生物学	59.00
合成香料工艺学	45.00
日用香精调配技术	35.00
香料分析	22.00
制冷技术与食品冷冻冷藏设施设计	35.00
食品分析实验教程	30.00
食品微生物学实验指导	25.00
食品物理化学	28.00
食品工艺实验与检验技术	28.00
现代仪器分析技术及其在食品中的应用	42.00
食品工艺学（第二版）	78.00
食品营养学（第二版）	35.00
食品分析	22.00
食品生物技术	45.00
食品质量管理学	21.80
食品加工技术装备	79.00
食品风味化学	26.00
食品化学	44.00
食品卫生学	25.00
食品专业英语文选	30.00

食品微生物学	21.50
食品生物化学	29.80
食品酶学导论	18.00
食品技术原理	50.00
动物性食品加工学（面向 21 世纪课程教材）	45.00
肉品科学与技术	42.00
肉与肉制品工艺学	38.00
软饮料工艺学	36.00
焙烤食品工艺学	50.00
园艺产品贮藏加工学	49.00
HACCP 原理与实施	46.00
食品加工原理	30.00
乳及发酵乳制品工艺学	32.00
生物化学学习指导	32.00
食品工厂机械与设备（含光盘）	58.00
蛋品加工技术	30.00
生物化学实验（工科专业适用）	22.00

高职高专教材

焙烤食品加工技术（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	22.80
食品分析与检验（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	30.00
食品卫生与安全管理（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	28.00
食品营养（普通高等教育“十一五”国家级规划教材）	28.00
食品安全性与质量控制（普通高等教育“十五”国家级规划教材）	21.00
食品工厂设计（普通高等教育“十五”国家级规划教材）	22.00
果蔬加工工艺学（普通高等教育“十五”国家级规划教材）	25.00
食品检验技术（感官评价部分）	20.00
食品检验技术（微生物部分）	22.80
食品检验技术（理化部分）	30.00
食品机械与设备	28.50
食品企业管理体系建立与认证	35.00
食品加工技术概论	24.00
食品生物化学	26.00
肉制品加工技术	18.00
食品工程原理	30.00
软饮料加工技术	22.00
乳与乳制品检测技术	30.00
乳品微生物学	36.00
食品包装技术	26.00
食品分析技术	55.00
软饮料工艺学	28.00
食品添加剂（第二版）	36.00
食品化学	25.00
食品微生物学	26.00

畜禽食品工艺学	30.00
功能食品加工技术	26.00
食品工业企业管理	26.00
果蔬贮运学	22.00
食品生物化学	24.00
食品生物技术	22.00
食品理化与微生物检测实验	22.00
商品检验技术	28.00
食品营养与卫生学	30.00
食品掺伪鉴别检验 (第二版)	36.00
西方饮食文化	25.00
药膳食疗学	28.00
面点制作技术	18.00
烹调工艺学 (第二版)	29.00
面点工艺学 (第二版)	26.00
中国名点 (第二版)	30.00
中国名菜 (第二版) (含光盘)	44.00
烹饪卫生与安全学 (第二版)	45.00
烹饪化学 (第二版)	35.00
烹饪营养学 (第二版)	28.00
饭店厨房的设计和运作	28.00
中式面点工艺 (北京高等教育精品教材立项项目) (含光盘)	38.00
烹饪器具及设备	26.00
烹饪工艺美术	24.00
饮食文化概论	25.00
烹饪原料学	48.00
西餐工艺	20.00
冷菜工艺	19.00
食品雕刻 (含光盘)	20.00
饮食消费心理学	24.00
中国饮食保健学	30.00
饮品知识	26.00
餐饮企业管理	24.00
中国名点 (含光盘)	38.00
宴会设计	24.00
粤菜烹饪教程	40.00
山东菜烹饪教程	18.00
西餐工艺	18.00
现代仪器分析	18.00
中 职 教 材	
乳制品生产技术	25.00
焙烤食品工艺学	25.00
饮料生产技术	25.00

方便与休闲食品生产技术	25.00
罐头生产技术	25.00
食品微生物学	25.00
食品机械与设备	52.00
食品分析(修订版)	27.00
食品生物化学	18.00
食品营养与卫生	18.80
食品烘焙 MES 模块教程	42.00
烹调工艺	14.00
烹饪原料加工工艺	12.00
烹饪化学	14.00
烹饪原料	20.00
西餐烹调技术	16.50
面点工艺(含光盘)	25.00
筵席知识	12.00
饮食营养与卫生	20.00
餐饮企业经营管理	16.00
食疗保健	13.00

国家职业资格培训教程

现代食品营养与安全(食品企业营养师培训教材)	48.00
烘焙工——初级(含面包、中式糕点、西式糕点)	22.00
烘焙工——中级(含面包、中式糕点、西式糕点)	22.00
烘焙工——高级(含面包、中式糕点、西式糕点)	22.00
烘焙工——基础知识(含面包、中式糕点、西式糕点)	39.00
烘焙工——技师(含面包、中式糕点、西式糕点)	30.00
烘焙工——高级技师(含面包、中式糕点、西式糕点)	31.00
食糖制造工——基础知识	36.00
食糖制造工——提汁(初级、中级、高级)	75.00
食糖制造工——澄清(初级、中级、高级)	45.00
食糖制造工——加热蒸发(初级、中级、高级)	28.00
食糖制造工——结晶(初级、中级、高级)	59.00
食糖制造工——分蜜与干燥(初级、中级、高级)	25.00
食糖制造工——分析(初级、中级、高级)	42.00

购书办法：各地新华书店，本社网站（www.chlip.com.cn）、当当网（www.dangdang.com）、卓越网（www.joyo.com）、轻工书店（联系电话：010-65128352），我社读者服务部（联系电话：010-65241695）。

目 录

第一篇 绪 论

第一章 食品酶学含义	3
第一节 酶学	3
第二节 食品酶学	4
第二章 食品酶学发展简史	6
第一节 史前时期	6
第二节 近代发展	6
第三节 现代食品酶学发展	7
第三章 酶的分类和命名	10
第一节 习惯分类和命名法	10
第二节 国际系统命名法	11
第三节 国际系统数字编号分类和命名法	11
参考文献	13

第二篇 食品酶学基础

第四章 酶的分子结构与催化功能	17
第一节 酶分子组成	17
第二节 酶的结构与功能	25
第三节 酶的催化作用本质	30
第四节 酶的催化机制	31
第五节 模拟酶	35
第五章 酶催化反应动力学和抑制作用	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	45
第三节 多底物酶促反应动力学	50
第四节 酶催化的抑制作用	53
第五节 酶催化的激活作用	56
第六节 酶在非水介质中的催化	59
第六章 酶的生物合成与发酵生产	64
第一节 DNA 结构与功能	64
第二节 酶蛋白合成过程（机制）	71
第三节 酶（或蛋白质）合成的调节	74
第四节 产酶微生物菌种选育	79

第五节	食品级酶发酵法生产	90
第七章	酶的分离、纯化技术	98
第一节	酶的分离、纯化程度	98
第二节	酶的抽提	99
第三节	酶溶液的浓缩	102
第四节	酶的纯化	105
第五节	酶的提纯标准及剂型	118
第八章	固定化酶和固定化细胞	121
第一节	酶固定化技术发展历史	121
第二节	固定化酶的制备方法	121
第三节	固定化酶的特性	126
第四节	固定化酶的催化机理探讨	131
第五节	固定化活细胞	133
第六节	酶催化反应器及其类型	135
第九章	酶分子改造和修饰	140
第一节	酶的化学修饰	140
第二节	酶法有限水解	141
第三节	亲和标记修饰	142
第四节	酶的基因修饰技术	143
参考文献	147

第三篇 食品酶学应用

第十章	食品酶学应用的基础研究	151
第一节	再生资源转化的酶源的研究	151
第二节	蛋白质资源活性成分的酶法转化研究	153
第三节	酶的固定化及其产业化应用研究	154
第四节	新酶的开发及其应用研究	155
第五节	酶在蛋白质分子修饰的应用研究	156
第六节	酶在化学合成与非水相酶学的研究	156
第七节	多酶体系协同催化反应的研究	157
第八节	现代技术改良产酶微生物菌种的研究	157
第十一章	酶在食品产业化过程中的应用	160
第一节	双酶法生产葡萄糖的产业化	160
第二节	酶法制造超高麦芽糖浆的产业化	165
第三节	酶法生产高果糖浆的产业化	171
第四节	啤酒发酵生产专用糖浆的产业化	175
第五节	酶法制造功能低聚糖的产业化	176
第六节	酶法应用于生产干酪的产业化	184

第十二章 酶在其它食品加工领域中的应用	189
第一节 酶在发酵、酿造食品生产中的应用	189
第二节 酶在果蔬加工中的应用	192
第三节 酶在海洋生物资源开发中的应用	194
第四节 酶在食品添加剂生产中的应用	196
第五节 酶在调味品加工中的应用	198
第六节 酶在肉类和鱼类加工中的应用	199
第七节 酶在焙烤食品中的应用	199
第八节 酶在保健食品功能成分中的应用	200
第九节 酶在食品工厂综合利用方面的应用	201
第十节 酶在食品安全检查中的应用	201
第十一节 酶在饲料加工中的应用	202
第十二节 酶在其它工业中的应用	202
参考文献	206
附录 1 国内外著名微生物菌种保藏单位及地址	208
附录 2 中英文名词索引	210

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

第一章 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，均需要进行几千种化学反应，而且这些反应是在常温、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。1857 年法国著名微生物学家巴斯德（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，并认为没有活细胞就不会有发酵过程，提出了“生机论”观点。当时 Liebig 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本质在科学史上展开了长达半个世纪的学术争论。1876 年，德国学者 Kühne 首先提出 enzyme 一词。希腊文中 en 相当于英文中的 in，zyme 相当于 yeast，其含义是指在酵母中的酶。1897 年，德国学者巴赫纳（Büchner）兄弟俩用石英砂磨碎酵母细胞，经过滤得到不含活酵母细胞的抽提物，添加了蔗糖后，发现酶离开活细胞也可起到催化作用。这是酶学史上一个划时代的发现，它不仅从理论上阐明了生命现象的本质，而且为酶制剂的开发应用奠定了科学基础。

第一节 酶 学

关于酶的定义，1964 年 Dixon 等人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。1982 年，Cech 等发现四膜虫细胞内 RNA 也具有催化作用，从而改变了酶化学本质的传统观念。现代科学发展认为，酶是活细胞产生的具有高效催化功能、高度专一性和可控性的一类特殊蛋白质及某些核糖核酸。

酶学（enzymology）是研究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*。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 年出版了由 T. Godfrey 和 J. Reichelt 编著的 *Introduction to Industrial Enzymology*。1985 年，A. Wiseman 编著了 *Handbook of Enzyme Biotechnology (second edition)*。1993 年 Adlreerutz 编著的 *Immobilized Enzymes* 一书出版。随后国内外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 年代开始出版了一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年陈陶声、胡学智编著的《酶制剂生产技术》、1994年郭勇编著的《酶工程》、2000年徐凤彩主编、姜涌明副主编的《酶工程》、2002年彭志英编著的《食品酶学导论》和2006年郑宝东主编的《食品酶学》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^[1] (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它油炸食品时。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