

魯寶重編著

# 酶学概论

科学出版社

# 酶 学 概 论

鲁 宝 重 编 著

科 学 出 版 社

1 9 6 4

## 內 容 簡 介

本书共分六章,除緒論一章介紹酶学基本概念和发展簡史外,其余主要是,在現代水平上就酶的化学、动力学、作用机制、生物学以及酶的实际应用等作了一般性闡述,而尤着重于基本原理的說明。在第五章里,簡要地討論了酶的协作。附录内表列了几百种酶及其所催化的反应。

本书可作大学、农医学院和輕工业学院某些专业教学上的参考,也为研究酶学的生化工作者提供一定綫索。

## 酶 学 概 论

魯宝重編著

\*

科学出版社出版 (北京朝陽門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可證出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

\*

1964 年 5 月第 一 版

书号: 2840

1964 年 5 月第一次印刷

字数: 276,000

精: 1—2,750

开本: 350×1168 1/32

(京) 平: 1—2,000

印张: 10 3/8 插頁: 3

定价: [科七] 精装本 2.30 元  
平装本 1.80 元

## 自序

酶学是一門比較年輕的科学，近二十年来又有很大的发展。在国外，关于酶学方面的教科书、小册子和丛书之类的书刊层出不穷，在生物科学中独树一帜。这对于酶学的研究、酶学知識的传播以及对生产和生活的改善等都起着有益的作用。在国内的科学和教学文庫中，我国自編的酶学专门著作一向是少見的，即使翻譯的著作也是这样。本书的編写可以說是为了补救这一缺陷而作的一种初步嘗試。

本书是应教学上的需要編写的。1960年，即党誕生四十周年的前一年，作者为了滿足北京师范大学部分同学学习的要求，根据旧日講稿着手編写一部酶学綱要讲义，經年才告完成。在編写的时候，作者力图使内容符合于現代发展水平；此次付印之前，又作了若干調整，并尽可能地补加一些新的材料。全书除緒論（第一章）外，主要就酶的化学、动力学、作用机制、生物学以及实际应用等方面（第二、三、四、六章）作了一般性闡述，而尤着重于基本原理的說明。至于个别酶的性質則不作专门討論，只在談到酶的协作（第五章）时附带提一下，另在附录內以表列形式加以描述。作者希望，这些内容既可以作为大学教学上的参考，也可为研究工作提供一定綫索。

應該指出，由于酶学范围很广，文献資料浩瀚，即使要作好一定程度的去粗取精工作，对于一个作者來說已是力不从心，何况作者的水平是极其有限的。因此，书中的錯誤是在所难免的，尚望讀者提出批評和指正。

本书的編写得到北京师大党委领导同志的关怀和支持，給作者以极大的鼓舞，特別在这里表示衷心的感谢。作者也感謝生物

系的党和行政领导所给予的经常关心。许多朋友或在内容上提出了好的意见,或在校稿中花了不少劳动,作者在此一并致谢。

鲁宝重 1963年

(北京师范大学生物系生化教研组)

# 目 录

第一章 緒論 .....	1
一、酶的重要意义 .....	1
二、酶的定义 .....	2
三、酶的命名 .....	3
四、发展簡史 .....	4
五、現代酶学研究 .....	10
六、新中国的酶学研究 .....	12
七、酶学的主要参考文献 .....	13
第二章 作为化学物质的酶 .....	15
一、酶的蛋白质本性 .....	15
二、酶的組成和結構 .....	19
三、酶的提純 .....	46
四、酶的保存 .....	54
五、酶的分类 .....	55
第三章 动态的酶 .....	61
一、酶是催化剂 .....	61
二、酶催化与非酶催化 酶模型(模拟酶) .....	64
三、酶活力的測定 酶单位 .....	72
四、酶反应动力学的基本原理 .....	77
五、抑制剂及其对酶作用的影响 .....	98
六、活化剂及其对酶作用的影响 .....	111
七、温度对酶作用的影响 .....	120
八、pH 对酶作用的影响 .....	126
九、光及其它射綫的影响 .....	131
十、超声波的影响 .....	134
十一、酶的特异性 .....	135
十二、酶反应的可逆性 酶促合成 .....	143

十三、酶的反应机制·····	147
第四章 生物学上的酶·····	179
一、酶的生物学研究法·····	180
二、酶的分布·····	182
三、酶的生物合成·····	202
四、酶的起源·····	231
五、酶的免疫性质·····	232
第五章 个体酶和酶的协作·····	239
一、作为个体的酶·····	239
二、酶的协作 多酶体系·····	240
(一)多酶协作的方式·····	240
(二)控制多酶体系的因素·····	242
第六章 实用上的酶·····	247
一、酶在分析化学上的应用·····	247
二、酶在医学上的应用·····	251
三、酶在工业上的应用·····	258
(一)发酵工业·····	258
(二)食品工业·····	267
(三)制茶工业·····	275
(四)制烟工业·····	277
(五)纺织工业·····	278
(六)制革工业·····	280
(七)草蓆·····	282
(八)中国漆·····	283
四、酶的其他用途·····	284
附录·····	288

# 第一章 緒 論

## 一、酶的重要意义

酶对于一切生命活动具有巨大的意义。生命的最主要的、最基本的特征在于生物（生活有机体）与它的周围环境間的物质交换，即新陈代谢。生物的新陈代谢表现在：它們經常由外界摄取其本身所需要的物质，把这些物质改造同化而組成本身，而本身又排泄出一些物质于外界。毛泽东主席指出：“新陈代谢是宇宙間普遍的永远不可抵抗的規律。依事物本身的性质和条件，經過不同的飞跃形式，一事物轉化为他事物，就是新陈代谢的过程。”<sup>[1]</sup>这在有机生命界体现得特別明显。

新陈代谢是生命活动的基础。新陈代谢过程是由无数个化学反应組成的，这些反应絕大多数与无机界的化学过程不同。它們有很大的速度和明显的方向性，生命化学过程之所以能够这样实现，并不是借助于高温和強烈的化学手段，而是决定于那些特殊的活性物质，其中最重要的要算是酶了。酶是促进生物化学反应的高效能的物质。所以巴甫洛夫說：“酶可以說是生命活动的最重要的因素。……酶决定着体内一切化学过程的进行方向，它們是所有化学变化的激动者\*。所有的酶都起着巨大的作用，因为它們能决定生命得以表现的各种过程，因为它們又是真正的生命的激动者。”<sup>[2]</sup>維尔斯特（R. Willstätter, 1929）也說过：“生命是酶反应过程的有調节的协作”。我們可以說，生命的基础是建筑在酶作用下的化学过程上的。沒有酶，生命是不可想象的。从这个意义上来说，恩格斯曾把生物学称之为“蛋白質的化学”<sup>[3]</sup>是很正确的，因为現在看来，酶毫无例外地都是蛋白質。

\* 体内的少数化学变化可不受酶的影响。



無論是在陆地、在海洋或是在空間，只要那里有生命現象，那里就有酶的作用。生物的生长、繁殖、营养、遺传、运动以及发酵、呼吸、光合作用、神經刺激等过程无一不具有酶的催化性質。这里，酶的活动是和生活細胞紧密地联系着的。在自然界里，例如在土壤和上层海水中，还有脱离細胞结构的自由酶，它們是在温度的影响下从微生物里分出来的，也具有重要的生物学意义。

近些年来，由于生产、生活以及科学的发展和需要，酶的重要性已經超出了生物学本身的范围，它們在工业、农业和医药学上的应用越来越广。酶学的研究对于某些理論科学如物理化学和有机結構化学等方面也具有特殊的意义。

## 二、酶的定义

酶亦称酵素，是生活有机体产生的，具有特殊催化能力的蛋白質，常被說成是一种生物催化剂。研究酶及其作用的学問叫做酶学。酶学虽然被認为是生物化学的一个分支，但实际上，它几乎涉及到全部生物化学。

酶虽然是蛋白質，但在有机体内的数量比起一般蛋白質要少得多。它們与一般催化剂（有机的或无机的）也有显著的不同：具有胶体性質，不耐热，容易被強酸強碱所破坏，而突出的一个特点則是它們的高度特异性，即作用的选择性。酶在参加新陈代谢作用时，本身也起着变化。

酶作为蛋白質，有些含有輔基，有些不含有輔基。有人把前者称为“双成分酶”（綴合蛋白質），后者称为“单成分酶”（单纯蛋白質）。酶的輔基如果与其蛋白部分的結合不是很牢固而是可以离解的，那么这个輔基常被叫做輔酶。“双成分酶”的蛋白質部分叫做“体酶”或酶蛋白。輔酶和体酶本身均无酶催化活性，只有当二者結合在一起时才成为活性酶——“全酶”；因此可以認为，輔酶（通常是比蛋白質远为简单的有机化合物）是活性酶的一种“輔助因素”，是酶催化机器的一个組成部分。它在酶反应中起着一定的作用，例如传递氢或其它化学基团，但在反应終了时本身并无改

变。

有些金属离子对于某些酶反应也是不可缺少的，这种辅助因素有时叫做“补体”(Complement)。

无论是双成分酶或是单成分酶，它们在作用其他物质时，必须使该物质“活化”而起反应，这个被酶所作用的物质叫做底物或称基质；在反应时与底物“结合”而起催化作用的酶基团或部位一般叫做“活性部位”或“活性基团”，或叫做“活性中心”(参阅第二章)。

应该指出的是，所谓辅酶、辅基和底物等都是历史上形成的概念，并不是绝对的。有些辅酶，例如辅酶 I 和 II 等本身可以作为底物，而辅酶与辅基之间也很难绝对加以区分。例如在一些黄素酶中，同一辅助因素，黄素腺嘌呤二核苷酸(FAD)与其相应的酶蛋白相结合的牢固程度有大有小，因此，对于这一个酶，它是一个辅酶，对于另一个酶它又是一个辅基。可见，这些概念只是数量上的区别，而不是在本质上有什么不同。为了避免混淆不清，有必要采用较确切的化学名称来表述这样的辅助物质，如果可能的话。事实上，在酶学文献中已开始这样作了。

### 三、酶的命名

酶的种类很多，其作用又是各式各样。现在已经知道的酶近千种，其中经过比较详细研究的约五百种，新酶还不断地被发现。但是，直到现在还没有一个完善的命名体系。

酶虽然有“单成分酶”及“双成分酶”之称，可是它们的化学结构还不象一般有机化合物那样清楚，所以还不可能根据酶的结构特征来命名。现在的命名法是以下述三点为基础的：第一是根据酶作用的性质，例如水解酶、氧化酶、转氨酶和变位酶等；第二是根据被作用的底物兼顾到作用的性质，例如蛋白酶，核糖核酸酶，琥珀酸脱氢酶和葡萄糖氧化酶等；第三，结合以上两种情形并根据酶的来源，例如胃蛋白酶、胰蛋白酶，胞外酶及胞内酶等。过去，由于缺少一致的命名原则，一直没有形成一种严整的命名体系，因此在酶的命名上存在着烦琐和混乱的现象。侯夫曼·奥斯屯霍甫

(Hoffmann-Ostenhof)<sup>[4]</sup>曾试图建立一个新的命名体系,而且这个体系也确实具有一定的优点,但是据此而定出的名称却又过于累赘冗长,如果译成中文则更格格难读了(例如“磷酸己糖激酶”的新名为“三磷酸腺苷→6-磷酸果糖轉磷酸酶”! )。

酶的命名虽然是任意的,但是当酶催化的反应以及本身或底物的化学本性被阐明时命名才会更加确切合理。例如,酵母含有一种促使蔗糖水解的酶,一向叫做轉化酶或蔗糖酶,但是能使蔗糖水解的酶并不只是这一种,如果把水解蔗糖的酶都称之为轉化酶或蔗糖酶,那是不恰当的。事实証明,一向所謂的轉化酶或蔗糖酶乃是一种专门分解 $\beta$ -果糖苷键的酶,它对一般 $\alpha$ -葡萄糖苷键无作用,因此称之为 $\beta$ -果糖苷酶是比较适宜的。

正是根据上述原则,国际生物化学协会酶委员会最近提出一套系统的命名方案<sup>[5]</sup>,供科学界采用,但同时也不排除旧日通用名称的合理使用,虽然它们是繁琐的。系统命名法是以酶所催化的整体反应为基础的,酶的名称更加确切地表明它所催化的反应。例如 $\beta$ -淀粉酶的系统名称定为 $\alpha$ -1, 4-glucan maltohydrolase,意即 $\alpha$ -1, 4-聚葡萄糖麦芽糖水解酶,因为它从多糖链上打开 $\alpha$ -1, 4-聚葡萄糖的联结逐步解出麦芽糖分子的原故。显而易见,这个新命名法的缺点在于,由此拟出的名称一般仍比通用名称冗长。

附带提一下,我国生化工作者所用的“酶”字是很好的。按“五音集韵”称,酶“酒母”也,又“会韵”载,酶“通作媒”,可见“酶”字不仅在意义上与西文enzyme或ferment(均与酒发酵有关)相通,而且比旧用“酵素”一辞为简单。在西文中,酶名之尾常为“ase”,个别的酶则为“in”。

#### 四、发展简史<sup>[6,7]</sup>

人对于酶的認識和酶学的发展,如同其他科学知识一样,是源于人的某些生产活动。从生产实践和生活經驗中,人們逐渐意識到酶的作用,其后酶的理论研究才发展起来。正如毛泽东主席所指出的:“人的認識,主要地依赖于物质的生产活动,逐渐地了解自

然的現象、自然的性質、自然的規律性、人和自然的關係，……一切這些知識，離開生產活動是不能得到的”<sup>[8]</sup>。在遠古時代，人類就在生產實踐中利用酶的作用來為自己服務，雖然這是不自覺的。酒的釀造、飴糖的制作和面粉發酵等就是一些顯著的例子。

人們對於酶的認識主要起源於兩個方面，一個是發酵現象和釀造；一個是疾病的醫療。

遠古人類用天然發酵法來制酒。我國在夏禹時代（距今已四千多年），酒已盛行。殷墟青銅器表明，在殷周時代，酒風更盛。酒是酵母菌發酵的產物，是其中酶作用的結果。我國舊日所說的酒母和麴，即含有大量的酵母菌和豐富的酶。“書經·說命”說：“若作酒醴，爾維麴蘖”。麴由谷類種子制成，蘖是發芽的谷粒，可使穀物澱粉糖化。可見我國人民在數千年前（還在夏朝以前）就會利用酶的作用由穀物釀酒了<sup>[9,10]</sup>。這種酒麴的應用在一千七百多年前已傳入日本<sup>[11]</sup>。

公元十世紀左右，我國已能用豆類作醬。“周禮·天官”載：“醢人（即作醬的人）掌四豆之實”，又“醬用有百二十齏”。到春秋戰國時代，醬已成為不可缺的調味品，這可以由“論語”所說的孔子“不得其醬不食”一事可以看出。豆醬和豆豉主要是在霉菌蛋白酶的作用下豆蛋白質水解後所得的食品，壓榨後制得醬油。這些都是我國具有古老傳統的豆類工業產品。

飴糖（主要是麥芽糖）的製造在我國三千年前已經實行，到漢朝更為普遍<sup>[12]</sup>。“詩經·大雅”已有“周原膍膍，堇荼如飴”的記載。後來元代戴侗著“六書考”（十三、四世紀）說得更清楚：“以米蘖煎秬為日飴也”，而在西洋，直到十八世紀末（1873）艾爾文（Irvine）才觀察到大麥芽汁能消化澱粉。十九世紀初葉（1811—14）克爾希霍甫（Kirchhoff）才明確指出麥麴含有澱粉酶。

用麴來治療消化障礙症也是我國人民最早的發現。“左傳”稱魯宣公十二年（公元前六世紀），叔展曰：“有麥麴乎？曰無，……河魚腹疾奈何？”麴含有豐富的酶和維生素，直到現在仍然是常用的健胃藥。

我國民間流行的服用焙干雞胃粘膜炎以消腹實的方法，可能也有很久的歷史。雞胃粘膜炎含有活性很強的消化酶。

春秋戰國時代，漆已被廣泛地利用，“書經·禹貢”說：“厥貢漆絲”，足見我國開始用漆比這還要早。漆是漆樹的樹脂被漆酶作用的氧化產物。

上述幾個例子表明，我國人民自古以來就在生產、生活實踐中表現了民族智慧，積累了許多有關酶學的經驗。

在西方，酒的釀造同樣是古老的事業。歐洲人過去一向把所有產生氣體的反應都包括在發酵現象之內，連酸溶解無機物的作用也不例外。直到1787年發布羅尼(Fabroni)才認定，“發酵”乃是一種物質被另一種物質所分解的作用。

由於17—18世紀生產和實驗科學的空前發展以及二者的相互影響，化學同生物科學和醫學(包括獸醫)也緊密地聯繫起來了。生理過程的化學機制的探討成了當時自然科學的一項中心任務。

1783年斯巴蘭沙尼(Spallanzani)以鐵絲盒包肉飼鷹，過時取出，發現肉已被液化，這可以說是關於酶催化試驗的開端。但是，發現第一個酶的人要算是普蘭齊(Planche)了。他在十九世紀初從植物根提出一種能溶于水而不耐熱的制劑，有使愈瘡木醇液變藍的能力。他把它看作是一種物質。約在同時，在生產名酒的法國，拉瓦西(Lavaisier)和蓋·呂薩克(Gay-Lussac)先後深入研究了酒發酵過程，並確定了(1810)有名的發酵總方程式：



這個方程式直到現在還是適用的。還是在這個十九世紀開始年代，人們積累了不少關於酶學的知識。例如1814年克爾希霍甫確定了谷類種子含有使淀粉糖化的物質；1830年羅比克(Robiquet)發現苦杏仁的抽提物可以水解苦杏仁素；1833年派恩(Payen)和白爾索(Persoz)第一次用乙醇提出了大麥芽淀粉糖；1836年史萬(Schwann)提取出了胃蛋白酶，說明了它的作用。他還與薩尼亞·拉圖(Cagniard-Latour)分別發現，酵母是一種微生物，認為酒發酵是酵母細胞生活過程所產生的結果。後來(1857)巴斯德的研究完

全支持这个論断。

但是，这些事实如果不同当时化学上新提出的催化学說結合起来，那么对于酶的認識便不能深入一步。催化学說的提出不仅大大推进了化学，同时也加速了生理科学的发展，它也奠定了酶学的科学基础。

柏齐里烏斯 (Berzelius) 总结了当时的化学成就，在 1835 年明确地提出了催化学說。他写道“那么証明了，許多物質，單純的和复合的，固态的和溶解的，具有这样的性質，即对复合物質施加一种与普通化学亲和力完全不同的影响，从而使这个物質的成分变为另一种組成，而它們同它們的成分本身并不一定参加这个变化，虽然这也是可能的。这是一种……新的力，……我把它叫做物質的催化力，把由它所引起的变化叫做催化作用”<sup>[13]</sup>。催化与催化剂的概念自此始。柏齐里烏斯也認識到催化在生命現象中的意义，他說：“我們有根据設想，在活的植物和动物体内組織与体液之間，有成千的催化过程进行着……”。1837 年他又根据催化力学說企图說明酒精的发酵过程。这种催化观点是划时代的，虽然它曾受到許多批評，特別是来自李比希 (Liebig) 方面的反对。但是它对于酶学的发展以及对于新陈代謝的研究所起的深刻影响是沒有疑問的。

李比希不同意“催化力”的說法。他在 1839 年提出了所謂力学的酶学說來說明催化現象(特別是发酵)。他写道：“我想現在提醒自然科学家去注意迄今还未被人注意的一个因素，由于这个因素的作用，产生了形变和分解現象，即一般所指的腐烂、腐敗、发酵和霉烂。这个因素就是一个正在分解或化合中，即在进行化学作用中的物質(按即指酶)所具有的能力，使在同它接触的另一物質(按即底物)内引起同样的活动，或者使它(指另一物質)能够进行与它本身所受的一样变化”<sup>[14]</sup>。因此，依他看来，諸如发酵之类的过程純是一些化学作用。他的这个观点不同于柏齐里烏斯的仅仅在于他認為催化剂的作用乃源于固有的反应活动。实际上，李比希只是补充了柏齐里烏斯的意見，在他們之間并无根本上的分歧。

由于发酵工业和医学上的需要，微生物学这时有了很大的发展。在这方面巴斯德学派起了重要的作用。巴斯德根据系统的研究坚决主张，酒发酵是酵母细胞生活的结果，是同它们的生命活动分不开的（1857）。他并且把那种具有酶作用的生活有机体叫做“活体酶”，而把那种不具有细胞结构并且不依靠细胞而作用的酶叫做“非活体酶”。

但是这种认识受到当时著名化学家如柏齐里乌斯、李比希、韦烈（Wöhler）等的一致反对，这就展开了十九世纪后半叶有名的科学大论战。一方面是巴斯德的带有生机论色彩的二元论观点，一方面是以李比希为代表的从化学原理出发的一元论观点。李比希等不认为发酵是生命活动的结果，它不过是一个化学过程。他还认定，无论是被“活体酶”或“非活体酶”所催化的过程都是一样的，都是由容易变化的、与蛋白质相似的物质所引起的。毫无疑问，在活的微生物作为酶的生产者这一点上，巴斯德是完全正确的，而李比希对于当时流行的“生命力”唯心论观点所进行的坚决斗争则博得了科学界的广泛赞许。不过在另一方面，李比希学说的核心虽然是正确的，但在阐明方式上却存在着片面性，因为在他看来，酶在作用时是处于分解状态中，可是实际上它们并未受到破坏。

巴斯德在酶学上的功绩之一是他在1858年发现了（间接地）酶的立体特异性。他观察到，青霉菌（*P. glaucum*）只能分解外消旋酒石酸铵的右旋成分，而左旋成分不受影响。

巴斯德与李比希两派之间的长期争论终于马那西娜（Манассейна）和布合乃尔（Buchner）的发现而告解决。马那西娜在1871年发现，酵母细胞被磨碎后仍能使糖发酵。布合乃尔兄弟在1897年成功地用不含细胞的酵母汁实现了发酵。1890年米科勒（Miquel）第一次从细菌提出了所谓溶解性的酶，其作用与细胞相同。这些划时代的工作不但打垮了发酵生机论的错误观点，结束了多年的争论和对立，消除了“活体酶”与“非活体酶”的区别，而且大大推动了酶学沿着新的正确的路线发展。

在十九世纪后半叶还有一些重要的发现。1860年柏德罗

(Berthelot)由酵母分离出蔗糖酶；1862年达尼列夫斯基(Данилевский)首先用吸附法使胰蛋白酶同淀粉酶分开,这个方法后来又經維爾斯特学派加以发展。許恩拜(Schönbein),郝培賽勒(Hoppe-Seyler)和白尔川(Bertrand)等認識到生理氧化过程中的酶作用。1894年斐歇尔(E. Fischer)开始通过酶特异性的研究以闡明糖类和肽类的化学結構。1897年白尔川注意到,許多酶在作用中需要低分子的物质(輔酶),为后来探討酶的化学本質問題开辟了途径。1898年克罗夫·黑尔(Croft-Hill)第一次指出酶的合成作用;他利用酵母麦芽糖酶从葡萄糖合成了异麦芽糖。跟着,一系列其他酶促成試驗成功了。同年,巴甫洛夫指出了消化酶的产生和分泌是与食物成分性質相适应的。

如果說在十九世紀已經奠定了酶学的基础,那末到本世紀初叶,这个基础便更加扩大了。一方面,更多的新酶被发现了,如:沙丁格(Schardinger, 1902)发现了乳內的醛脫氫酶(黄嘌呤氧化酶),从而引起一系列脫氫酶及脫氫作用的研究。考賽尔(Kossel)及达金(Dakin, 1904)发现了精氨酸酶。諾亦柏格(Neuberg, 1911)发现了丙酮酸脫羧酶。哈登(Harden)和楊(Young) (1902—1905)关于在酵母汁作用下糖与磷酸盐变成果糖二磷酸酯的发现,以及該磷酸酯的提出,不仅表明磷酸酯在发酵过程中的重要性,而且今天看来,它在整个新陳代謝过程中也具有特別重要的意义。

另一方面,在酶作用的物理化学研究方面也迈进一大步。上述克罗夫·黑尔关于异麦芽糖的酶促成試驗,是在当时奥斯特瓦尔德(W. Ostwald, 1895左右)已把热力学原理应用到催化过程上的情况下实现的。但是在酶作用与酸度的关系未确定以前,酶反应的动力学研究是有困难的。当1909年索伦逊(Sørensen)指出了酶反应与氢离子浓度的依賴关系以后,米夏里(Michaelis)就这种关系作了詳細的研究。他和門屯(Menten)在1913年发表了有名的酶促蔗糖轉化的动力学原理,这是根据化学动力学原理研究酶反应机制問題的一个重要嘗試。他們所作的假設和結論得到了証实,到現在仍然得到广泛的引用。



此外,在研究方法和实验技术方面也有了很大发展,这又促进了酶化学本身的发展。1917年屯柏格(Thunberg)发明的亚甲蓝方法帮助了人们扩大对于氧化还原酶的知識,促进了对于这类酶的研究。自1923年瓦尔堡(Warburg)开始应用气压計法以后,在氧化酶的定量研究上达到了新的水平。約在同时,維尔斯特学派发展了分离酶的吸附法,使酶的純度大大提高;但是結晶的酶只是到1926年才由薩木尔(Sumner)用蛋白質沉淀法第一次制取出来,这就是脲酶。不久以后,一系列其他結晶的酶也提取成功了,而且証明,它們都具有蛋白質的化学本性,这就开始打破了酶非蛋白質論者的怀疑。从此以后,酶学的研究进入了一个新的时代。

## 五、現代酶学研究<sup>[5]</sup>

首先,自1926年以来,許多酶相繼被制成結晶状态,这就为进一步研究酶的化学結構和作用机制創造了有利条件。酶的分离和提純現在仍然是酶学上的一項主要任务,这方面的每一个进步将有助于对酶本身及其作用的了解。近些年来,分段离心分离法、盐析法、电泳法以及层析法等对于酶的分离研究起了重要的作用。通过物理和化学方法(特别是光学方法)的綜合应用,許多酶的活性基团已得到証实(如鉄卟啉、吡啶、磷酸黄素和某些金属等)。活性基团的确定是当代酶学中最引人注意的問題之一。

其次,酶学研究的另一个重要方面是从結構化学和物理化学的角度来闡明酶催化过程的本质。近几十年来,虽然对于酶的反应动力学、酶活性基团的性質以及底物基团的轉換等进行了富有成果的研究,但还有許多根本性的問題等待解决,最重要的一个便是酶的結構与其性能的关系問題。动力学的分析对于研究复杂的酶作用机制問題虽然是重要的,但不是唯一的。类似郎格柏克(Langenbeck, 1926)的酶模拟实验不仅有助于闡明酶活性基团的性質和作用机制,而且将为酶的人工合成和实际应用开辟途径。

第三是酶的生物学方面的研究。酶不仅是化学物质,尤其是生命物质。它在有机体内的产生、分布、与其它酶的协作关系(多