

中国酶制剂产业的现状与未来展望

陈坚^{1, 2}, 刘龙^{1, 2}, 堵国成^{1, 2}

(1. 江南大学 工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 生物工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 酶是一种专一性极高的生物催化剂, 广泛应用于食品、纺织、饲料、医药、造纸等行业领域。作者分析了中国酶制剂产业的发展现状及其面临的主要问题, 介绍了酶制剂在食品、纺织、饲料等领域的应用, 并对中国酶制剂产业的技术发展趋势进行了展望。

关键词: 酶制剂; 现状; 发展趋势; 食品酶; 纺织酶; 饲料酶

中图分类号: TQ 925 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-1689(2012)01-001-07

Current Status and Prospects of Enzyme Preparation Industry in China

CHEN Jian^{1, 2}, LIU Long^{1, 2}, DU Guo-cheng^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Enzyme is a biological catalyst with high specificity and has been widely used in food, textile, feed, pharmaceutical, paper and other industries. In this review, the current status and the existing problems of enzyme preparation industry in China were firstly analyzed, and then the applications of enzyme in food, textile, feed and other industries were summarized, and finally the development prospects of enzyme industry were outlined.

Key words: enzyme preparation, present status, trend, food enzyme, textile enzyme, feed enzyme

酶是由活细胞产生的、催化特定生物化学反应的一种生物催化剂。酶制剂是酶经过提纯、加工后的具有催化功能的生物制品, 主要用于催化生产过程中的各种化学反应, 具有催化效率高、高度专一性、作用条件温和、降低能耗、减少化学污染等特点, 其应用领域遍布食品(面包烘烤业、面粉深加工、果品加工业等)、纺织、饲料、洗涤剂、造纸、皮革、医药以及能源开发、环境保护等方面。

酶制剂产业是知识密集型高技术产业, 是生物工程领域的重要组成部分。目前为止, 已报道发现的酶类有 3 000 多种, 但其中已实现大规模工业化

生产的只有 60 多种^[1]。据报道, 全世界酶制剂市场正以平均 11% 的速度逐年增长^[2]。酶制剂产业的发展前景相当广阔。中国酶制剂产业经过 50 多年的长足发展, 已进入世界酶制剂生产的大国行列, 目前已实现规模化生产的酶制剂达到 30 种左右。

1 中国酶制剂产业的发展现状及特点

我国酶制剂工业经历了起步阶段、上升阶段及快速发展阶段。酶制剂年产量从 2005 年的 48 万 t 增长到 2010 年的 77.5 万 t, 复合增长率达到 10.1%。由于酶制剂技术的不断创新, 应用领域的

收稿日期: 2012-01-10

基金项目: 国家 863 计划项目(2011AA100905)。

作者简介: 陈坚(1962-), 男, 江苏扬州人, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 国家杰出青年基金获得者, 主要从事食品生物技术和生化工程研究。Email: jchen@jiangnan.edu.cn

不断延伸和扩展,这使得中国酶制剂行业近年来一直保持 10%左右的快速增长。目前,逐步成熟的酶制剂研究及应用技术使中国酶制剂产业正向“高档次、高活性、高质量、高水平、多领域”方向发展。

1.1 中国酶制剂的种类和应用领域

中国最早的酶制剂工业起于上世纪中叶,生产的产品主要为应用于纺织退浆的 BF7658 α -淀粉酶。20 世纪 90 年代末,高温 α -淀粉酶和高转化液体糖化酶开始在酒精、味精、制糖、啤酒等行业广泛应用。当时中国酶制剂主要以淀粉酶和糖化酶为主,两者总量占出口总额的 80% 以上。现在中国酶制剂产品已经更新换代,主要包括以下 9 大类:糖化酶、淀粉酶、纤维素酶、蛋白酶、植酸酶、半纤维素酶、果胶酶、饲用复合酶、啤酒复合酶等。其中,糖化酶、淀粉酶、植酸酶产量过万吨;纤维素酶、半纤维素酶和果胶酶所占比例较小,但增长较快。中国酶制剂的主要应用领域包括:淀粉糖工业、啤酒工业、燃料酒精工业、酒与饮料工业、饲料工业、纺织工业、制药工业、造纸工业、精细化工工业、洗涤剂工业、皮革工业、焙烤工业、乳制品工业、石油工业等。酶制剂产业在中国正逐步成为独立行业,促进了国民经济发展。

1.2 中国酶制剂的产量和进出口状况

近来,中国酶制剂产业总体生产和销售形势较好,产品产量保持了持续增长。中国酶制剂产量从 2005 年的 45 万 t 增加至 2010 年的 77.5 万 t,年产值近 100 亿元,6 年平均增长率达 10.1% (图 1)。2010 年中国酶制剂产量较 2009 年同比增长 12.3% 左右(图 1)。国内企业生产的酶制剂主要种类以糖化酶、淀粉酶、植酸酶等为主。

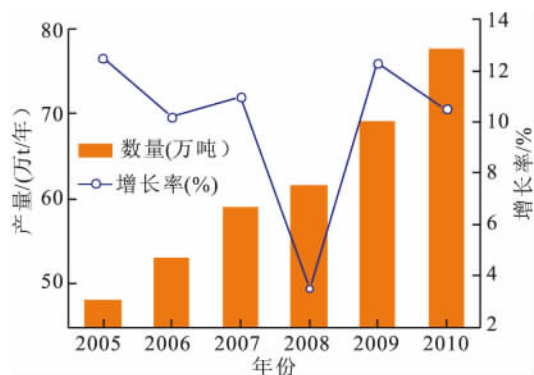


图 1 2005—2010 年中国酶制剂产量

Fig. 1 The production of China enzyme preparation from 2005 to 2010

中国酶制剂出口增加值持续扩大,出口到数十个国家和地区。2010 年出口总量达到 8.2 万 t,出口额达到 2.3 亿美元(图 2)。中国酶制剂产品 2010 年与 2009 年相比,出口量及出口额均有所上升,出口量增长 21.3%,出口额增长 15.0%。其中,粗制凝乳酶及其浓缩物出口量及出口额有所下降,碱性蛋白酶、碱性脂肪酶等出口方面明显增加,碱性蛋白酶的出口量增长了 2 倍以上,酶制剂产品的总出口水平良好,提升稳定。

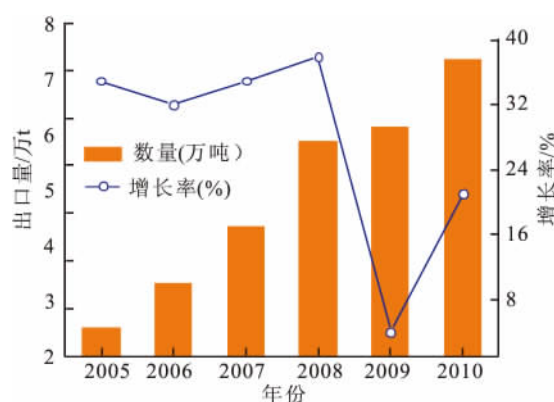


图 2 2005—2010 年中国酶制剂出口量

Fig. 2 Exports of China enzyme preparation from 2005 to 2010

中国酶制剂产业种类相对单一,与国外相比还有一定距离。中国需进口一些国内急需但制造尚不及国外的酶类。2010 年中国酶制剂进口量达到 9 147.8 t,进口额达到 1.28 亿美元。与 2009 年相比,2010 年酶制剂的进口量与进口额均有微降(表 1)。

表 1 2009—2010 年中国酶制剂进口量

Tab. 1 Imports of China enzyme preparation from 2009 to 2010

品种	进口量/t		进口额/万美元	
	2009 年	2010 年	2009 年	2010 年
粗制凝乳酶	2.7	2.6	15.3	20.3
碱性蛋白酶	367.7	215.9	319.9	284.9
碱性脂肪酶	96.5	280.5	273.9	317.2
其他	8 960.3	8 648.8	12 315.5	12 209.9
合计	9 427.2	9 147.8	12 924.6	12 832.4

1.3 中国酶制剂生产企业及现状

通过市场整合,中国酶制剂逐步形成了一个较稳定的生产格局和市场格局,基本告别了无序竞争的现象,进入了良性发展的轨道,出现了一批有特

色有规模的重点生产企业,如山东隆大生物工程有限公司、武汉新华扬生物股份有限公司、湖南鸿鹰祥生物工程有限公司、湖南尤特尔生化有限公司、青岛康地恩生物科技有限公司等。中国酶制剂生产企业有百余家,其中年销售收入超亿元的企业有10家左右。新技术的引进和开发使中国部分酶制剂的品种和质量接近或达到国际先进水平,但一些产品的竞争趋于激烈,如纤维素酶和碱性果胶酶等。酶制剂产业总量保持高增长态势,但发展出现不均衡现象,一些企业增速达到30%以上,一些企业增速缓慢。价格优势促进了中国酶制剂应用市场的发展和成熟,市场的成熟进一步促进了企业向规模化和现代化发展。中国酶制剂与国际酶制剂的一流生产企业相比,中国酶制剂企业的发酵罐规模偏小,在线控制水平偏低。同时,科研投入能力有限,研发能力有待进一步加强。

2 中国食品酶产业的发展现状

食品工业已经成为中国国民经济的支柱产业。2010年中国食品工业总产值达6.2万亿元,占中国生产总值的15.57%。2000至2010年中国食品工业总产值的年平均增长率达20%。伴随着中国食品工业的持续、稳定、快速发展,中国食品酶制剂市场空间也在迅猛增长,广泛应用于食品行业各个领域^[3]。中国食品酶制剂种类较多,主要包括酿造酶、乳品酶、淀粉酶、蛋白酶、油脂酶、风味酶、果品酶等。其中,碳水化合物用酶、蛋白质用酶、乳品用酶占食品酶制剂的比重较大,所占比例为81.7%(图3(a))。在食品加工过程中常用的酶制剂主要有以下几种:木瓜蛋白酶、谷氨酰胺转氨酶、弹性蛋白酶、溶菌酶、脂肪酶、葡萄糖氧化酶、异淀粉酶、纤维素酶、超氧化物歧化酶、菠萝蛋白酶、无花果蛋白酶、生姜蛋白酶等^[4]。中国已批准使用于食品工业的酶制剂有 α -淀粉酶、糖化酶、固定化葡萄糖异构酶、木瓜蛋白酶、果胶酶、 β -葡聚糖酶、葡萄糖氧化酶、 α -乙酰乳酸脱氨酶等,主要应用于果蔬加工、焙烤、乳制品加工等方面^[5]。中国啤酒业发展迅速,啤酒总产量已跃居世界第一位,2006年总产量超过3000万吨,这与食品酶在啤酒酿造过程中的应用有密不可分的联系。淀粉酶行业发展快速,产量成倍增长,品种逐渐增多,至2006年产量已超过500万

吨。新型酶制剂正应用于针剂葡萄糖、液体葡萄糖浆、高麦芽糖浆、果葡糖浆以及各种低聚糖的生产中。淀粉糖替代蔗糖已应用于食品加工、糖果、啤酒及饮料生产中。功能性低聚糖已被人们所接受,淀粉糖对酶制剂的品种和质量提出了更高的要求,新型酶制剂的推出为这些行业提供了发展所需条件。

中国食品酶产业发展迅速,2010年中国食品酶总产值达到80亿元。中国食品酶每年正以15%的速度成递增趋势(图3(b))。目前中国已建立了较为完备的食品酶制剂生产体系,可以大规模生产包括碳水化合物、蛋白质、乳品深加工酶制剂在内的食品酶制剂。但伴随着中国食品工业的快速发展,中国酶制剂种类已不能满足食品工业的需要,酶制剂工业正不断推出新型酶制剂、复合酶制剂、高活力和高纯度特殊酶制剂来满足日益发展的食品工业需要。

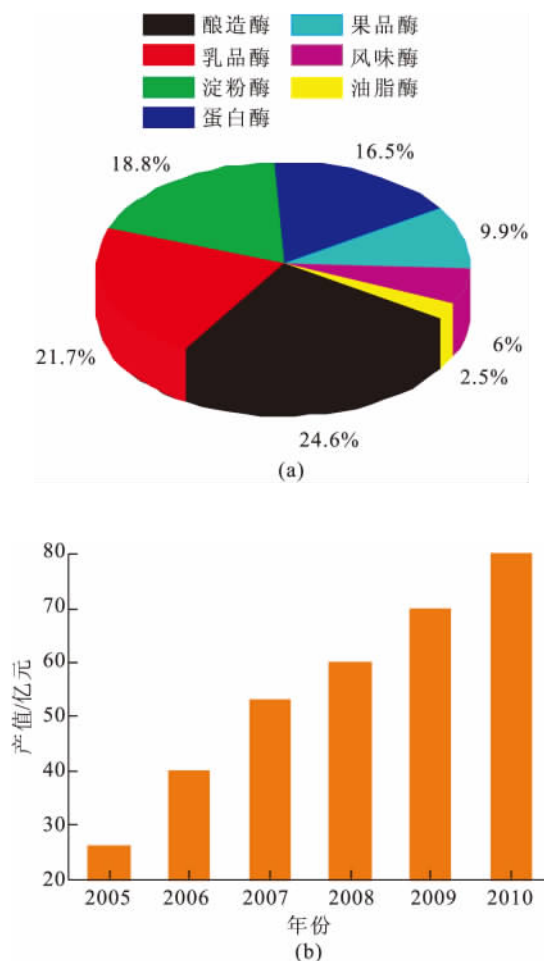


图3 中国食品酶产值比例及增长

Fig. 3 Ratio and growth of output of China food enzyme

3 中国纺织酶产业的发展现状

纺织工业是中国传统产业和支柱产业,在国内生产总值和外贸出口总值中占有重要比例。中国纺织工业总产值占国民生产总值的 12%~15%,是一个对国民经济有突出贡献的制造行业。但中国纺织工业总体存在严重污染的问题,尤其是在印染加工过程中,传统工艺耗费大量的水和化学品,同时

造成环境污染并破坏生态平衡(图 4(a))。据 2010 年《第一次全国污染源普查公报》,造纸行业污水排放量和 COD 总量均为第一,纺织行业分别为第五和第二。因此基于酶技术的纺织生物技术对纺织工业提高产品质量,实现环境友好工艺和生物材料(纤维功能化)加工,从而促进中国传统纺织产业的升级改造将起到重要的作用。

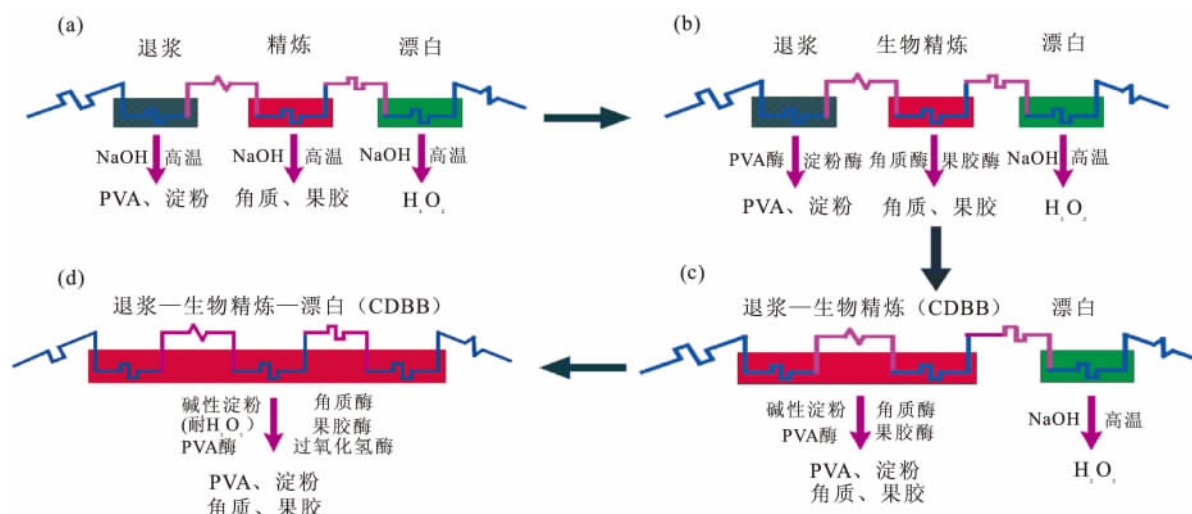


图 4 纺织物前处理工艺变化及发展趋势

Fig. 4 The change and future prospects of textile pre-treatment process in China

20 世纪 80 年代,以淀粉酶、蛋白酶、纤维素酶等为代表的纺织酶制剂,主要用于织物退浆、牛仔布整理和真丝脱胶等,在工业上得到了广泛应用,也代表着纺织生物技术开始兴起。进入 21 世纪以后,中国酶制剂在纺织工业中的应用领域逐步扩大,包括纤维改性、原麻脱胶、印染前处理、印染废水处理、服装成衣加工等领域。目前,纺织用酶制剂加工工艺已涉及到几乎所有的纺织湿加工领域,市场规模呈稳定递增趋势(图 5)。

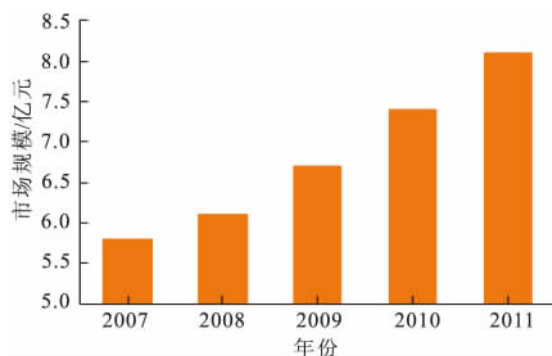


图 5 2007—2011 年中国纺织用酶制剂市场规模

Fig. 5 Market of China textile enzyme preparation from 2007 to 2011

实现生态整理、绿色染整成为印染行业的当务之急,此时生物酶退浆处理工艺(图 4(b))应运而生。但普通淀粉酶耐碱性能较差,生物退浆和生物精练工艺不能同时进行,导致工艺复杂、劳动强度大、生产效率低、水耗和能耗较高,降低了产品国际市场竞争力。在纺织物处理过程中,应用碱性淀粉酶可使退浆与精练工艺合并(图 4(c)),此工艺具有如下优点:高预洗涤效果,高织物质量,高预处理效益,低污染,高纤维表面效果,节省时间,更小的织物损坏,极大提高了产品市场竞争力和经济效益。对织物前处理进行进一步分析发现,将退浆与精练两步合并,成本并没有降至最低。如果碱性淀粉酶具有一定的抗过氧化氢能力,则退浆、精练与漂白可合为一步(图 4(d)),这样既节省了时间,对织物造成的损坏会降至最低,极大提高了经济效益,是下一步棉织物前处理的发展趋势。目前无论是在学术界还是工业界,以开发新型高效复合酶制剂用于染整前处理(碱性果胶裂解酶、角质酶等)、织物后整理(胍水合酶、角质酶等)、棉织物漂白(过氧化

氢酶)和麻类生物脱胶(果胶酶、木聚糖酶、甘露聚糖酶等)为主导,包括原料改造、工艺改进、材料改性等内涵的纺织生物技术在国际上形成了新的热潮。随着纺织工业节能减排和清洁生产技术的大力推广,中国纺织用酶制剂将得到更快发展。

虽然中国纺织酶制剂的生产和应用在过去十几年已取得了长足发展,但中国纺织酶制剂加工技术在加工理论和加工工艺以及酶制剂的性能方面与世界先进水平仍存在较大差距,主要体现在以下几个方面:1)国内酶制剂研究、生产单位缺乏对纺织加工领域的认识,不熟悉各种纺织加工的特点,对纺织加工中可能用到的酶处理技术并未引起足够的重视和兴趣。2)纺织行业无法自行开发相应的纺织专用酶制剂,只能采用传统食品领域生化试剂。由于传统食品领域生化试剂不适合纺织纤维加工特点和要求,性能上尚存在很大差距,难以实际应用^[6]。3)国内纺织酶产品品种少、生产水平低、与纺织工业生产处理适应性差、缺少工业应用研究。市场长久被国外酶制剂公司垄断,价格居高不下,纺织酶处理工艺在国内一直没有得到大规模推广。

4 中国饲料酶产业的发展现状

饲料酶制剂是近年来伴随饲料工业和酶制剂工业不断发展而出现的一种新型饲料添加剂,具有提高养分消化率、提高配合饲料质量稳定性、降低环境污染等作用。作为一类高效、无毒、无副作用和环保性的绿色饲料添加剂,饲料酶制剂已成为世界工业酶产业中增长速度最快、势头最强劲的一部分,其应用效果已在世界范围内得到公认。中国饲料酶制剂自20世纪80年代开始在饲料中添加应用,20世纪90年代中国最早生产的饲料酶制剂商品开始进入市场,至2000年中国饲料酶制剂的年销售量达到8 000 t以上。近年来中国饲料酶制剂市场规模逐渐扩大,由2006年的4.64亿元增加到2010年的6.82亿元(图6),2009年中国国内用于动物饲料添加剂的酶制剂总量超过1万t,且增长速度迅猛^[7]。开发饲料用酶有着重大意义:1)可缓解饲料资源短缺、人畜争粮的局面,有利于保障粮食安全;2)提供更为安全、优质的动物产品,有利于保障食品安全;3)减轻环境污染,保障养殖业的可持续发展,是一种环保型绿色饲料添加剂。

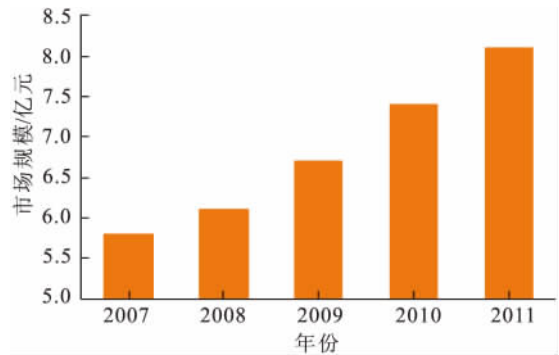


图6 2006—2010年中国饲料酶制剂市场规模

Fig. 6 Market of China feed enzyme preparation from 2006 to 2010

目前中国饲料酶种类有20多种,主要包括:淀粉酶、蛋白酶、木聚糖酶、 β -甘露聚糖酶、纤维素酶、 β -葡聚糖酶、植酸酶和复合酶等。这些酶制剂可分为两大类:1)以降解多糖和生物大分子物质为主,包括蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、糖化酶、纤维素酶、木聚糖酶、甘露聚糖酶。主要功能是破坏植物细胞壁,使细胞内容物充分释放出来;2)以降解植酸、 β -葡聚糖、果胶等抗营养因子为主,主要包括植酸酶、 β -葡聚糖酶和果胶酶,其主要功能是降解细胞壁木聚糖和细胞间质的果胶成分,提高饲料的利用率^[8]。

经过多年的发展,中国饲料酶制剂生产企业队伍逐步壮大,目前国内生产饲料酶制剂的企业有数十家之多。其中生产销售收入较大的几家包括:武汉新华扬生物股份有限公司、青岛康地恩生物科技有限公司、山东隆大生物工程有限公司、湖南鸿鹰祥生物工程有限公司、湖南尤特尔特生化有限公司等。

中国饲料酶制剂在应用发展过程中存在的问题:1)饲料复合酶制剂生产大多为固态发酵,生产的复合酶制剂质量不稳定,发酵水平和酶蛋白的产量较低;2)中国饲料厂颗粒饲料制粒温度普遍较高,制粒后复合酶的各种酶活力都有不同程度降低,影响了酶制剂的作用效果;3)微生物发酵生产饲料酶的酶活力不高^[8]。

5 中国酶制剂产业存在的问题分析

经过几十年的发展,中国酶制剂产业从无到有,初步形成一定规模。在发展过程中,由于中国酶制剂产业起步晚,受到国外同行业企业的较大压力。近年来,中国酶制剂产业发展速度迅猛,取得

了明显进步。但从世界酶制剂工业来看,高新技术在世界酶制剂产业的应用进一步拉大了中国酶制剂产业和世界先进水平的差距。整个行业生产规模小,技术研发力量薄弱,产品相对单一,结构不合理等问题突出。

1)研发投入和研发创新能力不足。中国酶制剂企业用于开发新产品、改进生产工艺的资金平均不到其产品销售额的4.5%,人员投入也严重不足。主要原因是国内酶制剂企业相对规模较小,全行业企业每年研发投入资金总量累计不足1亿元人民币。但由于酶制剂产业属于技术密集型产业,需要大量资金投入。国外酶制剂企业研发投入一般占总销售额的10%以上。诺维信公司近3年的研发投入一直维持在销售总额的13%以上,2010年研发投入折合人民币为16.9亿元左右。研发投入的严重不足,导致中国酶制剂企业技术储备薄弱,发展面临巨大挑战。

2)生产工艺及设备水平相对落后。中国酶制剂产业的各项生产技术水平与国外相比存在一定的落后。国内酶制剂生产大多采用较为传统的发酵、分离提取技术和制剂制备技术,造成资源严重浪费、产品纯度不高、产品质量偏低等问题。国外酶制剂生产过程中,广泛采用基因工程、蛋白质工程、人工合成、模拟和定向进化改造等技术。其中,以基因工程和蛋白质工程为主的高科技成果在酶制剂生产领域中已实现产业化,为酶制剂产业带来革命性的发展。国内在该领域的研究还相对薄弱,自主创新的酶制剂应用技术落后,成为中国国产酶制剂市场进一步扩大的主要限制性因素。

3)酶制剂产品结构不合理、应用深度不够。中国酶制剂仍以传统酶制剂种类(糖化酶、淀粉酶、蛋白酶等)为主,缺少高端酶制剂产品,结构不合理。同时,由于品种单一和恶性竞争现象存在,导致中国酶制剂行业经济效益较差,发展后劲不足。目前,国外酶制剂企业正在大力发展液剂型、颗粒型产品,重视固定化酶的发展。国内酶制剂由于提取技术、工艺和装备水平相对落后,产品以粗酶为主,质量参差不齐,应用受到限制。国际酶制剂的主流是附加值高的复合酶。复合酶的开发需以酶制剂生产和应用的综合技术为背景。国内酶制剂公司在生产酶制剂品种应用方面缺乏应用车间及专业研究人员等,缺乏根据原料、工艺和设备情况,通过

试验提出相应解决方案的条件,限制了中国酶制剂产业的进一步快速发展。

6 中国酶制剂产业的发展趋势与对策

中国酶制剂产业的下一步的快速发展需要技术创新,只有形成自主强有力的技术创新体系,才可能取得酶制剂产业的长足发展。加强具有自主知识产权的产品及技术研发,加大医药用酶制剂、食品加工用酶制剂、纺织工业用酶制剂、饲料工业用酶制剂、生物能源用酶制剂、造纸工业用酶制剂和洗涤工业用酶制剂等酶制剂产品的研发。在酶制剂生产菌种的构建方面,应采用基于组学的酶编码基因挖掘技术。通过对不同样品的采集,建立生产多种不同性质酶的微生物库。在建立的微生物库中,寻找合适的酶。对合适酶学性质的,采用分子生物学和基因组学等手段,破译酶编码基因,进行序列比对。通过基因及其编码蛋白序列的比对,寻找基因序列与功能之间的规律。根据表达酶的来源、性质及应用,选择合适载体与宿主,构建高效表达酶的重组菌株。对构建获得的高效表达的重组菌株,采用发酵过程优化控制策略进行优化,获得可以高效表达性质合适的酶。

在工业酶性质改造方面,应采用基于酶结构功能相关性的酶分子改造技术。对编码酶氨基酸的基因序列进行扩增、分析,通过易错PCR技术,构建具有不同性质酶的基因文库。从基因文库中,筛选、获得具有优良性质的工业酶。同时,可以根据对酶分子结构及氨基酸序列功能进行分析方式,根据对酶特定酶学性质的需求,采用定点突变的方式,改造酶分子的关键区域,达到改变酶学性质的目的。将改造后工业酶的基因序列通过重组的方式,在表达宿主中高效表达,获得具有高催化效率、特定酶学性质的工业酶。

在工业酶高效表达系统构建方面,采用基于DNA重组技术的工业酶高效分泌型表达系统的构建技术。通过筛选的方式,获得高效分泌信号肽。将高效分泌信号肽与酶目的基因序列及载体重组,获得带有高效分泌信号肽和目的基因序列的重组载体。通过分子生物学手段,改造分子伴侣系统及分泌表达元件,提高表达分泌系统的分泌能力。对酶调控途径进行分析,改造酶调控途径,提高酶合

成效率。

在工业酶分泌发酵调控方面,采用基于跨膜转运理论的工业酶分泌发酵调控技术。通过分子生物学手段,转录翻译合成酶蛋白。通过对酶蛋白分子及细胞膜的研究,确定酶蛋白分子跨膜运输机理,构建细胞膜透性与酶分子分泌机制模型。采用共表达等策略,在分子水平改善细胞膜通透性,强化酶蛋白分子转运途径,提高酶分泌效率。

在酶制剂复配方面,应采用基于反应作用机理的酶复配及应用评价技术。通过研究酶与底物的作用机理,分析底物微观结构变化。采用产单一酶多菌种/产多种酶单一菌种混合发酵策略,应用数学模型模拟获得最佳复配方案。同时,应注重挖掘新型酶助剂,进一步提高酶制剂的性能和应用效率。加快酶制剂后处理,推进膜分离技术、颗粒酶造粒技术及发酵废液后处理技术的研发、推广和应用。

此外,要通过争取国家在酶制剂行业的立项支持,尽快建立起一些具有一定规模和一定研究水平的酶制剂研发基地,并形成科研生产一条龙体系,加快科研成果的产业化。技术创新基地的建设当以企业为主体,在国家政府支持的同时融入包括高校在内的多方力量,以求在高新技术领域实现一些重大突破,使我国在世界酶制剂市场保持一定的竞争优势。加快酶制剂行业国家工程研究中心与企业技术中心建设,鼓励和支持销售规模过亿元的企业,或通过组建技术创新联盟,或通过建立自己的酶制剂应用研究中心,加强应用技术研究。加强酶制剂行业公共技术创新服务平台建设,加大平台为企业和政府的服务力度,聚集资源,优势组合,营造酶制剂行业积极向上的创新氛围和高效运转的支撑系统。

参考文献(References):

- [1] 居乃琥. 酶工程研究和酶工程产业的新进展(II)—国内外酶制剂工业的现状、发展趋势和对策建议[J]. 食品与发酵工业, 2004, 26(4): 38—43.
JU Nai-hu. New advances in enzyme engineering research and enzyme preparation industry (II) -Present status and development prospects of enzyme preparation industry at home and abroad, and countermeasures for speeding up the development of enzyme preparation industry in China [J]. **Food and Fermentation Industries**, 2004, 26(4): 38—43. (in Chinese)
- [2] 王睿, 刘桂超. 论我国酶制剂工业的发展[J]. 畜牧与饲料科学, 2011, 32(1): 68—69.
WANG Rui, LIU Gui-chao. Development status of enzyme preparation industry in China [J]. **Animal Husbandry and Feed Science**, 2011, 32(1): 68—69. (in Chinese)
- [3] 刘柏楠, 刘立国. 酶制剂在食品工业中的发展及应用[J]. 中国调味品, 2011, 36(1): 14—16.
LIU Bai-nan, LIU Li-guo. The development and application of enzyme preparation in the food industry [J]. **China Condiment**, 2011, 36(1): 14—16. (in Chinese)
- [4] 郭玉华, 李钰金. 食品用酶制剂及其在肉类工业中的应用[J]. 肉类研究, 2011, 25(6): 41—46.
GUO Yu-hua, LI Yu-jin. A review on food-grade enzyme preparations and their applications in meat industry [J]. **Meat Research**, 2011, 25(6): 41—46. (in Chinese)
- [5] 刘晴晴. 酶在食品工业中的应用[J]. 企业导报, 2011, (4): 252.
LIU Qing-qing. The application of enzyme in the food industry [J]. **Enterprise Herald**, 2011, (4): 252. (in Chinese)
- [6] 范雪荣, 王强, 王平, 等. 可用于纺织工业清洁生产的新型酶制剂[J]. 针织工业, 2011(5): 28—31.
FAN Xue-rong, WANG Qiang, WANG Ping, et al. The new enzyme preparation can be used in the clean production of textile industry [J]. **Knitting Industry**, 2011(5): 28—31. (in Chinese)
- [7] 徐铮奎. 从“丑小鸭”到天鹅—我国酶制剂产量跃居世界前列[J]. 中国制药信息, 2010, 26(3): 41—42.
XU Zheng-kui. From the "ugly duckling" to swan-production of China enzyme preparation ranked the world [J]. **China Pharmaceutical Information**, 2010, 26(3): 41—42. (in Chinese)
- [8] 雄飞. 饲用酶制剂应用现状与前景[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(3): 22—23.
XIONG Fei. The present status and future of application of feed enzyme preparation [J]. **Animal Husbandry and Feed Science**, 2010, 31(3): 22—23. (in Chinese)