

VA 菌根对绿豆 (*Phaseolus aureus*) 生长及水分利用的影响*

汪洪钢 吴观以 李慧荃

(中国农业科学院土壤肥料研究所)

摘 要

以绿豆作为实验植物,通过含水量不同的三个等级进行砂培,研究了 VA 菌根对寄主植物的生长和水分利用的影响。实验结果表明,接种 VA 菌根不仅有利于植物对磷的吸收,促进植物的生长,而且显著提高了水分的利用效率。接种菌根的绿豆制造 1 克干物质所需的水分大约是未接种的对照植株所需水分的一半,大大提高了水分的利用率。

VA 菌根促进植物的磷素营养已被大量实验所证实^[1,2,5]。近年来,随着农业用水问题愈来愈突出,VA 菌根同植物水分关系的研究也受到了人们的重视^[3,7,10]。我们以绿豆作为实验植物,采用砂培,研究了 VA 菌根对寄主植物的生长和水分利用的影响。现将研究结果报道如下。

一、材料和方法

(一) 材料

实验所用绿豆“D.245-1”是一个早熟品种,在北京地区生育期 65 天,系中国农业科学院品种资源研究所赠送。接种的根瘤菌为 *Rhizobium* sp. No. 76。接种的 VA 菌根真菌是 *Glomus epigaeum*。

(二) 方法

1. 实验处理全部实验共分六项处理:(1) 砂培含水量 5%,接种根瘤菌(R);(2) 砂培含水量 5%,接种根瘤菌和菌根真菌(R+G);(3) 砂培含水量 10%,接种根瘤菌(R);(4) 砂培含水量 10%,接种根瘤菌和菌根真菌(R+G);(5) 砂培含水量 15%,接种根瘤菌(R);(6) 砂培含水量 15%,接种根瘤菌和菌根真菌(R+G)。

为了观察植株的结瘤状况和测定整个生育期的各项指标,实验植物绿豆分二次收获,第一次是在播种后 30 天(7 月 27 日播种 8 月 27 日收获),第二次是在播种后 49 天(7 月 27 日播种 9 月 14 日收获)。每项处理 15 盆,每次收获 6 盆,其余 3 盆定期测定植株鲜重,用以校正砂培含水量。

2. 盆栽与接种 为了防止水分渗漏,采用较厚的透明塑料制成底部为正方形(边长 10 厘米),高 20 厘米的塑料袋代替瓦盆,实验中塑料袋的四周包有多层厚纸不让光线直射根部。实验所用河砂经高压灭菌(1.1 公斤/厘米²)1 小时,每袋装砂 4.5 公斤,播种前往砂中加进摩洛哥磷矿粉 4 克,作为植物生长的磷源。氮源主要来自根瘤菌固氮。

* 本文承蒙北京农业大学姜成后教授指教,特致谢意。

种子在播种前进行表面消毒,用75%酒精浸泡2分钟,而后除去酒精,再用0.1% HgCl₂浸泡5分钟,种子取出后用无菌蒸馏水清洗5次,并在室温条件下用无菌水浸泡12小时使其充分吸足水分后,放在滤纸上催芽。

播种时进行根瘤菌与菌根真菌的接种。挑选发芽一致的绿豆种子,在播种前用根瘤菌的悬浮液浸半小时,播种后再在种子四周滴1毫升的根瘤菌悬液。VA菌根真菌的接种是从侵染有 *Glomus epigaeum* 的盆栽三叶草的根际取含有真菌孢子、菌丝和部分根段的菌土作接种物,在塑料袋的中央放进菌土20克和四周砂子混合,形成一个菌土垫,不接种菌根的处理加进20克经高压灭菌的菌土和浸泡菌土的过滤液,把绿豆种子播在菌土垫的上面,每袋播种5粒,间苗时留菌3株。

3. 灌水与管理 播种后每袋加Knop营养液100毫升,自来水400毫升,实验开始的时候各处理间含水量相同,随后,由于水分不断蒸发(出苗后加上叶面的蒸腾),砂中含水量逐渐减少,10天内经过三次加水调整,使砂中含水量分别达到15%、10%和5%三个等级,此后,每隔一天称重一次,补充失去的水分,并一直维持这三个不同含水量。实验进行中定期测量植株鲜重,用以校正补充的失水量。

实验是在网室里进行的,完全靠自然光照射,盆栽植物随机排列在平板车上,夜里和雨天均推进棚内,不让受雨水影响。

4. 测定实验植株的方法 (1) 叶面积测定 绿豆的叶子是由三个小叶片组成的复叶,中央小叶和两侧小叶形状不同,计算两种不同叶片的面积是按叶片的长乘宽再分别乘以二个不同的系数:0.64和0.71。(2) 菌根侵染率的测定 按照Phillips和Hayman的方法^[3],对随机取样的新鲜根段经KOH 10%处理后,用酸性品红染色,而后利用方格交叉法^[4],测出被测试的根全长和受侵染的根长度,计算菌根侵染的百分率。(3) 菌根中的含磷量和含氮量 委托中国农业科学院中心化验室分别用钼兰法和凯氏定氮法测定。

二、实验结果

(一) 植株的生长与发育

1. 菌根对寄主植物生长的影响 接种有根瘤菌和菌根真菌(R+G)的绿豆植株,两次收获,无论株高、叶面积(表1)和茎叶干重(表2)都明显大于单一接种根瘤菌(R)的植株。但在砂培含水量为5%的第一次收获时,二种处理之间差异不明显(表2),可能由于湿度小,菌丝未能得到发展有关。

菌根对于根系干重的影响不象对茎叶干重的影响那样显著,因此茎叶干重与根干重的比值总是菌根植株大于非菌根植株(表2),说明菌根提高了根系的吸收能力。双接种的植株豆荚干重也明显大于单一接种根瘤菌的植株(表3)。

2. 菌根促进了结瘤 在5%、10%和15%三种含水量的砂培中,接种菌根的绿豆鲜瘤重量分别是未接种菌根植株的5.4倍、25倍和26倍(表3)。与寄主植物的生长相比较,菌根对于根瘤菌的影响更大。Smith(1977)在苜蓿的实验中也得到了类似结果,她认为菌根真菌对于根瘤菌和寄主植物的作用有一个先后的次序,先影响根瘤菌而后才影响寄主。

3. 菌根对植物体内氮、磷含量的影响 双接种的植株无论含氮浓度或总氮量都普遍高于单一接种根瘤菌的植株。分析两次收获的结果使我们看到第二次收获的植株虽然增加了茎叶的干重,但总氮量与第一次收获的植株相比较并无多大变化(表4),说明菌根

表 1 接种根瘤菌 (R) 和接种根瘤菌与菌根真菌 (R + G) 对
在不同含水量砂培下生长的绿豆株高、叶面积影响

Table 1 Effects of *Rhizobium* (R) and *Rhizobium* plus *Glomus* (R + G) on height and leaf area of mungbean plants grown in sand containing different levels of water

	砂培含水量 Water levels in sand			
	5%	10%	15%	L.S.D.
第一次收获	株 高 (cm)			
R	18.65 a	19.65 bc	20.52 e	0.76
R + G	19.22 ac	21.42 d	22.85 f	
第二次收获				
R	19.72 ac	19.06 c	20.56 ab	1.52
R + G	21.00 bc	22.12 e	24.82 d	
第一次收获	总叶面积(厘米 ² /盆)			
第二次收获				
R	67.58 a	69.47 a	96.47 d	26.01
R + G	135.56 b	247.61 c	374.43 c	

数字后面标有不同字母表示差异显著 ($P = 0.05$)。

表 2 接种根瘤菌 (R) 和接种根瘤菌与菌根真菌 (R + G) 对不同含水量砂培下
绿豆的茎叶干重、根干重和茎叶干重与根干重比值的影响

Table 2 Effects of *Rhizobium* (R) and *Rhizobium* plus *Glomus* (R + G) on dry weight of shoots and roots and the ratio of shoot/roots of mungbean grown in sand containing different levels of water

	砂培含水量 Water levels in sand			L.S.D.
	5%	10%	15%	
第一次收获	茎叶干重(克/盆)			0.13
R	0.77 a	0.94 b	0.97 b	
R + G	0.79 a	1.27 c	1.52 c	
第二次收获				0.27
R	0.82 a	0.90 a	1.26 b	
R + G	1.37 b	2.18 c	3.00 d	
第一次收获	根干重(克/盆)			0.08
R	0.42 a	0.38 c	0.33 a	
R + G	0.37 a	0.39 a	0.37 a	
第二次收获				0.08
R	0.36 a	0.37 a	0.37 a	
R + G	0.54 b	0.74 c	0.77 c	
第一次收获	茎叶干重/根干重			
R	1.38	2.47	2.94	
R + G	2.13	3.26	4.10	
第二次收获				
R	2.28	2.47	3.71	
R + G	2.54	2.95	3.90	

数字的后面标有不同字母表示差异显著 ($P = 0.05$)。

表3 接种根瘤菌 (R) 和接种根瘤菌与菌根真菌 (R + G) 对不同含水量砂培下
绿豆的豆荚干重、鲜瘤的重量及菌根侵染率的影响

Table 3 Effect of *Rhizobium* (R) and *Rhizobium* plus *Glomus* (R + G) on dry weight of pods, fresh weight of nodules and mycorrhizal infection of roots of mungbean grown in sand containing different levels of water

		砂培含水量 Water levels in sand			L.S.D.
		5%	10%	15%	
第二次收获	R	0.08 a	0.02 a	0.13 a	0.23
	R + G	0.55 b	1.66 c	2.07 d	
鲜瘤的重量*(克)					
第一次收获	R	0.18	0.09	0.12	
	R + G	0.97	2.25	3.13	
菌根侵染(%)					
第二次收获	R	0	0	0	
	R + G	32.12	43.10	76.02	

数字后面标有不同字母表示差异显著 ($P = 0.05$); * 六盆植株根瘤的总鲜重。

表4 接种根瘤菌 (R) 和接种根瘤菌与菌根真菌 (R + G) 对不同含水量的砂培
下绿豆地上部 N、P 含量影响

Table 4 Effects of *Rhizobium* (R) and *Rhizobium* plus *Glomus* (R + G) on N and P content of above-ground part of mungbean grown in sand containing different levels of water

		砂培含水量 Water levels in sand					
		5%	10%	15%			
地上部的含N量*							
第一次收获	R	2.00	15.40	2.03	19.10	1.92	18.53
	R + G	2.91	23.00	3.12	39.27	3.30	50.16
第二次收获	R	1.58	13.08	1.86	16.70	1.16	14.65
	R + G	1.67	22.95	1.68	36.69	1.63	48.97
地上部的含P量							
第一次收获	R	0.035	0.27	0.03	0.28	0.044	0.43
	R + G	0.086	0.68	0.138	1.75	0.11	1.67
第二次收获	R	0.05	0.41	0.098	0.88	0.053	0.67
	R + G	0.103	1.41	0.078	1.70	0.055	1.65

* 包括豆荚的含磷量。

促进根瘤菌固氮主要是在绿豆生长的前期。

菌根促进绿豆磷素的吸收, 接种菌根的绿豆地上部无论磷的浓度或总含磷量都显著高于没有接种的植株(表4)。而且根部含磷的浓度总是大于地上部的浓度(表5)。尤其是生长后期更为明显。接种菌根和没有接种菌根的两组植株根部的全磷, 无论砂培中含水

表 5 接种根瘤菌 (R) 和接种根瘤菌与菌根真菌 (R + G) 对
不同含水量的砂培下绿豆根部含磷量的影响

Table 5 Effects of *Rhizolium* (R) and *Rhizolium* plus *Glomus* (R + G) on P content in
root of mungbean grown in sand containing different levels of water

			砂培含水量 Water levels in sand							
			.5%		10%		15%			
			根中的含 P 量							
			全 P 量(毫克/盆)		(%)		全 P 量(毫克/盆)		(%)	
第一次收获	R	0.056	0.24	0.063	0.24	0.091	0.30			
	R + G	0.093	0.36	0.138	0.54	0.133	0.49			
第二次收获	R	0.128	0.46	0.155	0.57	0.148	0.55			
	R + G	0.125	0.68	0.113	0.84	0.078	0.60			

量是任何一个等级,双接种的植株总是高于单一接种根瘤菌的植株,而且第二次收获的植株根部所含的全磷又高于第一次收获的。说明菌根对绿豆植株磷素的吸收是持续的。

(二) 生育期中耗水量的变化

为了能较好地比较接种菌根和没有接种菌根的绿豆植株在整个生育期中耗水量的变化,把 6 天内三次灌水的总量作一个点,画出全生育期中耗水量的曲线(图 1),从曲线的变化中可以看出:单一接种根瘤菌 (R) 和既接种根瘤菌又接种菌根真菌 (R + G) 的两组植株在含水量为 10% 和 15% 的砂培中耗水量出现差异是从播种后 15 天开始的,而在含水量为 5% 的砂培中,两组植株间耗水量出现差异是在播种后 1 个月,可能主要是受湿度的限制,影响了菌根的活动,菌根侵染率的测定结果(表 3)似乎也能说明这一点。图 1 中看到的三个含水量不同的砂培,接种菌根和没有接种菌根的绿豆植株在播种后的第 31 天(即 8 月 26 日)耗水曲线出现一最低峰,是由于 8 月 22 日至 24 日连续阴雨,空气中湿度大,降低了植物的蒸腾和土表的蒸发,从而大大地减小了需要的灌水量。9 月 1 日前后是绿豆开花的季节,这一时期应该是绿豆一生中耗水量最大的时期,假如没有前述的连续阴雨,可能出现的耗水量顶峰比图中看到的还要更高。随着开花、结实直至收获,耗水量开始逐渐下降,但在有菌根和没有菌根的两组植株之间仍然保持着差异。

(三) 接种菌根和没有接种菌根的制造一克干物质用水量的比较

图 2 是在含水量不同的砂培下,第一次收获的接种菌根和没有接种菌根的两组植物制造一克干物质用水量的比较。砂中含水量 5%,由于菌根真菌的活动受到限制,两组植物间用水量的差异不大。砂中含水量 10%,接种菌根的绿豆植株制造一克干物质节约用水 9.8%。砂中含水量 15% 接种菌根的绿豆植株制造一克干物质节约用水 18.28%。

随着绿豆的生长和发育,菌根对寄主植物提高水分利用率的作用愈来愈大,图 3 为播种后第 49 天第二次收获得到的实验结果。砂中含水量 5%,有菌根的绿豆植株制造一克干物质用水 673 克,没有菌根的植株用水 1282 克,菌根使植物节约用水 48%;砂中含水量 10%,接种菌根的绿豆制造一克干物质用水 642 克,没有菌根的植株用水 1548 克,菌根使植物节约用水 59%;砂中含水量 15%,接种菌根的绿豆制造一克干物质用水 609 克,没有菌根的植株用水 1318 克,菌根使植物节约用水 54%。综观上述的实验结果,得出一个

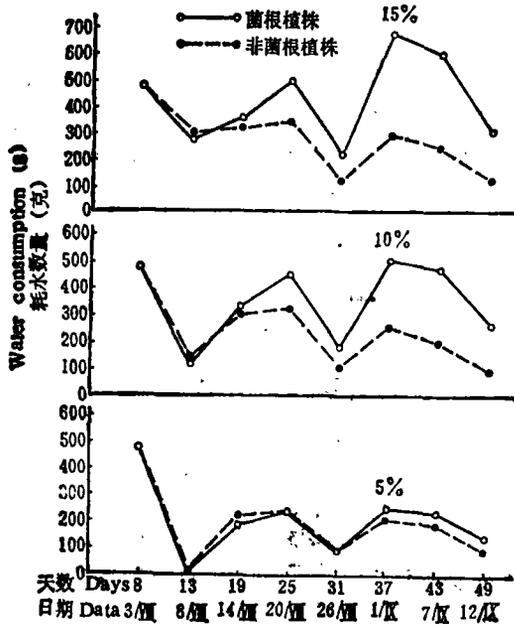


图1 在含水量不同的砂培中接种菌根的绿豆植株和没有接种菌根的对照植株生育期中消耗的水分

Fig. 1. Water consumption of mungbean plants with and without vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation under sand culture by different moisture contents

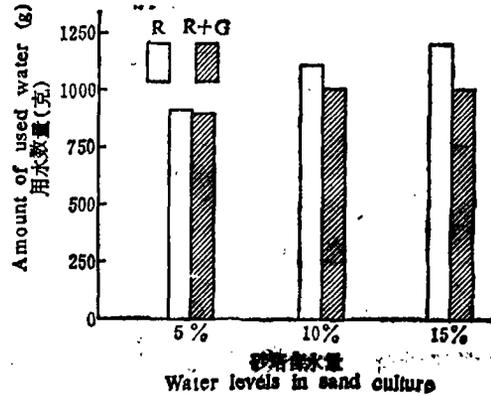


图2 含水量不同的砂培接种菌根和非菌根的绿豆植株制造一克干物质需要的用水量(第一次收获)

Fig. 2. The amount of water required by mycorrhizal and non-mycorrhizal mungbean plants to produce 1 g of dry matter at different levels of water in sand culture (1st harvest)

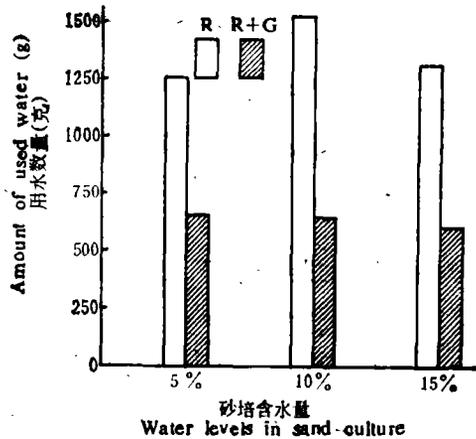


图3 含水量不同的砂培接种菌根和未接种菌根的绿豆植株制造一克干物质需要的用水量(第2次收获)

Fig. 3. The amount of water required by mycorrhizal and non-mycorrhizal mungbean plants to produce 1 g of dry matter at different levels of water in sand culture (2nd harvest)

令人惊叹的结论: 尽管砂中含水量多少不同,但从全生育期计算,由于接种 VA 菌根使寄主植物对水分的利用率大约提高了一倍,这无疑对农业生产将产生巨大的经济效益。

三、讨 论

1. 豆科植物与禾本科植物相比,需要更多的磷^[6],VA 菌根的主要作用是通过大量菌丝越过根毛吸收的范围,从更大的土体中直接吸收那些在土壤中移动速度缓慢的磷酸盐离子,并通过菌丝自身的输导渠道转交给寄主。豆科植物接种菌根比禾本科植物接种菌根意义更大,它不仅是提高寄主本身的含磷量并且促进了根瘤菌的固氮^[2,11]。

2. 本实验是以磷矿粉作为植物需要磷的来源,从实验的结果看,难以直接被植物吸收的磷矿粉,在人工接种 VA 菌根的情况下得到了较好的利用,这一点也是有实际意义的。

3. 菌根真菌的孢子在土壤中萌发,菌丝在土壤中生长及对根的侵染都需要有一个合适的湿度,在土培的情况下,以稍低于田间持水量为好^[9]。从砂培所采用的三个湿度看菌根的侵染率,磷的吸收数量以及对寄主植物生长的影响,都是按含水量 5% < 10% < 15% 而递减。

4. 菌根对于植物的生长和提高水分利用效率的影响有一个时间过程,随着根外菌丝的增多,侵染率的扩大,愈到植物生长的后期这种影响愈加明显。看来用作菌根实验的植物生育期不宜太短,过早收获不如后期收获的作用明显。

5. 菌根提高水分的利用效率的原因可能是一个复杂的问题,最早研究 VA 菌根同水分关系的 Safir (1972) 提出菌根能降低大豆根系水分运输的阻力 40%,而且把这种阻力的降低归之于植物营养改善的结果。Levy (1983) 看到接种有菌根的柑桔幼苗比没有接种的对照幼苗提高了日平均蒸腾率,认为正是由于蒸腾率的提高使接种有菌根的柑桔幼苗比对照幼苗更有效地吸收了水分。Allen (1981) 用格兰马草所做的实验发现菌根不仅提高了叶片中磷的含量,而且使叶绿素含量增加 28%,此外还提出,可能是由于菌根产生的激素影响气孔的启闭,减少了吸收 CO₂ 的阻力,从而在饱和的光照条件下,光合作用的速率随着 VA 菌根的侵染而得到提高。对这一问题还需做深入的研究。

参 考 文 献

- [1] 汪洪钢,吴观以,李慧荃,1983: VA 菌根对绿豆 (*Phaseolus aureus*) 吸磷和固氮的影响。土壤学报,第 20 卷 2 期,205—208 页。
- [2] 汪洪钢,吴观以,李慧荃,1985: VA 菌根与根瘤菌的相互关系及对花生生长的影响。微生物学通报,第 12 卷 2 期,49—51 页。
- [3] Allen, M. F. Smith, W. K., Moore, T. S. and Christensen, M., 1981: Comparative water relations and Photosynthesis of mycorrhizal and nonmycorrhizal *Bouteloua gracilis* H. B. K. Lag ex Steud. *New Phytologist*. 683—693.
- [4] Giovannetti, M. and Mosse, B., 1980: An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*. 84, 489—500.
- [5] Hayman, D. S. and Mosse, B., 1972: Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza III. Increased uptake of labile phosphorus from soil. *New Phytologist*. 71, 40—47.
- [6] Hewitt, E. J., 1958: Some aspects of mineral nutrition in legumes, In *Nutrition of the legumes*. Edited by E. G. Hallsworth. Butterworths, London.
- [7] Levy, Y. and Syvertsen, J. P., 1983: Effect of drought stress and vesicular-arbuscular mycorrhiza on citrus transpiration and hydraulic conductivity of roots. *New Phytologist*. 93, 61—66.
- [8] Phyllips, J. M. and Hayman, D. S., 1970: Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British My-*

- ecological Society, 55, 158—161.
- [9] Reid, C. P. P. and Bowen, G. D., 1979: Effects of soil moisture on VA mycorrhizal formation and roots development in Medicago. in: *The Soil-Root Interface*(J. L. Harley and R. Scott Russell, eds.), London.
- [10] Safir, G. R., Boyer, J. S. and Gerdemann, J. W., 1972: Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Plant Physiology*, 49, 700—703.
- [11] Smith, S. E. and Daft, M. J., 1977: Interaction between growth phosphate content and nitrogen fixation in mycorrhizal and nonmycorrhizal *Medicago sativa*. *Australian Journal of Plant Physiology*, 4, 403—413.

EFFECTS OF VESICULAR-ARBUSCULAR MYCORRHIZA ON THE GROWTH OF *PHASEOLUS AUREUS* AND ITS WATER USE

Wang Honggang, Wu Guanyi and Li Huiquan

(*Institute of Soil and Fertilizer, Chinese Academy of Agricultural Sciences*)

Summary

Mungbean as experimental plant was investigated by means of sand culture containing three levels of water to determine the influence of VA mycorrhiza on the host plant growth and its water use. The experimental results showed that inoculating with VA mycorrhiza was beneficial not only to uptake of phosphorus by plant, but also to promoting plant growth. The amount of water used by mungbean inoculated with mycorrhiza to produce one gram of dry matter was as low as half of that by controlled plant. It was implied that the efficiency of water used by the host plant inoculated with mycorrhiza was increased by 100%.

In this paper, the growth and development of mycorrhizal and non-mycorrhizal plants in three different water levels of sand culture were described. The water consumed by plant growth in the whole growing period was measured and the experimental results were analysed and discussed.

更 正

本刊第2期第108页表1中速效磷(P_2O_5 ,%)应改为速效磷(P_2O_5 , mg/100g)。