



面向 21 世纪 课程 教材

Textbook Series for 21st Century

食品微生物学

何国庆 贾英民 主编



中国农业大学出版社

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

食品微生物学

何国庆 贾英民 主编

中国农业大学出版社
·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

食品微生物学/何国庆, 贾英民主编. —北京: 中国农业大学出版社, 2002.8
ISBN 7-81066-441-7/Q·8
面向 21 世纪课程教材

I. 食... II. ①何... ②贾... III. 食品-微生物学
IV. TS201.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 056031 号

出版 中国农业大学出版社
发行 新华书店
经销 新华书店
印刷 莱芜市圣龙印务书刊有限责任公司
版次 2002 年 8 月第 1 版
印次 2002 年 8 月第 1 次印刷
开本 16 印张 24.25 千字 444
规格 787×980
印数 1~5050
定价 27.50 元

图书如有质量问题本社负责调换

社址 北京市海淀区圆明园西路 2 号 邮政编码 100094
电话 010-62892633, 62893089 网址 www.cau.edu.cn

主 编 何国庆 贾英民
副 主 编 李平兰 孔庆学 贺稚非
参编人员 (按姓氏笔画排列)
牛天贵 中国农业大学
孔庆学 天津农学院
石木标 华南农业大学
刘书亮 四川农业大学
李 平 安徽农业大学
李平兰 中国农业大学
何国庆 浙江大学
贺稚非 西南农业大学
郝 林 山西农业大学
贾英民 河北农业大学

全国高等农业院校食品
专业“面向 21 世纪课程”系列教材
编审指导委员会委员

- 罗云波 中国农业大学教授博士生导师 (生物技术)
孙远明 华南农业大学教授博士生导师 (食品营养)
陈宗道 西南农业大学教授博士生导师 (食品化学)
李里特 中国农业大学教授博士生导师 (食品工程)
李新华 沈阳农业大学教授博士生导师 (粮油加工)
李士靖 中国食品科学技术学会副秘书长教授
李云飞 上海交通大学教授博士生导师 (食品工程)
何国庆 浙江大学教授博士生导师 (食品微生物)
杨公明 西北农林科技大学教授博士生导师 (食品工程)
周光宏 南京农业大学教授博士生导师 (畜产品加工)
林家栋 中国农业大学教授全国高等学校教学研究中心特聘专家
南庆贤 中国农业大学教授博士生导师 (畜产品加工)
谢笔钧 华中农业大学教授博士生导师 (食品化学)

出版说明并代序

我国农业结构的调整,解决农村、农业、农民的发展出路,已将农产品的贮藏加工及食品科学推到了举足轻重的位置,成为拉动农业产业化、提高农产品附加值以及实现国家现代化的牵引力。而大专院校食品科学各专业的教学工作为这种牵引力提供了人才保障。

全国高等农业院校的食品学科大多建立于20世纪80年代改革开放的初期,经过近20年的发展,现已成为我国食品科学人才培养的最为重要的人才基地。农业院校的食品学科之所以能快速发展,后来居上,成为我国食品科学的主要力量,其主要原因是:食品科学与生物学科广泛地联系在一起。农业院校的食品学科得益于它植根于生物科学学科群之中,借助于生物科学飞速发展的翅膀而不断地深化自己的研究内容,提高自己的学科水平。

在学科发展的起步阶段,教学工作一直沿用过去轻工院校所编写的食品工程专业教材。然而,经过20年的发展,这些教材已经远远不能适应今天的教学需要。虽然各院校针对这种情况也曾先后编写过一些教材,但终因不成体系,很难系统地将食品学科内容广泛的课程体系和教学内容很好地衔接起来。要培养面向21世纪的高素质食品科学人才,迫切地需要将现代生物学理论与食品科学紧密地结合在一起,编写一套理论性和实践性俱强的完整教材。

这套教材正是在这样的背景和需要的前提下,在教育部、农业部有关领导部门的指导下,通过全国40多所院校在第一线的教师的共同努力下,由中国农业大学出版社组织编写而成的。教材力求反映最新的食品科学的理论与实践,同时针对食品科学是多学科集成的优点,特别注重了教材的系统性,避免课程教学内容的重复;针对食品科学实践性强的特点,教材中使用了较多的案例分析。在写作方式上,力求教材能启发学生的主动思考能力,培养学生的创新思维能力。

这套教材还得到了食品学界一批有声望的老专家、老教授的关怀和指导。由于时间紧、任务重,加之该教材体系初次建立,使用效果怎样,还要在实践中去检验。随着学科不断发展,其内容也需要不断地修改补充,编者真诚地期待着使用这套教材的教师和同学们能够提出宝贵意见,以使这套教材充实和得以完善。

罗云波

2002年7月

于马连洼

前 言

食品微生物学是研究与食品有关的微生物以及微生物与食品关系的一门科学，它包括的内容主要有：微生物学的基础知识；有益微生物在食品加工过程中的应用；有害微生物在食品加工、储藏等过程的预防和消除等。随着微生物学及生命科学的迅速发展，食品微生物学也从中获得了许多新的知识和新的技术，并应用这些新知识和新技术来生产更多富有营养和安全的食品，如生物工程技术已广泛地应用于食品储藏、加工以及食品安全检测方面，并已取得了许多成果。我国已于2001年11月10日加入WTO (World Trade Organization)，因此食品微生物学的研究也将进入一个新时代，这对我们编写这本教材提出了更高的要求。本书先后组织了不同院校的10多位专家参加编写，所编写部分均为各自所熟悉的的教学或科研内容，涉及面广，突出了“新”字，使学生便于了解学科的前沿发展。

本书的编写过程除考虑了以上几个方面外，还突出了如下特点：

1. 内容的取舍和编排上突出重点，尽量删除陈旧的内容。本书参考文献要求新且广。另外，要求每位编写人员都要结合自己的教学科研成果编写，尽量把学科前沿知识介绍给学生。
2. 在编写形式上，力求便于学生掌握知识和提高自学能力，每章开始都有学习目的与要求，结尾附有少而精的思考题，以方便学生巩固所学知识，举一反三，活学活用。
3. 食品微生物学是一门应用性很强的专业基础课，在编写内容上考虑了该门课的特点，尽量做到理论与生产实际相结合，图文并茂，以

培养学生学习兴趣。

本教材是高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革项目 (04 - 10) 研究成果。

参加本书编写的有:何国庆、贾英民、石木标、贺稚非、李平、牛天贵、孔庆学、郝林、李平兰、刘书亮等。浙江大学食品科学与工程学院博士研究生丁立孝和硕士研究生孔青参与了全书统稿和校对工作,特此致谢。同时也要对中国农业大学出版社的大力支持表示谢意。

本书适宜作为有关院校食品专业的本科教材,也可以供相关专业的研究生、科研人员及生命科学专业的师生参考。

由于编者水平和时间有限,缺点和错误在所难免,请广大读者和同行专家提出宝贵意见。

编 者

2001.11

于浙江大学华家池校区

第 1 章 绪论	1
1 微生物的概念及其在生物分类中的地位	2
1.1 微生物的概念.....	2
1.2 微生物在生物分类中的地位.....	2
2 微生物的生物学特性	3
2.1 代谢活力强.....	4
2.2 繁殖快.....	4
2.3 种类多、分布广.....	5
2.4 适应性强、易变异.....	5
3 微生物学及其主要分支学科	6
4 微生物学的形成和发展	7
4.1 微生物学的形成和发展.....	7
4.2 我国微生物学的发展	11
5 食品微生物学研究的内容与任务.....	12
5.1 食品微生物学研究的内容	12
5.2 食品微生物学的任务	12
思考题.....	13
第 2 章 微生物主要类群及其形态与结构	14
1 原核微生物与真核微生物的概念及其主要区别.....	15
2 原核微生物的形态、结构及其生理功能.....	16
2.1 细菌	16

2.2	放线菌	39
2.3	其他原核生物类群	43
3	真核微生物的形态、结构及其生理功能	46
3.1	霉菌	47
3.2	酵母菌	64
4	非细胞生物——病毒	73
4.1	病毒的形态结构及主要类群	74
4.2	噬菌体	82
	思考题	88
第3章	微生物的营养与代谢	90
1	微生物的营养	91
1.1	微生物细胞的化学组成和营养要素	91
1.2	微生物对营养物质的吸收	94
1.3	微生物的营养类型	97
1.4	培养基	100
2	微生物的代谢	103
2.1	微生物的能量代谢	104
2.2	微生物的分解代谢	106
2.3	微生物发酵的代谢途径	118
2.4	微生物独特的合成代谢	123
	思考题	126
第4章	微生物的生长	128
1	微生物生长	129
1.1	微生物生长的概念	129
1.2	微生物生长量的测定	129
1.3	微生物的群体生长规律	131
2	环境因素对微生物生长的影响	138
2.1	温度	139
2.2	干燥	145
2.3	渗透压	146
2.4	辐射	146
2.5	pH 值	147
2.6	O ₂	149

2.7 超声波	150
2.8 化学消毒剂	151
思考题	152
第5章 微生物的遗传变异与菌种选育	154
1 微生物遗传变异的物质基础	155
1.1 遗传和变异的物质基础	155
1.2 DNA的结构与复制	158
1.3 遗传物质的存在形式	162
2 微生物的基因突变	163
2.1 突变的类型	164
2.2 基因突变的特点	167
2.3 基因突变的机制	168
3 微生物的基因重组	174
3.1 原核生物的基因重组	174
3.2 噬菌体的基因重组	181
3.3 真核微生物的基因重组	183
4 微生物的菌种选育	184
4.1 自然界工业菌种筛选程序	185
4.2 微生物的诱变育种	188
4.3 微生物的杂交育种	195
4.4 原生质体育种	197
4.5 基因工程技术用于工业菌种改良	198
5 微生物菌种保藏及复壮	199
5.1 微生物菌种保藏	199
5.2 菌种的退化与复壮	204
思考题	207
第6章 微生物的生态	208
1 微生物在自然界中的分布	209
1.1 土壤中的微生物	209
1.2 水体中的微生物	211
1.3 空气中的微生物	213
1.4 食品中的微生物	215
1.5 生物体内外的正常菌群	219

思考题	224
第7章 在食品制造中的主要微生物及其应用	225
1 食品制造中的主要细菌及其应用	226
1.1 食醋	226
1.2 发酵乳制品	232
1.3 氨基酸发酵	234
1.4 谷氨酸发酵	235
1.5 黄原胶	238
2 食品制造中的酵母及其应用	242
2.1 面包	242
2.2 酿酒	248
2.3 葡萄酒	253
2.4 酵母细胞的综合利用	257
3 食品制造中的霉菌及其应用	258
3.1 生产用霉菌菌种	258
3.2 酱类	259
3.3 酱油	260
3.4 柠檬酸	265
3.5 苹果酸	270
4 食品制造中的主要微生物酶制剂及其应用	273
4.1 主要酶制剂、用途及产酶微生物	273
4.2 微生物酶制剂生产	274
4.3 酶制剂在食品工业中的应用	281
思考题	284
第8章 食品微生物污染及其主要变质微生物	286
1 污染食品的微生物来源及其途径	287
1.1 污染食品的微生物来源	287
1.2 微生物污染食品的途径	292
1.3 食品中微生物的消长	294
2 食品的细菌污染	295
2.1 食品中常见的细菌	295
2.2 食品中细菌数量及其食品卫生学意义	306
2.3 大肠菌群及其食品卫生学意义	307

3 霉菌及其毒素对食品的污染	308
3.1 霉菌产毒的特点	309
3.2 主要产毒霉菌	309
3.3 主要的霉菌毒素	311
3.4 霉菌及其毒素的食品卫生学意义	316
思考题	317
第9章 食品腐败变质及其控制	318
1 食品的腐败与变质	319
1.1 微生物引起食品变质的基本条件	319
1.2 食品腐败变质的化学过程	327
1.3 食品腐败变质的鉴定	330
1.4 腐败变质食品的卫生学意义及处理原则	333
1.5 各类食品的腐败变质	333
2 食品腐败变质的控制	342
2.1 食品的防腐保藏技术	343
2.2 食品防腐保鲜理论	362
2.3 加强食品企业的卫生管理	366
思考题	371
参考文献	372

绪 论

本章的学习目的与要求

掌握微生物的概念和生物学特性及其在生物分类中的地位；了解微生物学和其
主要分支学科、微生物学的形成与发展以及食品微生物学研究的内容与任务。

1 微生物的概念及其在生物分类中的地位

1.1 微生物的概念

微生物(microorganism, microbe)一词并非生物分类学上的专门名词,而是指大量的、极其多样的、不借助显微镜看不见的微小生物类群的总称。因此,微生物通常包括病毒、细菌、真菌、原生动物和某些藻类,它们的大小和特征见表 1-1。

表 1-1 微生物形态、大小和细胞类型

微生物	大小近似值	细胞特征
病毒	0.01~0.25 μm	非细胞
细菌	0.1~10 μm	原核生物
真菌	2 μm 至 1 m	真核生物
原生动物	2~1 000 μm	真核生物
藻类	1 μm 至几米	真核生物

但是有些例外,如许多真菌子实体、蘑菇等常肉眼可见;相同的,某些藻类能生长几米长。一般来说,微生物可以认为是相当简单的生物,大多数的细菌、原生动物、某些藻类和真菌是单细胞的微生物,即使为多细胞的微生物,也没有许多的细胞类型。病毒甚至没有细胞,只有蛋白质外壳包围着的遗传物质,且不能独立生活。

1.2 微生物在生物分类中的地位

在生物发展的历史上,曾把所有的生物分为动物界和植物界 2 大类。而微生物,不仅形体微小、结构简单,而且它们中间有些类型像动物,有些类型像植物,还有些类型既有动物的某些特征,又具有植物的某些特征,因而归于动物或

植物都不合适。于是,1866年海克尔(Haeckel)提出区别动物界与植物界的第三界——原生生物界。它包括藻类、原生动物、真菌和细菌。

随着科学的发展,新技术和研究方法的应用,尤其是电子显微镜和超显微结构研究技术的应用,发现了生物的细胞核有2种类型:一种是没有真正的核结构,称为原核,其细胞不具核膜,只有一团裸露的核物质;另一种是由核膜、核仁及染色体组成的真正的核结构称为真核。动物界、植物界及原生生物界中的大部分藻类、原生动物和真菌是真核生物,而细菌、蓝细菌则是原核生物。真核生物和原核生物不仅细胞核的结构不同,而且其性状也有差别,真核生物和原核生物性状的比较内容将在第2章详细介绍。

根据核结构的不同,1969年魏塔科(Whittaker)提出五界系统,即动物界、植物界、原生生物界、真菌界和原核生物界。五界系统的生物都有细胞结构。病毒作为一界被提出的较晚,主要原因是:①病毒和类病毒是生物还是非生物,是原始类型还是次生类型是长期争论未决的问题;②病毒不是用双命法,分类不用阶元系统。但经过长期研究发现,病毒和细胞型生物具有共同特性:①遗传物质是DNA(部分病毒是RNA);②使用共同的遗传密码。在此基础上,我国学者于1979年提出将无细胞结构病毒立为病毒界,从而建立了六界系统。

细胞型生物

动物界(Animalia)

植物界(Plantae)

原生生物界(Protista):原生动物、大部分藻类及黏菌

真菌界(Fungi):酵母、霉菌

原核生物界(Prokaryotae):细菌、放线菌、蓝细菌等

非细胞型生物

病毒界(Viralia)

2 微生物的生物学特性

微生物虽然个体小、结构简单,但它们具有与高等生物相同的基本生物学特性。微生物种类多,数量大,分布广,繁殖快,代谢能力强,是自然界中其他任何生物不可比拟的,而且这些特性归根结底是与微生物体积小、结构简单有关。

2.1 代谢活力强

微生物体积小，单位体积表面积大，因而微生物能与环境之间迅速进行物质交换，吸收营养和排泄废物，而且有最大的代谢速率。从单位质量来看，微生物的代谢强度比高等生物大几千倍到几万倍。如发酵乳糖的细菌在 1 h 内可分解其自重 1 000~10 000 倍的乳糖。

微生物的这个特性为它们的高速生长繁殖和产生大量代谢产物提供了充分的物质基础，从而使微生物有可能更好地发挥“活的化工厂”的作用。人类对微生物的利用主要体现在它们的生物化学转化能力。

2.2 繁殖快

微生物繁殖速度快，易培养，是其他生物不能比的。如 *Escherichia coli* (大肠埃希氏菌，简称大肠杆菌)，其细胞在合适的生存条件下，每分裂 1 次的时间是 12.5~20.0 min。如按 20 min 分裂 1 次计，则每小时分裂 3 次，每昼夜可分裂 72 次，后代数为：4 722 366 500 万亿个 (重约 4 722 t)，48 h 为 2.2×10^{43} (约等于 4 000 个地球之重)。

事实上，由于种种客观条件的限制，细菌的指数分裂速度只能维持数小时，因而在液体培养中，细菌的浓度一般仅能达到每毫升 $10^8 \sim 10^9$ 个。

微生物的这一特性在发酵工业上具有重要的实践意义，主要体现在它的生产效率、发酵周期短上。而且大多数微生物都能在常温常压下，利用简单的营养物质生长，并在生长过程中积累代谢产物，不受季节限制，可因地制宜、就地取材，这就为开发微生物资源提供了有利的条件。如生产用做发面鲜酵母的 *Saccharomyces cerevisiae* (酿酒酵母)，其繁殖速度不算太高(2 h 分裂 1 次)，但在单罐发酵时，几乎每 12 h 即可收获 1 次，每年可“收获”数百次，这是其他任何农作物所不能达到的“复种指数”。这对缓和人类面临的人口增长与食物供应矛盾也有着重大意义。另外，微生物繁殖速度快的生物学特性对生物学基本理论的研究也带来了极大的优越性——它使科学研究周期大大缩短，经费减少，效率提高。当然对于危害人、畜和植物等的病原微生物或使物品发生霉腐的霉腐微生物来说，它们的这个特性就会给人类带来极大的麻烦甚至严重的祸害。因而需要认真对待。