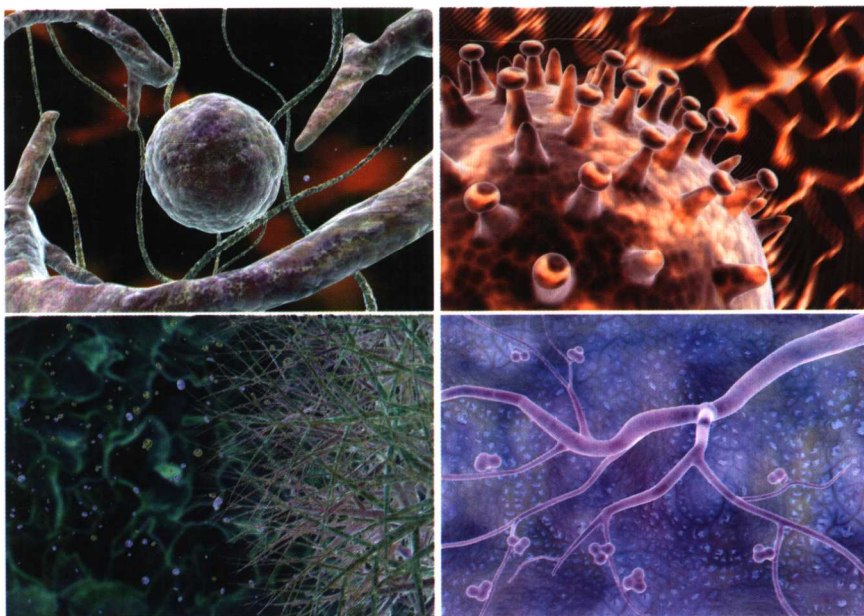


土壤微生物生态学 及其实验技术

姚槐应 黄昌勇 等 编著



土壤微生物生态学及其实验技术

姚槐应 黄昌勇 等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书概述了土壤微生物生态学的基本理论、研究进展及其实验技术。主要包括三部分内容：第一部分是土壤微生物生态学基础，介绍土壤微生物生态学的基本概念、微生物与生物地球化学循环、微生物与环境污染以及土壤微生物的生态特征指标；第二部分是土壤微生物生态学应用，主要结合作者近十年来的研究工作，介绍微生物生态学在农业和环境方面的应用；第三部分是土壤微生物生态学实验技术，除介绍部分传统的微生物生态学研究方法外，较系统地归纳整理了近年来国际上广泛应用的土壤微生物生态学研究的新方法、新技术。

本书可以作为高等院校和科研院所土壤学、生态学、微生物学、环境科学等学科研究生的辅助教材，也可以作为土壤微生物生态学教学和相关研究人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土壤微生物生态学及其实验技术/姚槐应,黄昌勇等编著. —北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-017430-5

I. 土… II. ①姚…②黄… III. 土壤微生物学;土壤生态学-实验
IV. S154.36-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 062722 号

责任编辑:朱海燕 韩 鹏 李久进 沈晓晶/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006 年 8 月第一次印刷 印张:13 1/2

印数:1—1 500 字数:299 000

定价:39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《土壤微生物生态学及其实验技术》编委会

主 编 姚槐应 黄昌勇

编 委 (以姓氏笔画为序)

吕镇梅 刘岳燕 陈保冬 姚槐应

黄昌勇 葛超荣 滕 应 薛 冬

前 言

在地球表面,形形色色的陆地生态系统是现代生态学研究的核心内容。陆地生态系统是由以绿色植物(生产者)、动物(消费者)为主要组分的地上部亚系统和以土壤微生物(分解者)为主体的地下部亚系统组成的。它们在空间上彼此分开、各自独立,在结构和功能上相互联系、相互依存、相互作用,这种相互间的调节和反馈机制维持并支撑着整个陆地生态系统自身的平衡和稳定性。相对而言,由于地上部的动植物生产与人类的生产活动关系更直接、更贴近,因此,以地上部动植物为主要研究对象的植物生态学、动物生态学等学科的研究发展迅速,并从20世纪六七十年代后,开始超常速的发展。而地下部亚系统——土壤微生物生态学的研究起步较晚,并且进展缓慢。

土壤微生物生态学是土壤学、微生物学和生态学相互渗透、结合而形成的一门新型边缘学科,具有明显的学科交叉性。在土壤中居住的数量巨大、种类繁多的微生物是土壤中最活跃的生物活体,它们几乎参与土壤中的一切生物和生物化学反应,在陆地生态系统中担负着生态系统平衡的“稳定器”,环境污染的“净化器”,土壤养分有效化的“转换器”和碳、氮、磷、硫循环的“调节器”等,是生物地球化学循环的原动力。所以,土壤微生物学奠基人 Winogradsky 指出:土壤微生物学的基本问题本质上是生态学问题。

随着科学技术的发展,特别是全球生态环境问题的日益严峻,科学家对地下部土壤微生物生态在整个陆地生态系统中的作用和影响给予了越来越多的关注。在过去的几十年中,一方面生态学分支学科如雨后春笋般相继问世,微生物生态学的相关书籍也已有几种版本;另一方面生物学技术的突飞猛进,已成功地使土壤微生物研究走出实验室的纯培养,并且能对自然土壤进行直接测定,这些背景大大推动了土壤微生物生态学的发展。然而,至今土壤微生物生态学专著仍十分少见,在国内还是一个空白,基于此,我们将近十年来的研究工作行总结,通过精心考量编著此书,目的是对研究成果做一小结,同时希望能推动土壤微生物生态学的研究并对从事相关领域的研究人员有所帮助。本书除绪论外,共分三部分,第一部分是土壤微生物生态学基础,主要介绍土壤微生物生态学的基本概念、微生物与生物地球化学循环、微生物与环境污染以及土壤微生物的生态特征指标。第二部分是土壤微生物生态学的应用,主要结合我们近十年来在这方面的研究工作,介绍微生物生态学在农业和环境方面的应用。第三部分是土壤微生物生态学的实验技术,除介绍部分传统的微生物生态学研究方法外,较系统地归纳整理了近年来国际上广泛应用的土壤微生物生态学研究的新技术,其中大部分实验技术在我们以往的研究中已得到应用和验证。因此,本书不仅可以作为高等院校和科研院所土壤学、生态学、微生物学、环境科学等学科研究生的辅助教材,也可以作为土壤微生物生态学教学和相关研究人员的参考用书。

本书绪论由黄昌勇教授撰写,其余各章以姚槐应副教授为主撰写,其中陈保冬博士参加编写了第9章第3节,吕镇梅博士参加编写了第10章的第1、2节及部分实验技

术，滕应博士参加编写了第 10 章的第 1、4 节，葛超荣讲师和刘岳燕、薛冬研究生也参加了本书实验技术部分的整理编写工作。最后，全书由黄昌勇教授统稿、定稿。

在本书的编写过程中，我们参考了大量文献资料，但本书只列出了主要参考文献，特此说明，并向所有作者一并致以衷心的感谢。最后，感谢国家自然科学基金项目（编号 40371063、30200164、40171045）的连续资助。由于编者水平有限，难免有遗漏和错误之处，希望广大读者和同行批评指正，以利今后进一步修改提高。

编 者

2005 年 10 月于杭州

目 录

前言

绪 论

第 1 章 陆地生态系统与陆地生态系统中的土壤和土壤微生物	3
1.1 陆地生态系统	3
1.2 土壤	4
1.3 土壤微生物	5
第 2 章 土壤微生物生态在农业和环境中的重要意义	7
2.1 地上部和地下部亚系统	7
2.2 捕食食物链与腐食食物链	7
2.3 养分循环	8
2.4 生物降解	9
第 3 章 土壤微生物生态学的形成、内容和研究方法	10
3.1 形成	10
3.2 定义和研究内容	11
3.3 研究方法	12

第一部分 土壤微生物生态学基础

第 4 章 土壤微生物生态学的基本概念	15
4.1 环境与生态位	15
4.2 生态系统的概念	16
4.2.1 生物圈与生态系统	16
4.2.2 能量流与物质循环	17
4.2.3 生态平衡	19
4.3 生物群落的概念	20
4.3.1 群落及其演替	20
4.3.2 生物多样性与群落稳定性	21
第 5 章 微生物在土壤环境中的分布及其相互作用	24
5.1 微生物在土壤环境中的分布	24
5.1.1 微生物生长的土壤环境条件	24
5.1.2 微生物的地理分布	25
5.2 微生物与生物环境之间的相互作用	26
5.2.1 竞争关系	26
5.2.2 互生关系	27

5.2.3	共生关系	27
5.2.4	拮抗关系	28
5.2.5	捕食关系	28
5.2.6	寄生关系	29
第6章	微生物与生物地球化学循环	31
6.1	微生物与碳素循环	31
6.1.1	碳素循环概述	31
6.1.2	微生物与 CO ₂ 固定	32
6.1.3	微生物与有机质分解	33
6.2	微生物与氮素循环	33
6.2.1	氮素循环概述	33
6.2.2	生物固氮	34
6.2.3	氨化作用	35
6.2.4	氮化合物的生物同化作用	36
6.2.5	硝化作用	36
6.2.6	异化硝酸盐还原	36
6.3	微生物与磷素循环	37
6.3.1	磷素循环概述	37
6.3.2	有机磷的矿化作用	38
6.3.3	难溶性磷化合物的溶解	38
6.3.4	磷的微生物同化作用	39
6.4	微生物与硫素循环	39
6.4.1	硫素循环概述	39
6.4.2	同化硫酸盐还原	40
6.4.3	脱硫作用	40
6.4.4	硫氧化作用	41
6.4.5	异化硫酸盐还原作用	41
第7章	微生物与环境污染	42
7.1	微生物形成的污染物	42
7.1.1	环境中的病原微生物	42
7.1.2	微生物代谢产物污染	44
7.1.3	水体富营养化	46
7.2	污染物的微生物降解及转化	47
7.2.1	有机污染物的微生物降解	47
7.2.2	重金属污染物的微生物转化	50
第8章	土壤微生物的生物量、多样性和活性	52
8.1	微生物生物量	52
8.1.1	微生物生物量的概念	52
8.1.2	微生物生物量的测定	52

8.1.3	微生物生物量的周转	54
8.1.4	微生物生物量的生态学意义	55
8.2	微生物种类及多样性	57
8.2.1	土壤微生物的种类	57
8.2.2	微生物多样性的概念	60
8.2.3	微生物多样性的测定	60
8.2.4	微生物多样性的生态学意义	61
8.3	微生物活性	62
8.3.1	呼吸作用	62
8.3.2	土壤酶	63
8.3.3	能量代谢	66

第二部分 土壤微生物生态学应用

第9章	土壤微生物生态学在农业中的应用	71
9.1	微生物生态与土壤质量	71
9.1.1	微生物生物量与土壤肥力评价	71
9.1.2	土壤微生物多样性与利用方式和肥力水平	73
9.1.3	土壤酶和土壤肥力评价	77
9.1.4	微生物肥料	79
9.2	根际微生物生态	80
9.2.1	根际效应与根际微生物	80
9.2.2	根际微生物技术	83
9.3	菌根真菌与植物生长	84
9.3.1	菌根概述	84
9.3.2	丛枝菌根真菌与植物矿质营养	87
9.3.3	菌根真菌与植物抗逆性	90
9.3.4	菌根真菌与生态系统稳定性	93
9.4	微生物生态与作物生态防治	97
9.4.1	病原微生物与其生态功能	97
9.4.2	生物入侵与土壤微生物生态	98
9.4.3	作物土传病原菌的生态防治	99
第10章	土壤微生物生态学在环境中的应用	102
10.1	土壤微生物生态与环境质量	102
10.1.1	农药污染	102
10.1.2	重金属污染	105
10.1.3	温室效应	108
10.2	土壤有机污染物的微生物生态修复	111
10.2.1	原位生物修复	111
10.2.2	异位生物修复	116

10.2.3 植物微生物联合修复·····	116
10.3 固体废弃物的微生物生态处理技术·····	117
10.3.1 堆肥·····	117
10.3.2 沼气发酵·····	118
10.3.3 蘑菇种植·····	119
10.4 矿区复垦与微生物生态恢复·····	119
10.4.1 矿区土壤微生物生态特征·····	120
10.4.2 矿区土壤微生物生态恢复·····	122

第三部分 土壤微生物生态学实验技术

第 11 章 土壤微生物生态学实验基础 ·····	129
11.1 土壤样品的采集和处理·····	129
11.1.1 土壤样品的采集·····	129
11.1.2 土壤样品的处理和储存·····	129
11.2 土壤微生物的分离、培养和保藏·····	130
11.2.1 培养基·····	130
11.2.2 培养方法·····	133
11.2.3 接种与分离方法·····	134
11.2.4 微生物的保藏·····	134
11.3 土壤微生物生态学实验的数据处理·····	135
11.3.1 群落多样性指数·····	135
11.3.2 群落聚类和排序·····	136
11.3.3 分子系统发育树的构建·····	137
第 12 章 土壤微生物数量和生物量的测定 ·····	138
12.1 土壤微生物直接观察法·····	138
12.2 土壤微生物活菌测数法·····	139
12.2.1 平板培养计数法·····	139
12.2.2 稀释培养计数 (MPN) 法 (最近似值法计数)·····	140
12.3 土壤微生物生物量测定·····	143
12.3.1 三磷酸腺苷法·····	143
12.3.2 底物诱导呼吸法 (SIR)·····	144
12.3.3 氯仿熏蒸法 (旱地土壤)·····	144
12.3.4 氯仿熏蒸法 (淹水土壤)·····	147
12.3.5 总磷脂脂肪酸法·····	148
第 13 章 土壤微生物种类与多样性的测定 ·····	150
13.1 微生物的分类鉴定·····	150
13.1.1 形态学检查·····	150
13.1.2 生物化学反应法鉴定·····	152
13.1.3 免疫血清鉴定·····	152

13.1.4	分子生物学检测	155
13.1.5	微生物种类的自动化鉴定	156
13.2	微生物类群与物质转化	160
13.2.1	纤维素分解菌	160
13.2.2	氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌	161
13.2.3	沼气发酵过程中的主要细菌类群	164
13.3	碳素利用法分析土壤微生物功能多样性	165
13.3.1	不同 pH 值碳素利用微平板的制作	165
13.3.2	Biolog 法	166
13.4	磷脂脂肪酸 (PLFA) 法分析土壤微生物结构多样性	169
13.5	核酸分析法研究土壤微生物遗传物质多样性	171
13.5.1	DNA 的 G+C 含量分析	171
13.5.2	荧光原位杂交	171
13.5.3	16S rDNA 的 PCR-DGGE 分析	172
13.5.4	随机扩增多态性 DNA (RAPD) 分析	175
13.5.5	16S rDNA 克隆文库的建立和 RFLP 分析	176
13.5.6	核酸-稳定性同位素 (SIP) 技术	178
第 14 章	土壤微生物活性及其表征的测定	179
14.1	土壤微生物活性与物质转化的测定	179
14.1.1	纤维素分解作用	179
14.1.2	土壤呼吸作用	180
14.1.3	有机酸的测定	181
14.1.4	甲烷形成活性	182
14.1.5	土壤氮素净矿化和净硝化速率	182
14.1.6	土壤硝化势	183
14.1.7	土壤氮素总矿化与总硝化速率	184
14.1.8	土壤全酚的测定	185
14.2	土壤酶活性测定	186
14.2.1	蔗糖酶	186
14.2.2	脱氢酶	187
14.2.3	脲酶	188
14.2.4	固氮酶	189
14.2.5	蛋白酶	190
14.2.6	磷酸酶	190
	主要参考文献	192

绪 论

第 1 章 陆地生态系统与陆地生态系统中的 土壤和土壤微生物

1.1 陆地生态系统

生态系统又称生态系 (ecosystem), 其概念是由英国植物生态学家 Tansley 在 1935 年提出的。所谓生态系统是指生物 (动物、植物和微生物) 和它们生存环境构成的自然集合体, 可简单地表述为: 生态系统 = 生物群落 + 非生物环境。这一概念有着丰富的内涵, 至少需要从下面几个方面加深理解: 其一, 生物与环境是相互依存、不可分割的, 即在一定时间和空间范围内, 生物群落与非生物环境通过能量流动和物质循环形成一个相互影响、相互作用并有自动调节功能的有机整体。其二, 包含了从微观 (细胞、分子) 到宏观 (全球各种大小尺度) 的生物多样性。其范围大小和边界没有严格的限制, 例如小可以是一个池塘或一个单独的土壤剖面或某一植物的根圈; 大可以将一个地区或一个国家、甚至整个“生物圈”作为一个生态系统。在地球表面, 由于生物的千差万别和地理环境的复杂多变, 在生物与环境之间存在着各种各样的功能组合, 因此生态系统是一个功能单位, 其大小范围可根据研究对象而划分, 而不是根据生物学上的分类单位而划分。目前, 有人对生态系统进行分类尝试, 如按环境性质划分为水域生态系统和陆地生态系统等; 按人类对生态系统影响分为自然、半自然和人工生态系统等。但至今尚无一个统一的分类原则和被广泛接受的分类标准。其三, 具有相对的稳定性。自然生态系统几乎都属于开放系统, 它是生物物种和群落在长时间进化过程中与环境之间相互适应的产物, 在一定范围内具有抗拒生物与环境之间变化的能力, 这种调节反馈功能使生态系统能保持自身平衡, 是使生态系统具有一定稳定性的机理。但是生态系统的稳定性是有限的, 当环境的变化超过了生物所能承受的限度时, 生态系统的稳定就受到破坏, 造成生态系统平衡失调, 甚至出现生态危机。一切自然灾害和违背生态系统规律的人类活动是导致平衡失调的根本原因。因而, 正确处理好人与自然的关系、在追求经济利益的同时注意生态效应是保持生态系统结构和功能稳定性的重要途径。

生态系统概念提出后, 很快引起包括经济、社会学科在内的多学科科学家的兴趣, 并得到广泛应用, 极大地推动了生态学的发展, 从 20 世纪六七十年代开始逐渐成为现代生态学的研究中心, 其中, 陆地生态系统的研究进展尤为显著。地球陆地表面由于地理环境的复杂性, 如受经纬度、海拔、气候、土壤、地形地貌等多种因素的影响, 陆地生态系统总是形形色色的, 但地球上的所有生物 (动物、植物和微生物) 都是以土壤和大气为生存介质的。因此, 陆地生态系统实际上是由绿色植物 (生产者)、动物 (消费者) 为主要组成成分的地上部亚系统和以土壤微生物 (分解者) 为主体的地下部亚系统组成的。绿色植物 (生产者) 截获太阳辐射能, 通过光合作用转化为化学能, 将无机物转化为有机物。通常把植物、藻类和发光细菌等自养型生物通过光合作用直接制造有机物质的过程称为初级生产 (primary production)。动物 (消费者) 不能将无机物转化为

有机物，它们通过直接或间接消耗植物有机物来制造动物有机物，属于异养生物。在初级产品的消耗过程中，食草动物以植物有机物为食源，食肉动物又以食草动物为食源，使能量和物质获得重新分配，这种再生产过程又称次级生产（secondary production）。地下部亚系统的土壤微生物则主要充当分解者的角色，其作用正好与绿色植物的光合作用相反：将动植物在初级生产和次级生产中的残体、有机废弃物分解还原为简单的无机物，使之重新为植物所利用，重新参与生物循环。地上部亚系统与地下部亚系统就这样处在相互依存、相互制约、相互作用和相互改造之中，沿着特定的途径进行着物质循环和能量流动，以维持陆地生态系统的代谢过程及相对稳定性。

1.2 土 壤

土壤是地壳表面的岩石风化体及其搬运沉积体在环境因素综合作用下而形成的，包含多介质、多组分物质，是具有独特结构和功能的复杂历史自然体。在陆地生态系统中，土壤是陆地生态系统的基本单元，具有土壤-水-植物（SWP）系统的整体性；同时，它又是陆地生态系统的一个独立子系统，是生物与环境间进行物质和能量交换的活跃场所。

所谓土壤环境因素，在这里指的是自然环境因素和人为作用因素的总和。著名的成土因素学说创始人、俄国科学家 Докучаев 把自然因素概括为：气候（climate）、生物（organism）、地形（relief）、母质（parent material）和时间（time）。之后，美国土壤学家 Jenny 将成土因素分析应用到生态系统研究中，将五大成土因素视为生态系统中独立的状态函数，提出了“土壤形成因素-函数”的概念，即： $s = f(cl, o, r, p, t, \dots)$ ，式中： s 表示土壤； cl, o, r, p, t 分别表示气候（降水、光、热等）、生物、地形、母质和时间。陆地生态系统中的土壤可以解读为：起始态地形和母质，接受气候和生物输入量，经过长时间平衡过程发育形成。Jenny 把这一函数式称为“clorpt”公式，并将它作为土壤的同义词，这就使成土因素学说以及土壤与其所处自然环境因素的相互作用原理显得更加深入浅出、更加明晰和便于理解。而另一方面，自从人类进行生产活动以来，土壤不仅成为人类满足物质需求、获取生活资料的基地，而且成为从事农业劳动的生产资料，人类的生活、生产广泛深刻地影响着土壤，所以土壤又是人类劳动的产物。

土壤的“多介质、多组分”是指土壤组分不是单一的固相体系，也不能从严格意义上划分为单一的固、液、气三相，而是由固、液、气三相按一定比例结合，并包含种类繁多的无机、有机化合物的多介质、多界面、多组分及非均质的复合体系。对多组分、多介质的理解至少需要明确以下两点：①土壤固、液、气三相介质均具有自身的组成和性质。土壤固相是由直径为几毫米到小于 $0.1\mu\text{m}$ 不同大小的原生和次生矿物及无定形氧化物的无机颗粒，大分子腐殖物质胡敏酸、富啡酸和胡敏素等为主体的有机物质及土壤生物活体组成，它们构成了土壤多孔结构的基础骨架。土壤液相（水）和气相（空气）则存在于不同形状和大小孔径的土壤孔隙之中。土壤水实为土壤溶液，其中含有多可溶性有机和无机化合物，是地上部植物和地下部微生物营养的直接来源。土壤空气所含的气体组成与近地表大气组成种类相似，但土壤空气中的水汽、 O_2 、 CO_2 、 NO_x （氧化氮）、 CH_4 （甲烷）以及其他气体含量的相对比例与大气中相比则有很大差别。

②土壤固相物质、土壤水（溶液）和土壤空气三者之间始终处于相互作用、动态变化之中，土壤中发生的一系列物理、化学和生物过程包括生物和非生物物质在土壤中输入与输出、合成与分解、迁移与转化、积累与损失等都是在土壤固、液、气三相间，尤其在三相界面上进行的，土壤的多介质、多组分特性使土壤成为生态系统中物质与能量交换最活跃的场所。

土壤具有独特的结构和功能。从生态学观点看，土壤不仅仅是植物生长的介质，其本身实际上是由生物和非生物构成的结构体。在生态系统中，结构是存在于生态系统中的生物种类、数量和所占空间的关系，同时也包括各种无机物及有机残体的数量和它们的分布状况。土壤生物主要有土壤微生物、土著动物和高等植物（植根于土壤），它们占据一定的空间范围，而且在水平和垂直方向上具有一定的分异和组合规律。非生物无机环境指前面叙述的自然成土因子（状态因子），主要包括光照、热量、水分、空气、矿物质和腐殖质及营养物质等。生态系统功能是指物质交换和能量转化性能，即物质和能量向土壤的输入，在土体内的转化、循环或储存速度，以及物质和能量向外界的输出。输入土壤的能量主要直接来源于太阳辐射或大气辐射的光、热能，也可以少部分来自地热或间接来自生物、沉积物等储存的潜能。输入土壤的物质包括水分、空气、矿物质、有机质和生物体等，主要来自地下水、灌溉水、大气、母岩、有机残体及生活在土壤中的微生物、动物和植物。输入土壤中的能量和物质在土壤内部尤其在土壤固、液、气、生界面上进行一系列的反应，其中大部分能量和物质转变为潜能或新物质储存在土体内部，如有机物转化形成腐殖质、矿物质转化形成次生黏粒矿物以新“物质”存在于土体中，另外一部分能量与物质则以次生质态向外界环境输出。

综上所述，在陆地生态系统中，土壤不仅仅是系统的基本单位，而且是陆地生态系统中一个相对独立的子系统，即土壤生态系统。土壤随陆地生态系统的发展而演变，土壤的演化又影响到整个陆地生态系统的变化，土壤是陆地生态系统的基础。

1.3 土壤微生物

土壤微生物是土壤生命活体的主要组成部分。从最初定植于土壤母质上的蓝绿藻开始，直到土壤肥力的形成，土壤微生物参与了土壤发生发育的全过程。同时，土壤又是微生物生长发育的最佳环境，土壤中一系列的物理、化学性质，如土壤矿物质-有机质胶体、土壤水分、空气、温度、土壤结构、孔度、养分、土壤 pH 值和 Eh 值等均深刻影响着土壤微生物的种群类型、生物活性、存在状态和分布特性。土壤微生物一般特征如下。

1. 类群繁多

人类培养和利用的微生物已达数万种，但这仅仅是地球环境中极小的一部分。在地球环境中微生物的类群复杂、种类繁多。从形态特征看，常见的微生物有细菌、放线菌、蓝细菌、光合细菌、古细菌、真菌、藻类和原生动物，以及病毒、噬菌体。可概括为细胞型微生物和非细胞型微生物，病毒和噬菌体是非细胞型，其他均属细胞型。根据碳源和能量的来源，微生物可分为光能自养型（无机营养型）、光能异养型（有机营养型）、化能自养型和化能异养型，藻类和部分细菌属自养型，大部分细菌及全部霉菌、

酵母都属异养型。根据呼吸作用即最终电子受体的不同,又可分为好氧微生物、厌氧微生物、兼性厌氧微生物,以分子氧作为最终质子受体的有氧呼吸是好氧和兼性厌氧微生物进行的生物氧化方式。

陆地生态系统中的土壤因其类型多样性、物质复杂性、时空变异性和营养丰富性等特点,与相对均一的水、大气介质比较,土壤微生物类群无疑比水和大气中更复杂、更具多样性,几乎包罗了地球表面系统全部微生物类群。土壤是微生物最丰富的基因库,具有极大的开发潜力。

2. 数量巨大

微生物的繁殖方式大多数是以简单的细胞分裂完成的,在适宜条件下,十几分钟或几小时就可繁殖一代。土壤中微生物的数量巨大。在 10g 的肥沃土壤中,仅细菌数量就可能比全球人口的总数还多。1kg 土壤中可能含 5000 亿个细菌、约 100 亿个放线菌、近 10 亿个真菌,土居原生动物也可达 5 亿个。土壤微生物是地球地表下数量最巨大的生命形式。然而,土壤中可培养的微生物一般只占总数的 0.1%~1%,最多不超过 10%。随着分子生物学技术的不断渗透,不经过传统培养、直接从土壤中提取 DNA 的方法已开始应用于土壤微生物研究中。

3. 分布复杂

土壤是成土母质、气候、地形和生物因子综合作用下随时间不断变化的连续体。土壤中一系列非生物性质如土壤结构、土壤空气、土壤水、pH 值和 Eh 值、土壤温度等都不同程度地影响土壤微生物的生存和反应,并且由于土壤中各种因子很少是单独起作用的,从而多因子的影响更为复杂。因此,从宏观的区域土壤到单个土体、直到微观的土壤微团体,其微生物的分布有很大差异。就区域土壤类型而言,我国土壤的微生物总数一般为:黑钙土 > 棕壤 > 灰壤 > 水稻土 > 砖红壤。就土壤剖面而言,耕作土壤一般 A 层(表层)的总数较高,随土层深度增加,B、C 层数量减少。而对于另一些土壤如森林土壤、草原土壤等,可能出现完全不同的分布,即有时 B 层高而 A 层低。土壤团聚体是矿质-有机胶体颗粒的空间排列,具有多级孔性和大小孔隙兼备特性。直径小于 0.25mm 的称为微团聚体,0.25~10mm 称为团聚体。团聚体的内外条件不同,微生物分布也不一样,直径为几微米的小孔径充满着水分,一般适合细菌生活,而真菌则适合在更大的孔隙中生活。此外,不同耕作管理、季节变化等均影响土壤微生物的分布,其季节变化受温度、水分、有机质矿化、地上植物生长等综合作用的影响,冬季气温低,微生物数量可能明显下降,随春季气温回升其数量迅速增加。

4. 功能多样

微生物的代谢功能极其多样。凡是自然界中存在的有机物,一般都能被微生物分解利用。在土壤中,微生物是参与碳、氮、磷、硫等元素转化的主要驱动力,对土壤植物生态系统中的物质循环和能量流通起着决定作用。同时,土壤微生物又是降解、代谢和转化各种环境污染物的主要承担者,微生物结构和功能的易变异特性还为许多人工合成有机物的降解提供了实现的基础。