



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 微生物学教程

第3版



周德庆 编著



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



# 微生物学教程

WEISHENGWUXUE JIAOCHENG

第3版

周德庆 编著



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

### 图书在版编目 (CIP) 数据

微生物学教程 / 周德庆编著. —3 版. —北京: 高等教育出版社, 2011.4

ISBN 978 - 7 - 04 - 031404 - 5

I. ①微… II. ①周… III. ①微生物学 - 高等学校 - 教材 IV. ①Q93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 017952 号

策划编辑	赵晓媛	责任编辑	田 军	封面设计	张 楠
责任绘图	宗小梅	版式设计	余 杨	责任校对	俞声佳
责任印制	刘思涵				

---

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 889 × 1194 1/16  
印 张 25  
字 数 800 000

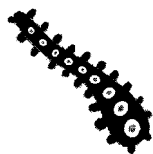
购书热线 010 - 58581118  
咨询电话 400 - 810 - 0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 1993 年 5 月第 1 版  
2011 年 4 月第 3 版  
印 次 2011 年 4 月第 1 次印刷  
定 价 39.80 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究  
物料号 31404 - 00



## 第3版前言

本书第二版自2002年面世以来,深受广大同行和读者的欢迎,截至2010年7月,已印刷18次,累计印数达39万余册。2006年,本书第三版被教育部列入“普通高等教育‘十一五’国家规划教材”。这就使我越发感到自己责任之重大,并决心通过新版的编写进一步提高质量,更好地满足广大读者的学习要求,努力把本书打造成一本特色明显、观点鲜明、体系严密、内容丰富、取材新颖、富有情感和可读性强的基础课教材,成为一本能在未来生命科学工作者和微生物学工作者心目中留下较深印象的微生物学启蒙教材。

本版的特点是在体系上能与第二版保持一致,在体系稳定的基础上努力做到内容的较全面更新,包括增、补、换、删,以确保教材能与时俱进,紧跟本学科迅速发展的步伐。本书的体系是作者在半个世纪教学实践中逐步成熟起来的,其结构较严密,可行性较强,这就给习惯使用本教材的师生在改用新版时带来了许多方便。新版在内容方面,作了较多的更新。例如,原核生物、真核微生物和病毒的分类,亚病毒因子,免疫细胞的应答机制,细胞因子,细菌鞭毛的结构,螺旋体的周质鞭毛,以及生物质能源等。由于作者对微生物学历史和厌氧菌领域的兴趣,故在教材中有所反映;长期对本学科各领域有关数据的搜集,更是笔者的爱好,因此本书中有各种有参考价值的、较为丰富和珍稀的数据。在文字和图表方面,除继续保持一人执笔的特色外,还注意创作或改进许多有利于初学者学习、理解和记忆的简明线条图(200余幅)、表格(约90张)和表解(70余个)。此外,为与全国同行和青年学生更好地交流教学和应试经验,作者特意选用以前发表并得到较好反响的两篇教学文章作为本书的附录,供大家讨论、参考,并期望达到抛砖引玉的作用。

有两点需作说明:(1)与一般动、植物名称多数用汉语表达的习惯有所差别的是,在各种书刊和学术交流中,微生物的名称更多地是以拉丁名的形式出现。为让读者早日适应这一形势和熟记一些重要学名,本教材中凡出现微生物的学名处,均以拉丁名作正名,再在其后加上括号和注上汉译名;同时,还在附录中对一些主要学名的发音作了介绍。(2)有关“endospore”的译法问题,过去多数教材和出版物中都习惯用“芽孢”,但近年来却出现较多的“芽胞”译法,从而在学术界尤其在青年学生中造成了不少疑惑。作者认为还是沿用“芽孢”为妥,理由有五:①作者曾亲历了两届有关微生物学名词审定的全国会议,1988年正式公布的《微生物学名词》中虽定为“芽孢”,但后因多有异议,故在重印时又改回“芽孢”;2010年初在北京召开的第二届全国名词审定会议上,与会委员认为两种译法可以通用。②芽孢虽不是繁殖体,却呈微小的孢子状,汉语部首中的“子”也常作“微小”或“颗粒状”

解。③学术名词宜稳定，除科学性存在严重错误外，一般还应遵循约定俗成的常规。④芽孢的英文词根“spore”原来就是“孢子”之意，国外也未因它不是繁殖体而更动词根或有所争议。⑤我国最新、最权威的工具书《辞海》（第6版，2009年）也一直沿用“芽孢”。

本书的出版得到了高等教育出版社生命科学分社领导的关注和大力支持，并得到赵晓媛、田军和孟丽等编辑的具体帮助、精致加工和热情鼓励；在成稿过程中，曾汲取了一些同行和青年学生提出的有益建议；此外，编写中的许多环节还得到笔者家人徐士菊、周韧稜和周韧刚等多方面的具体支持和帮助。在此，一并对他们表示由衷的感谢！

时代在进步，学科在发展，在个人的有限生命中，微生物学教材的建设曾是我一项极其钟爱并付出较大精力的甜美事业。眼前，虽仍怀童心和热情未减，甚至当看到国内外好教材时还如获至宝、爱不释手，但毕竟岁月不饶人，尤其是近年来因视力衰退等原因而迫使我不得不服老，并打算逐步辞别自己的写作生涯。

最后，我特别要向大批热爱微生物学、一贯支持我的同行、读者和朋友致以由衷和深切的谢意！

周德庆

2010年10月30日于复旦园



## 第2版前言

本书是拙作《微生物学教程》(1993年)的新版。该书自出版至今的近9年时间里,由于广大同行、青年学生的热情选用和高等教育出版社的大力扶持,年年重印,总数已近10万册。在此过程中,还获得过国家教委优秀教材一等奖、科技进步二等奖和上海市优秀教材二等奖等荣誉。为更好地跟上新世纪微生物学快速发展的步伐,以及适应我国高等教育面临的新形势,原有的教材必须作相应的修订和提高。

本书是一本基础课教材。在高等学校的教学活动中,基础课具有作用重要、受益面广和影响深远等特点。作者在承担本书的编撰任务时深感责任之重大,觉得不但应发扬“不用扬鞭自奋蹄”的老马精神,而且时时考虑到如何更好地把自己48年来,在学习微生物学和从事有关工作中的一些心得和资料积累加以精选,按初学者的认知规律编织一个较佳体系,利用较少的篇幅提供较全面和丰富的基础知识,并努力反映前沿进展,力求达到让学生花最少的时间获得最大的收益——看得懂、理得清、记得牢、用得上、学得乐。为此,在撰写过程中,除继续保持原教材的若干优点外,还着重注意以下几个方面:

1. 注意特色:努力保持基础性、系统性、先进性与可读性的有机统一。通过“照顾面而突出点”,“基础不能丢,前沿不可少”,“提高信息量和信息密度的同时,还应提高信息质量”,以及“按事物内在规律和人们的认识规律来编排体系”等措施,较好地处理了内容多与篇幅少、全面与简明、基础与前沿、历史与现状等种种矛盾,并初步闯出了自己的特色。

2. 追踪前沿:由于受知识的稳定性、学科的性质、出版周期和篇幅等所限,基础课教材一般对学科前沿的反映均较缓慢。本书编撰中较注意追踪前沿动态,为此,除参考多种国内外的新教材外,还注意收集专业刊物或因特网上的最新信息,例如,微生物基因组研究的进展、“三域学说”的新动态和《伯杰氏手册》(2000年版)的新系统等。

3. 重视数据:重要数据虽较难觅,却最为关键并最具说服力。为此,作者在“搜炼中外,厚积薄发”思想的指导下,长期注意收集本学科中的各种重要数据、最新数据和珍贵数据,再筛选其中最具有代表性的提供给读者参考。有关例证遍及全书,因此数据较丰富也成了本书的特色之一。

4. 化繁为简:如何把多而杂的内容转化成少而精的知识是每个基础课教师和教材编撰者的重要职责。本书作者试用了3种方式,包括尽量用自行设计的图示、表格或表解等形式把繁杂的内容网络化、条理化、简明化和形象化;采用“逐级抽提”

的方式,把大量琐碎的现象、事实加以逐级浓缩、提高,使之上升为条理化、规律化的知识;以及用类比、举例等方法,尽量达到化繁为简和化难为易的目的。基于正确理解专业名词是进行科学思维的基础,书中对每一重要名词不仅都用黑体标出,而且都注上英文并加上简明的定义,在书后还有较详细的索引备查。此外,对初学者较感生疏的各种符号的意义和规范表达方法也作了一一介绍,包括基因、基因表达产物、学名和菌株等,使基础课教材真正起到打好扎实基础的作用。

5. 重视历史:“读史使人明智”。除绪论中有较精练的历史知识外,还在有限篇幅内,对合适的内容作若干简明的历史知识或人物的简介,如著名的 Delft 学派, HeLa 细胞名称的由来以及“伤寒玛丽”等。

6. 启发思考:在书中不同章节和思考题中,设置了不少有启发性和可供讨论的问题,例如,关于用现代细胞工程是否能人工创造有内共生固氮体的植物细胞?人类在 21 世纪能否消灭传染病?等等。另外,为开拓思路、启发创新和引导青年发展我国的微生物学事业,书末还专门写了一篇“结束语”,内中较充分地讨论了本学科在新世纪中的任务和诱人前景。

7. 利读易记:为使本教材尽可能达到教师易教、学生喜学和成为广大读者案头上的挚友,全书在注意内容新颖、信息密集的同时,还注意做到层次分明、图表简洁、比喻贴切、文笔通顺和叙述有情等方面。此外,各章都写有小结和复习思考题,书末还附有 150 余个重要微生物学名的发音和参考书目等内容,相信这对学生的复习和巩固所学知识将大有裨益。

8. 紧缩篇幅:作者在对第一版内容作了全面的更新、充实和认真删、选的基础上,使本版在信息质量、数量和密度等方面都明显优于初版,但篇幅却不仅没有增加甚至还有所减少。这对广大学生提高学习效率和降低经济负担应该是有利的。

编撰本书任务即将告一段落,作者由衷地感谢高等教育出版社的林金安编审和吴雪梅编辑长期以来的密切合作以及对本书出版的热情支持和大力协助;感谢复旦大学教务处的领导和方家驹教授对本书编写工作的关怀和资助;感谢中国科学院微生物研究所程光胜研究员和上海杨浦区教育学院周韧刚老师为本书提供新的、有价值的参考资料;感谢我的夫人、复旦大学出版社徐士菊副编审自始至终的全力支持并担任全书的誊抄、校对和统稿等大量烦琐工作;此外,还应特别感谢所有曾对《微生物学教程》(1993 年版)作过推荐、评审和提过宝贵意见的同行和读者。

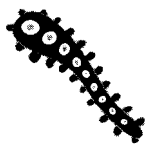
本书系个人独立撰写完成，其优点可能是前后思路较统一、内容不易重复、格式较为一致，但随之产生的缺点也是不言而喻的，诸如囿于个人的学识、水平和专长，难免孤陋寡闻，甚至出现差错。凡此种种，均赖广大师生和读者随时赐予宝贵意见。

周德庆

于复旦大学生命科学学院 微生物学和微生物工程系

2001年10月20日





# 第1版前言

在踏上普通微生物学讲台的30余年间,正值该学科在我国从初创到蓬勃发展的  
大好时机。在教学过程中,笔者有幸涉猎了国内外众多的教材,并大体领略了它的  
发展历程。

由于微生物学是一门历史较短、发展较快、纵(指其中阐述的生物学规律)横(指  
其中包含的各大类微生物)交错和广泛联系实际的学科,具有内容覆盖面广和跨度大  
等特点,因此在教材的编写中容易出现主线不清楚、体系不严密、层次不分明和  
内容多而杂等棘手问题。于是,在教材使用过程中,听到“看得懂、理不清、记不牢”  
等反映也就不足为奇了。

笔者认为,一本理想的基础课教材,除应具备较高的学术水平和努力克服上述  
几个难点外,还有其更高层次的教学目标:①让读者在头脑中建立起一个较牢固的  
“知识网络”;②使他们获得一个既有一定的深度和广度,又有一定的历史、现状和  
发展前景的“立体知识”;③努力启发、引导和培养他们的“战略意识”,使他们在  
本学科领域中能站得高一点,看得远一点,想得深一点和走得前一点。

本教程的编写,实际上是对自己多年来在教学思想、教学内容和教学方法等方  
面所作探索的一次总结。全书以阐明微生物的五大生物学规律(即形态构造、生理代  
谢、遗传变异、生态分布和分类进化)为主线,从细胞、分子或群体水平上去讲清概  
念、理顺脉络、阐明规律、突出“三点”(重点、难点和“生长点”),并努力联系  
实际。对其中重要的内容尽量以自行设计或精选的简明、直观和形象化的图示、表  
格或表解等形式来表达,借以提高信息密度和改善信息质量,进而达到有利于学生  
加深理解、增强记忆和乐于自学等目的。书中较有特色的80余张表解,就是作者在  
教学过程中自行总结且有较好教学效果的部分实例。

鉴于学名的重要性及国内学生对其有陌生感甚至存在畏惧心理的现实,全书对  
学名的表达(采用先学名后加括中文名)、学名知识的介绍(第十一章)及思考题的安  
排等均作了特别的考虑。

本书宜作综合性大学和师范等高校微生物学课程的教材,一般应将它安排在生  
物化学课以后学习。考虑到一本基础课教材除应有较强的系统性、先进性、通用性  
和稳定性外,还应有较强的独立性,因此本书所选内容在简明的前提下,没有把篇  
幅机械地限制在50余学时的框架内。希望各校在选用时视具体情况加以取舍;对若  
干描述性及与其他学科可能发生重复等的次要内容(用小号字排印),尤应放手让学  
生们自学、自行整理阅读笔记或干脆不讲。

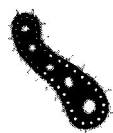
在本书的选题过程中,曾蒙国家教委所属原“微生物学教材编审小组”的支持;

在编写过程中，又得到高等教育出版社的领导和程名芬编审以及田年等同志的关心；此外，在成稿的过程中，徐士菊（复旦大学出版社副编审）、周韧稜和周韧刚同志曾为全书的誊抄、校对等大量烦琐工作付出了辛勤的劳动。在此，谨向他们致以诚挚的谢意。

限于本人的学识和水平，书中不当甚至错漏之处恐仍难免，望广大学生和同行随时赐教，以待日后再版时改进。

周德庆

1991. 9. 12 于复旦



# 目录

## 绪论 微生物与人类 /1

- 一、什么是微生物 /1
- 二、人类对微生物世界的认识史 /1
- 三、微生物学的发展促进了人类的进步 /5
- 四、微生物的五大共性 /7
- 五、微生物学及其分科 /10

本章小结 /11

重要名词 /11

复习思考题 /11

## 第一章 原核生物的形态、构造和功能 /13

### 第一节 细菌 /13

- 一、细胞的形态、构造及其功能 /14
- 二、细菌的群体形态 /34

### 第二节 放线菌 /35

- 一、放线菌的形态和构造 /35
- 二、放线菌的繁殖 /38
- 三、放线菌的群体特征 /38

### 第三节 蓝细菌 /38

### 第四节 枝原体、立克次氏体和衣原体 /40

- 一、枝原体 /40
- 二、立克次氏体 /41
- 三、衣原体 /41

本章小结 /42

重要名词 /43

复习思考题 /43

## 第二章 真核微生物的形态、构造和功能 /45

### 第一节 真核微生物概述 /45

- 一、真核生物与原核生物的比较 /46
- 二、真核微生物的主要类群 /47

三、真核微生物的细胞构造 /47

### 第二节 酵母菌 /54

- 一、酵母菌分布及与人类的关系 /54
- 二、酵母菌细胞的形态和构造 /54
- 三、酵母菌的繁殖方式和生活史 /55
- 四、酵母菌的菌落 /58

### 第三节 丝状真菌——霉菌 /58

- 一、霉菌分布及与人类的关系 /58
- 二、霉菌细胞的形态和构造 /58
- 三、真菌的孢子 /62
- 四、霉菌的菌落 /63

### 第四节 产大型子实体的真菌——蕈菌 /63

本章小结 /65

重要名词 /66

复习思考题 /66

## 第三章 病毒和亚病毒因子 /67

### 第一节 病毒 /67

- 一、病毒的形态、构造和化学成分 /68
- 二、病毒的分类 /71
- 三、4类病毒及其繁殖方式 /73

### 第二节 亚病毒因子 /79

- 一、类病毒 /80
- 二、拟病毒 /80
- 三、卫星病毒 /81
- 四、卫星 RNA /81
- 五、朊病毒 /82

### 第三节 病毒与实践 /83

- 一、噬菌体与发酵工业 /83
- 二、昆虫病毒用于生物防治 /83
- 三、病毒在基因工程中的应用 /83

本章小结 /85

重要名词 /85  
复习思考题 /86

## 第四章 微生物的营养和培养基 /87

### 第一节 微生物的6类营养要素 /87

- 一、碳源 /87
- 二、氮源 /88
- 三、能源 /89
- 四、生长因子 /90
- 五、无机盐 /90
- 六、水 /91

### 第二节 微生物的营养类型 /91

### 第三节 营养物质进入细胞的方式 /92

- 一、单纯扩散 /92
- 二、促进扩散 /93
- 三、主动运送 /93
- 四、基团移位 /93

### 第四节 培养基 /96

- 一、选用和设计培养基的原则和方法 /96
- 二、培养基的种类 /100

本章小结 /104

重要名词 /105

复习思考题 /105

## 第五章 微生物的新陈代谢 /106

### 第一节 微生物的能量代谢 /106

- 一、化能异养微生物的生物氧化和产能 /106
- 二、自养微生物产ATP和产还原力 /124

### 第二节 分解代谢和合成代谢的联系 /130

- 一、两用代谢途径 /130
- 二、代谢物回补顺序 /131

### 第三节 微生物独特合成代谢途径举例 /133

- 一、自养微生物的CO<sub>2</sub>固定 /133
- 二、生物固氮 /136
- 三、微生物结构大分子——肽聚糖的生物合成 /141

- 四、微生物次生代谢物的合成 /144

### 第四节 微生物的代谢调节与发酵生产 /146

- 一、微生物的代谢调节 /146
- 二、代谢调节在发酵工业中的应用 /146

本章小结 /148

重要名词 /149

复习思考题 /149

## 第六章 微生物的生长及其控制 /151

### 第一节 测定生长繁殖的方法 /151

- 一、测生长量 /151
- 二、计繁殖数 /152

### 第二节 微生物的生长规律 /153

- 一、微生物的个体生长和同步生长 /153
- 二、单细胞微生物的典型生长曲线 /153
- 三、微生物的连续培养 /157
- 四、微生物的高密度培养 /159

### 第三节 影响微生物生长的主要因素 /160

- 一、温度 /160
- 二、氧气 /161
- 三、pH /164

### 第四节 微生物培养法概论 /166

- 一、实验室培养法 /166
- 二、生产实践中培养微生物的装置 /170

### 第五节 有害微生物的控制 /171

- 一、几个基本概念 /171
- 二、物理灭菌因素的代表——高温 /173
- 三、化学杀菌剂、消毒剂和治疗剂 /176

本章小结 /183

重要名词 /184

复习思考题 /184

## 第七章 微生物的遗传变异和育种 /186

### 第一节 遗传变异的物质基础 /187

- 一、3个经典实验 /187
- 二、遗传物质在微生物细胞内存在的部位和形式 /189

### 第二节 基因突变和诱变育种 /198

- 一、基因突变 /198
- 二、突变与育种 /208

### 第三节 基因重组和杂交育种 /217

- 一、原核生物的基因重组 /217
- 二、真核微生物的基因重组 /225

### 第四节 基因工程 /227

- 一、基因工程定义 /228
- 二、基因工程的基本操作 /228
- 三、基因工程的应用 /230

### 第五节 菌种的衰退、复壮和保藏 /231

- 一、菌种的衰退与复壮 /231
- 二、菌种的保藏 /233

本章小结 /236

重要名词 /236

复习思考题 /237

## 第八章 微生物的生态 /239

### 第一节 微生物在自然界中的分布与菌种资源的开发 /239

- 一、微生物在自然界中的分布 /239
- 二、菌种资源的开发 /250

### 第二节 微生物与生物环境间的关系 /251

- 一、互生 /251
- 二、共生 /253
- 三、寄生 /254
- 四、拮抗 /256
- 五、捕食 /256

### 第三节 微生物的地球化学作用 /256

- 一、碳素循环 /257
- 二、氮素循环 /258
- 三、硫素循环与细菌沥滤 /259
- 四、磷素循环 /261

### 第四节 微生物与环境保护 /261

- 一、水体的污染——富营养化 /262
- 二、用微生物治理污染 /262
- 三、沼气发酵与环境保护 /266
- 四、用微生物监测环境污染 /272

本章小结 /272

重要名词 /273

复习思考题 /274

## 第九章 传染与免疫 /275

### 第一节 传染 /275

- 一、传染与传染病 /275
- 二、决定传染结局的三大因素 /276
- 三、传染的3种可能结局 /281

### 第二节 非特异性免疫 /282

- 一、表皮和屏障结构 /283
- 二、吞噬细胞及其吞噬作用 /283
- 三、炎症反应 /286
- 四、正常体液或组织中的抗菌物质 /286

### 第三节 特异性免疫 /288

- 一、免疫器官 /289
- 二、免疫细胞及其在免疫应答中的作用 /290
- 三、免疫分子及其在体液免疫中的作用 /295

### 第四节 免疫学方法及其应用 /309

- 一、抗原、抗体反应的一般规律 /310
- 二、抗原、抗体间的主要反应 /311
- 三、免疫标记技术 /315

### 第五节 生物制品及其应用 /317

- 一、人工自动免疫类生物制品 /318
- 二、人工被动免疫类生物制品 /321

本章小结 /322

重要名词 /323

复习思考题 /324

## 第十章 微生物的分类和鉴定 /326

### 第一节 通用分类单元 /326

- 一、种以上的系统分类单元 /326
- 二、学名 /328
- 三、亚种以下的几个分类名词 /330

### 第二节 微生物在生物界的地位 /331

- 一、生物的界级分类学说 /331
- 二、三域学说及其发展 /333

### 第三节 各大类微生物的分类系统纲要 /335

- 一、Bergey氏原核生物分类系统纲要 /335
- 二、Ainsworth等人的菌物分类系统纲要 /342

### 第四节 微生物分类鉴定的方法 /344

- 一、微生物分类鉴定中的经典方法 /344
- 二、微生物分类鉴定中的现代方法 /347

本章小结 /353

重要名词 /354

复习思考题 /354

## 结束语 微生物学的展望 /357

- 一、微生物在解决人类面临的五大危机中的作用 /357
- 二、现代微生物学的特点及其发展趋势 /359
- 三、微生物在“生命科学世纪”中的作用 /361
- 四、大力开展我国微生物学研究 /362
- 五、学好微生物学，推动人类进步 /363

## 附录一 知、技、力、情——提高讲课质量的四要素 /364

## 附录二 考试心得点滴 /367

索引 /370

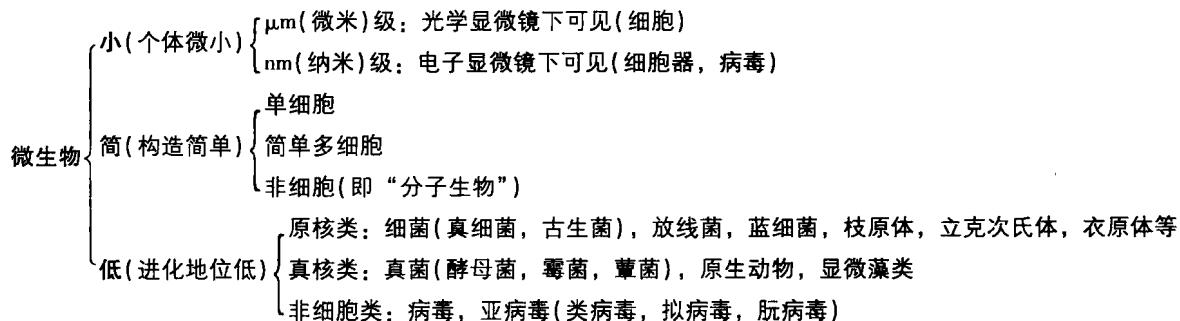
参考书目 /385



# 绪论 微生物与人类

## 一、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, 故其成员就十分庞杂, 粗分起来, 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”)、枝原体(又称支原体)、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)。现表解如下:



## 二、人类对微生物世界的认识史

认识世界是科学(science)的根本任务, 而改造世界则是技术(technology)的根本任务, 两者是源与流的关系, 密不可分, 共同组成了“第一生产力”。那么, 微生物学这门科学是何时、何地、何人, 又是如何发展起来的呢?

### (一) 一个难以认识的微生物世界

人类对动、植物的认识, 可以追溯到人类的出现。可是, 对数量无比庞大、分布极其广泛并始终包围在人体内外的微生物却长期缺乏认识。例如, 你是否会想到一个刚离开娘肚的新生儿, 在其呱呱坠地的瞬间, 就有多种微生物从其四周趁机赶上, 争先恐后地前来“圈地”、“瓜分”和“占领”这一无菌“动物”的口腔、消化管、呼吸道、泌尿生殖道和皮肤等“风水宝地”, 并从此发展成两者须臾不可分离的人体正常

菌群或终生伴生微生物？又如，你是否想到过，在我们每天的食物和饮料中，竟有这么多的微生物及其产物在默默地为我们提供可口的滋味、丰富的营养和健康的保障？原来，我们面前琳琅满目的食品——酸奶、酒类、馒头、面包、蛋糕、干酪、酱油、味精、食醋、泡菜、腐乳和各种食用菌等都是由微生物加工而成的或本身就是微生物？再如，你是否想到过，在我们每天约2万次的呼吸活动中，有多少种微生物在进进出出，它们与人体发生些什么关系？此外，当我们偶遇病原菌侵袭而不幸染上传染病时，你是否意识到我们体内正在与微生物进行一场悄然无声的战争？而在治疗过程中，又是否知道那些疗效最好的药物，大多数都是由微生物产生的抗生素？至于包围着整个地球表层的土壤圈、水圈和大气圈，其中包含着的难以计数的微生物与地球生态平衡、地球化学循环、农牧渔业生产以及与人类和动植物传染病的关系，更是常人难以感知的。因此，在微生物学创建之前，人类曾长期处于“身在菌中不知菌”或“微盲”（微生物知识盲）的无知状态，而即使在微生物学十分发达的今天，也还有相当数量的人群仍处于“身在菌中不知菌”的迷惘状态。

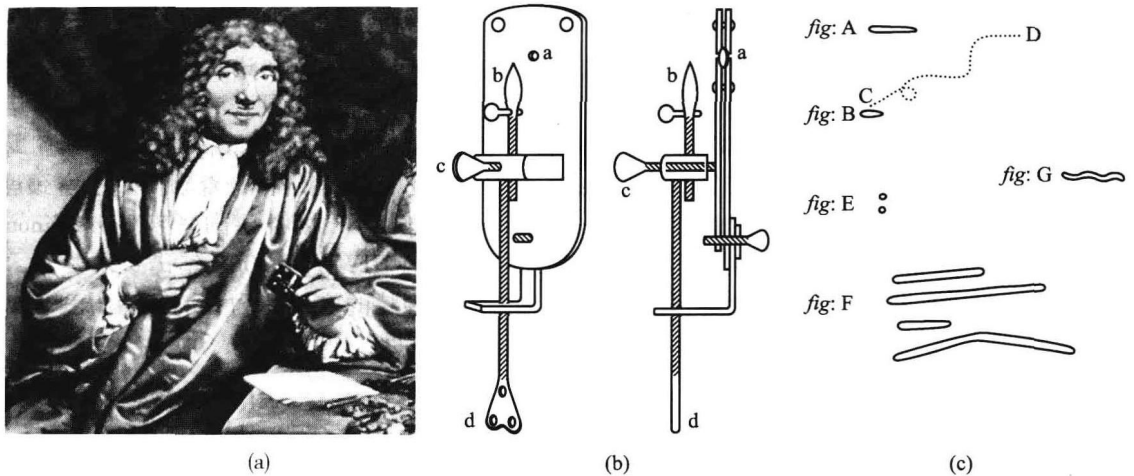
处于“微盲”状态的人类，对其身边万分活跃的微生物世界只能表现出“视而不见，嗅而不闻，触而不觉，食而不察，得其益而不感其恩，受其害而不知其恶”的愚昧状态。这从人类历史上曾遭遇过多次严重瘟疫而大批死亡的惨痛事实就可充分说明，例如鼠疫（黑死病）、天花、肺结核（白疫）、流感、疟疾和梅毒等的大流行。直到今天，多种新发传染病（emerging infectious disease）和再现传染病（re-emerging infectious disease）还在疯狂地侵扰和残害人类，例如艾滋病、萨斯（severe acute respiratory syndrome, SARS, 严重急性呼吸系统综合征）、禽流感、疯牛病、乙型肝炎和结核病等。在人类历史上，因传染病的大流行而造成的死亡人数要大大地超过两次世界大战的死亡人数。例如，6世纪、14世纪和20世纪初的3次鼠疫流行共殃及近2亿人口，而第一、二次世界大战的死亡人数共约7350万（分别为1850万和5500万）；发生于1918—1919年的“西班牙流感”曾导致5000万以上人口的死亡；被称为“世纪瘟疫”或“黄色妖魔”的艾滋病，自1981年在美国发现后，迅速向全世界各处蔓延，至今已导致约4000万人的死亡（2008年）；此外，在19世纪中叶，由于欧洲过分偏重种植高产作物马铃薯，在1845—1846年的收获季节恰遇气候异常、潮湿多雨，终于导致马铃薯晚疫病大面积流行，最终造成了历史上著名的“爱尔兰大饥荒”，毁灭了当地5/6的马铃薯，致使爱尔兰的800万人口中，直接饿死或间接病死了150万人，另有164万人逃往北美谋生。由此可见，作为生物圈中最高级物种的人类，若因微生物的个体渺小和行为的变幻莫测而不加研究，则当遇到这些自然界中最小、最低级的物种对人类进行肆虐时，就会显得极其虚弱甚至不堪一击！

微生物难以认识的主要原因有以下4个：

(1) 个体微小 细菌是一类典型的微生物，其细胞的直径一般只有0.5~1.0 μm（微米），大约是人发直径的1/60~1/120；一个杆菌的长度通常为2.0 μm，仅相当于一颗芝麻长度的1/1500；无细胞构造的病毒颗粒，其直径仅约为细菌的1/10。因此，必须用光学显微镜来观察细菌，而病毒则只能借助电子显微镜来观察了。在人类历史上迈开可喜第一步即用自己的肉眼观察到微生物细胞（尤其是细菌）的人是荷兰业余科学爱好者安东尼·列文虎克（Antoni van Leeuwenhoek, 1632—1723）。他用自己制作的放大率约200倍的一个透镜装在金属附件中，组成一架单式显微镜，于1676年首次看到了细菌，并作图记录了这一划时代的结果（图绪-1）。由于列文虎克首次克服了人类认识微生物世界的第一个难关——“个体微小”，使人类初步踏进了微生物世界的大门，所以我们称他为“微生物学的先驱者”。

(2) 外貌不显 在高等生物特别在动物中，从其外貌特征往往就可判断其生活习性。微生物的个体因其微小而为人眼所不可见，但其群体形态则可以长得很大，形成特征鲜明、人眼易见的菌落、菌苔或子实体，可是在微生物学创建之前，这些形态仍属平淡无奇，无法激起人们去深入研究它的好奇心。

(3) 杂居混生 在自然条件下，微生物一般都是许多种相互杂居混生在一起的，如果对这类“乌合之众”的群落不进行纯种分离，人们就无法了解某一微生物的具体生命活动及其对人类的影响（如引起人类或动、植物病害，器材霉腐，食品酿造等）。在微生物学发展史上，德国医生罗伯特·科赫（Robert



图绪-1 列文虎克及其单式显微镜

(a) 列文虎克像, (b) 单式显微镜(a为透镜, b为装样针, c和d为调焦螺旋), (c) 各种口腔细菌

Koch, 1843—1910)及其学派在对“杂居混生”微生物进行纯种分离方面的贡献最为突出。他们用琼脂配制对分离细菌十分有效的固体培养基(须预先灭菌),以划线方式进行样品稀释,从而可轻而易举地在琼脂平板上获得某一微生物的纯种菌落。由此解决了阻碍研究微生物的“杂居混生”难题,此后,大批“微生物猎人”才有可能把多种长期与人作恶的病原微生物尤其是细菌一一揪出来示众,并开创了一个发现大批病原细菌的“黄金时期”。因此,科赫可称为是细菌学(实为医学微生物学)的奠基人(图绪-4)。

(4) 因果难联 在微生物学创立之前,要从诸多表面现象中判断其原始动因是否由微生物所引起,实是一件绝不可能办到的事。例如食物为何腐败?酒类何以酿成?鼠疫为何流行?即使在微生物学已十分发达的今天,当遇到教科书上还未记载过的新现象时,由于“因果难联”的存在,总是令无数学者煞费苦心,他们往往经过无数艰难曲折,最终才有极少数幸运者赢得了成功。这方面的故事特别多,对我们的启迪也特别大,而且相信今后将有无数的这类重大问题在等待着一代代青年微生物学家去解决。以下只选择一个最经典的和几个最新的例子来说明。

在19世纪中叶,虽然经过数世纪的争论和若干实验,但不论在东方或西方,对生命起源仍盛行古老的自然发生说(spontaneous generation theory, 又称无生源论),如“腐肉生蛆”、“腐草化萤”或“谷仓生鼠”等的说法,特别认为煮沸后的肉汤会很快腐败并产生细菌更是这类学说的最有力例证。当时,只有极少数学者确信一切生命都以其特有的“种子”(germ, 胚种)而代代相传的。法国科学家路易·巴斯德(Louis Pasteur, 1822—1895, 图绪-2)就是其中最杰出的代表。巴斯德针对前人煮沸肉汤后必须将容器长期密封才能防止“自然发生”,从而认为空气是自然发生的关键因素的论点,设计了一个既可允许空气自由进入容器又可阻止容器内无菌肉汤不能“自然发生”生命(腐败)的简便、巧妙的曲颈瓶(swan neck flask, Pasteur flask)试验(图绪-3),令人信服地证实了肉汤腐败产生大量细菌的原因只是接种了来自空气中的微生物“胚种”,从而于1861年发表论文和推翻了历史上流传已久的顽固的自然发生说,并确立了生命来自生命的胚种学说(germ theory, 又称生源论)。以巴斯德的曲颈瓶试验为标志,一门新的富有生命力的学科——微生物学终于建立起来了;与此相伴的

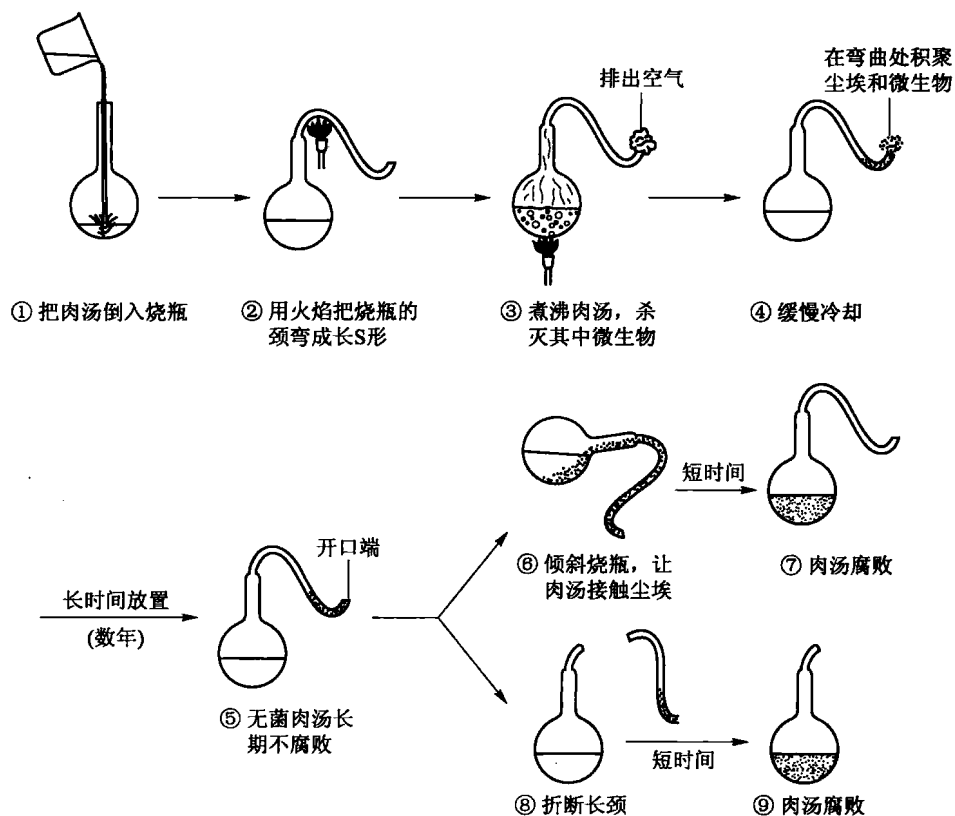


图绪-2 微生物学的奠基人——巴斯德



一项具有微生物学特色、应用广泛的消毒灭菌技术也奠定了坚实的理论基础，故巴斯德当之无愧地可称为微生物学的奠基人。

在微生物学发展史上，因这类因果问题的解决而作出重大创新进而获得诺贝尔奖的例子很多，近年来尤为明显，如美国学者 S. B. Prusiner 因深究绵羊瘙痒病的病因而发现朊病毒(获 1997 年诺贝尔奖)，澳大利亚学者 B. Marshall 和 R. Warren 因探索胃炎、胃溃疡等胃病的原因而发现了幽门螺杆菌 (*Helicobacter pylori*, Hp)(获 2005 年诺贝尔奖)，德国学者哈拉尔德·楚尔·豪森因研究宫颈癌的病因而发现了人乳头瘤病毒 (HPV) 的致癌作用(获 2008 年诺贝尔奖)，以及法国学者 Barré-Sinoussi 和 Luc Montagnier 因研究艾滋病的病因而发现了人类免疫缺陷病毒 (HIV)(获 2008 年诺贝尔奖)，等等。由此可知，这些学者们执著的科学精神、创造性的思维方法和独特的实践能力，的确值得我们认真思考和好好学习。



图籍-3 奠定微生物学基础的巴斯德曲颈瓶试验

①~③对烧瓶内的肉汤进行煮沸灭菌；④⑤若让烧瓶保持正位，肉汤不会腐败；⑥⑦若使烧瓶倾斜，让无菌肉汤与颈部灰尘接触，或⑧⑨折断颈部而让空气直接进入瓶内，则肉汤迅速腐败

## (二) 微生物学发展史

整个微生物学发展史是一部逐步克服上述认识微生物的 4 个障碍(如显微镜的发明，灭菌技术的运用，纯种分离和培养技术的建立等)，不断探究它们的生命活动规律，并开发、利用有益微生物以及控制、消灭有害微生物的历史。现扼要地将它分为 5 个时期(表绪-1)。