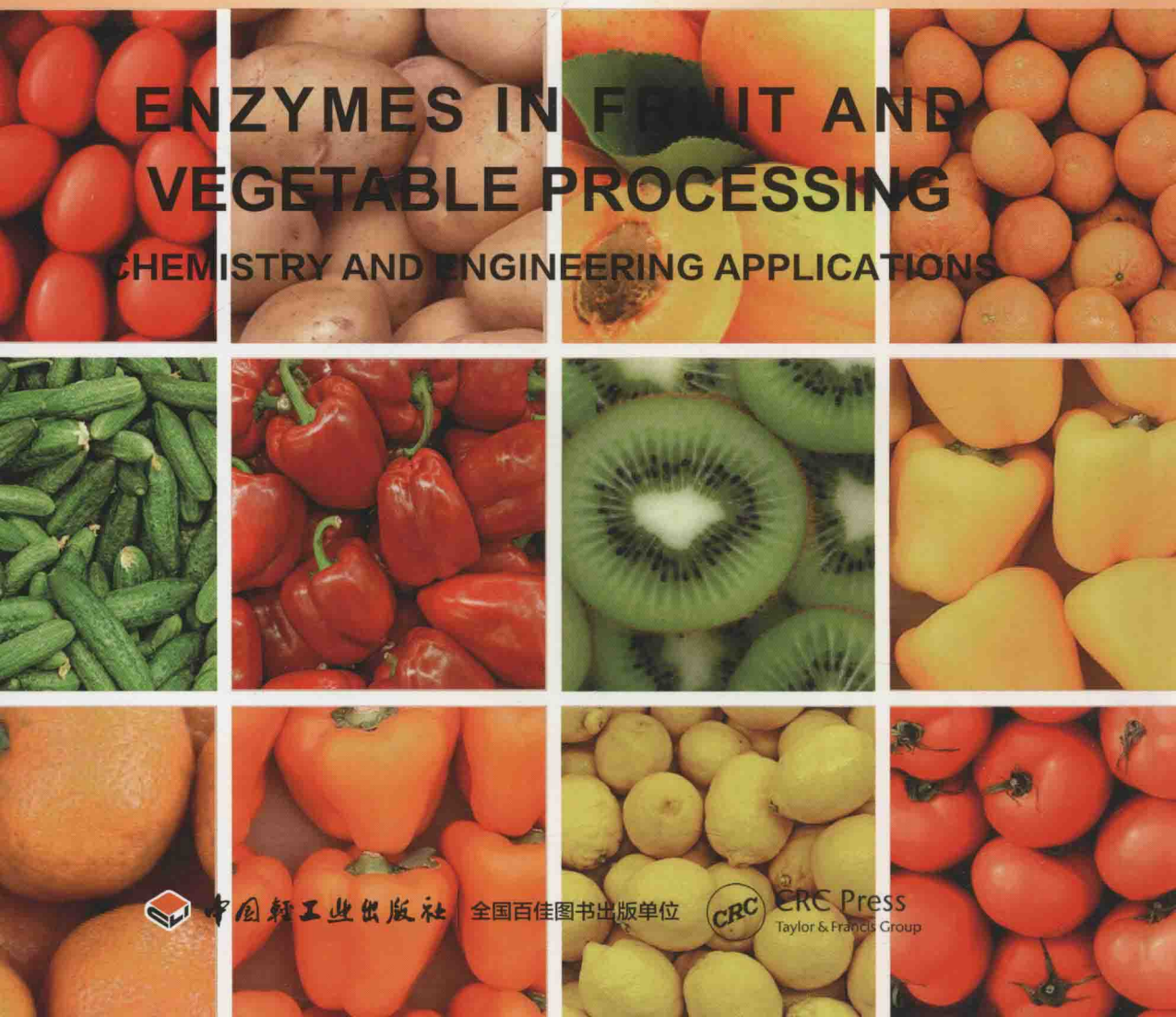


国外现代食品科技系列

酶在果蔬加工中的应用

[土] Alev Bayındırlı 著

叶兴乾 孙玉敬 等译



ENZYMES IN FRUIT AND
VEGETABLE PROCESSING
CHEMISTRY AND ENGINEERING APPLICATIONS



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位



CRC Press

Taylor & Francis Group

国外现代食品科技系列

酶在果蔬加工中的应用

[土]Alev Bayındırlı 著

叶兴乾 孙玉敬 等译

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

酶在果蔬加工中的应用/ (土) 巴延德特勒 (Bayındır, A.) 主编; 叶兴乾, 孙玉敬等译. —北京: 中国轻工业出版社, 2015. 7

(国外现代食品科技系列)

ISBN 978-7-5184-0410-0

I. ①酶… II. ①巴… ②叶… ③孙… III. ①酶—应用—果蔬加工
IV. ①TS255.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 026309 号

Enzymes in fruit and vegetable processing: chemistry and engineering applications/by Alev Bayındır/
ISBN: 978 -1 -4200 -9433 -6

Copyright© 2010 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

Chongqing University Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由重庆大学出版社独家出版并在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 出版公司标识, 无标识者不得销售。

责任编辑: 李亦兵 张 磊 责任终审: 张乃东 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 宋振全 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: 三河市万龙印装有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 17

字 数: 395 千字

书 号: ISBN 978-7-5184-0410-0 定价: 48.00 元

著作权合同登记 图字: 01 - 2014 - 4331

邮购电话: 010 - 65241695 传真: 65128352

发行电话: 010 - 85119835 85119793 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邮购联系调换

131151K1X101ZYW

本书翻译人员

(按翻译章节顺序)

孙玉敬 (浙江工业大学)

林雯雯 (浙江大学)

傅 瑜 (浙江大学)

张丽芬 (河南工业大学)

张献忠 (浙江大学)

周晓舟 (宏胜饮料集团有限公司)

沈 妍 (浙江大学)

钟烈洲 (农夫山泉股份有限公司)

叶兴乾 (浙江大学)

钟建军 (浙江大学)

黄海智 (浙江大学)

曹玉敏 (浙江大学)

夏金丹 (浙江大学)

徐玉亭 (浙江大学)

序

水果和蔬菜通常被鲜食或者加工成不同类型的产品。果蔬中自然存在的某些酶对于果蔬产品的质量具有不良影响，为了延长产品的货架期，有必要在果蔬加工过程中钝化酶的活力。同时，商业化的酶制剂在温和加工条件下对于某一底物具有专一的活力，因此也可以辅助用于果蔬加工，通过酶的作用提高加工效率和产品质量。因此，果蔬加工业中的酶市场已经迅速发展起来。

尽管有很多关于果蔬加工的专著和其他出版物，但本书的目的是给出酶在果蔬加工中从化学到工程应用方面的具体信息。本书所有章节都是由权威作者撰写的，风格统一。全书共有 12 章，每章通过聚焦最新的研究进展和当前与未来的工业应用对该章的主题进行系统的综述，这些主题都是酶和果蔬加工领域的重点。第 1 章主要是关于酶学基础方面的内容。第 2 章、第 3 章和第 4 章详尽介绍了酶对于特定果蔬颜色、风味和质构的影响，颜色、风味和质构是果蔬采后重要的质量参数，第 3 章对特色产品的微观形态、化学组成和品质进行了详述。第 5 章总结了蔬菜烫漂指示酶的选择。第 6 章、第 7 章介绍了酶作为加工助剂在果蔬加工中的应用，其中第 6 章详细介绍了酶在柑橘脱皮中的应用，第 7 章介绍了酶在仁果、核果和浆果等果汁加工中的重要性。第 8 章主要是关于酶在柑橘汁加工中的应用，特别是橙汁方面，钝化酶是加工浑浊柑橘汁所需要的。第 9 章主要是关于酶在葡萄酒中应用方面的相关内容，酶在葡萄酒的制作过程中也起着重要的作用，工业酶制剂在葡萄酒产业中的应用是很普遍的。第 10 章主要介绍了通过新技术对果蔬酶的钝化来提高产品质量的内容。第 11 章给出了果蔬加工方面以酶为基础的生物传感器的化学和技术方面的信息。第 12 章主要讨论了工业酶应用的前景。每章当中涉及的参考文献突显了相关领域的最新进展，每章的小结部分向读者提供了潜在的研究和应用提示。

本书是一本重要的参考用书，可用于学习和寻找关于果蔬酶和果蔬的酶辅助加工方面的信息，这些信息都是来自于高校、研究中心和实验室关于酶辅助技术和新方法应用前景的最新研究。这些知识不但对于通过解决果蔬加工问题获得竞争力的企业非常重要，而且对于工业界、高校以及研究中心之间的合作也非常重要。

本书也适用于大学毕业生和年轻学者，未来他们将在果蔬加工中酶的应用方面起到重要的作用。

Alev Bayındırılı

参编人员

J. Brian Adams

Formerly of Campden &
Chorleywood Food Research
Association (Campden BRI)
Chipping Campden
Gloucestershire, UK

Domingos P. F. Almeida

Faculdade de Ciências
Universidade do Porto
Porto, Portugal
Escola Superior de
Biotecnologia Universidade
Católica Portuguesa
Porto, Portugal

Ana Belén Bautista – Ortín

Departamento de Tecnología
de Alimentos, Nutrición y
Bromatología
Facultad de Veterinaria,
Universidad de Murcia
Campus de Espinardo
Murcia, Spain

Alev Bayındırılı

Middle East Technical University
Department of Food Engineering
Ankara, Turkey

Inmaculada Romero-Cascales

Departamento de Tecnología
de Alimentos, Nutrición y
Bromatología
Facultad de Veterinaria,
Universidad de Murcia
Campus de Espinardo
Murcia, Spain

Domenico Castaldo

Stazione Sperimentale per le
Industrie delle Essenze e dei
Derivati dagli Agrumi (SSEA)
Reggio Calabria, Italy

Domenico Cautela

Stazione Sperimentale per le
Industrie delle Essenze e dei
Derivati dagli Agrumi (SSEA)
Reggio Calabria, Italy

Liliana N. Ceci

Planta Piloto de Ingeniería Química
UNS-CONICET
Bahía Blanca, Argentina

Isabel Egea

Departamento Biología del Estrés
y Patología Vegetal
Centro de Edafología y Biología
Aplicada del Segura-CSIC
Espinardo, Murcia, Spain

Danielle Cristhina Melo Ferreira

Institute of Chemistry
Unicamp
Campinas, São Paulo, Brazil

Alfonso Giovane

Dipartimento di Biochimica e
Biofisica
Seconda Università degli Studi di
Napoli
Napoli, Italy

Vural Giökmén

Department of Food Engineering
Hacettepe University
Ankara, Turkey

Encarna Gómez-Plaza

Departamento de Tecnología
de Alimentos, Nutrición y
Bromatología
Facultad de Veterinaria,
Universidad de Murcia
Campus de Espinardo
Murcia, Spain

Luis F. Goulao

Secção de Horticultura
Instituto Superior de Agronomia
Lisbon, Portugal
Centro de Ecofisiologia, Bioquímica
e Biotecnologia Vegetal
Instituto de Investigação
Científica Tropical
Oeiras, Portugal

Lauro Tatsuo Kubota

Institute of Chemistry
Unicamp
Campinas, São Paulo, Brazil

Jorge E. Lozano

Planta Piloto de Ingeniería Química
UNS-CONICET
Bahía Blanca, Argentina

Lucilene Dornelles Mello

UNIPAMPA
Campus Bagé
Bagé, RS, Brazil

Renata Kelly Mendes

Institute of Chemistry
Unicamp
Campinas, São Paulo, Brazil

Indrawati Oey

Department of Food Science
University of Otago
Dunedin, New Zealand

Cristina M. Oliveira

Secção de Horticultura
Instituto Superior de Agronomia
Lisbon, Portugal

Lucie Pařenicová

DSM Biotechnology Centre, DSM
Delft, The Netherlands

Maria Teresa Pretel

Escuela Politécnica Superior de
Orihuela
Universidad Miguel Hernández
Alicante, Spain

Felix Romojaro

Departamento Biología del Estrés
y Patología Vegetal
Centro de Edafología y Biología
Aplicada del Segura-CSIC
Espinardo, Murcia, Spain

Johannes A. Roubos

DSM Biotechnology Centre, DSM
Delft, The Netherlands

Paloma Sánchez-Bel

Departamento Biología del Estrés
y Patología Vegetal
Centro de Edafología y Biología
Aplicada del Segura-CSIC
Espinardo, Murcia, Spain

Luigi Servillo

Dipartimento di Biochimica e
Biofisica
Seconda Università degli Studi di
Napoli
Napoli, Italy

Jun Song

Agriculture and Agri-Food Canada
Atlantic Food and Horticulture
Research Centre
Nova Scotia, Canada

Marco A. van den Berg

DSM Biotechnology Centre, DSM
Delft, The Netherlands

目 录

1 绪言	1
1.1 酶的性质	1
1.2 酶的分类和命名	1
1.3 酶的动力学	2
1.4 影响酶活力的因素	4
1.5 酶的失活	6
1.6 果蔬加工中的酶	8
缩略词	10
参考文献	10
2 酶对果蔬色泽的影响	13
2.1 引言	13
2.2 变色色素的形成	13
2.3 天然色素的降解	21
2.4 小结	24
缩略词	24
参考文献	24
3 酶与果蔬香味挥发物及调控	31
3.1 引言	31
3.2 水果中的挥发性风味物质	31
3.3 生产及调控新鲜水果中香味挥发物的主要酶类	33
3.4 生产及调控蔬菜中香味挥发物的酶类——以胡萝卜为例	41
3.5 小结	42
缩略词	43
参考文献	43
4 酶反应对果蔬质地的影响研究	51
4.1 引言	51
4.2 质地变化的生物化学基础	53

4.3	与质地相关酶的技术操纵	68
4.4	小结	71
	缩略词	71
	参考文献	72
5	果蔬烫漂与酶	93
5.1	引言	93
5.2	烫漂系统	94
5.3	蔬菜中能造成质量下降的酶	94
5.4	烫漂引起的酶的热失活	95
5.5	酶活力的损失与质量的关系	100
5.6	小结	105
	缩略词	105
	参考文献	105
6	柑橘酶法去皮	110
6.1	引言	110
6.2	柑橘果实形态及生理特征对酶法去皮的影响	111
6.3	酶法去皮研究中柑橘果实的品系	113
6.4	柑橘果实酶法去皮的前处理	115
6.5	外果皮切割形式对去皮效率的影响	116
6.6	真空条件(压力和时间)对柑橘果实去皮效率的影响	118
6.7	柑橘果实酶法去皮的酶制剂	121
6.8	温度和 pH 对酶法去皮的影响	124
6.9	工业去皮过程中酶的重复利用	125
6.10	小结	127
	缩略词	127
	参考文献	128
7	酶在非柑橘类果汁中的应用	131
7.1	引言	131
7.2	非柑橘类果汁的加工	132
7.3	非柑橘类果汁生产应用的酶	135
7.4	商业化酶的活力测定	136
7.5	非柑橘类果汁工业中酶的多种应用	140
7.6	小结	143

缩略词	143
参考文献	143
8 酶在柑橘果汁中的应用	147
8.1 引言	147
8.2 柑橘汁加工概述	147
8.3 柑橘汁中的果胶甲酯酶 (PME)	149
8.4 柑橘汁中 PME 热钝化的动力学指标	151
8.5 澄清柑橘汁加工	153
8.6 柑橘皮加工的天然浑浊剂	154
8.7 小结	155
缩略词	155
参考文献	155
9 葡萄酒生产使用的酶	160
9.1 引言	160
9.2 果胶酶	160
9.3 β -葡萄糖苷酶	166
9.4 酶制剂的桂皮酰酯酶活力	168
9.5 葡聚糖酶	170
9.6 脲酶	171
9.7 溶菌酶	172
9.8 小结	173
缩略词	173
参考文献	174
10 酶与果蔬加工新技术	183
10.1 引言	183
10.2 新型加工: 技术和对生物材料的影响	184
10.3 HP 加工对果蔬酶的作用	185
10.4 高强度脉冲电场 (PEF) 处理对果蔬中酶的影响	203
10.5 小结	213
缩略词	213
参考文献	213

11 水果蔬菜加工中的生物传感器	223
11.1 引言	223
11.2 生物传感器组成	224
11.3 生物传感器作为分析工具在果蔬加工中的应用	229
11.4 小结	235
缩略词	235
参考文献	235
12 果蔬加工中的酶：酶的发现、设计、生产和应用发展趋势	244
12.1 引言	244
12.2 用于水果加工的酶的发现	245
12.3 果蔬加工中酶的设计	247
12.4 酶的工业化生产	249
12.5 酶在果蔬加工中的应用趋势	252
12.6 小结	255
缩略词	255
参考文献	255

1 绪言

1.1 酶的性质

酶是蛋白质构成的生化反应催化剂。蛋白质的结构组分除非手性的甘氨酸外均为L- α -氨基酸。蛋白质结构分为一级结构、二级结构、三级结构和四级结构。一级结构与氨基酸序列有关。一个氨基酸中的氨基与下一个氨基酸中的羧基以共价键相连，这就是肽键。氨基酸侧链的基团根据其极性、电荷、大小等性质而不同。极性氨基酸基团倾向于分布在蛋白质的外侧，从而可以与水相互作用，而疏水基团倾向于分布在蛋白质的内部。二级结构(α -螺旋、 β -折叠和 β -转角)对蛋白质的构象非常重要。右手 α -螺旋是多肽链的规则性排列，通过氢键结合一个氨基酸残基的羰基(i)和另一个氨基酸残基的含氮质子(i+4)。 β -折叠是一个褶状结构，多肽链通过氢键与邻近的折叠片相连。三级结构指的是折叠蛋白质的三维空间结构。二硫键、氢键、离子键、疏水作用、范德华力维持着蛋白质的空间构象。蛋白质折叠使多肽链氨基酸序列上不同位置的氨基酸侧链基团相互靠近，从而形成由一些氨基酸残基组成并占总酶量一小部分的酶的活力部位。剩余的酶对蛋白质三维结构的完整性非常重要。蛋白质的四级结构由两条或者更多的多肽链(子单元)相互作用而成。

特异性和催化能力是酶的两大特征。大多数酶在温和条件下对底物和催化反应非常专一，通过降低过渡态自由能的消耗而在不改变平衡的条件下进行催化。酶的特异性取决于活性部位的构象。酶和底物的约束关系通常可以用锁和钥匙模型(构象完全匹配)或者诱导契合模型(酶的构象改变以适应底物)来解释。由于酶在溶液中具有灵活性，所以对锁和钥匙模型进行了修正。底物对酶的约束导致了底物向过渡态的转变，而酶本身为了适应底物也发生了构象的变化。许多酶表现出立体化学专一性，它们只能催化某一种构象的反应。催化能力随着结合能、诱导契合、邻近效应的运用和疏水环境中电荷稳定性的提高而增强。许多酶的催化活力取决于辅因子的存在。有机化合物作为辅因子松弛地结合在酶上，称为辅酶。有机化合物通过共价键牢固地结合在酶上，则被称为辅基。金属离子催化剂，如 Ca^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Co^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mo^{3+} 和 Zn^{2+} 都可以作为辅因子。没有辅因子的酶称为脱辅酶，有辅因子的酶称为全酶。酶是通过共价催化或者普通酸碱催化进行催化反应的。

1.2 酶的分类和命名

根据催化反应酶可分为六类(表1.1)，并以EC(酶学委员会)编号加以命名。

第一个数字表示酶的类别，第二个数字表示反应中键的类型，第三、四个数字表示键的特征。系统命名法是在酶催化反应后加上带后缀 -ase 的底物名。例如，柚苷酶和 α -L-鼠李糖苷水解酶就分别是 EC3. 2. 1. 40 的系统命名和普通命名。与酶有关的数据库有 IUBMB（生物化学与分子生物学酶命名国际联盟，www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/）、BRENDA（酶信息查询系统，www.brenda-enzymes.org）、ExPASy（酶命名专家蛋白分析系统，www.expasy.org/enzyme/）、EBIPDB（欧洲生物信息研究所 - 蛋白质资讯库中的酶结构数据库，www.ebi.ac.uk/thornton-srv/databases/enzymes）。

表 1.1 酶的分类

EC 类别	催化反应	例子
EC1: 氧化还原酶	$A^- + B \rightleftharpoons A + B^-$	过氧化物酶 过氧化氢酶 多酚氧化酶 脂肪氧合酶 抗坏血酸氧化酶 葡萄糖氧化酶 乙醇脱氢酶
EC2: 转移酶	$AB + C \rightleftharpoons A + BC$	淀粉蔗糖酶 葡聚糖蔗糖酶 转谷氨酰胺酶
EC3: 水解酶	$AB + H_2O \rightleftharpoons AH + BOH$	蔗糖酶 叶绿素酶 淀粉酶 纤维素酶 多聚半乳糖醛酸酶 脂肪酶 半乳糖苷酶 嗜热菌蛋白酶
EC4: 裂解酶	$\begin{array}{c} X & Y \\ & \\ A - B \end{array} \rightleftharpoons A = B + X - Y$	果胶裂解酶 苯丙氨酸解氨酶 半胱氨酸亚砷裂解酶 脂氢过氧化物裂解酶
EC5: 异构酶	$\begin{array}{c} X & Y & & Y & X \\ & & & & \\ A - B \end{array} \rightleftharpoons \begin{array}{c} & & Y & X \\ & & & \\ A - B \end{array}$	葡萄糖异构酶 类胡萝卜素异构酶
EC6: 连接酶	$A + B \rightleftharpoons AB$	羟基苯乙烯辅酶 A 连接酶

1.3 酶的动力学

除了恒稳态动力学（布里格斯和霍尔丹的方法），酶催化反应的速率一般通过米氏

方程来模拟。对于一个简单的酶催化反应，底物（S）和自由酶（E）结合成复合物（ES）之后，会发生不可逆的分解，释放出自由酶和产物（P）。一般认为，相对于复合物ES分解为E和P来说，S和E的结合非常迅速。因此，底物的结合是处在平衡中的，如以下反应式所示：



米氏方程涉及初始反应速率，此时产物生成很少。酶制剂中酶的浓度也未知。因此，酶的量是用单位样品所含的酶活力来衡量的。一个国际酶活力单位是指每分钟生成1 μ mol产物所需要的酶量。根据酶活力方法，在研究或应用中必须对酶活力单元的定义进行详细的阐述。

总酶量（ E_0 ）等于E与ES复合物的量之和，可通过以下等式来表示：

$$C_{E_0} = C_E + C_{ES} \quad (1.2)$$

离解常数（ K_m ），也被称作米氏常数，用来衡量酶和底物的亲和力。

$$K_m = \frac{k_{-1}}{k_1} = \frac{C_E C_S}{C_{ES}} \quad (1.3)$$

如果酶对底物有很高的亲和力，反应就会很快地进行， K_m 值较小。高的 K_m 值表示亲和力较低。 K_m 值根据酶的种类的不同而不同；对于相同的酶，底物不同， K_m 值也不同。

对于式（1.1）的基本反应，初始反应速率或者反应速度（ v ）可表示为：

$$v = k_2 C_{ES} \quad (1.4)$$

如果酶在反应过程中保持稳定，最大初始反应速率（ $v_{\max}$ ）表示为：

$$v_{\max} = k_2 C_{E_0} \quad (1.5)$$

如果底物（ S_0 ）的初始浓度非常高（ $C_{S_0} \gg C_{E_0}$ ），在反应的初始阶段底物的浓度几乎保持不变（ $C_{S_0} \approx C_S$ ）。结合等式（1.2）~式（1.5），推导出米氏方程如下：

$$v = \frac{v_{\max} C_S}{K_m + C_S} \quad (1.6)$$

举例说明，用不同的商业酶制剂对多聚半乳糖醛酸酶的动力学性质进行实验分析，结果所有样品的反应都符合米氏方程（Ortega 等，2004）。

米氏方程可以被简化为：

$$\text{零级方程：} \quad v = v_{\max} (C_S \gg K_m) \quad (1.7)$$

$$\text{一级方程：} \quad v = \frac{v_{\max}}{K_m} C_S (C_S \ll K_m) \quad (1.8)$$

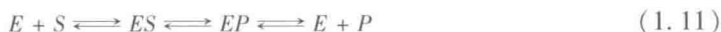
一般用米氏曲线 [图 1.1 (1)] 和双倒数曲线 [图 1.1 (2)] 对数据进行动力学分析。以 v 为自变量， C_S 为变量，可以绘制出一条曲线，而双倒数曲线提供了一条可通过线性回归对动力学常数进行估算的直线。

米氏方程的完整形式也用于酶催化反应的分析，如下所示：

$$-\frac{dC_S}{dt} = \frac{v_{\max} C_S}{K_m + C_S} \quad (1.9)$$

$$(C_{S_0} - C_S) + K_m \ln \frac{C_{S_0}}{C_S} = v_{\max} t \quad (1.10)$$

下面是一个更为符合实际的单底物反应流程：



其中 EP 是指酶和产物的复合物。

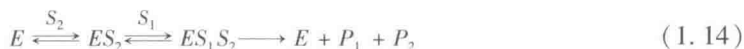
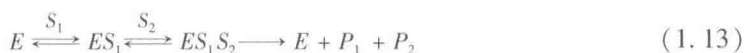
ES 形成之后，酶和产物的复合物 (EP) 也产生了。这步反应可能是可逆的，也可能是不可逆的。这个真实反应的速度方程很容易通过快速平衡推导出来，是一个关于 S 和 P 浓度的函数。

米氏方程计算近似值适用于只涉及一个底物的酶催化反应，但是在很多情况下，反应会涉及两个或者更多的底物。同样的方法可以拓展到两个底物的系统。双底物反应有两种：连续反应和乒乓反应。连续反应机制可以进一步分为有序反应和随机机制。乒乓反应机制中，酶有两种状态：E 和 F。F 是由 E 变化而来的，而且通常会携带 S_1 片段。主要的反应路径如下所示：

有序反应机制：



随机反应机制：



乒乓机制：

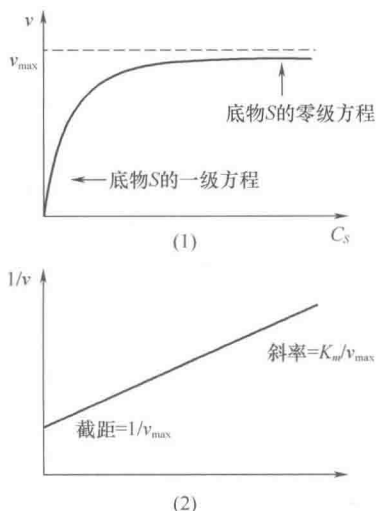


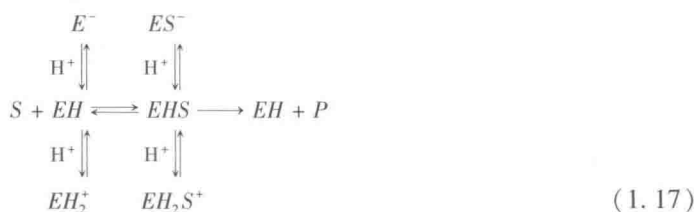
图 1.1 米氏曲线 (1) 和遵守米氏动力学方程的酶催化反应的双倒数曲线 (2)

1.4 影响酶活力的因素

除了酶和底物，pH、温度、抑制剂和活化剂也是影响酶催化反应速率的重要因素。表 1.2 所示为一些简单的酶抑制作用中米氏动力学的应用。

pH 是影响酶活力的一个重要参数，因为大多数酶催化反应都是酸碱催化。许多酶的酶活力随着 pH 的变化而变化，可以解释为酸和碱的解离。研究 pH 影响的一个简单的方法是假设酶有两个可解离的质子，且激活态是两性离子。酶和底物的复合物也可

能以三种解离状态存在, 如下所示:



在这种情况下, 利用米氏方程的方法得到以下速度等式:

$$v = \frac{v_{\max} C_S}{K_m \left(1 + \frac{K_{a2}}{C_{H^+}} + \frac{C_{H^+}}{K_{a1}} \right) + [S] \left(1 + \frac{K'_{a2}}{C_{H^+}} + \frac{C_{H^+}}{K'_{a1}} \right)} \quad (1.18)$$

K_{a1} 、 K'_{a1} 、 K_{a2} 、 K'_{a2} 分别指相应的电离常数。

表 1.2 简单酶抑制作用的种类和底物抑制

种类	反应	最大反应速率和解离常数	速率表达式
竞争性抑制	$E + S \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} ES \xrightleftharpoons[k_{-2}]{k_2} E + P$ $E + I \xrightleftharpoons[k_{-11}]{k_{11}} EI$	$v_{\max} = k_2 C_{E0}$ $C_{E0} = C_E + C_{ES} + C_{EI}$ $K_m = \frac{C_E C_{ES}}{C_{ES}}$ $K_I = \frac{C_E C_I}{C_{EI}}$	$v = \frac{v_{\max} C_S}{K_m \left(1 + \frac{C_I}{K_I} \right) + C_S}$

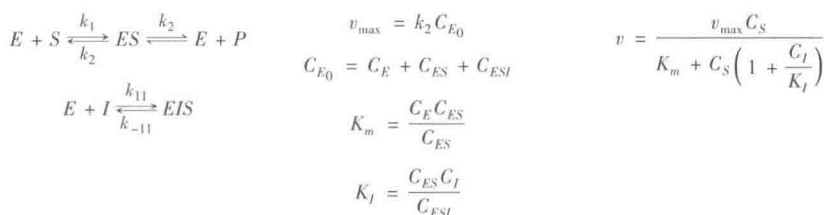
竞争性抑制的实例:

漆树酸 (C15:1) 抑制大豆脂肪氧合酶-1 (EC 1.13.11.12, 1 类), 同时催化亚油酸的氧化 (Kubo 等, 2006)

猕猴桃蛋白质果胶甲酯酶抑制剂抑制胡萝卜果胶甲酯酶 (Ly- Nguyen 等, 2004)

酪氨酸酶 (EC 1.14.18.1) 被苯甲酸抑制 (Morales 等, 2002)

反竞争性抑制



反竞争性抑制的实例:

具有众多糖醛酸侧链的马铃薯块根非蛋白质果胶甲酯酶抑制剂对其他植物果胶甲酯酶的抑制 (McMillan 和 Perombelon, 1995)

p-氨基磺胺和磺基水杨酸对纯化桑叶多酚氧化酶之一的儿茶酚酶的抑制 (Arslan 等, 2004)

蔗糖对纯化的木瓜果胶酯酶的抑制 (Fayyaz 等, 1995)

非竞争性抑制

