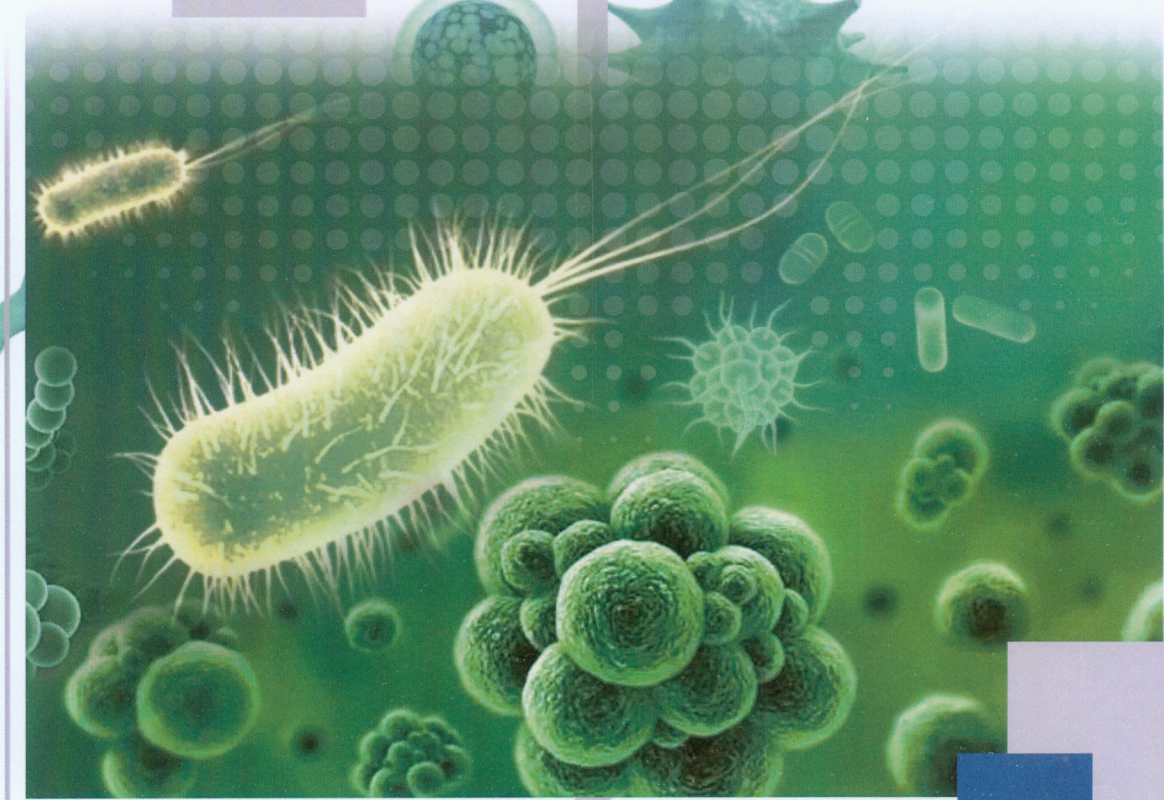


# 应用微生物学原理与技术

YINGYONG WEISHENGWU XUE YUANLI YU JISHU

主 编 孟令波

副主编 孙婷婷 郑苗苗 胡宝忠



重庆大学出版社

## 内容提要

本书系统阐述了应用微生物学的基本原理,介绍了微生物学在各行各业的应用技术及发展趋势,帮助读者初步掌握应用微生物学原理和技术,解决微生物在工业、农业、环境等领域中的应用,为全面学习专业课程论和技术奠定基础。全书共6章,内容包括应用微生物学基础知识,微生物在环境污染生物修复、水处理、农药、肥料、饲料、食用菌等方面的应用。本书注重理论联系实际,力求反映应用微生物学的最新研究成果,表述通俗易懂,以利于在生物科学受过初步训练的人所理解。

### 图书在版编目(CIP)数据

应用微生物学原理与技术/孟令波主编. -- 重庆:  
重庆大学出版社,2021.8  
ISBN 978-7-5689-2979-0

I. ①应… II. ①孟… III. ①微生物学—应用 IV.  
①Q939.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第191490号

## 应用微生物学原理与技术

YINGYONG WEISHENGWU XUE YUANLI YU JISHU

主 编 孟令波

策划编辑:杨粮菊

特约编辑:兰明娟

责任编辑:陈 力 版式设计:杨粮菊

责任校对:姜 凤 责任印制:张 策

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:饶帮华

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

POD:重庆新生代彩印技术有限公司

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:11.75 字数:304千

2021年8月第1版 2021年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5689-2979-0 定价:49.00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

# 前言

微生物种类繁多、无处不在,在人类生产中得到了广泛应用,为社会发展做出了巨大贡献。伴随着生物技术的迅猛发展,应用微生物学产生了众多新的理论知识和技术方法,对解决当今人类面临的人口与健康、资源与环境、能源与可持续发展等问题具有重要而深远的意义。应用微生物学原理和技术广泛应用于工业、农业、医药、食品及环境保护等各个领域,已形成微生物饲料、微生物肥料、微生物制药、微生物食品、微生物能源和微生物生态环境保护剂 6 项产业。应用微生物学的研究及应用已经成为 21 世纪科技发展的重点和热点。

应用微生物学原理与技术是一门涉及微生物学、分子生物学、生物化学、遗传学、细胞生物学以及化学工程学等多个学科自由交叉渗透的学科,在全面了解微生物理论知识的基础上,以微生物中的细菌和真菌为主要研究对象,运用各交叉学科的相关知识,为微生物资源的开发、利用、控制和改造提供理论依据和应用技术。应用微生物学原理与技术也是一门实践性较强的学科,体现了微生物学与理学、工学、农学、医学等学科的深入结合和广泛应用,是科学技术现代化和工、农业现代化的重要学科领域之一。近年来,应用微生物学中的高新技术和常规处理工程技术发展迅速。本书将微生物学与工业、农业、医药、环境和能源等生产实践知识有机地融合在一起,遵照“简明精练,好教易学,注重技术,特色突出,新颖实用,质量第一”的要求,突出基础理论、基本知识和基本技能,紧跟应用微生物学研究领域的热点,充分体现科学性、启发性和实用性。本书系统阐述了应用微生物学的基本原理,介绍了微生物学在各行业中的应用技术及发展趋势。

本书主要包括应用微生物学基础知识及微生物在环境污染生物修复、水处理、农药、肥料、饲料、食用菌等方面的应用。全书共 6 章,第 1 章“绪论”由孟令波负责编写;第 2 章“微生物系统”、第 5 章“应用微生物技术与农药、肥料、饲料”和第 6 章“食用菌栽培技术”由孙婷婷、郑苗苗与胡宝忠负责编写;第 3 章“应用微生物技术与环境污染生物修复”和第 4 章“应用微生物技术与水处理”由孟令波负责编写。最后由哈尔滨学院孟令波负责统稿,并对有关章节进行补充和修改。

本书编写内容汇集了编者多年的专业积累和教学经验,同时引用和借鉴了国内外许多著作、教材及互联网资料,采用集体讨论、分别执笔和主编统筹规划的编写方式。本书的出版,得到了黑龙江省自然科学基金“设施栽培下嫁接茄子根系分泌物与土壤微生物互作机制的研究”项目及黑龙江省博士后科研启动基金“设施茄子连作障碍生物修复技术的研究”项目的资助,在此深表感谢。

本书可以作为各类高等院校生物技术(工程)专业“应用微生物学”课程的教学用书,它能够使学生初步掌握应用微生物学原理和技术,解决微生物在工业、农业、医药、能源、环境等领域中的应用,为全面学习专业课理论和技术奠定基础。鉴于编者查阅文献的能力和学术水平所限,书中疏漏之处在所难免,衷心期待同行专家和读者批评指正。

孟令波  
2021年1月

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 什么是微生物 .....	1
1.2 微生物与人类的关系 .....	1
1.3 微生物学的发展简史 .....	2
1.3.1 形态学时期 .....	2
1.3.2 生理学时期 .....	3
1.3.3 现代微生物学时期 .....	4
1.4 应用微生物学概念、分类及展望 .....	5
1.4.1 应用微生物学概念 .....	5
1.4.2 应用微生物产品的分类 .....	5
1.4.3 应用微生物菌种资源 .....	6
1.4.4 应用微生物资源的开发与利用 .....	7
1.4.5 应用微生物学的展望 .....	8
第 2 章 微生物系统 .....	9
2.1 微生物的营养 .....	9
2.1.1 微生物的营养类型 .....	9
2.1.2 微生物的营养要求 .....	9
2.1.3 微生物的培养基 .....	11
2.2 微生物的生长 .....	14
2.2.1 微生物的生长测定 .....	15
2.2.2 微生物的生长规律 .....	17
2.2.3 环境因子对微生物的影响 .....	20
2.3 微生物代谢 .....	21
2.3.1 微生物的产能代谢 .....	21
2.3.2 微生物的合成代谢 .....	24
2.4 微生物酶 .....	25
2.4.1 酶的组成 .....	26
2.4.2 酶的催化特性 .....	26
2.4.3 影响酶促反应的因素 .....	27
2.5 微生物生态 .....	29
2.5.1 微生物种群之间的相互作用 .....	29
2.5.2 微生物在生态系统中的作用和地位 .....	31

第3章 应用微生物技术与环境污染生物修复 .....	34
3.1 微生物对污染物的作用 .....	34
3.1.1 微生物的降解作用 .....	34
3.1.2 共代谢 .....	36
3.1.3 微生物的去毒作用 .....	37
3.1.4 微生物的激活作用 .....	38
3.2 化学结构特性与生物降解 .....	39
3.2.1 化学结构对生物降解性的影响 .....	39
3.2.2 抗生物降解物 .....	41
3.2.3 化学品的生物有效性与生物降解 .....	43
3.3 环境条件与生物降解 .....	45
3.3.1 非生物因子对生物降解的影响 .....	45
3.3.2 生物因子对生物降解的影响 .....	46
3.4 典型有机化合物的生物降解 .....	47
3.4.1 脂烃类的降解 .....	47
3.4.2 苯系物的降解 .....	48
3.4.3 多环芳烃的降解 .....	49
3.4.4 卤代脂肪烃的降解 .....	50
3.4.5 卤代芳香烃及其衍生物降解 .....	52
3.4.6 硝基芳香烃类的降解 .....	52
3.4.7 表面活性剂的降解 .....	52
3.4.8 农药的降解 .....	53
3.4.9 邻苯二甲酸酯类的降解 .....	54
3.5 原位生物修复 .....	55
3.5.1 水力学控制 .....	55
3.5.2 亚表层供给系统 .....	55
3.5.3 阻塞控制 .....	56
3.5.4 原位氧源 .....	57
3.5.5 原位共代谢 .....	57
3.5.6 生物通气 .....	58
3.5.7 我国原位生物修复的研究与实践 .....	58
3.6 无机污染的生物修复 .....	59
3.6.1 无机污染物的修复 .....	59
3.6.2 无机污染物的生物积累和生物吸着 .....	60
3.6.3 生物氧化和还原 .....	61
3.6.4 甲基化和去甲基化 .....	62
3.6.5 典型无机污染的生物修复潜力 .....	62
3.7 真菌的降解作用与生物修复 .....	63
3.7.1 真菌的降解作用 .....	63

3.7.2	木质素及其降解菌	63
3.7.3	白腐菌的木质素降解酶	64
3.7.4	白腐菌对有毒化学品的降解	65
3.7.5	白腐菌在污染治理中的应用	66
<b>第4章</b>	<b>应用微生物技术与水处理</b>	<b>67</b>
4.1	水环境中的微生物污染	67
4.1.1	水体中的微生物来源及相关水污染	67
4.1.2	水中病原微生物的种类和特性	70
4.2	水处理工程中好氧生物处理的原理及应用	71
4.2.1	好氧生物处理的基本原理	71
4.2.2	活性污泥法	72
4.2.3	生物膜法	74
4.2.4	自然处理法	76
4.3	水处理工程中厌氧生物处理的原理及应用	80
4.3.1	厌氧生物处理的主要特征	80
4.3.2	厌氧生物处理工艺条件及其控制	82
4.4	水体富营养化和脱氮除磷技术	86
4.4.1	水体富营养化产生的原因与危害	86
4.4.2	生物脱氮	87
4.4.3	生物除磷	90
4.4.4	同步脱氮除磷技术	93
4.5	水中病原微生物的检测及去除	97
4.5.1	常用水质卫生学指标的检测方法	97
4.5.2	水中病原微生物的浓缩和检测方法	99
<b>第5章</b>	<b>应用微生物技术与农药、肥料、饲料</b>	<b>102</b>
5.1	微生物农药	102
5.1.1	微生物农药的发展史及现状	102
5.1.2	细菌杀虫剂	103
5.1.3	真菌杀虫剂	105
5.1.4	病毒杀虫剂	106
5.1.5	农用抗生素	108
5.1.6	微生物除草剂	111
5.1.7	微生物植物生长调节剂	113
5.1.8	微生物农药资源挖掘	114
5.2	微生物肥料	116
5.2.1	微生物肥料概述	117
5.2.2	根瘤菌肥料	118

5.2.3	固氮菌肥料·····	120
5.2.4	解磷菌类肥料·····	122
5.2.5	解钾菌类肥料·····	124
5.2.6	菌根类肥料·····	124
5.2.7	PGPR 菌肥 ·····	125
5.2.8	复合微生物肥料·····	126
5.3	微生物饲料·····	128
5.3.1	青贮饲料·····	128
5.3.2	发酵饲料·····	130
5.3.3	单细胞蛋白·····	132
5.3.4	微生物饲料添加剂·····	135
<b>第6章</b>	<b>食用菌栽培技术</b> ·····	<b>141</b>
6.1	外界环境对子实体形成的影响·····	141
6.1.1	温度·····	141
6.1.2	栽培基质水分与空气相对湿度·····	143
6.1.3	光照·····	144
6.1.4	氧气和二氧化碳·····	145
6.1.5	酸碱度(pH 值) ·····	146
6.2	常见木腐菌的栽培方法·····	146
6.2.1	黑木耳·····	146
6.2.2	猴头菇·····	149
6.2.3	灵芝·····	152
6.2.4	元蘑·····	155
6.2.5	滑菇·····	156
6.2.6	香菇·····	160
6.2.7	杏鲍菇·····	163
6.3	常见草腐菌的栽培方法·····	165
6.3.1	大球盖菇·····	165
6.3.2	鸡腿菇·····	167
6.3.3	双孢蘑菇·····	168
	<b>参考文献</b> ·····	<b>173</b>

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 什么是微生物

微生物(microorganism microbe)是一切肉眼看不见或看不清的微小生物的总称。它们都是一些个体微小(一般 $<0.1\text{ mm}$ )、构造简单的低等生物,由于划分微生物的标准仅按其形态大小,故其成员十分庞杂。粗分起来,微生物可包括属于原核类的细菌(真细菌和古生菌)、放线菌、蓝细菌(旧称蓝绿藻或蓝藻)、支原体、立克次氏体和衣原体;属于真核类的真菌(酵母菌、霉菌和蕈菌)、原生动物和显微藻类,以及属于非细胞类的病毒和亚病毒(类病毒、拟病毒和朊病毒)。

### 1.2 微生物与人类的关系

虽然微生物的个体小到肉眼难以分辨的程度,但它们在自然界中扮演举足轻重的角色。微生物在自然界中所起的最重要作用是分解功能,它们分解生物圈内存在的动物、植物和微生物残体等复杂有机物质,并将其转化成最简单的无机物,供植物等其他生物利用。

微生物参与所有物质的循环。微生物是自然界生态系统中化合物的初级生产者。有些微生物像植物一样,直接利用太阳能作为能源,将简单的无机物合成有机化合物;也有些微生物以无机物氧化产生的化学能作为能量来源,以无机物为原料合成有机化合物。微生物的这一特性使人类有可能摆脱土地资源的束缚,实现可持续发展。微生物通过感染植物与动物,以控制它们的群体增长水平。

在工业方面,利用微生物发酵可生产各种有机酸、维生素、酶制剂等重要的食品添加剂,以及各类抗生素和多种工业有机合成所必需的原料。微生物由于代谢类型多、代谢强度大,具有很强的物质转化能力,在未来能源的生产上具有巨大的潜力。例如,利用产甲烷菌的厌氧发酵把自然界最丰富的可再生资源(秸秆、有机垃圾和污水等生物质)转化为甲烷;利用热纤梭菌(*Clostridium thermocellum*)发酵将自然界蕴藏的极其丰富的纤维素转化为乙醇。人们把这种

能源称为“绿色石油”，目前美国、巴西、日本、德国已将其代替汽油燃料进入实用化。

在农业方面，利用根瘤菌、自生固氮菌、弗兰克氏放线菌及藻类的固氮作用，产生农作物生长所需的含氮化合物，对粮食生产具有重要意义；利用真菌和放线菌等微生物产生的代谢物制成生物农药，可防治农业病虫害，减少或避免农业生产过程中化肥、农药使用对环境造成的污染，为农业可持续发展提供重要保证。

在食品方面，微生物对人类生活的有益影响尤为突出。例如，人们日常生活中需要的味精、酱油、醋等调味品均是微生物发酵的产物；白酒、啤酒、葡萄酒等酒类及有些饮料也是微生物发酵的产物；面团经微生物生长产气，可制成松软可口的馒头或面包。近年来，利用微生物发酵生产活性多肽、功能性低聚糖等被广泛关注，这些产品对改善人类生活质量、提高人们健康水平起到了非常重要的作用。大型真菌（如各种蘑菇、木耳等），包括具有药用价值的灵芝、冬虫夏草也都是微生物。可以说，微生物对人体健康至关重要。

微生物担负着生物圈中物质循环和环境净化的责任，在环境保护和环境污染修复方面发挥了不可替代的作用。利用微生物净化生活污水和有毒工业废水，具有经济方便、效果好的突出优点，被广泛应用。微生物能将水中的含碳有机物分解成二氧化碳等气体，将含氮有机物分解成氨、硝酸等物质，将汞、砷等对人体有毒的重金属盐在水体中进行转化，以便回收或去除。利用微生物生产的聚羟基丁酸酯（poly-hydroxybutyrate, PHB）制造易降解的医用塑料制品，可以减少环境污染。利用微生物对环境进行生物修复的研究始于 20 世纪 80 年代，现已取得巨大的进展，其应用范围不断扩大。

在医药卫生方面，微生物应用更为广泛，发展迅速，潜力巨大。结合微生物工程、基因工程、细胞工程、蛋白质工程，可以利用微生物改进医疗、开发新药、改善医疗手段、提高医疗水平、防治人体疾病、保障人类健康。例如，利用微生物的代谢产物——酶蛋白、维生素、抗生素等研制药物；利用微生物细胞或其成分制成菌苗、疫苗、类毒素等生物制品。

微生物对人类也会造成危害，如在食品、工业产品等上面生长的微生物会导致其品质下降，甚至使其失去使用价值，给人类的生命、财产造成巨大的损失。然而随着科学技术的发展，微生物对人类社会的危害作用将会越来越小。

## 1.3 微生物学的发展简史

微生物学（microbiology）是研究微生物及其生命活动规律的科学。自古以来，人类在日常生活和生产实践中已经觉察到微生物的生命活动及其所发生的作用。但与其他学科相比，微生物学真正作为一门学科比较晚。1675 年荷兰人安东·列文虎克（Antony van Leeuwenhoek, 1632—1723）利用显微镜首次发现原生动物的后才逐渐形成学科体系。在此之前，因科学技术条件的限制，人们无法观察到微生物的个体，更不能把它们分离纯化，所以从整体上来说，这只是一个感性认识阶段。作为一门学科，微生物学的发展过程可分为 3 个时期，即形态学时期、生理学时期和现代微生物学时期。

### 1.3.1 形态学时期

17 世纪，列文虎克用自制的简单显微镜（可放大 200 ~ 300 倍）观察牙垢、雨水、井水和植

物浸液,发现其中有许多运动着的“微小动物”,并用文字和图画科学地记载了人类最早看见的“微小动物”——细菌的不同形态(球状、杆状和螺旋状等)。1695年,列文虎克把自己积累的大量结果汇集在《安东·列文虎克所发现的自然界秘密》一书中。他的发现和描述首次揭示了一个崭新的生物世界——微生物世界,这在微生物学的发展史上具有划时代的意义。不久后,意大利植物学家米凯利(Mikeli)也用简单的显微镜观察到了真菌的形态。1838年,德国动物学家埃伦贝格(Ehrenberg)在《纤毛虫是真正的有机体》一书中,把纤毛虫纲分为22科,其中包括3个细菌的科(他将细菌看作动物),首次提出“细菌”一词。1854年,德国植物学家科恩(Choen)发现杆状细菌的芽孢,他将细菌归属于植物界,确定了此后百年间细菌的分类归属。在列文虎克发现微生物世界以后的200年间,微生物学的研究基本上停留在形态描述和分类阶段,直到19世纪50年代,由于生产发展的需要进一步推动了微生物学研究的发展,于是微生物学由形态学时期进入生理学时期。

### 1.3.2 生理学时期

生理学时期前后不过几十年,但对微生物学发展起到了重要的作用。这一时期的研究由表及里,揭示了微生物的生命活动规律,解决了许多生产上的难题,建立了一整套研究微生物学的方法,是微生物学发展史上的奠基时期。在这个时期,对微生物学发展做出最大贡献的是法国人巴斯德(Louis Pasteur, 1822—1895)和德国人柯赫(Robert Kobh, 1843—1910)。

巴斯德对微生物学的贡献主要有以下几个方面:

①论证了酒和醋的酿造,以及一些物质的腐败是由一定种类的微生物引起的,彻底否定了长期争论不休的生命“自然发生论”。

②提出了发酵是微生物在没有空气的环境中的呼吸作用引起的,而酒的变质则是由于有害微生物生长的结果。

③进一步证明了不同微生物种类具有独特的代谢功能,各自需要不同的生活条件才能产生不同的作用。

④创造了防止酒变质的加热灭菌法,后来被称为“巴氏消毒法”,使用这一方法可使新生产的葡萄酒和啤酒长期保存。

后期,巴斯德开始研究人、禽、畜的传染病(如狂犬病、炭疽病、鸡霍乱等),提出病原微生物是传染病因的正确理论,以及应用菌苗接种预防传染病的方法。巴斯德在微生物学各方面的科学研究成果,促进了医学、发酵工业和农业的发展。巴斯德对微生物生理学的研究为现代微生物学奠定了基础。

与巴斯德同时代的德国微生物学家柯赫,对新兴的医学微生物学做出了巨大贡献。柯赫首先论证了炭疽杆菌是炭疽病的病原菌,接着又发现结核病和霍乱的病原细菌,并提倡采用消毒和杀菌方法防止这些疾病的传播。他同时提出了证明某种微生物是否为某种疾病病原体的基本原则——柯赫法则。由于柯赫在病原菌研究方面的开创性工作,使得19世纪70年代至20世纪20年代成为发现病原菌的黄金时代,这一时期所发现的各种病原微生物不下百种(其中包括植物病原菌)。随后,他的学生陆续发现白喉、肺炎、破伤风、鼠疫等的病原细菌,引起了当时直至以后数十年间人们的高度重视。

柯赫除了在病原菌方面取得了丰硕成就外,他在微生物基本操作技术方面的贡献也为微生物学的发展奠定了技术基础。他首创了细菌的染色方法和利用固体培养基分离纯化微生物

的技术。细菌着色法、分离纯化技术和配制培养基技术是进行微生物研究的基本方法和技术,一直沿用至今。尤其后两项是微生物研究的重要技术,为当今动、植物细胞的培养做出了十分重要的贡献。

正是由于巴斯德和柯赫的杰出研究工作,使微生物学作为一门独立的学科开始形成。在这期间,除他们两人对微生物生理学研究做出重大贡献外,其他的一些科学家也取得了很大的成绩。

1860年,英国外科医生李斯特(J. Lister, 1827—1912)从巴斯德的研究成果中得到启发,应用药物杀菌和煮沸手术用具,建立了无菌的外科手术操作方法。1901年,著名细菌学家和动物学家梅契尼科夫(Metchnikoff, 1845—1916)发现了白细胞吞噬细菌的作用,为免疫学的发展做出了贡献。俄国伟大的微生物学家维诺格拉德斯基(C. H. Winogradsky, 1856—1953)于1887年发现硫黄细菌,1890年又发现硝化细菌,他论证了土壤中硫化作用和硝化作用的微生物学过程,以及这些细菌的化能营养特性。维诺格拉德斯基最先发现嫌气性的自生固氮细菌,研究了土壤细菌各个生理类群的生命活动,揭示了土壤微生物参与土壤物质转化的作用,为土壤微生物学的发展奠定了基础。1892年,俄国植物生理学家伊万诺夫斯基(L. H. Ivanowsky)发现烟草花叶病原体是比细菌还小的、能通过细菌过滤器的、光学显微镜不能窥测的生物,称为过滤性病毒。1897年,德国学者布赫纳(E. Büchner)发现酵母菌的无细胞提取液与酵母一样都具有发酵糖液产生乙醇的作用,验证了酵母菌乙醇发酵的酶促过程,首次将微生物生命活动与酶的化学作用结合起来,开创了微生物生化探索的新时代。

### 1.3.3 现代微生物学时期

20世纪以来,生物化学和生物物理学向微生物学渗透,再加上电子显微镜的发明和同位素示踪技术的应用,大大推动了微生物学的发展。原来看不见或观察不清楚的内部结构,现在可以观察得比较清楚;有关蛋白质、糖类等物质的代谢过程,也研究得比较透彻;对微生物的生长、遗传、免疫和分类研究,广泛而深入并取得了许多重要的成果。

总的来看,微生物学沿着两个方向发展,即基础微生物学和应用微生物学。按照研究内容和目的的不同,微生物学相继建立了许多分支学科;研究微生物基本性状和相关基础理论的有“微生物形态学”“微生物分类学”“微生物生理学”“微生物遗传学”和“微生物生态学”;研究微生物各个类群的有“细菌学”“真菌学”“藻类学”“原生动物学”“病毒学”等;研究在实践中应用微生物的有“医学微生物学”“工业微生物学”“农业微生物学”“食品微生物学”“乳品微生物学”“石油微生物学”“土壤微生物学”“海洋微生物学”“饲料微生物学”“环境微生物学”等。20世纪80年代以来,现代微生物学在分子水平上对微生物的研究发展迅速,分子微生物学应运而生。经历约150年成长起来的微生物学,21世纪将在分子层面形成统一的生物学理论,其中两个活跃的前沿领域是分子微生物遗传学和分子微生物生态学。

微生物从发现到现在经历的短短300年间,尤其是20世纪中叶以来,已在人类生活和生产实践中得到广泛应用,并形成了继动物、植物两大生物产业后的第三大产业。从20世纪30年代起,人们利用微生物进行乙醇、丙酮、丁醇、甘油、有机酸、氨基酸、蛋白质、油脂等的工业化生产。微生物产业在21世纪呈现出全新的局面。人们除了更广泛地利用和挖掘不同生物环境(包括极端环境)的自然微生物外,还通过基因工程培育了一批强大的工业生产菌,生产外源基因表达产物,特别是在药物的生产中已呈现出前所未有的新局面。结合基因组学在药物

设计上的新策略,将出现以核酸(DNA 或 RNA)为靶标的新药物(如反义寡核苷酸、肽核酸、DNA 疫苗等)大量生产,人类将征服癌症、艾滋病及其他疾病。此外,微生物工业将生产各种各样的新产品,如降解性塑料、DNA 芯片、生物能源等。21 世纪即将出现一批崭新的微生物工业,为全世界的经济和社会发展做出更大的贡献。

## 1.4 应用微生物学概念、分类及展望

应用微生物学是微生物学与理学、工学、农学、医学等深入结合和广泛应用的科学,也是科学技术现代化和工农业现代化的重要学科领域之一,是一门实践性很强的学科。

### 1.4.1 应用微生物学概念

应用微生物学(applied microbiology)是以直接或间接应用目标研究微生物及其相互作用与环境作用的科学,实际上就是利用微生物与微生物学基础知识,通过生物技术手段来实现一定的直接或间接应用目标的科学。

生物技术是带动 21 世纪人类社会经济发展的关键技术之一,其中应用微生物技术因发展迅速、给人类带来巨大经济效益以及对其他生物技术产生重要影响,一直处于领先地位。应用微生物学已成为与微生物学、生物化学和化学工程学等多学科密切相关的交叉性学科。

### 1.4.2 应用微生物产品的分类

传统上的微生物在酒类酿造、食品发酵和污水处理等方面扮演重要角色。随着生物技术的发展,许多由微生物生产的产品也被一一开发。

#### 1) 依据产品的用途分类

##### (1) 医学产品

医学产品包括抗生素(抗细菌的、抗真菌的、抗原虫的、抗肿瘤的)、激素、疫苗、免疫调节剂、血液蛋白质、治疗用酶、酶抑制剂、抗体等。

##### (2) 农业产品

农业产品包括家畜用药、微生物肥料、微生物杀虫剂、微生物除草剂、微生物饲料等。

##### (3) 特殊产品和食品添加剂

特殊产品和食品添加剂包括氨基酸、维生素、有机酸、核苷酸、色素、增稠剂(右旋糖酐葡聚糖和茁霉多糖)、食品保鲜剂(葡萄糖氧化酶和维生素 C)、食品防腐剂(乳链菌肽)、食品保护剂(那他霉素)等。

##### (4) 化学产品和能源产品

化学产品和能源产品包括醇及溶剂(乙醇、甘油、丙酮等)、有机酸(乙酸、乳酸、苹果酸、水杨酸等)、多糖(右旋糖酐、黄原胶、海藻酸等)、烷烃(甲烷等)、清洁能源(氢气、微生物燃料电池等)等。

##### (5) 环境保护产品

垃圾处理或分解环境污染物质的微生物。研究发现,与有毒废弃物降解有关的酶有多种,编码这些酶的基因大多数存在于微生物细胞内的质粒上,有的存在于染色体上,也有同时存在

于质粒和染色体上的。利用微生物发明了有毒废弃物厌氧发酵法和好氧发酵法的处理技术。

①厌氧发酵法。如专性厌氧微生物梭菌、拟杆菌、瘤胃球菌、丁酸弧菌、乙酸菌、甲烷菌等,以及兼性厌氧微生物大肠杆菌、芽孢杆菌等,多用于沼气、肥料、饲料发酵。

②好氧发酵法。在有氧条件下,用某些产生菌胶的细菌和某些原虫的混合物处理工业及生活污水和废气,现已有属于悬浮生物体系和固定生物体系两大类的各种处理技术。

#### (6) 其他产品

其他产品如遗传工程蜘蛛丝蛋白质、有助于金属滤取的微生物。例如,利用氧化亚铁硫杆菌等自养细菌可把亚铁氧化为高价铁、把硫和低价硫化物氧化为硫酸的能力,将含硫金属矿石中的金属离子形成硫酸盐而释放出来,用此法可浸出的金属有铜、钴、锌、铅、铀、金等。

#### 2) 依据产品的生产来源分类

##### (1) 微生物菌体

微生物菌体包括烘焙酵母、菇类、藻类、乳酸发酵用的菌种、冬虫夏草、益生菌、改善环境的各种微生物制剂等。

##### (2) 微生物酵素

微生物酵素包括淀粉酶、纤维素酶、蛋白酶、凝乳酶、脂肪酶、葡萄糖异构酶、青霉素酰化酶、胆固醇氧化酶、限制性核酸内切酶等。

##### (3) 微生物代谢物

微生物代谢物包括发酵产物,如酒精、乳酸、丁醇与丙醇等;生长因子,如氨基酸、维生素、柠檬酸等;次级代谢产物,如抗生素、色素、生物碱等。

##### (4) 遗传工程蛋白质

遗传工程蛋白质包括人类激素,如胰岛素、生长激素等;免疫调节剂,如干扰素、细胞介素等;血液蛋白质,如凝血因子、血清蛋白等;基因重组疫苗,如乙型肝炎疫苗、狂犬病疫苗等;单克隆抗体。

### 1.4.3 应用微生物菌种资源

微生物菌种资源是指可培养的、有一定科学意义或实用价值的细菌、真菌、病毒、细胞株及相关信息,是国家战略性生物资源之一;是农业、林业、工业、医学、医药和兽药微生物学研究、生物技术研究及其微生物产业持续发展的重要物质基础;是支撑微生物科学技术进步与创新的重要科学技术基础条件,与国民食品、健康、生存环境及国家安全密切相关。微生物菌种按用途可分为以下几种:

#### (1) 普通微生物

中国科学院微生物研究所的中国普通微生物菌种保藏管理中心、中国普通微生物菌种保藏管理中心的分支机构——病毒保藏管理中心设在中国科学院武汉病毒研究所。

#### (2) 农业微生物

农业微生物包括用于农业生产、农产品加工、农业废弃物处理、农业环境保护和农业生物技术的微生物。

#### (3) 工业微生物

基本包含食品与发酵行业各类生产及科学研究用微生物。1981—1984年“工业微生物菌种分类鉴定命名编目的研究”计划,对1296株收集菌种分期分批进行了鉴定、命名和编目,建

立了中国工业微生物菌种资源和档案库,结束了已往来源不清、分类混乱、分散保藏、重复管理的局面。

#### (4) 医学微生物

中国医学微生物菌种保藏管理中心分支机构有中国医学科学院的病毒及其真菌保藏分中心,还有 25 个医学实验室承担着医学菌种的保藏工作。

#### (5) 兽药微生物

设在中国兽药药品监察所的中国兽药微生物菌种保藏管理中心,同时在中国农业科学院哈尔滨兽医研究所、兰州兽医研究所和上海家畜寄生虫研究所设立了菌种保藏分中心,承担全国兽医生物制品的生产检验及科学研究、教学实验用菌的供应任务。

#### (6) 林业微生物

林业微生物包括林业用苏云金芽孢杆菌、林木病原菌、林木昆虫病毒、大型真菌和木腐菌等。

### 1.4.4 应用微生物资源的开发与利用

应用微生物资源与动物、植物资源相比,在资源开发方面有明显优势。①未知的种类资源最多:估计自然界 95% 以上的微生物还未被认知,目前已知的微生物物种只是实际存在的微生物物种的“九牛一毛”,而我国已知的微生物数仅占国际上已知微生物总数的 5% ~ 10%。②未知的遗传资源最多:微生物的基因组和遗传产物丰富多彩,而且差别大、利用少。③未知的生态系统资源最多:对微生物的共生、互生、寄生、腐生、拮抗、在各种极端环境中生长和繁殖的机制了解较少,作为生态资源开发利用得更少。④微生物作为一种资源,远远没有被公众所认知:许多人视细菌、病毒为瘟神,大有谈“菌”色变之势,而有益菌的利用,或变有害菌为有益菌的研究,不仅起步晚,而且未知数太多。

微生物资源的开发利用亟待从以下几个方面拓宽和深入。①活的和死的微生物菌体的利用:变废为宝,有许多工作要做,或亟待深入,这将为社会和经济的可持续发展起到事半功倍的作用。②微生物代谢产物的利用:必须深入挖掘、改造,特别是用现代分子生物学等先进技术研究开发,可使其前景无限,出现全新局面。③微生物特性的利用:进一步拓宽微生物为人类服务的领域,使以往最优秀的工程师难以实现的工艺成为可能,并将取得意想不到的良好效果。④微生物生态资源的利用:太多的对人类具有实际或潜在用途、价值的微生物群体及其组成部分还不为人知,是待开发利用的大宝库。⑤微生物基因の利用:由于微生物基因与动物、植物基因的同一种性和特殊性,虽然其研究、开发和利用历史最短。

应用微生物资源开发利用涉及农业、轻工业、环境保护、矿冶、医药等与国民经济相关的行业。由于开发的目不同,开发利用的战略和策略会有很大差别。开发利用程序通常由总体设计、目的菌寻找、产物效果试验、专利申请、菌种改良及发酵和提取工艺研究、报批、生产、市场等相关联的过程组成。

应用微生物开发利用的核心是总体设计,总体设计首先依据现有市场的需要,同时也要分析潜在市场、竞争对手(包括自己市场开拓能力),并参照开发策略、工作基础及条件、合作力量、投资风险情况等。微生物资源开发利用最好采取产、学、研相结合的方式,寻找技术条件、科研能力互补及诚信度高的合作伙伴,实现研究成果转化、营销一体化的模式。

#### 1.4.5 应用微生物学的展望

当前,许多科学家都同意“21 世纪将是生物学世纪”的说法,在生物学世界中,应用微生物学起着特别重要的作用。如果说生命科学还是一个“朝阳科学”,则应用微生物只能认为是一门“晨曦科学”;如果说应用微生物学是一座“富矿”,则目前它才刚剥去一层表土。这是因为在微生物中存在着高度的物种、遗传、代谢和生态类型的多样性。微生物的多样性构成了微生物资源的丰富性,而微生物资源的丰富性决定了对应用微生物的研究、开发和利用的长期性。

##### 1) 医学微生物学的研究

加强传染性疾病和感染性疾病的病原学研究,为及时诊治疾病提供病原学依据;深入开展病原学微生物的生物学特性及致病机制研究,为开发新药提供理论基础;研制开发免疫原性好、副作用小的新型疫苗;探索特异、灵敏、简便、快速的微生物学诊断方法及技术。

##### 2) 微生物在环境治理上的发展前景

微生物除氮脱硫技术;微生物除臭、特殊废水处理、微生物与制浆和微生物漂白技术;重金属污染治理;污染土壤的微生物修复。

##### 3) 微生物杀虫剂的发展前景

鉴别和选择有效天敌,即利用新种类或新品系微生物构建可稳定供应且价格合理的微生物杀虫剂批量生产系统;对生产技术进行改进;开发储藏和运输技术;设计在田间供应这些杀虫剂的方法。

##### 4) 食品专业

食品微生物快速检测;食用菌的生产、功能成分提取。

##### 5) 微生物在新能源开发中的应用

目前,微生物制氢方面的主要研究方向有以下 4 个方面:①进一步揭示氢气产生的机制和条件,有助于在代谢途径方面切断旁路代谢,解除代谢阻遏,使总体代谢途径向产氢方向进行;②在基因工程方面增加菌体内氢酶基因的拷贝数,构建高效产氢工程菌;③在酶工程方面分离纯化得到高纯、高效的氢酶,在体外构建产氢代谢途径;④在环境工程方面提高工业废物的处理效率,降低环境治理成本。

总之,应用微生物在解决 21 世纪粮食增产、能源供应、资源开发、环境保护、人类健康等方面的危机能力是其他学科不可替代的,只有应用微生物技术才能将来源于太阳能的可再生资源(碳水化合物)转变为现代社会所需要的化工原料和能源。这种能源结构和资源结构的转变直接关系到我国经济的可持续发展、社会稳定和国家安全。

# 第 2 章

## 微生物系统

### 2.1 微生物的营养

营养(nutrition)是指生物体从外部环境摄取物质和能量,以满足其自身生长和繁殖需要。了解微生物的营养,可以更好地了解微生物对能量和物质的需要,促进其生长和繁殖。

#### 2.1.1 微生物的营养类型

微生物种类多样,各类微生物对营养的需求有很大不同。根据微生物摄取碳源形式的不同,可分为自养菌(autotroph)和异养菌(heterotroph)。自养菌又称无机营养菌(ithotroph),利用空气中的 $\text{CO}_2$ 或环境中的碳酸盐作为合成细胞中有机物的唯一碳源;异养菌又称有机营养菌(organotroph),主要利用有机形式的碳作为碳源。根据微生物最初获得能源的方式不同,可分为光能菌(phototroph)和化能菌(chemotrph)。光能菌利用光能,化能菌利用氧化无机物或有机物产生的化学能。根据对碳源和能源的不同需求,微生物可以组合为4种不同的类型(表2.1)。很显然,担负有机物生物降解的微生物是化能异养菌和光能异养菌。

表 2.1 微生物的营养类型

类 型	碳 源	能 源	微生物种类举例
光能自养菌	$\text{CO}_2$	光能	蓝细菌、藻类等
光能异养菌	有机物	光能	紫色非硫细菌
化能自养菌	$\text{CO}_2$	无机还原物	硝化细菌、硫化细菌、铁细菌、氢细菌
化能异养菌	有机物	有机物	绝大多数细菌和全部真核微生物

#### 2.1.2 微生物的营养要求

微生物的营养物(nutrients)有6大要素,即碳源、氮源、能源、生长因子、无机盐和水。