

不同生态型摩西球囊霉菌株对棉花耐盐性的影响

冯 固^{1,2}, 白灯莎¹, 杨茂秋¹, 李晓林², 张福锁², 李生秀³

(1. 新疆农科院核技术生物技术所, 乌鲁木齐 830000; 2. 中国农业大学植物营养系 农业部植物营养学重点开放实验室, 北京 100094; 3. 西北农业大学资源与环境科学系, 杨凌 712100)

摘要: 在盆栽条件下研究了 4 个 NaCl 水平下(0、1、2 和 3g/kg)接种丛枝菌根真菌 *Glomus mosseae* 的 2 个菌株 M1 和 M2 对棉花耐盐性的影响。M1 自非盐渍土壤分离, M2 自盐渍土壤分离。结果表明, 不同盐水平下 2 个菌株对棉花根系的侵染率为 20%~40%, M2 的侵染率高于 M1; 这两个菌株对棉花在盐胁迫环境下的生长状况都有一定的促进, 其中 M1 的促进作用明显大于 M2 的, 并且在 NaCl 水平为 2 和 3g/kg 时, 两菌株对棉花生长的效应之间的差异达到极显著水平。进一步的分析表明两菌株对植株吸收矿质元素的作用方面存在一定差异。接种 M1 的植株含磷量在 4 个盐水平下均显著高于对照, 而接种 M2 处理的植株含磷量只是在 0 和 1g/kg NaCl 时显著高于对照, 在 2 和 3g/kg NaCl 时略低于对照, 并显著低于接种 M1 处理的。在 4 个 NaCl 水平下, 接种 M1 的植株钠和氯含量与对照没有显著差异; 接种 M2 的植株氯含量在 1~3g/kg 3 个 NaCl 水平下、钠含量在 2 和 3g/kg 2 个 NaCl 水平下不仅显著高于对照, 同时也显著高于接种 M1 的植株氯和钠含量。这些差异是 M1 和 M2 两菌株对提高棉花耐盐性作用大小不同的主要原因。上述结果说明不同生态型 AM 真菌菌株对植物的耐盐性的影响力不同, 这与真菌自身的生物学特性有关。

关键词: 丛枝菌根; 生态型; 棉花; 耐盐性

Effects of two *Glomus mosseae* isolates on cotton salinity tolerance

FENG Gu¹, BAI Deng-Sha¹, YANG Mao-Qiu¹, LI Xiao-Lin², ZHANG Fu-Suo², LI Sheng-Xiu

(1. Institute of Nuclear Technology and Biotechnology of Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi, 830000, China; 2. Department of Plant Nutrition of China Agricultural University, Beijing 100094, China; 3. Department of Resource and Environmental Science of Northwest Agricultural University, Yangling 712100, China)

Abstract: The effects of two *Glomus mosseae* isolates collected from non-saline soil (M1) and saline soil (M2) on cotton growth at four NaCl levels (0, 1, 2, and 3g/kg) were investigated under greenhouse conditions. The results showed that mycorrhizal colonization of two isolates was 20% to 40%, and the colonization of M2 was higher than that of M1. The two isolates had different effects on growth and mineral elements uptake of cotton plant. Isolate M1 increased biomass and phosphorus concentration, but had no significant effects on sodium and chloride concentration of cotton plant at all four NaCl levels. Isolate M2 significantly improved plant growth at 3g/kg NaCl and phosphorus concentration at 0 and 1g/kg NaCl respectively, meanwhile it significantly increased sodium concentration at 2 and 3g/kg NaCl and chloride concentration at 1, 2 and 3g/kg NaCl as well. For the two isolates, cotton plant inoculated with isolate M1 had significant higher biomass and phosphorus concentration, but lower sodium and chloride concentration than that of inoculating with isolate M2 at 2 and 3g/kg NaCl. These are the main mechanisms by which the two isolates had different effects on salinity tolerance of cotton plant. It is concluded that the potential of arbuscular mycorrhizal fungus in enhancing the salinity tolerance of plant is related to the biological characteristics.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49961005 和 40071050)

收稿日期: 1998-11-24; **修订日期:** 1999-12-29

作者简介: 冯固, 男, 陕西泾阳人, 博士, 副研究员。主要从事植物与微生物相互作用, 环境生物治理等研究。

tics of the fungus itself.

Key words: arbuscular mycorrhizal; *Glomus mosseae* isolates; cotton; salinity tolerance

文章编号:1000-0933(2001)02-0259-06 中图分类号:Q89,Q939.5,S562 文献标识码:A

AM 真菌(Arbuscular mycorrhizal fungus,以下简称 AM 真菌)是一类能够与大多数植物形成共生关系的真菌。由于它在有效磷低的土壤上可以显著地增加植物的生长量或产量^[1~3],因而受到普遍重视。尽管人们早已在盐渍土壤中生长的植物上发现了 AM 真菌的存在^[4,5],但对于盐渍胁迫条件下 AM 菌根形成及其生态学意义尚缺乏充分的认识和研究^[6]。本试验研究了接种自盐渍土和非盐渍土分离的 AM 真菌菌株对植物耐盐性的效应,以及不同 AM 真菌菌株对植株体内矿质元素含量的影响,以期为揭示盐渍环境中 AM 真菌与植物之间共生关系的生态学意义和为盐渍土生物改良提供依据。

1 材料与方法

采用盆栽法在网室内进行。供试作物为棉花(新陆早 1 号)。供试 AM 真菌为 *Glomus mosseae*,菌株 M1 由中国农业科学院土壤肥料研究所汪洪钢提供,菌株 M2 由北京市农业科学院土壤肥料研究所张美庆提供,其中 M2 分离自盐渍土^[7]。供试土壤的性质:有机质 1.01%,Olsen-P12.7mg/kg,碱解氮 60.6mg/kg,速效钾(醋酸铵浸提)123mg/kg,pH 8.3,总盐量 0.19%。

试验处理 设 0、1、2、3g/kg NaCl 4 个盐水平,每个 NaCl 水平下再设不接种、接种 M1 和接种 M2 3 个接种处理。各处理重复 3 次,NaCl 在播种之前与土壤充分混合。

生长基质与施肥 每盆栽土 800g,同时混入河沙 200g,待出苗后,每周每盆浇含有 N 100mg/L、P 50mg/L 和 K 50mg/L 的营养液 100ml。

土壤及种子消毒 供试土壤、盆钵等均以 10⁴ Gy Co⁶⁰γ-射线辐照灭菌。种子先后用 0.1% HgCl₂ 和 70%酒精消毒,每盆播 5 粒种子,出苗后间留 2 株。

接种方法 接种物为上述 AM 真菌经白三叶草繁殖后制成的含有孢子、菌丝体、侵染根段的根际土壤。接种处理每盆施 10g 接种物,不接种处理每盆施 10g 灭菌接种物和 10ml 不灭菌接种物的水滤液,以保持微生物区系的一致性。

植株生长至 73d 收获,在 60~70℃下烘 72h 左右,称干重并测定植株中的氮(凯氏法)、磷(钼锑抗比色)、钾和钠(火焰光度计)、钙和镁(原子吸收)、氯(AgNO₃ 滴定)含量。菌根侵染率采用方格交叉法测定^[8]。菌根依赖性按下式计算^[9]:

菌根依赖性(%) =
$$\frac{\text{接种处理植株干重} - \text{不接种处理植株干重}}{\text{接种处理植株干重}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫下,不同 AM 真菌菌株对棉花侵染率的影响

菌根侵染率不仅是描述植物根系受 AM 真菌感染程度的指标,也是反映丛枝菌根形成^[1,10]和 AM 真菌对植物亲和力^[11,12]的指标。从图 1 可见,所有接种处理的植物根系均不同程度地受到 AM 真菌感染,而未接种处理的都没有检测到 AM 真菌感染。

随着 NaCl 水平提高,不同 AM 真菌对棉花根系的侵染率递减,多数情况下 M2 的侵染率高于 M1。这表明 NaCl 胁迫对 AM 菌根的形成有抑制作用,而从盐渍土中分离出的菌株(M2)与棉花建立共生关系的能力有高于分离自非盐渍土的菌株(M1)的趋势。

2.2 不同 AM 真菌菌株对棉花耐盐性的影响

万方数据

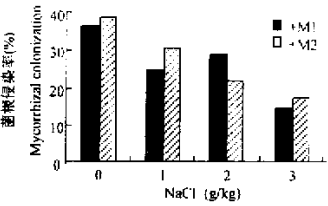


图 1 盐胁迫对菌根侵染率的影响

Fig. 1 Effect of salinity on mycorrhizal colonization

2.2.1 不同 AM 真菌菌株对植株生长的效应 评价植物耐盐性有许多指标,但对同种植物而言绝对生长量和相对产量是最直观和可靠的指标。由图 2 可见,在不同 NaCl 水平下接种 M1 和 M2 的植株生物产量比相应对照的生物产量均有不同程度的增加。在 NaCl 水平为 0 时,接种 M1 和 M2 处理的棉花生物量仅比对照增加 7% 左右,未达到显著水平。在 NaCl 水平为 1、2 和 3g/kg 时,接种 M1 处理的生物产量比对照增加 9.4%~68%,均达到显著或极显著水平;接种 M2 的生物产量在高盐(3g/kg)时显著高于对照($P<0.05$),而在其它两个加盐处理下与对照没有显著性差异。

由图 2 还可看出,在 NaCl 水平为 2 和 3g/kg 时,接种 M1 的棉花生物产量显著高于接种 M2 的($P<0.01$)。这表明不同菌株提高棉花耐盐性的作用大小是不相同的,M1 的作用大于 M2。

如果将不接种菌根的植株在不加 NaCl 胁迫时的生物产量作为基数来计算各处理植株的相对产量,可以看出,无论接种 AM 真菌与否,棉花的相对产量都表现出随着土壤中 NaCl 水平提高而递减的趋势。在同一 NaCl 水平下,接种 AM 真菌处理的植株相对产量均高于不接种处理的(图 3)。就两个菌株而言,接种 M1 的生物产量高于接种 M2 的。

2.2.2 NaCl 胁迫下棉花对两个 AM 真菌菌株的依赖性 植物对 AM 真菌的依赖性,是指植物依靠菌根使自身生长量增加的百分率。它是反映植物与 AM 真菌相互关系的指标^[12,10]。图 4 表明,随着 NaCl 水平增加棉花的菌根依赖性呈上升的趋势,即:随着盐胁迫强度增加,AM 真菌对棉花生长的促进作用也相应增大。这意味着盐胁迫虽然限制了菌根的形成但并不抑制 AM 真菌对植物生长的促进作用。相反,在盐胁迫条件下棉花与 AM 真菌之间的共生关系得到了加强。在不同 NaCl 水平下,棉花对 M1 的依赖性均高于对 M2 的依赖性。虽然 AM 真菌与植物之间的专一性不强^[1],但上述结果说明对特定的植物和真菌而言,不同菌根真菌对植物的亲和性大小是有差异的。因此,在筛选耐盐菌株时不仅要考虑菌株的耐盐性,还应当考虑真菌和植物间的亲和性。

2.3 不同 NaCl 水平下,AM 真菌对棉花吸收矿质元素的影响

2.3.1 不同盐水平对棉花吸收矿质元素的影响 随着 NaCl 水平提高,植株体内钠和氯的含量明显提高,接种处理的植株钙的含量也有相同趋势;钾和镁的含量表现出递减趋势。

植株含磷量变化比较特殊,不接种处理的植株含磷量随着 NaCl 水平提高呈递增趋势,而接种处理的

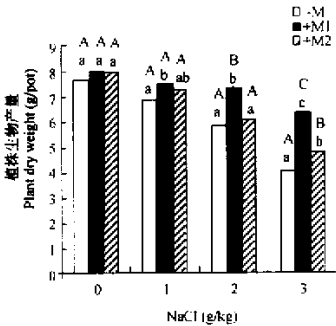


图 2 盐胁迫下不同菌株对棉花生长的影响
Fig. 2 Effect of different AM fungal isolates on the growth of cotton under saline stress
同一 NaCl 水平下,标记不同小写字母表示接种处理间差异达到 5% 显著水平,标记不同大写字母表示处理间差异达到 1% 显著水平(新复极差法检验。Columns marked different small letters or capitals at a given NaCl level mean 5% and 1% significant difference, respectively, between control (—M) and isolates of *Glomus mosseae* collected from non-saline soil(+M1) and saline (+M2)

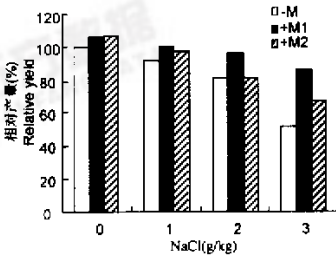


图 3 盐胁迫下,不同 *Glomus mosseae* 菌株对植物相对产量的影响
Fig. 3 Effect of different isolates of *Glomus mosseae* collected from non-saline soil(+M1) and saline soil (+M2) on relatively yield of cotton under NaCl stress

植株含磷量则呈递减趋势,尤其是 M2 表现更为明显。其原因尚需进一步研究。

2.3.2 不同接种处理对棉花吸收矿质元素的影响 磷 在同一 NaCl 水平下,接种 M1 的植株含磷量在 4 个盐水平下均显著高于对照,而接种 M2 的植株含磷量只是在 0 和 1g/kg NaCl 时显著高于对照,在 2 和 3g/kg NaCl 时略低于对照但未达到显著水平(表 1)。这表明在改善棉花磷营养方面 M1 的作用大于 M2。

氯 接种 M1 的植株氯含量在 4 个 NaCl 水平下均与对照一致;而接种 M2 则增加了植株氯的含量,其中在施 NaCl 量为 1、2 和 3g/kg 时增幅达到显著或极显著水平,同时也显著高于接种 M1 的植株氯含量(表 1)。

钠 接种 M1 的植株钠含量与对照组无显著差异,而接种 M2 在 NaCl 水平为 2 和 3g/kg 时极显著地提高了的植株钠含量(表 1),同时也显著高于接种 M1 的植株钠含量。

镁 接种 M1 的植株镁含量在 NaCl 水平为 0、1 和 2g/kg 显著高于对照,接种 M2 处理的植株镁含量则在 4 个盐水平下都略低于不接种处理的,并在 NaCl 水平为 0、1 和 2g/kg 时显著低于接种 M1 的(表 1)结果。

钾 接种 M1 的植株含钾量在 2g/kg NaCl 时显著高于不接种和接种 M2 的植株含钾量(表 1)。

钙 在 3g/kg NaCl 水平下,接种两菌株的植株含钙量显著高于不接种的(表 1)。

氮 不同 NaCl 水平下,接种 M1 和 M2 两菌株对棉花地上部含氮量没有显著影响(表 1)。

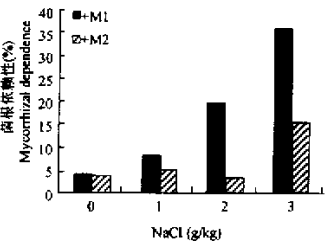


图 4 盐胁迫下棉花对不同 AM 真菌的依赖性
Fig. 4 Effect of saline on mycorrhizal dependence of cotton

表 1 NaCl 胁迫下,不同 AM 真菌对棉花植株体内矿质元素含量的影响

Table 1 Effect of two isolates of <i>Glomus mosseae</i> on mineral elements concentration in cotton plant								
NaCl 水平 NaCl level (g/kg)	接种 Inoculation	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	Cl (%)
0	—M	1.465 a A	0.102 a A	0.468 a A	0.603 a A	0.100 a A	0.035 a A	0.588 a A
	+M1	1.348 a A	0.195 b B	0.511 b A	0.583 a A	0.116 b A	0.040 a A	0.646 a A
	+M2	1.458 a A	0.227c C	0.512 b A	0.658 a A	0.095 a A	0.044 a A	0.706 a A
1	—M	1.516 a A	0.120 a A	0.443 a A	0.586 a A	0.097 a A	0.078 a A	0.929 a A
	+M1	1.311 a A	0.174 b B	0.472 a A	0.631 a A	0.126 b B	0.065 a A	0.936 a A
	+M2	1.599 a A	0.177 b B	0.465 a A	0.678 a A	0.089 a A	0.103 a A	1.206 b A
2	—M	1.469 a A	0.145 a A	0.387 a A	0.624abA	0.087 a A	0.094 a A	1.058 a A
	+M1	1.365 a A	0.165 b A	0.458 b B	0.639 b A	0.111 b B	0.097 a A	1.115 a A
	+M2	1.431 a A	0.130 a A	0.380 a A	0.539 a A	0.082 a A	0.214 b B	1.636 b B
3	—M	1.567abA	0.154 a A	0.367 a A	0.608 a A	0.101 a A	0.245 a A	1.982 a A
	+M1	1.394 b A	0.171 b A	0.356 a A	0.711 b B	0.093 a A	0.249 a A	1.895 a A
	+M2	1.723 a A	0.142 a A	0.372 a A	0.717 b B	0.083 a A	0.372 b B	2.909 b B

* : —M 代表不接种,+M1 和 +M2 代表接种 *Glomus mosseae* 的 2 个菌株;同一列中标记不同小写字母或大写字母分别表示不同接种处理之间差异达到 5% 和 1% 显著水平(新复极差法). Columns marked different small letters or capitals at a given NaCl level mean 5% and 1% significant difference, respectively, between control (—M) and isolates of *Glomus mosseae* collected from non-saline soil(+M1) and saline soil(+M2)

3 讨论

盐渍土中 AM 真菌与植物的共生关系早已为人们所认识,从生物进化的角度来看这种共生关系必然会对双方在盐渍环境中的生存性都有利。探明盐胁迫、AM 真菌以及植物三者之间的相互关系是利用 AM 真菌提高植物耐盐性的基础。其中重要的问题之一是了解不同生态条件下的 AM 真菌对植物耐盐性的影响。

首先,盐胁迫影响菌根的形成。Pfeiffer 和 Bloss^[13]在银胶菊上观察到,土壤中单独施加 NaCl 或同时施加 NaCl 和磷肥时菌根侵染率的降低幅度比单施磷肥大,而且还减少了根内泡囊及丛枝的数目。Hirre^[14]的研究表明,盐胁迫抑制 AM 真菌孢子的萌发和初级芽管(Proimary germ tube)的伸长。Estaun^[2]也发现盐渍条件下 AM 真菌菌丝生长量减少。本试验的结果(图 1)与上述学者的报道是一致的。

其次,不同菌株对植物耐盐性的影响是不一致的。Stahl 和 Williams^[15]发现在开采页岩油矿区周围,由于受排放的含有很高可溶性盐的废水的影响,土壤中的 AM 真菌种群在 4a 间发生了很大改变。有的数量减少或消失了,而有的真菌甚至在含盐量极高(电导率大于 10dS/M)的条件下仍然能够与植物形成菌根,表明在这种条件下植物与真菌共同适应了盐胁迫环境。

Rosendahl and Rosendahl^[16]比较了 *Glumus* 属的 3 个不同菌株对黄瓜耐盐性的影响,发现在短期的盐胁迫下 3 个菌株对黄瓜生长的效应差别很大。其中的两个菌株与黄瓜形成菌根以后,黄瓜幼苗在 NaCl 胁迫条件下的萎焉速度比非菌根植株慢,而当把植株由含 NaCl 的基质转移到不含 NaCl 的基质中时,菌根植株恢复生长的速度又快于非菌根植株。他们推测,盐胁迫下 AM 真菌通过改变寄主植物体内氨基酸和碳水化合物含量及组成,改变了黄瓜根组织中的渗透调节能力,从而提高了黄瓜幼苗的耐盐能力。

Copeman 等^[17]进行过类似的试验,他们给耐盐能力不同的两个番茄品种分别接种了分离自盐渍土和非盐渍土的 AM 真菌,令其在不同盐水平下生长 8 周,结果表明来自非盐渍土壤的菌种促进植株地上部生长,而来自盐渍土壤的菌种却抑制植株地上和地下部的生长。不接种和接种来自非盐渍土壤的菌种时叶片 Cl^- 含量随盐水平提高呈二次曲线递增;接种来自盐渍土壤的菌种时叶片 Cl^- 含量随盐水平提高呈直线递增。在土壤中、低度含盐量水平下,接种来自盐渍土壤的菌种时番茄叶片 Cl^- 含量低于不接种处理的;而接种来自于非盐渍土壤的菌种时番茄叶片 Cl^- 含量高于不接种处理的。他们认为,尽管来自盐渍土壤的菌种没有表现出对植株生长的促进作用,但是在中度盐水平下减少了叶片中的 Cl^- 含量,这对于植物在盐渍土壤上能正常生长是有益的。

王幼珊和张美庆等^[7]测定了 3 株不同来源的 *Glomus mosseae* 菌株,发现它们对茅状羊茅的侵染率和对产草量的影响很不相同。他们推测,这是由于耐盐菌株的某些生理功能不同所致。本试验中分离自盐渍环境的菌株(M2)对棉花的亲合性较高(图 1),但对棉花植株生长的促进作用却比分离自非盐渍土的菌株(M1)小(图 2),其原因是 M2 促进棉花吸收营养元素(P、K、Mg)的效率较低而吸收盐分(Na^+ 、 Cl^-)的效率较高(表 1)。这是两菌株对棉花耐盐性效应存在差异的原因。由于分离自盐渍土的菌株对盐胁迫的适应性强,按常理它对提高植物耐盐性的作用应该更大一些,但实际表现并非如此。这可能是由于该菌株与棉花之间依赖关系较差或者在扩繁保种过程中生长环境发生改变,使之丧失了原有的一些特性,但是目前缺乏这方面的试验证据,其原因值得进一步研究。

参考文献

- [1] Bowen G. The biology and the physiology of mycorrhiza and its development. In: Safir G. R. ed. *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*. CRC Press, Boca Raton Fla., 1987, 27~57.
- [2] Estaun MV. Effect of sodium chloride and mannitol on germination and hyphal growth of Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1989, 29: 123~129.
- [3] Hayman DS and Mosse B. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. III. Increased uptake of liable P from *Trifolium repens*. *Phycol.*, 1972, 71: 41~47.
- [4] Khan AG. The occurrence of mycorrhizas in halophytes, hydrophytes and xerophytes and of Endogone spore in ad-

- jacent soil. *J. Gen. Microbiol.* ,1974,**81**:7~14.
- [5] Marson E. Note on the presence of mycorrhiza in the roots of salt marsh plants. *New Phytol.* ,1928,**27**:193~195.
- [6] Juniper S. and Abbott L. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and soil salinity. *Mycorrhiza* ,1993,**4**:45~57.
- [7] 王幼珊,张美庆,张 弛,等. VA 菌根真菌抗盐碱菌株的筛选. *土壤学报* ,1994,**31**(增刊):79~83.
- [8] Giovannett M and Mosse B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in root. *New Phytol.* ,1980,**84**:489~500.
- [9] Rajapakse JR and Miller JC. Method for studying Vrsicular-arbuscular mycorrhizal root colonization and related root physical properties. In: Norris J. R. , D. J. Read and A. K. Varma ed. *Techniques for Mycorrhizal Research, Method in Microbiology*. Academic Press, London, 1994, 762~776.
- [10] Bagyaraj DJ. Vesicular-arbuscular; Application in Agriculture. In: Norris J. R. , D. J. Read and A. K. Varma ed. *Techniques for Mycorrhizal Resarch, Method in Microbiology*. Academic Press, London, 1994, 818~833.
- [11] 顾希贤,林先贵,郝文英,黄潮土中 VA 菌根的调查. *土壤* ,1987,**19**(4):205~208.
- [12] 林先贵,郝文英. 不同植物对 VA 菌根菌的依赖性. *植物学报* ,1989,**31**:721~725.
- [13] Pfeiffer CM and Bloss HE. Growth and nutition of guayule (*Parthenium argentatum*) in a saline soil as influenced by Vesicular-arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization. *New Phytol.* ,1988,**108**:315~321.
- [14] Hirrel MC. The effect of sodium and chloride salts on the germination of *Gigaspora margaria*. *Mycologia* ,1981,**43**: 610~617.
- [15] Stahl PD and Williams SE. Oil shale process water affects activity of vesicular-arbuscular fungi and *Rhizobium* 4 years after application to soil. *Soil Biol. Biochem.* ,1986,**18**:451~455.
- [16] Rosendahl CN, Rosendahl S. Inluence of vesicular-arbuscular mycorrhzal fungi(*Glomus* spp.) on the response of cucumber (*cucumis stativus*) to salt stress. *Environ. Exp. Bot.* ,1991,**31**:313~318.
- [17] Copeman RH, Martin CA and Stutz JC. Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or nonsaline soil. *HortScience* ,1996,**31**:341~344.