

土壤微生物在促进植物生长方面的作用

吴建峰 林先贵

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 土壤微生物与植物的根系形成一个稳定的动态系统,在这个系统中它们之间相互作用 相互影响。植物的根系为土壤微生物提供养分,土壤微生物反过来也促进了植物根系的发育,从而促进了植物的生长,从而促进了植物的生长。本文就土壤微生物生长特性,从 7 个方面阐述了土壤微生物对植物的促进作用。

关键词 土壤微生物;植物生长

中图分类号 S154

土壤具备了各种微生物生长发育所需要的营养、水分、空气、酸碱度、渗透压和温度等条件,所以土壤是微生物生活的良好环境。土壤中的微生物不仅种类繁多,而且数量也是惊人的。不同类型的土壤由于其有机质含量、酸碱度、水分及土壤母质的不同,其中的微生物种类和数量也相应不同^[1],但每克土壤的微生物含量大体上有一个 10 倍系列的递减规律:细菌($\sim 10^8$)放线菌($\sim 10^7$)>霉菌($\sim 10^8$)>酵母菌($\sim 10^5$)>藻类($\sim 10^4$)>原生动物($\sim 10^3$)^[2]。细菌的数量是最多的,据估计,每亩耕作层土壤中,细菌湿重约有 90~225kg;以土壤有机质含量为 2% 计算,则所含细菌干重约为土壤有机质的 1% 左右。通过土壤微生物的代谢活动,可以促进土壤的形成和发育^[3],改变土壤的理化性质,进行氮、磷、钾等物质和能量的转化^[4,5],因此,土壤微生物是构成土壤肥力的重要因素。

根际是一个很特别的微区域,它由于植物根系的影响,使其周围的微域在物理、化学和生物方面与土壤主体不同。根际土壤中来自根系的有机物质可占植物光合产物的 30% 左右。其成分可从简单的碳水化合物、氨基酸到复杂的生长物质等。因此,根际微生物在正常条件下比非根际明显增多。Rovira 等^[28](1979)系统研究表明,在离根表 1~2mm 土壤中细菌数量可达 1×10^9 个/cm³,几乎是非根际土的 10~100 倍。典型微生物群体中,每克根际土约含 10^9 个细菌, 10^7 个放线菌, 10^6 个真菌和 10^3 个原生动物以及 10^3 个藻类,这些生物体与根系组成了一个特殊的生态系统。因此,根系微生物在根际微生态系统中,对养分的转化吸收和根系的生长有其独特影响。根据土壤微生物在促进植物生长方

面的作用方式的不同,大致可以从 7 个方面来讨论。

1 固定氮素

微生物在生命活动过程中能将空气中的惰性氮素转化成植物可直接吸收的离子态氮素,提供给植物吸收,保证了植物的氮素营养。自 1886 年 M. W. Beijerinck 分离到共生固氮的根瘤菌后,至今所研究过的固氮生物约有 50 多属 100 多个种,都是原核生物。一般把它们分为自生固氮菌、共生固氮菌和联合固氮菌。如属于自生固氮菌的固氮球菌属(*Azococcus*)、念珠蓝菌属(*Nostoc*)、拜叶林克氏菌属(*Beijerinckia*)等;属于共生固氮菌的根瘤菌属(*Rhizobium*)、弗兰克氏菌属放线菌(*Frankia*)、满江红鱼腥蓝菌(*Anabaena azollae*)等;属于联合固氮菌的芽孢杆菌属(*Bacillus*)、褐球固氮菌属(*Azotobacter*)等。根际环境在参与非共生固氮方面起到一定作用,根际非共生固氮细菌主要为肠细菌属(*Enterobacter.sp.*),固氮螺菌属(*Azospirillum.sp.*)或固氮菌(*Azotobacter.sp.*)等,这些固氮细菌通常与某些高等作物存在专性联合,如拜叶林克氏菌属(*Beijerinckia*)为甘蔗、固氮菌中的雀稗固氮菌(*A. Brasilensc*)和小麦等。在禾谷类作物中一般 C₄ 作物(如甘蔗、玉米等)高于 C₃ 作物(如大麦、小麦等),在一个生长季节中后者的固氮量约为每公顷 5~10kg 氮,而前者可高出后者的几倍。哈迪^[6]认为,全世界一年中通过各种途径固定的氮素约为 27030t,其中 70% 是生物固氮,而生物固氮主要是利用根瘤菌进行固氮。根据实验室的试验,自身固氮菌每利用 1g 糖可固定近 30mg 的氮素,在土壤中氮素的固定作用更强烈,估计每公顷土壤每年平均可积聚 3.7~57.5kg 左右的氮素。

2 释放难溶矿质中的营养元素

微生物在其生命活动期间能分解土壤中难溶性的矿物, 并把它们转化成易溶性的矿质化合物, 从而帮助植物吸收各种矿质元素。土壤中含有很多钾细菌和磷细菌, 它们能够将土壤矿物无效态的钾和磷释放出来, 供植物生长发育用。钾细菌和磷细菌数量很多, 受土壤物理结构、有机质含量、土壤类型、土壤肥力、耕作方式等因素的影响。钾细菌又叫硅酸盐细菌, 硅酸盐细菌能对土壤中云母长石等含钾的铝硅酸盐及磷灰石进行分解, 释放出钾、磷与其他灰分等。有资料表明, 硅酸盐细菌有多方面的作用, 它除能把矿物中的钾分解出来, 从磷灰石中取得磷素营养外, 还能从空气中固定氮素, 并有增强作物抗病的能力^[7, 8]。在生产实践中, 每平方千米施用 1.5kg 钾细菌肥料与施 22.5kg 硫酸钾(或氯化钾)、45kg 磷酸钙, 其增产效果相当, 而且重要的是它可培育地力, 对土壤无污染、无副作用。解磷的微生物种类很多, 目前报道的解磷细菌主要有芽孢杆菌属(*Bacillus*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)、埃希氏菌属(*Escherichia*)、欧文氏菌属(*Erwinia*)及多硫杆菌属(*Thiobacillus*)等^[9]。其中有些细菌在培养基上的解磷能力很强, 高达 589ug/ml^[10]。而真菌的解磷能力一般是细菌的 10 倍^[11]。一般认为, 微生物解磷的机制是由于微生物分泌出有机酸, 这些酸既能够降低 pH 值, 又可与铁、铝等离子结合, 从而使难溶性磷酸盐溶解。实验表明, 解磷菌的溶磷作用是中低肥力土壤上促进植物生长最重要的机制之一^[12]。

3 提高植物的抗逆性

一些真菌的菌丝与高等植物的根系形成一种联合体, 有利于提高植物在不良环境下的抗御能力, 促进植物生长。菌根是土壤中的菌根真菌与高等植物的根系形成的一种联合体, 是植物在长期的生存过程中, 与菌根真菌一起共同进化的结果。它的存在不仅有利了菌根真菌的生存, 也有利于相互的生存, 有利于提高植物在不良环境下的抗御能力, 促进植物生长。自然界中, 除十字花科等少数几个科外, 几乎所有的植物都能形成菌根。菌根主要分为外生菌根和内生菌根两种。外生菌根(*Ectomycorrhiza*)主要形成于针叶树和阔叶树上, 担子菌的多数种和子囊菌、半知菌的一部分种参与外生菌根的形成。内生菌根菌(*Endomycorrhiza*)大部分是担子类, 其菌

中与农业关系密切的是内囊霉科中多数属、种形成的泡囊 - 从枝状菌根 (*Vesicular - arbuscular mycorrhiza*), 简称 VA 菌根。VA 菌根的侵染能扩大植物根系的吸收面积, 促进根的分支和延长根的生命, 还能分泌多种有益物质。实验证明, VA 菌根作用很多, 如增加宿主植物对磷及其它营养的吸收^[13]; 提高植物抗逆性^[14]; 改善植物根际环境; 增强植物的抗病力; 分泌生长素等^[15-18]。

4 降解污染物, 减少毒性

土壤微生物能降解无机、有机污染物, 减轻污染物对植物的毒害, 为植物的生长提供一个良好的生态环境。由于长期使用化学肥料和农药, 以及一些工厂废气、废水、废渣的不规范排放, 使得土壤中的有机、无机污染物日益增多, 降低了土壤的肥力, 抑制植物的生长甚至毒害植物使之死亡。有机农药大多是一些卤代芳烃, 最难降解的是一些氯化烃杀虫剂如艾氏剂, 六六六、DDT、狄氏剂及苯氧基除草剂如 2、4-D 等。土壤中的一些微生物则具有降解这些有机农药的功能^[19-21]。一些微生物可以把非芳环碳上的氯原子以氢原子取代, 具有这种还原脱氯功能的微生物有酵母、普通变形菌、粘质沙雷氏菌(*Serratia marcescens*)、红平诺卡氏菌(*Nocardia erythropolis*)、产气气杆菌(*Aerobacteraerogenes*)和链霉菌等。而降解 DDT 的微生物则有 10 个属中的 23 个种的细菌, 如假单胞菌属的 6 个种, 黄单胞菌属的 4 个种, 欧文氏菌属的 4 个种^[22]。对于无机污染物来说, 主要是一些重金属的污染, 如汞、铅、铜、锌、铬和镉的污染。微生物能将重金属进行转化, 使重金属从有毒性的形态转化为低毒性或无毒性的形态。如日本分离到的一种抗汞的假单胞菌 (*Pseudomonas K62*)^[1], 它能把甲基汞和离子汞还原为元素汞。微生物的这些功能将为植物创造一个良好的生长发育环境, 降低了污染物对植物的影响。

5 促进腐质酸的形成

土壤微生物能促使根系周围的有机物形成腐殖酸, 促进植物生长发育。土壤中的有机质由正在分解的残留物、担负分解残留物的生物所形成的副产品、微生物本身和抗性更强的土壤腐殖酸盐所组成。在母本植被, 特别是在针叶林下, 累积了大量无色的腐殖质酸, 它们是微生物群体活动的产物, 在这些微生物中真菌有着很大的意义。微生物碎片(如真

菌 *Epicoccum* 产生的碎片)衍生或木素局部降解衍生的一种酚(儿茶酚)与土壤中的氨基酸在微生物酶酶的作用下反应生成氨基醌中间产物,然后再缩合成棕色的含氮腐殖酸盐。一般认为,腐殖质化合物中的氮素和碳水化合物部分是微生物原生质的主要组成部分,它是在微生物死亡之后从细胞中释放出来的。腐殖酸盐含有大量功能团,既能改良土壤^[23],又能刺激作物生长。土壤中腐殖酸的增多直接促进着植物的生长发育^[24]。

6 产生植物激素

土壤微生物能产生一些次生代谢产物,对植物的生长发育有刺激作用。一些土壤微生物在进入自身生命周期的后期时,能分泌出一些微量的次生代谢产物,其中就有一些是植物激素(Phytohormone),可以刺激植物根系的发育,提高植物对营养元素的吸收^[25]。Swaby^[29]第一个指出在土壤微生物参与下的植物生长可以比那些生长在全无菌条件下的植物高一倍。李春俭、张福锁^[26]认为植物根际中产生植物生长调节物质(PGPS)的微生物群落的数量很大,例如从不同的植物根际中分离出来的50中微生物中分别由86%、58%和90%的微生物可以产生生长素(IAA),赤霉素(GA)或激动素类物质。在生物分析测试中,发现幼龄小麦的根上也带有一群能抑制豌豆和莴苣生长的细菌,但当植物继续生长时,这些细菌随之减少而被一群能产生生长刺激素即赤霉素类的另一群细菌所取代;当小麦正在分蘖和抽穗而迅速生长时,这群细菌特别丰富。在不同的细菌培养中,产生的赤霉素类物质的量,每毫升相当于0.001~0.5mg 赤霉素 GA₃。一些解磷微生物在解磷的同时也能够产生生长素、赤霉素、细胞分裂素(CK)利 HCN 等物质。

7 提供物理屏障,减少病原菌侵害

根际的土壤微生物在植物的根系周围形成一个物理屏障,在这微生态环境中保护植物根系,减少了病原菌和虫害的入侵。细菌菌落在根的延长部范围内发育(这一带分泌物最多),在根伸出后几小时内开始。它们初出现时为分离的小群细胞,在根生长中细菌菌落逐渐增大,最后连接起来包围在根的外面,在根冠周围形成一个粘质层或粘胶^[27]。微生物都埋存于粘胶内,粘胶有助于先驱种,阻止后来微生物的拓殖;而且它可以影响化学物质和微生物在根与其周围的土壤之间的移动。在这种物理屏障的

保护下,植物的一些病原菌和虫害就很难跨越这道屏障,入侵到植物的根系,植物的根系可以在一个相对于稳定的微环境中生长。

可以说,土壤微生物在促进植物生长方面是有积极的作用,形式是多样的。如果合理利用土壤微生物的这些特性,充分发挥土壤微生物的优势,对促进植物生长,提高作物产量的作用是不可估量的。目前,随着基因工程,基因重组技术的日益成熟,人们将会利用这一技术来改造微生物,如研究固氮的分子基础,以提高微生物的固氮水平;通过DNA重组技术改造共生固氮细菌,提高其竞争力,使之能超过天然共生细菌,促进根瘤的形成;寻找并改造产生植物激素的微生物,使之能释放特定水平的某种激素,以促进植物的生长和繁殖。另外,利用病毒作为转基因的载体,可以将一些抗病或高产的目的基因转入植物细胞中,使之表达,提高植物的抗病虫害能力或提高产量。

参考文献

- 1 许光辉,李振高. 微生物生态学. 南京:东南大学出版社, 1991, 104~111
- 2 周德庆. 微生物学教程. 北京:高等教育出版社, 1993, 281~282
- 3 许光辉,李振高. 微生物生态学. 南京:东南大学出版社, 1991, 127~128
- 4 许光辉,李振高. 微生物生态学. 南京:东南大学出版社, 1991, 41~149
- 5 顾宗濂,李振高等. 土壤微生物学与生物化学. 北京:科学技术文献出版社, 1993, 102~273
- 6 文化等. 农业接口工程. 北京:北京科学技术出版社, 1996, 74~77
- 7 蒋先军,黄昭贤等. 硅酸盐细菌代谢产物对植物生长的促进作用. 西南农业大学学报, 2000, 22 (2): 116~119
- 8 盛下放,黄为一等. 硅酸盐菌剂的应用效果及其解钾作用的初步研究. 南京农业大学学报, 2000, 23 (1): 43~46
- 9 赵小蓉,林启美. 微生物解磷的研究进展. 土壤肥料, 2001, 3: 7~11
- 10 Freitas J. R. De, Banerjee M.R. et al. phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). *Biol. Fertil. Soils*, 1997, 24: 358~364
- 11 Kucey R. M. N., Janzen H.H. et al. Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. *Adv. Agron.* 1989, 42: 199~288
- 12 Chabot R., Antoun H. et al. Growth promotion of maize

- and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosrum* biovar. *phaseoli*, *Plant and Soil*, 1996, 184: 311~321
- 13 李晓林, 周文龙等. VA 菌根菌丝对紧实土壤中磷的吸收. *土壤学报*, 1994, 31(增刊): 195~202
- 14 王曙光, 林先贵等. VA 菌根与植物的抗逆性. *生态学杂志*, 2001, (3): 56~59
- 15 王曙光, 林先贵. 菌根在污染土壤生物修复中的作用. *农村生态环境*, 2001, 17(1): 56~59
- 16 林先贵等. VA 菌根对植物耐旱能力的影响. *土壤*, 1992, 24(3): 142~145
- 17 Clark R. B. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. *Plant Soil*, 1997, 192 (1): 15~22
- 18 Clark R.B. et al. Effectiveness of arbuscular mycorrhiza isolates on mineral acquisition in *Panicum virgatum* growth in acidic soil. In: Ahonen-Jonnarh, U. et al. (eds) *Programme and Abstracts of Second International conference on Mycorrhiza*. Uppsala, Sweden: SLU Press, 1998, 44
- 19 John E. Cullington, Allan Walker. Rapid biodegradation of diuron and other phenylurea herbicides by a soil bacterium. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 677~686
- 20 Bichat F, Sims G. K., et al. Microbial Utilization of Heterocyclic Nitrogen from Atrazine. *Soil Sci. Am. J.*, 1999, 63:100~110
- 21 Forlani G, Mangiagalli A, et al. Degradation of the phosphonate herbicide glyphosate in soil: evidence for a possible involvement of unculturable microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 991~997
- 22 许光辉, 李振高. *微生物生态学*. 南京: 东南大学出版社, 1991, 265~276
- 23 余贵芬, 青长乐等. 腐殖酸结合汞的研究现状. *农业环境保护*, 2000, 19(4):13~16
- 24 孙建好, 郭天义等. 腐殖酸类肥料对小麦/大豆带田产量的影响. *甘肃农业科技*, 2001, 1:35~37
- 25 Brown. M.E. Seed and root bacterization. *Annual Review of Phytopathology*, 1974, 12: 311~331
- 26 李春俭等. 微生物产生的生长调节物质与植物的生长. *世界农业*, 1995, 8:42~43
- 27 Greaves, M. P. and Darbyshire, J. F. The ultrastructure of the mucilaginous layer on plant roots. *Soil Biology and Biochemistry*, 1972, 4:443~449
- 28 鲁如坤等. *土壤 - 植物营养学*. 北京: 化学工业出版社, 1998, 61
- 29 Swaby, R. L. Stimulation of plant growth by organic matter. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, 1942, 8: 156~163

EFFECTS OF SOIL MICROBES ON PLANT GROWTH

Wu Jianfeng Lin Xiangui

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008*)

Abstract Soil microbes and plant root systems together form a stable dynamic system, where they interact with each other. Plant root systems provide soil microbes with nutrients and the latter in turn stimulate development, hence, growth of the former. In this paper efforts are made to elucidate soil microbes promoting plant growth in seven aspects based on the characteristics of the growth of soil microbes.

Key words Soil microbes, Plant growth