

全国高等农业院校教材

土 壤 微 生 物 学

李阜棣 主编

农业化学专业和土壤
与植物营养专业用

中国农业出版社

序

土壤中各微生物类群的生命活动,构成土壤的生物化学活性,在转化土壤中各种物质的过程中发展土壤肥力,促进植物营养,分解污物残毒,发挥土壤资源的生产力,为推进持续农业,保护生态环境,提供理论和实践依据。土壤中孕育的万千微生物也已成为当前迅速发展的生物技术的丰富资源。

李阜棣教授长期从事土壤微生物学的研究和教学,造诣颇深,主编的这本教材内容充实,选材反映了学科发展的当代水平。全书分四篇十四章,编排合适,加强基础部分,充实土壤微生物与发展农业生产和保护土壤生产力密切关系的专业中心部分,阐述透彻,论点明确。使读者对土壤的复杂生态环境中微生物类群多样性和繁复生理活性扩大了视野,树立明确的生物学观点;深入理解土壤微生物作为地球表面生物圈内的分解者的重大意义,以及调动土壤微生物对保护土壤生态环境,发挥土壤生产力的重要作用,体现了本教材的系统性、理论性和科学性。在最后一章中,编者陈述了发挥土壤微生物高功效的观点,将启发读者结合农业生产实际,展开独立思考,创新实践。

本书结构完整,内容丰富,观点明确,文字简练,条理清楚,参考资料详列,名词有英文对照且解释正确,图表与正文密切结合,是国内出版的一本高水平的土壤微生物学,适合为土壤与植物营养专业学生的教材,以及农学类其它专业研究者阅读的参考书。谨为序。

樊庆笙

1993年11月

前言

本书是全国高等农业院校教材指导委员会（1993年改为全国高等农业院校本科教学指导委员会）教材建设计划为“土壤与植物营养专业”而编写的基本教材。在体系安排和内容选材上主要依据是：第一，土壤微生物学本身的任务与研究对象；第二，该专业的教学计划和特定要求。按照循序渐进的原则，应先学习普通微生物学，而后学习土壤微生物学。由于课程设置的局限性，要求本教材兼有两个课程的任务。土壤微生物学是一门有一个半世纪发展历史的生命科学分支学科。近20年来随着人类对农业生产发展和环境保护以及资源利用的需要，而且各学科之间相互渗透愈益密切、彼此促进，使土壤微生物学有多方面的新发展。20世纪80年代以来，分子生物学研究的成就和许多新技术在微生物研究中的应用，使土壤微生物学进入一个新的发展时期，内容更加丰富。由于篇幅限制，本书在内容上必须有所取舍。重视基础知识和基本规律的阐述，精选具体知识内容；着重原核微生物，简述真核微生物。这就使本书在体系和内容上既具特色，又有局限性。我们希望、并相信读者通过参考有关书籍和选读文献能弥补本书不足之处以获得更好教学效果。即使采用当今世界最好的某本教材，也不可以不读参考书。因为，学科发展日新月异、编书和出版周期长，除最基本规律外，一些具体知识将日显陈旧；善于并努力阅读参考文献有利于学生独立思考、比较分析和综合概括能力的培养；学会自我知识更新不仅是为了跟上形势，而应要求获得推动学科发展的能力。

本书初稿除绪论外共5篇15章。绪论和第1、2、3、4、6、7、12、14章由李阜棣编写；第5、8、9章由周湘泉编写；第10和13章由胡正嘉编写；第15章（农业技术措施对土壤生物学过程的调节作用）由李良谟编写；第11章由王平编写。经樊庆笙教授审稿后，由李阜棣和周湘泉进行全面修改，并将原第15章的内容分别纳入有关章节中。所以定稿为4篇14章。全部插图由周湘泉绘制。

编者们衷心地感谢主审人樊庆笙教授对本书编写的指导和审稿。初稿审阅后，耄耋之年的樊老住院作手术；在术后理疗过程中他以满腔热情 and 高度负责精神又审阅了清稿，帮助提高写作质量，并作序。科学的进步靠知识的代代相传和累积与丰富，这需要老师的教导和学生的主观努力。本书编者都是我国土壤微生物学创始人陈华癸教授和樊庆笙教授的学生。我们中的老者还需要继续努力学习，青年土壤微生物学工作者更是任重而道远，这部教材不断完善的任务落在青年人肩上。我们也乐意看到有更好的教材出版，甚至取代此书。后来者居上才有人类文明的持续发展。

在成书过程中编者得朋友和同事们多方面帮助，这是完成任务的重要条件，在此向地（他）们致以深切的谢意。

李阜棣

1993年12月

目 录

序

前言

绪论	1
一、微生物学的研究对象	1
二、土壤微生物学的产生和发展	1
三、土壤微生物学的任务	3

第一篇 微生物细胞和纯培养体的基本属性

第一章 微生物细胞	6
第一节 细胞的化学性质	6
一、细胞的成分	6
二、细胞中的有机单体和多聚体	7
第二节 原核生物细胞的结构与功能	11
一、细胞质膜和细胞壁	11
二、细胞质	16
三、芽孢和孢囊	17
四、细菌细胞表面的特殊结构	18
第三节 真核细胞与原核细胞结构的异同	19
一、真核细胞的基本结构	20
二、原核细胞和真核细胞的比较	22
第二章 微生物的代谢	24
第一节 能量代谢	24
一、细胞中氧化还原反应与能量的产生	24
二、化能自养微生物对化学能的利用	26
三、微生物对光能的利用	26
第二节 微生物的分解代谢	23
一、发酵作用	23
二、呼吸作用	31
第三节 微生物的合成作用	36
一、无机养料的同化	36
二、生物大分子前体物质的合成	40
三、细胞结构成分大分子物质的合成	42
第三章 细菌的遗传	44
第一节 生物遗传信息的贮存与传递	44

一、脱氧核糖核酸 (DNA) 的结构和复制	44
二、核糖核酸 (RNA) 与遗传密码	47
三、细菌的遗传成分	49
第二节 遗传信息的表达	50
一、转录过程	50
二、翻译过程	52
第三节 基因表达的调节	53
一、操纵子及其调节机制	54
二、基因表达的总体调控	55
第四节 细菌变异和遗传重组	58
一、突变及其机制	58
二、细菌基因的转移和重组	59
三、DNA的体外重组与基因工程	63
第四章 微生物的纯培养和生长	66
第一节 实验室中微生物的培养	66
一、培养基	66
二、微生物的培养	67
第二节 微生物个体的生长和分化	67
一、细胞的生长周期	68
二、细胞的分化	69
第三节 细菌群体的生长及其测量	70
一、细菌群体生长的测量	70
二、细菌纯培养群体生长的周期	72
第四节 纯培养条件的建立	75
一、建立纯培养条件的物理学方法	76
二、建立纯培养条件的化学方法	77

第二篇 自然界微生物的多样性及其生活环境

第五章 多样性的微生物类群	80
第一节 细菌	80
一、革兰氏阴性细菌 (G ⁻ 细菌)	80
二、革兰氏阳性细菌 (G ⁺ 细菌)	92
第二节 古细菌 (Archaea)	96
一、古细菌与真细菌、真核生物的异同	96
二、古细菌的类型	98
第三节 真核微生物	99
一、真菌	99
二、粘菌	104
三、藻类	105
四、原生动物	106
第六章 自然界微生物生活的环境	109

第一节 影响微生物的环境因素	109
一、温度	109
二、水分及其可给性	110
三、氢离子浓度	111
四、氧气和氧化还原电位	112
第二节 微生物在自然界中的分布	113
一、生态系统	113
二、自然生境中的微生物	114
三、微生物对动态自然生境的适应	117
第三节 微生物群落	118
一、群落的结构	118
二、群落中微生物之间的相互关系	119
三、微生物群落中种群的更替	120
第四节 微生物的抗原性和抗原-抗体反应	121
一、外源微生物入侵动物引起的免疫反应	121
二、抗原和抗体	122
三、血清学技术的原理	123
第七章 土壤圈中的微生物	125
第一节 土壤中微生物的分布	125
一、土壤的剖面结构与微生物的垂直分布	125
二、土壤团聚体与微生物的分布	125
三、土壤的异质性与微生物分布的不均匀性和动态变化	129
第二节 土壤中微生物的数量及其活性	129
一、微生物个体数量的测定	130
二、微生物生物量测定的原理	131
三、土壤中微生物活性的测定	132
第三节 土壤是自然界最丰富的微生物库和基因库	133
第四节 土壤微生物个体生态学与原位研究	134
一、细菌个体生态学研究技术	134
二、土壤微生物的原位研究	136

第三篇 微生物与物质转化和土壤肥力

第八章 微生物在自然界物质循环中的作用	140
第一节 生物地球化学循环	140
一、循环途径	140
二、土壤圈中营养元素的生物循环	141
第二节 碳素循环	141
一、复杂有机质的分解	142
二、甲烷的生物合成	144
第三节 氮素循环	146
一、含氮有机物质的分解——氨化作用	147

二、氮的氧化——硝化作用	143
三、硝酸盐的还原——反硝化作用	149
四、分子态氮的生物固定——固氮作用	150
第四节 硫、磷等元素的循环	152
一、硫素循环	152
二、磷素循环	154
三、其它元素循环	155
第九章 微生物与土壤肥力	157
第一节 微生物在土壤中形成的有机物质	157
一、腐殖质的形成和分解	157
二、腐殖质与土壤肥力和植物营养的关系	159
三、土壤微生物形成的其它有机物质	160
第二节 微生物生物量对土壤肥力和植物营养的作用	161
一、微生物生物量的积累和转化	162
二、有机质的C/N率对土壤肥力的影响	162
第三节 微生物与土壤团聚体形成的关系	164
第四节 土壤酶及其活性	165
一、土壤中酶的来源和存在方式	165
二、土壤性质对酶活性的影响	166
三、土壤耕作管理对酶活性的影响	166
第十章 微生物对土壤和水体的净化作用	167
第一节 土壤的污染和净化能力	167
一、作为废弃物处理系统的土壤	168
二、土壤的污染源	168
第二节 微生物对农药和合成聚合物的降解	169
一、微生物对化学农药的转化和降解	169
二、合成聚合物的分解	173
第三节 微生物对有毒元素的转化	173
一、汞的转化	174
二、砷的转化	174
三、硒的转化	175
四、其它有毒元素的转化	176
第四节 污水处理的微生物学原理	176
一、自然水体的自净作用	176
二、污水处理及微生物的作用	177

第四篇 植物圈中的微生物

第十一章 根圈微生物及其同植物的相互影响	180
第一节 植物根圈	180
一、根圈的结构	180
二、根圈是微生物的特殊生态环境	181

第二节 根圈微生物	181
一、根圈微生物的数量	182
二、根圈微生物的类群	184
三、根圈微生物的动态	184
第三节 根圈微生物对植物的影响	186
一、根圈微生物对植物生长的有益影响	187
二、根圈微生物对植物生长的不利影响	189
三、根圈微生物的调控	189
第十二章 细菌和植物的共生关系	191
第一节 共生体系的类型	191
一、根瘤菌和豆科植物共生体系	192
二、根瘤菌和榆科植物共生体系	195
三、弗兰克氏放线菌和植物共生体系	195
四、蓝细菌和其它生物的共生体系	196
第二节 固氮器官的结构和形成过程	198
一、根瘤结构的一般特征	198
二、根瘤的发生和发育	201
三、根瘤形成中寄主植物的调节作用	204
第三节 共生体系的固氮功能	205
一、氮素的固定和氮的同化	205
二、共生体系中碳素代谢与氮素固定的关系	208
三、根瘤中氧气状况与固氮效率的关系	210
第十三章 真菌和植物的共生关系	211
第一节 真菌和植物共生关系的类型	211
第二节 外生菌根	212
一、外生菌根的形态和结构	213
二、真菌孢子的萌发与外生菌根的形成	214
三、外生菌根的生长生理	215
四、外生菌根的作用	217
第三节 VA菌根	218
一、VA菌根的结构	218
二、VA菌根真菌的分类	219
三、VA菌根的形成过程及其影响因素	221
四、VA菌根同植物代谢和生长的关系	222
第十四章 微生物接种剂与植物生长	225
第一节 接种剂的性质和类型	225
一、接种剂的性质	225
二、接种剂的种类	225
第二节 接种剂的应用	228
一、接种剂的剂型和质量	228
二、接种剂应用技术	229

第三节 土壤生物技术与微生物作用的调节	231
一、土壤是复杂的“反应器”	232
二、农业技术措施是调节土壤生物学过程的手段	232
三、遗传工程微生物的应用	233
建议学生参阅的书目	234

绪 论

一、微生物学的研究对象

人类依赖于其它生物而生活，首先认识和利用的是植物和动物，显微镜的出现才观察到肉眼看不见的生物——微生物。它们不但个体小，而且形态较简单，一般单个细胞即是一个独立的个体。随着研究的深入，人们逐渐发现微生物的细胞结构和代谢功能也是相当复杂的，种类繁多，广泛分布于自然界中。人眼的辨别极限约为0.1mm，多数微生物的细胞直径在此限度以下。研究对象主要有病毒（包括噬菌体）、细菌（包括放线菌和蓝细菌）、真菌、微小藻类，有时还包括原生动物和粘菌。微生物学研究这些生物的生命活动规律及其同人类的关系，是生命科学的重要分支学科。

荷兰人列文虎克（Antony van Leeuwenhoek）用自制的显微镜观察和描述微生物的报告发表于1684年，但微生物学成为一个学科是19世纪中叶以后，由于法国的巴斯德（Louis Pasteur）和德国的柯赫（Robert Koch）等一批科学家的创造性研究工作，才建立了微生物学本身的研究方法，并形成了系统的内容，认识了微生物同人类生产和生活的密切关系。微生物的重要特点不仅是个体微小，而且繁殖快、新陈代谢能力强和代谢途径的多样性，相对于高等生物而言容易发生变异。所以微生物也是生命科学许多基础理论研究的实验材料。当代在分子水平上来研究生命活动规律的一些学科，都得益于微生物学的研究，以微生物作为重要试验材料而发展起来的，如分子生物学、分子遗传学、代谢调控机制等研究领域。另一方面，微生物及其代谢产物对国计民生有重要价值，现代生物技术的出现，使微生物的应用前景无限广阔。

根据研究内容和目的，一般将微生物学划分为基础微生物学和应用微生物学两个范畴。前者如微生物分类学、微生物生理学、微生物遗传学、微生物生态学、分子微生物学等；后者如工业微生物学、农业微生物学、医学微生物学等。土壤中微生物生命活动规律属于微生物生态学研究领域，它又同农业微生物学关系密切。

二、土壤微生物学的产生和发展

19世纪初、中叶是现代农业科学的开创时期，也孕育着土壤微生物学的诞生。在当时，不同学科的研究者对农业生产中的一些重要问题都很感兴趣，其中包括有机质的分解过程、植物氮素养料的来源、硝酸盐在土壤中形成过程（硝化作用）的原因等。

巴斯德的研究工作尽管同土壤微生物没有直接联系，但他的发酵学说启示人们用微生物学的观点去研究土壤中的物质变化过程。施罗辛（Schloesing）和莫兹（Müntz）于1877年证明硝化作用是生物推动的过程。瓦林顿（Warington）于1879年揭示出硝化作用分为两个阶段。维诺格拉德斯基（Виноградский）于1890年分离获得硝化细菌的纯培养。在此之前他已研究了硫化细菌，观察到硫在细菌细胞中积累和消失的过程，并把它和能量来源联系起

来。维氏的创造性工作发现了化能自养细菌这一新的微生物类群，提出了生物界中化能自养的新概念。他在随后的研究中继续获得了卓越成就，使他成为土壤微生物学的主要奠基人。

关于植物是否能同化大气氮素的问题是19世纪中叶前后热烈讨论和活跃研究的一个领域。法国的布桑戈（Bousingault）于19世纪30年代首先在农业科学研究中采用田间试验方法，进行了5年田间轮作试验，发现包含有豆科植物的轮作区积累的氮量大大超出了施用的氮肥量，他提出豆科植物能够直接吸收同化大气氮素的看法。这一观点遭到了李比希（Liebig）的强烈反对，李比希认为植物的氮素只能来自土壤的无机氮化物。布桑戈于19世纪50年代在密闭容器中用无菌砂栽种植物，并通入消毒空气，进行了严格管理的盆栽试验。但是未能获得和田间试验相同的结果。因为当时尚不认识土壤中微生物的作用，不可能知道当没有根瘤菌时豆科植物不会结瘤固氮。就在同一年代，有人看到了根瘤中存在“弧状的”生物体，并把根瘤和植物营养联系起来（Lachman, 1858）。沃罗宁不但看到了根瘤中的微生物，而且认为豆科植物根瘤是微生物入侵的结果（Woronin, 1866），不过他没有把根瘤同植物氮素营养联系起来。但是这些发现已接近于揭开豆科植物氮素营养之谜。在此基础上，德国的赫尔利格尔（Hellriegel）和惠尔法斯（Wilfarth）于19世纪80年代进行了出色的研究。1886年赫氏在柏林举行的第59届德国科学家和医师大会上发表了题为“什么是植物的氮源”的报告，宣布豆科植物根瘤具有固氮功能。他的报告当时引起了强烈反响，很多人受到鼓舞，但也遭到一些人的反对。他们继续进行周密而更大规模的试验，两年后（1838）赫氏和年轻的同事惠氏联合发表了详尽的长篇研究报告，以充分的证据肯定了两年前的结论。同年荷兰的拜叶林克（Beijerinck, 1888）从根瘤中分离获得了根瘤菌的纯培养。维诺格拉德斯基于1893年分离到了自生固氮的厌氧性巴斯德芽胞梭菌，拜叶林克于1901年又分离出需氧性圆褐固氮菌。由于生物固氮对农业的重要意义，使之成为土壤微生物学中一个最活跃的研究领域。

细菌在有机物质分解中的作用和释放高等植物所需营养物的研究，在19世纪最后20年中得到了发展。已知许多细菌和真菌能够分解蛋白质形成氨，并发现了与硝化作用对立的反硝化作用。纤维素分解的研究也有了开端。对土壤微生物研究的一系列新发现，引起了人们极大兴趣。有的农业研究者甚至期望土壤微生物学会给农业带来革命，正像医用细菌学给医学带来的革命一样。于是研究热潮高涨，使19世纪到20世纪转折的前后30—40年成为土壤微生物学发展的黄金时代。20世纪初叶相继出版了几本专著总结土壤微生物研究的成果。值得特别一提的是土壤微生物学泰斗瓦克斯曼（S. A. Waksman）于1927年出版的《土壤微生物学原理》一书，该书1932年修订第二版。它的问世可以看作是这一学科正式诞生和成熟的一个重要标志。这是一部全面系统介绍土壤微生物学的巨著。它阐明了土壤微生物学的研究对象与任务，土壤微生物及其作用同土壤肥力和植物营养的密切关系，为土壤中植物营养元素生物循环学说建立了理论根据，这是现代土壤学的重要基础之一，在威廉斯（Вильямс）著《土壤学》和拉塞尔（Russell）著《土壤条件和植物生长》等优秀著作中得到了充分反映。

近半个多世纪来，土壤微生物研究工作在各方面继续深入，已发展为一个较成熟的学科。我国土壤微生物学的发展比较晚，最先由张宪武、陈华癸和樊庆笙等几位学者于30年代末在这一领域开展研究，并将国外的知识介绍进来，进行启蒙和培养人材，他们可以称得上是我国土壤微生物学的创始人。但是在中华人民共和国建立之前的研究工作是零星的。解放后，许多研究单位设立了土壤微生物研究机构，农业院校也建立了教学和科研组织，开设了

土壤微生物学课程。我国科学工作者重视研究成果的应用和推广,于1950年开始了根瘤菌剂的大面积应用,并获得了良好效果。在这方面胡济生起了积极推动作用。我国土壤微生物学的基础性研究较为薄弱,研究工作者任重而道远。

三、土壤微生物学的任务

土壤微生物学研究土壤中微生物种类、群落结构及其动态、生活特性和作用功能。研究任务是随人们对土壤的不断深入认识而丰富和发展的。土壤不仅仅是一个历史自然体,也是人类的生产手段和赖以生存的环境,还是重要的自然资源。

土壤能够作为人类进行植物生产的手段,是由于它的肥沃性,不但为植物提供养料,而且还具备植物生长的各种条件。土壤微生物学研究微生物在土壤肥力形成和发展中的作用。土壤在由岩石而来的母质受成土因素的作用下的形成过程中,生物因素起主导作用。就微生物而言,它不仅是土壤形成的推动者,也是土壤中唯一具有生命力的组成成分。而土壤肥力的发展在很大的程度上受物质生物循环规律所制约。地球上有限的元素成分同生命无限的延续之间的矛盾只有在自然界的物质不断循环转化的条件下才能得以解决。研究微生物在物质生物循环中的作用是土壤微生物学的基本内容。

由于土壤具有肥沃性和生产力,所以是人类赖以生存的环境,但是人类的生活和生产活动也对环境产生重要影响。近二三十年来人们意识到土壤、水和空气的污染日益严重,如化学农药在土壤中的残毒和在生物体内的富集,化肥流失造成湖泊等水域的富营养化,土壤和沼泽向大气释放增加“温室效应”的气体(如甲烷)。利用微生物保护环境和消除有害因素,促进了环境微生物学的问世,它得益于土壤微生物学的研究成果,也丰富了土壤微生物学的内容。当今人们不但要求农产品的数量,而且非常注重于质量,对于无公害食品的要求将愈益迫切,研究生物在土壤和水体净化中的作用,成为现代土壤微生物学的重要任务之一。

人类的繁衍和人类文明的发展均依赖于自然资源,包括土壤,它的耗竭威胁人类的生存。由于人类的剥夺和自然灾害,土壤的退化和丧失在许多地区越来越严重。土壤中还蕴藏着看不见的自然界最丰富的微生物资源。现今工、农、医药业中利用的微生物多数来自于土壤。瓦克斯曼对土壤中放线菌的研究,为抗生素工业的发展奠定了基础。现今人们能够在实验室中培养的土壤微生物尚不到10%,还有大量的种类不为人们所知。对土壤中宝贵的微生物资源的发掘必将为人类造福。但是对宝藏的开发要有高明的方法,只有对微生物在土壤中的生活规律进行深入研究的基础上才能找到打开宝库的钥匙。

土壤微生物学是微生物学的分支,也是农业科学的组成部分,它的发展必然会充实生命科学的内容。在土壤微生物学创业的年代里,这一作用就显示出来了。土壤中化能无机营养型微生物的发现,开阔了人们对生物代谢作用的认识。70年代开始引起重视的土壤和水中贫营养型微生物,丰富了微生物生理学的研究。80年代发现的有生命但不能培养的微生物存活状态,提出了生命现象的新的研究内容。因此,土壤微生物学研究也应该包括发展生命科学的任务。

第一篇 微生物细胞和纯培养体的基本属性

除病毒外，微生物都具有细胞结构。一个细胞即为独立生活的个体。细胞虽小，但结构并不简单，是一个能够进行复杂化学反应的系统，同任何非生物的化学反应系统有本质区别，表现在下列诸方面。①营养功能，细胞从外界吸收化学物质，在细胞内进行转化和合成并产生能量，排出废物；②生长能力，细胞利用营养物质进行生长和分裂，一般每个细胞形成两个相等或相似的子细胞；③分化，多数微生物细胞在生活过程中发生形态和功能的变化，甚至出现明显的特殊结构；④信号传递，不同细胞之间（甚至同高等动植物之间）常常通过化学信号物质而发生关系和相互作用；⑤进化，细胞生物不断地进化，细胞的遗传变异对生物的适合度（fitness）产生影响，有利于最适应环境的个体生存和发展。上述细胞属性，许多高等生物也具备，但它们个体中每个细胞只能作为整体的一部分存在于自然界中。而微生物的每个细胞都是一部完整、独立存在的复杂“机器”和“编码装置”，在其中进行生物化学反应和能量转换，并有一套由遗传成分编码的程序，控制着性状的代代相传，如果程序出现差错，则产生变异。

对各种微生物细胞形态、结构和功能的深入研究，只有采用纯培养技术才能进行。由微生物的一个细胞经分裂繁殖而产生的细胞群体称为纯培养体。纯培养（pure culture）一词既指纯培养体，也指获得纯培养体的方法。柯赫最先采用固体培养基，使纯培养技术得以发展。纯培养技术的出现是微生物学发展的一个里程碑。依靠这一技术而建立的柯赫原则（Koch's postulates）不但推动了病原微生物的研究，对微生物学各分支领域均有指导作用，使微生物种（species）的建立成为可能。对微生物纯培养体的研究不但使人们认识了它们的共性，也揭示了各种微生物的特异性。

基础微生物学主要研究微生物细胞及其纯培养体的特性，而这也是微生物学各个分支领域的基本内容之一，是应该首先阐明的内容。本书第一篇各章分别介绍微生物细胞结构、新陈代谢、遗传变异和生长繁殖。

第一章 微生物细胞

能够独立生长繁殖的微生物都具备细胞结构。微生物细胞由不同的化学物质组成。尽管微生物个体极其微小，是肉眼不可见的，但在分子水平上来研究微生物细胞，它们不仅非常复杂，甚至可以说是“巨大”的。一个大肠杆菌细胞虽然只有植物细胞平均大小的1/500，重量也只有1pg，即1万亿个细胞重量约为1g。然而每一个微生物细胞都具备进行生命活动的全部功能。

第一节 细胞的化学性质

微生物细胞由无机和有机物质组成。细胞中各种元素含量的比例不同于地球化学元素含量的关系。微生物细胞可区分为原核和真核两类，它们的基本化学成分相近。

一、细胞的成分

微生物细胞的化学成分以有机和无机两种状态存在。有机物包括各种大分子，它们是蛋白质、核酸、类脂和碳水化合物。蛋白质主要是各种酶，也有一些蛋白质存在于细胞结构成分中。类脂是不溶于水的化合物，其中甘油三酯是富含能量的贮藏物质，磷脂是各种膜的组分，它们的非水溶性特点同控制透过性有关。碳水化合物既是结构成分，也是贮藏物质。核酸是贮存遗传信息的物质，并在蛋白质合成中有重要功能。细胞中也存在许多较小的有机分子，如氨基酸、嘌呤和嘧啶核苷酸以及各种辅酶。

各类有机成分中都有为数众多的不同种化合物，现在已知细胞代谢过程涉及的有机分子已超过800种（表1-1），还有数量更多的各种基因及其产物（蛋白质）。在一个大肠杆菌（*Escherichia coli*）细胞中至少有2000多种有机分子，随着研究的深入，将不断发现新的化合物。

表 1-1 细菌细胞中有机物的种类和数量

（Watson等，1987）

有 机 分 子	大 约 种 类
氨基酸及其前体与衍生物	120
核苷酸及其前体与衍生物	100
脂类及其前体	50
糖类及其前体	250
醌、类多肽、卟啉、维生素和辅酶与辅基	300

细胞中的无机成分包括小分子无机物（如 H_2O 、 CO_2 和 O_2 ）和各种离子（表1-2），它们在细胞中具有重要功能。

表 1-2 细菌细胞中的无机离子及其功能

(Watson等, 1987)

离 子	功 能
K^+	为细胞中的主要阳离子，是一些酶的辅因子
NH_4^+	无机氮被同化的主要形态
Mg^{2+}	许多酶类的辅因子
Ca^{2+}	某些酶类的辅因子
Fe^{2+}	存在于细胞色素和一些酶中
Mn^{2+}	几种酶的辅因子
Mo^{3+}	存在于几种酶中
Co^{2+}	存在于维生素 B_{12} 及辅酶衍生物中
Cu^{2+}	存在于几种酶中
Zn^{2+}	存在于几种酶中
Cl^-	存在于部分细菌中
SO_4^{2-}	细胞的硫素来源
PO_4^{3-}	许多代谢过程的参与物

在细胞的各种组分中，水是含量最多的物质，以重量计微生物含水量为70%—90%。细胞质中的一切生化反应都是在液相中进行的，水是理想的生物学溶剂。虽然纯水的电化学性质呈中性，即电子和质子数相同，但它的氢、氧两元素成分的负电性完全不同，其电荷有些不对称，因而产生极性。于是水成为很好的溶剂，易于同其它分子的氢键结合和具有粘附性，显示大的表面张力和高比热。水的极性也有利于使非极性物质团聚在一起。

二、细胞中的有机单体和多聚体

细胞中的各种大分子有机物都是由单体连接而成的多聚体，大多数单体是包括几个至约30个碳原子的有机物。细菌细胞中有4类重要的单体物质，它们是糖类，构成多糖；脂肪酸，构成类脂；核苷酸，是核酸的基本单位；氨基酸，为蛋白质的基本组分。

（一）碳水化合物和多糖 生物学上最重要的是含4(C_4)、5(C_5)、6(C_6)、和7(C_7)个碳原子的碳水化合物（糖）。 C_5 糖具有特殊的意义，因为它是核酸的结构主链。 C_6 糖是细胞壁多糖和能量贮藏物的基本结构。

糖的羟基能被其它基团代换而形成衍生物。多糖是含有许多单体的高分子化合物，单体之间由糖苷键进行共轭结合。只含少数几个单体的聚合物称为寡糖。糖苷键有 α 和 β 两种定向，由 α -1,4-糖苷键构成的葡聚糖（糖原和淀粉）是细菌和动植物中重要的碳和能量贮藏物；由 β -1,4-糖苷键连接的葡聚糖（纤维素）是植物的细胞壁组分。多糖也能同其它大分子化合物如蛋白质和类脂相结合，构成糖蛋白和糖脂，它们在细胞膜上作为表面受体分子而起重要作用。

（二）脂肪酸和类脂 脂肪酸是类脂的主要组分。类脂的独特性质是既含有高度疏水区，又含有高度亲水区。简单类脂（脂肪）由脂肪酸和甘油通过酯键而形成，称为甘油三

酯，复杂的类脂还含有其它成分（磷、氮、硫或小分子亲水化合物，如糖、胆胺、胆碱等）。磷脂是很复杂的重要类脂，是细胞膜的主要结构成分。

类脂的疏水和亲水的双重性质，使它成为膜的理想结构成分，决定细胞的通透性，控制细胞内外物质的转运（见下节）。

（三）核苷酸和核酸 核酸是以核苷酸为单体形成的长链大分子，即多核苷酸，包括脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）。DNA携带着细胞的遗传模板，RNA则是按模板转换为多肽过程的中间分子。核酸最先是从小细胞核中分离获得，但也存在于细胞质中。核苷酸由三种化学结构分子组成，即碱基、核糖和磷酸。

1. 碱基 构成核苷酸的是嘧啶和嘌呤两类碱基，它们是含氮原子的杂环化合物。嘧啶是1,3-二氮杂苯，重要的核酸嘧啶碱基有胞嘧啶（cytosine, C）、胸腺嘧啶（thymine, T）和尿嘧啶（uracil, U），它们都能以烯醇式和酮式两种互变异构体存在。嘌呤是由一个嘧啶环和一个咪唑环并联而成的1,3,7,9-四氮杂茛，重要的核酸嘌呤碱基有腺嘌呤（adenine, A）、鸟嘌呤（guanine, G）和次黄嘌呤（hypoxanthine），它们都有两种异构体。图1-1为核酸中碱基的结构。

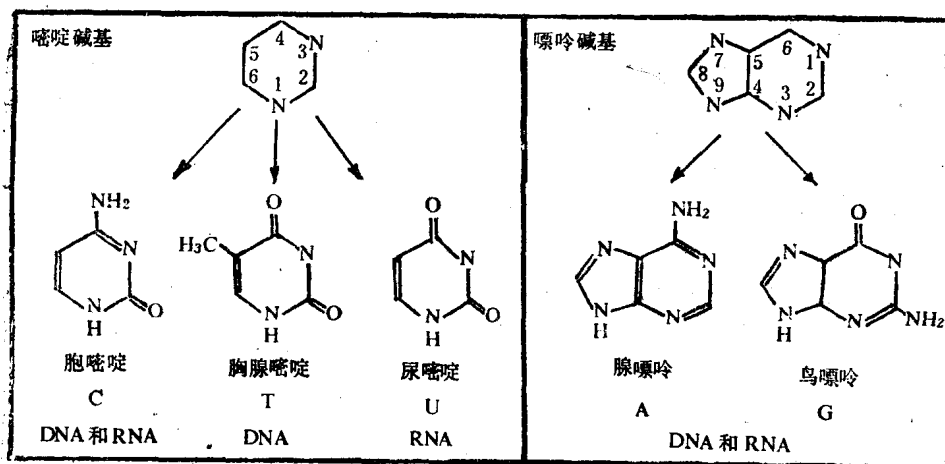


图 1-1 碱基结构

2. 核苷酸中的糖分子 每个核苷酸中都有一个五碳糖分子，即核糖或脱氧核糖。脱氧核

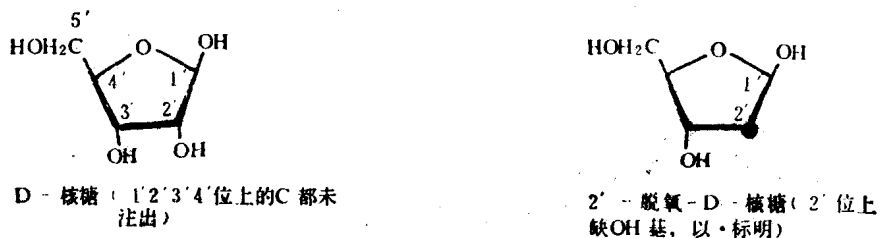


图 1-2 核糖和脱氧核糖分子结构

注：碳原子位置以带撇的数字标明，以避免与碱基结构中碳原子位置的数字相混淆。