

中等专业学校轻工专业教材

食品微生物学

朱佳珍 王超碧 梁惠芳 编

中国轻工业出版社

前 言

本教材是根据全国轻工业中等专业学校食品加工工艺专业食品微生物学教学大纲，并进一步修改该大纲后编写的。由全国轻工业中等专业学校食品加工工艺专业微生物学课程教师参与审定的，并经轻工业部组织的食品加工工艺教材编审小组审定出版。

该教材编写工作分工如下：第一、二章由广东省轻工业学校王超碧同志编写，第三、四章由广西轻工业学校梁惠芳同志编写，第五、六、七章和附录及绪论由四川轻工业学校朱佳珍同志编写，并由朱佳珍同志主编。

本书由华南理工大学食品工程系博士导师姚汝华教授主审。

本教材教学时数为96~104学时，其中授课时数为50~56学时，实验时数为46~48学时。

在编写过程中，我们得到了轻工业各中等专业学校领导、轻工业部中专处、食品、发酵加工工艺专业教学理事会的关怀和支持，从而保证了编写工作的顺利进行，谨在此表示感谢。

由于我们的业务水平有限，书中难免存在有缺点和错误，请读者批评指正，谢谢！

编者

内 容 简 介

本书是为轻工业中等专业学校食品加工工艺专业编写的专业教材。全书包括四部分内容。第一部分为绪论；第二部分即第一、二、三、四章，主要介绍与食品关系密切的微生物的形态结构、生理特性以及微生物的生命活动与环境的关系；第三部分为五、六章，主要介绍食品原料、食品变质和食品卫生与微生物的关系；第四部分即第七章为食品微生物学实验。

本书除作为轻工业中等专业学校食品加工工艺专业教材外，也可作职工中专、技校及代培的食品加工专业用书，还可供粮食、商业、农业中等专业学校食品加工专业及食品行业生产技术人员、管理人员的参考书。

目 录

绪论	1
一、微生物学简介	1
二、微生物在工农业生产中的应用	7
三、食品微生物学的研究对象和任务	8
练习题	10
第一章 微生物的形态和分类	11
第一节 细菌	11
一、细菌的形态	12
二、细菌的大小	17
三、细菌的细胞结构	18
四、细菌的繁殖方式	25
五、细菌的染色	27
第二节 酵母菌	29
一、酵母菌的形态及其大小	29
二、酵母菌的细胞结构	30
三、酵母菌的繁殖方式	31
第三节 霉菌	34
一、霉菌的形态与结构	35
二、霉菌的菌落特征	36
三、霉菌的繁殖方式	36
四、常见的几种霉菌	42
第四节 食用菌	49
一、食用菌菌体的形态结构	49
二、食用菌的繁殖方式	52
三、常见的食用菌	52

第五节 放线菌	53
一、放线菌的形态结构	54
二、放线菌的菌落特征	56
三、放线菌的繁殖	57
四、放线菌在工业中的应用	59
第六节 病毒	59
一、噬菌体的形态和大小	60
二、噬菌体的化学组成与繁殖方式	61
三、噬菌体的危害和应用	63
第七节 微生物的分类	64
一、微生物的分类单位	64
二、微生物的种、变种、亚种、型、菌株和群的概念	65
三、微生物的命名	66
四、微生物分类的依据	67
五、微生物的分类系统	69
六、新技术在微生物分类中的应用	71
练习题	71
第二章 微生物的营养与生理	73
第一节 微生物的营养	73
一、微生物细胞的化学组成	73
二、微生物的营养来源	75
三、微生物对营养物质的吸收	78
四、微生物的营养类型	80
第二节 培养基的制备与微生物接种	83
一、配制培养基的基本原则及培养基的类型	83
二、微生物的接种和培养	89
第三节 微生物的代谢	92
一、微生物的酶	93
二、微生物的能量代谢	94
三、微生物的物质代谢及其产物	98
四、微生物的特殊代谢产物	104

第四节 微生物的生长	106
一、微生物的生长曲线及其应用	107
二、测量微生物生长的方法	109
练习题	111
第三章 微生物的生态	113
第一节 微生物在自然界中的分布	113
一、土壤中的微生物	114
二、水中的微生物	115
三、空气中的微生物	117
第二节 微生物在自然界中的作用	118
一、微生物在碳素循环中的作用	118
二、微生物在氮素循环中的作用	120
三、微生物在硫素循环中的作用	123
四、微生物在磷素循环中的作用	125
第三节 微生物与环境保护	127
一、水的污染及防治	128
二、土壤的污染及防治	131
第四节 微生物之间及微生物与其他生物之间的 相互关系	133
一、互生	134
二、共生	134
三、拮抗	135
四、寄生	136
练习题	136
第四章 环境条件对微生物生命活动的影响	137
第一节 物理因素对微生物生命活动的影响	137
一、温度	138
二、干燥	146
三、渗透压	145
四、超声波	148
五、辐射	149

六、氧化还原电位	151
第二节 化学因素对微生物生命活动的影响	152
一、酸类	152
二、碱类	154
三、盐类	155
四、氧化剂	155
五、有机化合物	156
六、表面活性剂	157
七、抗菌素	158
八、氧	158
第三节 微生物的遗传性和变异性	159
一、微生物的遗传性和变异性	159
二、遗传物质基础	160
三、微生物引起变异的原因	162
四、微生物的遗传变异在食品生产上的意义	165
五、菌种的分离与筛选	165
六、菌种的退化、复壮和保藏	170
练习题	174
第五章 食品的腐败变质	176
第一节 引起食品变质的微生物	176
一、食品的营养组成与微生物的作用	177
二、微生物对营养成分的选择	179
第二节 微生物引起罐藏食品的变质	183
一、罐藏食品污染微生物的来源及变质类型	183
二、罐藏食品变质的原因菌分析	185
三、引起罐藏食品变质的微生物检验	188
四、罐藏食品的微生物检验程序及预防措施	190
第三节 平酸菌	192
一、罐头平盖酸败的概述	192
二、平酸菌的特性	193
三、造成平酸菌污染的原因及控制	195

第四节 肉类的变质	196
一、肉的变质	196
二、引起肉类变质的微生物类群	197
三、变质肉的特征	198
第五节 鱼类及其制品的变质	200
一、鱼类食品的腐败变质	200
二、鱼类制品的变质	201
第六节 乳及乳制品的变质	202
一、微生物引起鲜乳的变质	202
二、乳粉的变质	210
三、炼乳的变质	212
第七节 蛋及蛋制品的变质	215
一、鲜蛋的变质	215
二、蛋制品的变质	217
第八节 果蔬及其制品的变质	218
一、微生物引起新鲜果蔬的变质	218
二、果蔬汁的变质	220
练习题	222
第六章 食品卫生	224
第一节 食品中微生物的污染	224
一、食品污染的概念	224
二、食品被微生物污染的途径	225
三、防止微生物污染食品的措施	228
第二节 各类食品的卫生	229
一、蔬菜、水果的卫生	229
二、肉类食品的卫生	230
三、罐头食品的卫生	234
四、乳类的卫生	235
五、鱼类食品的卫生	239
六、禽、蛋类的卫生	242
七、冷饮食品的卫生	245

八、糖果、糕点的卫生	249
第三节 食物中毒	251
一、食物中毒的概念	251
二、食物中毒的分类	252
三、引起食物中毒的五种常见细菌	254
四、引起食物中毒的霉菌	264
五、食物中毒的判断和处理	268
练习题	269
第七章 食品微生物学实验	271
实验一 常用玻璃器皿的清洗、包扎及干热灭菌	271
实验二 显微镜的构造、使用和维护	276
实验三 酵母菌的形态观察及死活细胞的染色鉴别	283
实验四 细菌的染色和形态观察	285
实验五 酵母菌的大小测定和细胞计数	288
实验六 霉菌的形态观察	295
实验七 培养基的制备和灭菌	298
实验八 微生物的分离、接种和培养	302
实验九 大肠杆菌的生理生化反应	308
实验十 霍华德(Howard)计测法	314
实验十一 细菌总数和大肠菌群的测定	320
实验十二 平酸菌的检验	329
实验十三 沙门氏菌的检验	333
附录一 常用培养基的配制	339
附录二 常用染色液的配制	347
附录三 常用试剂及指示剂的配制	348
附录四 常用消毒剂和杀菌剂的配制	350
附录五 保藏菌种的几种常用方法	351
主要参考文献	353

绪 论

一、微生物学简介

(一) 什么叫微生物

所谓微生物是指存在于自然界中的那些个体微小，结构简单，必须借助于显微镜才能看清它们外形的一群低等的、原始的微小生物。大多数微生物都是单细胞的，如细菌、酵母菌；部分是多细胞的，如霉菌；极少数是没有细胞结构的生物大分子，如病毒。微生物的个体都很小，一般采用（ $\text{\AA}$ ）作单位来测量，有的还需用放大数万倍的电子显微镜才能看到。广义的微生物包括细菌、放线菌、霉菌、酵母菌、立克次氏体、支原体、病毒、食用菌以及单细胞藻类和原生动物等。一般来说，与食品有关的微生物主要是指细菌、放线菌、酵母菌、霉菌、食用菌及病毒等六大类。

关于微生物和其他生物之间，以及各种微生物之间的相互关系，还没有更全面地了解。微生物与高等生物不同，不能单从形态上来分类，而必须按照在显微镜下所观察到的：个体形态特征；在普通培养基上生长时的群体形态特征；在鉴定培养基上所产生的生理生化现象；以及抗原抗体反应，来判定其生物特性进行分门别类。

微生物学主要是研究微生物的基本性状、作用，它们彼此之间以及它们和外界的相互联系的一门科学。如果从事研究如何对微生物加以控制、应用和改造，并使其为人类服务的，则为应用微生物学，如医学微生物学、工业微生物学、农业微生物学等。

由于微生物属生物一类，它能够进行物质代谢、生长、增殖和适应环境条件。在自然界中任何物体的表面都可能存在微生物，因此，人类和微生物的关系是很密切的。在我们的日常生活中，由微生物所引起的许多现象是经常可以见到的。例如，夏天牛奶容易变酸、凝固；食品容易腐败变臭；雨天东西容易长霉、腐烂；人喝了脏水容易闹病等。其次，人们的日常生活与微生物的有益活动也是分不开的，如用酵母菌酿酒，用细菌制醋、制泡菜；用霉菌生产豆豉、腐乳等，都是由于微生物的作用。

（二）微生物的特点

当前，微生物能广泛地应用于工农业生产的一个重要原因，是微生物具有种类多、繁殖快、分布广、易培养、代谢能力强，能方便地用来解决物质循环、工农业生产及医药中的许多疑难问题。

1. 分布广、种类多

微生物是“无微不至、无孔不入”的，无论是空气、河流、地面、几千米深的矿井下，动植物体表都具有微生物存在。任意取一把土或一粒土，就是一个微生物世界，其中间含有不同种类和不同数量的微生物。目前已经发现的微生物有10万种以上，其中细菌达1500余种；放线菌1000种左右；真菌有40,000~55,000余种。由此可知，微生物的分布广，种类多。

2. 生长旺、繁殖快

微生物在适宜的环境条件下，生长速度非常快。例如，大肠杆菌能在20~30分钟繁殖一代，24小时可繁殖72代，菌体数目可达 47×10^{22} 个，如果把这些细胞排列起来，可覆盖整个地球表面。当然，随着菌体数目的增加，营养物质迅速消耗，代谢产物逐渐积累，pH值、温度等随之而改变，因此，适宜条件是很难持久的，所以微生物的繁殖速度是永远达不到上述水平的。尽管如此，微生物比高等动植物的繁殖速度还是要快千万倍。例如，培

养酵母菌生产蛋白质，每8 h 就可以回收一次，若种大豆生产蛋白质最短也需100天；用乳酸菌生产乳酸，每个细胞生产的乳酸为其体重的 $10^3 \sim 10^4$ 倍。可见利用微生物生产发酵产品，比利用高等植物要快得多。而且有许多生理活性物质如蛋白酶类、绝大部分抗菌素等用化学合成尚不能生产，但利用微生物则可生产。

3. 适应强、易变异

对各种环境条件，微生物的适应能力较强。微生物的种类不同，其细胞结构有所差异，有的微生物具有芽孢，有的微生物具有分生孢子或有性孢子，这些特殊的结构物质在外界环境条件不适宜的情况下，处于休眠期，一旦环境适宜则迅速生长、繁殖。在特异环境条件中，大多数微生物死亡，少数仍能存活。根据微生物能适应特定环境条件这一点，利用物理的或化学的诱变剂进行处理，使它们的遗传性质发生变异，从而改变微生物的代谢途径。例如，谷氨酸棒状杆菌经过诱变处理，使其发生变异后，它的高丝氨酸缺陷型就可以产生赖氨酸。食品工业中所用的调味剂柠檬酸，柠檬酸发酵最初在发酵液中，必须添加黄血盐以除掉铁离子或添加甲醇作抑制剂，才能大量积累柠檬酸。经过诱变处理，改变了菌种对铁的敏感性，直接利用废糖蜜就可以进行发酵生产柠檬酸。

总之，微生物适应强、易变异这一特点，在发酵工业中较为适用，而对大多数的食品行业则不利。例如，罐头食品的灭菌，微生物的芽孢不易被杀死，残留下来，当条件适宜时，则可复苏繁殖，造成罐藏食品产酸、产气乃至腐败变质。

4. 代谢强、转化快

不同种类的微生物其代谢方式不同，但都能分解各种有机物质。因此，尽管自然界中存在着千万种分解程度难易不同的物质，而亿万年来地面上并未堆积起任何一种物质，这就是由于不同种类的微生物能分解不同的有机物质所致。微生物的体积很小，具有较大的表面积，它们能够在有机体与外界环境之间迅速交换营

养物质与废物。从单位重量来看，微生物的代谢强度比高等动物的代谢强度大几千倍到几万倍。例如，酒精酵母1千克菌体一天内可发酵数千千克糖生产酒精。从发酵工业角度来看，微生物代谢能力强，在短时间内能把大量基质转化为有用的产品。人们利用微生物防止公害，进行污水处理，制造堆肥，把有害物质转化为无害物质等都是极其有利的。但霉腐类微生物在代谢强度增大时，会给人们带来危害。

(三)微生物学的发展简史

地球上自从有人类以来，已有几十万年的历史，我国自从有历史记载以来，也有四千多年的历史。在上古时代，我们的祖先，虽不知什么是微生物，但在不断地向自然界进行斗争中，在工业生产与疾病预防上，却早已有应用微生物且历史悠久。如在夏商时代（公元前1766~2205年）已能酿造美酒；在后魏（386~534年）贾思勰的《齐民要术》中，详细地记载了醋的制法。至于馒头、酱油、豆豉、腐乳则是我国独特地利用微生物发酵生产的风味食品。但把微生物学作为一门正式的学科，是在19世纪50年代开始的。自发展到今天经历了三个阶段。

1. 微生物学的启蒙阶段——形态学时期

微生物是肉眼看不到的微小生物，为了进一步了解它，在17世纪，自然科学家安东·列文虎克（1622~1723年）设计制造了放大200~300倍的第一架显微镜，他利用自制的显微镜观察了雨水、污水、血液、体液、辣椒水、腐败物质与有机物质浸出液、酒、黄油、牙垢等物质，并在其中看到了一些能够游动的微小生物，当时称为“微动物”。列文虎克详细地记载并绘制出它们的外形，根据他所描绘的形态，可以断定他确实看到了原生动物、球菌、杆菌和螺旋菌。1714年他出版了《安东·列文虎克所发现的自然界的秘密》一书，为微生物的存在提供了有力的证据。100年以后，自然科学家才开始采用各种类型显微镜，观察列文虎克所

发现的“微动物”。例如，荷兰动物学家模勒对微生物进行了观察，他描述了许多类型的微生物，并区分出了细菌和原生动物。艾伦贝格将细菌和许多其他微生物区分开了，并作了详细的分类。

至于对微生物所引起的发酵作用、有机物质的腐败、诱发性疾病等，当时是不可理解的。此后，许多学者相继记载了其他微生物。但为微生物学奠定了理论基础和实验技能的，是在列文虎克约200年后的巴斯德和柯赫等人。

2. 微生物学的奠基阶段——生理学时期

为微生物学的发展奠定了理论基础的，是法国伟大的微生物学家巴斯德，他经过长期对微生物的研究，在理论方面作出了极大的贡献。如证实了空气中的微生物是营养培养基上长菌的主要原因，同时还证明了生命不是自然发生的，并为微生物的研究提供了实验方法，在实用方面也造福于人类。

1857~1868年，巴斯德集中精力研究了微生物和工业相关的重要问题，当时由于法国酒的变质，给酿造工业带来了重大损失。为了解决这一问题，巴斯德进行了一系列的试验，对发酵及其媒介物、啤酒和葡萄酒的变质问题进行了研究，取得了许多重大的成果。例如，他发现了在含糖溶液中所发生的酒精发酵是由酵母菌所引起的，酒变苦、变酸、变粘等变质现象是杂菌污染的结果。为防止葡萄酒的变质，他建议葡萄酒要加热，用控制温度的方法防止葡萄酒变酸，并提出了60°C的低温灭菌法，以杀死不耐热的微生物。这种加热灭菌法后来被称为巴斯德灭菌法。直到现在，这种灭菌法还广泛用于酿造酒、醋、酱油、牛奶、果汁等食品的灭菌。巴斯德的研究，阐明了微生物参与工艺过程和引起产品变质的媒介物，了解了微生物的特性和它存在的条件，这不仅解决了生产上存在的一些问题，同时还大大地提高了生产能力和产品质量。巴斯德提议在正在酸化的葡萄酒桶里放入一个木架子，以防止搬动桶时，醋酸菌沉积到桶底，使发酵中断；他改进了

啤酒和葡萄酒的制作工艺过程，从而提高了产品的质量；他发明了牛乳在 61.7°C 加热 30min 消灭病原微生物的方法，他发现把脱脂乳或啤酒中的微生物接种到牛奶中，可使牛奶变酸，若不接种，则不会发生变化。他认为牛奶变酸属乳酸发酵，醋的制造属醋酸发酵。他认为引起食品发生不同的变化是由不同种类的微生物所引起的，并具有特定的环境条件。当这类微生物有可能对该产品起不良作用时，应采取有效的防止措施，或是在工艺过程中采取有效的方法，以便合理地利用它们。

巴斯德不仅在工业方面，在其他方面也作出较大的贡献。在农业方面，他解决了当时蚕的微粒病，挽救了法国的养蚕业；在医学方面，他解决了几种对人和牲畜危害很大的疾病，如鸡霍乱、牛和羊的炭疽病、人的狂犬病，并创造了免疫学原理和预防接种的方法。

巴斯德的研究，无疑地把研究微生物形态的中心，转移到了研究微生物生理途径，从而奠定了微生物学的理论基础。

3. 微生物学的发展新阶段——分子生物学时期

近年来，由于生物化学及化学分析等学科的发展，促进了微生物学从细胞水平、亚细胞水平，进入了分子水平。尤其是70年代末所提出的遗传工程学的发展，将为人控制自然，改造自然，创造新物种，提高工农业生产水平打下了理论基础。

在维若格兰德斯基·贝格林克等人发现硝化细菌的硝化作用、固氮细菌的固氮作用后，人们又先后在微生物的代谢中，发现脱氢的生物氧化作用、活化分子的生物氧化作用、电子传递的生物氧化作用、细胞色素体系的电子传递方面的作用、ATP在能量传递方面的作用、辅酶A在酰基方面的转移作用等，微生物与生物化学之间的联系更加密切，生物化学为研究微生物的代谢调控起了重要的推动作用。同样，由于微生物培养基的组成、培养条件、细胞结构与功能以及微生物营养缺陷型的研究，也为生物化学研究代谢途径、代谢调控提供了物质基础。特别是艾威（1944年）

确定脱氧核糖核酸（DNA）是生物的遗传物质后，对分子生物学、分子遗传学的研究奠定了理论和物质基础。而微生物是研究分子生物学、分子遗传学的最好材料，所以微生物学的发展，与这些学科的发展也越来越密切。

二、微生物在工农业生产中的应用

我国应用微生物的历史悠久。早在公元前 17 世纪殷商时期，出土的甲骨文中就有酒、醴（甜酒）等记载，说明在 3000 年前就开始应用微生物了。魏末时期的《齐民要术》一书中，就记载了许多有关微生物的宝贵资料，如各种不同的酒曲、酱、蚱、豉、饴等的制作法。同时对植物病虫害也作了详细地观察、记载，如种麻不能连作，否则易得立枯病，并提出实行轮作可防止此病。明朝李时珍所著的《本草纲目》对有关水稻、谷子、桑树等的病虫害都作了详细的记载，以及中草药中的茯苓、灵芝、冬虫夏草等应用。说明我国很早就能利用微生物作为医药用。利用微生物进行冶金，在我国 900 年前的宋代就已实行，当时已有三大铜场，利用自养菌炼铜（15~20%），名为胆水铜，其中仅江西信州铅山地方，胆铜年产量已达 38 万斤。我们的祖先在应用微生物方面积累了丰富的经验，为我们留下了珍贵的遗产。

近年来，随着微生物科学的不断发展，在各方面，微生物的应用都取得了新的成果。

（一）微生物在农业方面的应用

利用微生物制造发酵饲料，已在全国普遍推广。各地利用微生物研制成功了许多种类的农药、兽药、菌肥、植物生长刺激素和农用抗菌素等。例如，花生根瘤菌菌肥能提高花生产量；“5406”菌肥能提高植物对磷、钾、氮元素的利用；农作物刺激素“920”是从水稻恶苗病菌中分离、提纯出来的，用于棉苗，可以提高棉花产量。目前，杀螟杆菌、白僵菌、青虫菌、灭瘟素等杀菌剂，

正被农村广泛使用。

总之，以菌造肥，以菌催长，以菌治虫等给农业带来了广阔的前景。

(二)微生物在工业方面的应用

微生物在食品、皮革、纺织、石油脱蜡、化工、冶金等工业，以及综合利用工业废物，工业废水处理方面，应用越来越广泛。利用微生物生产的酶制剂，已在制糖、食品、纺织、印染等工业普遍使用，提高了生产效率和产品质量，改善了劳动条件，节约了粮食、燃料、酸、碱等化工原料，并增加了品种。用微生物生产丙酮、甘油、丁醇、柠檬酸更是工业方面应用微生物的重要内容。特别是在味精生产中，用微生物发酵代替盐酸水解法，更显示了微生物应用的优越性。

(三)微生物在医药方面的应用

医药上所用的抗菌素几乎全部是微生物的代谢产物。迄今为止，我国已成功地生产了青霉素、链霉素、金霉素、卡那霉素等40余种抗菌素，广泛用于临床。此外，各种菌苗、疫苗、生理活性物质、临床诊断检验用酶药盒、单克隆抗体等也已大量生产。由于微生物的利用，为保障我国人民的健康起了重要的作用。

三、食品微生物学的研究对象和任务

(一)食品微生物学是涉及多门学科的科学

食品微生物学是一门起源于古代的科学，也是一门应用科学。是医学微生物学、工业微生物学、农业微生物学、基础微生物学等的有关部分相互融合在一起的一门科学。在这一科学领域中，人们要将数学、霉菌学、植物病理学、细菌学、化学和物理