

发酵工艺技术

主 编 范文斌 池永红



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

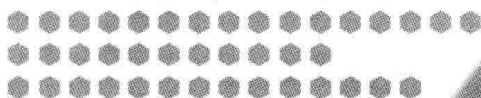
高职高专生物技术类专业系列规划教材

发酵工艺技术

主 编 范文斌 池永红

副主编 黄蓓蓓 徐 锐 韩文清

重庆大学出版社



内容提要

本书为高职高专生物技术类规划教材。本书按项目化教学的体例编写,适用于发酵技术课程的常规授课和教学做一体化模式授课。本书以发酵行业相关岗位的职业要求组织内容,共由 14 个项目组成,编排了发酵工业菌种操作技术、发酵设备、灭菌与空气净化工艺、发酵工艺控制及优化、发酵染菌及其防治、发酵产物的提取与精制工艺、发酵工业三废的处理等基础理论和实践技能,同时还精选了饮料酒的生产工艺、谷氨酸的生产工艺、柠檬酸的生产工艺、青霉素的生产工艺、淀粉酶的生产工艺、维生素 C 的生产工艺等有代表性的生产实例。

每个项目都由理论教学和实践操作组成,实践操作考虑到学生的知识基础、学校的实训条件、行业的岗位要求等因素,注重实用性和可行性,既满足了学生的基础技能训练,又有综合性的实训作为提高。

本书适用于高职高专生物技术、微生物技术、生物制药技术、食品类及农林类专业学生作为教材使用和教师参考,也可供相关行业的初中级技术人员和企业员工培训所用。

图书在版编目(CIP)数据

发酵工艺技术/范文斌,池永红主编. —重庆:重庆大学出版社,2014. 8

高职高专生物技术类专业系列规划教材
ISBN 978-7-5624-8325-0

I. ①发… II. ①范… ②池… III. ①发酵—生产工
艺—高等教育—教材 IV. ①TQ920. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 136652 号

高职高专生物技术类专业系列规划教材

发酵工艺技术

主 编 范文斌 池永红

副主编 黄蓓蓓 徐 锐 韩文清

策划编辑:屈腾龙

责任编辑:李定群 邓桂华 版式设计:屈腾龙

责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆市远大印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:443 千

2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-8325-0 定价:36.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

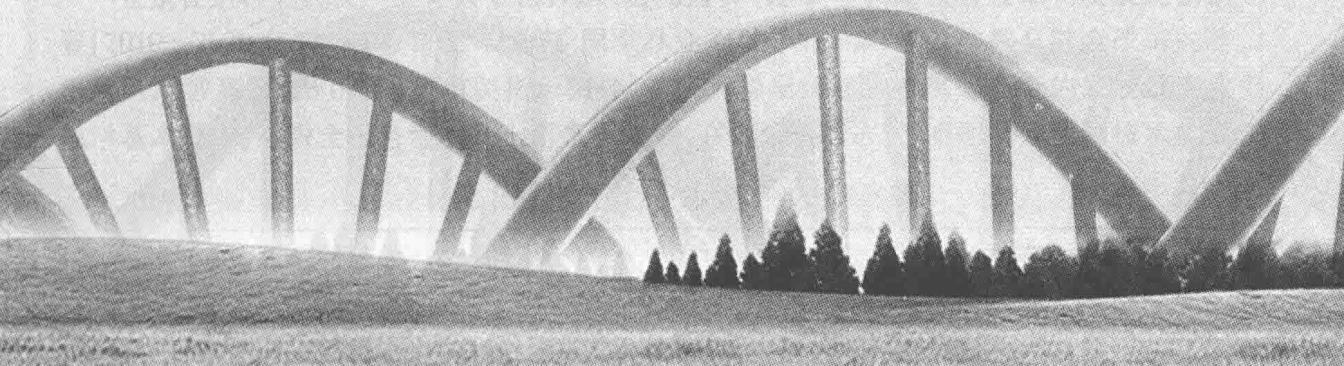
高职高专生物技术类专业系列规划教材

※ 编委会 ※

(排名不分先后,以姓名拼音为序)

总 主 编 王德芝

编委会委员	陈春叶	池永红	迟全勃	党占平	段鸿斌
	范洪琼	范文斌	辜义洪	郭立达	郭振升
	黄蓓蓓	李春民	梁宗余	马长路	秦静远
	沈泽智	王家东	王伟青	吴亚丽	肖海峻
	谢必武	谢 昕	袁 亮	张 明	张媛媛
	郑爱泉	周济铭	朱晓立	左伟勇	



高职高专生物技术类专业系列规划教材

※ 参加编写单位 ※

(排名不分先后,以拼音为序)

北京农业职业学院

重庆三峡医药高等专科学校

重庆三峡职业学院

甘肃酒泉职业技术学院

甘肃林业职业技术学院

广东轻工职业技术学院

河北工业职业技术学院

河南漯河职业技术学院

河南三门峡职业技术学院

河南商丘职业技术学院

河南信阳农林学院

河南许昌职业技术学院

河南职业技术学院

黑龙江民族职业学院

湖北荆楚理工学院

湖北生态工程职业技术学院

湖北生物科技职业学院

江苏农牧科技职业学院

江西生物科技职业学院

辽宁经济职业技术学院

内蒙古包头轻工职业技术学院

内蒙古呼和浩特职业学院

内蒙古农业大学

内蒙古医科大学

山东潍坊职业学院

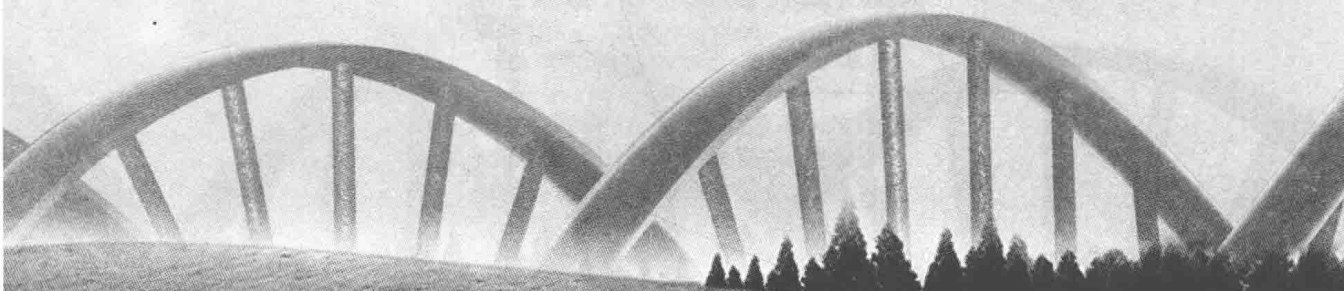
陕西杨凌职业技术学院

四川宜宾职业技术学院

四川中医药高等专科学校

云南农业职业技术学院

云南热带作物职业学院



总 序



大家都知道,人类社会已经进入了知识经济的时代。在这样一个时代中,知识和技术比以往任何时候都扮演着更加重要的角色,发挥着前所未有的作用。在产品(与服务)的研发、生产、流通、分配等任何一个环节,知识和技术都居于中心位置。

那么,在知识经济时代,生物技术前景如何呢?

有人断言,知识经济时代以如下六大类高新技术为代表和支撑,它们分别是电子信息、生物技术、新材料、新能源、海洋技术、航空航天技术。是的,生物技术正是当今六大高新技术之一,而且地位非常“显赫”。

目前,生物技术广泛地应用于医药和农业,同时在环保、食品、化工、能源等行业也有着广阔的应用前景,世界各国无不非常重视生物技术及生物产业。有人甚至认为,生物技术的发展将为人类带来“第四次产业革命”;下一个或者下一批“比尔·盖茨”们,一定会出在生物产业中。

在我国,生物技术和生物产业发展异常迅速,“十一五”期间(2006—2010年)全国生物产业年产值从6 000亿元增加到16 000亿元,年均增速达21.6%,增长速度几乎是我国同期GDP增长速度的2倍。到2015年,生物产业产值将超过4万亿元。

毫不夸张地讲,生物技术和生物产业正如一台强劲的发动机,引领着经济发展和社会进步。生物技术与生物产业的发展,需要大量掌握生物技术的人才。因此,生物学科已经成为我国相关院校大学生学习的重要课程,也是从事生物技术研究、产业产品开发人员应该掌握的重要知识之一。

培养优秀人才离不开优秀教师,培养优秀人才离不开优秀教材,各个院校都无比重视师资队伍和教材建设。多年的生物学科经过发展,已经形成了自身比较完善的体系。现已出版的生物系列教材品种也较为丰富,基本满足了各层次各类型的教学需求。然而,客观上也存在一些不容忽视的不足,如现有教材可选范围窄,有些教材质量参差不齐、针对性不强、缺少行业岗位必需的知识技能等,尤其是目前生物技术及其产业发展迅速,应用广泛,知识更新快,新成果、新专利急剧涌现,教材作为新知识、新技术的载体应与时俱进,及时更新,才能满足行业发展和企业用人提出的现实需求。

正是在这种时代及产业背景下,为深入贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》和《教育部 农业部 国家林业局关于推动高等农林教育综合改革的若干意见》(教高〔2013〕9号)等有关指示精神,重庆大学出版社结合高职高专的发展及专业教学基本要求,组织全国各地的几十所高职院校,联合编写了这套“高职高专生物技术类专

业系列规划教材”。

从“立意”上讲,本套教材力求定位准确、涵盖广阔,编写取材精炼、深度适宜、份量适中、案例应用恰当丰富,以满足教师的科研创新、教育教学改革和专业发展的需求;注重图文并茂,深入浅出,以满足学生就业创业的能力需求;教材内容力争融入行业发展,对接工作岗位,以满足服务产业的需求。

编写一套系列教材,涉及教材种类的规划与布局、课程之间的衔接与协调、每门课程中的内容取舍、不同章节的分工与整合……其中的繁杂与辛苦,实在是“不足为外人道”。

正是这种繁杂与辛苦,凝聚着所有编者为本套教材付出的辛勤劳动、智慧、创新和创意。教材编写团队成员遍布全国各地,结构合理、实力较强,在本学科专业领域具有较深厚的学术造诣及丰富的教学和生产实践经验。

希望本套教材能体现出时代气息及产业现状,成为一套将新理念、新成果、新技术融入其中的精品教材,让教师使用时得心应手,学生使用时明理解惑,为培养生物技术的专业人才,促进生物技术产业发展做出自己的贡献。

是为序。

全国生物技术职业教育教学指导委员会委员
高职高专生物技术类专业系列规划教材总主编

王德芝

2014年5月





前言

发酵行业从几千年前的酿酒、酱、醋、奶酪等家庭作坊式生产发展到今天的大型化、连续化、自动化的高新技术产业,历经了人类社会进步的整个过程。而现代发酵技术又是在传统发酵技术的基础上,结合了现代基因工程、细胞工程、机械工程等新技术发展而来,它是一门多学科、综合性的科学技术;既是现代生物技术的重要分支学科,又是现代食品工业、制药工业的重要组成部分。发酵工程作为生物工程的核心内容之一,对生物技术产业化起到非常重要的作用,是生物技术理论向生物产品转化的桥梁,在生物相关行业生产实践中得到广泛应用。

发酵技术课程是生物技术专业和生物制药专业的核心课程,对学生职业技能的培养起到重要作用。为了满足高等职业院校相关专业对发酵技术课程的教学要求,达到培养应用型人才的目的,编者依据职业教育提倡的“教学做一体化”教学模式,全书以项目化教学的体例进行编写,理论教学和实践教学相结合。每个项目都编排了大部分院校可以实施的实训环节,实训内容的选取既符合教学对技能目标培养的要求,又考虑实训的可行性和代表性。

本书的编写,我们从高职教育的实际出发,切实考虑学生的知识基础、学校的实训设施、行业的岗位要求等因素,注重实用性和可行性,贯彻理论知识够用,强化实践技能培养的原则。全书共分为14个项目,每个项目由项目描述、学习目标、能力目标、知识链接、项目内容、项目小结、复习思考题组成,14个项目又分为发酵的基础理论实践和发酵生产实例两部分。发酵的基础理论实践以发酵技术的工艺流程为主线,包括菌种选育和种子扩大培养、培养基配制灭菌和空气净化、发酵过程优化控制和发酵产物的提取精制等内容;发酵生产实例作为不同院校的选学内容,主要讲述了饮料酒的酿造、谷氨酸的生产、抗生素的生产、柠檬酸的生产、淀粉酶的生产、维生素的生产等内容,不同地区的院校根据地方的实际情况可以选择性地讲授部分或全部生产工艺,为学生毕业后从事相关行业的生产奠定基础。

参与编写本书的都是多年讲授发酵技术课程的老师,有着丰富的教学经验,综合现有的相关教材、专著、文献等资料,融入自己在教学过程中的心得体会,取百家所长和在教学实践中的经验编写而成。

本书由呼和浩特职业学院范文斌(前言,项目1、项目6)和包头轻工职业技术学院池永红主编,全书共分14个项目。项目2、项目10由蔡艳(江西生物科技职业学院)编写,项目3、项目9由徐锐(湖北生物科技职业学院)编写,项目4、项目5由黄蓓蓓(三门峡职业技术学院)编写,项目7、项目8由汪美清(信阳农林学院)编写,项目11由韩文清(包头轻工职业技术学院)编写,项目12、项目13、项目14由王利(内蒙古医科大学)编写。内蒙古金宇集团股份有

限公司的工程师魏锦森主任对一些生产环节给予技术指导。全书由范文斌和池永红统稿。

本书适用于高职高专生物技术、微生物技术、生物制药技术、食品类及农林类专业学生作为教材使用和教师参考,也可供相关行业的初中级技术人员和企业员工培训所用。

本书在编写过程中得到了重庆大学出版社的大力支持,在此表示衷心的感谢。全体编者向本书引用为参考文献的各位专家、同行表示衷心感谢并致以崇高敬意。同时也为全心付出的所有参编人员表示真挚的感谢,我们的努力付出必将换来高品质的教材质量和广大师生读者得心应手的使用。

由于生物技术的发展日新月异,许多应用在发酵行业中的新技术、新方法、新观点、新案例没有来得及编入本书,一些落后的方法技术可能在书中仍有出现,加上编者水平和时间有限,疏漏之处恳切希望读者提出宝贵意见,以便再版时作出更正。

编 者

2014 年 4 月

目 录 CONTENTS

项目 1 发酵工艺技术概述

任务 1.1 认识发酵的概念	(2)
任务 1.2 发酵工业的特点与产品类型	(6)
任务 1.3 发酵工业在国民经济中的应用	(8)
任务 1.4 发酵工业的现状与未来	(11)
项目小结	(13)
复习思考题	(14)

项目 2 发酵工业菌种的操作工艺

任务 2.1 工业菌种的选育与保藏	(16)
任务 2.2 发酵培养基的制备工艺	(27)
任务 2.3 发酵菌种的扩大培养工艺	(31)
项目实训 1 土壤微生物的分离、纯化及无菌操作技术	(35)
项目实训 2 菌种保藏实验	(39)
项目小结	(42)
复习思考题	(43)

项目 3 发酵设备认识

任务 3.1 通风发酵设备	(46)
任务 3.2 嫌气发酵设备	(56)
项目实训 10 L 在位不锈钢发酵罐的实消	(61)
项目小结	(63)
复习思考题	(64)

项目 4 发酵工业的灭菌工艺

任务 4.1 灭菌	(67)
任务 4.2 空气除菌工艺	(78)
项目实训 1 常见灭菌方法的练习	(85)
项目实训 2 无菌空气制备	(87)

项目小结	(88)
复习思考题	(89)

项目5 发酵工艺控制及优化

任务5.1 了解发酵过程中的重要参数	(92)
任务5.2 发酵过程温度的影响及调控	(95)
任务5.3 发酵过程 pH 的影响及调控	(100)
任务5.4 发酵过程泡沫的影响及调控	(103)
任务5.5 发酵过程溶氧的影响及调控	(108)
任务5.6 发酵方式控制	(115)
项目小结	(119)
复习思考题	(120)

项目6 发酵染菌及其防治

任务6.1 染菌对发酵的影响	(122)
任务6.2 发酵染菌的原因分析	(125)
任务6.3 杂菌污染的途径和防治	(129)
任务6.4 发酵染菌的挽救和处理	(131)
任务6.5 噬菌体的污染及防治	(133)
项目实训 噬菌体检查及效价测定	(135)
项目小结	(138)
复习思考题	(138)

项目7 发酵产物的提取与精制工艺

任务7.1 发酵液的预处理	(140)
任务7.2 发酵产品的提取精制工艺	(145)
项目小结	(172)
复习思考题	(173)

项目8 发酵工业污水处理工艺

任务8.1 发酵工业污水的特征	(175)
任务8.2 发酵工业污水处理的工艺技术	(178)
项目实训 化学需氧量的测定(重铬酸钾法)	(186)
项目小结	(188)
复习思考题	(188)

项目9 饮料酒的生产工艺

任务9.1 概述	(191)
----------------	-------

任务 9.2 啤酒的生产工艺	(192)
任务 9.3 白酒的生产工艺	(200)
任务 9.4 葡萄酒的生产工艺	(206)
项目实训 1 100 L 啤酒的实验室酿造	(209)
项目实训 2 葡萄酒的实验室酿造	(210)
项目小结	(212)
复习思考题	(212)

项目 10 谷氨酸的生产工艺

任务 10.1 概述	(214)
任务 10.2 谷氨酸的生产工艺实例	(215)
项目实训 5 L 发酵罐谷氨酸发酵实验	(221)
项目小结	(224)
复习思考题	(225)

项目 11 青霉素的生产工艺

任务 11.1 概述	(227)
任务 11.2 青霉素的生产工艺实例	(230)
项目实训 10 L 青霉素的发酵实训	(236)
项目小结	(239)
复习思考题	(239)

项目 12 柠檬酸的生产工艺

任务 12.1 概述	(241)
任务 12.2 柠檬酸的生产工艺实例	(243)
项目实训 柠檬酸摇瓶发酵	(249)
项目小结	(251)
复习思考题	(252)

项目 13 淀粉酶的生产工艺

任务 13.1 概述	(254)
任务 13.2 淀粉酶的生产工艺实例	(255)
项目小结	(260)
复习思考题	(261)

项目 14 维生素 C 的生产工艺

任务 14.1 概述	(263)
任务 14.2 维生素 C 的生产工艺实例	(265)

项目小结	(268)
复习思考题	(269)
参考文献	(270)

项目1

发酵工艺技术概述

【项目描述】

发酵工业与人们的生活息息相关,发酵技术的应用已涉及农业生产、轻化工原料生产、医药卫生、食品、环境保护、资源和能源的开发等国计民生的多个领域。本项目从发酵的概念入手,详细介绍发酵工业的发展历史,发酵工业设计的范围、特点,发酵工业的现状和未来等知识,让学生全面了解发酵行业,激发学习的兴趣。



【学习目标】

- 深刻理解发酵的概念。
- 掌握发酵的特点和产品类型。
- 了解发酵工业的历史进程及典型的事例。



【能力目标】

- 能解释日常生产生活中的发酵现象。
- 知道我国发酵行业发展的现状及发展前景。

知识链接

发酵技术有着悠久的历史,早在几千年前,人们就开始从事酿酒、制酱、制奶酪等生产。作为现代科学概念的微生物发酵工业,是在 20 世纪 40 年代随着抗生素工业的兴起而得到迅速发展的,而现代发酵技术又是在传统发酵技术的基础上,结合了现代的基因工程、细胞工程、分子修饰和改造等新技术。由于微生物发酵工业具有投资少、见效快、污染小、外源目的基因易在微生物菌体中高效表达等特点,日益成为全球经济的重要组成部分。据有关资料统计,在有些发达国家中,发酵工业的产值占 GDP 的 5%。在医药产品中,发酵产品占有特别重要的地位,其产值占医药工业总产值的 20%,通过发酵生产的抗生素品种就达 200 多个。

随着基因重组、细胞融合、酶的固定化等技术的发展,发酵工程技术不仅可提供大量廉价的化工原料和产品,而且还有可能改善某些化工产品的传统工艺,出现少污染、省能源的新工艺,甚至合成一些性能优异的新型化合物。发酵工程技术的发展将推动生物技术和化工生产技术的变革和进步,在与人们生活密切相关的医药、食品、化工、冶金、资源、能源、健康、环境等领域产生巨大的经济效益和社会效益。

任务 1.1 认识发酵的概念

1.1.1 发酵与发酵工程

1) 发酵

发酵这个词汇在生活中往往会让人联想到发面制作馒头、面包,酿造醋、酱油、酒类,或者联想到食品霉烂。很早以前人们就在生产实践活动中广泛地自觉或不自觉地运用发酵相关的技术,但是人们真正认识发酵的本质却是近 200 年的事情。发酵(fermentation)一词最初来源于拉丁语“发泡、沸涌(fervere)”,是派生词,是用来描述酵母菌作用于果汁或发芽谷物(麦芽汁)进行酒精发酵时产生气泡的现象,这种现象实际上是由于酵母菌作用果汁或麦芽汁中的糖,在厌氧条件下代谢产生二氧化碳气泡引起的。人们就把这种现象称为“发酵”,传统的发酵概念只是对酿酒这类厌氧发酵现象的描述。

生化和生理学意义的发酵,指微生物在无氧条件下,分解各种有机物质产生能量的一种方式,或者更严格地说,发酵是以有机物作为电子受体的氧化还原产能反应。如葡萄糖在无

氧条件下被微生物利用产生酒精并放出 CO₂。

工业上的发酵,泛指大规模的培养微生物生产某些产品的过程。包括:厌氧培养的生产过程,如酒精、乳酸等;通气培养的生产过程,如抗生素、氨基酸、酶制剂等。产品有细胞代谢产物,也包括菌体细胞、酶等。

2) 发酵工程

发酵工程是指利用微生物的生长繁殖和代谢活动,通过现代工程技术手段,进行工业化生产人们所需产品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。发酵工程也称作微生物工程,该技术体系主要包括菌种选育和保藏、菌种的扩大生产、微生物代谢产物的发酵生产和纯化制备,同时也包括微生物生理功能的工业化利用等。它是一门多学科、综合性的科学技术,既是现代生物技术的重要分支学科,又是食品工程的重要组成部分。

现代生物工程主要包括基因工程、细胞工程、酶工程、蛋白质工程和发酵工程 5 个部分,基因工程和细胞工程的研究结果,大多需要通过发酵工程和酶工程来实现产业化。基因工程、细胞工程和发酵工程中所需要的酶,往往是通过酶工程来获得;酶工程中酶的生产,一般要通过微生物发酵的方法来进行。由此可知,生物工程各个分支之间存在着交叉渗透的现象,见表 1.1。

表 1.1 生物工程 5 大主要技术体系关系

生物工程	主要操作对象	工程目的	与其他工程的关系
基因工程	基因及动物细胞、植物细胞、微生物	改造物种	通过细胞工程、发酵工程使目的基因得以表达
细胞工程	动物细胞、植物细胞、微生物细胞	改造物种	可以为发酵工程提供菌种、使基因工程得以实现
发酵工程	微生物	获得菌体及各种代谢产物	为酶工程提供酶的来源
酶工程	微生物	获得酶制剂或固定化酶	为其他生物工程提供酶制剂
蛋白质工程	蛋白质空间结构	合成具有特定功能的新蛋白质	是基因工程的延续

1.1.2 发酵工业的发展史

发酵工业的历史大致可分为自然发酵阶段、纯培养发酵阶段、深层通气发酵阶段、代谢调控发酵阶段、开拓发酵原料阶段、基因工程阶段等 6 个阶段,见表 1.2。

1) 自然发酵阶段

几千年前,人们在长期的日常生产生活中发现一些粮食经过一段时间的储存后,经过自然界一些因素的作用,会产生一些像酸、辣等奇怪的现象,这些奇怪的味道逐渐被人们所接受并喜欢,同时慢慢地去积累经验利用自然界的这种现象来生产人们喜欢的味道,从事酿酒、酱、醋、奶酪等生产,改善人们的生活。但是,人们对这种现象的本质一无所知,直到 19 世纪的时候仍然是一知半解。当时人们酿酒、酱、醋、奶酪等产品完全凭经验,当周围的环境变化了,自然会导致产品口味的变化,甚至会浪费粮食,现在很容易解释这些现象,但对于我们的

先人这是不可能的事情。

19 世纪以前的很长时间,发酵一直处于天然发酵阶段。凭经验传授技术,靠自然,人为不可控制,产品质量不稳定。

表 1.2 发酵工程技术的历史阶段及其特点

发展时期	技术特点及发酵产品
自然发酵 1900 年以前	利用自然发酵制曲酿酒、制醋、栽培食用菌、酿制酱油、酱品、泡菜、干酪、面包以及沤肥等 特点:凭经验生产,主要是食品,混菌发酵
纯培养发酵 1900—1940 年	利用微生物纯培养技术发酵生产面包酵母、甘油、酒精、乳酸、丙酮、丁醇等厌氧发酵产品和柠檬酸、淀粉酶、蛋白酶等好氧发酵产品 特点:生产过程简单,对发酵设备要求不高,生产规模不大,发酵产品的结构比原料简单,属于初级代谢产物
深层通气发酵 1940 年以后	利用液体深层通气培养技术大规模发酵生产抗生素以及各种有机酸、酶制剂、维生素、激素等产品 特点:微生物发酵的代谢从分解代谢转变为合成代谢;真正无杂菌发酵的机械搅拌液体深层发酵罐诞生;微生物学、生物化学、生化工程 3 大学科形成了完整的体系
代谢调控发酵 1957 年以后	利用诱变育种和代谢调控技术发酵生产氨基酸、核苷酸等多种产品 特点:发酵罐达 50 ~ 200 m ³ ;发酵产品从初级代谢产物到次级代谢产物;发展了气升式发酵罐(可降低能耗、提高供氧);多种膜分离介质问世
开拓发酵原料 1960 年以后	利用石油化工原料(碳氢化合物)发酵生产单细胞蛋白;发展了循环式、喷射式等多种发酵罐;利用生物合成与化学合成相结合的工程技术生产维生素、新型抗生素;发酵生产向大型化、多样化、连续化、自动化方向发展 特点:用工业原料代替粮食进行发酵
基因工程育种 1979 年以后	利用 DNA 重组技术构建的生物细胞发酵生产人们所希望的各种产品,如胰岛素、干扰素等基因工程产品 特点:按照人们的意愿改造物种、发酵生产人们所希望的各种产品;生物反应器也不再是传统意义上的钢铁设备,昆虫躯体、动物细胞乳腺、植物细胞的根茎果实都可以看做是一种生物反应器;基因工程技术使发酵工业发生了革命性变化

2) 纯培养技术的建立

自然发酵阶段,人们不清楚发酵的本质,更不知道有微生物的存在并起作用。1680 年,荷兰商人、博物学家列文虎克发明了显微镜,人类借助显微镜首次发现了微生物世界,此后的 200 年间微生物学的研究基本上停留在形态描述和分门别类的阶段。直到 1857 年,法国微生物学家巴斯德在帮助酿造者解决葡萄酒酿造过程中总是变酸的问题时,证明了酒精是由活的酵母发酵引起的,指出发酵现象是微小生命体进行的化学反应,阐述了发酵的本质,葡萄酒的酸败是由于酵母以外的另一种更小的微生物(醋酸菌)发酵作用引起的。随后发明了巴氏消毒法,使法国葡萄酒酿造业免受酸败之苦。巴斯德也因此被人们誉为“发酵之父”。