

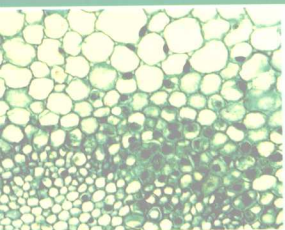


21世纪高等职业教育规划教材
生物学系列

植物细胞工程

ZHIWU XIBAO GONGCHENG

■ 主编 周吉源



教育部直属师范大学
华中师范大学出版社

SHENGWUXUE

植物细胞工程

主 编：周吉源

副主编：任 峰 周 全 张国斌
项 俊 丁 莉 王丽珍
李晓宏 刘 欢 曾青兰

编 者：（以姓氏笔画为序）

丁 莉	王文燕	王丽珍	任 峰
刘 欢	刘树楠	张国彬	张泽宏
李万德	李晓宏	杨春燕	周 全
周吉源	周诗毅	祝剑峰	项 俊
唐兴国	袁建琴	曾青兰	雷正瑜

华中师范大学出版社

内 容 提 要

本教材注重植物细胞工程的基本理论、基本知识和基本操作技术,理论联系实际。全书系统论述了植物器官、组织、细胞、原生质体离体培养原理和方法,细胞融合、细胞重组、基因重组以及被子植物精与卵的分离、培养与融合等遗传操作技术。结合内容简要介绍了过去一个世纪国内外植物组织细胞离体培养的研究成果、今后的发展方向和应用前景。

本书系作者多年教学和科研工作积累,精心编写而成,可供生物工程技术类专业用作教材,亦可供其他相关专业师生参考。

新出图证(鄂)字10号

图书在版编目(CIP)数据

植物细胞工程/周吉源主编. —武汉:华中师范大学出版社, 2007. 8

ISBN 978-7-5622-3582-8

I. 植… II. 周… III. 植物—细胞工程—高等学校—教材 IV. Q943

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第080325号

书名:植物细胞工程

主 编:周吉源◎

责任编辑:吴兰芳

责任校对:刘峥

封面设计:罗明波

选题策划:华中师范大学出版社第二编辑室

出版发行:华中师范大学出版社

地 址:武汉市珞喻路152号

邮编:430079

电话:027-67863040(发行部) 027-67861321(邮购)

传真:027-67863291

网址:<http://www.ccnpublish.com>

电子信箱:hscbs@public.wh.hb.cn

经销:新华书店湖北发行所

印刷:石首市印刷厂印刷

督印:章光琼

字数:296千字

开本:787mm×960mm 1/16

印张:15.25

版次:2007年8月第1版

印次:2007年8月第1次印刷

印数:1—3100

定价:23.60元

敬告读者:欢迎上网查询、购书;欢迎举报盗版,电话:027-67861321。

前 言

随着生物科学的飞跃发展,生命科学与工程技术原理结合发展起来的现代生物技术(生物工程),在工业、农业、医疗保健、环境保护等各行行业中显示出巨大的作用。面对我国要发展生物经济的战略部署,为满足面向 21 世纪我国生物技术人才的需求,华中师范大学出版社组织华中师范大学、武汉生物工程学院、武汉科技大学中南分校、湖北民族学院、黄冈师范学院、荆楚理工学院、湖北生态工程职业技术学院、咸宁职业技术学院等有关院校的教师编写了“植物细胞工程”教材,以满足生物技术相关专业教学需要。

本教材编写以系统性、科学性、实用性为原则;注重植物细胞工程的基本理论、基本知识和基本技能;理论联系实际,介绍植物细胞工程研究的新成果、新动向;紧扣应用型人才培养目标,为学生将来从事植物生物技术的研发和工作奠定坚实的理论基础和操作技能。教材共分 12 章,引言及第 1~3 章介绍了植物细胞工程的基本理论和基本操作技能;第 4~12 章则分别介绍了植物器官、组织、细胞、原生质体、花药、花粉、子房、胚珠、胚、胚乳的离体无菌培养和操作技术,以及被子植物精、卵的分离,培养和融合技术。

本教材由周吉源编写引言及第 1, 2, 3, 7, 9 章,周全编写第 4 章,唐兴国编写第 5 章,王文燕编写第 6 章,任峰编写第 8, 10 章,张国彬编写第 11, 12 章,参加编写及统稿工作的还有刘树楠、周诗毅、杨春燕、张泽宏、袁建琴、项俊、王丽珍、丁莉、雷正瑜、刘欢、李晓宏、曾青兰、祝剑峰、李万德等。

本教材的编写参考引用了国内外部分同类教材、相关著作和文献,在此表示衷心感谢。承蒙武汉生物工程学院院长邓宗琦教授的关心和指导,同时得到教务处朱祖襄处长、余泽高处长,生物工程系主任吴柏春教授的热情支持和帮助,本教材的编写工作得以顺利进行,在此一并致谢!

由于编者水平所限,书中错漏不妥之处难免,敬请广大读者批评指正,以便今后修订完善。

编者

2007. 7



目 录

引言	1
第一节 生物技术的含义及其发展简史	1
第二节 生物技术的基本内容	3
一、细胞工程	3
二、基因工程	3
三、酶工程	3
四、发酵工程	3
第三节 生物技术与其他基础学科的关系及其应用前景	4
一、生物技术在农业（农、林、牧、副、渔）上的应用	5
二、生物技术在医药上的应用	5
三、生物技术在解决能源危机、治理环境污染方面的应用	6
四、生物技术在工业上的应用	6
第一章 植物细胞工程基本原理	8
第一节 植物细胞的形态和结构	9
一、植物细胞的形状和大小	9
二、植物细胞的结构	10
第二节 植物细胞的繁殖	22
一、有丝分裂	22
二、无丝分裂	24
三、减数分裂	24
第三节 植物细胞的全能性理论	26
一、植物细胞的生长	27
二、植物细胞的分化与脱分化	28
三、愈伤组织中细胞的再分化与驯化	29
四、植物的再生作用	30
五、植物的遗传与变异	30
第二章 植物细胞工程基本设备及操作技术	31
第一节 实验室规模、设备及用品	31
一、实验室规模	31
二、实验室设备及用品	31
三、实验用品的洗涤	33



第二节 植物细胞工程基本操作技术	34
一、培养基及其配制	34
二、外植体选择	41
三、接种	42
四、培养、观察与记载	45
五、炼苗与移栽	46
第三章 植物体外形态发生	49
第一节 愈伤组织	49
一、愈伤组织的形成	49
二、愈伤组织的生长	52
第二节 植物离体形态发生	55
一、器官发生途径	55
二、胚胎发生途径	58
三、植物离体培养中形态发生调控	64
第三节 人工种子的研制	68
一、人工种子的优越性及其研制中存在的问题	68
二、胚状体的高频率发生与同步化培养	69
三、人工种皮和人工胚乳的研制	70
四、人工种子的制作	70
第四章 植物无性系快速繁殖与无病毒种苗生产	73
第一节 植物无性系快速繁殖	73
一、植物无性系快速繁殖的意义和应用	73
二、植物无性系快速繁殖的途径与方法	76
三、植物快速繁殖的关键技术环节	79
四、植物快速繁殖的影响因子	83
五、兰花的快速繁殖操作实例	87
第二节 植物脱毒与无病毒种苗的生产	88
一、植物脱毒的意义	88
二、植物脱毒技术	89
三、马铃薯茎尖脱毒操作实例	95
第五章 植物单细胞培养与突变体的筛选	96
第一节 植物单细胞的分离	96
一、由外植体分离单细胞	96
二、由愈伤组织分离单细胞	98
第二节 植物单细胞培养方法	98



一、单细胞培养的方法	98
二、影响单细胞培养的因素	101
第三节 植物细胞突变体的筛选	103
一、细胞突变体的特征	103
二、细胞突变体筛选的意义	103
三、细胞突变体筛选的一般技术	104
四、突变体筛选操作实例	107
第六章 植物细胞悬浮培养与次生代谢物质生产	109
第一节 细胞的初始培养	109
一、悬浮细胞的来源	109
二、细胞的振荡培养	110
三、建立良好悬浮细胞系的技术要点	111
第二节 高产细胞系筛选	113
一、高产细胞系筛选的整体思路	113
二、高产细胞系的筛选方法	113
三、高产细胞系的稳定性及保存方法	116
第三节 植物细胞悬浮培养方法	117
一、细胞悬浮培养的类型	117
二、细胞悬浮培养的培养基	120
三、悬浮培养细胞的同步化	121
四、悬浮培养中细胞的生长量和活力分析	122
第四节 植物次生代谢物质生产	122
一、植物次生代谢产物的主要类型	123
二、生物反应器培养水母雪莲细胞产生黄酮类化合物操作实例	125
第七章 植物原生质体培养与体细胞杂交	130
第一节 植物原生质体的分离与纯化	131
一、材料的选择和预处理	132
二、分离植物原生质体的酶类及其纯化	132
三、酶液的配制与渗透压的调控	134
四、原生质体的分离、纯化与活力检测	135
五、亚原生质体的制备	137
第二节 植物原生质体的培养	138
一、供体材料的选择	138
二、原生质体培养基	139
三、培养原生质体的植板密度	141



四、原生质体的培养条件	141
五、原生质体的培养方式	142
六、原生质体培养中的形态发生	144
第三节 植物细胞融合与体细胞杂交	146
一、细胞融合	146
二、体细胞杂种的筛选和鉴定	156
第八章 植物细胞重组(拆合)与基因重组	160
第一节 细胞重组(拆合)	160
一、细胞重组的概念、发展和意义	160
二、细胞重组方式	160
三、核移植技术	161
四、植物微核技术	163
五、细胞器移植	166
第二节 基因重组	167
一、染色体数目变异	168
二、染色体结构变异	169
三、基因突变	169
四、利用非整倍体技术进行异源基因的转移	169
五、染色体微切割	172
第九章 花药、花粉培养与单倍体育种	174
第一节 花药培养	174
一、培养基	175
二、花药培养操作程序	177
三、雄核发育过程和植株再生	181
四、影响雄核发育的因子	184
五、水稻花药培养操作实例	186
第二节 花粉培养	187
一、花粉的分离方法	188
二、花粉的培养方法	189
三、茄子花粉培养操作实例	191
第三节 单倍体育种	192
一、单倍体育种的优越性	192
二、单倍体植物的产生	195
三、单倍体植株的染色体加倍技术	197
第十章 子房、胚珠培养与试管受精	200



第一节 子房培养	200
第二节 胚珠培养	200
第三节 未授粉子房和胚珠培养	202
一、植物雌性单倍体离体诱导研究概况	202
二、雌核发育的胚胎学	203
三、影响未受精胚珠与子房培养的因素	206
第四节 试管受精	210
一、植物的子房内授粉	210
二、雌蕊的离体授粉	210
三、胚珠的试管受精	211
四、植物试管受精的意义	211
第十一章 被子植物的精、卵分离, 培养与融合	212
第一节 精子的分离与培养	212
一、生殖细胞的分离	212
二、精子的分离	213
三、精子的纯化	214
四、精子生活力的测定与保存	214
五、精子的培养	214
第二节 卵细胞的分离与培养	215
一、卵细胞的分离方法	215
二、卵细胞的培养	216
第三节 精、卵融合与培养	216
一、精、卵细胞融合方法	216
二、影响融合的因素	218
三、精、卵融合后的培养	218
第十二章 胚胎培养与胚乳培养	219
第一节 胚胎培养	219
一、合子胚培养的方法	219
二、幼胚培养的条件	220
三、胚乳的看护培养	222
第二节 胚乳培养	224
一、外植体的选择与接种	224
二、愈伤组织诱导	225
三、器官发生	226
四、胚乳胚状体发生	226



五、培养条件	227
六、胚乳愈伤组织的细胞学特征	227
第三节 无融合生殖	227
一、单倍体无融合生殖	228
二、二倍体无融合生殖	229
三、不定胚生殖	230
四、无融合生殖的鉴别	231
五、无融合生殖的应用	232
主要参考文献	233



引 言

第一节 生物技术的含义及其发展简史

生物技术(biotechnology)也称生物工程(bioengineering),是以现代生命科学为基础,通过先进的工程技术手段,结合其他基础学科的科学原理,按照预先的设计和要求,直接或间接地利用和改造生物体或生物过程,创造优良的生物新品种;生产人们所需要的有用物质;为人们的生活、生产服务的科学技术。

生物技术利用的是生物体及其机能,是一般常规技术不可替代的技术。它能完成一般常规技术不能完成的任务,能生产其他技术无法生产的产品。如动物、植物品种改良,过去常规杂交育种,优良基因的重组只限于物种内部;现在采用生物技术,优良基因的重组突破了物种的界限,基因资源广泛,可按人们的意愿在生物不同物种之间实现优良基因的重组,创造人们所需要的生物品种。又如植物次生代谢物质,中草药植物的药用成分、香精、香料等,自然资源有限,化学合成工艺太复杂,可通过植物细胞培养来生产。

生物技术另一个特点是高效、快速。如自然界生物进化形成一个物种,通过常规杂交育种可提高1万倍速度,生物技术比常规杂交育种又提高1万到数万倍;用生物技术生产的各类试剂盒可快速诊断、治疗人类疾病,如将治疗肿瘤的药物与利用细胞工程生产的抗肿瘤的单克隆抗体联结在一起,称为“生物导弹”,使药物集中于肿瘤部位,既能高效、准确地杀死肿瘤细胞,又能减少药物对正常细胞的毒副作用;植物快速繁殖试管苗技术可在短时间内得到遗传稳定的大量的试管苗,并可实现工厂化生产,一个 10m^2 的培养室内,一年可繁殖1万~50万株试管苗。

生物技术是把生物体当作一座反应器,进行物质的合成、降解和转化。在生物体中,物质的合成与降解都是在酶的作用下进行的,常温常压下,资源消耗少,能大大降低能耗和成本。如单细胞蛋白的生产,一头500kg的牛,一昼夜可合成0.2kg活性物质;同样重量的500kg大豆,一昼夜可合成20kg活性物质,比牛快100倍;500kg的微生物,一昼夜可合成2000kg活性物质,比大豆快100倍,比牛快10000倍。化学工业污染严重,能耗大;生物技术污染较轻,能耗较小。现在环境恶化问题严峻地摆在人们面前,生物技术已受到人们和各国政府的高度重视,成为21世纪领先发展的技术,成为人们经济生活中的主导产业。

生物技术与生物学随着人类文明的开始而产生,随着人类社会的发展而发展,



最初的农业活动(包括种植业和养殖业)便是生物技术的开始。生物技术追溯起来已有几千年的历史,大致分为三个不同的发展阶段,即传统生物技术、近代生物技术和现代生物技术(图 0-1)。

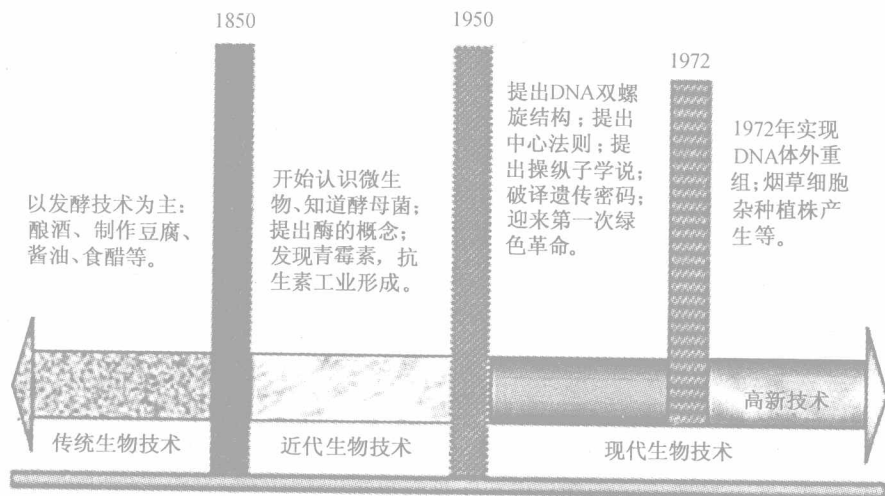


图 0-1 生物技术研究发展阶段

传统生物技术(1850 年以前):传统生物技术是原有的酿酒、制醋、生产酱油等产品的传统生产工艺。石器时代后期我国人民就会利用谷物造酒,文献中就有“夏少康造秫酒”的记载;公元前 221 年,周代后期就能制作豆腐、酱油和食醋,并一直沿用至今。公元 10 世纪,我国就有了预防天花的疫苗。到了明代,就已广泛种植痘苗以预防天花。在西方,苏美尔人和巴比伦人在公元前 6000 年就开始啤酒发酵;埃及人在公元前 4000 年就知道制作面包。

近代生物技术(1850 年—1950 年):19 世纪中叶,人们开始认识微生物。1857 年,法国巴斯德实验证明酒精发酵是由活的酵母菌引起的,并建立了微生物纯种培养技术,为发酵技术的发展提供了理论基础;1897 年德国毕希纳用磨碎的酵母菌仍能使糖发酵生成酒精,并将这种具有发酵能力的物质叫做酶;1928 年佛莱明发现青霉素,20 世纪 50 年代青霉素大规模发酵生产,带动了抗生素工业的发展,成为生物技术的支柱产业,发酵技术、酶技术迅速发展,并广泛用于医药、食品、化工、制革及农副产品加工等部门;20 世纪 60 年代,遗传学用于育种实践,被誉为“第一次绿色革命”。

现代生物技术(1950 年—现在):1953 年 Watson 和 Crick 提出 DNA 双螺旋结构及半保留复制模式,从而开始了生物学研究的新纪元;1958 年 Crick 又提出遗传信息单向传递的“中心法则”;1960 年 Jacob 和 Monod 提出蛋白质合成调节机制的操纵子学说;1961 年 Nirenberg 等破译了遗传密码;1972 年 Berg 首先实现了 DNA 体外重组技术,标志着生物技术的核心技术——基因工程技术的开始。从



此,生物技术取得迅速发展,成为一门分支多,涉及多学科的综合技术,在农业、医药、轻工业、食品、环保、海洋、材料和能源等方面得到广泛应用。生物技术成为 21 世纪最热门的研究领域之一。

第二节 生物技术的基本内容

现代生物技术是以现代生物研究成果为基础发展起来的生物技术,包括有细胞工程 (cell engineering)、基因工程 (gene engineering)、酶工程 (enzyme engineering) 和发酵工程 (fermentation engineering)。

一、细胞工程

应用细胞学技术,在细胞水平上有计划地改造细胞的遗传结构,培育人们所需要的动、植物品种或具有某种新性状的细胞群体的生物技术,称为细胞工程。其基本内容包括细胞培养、细胞融合和细胞拆合(细胞重组)。因动、植物细胞的结构、功能上的差别,又可分为植物细胞工程和动物细胞工程。以植物细胞为对象的为植物细胞工程;以动物细胞为对象的为动物细胞工程。细胞工程是生物技术最基本的技术,是现代生物技术的重要组成部分。

二、基因工程

基因工程是利用重组 DNA 技术,按照人们的愿望进行严密的设计,在体外通过人工“剪切”和“拼接”,对生物的基因进行有目的的改造和重组,再导入受体细胞,进行繁殖、表达,创造人类所需要的基因产物,这种通过体外 DNA 重组创造新生物的技术称为基因工程。基因工程的基本内容包括目的基因的制备,基因载体的选择与人工重组体的建立,受体细胞的选择与转化,转化细胞的选择、表达与繁殖。

三、酶工程

将酶学原理与化工技术结合,在微生物和动、植物细胞水平上生产、提取、分离、纯化、修饰各类自然酶,并利用酶的催化功能进行物质的转化技术称为酶工程。其主要内容包括各类自然酶的开发和利用,进行酶的生产、分离、纯化、修饰与改造,细胞固定化技术,酶的固定化技术,多酶反应器的设计研制等。

四、发酵工程

发酵工程也称微生物工程。是将微生物学、生物化学与化学工程相结合,利用微生物的生长和代谢活动,生产各种有用物质的工程技术。其主要内容有:生产菌种的选育,发酵条件的优化和控制,产品的分离、纯化与精制及反应器的研制等。



生物技术还有生物体及其机能的模拟技术,如人工传感器、生物计算机、人造器官、人工种子、人造血液、生物反应器等,其涉及面更大,研究领域更广。

第三节 生物技术与其他基础学科的关系及其应用前景

现代生物技术是自然科学中涵盖范围最广的学科之一。它以生物学各学科(包括植物学、动物学、微生物学、生物化学、植物生理学、动物生理学、遗传学、细胞生物学、分子生物学)为支撑,结合化学、物理、数学、化学工程、微电子技术、信息学、计算机科学等基本原理和技术,形成了一门多学科相互渗透的综合性学科(图0-2)。特别是一些高精仪器和新技术的使用,使现代生物技术与日俱增,迅速向前发展。



图 0-2 生物技术树



现代生物技术有着广阔的应用前景。广泛用于农业、林业、水产、畜牧业、医药、食品、化工、环保、冶金、材料、能源等各个领域。生物技术的广泛应用必然对人类经济社会带来巨大的影响,概括起来主要体现在如下几个方面。

一、生物技术在农业(农、林、牧、副、渔)上的应用

生物技术在农业上的应用首先在于改善农业生产、解决食品短缺。地球上人口不断地在增加,但是地球的面积不可能再增加,食品短缺的问题是人类面临的危机之一。通过对光合作用机理的研究,实现光合组分的优化组合,提高光合作用效率,生产出更多的有机物,诸如粮食、棉花、木材、药材等;通过生物固氮机理的研究,可提高固氮生物的固氮效率,可望实现非豆科植物的固氮,减少化肥使用量。如日本学者将固氮基因转移到水稻根际微生物中,固定的氮素相当于水稻生长所需氮肥的 1/5;通过基因工程、细胞工程可不断改良农作物品种、提高农作物的产量和品质。1996 年全世界转基因作物种植面积为 250 万公顷,2000 年已达 4420 万公顷。我国研究开发的转基因植物多达 50 余种,两系杂交水稻平均每公顷产 12000 kg 以上,推广面积 70 万公顷。转基因 Bt 抗虫棉 2001 年种植面积已达 4 万公顷;研制生物农药,可减少化学农药的使用;通过克隆技术,扩大植物良种繁殖系数,培育无毒种苗,实现工业化生产等。1997 年英国 Wilmut 等用绵羊乳腺细胞培育出“多莉”,说明动物细胞同样具有全能性。生物技术在农业上的应用将更为广泛。

二、生物技术在医药学上的应用

生物技术在医药学领域也是非常重要的。从青霉素的发现到抗生素的生产是人们最熟悉应用最广泛的生物技术药物。通过生物技术可以研制开发新奇贵重的新型药品,1977 年美国利用大肠杆菌生产了第一个基因工程药物——人生长激素释放的抑制激素,可抑制生长激素、胰岛素和胰高血糖素的分泌,开辟了药物生产的新纪元。现在人胰岛素、人生长激素、人绒毛膜促性腺激素、人干扰素、肿瘤坏死因子、集落刺激因子等基因工程药物相继生产,现在已有 40 多种基因工程蛋白质药物投放市场;400 多种生物制剂正在做临床试验;2000 多种生物工程药物正在进行前期实验研究。

利用生物技术可预防疾病和早期快速诊断。种牛痘防天花就是利用生物技术预防疾病最早的例子。1998 年美国批准了第一个艾滋病疫苗进入人体试验。利用生物技术还可以生产用于疾病治疗的单克隆抗体,生物导弹就是将治疗药物与抗肿瘤细胞的抗体联结在一起,使药物集中于肿瘤部位杀死癌细胞,减少药物对正常细胞的毒副作用。在生物制药领域单克隆抗体已占 31%。基因芯片是近年发展起来的一种高通量、高特异性的 DNA 诊断技术。

基因治疗是导入正常的基因来治疗因基因缺陷引起的疾病。1990 年美国批



准用 ada(腺苷脱氨酶基因)基因治疗严重联合型免疫缺陷病,取得满意结果,这标志着人类疾病基因治疗的开始。现在已涉及恶性肿瘤、遗传病、代谢性疾病、传染病等多个基因治疗方案正在实施中,我国也有血友病、地中海贫血、恶性肿瘤等多个基因治疗方案正在实施。

三、生物技术在解决能源危机、治理环境污染方面的应用

目前,我们生活中的主要能源是石油和煤炭,这些化石能源是不能再生的,能源危机是我们人类面临的又一重大问题。生物能源将是最有希望的新能源之一,乙醇将是最有希望的替代能源。通过微生物发酵或固定化技术,将农业和工业废弃物变成沼气或氢气,也是一种取之不尽、用之不竭的能源。

生物技术还可用来提高石油开采率。目前石油的一次采油仅能开采储量的 30%。二次采油需加压、注水,也只能获得储量的 20%。深层石油由于吸附在岩石缝隙间,难以开采。加入能分解蜡质的微生物,将蜡质分解使石油流动而获取石油称为三次采油。

传统化学工业在高温高压下进行,严重污染环境。可利用微生物净化有毒化合物、降解石油污染、清除有毒气体和恶臭物质、综合利用废水和废渣、处理有毒金属等,达到净化环境、保护环境、废物利用并生产有用产品的目的。

四、生物技术在工业上的应用

利用微生物在生长过程中的代谢活动,可以生产出种类繁多的食品工业原料,概括起来有:① 氨基酸类,计有 20 余种,主要有谷氨酸、赖氨酸、异亮氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、缬氨酸等;② 酸味剂,主要有柠檬酸、苹果酸、乳酸、维生素 C 等;③ 甜味剂,主要有高果糖浆、天冬精(甜味为砂糖的 2400 倍)、氯化砂糖(甜味为砂糖的 600 倍)等。

发酵工程还可生产化学工业原料如乙醇、丙酮、丁醇等。还有特殊用途的化工原料,如制造尼龙、香料的原料癸二酸、石油开采使用的丙烯酰胺;制造电子材料的粘康酸;制造合成树脂、纤维、塑料等制品的衣康酸、长链二羧酸;合成橡胶的 2,3-丁二醇;合成化纤、涤纶的主要原料乙烯等。

在冶金工业方面可利用微生物来生产贵重金属。目前高品位的富矿已不断耗尽,面对数量众多的废渣矿、贫矿、尾矿、废矿,采用一般采矿技术已无能为力,只有利用细菌的浸矿技术对这类矿石进行提炼。可浸提的金属主要有金、银、铜、铀、锰、钼、锌、钴、镍、钡、铈等 10 多种重金属和稀有金属。

综上所述,生物技术是一门 20 世纪后半叶新兴的综合型学科,是 21 世纪高新技术革命的核心内容,是具有巨大经济效益的潜在生产力,受到各国政府的高度重视。我国政府也非常重视生物技术研究,把生物技术列为高新技术之一,投入大

量人力和物力,组织力量进行攻关。

复习思考题

1. 名词解释: 生物技术 细胞工程 基因工程 酶工程 发酵工程
2. 生物技术有哪些优越性?
3. 生物技术发展分为哪些阶段?
4. 生物技术包括哪些内容?
5. 生物技术有何应用前景?

