

高等农业院校試用教材

土壤微生物学

北京农业大学編

微生物专业用

农业出版社

高等农业院校試用教材

土壤微生物学

北京农业大学編

微生物专业用

农业出版社

壤

高等农业院校试用教材
土壤微生物学
北京农业大学编

农业出版社出版
北京西便门大街七号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 106 号)

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

东单印刷厂印刷装订

统一书号 6144·1105

1961 年 6 月北京制版

1961 年 6 月初版

1961 年 6 月北京第一次印刷

印数 1-2,000 册

开本 737×1092 毫米
十六分之一

字数 20.6 千字

印张 九又四分之三

定价 (9) 九角五分

目 录

第一章 結 論	1
第一节 土壤微生物学的对象及其在农业生产上的重要性	1
第二节 土壤微生物学的发展简史	2
第二章 土壤环境条件及土壤微生物的种类和分布	7
第一节 土壤微生物生存的环境	7
第二节 土壤微生物的种类和分布	14
第三节 土壤微生物在土壤形成过程和农业生产中的作用	26
第三章 土壤微生物在植物营养元素转化中的作用	29
第一节 氮素的转化	29
第二节 碳素的转化	56
第三节 微生物在矿质元素转化中的作用	65
第四章 微生物在有机质分解与腐殖质形成中的作用以及土壤中微生物学过程的调节	69
第一节 土壤有机质转化过程中的微生物作用	69
第二节 农业技术措施与微生物的关系	78
第五章 土壤微生物与高等植物的相互作用	87
第一节 高等植物对土壤微生物的影响	88
第二节 根际微生物	90
第三节 植物附生微生物	95
第四节 微生物在植物营养中的作用	96
第五节 菌根和菌根菌	105
第六章 有机肥料的微生物学过程	108
第一节 有机肥料在农业上的重要性	108
第二节 猪粪肥堆腐的微生物学过程	108
第三节 堆肥制造及其微生物学过程	115
第四节 好热性微生物及其分布	121
第五节 生物热及其利用	122
第六节 沼气发酵及其利用	123
第七章 细菌肥料在农业生产中的应用	128
第一节 根瘤菌剂	128

第二节 固氮菌剂	133
第三节 磷细菌剂	136
第四节 抗生素肥料	138
第八章 土壤微生物生态学	140
第一节 土壤微生物生态学的内容和任务	140
第二节 生态因子对土壤微生物分布和活动性的影响	141
第三节 土壤中微生物的变异性	147
第四节 微生物作为土壤肥力和土壤类型的指示者	150

第一章 緒 論

第一節 土壤微生物學的對象及其在農業生產上的重要性

土壤中生存着大量多种多样的微生物。它們的生命活动引起土壤中各种物質的变化,推动着土壤肥力的发展,对植物营养有重大作用。根据目前土壤微生物学已有的知識及其在生产中的应用,可以肯定地說,为了发展农业生产,必須重視微生物在土壤中的作用,并且應該認識到积极利用土壤微生物的活动来提高农作物的产量是有广闊的前途的。

只要举一些事例,就能判断出土壤微生物在土壤肥力和植物营养中的作用有多么重要。

每克土壤中含有几亿个細菌。肥沃的土壤中細菌数量可达到几十亿个。有人根据这个数量和細菌单細胞的重量推算出每公頃表层土壤含有細菌的总重量約为5-7吨。它們不是靜止不动的,而是时刻都在生长、发育、繁殖和死亡。虽然現在对細菌在土壤中存亡情况的了解还很不够,不过,假定細菌每月只繁殖两三次,那末在一个生长季內土壤中細菌的重量就可达到数十吨。这些活物質使土壤具有了生命力。这个数字是很惊人的。但是,这只是細菌,还未包括其他的微生物,土壤中除細菌外,还有放綫菌、真菌、藻类、原生动物以及更小的生物。

这样一个数量大、种类多、活跃强的微生物群的生命活动是土壤中生物化学过程的基础。这些过程可概括地分为分解和合成。

植物、动物以及微生物残体中含有植物必需的养分,可是只有在微生物分解这些残体时,其中的养分才能轉化为植物可吸收的状态。不仅如此,微生物的生命活动还能直接和間接地把土壤中一些非水溶性的礦物質养分变成植物可吸收的状态。微生物的这些主导的分解和轉化过程对农业生产有着重要意义。

土壤腐殖質是决定土壤肥力性状的重要物質。它是植物残体分解过程中形成的新的大分子化合物。微生物直接参与腐殖質的形成作用。同时微生物又能破坏它。腐殖質的形成与分解的控制是土壤耕作的重大任务,而解决这项任务,就离不开微生物学的知識。

在合成过程中,微生物固定大气分子状态氮素的作用对农业特別重要。根瘤菌,固氮菌等固氮微生物一直是土壤微生物学研究的主要对象之一。二、三十年来,在农业生产中找到一些办法,积极地利用它們的作用来提高产量。

植物根的表面上和近根的土壤生存着特殊的、数量更多的微生物群。这称为根际微生物。它們与植物有更密切的相互作用。根际微生物能以合成的各种物質如生长素、維生素、抗生素以及毒素等影响植物的生长和发育。

上面介绍的只是土壤微生物的一些最主要的作用。但是,应该知道,这些作用并不是常常按照我们所需要的方向进行的。因此,土壤微生物学的任务不仅在于说明微生物在土壤肥力和植物营养中的重要性,而更重要的是藉各种农业技术措施控制土壤微生物的作用来提高农业生产。

目前,已经有一些加强利用有益的土壤微生物的办法,如各种细菌肥料的应用对提高农作物的产量起很大作用。根据中国科学院林业土壤研究所的资料,根瘤菌剂的平均增加产量是12%,固氮菌剂的平均增加产量是8—25%,磷细菌剂是14%。这样看来,广泛而有效地应用细菌肥料,显然是能增产的。

开辟肥源,广泛利用各种有机残余物造肥,对发展农业生产有重大意义。造肥也要靠微生物的生命活动。各种堆沤有机肥的方法都是以控制微生物的活动作为基础的。调节和控制微生物过程可以加速各种有机肥料的腐熟,可以保存养分,达到提高肥效的目的。

此外,耕作、施肥、灌溉,以及间作、套作和轮作等措施都与土壤微生物有关。它们也是调节和控制土壤微生物活动提高土壤肥力和改善作物营养的技术措施。

为此,必须深入地研究土壤微生物的生命活动规律,以便调动有益土壤微生物的活动和控制有害土壤微生物的活动,让土壤微生物服从我们的意志为发展农业生产而服务!

第二節 土壤微生物學的發展簡史

土壤微生物学是微生物学的分科,它的研究对象是土壤中的微生物。因此,这门科学的发展不仅与农业上存在着的微生物问题有关,同时也与微生物学、土壤学、植物生理学的发展有密切关系。

在人类没有研究微生物个体形态之前,农业生产实践就累积了不少利用土壤微生物活动的经验。积肥造粪,翻土压青等农业生产技术就可作为这方面的证明。有机质腐烂现象一直吸引着人们的注意。土壤微生物学的工作也正是从研究与有机质分解有关的一些微生物活动开始的。确定土壤中个别微生物引起的过程和分离培养这些微生物是土壤微生物学初期发展的特点。在这基础上逐渐扩大对土壤微生物群的研究,以至过渡到全面研究土壤微生物在土壤肥力和植物营养中所引起的各种过程的发展时期。在这个时期不单是说明土壤微生物的重要性,还找到了一些控制土壤微生物活动来提高作物产量的方法。

十九世纪末,有机质分解形成硝酸盐是一件最引人注意的事。硝酸盐不仅是火药的原料,而且在农业上也极重要。巴斯德(1862年)曾指出,硝酸盐的形成与细菌有关。后来什洛辛格和梅兹(1877—1878年)用试验证明硝化作用是由微生物活动引起的,但不知是什么样的微生物引起的。很多人企图分离硝化细菌。可是,由于对细菌本性不了解,只使用微生物学常用的一般培养方法,因而都没有得到成功。直到1896年,俄国微生物学家维诺格拉斯基根据他对自养微生物生理特点的理解,才把硝化细菌在不含有有机质的矽胶板上从土壤中分离出

来。他确定了硝化作用的阶段性和发生的条件。

維諾格拉斯基不仅分离和研究了硝化細菌的种类、生理和分布,还分离出土壤中的嫌气性固氮菌(1893年)。他对固氮菌等进行了許多研究工作,并首創了选择培养法和直接观察土壤微生物的方法。这对土壤微生物早期的发展起了很大作用。他被認為是土壤微生物学的奠基人。

在这个时期,还发现和分离了其他固氮微生物。沃罗宁(1866年)发现豆科植物根瘤中有細菌存在。赫尔利格尔和惠尔法斯格1888年証明根瘤菌有固氮能力。同年別依林克把根瘤菌分离出来。多年来未解决的問題——豆科植物能肥沃土壤,不施氮肥也能生长好的原因——得到了正确的認識。不久以后,需氧固氮菌也被分离出来了(1901年別依林克)。

此外,对有机質分解作用中其他微生物的研究也开展了。考斯特切夫(1892年)研究菌类在土壤有机質分解和在腐殖質形成中的作用。这个工作是以后研究微生物在土壤形成中的作用的基础。

研究植物有机質主要組成化合物——纖維素——的分解是很重要的。奥梅梁斯基(1899年)首先发现纖維素分解嫌气性細菌。

在上述这些研究以及其他工作的基础上,在二十世紀初期,土壤微生物学有了迅速的发展,逐步扩大了研究范围。对細菌以外其他微生物群的研究也开始了。对土壤中氮素轉化的各种过程都进行了較深入地研究。土壤有机質分解的微生物学原理也有詳細的研究。美国微生物学家瓦克斯曼在研究复杂有机物質在堆肥和土壤中轉化的微生物过程有不少貢獻。他写了“土壤微生物学原理”一书(1927年,1932年),总结了土壤微生物学发展中的主要成就。这本书对土壤微生物学有很大的帮助。

如果对土壤微生物学从产生到这个时候所积累的材料进行粗略地估价的話,可以肯定說,有关土壤微生物群落的种类、分布及其引起的过程的大量知識是很有价值的。这些材料确定了土壤微生物在物質轉化中的作用,及其对土壤肥力和植物营养的影响。然而,由于研究工作者所持观点的限制和研究方法上的缺陷,土壤微生物学的发展中就缺乏正确的理論指导,同时也缺乏控制微生物活动的农业技术措施的研究。那时,所研究的微生物只是土壤中的少数种类。

此后,土壤微生物学发展的第二个阶段在苏联和在資本主义国家有很大的不同。伟大的十月社会主义革命开辟人类历史的新紀元。社会主义社会制度以及社会主义的建設需要和生产实践,保証并促进科学沿着正确道路迅速地发展。苏联土壤微生物学的发展和取得的成就完全反映了这种情况。

苏联土壤微生物学是按照威廉斯学說所指出的方向发展的。威廉斯的土壤形成和肥力的学說是以土壤生物活动,也就是以高等植物和土壤微生物活动为基础的。他不但指出了微生物在土壤形成和腐殖質形成与分解中的作用,土壤微生物与高等植物之間的相互作用,以及微生物怎样决定土壤肥力等,同时还提出了进一步研究这些問題的任务。

苏联土壤微生物学工作者在威廉斯学说指导下,对于土壤微生物生态学,土壤腐殖质形成,固氮作用以及微生物在植物营养中的作用等重要问题方面,进行了广泛深入的研究并提出了一些重要的科学理论。苏联是第一个广泛应用各种细菌肥料提高作物产量的国家。所有这些都积极地促进了农业生产的发展。

在简略地分析土壤微生物学发展现状和所取得的成就时,不能不指出,土壤微生物学的发展与微生物学其他分科比较起来,是缓慢的。目前对土壤微生物区系的实际状况和动态了解得还不充分,所研究的土壤微生物的种类只是整个土壤微生物群的少数,对土壤微生物区系的种的组成和数量还不够清楚。这就影响了这门科学各部分工作的开展。

土壤微生物生存在复杂的土壤环境中,受很多种因素的影响,研究它们的活动是有特殊的困难。由于土壤微生物区系是由各种微生物组成的,它们的活动关系到土壤肥力、植物生活和农业耕作。因此,今后必须扩大研究范围,加强与有关学科如土壤学、农业化学、植物生理学、作物栽培学、耕作学等的协作,并且还必须应用各学科的先进方法。

土壤微生物在农业上的巨大作用是完全肯定的,今后这门科学的发展必将更能证实、加深对土壤微生物群的数量、种的组成、作用实质和动态的理解,寻找各种有效方法控制土壤中的微生物学过程来提高农作物产量当前最迫切的任务。

第二章 土壤环境条件及土壤微生物的种类和分布

第一節 土壤微生物生存的环境

自然土壤的形成是从其成土母質上有了生物聚居之后开始的,土壤中最原始的生物是微生物,然后才是植物。自然土壤的形成过程,主要是植物和微生物的作用过程。而土壤又是微生物在自然界中最合适的生存环境,从而可以看出土壤与微生物互相依存的关系。因此作为土壤微生物学,要研究土壤微生物的生活规律、研究它们在土壤肥力和植物生长中的作用,必须先了解它的生存环境——土壤与它的关系。

一、土壤有机質与微生物的生命活动

除很少一部分有机質溶解于水以外,絕大部分土壤有机質是土壤固体的組成部分,其成分是极复杂的,它包括动植物残体,微生物的活动产物及微生物細胞本身。这些有机質就是大多数微生物所賴以生存的主要营养来源,也是微生物主要的作用对象。动植物残体一旦落入土壤,或者微生物細胞一旦死亡,馬上就遭到各种微生物的强烈作用,形成各种产物,或者成为简单的 CO_2 、水和矿質化合物如氨、硝酸、磷酸等可溶性物質,供植物作营养,或者成为某些中間产物如有机酸、醇等,或者經复杂的生化过程合成为稳定的腐殖質。

土壤有机質来源除施入的有机肥料,植物的葉秆、枯枝敗叶、死亡的根系之外,还有生活着的植物經常向根外分泌各种含氮与不含氮的有机物,这些也是微生物很好的营养来源。

一般植物組織里包含有各种含碳或含氮化合物,包括糖、糊精、淀粉、果胶、半纖維素、纖維素、木質素、有机酸、脂肪、蜡質、樹脂、蛋白質、氨基酸等各种各样的化合物。这些都是这类或那类微生物的食物,其中含量最大的部分是纖維素,約占植物体重量的50%。这些纖維素物質經纖維菌作用后,产生各种中間产物——有机酸、醇、糖等,又可作为其他微生物的营养物質。各种异养性微生物分解这些有机物質,一方面从中取得构成自己身体細胞的碳氮营养,一方面也从中获取生命活动的能量。

有机質的成分不同,或者其分解的阶段不同,参与轉化作用的微生物类群也不同。所以土壤里有机質的数量和成分对土壤微生物的数量和种类产生巨大影响。

二、土壤水及土壤溶液

水是地球上各种生物所賴以生存的基本要素之一,微生物自然也不例外。微生物所需要

的有机的和无机的营养料都要经过水溶以后才能被微生物细胞吸收。

一般說微生物吸水的能力比高等植物强,微生物可以吸收低于土壤最大吸湿水的水分。不同种类的微生物对水有不同的要求,放线菌一般比較更耐干旱,克拉西里尼科夫做了一实验,他把滤纸埋在非常干旱的土壤里,很快滤纸就布满了放线菌的菌落,同时滤纸被分解,而在这种情况下其他任何生物的生命活动几乎是不可能进行的。有人将微生物按对水分的要求分为三类:

(1)旱性微生物——其生长的空气相对湿度的范围为85—90%。

(2)中湿性微生物——90—95%

(3)好湿性微生物——95%以上。

霉菌属第一类或第二类:细菌則特別喜潮湿,属第三类。

但这些范围不能看作绝对的,因为微生物受环境条件的影响是多方面的,特別影响其对水分要求的是温度、在适宜的温度条件下,微生物更能抵抗不适宜的水分条件。

还必须说明,当土壤湿度低到任何微生物都不能生长发育时,微生物所分泌的酶还能进行着各种各样的生化过程,因此土壤干旱时,其中的生化活动并未停止。

土壤水里含有溶解的各种有机质和无机盐分,实际上植物和微生物所吸收的土壤水分就是土壤溶液。一般說土壤溶液很稀薄,約含0.05—0.5%的可溶性盐。我国华北土壤含可溶性物质約0.05—0.01%,它包括各种无机盐分,如钙、镁、钾、钠、铵等的硝酸盐、亚硝酸盐、碳酸盐、重碳酸盐、硫酸盐、磷酸盐及微量元素,也包含有少量有机质如有机酸、维生素等生物的代谢产物。因此土壤溶液是极复杂的,它恰似一个大自然的培养基,养育着各种各样的高等植物及微生物。

土壤愈干,則土壤溶液愈浓,其渗透压也愈大,在一般土壤里,当土壤为中等湿度,土壤溶液的浓度为0.1—1.0%时,其渗透压便为0.5—5个大气压,盐鹼地里土壤溶液的渗透压可高至100大气压,在沼泽土里則很低。微生物要吸收土壤水分,必須其细胞內的渗透压高于土壤溶液的渗透压。土壤微生物的渗透压一般为3—6个大气压,也有高到20个大气压的,有些时候有些微生物细胞里的盐分可能很高,其渗透压可能达到很大程度。有些材料指出真菌细胞的渗透压可高至220个大气压,细菌的可达50—80个大气压。

土壤微生物的渗透压是随其所适应的环境条件而有所不同的,米苏斯金对苏联不同地区所分离的固氮菌及蕈状杆菌(*Bac. mycoides*)的渗透压作了比較研究,指出这些微生物的不同地理亚种对其培养基溶液的浓度的反应是不相同的。

各种微生物对土壤溶液的渗透压有一定的适应范围。超过这范围,虽然有水,它們也无法吸收,以致造成“生理性干旱”。

土壤溶液中氢离子浓度不同,因此土壤有不同的酸鹼度,土壤酸鹼度对土壤微生物影响很大。不同的微生物对酸鹼度有不同的反应。一般說,霉菌及酵母菌在弱酸性的环境中——当pH为3—6时,生长良好。腐敗细菌及硝化细菌在中性及偏碱性的条件下生长很好。对它

們适合的pH范围是6.5—8。好气固氮菌对土壤酸度特别敏感，在pH接近5.4—5.5的土壤里好气固氮菌一般就不能发育了。只有一种固氮菌 (*Azotobacter indicum*) 能在pH4.9的土壤中繁殖。

我国土壤酸度变动范围很大，如南方的紅、黃壤pH=4.0—5.5，华北的褐色土pH=7.0，而西北部北方的石灰性土壤以及苏北的盐土pH大于8.0。这只是指的一般土壤的酸鹼度性質，而在农业土壤中，pH变化受耕作施肥等农业措施的影响，特别是施用石灰可以調节土壤的酸度，使之适合植物及微生物的生长发育。

三、土壤温度对微生物生长的影响

土壤温度对作物及微生物的生命活动影响很大，所以我国农民很注意調节土壤温度。調节土壤温度是与調节土壤水分及空气有密切关系，施用有机質肥料对增高土温有很大意义。一般土壤的温度适合于中温性与低温性微生物的繁殖，土壤温度是随着气温的变化而变化的。因此微生物活跃的情况也随季节变化而有很大的差别。在土壤冰冻情况下，微生物的生命活动很微弱，一般并不死亡。当土温逐渐升高，它們也就随着活跃起来。

土壤微生物的繁殖速度及活动情况不但受季节的影响，而且在每一昼夜內随着太阳幅射热的强度变化而变化。例如，根据西南农学院的材料，油菜根际范围内的固氮菌、磷細菌、鉀細菌及腐生菌在不同土层中数量的变化，一昼夜內可相差三倍至十多倍，而且有相当明显的周期性，特别是在有結構和吸附性能較为优良的土层。各类細菌活动最旺盛时间是：固氮菌大多是午后4—7时，最常见的是下午3时；磷細菌是在上午7时至下午7时之間，其中底层一般是在下午7时，土壤表层是在上午7时至下午3时之間；鉀細菌則在下午3时；而腐生菌則在下午3—7时，当时大气温度最高为20.6°C(下午3时)最低温7.7°C(晚1时)，而土壤温度則变动在11.7—14.7°C之間。他們认为微生物数量的日变化是与土壤內温度、水分、及胶体对酸度緩冲力的变化有关的。这是一个很有意思的材料，但这方面的工作做得特別少。为了了解微生物每日每时的变化及其与植物生活的关系，值得进一步深入研究。

微生物对气候的变化有較大的适应性，不同气候区域的微生物有不同的最适温度。茲将米苏斯金的材料列举如下(表2—1)。

表 2—1 不同地理区域腐敗細菌对温度的要求

細菌取样地点	5—8月土壤平均温度°C (a)	細菌大致的最适温度°C (b)	(b)—(a) °C
阿尔莫格尔斯克	10.5	28.5	18.0
莫斯科	12.7	30.0	17.3
庫尔斯克	16.4	34.0	17.6
阿尔馬威尔	22.4	35.0	13.1
中亞細亞	30.0	38.0	8.0

从表中也可看出,各地細菌生长的最适温度都比实际土壤夏季平均温度还要高。只有在南方个别时期,它们是符合的,所以一般在北方较冷地区,微生物活动是受到很大抑制,土壤有机质分解过程进行缓慢。

四、土壤通气状况对微生物的影响

土壤通气情况对植物与微生物的生活都有很大影响。因为土壤通气状况首先影响土壤的氧化还原势能和土壤空气中氧和 CO_2 的比例关系。由于植物根与微生物的呼吸,一般說土壤里 CO_2 的含量比大气中多得多。当土壤空气中 CO_2 含量达 1% 时,有些高等植物种子的发芽明显受到抑制或发生中毒现象。而很多細菌和真菌却能耐很高的 CO_2 浓度,有些材料說明当土壤中 CO_2 含量达 4% 时土壤微生物受到抑制,可是,另一些材料証明土壤空气中 CO_2 的含量达到 12% 时土壤微生物才受到抑制。

氧气含量对微生物影响是较大的,因为氧的多少影响着土壤中的氧化还原势能。一般說好气細菌是适合于氧化还原势能高,有游离的氧气的环境,而嫌气細菌則习惯于生活在无氧或氧化还原势能低的环境。真菌和大多数放綫菌和大部分細菌属于好气性的土壤微生物,其中以真菌最需要氧,放綫菌和細菌則在有少量的氧的情况下也能生存。

土壤里好气性微生物与嫌气性微生物是相互关連的,例如在土壤团粒的外面好气菌大量繁殖时,大量耗費团粒外围的氧气,就給团粒里面的嫌气菌造成更好的嫌气条件,因此在土壤中有好气的微区,也有嫌气微区。所以在土壤表层虽然通气状况良好,但仍聚居着不少嫌气微生物。

不同的土壤有不同的氧化还原势能,当 E_h 高于 700 毫伏或低于 200 毫伏时,都对植物生长不利, E_h 降低到 200 毫伏时,土壤中开始发生急剧的还原过程,如积水状态下,土壤常具有强的还原性,有机质进行嫌气分解腐殖质累积,結果植物所需要的养分放出较少,同时嫌气分解过程中常能积累一些对高等植物有毒物质如 H_2S 等。在这种情况下,土壤中如有硝酸盐,便急剧被还原,甚至呈分子态氮挥发掉。

要調节土壤的氧化还原过程必須进行正确的耕作措施,以促进好气性微生物的繁殖,加速土壤中养分的轉化,保証作物生长发育所必需的养料。优良的农业措施,能改善土壤結構調节水热条件,使土壤中氧化还原过程适合植物和微生物生活的要求。

五、土粒和土壤結構对微生物的影响

1. 土粒的吸附作用 土壤分固体、液体、气体三相,固体土粒包括有机部分和矿质部分而矿质部分一般在 90% 以上。它们是岩石风化的产物,呈大小不同的顆粒存在,而这些顆粒的大小和性状对土壤肥力有重要的关系,所以在观察土壤的时候常常先看它是砂土、是壤土、还是粘土,也就是看土壤里不同大小土粒的比例。因土粒的大小不同,其表面积不同,其吸附作用也就不同,大于 0.01—0.02 毫米的土粒几乎完全不能吸附阳离子,当土粒在 0.005

毫米时吸附能力才开始增加,到0.001—0.002毫米则吸附力很强。吸附力强则保持土壤水分养分的能力强。土壤中水分与空气是互相消长的,水分多少直接影响空气的含量,而空气比水的比热大,所以空气水分的含量又影响着土壤温度。因此土壤质地关系水、热、肥、气等肥力因子的变化,关系着土壤物理的、化学的、及物理化学的作用过程。而且也直接影响着生物学过程。因为土壤的颗粒不但对阳离子和水分有吸附作用,对微生物也有吸附作用。根据观察和分析,微生物在土壤中主要是被吸附在土粒的表面,在土壤表层一般腐生细菌被吸附的约占99.9%,只0.1%在土壤液体中,在略深的土层土壤溶液中的数量提高到1%至10%。土壤颗粒对微生物起吸附作用的原因是什么呢?有材料说明是由于土粒表面的阳离子与微生物细胞的阴离子互相作用的结果。这种说法是以下列实验材料作根据的:1)假如利用电泳仪将土壤悬液分为两部分,则阳极部分的土壤颗粒对固氮菌有强烈的吸附作用,阴极的部分则完全没有这种能力。2)强烈吸附细菌的土壤也吸附带阴电的染料,而不吸附带阳电的染料。3)氢氧化铁及氢氧化铝都有吸附微生物的作用。

微生物被土壤吸附着是否它们的活跃性就会受到影响呢?胡嘉可夫认为被吸附的微生物的活跃性降低到最小程度,这种情况当然是难以理解的,假如99%以上细菌在土壤里呈吸附状态,而这些被吸附着的微生物活跃性又极低,那么微生物在土壤中的强大作用就不能解释。原来这种理论是不正确的,主要是他所得出结论的实验材料有问题,后来是诺沃格魯斯基找出了这错误的原因,并揭露了微生物在土壤中的活跃性的真实情况。胡嘉可夫曾经布置的实验是这样的,他用有吸附作用的土壤及没有吸附作用的石英砂高压灭菌后接种蕈状杆菌,培养一定时间后测定它们呼吸作用所产生的 CO_2 量,结果在灭菌的土壤里由蕈状杆菌呼吸所产生的 CO_2 仅占砂里的万分之三。由此他作出了土壤吸附作用大大限制了微生物活跃性的结论。后来诺沃格魯斯基找出,在胡嘉可夫的实验里影响蕈状杆菌活跃性的原因不是土壤吸附,而是那种土壤经高压灭菌后产生一种毒性物质,根本抑制了微生物的生长,若是将这种毒素抽取出来,则蕈状杆菌在土壤中和砂中同样活跃。如果把这种含毒素的抽取液加入砂中,在砂里蕈状杆菌也不能正常生长了。胡嘉可夫的这种错误结论虽然在微生物学中还没有发生太大影响,但不少著作中提到他的说法,可能对微生物在土壤中的作用问题引起混乱思想,因此诺沃格魯斯基的工作揭露和分析了这错误的原因是有意义的。到目前为止,我们还只知道微生物被土粒吸附这个事实,被吸附的微生物并不因此而减低其活跃性,但是土粒对微生物吸附力的大小究竟对微生物有什么影响呢?我们还不知道。

另外,微生物在土壤胶体吸附中也起着作用,微生物本身有蛋白质胶体的性质,它作为土壤组成的一部分必然影响着土壤吸附能力。西南农学院和中国科学院重庆土壤研究室的研究材料说明土壤无机胶体类型的吸附性能是可以被细菌改变的,而且改变程度相当大。

2. 土壤团粒结构与微生物 前面谈了土壤质地及土壤颗粒吸附作用与微生物的关系,但土粒并不常是单独分散在土壤中的,不同的土壤土粒呈不同状态存在,最理想的是土壤成

团粒结构状态。团粒结构的形成是土壤腐殖质胶体将分散的颗粒胶结在一起,腐殖质胶体与钙离子结合则可造成稳定性团粒,水浸也不易分散。如果与钠离子结合则团粒不稳定,在土壤团粒结构形成中微生物起了极重要的作用,因为土壤腐殖质是微生物活动的产物(后面腐殖质形成和分解的章节中要详细讨论)。同时,有团粒结构的土壤又是微生物和高等植物最适宜的生活环境。

有结构和无结构的土壤里微生物数量是有很大差别的。有人用中等腐殖质含量重粘性的黑钙土做实验,一部分是没有破坏其结构的黑钙土,一部分则将结构进行人工破坏,将土壤装入容器,加水于其中,一个处理水分含量为36%,另一处理水分含量43%(有结构土的毛细管水为45%,无结构土壤为40%),用埋片法测定这不同处理中微生物的生活情况。其结果(表2—2)指出:有结构的土壤里微生物的数量比无结构的土壤里多得多,当土壤水分逐渐

表 2—2 有结构及无结构土壤里微生物团的数量 (埋片法测定)
(诺沃格魯斯基) (49个显微镜视野中的数量)

微 生 物 团	水 分 36%		水 分 43%	
	有 结 构 土	无 结 构 土	有 结 构 土	无 结 构 土
真 菌 絲	9	3	11	1
放 线 菌 絲	15	1	4	2
小 球 菌 团	3	1	14	5
較大的球菌团	0	4	9	1
鏈狀杆菌团	10	3	6	1
棒狀杆菌团	4	0	5	0
共 計	41	12	49	10

增加,接近于土壤毛管持水量时,在有结构的土壤里,好气微生物有所增多,而在无结构的土壤中情况正相反,水分增加到接近于毛管持水量时,好气菌的数量不但没有增加反而有些减少。假如将有结构的土壤里微生物的数量算为100,则无结构的土壤里仅29%,水分增高时为20%。这就是说在这种黑钙土里,无结构土中微生物的数量仅为有结构土的20—30%,这足以说明团粒结构的土壤,由于其水、热、肥、气的条件良好,不但有利于高等植物的生长,也十分有利于许多微生物的繁殖。

六、肥力不同的土壤里微生物活动状况的分析

前面我们分别讨论了土壤理化性状、水、热、肥、气等主要肥力因子对土壤微生物生命活动的影响,但是在实际情况下,这些因子所表现的作用不是各个孤立的,而是彼此紧密联系,对高等植物和土壤微生物起着综合的影响,而人的耕作措施能有力地控制和调节这些重

要的肥力因子,使它們彼此之間得到协调,使作物在整个生长期間能满足它生活的最大需要。而这些措施也就是直接或间接的调节了土壤微生物的活跃性,各个农业措施主要是通过微生物作用而使土壤肥力获得提高的。

受自然成土因子的影响,而特别是人的耕作栽培的结果,使土壤常常具有不同的肥力。肥土和瘦土在物理性状和化学性质上有很大差别,保水保肥和调节土温的能力也不相同,这对土壤微生物产生很大的影响。微生物在不同肥力的土壤中表现了不同的活跃性,反过来再影响着肥力的发展。下面引北京农业大学在不同肥力的土壤上所分析的肥力状况与微生物的活跃性来具体说明土壤性状与微生物的相互关系。分析的土壤按自然土壤分类为褐色土,因为耕作措施不同,发展成为肥力相差很大的不同土壤,按农民的分级标准选择了有代表性的生土、活土、熟土、油土与菜园土五种土壤,它们的肥力是依次提高的。

从物理化学性状来看,这五种土有着显著差别,肥力高的菜园土与油土土壤团粒结构性状优良。腐殖质、活性腐殖质和全氮全磷的含量比肥力低的土壤要高得多(见表2-3)。

表 2-3 不同肥力土壤的理化性质 (北京农业大学1960年)

土 壤	化 学 性 质				物 理 性 质	
	腐 殖 质%	活性腐殖质%	含 氮 %	全磷p.p.m. P ₂ O ₅ -100克土	比 重	微团粒指数
活 土 0-15厘米	0.515	0.015	0.046	125	2.66	61.5
熟 土 0-15厘米	0.959	0.026	0.050	150	2.66	70.0
油 土 0-15厘米	1.106	0.027	0.060	155	2.52	94.6
菜 园 土 0-15厘米	1.932	0.032	0.092	225	2.53	99.6

我们共分析了细菌、放线菌、真菌、硝化细菌、纤维分解菌及固氮菌等六个生理群的数量,同时测定了土壤微生物的呼吸强度,纤维分解能力及硝化强度。从所获得的资料中看出一个非常一致的规律性(见表2-4),所测六个生理群的微生物数量都是依着肥力的逐步提高

表 2-4 不同肥力的土壤中微生物数量比较 (个/每克干土)

(北京农业大学1960年)

土 壤	细 菌	放 线 菌	真 菌	硝 化 细 菌	纤维分解菌	固 氮 菌
生 土 0-18厘米	2.7×10^6	1.4×10^6	1,900	270	25×10^3	900
生 土 18-35厘米	2.1×10^6	0.2×10^6	1,200	45	9×10^3	300
活 土 0-15厘米	3.6×10^6	0.8×10^6	2,100	470	305×10^3	600
熟 土 0-15厘米	7.2×10^6	1.9×10^6	13,900	11,800	474×10^3	2,900
油 土 0-15厘米	9.7×10^6	3.2×10^6	19,500	11,800	414×10^3	2,800
菜 园 土 0-15厘米	59.3×10^6	3.3×10^6	18,700	16,400	1758×10^3	2,700

而提高的,相差特别明显的是硝化细菌及纤维分解菌。在高度肥沃的菜园土里它们的数量比未经耕种的生土里高60—70倍。土壤呼吸强度是依次递增的;生土每公斤在24小时内放出

CO_2 229.9毫克, 油土则为561.0毫克, 菜园土—511毫克。熟化土壤的纖維素分解能力也比瘦土强得多, 放在生土里的滤纸条14天后分解了20%, 而菜园土里则100%被分解了。硝化强度也同样有着明显的差别。

从上面的材料很具体的说明了肥沃的土壤由于有机质及其他营养物质积累较多, 土壤理化性状良好, 水、热、肥、气都能得到协调, 因此大大地促进了各类微生物的发展。另一方面也看出土壤肥力是逐步提高的, 逐年的耕作栽培, 土壤不断增加有机质(施有机肥及植物残体), 调节水热状况, 通过高等植物及微生物的积极活动, 不断的进行合成和分解, 改造着土壤有机质, 丰富营养物质, 改善物理性状, 其结果土壤肥力又不断向前发展。

第二節 土壤微生物的种类和分布

一、土壤微生物的种类及其分布

土壤是微生物居住最适宜的环境, 因而它是自然界微生物的大本营, 在土壤里几乎包括了微生物分类学上的各纲各目的代表。属于裂殖菌的有真细菌、放线菌和粘细菌三纲的科属种。真菌各类都有代表。属于藻类的除红藻和褐藻外, 其余藻类代表都有。另外原生动物及许多噬菌体都聚居在土壤中。下面分别讨论各类微生物在土壤中的存在情况。

1. 土壤细菌 在概述土壤细菌类群时一方面按分类系统, 另一方面也按其具共同生理功能的类群进行讨论比较方便。土壤细菌研究比较多, 对它的了解也略为多一些, 一般按其生理特性可以分为下面两大类群: (一) 自养及兼性自养细菌。它们能吸收 CO_2 利用光能或化能自己制造有机质。(二) 异养细菌, 它们只能利用有机质作为碳源及能源, 异养细菌又可分好气菌及嫌气菌两大群。下面将分别讨论在土壤中作用比较大及了解较多的几个群。

(1) 自养细菌: 这类细菌能摄取空气中的 CO_2 作为碳源, 利用光能或者氧化无机物取得能量以合成碳水化合物, 作为自己的营养物质。属于自养细菌的有: 将氨氧化为亚硝酸的亚硝酸细菌及将亚硝酸氧化为硝酸的硝酸细菌, 有将硫化氢及硫代硫酸盐等变为硫酸的硫磺细菌及硫细菌; 有氧化铁的细菌; 还有利用简单碳氢化合物作为能源的细菌及氧化氢的细菌。

这类微生物对培养基有较严格的选择性, 一般只在含有被它们氧化的无机盐的矿质培养基上生长, 按它们对有机质的反应分为绝对自养菌及兼性自养菌, 绝对自养细菌如亚硝酸细菌 (*Nitrosomonas*) 及硝酸细菌 (*Nitrobacter*), 只能利用无机盐作营养。在含有机质培养基上它们不能发育, 过去曾认为有机质对这类微生物有毒害作用。据近年来的研究说明有机质的存在并不一定抑制自养细菌的生长, 相反的, 极少量的有机质对它们还有刺激作用。在土壤里或多或少的存在着可溶性的或不溶的有机质, 都不妨碍它们很好的生长和发育。兼性自养细菌是既能营自养生活, 又能营异养生活, 如氧化氢及氧化硫的某些细菌。

自养细菌在土壤中的作用主要有两方面: 一方面它们为土壤积累有机质, 比起高等植