

# 丛枝菌根真菌对污染土壤中农产品质量安全的影响\*

王发园<sup>1,2</sup> 林先贵<sup>3</sup>

(1 河南科技大学农学院, 河南洛阳 471003)

(2 清华大学环境科学与工程系, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084)

(3 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘 要** 丛枝菌根 (Arbuscular mycorrhiza, AM) 是自然界中分布最广的一类菌根, 常见于各种类型的污染土壤中, 如重金属污染土壤、有机污染土壤及复合污染土壤。AM 真菌能与陆地上绝大多数的高等植物共生, 大多数的农作物如粮食作物、果树、蔬菜等均能形成菌根。研究表明, AM 真菌完全能在提高污染土壤中农产品质量安全方面发挥作用, 主要体现在: (1) 促进有机污染物的降解和转化, 降低污染物在土壤和农产品中的残留; (2) 提高农作物对重金属的耐性, 降低重金属在农产品中的积累; (3) 改善农作物营养状况, 提高其抗病性, 降低肥料、农药施用量, 从而间接降低污染物在土壤和农产品中的残留。因此, AM 真菌在提高农产品质量安全方面具有较大潜力。当前和今后可在以下几个方面开展工作: (1) 筛选和驯化能显著降低农产品中污染物的 AM 真菌菌株; (2) AM 真菌提高农产品质量安全的效应与机制; (3) AM 真菌和其他生物农药、生物肥料间的相互作用; (4) AM 真菌在农产品生产中的应用基础研究等。

**关键词** 丛枝菌根; 土壤污染; 重金属; 质量安全; 农药

**中图分类号** X171; X172 **文献标识码** A

我国是农业大国, 粮食、蔬菜、水果的总产量均居世界第一位<sup>[1]</sup>。然而, 近年来时有关于蔬菜、水果、粮食等农产品质量安全问题的报道<sup>[2]</sup>。农产品质量问题是人们关注的焦点之一, 涉及到广大消费者的身心健康、生活质量。这不仅关系到我国在 WTO 框架下农产品在国际、国内市场的竞争力, 更关系到社会和经济的可持续发展。农药生产结构的不合理和滥施滥用以及土壤、灌溉水的污染是导致农产品农药残留超标和重金属及有害化合物含量超标的根本原因。从农产品生产环境的角度解决我国农产品质量安全的主要措施有: (1) 保护环境, 修复污染土壤, 降低土壤中有害物质 (有毒有机物、重金属等) 的含量, 净化农产品的生产环境; (2) 开展生物防治, 以生物农药防治农作物病虫害, 减少化学农药尤其高毒高残留农药的施用量; (3) 科学使用无机化肥、有机肥和生物肥料, 减少土壤及灌溉水污染等。

研究表明, 许多微生物不仅具有生物肥料和生物农药的功能, 而且具有生物修复功能, 因而越来越受到人们的重视。丛枝菌根 (Arbuscular mycorrhiza, AM) 真菌广泛分布于农田、菜地、果园等各陆地生态系统中, 可以改善宿主的营养状况 (尤其是磷素营养)、增强宿主植物的抗逆性 (如抗旱、抗病、耐盐碱性、耐重金属等)、减少农药和化肥的施用量、加快污染土壤的修复<sup>[3,4]</sup>、提高农作物的产量和品质<sup>[5,6]</sup>, 对于维持植物的多样性和生态系统的稳定具有重要意义。本文着重探讨 AM 真菌对提高污染土壤中农产品质量安全的作用。

1 AM 真菌可以降低有机污染物在农产品中的残留

## 1 AM 真菌可以降低有机污染物在农产品中的残留

土壤有机污染物主要是化学农药, 此外, 多环芳烃 (PAHs)、多氯联苯 (PCBs)、酞酸酯类 (PAEs)、石油等也是土壤中常见的有机污染物。这些污染物多具有致癌、致畸、致突变等特点, 在土壤中降解速率较慢, 且可以被植物吸收, 进入食物链而对人体造成伤害。

AM 真菌广泛分布于有机污染土壤中<sup>[4,7,8]</sup>, 对各种有毒有机污染物如农药、石油、多环芳烃等有

\* 国家自然科学基金 (40801120)、国家重点实验室专项基金课题 (08K08ESPCT)、环境模拟与污染控制国家重点联合实验室专项经费联合资助

作者简介: 王发园 (1975 ~), 男, 山东费县人, 博士, 主要从事丛枝菌根和生物修复等领域的研究。E-mail: wfy1975@163.com

收稿日期: 2007 - 02 - 06; 收到修改稿日期: 2007 - 04 - 05

一定的抗性,也可提高宿主植物的抗毒害能力<sup>[9-11]</sup>。研究证实,AM真菌可以促进有机污染物的降解和转化,加速有机污染土壤的生物修复,降低污染物在农产品体内和土壤中的残留,但相关过程的作用机理尚不很清楚,许多还存在争议或停留在假说阶段。AM真菌侵染导致宿主根际微生物群落和活性的改变可能是其中一个主要原因<sup>[4,12]</sup>。另一个机制是可能是AM真菌直接或间接促进宿主根系分泌某些氧化酶(如过氧化物酶和过氧化氢酶)来降解土壤中的有机污染物<sup>[13,14]</sup>。

尽管有些农药尤其是一些杀真菌剂对AM真菌有一定的抑制作用,但菌根化植物对农药有很强的耐受性,并能将一些有机成分转化为AM真菌和植株的养分源,降低农药对土壤的污染程度。在施用绿麦隆、二甲四氯和氟乐灵等除草剂的土壤中,接种AM真菌对白三叶的植物生长量以及氮、磷的吸收均有促进作用<sup>[15]</sup>。大豆在被*Glaucus mosseae*侵染后,生长不但没有受到 $0.15\text{ mg L}^{-1}$ 乐果的影响,反而促进了*G. mosseae*孢子的萌发<sup>[16]</sup>。AM真菌对甲胺磷有较强的耐性,甲胺磷污染条件下接种AM真菌促进番茄的生长,并可能加速甲胺磷的矿化<sup>[9]</sup>。接种AM真菌可以降低北瓜(*Cucurbita pepo*)果实对农药 $p,p'$ -DDE的生物富集因子,但是与北瓜品种和AM真菌种类密切相关<sup>[17]</sup>。*G. mosseae*可以减轻杀真菌剂百菌清对陆稻产生的副作用<sup>[18]</sup>。AM真菌可以从土壤中吸收阿特拉津(或残留物)并运输到玉米的根中,但是与AM真菌种类有关<sup>[19]</sup>。Huang等<sup>[20]</sup>发现接种AM真菌后阿特拉津在玉米地上部的累积降低、在根中的累积增加,促进了阿特拉津的降解,他们认为AM真菌一般很少或不直接降解阿特拉津,而可能是接种导致根系酶活性增加和微生物增加所致,但这些观点尚缺乏证据。

AM真菌可以提高植物对PAHs的抗性,有助于植物在PAHs污染土壤中的生存。向土壤中添加浓度高达 $10\text{ g kg}^{-1}$ 的蒎时,不会对土著AM真菌的侵染产生显著影响;而在PAHs污染的工业土壤中,三叶草、韭葱、玉米等植物的生长受到抑制,当该土壤中PAH浓度达到 $5\text{ g kg}^{-1}$ 时,只有菌根植物能够存活<sup>[21]</sup>。在蒎严重污染的土壤中,菌根化黑麦草明显较非菌根化黑麦草的存活率高,植物根际蒎的降解显著较非根际土壤的高<sup>[22]</sup>。在被PAHs污染的土壤中,AM真菌可以促进植物生长和蒎、佩和二苯[a, h]蒎等PAHs的降解<sup>[12,23]</sup>,土壤受蒎、佩和二苯[a, h]蒎污染后,黑麦草地上部分和地下部分的干

重都降低;接种*G. mosseae*后,黑麦草的存活率和产量显著提高,白三叶对磷的吸收增加,而对照降低<sup>[11]</sup>。在含菲的土壤中分别给玉米单接种*G. geosporum*、黏红酵母(*Rhodotoula glutinis*)和双接种,结果表明菲对于植物和土壤微生物具有毒害作用,玉米根系变短,AM真菌侵染率降低,黏红酵母数量降低;双接种可以减少菲在植物根内的残留,同时AM真菌孢子中菲的残留也能减少一半,并且在孢子中没有测出菲的中间降解产物<sup>[24]</sup>。接种AM真菌能够提高土壤酶活性,从而促进了土壤中苯并[a]芘的降解<sup>[25]</sup>。给韭葱(*Allium pornum*)接种3种AM真菌显著降低苯、甲苯、乙苯、二甲苯在土壤中的残留量<sup>[26]</sup>。因此,Jonar和Leyval<sup>[4]</sup>提出在有机污染土壤的修复中应采用菌根植物。

AM真菌可以促进PAEs等有机物在土壤中的降解、降低其在植物中的残留。给豇豆接种AM真菌后,促进了DBP、DEHP在土壤中尤其是菌丝际中的降解,同时减少DBP和DEHP在豇豆体内的残留<sup>[27,28]</sup>,说明AM真菌的菌丝在酞酸酯类物质的降解和转移过程中起了某些特殊的作用。AM真菌可以抑制豇豆对DEHP的吸收或向地上部分的转运,降低豇豆地上部分DEHP的浓度<sup>[29]</sup>。给绿豆进行AM真菌和DEHP降解菌双接种能在DEHP降解过程起到最大的协同作用,同时也能减少DEHP在绿豆地上部分,特别是豆荚中的累积<sup>[30]</sup>。这说明AM真菌对降低植物体内PAEs的残留能发挥重要作用。

石油是链烷烃、环烷烃、芳香烃以及少量非烃化合物的复杂混合物,这些物质毒性大,因此被列为重要污染物。AM真菌的孢子不仅存在于石油污染土壤中,而且在油浓度 $10\ 000\text{ mg kg}^{-1}$ 时,其菌根侵染率仍高达82.86%,将筛选到的AM真菌接种到生长在油污染土壤中的三叶草上后,能促进植物的生长<sup>[7]</sup>。AM真菌还能提高万寿菊对柴油污染的耐性,促进植物生长及柴油的降解<sup>[10]</sup>。

## 2 AM真菌可以降低重金属在农产品中的残留

AM真菌可见于各种重金属污染土壤,如Cu、Mn、Ni、Zn、Pb、Cd、Au、U以及各种复合污染等<sup>[5,6,8,31]</sup>。大量研究证实,AM真菌不仅自身有耐重金属毒害的能力,而且可以提高宿主植物对重金属的耐性、影响宿主重金属吸收和运输,目前已知

的作用机制主要有<sup>[31,32]</sup>:改善宿主植物的矿质营养状况,菌丝体对重金属的固持作用,根外菌丝或孢子对重金属的吸收,合成金属硫蛋白、植物络合素等重金属螯合分子,调节重金属转运基因的表达及重金属诱导蛋白的合成等。

一般而言,在重金属污染条件下,AM真菌侵染降低植物体内(尤其是地上部)金属浓度,提高植物对重金属的耐性,从而有利于植物生长<sup>[32]</sup>。具体到农作物和农产品来说,关于AM真菌和重金属残留之间的研究也有很多报道。在重金属污染条件下,AM真菌降低了大豆叶中Zn、Cd的浓度<sup>[33]</sup>,AM真菌可以抑制Cd、U向大麦地上部的转运<sup>[34,35]</sup>,Cu向高粱<sup>[36]</sup>、玉米<sup>[37]</sup>地上部的转运以及Cu、Zn、Pb、Cd向陆稻地上部的转运<sup>[38]</sup>。在Zn、Cd污染较重的情况下,接种AM真菌增加莴苣根系的金属吸收,降低地上部的吸收<sup>[39]</sup>。接种AM真菌在As中等污染时(75 mg kg<sup>-1</sup>以下)可以促进番茄对As的吸收,而在As污染较重时(150 mg kg<sup>-1</sup>)降低对As的吸收<sup>[40]</sup>。利用转Ri T-DNA胡萝卜观察到AM真菌的根内组织可以积累Cs,同时减少其向菌根内的转运,AM真菌根内结构可以诱导Cs向木质部运输通道的减量调节<sup>[41]</sup>。在另外的研究中,接种AM真菌增加了红芸豆地上部的重金属含量<sup>[42]</sup>,增加了韭菜(*Allium ampeloprasum*)根中Zn和Cd浓度,没有影响叶中重金属浓度<sup>[43]</sup>。但遗憾的是,不论是粮食作物还是蔬菜作物,大多数研究者没有测定可食部分中的重金属浓度,这无法为AM真菌降低农产品重金属残留提供直接证据。在重金属胁迫条件下,AM真菌和宿主植物在某些重金属相关基因的表达上存在差异<sup>[31]</sup>,这说明重金属胁迫条件下菌根可能会调节某些与忍耐、运输和吸收重金属有关的基因的表达,从而影响宿主对重金属的耐性、运输和累积。这为AM真菌应用于控制农产品中的重金属残留提供了理论基础,但尚需深入研究。

### 3 AM真菌可以间接降低农药和重金属在农产品中的残留

农药的大量施用造成土壤和农产品中残留量过高,危害人们的健康。AM真菌除了能促进农药的转化和降解外,还能通过不同途径来增加植物的抗性,减轻植物的真菌、细菌病害及线虫病害<sup>[5]</sup>,从而减少农药的施用量,间接降低农药以及农药中重金属在宿主植物体内的残留。国内外对AM真菌提

高植物抗病性的作用及其机制等方面已经有较全面的文献综述<sup>[44~47]</sup>,不再赘述。具体到农作物和农产品来说,业已证实,接种AM真菌能减轻花生、大豆、桃、草莓、番茄、黄瓜、西瓜等土传真菌病害,在抵抗农作物胞囊线虫、根结线虫等各种线虫病方面的作用也十分显著<sup>[5,6]</sup>。显然,AM真菌在农作物上的应用将有可能降低农药施用量,从而间接降低农产品中的农药残留以及农药施用所造成的重金属残留,这对于农产品的无公害化生产具有重要而深远的意义。

化肥的过量使用会造成土壤板结,破坏土壤的生物活力,对土壤和地下水造成污染,也残留于农作物中,造成农产品质量安全问题。同时,某些肥料(如磷肥、污泥有机肥)也含有重金属<sup>[2]</sup>,长期或大量施用可能引起重金属在土壤和农作物中的累积和污染<sup>[48,49]</sup>。由于AM真菌可以改善农作物磷、氮、钾以及微量元素的营养状况<sup>[5,6]</sup>,从而可能减少肥料的施用。在不灭菌的黄淮海沙质和壤质黄潮土中,接种AM真菌能提高石刁柏对土壤磷素的吸收利用,减少磷肥施用量<sup>[50]</sup>。在施用磷肥量减半的情况下,用AM真菌处理的番木瓜果的产量与对照持平<sup>[51]</sup>。此外在污染土壤中,AM真菌仍然可以在改善宿主矿质营养方面发挥作用<sup>[6,11,32]</sup>,这为减少肥料施用量、间接降低农产品中重金属残留等提供了可能。

## 4 研究展望

我国大面积的土壤受到不同程度的污染,而污染土壤的修复仍是一个世界性的难题。鉴于我国地少人多的状况,在某些被污染的地区甚至严重污染的土壤中仍然有农作物的种植,利用AM真菌控制污染土壤中的农产品质量安全是十分必要、迫切的。系统研究AM真菌在控制农产品质量安全中的作用无论是对学科发展还是解决农业中的实际问题均具有积极的意义。但国内外研究多集中于菌根对农作物产量和品质的有益作用,菌根对污染条件下农产品质量安全的作用尚缺乏应有的关注,当前和今后应可在以下几个方面开展工作:(1)筛选和驯化能显著降低农作物中尤其是可食部分有害物的AM真菌菌株。AM真菌是全球性分布的,而目前世界范围内仅发现了尚不到200种,我国(含台湾)仅报道了12种<sup>[8]</sup>,显然,还有更多AM真菌种质资源有待开发。(2)污染土壤中接种AM真菌提

高农产品质量安全的效应及相关机制。目前尚不清楚 AM 真菌是通过何种途径影响污染物 (尤其是有机污染物) 的吸收、运输、降解、转化等过程的, 应该加强相关机制研究。(3) AM 真菌和其他生物农药、生物肥料间的相互作用。生物农药和生物肥料是生产绿色食品的重要手段之一, 可以与 AM 真菌配合施用, 以期发挥最佳效益。(4) AM 真菌在农产品生产中的应用基础研究。要研究 AM 真菌的田间施用技术, 以及各种农艺措施对菌根共生体的影响, 发挥 AM 真菌的最佳作用。

### 参考文献

- [1] 葛毅强, 陈颖. 我国农产品加工业的现状、发展前景与科技支持. 农业工程学报, 2003, 19(2): 1~5. Ge Y Q, Chen Y. Present situation, development prospect and science and technology support of the agro-product processing industry of China (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2003, 19(2): 1~5
- [2] 周启星, 宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法. 北京: 科学出版社, 2004. Zhou Q X, Song Y F. Remediation of Contaminated Soils: Principles and Methods (In Chinese). Beijing: Science Press, 2004
- [3] 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. Wang F Y, Lin X G, Zhou J M. Arbuscular mycorrhiza and soil rehabilitation (In Chinese). Soils, 2004, 36(3): 251~257
- [4] Joner E J, Leyval C. Phytoremediation of organic pollutants using mycorrhizal plants: A new aspect of rhizosphere interactions. Agronomie, 2003, 23: 495~502
- [5] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal Symbiosis. London: Academic Press, 1997
- [6] 李晓林, 冯固. 丛枝菌根生态生理. 北京: 华文出版社, 2001. Li X L, Feng G. Arbuscular Mycorrhizal Ecology and Physiology (In Chinese). Beijing: Huawen Press, 2001
- [7] 耿春女, 李培军, 陈素华, 等. 不同 AM 真菌对三叶草耐油性的影响. 应用与环境生物学报, 2002, 8(6): 648~652. Geng C N, Li P J, Chen S H, et al. Effects of different arbuscular mycorrhizal fungi on oil tolerance of *Trifolium Subterraneum* L. (In Chinese). Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2002, 8(6): 648~652
- [8] 王发园, 林先贵, 周健民. 中国 AM 真菌的生物多样性. 生态学杂志, 2004, 23(6): 149~154. Wang F Y, Lin X G, Zhou J M. Biodiversity of AM fungi in China (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(6): 149~154
- [9] 刘茵, 刘秀花, 冯固, 等. 甲胺磷污染对丛枝菌根 (AM) 共生体形成及宿主番茄生长的影响. 湖北农业科学, 2004(4): 64~67. Liu Y, Liu X H, Feng G, et al. Effect of mathamidophos contamination on the occurrence of arbuscular mycorrhiza symbiont and the host plant tomato (In Chinese). Hubei Agricultural Sciences, 2004(4): 64~67
- [10] 耿春女, 李培军, 陈素华, 等. 不同丛枝菌根真菌对万寿菊生长及柴油降解率的影响. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1775~1779. Geng C N, Li P J, Chen S H, et al. Effect of different arbuscular mycorrhizal fungi on *Tagetes erecta* growth and diesel degradation (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(10): 1775~1779
- [11] Joner E J, Leyval C. Influence of arbuscular mycorrhiza on clover and ryegrass grown together in a soil spiked with polycyclic aromatic hydrocarbons. Mycorrhiza, 2001, 10: 155~159
- [12] Joner E J, Johansen A, de la Cruz M A T, et al. Rhizosphere effects on microbial community structure and dissipation and toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in spiked soil. Environmental Science and Technology, 2001, 35: 2773~2777
- [13] Salzer P, Corbiere H, Boller T. Hydrogen peroxide accumulation in *Medicago truncatula* roots colonized by the arbuscular mycorrhiza-forming fungus *Glomus intraradices*. Planta, 1999, 208: 319~325
- [14] Criquet S, Joner E J, L'Église P, et al. Anthracene and mycorrhiza affect the activity of oxidoreductases in the roots and the rhizosphere of lucerne (*Medicago sativa* L.). Biotechnology Letters, 2000, 22: 1733~1737
- [15] 林先贵, 郝文英, 施亚琴. 三种除草剂对 VA 菌根真菌的侵染和植物生长的影响. 环境科学学报, 1991, 11(4): 439~444. Lin X G, Hao W Y, Shi Y Q. Effects of three herbicides on VA mycorrhizal infection and plant growth (In Chinese). Acta Scientiae Circumstantiae, 1991, 11(4): 439~444
- [16] Menendez A, Martinez A, Chiochio V, et al. Influence of the insecticide dimethoate on arbuscular mycorrhizal colonization and growth in soybean plants. International Microbiology, 1999, 2(1): 43~45
- [17] White J C, Ross D W, Gent M N, et al. Effect of mycorrhizal fungi on the phytoextraction of weathered *p,p'*-DDE by *Cucurbita pepo*. Journal of Hazardous Materials, 2006, 137: 1750~1757
- [18] Zhang X H, Zhu Y G, Lin A J, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi can alleviate the adverse effects of chlorothalonil on *Oryza sativa* L. Chemosphere, 2006, 64: 1627~1632
- [19] Nelson S D, Khan S U. Uptake of atrazine by hyphae of *Glomus vesicular-arbuscular* mycorrhizae and root systems of corn (*Zea mays* L.). Weed Science, 1992, 40(1): 161~170
- [20] Huang H L, Zhang S Z, Shan X Q, et al. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus caledonium*) on the accumulation and metabolism of atrazine in maize (*Zea mays* L.) and atrazine dissipation in soil. Environmental Pollution, 2007, 146(2): 452~457
- [21] Leyval C, Binet P. Effect of polyaromatic hydrocarbons in soil on arbuscular mycorrhizal plants. Journal of Environmental Quality, 1998, 27(2): 402~407
- [22] Binet P, Portal J M, Leyval C. Dissipation of 3 to 6-ring polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere of ryegrass. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32: 2011~2017
- [23] Joner E J, Leyval C. Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissipation in two industrial soils, and the impact of arbuscular mycorrhiza. Environmental Science and

- Technology, 2003, 37(11): 2 371 ~ 2 375
- [24] Gaspar M L, Cabello M N, Cazau M C, *et al* Effect of phenanthrene and *Rhodotoula glutinis* on arbuscular mycorrhizal fungus colonization of maize roots Mycorrhiza, 2002, 12(2): 55 ~ 59
- [25] 刘世亮, 骆永明, 丁克强, 等. 苯并[a]芘污染土壤的丛枝菌根真菌强化植物修复作用研究. 土壤学报, 2004, 41(3): 336 ~ 342. Liu S L, Luo Y M, Ding K Q, *et al* Enhanced phytoremediation of benzo[a]pyrene contaminated soil with arbuscular mycorrhizal fungi (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(3): 336 ~ 342
- [26] Volante A, Lingua G, Cesaro P, *et al* Influence of three species of arbuscular mycorrhizal fungi on the persistence of aromatic hydrocarbons in contaminated substrates Mycorrhiza, 2006, 16(1): 43 ~ 50
- [27] 王曙光, 林先贵, 尹睿. 接种丛枝菌根(AM)真菌对植物DBP污染的影响. 应用生态学报, 2003, 14(4): 589 ~ 592. Wang S G, Lin X G, Yin R. Effect of inoculation with AM fungi on DBP pollution of plant (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(4): 589 ~ 592
- [28] 王曙光, 林先贵, 尹睿. VA菌根对土壤中DEHP降解的影响. 环境科学学报, 2002, 22(3): 369 ~ 373. Wang S G, Lin X G, Yin R. Effect of VA mycorrhiza on degradation of DEHP in soil (In Chinese). Acta Scientiae Circumstantiae, 2002, 22(3): 369 ~ 373
- [29] Chen R R, Yin R, Lin X G, *et al* Effect of arbuscular mycorrhizal inoculation on plant growth and phthalic ester degradation in two contaminated soils Pedosphere, 2005, 15(2): 263 ~ 269
- [30] 秦华, 林先贵, 尹睿, 等. 丛枝菌根真菌和两株细菌对土壤中DEHP降解及绿豆生长的影响. 环境科学学报, 2006, 26(10): 73 ~ 79. Qin H, Lin X G, Yin R, *et al* Influence of an arbuscular mycorrhizal fungus and two bacterial strains on bioremediation of DEHP-polluted soil and growth of mung bean (In Chinese). Acta Scientiae Circumstantiae, 2006, 26(10): 73 ~ 79
- [31] Hildebrandt U, Regvar M, Bothe H. Arbuscular mycorrhiza and heavy metal tolerance Phytochemistry, 2007, 68: 139 ~ 146
- [32] 王发园, 林先贵. 丛枝菌根在植物修复重金属污染土壤中的作用. 生态学报, 2007, 27(2): 793 ~ 801. Wang F Y, Lin X G. Role of arbuscular mycorrhizae in phytoremediation of heavy metal-contaminated soils (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2): 793 ~ 801
- [33] Heggo A, Angle A, Chaney R L. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on heavy metal uptake by soybeans Soil Biology and Biochemistry, 1990, 22: 865 ~ 869
- [34] Tullio M, Pierandrei F, Salemo A, *et al* Tolerance to cadmium of vesicular arbuscular mycorrhizae spores isolated from a cadmium-polluted and unpolluted soil Biology and Fertility of Soils, 2003, 37: 211 ~ 214
- [35] Chen B D, Roos P, Borggaard O K, *et al* Mycorrhiza and root hairs in barley enhance acquisition of phosphorus and uranium from phosphate rock but mycorrhiza decreases root to shoot uranium transfer New Phytologist, 2005, 165(2): 591 ~ 598
- [36] Toler H D, Morton J B, Cumming J R. Growth and metal accumulation of mycorrhizal Sorghum exposed to elevated copper and zinc Water, Air, and Soil Pollution, 2005, 164: 155 ~ 172
- [37] 申鸿, 刘于, 李晓林, 等. 丛枝菌根真菌(*Glaucus caledonium*)对铜污染生物修复机理初探. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(2): 109 ~ 204. Shen H, Liu Y, Li X L, *et al* Influence of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glaucus caledonium*) on maize seedlings grown in copper contaminated soil (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(2): 109 ~ 204
- [38] Zhang X H, Zhu Y G, Chen B D, *et al* Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to the resistance of upland rice to combined metal contamination of soil Journal of Plant Nutrition, 2005, 28: 2 065 ~ 2 077
- [39] Dehn B, Sch üpp H. Influence of VAM on the uptake and distribution of heavy metal in plants Agriculture, Ecosystems and Environment, 1989, 29: 79 ~ 83
- [40] Liu Y, Zhu Y G, Chen B D, *et al* Yield and arsenate uptake of arbuscular mycorrhizal tomato colonized by *Glaucus mosseae* BEG167 in As spiked soil under glasshouse conditions Environmental International, 2005, 31: 867 ~ 873
- [41] Dupréde Boubis H D, Delvaux B, Declercq S. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the root uptake and translocation of radicaesium. Environmental Pollution, 2005, 134(3): 515 ~ 524
- [42] Rabie G H. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungus to red kidney and wheat plants tolerance grown in heavy metal-polluted soil African Journal of Biotechnology, 2005, 4(4): 332 ~ 345
- [43] Oudeh M, Khan A, Scullion J. Plant accumulation of potentially toxic elements in sewage sludge as affected by soil organic matter level and mycorrhizal fungi Environmental Pollution, 2002, 116: 293 ~ 300
- [44] 李海燕, 刘润进, 束怀瑞. 丛枝菌根真菌提高植物抗病性的作用机制. 菌物系统, 2001, 20(3): 435 ~ 439. Li H Y, Liu R J, Shu H R. Mechanism of increasing plant disease resistance by AM fungi (In Chinese). Mycosystema, 2001, 20(3): 435 ~ 439
- [45] 黄京华, 骆世明, 曾任森. 丛枝菌根菌诱导植物抗病的内在机制. 应用生态学报, 2003, 14(5): 819 ~ 822. Huang J H, Luo S M, Zeng R S. Mechanisms of plant disease resistance induced by arbuscular mycorrhizal fungi (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(5): 819 ~ 822
- [46] Shama A K, Johri B N, Gianinazzi S. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in relation to plant disease. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 1992, 8(6): 559 ~ 563
- [47] Borowicz V A. Do arbuscular mycorrhizal fungi alter plant-pathogen relations? Ecology, 2001, 82(11): 3 057 ~ 3 068
- [48] 孔文杰, 倪吾钟. 有机无机肥配合施用对土壤-水稻系统重金属平衡和稻米重金属含量的影响. 中国水稻科学, 2006, 20(5): 517 ~ 523. Kong W J, Ni W Z. Effects of integrated fertilization with commercial organic manure and chemical fertilizers on heavy metal balance in soil-rice cropping system (In Chinese). Chinese Journal of Rice Science, 2006, 20(5): 517 ~ 523
- [49] 周永锋, 刘兴成, 周艳琳. 肥料中重金属含量及其对干旱灌溉农区玉米吸收累积的影响. 农业环境科学学报, 2006,

- 25 (增刊): 503 ~ 506. Zhou Y F, Liu X C, Zhou Y L. Contents of heavy metals in fertilizers and their accumulation in com under arid agriculture with irrigation (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25 (Suppl): 503 ~ 506
- [50] 林先贵, 顾希贤. VA 菌根真菌对石刁柏生长的影响. *植物学报*, 1992, 34 (7): 551 ~ 555. Lin X G, Gu X X. Effect of VA mycorrhizal inoculation on growth of asparagus seedlings (In Chinese). *Acta Botanica Sinica*, 1992, 34 (7): 551 ~ 555
- [51] Mamatha G, Bagyaraj D, Jaganath S. Inoculation of field-established mulberry and papaya with arbuscular mycorrhizal fungi and a mycorrhiza helper bacterium. *Mycorrhiza*, 2002, 12 (6): 313 ~ 316

## EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ON QUALITY SAFETY OF FARM PRODUCTS IN CONTAMINATED SOILS

Wang Fayuan<sup>1,2</sup> Lin Xiangu<sup>3</sup>

(1 Agricultural College, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

(2 State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering,

Tsinghua University, Beijing 100084, China)

(3 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract** Arbuscular mycorrhiza (AM) is a kind of mycorrhiza, most extensively distributed in nature and very common in polluted soils of various types, such as heavy metal contaminated soils, organic contaminated soils, and combined pollutant contaminated soils. It has been demonstrated that AM fungi contribute to quality safety of farm products produced in contaminated soils through 1) promoting degradation and transformation of organic pollutants, thus reducing their residues in the soil and farm products therefrom; 2) enhancing crop tolerance to heavy metals, thus inhibiting its accumulation in farm products; 3) improving crop nutrition, thus strengthening crop resistance to disease, thus calling for less fertilizers and pesticides and hence leaving less residues in the soil and farm products therefrom. So the potential of AM fungi in improving quality safety of farm products is significant. In the years to come, more efforts should be devoted in the following fields: 1) screen and domesticate AM fungal strains that are capable of reducing residues of pollutants in farm products; 2) explore effects and mechanisms of AM fungi improving quality safety of farm products; 3) prove up interaction between AM fungi and other biofertilizers and biopesticides; and 4) conduct basic research on application of AM fungi in farming production.

**Key words** Arbuscular mycorrhiza; Soil contamination; Heavy metal; Quality safety; Pesticide