中国农学通报 2009,25(07):243-245

Chinese Agricultural Science Bulletin

丛枝菌根真菌**(AMF)**在土壤修复中的生态应用

吴金平，顾玉成  
(湖北省农业科学院经济作物研究所，武汉 430064)

摘 要：丛枝菌根真菌作为植物根系和土壤的联系纽带，能够直接影响包括植物的矿质营养、生长发育及 抗逆性、抗病性等许多方面的生理机能，并通过对土壤结构及生物群落结构的影响间接地影响宿主植物 的生长，就其在以上各方面的具体应用做一简述。另外，提出了利用分子生物学技术进行AMF分类学 体系等方面进一步研究的观点。

关键词：丛枝菌根真菌；土壤修复；应用

中图分类号：Xl72 文献标识码:A

The Application of Ecology in Soil Rehabilitation for Arbuscular Mycorrhiza Fungi

Wu Jinping, Gu Yucheng

(Industrial Crops Institute of Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064)

Abstract: As a functional link between soil and roots, arbuscular mycorrhiza Fungi can not only give a direct influence to the physiological function, such as the plant mineral nutrition, the growth, the natural resistance, the disease resistance and many other aspects, but also take an indirect impact on the growth of the host plant through the structure of the soil and the biotic community. This article makes a summary on it in the above various aspects brief application. In addition, the viewpoints those use the molecular biology technology for AMF taxonomy system and so on for the further study to AMF.

Key words: Arbuscular mycorrhiza fungi, soil rehabilitation, application

基金项目：湖北省农业科技创新中心资助(2007-620-007-003)。

第一作者简介：吴金平，女，1978年出生，植物生物技术科研，在读博士研究生，中级职称，发表相关的学术论文二十多篇，参与编写专著一本，通信地 址:430064湖北省武汉市湖北省农业科学院经济作物研究所生物技术研究室。E-mail： wjp9188@yahoo.com.cn。

通讯作者：顾玉成，男，1957年生，植物生物技术科研，研究员，发表相关的学术论文二十多篇，科普专著一部，获得湖北省科技进步二等奖、三等奖各 一项。通信地址:430064湖北省武汉市湖北省农业科学院经济作物研究所生物技术研究室。 Tel:027-87380926，E-mail:gych119@yahoo.com.cn。

收稿日期:2008-12-23，修回日期:2009-01-21。

近年来，土壤修复研究一直是热点领域［1-3］，美国、 德国、荷兰、英国等国家先后投入巨大的人力、财力，深 入开展了此项研究，在物理修复、化学修复和生物修复 方面均取得显著进展［4］，其中生物修复具有成本低、环 境影响小、可就地修复等优点。所谓生物修复［5］是指 利用生物的生命代谢活动减少存在于环境中有毒有害 物质的浓度或使其完全无害化，从而使污染了的环境 能够部分或完全恢复到原初状态的过程。生物修复可 分为植物修复、动物修复、微生物修复和生态修复等。 菌根修复就是利用真菌和植物根系结合形成共生体的 一种特殊的生物修复方法，而菌根分为内生菌根 *(Endomycorrhiza)、*外生菌根*(Ectomycorrhiza)*及内外兼 生菌根*(Etctoendomycorrhiza)；*内生菌根又可分为丛枝

菌根*(Arbuscular Mycorrhiza)、*杜鹃类菌根*(Ericaceous Mycorrhiza)*和兰科菌根*(Orchidaceous Mycorrhiza)*,其中 侵染植物形成丛枝菌根的真菌被称为从枝菌根真菌 *(Arbuscular Mycorrhiza* Fungi,简称 AMF)［6］。内生菌根 广泛存在于世界上绝大多数的植物种类中，而丛枝菌 根是内生菌根最主要的类型,据Cronquist的统计，全 世界的高等植物有400科，35万种，其中，380科30多 万种植物具有丛枝菌根，可以说地球上90%的维管植 物都能形成丛枝菌根［7］。大量研究表明,AMF可以直 接影响包括植物的矿质营养、生长发育及抗逆性、抗病 性等许多方面的生理机能，并通过对土壤结构及生物 群落结构的影响间接地影响宿主植物的生长［8］，所以 AMF对植物生长的重要性正日益受到人们的关注，并 在农林业中逐渐得到应用。笔者就其在各方面的具体 应用做一简述。

1 AMF 在植物矿质营养中的应用

AMF的侵染能够显著增强植物对土壤磷［9-10］的 吸收，还能促进宿主植物对一些微量元素的吸收，如 锌［11-12］、铜［13］、镍［14］、钴［15］、铁［16］，其中尤以锌和铜的菌根 效应最为突出。在锌、铜供应能力较弱的土壤中，丛枝 菌根对植物的锌、铜营养具有显著的改善作用［17］。这可 能是丛枝菌根扩大根系吸收范围，提高了吸收表面积， 从而影响吸收动力学参数，使根际环境得以改善［18］。 2 AMF 在植物逆境生理中的应用

在植物抗病性方面,AMF能够提高宿主植物对土 传 性 病 、虫 害 的 抗 性 ，包 括 Phytophthora ， Gaeumannomyces, Fusarium, Pythium, Rhizoctoni, Sclerotium 和 Verticllium 等 病 原 菌 和 Rotylenchus, Pratylenchus, Meloidogyne 等病原线虫对植物根系的危 害「叫这可能是AMF不但促进植物产生精氨酸、酚类 等次生物质,并诱导产生相关抗性蛋白,而且改善植物 营养状况、影响土壤微生物区系的构成。在植物耐盐 性方面,AMF既能通过外延菌丝增强植株对水分的吸 收,缓解植物的生理性干旱,也能改变植物体内的离子 平衡，降低Na+和C1-的含量或比例，减轻质膜和酶的 受损程度［18］。在植物抗旱性方面,AMF既可以通过菌 丝大量吸收水分,改善植物在干旱条件下的生长［20］,也 可以改变植物根系的形态,使不定根和侧根数量增加, 从而有利于植物对水分的吸收［21］。

3 AMF 在重金属逆境中的应用

AMF广泛分布于各种重金属污染土壤中，无论是单 一重金属污染还是复合污染,AMF都可广泛存在［22］。跟 其它生物体一样,AMF可以通过“躲避机制”而在重金 属胁迫条件下生存［23］。此外,AMF可以吸附或鳌合重 金属离子［24］, AMF在菌丝内有可能提供结合重金属的 位点,使重金属积聚于真菌体内。当土壤中的重金属 达到毒害水平时,真菌细胞壁分泌的黏液和真菌组织 中的聚磷酸、有机酸等均能结合过量的重金属元素［25］, 也可能是通过真菌表面的吸附作用,或是外生菌丝分 泌的多糖物质的结合作用使其毒性降低［26］。AMF中 具有半胱氨酸配位体,从而对过量的锌和镉起螯合作 用［27］,形成一类被称为“金属硫因”类结合物质［28］。 AMF分泌的一种糖蛋白球-囊霉素(glomalin)，也可以 固持铜、铅、镉等一定量的重金属［29］,这可能在AMF抵 抗重金属毒害的过程中起重要作用。另外,AMF可能 通过改变宿主植物根系的形态结构［30］、生理生化功能 及根际环境［31］,达到缓解或免除重金属对植物的毒害。

4 AMF 在有机污染土壤中的应用

AMF通过自身的代谢作用和其它途径将污染物 分解为简单的有机物,或分解为二氧化碳和水,并获得 自身所需的能源,达到降解有机污染物或降低其毒性 的目的［32］。AMF与宿主植物建立共生关系后，不仅显 著影响植物生长,而且引起根系分泌物的变化。未形 成共生体时,根分泌物直接释放到土壤;AMF形成后， AMF可过滤分泌物，部分分泌物被AMF作为营养利 用。山于AMF对分泌物的利用及菌根的代谢作用,进 入土壤的分泌物数量和组成变化很大。植物根系分泌 物和其它细胞分泌液构成植物的渗出液,可作为根围 微生物的营养物质,AMF对根际特殊降解微生物种群 具有选择性,并可改善微生物的生活环境,提高微生物 活性，促进微生物对有机污染物的降解［33］。AMF可分 泌氧化酶等酶类物质,并能影响植物或微生物体内氧 化酶等的含量水平,进而影响土壤中降解酶的活性,促 进土壤中有机污染物的降解［34-35］。

5 问题与展望

利用丛枝菌根进行土壤修复有成本相对较低、修 复效果好、对环境产生的次生污染小等优点,世界各国 对它在农业、林业和环境保护中的应用寄予很高期 望。此外,AMF菌种资源丰富，可接种的宿主植物十 分广泛。但目前对AMF修复土壤的研究报道还很少， 在下述几方面需要进一步研究：1)AMF种类繁多，其 修复效率不尽相同,对某些特定污染物来说应该有其 相对高效的一些降解菌种。因此,高效菌种的筛选是 AMF生物修复中要解决的首要问题。(2) AMF是一类 纯共生真菌,在人工培养基上不能单独纯培养,因而以 往对其分类学研究在很长时间内都难有突破,特别是 围绕AMF的野外资源状况研究更是进展缓慢，极大的 限制了AMF在生产实际中的应用。当代分子生物技 术的发展为不需要纯化分离而能鉴定该菌提供了一种 方法。因而,建立基于分子生物学技术的AMF分类学 体系，打破常规的分类鉴定方法，将为深入挖掘AMF 资源创造可能［36］°(3)AMF应用于农业生产可以减少 化学物质的施用。目前市场上已有商业化的AMF接种 剂出售,且该技术的有效性和实用性也得到了证实［37］。 如何降低生产成本并保证质量和性能是推广丛枝菌根 菌剂的前提。AMF还无法纯培养，目前已有的毛氏纯 盆培养法、静止液培法、流动液培法、喷雾液培法等生 产成本很高，限制了其大面积的应用。还应该建立一 套完整可行的保存方法、质量检测和有效性评价标准 以及应用技术［38］。

参考文献

1. Beath J M. Consider phytoremediation for waste site cleanup. Chem Eng Prog,2000,96(7):61-69.
2. Bullard R D. Dumping in Dixie: Race, Class, and Environmental Quality. New York: Westview Press,2000:201.
3. Riser R E. Remediation of Pet folium Contaminated Soils: Biological, Physical and Chemical Processes [M]. Boca Raton: Lewis Publishers Inc,1998.
4. 马文漪,杨柳燕.环境微生物工程.南京:南京大学出版社,1998:112-113.
5. 陈玉成.污染环境生物修复工程.北京:化学工业出版社,2003:78-79.
6. Smith S E, Read D J. Mycorrhizal symbiosis. London: Academic Press,1997:21-23.
7. 刘润进,李晓林.丛枝菌根及其应用,北京:科学出版社,2000:43.
8. Azcan A C, Barea J M. Appylying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. Sci Hort,1997,68:1-24.
9. Li X L, Geoege E, Marschner H. Extension of the phosphorus depletion zone in VAM white clover in a calcareous soil. Plant soil, 1991,136:41-48.
10. Li X L, Geoege E, Marschner H. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VAM white clover fertilized with ammonium. New Phytol,1991,19:397-404.
11. Kaldorf M, Kuhn A, Schroder W H, et a1. Selective element deposits in maize colonized by a heavy metal tolerance conferring arbuscular mycorrhizal fungus. Journal of plant physiology,1999, 154:718-728.
12. Sharma A K, Srivastava P C, Johri B N. Multiphasic zinc uptake system in mycorrhizal and nonmycorrhizal roots of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Current Science,1999,76:228-230.
13. Liu A, Hamel C, Hamilon RI, et al. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. Mycorrhiza,2000,9:331-336.
14. Sauerbeck D R. Plant element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. Water Air Soil Pollution,1991,57-58,227-237.
15. Rogers R D, Willams S E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza: Influence on plant uptake of cesium and cobalt. Soil Biology and Biochemistry, 1986, 18(4):371-376.
16. 唐振尧，何首林.VA菌根对柑橘吸收铁素效应研究初报•园艺学报, 1990,17:257-262.
17. Khare°A K, Rawat°A K, Dubey°S B, et al. Role of native vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in wheat (*Triticum aestivum*): based cropping sequence for efficient use of phosphorus and zinc in black soils of Madhya Pradesh Indian Journal of Agricultural Science,1998,68:247-250.
18. 李晓林，冯固著•丛枝菌根生态生理[M].北京:华文出版社,2001.
19. 刘润进,沈崇尧，李怀方,等. VA菌根真菌和大丽轮枝菌 (*Verticillium dahliae*) 对棉花体内 PR 蛋白的诱导作用. 植物病理学 报,1993,23(2):162-165.
20. Ruiz J M, Azcan A R, Gomez M. Alleviation of salt stress by arbuscular-mycorrhizal Glomus species in Lactuca sativa plants. Physiologia Plantarum,1996,98(4):767-772.
21. Gupta R, Krishnamurthy KV. Response of mycorrhizal and non-mycorrhizal Arachis hypogaea to NaCl and acid stress. Mycorrhiza,1996,6:145-149.
22. Elval C, Barea J M, Azcan-aguilLA R. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungus populations in heavy-metal-contaminated soils. ApplEnvironMicrobiol,1999,65:718-723.
23. Pawlowska T E, Charvat I. Heavy-metal stress and developmental patterns of arbuscular mycorrhizal fungi. Appl Environ Microbiol, 2004, 70: 6643-6649.
24. Kherbawy E l, Angle J S, Heggo A, et al. Soil pH, rhizobia, and vesicular- arbuscular mycorrhizae inoculation effects on growth and heavy metal up take of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Biol Fertil Soils, 1989,8:61-65.
25. Bradley R, Burt A J, Read D J. Mycorrhizal infection and resistance to heavy metal toxicity in Calluna vulgaris. Nature,1981,292: 335-337.
26. Dueck T A, Visser P, Ernstw H O, et al. Vesicular-arbuscular mycorrhizae decrease zinc toxicity t o grasses growing in zinc-polluted soil. Soil Biol Biochem,1986,18:331-333.
27. Dehn B, Schuepp H. Influence of VAM on the up take and distribution of heavy metal in plants. Agric Ecosyst Environ,1989, 29:79-83.
28. Lerch K. Copper metal lithopone in, a copper binding protein from Neurospora crassa. Nature,1980,284:368-370.
29. Gonzalez M C, Carrillo G R, Wright S F, et al. The role of global in, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi，in sequestering potentially toxic elements. Environ Pollution,2004,130:317-323.
30. Richen B, Hofner W. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on heavy metal tolerance of alfalfa(*Medicago satival* L.) and oat (*Avena sativa* L.) on a sewage sludge treated soil . Z pflanzenernahr Bodenk,1996,159:189-194.
31. Li X L，Christie P. Changes in solution Zn and PH and uptake of Zn by Arbuseular myeorrhizal red clover in Zn-contaminated soil. Chemosphere,2001,42:201-207.
32. 刘世亮,骆永明,丁克强,等.菌根真菌对土壤中有机污染物的修复 研究.地球科学进展,2004,19(2):197-203.
33. Maier W, Peipp H, Schmid T J, et al. Levels of a ter penoid glycoside (blumenin) and cell wall bound phenolics in some cereal mycorrhizas. Plant Physiol,1995,109:465-470.
34. Gramass G, Voigt KD, Kirsche B. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons with three t o seven aromatic rings by higher fungi in sterile and Ulsterite soils. Biodegradation,1999,10: 51-62.
35. Volpin H, Phillips DA, Okon Y, et al. Suppression of an isoflavonoid phytoalexin defense response in mycorrhizal alfalfa roots. Plant Physiology,1995,108(4):1449-1454.
36. 金樑,陈国良,赵银,等.丛枝菌根对盐胁迫的响应及其与宿主植物 的互作.生态环境,2007,16(1):228-233.
37. Azcan A R, Barea J M. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. Sci Hort,1997,68:1-24.
38. 王发园,林先贵,周健民.丛枝菌根与土壤修复.土壤,2004,36(3): 251-257.