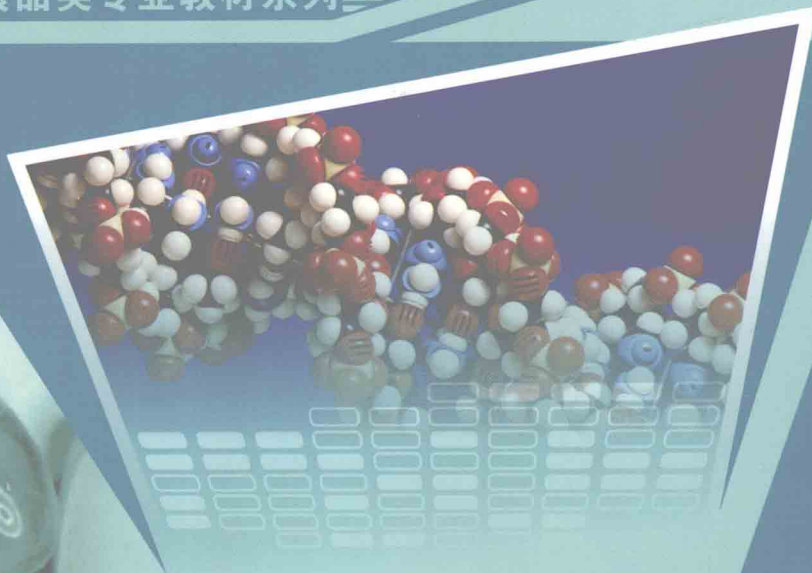




普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品课程

高职高专食品类专业教材系列



食品生物化学

贡汉坤 主编



科学出版社
www.sciencep.com



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品课程

高职高专食品类专业教材系列

食品生物化学

贡汉坤 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书围绕食品工业生产所需知识为核心,对食品生物化学的基础理论进行了全面和系统地介绍,包括酶、蛋白质、糖类、脂类、维生素、矿物质、水的结构、性质与生物功能及在食品加工过程中的物理化学变化;糖类、脂类、蛋白质的生物合成与降解生物能量(ATP)的产生以及生物代谢的调节与控制;食品中存在的各种与色、香、味有关的化学成分及在加工、烹调和贮藏过程中的生物化学变化;食品添加剂化学;新鲜食用动、植物组织的代谢特点及风味物质的形成等内容。

本书可供高职高专食品类专业相关师生、食品行业各工种不同岗位的人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

食品生物化学/贡汉坤主编. —北京:科学出版社,2010
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·高职高专食品类专业教材系列)
ISBN 978-7-03-026347-6

I. 食… II. 贡… III. 食品化学:生物化学-高等学校:技术学校-教材 IV. TS201.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第243706号

责任编辑:沈力匀 / 责任校对:耿 耘
责任印制:吕春珉 / 封面设计:李 亮

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>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16
2010年1月第一次印刷 印张:14 1/4
印数:1—4 000 字数:340 000

定价:22.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售电话 010-62136131 编辑部电话 010-62135235 (VP04)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
食品类专业教材系列
专家委员会

主任

贡汉坤 江苏食品职业技术学院

副主任

逯家富 长春职业技术学院

毕阳 甘肃农业大学

陈莎莎 中国轻工职业技能鉴定中心

委员

侯建平 包头轻工职业技术学院

王尔茂 广东食品药品职业学院

江建军 四川工商职业技术学院

莫慧平 广东轻工职业技术学院

朱维军 河南农业职业技术学院

刘冬 深圳职业技术学院

郑桂富 安徽蚌埠学院

林洪 中国海洋大学

于雷 沈阳师范大学

徐忠传 常熟理工学院

康健 山西杏花村汾酒集团有限责任公司

陆绮 香格里拉饭店管理集团

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
食品类专业教材系列
编写委员会

主 任

贡汉坤 王尔茂

副主任

江建军 逯家富 侯建平 莫慧平

委 员(按姓氏笔画排列)

丁立孝	于 雷	万 萍	马兆瑞	王传荣	士林山	土俊山
贝慧玲	付三桥	朱克永	朱维军	刘长春	刘江汉	刘 靖
苏新国	杨天英	杨昌鹏	李惠东	吴晓彤	张邦建	陆 绮
陈月英	武建新	罗丽萍	赵金海	赵晨霞	赵 晴	胡继强
姜旭德	祝战斌	徐兆伯	徐清华	徐 静	黄卫萍	黄亚东
康 健	覃 文	蔡 健	廖湘萍	翟玮玮		

前 言

为认真贯彻落实教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》中提出“加大课程建设与改革的力度，增强学生的职业能力”的要求，适应我国职业教育课程改革的趋势，我们根据食品行业各技术领域和职业岗位（群）的任职要求，以“工学结合”为切入点，以真实生产任务或/和工作过程为导向，以相关职业资格标准基本工作要求为依据，重新构建了职业技术/技能和职业素质基础知识培养两个课程系统。在不断总结近年来课程建设与改革经验的基础上，组织开发、编写了高等职业教育食品类专业教材系列，以满足各院校食品类专业建设和相关课程改革的需要，提高课程教学质量。

食品生物化学是食品科学的一个重要组成部分，近年来随着科学技术的不断发展，研究领域也随之更为广泛，它的地位和作用也越来越显著。目前，高等职业教育步入了一个快速发展的时期，其主要是培养生产和管理第一线的高等技术应用型人才，要求学生应在具备必要的基础理论知识和专门知识的基础上，重点掌握从事本专业领域实际工作的基本能力和基本技能。为此，我们认真参阅了许多国内外食品生物化学的资料，并结合各位编者多年的教学、科研及生产实践经验，围绕食品工业生产所需知识为核心，编写了这本书。本书所述理论知识以“必需、够用”为度，侧重于系统性、应用性和可操作性，突出对技能型人才的培养和教学，可作为高等职业院校食品类专业、生物技术类专业、农产品加工专业的教学用书，也适用于食品行业的科研、加工、教学人员阅读参考。

全书共十章，包括绪论、酶与食品加工、蛋白质与食品加工、糖与食品加工、脂与食品加工、维生素与食品加工、水、矿物质与食品加工、食品添加剂与食品加工、色香味物质与食品加工、食品禁忌成分及危害、食品原料保鲜原理。

本书由江苏食品职业技术学院贡汉坤教授担任主编工作，江苏食品职业技术学院魏福华、中国科学院广州生物医药与健康研究院阮志燕任副主编，参加编写的还有江苏食品职业技术学院焦宇知、江苏畜牧兽医职业技术学院蒲丽丽。

本书由江南大学陈卫教授担任主审，经教育部高职高专食品类专业教学指导委员会组织审定。在编写过程中，除得到教育部高职高专食品类专业教学指导委员会、中国轻工职业技能鉴定指导中心、科学出版社的大力支持，还参考了许多文献、资料，包括大量网上资料，在此一并表示感谢。

本课程为国家级精品课程，相关课件资料可登录 <http://222.184.16.202/swhx/index.swf> 查阅。

目 录

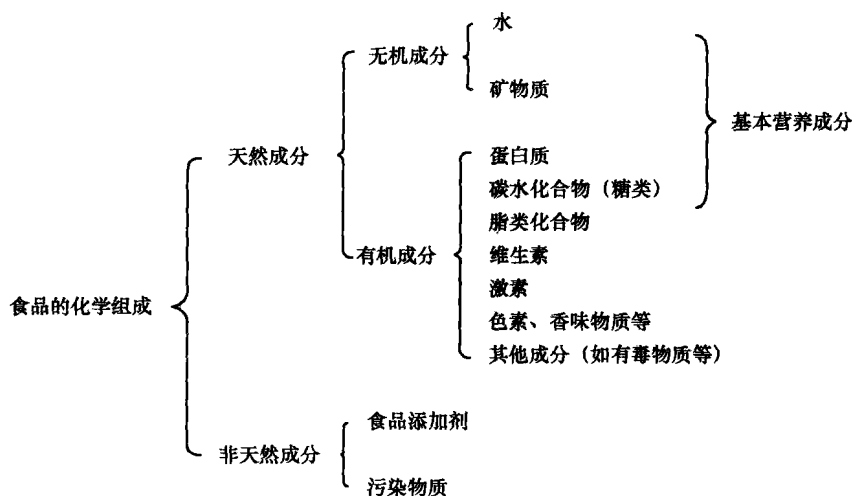
绪论	1
第一章 酶与食品加工	3
第一节 概述	3
第二节 影响酶促反应速度的因素	8
第三节 酶在食品中的应用	11
思考题	22
第二章 蛋白质与食品加工	24
第一节 概述	24
第二节 蛋白质与氨基酸的性质	27
第三节 蛋白质、氨基酸代谢	33
第四节 食品原料中的蛋白质	46
思考题	49
第三章 糖与食品加工	51
第一节 概述	51
第二节 糖的性质	64
第三节 糖的代谢	75
第四节 食物原料中的糖	97
思考题	98
第四章 脂与食品加工	99
第一节 概述	99
第二节 脂肪及脂肪酸的性质	104
第三节 脂类代谢	107
第四节 食物原料中的脂类及加工变化	117
思考题	123
第五章 维生素与食品加工	124
第一节 概述	124
第二节 水溶性维生素	125
第三节 脂溶性维生素	129
第四节 维生素在食品加工中的损失	132
思考题	134
第六章 水、矿物质与食品加工	135
第一节 水	135

第二节 矿物质·····	141
第三节 食物原料中的矿物质·····	144
思考题·····	147
第七章 食品添加剂与食品加工·····	148
第一节 概述·····	148
第二节 食品添加剂及其应用·····	150
思考题·····	158
第八章 色香味物质与食品加工·····	159
第一节 食品中的色素及其应用·····	159
第二节 食品中的呈味物质及其应用·····	170
思考题·····	188
第九章 食品中的嫌忌成分及危害·····	189
第一节 食品中天然存在的嫌忌成分及危害·····	189
第二节 食品污染物及其危害·····	197
思考题·····	206
第十章 食品原料保鲜原理·····	207
第一节 新鲜动物食品原料中的组织代谢·····	207
第二节 新鲜植物食品原料中的变化·····	211
思考题·····	216
主要参考文献·····	217

绪 论

食物是维持人类的生存和健康的物质基础。所谓食物，是指能被食用并经消化吸收后给机体提供营养成分、供给活动所需能量或调节生理机能的无毒物质。目前人类的大多数食物都是经过加工才食用，经过加工的食物称为食品。但通常也泛指一切食物为食品。

人类的食物，除少数物质如盐类外，几乎全部来自生物界。食物在加工、贮运等过程中，难免要增加一些非生物来源的、非天然的成分。这些成分在不同程度上也会参与或干扰人体的代谢和生理机能活动。食品成分的来源和化学组成可用下图表示：



食品成分的来源和化学组成图

一、食品生物化学研究的内容

食品科学是一门综合性学科，主要包括微生物、化学、生物学和工程学。食品生物化学是食品科学的主要课程。借助它的理论和方法，有利于解决科学实验和生产实践中所遇到的许多问题。

食品生物化学研究的内容主要有两个方面：一方面研究构成食品的基本物质（糖类、脂类、蛋白质）及对食品的生物化学反应起催化和调节作用的酶、维生素等物质的结构、性质和功能，这部分内容通常称为静态生物化学。另一方面研究构成生物体的基本物质在生命活动过程中进行的化学变化，也就是新陈代谢及在代谢过程中能量的转换和调节规律，这部分内容通常称为动态生物化学。

本书对食品生物化学的基础理论知识进行了全面和系统地介绍，所讲述的问题主要包括以下六个方面：

(1) 静态生物化学, 包括酶、蛋白质、糖类、脂类、维生素、矿物质、水的结构、性质与生物功能。

(2) 动态生物化学, 包括生物大分子糖类、脂类、蛋白质的生物合成与降解, 生物能量(ATP)的产生以及生物代谢的调节与控制。

(3) 食品加工化学, 包括糖类、脂类、蛋白质、维生素及食品无机成分的食品营养特性和在食品加工过程中的物理化学变化。

(4) 食品风味化学, 包括食品中存在的各种与色、香、味有关的化学成分及在加工、烹调和贮藏过程中的生物化学变化。

(5) 食品添加剂化学, 包括食品防腐保鲜剂、抗氧化剂等各种常用添加剂的来源、性能、应用方法及毒理学资料等。

(6) 食物组织生物化学, 包括新鲜食用动、植物组织的代谢特点及风味物质的形成。

二、食品生物化学的学习方法

食品生物化学虽然与普通化学, 特别是有机化学密切相关, 但研究内容涉及面广, 且不具有普通化学的系统性。不能简单地根据普通的化学反应去理解食品生物化学的反应, 也不能用普通化学的学习方法去理解和学习食品生物化学。

学习食品生物化学时, 首先应了解常见食品的化学组成, 注重学习食品中主要成分的基本化学特点及它们在食品加工与贮藏条件下的典型反应。其次要熟悉重要反应与食品品质的关系, 了解控制或加速相关反应的限制性条件或非限制性条件, 要善于对所学习的内容进行分析比较和归纳总结。另外, 食品生物化学知识与人们的日常生活密切相关, 学习过程中应多与生活中遇到的实际情况联系, 以培养学生对食品生物化学课程的学习兴趣。

第一章 酶与食品加工

知识目标

- (1) 了解酶的发展简史及其在食品工业中的应用。
- (2) 掌握酶的本质、特点、酶活力的定义；酶的总活力和比活力，熟悉酶活力的测定方法。
- (3) 掌握酶的分类；熟悉酶的系统命名方法；了解酶的习惯命名法。
- (4) 掌握酶的活性中心的定义，了解酶作用的机制。
- (5) 掌握影响酶促反应速度的因素。
- (6) 掌握食品及食品工业中重要的酶。
- (7) 了解酶固定化的方法。

第一节 概 述

酶是具有催化特定化学反应能力的生物大分子，这些生物大分子主要是蛋白质，最近发现某些核酸类物质也具有催化作用。酶是生命活动的产物，同时也是生命活动所必需的条件之一。

我国 4000 多年前就掌握了酿酒技术，3000 多年前的周朝就已掌握制饴和制酱技术，但这些都是我们的祖先不自觉地利用酶技术。最早的真实有关酶的表达与消化和发酵相关，1833 年佩恩和帕索兹发现淀粉酶。19 世纪中叶巴斯德指出，在活酵母中有一种可以发酵糖生成酒精的物质。1878 年，德国科学家库尼首先提出酶，译为“在酵母中”。1896 年，巴克纳兄弟证明细胞外的酶也具有催化作用，1926 年，Summer 首次从刀豆提取液中分离纯化得到脲酶，并提出酶的本质是蛋白质。在后续的时间内，人们开始研究酶的动力学、本质及其催化机制。20 世纪 80 年代，学者发现某些核酸类物质也具有特定催化特性，从而颠覆了长久以来人们认为酶就是蛋白质的观念。80 年代末，就已经开发出多种蛋白酶、脂肪酶，到目前为止（2008 年），国际上工业用酶已超过 50 多种。

酶最大的应用对象是食品工业。酶的应用几乎涉及食品加工的各个领域，包括肉制品加工（如嫩化、碎肉重组等）、乳制品加工（如凝乳、脱乳糖等）、淀粉类食品发酵（如液化、糖化等）、果蔬汁饮料加工（如改善稳定性和色泽，澄清、脱苦等）、酿造工业（如淀粉水解）、食品分析（如酶电极）、食品保藏（如溶菌酶防腐，过氧化物酶作为果蔬热处理效果的指标）等。有些酶的作用是有利的，有些则正好相反，如苹果果皮擦

伤后由于多酚氧化酶的作用而发生的褐变现象，又如脂肪氧化酶导致豆制品产生豆腥味等，因此掌握酶的基本知识对食品加工和保藏过程中“扬长避短”，合理利用酶十分重要，而“食品酶学”作为食品科学的一个重要分支也成为一门单独的学科。

一、酶的本质和特点

酶的本质是具有特定催化活性的生物大分子，绝大多数情况下是蛋白质，也可以是一些小的核糖核酸分子。酶根据其组成可以分为单纯蛋白质和结合蛋白质两类。

单纯蛋白质类的酶只由氨基酸组成，而不含任何其他物质，如胃蛋白酶、木瓜蛋白酶等。

结合蛋白质类的酶也称为全酶，包括蛋白质部分和非蛋白质部分，前者称为脱辅基酶蛋白，后者称为辅助因子，辅助因子根据其于酶蛋白结合的紧密程度分为辅酶（结合疏松）或辅基（结合相对紧密）。辅助因子可以是小分子有机物或金属离子，前者如NAD（烟酰胺腺嘌呤二核苷酸）、NADP（烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸）、FAD（黄素腺嘌呤二核苷酸）、FMN（黄素单核苷酸）等，后者如 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cu^+ 、 Zn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 等。结合蛋白质是一个完整的酶体系，酶蛋白和辅助因子缺少一个，酶就丧失催化活性。乳酸脱氢酶和转氨酶都属于该类酶。

酶除了具有一般催化剂的特征外，还有其他一些显著特点。

1. 催化专一性强

这一特性是酶与其他一般催化剂最主要的不同点。酶的专一性包括绝对专一性和相对专一性两大类。

(1) 绝对专一性。一种酶只能催化一种底物进行一种反应，这种高度的专一性称为绝对专一性。如天冬氨酸氨裂解酶只能作用于L-天冬氨酸脱氨基生成延胡索酸，而不能作用于D-天冬氨酸。

(2) 相对专一性。一种酶可以催化一类结构相似的底物反应，称为相对专一性。如酯酶可催化所有含酯键的酯类物质；胰蛋白酶可以作用于所有含有赖氨酰或精氨酰羧基肽键的物质；液化酶只能水解淀粉中的 α -1,4糖苷键。

2. 催化效率高

以过氧化氢分解反应为例，1mol过氧化氢酶催化过氧化氢的量是铁离子的 10^{10} 倍。1g的结晶淀粉酶在65℃条件下15min就可催化2t的淀粉成为糊精。酶催化反应的效率之所以这么高，与酶催化反应使反应所需的活化能显著降低相关。

3. 催化条件温和

酶催化反应条件较为温和，一般都在常温、常压和接近中性pH的条件下进行，而非酶催化作用往往需要高温、高压和极端pH的条件。酶与一般催化剂相比其活性不稳定，主要是因为酶蛋白受到强酸、强碱、有机溶剂、重金属盐、高温、紫外线等条件作用时会变性而丧失活性。

4. 酶活性可调节

酶的催化作用可受到很多条件的控制，如抑制剂、激活剂、酶的修饰等，钙离子的存在可以激活 α -淀粉酶，同时却可以抑制 β -淀粉酶。

二、酶活力定义及酶活测定方法

酶活力是指酶催化某一反应的能力。可表示样品中酶的有效含量，用酶活力单位(U)表示。1964年国际生化协会酶学委员会规定，1min催化 $1\mu\text{mol}$ 分子底物转化的酶量为该酶的一个酶活单位(国际单位)，测定条件为 25°C ，其他采取最适条件。在实际应用中，这种标准单位常有不便之处，因而除了科学研究之外，不常采用。酶制剂生产上一般根据不同产品制定各自的酶活力单位。例如，液化酶酶活单位定义：1h内液化1g淀粉所需酶量为1个酶单位。在测定酶活力时，反应温度、pH、底物浓度、作用时间等都有统一规定，以便于同类产品的比较。

酶活力有酶的总活力和比活力之分，酶的总活力即样品的全部酶活力，而比活力是指单位蛋白质所含有的酶活力(U/mg)。在实际应用中，一般采用比活力表示酶活力的大小。

酶活力的测定方法分为定量法和定性法。定性法通常是根_据酶反应的结果来判断，如可以用碘液显色定性判定液化酶水解淀粉的能力。定量法则通常测定酶促反应的速度，可用单位时间内底物的减少或者产物的增加量来表示，常用方法有测压法、分光光度法、荧光法、酶偶联法、旋光测定法和电化学法等。

三、酶的命名和分类

(一) 酶的命名

1. 习惯命名

酶的习惯命名一般由“底物名称、反应类型或者酶的来源以及酶”构成，酶一般可根据以下方式进行习惯命名。

(1) 由“反应类型+酶”组成，如水解酶、转氨酶、脱羧酶等。

(2) 由“底物+反应类型+酶”组成，如淀粉水解酶、蛋白水解酶、葡萄糖氧化酶、乳酸脱氢酶等。需要指出的是，如果酶催化的是水解反应，“水解”两个字可以省略。如淀粉水解酶可称为淀粉酶。如果催化的是其他反应类型时则不能省略。

(3) 由“酶来源+底物+反应类型+酶”组成。如细菌蛋白酶表明酶来源于细菌发酵产生，底物是蛋白质，反应类型是水解反应。

(4) “酶的最适pH+底物+反应类型+酶”组成。如中性蛋白水解酶。

(5) 其他。如“溶菌酶”和“液化酶”是根据酶的功能进行命名。而高峰淀粉酶则是根据日本学者的姓氏命名。

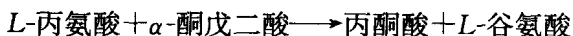
习惯命名法相对比较直观，但是也有一些缺点，如一个酶用习惯命名法可能有多个名称，以催化淀粉水解生成糊精的酶，就有液化型淀粉酶、糊精淀粉酶、 α -淀粉酶等多个名称。相反，有时一个名称可能同时表示两种或多种酶。如琥珀酸氧化酶曾用于琥珀

酸脱氢酶、琥珀酸半醛脱氢酶、NAD(P)⁺琥珀酸半醛脱氢酶。而且有些习惯命名令人费解。如触酶、间酶等，因此亟须对命名方法进行规范，系统命名法应运而生。

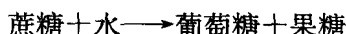
2. 系统命名法

每个酶应包含一个推荐名（即习惯名）和系统名。系统名称应标明酶作用的底物和反应类型。如果有两种底物，均需标出，当中用“:”分开，若其中一种底物是水，则可省略。酶的系统名称能更详细、更准确地反映出该酶所催化的反应。但不如习惯名称简易。

例如：谷丙转氨酶的系统命名为 *L*-丙氨酸： α -酮戊二酸氨基转移酶，催化反应为



蔗糖酶称为蔗糖水解酶，催化反应为



(二) 酶的分类

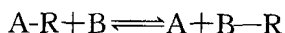
国际酶学委员会将酶按照催化作用的类型分为六大类：

(1) 氧化还原酶。催化氧化还原的酶为氧化还原酶。催化反应通式为



如葡萄糖氧化酶、醇脱氢酶、乳酸脱氢酶。

(2) 转移酶。催化基团转移的酶称为转移酶。其反应通式为



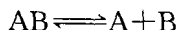
如谷丙转氨酶、己糖激酶、磷酸化酶等。

(3) 水解酶。催化底物发生水解反应的酶称为水解酶。其反应通式为



如核苷酸酶、淀粉酶、蛋白酶、酯酶等。

(4) 裂合酶。催化一个底物裂解为两个较小化合物及其逆反应的酶称为裂合酶。其反应通式为



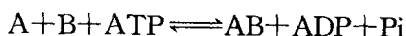
如谷氨酸脱羧酶、苏氨酸醛缩酶、柠檬酸脱水酶。

(5) 异构酶。催化底物分子基团位置或构象转换的酶称为异构酶。其反应通式为



如葡萄糖异构酶、木糖异构酶。

(6) 连接酶。催化两个分子进行连接反应的酶，又称为合成酶。该反应需有 ATP 等核苷三磷酸参与反应。其反应通式为

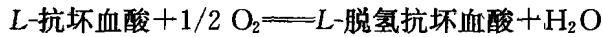


如谷氨酰胺合成酶、丙酮酸羧化酶。

为了分类和查询等方面的需要，以上几大类是按照顺序进行分类的，六大类中的每个大类按照酶作用的底物、化学键和基团的不同分为若干亚类，每一亚类中再分为若干亚亚类，每一亚亚类中包含若干个具体的酶。

根据系统命名法，每一种酶都有一个系统编号，系统编号采用四码编号方法，第一

个号码表示六大类酶中的某一大类，第二个号码表示该酶所属的亚类，第三个号码表示该酶所属的亚亚类，第四个号码表示这个具体的酶在该亚亚类中的序号。每个号码之间用圆点（·）分开。以抗坏血酸氧化酶为例，该酶催化反应为



该酶的系统编号为 [EC 1.10.3.3]，编号中 EC 代表酶学委员会；大类码“1”表示氧化还原酶；亚类码“10”表示电子供体为抗坏血酸；亚亚类码“3”表示电子受体为氧气；系列码“3”表示这种酶最初来源于黄瓜。这些编号是永久性的。

四、酶作用的机制

（一）“锁和钥匙”学说和“诱导契合”学说

前人就酶的作用机制进行了深入地研究并提出了很多假说，其中较为经典的是 Fischer 提出的“锁和钥匙”学说，他认为底物类似于钥匙，酶类似于锁。用该理论可以解释为什么底物结构稍有变化，酶就不能将它转化为目标。但也有很多实例表明该理论与很多实验结果矛盾，因此 Koshland 提出了新的“诱导契合”学说，他认为当底物靠近到酶的活性部位上，底物会诱导酶蛋白构象变化导致催化基团的正确定向而结合到酶的活性部位上。图 1-1 可以形象的表明酶的作用机制。

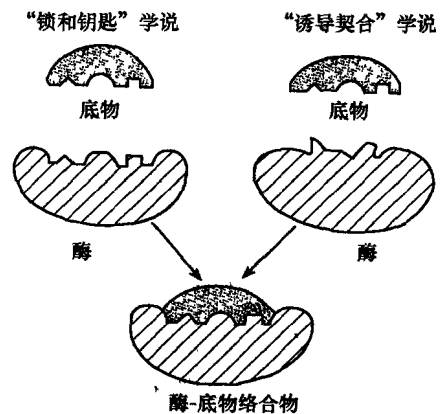


图 1-1 “锁和钥匙”学说和“诱导契合”学说

（二）酶的活性中心

研究证明，酶蛋白中只有少数特定的氨基酸残基的侧链基团与酶的催化活性直接相关，这些官能团被称之为酶的必需基团。由这些酶蛋白中的少数必需基团组成的能与底物分子结合并完成特定催化反应的空间小区域，称为酶的活性中心。酶活性中心的必需基团可分为两种，即结合基团和催化基团，前者负责与底物分子结合，而后者则可负责催化反应。以木瓜蛋白酶为例，将木瓜蛋白酶的 180 个氨基酸残基水解掉 120 个后，该酶活性依然完全保留，这充分说明该酶的催化活性只与剩下的 60 个氨基酸残基直接相关。每个酶分子的活性中心的数目是很小的，一般一个多肽链只有一个活性中心。

（三）决定酶催化反应效率的因素

一般认为，酶之所以具有高度的催化效率，其主要原因有四个方面：即酶的接近和定向效应、底物的扭曲作用、酸碱催化作用以及亲和和亲电催化作用。其中，接近和定向效应的影响最为显著。酶催化底物发生变化时，酶活性中心会相对于底物进行正确的定位，使分子间反应变为分子内反应。从而大幅度提高反应效率。根据理论计算，当反应剂的浓度为 10^{-3}mol/L 时，该效应可使反应速度提高 1×10^{22} 倍。

第二节 影响酶促反应速度的因素

酶促反应速度受到底物浓度、酶浓度、温度、pH、激活剂浓度和抑制剂浓度等诸多因素的影响。在酶的实际生产和应用过程中，必须控制好各种环境条件，以充分发挥酶的催化功能，节约生产成本。

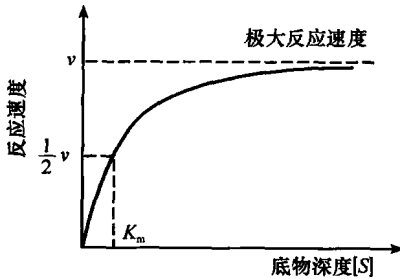


图 1-2 底物浓度对酶促反应速度的影响

一、底物浓度对酶促反应速度的影响

在其他影响因素不变的情况下，研究底物浓度和酶促反应速度的关系，可以得到图 1-2 所示的实验结果。从图 1-2 可以看出，在底物浓度较低的情况下，酶促反应速度与底物浓度几乎成正比例关系。反应速度随着底物浓度的增加而增加，但是反应速度的增加速度在降低。当底物浓度达到一定的数值时，反应速度趋向平衡，不再增加。

(一) 米氏方程

1913 年，Michaelis 和 Menton 在前人研究的基础上，推导出著名的米氏方程，从而很好地解释了底物浓度对酶促反应速度的影响。

$$v = \frac{v_{max} \cdot [S]}{K_m + [S]}$$

或

$$K_m = [S] \cdot \left(\frac{v_{max}}{v} - 1 \right)$$

式中：v——反应速度；

v_{max} ——最大反应速度；

K_m ——米氏常数；

[S] ——底物浓度。

由米氏方程可知，当底物浓度 [S] 较低时， $K_m \gg [S]$ ，米氏方程可简化为

$$v = \frac{v_{max}}{K_m} \cdot [S]$$

即反应速度 v 与底物浓度 [S] 成正比；当底物浓度很高时， $[S] \gg K_m$ ，米氏方程可简化为 $v = v_{max}$ ，此时，反应速度与底物浓度无关。与图 1-2 的实验结果完全相符。

(二) K_m 的确定

将米氏方程经变换和整理后得： $1/v = K_m/v_{max} \cdot 1/$

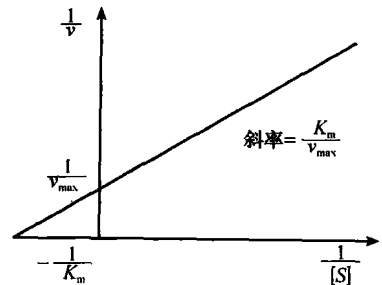


图 1-3 K_m 求法

$[S] + 1/v_{\max}$, $1/v$ 与 $1/[S]$ 呈线性关系, 因此可通过不同 $[S]$ 下的 v 做出上述一次曲线, 而该一次曲线的斜率即为 K_m/v_{\max} , 纵坐标的截距绝对值即为 $1/v_{\max}$ 。

(三) K_m 对酶生产和应用的指导意义

1. 物理意义

从米氏方程可看出, 将 $v=1/2v_{\max}$ 代入米氏方程, 可以得到 $K_m=[S]$, 说明 K_m 的物理意义是使反应速度达到最大反应速度一半时的底物浓度, 故 K_m 的单位为浓度单位 mol/L。

2. K_m 反映了酶和底物的亲和力

从中间产物学说可以推导得出, K_m 越小, 酶与底物的亲和力越大, 反之越小。以此可作为测定酶活性的依据, 也可以作为实际生产中酶选用的参考指标。

3. K_m 是酶的特征物理常数

每一种酶在一定的条件下, 对某一底物有一定的 K_m , 故通过测定 K_m 可鉴定不同的酶。

4. 可运用 K_m 和米氏方程选择合适的底物浓度

通过实验可以确定一个酶对于一个底物的 K_m 和 v_{\max} , 再根据实际生产需要, 综合权衡酶促反应的速度和底物浓度, 选择合适的底物浓度。

二、酶浓度对酶促反应速度的影响

底物浓度足够高的情况下, 酶促反应速度与酶浓度成正比, 如图 1-4 所示。但是当底物浓度不足或者酶浓度过高时, 酶促反应速度与酶浓度的关系会发生变化。酶的用量要根据具体情况和要求确定。酶的浓度太低, 则反应时间长, 影响生产效率; 酶浓度过高, 会增加产品成本。酶用量的多少总是相对于底物浓度而言的, 因此, 在实际生产中, 更多关注的是 $[E]/[S]$, 即酶浓度和底物浓度比, 而不是酶浓度本身。

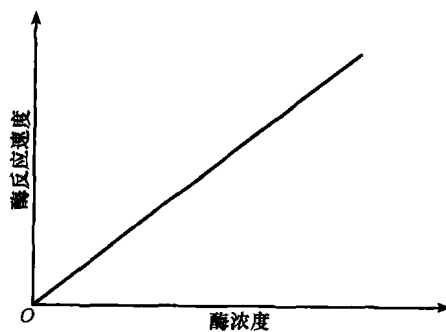


图 1-4 酶浓度对酶促反应速度的影响

三、温度对酶促反应速度的影响

一般情况下, 随着反应温度的升高, 酶促反应速度加快。根据一般经验, 温度每升高 10°C , 反应速率约增加 $1\sim 2$ 倍。但是, 大多数酶对温度很敏感, 高温加热会导致酶活力的降低甚至丧失, 从而使得酶促反应速度降低。在其他条件不变的情况下, 温度对酶促反应速度的影响曲线如图 1-5 所示。曲线顶点对应的温度, 就是使酶发挥最大反应