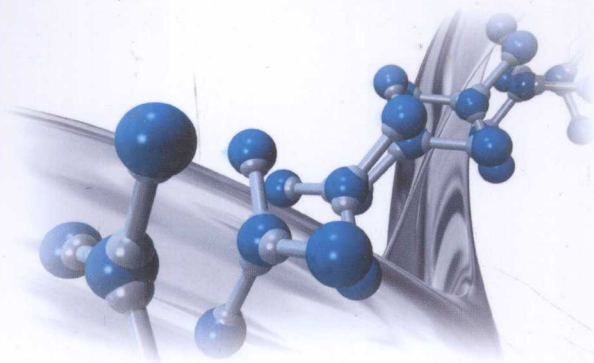


“十一五”国家重点图书出版规划项目



应用生物技术大系

Comprehensive Series of Applied Biotechnology



工业酶——结构、功能与应用

〔西〕 J. 波莱纳 A. P. 麦凯布 主编

王小宁 李 爽 王永华 译

Industrial Enzymes
Structure, Function and Applications



科学出版社

www.sciencep.com

“十一五”国家重点图书出版规划项目

应用生物技术大系

工业酶——结构、功能与应用

Industrial Enzymes

Structure, Function and Applications

〔西〕 J. 波莱纳 A. P. 麦凯布 主编

王小宁 李 爽 王永华 译

科学出版社

北京

Q931.97
B85p

图字: 01-2009-1134 号

内 容 简 介

本书第一篇介绍了以碳水化合物为底物的酶类,着重介绍淀粉酶和纤维素酶的类型、结构和催化特性及在诸多工业领域中的应用。此外对木聚糖酶、果胶酶、糖苷酶和转糖苷酶等也有讨论。第二篇介绍了蛋白水解酶家族的 MEROPS 数据库,之后是与工业关系密切的枯草杆菌蛋白酶、半胱氨酸型蛋白酶、金属蛋白酶等。第三篇对脂肪酶的结构和功能,在酯工业、有机合成、生物柴油、结构脂合成中的应用等分章进行了评述。第四篇对重要性日益提高的核酸酶给予了特别关注。最后对多种重要而无法分类的酶进行了讨论,包括氧化还原酶、植酸酶、腈水解酶、青霉素酰化酶等。

本书可作为相关专业研究生和高年级本科生的教材或参考书,也可供从事生物化工、医药、食品等行业及其他相关技术领域的科技工作者参考阅读。

Translation from the English language edition:

Industrial Enzymes edited by Julio Polaina and Andrew P. MacCabe

Copyright © 2007 Springer

Springer is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

图书在版编目(CIP)数据

工业酶:结构、功能与应用/(西)波莱纳(Polaina, J.)等主编;王小宁,李爽,王永华译. —北京:科学出版社,2010

(应用生物技术大系)

ISBN 978-7-03-026498-5

I. ①工… II. ①波… ②王… ③李… ④王… III. ①酶-应用-工业技术 IV. ①Q939.97

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 015593 号

责任编辑:夏 梁 李晶晶/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 2 月第一次印刷 印张:32 1/4

印数:1—2 500 字数:735 000

定价:108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

编者名单

Adányi, Nóra
Adney, William S.
Alberghina, Lilia
Alcalde, Miguel
Arrizubieta, María J.
Ballesteros, Antonio
Banerjee, Anirban
Banerjee, Uttam Chand
Barna, Teréz
Barrett, Alan J.
Brinch-Pedersen, Henrik
Bujnicki, Janusz M.
Chao, Yun-Peng
Chern, Jong-Tzer
Chiang, Chung-Jen
Christakopoulos, Paul
Claverie-Martín, Félix
Dey, Estera S.
Díaz, Pilar
Ding, Shi-You
Divakar, Soundar
Donlon, John
Dridi, Walid
Drouin, Régen
Emri, Tamás
Francisco, José da Cruz
Gallardo, Óscar
Gómez de Segura, Aránzazu
Gotor, Vicente
Gotor-Fernández, Vicente
Gough, Simon P.
Grzonka, Zbigniew
Gummadi, Sathyanarayana N.

Himmel, Michael E.
Hobman, Tom C.
Janeček, Štefan
Kasprzykowski, Franciszek
Kaul, Praveen
Kawata, Yasushi
Kumar, D. Sunil
Lampson, Bert
Lei, Xin Gen
Lotti, Marina
Machovič, Martin
Manohar, Balaraman
Manoj, N.
Mansfeld, Johanna
Manzanares, Paloma
Martínez, Ángel T.
Miettinen-Oinonen, Arja
Miskei, Márton
Mizobata, Tomohiro
Monduzzi, Maura
Morton, Fraser R.
Mullaney, Edward J.
Orejas, Margarita
Pare, Justin M.
Pastor, F. I. Javier
Plou, Francisco J.
Pócsi, István
Porres, Jesus M.
Ramón, Daniel
Ramsden, Martin
Rawlings, Neil D.
Salis, Andrea
Samasekou, Oumar

Sanz, Yolanda
 Sanz-Aparicio, Julia
 Seah, Stephen Y. K.
 Skowronek, Krzysztof J.
 Solinas, Vincenzo
 Spence, David W.
 Synowiecki, Józef

Topakas, Evangelos
 Tzen, Jason T. C.
 Vallés, Salvador
 Vega-Hernández, María C.
 Wiczak, Wiesław
 Xu, Qi

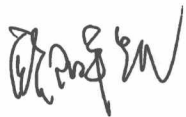
欧阳平凯序

以生物催化与生物转化为核心的工业生物技术，被视为生物技术的第三次浪潮，已成为发达国家的重要科技与产业发展战略。世界经济合作与发展组织指出：“生物催化技术是工业可持续发展最有希望的技术。”工业生物技术，又称白色生物技术，它以酶在工业上的应用为典型特征，为人类寻找化石能源的替代品、降低能耗、减轻环境压力提供了前所未有的支持。目前，欧洲国家及美国、日本等发达国家日益重视酶在工业中的应用，围绕着新酶的发现、酶的催化机理的揭示以及现有已知酶的功能开发等进行了大量研究工作，并开始大规模地资助该领域的基础和应用研究开发。我国政府则从2003年开始对工业生物技术的研发和产业化工作进行重点支持。酶大量应用于各种工业过程，必将为解决目前影响过程工业可持续发展的许多问题提供行之有效的替代方法。

在工业生物技术快速发展的背景下，2007年Springer出版社出版的 *Industrial Enzymes: Structure, Function and Applications* 非常及时。该书着重介绍了工业上最重要的几类酶，包括碳水化合物类酶、肽酶、脂肪酶、核酸酶、氧化还原酶等，并就各分类中有代表性的酶进行了详细阐释。在介绍过程中，着重于酶在实际应用中所必须关注的特性如三级结构、理化性质和催化特性，并包含有酶的基本应用以及一些最新的、潜在用途。该书对于指导酶的新功能和应用开发具有很大参考价值。

该书与其他同类图书相比，具有内容全面、分类合理、框架清晰等特点，其结构安排适于读者快速掌握各类酶的结构、功能和应用。该书所汇集的内容具有系统性和权威性，可用作生物工程、酶工程、轻工等领域教学和科研人员的重要参考书。

我非常高兴看到《工业酶——结构、功能与应用》一书中文版的出版，衷心感谢华南理工大学生物科学与工程学院王小宁院长及其同事为该书的翻译和出版所花费的心血和付出的劳动。相信该书的出版将对我国酶工业领域的发展有所裨益。



中国工程院院士

2009年12月3日于南京

译 者 序

本人从事生物医药研究 20 多年后,于几年前转入工业生物技术领域,并一直关注酶工业领域的研究进展。作为生物体内活细胞产生的一种高效的生物催化剂,酶在工业使用中具有减少能耗、降低成本、减少化学产品用量、产生更少废弃物等环境友好特点,能够给产品制造商带来诸多益处。目前,酶在工业中的应用领域涵盖多个方面,包括食品、动物饲料、洗涤剂、纸浆和造纸、有机合成、医药、污水处理、生物能源等。近年来,能源短缺和人类对环境的日益关注,促进了生物技术特别是酶在工业应用中的迅速发展,并且由于后基因组时代的到来,应用微生物学、基因工程、蛋白质结构分析和设计、定向进化技术、高通量筛选技术等快速发展,酶工程的应用和前途展现出极大潜力。我国近年来也大力推动工业酶的应用与基础研究,但与国际领先水平还有一定的差距。本人深感国内高水平的相关著作较少,不能满足科研人员、教师及学生的需求。

我于 2007 年在 Springer 出版社的新书推介中看到这本 *Industrial Enzymes: Structure, Function and Applications*, 在阅读完该书后,深深被该书内容体系的前沿性、系统性和权威性所吸引。随后,很快联系了科学出版社,请他们联系了该书中文版的版权,开始着手组织李爽、王永华等将其翻译成中文,希望本书能够对相关领域的教学和科研起到一定的参考作用,推动酶工程领域的进一步发展。

感谢华南理工大学的巴丽娜、徐讯、李文成、陈华勇参加本书翻译、校对等工作。



2009 年 11 月 15 日于广州

前 言

21 世纪的工业酶技术

人类对酶的使用可追溯至文明滥觞的最早期。在原始人类共同体中,许多重要的人类活动都涉及酶活性的应用——尽管是在不自觉的情况下,例如,某些食物和饮品的生产,将兽皮经过制革制成皮革供人穿着等。然而直到 19 世纪,随着生物化学的发展和众多杰出的科学家的开创性工作,酶的本质及其作用方式才开始为人所知。在法国,Anselme Payen 和 Jean-François Persoz (1833 年)描述了从发芽大麦中分离一种淀粉分解物质的过程。不久之后,瑞典化学家 Jöns Jacob Berzelius (1835 年)创造了“catalysis”(催化)这一术语,来描述特定物质加速化学反应的特性。在德国,生理学家 Theodor Schwann (1836 年)发现了起消化作用的胃蛋白酶, Wilhelm Kühne (1877 年)提出了“enzyme”(酶)这一术语, Hans 兄弟和 Eduard Buchner (1897 年)证实葡萄糖到乙醇的转化可以在无细胞的酵母提取液中存在某些化学物质(酶)的情况下实现。19 世纪 70 年代,丹麦化学家 Christian Hansen 成功地从小牛胃中获得了纯的凝乳酶(rennet),其在乳酪制作中的使用使得产品的产量与质量均获得了可观的改善。此后不久,他将凝乳酶的生产工业化,从而诞生了最早的制酶工业。

到 20 世纪,对酶是蛋白质这一点的认识以及对酶的纯化和分析技术的设计——这主要归功于 James B. Sumner 和 Kaj Linderstrøm-Lang 的工作,推动了酶的工业生产和应用的方法的发展。60 年代产生了对酶工业具有深远影响的两大突破:葡萄糖淀粉酶的产业化,该酶催化从淀粉生产葡萄糖,效率远高于酸水解的化学方法;第一个含酶洗涤剂的问世。80 年代,基因工程的发展为新酶的生产和产业化提供了必要的工具,从而为酶工业第二次爆炸式扩张到目前 10 亿美元规模的产业播下了种子。近来,蛋白质化学领域内 X 射线结晶学及其他分析方法的进展,来自基因组计划的不断扩充的生物信息,以及定向进化、基因和基因组重组等分子生物学技术,正在为酶结构和功能的研究和操控带来强大的手段。可以期望,改进现有酶催化方法的诉求,开发新技术的需要,以及对原材料负责任的利用和回收的日益增长的关注,不仅将激发人们对酶进行理性改性以适应特定需要,也将激励人们设计具有全新性质的新酶。

本书的目的是在单册的篇幅内,提供最重要的工业酶类的最新修订本,其内容基于对这些酶的理化及催化性质、三维结构、当前和将来的应用范围的考虑。本书第一篇专门介绍对碳水化合物具活性的酶,这些酶不仅广泛用于许多食品工业(烘焙、饮料生产、淀粉精制等),而且也用于纺织品、洗涤剂、纸张、乙醇等的工业生产。第二篇是有关肽酶的。首先用一章介绍 MEROPS 数据库,该数据库是这一重要酶类目前分类的参考。接下来的章节评述肽酶中与工业关系最为密切者。关于脂肪酶的第三篇对该类酶在合成过程中日益增多的应用给予了特别的关注。第四篇考虑核酸修饰活性,尽管后者应用的规模和这些应用的本质还无法与前述酶相比,但其重要性正在不断提高,在一些

具有高度特殊性的领域是不可或缺的。这些领域包括基础与应用研究、医药、制药、农学和法医学。最后一篇介绍了许多重要但无法被归类于其他章节的酶。

我们要感谢本书问世过程中涉及的每一个人，并希望这本书会成为对研究人员、业界人士和学生同样有用的工具。

Julio Polaina

Andrew P. MacCabe

目 录

欧阳平凯序

译者序

前言

第一篇 碳水化合物酶

第1章 淀粉分解酶：类型、结构和特性	3
1.1 简介	3
1.2 GH-H 酶系：家族 GH13、GH70 和 GH77	4
1.3 家族 GH13	7
1.4 家族 GH14 和 GH15	9
1.5 家族 GH31	10
1.6 家族 GH57	11
参考文献	13
第2章 淀粉酶在食品工业中的应用	18
2.1 简介	18
2.2 酶在淀粉水解工业中的应用	19
2.3 淀粉和含淀粉食品的酶解过程	22
参考文献	28
第3章 用于生物质转化的纤维素酶	30
3.1 简介	30
3.2 纤维素酶作用的历史模型	31
3.3 非纤维体纤维素酶（真菌模型）	32
3.4 纤维素酶协同作用	33
3.5 纤维素酶的现代分类法	34
3.6 纤维体纤维素酶	36
3.7 纤维素酶的研究展望	39
致谢	40
参考文献	40
第4章 纤维素酶在纺织工业中的应用	44
4.1 简介	44
4.2 牛仔布料的仿旧整理	45
4.3 生物抛光	47
4.4 其他用途	49

致谢	50
参考文献	50
第5章 木聚糖酶：分子性质与应用	54
5.1 简介	54
5.2 木聚糖的酶解	55
5.3 木聚糖酶	56
5.4 β -木糖苷酶和脱支酶	61
5.5 木聚糖酶的应用	62
参考文献	64
第6章 微生物木聚糖酯酶	68
6.1 简介	68
6.2 木聚糖乙酰酯酶	69
6.3 阿魏酸酯酶	70
6.4 利用作为生物合成工具的木聚糖乙酰酯酶和阿魏酸酯酶	75
参考文献	76
第7章 果胶酶的结构和生化性质	82
7.1 简介	82
7.2 果胶酶的生化性质	83
7.3 果胶酶的结构和功能	86
7.4 果胶酶的应用	90
致谢	91
参考文献	91
第8章 α-L-鼠李糖苷酶的新旧见解	96
8.1 简介	96
8.2 生化性质和结构	97
8.3 生物学功能	106
8.4 α -L-鼠李糖苷酶的潜在工业应用	107
8.5 前景展望	110
致谢	110
参考文献	111
第9章 糖苷酶和转糖苷酶在合成低聚糖中的应用	116
9.1 简介	116
9.2 用糖苷酶合成低聚糖	117
9.3 用转糖苷酶合成低聚糖	120
致谢	125
参考文献	125

第二篇 肽 酶

第 10 章 肽酶和 MEROPS 数据库介绍	133
10.1 简介	133
10.2 肽酶	135
10.3 肽酶的分类	137
参考文献	145
第 11 章 半胱氨酸型蛋白酶	148
11.1 简介	148
11.2 结构和功能	148
11.3 半胱氨酸型蛋白酶的工业化应用	152
11.4 半胱氨酸型蛋白酶在医学和制药工业中的应用	155
参考文献	157
第 12 章 枯草杆菌蛋白酶	161
12.1 简介	161
12.2 枯草杆菌蛋白酶的一般特性	161
12.3 枯草杆菌蛋白酶的生物工程研究	163
12.4 枯草杆菌蛋白酶在去污剂行业的应用	165
12.5 其他应用	166
12.6 结论	167
参考文献	167
第 13 章 天冬氨酸型蛋白酶在干酪制造中的应用	169
13.1 简介	169
13.2 天冬氨酸型蛋白酶的结构	169
13.3 凝乳酶	171
13.4 植物天冬氨酸型蛋白酶	173
13.5 真菌天冬氨酸型蛋白酶	174
参考文献	176
第 14 章 金属型蛋白酶	180
14.1 简介: 金属型蛋白酶分类	180
14.2 嗜热菌蛋白酶——典型的金属型蛋白酶	182
14.3 分子结构和功能	184
14.4 应用	189
致谢	193
参考文献	193
第 15 章 氨肽酶	199
15.1 简介	199
15.2 氨肽酶的分类及其命名	199

15.3 氨肽酶的类型和功能	200
15.4 氨肽酶的催化机理和结构	205
15.5 氨肽酶的工业应用	209
参考文献	210

第三篇 脂 肪 酶

第 16 章 脂肪酶：分子结构和功能	217
16.1 简介	217
16.2 生物化学，功能和表达	217
16.3 脂肪酶的多样性和保守性：序列和功能	222
16.4 脂肪酶特异性的决定因素	223
16.5 脂肪酶研究前景	225
16.6 结论	227
参考文献	228
第 17 章 脂肪酶在酯工业化生产中的应用	233
17.1 简介	233
17.2 影响脂肪酶酯化反应的因素	233
17.3 脂肪酶催化脂化反应的动力学研究	239
17.4 酶的固定化	240
17.5 反相胶束中的酯化反应	240
17.6 脂肪酶催化中的响应面法 (RSM)	241
17.7 脂肪酶催化拆分外消旋酯	241
17.8 结束语	241
参考文献	242
第 18 章 脂肪酶在有机合成中的应用	248
18.1 简介	248
18.2 有机溶剂中的脂肪酶	248
18.3 离子流体中的脂肪酶	249
18.4 酯和碳酸盐的水解	249
18.5 酯化和转酯化过程	250
18.6 酶法胺解和氨解反应	253
18.7 脂肪酶的非常规反应	256
18.8 结束语	257
参考文献	257
第 19 章 脂肪酶在合成生物柴油中的应用	260
19.1 简介	260
19.2 脂肪酶用于合成生物柴油	261
19.3 合成生物柴油的底物	264

19.4 生成生物柴油的反应条件	268
19.5 结论	273
致谢	274
参考文献	274
第 20 章 脂肪酶在超临界 CO₂ 中合成结构脂的应用	278
20.1 简介	278
20.2 结构脂	278
20.3 脂肪酶催化合成结构油脂	279
20.4 脂肪酶的分子结构和作用机理	279
20.5 超临界 CO ₂ 中脂肪酶相关反应	282
20.6 超临界 CO ₂ 中脂肪酶活性和合成的影响因素	283
20.7 超临界 CO ₂ 与有机介质对比	286
参考文献	286
第四篇 核 酸 酶	
第 21 章 限制性内切核酸酶和归巢内切核酸酶	293
21.1 简介：限制和归巢的历史与生物学	293
21.2 限制性内切核酸酶和归巢内切核酸酶的命名与分类	296
21.3 限制性内切核酸酶和归巢内切核酸酶的结构与进化	298
21.4 限制性内切核酸酶的应用	300
21.5 归巢内切核酸酶的应用	303
21.6 限制性内切核酸酶和归巢内切核酸酶的蛋白质工程	304
21.7 结论和对未来的展望	306
致谢	306
参考文献	307
第 22 章 用于 PCR 的 DNA 聚合酶	311
22.1 简介	311
22.2 DNA 聚合酶的结构	312
22.3 DNA 聚合酶的催化特性	314
22.4 商业化的 DNA 聚合酶种类	315
22.5 PCR 技术	318
22.6 总结与未来展望	325
致谢	326
参考文献	326
第 23 章 原核逆转录酶	329
23.1 简介	329
23.2 II 组内含子	330
23.3 逆转录子和 msDNA	333

23.4 多样性生成因子·····	338
23.5 原核逆转录酶的应用·····	339
致谢·····	341
参考文献·····	341
第 24 章 Dicer 的结构、功能以及在 RNA 依赖的基因沉默途径中的作用 ·····	345
24.1 简介·····	345
24.2 结构和功能·····	345
24.3 Dicer 接合蛋白 ·····	351
24.4 Dicer 和基因沉默方法的应用 ·····	354
致谢·····	356
参考文献·····	356
第五篇 氧化还原酶和其他不同功能的酶	
第 25 章 过氧化氢产生酶和分解酶：它们在生物传感器及其他领域中的应用 ·····	363
25.1 简介·····	363
25.2 酶的结构和作用机制·····	363
25.3 建立在氧化酶和过氧化氢酶基础上的生物传感器·····	368
25.4 其他应用·····	372
参考文献·····	373
第 26 章 漆酶：生物学功能、分子结构和工业应用 ·····	380
26.1 简介·····	380
26.2 漆酶底物和抑制剂·····	380
26.3 结构和功能特征·····	381
26.4 生物功能·····	385
26.5 工业应用·····	386
参考文献·····	389
第 27 章 高氧化还原电位过氧化物酶 ·····	393
27.1 简介·····	393
27.2 木素降解酶·····	393
27.3 降解木质素的过氧化物酶的结构和功能·····	394
27.4 降解木质素过氧化物酶的底物氧化位点·····	396
27.5 工业生物催化·····	398
参考文献·····	399
第 28 章 氨基酸脱氢酶 ·····	403
28.1 简介·····	403
28.2 总体结构和反应机制·····	404
28.3 功能·····	405
28.4 生物技术应用·····	410

28.5 结论	412
参考文献	413
第 29 章 植酸酶：来源、结构和应用	416
29.1 简介	416
29.2 植酸酶的来源	416
29.3 结构	419
29.4 植酸酶的应用	424
29.5 当前的研究热点	426
致谢	429
参考文献	429
第 30 章 腈水解酶	436
30.1 简介	436
30.2 腈水解酶总类	436
30.3 应用	444
30.4 结论	445
参考文献	446
第 31 章 天冬氨酸酶：分子结构、生化功能和生物技术应用	450
31.1 简介	450
31.2 天冬氨酸酶的基础特性	450
31.3 芽孢杆菌 YM55-1 天冬氨酸酶	455
31.4 天冬氨酸酶的分子工程和工业应用	459
31.5 结束语	461
参考文献	461
第 32 章 转谷氨酰胺酶	464
32.1 简介	464
32.2 酶活性和催化机理	464
32.3 酶的类型	465
32.4 酶的结构	466
32.5 转谷氨酰胺酶的工业应用	469
参考文献	472
第 33 章 青霉素酰化酶	477
33.1 简介	477
33.2 青霉素酰化酶的生物来源	478
33.3 酰化酶基因的构成、表达和调控	478
33.4 蛋白质结构和反应机理	479
33.5 增强 PAC 的表达	480
33.6 PAC 生产、提取和固定化的条件	481
33.7 PAC 的工业应用	483

33.8 结束语	485
参考文献	485
第34章 乙内酰脲酶	489
34.1 简介	489
34.2 生物功能和分子结构	490
34.3 纯化和固定化	491
34.4 生产 D-或 L-氨基酸	492
34.5 未来展望	493
参考文献	493
索引	495