



GAODENG ZHIYE JIAOYU SHENGWU JISHULEI ZHUANYE XILIE JIAOCAI


• 高等职业教育生物技术类专业系列教材 •

发酵工艺原理

F A J I A O G O N G Y I Y U A N L I

主编 邓毛程 副主编 张邦建



 中国轻工业出版社

高等职业教育生物技术类专业系列教材

发酵工艺原理

主 编 邓毛程

副主编 张邦建

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

发酵工艺原理/邓毛程主编. —北京:中国轻工业出版社,2007.9

高等职业教育生物技术类专业系列教材

ISBN 978-7-5019-5985-3

I. 发… II. 邓… III. 发酵-工艺学-高等学校:技术学校-教材 IV. TQ920.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第076739号

责任编辑:江娟 责任终审:滕炎福 封面设计:刘鹏
版式设计:马金路 责任校对:李靖 责任监印:胡兵 张可

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

印刷:

经销:各地新华书店

版次:2007年9月第1版第1次印刷

开本:720×1000 1/16 印张:18.75

字数:352千字

书号:ISBN 978-7-5019-5985-3/TS·3490

定价:30.00元

读者服务部邮购热线电话:010-65241695 85111729 传真:85111730

发行电话:010-85119845 65128898 传真:85113293

网址:<http://www.chlip.com.cn>

Email:club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

60303J4X101ZBW

《发酵工艺原理》编委会名单

主 编 邓毛程

副主编 张邦建

编 者 (按姓氏笔划排序)

邓毛程(广东轻工职业技术学院)

石 琳(广东轻工职业技术学院)

孙宏民(陕西科技大学职业技术学院)

朱晓立(广东轻工职业技术学院)

张邦建(包头轻工职业技术学院)

杨国伟(北京电子科技职业学院)

梁蕊芳(包头轻工职业技术学院)

前 言

生物技术是现代生物学与相关学科发展并交叉融合的科学技术,也是一门涉及领域宽、涵盖范围广、基础性强的高新技术。发酵工程是生物技术的基础和重要组成部分。传统发酵技术与基因工程、细胞工程、代谢工程、生物信息工程等技术紧密结合,迅速发展成为现代发酵工程。当今,现代发酵工程在生物技术产业化中起着重要作用,也吸引了众多技术人员从事相关的研究与开发。

编者结合发酵工业的最新发展与高职教育特点,以具体发酵产品生产工艺的形式,比较全面地介绍了发酵工艺基本原理和国内外实用性较强的发酵新技术。本书共分12章,内容包括:培养基及其制备,培养基与设备灭菌,空气除菌,微生物代谢产物的生物合成与调节,菌种的选育、保藏与种子扩大培养,发酵工艺控制,发酵染菌及其防治,发酵产物的提取与精制,发酵工艺综合实训等。

本书可作为高职院校生物技术专业、生物工程专业、生物化工工艺专业和生物制药专业的教材,也可供从事发酵生产、发酵产品研究与开发的技术人员参考。由于本书内容较多,教师可根据实际情况选择教学内容,建议理论教学80学时,理论自学20学时,实训教学3~4周。通过本课程的学习,使学生理解发酵工艺的基本理论,掌握发酵生产的基本操作,能分析、解决产品生产过程中的常见问题,能灵活、系统地运用发酵工艺原理进行发酵工艺设计以及新工艺、新产品的研究与开发。

参加本书编写工作的有:广东轻工职业技术学院的邓毛程、朱晓立、石琳,包头轻工职业技术学院的张邦建、梁蕊芳,陕西科技大学职业技术学院的孙宏民,北京电子科技职业学院的杨国伟。编写分工为:邓毛程编写第一章、第五章、第七章、第十二章的实训一、实训二、实训三;朱晓立编写第十二章的实训四、实训五;石琳编写第二章;张邦建、梁蕊芳编写第九章、第十章、第十一章;孙宏民编写第六章、第八章;杨国伟编写第三章、第四章。由邓毛程担任主编,张邦建担任副主编,郑州轻工业学院马歌丽教授和华南理工大学梁世中教授担任主审。

由于现代发酵工程发展迅猛,涉及面广,本书未能将国内外所有先进的发酵技术涵盖其中,加上编者水平有限,书中肯定存在不少错误与不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2007年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 发酵工程的特征	(1)
第二节 发酵工程的发展简史	(2)
一、天然发酵时期	(2)
二、纯培养技术的建立	(2)
三、深层培养技术的建立	(3)
四、代谢控制发酵技术的建立	(3)
五、发酵原料的转变	(4)
六、基因工程引入发酵工程	(4)
第三节 发酵工程的应用	(4)
一、发酵工程在食品工业中的应用	(5)
二、发酵工程在医药工业中的应用	(5)
三、发酵工程在能源工业中的应用	(6)
四、发酵工程在化学工业中的应用	(6)
五、发酵工程在农业中的应用	(7)
六、发酵工程在环境净化中的应用	(7)
七、发酵工程在冶金工业中的应用	(8)
第四节 发酵工业产品类型	(8)
一、微生物菌体	(8)
二、微生物代谢产物	(9)
三、微生物酶制剂	(10)
思考题	(10)
参考文献	(10)
第二章 培养基及其制备	(12)
第一节 微生物细胞的化学组成及胞外代谢产物	(12)
一、微生物细胞的化学组成	(12)
二、微生物胞外代谢产物	(13)
第二节 培养基组成	(13)
一、碳源	(14)
二、氮源	(15)

三、无机盐及微量元素	(16)
四、生长因子	(18)
五、前体	(18)
六、促进剂和抑制剂	(19)
七、水	(20)
第三节 培养基类型	(21)
一、按培养基的物理状态划分	(21)
二、按培养基营养物质的来源划分	(21)
三、按培养基的用途划分	(22)
四、按培养基用于生产的目的划分	(23)
第四节 工业培养基的选择和配制原则	(24)
一、工业培养基的选择	(24)
二、培养基的配制原则	(26)
第五节 淀粉制备葡萄糖的工艺技术	(27)
一、淀粉的组成及其特性	(27)
二、淀粉制备葡萄糖的方法与原理	(28)
三、酶解法制备葡萄糖的工艺	(32)
第六节 糖蜜原料及预处理	(37)
一、糖蜜的来源与特点	(37)
二、糖蜜预处理的方法	(38)
思考题	(39)
参考文献	(39)
第三章 培养基灭菌	(40)
第一节 灭菌的方法、原理及影响因素	(40)
一、灭菌的方法	(40)
二、湿热灭菌的原理	(41)
三、影响灭菌的因素	(46)
第二节 灭菌计算与操作	(48)
一、培养基间歇灭菌计算与操作	(48)
二、培养基连续灭菌计算与操作	(55)
思考题	(59)
参考文献	(59)
第四章 空气的除菌	(60)
第一节 空气除菌的方法	(60)
第二节 空气过滤除菌原理	(62)

一、介质深层过滤除菌	(62)
二、绝对过滤除菌	(65)
第三节 空气过滤除菌的工艺流程	(66)
思考题	(69)
参考文献	(69)
第五章 微生物代谢产物的生物合成与调节	(70)
第一节 微生物初级代谢产物的生物合成与调节	(70)
一、初级代谢的主要调控机制	(70)
二、酒精的发酵机制	(75)
三、柠檬酸的发酵机制	(77)
四、赖氨酸的发酵机制	(79)
第二节 微生物次级代谢产物的生物合成与调节	(84)
一、次级代谢与初级代谢的关系	(84)
二、次级代谢的主要调控机制	(85)
三、青霉素的发酵机制	(87)
思考题	(89)
参考文献	(89)
第六章 菌种的选育、保藏与扩大培养	(90)
第一节 发酵工业对菌种的要求	(90)
第二节 优良菌种选育	(90)
一、自然选育	(91)
二、诱变选育	(92)
三、杂交育种	(95)
四、原生质体融合技术	(97)
五、基因工程育种	(101)
第三节 菌种保藏	(105)
一、菌种退化与复壮	(105)
二、菌种保藏原理与方法	(106)
第四节 种子扩大培养	(108)
一、种子扩大培养的目的	(108)
二、种子扩大培养流程	(108)
三、种子质量检查与影响种子质量的因素	(110)
四、柠檬酸发酵生产中的种子扩大培养技术	(113)
五、酒精发酵生产中的种子扩大培养技术	(114)
思考题	(118)

参考文献	(118)
第七章 发酵工艺控制	(119)
第一节 微生物发酵类型	(119)
第二节 菌体浓度、营养基质的影响及其控制	(120)
一、菌体浓度的影响及其控制	(120)
二、营养基质的影响及其控制	(121)
第三节 发酵过程主要影响因素与控制	(125)
一、溶氧的影响及其控制	(125)
二、CO ₂ 的影响及其控制	(138)
三、pH 的影响及其控制	(139)
四、温度的影响及其控制	(142)
五、泡沫的影响及其控制	(147)
六、补料的作用及其控制	(151)
第四节 面包酵母生产的发酵控制	(153)
一、概述	(153)
二、培养过程的控制	(154)
第五节 酒精生产的发酵控制	(158)
一、概述	(158)
二、酒精发酵的控制	(159)
第六节 柠檬酸生产的发酵控制	(163)
一、概述	(163)
二、柠檬酸发酵的控制	(164)
第七节 青霉素生产的发酵控制	(165)
一、概述	(165)
二、青霉素发酵的控制	(166)
思考题	(168)
参考文献	(169)
第八章 发酵染菌及其防治	(170)
第一节 染菌的危害	(170)
第二节 染菌的原因	(172)
一、染菌造成的异常现象	(172)
二、染菌的检查和判断	(172)
三、染菌原因分析	(174)
第三节 染菌的防治	(176)
一、防止染菌	(176)

二、染菌的处理	(178)
思考题	(180)
参考文献	(180)
第九章 提取与精制的概述以及菌体的分离	(182)
第一节 提取与精制的概述	(182)
一、发酵产物的类型	(182)
二、发酵醪的特征	(183)
三、提取与精制方法的选择原则	(183)
第二节 菌体分离与处理方法	(185)
一、离心分离法	(185)
二、常规过滤法	(189)
三、膜分离法	(192)
四、细胞破碎	(194)
五、菌体分离的生产实例	(195)
思考题	(197)
参考文献	(197)
第十章 代谢产物分离的方法	(198)
第一节 沉淀法	(198)
一、盐析法	(198)
二、等电点沉淀法	(202)
三、沉淀法的生产实例	(204)
第二节 离子交换法	(205)
一、离子交换树脂的结构与分类	(205)
二、离子交换树脂的理化性能和测定方法	(207)
三、离子交换原理	(211)
四、离子交换树脂的选择性	(213)
五、离子交换法提取柠檬酸的生产实例	(215)
第三节 电渗析法	(216)
一、离子交换膜电渗析的原理	(216)
二、电渗析法在柠檬酸提取上的应用	(217)
第四节 溶剂萃取法	(218)
一、溶剂萃取原理	(218)
二、溶剂的选择	(219)
三、影响溶剂萃取效果的因素	(220)
四、工业萃取方式以及萃取设备	(222)

五、溶剂萃取法提取青霉素的生产实例	(224)
第五节 吸附法	(225)
一、吸附的原理	(226)
二、常用的吸附剂	(227)
三、吸附法的操作方式	(229)
四、吸附法的生产实例	(232)
第六节 蒸馏法	(232)
一、基本原理	(233)
二、酒精生产中的蒸馏与精馏提取	(235)
思考题	(237)
参考文献	(238)
第十一章 去除溶剂的常用方法	(239)
第一节 蒸发浓缩	(239)
一、蒸发浓缩的原理与基本流程	(239)
二、蒸发浓缩过程的分类与选择	(240)
三、蒸发浓缩法在生产上的应用实例	(241)
第二节 结晶	(243)
一、结晶原理	(243)
二、影响结晶生成的因素	(244)
三、发酵工业中常用的结晶方法与结晶操作方式	(247)
第三节 干燥	(250)
一、干燥的原理	(250)
二、常用的干燥方法	(251)
思考题	(254)
参考文献	(254)
第十二章 发酵工艺综合实训	(256)
实训一 实验室发酵罐结构与操作	(256)
实训二 利用糖蜜原料发酵生产活性干酵母	(264)
实训三 谷氨酸的发酵生产	(271)
实训四 青霉素的发酵生产	(279)
实训五 金龟子绿僵菌的固体发酵生产	(283)

第一章 绪 论

教学目标

[了解] 发酵工程的特征、发酵工程的发展简史、发酵工程的应用以及发酵工业产品类型。

第一节 发酵工程的特征

发酵(fermentation)一词是从拉丁文“fervere”(发泡、沸涌)派生而来,用于描述由果汁、麦芽汁或谷类发酵果酒、啤酒、黄酒时产生的 CO_2 气泡而引起的“沸腾”现象。19世纪中叶,巴斯德(Louis Pasteur)研究了酒精发酵的生理学意义,认为发酵是酵母菌在进行“无氧呼吸”,是“生物体获得能量的一种形式”。从生物化学的能量代谢角度分析,在酒精、乳酸、乙酸、丙酸等厌氧发酵中,有机化合物的分解代谢可为生物体提供能量。但是,随着生物技术的发展,在抗生素、氨基酸、酶制剂、核苷酸等发酵中,人们发现生物代谢产物形成过程包括了无氧过程和有氧过程,同时也涉及了解析代谢和合成代谢过程。因此,从产物代谢角度分析,发酵即“发泡”或“无氧呼吸”的定义是不完整的,人们把利用微生物在有氧或无氧条件下的生命活动来制备人类所需产品的生物反应过程统称为发酵。

发酵工程是利用生物的生长和代谢活动大量生产人们所需产品过程的理论和工程技术体系,是生物工程与生物技术学科的重要组成部分。发酵工程最初建立于微生物发酵基础上,且微生物发酵生产最为广泛,故又称为微生物工程,其技术体系主要包括:菌种的选育、保藏及其扩大培养,培养基及其制备,培养基与设备灭菌,空气的除菌,微生物代谢产物的生物合成与调节机制,发酵过程控制,发酵染菌的防治,发酵产物的提取和纯化,发酵废液及废料的综合利用、处理以及环境污染的防治等。

发酵工程与生物活动息息相关,具有如下一些显著特征:

① 由于生物体具有多种多样的化学活性,可以通过自身调节来完成一系列复杂的生物化学反应,并且反应的专一性强,可以得到较为单一的代谢产物。

② 由于生物种类繁多,代谢途径多样化,发酵工业可以为人类提供种类繁多的产品,包括化学工程所不能合成的一些复杂高分子化合物或生理活性物质。

③ 与化学工程相比,发酵过程一般在常温常压下进行,反应条件比较温和。

④ 发酵生产培养基一般采用天然培养基或半合成培养基,原料可从农业副产品、工业副产品、工业废水等获取,来源广泛,且价格低廉。有些化工产品通过发酵工程进行生产,可解决资源匮乏问题,甚至生产成本更低;有些废物作为发酵原料,可以解决环保问题,实现“变废为宝”。

⑤ 发酵醪成分复杂,发酵过程中的传质、传热等一般涉及到固相、液相、气相,影响因素众多,实验室的研究成果比拟扩大到工业化生产中比较困难。

⑥ 大多数发酵过程采用纯种培养方式,需要防止杂菌污染。

⑦ 发酵产物的提取和纯化建立在化学工程有关理论和单元操作上而发展起来,与化学工程联系非常紧密。

第二节 发酵工程的发展简史

一、天然发酵时期

人类进行发酵生产的历史悠久。早在公元前 6000 年,古埃及人和巴比伦人已经开始酿造啤酒,我国利用谷物酿酒的历史至少可追溯到 4 000 年前的龙山文化时期,而酿制酱油、醋等食品在《周礼》中已有记载,距今也有二千多年的历史。但是,在 19 世纪末以前,“发酵”的本质及微生物的性质尚未被人们所认识,人们利用自然接种方法生产酒、醋、酱油、干酪、酸乳等发酵制品,完全依靠人们积累的实践经验。因此,这一时期称为天然发酵时期。此时期,发酵生产处于手工操作、自然发酵的落后状态,经常被杂菌污染所困扰,发酵产品质量非常不稳定。

二、纯培养技术的建立

1680 年,荷兰人列文虎克(Antony Van Leeuwen Hoek)制成了能放大 200 ~ 300 倍的显微镜,通过显微镜观察了污水、牙垢、腐败有机物等,认识到微生物的存在,并对杆菌、球菌、螺旋菌等作了正确的描述。19 世纪末(1850—1880 年),法国的巴斯德(Louis Pasteur)通过实验证明酒精发酵是由于酵母菌的作用,揭示了发酵是由微生物的活动引起的;随后,他对乳酸发酵、酒精发酵、葡萄酒酿造、食醋酿造等进行了研究,明确了这些不同类型的发酵是由不同形态类群的微生物引起的。在此期间,巴斯德证明了葡萄酒受到醋酸菌污染而造成酸败,并发明低温消毒法,使法国葡萄酒酿造业免受酸败的损失。至今,酒类等饮料的消毒大多采用巴氏消毒法。由于巴斯德在发酵方面的卓越贡献,他被誉为“发酵的奠基人”。

1881 年,德国的罗伯特·科赫(Robert Koch)首先发明了固体培养基,并应用固体培养基分离培养出炭疽芽孢杆菌、结核分枝杆菌、霍乱弧菌等病原细菌,

建立了一套微生物纯培养的技术方法。由于结核菌研究工作相当出色,科赫在1905年获得诺贝尔奖。此外,丹麦的汉逊(Hansen)在研究啤酒酵母时,建立了啤酒酵母的纯培养方法。

巴斯德、科赫的工作为微生物发酵奠定了坚实基础,开创了人为控制微生物发酵的时代,使发酵生产技术得到巨大改进。纯培养技术的建立是发酵工程发展的第一个转折时期,由于采用了纯种培养技术、无菌操作技术以及简单密闭式发酵罐等,大大减少了发酵过程中的杂菌污染,产品质量、发酵效率以及生产规模均得到逐步提高,从而促进了近代微生物发酵工业的建立。此时期的发酵产品主要有甘油、柠檬酸、乳酸、丁醇、丙酮等微生物的初级代谢产物。在第一次世界大战中,德国需要大量甘油用于制造炸药,促进甘油发酵进入工业化生产;英国需要大量丙酮制造无烟火药的硝化纤维,促进了丙酮-丁醇发酵生产的建立。在这一时期,发酵产品生产过程较为简单,对生产设备的要求不高,规模也不大,但是,随着丙酮-丁醇、甘油等发酵工业的建立,近代微生物发酵工业逐渐成为近代化学工业的一部分。

三、深层培养技术的建立

1929年英国弗莱明(Alexander Fleming)发现能够抑制葡萄球菌的点青霉,其产物被称为青霉素。当时,弗莱明的成果没有引起人们的重视,1940年英国的弗洛里(Haward Florey)及钱恩(E. B. Chain)两位博士精制分离出青霉素,确认青霉素对伤口感染比当时广泛使用的磺胺药更有疗效。20世纪40年代初,第二次世界大战中对于抗细菌感染药物的需求极大,促使英美两国合作对青霉素进行深入研究开发,建立了深层液体培养技术,把通气搅拌技术引入发酵工业。随着抗生素发酵工业的发展,促进了菌体转化、微生物酶制剂、氨基酸等发酵工业的发展,使好氧菌的发酵生产逐渐进入工业化生产道路。深层培养技术明显提高了发酵生产规模、产品质量以及得率,成为现代发酵工业的主要生产方式,这是发酵工程上的一个大飞跃,也是微生物发酵史上的第二个转折点。

四、代谢控制发酵技术的建立

20世纪40年代的时候,没有代谢控制理论的指导。青霉素发酵生产所用的菌株只能采用自然选择的方法,以 10^{-6} 的突变几率来筛选所谓的高产菌株。随着生物化学、微生物生理学以及遗传学的深入发展,促进了人们对微生物代谢途径的研究,并开始利用代谢控制发酵技术进行选育微生物菌种和控制发酵条件。20世纪50年代,氨基酸发酵工业引进了代谢控制发酵技术,根据氨基酸生物合成途径用遗传育种方法进行微生物人工诱变,获得代谢发生改变的突变株,在控制条件下选择性地大量生产所需的氨基酸。同时,代谢控制发酵技术也在

核苷酸、有机酸和抗生素的生产中得以广泛应用。代谢控制发酵技术的建立,是发酵工程发展史上的第三个转折时期。

五、发酵原料的转变

传统的发酵原料主要是粮食、农副产品等,随着代谢控制发酵技术广泛应用,发酵工业发展迅速,需要大量粮食、农副产品等作为发酵原料。20世纪60年代初期,为了解决微生物与人类争夺粮食,生物学家对发酵原料的多样化开发进行了研究。随着石油微生物的发现,出现了利用烷烃、天然气、石油等作为原料进行发酵,如美国、英国、日本、中国等国家采用烷烃为原料发酵生产单细胞蛋白(SCP)。发酵原料的改变使发酵技术又进入一个新时期,这是发酵工程发展史上的第四个转折时期。

六、基因工程引入发酵工程

随着现代生物技术,特别是基因工程的发展,发酵工程技术又有了迅猛的发展。DNA体外重组技术在微生物育种方面得到实际应用,使得任意生物的特定有用基因组合到特定的微生物基因中去,从而获得新的菌种。这类菌种称为“工程菌”,它能够生产自然界一般微生物所不能合成的产物,如胰岛素、干扰素、凝血因子Ⅷ、超氧化物歧化酶(SOD)等。另外,通过基因工程构建菌种,可以提高一般代谢产物(如氨基酸、抗生素、有机酸、酶制剂等)的产量与质量,并缩短发酵周期和降低成本等。例如,胰岛素是治疗糖尿病的良好药,原来生产100g胰岛素需从720g的猪胰中提取,而1978年美国采用基因工程菌发酵生产,由2000L基因工程菌发酵液即可提取等量的胰岛素。又如,20世纪80年代以来,一些发达国家的研究人员纷纷试验将大豆球蛋白基因转导到大肠杆菌中,然后通过发酵工程培养,可生产出大豆球蛋白,且大豆球蛋白产量倍增。若种植大豆获得大豆球蛋白,至少需要一个生长季,而应用“工程菌”发酵只需要3天时间就可以生产出大量的大豆球蛋白。基因工程的引入,使发酵工程产生革命性的变化,这是发酵工程发展史上的第五个转折点。

第三节 发酵工程的应用

生物技术是当今最基础、最前沿、应用最广泛、发展前景最广阔的学科之一,而发酵工程是生物技术学科的重要研究领域之一。发酵工程技术的应用已遍及食品、化工、农业、医药、环保、能源、信息等各个领域,充分显示了它对解决人类所面临的食物、健康、资源、环境等重大问题的巨大作用与潜力。

一、发酵工程在食品工业中的应用

食品工业是世界上最大的工业之一,在工业化国家的食品消费要占家庭消费的 20% ~ 30%,而食品工业是微生物技术最早开发应用的领域,据报道,发酵工程生产的食品可占食品工业总销售额的 15% 以上。

许多传统食品加工采用了发酵技术,如各种酒类、酱、酱油、食醋、腐乳、奶酪、酸乳等的生产,可赋予食品特殊的风味。微生物菌体的蛋白质含量高,是一种理想的蛋白质资源,利用微生物发酵生产酵母菌、藻类等单细胞蛋白,可作为食品添加剂,直接供人类食用,可有效地解决全球蛋白质资源紧缺的问题。发酵生产的活性干酵母,已广泛应用于烘焙食品。利用发酵技术可以生产调味剂、营养强化剂、增色剂等多种食品添加剂,如味精可作为鲜味剂,氨基酸、核苷酸等可作为营养强化剂,红曲色素可作为增色剂,发酵法生产的食品添加剂比化工合成法生产更有利于人体的健康。

功能性食品在保健食品产业中形成一个新的主流,在大型真菌的开发、 γ -亚麻酸的制备、微生态制剂的制备、有机形式的微量元素的制备、超氧化物歧化酶(SOD)的制备、L-肉碱的制备、微生物油脂的生产和开发新糖源等方面,发酵工程技术都起到了关键的作用。利用发酵技术可以开发新型营养保健茶,如传统普洱茶生产是利用自然滋生微生物发酵生产普洱茶,实际上是由复杂的多种微生物体系形成极其复杂的传统普洱茶风味物质,但近期研究表明,从传统工艺中分离出有益微生物,经分离、纯化、快繁等程序用于普洱茶固态发酵,所产的普洱茶冲泡不仅香气明显,且香气持久,耐泡性好,传统普洱茶风味与保健功效可以在较短时间内形成。此外,发酵技术还可以提高茶叶的综合利用。

二、发酵工程在医药工业中的应用

抗生素、氨基酸、核酸、有机酸、维生素、辅酶、酶制剂、激素、免疫调节物质以及其他生理活性物质等均可作为医药原料,而发酵工程为医药工业提供了这些原料,有效地改善了医疗手段。至今发现的抗生素有 6 000 余种,其中绝大多数是微生物发酵产品,已有近 200 种产品作为医用抗生素。氨基酸在医药中除了作为大输液外,还广泛应用于临床治疗,如精氨酸、鸟氨酸、瓜氨酸对高氨血症、肝机能障碍等疾病具有显著疗效;天冬氨酸盐可用于治疗心脏病、肝病、糖尿病等疾病;谷氨酸及其衍生物可改进和维持脑机能,用于治疗运动障碍、脑炎、蒙古症、肝昏迷等疾病。核苷酸类药物很多,如肌苷、辅酶 A 可治疗心脏病、白血病、肝病等;黄素腺嘌呤二核苷酸(FAD)治疗维生素 B 缺乏症、肝病、肾病等;辅酶 I(NAD)可治疗肝病、肾病等。微生物产生的酶抑制剂种类繁多,包括蛋白分解酶抑制剂、细胞膜酶抑制剂、糖苷水解酶抑制剂、儿茶酚胺合成酶抑制剂、胆固

醇生物合成酶 HMG - CoA 还原酶抑制剂等,已有多种酶抑制剂作为医药投入生产。利用基因工程技术构建高效生产药物的细胞株,用于发酵生产人体内的生理活性因子(激素、免疫球蛋白和细胞生长因子等),备受国内外生物技术界的关注,现在已有 19 种蛋白质和多肽类药物应用于临床。

三、发酵工程在能源工业中的应用

生态危机是当今社会已经面临的巨大挑战,能源危机是本世纪中叶即将面临的巨大挑战,因此,清洁新能源的研发已成为世界重大热门课题之一。通过发酵工程,可以将含淀粉、糖质、纤维素、木质素等植物资源生产燃料乙醇,美国、巴西、中国以及欧洲一些国家已经开始大量使用“酒精汽油”作为汽车的燃料。纤维素是地球上最丰富的再生资源,占地球总生物量的 80%,含有纤维素的农业废弃物和加工副产物如秸秆、稻壳等的充分利用,对解决能源、资源短缺及环境污染等具有重大现实意义,因此,利用微生物转化天然纤维素资源已经成为 21 世纪世界各国的重要战略性课题。

微生物开采石油也是一个研究热点。利用微生物代谢多种产物而改善重油不利性质,从而提高采收率。微生物代谢产物可以降低原油黏度,使原油膨胀,改变岩石表面润湿性,降低界面张力,形成稳定的油 - 水乳状液,改善原油在多孔介质中的流动性和运移性质,将残留在岩石空隙间的深层黏滞性原油从“枯竭”的油田中采出,产量可提高 20% ~ 30%。现在许多国家均在大规模现场试验,并取得满意结果。

一些国家正在从事微生物电池的研究,以微生物的代谢产物作为电极活性物质,从而获取电能。目前已有多种微生物被报道具有直接释放电子至阳极或利用电催化代谢物释放电子至阳极的功能。科学家用一种叫产气单胞菌的细菌,处理 100g 分子椰子汁,使其生成甲酸,然后把以此作电解液的 3 个电池串联在一起,生成的电能可使半导体收音机连续播放 50 多个小时。美国宾夕法尼亚州立大学科学家开发了一种高效能的微生物燃料电池,细菌在分解有机废水时,将电子传送到电池的阳极,将质子传送到电池阴极,质子和电子结合就可以产生大量的氢,产氢率是传统发酵过程的 4 倍,这种电池不仅可以产氢作为清洁能源,也可以净化有机废水。

四、发酵工程在化学工业中的应用

发酵工程为化学工业提供大量的原料,已经部分或全部取代化工合成法生产许多化工产品,甚至生产一些化工合成法难以生产的稀有化工产品。例如,乙醇、丙酮、丁醇、柠檬酸、衣康酸、水杨酸、长链二羧酸、2,3 - 丁二醇等数十种化工产品都已经采用微生物发酵进行生产。科学家经过基因重组构建“工程菌”,可