

长期定位施肥土壤中 AM 真菌耐磷性的比较*

王淼焱 刘树堂 刘润进[†]

(莱阳农学院菌根生物技术研究所, 山东莱阳 265200)

P TOLERANCE OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN SOIL UNDER LONG TERM FERTILIZATION

Wang Miaoyan Liu Shutang Liu Runjin[†]

(Institute of Mycorrhizal Biological Technology, Laiyang Agricultural College, Laiyang, Shandong 265200, China)

关键词 玉米; AM 真菌; 磷肥

中图分类号 S154.3 文献标识码 A

大多数试验表明在缺 P 或低 P 土壤中接种 AM 真菌都能促进植物对 P、锌(Zn)、铜(Cu)等养分的吸收和利用、提高产量、改善品质^[1-4]。而在高 P 含量土壤中除部分菌种外,大多数 AM 真菌侵染率较低、接种效果不明显^[5]。近年来,随着化肥工业的发展和进口量的增加,我国农田施(P)肥量越来越多^[6],大大抑制了 AM 真菌的发育及其功能。因此,筛选耐 P 肥菌株,评价高 P 含量土壤中不同 AM 真菌的侵染、发育和接种效应,获得适应高肥力土壤条件、并能增加作物养分吸收、提高产量的高效菌种,为大面积农田应用 AM 真菌提供依据和技术是摆在我们面前的一项紧迫任务。本试验在前段工作的基础上,从长期定位施 NP 和 NPK 肥配施处理分离到的 AM 真菌中,选择 5 种出现频度高、孢子密度大的真菌: *Glomus birticulata*、*Glomus caledonium*、*Glomus mosseae*、*Glomus versiforme* 和 *Scutellospora pellucida*, 于温室条件下,将单孢培养得到的接种物接种于玉米上,在不同施 P 水平条件下进行耐 P 肥高效 AM 真菌的筛选。

1 材料与方法

1.1 单孢培养

从 1978 年起,莱阳农学院在莱阳市(120° 71' E,

36° 97' N)建立了不同配位施肥的长期定位试验。供试土壤为无石灰性潮土,质地轻壤。2003 年 9 月和 2004 年 5 月在长期定位施 NP 和 NPK 的试验田分别采集玉米、小麦根系和土壤样品(采样深度为 0~20 cm)。从土壤样品中所分离到 AM 真菌 *Glomus birticulata*、*Glomus caledonium*、*Glomus mosseae*、*Scutellospora pellucida* 和 *Glomus versiforme*, 分别经单孢培养后得到的孢子、菌丝和根段作为本试验的接种菌剂。

1.2 盆栽基质

从莱阳五龙河边采集河淤土,质地轻壤土(pH 6.59,速效 P 21.47 mg kg⁻¹,速效 N 33.14 mg kg⁻¹,速效 K 32.14 mg kg⁻¹,有机质 7.7 g kg⁻¹,全 P 0.51 g kg⁻¹)过筛后蒸汽灭菌(121℃, 2 h);花盆消毒后每盆(20 cm×25 cm)装 3 000 ml 土壤。

1.3 供试植物

玉米种子用 0.1% 升汞表面消毒,催芽备用。

1.4 测定内容与方法

菌根侵染率采用 KOH 透明-酸性品红染色法,土壤理化性状测定参照文献[7],植株高度采用常规测定方法,植株 P 含量测定用钒钼黄吸光光度法。

1.5 试验设计和管理

设土壤施 P 肥(KH₂PO₄) 5 个水平: P₂O₅ 30、60、120、240、480 mg kg⁻¹,每个施 P 水平分别接种 5 种

* 国家自然科学基金项目(30471164 和 40171049) 和山东省自然科学基金项目资助

[†] 通讯作者, E-mail: liurp3@163.com

作者简介: 王淼焱(1979~), 女, 山东日照人, 硕士, 主要从事菌根学研究

收稿日期: 2005-07-20; 收到修改稿日期: 2005-10-09

AM 真菌: *Glomus bireticulata*、*Glomus caledonium*、*Glomus mosseae*、*Glomus versiforme* 和 *Scutellospora pellucida* 孢子和根段接种物 12 000 接种势单位 盆^{-1} [8] 和不接种对照共 30 个处理。每处理重复 6 次。玉米出苗后每盆留 5 株壮苗, 每隔 2 周左右浇一次 1/3 强度去磷 Hogland 营养液。播种后 60 d 测定玉米菌根状况、株高、植株干物质重及地上部植株 P 含量等。采用 SAS 统计软件进行方差分析, 不同字母为在 5% 水平上差异显著。

2 结果

2.1 施 P 水平对玉米菌根侵染的影响

不接种 AM 真菌的处理在所有 P 浓度下均没有侵染, 接种处理在 5 个施 P 水平下均有不同程度的侵染(见表 1)。*Glomus bireticulata* 和 *Glomus caledonium* 在施 P 量为 P_2O_5 30 mg kg^{-1} 时达到侵染高峰, 其他 3 种 AM 真菌在施 P 量为 P_2O_5 60 mg kg^{-1} 时达到侵染高峰, 施 P 量再增加 AM 真菌的侵染率呈下降趋势, 但 *Glomus mosseae* 的下降幅度最小, *Glomus bireticulata* 和 *Scutellospora pellucida* 次之, *Glomus cale-*

donium 和 *Glomus versiforme* 最大。*Glomus mosseae* 在施 P 量达到 P_2O_5 480 mg kg^{-1} 时仍有较高的侵染率, 说明 *Glomus mosseae* 比其他菌株有更强的耐高 P 的特性。

2.2 不同施 P 水平下接种 AM 真菌对玉米生长状况的影响

当施 P 量在 P_2O_5 30~ 120 mg kg^{-1} 时, 除 *Glomus bireticulata* 和 *Glomus caledonium* 外, 接种 AM 真菌处理玉米的株高均显著高于对照, 当施 P 量为 P_2O_5 240 mg kg^{-1} 时, 接种 *Glomus mosseae* 处理的玉米株高显著高于其他处理, 其他接种处理与对照差异不显著。施 P 量达到 P_2O_5 480 mg kg^{-1} 时接种 AM 真菌与对照无显著差异。

由表 2 可以看出, 施 P 量为 P_2O_5 30~ 60 mg kg^{-1} 时, 接种 *Glomus mosseae*、*Glomus versiforme* 和 *Scutellospora pellucida* 处理玉米干物质重显著高于对照, 施 P 量为 P_2O_5 120 mg kg^{-1} 时, 仅接种 *Glomus mosseae* 的处理显著高于对照, 施 P 量在 P_2O_5 240 mg kg^{-1} 和 480 mg kg^{-1} 条件下, 接种 AM 真菌的处理与对照无显著差异。

表 1 不同施 P 水平下 AM 真菌对玉米的侵染率 (%)

AM 真菌	P 水平 (P_2O_5)				
	30 mg kg^{-1}	60 mg kg^{-1}	120 mg kg^{-1}	240 mg kg^{-1}	480 mg kg^{-1}
CK	0	0	0	0	0
<i>G. bireticulata</i>	48.3 Aa	43.9 Ac	33.4 Bc	18.2 Cc	11.8 Cbc
<i>G. caledonium</i>	50.6 Ab	45.2 Ac	30.3 Bc	15.7 Cc	9.5 Cc
<i>G. mosseae</i>	52.1 Bb	68.3 Ab	66.8 Aa	57.0 Ba	25.7 Ca
<i>G. versiforme</i>	64.7 Ba	77.8 Aa	56.4 Cb	41.3 Db	13.8 Ebc
<i>S. pellucida</i>	56.7 ABb	63.3 Ab	52.4 Bb	44.7 Cb	16.5 Dab

注: 接种后 60 d 测定的结果。行中数据后不同大写字母和列中不同小写字母表示在 5% 水平差异显著

表 2 不同施 P 水平下 AM 真菌对玉米干物质质量(g 盆^{-1})的影响

AM 真菌	P 水平 (P_2O_5)				
	30 mg kg^{-1}	60 mg kg^{-1}	120 mg kg^{-1}	240 mg kg^{-1}	480 mg kg^{-1}
CK	27.8 Cb	38.7 Bc	44.3 ABb	46.1 Aa	46.5 Aa
<i>G. bireticulata</i>	26.9 Cb	39.7 Bc	45.9 ABab	47.9 Aa	47.7 Aa
<i>G. caledonium</i>	28.3 Cab	40.1 Bbc	44.2 ABb	46.3 ABa	48.4 Aa
<i>G. mosseae</i>	34.9 Ca	47.3 ABa	51.9 Aa	50.8 ABa	45.4 ABa
<i>G. versiforme</i>	35.8 Ba	44.4 ABab	47.8 ABab	48.3 Aa	43.7 ABa
<i>S. pellucida</i>	36.6 Ba	43.7 ABab	46.2 ABab	46.4 Aa	41.5 ABa

注: 接种后 60 d 测定的结果。行中数据后不同大写字母和列中不同小写字母表示在 5% 水平差异显著

2.3 施 P 水平对玉米地上部 P 含量的影响

当施 P 量为 P_2O_5 30 $mg\ kg^{-1}$ 时接种 AM 真菌 *Glomus mosseae*、*Glomus versiforme* 和 *Scutellospora pellucida* 分别较不接种 AM 真菌的处理植株 P 含量提高了 78.9%、33.7% 和 53.3%，随着施 P 量增加这

种效应逐渐降低。在施 P 量为 P_2O_5 60~480 $mg\ kg^{-1}$ 范围内，接种 *Glomus mosseae* 处理的植株 P 含量显著高于其他接种处理和对照(表 3)。表明在土壤高 P 条件下，该菌株仍具有较强的吸收养分的功能。

表 3 不同施 P 水平下 AM 真菌对玉米地上部 P 含量(%)的影响

AM 真菌	P 水平 (P_2O_5)				
	30 $mg\ kg^{-1}$	60 $mg\ kg^{-1}$	120 $mg\ kg^{-1}$	240 $mg\ kg^{-1}$	480 $mg\ kg^{-1}$
CK	0.092 Dc	0.125 CDc	0.154 Cc	0.238 Bc	0.356 Ab
<i>G. bireticulata</i>	0.095 Dc	0.129 CDc	0.155 Cc	0.239 Bc	0.360 Ab
<i>G. caldonium</i>	0.093 Dc	0.127 CDc	0.151 Cc	0.233 Bc	0.355 Ab
<i>G. mosseae</i>	0.164 Ca	0.192 Da	0.238 Ca	0.341 Ba	0.467 Aa
<i>G. versiforme</i>	0.123 Eb	0.153 Db	0.185 Cb	0.274 Bb	0.386 Ab
<i>S. pellucida</i>	0.141 Dab	0.164 CDb	0.188 Cb	0.253 Bbc	0.397 Ab

注:接种后 60 d 测定的结果。行中数据后不同大写字母和列中不同小写字母表示在 5% 水平差异显著。

3 讨 论

土壤中速效 P 含量的高低直接影响到 AM 真菌发育和对植物的接种效应,这些差异有时与其 AM 真菌的耐肥性不同有关^[9]。本试验观察到随着施 P 肥量的增加,AM 真菌的侵染率呈下降趋势,但以 *G. mosseae* 的下降幅度最小。AM 真菌在低 P(P_2O_5 30~60 $mg\ kg^{-1}$) 水平下显著提高玉米植株生长、干物质重和增加 P 吸收的效应,随着土壤 P 水平的提高而下降。这支持了前人的研究结果^[10]。而本试验供试 5 种 AM 真菌中的 3 种在玉米侵染率、植株生长状况和植株地上部含 P 量等都表现出一定的耐 P 性,其中以 *G. mosseae* 耐 P 性最强,在施 P 肥量达到 P_2O_5 480 $mg\ kg^{-1}$ 时还能显著增加植株 P 含量。这可能是由于供试的 *G. mosseae* 菌株取自长达 26 a 的长期定位施用 NP 和 NPK 肥的土壤,能较好的适应这种高 P 生境。

AM 真菌能促进植物对矿质元素特别是 P 素的吸收,本试验也发现接种 AM 真菌植株体内 P 含量高于对照。但在大量施 P(P_2O_5 240 $mg\ kg^{-1}$) 肥条件下,接种 AM 真菌并没有增加植株的生长,这可能是在高 P 水平下,植物不需要 AM 真菌根外菌丝从土壤中吸收额外的 P,而且随着土壤中 P 含量的增加寄主对菌根依赖性逐渐降低^[11],甚至 AM 真菌与植物之间就形成一种寄生关系^[12]。关于这一点有待深入研究。

有研究认为^[5]植株体内 P 营养水平的提高,降低了根皮层细胞的质膜透性,一方面供给真菌的碳水化合物减少,抑制了 AM 真菌的发育,同时真菌吸收到体内的 P 不能顺利输送给植物,造成养分在真菌体内积聚,而导致营养失调,也会影响 AM 真菌的发育,从而认为直接抑制菌根形成的是植株中的 P 水平而不是土壤中的。利用分根试验也证实了这个观点,当在分根系统的一侧供应高浓度的无机 P 时降低了分根装置两边的侵染,说明植株 P 水平对真菌的侵染有调控作用^[13]。可见,在研究 AM 真菌作用机制过程中,应控制对照与接种处理植株体内的 P 含量一致,只有在唯一差异原则下获得的试验结果才更有说服力。

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
- [2] 李敏,刘鹏起,刘润进. AM 真菌对芋头组培苗的影响. 园艺学报, 2002, 29(5): 451~453
- [3] 刘润进,郝文英. VA 菌根菌对植物水分代谢的影响. 土壤学报, 1994, 31(增刊): 46~53
- [4] Graham J H, Abbott L K. Wheat response to aggressive and non aggressive arbuscular mycorrhizal fungi. Plant and Soil, 2000, 220: 207~218
- [5] 冯海艳,冯固,王敬国. 植物磷营养状况对丛枝菌根真菌生长及代谢活性的调控. 菌物系统, 2003, 22(4): 589~598
- [6] 汪建飞,邢素芝. 农田土壤施用化肥的负效应及其防治对策. 农业环境保护, 1998, 17(1): 40~43
- [7] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000

- [8] Liu R J, Luo X S. A new method to quantify the inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 1994, 128: 89~ 92
- [9] 赵俊兴, 郭柏寿, 杨继民. VA 菌根与植物的磷素营养. *山东农业大学学报*, 2001, 32(3): 401~ 405
- [10] 姚青, 李道高, 石井孝昭, 等. VA 菌根菌与磷的互作关系及对柑橘果实着色的影响. *西南农业大学学报*, 1997, 19(3): 231~ 234
- [11] Ortas I, Ortakci D, Kaya Z, *et al.* Mycorrhizal dependency of sour orange in relation to phosphorus and zinc nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 2002, 25(6): 1 263~ 1 279
- [12] Johnson N C, Graham J H, Smith F A. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism parasitism continuum. *New Phytologist*, 1997, 135: 375~ 385
- [13] Thomson B D, Robson A D, Abbott L K. Soil mediated effects of phosphorus supply on the formation of mycorrhizas by *Scutellospora calospora* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders on *subterranean clover*. *New Phytologist*, 1991, 118: 463~ 469

欢迎订阅 2007 年《土壤学报》

《土壤学报》是中国土壤学会主办、中国科学院南京土壤研究所承办、科学出版社出版的学术性期刊, 主要刊登土壤科学各分支学科及相关领域(如植物营养科学、肥料科学、环境科学、国土资源等领域)的最新研究成果, 包括学术论文、研究简报、综述与专论、问题讨论等。读者对象主要为土壤学及相关学科的科技人员、高等院校师生和管理干部等。

《土壤学报》现为双月刊, 大 16 开, 176 页, 国内外公开发行。国内统一刊号: CN 32-1119/P, 国际标准刊号: ISSN 0564-3929。国内邮发代号: 2-560, 每期定价 50.00 元, 全年定价 300.00 元; 国外邮发代号: BM45, 每期定价 50.00 美元, 全年定价 300.00 美元。订购处: 全国各地邮局。总发行: 科学出版社; 地址: 北京东黄城根北街 16 号; 邮政编码: 100717; 电话: 010-64034563; E-mail: journal@cspg.net。

编辑部地址: 南京市北京东路 71 号 中国科学院南京土壤研究所《土壤学报》编辑部。邮政编码: 210008; 电话: 025-86881237, 86881238; 传真: 025-86881000; E-mail: actapedo@issas.ac.cn; 网址: <http://trxb.periodicals.net.cn>, <http://trxb.chinajournal.net.cn>。

欢迎订阅 2007 年《土壤》杂志

《土壤》杂志是我国土壤科学领域最具权威性的专业期刊之一, 是中国科技核心期刊, 已被《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》全文收录, 被认定为《中国学术期刊综合评价数据库》、《中国科学引文数据库》来源期刊。

《土壤》办刊宗旨: 以科学的态度, 求实的精神, 严谨的作风, 传播土壤科学最新研究成果, 交流改土培肥经验, 普及土壤科学知识, 提倡百家争鸣, 活跃学术思想, 繁荣我国土壤科学事业, 促进农业生产, 服务于国民经济建设。

《土壤》自 1958 年创刊以来, 在选题上紧密结合国民经济建设、改革开放的发展形势, 以能及时反映国内外土壤科学发展的最新动向为目的, 刊载土壤科学方面的学术论文、试验研究报告、文献综述、简报、科研和生产实践中的新技术、新方法、国内外考察报告等。

《土壤》杂志从 2003 年改版, 双月刊, 大 16 开本, 双栏排版; 152 页, 彩色封面, 双月 25 日出版。

新版《土壤》杂志以能最大限度为作者、读者提供服务为宗旨, 注重新思想、新理论、新技术方法的探讨, 注重对实际应用的指导。有深度、广度; 严肃、严谨; 流畅、活泼; 形成独特的风格, 成为深受广大作者、读者欢迎的期刊。

《土壤》期刊的邮发代号: 28-21, 每期定价 25.00 元, 全年定价 150.00 元。全国各地邮局均可订阅, 也可随时直接向《土壤》编辑部订阅。

地址: 江苏南京市北京东路 71 号, 中国科学院南京土壤研究所《土壤》编辑部, 邮政编码: 210008, 电话和传真: 025-86881236, 电子邮箱: soils@mail.issas.ac.cn

欢迎订阅、投稿和刊登综合信息。