


# 食品酶学导论

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. —北京: 中国轻工业出版社, 2002. 1

ISBN 7-5019-3390-1

I. 食… II. 彭… III. 食品-酶学  
IV. TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 064334 号

责任编辑: 鲁莉蓉

策划编辑: 熊慧珊 责任终审: 滕炎福 封面设计: 张颖

版式设计: 智苏亚 责任校对: 李靖 责任监印: 胡兵

\*

出版发行: 中国轻工业出版社(北京东长安街6号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010-65241695

印 刷: 三河市艺苑印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2002年1月第1版 2002年1月第1次印刷

开 本: 850×1168 1/32 印张: 8.25

字 数: 206千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-3390-1/TS·2041

定 价: 18.00元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

# 前 言

生命的重要特征 is 自我复制和新陈代谢,这种复杂的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,在 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 Novozyme 公司是世界上最大的酶制剂生产企业之一,目前,该公司所生产的酶制剂品种(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。国内许多院校已把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,每章附有参考文献书目。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的高、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

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	(1)
<b>第一节 食品酶学涵义</b> .....	(1)
<b>第二节 食品酶学发展简史</b> .....	(4)
一、史前时期 .....	(4)
二、近代发展 .....	(4)
三、现代酶学发展 .....	(5)
<b>第三节 酶的分类和命名</b> .....	(7)
一、习惯命名法 .....	(7)
二、国际系统命名法 .....	(8)
三、国际系统分类法及编号 .....	(9)
<b>参考文献</b> .....	(12)
<b>第二章 酶的合成与发酵生产</b> .....	(13)
<b>第一节 分子生物学进展</b> .....	(13)
一、基因本质 .....	(13)
二、DNA 结构与功能 .....	(15)
<b>第二节 酶蛋白合成过程(机制)</b> .....	(26)
一、氨基酸活化 .....	(26)
二、多肽链合成的起始 .....	(27)
三、肽链合成的延伸 .....	(28)
四、肽链合成的终止 .....	(29)
<b>第三节 酶合成的调节</b> .....	(31)
一、诱导酶合成调节 .....	(31)
二、酶合成的反馈阻遏 .....	(33)

三、分解代谢对酶合成的阻遏作用 .....	(35)
四、控制酶活力的反馈抑制 .....	(35)
五、酶合成的细胞膜透性调节 .....	(37)
第四节 酶的合成与基因工程 .....	(39)
第五节 食品级酶发酵法生产 .....	(45)
一、发酵法生产食品级酶 .....	(46)
二、产酶微生物菌种 .....	(48)
三、酶生产的发酵技术 .....	(50)
四、食品级酶发酵生产举例：耐高温 $\alpha$ -淀粉酶 .....	(59)
参考文献 .....	(60)
<b>第三章 酶的分离、纯化技术 .....</b>	<b>(62)</b>
第一节 酶的分离、纯化程度 .....	(62)
第二节 酶的抽提 .....	(64)
一、酶源材料的预处理 .....	(64)
二、抽提 .....	(67)
第三节 酶溶液的浓缩 .....	(70)
第四节 酶的纯化 .....	(73)
一、盐析法 .....	(74)
二、有机溶剂法 .....	(77)
三、液-液双水相抽提法 .....	(78)
四、凝胶渗透色谱法(GPC法) .....	(80)
五、超滤技术 .....	(85)
六、亲和层析技术 .....	(86)
第五节 酶的提纯标准及剂型 .....	(92)
一、酶的纯度标准 .....	(92)
二、酶制剂的剂型 .....	(93)
参考文献 .....	(96)
<b>第四章 酶的分子结构与催化功能 .....</b>	<b>(97)</b>
第一节 酶分子组成 .....	(97)

---

一、酶蛋白 .....	(97)
二、辅酶或辅基 .....	(98)
第二节 酶的结构与功能 .....	(107)
一、酶活力部位概念 .....	(110)
二、别构部位 .....	(111)
三、酶原 .....	(112)
四、酶的多形性与同工酶 .....	(113)
第三节 酶的催化作用机制 .....	(113)
一、酶催化作用的本质 .....	(114)
二、酶的催化机制 .....	(115)
参考文献 .....	(121)
<b>第五章 酶催化反应动力学 .....</b>	<b>(122)</b>
第一节 酶反应速度的测定 .....	(122)
一、酶活力的测定 .....	(123)
二、酶活力的测定条件 .....	(123)
三、测定酶活力常用的方法 .....	(123)
第二节 酶活力测定举例 .....	(124)
一、 $\alpha$ -淀粉酶活力测定 .....	(124)
二、糖化酶活力测定 .....	(126)
三、果胶酶活力测定 .....	(128)
四、蛋白酶活力测定 .....	(131)
五、脂肪酶活力的测定 .....	(134)
六、葡萄糖氧化酶活力测定 .....	(135)
七、固定化葡萄糖异构酶活力测定 .....	(138)
第三节 单底物酶促反应动力学 .....	(141)
一、Michaelis - Menten 假说 .....	(141)
二、Brigg - Haldane 的恒态学说 .....	(144)
三、 $K_m$ 值及 $v_m$ 值的计算 .....	(146)
第四节 多底物酶促反应动力学 .....	(149)

---

一、多底物酶促反应历程表示法 .....	(150)
二、多底物酶促反应动力学描述方法 .....	(151)
第五节 其它因素对酶促反应的影响 .....	(154)
一、高浓度底物的抑制作用 .....	(154)
二、抑制剂对酶促反应的影响 .....	(155)
三、激活剂对酶促作用的影响 .....	(159)
四、pH对酶促反应的影响 .....	(162)
五、温度对酶促反应的影响 .....	(163)
参考文献 .....	(165)
第六章 酶分子改造和修饰 .....	(166)
第一节 采用蛋白质工程技术修饰酶 .....	(166)
一、蛋白质结晶学与动力学 .....	(167)
二、基因修饰技术 .....	(168)
三、蛋白质工程修饰酶分子 .....	(172)
第二节 酶法有限水解 .....	(174)
第三节 氨基酸置换修饰 .....	(175)
第四节 亲和标记修饰 .....	(176)
第五节 大分子结合修饰 .....	(178)
参考文献 .....	(181)
第七章 固定化酶和固定化活细胞 .....	(182)
第一节 酶固定化技术发展史 .....	(182)
第二节 固定化酶的制备方法 .....	(183)
一、吸附法 .....	(184)
二、包埋法 .....	(184)
三、共价键结合法 .....	(186)
四、交联法 .....	(189)
第三节 固定化酶的特性 .....	(190)
一、固定化酶的形状 .....	(190)
二、固定化酶的性质 .....	(190)

---

三、酶活力·····	(190)
四、固定化酶的稳定性·····	(190)
五、固定化酶的反应特性·····	(191)
第四节 固定化酶的催化反应机理探讨·····	(199)
一、固定化酶对反应体系的影响·····	(199)
二、影响固定化酶的动力学因素·····	(200)
第五节 固定化活细胞·····	(202)
一、物理吸附法·····	(204)
二、包埋法·····	(204)
第六节 酶催化反应器及其类型·····	(206)
一、酶反应器的类型·····	(206)
二、反应器的结构特点·····	(206)
三、膜式反应器·····	(209)
参考文献·····	(214)
<b>第八章 食品酶学的应用·····</b>	<b>(216)</b>
第一节 上游工程·····	(217)
一、基因工程改良产酶菌种·····	(217)
二、蛋白质工程提高酶的稳定性·····	(220)
三、食品酶的研究开发前景·····	(221)
第二节 下游工程·····	(231)
一、酶在食品加工中的应用·····	(231)
二、国内外酶工程应用发展趋势·····	(240)
参考文献·····	(246)
<b>附录一 国内外著名微生物菌种保藏单位及地址·····</b>	<b>(248)</b>
<b>附录二 常见酶学中英文名及缩写·····</b>	<b>(249)</b>



# 第一章 绪 论

## 第一节 食品酶学涵义

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。这种生命现象的解释,至少在 100 多年前是不可理解的。1857 年法国著名微生物学家巴斯德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 等人提出不同看法,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。1876 年德国学者 Kühne<sup>[1]</sup>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,故其涵义是指在酵母中的酶。1897 年德国学者 Buchner 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。这是酶学发展史上一个划时代的发现,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。

关于酶的定义,1964 年 Dixon 等人<sup>[2]</sup>认为酶是具有催化功能的一种特殊蛋白质。1975 年 Stryer<sup>[3]</sup>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、作用条件的限制性。同年, Lemninger<sup>[4]</sup>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<sup>[5]</sup>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<sup>[6]</sup>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。总结起来, 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。

酶学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年在德国出版了 Haldane 和 Stern 合著的《General chemistry of enzymes》。1957年在美国出版了 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》, 1993年 Adlercreutz 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年代开始出版了系列有关酶学的专著、丛书, 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《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》、1999年彭志英主编的《食品生物技术》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起着重要作用。食品酶学是酶学基本理论在食品科学与技术中应用的科学, 是酶学的一

个重要分支学科。由于酶在生命活动中的重要位置,以及酶在食品工业、医药工业和环保等部门的重要作用,因此,食品酶学是以普通酶学为基础,重点研究食品加工及保藏中新的酶源及其应用,研究酶法制造保健食品及新型食品添加剂,研究酶与食品质量的监控及安全卫生等内容。由于酶学不仅是生物科学的基础,而且是食品科学的基础,因此,懂得酶学才能理解酶在动植物原材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引起的。但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。但是,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。又如在屠宰后的动物胴体中注入触酶,使过氧化氢分解,可防止由于屠宰后肌肉中所积聚的过氧化氢使肌红蛋白氧化为褐色。食品的风味(香味及滋味)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,例如蒜的辛辣成分是一些二硫化物,其中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,以破坏蒜氨酸裂合酶。又例如肉类在屠宰后要经过一段时间后才变得鲜美,因为经屠宰后肌肉中的三磷酸腺苷(ATP)受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AMP脱氨酶的作用下脱去氨基,成为具有肉鲜味的肌苷酸(IMP)。酶与食品的质构也有很大关系。例如,同样是大豆蛋白质,豆浆是一种溶

胶,豆腐则是一种凝胶,两者的组织结构不同,表现出食品流动、变形等流变学特性不同,便产生不同口感。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。

当今,酶工程(Enzyme engineering)的发展日新月异,并与现代的基因工程(Gene engineering)、发酵工程(Fermentation engineering)和细胞工程(Cell engineering)紧密结合,对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、医药和环保工业等起着越来越大的作用。

## 第二节 食品酶学发展简史

任何一门科学有其一定的形成和发展历程,而且与其它科学的发展紧密相关。食品酶学自身的发展,可划分为三个时期:

### 一、史前时期

对酶的认识可追溯至距今 4000 多年前我国龙山文化时期,从出土文物发现,当时酒已盛行,能利用天然酵母酿酒。另据记载,公元前 12 世纪已会制饴、制酱。《书经》记载“若作酒醴,尔惟曲蘖”,“曲”是指长霉菌的谷物,“蘖”是指谷芽。《左传》一书中也有记载用“曲”、“蘖”治病等。这些都说明酶学起源于古代劳动人民的生产实践。

### 二、近代发展

在 1859 年第一位提出酶是一种蛋白质的人是 Liebig<sup>[7]</sup>,但“Enzyme”一词是 1876 年由德国学者 kuhne 首先引用。1897 年 Buchner 兄弟俩阐述了酵母的酒精发酵及离体酶的作用,这一科学发现为酶制剂产业化奠定了理论依据。1902 年 Pikelharing<sup>[8]</sup>指出胃蛋白酶是一种蛋白质。1909 年德国 Rohm 制取胰酶制革,并用于洗涤剂。1894 年日本人高峰让吉从米曲霉中制得高峰淀

粉酶(Takadiastase)用作消化剂。1908年法国学者 Boidin 制得了细菌淀粉酶,用于纺织退浆。1911年美国 Wallestein 制得木瓜蛋白酶,用于啤酒澄清。1926年美国 Sumner<sup>[9]</sup>第一个从刀豆中制得结晶脲酶,进一步证实酶的化学本质是蛋白质,为研究酶的理化特性研究奠定了基础。

从20世纪30年代开始酶学理论的研究发展很快。1930~1936年, Northrop 等人制取胃蛋白酶、胰蛋白酶、胰凝乳蛋白等酶的结晶, Hill 和 Meyerhof 等人提出糖酵解途径, Krebs 等人发现三羧酸循环及脂肪氧化降解途径,并指出这些复杂的新陈代谢途径是由一系列酶催化而实现的。关于酶的催化反应机制早在1890年由 Fischer 和 Koshland 提出锁匙学说和诱导契合学说,后来,又提出中间复合物理论及微环境概念,1913年 Michaelis 和 Menten 首次推导酶反应动力学方程,酶作为生物催化剂其催化效率高,专一性强,同时又能在温和条件起作用,这些理论问题在近代生命科学史上已得到阐明。

### 三、现代酶学发展

20世纪50年代开始,由于分子生物学和生物化学的发展,对生物细胞核中存在的脱氧核糖核酸(DNA)的结构与功能有了比较清晰的阐述,70年代初实现了DNA重组技术或称克隆技术,极大地推动着食品科学与工程的发展,也促使酶学研究进入新的发展阶段。

新型保健食品或食品添加剂离不开基因工程,基因工程又离不开酶学的发展。所谓“工具酶”(Enzyme of tools)就是基因工程中所应用的系列酶的总称。1970年 Hopkins 大学的 Kelly、Smith 和 Wilcox 等人从流感嗜血杆菌 d 中分离纯化出第一个限制性内切酶 II,为基因工程的诞生奠定了基础。后来陆续发现其它限制性内切酶 II 及其它工具酶。至目前为止,在基因工程中应用的工具酶已有 500 多种。主要工具酶有限制内切酶 II、DNA 连接酶、

DNA 聚合酶 I、碱性磷酸酯酶、 $T_4$  多聚核苷酸激酶、 $S_1$  核酸酶及反向转录酶等,它们极大地促进了基因重组技术的酶生产工艺的革新。克隆酶的新技术不断出现,特别在微生物中高效表达,并通过发酵进行大量生产,目前已有 100 多种酶基因克隆成功。例如,制造干酪的凝乳酶,过去是从小牛胃中提取的,为了满足世界干酪的生产,每年大约需要宰掉 500 万头小牛。而现在,采用基因工程技术,把小牛胃中凝乳酶的基因转移至大肠杆菌(*E. coli*)或酵母菌中,便可通过微生物发酵方法生产凝乳酶了。

从 20 世纪 50 年代初开始,酶及产酶细胞的固定化技术<sup>[10]</sup>从酶学理论到生产实践得到迅速的发展,引起食品、发酵工业一场大变革。例如,美国从 20 世纪 70 年代初开始采用这一新技术,使玉米淀粉经酶法液化、糖化和异构化并采用固定化技术,已成功地工业化生产第一代、第二代和第三代高果糖浆(High fructose glucose syrup 简称 HFGS),代替蔗糖作为可口可乐、百事可乐等饮料食品的甜味剂,提高了饮料质量,适应人们身体健康的需要,是一个非常成功的技术革新。

从 20 世纪 50 年代中期开始在酶学理论方面的研究也十分活跃,在蛋白质(或酶)的生物合成理论方面获得了许多突破性进展。1957 年 Kornberg 等人发现 DNA 聚合酶并进行 DNA 复制的系列研究;1959 年 Weiss 和 Gladstone 分离得到四种核苷酸及一个 DNA 引物,1961 年 Jacob 和 Monod 提出控制蛋白质(或酶)合成的操纵子假说,Nirenberg 和 Matthei 用人工合成 mRNA Poly(U)和 poly(A)进行蛋白质体外合成。1963 年 Monod 提出酶的变构理论,1967 年 Phillips 等人测定了溶菌酶的三维结构,达到 0.2nm 分辨率的水平。

1982 年美国的 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),这种具有催化功能的 RNA 称为核酸类酶(Ribozyme)。1983 年 Atman 和 Pace 发现核糖核酸酶 P 中的 RNA 单独催化前体 t-RNA 切除某些片段,生

成 t-RNA。即从现在的发现看,少数具有催化功能的物质并不是蛋白质。

至目前为止,已发现自然界存在的酶有 3000 多种,但真正形成工业规模生产的只有几十种。因此,当今食品酶学的研究开发具有广阔的发展前景。

### 第三节 酶的分类和命名

酶的种类和数量很大,根据国际生物化学协会酶委员会的统计<sup>[11]</sup>,1978 年公布的数字为 2122 种,到 1980 年可能接近 3000 种。酶的分类方法比较复杂,可分为下列三种。

#### 一、习惯命名法

##### (一) 根据酶催化的化学反应性质分类

根据酶催化的化学反应性质,分为六大类:

- (1) 氧化还原酶类;
- (2) 转移酶类;
- (3) 水解酶类;
- (4) 裂合酶类;
- (5) 异构酶类;
- (6) 合成酶类(连接酶)。

##### (二) 根据酶在代谢调节中的作用分类

根据酶在代谢调节中的作用,分为三大类:

- (1) 静态酶或组成酶;
- (2) 潜在酶,包括酶原、非活力型酶和与抑制剂结合的酶;
- (3) 调节酶,包括诱导酶、变构酶(即具有变构效应的酶)、同工酶和多功能酶等。

##### (三) 根据酶的来源和作用底物分类

根据酶的来源和作用底物,分为三大类:

(1) 动物酶,又可按酶在动物细胞内所处位置区分,如唾液淀粉酶、胰蛋白酶等;

(2) 植物酶,又可以按植物种类划分,如木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶等;

(3) 微生物酶,又可按微生物种类划分,如细菌淀粉酶、霉菌淀粉酶等。

#### (四) 根据酶的最适作用 pH 与作用底物分类

根据酶的最适作用 pH 与作用底物,分为中性蛋白酶、碱性蛋白酶和酸性蛋白酶等。

#### (五) 根据酶在细胞中合成后存在部位分类

根据酶在细胞中合成后存在部位分为胞内酶、胞外酶等。

#### (六) 根据酶作用体系是否外加酶分类

根据酶作用体系是否外加酶分为内源酶和外源酶。前者为体系中(或原料)存在的酶,后者为加工时添加的酶。

#### (七) 根据酶在基因工程中的应用分类

根据酶在基因工程中的应用,总称为工具酶,包括限制性内切酶 II、DNA 连接酶、DNA 聚合酶 I、碱性磷酸酶和反向转录酶等 400 多种工具酶。

## 二、国际系统命名法

1961 年国际生物化学协会酶委员会提出一套系统命名方案,以酶所催化的整体反应为基础,明确标明酶作用的底物(或作用物)及催化反应的性质。当酶作用的底物有两个时,要同时列出,并用(:)分开。若其中一种底物为水,则可省略。

例如:乳酸脱氢酶(习惯名称)

L-乳酸:  $\text{NAD}^+$  氧化还原酶(系统名称)

$\text{L-乳酸} + \text{NAD}^+ \rightarrow \text{丙酮酸} + \text{NADH} + \text{H}^+$

(催化反应式)

又如:谷丙转氨酶(习惯名称)



L-丙氨酸:  $\alpha$ -酮戊二酸氨基转移酶(系统名称)

L-丙氨酸 +  $\alpha$ -酮戊二酸  $\rightarrow$  丙酮酸 + L-谷氨酸  
(催化反应式)

### 三、国际系统分类法及编号

由于国际系统命名比较冗长,使用不方便,1978年国际生物化学协会酶委员会又将自然界发现的2000种以上的酶重新进行了分类。根据催化反应的性质,将酶分为六大类,分别用阿拉伯字1、2、3、4、5、6表示;再根据底物中被作用的基团或化学键等特点,将每一大类分为若干亚类、次亚类;最后,再排列各个具体的酶,采用四位数字编号系统,其中第一位数为酶的大类,第二位数为亚类,第三位数为次亚类,第四位数为次亚类中的具体酶的编号,前面冠以“E.C”标志,为酶学委员会“Enzyme commission”的缩写。

例如,醇脱氢酶的编号为E.C.1.1.1.1,其中大类位置的“1”表示氧化还原酶类,亚类位置的“1”表示底物供体是CH—OH,次亚类位置的“1”表示受体底物是NAD<sup>+</sup>或NADP<sup>+</sup>,最后位置的“1”表示次亚类中的第一个酶。又例如胰蛋白酶的编号E.C.3.4.21.4,其中“3”表示第3大类,“4”表示4亚类,主要作用于肽键,“21”表示4亚类的21次亚类,“4”为具体酶编号。此外,乳酸脱氢酶编号为E.C.1.1.1.27,己糖激酶的编号为E.C.2.7.1.1,腺苷三磷酸酶编号为E.C.3.6.1.3,果糖-二磷酸醛缩酶编号为E.C.4.1.2.13,三糖磷酸异构酶的编号E.C.5.3.1.1等等。

这种分类法比较科学,每种酶均有特定的编号,并可从中了解酶的性质,新发现的酶也可对号入座,不会造成紊乱,也便于计算机科学管理。

酶的具体作用方式按六大类分述如下。

#### (一) 氧化还原酶类

氧化还原酶类约占酶总数的27%,其催化反应为:

