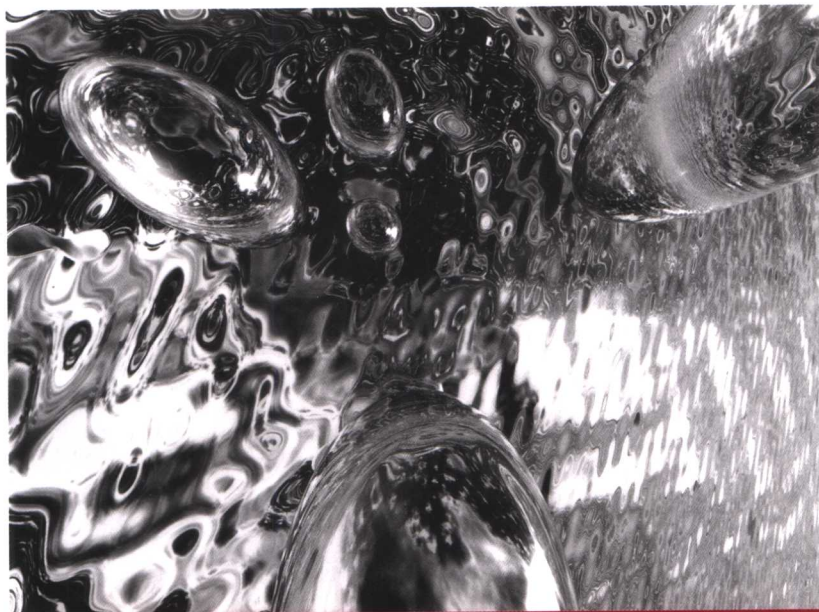


陈坚 堵国成 卫功元 华兆哲 编著

微生物重要代谢产物

——发酵生产与过程解析



Chemical Industry Press



化学工业出版社
现代生物技术与医药科技出版中心

微生物重要代谢产物 ——发酵生产与过程解析

陈 坚 堵国成 卫功元 华兆哲 编著



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

微生物重要代谢产物——发酵生产与过程解析/陈坚等
编著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 6
ISBN 7-5025-7420-4

I. 微… II. 陈… III. 发酵工程 IV. TQ92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 074681 号

**微生物重要代谢产物
——发酵生产与过程解析**

陈 坚 堵国成 卫功元 华兆哲 编著
责任编辑: 孟 嘉 傅四周
责任校对: 陈 静 宋 玮
封面设计: 胡艳玮

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
现代生物技术与医药科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 24¼ 字数 647 千字

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7420-4

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

发酵工程是生物技术的重要组成部分，是生物技术产业化的重要技术基础。目前正在工业上生产的大宗发酵产品主要包括抗生素、有机酸、氨基酸和酶制剂等，以这些产品为主的发酵产品全球年销售额超过400亿美元。由于发酵工程技术是解决人类所面临的日益严重的资源和环境问题的一条有效和必经之路，目前全球工业生物技术的研究者们都在致力于开发生物化工新原料、新材料以及具有重要工业应用前景的发酵产品。

本书首先介绍了近十年来出现的一些重要发酵产品，然后对国内外先进的发酵工程理论与技术进行了充分的分析，在此基础上，结合研究实例对多种微生物生产的重要代谢产物的研究进展情况、发酵生产技术和方法进行了详细论述。在本书选择的六种产品中，谷胱甘肽和辅酶Q₁₀是非常重要的生化药物，在临床上有着广泛的用途，工业上虽然可以用化学合成法或植物提取法生产，但都存在光学纯度不高或收率低或成本高的缺点；另外四种产品，如聚羟基烷酸酯（生物可降解材料）、聚γ-谷氨酸（生物可降解材料）、生物絮凝剂和生物表面活性剂则是由微生物产生的新材料，这些物质的应用可以有效减少化学物质对环境的冲击。这六种物质中，有些产品国外已经实现了工业化生产，有些产品即使是国外也正在研究之中。在国内，目前这些新型发酵产品大多处于实验室研究阶段。

作者在国家自然科学基金、教育部青年教师教学和科研奖励计划、江苏省“333工程”人才培养计划、国际合作科研基金等项目的支持下，以实现这六种新型发酵产品的工业化生产为最终目的，在实验室进行了系统深入的研究。由于这六种产品既有胞内产品，又有胞外产品；生产这些产品的微生物既有原核微生物（细菌），又有真核微生物（酵母），因此，以这六种产品为研究对象开发出的发酵生产技术具有代表性和共性的意义。作者希望，通过阅读本书，读者能够了解工业生物技术重要产品的发展趋势，也希望本书所蕴含的研究思想能对同类研究起到一定的借鉴意义。

负责书中部分章节写作的还有：吴祖芳（第四章）、严群（第五章）、杨革（第六章）、何宁（第七章）。参与本书写作的还有刘立明、李寅、张东旭。作者特别感谢中国工程院院士、江南大学（原无锡轻工大学）生物工程学院教授伦世仪先生的鼓励和指导，感谢所在研究室的博士、硕士研究生给予的帮助，感谢化学工业出版社的大力支持。

尽管作者力图在本书中注重理论性和实践性的结合、突出系统性和科学性、体现前沿性和创新性，但限于作者的学术功底、研究经验和写作能力，书中难免有错误之处，若蒙赐教，不胜感激！

编 者

2005年6月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 微生物发酵生产代谢产物的发展历史.....	1
一、生物技术的定义.....	1
二、微生物发酵技术的发展历史.....	1
第二节 微生物发酵生产代谢产物的研究与应用现状.....	2
一、新型酶制剂.....	3
二、环境友好材料.....	8
三、微生物多糖.....	9
四、生物活性产品	11
第二章 发酵技术在微生物生产代谢产物中的发展与应用	14
第一节 分批发酵技术	14
一、概述	14
二、分批发酵过程培养条件的优化	15
三、分批发酵过程的模型化研究	23
第二节 流加发酵技术	27
一、概述	27
二、流加培养原理	30
三、发酵过程中常用的流加策略	31
四、流加发酵过程的优化技术	36
第三节 高细胞密度发酵技术	46
一、概述	46
二、高细胞密度培养生长环境的优化策略	48
三、高细胞密度培养的培养模式	49
四、最大细胞密度的理论计算	52
第四节 代谢工程	55
一、代谢工程概述	55
二、代谢流量分析	59
三、代谢控制分析技术	64
四、代谢工程技术在发酵工程中的应用	68
参考文献	70
第三章 产朊假丝酵母发酵生产谷胱甘肽	71
第一节 谷胱甘肽发酵概述	71
一、谷胱甘肽性质、功能及应用	71
二、国内外生物法合成谷胱甘肽研究动态	73

三、发酵法生产谷胱甘肽研究中存在的问题	80
第二节 产朊假丝酵母发酵生产谷胱甘肽的营养及环境条件	81
一、反向传播人工神经网络基本理论	82
二、碳源种类对谷胱甘肽发酵的影响	83
三、氮源种类对谷胱甘肽发酵的影响	84
四、混合无机氮源对谷胱甘肽发酵的影响	84
五、磷酸二氢钾和硫酸镁对谷胱甘肽发酵的影响	85
六、谷胱甘肽发酵的营养条件正交优化试验	85
七、环境条件对谷胱甘肽发酵的影响	87
八、 <i>C. utilis</i> WSH 02-08 生产谷胱甘肽的摇瓶发酵过程	87
九、摇瓶分批补糖方式对谷胱甘肽发酵的影响	88
第三节 谷胱甘肽分批发酵生产及其动力学	89
一、分批发酵动力学原理	89
二、溶解氧对谷胱甘肽分批发酵的影响	90
三、pH 对谷胱甘肽分批发酵的影响	92
四、温度对谷胱甘肽分批发酵的影响	95
第四节 流加发酵法生产谷胱甘肽	100
一、流加发酵方式及原理	100
二、初糖浓度对谷胱甘肽分批发酵的影响	101
三、分批补料培养生产谷胱甘肽的发酵过程	103
四、恒速流加发酵对谷胱甘肽生产的影响	103
五、指数流加发酵对谷胱甘肽生产的影响	103
六、不同培养方式下谷胱甘肽生产情况比较	105
第五节 前体氨基酸在谷胱甘肽过量合成中的作用	105
一、L-谷氨酸添加对谷胱甘肽发酵的影响	106
二、甘氨酸添加对谷胱甘肽发酵的影响	107
三、L-半胱氨酸在谷胱甘肽过量合成中的作用	108
第六节 谷胱甘肽分批发酵过程代谢网络分析	111
一、 <i>C. utilis</i> WSH 02-08 分批生产谷胱甘肽的代谢网络及计算	113
二、谷胱甘肽分批发酵不同阶段的代谢流量分布	116
三、分阶段温度控制策略下的代谢流量分布	119
四、L-半胱氨酸的添加对代谢流量分布的影响	119
第七节 表面活性剂对谷胱甘肽胞外积累的影响	120
一、表面活性剂对细胞生长的影响	121
二、低浓度离子型表面活性剂对谷胱甘肽合成的影响	122
三、高浓度离子型表面活性剂对谷胱甘肽胞外积累的影响	123
四、非离子型表面活性剂对谷胱甘肽合成的影响	124
参考文献	126

第四章 放射型根瘤菌发酵生产辅酶 Q ₁₀	128
第一节 辅酶 Q ₁₀ 发酵概述	128
一、辅酶 Q ₁₀ 的研究背景	128
二、辅酶 Q ₁₀ 的发酵生产	132

第二节 辅酶 Q ₁₀ 高产菌株的选育	136
一、筛选模型的建立	136
二、不同诱变剂致死率比较	137
三、不同诱变方式诱变效果的比较	137
四、辅酶 Q ₁₀ 高产菌的选育谱系	138
五、突变株遗传稳定性试验	140
第三节 培养条件对辅酶 Q ₁₀ 发酵生产的影响	140
一、碳氮源对放射型根瘤菌辅酶 Q ₁₀ 发酵的影响	141
二、初始葡萄糖、蔗糖以及氮源浓度对辅酶 Q ₁₀ 发酵的影响	141
三、添加物及添加方式对辅酶 Q ₁₀ 发酵的影响	143
四、响应面分析法优化辅酶 Q ₁₀ 发酵培养基	144
五、接种量、装液量、温度和 pH 对辅酶 Q ₁₀ 发酵的影响	147
六、辅酶 Q ₁₀ 摇瓶发酵过程曲线	148
第四节 玉米浆提高辅酶 Q ₁₀ 发酵产量的作用机理研究	148
一、玉米浆组分的分析	149
二、生物素浓度对辅酶 Q ₁₀ 发酵效果的影响	149
三、玉米浆中几种主要氨基酸对辅酶 Q ₁₀ 发酵的影响	150
四、玉米浆对辅酶 Q ₁₀ 发酵过程中氨基酸代谢的影响	150
五、生物素与酪氨酸及苯丙氨酸对辅酶 Q ₁₀ 发酵的协同影响	152
六、玉米浆中其他成分对辅酶 Q ₁₀ 的影响	154
第五节 辅酶 Q ₁₀ 发酵的代谢特性和过程模型化的研究	154
一、放射型根瘤菌分批发酵生产辅酶 Q ₁₀ 的代谢特性	155
二、辅酶 Q ₁₀ 分批发酵过程动力学模型的研究	157
第六节 溶解氧对辅酶 Q ₁₀ 发酵的影响	160
一、搅拌和通风与体积溶解氧系数 (K_{La}) 的相关性分析	160
二、放射型根瘤菌辅酶 Q ₁₀ 发酵体系氧传递特性与氧传递动力学模型	161
三、溶解氧对细胞生长与辅酶 Q ₁₀ 生物合成的影响	162
四、底物补料结合溶解氧控制模式提高辅酶 Q ₁₀ 发酵产量	164
第七节 辅酶 Q ₁₀ 发酵流加培养的研究	166
一、辅酶 Q ₁₀ 发酵流加培养的依据与流加量的模型化计算	166
二、辅酶 Q ₁₀ 发酵分批培养几种流加方式效果的实验比较	167
三、辅酶 Q ₁₀ 发酵分批培养流加方式的确定与实施	168
四、碳源流加和碳源与玉米浆组合流加对细胞生长与辅酶 Q ₁₀ 生物合成的影响	168
第八节 辅酶 Q ₁₀ 生物合成代谢网络模型和代谢流分析	170
一、放射型根瘤菌发酵生产辅酶 Q ₁₀ 的合成机理分析与代谢网络	171
二、辅酶 Q ₁₀ 发酵过程代谢流量分析与辅酶 Q ₁₀ 代谢途径的优化	171
参考文献	175

第五章 真养产碱杆菌利用厌氧酸化的食品废物生产聚羟基烷酸酯

第一节 聚羟基烷酸酯发酵概述	177
一、环境友好材料的研究背景	177
二、微生物合成型生物降解材料	179
三、聚羟基烷酸酯的生物合成	182

第二节 真养产碱杆菌利用单种有机酸合成聚羟基烷酸酯研究	188
一、种子对细胞生长和聚羟基烷酸酯发酵的影响	189
二、各单种有机酸对真养产碱杆菌的抑制程度	190
三、不同铵氮浓度对真养产碱杆菌生长的影响	190
四、真养产碱杆菌利用单种有机酸生物合成聚羟基烷酸酯时培养基中最佳起始碳源、氮源浓度的确定	191
五、真养产碱杆菌利用单种有机酸进行聚羟基烷酸酯合成的发酵过程	193
六、真养产碱杆菌利用单种有机酸进行聚羟基烷酸酯合成的分批发酵动力学分析	194
七、单酸分批发酵初始碳氮浓度的响应面分析	195
八、单酸分批发酵动力学研究	196
第三节 真养产碱杆菌利用混合有机酸进行聚羟基烷酸酯分批发酵研究	199
一、真养产碱杆菌在不同氮源浓度下利用混合酸进行聚羟基烷酸酯发酵	199
二、真养产碱杆菌利用不同比例的混合（四种）酸为碳源合成聚羟基烷酸酯研究	200
三、真养产碱杆菌利用不同比例的混合（两种以及三种）酸合成聚羟基烷酸酯研究	201
四、真养产碱杆菌对混合酸碳源中丁酸、乙酸、丙酸的利用	201
五、真养产碱杆菌对混合酸碳源中乳酸、乙酸、丙酸的利用	202
六、混合酸中丙酸浓度对 PHA 中 HV 组分的影响	202
七、真养产碱杆菌利用混合酸进行 PHA 的补料分批发酵	203
八、不同搅拌转速对细胞生长和 PHA 合成的影响	203
九、不同 pH 对细胞生长和 PHA 合成的影响	204
十、真养产碱杆菌利用混合酸进行 PHA 的分批发酵过程	204
第四节 真养产碱杆菌以混合有机酸为碳源的聚羟基烷酸酯流加发酵研究	205
一、基于 pH-stat 的聚羟基烷酸酯流加发酵	206
二、真养产碱杆菌利用混合酸进行聚羟基烷酸酯的流加发酵	207
三、流加发酵过程中氮源的起始浓度对聚羟基烷酸酯合成影响的研究	208
四、真养产碱杆菌利用混合酸进行聚羟基烷酸酯恒速流加发酵	208
五、变速流加过程的优化准则的研究	209
六、真养产碱杆菌利用混合酸进行聚羟基烷酸酯变速流加发酵	210
七、在流加发酵过程中加入丙酸对聚羟基烷酸酯中 HV 组分合成的影响	211
八、双营养限制区的确定及对聚羟基烷酸酯的生物合成的影响	212
第五节 食品废物厌氧酸化的研究	214
一、不同 pH 对食品废物厌氧酸化过程的影响	215
二、不同温度对食品废物厌氧酸化过程的影响	216
三、不同稀释倍数对食品废物的厌氧酸化过程的影响	217
四、NaCl 浓度对食品废物厌氧酸化的影响	218
五、有机氮源对食品废物厌氧酸化过程中丙酸产量的影响	219
六、添加丁酸梭菌制剂对食品废物厌氧酸化的影响	219
七、食品废物厌氧酸化过程动力学研究	220
第六节 食品废物厌氧酸化与 PHA 发酵的耦合	221
一、不同流速和有机酸浓度对有机酸的渗透速率的影响	221

二、食品废物厌氧酸化液的渗透性能研究	222
三、真养产碱杆菌利用食品废物厌氧酸化液中分离出的有机酸合成 PHA 研究	223
四、料液恒定流速时食品废物厌氧酸化与 PHA 合成的耦合	224
五、料液流速变化时食品废物厌氧酸化与 PHA 合成的耦合	224
六、添加乳酸对耦合系统合成 PHA 的影响	225
第七节 <i>R. eutropha</i> 利用有机酸合成 PHA 代谢网络分析	226
一、真养产碱杆菌利用有机酸合成 PHA 的代谢网络以及代谢流量计算	226
二、单酸分批发酵代谢流量分布	229
三、混合酸作碳源时 PHA 发酵代谢流量分布	231
参考文献	232

第六章 地衣芽孢杆菌发酵生产聚 γ -谷氨酸

第一节 聚 γ -谷氨酸发酵概述	234
一、新型水溶性高分子材料与聚 γ -谷氨酸	234
二、聚 γ -谷氨酸研究进展	235
三、生物大分子分泌机理的研究	241
四、氨基酸聚合物的应用前景	242
第二节 产聚 γ -谷氨酸菌株选育及摇瓶发酵条件的研究	243
一、He-Ne 激光辐射对地衣芽孢杆菌 ATCC9945A 的诱变	243
二、培养条件对聚 γ -谷氨酸发酵的影响	246
三、聚 γ -谷氨酸发酵条件优化	253
四、聚 γ -谷氨酸摇瓶发酵过程曲线	253
第三节 地衣芽孢杆菌分批发酵生产聚 γ -谷氨酸条件的研究	254
一、pH 对聚 γ -谷氨酸发酵的影响	254
二、温度对聚 γ -谷氨酸发酵的影响	256
三、搅拌转速对聚 γ -谷氨酸发酵的影响	257
四、通气量对聚 γ -谷氨酸发酵的影响	258
五、分批发酵培养条件的优化与控制	258
第四节 细菌聚 γ -谷氨酸合成及分泌机制的研究	259
一、菌株的形态及聚 γ -谷氨酸分泌的电镜分析	259
二、地衣芽孢杆菌无细胞体系的初步研究	260
三、地衣芽孢杆菌聚 γ -谷氨酸的合成机制分析	262
四、地衣芽孢杆菌聚 γ -谷氨酸的分泌机制研究	263
五、地衣芽孢杆菌聚 γ -谷氨酸的分泌机制分析	266
第五节 地衣芽孢杆菌生产聚 γ -谷氨酸多相体系中流变性能的研究	267
一、剪切应力与剪切速率的拟合关系	267
二、黏度与剪切速率的关系	268
三、黏度与温度的关系	268
四、聚 γ -谷氨酸的动态黏弹性	268
五、聚 γ -谷氨酸溶液的触变性研究	270
第六节 地衣芽孢杆菌产生的聚 γ -谷氨酸的纯化及性质	272
一、聚 γ -谷氨酸的纯化	272
二、硅胶薄层层析	272

三、聚 γ -谷氨酸的性质	272
四、聚 γ -谷氨酸的抑菌活性	274
五、聚 γ -谷氨酸高聚物的热行为分析	274
六、聚 γ -谷氨酸高聚物的力学松弛——黏弹性研究	275
第七节 地衣芽孢杆菌产生的聚 γ -谷氨酸高聚物的分析与表征	276
一、聚 γ -谷氨酸的 FTIR 分析	276
二、聚 γ -谷氨酸的 ^{13}C 、 ^1H -NMR 结构分析	276
三、聚 γ -谷氨酸的圆二色性与溶液二级结构	277
四、聚 γ -谷氨酸的 X 射线衍射分析	279
五、聚 γ -谷氨酸的织态结构及其交联观察	279
参考文献	280

第七章 谷氨酸棒杆菌发酵生产新型蛋白聚糖类生物絮凝剂

第一节 生物絮凝剂发酵生产概述	281
一、絮凝剂的应用现状	281
二、生物絮凝剂的基础研究	282
三、国内外研究动态和存在的问题	287
第二节 絮凝剂高产菌的筛选及菌种鉴定	288
一、絮凝剂高产菌菌种分离	289
二、絮凝剂高产菌 A-11 菌种鉴定	290
第三节 生物絮凝剂 REA-11 的分离纯化及其组成分析	291
一、生物絮凝剂产生菌生长与代谢基本特性	292
二、生物絮凝剂 REA-11 的分离纯化	293
三、生物絮凝剂 REA-11 的纯度鉴定	295
四、生物絮凝剂 REA-11 的分子组成鉴定	295
第四节 营养条件对生物絮凝剂 REA-11 合成的影响	298
一、碳氮源对谷氨酸棒杆菌合成絮凝剂的影响	298
二、营养物浓度对絮凝剂合成的影响	300
三、摇瓶发酵补料实验	302
四、无机离子对絮凝剂合成的影响	302
五、环境条件对谷氨酸棒杆菌合成生物絮凝剂的影响	303
第五节 谷氨酸棒杆菌合成生物絮凝剂 REA-11 的机理研究	303
一、谷氨酸棒杆菌合成生物絮凝剂 REA-11 的代谢途径的理论构建	304
二、生物絮凝剂理论代谢途径的实验验证	305
第六节 谷氨酸棒杆菌合成生物絮凝剂 REA-11 代谢模型建立与代谢网络分析	315
一、谷氨酸棒杆菌合成生物絮凝剂 REA-11 代谢网络的构建	316
二、代谢网络分析理论	318
三、分批发酵不同阶段的代谢网络模型	319
四、不同溶解氧水平下生物絮凝剂合成的代谢网络模型	322
五、代谢模型的验证	322
六、生物絮凝剂 REA-11 合成过程中 ATP 的需求与供给	323
七、代谢节点对生物絮凝剂 REA-11 合成的影响	324
第七节 生物絮凝剂 REA-11 的液体流变性质及应用条件研究	325

一、生物絮凝剂 REA-11 溶液的流变学行为·····	326
二、生物絮凝剂 REA-11 的应用研究·····	328
参考文献·····	330
第八章 南极假丝酵母利用不同碳源生产新型生物表面活性剂·····	332
第一节 生物表面活性剂生产概述·····	332
一、表面活性剂与生物表面活性剂·····	332
二、甘露糖赤藓糖醇脂的性质及微生物生产方法·····	334
三、生物表面活性剂的应用·····	335
第二节 南极假丝酵母以豆油为底物发酵生产甘露糖赤藓糖醇脂·····	337
一、南极假丝酵母生产甘露糖赤藓糖醇脂的摇瓶发酵条件·····	337
二、南极假丝酵母生产甘露糖赤藓糖醇脂的发酵培养基优化·····	340
三、南极假丝酵母生产甘露糖赤藓糖醇脂发酵培养基的响应面分析·····	341
第三节 南极假丝酵母生产甘露糖赤藓糖醇脂分批发酵动力学及代谢机理·····	344
一、南极假丝酵母分批发酵生产甘露糖赤藓糖醇脂·····	345
二、南极假丝酵母分批发酵生产甘露糖赤藓糖醇脂的菌体生长动力学·····	345
三、甘露糖赤藓糖醇脂的代谢机理初探·····	346
第四节 南极假丝酵母生产甘露糖赤藓糖醇脂的分离纯化·····	349
一、从发酵液中提取甘露糖赤藓糖醇脂·····	349
二、甘露糖赤藓糖醇脂的纯化研究·····	350
三、甘露糖赤藓糖醇脂的物理化学性质·····	352
第五节 南极假丝酵母以疏水性碳源为底物生产生物表面活性剂·····	353
一、南极假丝酵母在烷烃底物中产生表面活性物质的发现·····	354
二、不同结构烷烃对南极假丝酵母生产生物表面活性剂的影响·····	355
三、南极假丝酵母以正十一烷为底物的基本发酵条件·····	356
第六节 从南极假丝酵母的正十一烷发酵液中分离提取生物表面活性剂·····	359
一、正十一烷发酵液中表面活性产物的初步分离·····	359
二、表面活性产物的薄层层析分离·····	360
三、表面活性产物结构中基本官能团的确定及其命名·····	360
四、表面活性物质 BS-UC 的基本表面性质·····	361
第七节 新型生物表面活性剂 BS-UC 对南极假丝酵母代谢烷烃能力的影响·····	361
一、BS-UC 对南极假丝酵母代谢正十一烷的影响·····	362
二、BS-UC 对南极假丝酵母代谢其他烷烃的影响·····	363
三、BS-UC 对南极假丝酵母细胞表面性质的作用·····	364
四、BS-UC 增强南极假丝酵母细胞吸附作用的机制·····	366
第八节 南极假丝酵母摄取烷烃模式与代谢途径研究·····	368
一、南极假丝酵母的正十一烷发酵过程分析·····	368
二、正构烷烃降解及生物表面活性剂生产代谢途径的理论分析·····	369
三、生物表面活性剂在烷烃摄取模式中的地位·····	372
参考文献·····	376

第一章 绪 论

第一节 微生物发酵生产代谢产物的发展历史

一、生物技术的定义

1919年，匈牙利农业专家 Karl Ereky 为了突出生物体与技术之间相互辅助的关系，创造了生物技术（biotechnology）这一名词，之后其定义随着科学技术的发展与演变而一再变化，其内涵也不断发生变化。从技术层面而言，传统的生物技术可以简单定义为“利用生物体、生物细胞或其代谢物质来制造产品及提高人类生活质量的科学技术”，但是随着基因技术的不断进步，人类利用合成方法，复制重要的生物分子，然后使其具有部分生命现象，已逐渐由科幻小说变成现实生活，因此从前以“生物体”为基础的定义方式，已无法完全涵盖现有的生物技术发展。

从历史的发展来看，生物技术的定义大概可区分成三个不同的阶段。

（1）传统生物技术 培养植物、动物作为食物、药物的传统农牧活动，以农耕、畜牧或食品加工技术为主，如制造酱油、酿酒等，这也是千百年来既有的生物技术。

（2）近代生物技术 以微生物发酵技术为主的生产方式。利用微生物发酵大规模生产抗生素、有机酸、氨基酸（如味精）、酶制剂等，到目前为止，微生物发酵技术仍是生物技术中应用最为成熟和最广泛的技术，特别是在食品及制药工业中。

（3）现代生物技术 以运用生命科学方法为基础，进行研发或制造生物产品，或提高其质量，以改善人类生活品质的科学技术。运用生命科学研究所产生的现代生物技术包括：①遗传工程技术；②细胞融合技术；③生物反应技术，包括发酵技术、酶技术及生物反应器等；④细胞培养技术；⑤基因重组技术；⑥胚胎移植技术及细胞核移植技术等。

二、微生物发酵技术的发展历史

几千年来，采用微生物发酵技术来生产各种酒类、醋、泡菜及各种奶制品（酸奶、干酪）等的过程一直是采用经验法，而对其中蕴含的原理知之很少。在19世纪的后50年中，对有关发酵机理的争论促进了目前作为应用微生物学和生物化学科学基础的一系列研究的进行。

数个世纪以来，人们一直把发酵过程等同于今天所称的化学反应，其主要误解可能是由于发酵过程会产生剧烈的气泡。19世纪早期有一些证据进一步支持了发酵过程是严格意义上的化学反应这一观点。由 Lavoisier 和 Gay-Lussac 所领导的法国化学家得出酒精发酵能被描述为一分子葡萄糖转化成两分子乙醇和两分子二氧化碳的化学过程，当然，需要将酵母加入葡萄糖溶液以确保可重复及快速的发酵过程能够进行。按照化学家的说法，酵母的作用仅仅作为一种化学催化剂。1837年，Theodor Schwann 和 Charles Cagniard-Latour 各自发表了有关酵母是一种生物体的研究报道，在他们的论文发表之前，酵母一直仅被认为是一种含蛋白质的化学物质。难以确定酵母是活体的一个理由是其像大多数真菌一样是不能动的。酵母细胞的性质是在改良型的显微镜出现后才被发现的。Schwann 和 Cagniard-Latour 也观察到酒精发酵总是在有酵母存在时才会发生，且随着酵母的繁殖而不断进行，并在酵母生长停止后即终止，因而这两个科学家得出酒精是酵母生长的副产物。Schwann 和 Cagniard-Latour 所推出的发酵的生物学原理对当时主要的化学家们提出了挑战。

1857年，巴斯德发表了他在发酵领域的第一篇论文，该文章所研究的是有关乳酸发酵，

而不是酒精发酵。采用当时最精细的显微镜，巴斯德发现牛奶变酸与微生物的生长有关，但这种微生物比啤酒酵母要小。在随后的数年中，巴斯德将其研究扩展到其他发酵过程中，如丁酸和乳酸的形成，确定了每种情况下都有特定微生物的参与，如酒精发酵是酵母，乳酸发酵是不动细菌。巴斯德的发现为发酵的生物学原理提供了有力的证据。而 Liebig 仍认为从酵母中释放出的蛋白质类物质催化了糖的分解，为此，巴斯德通过采用一种可用于酵母生长但不含蛋白质的培养基来驳斥这种观点，他发现酵母能在由葡萄糖、铵盐和酵母灰化组分所构成的培养基中生长。这种培养基经杀菌处理后，生长和发酵都不会发生，但只要接种极少量的酵母，生长开始后，发酵也会相继进行，所产生的酒精量与酵母繁殖的量成正比。在这种无蛋白质的培养基中，巴斯德证明了发酵的进行不需要酵母分解释放蛋白质，事实上，酵母能利用糖和铵合成蛋白质。因而，在 1860 年，巴斯德总结得出：发酵是一种生物过程，它是由只能在显微镜下才能观察的生物所引起的发酵过程，而且，发现不同的发酵过程是由不同的微生物产生的。没有细胞的繁殖及其持续的活动，酒精的发酵不可能进行。

在确证活酵母能产生酒精发酵之后，分离和鉴定负责其他类型发酵的微生物也取得了很快的进展。大量实践经验的积累、商业化培养基的开发及生产菌种的改良，促进了发酵工业的发展并使之趋于多元化。例如，1923 年在纽约开始发酵生产柠檬酸，至 1940 年其年产量达 10000t。1940 年，Prescott 和 Duhn 报道了早年所生产的大部分工业化发酵产品（见表 1-1）。

表 1-1 早年采用发酵法生产的工业化学品

品 种	微 生 物	商 业 用 途
乙醇	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	工业酒精
丙酮-丁醇	<i>Clostridium acetobutylicum</i>	合成橡胶, 炸药, 漆和溶剂
丙酮-乙醇	<i>Bacillus acetolyticus</i>	溶剂
乙酸	<i>Acetobacter</i>	醋
乳酸	<i>Lactobacilli, Streptococci</i>	纺织和皮革
丙酸	丙酸细菌	溶剂
葡萄糖酸	<i>Penicillium chrysogenum</i>	制药工业和清洗剂
鞣酸(没食子酸)	<i>Penicillium glaucum</i>	染料工业
反丁烯二酸(延胡索酸)	<i>Rhizopus</i>	食品和饮料工业
甘露醇	<i>Aspergillus</i>	树脂, 食品和饮料工业
二羟丙酮	<i>Acetobacter</i>	人造革和化学工业

第一次世界大战爆发后，迫切需要采用微生物发酵法生产丙酮以生产炸药，美国政府在印第安纳州购买了两个大的酿酒厂，建立了“*Weizmann*”工艺，采用 *Clostridium acetobutylicum* 以玉米为原料发酵生产丙酮。战后，该“*Weizmann*”工艺主要用来生产合成汽车油漆的丁醇。在“*Weizmann*”工艺和其他工业化发酵工艺的开发过程中，逐步建立了一套较完整的工业化发酵体系。第二次世界大战期间青霉素正式投入了工业化生产，战时对青霉素的大量需求促进青霉素发酵工业及随后其他抗生素工业化生产的蓬勃发展。随着生产菌种改良技术的成熟和完善，各种新型、高效生物反应器的研究与开发，反应器中供氧、传质的改善，染菌等一系列问题的解决，微生物发酵工业进入了一个崭新的发展纪元。

第二节 微生物发酵生产代谢产物的研究与应用现状

现代生物技术是当今世界最活跃和发展最快的一个领域，被誉为 21 世纪的朝阳产业，世界各国竞相投入巨资进行研究开发，以期在未来国际市场占有领先和控制地位。随着基因重组技术、细胞和原生质体融合技术、酶（或细胞）的固定化技术、动植物细胞大规模培养技术、现代生物反应器技术及分离纯化技术的迅速发展，生物技术进入了一个新的发展阶段。现代生物技术的快速发展对社会经济发展的方方面面都产生了很深远的影响，各种新型

微生物发酵代谢产物的不断开发,对农业、精细化工、食品加工、制药和环境保护等产生了深远的影响。这些新型的发酵产品主要可以分成几大类,包括新型酶制剂、新型环境友好材料、微生物多糖、生理活性物质(包括维生素、辅酶、甾体激素等)、新型基因工程药物、微生物农药和肥料、食品添加剂、饲料添加剂、氨基酸、有机酸等,随着基因工程技术的不断发展,各种新型的微生物代谢产物还会不断得到开发。以下将对几类典型的微生物代谢产物的作用与研究现状进行介绍。

一、新型酶制剂

酶是一种具有催化活性的蛋白质,因此,酶具有催化剂的特点;同时酶又具有蛋白质的属性。由于酶催化的反应能够在常温常压下进行,而且具有高效性和专一性,酶的应用正日益受到人们的重视。随着生物技术的不断发展及对酶需求量的日益增加,各种新型酶制剂得到了不断的开发和研究,按其功能可以分为以下几大类。

1. 酿造用酶

(1) 酒精酿造用酶 采用薯类、植物块根类及谷类原料生产酒精时,由于纤维素、半纤维素、 β -葡聚糖和果胶质的存在,使得原料液化、糖化困难,醪液黏稠,原料利用率低。一般方法不能彻底解决这一难题。添加单一酶效果甚微,当采用包括纤维酶、半纤维素酶、 β -葡聚糖酶和果胶酶在内的复合酶时,能极大地提高原料的转化率,这些酶系的协同作用能够水解醪液中的纤维素、半纤维素、 β -葡聚糖和果胶质,充分释放淀粉、蛋白质,促进酵母旺盛发酵,增加生产得率;还能降低醪液黏度,缩短过滤时间及减少动力消耗。

(2) 啤酒酿造用酶 大麦麦芽的某些内源酶如 β -葡聚糖酶、纤维素酶、半纤维素酶等在麦芽中的酶活力不足。而且麦芽干燥过程中,这类酶又遭到极大破坏,使得麦芽的溶解性降低,所制的麦汁中 β -葡聚糖、纤维素、半纤维素以及它所携裹的淀粉、蛋白质和麦香类物质等得不到充分的水解和释放,由此不但造成原料利用率的下降,而且黏度和浑浊度过高,降低了生产效率和酒品质量。对于等级较低的麦芽,这一表现更加突出。采用高等级的麦芽或大幅减少辅料用量可在一定程度上解决这一问题。但造成的成本上升则使生产厂家难以负担。添加以 β -葡聚糖酶为主,纤维素酶、半纤维素酶、果胶酶和一定量的蛋白酶为辅的复合酶时,不仅可以水解 β -葡聚糖,降低麦汁黏度和浑浊度,提高过滤速度;还可以水解纤维素、半纤维素,崩溃胚乳细胞壁,充分释放胞内物质,提高麦汁得率。

(3) 白酒酿造用酶 酿造白酒所采用的谷类、薯类及植物块根类原料中含有数量不等的纤维素、半纤维素、 β -葡聚糖和果胶质。酒曲中的微生物及内源酶对这些大分子物质没有足够的分解能力,造成原料利用率的降低。同时,由于原料中的酒香类物质被这些难分解的大分子包裹,不能充分释放,使成品酒辛辣有余而醇厚不足,酒品质量降低或生产者被迫延长酒的后熟期,增加生产成本,而采用含有纤维素酶、半纤维素酶、 β -葡聚糖酶和果胶酶在内的复合酶时,不仅可以水解酒醅中的纤维素、半纤维素、 β -葡聚糖和果胶质,充分释放淀粉,增加白酒得率,还可以充分释放酒香类物质,突出酒品风格,提高酒品质量。

(4) 葡萄酒酿造用酶 酿造白葡萄酒时,果胶质使果汁黏稠、浑浊,失之清亮,各种杂质以其为依托难以在短时间内沉淀去除。皂土过滤法能耗大,效果不显著,并且过量加入皂土还会有酒味寡淡的后果。添加果胶酶有一定效果,但成本偏高,加之果胶酶使用前需活化处理,工艺复杂,且澄清效果也未达到理想状态。酿造红葡萄酒时,除果汁澄清问题外,还要尽量提取果皮中的物质以丰富酒香、酒色。果皮富含维生素、半纤维素,这些复杂大分子包裹着香味类和色素类物质,使其很难在有限的工艺时间内被充分提取。单纯的果胶酶对此基本不起作用。而采用包括 β -葡聚糖酶、纤维素酶、半纤维素酶和果胶酶在内的复合酶时,不仅能水解果胶质、纤维素和半纤维素,除去杂质依托,在常温下澄清、清亮果汁,还可以水解果皮纤维素和半纤维素,释放酒香类和色素类物质,增加酒的香度和色度,提高酒品质

量,提高果汁得率。

2. 食品加工用酶

(1) 谷氨酰胺转胺酶 谷氨酰胺转胺酶(蛋白质-谷氨酸- γ -谷氨酰胺转移酶, TG), 可以催化蛋白质分子内的交联、分子间的交联、蛋白质和氨基酸之间的连接以及蛋白质分子内谷氨酰胺酰胺基的水解, 从而改善各种蛋白质的功能性质, 如营养价值、质地结构、口感、贮存期等, 因此在食品工业上应用较为广泛。由于从动物组织中提取谷氨酰胺转胺酶的过程较复杂, 且来源稀少, 因而价格昂贵。随着市场需求的增加, 采用发酵法生产谷氨酰胺转胺酶引起了研究者极大的兴趣, 自 20 世纪 80 年代末首次报道利用微生物发酵法生产谷氨酰胺转胺酶以来, 国内外在谷氨酰胺转胺酶生产菌种的选育、培养基组分优化、发酵条件优化控制等方面进行了大量的研究工作。日本已成功实现了该酶的工业化生产, 国内在这方面也取得了突破性的进展, 筛选得到了高产的生产菌株, 在完成中试研究的基础上, 正在实施其产业化的工作。

(2) 高果糖浆生产用酶 果糖的高甜度和低热值性能成为甜味剂和低热值功能饮品、食品原料的新宠, 其产量仅次于蔗糖。尤其是高果糖浆(HFS)还有更为优越的物理化学性能, 使其在食品、饮料工业中独领风骚, 应用前景广阔。葡萄糖异构酶能够催化 D-木糖、D-葡萄糖等醛糖转化为相应的酮糖, 是工业上大规模以淀粉制备高果糖浆的关键酶。另外, 在使用菊芋为原料生产 HFS 时, 菊粉酶是一步法生产高果糖浆的惟一重要酶种, 该酶在欧洲国家和日本的研究较为深入, 我国始于 20 世纪 90 年代, 最近获得的一株菊粉酶高产菌株, 在采用特殊发酵方法和产酶诱导调控措施后, 最高菊粉酶产量达到 289U/mL。

(3) 果汁专用酶 果汁专用酶以果胶酶为主要组分, 以纤维素酶、淀粉酶、酸性蛋白酶为辅助组分, 能够有效澄清果汁, 改善果汁的品质。果胶酶、纤维素酶能协同裂解植物细胞壁, 使原料中的果汁有效成分充分释放出来, 淀粉酶和蛋白酶解原料中的淀粉蛋白和多肽成为小分子物质, 加速果汁澄清, 延长果汁保存期。果汁专用酶的使用可以加快果汁澄清, 降低果汁黏度, 有利于果汁浓缩, 还可以提高超滤速度, 防止产品后浑浊, 延长保存期。

3. 纸浆(造纸)用酶

(1) 纸浆漂白用酶 用木聚糖酶预处理硫酸盐浆, 可增加纸浆的孔隙, 有利于漂白阶段的木质素去除并减少化学品的用量, 不但增加纸浆的白度, 而且降低废液中有机氯的含量。节省用氯量 15%~20% 甚至 50%, 节约化学品量 8%~15%, 并使纸浆的强度提高, 浆产量增加 10%。木聚糖酶处理的条件一般为 pH8 和温度 65℃。美国 Georgia 大学采用木聚糖酶预处理氧脱木素后的阔叶木硫酸盐浆(pH10 和温度 90℃), 用 DoED1ED2 顺序漂白纸浆, 最终白度可达 90.5% (ISO), 而不用木聚糖酶预处理, 纸浆最终白度为 86.7% (ISO)。虽然木聚糖酶用量为 55U/g 干浆, 比工厂正常用量要高, 但是, 经木聚糖酶预处理后的纸浆, 可降低二氧化氯用量 25%。

(2) 废纸脱墨用酶 将含木聚糖酶、甘露聚糖酶、淀粉酶和脂肪酶的复合酶结合非离子型表面活性剂, 对 100% 化学木浆涂布纸的废纸进行脱墨, 比常规方法使用化学药品脱墨更加有效。采用酶对废纸脱墨, 可以明显地降低脱墨后浆料的尘埃、纤维束, 并能提高浆料的白度。另外, 用脂肪酶可分解松木纸浆中的松脂。松木纸浆中的松脂还会粘在造纸机的滚筒等处, 需定期停机清除, 否则会造成纸质下降或者碎纸。经脂肪酶处理, 在 30min 内就可去除纸浆中 90% 的松脂, 使工艺流程效率和纸质都得到提高。

(3) 造纸废水处理用酶 最近研究报道应用酶处理废水中的溶解物质和胶体物质, 有很好的效果。芬兰研究发现 4 种类型酶(脂肪酶、甘露聚糖酶、漆酶和果胶酶), 对存在于木材机械制浆工艺用水中的抽提物和木素能产生明显的作用。其中, 脂肪酶能改变抽提物的化学组成, 使纤维表面更具亲水性, 从而使纸浆强度较高, 并能提高树脂在循环工艺用水中的

溶解度；甘露聚糖酶能引起树脂对纤维的不稳定性和黏附作用，致使纸浆强度降低，并影响脂肪酶的效用，而抽提物的亲水性和定位对于纸浆强度是很重要的；漆酶能聚合存在于预热木片磨木浆工艺用水中的低分子量木素，并能部分氧化亲油性抽提物；果胶酶能降低处理工艺用水时阳离子聚合物的需要量。

4. 洗涤用酶制剂

酶在合成洗涤剂工业中的应用是合成洗涤剂工业发展过程中重大的技术进步之一。初期使用的是单一的蛋白酶，以后陆续开发了脂肪酶、淀粉酶和纤维素酶的应用，以及两种或两种以上酶的协同应用。酶作为洗涤剂的助剂，具有很强的专一性，洗涤剂中的复合酶能将污垢中的脂肪、蛋白质、淀粉等较难去除的成分分解为易溶于水的化合物，因而提高洗涤剂的洗涤效果。因此在洗涤剂中添加酶制剂可以降低表面活性剂和三聚磷酸钠的用量，使洗涤剂向低磷或无磷的方向发展，减少对环境污染，洗涤用酶制剂的研制开发也因此成为酶制剂工业的一个主攻方向。

(1) 碱性蛋白酶 碱性蛋白酶是洗涤剂中用得最多的一种，碱性蛋白酶可以将蛋白质水解为易于溶解或分散于洗涤液中的肽链或氨基酸，能大幅度提高洗涤去污能力，特别对血渍、汗渍、奶渍、油渍等蛋白质类污垢具有独特的洗涤效果。碱性蛋白酶产生菌（如枯草杆菌）的发酵液经去渣、盐析沉淀处理后，大大减少了蛋白酶中的杂质含量和产品特有的气味，提高了溶解速度，与洗涤剂有更好的配伍性，延长了保质期。

(2) 碱性脂肪酶 衣服污垢中脂肪污垢占四分之三，脂肪污垢受空气中氧的氧化，反应生成的氧化物使衣物纤维变黄发脆。碱性脂肪酶可以将三甘油酯水解为单甘油酯、双甘油酯、甘油和游离脂肪酸，所有这些都比原来的脂肪易溶解，因而可显著提高洗涤去黄斑的效果。据研究，脂肪酶对普通洗涤剂中蛋白酶活性有显著的稳定作用，有可能成为将来最好的洗涤用酶。目前世界洗衣粉市场为 1400 万~2000 万吨，西欧、美国和日本等出售的洗衣粉大多加酶（占总量的 65%~95%），国内合资企业生产的洗衣粉，均加有碱性脂肪酶，但所用酶大部分依赖进口。我国非常重视碱性脂肪酶的研究开发工作，早在“八五”期间就被列入国家重点攻关计划，“九五”期间再次列为国家重点攻关项目。目前，已有批量的国产脂肪酶推向市场。

(3) 淀粉酶 淀粉酶可水解直链淀粉和支链淀粉中的 α -1,4-糖苷键，使糊化淀粉迅速被分解成可溶解的糊精和低聚糖，否则糊精易粘到纺织物或碗碟的表面并对污垢的其他成分起一种黏胶的作用，可以用于去除例如来自面条、巧克力、肉汁和婴儿食品中含有淀粉的污垢。

(4) 纤维素酶 纤维素酶可以去除在洗涤和穿着时由于磨损在棉纤维上所产生的微纤维，从而棉纤维恢复原有的光滑状态。纤维素酶在用于洗涤含棉织物时可使织物色泽增白、增艳、柔软、去除颗粒污垢。

5. 纺织用酶制剂

中国是纺织大国，而棉纺织产品又是纺织工业中的主要品种，同时也是消费和出口的重要商品。其棉纱年产量 542 万吨，占世界的 1/3，居第一位。与此同时，还有棉印染企业 2200 多家，生产能力达 210 亿米，年实际加工印染布 136 亿米。一般而言，棉纺织物预处理需要耗用大量的水和化学物质，不仅消耗资源，而且产生严重污染。进入 21 世纪，它已不适应整个社会的发展。解决这一问题的根本出路就在于发展环境友好型染整工艺，即绿色染整工艺。采用生物新工艺具有以下优势：在生产成本方面，可节约大量的工艺用水、生产时间、能耗、原料（苛性碱）等，同时减少对废水的处理费用；在生态环境方面，减少了对环境排放水中的盐含量及化学需氧量（COD）等；在产品品质方面，由于避免了强碱对棉纤维的损伤，从而使得织物具有良好手感及染色性质。目前应用于纺织工业的酶制剂主要有

果胶酶、纤维素酶、过氧化氢酶、角质酶和聚乙烯醇 (PVA) 降解酶等。

(1) 果胶酶 果胶酶的种类有普通果胶酶、原果胶酶 (PPASe)、碱性果胶酶等, 目前应用于纺织工业的主要为原果胶酶和碱性果胶酶。棉纤维表面的果胶质分为三类: 原果胶、果胶和果胶酸, 原果胶不溶于水。由于果胶质和 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等金属离子形成络合物, 果胶分子中的羟基与初生胞壁的组分形成离子键, 果胶分子彼此间与其他组分的物理缠绕等, 从而使果胶质以原果胶质形式存在, 而不溶于水。若在棉织物精炼过程中只采用普通果胶酶, 其效果不如传统工艺, 而且如果随后用热水处理则由于蜡质未除尽, 其效果会更差。

① 原果胶酶 (PPASe)。原果胶酶包含单体 A、B 两种类型。A 型 PPASe 能切断原果胶质中聚半乳糖醛酸部分, 聚半乳糖醛酶、果胶质裂合酶、果胶酸盐裂合酶等属于此类; B 型 PPASe 能分解聚半乳糖醛酸以外的部分, 使水溶性果胶质游离的酶、阿拉伯糖酶和鼠李半乳糖醛酶能单体分离。又因原果胶酶对不溶性基质持有高活性的特性, 所以可应用在棉织物生物酶的精炼工艺上。实践证明, 用原果胶酶进行精炼, 效果很好, 完全能达到传统工艺水平, 且能抑制纤维强力的降低和进行无染斑染色, 提高得色量, 但成本较高。今后应开发耐热型原果胶酶, 以能和耐热淀粉酶并用, 进行退煮、漂、染-处理, 以降低成本。

② 碱性果胶酶。将碱性果胶酶用于棉织物的精炼, 其处理温度为 55°C 左右, pH 在 9.5 左右, 若加入整合剂、润湿剂 (非离子型), 则其吸水性、易染性均能达到传统工艺水平, 手感比传统工艺柔软。精炼后发现, 纤维表面有比精炼前更清晰的纵向条纹, 说明果胶质层已从纤维表面去除, 但初生胞壁并未完全去除, 因而与果胶质相连的棉蜡也未完全去除, 棉蜡的连续膜已遭破坏, 纤维间的空隙也大了, 所以纤维手感柔软, 厚实丰满, 其吸水性均优于传统工艺。

(2) 纤维素酶 纤维素酶是一种含有相互协同作用的多组分复合酶, 通常与果胶酶并用, 以发挥它们的协同效应。果胶酶分解果胶质, 纤维素酶分解初生胞壁中的纤维素大分子, 去除部分初生胞壁和表面杂质。纤维素酶主要由 C1 酶、Cx 酶及 β -葡萄糖苷酶组成, 其作用机理主要通过这三种组分来完成。C1 酶作用于纤维的结晶部分, 去除棉籽壳以 C1 酶为主; Cx 酶主要作用于纤维的无定形区和纤维素的衍生物, 并最终形成可溶性产物, 同时膨化纤维素; β -葡萄糖苷酶则作用于纤维素二糖或三糖类物质, 最终分解为单糖。实践证明, 在生物酶精炼中加入纤维素酶不仅不影响强力, 而且使织物外观光洁、手感柔软厚实, 增加悬垂感, 同时增大纤维素的无定形区, 给后道染色、印花提供了良好的条件。

(3) 过氧化氢酶 过氧化氢作为织物湿整理中最常用的漂白剂, 在漂白处理后必须去除。如果残留的过氧化氢没有完全去除, 在随后的染色过程中, 染料将被氧化, 导致染色不均, 染色不充分, 以及在相同配方下的四次色差。为避免漂白后残留过氧化氢的危害, 通常需用大量水浸洗。过氧化氢酶是一种氧化还原酶, 主要由四种次单元组成, 每一种单元含一种苏木精衍生物称为 Protoheme IX。1mol 过氧化氢酶可以分解 2mol 过氧化氢生成 2mol 水及 1mol 氧气。由于省水、省时、节能、降低废水排放, 过氧化氢酶成为去除残留过氧化氢的重要方法, 并且同时实现可生物降解, 不增加废水中盐离子含量。酶用量的多少也不会影响织物染色过程。由于酶的专一性, 染色可与酶处理一浴进行。用过氧化氢酶处理有四种方法: 在漂白后过氧化氢酶直接加到漂白浴中; 在中和漂白浴之后加; 将漂白废水放掉, 再注水后加; 排掉漂白废水, 织物用水洗一次, 再加水和过氧化氢酶。商品化的过氧化氢酶主要来源于牛肝、微球菌和黑曲酶。近年来, 由于环保和能源意识的增强, 对嗜热菌、嗜碱菌或嗜热嗜碱菌产生的有特殊性质的过氧化氢酶成为研究的热点, 包括产过氧化氢酶的极端微生物的筛选、基因工程菌的构建以及其酶学性质的研究等。

(4) PVA 降解酶 若织物浆料组分以合成高分子为主如聚乙烯醇 (PVA) 时, 则单用