



现代微生物技术丛书

农业微生物技术

孔 健 主编

Agriculture



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

现代微生物技术丛书

农业微生物技术

孔 健 主编



化学工业出版社
现代生物技术与医药科技出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

农业微生物技术/孔健主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 2

(现代微生物技术丛书)

ISBN 7-5025-6629-5

I. 农… II. 孔… III. 农业科学-微生物学 IV. S182

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 007574 号

现代微生物技术丛书

农业微生物技术

孔 健 主 编

责任编辑: 周 旭 孟 嘉

责任校对: 边 涛

封面设计: 潘 峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
现代生物技术与医药科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

[http:// www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京兴顺印刷厂印装

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 15 字数 266 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6629-5/Q · 133

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《现代微生物技术丛书》编委会

编委会主任 曲音波

编委会成员 (以姓氏汉语拼音为序)

高培基	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
吉爱国	山东大学威海分校海洋生物工程系	教授
孔 健	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
李越中	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
曲音波	山东大学微生物技术国家重点实验室	主任 教授
宋 欣	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
汪天虹	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
肖 敏	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授
许 平	山东大学微生物技术国家重点实验室	教授

本书编写人员

主 编 孔 健
副 主 编 张玉臻 马桂荣 张秀红

序

生命科学和生物技术是 21 世纪科学技术发展的前沿学科。微生物技术作为其中的主要分支,是生命科学和生物技术发展的重要基础和先导。特别是在解决 21 世纪人类面临的人口健康、资源紧缺、环境污染、粮食危机、生态破坏等严峻挑战方面,微生物技术具有无可替代的重要作用。

其中,资源和环境问题是人类在 21 世纪面临的最主要的挑战。生物质资源是可再生性资源,地球上每年光合作用的产物高达 1500~2000 亿吨,是人类社会赖以生存的基本物质来源,其中 90%以上为木质纤维素类物质。目前这部分资源尚未得到充分的开发利用。随着世界人口迅速增长和矿产资源日渐枯竭,开发高效转化木质纤维素类可再生资源的微生物技术,利用工农业废弃物等发酵生产人类急需的燃料、饲料及化工产品,具有极其重要的意义和发展前景。微生物技术除在生物质资源开发方面大有作为外,在难开采矿产资源(如二次采油后的低产油井、低品位金属矿石和尾矿、海水中的重金属等)的开发、环境污染(废水、废气和废渣)治理、清洁生产工艺(全封闭、无排放、低能耗工艺)研究、环境友好产品(生物可降解塑料、生物农药、生物肥料、氢能源等)研制等方面都有非常巨大的潜力。我国在纤维素微生物降解、化能自养细菌、石油降解微生物的基础研究,以及生物可降解塑料、生物农药生产等方面都有相当的研究和开发应用基础。随着国家对资源、环境、生态等问题的日益重视,可持续发展战略已被提到与科教兴国战略并列的重要位置。微生物技术工作者对此责无旁贷,有必要投入更多的人力物力,开展关系国计民生长远发展的战略性研究,同时培养和造就一大批优秀的微生物技术人才,为将来实现可持续发展做出应有的贡献。

微生物的应用研究对微生物菌株提出了众多的要求,单靠从自然界中筛选和对菌种随机诱变选育是难以实现上述目标的。研究和开发新的分子生物技术,有目的地改造乃至创造新的生物功能,是开发微生物应用新技术的必要前提。中国开展基因工程等现代分子生物技术研究已有二十余年的历史,在极端嗜酸化能自养菌——氧化硫硫杆菌的基因转移系统构建和抗砷浸矿用工程菌选育等方面取得过处于国际领先地位的研究成果。近年来,通过加强国际交流与合作,逐步开展了酵母菌和丝状真菌的分子生物技术研究,包括酿酒酵母木糖发酵代谢工程菌构建、构建丝状真菌高效表达载体、利用定向进化技术提高酶的比活力或改善酶学性质(如耐碱、低温下高活性)等研究工作。今后的主要目标应是围绕生物质资源开发、环境污染治理等应用研究的需要,加强高效表达系统构建、代谢途径工程、蛋白质定向进化、高效筛

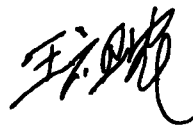
选系统建立等方面的研究，既为技术研究提供优良的工程菌株，又为微生物菌株的分子生物技术改造探索新方法新思路。

微生物技术的开发仅有优良的菌株还不够，还要研究如何使菌株的生产性能得以充分的发挥。传统的生物科学研究以观察描述为主要研究，酒精发酵和酿造工业虽然早已进入规模化生产，但现代工业技术的应用还较少。20世纪40年代以来，抗生素和氨基酸工业的崛起，使化学工程技术应用于微生物的大规模培养，促进了现代工业微生物技术的建立。而以基因克隆为代表的分子生物学技术的建立进一步促进了生命科学技术快速发展，并在生物制药规模化生产中的应用初现端倪。随着越来越多的生化工程工作者参与到微生物技术的开发研究中来，数量生理学、代谢网络控制理论、代谢流量分布分析、生物过程动力学模型构建、模糊控制和神经网络控制、新型生物反应器开发等研究都得到了飞跃发展。中国逐步建立起了自己的生化工程研究队伍。通过同微生物学专业研究人员的紧密配合，这支年轻的研究队伍已逐步成熟起来，研究活动十分活跃。今后该方向应侧重于开展代谢过程调控的研究，应用代谢流分布分析和代谢网络控制理论，开展代谢系统工程研究，在提高发酵产品的产率和生产速率的同时，努力探索代谢调控的一般规律，为其他发酵工艺的开发提供理论指导。

微生物的生理代谢机能多种多样，目前发酵工业中得到应用的仅是其中一小部分，特别是微生物的次生代谢产物还很少被利用。近年来，基因工程、细胞工程、生化工程等技术的迅猛发展，为人们创造生物新机能，开发发酵新菌种、新工艺、新产品提供了新的可能。绿色化学的兴起、可持续发展战略和循环型社会构建任务的提出，则使可再生性生物质（能）的转化和利用得到高度重视和广泛应用。

本套丛书包括《微生物技术开发原理》、《微生物分子育种原理与技术》、《资源环境微生物技术》、《药物微生物技术》、《微生物酶转化技术》、《农业微生物技术》6个分册，均由在微生物技术国家重点实验室第一线的研究者撰写。丛书概括了上述发展背景，从理论与实践相结合的角度，侧重介绍最新的研究进展和可能的应用技术，通俗易懂，可为广大生物、化学化工、农业及环境资源各学科和行业的工程技术人员参考。

期望本丛书的出版能为推动我国微生物技术的研究开发和产业化做出微薄的贡献。



2004年1月

前 言

在以高产为惟一目的的传统农业生产、畜牧养殖中，过量使用化学农药、抗生素是造成当前农业生态环境日趋恶化、药物残留、有害微生物抗药性出现的重要因素。随着人们生活水平的提高，白色农业、绿色食品成为发展的方向，促使农业生产从传统农业转向高效优质和可持续发展的现代农业。微生物技术在现代农业中发挥着重要作用，尤其现代生物技术在农业上的广泛应用，更加促进了现代农业的快速发展，并显示出广阔的发展前景。

微生物肥料是现代生物技术在农业应用上最成功的例子。长期以来化学肥料的施用和施肥结构的不合理，造成农业生态环境污染和破坏。通过选育和改造有益的根际和叶面微生物，研制微生物肥料成为实现绿色农业的主要手段之一。

在农作物种植方面，植物病虫害一直影响着农作物的产量和品质。化学农药的使用，在杀死害虫、除掉杂草的同时，也带来了令人担忧的问题，如害虫的抗药性、对自然界食物链及人类赖以生存的环境造成破坏。而生物防治技术则成为一种既利于环境保护又能控制植物病虫害的有效措施。很多微生物能够抑制植物病原菌的生长繁殖甚至引起其致病死亡，如白僵菌、苏云金芽孢杆菌制剂等具有毒力高、治病快的特点而成为杀灭鳞翅目、鞘翅目、膜翅目等昆虫的有效生物制剂。

一直以来，抗生素作为疾病治疗剂和动物生长促进剂发挥了重大作用。对于现代集约化养殖业，饲料中添加抗生素成为预防疾病的主要方式。与此同时，抗生素的大量、长期使用的弊端也日益突出，饲料中抗生素替代品的研究成为热点。研究最广泛、应用效果最好的是微生物饲料添加剂，它包括单细胞蛋白、复合酶制剂、免疫增强剂及益生菌剂等其他微生物及其代谢产物，通过改善饲料的营养结构、提高饲料消化吸收率，或者通过调整肠道菌群平衡，促进或刺激机体的免疫功能，提高其抗病能力，进而促进动物的生长和发育。微生物饲料添加剂已经成为饲料组成的重要成分，得到养殖业的认可，有望成为抗生素的有效替代品。

青贮饲料是将青绿作物及其秸秆在密闭条件下，通过微生物的代谢活动而获得的能够长期保存、鲜嫩和营养丰富的越冬饲料。作物种类及管理水平影响着青贮饲料的质量和品质，通过添加微生物青贮剂控制青贮发酵过程，可获得优质的青贮饲料。

本书介绍了微生物技术在现代农业如生物肥料、生物农药及微生物饲料

添加剂等领域中最新应用的成果、使用的新技术和新方法以及发展方向。本书共七章：第一章由张玉臻教授、刘同军博士编写；第二章由张玉臻教授、孙昌魁博士、李强博士编写；第三、四、五章由马桂荣教授编写；第六、七章由孔健教授编写，其中第六章的第五节由张秀红博士编写。本书的作者在相关领域从事了多年的科研工作，积累了丰富的工作经验，在总结过去工作经验的基础上，同时参考了大量的国内外最新的技术资料，因此本书具有基础理论面广、应用性强等特点，可供从事农业微生物技术工作的有关人员和生产企业生产人员参考。

在本书编写过程中，马俊孝、孙磊、王稚萱、孔文涛等同学帮助进行了文稿校对，在此表示感谢。

由于水平有限，书中错误及不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

孔 健

2005年1月

于济南山东大学

内 容 提 要

本书是一本综合性较强的关于农业微生物技术的专业书,根据各领域的不同发展阶段,作者针对性阐述了科技发展情况、产品应用情况,以及相关的规范操作技术。具体内容包括:微生物技术在种植业中的应用(微生物肥料、微生物与植物病虫害生物防治);微生物技术在饲料工业中的应用(饲用微生物酶制剂、单细胞蛋白、饲用微生物免疫增强剂、益生菌剂、青贮饲料)等。内容全面,实用性强。

适合从事农业微生物技术科研、教学和生产等人员使用。

目 录

第一章 微生物肥料	1
第一节 肥料微生物	1
第二节 肥料微生物促进植物生长的机理	13
一、活化并促进植物对营养元素吸收	13
二、产生多种生理活性物质刺激调节植物生长	16
三、产生抑病作用间接促进植物生长	18
四、提高植物的抗逆性	20
第三节 肥料微生物与土壤污染物的降解	20
一、土壤中污染物的种类、来源及其危害	21
二、微生物对化学农药的作用	23
第四节 微生物肥料种类及应用	25
一、单一微生物肥料	25
二、复合微生物肥料	28
三、有机堆肥	29
四、微生物菌肥的生产制备	30
第五节 我国微生物肥料发展现状与展望	32
一、我国微生物肥料研究和应用中存在的主要问题	33
二、我国发展微生物肥料的对策	34
三、微生物肥料发展预测和展望	36
参考文献	38
第二章 微生物与植物病虫害生物防治	40
第一节 抑菌防病微生物	41
一、主要抑菌防病微生物类群及其特性	41
二、微生物抑菌防病作用的机制	49
三、抑菌抗病微生物在植物病害防治中的应用	52
第二节 杀虫微生物	55
一、杀虫微生物类群及特性	55
二、昆虫病原微生物在农业病虫害防治中的应用	70
第三节 杂草的微生物防治	72
一、杂草微生物防治的概念、方法及其防治机理	73
二、有除草潜能的微生物类型	74

三、国内外微生物除草剂的研究概况	77
四、微生物除草剂开发的限制因素和对策	78
参考文献	81
第三章 饲用微生物酶制剂	83
第一节 饲用酶制剂的种类和作用	83
一、蛋白酶	83
二、淀粉酶	87
三、植酸酶	89
四、非淀粉多糖酶	91
第二节 饲用酶制剂的应用	96
一、饲用酶制剂的应用概况	96
二、饲用酶制剂的应用	98
第三节 饲用酶制剂的生产	102
一、饲用酶制剂的选择	102
二、饲用酶制剂的发酵生产	102
三、饲用酶制剂的安全性	110
参考文献	110
第四章 单细胞蛋白	112
第一节 单细胞蛋白营养评价	112
一、单细胞蛋白的概念	112
二、SCP 的营养价值及评价指标	112
第二节 生产 SCP 的微生物	115
一、酵母	115
二、丝状真菌	118
三、藻类	120
四、光合细菌	123
五 其他细菌	124
第三节 生产 SCP 的主要原料	125
一、碳氢化合物	125
二、各种废弃物	125
三、淀粉质原料	127
四、其他原料	127
第四节 SCP 的生产工艺	127
一、液体发酵工艺	127
二、固态发酵工艺	130

三、限制 SCP 应用的因素	134
四、SCP 的安全性	134
五、现代生物技术在 SCP 生产中的应用	136
参考文献	136
第五章 饲用微生物免疫增强剂	138
第一节 免疫增强剂的概念和作用机制	138
一、动物的免疫系统	138
二、免疫增强剂的概念和种类	138
三、免疫增强剂的作用原理	140
第二节 微生物免疫增强剂的种类及作用	141
一、肽聚糖	141
二、细菌脂多糖	143
三、寡糖	143
四、几丁质或壳聚糖	144
五、多糖类	145
六、多肽类	149
七、核苷酸类	149
第三节 微生物免疫增强剂的生产	150
一、细菌胞外多糖的生产	150
二、真菌多糖的提取	151
三、核苷酸类物质的生产	151
四、多肽的生产	152
五、寡糖类的生产	152
第四节 微生物免疫增强剂的应用	152
一、应用范围	153
二、使用方法	153
三、使用时间和剂量	153
四、微生物免疫增强剂的发展趋势	154
参考文献	155
第六章 益生菌剂	156
第一节 益生菌剂的概念	156
一、益生菌剂的概念	156
二、益生菌剂与微生态制剂	157
三、肠道微生态菌群	157
四、肠道菌群的功能	159

第二节 益生菌剂的常用菌株及其生理功能	160
一、乳酸菌制剂	160
二、芽孢杆菌制剂	164
三、酵母菌制剂	166
四、益生菌具备的条件	167
第三节 益生菌剂的作用机理及应用	168
一、益生菌剂的作用机理	168
二、益生菌剂的应用	170
三、益生菌剂的安全性	171
四、益生菌的活菌与死菌问题	172
五、益生菌剂存在的问题及研究方向	173
第四节 益生菌的检测方法	173
一、检测益生菌的经典方法	174
二、益生菌的分子检测技术	176
三、用于乳酸菌分离和培养的常见培养基	178
第五节 益生元	180
一、益生元的种类	180
二、益生元的作用机制	181
三、益生元的作用	182
四、合生元	183
五、低聚寡糖的国内外研究状况	183
六、益生元在饲料应用中的注意事项	184
第六节 噬菌体制剂及其在畜禽和水产养殖中的应用	184
一、噬菌体治疗的原理	184
二、噬菌体治疗的发展及在畜禽水产养殖中的应用	185
三、噬菌体治疗存在的问题及对策	186
四、噬菌体裂解酶的应用	187
五、展望	188
参考文献	188
第七章 青贮饲料	189
第一节 青贮饲料的发酵过程	189
第二节 青贮饲料的微生物类群	191
一、乳酸菌	192
二、肠细菌	192
三、梭菌	193

四、酵母菌	194
五、醋酸细菌	195
六、芽孢杆菌	195
七、霉菌	195
八、利斯特菌	196
第三节 青贮饲料添加剂	197
一、饲料防腐剂	198
二、非蛋白氮	199
三、细菌接种剂	200
四、酶制剂	203
五、其他添加剂	204
六、乳酸菌接种剂的局限性	205
七、青贮接种剂的发展趋势	206
第四节 青贮饲料的化学成分及有氧稳定性	207
一、可溶性碳水化合物	208
二、有机酸	209
三、含氮化合物	210
四、青贮饲料的有氧稳定性	211
第五节 青贮饲料质量鉴定及控制	212
一、青贮饲料质量鉴定指标	212
二、影响青贮饲料质量的因素	214
三、青贮饲料的主要原料	217
四、青贮饲料的优点	217
五、青贮饲料对动物生长发育的影响	218
第六节 微贮饲料	219
一、微贮中常见的微生物接种剂	219
二、秸秆微贮发酵的生产工艺	220
三、影响微贮饲料品质的因素	221
四、微贮饲料对动物的促生长机制	221
五、微贮饲料的特点	222
六、微贮秸秆的方法	222
参考文献	223

第一章 微生物肥料

微生物肥料也叫生物肥料、菌肥、细菌肥料、接种剂，是应用于植物或土壤环境中含有生物活性、起肥料效应，或以肥料方法施用、以微生物活性生物体或其代谢产物为主要作用因子的一类生物制剂或肥料制品，应用于农业生产中，能获得特定的肥料效应。在这种效应的产生中，制品中的活微生物起着关键作用，符合上述定义的制品均归入微生物肥料。微生物的生命活动，增加了对植物营养元素的供应量，从而提高植物产量。但微生物生命活动的关键作用不限于植物的元素营养供应水平，还应包括它们所产生的植物生长刺激素对植物的刺激作用，促进作物对营养元素的吸收，或者是拮抗某些微生物的致病作用，减轻作物病虫害，而使产量增加，如植物促生根瘤菌（plant growth promoting rhizobacteria, PGPR）即属于此类。

第一节 肥料微生物

微生物可以作为肥料资源主要是由于它是自然界中唯一能够利用氮气的生物。空气中的氮气是所有生物的氮素来源，微生物通过固氮作用，把分子氮转化为氨态氮，部分供自己利用，另一部分供植物利用并进一步合成有机氮；同时通过微生物的降解作用，将生物的残余物变成植物可以利用的氮源和其他养料，实现生态平衡；其次，微生物参与地球化学过程，促进土壤的形成和熟化，促进无机元素的释放，为植物提供矿物营养。这些构成了植物生存的基础，微生物扮演了天然肥料生产者的角色。

植物的正常生长、发育和高产是与其基因的组成和外部环境（如营养物质的供应情况、有益微生物和有害微生物的存在与否等多种复杂因素）有关的。土壤中固有的有益微生物包括可以释放刺激植物生长物质的细菌和真菌，也包括土壤中抑制有害微生物生长而起间接作用的微生物。一般来说，微生物直接促进植物生长的机制包括从大气中固氮，增加铁、磷等元素的吸收，合成促进植物细胞繁殖的植物激素等。间接作用的机制则是有益微生物的生长耗尽了某种营养，或由于它释放出了某种物质抑制了有害微生物的生长。

（一）土壤中的微生物群落及分布

在微生物赖以生存的不同生态环境中，土壤是微生物生长和繁殖的良好培养基。土壤中含有各种各样的有机营养物质和无机营养物质，其中分布着形形色色的微生物类群。土壤中的微生物可粗分为两类。一类是长期定居于

土壤中的土著微生物 (autochthonous microorganism), 也就是一般所谓的土壤微生物。这些微生物从生理方面适应了土壤生境的理化环境, 当处于恶劣环境时, 能较长期的呈休眠状态, 等到环境适宜时, 就进行生命活动 (如生长), 并参与土壤特定的生物化学转化, 如固氮菌、硝化细菌等。这类微生物能与来自其他群落的微生物进行有效地竞争。另一类是外来微生物 (allochthonous microorganism), 是随着施肥和动物排泄物等带菌物进入土壤的, 只能作短暂时间的生长, 一旦加入土壤中的这些物质被耗尽之后, 它们就失去了生存的物质基础, 慢慢死去。一般病原细菌多是外来微生物。

1. 土壤是微生物的重要栖息地

土壤具有微生物生命活动所必需的营养物质和适宜的生活条件, 素有微生物的天然培养基之称。

土壤是由固相、液相和气相共同组成的一个较为疏松的特殊物质体系, 广泛覆盖地表。其中固相物质包括土壤矿物质和有机物两部分。从土壤的总质量来说, 土壤矿物质构成土壤的绝大部分, 约占土壤固相总质量的 90% 以上, 其中包括多种元素, 最多的是硅, 其次是铝、铁, 再其次是磷、钙、镁、铬、钠、硫等; 土壤中无机盐虽然稀少, 但一般均足以满足微生物生命活动的需要。土壤有机质主要是动植物残体及其排泄物、生物活体等各类化合物, 一般约占 1%~10%, 甚至更少。据其作用有机质可分为两大类, 一类是组成生物体的各种有机物质, 称为非腐殖质物质; 另一类是腐殖质, 是生物体有机质经过土壤微生物作用后形成的复杂有机物的混合物。土壤有机质可作异养微生物的养料。固相物质之间存在着形状不同、大小各异的孔隙, 气相物质 (空气) 和液相物质 (水溶液) 充满其中, 土壤中空气组成与大气基本相似, 主要成分是 N_2 、 O_2 和 CO_2 , 但其中 CO_2 和 O_2 的含量有很大差异, 这主要是由于空气存在于相互隔离的土壤孔隙中形成一个不连续的体系、微生物呼吸作用和有机物的分解造成的。土壤中水分含量虽不很大, 但基本上能够满足微生物生命活动的需要, 土壤水分类似于常用的培养基, 其中含有微生物生长所必需的各种有机氮素和无机氮素及各类无机盐、微量元素、维生素等。

综上所述, 土壤具有各类微生物进行生命活动所必需的各种条件, 其中栖息着数量可观的微生物, 有时能占土壤的 1% 之多。

2. 土壤中微生物的组成和分布

土壤是一个典型、主要而广泛的微生物聚集处。土壤微生物受环境因素的影响很大, 处在不断的生生死死和不停的变化之中。由于土壤种类和土层的不同, 环境条件不可能一样, 营养物质的分布, 水分的有无、多寡, 以及空气的流程度等条件, 均足以影响微生物的生存。而且各类生物之间的活动又相互影响, 相互制约。微生物个体微小, 所处的环境也不会很大。在一

块很小的土壤碎块之内，就可能有适宜于一种微生物的生长，而不适于另一种微生物的生长的小生境，其中的温度、酸碱度、湿度、水分等条件都可能不太相同。在土壤表面，由于日光照射及干燥等因素的影响，微生物不易生存。深层土壤由于有机质含量少、缺氧等原因，菌数随土壤深度的增加而减少。通常距地表 15cm 左右的土壤中菌数最多，每克耕作土中常含数十亿个微生物细胞。

微生物数量的季节性变化也非常明显。一般说来，冬季微生物数量明显减少，多数呈休眠状态；春季气温增高，万物复苏，植物根系分泌物增加，为微生物提供了大量营养，微生物数量随之上升；夏季，由于植物、微生物大量生长，造成营养缺乏，加之微生物代谢产物的累积，会影响微生物的生长繁殖；秋季的温度、湿度适宜，及秋收后大量植物残体进入土壤，为微生物提供了良好的生长环境，微生物又大量增加。

土壤中细菌的数量很多，有各种不同形态（球菌、杆菌、弧菌、螺旋菌），不同的氧气需要（好氧菌、厌氧菌和兼性菌），不同的环境要求（有的嗜碱或中性，有的耐酸，有的嗜中温，有的嗜高温，有的嗜冷），营养类型不同，和动植物的关系也不一样（寄生、共生和腐生）。其中，放线菌占相当大的比例，约占细菌总数的 10%~33%，尤以链霉菌、诺卡菌为最多，小单胞菌也很普遍。放线菌的最适生长温度为 13~32℃，最适生长 pH 为 7~8.5，也有能耐 pH 为 3~4 左右环境的，但总的说来，它们对酸性更为敏感。所以，酸性土壤中很少发现放线菌。相反，它们抗干燥能力比细菌强大得多，能存活于干燥土壤乃至沙漠中，它随土壤的深度增加而减少的速度比细菌慢，因此相对说来，深层土壤中放线菌往往仍很多。真菌喜酸性，在酸性森林土壤中较多，它们的个体体积远较细菌为大，在土壤中为数虽较细菌少，但所产生的生物量（biomass）则很大，可占表层土壤重的 0.05%。其大多是好氧性的，主要存在于 10cm 以内的顶层土壤中，30cm 以下的土壤中的真菌数量就很少了。经常可以从土壤中分离到的多是半知菌和藻状菌，如曲霉、青霉、地霉、木霉、毛霉、根霉、镰刀霉等。担子菌在某些土壤中也很多，往往肉眼就能看出它们所形成的子实体。另外，有些土壤中也有能和一些植物共生的菌根真菌，但分离起来就不那么容易了。酵母菌一般土壤中较少，果园土壤中较多，有假丝酵母、红酵母、隐球酵母、汉逊酵母等。

土壤中能进行光合作用的微生物有蓝细菌，也有藻类。藻类多是小型的，多栖息于多水的表层土壤中，在深 30cm 的耕作层中，每克土壤中可达几千到几十万个。其数量季节性变化明显，春秋多而冬夏少。土壤中还可分离出病毒，很多可以感染土壤中其他微生物，有的则是动植物的病原。

（二）土壤微生物与植物之间的关系

微生物和伸展在土壤中的植物根部发生直接联系，彼此相互影响，建立多