

## 蚕豆/玉米间作接种 AM 真菌与根瘤菌对其吸磷量的影响\*

李淑敏 李 隆\*\* 张福锁

(中国农业大学植物营养系 北京 100094)

**摘 要** 盆栽试验研究不同根系分隔方式蚕豆/玉米间作接种 AM 真菌和根瘤菌对其吸收有机磷影响结果表明, 接种 AM 真菌均显著促进玉米和蚕豆吸收有机磷, 与对照相比吸 P 量分别增加 138.1% 和 82.3%; 接种 AM 真菌和根瘤菌对蚕豆吸收有机磷有协同促进作用, 蚕豆根瘤数、根瘤重和菌根侵染率显著增加, 并改善与其间作玉米的营养状况, 明显促进玉米生长。

**关键词** 蚕豆/玉米间作 AM 真菌 根瘤菌 有机磷 促进作用

**Effect of inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* on the P uptake in faba bean/maize intercropping system.** LI Shu-Min, LI Long, ZHANG Fu-Suo (Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China), *CJEA*, 2005, 13(3): 136~139

**Abstract** Pot experiments with different root separations were conducted to study the effect of inoculation of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and *Rhizobium* on the organic P uptake in faba bean/maize intercropping system. The results show that P uptakes by faba bean and maize inoculated with AM fungi are increased by 138.1% and 82.3% compared with the control. Symmetrical effect on organic P uptake is observed when faba bean is inoculated with AM fungi and *Rhizobium*. The number of nodules, weight of nodules and mycorrhizal colonization of faba bean are significantly increased. At the same time the growth of the associated maize is significantly facilitated due to the improvement of nutrition condition.

**Key words** Faba bean/maize intercropped, Arbuscular mycorrhizal fungi, *Rhizobium*, Organic P, Facilitation  
(Received June 23, 2004; revised July 27, 2004)

目前有关间作物种间 P 吸收的促进作用研究已见诸报道<sup>[8-10]</sup>, 但这些研究均集中在土壤无机磷方面。接种 AM 真菌可促进作物对有机磷的吸收<sup>[1,11]</sup>, 而接种根瘤菌能促进豆科作物根瘤固 N<sup>[2]</sup>, 改善菌根的 N 素营养, 提高植株菌根侵染率, 二者有一定协同作用<sup>[12]</sup>。但间作同时接种 AM 真菌和根瘤菌对植株吸收有机磷的影响研究目前尚少见报道。本试验研究了蚕豆/玉米间作接种 AM 真菌和根瘤菌对其吸收有机磷的影响, 为促进作物生长发育提供依据。

### 1 试验材料与方法

供试土壤采自中国农业大学昌平长期定位试验未施 P 砂土, 土壤 pH 值 7.8, 有机质 10.5g/kg, 全 N 0.82g/kg, 速效磷 2.40mg/kg, 速效钾 80.6mg/kg。供试作物为“临蚕 2 号”蚕豆和“中单 2 号”玉米, 供试 AM 菌种为 *Glomus mosseae* 93, 根瘤菌为 *Rhizobium* NM353。试验设接种根瘤菌(NM353)、接种 AM 真菌(G.m)、同时接种根瘤菌和 AM 真菌(NM353 + G.m)和未接种对照(CK)4 个接种及隔塑料布、隔尼龙网和未分隔 3 种根系分隔方式共 12 个处理, 隔塑料布和隔尼龙网根系分隔方式是将塑料盆从中间纵向切开, 用聚氯乙烯粘合剂将尼龙网(30 $\mu$ m)或塑料膜粘在中间从而将盆分隔成 2 室, 使单作与间作物地上生长条件一致。土壤过 2mm 筛并在 120 $^{\circ}$ C 下蒸汽灭菌 2h。每盆装混好肥料的砂土 2.6kg, 每室装土 1.3kg, AM 真菌按 20mg/kg 接种量装盆时铺在土室中间, 对照组加入相同重量经灭菌处理的接种剂。各处理均施 N 肥(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)50mg/kg $\pm$ , P 肥 50mg/kg $\pm$ , K 肥(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)200mg/kg $\pm$ , Mg 肥(MgSO<sub>4</sub>)50mg/kg $\pm$ , Fe、Mn、Cu 和 Zn 各 5mg/kg $\pm$ , P 源为植酸钠, 重复 4 次。蚕豆和玉米种子经 100g/kg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消毒催芽后播种, 每室出苗后

\* 国家自然科学基金项目(30070450)和教育部科学研究重点项目(0112)资助

\*\* 通讯作者

收稿日期:2004-06-23 改回日期:2004-07-27

留蚕豆和玉米各 2 株。接根瘤菌处理玉米和蚕豆每室同时接种 10mL 根瘤菌菌液(根瘤菌菌数 8.2 亿个),未接种处理加等量无菌液体培养基。作物生长期充分供水以满足作物对水分的需求,生长 80d 后收获。植株于 105℃ 杀青 30min,70℃ 烘干称重。用钒钼黄比色法测其 P 浓度,用计数法测定蚕豆根瘤菌根侵染率,其测定方法为将根系清洗干净后称取 1.0g 鲜根,按常规步骤透明、酸化,用曲利苯蓝染色,乳酸甘油脱色,之后选取 30 条根段制片并镜检。根据 Trouvelot 等(1986)计算菌根侵染频度、根系菌根侵染强度、侵染根段的菌根侵染强度及根系丛枝丰度。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同间作与接种对植株生长的影响

表 1 表明不同接种处理对蚕豆和玉米生长均有明显促进作用,接种根瘤菌处理蚕豆生物量比对照增加 22.5%,接种 AM 真菌处理蚕豆生物量比对照和接种根瘤菌处理分别增加 43.8% 与 17.4%,同时接种 AM 真菌和根瘤菌处理效果最佳,比前 3 个处理分别增加 52.8%、24.8% 和 6.3%。玉米也表现相同增加趋势,接种根瘤菌处理与对照无显著差异,接种 AM 真菌处理比对照和接种根瘤菌处理分别增加 59.0% 与 47.0%,同时接种根瘤菌和 AM 真菌处理比前 3 个处理分别增加 77.0%、63.6% 与 11.3%。表明同时接种 AM 真菌和根瘤菌能促进蚕豆生长,且对与其间作的玉米有协同促进作用。不同分隔方式对蚕豆生长无显著影响,表明蚕豆与玉米间作玉米根系对蚕豆生长无显著影响。与蚕豆相比不同分隔方式对玉米有显著影响,接种和未接种处理玉米生物量均以根系完全相互作用最高,平均比尼龙网分隔和完全分隔处理高 9.6% 和 23.0%。在未接种、接种根瘤菌、接种 AM 真菌及同时接种根瘤菌与 AM 真菌条件下,未分隔比完全分隔处理玉米生物量平均分别增加 19.6%、26.3%、15.7% 和 29.5%,表明蚕豆对玉米生长有促进作用,在接种根瘤菌条件下促进作用增加。本试验土壤施 N 水平较低且以有机磷为 P 源,接种 AM 真菌可促进蚕豆对有机磷的吸收,改善蚕豆的 P 素营养并提高其固 N 能力,能进一步改善与其间作玉米的 N、P 营养,有研究表明间作豆科作物固定的 N 可向非豆科作物转移<sup>[13]</sup>,故与蚕豆根系完全相互作用处理玉米生物量最大,且以同时接种根瘤菌和 AM 真菌处理最高,表现与蚕豆相同的接种效应。

表 1 不同间作与接种对作物生物量的影响\*

Tab.1 Effect of different intercropping and inoculation on the biomass of plant

作物 Crops	接种 Inoculation	生物量/g·盆 <sup>-1</sup> Biomass				平均 Mean	作物 Crops	接种 Inoculation	生物量/g·盆 <sup>-1</sup> Biomass				平均 Mean
		完全分隔 Solid barrier	尼龙网分隔 Mesh barrier	未分隔 No barrier	平均				完全分隔 Solid barrier	尼龙网分隔 Mesh barrier	未分隔 No barrier	平均	
玉米	CK	5.6b	6.0ab	6.7a	6.1c	蚕豆	CK	9.4a	8.3a	9.2a	8.9d		
	NM353	5.7b	6.8a	7.2a	6.6c		NM353	10.6a	10.7a	11.5a	10.9c		
	G.m	8.9b	10.0a	10.3a	9.7b		G.m	12.6a	12.8a	12.9a	12.8b		
	NM353+G.m	9.5b	10.5b	12.3a	10.8a		NM353+G.m	13.1a	13.4a	14.3a	13.6a		
	平均	7.4	8.3	9.1			平均	11.4	11.3	12.0			

\* 表中行内相同字母者差异不显著,不同字母者差异达 0.05 显著水平,下同。

### 2.2 不同间作与接种对植株菌根侵染率的影响

玉米和蚕豆未接种 AM 真菌处理均未发现有菌根侵染,其各参数均为 0,而接种 AM 真菌处理植株均有较高侵染率(见表 2),其中玉米菌根侵染率高于蚕豆。玉米接种处理其菌根侵染频度均达 100%,表明玉米根系 100% 均有真菌侵染点存在,而这些真菌结构在整个根系中所占比例平均为 88.5%~90.7%,在所有受侵染的根段中真菌结构形成比例较高,均达 4 级水平(>50%),从根系丛枝丰度来看,根系中分别有 40.8% 和 56.7% 以上根系形成了丛枝,说明玉米菌根形成状态良好。与玉米相比蚕豆根系菌根侵染点也较高,平均为 86.6%~92.7%,但真菌结构在整个根系中所占比例显著低于玉米,平均为 30.1%~35.4%,丛枝发育也较差,说明蚕豆菌根形成状态较差。双接种处理玉米菌根侵染率与单接种 AM 真菌处理间无差异,但同时接种根瘤菌与 AM 真菌处理蚕豆菌根侵染率明显高于单接种 AM 菌根处理。不同分隔方式对玉米和蚕豆菌根侵染率有显著影响,未分隔与尼龙网分隔处理玉米和蚕豆菌根侵染率明显高于塑料布分隔处理,可能由于前二者蚕豆和玉米根系间可进行物质交换,蚕豆固定的 N 素可被玉米吸收,改善玉米菌根的 N 营养,故未分隔处理玉米菌根侵染率提高。

表 2 不同间作与接种对植株菌根侵染率的影响

Tab.2 Effect of different intercropping and inoculation on the colonization of plant

作物 Crops	接种 Inoculation	处理 Treatments	菌根侵染率/% Colonization			
			根系侵染频率 Colonization frequency in root system	根系菌根 侵染强度 Colonization intensity of root system	侵染根段的菌 根侵染强度 Colonization intensity of root fragment	根系丛枝丰度 Arbuscule abundance in root system
玉米	G.m	完全分隔	100.0a*	80.6b	80.6b	53.0a
		隔尼龙网	100.0a	92.6a	92.2a	59.2a
		未分隔	100.0a	92.5a	92.6a	58.1a
		平均	100.0a**	88.5a	88.5a	56.8a
	NM353+G.m	完全分隔	100.0a	85.7b	86.3b	37.7b
		隔尼龙网	100.0a	93.4a	93.4a	55.6a
		未分隔	100.0a	92.9a	92.9a	60.1a
		平均	100.0a	90.7a	90.9a	51.1b
蚕豆	G.m	完全分隔	83.3a	22.9b	21.5b	4.1a
		隔尼龙网	98.3a	39.4a	42.1a	3.1a
		未分隔	98.3a	37.9a	39.7a	3.1a
		平均	86.6b	30.1b	34.4a	3.4a
	NM353+G.m	完全分隔	88.0a	24.9b	25.0b	17.2a
		隔尼龙网	95.7a	41.4a	44.6a	18.2a
		未分隔	94.4a	39.9a	42.3a	19.6a
		平均	92.7a	35.4a	37.3a	18.3a

\* 为同一处理不同分隔方式间比较; \*\* 为同种作物不同接种方式间比较。

2.3 不同间作与接种对蚕豆根瘤数及根瘤重的影响

表 3 表明接种对蚕豆根瘤数影响显著,蚕豆根瘤数大小顺序依次为同时接种根瘤菌与 AM 真菌处理 >

表 3 不同间作与接种对蚕豆根瘤数及根瘤重的影响

Tab.3 Effect of different intercropping and inoculation on the number and weight of nodules of faba bean

项目 Items	接种 Inoculation	完全分隔 Solid barrier	尼龙网分隔 Mesh barrier	未分隔 No barrier	平均 Mean
根瘤数/个·盆 <sup>-1</sup>	CK	8.3a	9.0a	11.3a	9.7c
	NM353	41.0a	42.5a	53.0a	45.5b
	G.m	98.3b	135.8a	149.5a	127.8a
	NM353+G.m	140.3b	143.8a	166.5a	138.2a
	平均	80.0	83.0	95.1	
根瘤重/mg·盆 <sup>-1</sup>	CK	11.1a	9.9a	12.0a	11.0c
	NM353	137.5a	162.5a	166.8a	155.6b
	G.m	347.5b	475.0a	492.5a	438.3a
	NM353+G.m	362.5c	487.5b	652.5a	500.8a
	平均	214.7	283.8	331.0	

显著增加,但根瘤重较低,说明 P 营养尚不能满足蚕豆生长需要。

2.4 不同间作与接种对植株吸收有机磷的影响

接种 AM 真菌显著增加了玉米和蚕豆的吸 P 量,但对玉米的促进作用大于蚕豆,接种 NM353、G.m. 和同时接种根瘤菌与 AM 真菌处理玉米吸 P 量分别为对照未接种处理的 1.17、2.38 和 2.71 倍,蚕豆吸 P 量分别为对照未接种处理的 1.19、1.82 和 2.01 倍(见表 4),表明接种 AM 真菌对玉米吸收有机磷的促进作用大于蚕豆。接种根瘤菌可改善蚕豆的 N 营养,提高其菌根侵染率,间接促进蚕豆对有机磷的吸收,同时可能由于蚕豆固 N 可改善玉米 N 素营养,进而增加玉米吸收有机磷量。与玉米相比蚕豆吸 P 量高于玉米,说明蚕豆对有机磷的利用率高于玉米,菌根对玉米吸收

表 4 不同间作与接种对植株吸 P 量的影响

Tab.4 Effect of different intercropping and inoculation on the P uptake by plant

作物 Crops	接种 Inoculation	完全分隔 Solid barrier	隔尼龙网 Mesh barrier	未分隔 No barrier	平均 Mean
玉米	CK	4.94b	5.17b	6.12a	5.41d
	NM353	5.09c	6.50b	7.45a	6.35c
	G.m	11.36b	13.42a	13.86a	12.88b
	NM353+G.m	12.19b	14.37b	17.48a	14.68a
蚕豆	CK	10.19a	8.77b	9.94ab	9.59d
	NM353	11.24a	10.94a	12.08a	11.42c
	G.m	16.70a	17.26a	18.49a	17.48b
	NM353+G.m	17.98a	19.02a	20.87a	19.24a

有机磷的贡献率高于蚕豆。不同分隔方式对玉米吸 P 量有显著影响,接种 AM 真菌和同时接种根瘤菌与 AM 真菌条件下蚕豆、玉米吸 P 量均以未分隔处理最高,未分隔和尼龙网分隔处理玉米吸 P 量显著高于完全分隔处理,未接种条件下与蚕豆间作未分隔处理玉米吸 P 量显著高于完全分隔处理,说明蚕豆促进了玉米对有机磷的吸收。不同分隔方式对蚕豆吸 P 量无显著影响。

### 3 小 结

蚕豆利用有机磷能力高于玉米,接种根瘤菌可促进蚕豆生长。接种 AM 真菌对玉米和蚕豆吸收有机磷均有促进作用,但对玉米的促进作用高于蚕豆。同时接种 AM 真菌和根瘤菌对蚕豆生长有协同促进作用,蚕豆根瘤数和根瘤重增加,且提高蚕豆的菌根侵染率,显著增加蚕豆吸收有机磷量,蚕豆固 N 量提高,同时改善与其间作玉米的 N 营养,促进玉米生长。故开展菌根真菌和固氮微生物双接种的研究<sup>[4~7]</sup>对改善作物生长具有重要意义,但 2 个不同菌种之间相互关系以及与宿主植物之间共生关系极其复杂,如何调控 3 者间的关系以利于作物生长尚待进一步深入研究。

### 参 考 文 献

- 1 宋勇春,李晓林,冯 固. AM 菌根真菌对三叶草利用不同磷源的影响. 草业学报, 2000 (2): 10~14
- 2 刁治民. 青海蚕豆根瘤菌共生固氮效应的研究. 微生物学杂志, 2000, 20(3): 20~22
- 3 钟增涛,沈其荣,冉 炜等. 旱作水稻与花生混作体系中接种根瘤菌对植株生长的促进作用. 中国农业科学, 2002, 35(3): 303~308
- 4 石兆勇,刘润进,李瑞卿. 栽培基质与 AM 真菌对园艺作物的影响. 中国生态农业学报, 2002, 10(2): 50~52
- 5 刘润进,李 敏,石兆勇. AM 真菌对花生与甘薯产量的影响. 中国生态农业学报, 2003, 11(1): 36~37
- 6 冯 固,张福锁. 丛枝菌根真菌对棉花耐盐性的影响研究. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 21~24
- 7 徐兴良,关秀清,刘公社. 联合固氮菌与根瘤菌协同作用对小麦幼苗的影响. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 66~68
- 8 Ae N., Arihara J., Okada K. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. *Science*, 1990, 248: 477~480
- 9 El Dessougi H., Zu Dreele A., Claassen N. Growth and phosphorus uptake of maize cultivated alone, in mixed culture with other crops or after incorporation of their residues. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2003, 166: 254~261
- 10 Li L., Zhang F. S., Li X. L., *et al.* Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 2003, 68: 61~71
- 11 Dalal R. C. Organic phosphorus. *Advances in Agronomy*, 1978, 29: 83~117
- 12 Xie Z. P., Staehelin C., Vierheilig H., *et al.* Rhizobial nodulation factors stimulate mycorrhizal colonization of nodulating and nonnodulating soybean. *Plant Physiology*, 1995, 108: 1519~1525
- 13 Hamel C., Furlan V., Smith D. L. N<sub>2</sub>-fixation and transfer in a field grown mycorrhizal corn and soybean intercrop. *Plant and Soil*, 1991, 133: 177~185
- 14 Stern W. R. Nitrogen fixation and transfer in intercrop systems. *Field Crops Research*, 1993, 34: 335~356