

## 菌根真菌生物肥料研究开发前景\*

刘润进

(莱阳农学院菌根生物技术实验室 265200)

**提 要** 从菌根真菌生物肥料的作用入手, 比较全面系统地介绍了高效菌种的筛选、菌根真菌生物肥料的生产、菌剂保存、质量检测和应用技术。讨论了菌根真菌生物肥料在农林业生产中的应用现状、研究动态与展望。

**关键词** 菌根真菌 生物肥料 应用开发

随着现代科学技术的发展, 人们不仅仅以土壤理化性状和土壤肥力对土壤进行评价, 而提出了更高的标准。“土壤健康”的概念就是在此背景下发展起来的。土壤健康的标志是养分供应水平较高, 各种养分相对平衡; 根围有益微生物占主导地位, 与少量的土传病原物处于动态平衡; 土壤中有毒化合物的累积与降解水平达到相对平衡。这3个平衡系统是相互关联、相互制约的。任何一个平衡受到破坏, 将不利于作物的生长发育。

近百年来, 化肥的施用对农业生产作出了巨大贡献。由于化肥具有使用方便、肥效快等优点, 致使其用量越来越多。我国化肥用量已达3594万t, 占世界1/4。特别是近年来在发达地区大量、过量使用化肥, 导致土壤中单一养分如磷或氮含量过高, 造成养分平衡失调; 另一方面, 化肥利用率较低, 仅10%~50%, 损失的硝态氮对土壤和地下水污染加重; 根际微生物区系平衡状况也遭到破坏; 作物生长不良, 各种病害日趋严重。生物肥料的研究、开发和利用是解决这一难题的重要途径。而生物肥料中, 菌根真菌生物肥料正日益受到世界各国的普遍关注。

### 1 菌根真菌生物肥料的作用

**1.1 溶解、活化土壤养分、改善作物矿质营养** 在土壤P、Zn等养分的活化过程中, 土壤微生物起着重要作用。其中AM真菌是农业生态系统中活化土壤P、Zn等矿质养分能力最强、效应最大的土壤微生物成员, 在有效磷缺乏的土壤中, 其作用尤为显著。业已证实, 菌根真菌的主要功能就是能溶

解、活化土壤中的P、Zn等矿质养分, 并具有强大的吸收能力, 提高植物体内养分含量, 从而改善植物的矿质营养状况。利用放射性同位素示踪技术证明, AM真菌可以直接吸收P、S、N和Zn等元素。更重要的是AM菌和外生菌根菌还能促进根系对土壤中难溶性磷和有机磷的吸收利用(唐振尧等, 1990), 增加了P的利用率, 一些试验还表明, 菌根对N、K、Mg、Ca、Fe等的吸收也有一定的促进作用。菌根真菌对微量元素特别是Zn、Cu具有更强的吸收能力(Mcarthur, 1993), 减轻植物Zn、Cu缺乏症的发生。更为重要的是AM真菌能消除果树P、Zn、Cu缺乏症; 减轻P-Zn-Cu相互作用。这在果树生产中是十分重要的。

**1.2 促进水分吸收, 提高抗旱性** 菌根真菌对植物水分代谢的有益作用已基本得到公认。大量试验结果表明, 菌根真菌能改善植物的水分状况, 提高植物的耐、抗旱能力。无论正常供水还是干旱条件下, 接种AM真菌都提高了洋葱、柑桔、樱桃、苹果、玫瑰、柿椒等的水分传导力和蒸腾速率。刘润进和罗新书发现AM真菌能显著提高樱桃、苹果实生苗叶片的相对含水量, 蒸腾速率, 降低了叶片的



刘润进, 男, 生于1960年9月, 1982年毕业于山东农学院, 1993年毕业于北京农业大学, 获理学博士学位, 1994年晋升教授, 主要从事菌根学教学和科研工作, 获省部级科技进步奖2项, 出版专著1部, 学术论文50余篇。

\* 国际科学基金(IFS)和山东省教委资助项目。 收稿日期: 2000-11-01

水势和自然饱和亏, 干旱条件下则降低了永久萎蔫点, 加速植株从干旱逆境中的恢复速率, 并提高苗木移栽成活率。

1.3 提高植物抗病性 接种 AM 真菌能减轻棉花、小麦、苹果、番茄、草莓、土豆、菠萝、酪梨、黄瓜、洋葱、柑桔、桃、一品红等土传真菌病害。接种 *Glomus fasciculatum* 和 *Glomus macrocarpum* 后, 单位土壤内根际病原微生物数量降低, 固 N 菌数量增加, 植株的生物量大大增加, 表明一些 AM 真菌可代替化学药剂来防治苹果重茬病害。外生菌根真菌能合成抗生素, 可杀死或抑制病原菌、诱导植物产生抗病性, 减轻油松、火炬松、落叶松、樟子松、桉树、红松北美云杉等苗木猝倒病。AM 真菌在抗线虫方面的作用也十分明显。对 *Meloidogyne incognita*、*M. javanica*、*Helicotylenchus dihystra*、*Pratylenchus brachyurus*、*P. enetrans*、*P. zae*、*Radopholus citrophilus*、*Rotylenchulus reniformis*、*Tylenchorhynchus vulgaris* 等引起大豆、棉花、黄瓜、番茄、菜豆、苜蓿、柑桔、桃的各种线虫病害, AM 真菌能不同程度的降低其危害。

1.4 促进植物生长发育, 增加产量, 改善品质 植物接种菌根真菌后最直接的效应是能提高苗木移栽成活率, 促进生长发育, 增加产量。三叶草、洋葱、苜蓿、柑桔、葡萄、月季、芦笋等植物的依赖性最大; 玉米、桃、棉花、苹果、紫罗兰、矮牵牛的依赖性居中, 烟草、番茄最小。许多大田试验证实, 接种 AM 真菌能促进作物生长, 增加产量, 并获得一定的经济效应。例如, 接种 *G. versiforme* 和 *G. mossea* 的西瓜叶片大而厚, 叶色深, 瓜大, 显著减少由枯萎病引起的死株数量; 单株增产 60%, 小区增产 240%。接种 AM 菌后大大提高了西瓜的抗病性, 另外西瓜的含糖量也高于对照。在果树上将梨树菌根苗移到不灭菌的苗圃中, 移栽成活率增高, 并可提早嫁接出圃, 苹果、桃、樱桃上也可提早一年嫁接出圃, 并提早一年结果。

## 2 菌根真菌生物肥料研究现状及存在的问题

2.1 高效菌种的筛选 采用适应本国、本地区高效菌种是成功应用菌根真菌生物肥料的关键。AM 真菌改善作物营养, 提高抗旱性、抗病性, 促进生长, 增加产量的有效性因菌种不同而异。因此, 在 AM 真菌走向大田应用之前, 必须确定所用 AM 真菌的有效性, 以及在不同土壤条件下, 不同作物种类及品种上的效果。莱阳农学院菌根生物技术实验

室自 1988 年以来, 就开始进行高效 AM 菌种的筛选工作。从 1996 年开始至今又与中国农业大学合作攻关, 进行大田条件下筛选和评价不同 AM 真菌的有效性。目前已获得 5 个高效菌种 (株), 主要有 *Glomus mosseae* 32; *G. versiforme*; *Gigaspora margarita* 等。这些高效菌种在大田条件下, 可使西瓜、菜豆、芋头等作物增产 15% ~ 70%。唐明等从陕、甘、宁极端条件下分离到 6 种 AM 真菌, 筛选出抗旱、抗盐碱能力最强的 *Glomus mosseae* 菌株。赵士杰在内蒙古干旱地区获得了两个高效菌株 *G. sp1* 和 *G. sp2*。这些研究为我国菌根真菌生物肥料的应用奠定了基础。

2.2 菌根真菌生物肥料的生产 大多数外生菌根真菌可以进行纯培养, 因此该类真菌通过工业发酵生产菌剂已获得成功, 取得实效。然而, AM 真菌目前尚不能纯培养, 其菌剂生产多沿用 30 年前毛氏纯盆培养法。由于此法费时费工, 效率低, 近十几年来人们又相继研究了静止液培法、流动液培法 (NFT)、喷雾液培法等来生产 AM 真菌菌剂。美国佛罗里达大学已推出 6 个商业生产的 AM 真菌菌剂, 并进行应用试验。目前至少有 8 个国家生产商品化 AM 真菌菌剂。例如加拿大 Mycorise、法国 Biorize、美国植物健康保健公司 (PHC)、哥伦比亚、日本、新西兰、英国和澳大利亚均有 AM 真菌菌剂的生产、销售和推广应用工作。然而, 工厂化生产的接种剂价格较贵, 且不能满足大面积大田作物接种之需。就地土法生产的接种物简便易行, 但质量较差。如何生产高质量 (不带植物病原菌, 接种物感染力高) 的接种物并切实可行是摆在我们面前的主要问题之一。我国已基本具备 AM 真菌菌剂生产技术和高效菌种, 由于缺少基础设施和设备的投入, 至今没有进行大规模工厂化生产。

2.3 菌剂的保存与质量检测 对各种方法生产的菌根真菌菌剂最好随生产随用。如暂不施用, 可储藏起来供以后施用。由于菌根真菌菌剂是具有生命的活体, 低温保藏, 可延长货架期。对于 AM 菌剂一般将其自然风干, 装入塑料袋, 在 4℃ 条件下可存放 1~2 年; 在室温条件下则可储藏 6 个月至 1 年。对生产的菌根真菌菌剂尤其是经过一段时间的储存, 在接种前必须进行质量检验。接种势是评价菌根真菌菌剂的重要指标。所谓接种势是菌剂侵染植物根系的能力, 常用“最大可能数法”来测定。此法比较费时费力, 并有许多缺点。笔者提出了一个

新的测定接种势方法 (Liu & Luo, 1994), 此法比较合理, 精确而简便易行。

**2.4 菌根真菌生物肥料的应用技术** 由于该类微生物肥料的特殊性及其不同植物种类, 在其应用技术上有所不同。对于园艺作物可在苗床或营养钵育苗播种的同时接种菌根菌剂; 对于组培苗可在生根后移出容器外时直接给幼苗根系接种; 对于大田作物则可对种子进行菌剂丸衣化、菌剂拌种或条播菌根真菌生物肥料; 对于荒山育林和牧场, 国外采用飞机播撒菌根真菌生物肥料的方法, 同样获得了较好的效果。尽管如此, 还应研究更为有效可行的大田接种技术。

**2.5 应用现状与存在的问题** 由于外生菌根真菌菌剂可以工厂化生产, 该类微生物肥料在我国已成功应用于经济林木育苗、荒山造林等方面。与外生菌根真菌菌剂相比, AM 菌剂的生产则较困难, 其在实际生产中的应用一直受到限制。然而, 西方发达国家在一定程度和范围上则进行了推广应用。例如, 美国在柑桔育苗上成功地应用接种 AM 真菌, 并获得了经济效益。

尽管国内尚未开始应用 AM 真菌, 但与其相关的应用技术已进行了研究。刘润进和罗新书研究了菌根化苗的生产条件和培育方法, 发现苹果以萌芽种子和四叶期接种 AM 真菌效果较好。用营养钵砂培培育杜梨菌根苗较简便、快速, 而且成本低; 用黑塑管半水培和苗床土培成本高, 周期长。并发现苗木菌根化后, 显著促进了植株生长, 在大田干旱条件下, 提高了苗木移栽成活率。国内柑桔容器育苗也取得了一定进展。笔者所在的实验室建立了一套适合大田经济作物的接种技术。该项技术具有节省菌剂、提高侵染率和接种效果的作用。

AM 真菌能促进苹果、葡萄、菠萝、柑桔等组培苗的生长, 提高其移栽成活率。并尝试了商业化菌剂的应用。Lovato 等 (1992) 在葡萄、菠萝上接种颗粒状菌剂后, 寄主的新梢生长量增加了 3 倍, 侵染率比不接种对照高。且不同菌剂对土壤 pH 值的反应不同。笔者认为其应用的可行性尚需进一步研究。

笔者所属的研究小组在西瓜、黄瓜、菜豆、芋头上作了一系列的大田试验, 取得了较好的效果。接种 AM 真菌后, 改善了作物的营养状况, 显著提高了叶片的光合强度和蒸腾速率, 促进了寄主植物

的生长, 改善了品质。大田西瓜上接种 AM 真菌显著降低了枯萎病的为害, 增加了产量。南京土壤研究所将菌根化芦笋幼苗移栽到大田, 接种菌根的处理第 1 年平均增产 74%, 第 2 年平均增产 50%。台湾的程永雄在甜瓜大田生产上, 成功推广应用 AM 真菌 *Glomus clarum* 达 250hm<sup>2</sup>, 该微生物肥料显著的提高了甜瓜产量, 同时瓜农应用菌根化甜瓜苗能收获到第 2 次瓜, 收益大为增加。

### 3 菌根真菌生物肥料研究动态与展望

**3.1 研究动向** 当前菌根真菌生物肥料研究的动态主要集中在: ①菌根真菌生物肥料的作用机制。土壤潜在养分的活化主要发生在菌根际这一微小的土壤区域内。由于菌根真菌侵染改善了菌根际微环境, 促进了菌根真菌对土壤养分的活化和吸收, 增加了植物对磷、锌等元素的吸收利用。但 AM 真菌活化土壤养分的作用机制还不十分清楚。菌丝际 pH 值的变化、菌丝分泌质子是否具有普遍性, 以及菌丝分泌磷酸酶活化有机磷; 分泌有机酸的种类、数量与解磷效应等是当前关注的问题之一。②多元化、组合化菌根真菌生物肥料的研究。菌根真菌与土壤微生物之间的关系以及它们对植物的影响一直受到人们的关注。现在普遍认为, AM 真菌与有益的土壤微生物如根瘤细菌、自养固氮细菌、溶磷细菌真菌、有益的放线菌之间具协同作用, 能共同促进植物的生长。目前, 正在研究以菌根真菌为主体的多元化、组合化菌根真菌生物肥料。在不久将会出现适合不同作物、不同土壤条件的菌根真菌生物肥料的系列产品。③不同生态条件下对菌根真菌生物肥料有效性的评价。菌根真菌是土壤习居菌, 土壤生态条件如水、肥、气、热、微生物五大肥力因素对 AM 菌的生长发育和功能影响最大。另外, 农业技术措施也会影响菌根真菌的侵染和有效性。因此对目前的一些传统的农业措施必须加以改革, 使之有益于菌根的活动。可见, 在不同生态条件下对菌根真菌生物肥料有效性进行评价, 对于该类生物肥料的成功应用是非常有意义的。

**3.2 展望** 菌根的研究和发现已有 115 年的历史。随着研究的不断深入, AM 真菌应用已面临着重大突破。菌根真菌生物肥料的应用首先可在高经济价值的果树、蔬菜、花卉、药用植物上、各种开矿破坏土地的植被恢复上、山旱薄地上获得成功。

(下转第 45 页)

应的前提下, 分析平衡数据的三倍体胚乳性状的遗传模型。朱军(1997)根据禾类作物种子性状的遗传复杂性提出了同时分析二倍体和三倍体种子性状的各种遗传模型, 并且能有效地分析非平衡数据, 作者在这方面已进行了初步研究。

根据杂种优势类群进行自交系选育和杂交种组配是国内外普通玉米育种最成功的经验。随着对爆裂玉米种质创新和类群划分研究的开展及不断深入, 以及 RFLP、RAPD、SSR 等分子标记技术在爆裂玉米种质鉴别、亲缘关系划分和强优势组合选配等方面的逐步应用, 必将显著提高爆裂玉米的育种效果以及育成杂交种的水平。

#### 主要参考文献

- 1 史振声. 沈农系列爆裂玉米新品种综合研究. 沈阳农业大学学报, 1992, 23 (2): 209~214
- 2 李玉玲, 薛喜梅, 靳永胜, 等. 爆裂玉米单交种的选育效果初报. 中国农学通报, 1999, 15 (1): 11~12
- 3 Sprague G F, Dudley J N. Corn and Corn Improvement, Third Edition. Madison Wisconsin, USA, 1988
- 4 Dofing S M, Thomas - Compton M A, Buck J S. Genotype  $\times$  popping method interaction for expansion volume in popcorn. Crop Sci, 1990, 30 (1): 62~65
- 5 Robbins W A, Ashman R B. Parent - offspring popping expansion correlations in progeny of dent corn  $\times$  popcorn and flint corn  $\times$  popcorn crosses. Crop Sci, 1984, 24 (1): 119~121
- 6 Dofing S M, NoraD' Croz - Mason, Thomas - Compton M A. Inheritance of expansion volume and yield in two popcorn  $\times$  dent corn crosses. Crop Sci, 1991, 31 (2): 715~718
- 7 李玉玲, 靳永胜, 薛喜梅, 等. 爆裂玉米穗粒性状与爆裂性的关系研究. 河南农业科学, 1999, (5): 11~12
- 8 李玉玲, 利用普通玉米改良爆裂玉米初探. 河南省首届青年学术年会论文集, 北京: 中国科技出版社, 1995
- 9 李玉玲, 鹿智江. 爆裂玉米与普通玉米杂交后代选系的膨爆特性研究. 河南农业大学学报, 2000, 34 (3): 210~212
- 10 Johnson I J, Eldredge J C. Performance of recovered popcorn inbred lines derived from outcrosses to dent corn, Agron. J., 1953, 45: 105~110

#### (上接第 42 页)

挖掘生物活化、利用土壤磷锌养分的潜力, 使土壤中难溶性营养元素活化为有效态, 提高其利用率, 微生物肥料将发挥其应有的效应。按我国 1 亿  $\text{hm}^2$  耕地和目前磷肥供给量计算, 每公顷磷肥占有量只有 35 kg, 按一般实际用量每公顷 60kg 计, 缺口达 42%。即使菌根只能节省目前磷肥用量的 10%, 全国每年也能节省 3.8 亿 kg 磷肥。如平均增产 5%, 每公顷产 3000kg 计算, 就可增产粮食产量 100 亿 kg。可见, 通过菌根真菌加强植物对磷素吸收是利用土壤磷库、节省有限磷肥资源和提高磷肥利用率的一条重要途径。我国大面积中低产地区应用菌根真菌生物肥料获得效益的前景十分广阔。

#### 主要参考文献

- 1 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根及其应用. 北京: 科学出版社, 2000. 1~224
- 2 雷增普. 中国外生菌根研究概况. 土壤学报, 1994, 31 (增刊): 1~10
- 3 唐振尧, 何首林. VA 菌根对柑桔吸收铁素效应研究初报. 园艺学报, 1990, 17 (4): 257~262
- 4 Al - Momany AAR. Effect of three Vesicular - arbuscular mycorrhizal isolates on growth of tomato, eggplant and pepper in a field soil. Dirasat, 1997, 14 (11): 161~168
- 5 Estain V, Calver C, Camprubi A. Arbuscular mycorrhizae and growth enhancement of micropropagated Prunus rootstock in different soilless potting mixes. Agriculture Science in Finland. 1994, 3: 263~267
- 6 Guillemin J P, Gianinazzi S, Trourelot A. Screening of arbuscular endomycorrhizal fungi for establishment of micropropagated pineapple plants. Agronomie, 1992, 12 (10): 831~836
- 7 Liu R J (刘润进), Luo X S. A new method to quantify the inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi. The New Phytologist, 1994, 128: 89~92
- 8 Lovato P, Guillemin J P, Gianinazzi S. Application of commercial arbuscular endomycorrhizal fungi inoculants to the establishment of micropropagated rape vinerootstock and pineapple plants. Agronomie, 1992, 12 (10): 873~880