

AM 菌和施肥对仙人掌植物苗期生长效应的研究

陈羽, 仲崇禄, 周光益, 张勇, 陈珍

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520)

关键词: 仙人掌; AM 菌; 施肥; 生长效应

中图分类号: S723.1 文献标识码: A

Effectiveness of AM Fungi and Fertilization on Seedling Growth of *Carnegiea gigantea*

CHEN Yu, ZHONG Chong-lu, ZHOU Guang-yi, ZHANG Yong, CHEN Zhen

(Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520 Guangdong China)

Abstract In the greenhouse experiment, the growth effect on *Carnegiea gigantea* seedlings which was applied with AM fungi and fertilizers was studied by Split plot design experiment. The results showed that the percentage of mycorrhizal infection of 3 AMF isolates in *Carnegiea gigantea* were high, but the Mycorrhizal dependency (MD) of *Carnegiea gigantea* belonged to medium or weak. *Glomus caldonium* 90036 treatment showed the best mycorrhizal effectiveness. When being fertilized with N, P or K without inoculating with AMF, N application could markedly improve the height growth of *Carnegiea gigantea* seedlings, but K and P didn't indicated the same effects. However, the seedlings inoculated with AMF couldn't present growth improvement when fertilized with N, and the interactions between K or P application and AMF inoculation was negative. According to the experiment, the result that *Carnegiea gigantea* inoculated with AMF could cut down N fertilizer application was convinced.

Key words *Carnegiea gigantea*; arbuscular mycorrhizal fungi; fertilizer application; growth effect

仙人掌类植物属仙人掌科 (Cactaceae), 约有 150 属, 近 2 000 种。该科植物原产于热带和亚热带地区, 美洲、墨西哥为其分布中心, 种类最多, 约有 1 000 多种。在我国, 除西南和华南沿海地区有少数仙人掌植物外, 其它多为引种栽培^[1]。我国引种栽培 60 余属, 600 种以上^[2]。仙人掌类植物可供观赏, 可用作围篱、民间草药、天然保健食品和饲料等; 仙人掌被称为“人体天然净化剂”, 在墨西哥, 食用仙人掌是人们最初的生存方式之一, 而餐桌仙人掌的图案被镶嵌在国徽上^[1]。国外对仙人掌科植物的研究比较系统且深入^[3-8], 而我国对仙人掌植物的

研究, 主要集中在栽培技术、药理性及内生真菌方面, 施用大量元素的比较试验未见报道, 在仙人掌植物上接种菌根真菌更是国内空白^[9-14]。

菌根是土壤中的菌根真菌菌丝与高等植物营养根系形成的一种共生联合体, 地球上 97% 的植物都能形成菌根, 而 AM 菌根真菌 (arbuscular mycorrhizal fungi 简称 AM 菌) 是分布最广、与农业生产关系最为密切的一种菌根^[15], 在热带及亚热带植物中分布十分广泛^[16]。植物与菌根菌共生可以促进植物生长, 提高植物的抗逆性, 改善植物营养, 提高作物品质和产量。仙人掌科植物主要生长在土壤贫瘠之

收稿日期: 2006-02-23

基金项目: 国家林业局 948 项目“热带多用途沙生植物(仙人掌)的引进”(2000-4-17)、科技部农业成果转化资金项目“菌根菌在植被恢复和森林可持续经营中应用”(03EFN216700305)、中国林科院重点产业引导专项补助项目(2004)、国家科技基础“自然科技资源共享平台”(2004DKA30620)

作者简介: 陈羽(1965-), 女, 海南文昌人, 助研, 主要从事林木菌根和林木种质资源与遗传多样性研究。

处, AM 菌可以帮助它吸收土壤中的养分。已有研究表明, 仙人掌能和 AM 菌形成菌根联合。Emmanuela R 等^[3]利用 AM 菌接种墨西哥的摩天柱 (*Pachycereus pecten-aboriginum* (Engelm.) Br & R), 结果显示, 接种 AM 菌比不接种的干物质生长量增加 147.33%; Estrada-luna A A 等^[4]利用混合 AM 菌接种仙人掌 (*Opuntia albicarpa* Schénvar 'Reyna'), 结果表明, AM 菌可以提高仙人掌离体繁殖的效率, 节省 P 素的施用量。本文主要研究 AM 菌与施肥对仙人掌植物——巨仙人柱 (*Carnegiea gigantea* (Engelm.) Br & R.) 苗期生长的影响及 AM 菌与施肥间的互作效应。通过接种, AM 菌与仙人掌科植物建立优良的共生组合体, 促进仙人掌科植物的生长, 减少肥料的施用量, 这将有助于仙人掌科植物的引种栽培研究。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试 AM 菌菌种 3 个 AM 菌分别是地衣球囊霉 (*Glomus versiforme* (Karsten) Berch) 9004 菌株、苏格兰球囊霉 (*Glomus caldonium* (Nicol & Gerd) Trappe & Gerd) 90036 菌株和 90068 菌株。菌种的来源及扩繁见参考文献 [16]。

1.1.2 参试植物 仙人掌植物——巨仙人柱, 由中国林科院热带林业研究所 948 项目仙人掌课题组从墨西哥引进种子繁殖。

1.1.3 参试肥料 试验所用肥料及用量见表 1。

表 1 试验所用肥料及用量

施肥处理	化学成份	溶液浓度 / ($g \cdot L^{-1}$)	施用量 / ($mL \cdot 株^{-1}$)
P	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$	40.0	0.36
N	NH_4NO_3	*	0.36
K	K_2SO_4	56.0	0.36
不施肥 (水)	H_2O	0.0	0.36
共施必需养分	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	40.0	0.36
	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	32.0	0.36
	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	5.0	0.15
	$ZnCl_2$	10.0	0.15
	$MnSO_4 \cdot H_2O$	15.0	0.15
	H_3BO_3	0.7	0.15
	$CoCl_2$	0.5	0.15
	$Na_2S_2O_3$	0.4	0.15
	FeN_3EDTA	20.0	0.15

注: P、N、K 的有效含量均 $\geq 99.00\%$; * 为防止 1 次施 N 肥过多烧苗, N 肥分 2 次施用, 第 1 次施用溶液浓度为 $11.2 g \cdot L^{-1}$, 第 2 次施用溶液浓度为 $28 g \cdot L^{-1}$ 。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验按裂区设计, 主区 AM 菌接种处理, 设 4 个水平, 即分别接种 9004、90036、90068 菌株和不接种 (CK); 副区施肥处理, 设 4 个方案, 即施 P、N、K 肥和不施肥 (对照); 主、副区各处理重复 3 次, 每重复 10 株巨仙人柱幼苗。

1.2.2 菌种接种及苗木培育 采用在 AM 菌基质上直接播种巨仙人柱种子的方法。挑选均匀一致的种子, 分成相等质量的 4 份 (每份 150 粒种子), 按常规灭菌 (1% 的升汞进行表面消毒, 最后用无菌水冲洗 4 次) 后, 分别播种在分别含有 90036、9004、90068 菌剂和无菌基质的 4 个 $\Phi 15$ cm 的培养皿中, 每个培养皿中有等质 (200 g) 的混合基质 (蛭石: 泥炭: 河沙 = 1: 1.5: 2)。播种后按常规管理, 待芽苗长出后备用。

1.2.3 苗木移植 巨仙人柱种子播种 60 d 后, 从培养皿中挑选苗高约 1 cm 的幼苗, 移植至营养杯 (规格为 $\Phi 44$ mm \times 78 mm \times $\Phi 70$ mm 的一次性塑料杯) 中, 营养杯中的基质与播种基质相同, 基质质量约 145 g。试验在热林所温室进行, 苗木进行正常管理。

1.2.4 施肥方法 巨仙人柱幼苗移植至塑料杯生长 100 d 时, 进行施肥对比试验。为满足植物正常生长, 所有幼苗均施等量共施必需养分, 施用量见表 1; 然后进行 P、N、K 施肥和不施肥 (自来水为对照) 处理, 为防止 1 次施 N 肥过多烧苗, N 肥分 2 次施用 (第 1 次施用时间与 P 和 K 肥同时, 14 d 再施第 2 次), 施用量见表 1。

1.2.5 指标测定 播种 60 d 后观测发芽率, 幼苗移植至营养杯 100 d 后测定苗高, 并抽样测定 4 个接种处理的菌根感染率、感染指数和菌根依赖性^[17]。幼苗移植 100 d 时进行施肥处理, 施肥后每 30 d 测定 1 次苗高, 连续测定 2 次。施肥 120 d 后每隔 60 d 测 1 次苗高, 连续测 3 次。移植 480 d 后收获巨仙人柱苗, 测定其苗高、地径、根长、地上鲜质量、地下鲜质量、地上干质量、地下干质量、茎汁质量等生理指标。

茎汁质量 = 地上鲜质量 - 地上干质量

菌根依赖性 = 菌根接种植株平均干质量 / 未接种植株平均干质量 $\times 100$

1.2.6 数据处理 采用 Excel 进行数据输入, SAS 数据处理软件进行统计和方差分析, 采用 Duncan 法进行多重比较^[18]。

2 结果与分析

2.1 接种 AM 菌对巨仙人掌柱幼苗生长的影响

表 2 表明: 与不接种 (CK) 相比, 接种 3 个 AM 菌菌株对巨仙人掌柱幼苗的发芽率、苗高、地上部鲜质量和干物质质量均有明显的促生效应, 特别是 90036 菌株表现出了非常明显的促生优势, 发芽率比 CK 增加了 40%, 苗高比 CK 增加了 52.75%, 地

上部鲜质量比 CK 增加了 77.48%, 干物质质量比 CK 增加了 74.86%; 9004 菌株和 90068 菌株的发芽率比 CK 分别增加了 33.34% 和 26.67%, 苗高比 CK 分别增加了 37.36% 和 36.70%, 干物质质量比 CK 分别增加了 17.89% 和 18.05%, 9004 菌株的促生效果稍优于 90068 菌株。3 个菌株的菌根感染率均达到 100%, 菌根依赖性属较弱或中等依赖性^[4]。

表 2 移植 100 d 后 AM 菌对仙人掌幼苗的接种效应

菌株	发芽株数/株	发芽率/%	平均苗高		平均地径		地上鲜质量		平均干物质质量		菌根感染率/%	菌根依赖性
			cm	比 CK 增加/%	cm	比 CK 增加/%	cm	比 CK 增加/%	cm	比 CK 增加/%		
9004	130	86.67	12.50	37.36	1.05	1.94	1.356	22.16	1.496	17.89	100	117.89
90036	140	93.33	13.90	52.75	1.17	13.59	1.970	77.48	2.219	74.86	100	174.86
90068	120	80.00	12.44	36.70	1.19	15.53	1.313	18.29	1.498	18.05	100	118.05
不接种 (CK)	80	53.33	9.10		1.03		1.110		1.269		17	

2.2 巨仙人掌柱幼苗接种 AM 菌和施肥处理的裂区试验方差分析

由方差分析结果 (表 3) 可知: 接种 AM 菌对巨仙人掌柱幼苗的根长、地径有显著影响, 而对苗高、地下鲜质量和地上鲜质量有极显著影响; 施肥处理对

巨仙人掌柱幼苗的苗高、地径和地上鲜质量有极显著影响, 但对根长和地下鲜质量没有显著影响; 接种 AM 菌和施肥处理间在巨仙人掌柱幼苗的根长、苗高、地下鲜质量和地上鲜质量上有显著或极显著的交互作用, 但在地径上没有交互作用。

表 3 接种 AM 菌和施肥处理的 5 个生长指标的分方差分析结果

指标	变异来源	自由度	平方和	均方	F	Pr > F
根长	区组	2	41.124 0	10.281 0	0.66	0.624 0
	接种	3	175.580 0	58.528 0	3.75 [*]	0.016 9
	接种 × 区组	6	221.508 0	18.459 0	1.18	0.322 4
	施肥	3	21.483 0	7.161 0	0.48	0.712 0
	接种 × 施肥	9	503.790 0	55.977 0	3.59 [*]	0.001 8
苗高	区组	2	25.617 0	6.401 0	3.00 [*]	0.024 2
	接种	3	47.054 0	15.623 0	7.57 [*]	0.003 0
	接种 × 区组	6	32.969 0	2.747 0	1.33	0.236 0
	施肥	3	144.893 0	48.297 0	23.30 [*]	< 0.001 0
	接种 × 施肥	9	50.215 0	5.501 0	2.69 [*]	0.012 8
地径	区组	2	0.088 6	0.022 1	3.15 [*]	0.022 3
	接种	3	0.076 5	0.025 5	3.63 [*]	0.019 4
	接种 × 区组	6	0.122 7	0.010 2	1.45	0.075 2
	施肥	3	0.144 2	0.048 0	6.83 [*]	0.000 6
	接种 × 施肥	9	0.070 2	0.007 8	1.11	0.375 0
地下鲜质量	区组	2	2.351 0	0.588 0	2.92 [*]	0.030 5
	接种	3	6.740 0	2.247 0	11.17 [*]	< 0.001 0
	接种 × 区组	6	3.941 0	0.328 0	1.63	0.114 0
	施肥	3	1.026 0	0.342 0	1.70	0.179 6
	接种 × 施肥	9	7.626 0	0.847 0	4.12 [*]	0.000 5
地上鲜质量	区组	2	66.126 0	16.531 0	1.92	0.122 6
	接种	3	110.268 0	36.756 0	4.26 [*]	0.009 5
	接种 × 区组	6	273.744 0	22.812 0	2.65 [*]	0.008 4
	施肥	3	602.917 0	200.973 0	23.32 [*]	0.000 1
	接种 × 施肥	9	286.434 0	31.826 0	3.69 [*]	0.001 4

注: * 表示 0.05 水平显著差异, ** 表示 0.01 水平极显著差异。

2.3 接种不同 AM 菌的施肥处理对巨仙人掌柱幼苗的影响

由表 4 可看出: 在接种不同 AM 菌中, 施 N 肥的幼苗表现出最佳的生长优势, 特别在不接种 AM 菌处理中, 施 N 肥的平均苗高比不施肥的增加 36.26%; 而在接种 9004 菌株中, 施 N 肥的平均苗高比不施肥的增加了 5.6%; 在接种 90036 菌株处理中, 施 N 肥和不施肥的苗高生长效应几乎相同, 而施 P、K 肥的苗高生长比不施肥的低, 表现了负增长; 在接种 90068 菌株处理中, 施 P、N、K 肥的苗高生长与不施肥相比均呈负增长。以上说明, 在没有 AM 菌菌根效应下, 施 N 肥对巨仙人掌柱的幼苗生长有显著

影响, 而施 P、K 肥对巨仙人掌柱的苗高生长影响不显著, 这可能是栽培基质中的 P、K 元素含量已很丰富, 再施 P、K 元素对巨仙人掌柱的生长已不起作用; 而接种 AM 菌和施 P、K 肥对巨仙人掌柱的生长呈负的作用; 在 AM 菌菌根效应的影响下, 菌根的促生作用和增施 N 肥的作用相当, 即接种 AM 菌和施 N 肥间没有显著的交互作用, 因此, 接种有效的 AM 菌可以减少施 N 肥。以上分析表明: 不同 AM 菌对巨仙人掌柱生长影响的大小顺序为: 90036 菌株 > 9004 菌株 > 90068 菌株 > 不接种, 接种 90036 菌株 + 不施肥处理对巨仙人掌柱生长的促生效应最佳。

表 4 接种不同 AM 菌与施肥对巨仙人掌柱幼苗生长的交互作用

菌种处理	施肥处理	平均根长 / cm	平均苗高 / cm	平均地径 / cm	根干质量 / (g·株 ⁻¹)	茎鲜质量 / (g·株 ⁻¹)	茎汁质量 / (g·株 ⁻¹)
9004	P	18.90	12.18	0.97	0.216	13.588	12.30
	N	21.00	13.20	1.04	0.165	16.684	15.16
	K	11.90	11.00	1.02	0.154	11.187	9.98
	不施肥	15.00	12.50	1.05	0.140	14.196	12.84
90036	P	15.10	9.80	1.01	0.120	9.514	8.50
	N	16.40	13.48	1.11	0.317	18.621	16.99
	K	15.70	11.60	1.04	0.188	14.911	13.47
	不施肥	16.70	13.90	1.16	0.249	19.690	17.72
90068	P	15.80	10.50	1.04	0.142	10.251	9.13
	N	21.80	12.08	1.09	0.188	17.537	16.03
	K	21.00	9.61	0.99	0.149	9.342	8.34
	不施肥	18.80	12.44	1.19	0.185	17.938	16.63
不接种	P	18.50	9.96	0.97	0.237	10.550	9.24
	N	14.80	12.40	1.03	0.342	17.535	15.86
	K	22.00	10.10	1.03	0.240	11.027	9.84
	不施肥	21.40	9.10	1.02	0.159	10.397	9.29

注: 表中各数据为巨仙人掌柱幼苗移植 480 d 后的平均值。

2.4 不同施肥处理间接种 AM 菌对巨仙人掌柱幼苗的影响

从表 4 可以看出: 在施 P 肥处理中, 接种 9004 菌株表现出明显的促生效应, 苗高生长比接种 90036 菌株增加 24.29%; 在施 N 肥处理中, 接种 90036 菌株表现出明显的促生效应, 苗高生长比接种 90068 菌株的增加了 11.59%, 其次是 9004 菌株; 在施 K 肥处理中, 以 90036 菌株的优势较为明显, 苗高生长比接种 90068 菌株的增加 20.71%。接种不同 AM 菌 + 施肥对巨仙人掌柱幼苗生长影响大小顺序是: 不施肥 + 90036 菌株 > 施 N 肥 + 90036 菌株 > 施 N 肥 + 9004 菌株 > 不施肥 + 9004 菌株 > 不施肥 + 90068 菌株; 单施肥对巨仙人掌柱幼苗生长影响的大小顺序为: N > K > P > 不施肥。

3 小结

(1) 首次采用巨仙人掌种子直接播种在 3 个不同 AM 菌菌剂上的方法, 3 个 AM 菌菌株均明显地提高了巨仙人掌种子的发芽率, 充分说明 AM 菌可以促进巨仙人掌种子的发芽, 为该种植物提高种子发芽率提供依据。

(2) 90036 菌株对巨仙人掌的促生效应明显, 不仅显著提高了种子的发芽率, 而且对幼苗生长影响亦极为显著, 可以将该菌株在巨仙人掌上推广使用。

(3) 接种不同 AM 菌和施肥组合对巨仙人掌苗期影响的大小顺序是: 不施肥 + 90036 菌株 > 施 N 肥 + 90036 菌株 > 施 N 肥 + 9004 菌株 > 不施肥 + 9004 菌株 > 不施肥 + 90068, 说明在 AM 菌的影响

下,菌根的促生作用和增施 N 肥的作用相当,即接种有效的 AM 菌可以减少施 N 肥;同样也说明了接种 AM 菌和施 N 肥间没有显著的交互作用。

(4)施用 P、K 肥对巨仙人柱幼苗生长的影响不显著,说明在巨仙人柱苗期培育中,接种 AM 菌可以帮助苗木对土壤中 P 和 K 元素的吸收,与 Estradaluña A A 等^[4]的研究结果相近。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第五十二卷第一分册) [M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [2] 印万芳. 仙人掌类植物资源的综合开发利用研究 [J]. 资源节约和综合利用, 2000 (1): 47~49
- [3] Emmanuela R, Pilar H, Yolanda R. Influence of vesicular arbuscular mycorrhizae on biomass production by the cactus *Pachycereus pectin-aboriginum* [J]. Mycorrhiza, 1993, 3(2): 79~81
- [4] Estradaluña A A, Davies J F T. Mycorrhizal fungi enhance growth and nutrient uptake of prickly-pear cactus (*Opuntia albicaipa* Schénvař Reyna') plantlets after ex vitro transplantation [J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2001, 76: 739~745
- [5] IbarraGardena C N, Inguéz Davalos L i Sanchez Cordero V, et al. Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a chiropterophilous columnar cactus in tropical dry forest of Mexico [J]. American journal of botany, 2005, 92(3): 503~509
- [6] Francisco Molinarrener M F, Alberto R M, Theodore H F, et al. Pollination biology of the columnar cactus *Pachycereus pectin-aboriginum* in northwestern Mexico [J]. Journal of Arid Environments, 2004, 56(1): 117~127
- [7] Valiente-Banuet A, Molinarrener F Torres Del Coro Ariz and Casas et al. Geographic differentiation in the pollination system of the columnar cactus *Pachycereus pectin-aboriginum* [J]. American journal of botany, 2004, 91(6): 850~855
- [8] Rascher U, Bobich E G, Omond C B, et al. The "Klug-Lüttge-Karmer": A preliminary evaluation of an enclosed Crassulacean acid metabolism (CAM) mesocosm that allows separation of synchronized and desynchronized contributions of plants to whole system gas exchange [J]. Plant biology, 1996, 8(1): 167~174
- [9] 高敏, 向青云, 刘佳, 等. 贵州野生仙人掌主要营养成分及致突变性研究 [J]. 微量元素与健康研究, 2007, 24(2): 7~8
- [10] 秦盛, 陈有为, 邢珂, 等. 一株仙人掌植物内生真菌的分离鉴定及活性研究 [J]. 微生物学通报, 2006, 33(4): 95~99
- [11] 刘晓燕, 向青云, 蔡永强, 等. 米塔邦食用仙人掌试验快速繁殖试验 [J]. 贵州农业科学, 2004, 32(6): 58~60
- [12] 张宏, 余键, 张治. 仙人掌药理研究进展 [J]. 时珍国医国药, 2000, 11(2): 182
- [13] 杨军衡. 仙人掌属植物的研究进展 [J]. 中国野生植物资源, 2003, 19(6): 15~17
- [14] 孙剑秋, 郭良栋, 臧威, 等. 药用植物内生真菌及活性物质多样性研究进展 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(7): 1505~1509
- [15] 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [16] 弓明钦, 王凤珍, 陈羽, 等. 西南桦对菌根的依赖性及其接种效应研究 [J]. 林业科学研究, 2000, 13(1): 8~14
- [17] 弓明钦, 王凤珍, 陈羽, 等. 相思菌根的菌种筛选及其接种效应研究 [J]. 林业科学研究, 2000, 13(3): 268~273
- [18] 黄少伟, 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业试验数据分析 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001