

## 施磷和接种 AM 真菌对玉米耐盐性的影响

冯 固 李晓林 张福锁

(中国农业大学植物营养系, 北京 100094)

李生秀

(西北农业大学资源与环境科学系, 杨陵 712100)

**摘要:** 在盆栽条件下研究了不同施磷水平 (25, 50, 100, 150 mg/kg), 不同盐水平 (NaCl 0, 1.2 g/kg) 和不同接种 AM 真菌处理 (接种和不接种) 对玉米生长的影响。结果表明, 施磷量为 50 mg/kg 时基本满足玉米生长的需要。1.2 g/kg NaCl 胁迫显著抑制了玉米的生长; 施磷明显促进玉米在盐胁迫条件下的生长。施磷水平和接种菌根真菌的交互作用对玉米耐盐性具有显著影响: 盐胁迫条件下, 接种 AM 真菌在低磷 (25 mg/kg) 条件下对玉米生长和吸收磷有显著促进作用, 在高磷 (100 和 150 mg/kg) 条件下, 对玉米生长的影响则不显著; 施磷量为 50 mg/kg 时, 接种 AM 真菌的玉米植株含磷量与不接种处理的相当, 但接种处理的玉米植株干重却显著高于不接种处理的。可以认为, AM 真菌提高植物耐盐性的机理不是唯一的, 当植物对磷的需求得到满足时, AM 真菌还可以通过其他途径使植物的耐盐性得到一定程度的提高, 但改善植物磷营养状况是 AM 真菌提高植物耐盐性的主导机理。

**关键词:** 磷; 盐胁迫; 菌根真菌; 玉米; 耐盐性

**中图分类号:** S523.062; Q948.113 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2000)02-0022-05

**Effect of phosphorus and arbuscular mycorrhizal fungus on response of maize plant to saline environment** FENG Gu, LI Xiao-lin ZHANG Fu-suo ( Department of Plant Nutrition of China Agricultural University, Beijing 100094), LI Sheng-xiu (Department of Resource and Environmental Science of Northwest Agricultural University, Yanglin 712100), *J. Plant Resour. & Environ.* 2000, 9(2): 22~26

**Abstract:** Maize (*Zea mays* L.) were grown for 65 days in pots containing sterilised soil with four phosphorus levels (25, 50, 100 and 150 mg/kg) and two salinity levels (0 and 1.2 g/kg NaCl) supply. Maize plants were inoculated with or non-AM fungus [*Glomus mossese* (Nicol. & Gerd.) Gerdmann & Trappe]. The results showed that salinity inhibited plants growth at all four phosphorus levels and phosphorus supply promoted plants growth. There were significant interactive effects between AM fungus and phosphorus supply on the growth and phosphorus state of maize plants under both saline and non-saline conditions. AM fungus increased the dry weight and phosphorus content at lower phosphorus supply (25 mg/kg) significantly, but had no effects on both dry weight and phosphorus content at higher phosphorus supply (100 and 150 mg/kg) of maize plants. Under salinity stress and 50 mg/kg phosphorus supply condition, there was no significant difference of phosphorus concentration between mycorrhiza and non-mycorrhiza plants, but the dry weight of mycorrhiza plants was significantly higher than that of non-mycorrhiza plants. It is concluded that the improvement of phosphorus state of plant is the main and dominant mechanism by which AM fungus enhances plant salinity tolerance in phosphorus deficient soil. However, when phosphorus supply is sufficient, AM fungus is still able to enhance the salinity tolerance of plant by other mechanisms.

**Key words:** phosphorus; salinity stress; arbuscular mycorrhiza; maize; salinity tolerance

我国大约有  $667 \times 10^4$  km<sup>2</sup> 耕地存在不同程度的盐渍化<sup>[1]</sup>, 改良盐渍土是一项艰巨的任务。盐渍土壤上广泛存在着丛枝菌根真菌 (以下称 AM 真菌) 与植物的共生关系<sup>[2,3]</sup>, 这种共生关系对植物在盐渍环境中的生存起着重要作用<sup>[3-5]</sup>。对于其机理有人认为是由于改善了植物磷营养状况<sup>[6,7]</sup>, 也有人认为菌根提高植物耐盐性不是因为增加磷的吸

收, 而是提高了植株叶片的二氧化碳交换速率、蒸腾速率、气孔导度以及水分利用效率等代谢过程所

收稿日期: 1999-12-16

基金项目: 国家自然科学基金 (49961005) 和南京土壤研究所土壤与环境质量联合研究实验室 (99122203) 资助项目

作者简介: 冯 固, 男, 1962 年 6 月生, 陕西人, 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。

致<sup>[4]</sup>。然而这些研究都没有充分考虑菌根真菌、土壤有效磷含量及盐胁迫之间的交互作用,因此很难说明 AM 真菌改善植物耐盐性的直接机理是否与改善磷营养状况有关。本试验之目的是在不同施磷量和加 NaCl 情况下观察 AM 真菌对植物相对耐盐性的影响,评价 AM 真菌改善植物磷营养的作用在 AM 真菌提高植物耐盐性作用中的地位,为利用 AM 真菌进行盐渍土生物改良提供理论依据。

## 1 材料与方 法

采用盆栽试验方法。供试植物为玉米 (*Zea mays* L.) (品种为掖单 13)。供试 AM 菌根真菌为 *Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerdmann & Trappe, 由中国农业科学院土肥所汪洪钢先生提供。

试验于 1997 年 3 月 31 日至 1997 年 6 月 3 日在网室中进行。供试土壤为砂壤土,其 Olsen-P 含量为 12.5 mg/kg,每盆装土量为 2 kg。试验因子为 4×2×2,共 16 个处理,即:4 个施磷水平(25、50、100、150 mg/kg),2 个盐水平(0 和 1.2 g/kg NaCl),2 个接种处理(接种和不接种),重复 4 次。

供试土壤用高压蒸汽锅灭菌,AM 真菌接种物经白车轴草 (*Trifolium repens* Linn.) 繁殖后制成含

孢子、菌丝及侵染根段的接种物,其用量为 30 g/盆,不接种处理施加等量的灭菌接种物和不灭菌接种物水滤液 20 mL/盆,以保证不同处理之间除 AM 真菌以外的微生物区系保持一致。

每盆播 5 粒种子,留 2 株苗。植株收获后在 70~80℃ 下烘干,测量干重、菌根侵染率(方格交叉法)、全磷(钒钼黄比色法)和钠、钾、钙(火焰光度计法)。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫下施磷和接种 AM 真菌对玉米生长和矿质元素吸收的影响

结果表明,盐胁迫、施磷水平和接种 AM 真菌对玉米生长和磷、钠吸收的效应均达到极显著水平。

2.1.1 盐胁迫对玉米生长的抑制作用 玉米耐盐极限一般为 0.2%~0.25%<sup>[1]</sup>,本试验所施用的 NaCl 浓度属中等胁迫水平。在同一施磷水平下,NaCl 胁迫明显减少玉米根系及地上部干重(表 1),增加了植株地上部钠含量。不接种菌根真菌时,NaCl 胁迫有增加植株含磷量的趋势,这在低磷条件下表现较为明显(表 2)。

表 1 不同施磷水平和盐水平下接种 AM 真菌对玉米生长的影响<sup>1)</sup>

Table 1 Interactive effects between phosphorus, salinity and arbuscular mycorrhizal fungus on maize growth<sup>1)</sup>

磷水平 P levels (mg/kg)	地上部干重(g/盆) Shoot dry weight (g/pot)				根系干重(g/盆) Root dry weight (g/pot)			
	S0		S1.2		S0		S1.2	
	- M	+ M	- M	+ M	- M	+ M	- M	+ M
25	16.60	26.28**	12.82	18.61**	12.30	19.08**	6.79	12.73**
50	22.94	27.82**	18.14	21.05*	15.41	16.75	11.70	15.78*
100	24.67	27.99*	22.83	23.60	24.54	24.12	15.73	16.39
150	27.74	26.91	22.76	23.13	21.68	24.01	17.79	21.48

<sup>1)</sup> - M 和 + M 表示不接种和接种 AM 真菌; S0 和 S1.2 表示 NaCl 水平为 0 和 1.2 g/kg; - M 和 + M mean non- and with arbuscular mycorrhizal fungus inoculation; S0 and S1.2 represent 0 and 1.2 g/kg NaCl. \* 和 \*\* 分别表示接种处理与不接种处理之间达到 5% 和 1% 显著水平; \* and \*\* indicate 5% and 1% significant differences between with and non- arbuscular mycorrhizal fungus inoculation respectively.

2.1.2 施磷水平对玉米生长的影响 随着施磷水平提高,玉米干重呈递增趋势。无论有无盐害,当施磷量由 25 mg/kg 提高到 50 mg/kg 时,玉米生物量均明显增加;而施磷量超过 50 mg/kg 时,玉米生物量几乎不再增加。表明在本试验条件下,50 mg/kg 施磷量能够基本满足玉米生长的需要(表 1)。

由表 2 可见,随着施磷水平提高,加盐处理的玉

米植株体内磷含量明显增加,钠含量呈明显递减趋势。这表明改善植株磷营养条件有助于降低钠离子的毒害,提高植物的耐盐性。

### 2.1.3 接种 AM 真菌对玉米耐盐性的影响

2.1.3.1 对植株生长的影响 在无 NaCl 胁迫条件下,施磷量为 25 mg/kg 和 50 mg/kg 时接种与不接种 AM 真菌的玉米根系及地上部干重差异达到显著

水平,在施磷为 100 mg/kg 时接种玉米的地上部干重亦显著高于不接种玉米。在有盐害条件下,施磷量为 25 mg/kg 和 50 mg/kg 时接种 AM 真菌显著增加了玉米根系和地上部干重,在施磷 100 mg/kg 和 150 mg/kg 时接种 AM 真菌的玉米地上部干重与不接种玉米无显著差异(表 1)。

2.1.3.2 对植株吸收矿质元素的影响 无盐害情况下,施磷 25 mg/kg 和 50 mg/kg 时植株含磷量的提高幅度达到显著水平;有盐害情况下,接种 AM 真菌的玉米含磷量在施磷量为 25 mg/kg 时显著高于

不接种玉米的植株含磷量。而施磷量大于 50 mg/kg 时,接种与不接种玉米植株的含磷量没有明显差异。表明随着施磷水平的提高,接种 AM 真菌对玉米地上部含磷量的影响减小。

盐胁迫下随着施磷水平的提高玉米植株体内  $\text{Na}^+$  含量明显降低;同一施磷水平下接种 AM 真菌有降低玉米植株体内  $\text{Na}^+$  含量的趋势,其中在施磷量为 25 mg/kg 时  $\text{Na}^+$  含量降低最为明显(表 2)。

接种 AM 真菌后,玉米地上部磷的累积量有显著增加,而对钠的累积量影响不显著(表 3)。

表 2 不同施磷水平和盐水平下接种 AM 真菌对玉米地上部 P、Na 含量的影响<sup>1)</sup>

Table 2 Interactive effects between phosphorus, salinity and arbuscular mycorrhizal fungus on phosphorus and sodium concentrations in the shoot of maize<sup>1)</sup>

磷水平 P levels (mg/kg)	磷含量(%) Phosphorus concentration (%)				钠含量(%) Sodium concentration (%)			
	S0		S1.2		S0		S1.2	
	-M	+M	-M	+M	-M	+M	-M	+M
25	0.103	1.220*	0.114	0.142**	0.067	0.031	0.730	0.410
50	0.124	0.152**	0.131	0.139	0.043	0.031	0.570	0.570
100	0.154	0.155	0.165	0.159	0.036	0.041**	0.337	0.373
150	0.213	0.184	0.182	0.188	0.037	0.024	0.330	0.220

<sup>1)</sup> -M 和 +M 表示不接种和接种 AM 真菌; S0 和 S1.2 表示 NaCl 水平为 0 和 1.2 g/kg; -M 和 +M mean non- and with arbuscular mycorrhizal fungus inoculation; S0 and S1.2 represent 0 and 1.2 g/kg NaCl. \* 和 \*\* 分别表示接种处理与不接种处理之间达到 5% 和 1% 显著水平; \* and \*\* indicate 5% and 1% significant differences between with and non- arbuscular mycorrhizal fungus inoculation respectively.

表 3 不同施磷水平和盐水平下接种 AM 真菌对玉米地上部 P、Na 累积量的影响<sup>1)</sup>

Table 3 Interactive effects between phosphorus, salinity and arbuscular mycorrhizal fungus on phosphorus and sodium contents in the shoot of maize<sup>1)</sup>

磷水平 P levels (mg/kg)	磷累积量(mg/盆) Phosphorus content (mg/pot)				钠累积量(mg/盆) Sodium content (mg/pot)			
	S0		S1.2		S0		S1.2	
	-M	+M	-M	+M	-M	+M	-M	+M
25	16.99	31.86**	14.55	26.43**	11.20	8.27	94.19	77.46
50	27.88	42.24**	23.83	29.32	10.39	8.44	102.61	119.51
100	37.87	43.45	37.68	37.46	8.74	11.50	77.08	88.00
150	59.10	49.47	41.43	43.47	10.42	6.44	75.10	50.88

<sup>1)</sup> -M 和 +M 表示不接种和接种 AM 真菌; S0 和 S1.2 表示 NaCl 水平为 0 和 1.2 g/kg; -M 和 +M mean non- and with arbuscular mycorrhizal fungus inoculation; S0 and S1.2 represent 0 and 1.2 g/kg NaCl. \* 和 \*\* 分别表示接种处理与不接种处理之间达到 5% 和 1% 显著水平; \* and \*\* indicate 5% and 1% significant differences between with and non- arbuscular mycorrhizal fungus inoculation respectively.

## 2.2 盐胁迫、施磷水平对菌根形成的影响

2.2.1 盐胁迫对菌根侵染率的影响 4 个施磷水平下菌根侵染率的平均值在无盐害时为 37.1%, 在盐害条件下为 34.1% (表 4), 表明在本试验条件下盐胁迫对菌根形成影响不大。

2.2.2 施磷水平对菌根形成的影响 在 25、50、100 和 150mg/kg 4 个施磷水平下, 菌根侵染率的平均值分别为 44.8%、34.9%、33.8% 和 28.8% (表 4), 表明土壤磷水平的提高明显抑制了菌根的形成。

## 2.3 施磷水平、盐胁迫和接种 AM 真菌的交互作用

方差分析结果表明, 施磷水平与接种 AM 真菌的交互作用( $P \times M$ )对玉米生长和磷吸收量均表现出极显著的正效应; 施磷水平与 NaCl 胁迫的交互作用( $P \times \text{NaCl}$ )和 NaCl 胁迫与接种 AM 真菌的交互作用( $\text{NaCl} \times M$ )对玉米生长和吸收磷、钠均无显著影响; 施磷水平、盐胁迫和接种 AM 真菌的交互作用( $P \times \text{NaCl} \times M$ )对玉米生长和吸收钠无显著效应, 而对含磷量具有显著交互作用(表 1、表 2 和表 3)。

表4 盐胁迫、施磷水平对菌根形成的影响(%)<sup>1)</sup>Table 4 Effects of NaCl and phosphorus on arbuscular mycorrhizal colonization in maize<sup>1)</sup>

磷水平 P levels (mg/kg)	菌根侵染率(%) AM colonization (%)			
	S0		S1.2	
	- M	+ M	- M	+ M
25	0	43.7	0	46.0
50	0	37.0	0	32.8
100	0	38.4	0	29.2
150	0	29.2	0	28.5

<sup>1)</sup> - M 和 + M 表示不接种和接种 AM 真菌; S0 和 S1.2 表示 NaCl 水平为 0 和 1.2 g/kg。 - M and + M mean non- and with arbuscular mycorrhizal fungus inoculation; S0 and S1.2 represent 0 and 1.2 g/kg NaCl

### 3 讨论

#### 3.1 盐胁迫和施磷水平对菌根形成的影响

菌根侵染率是鉴定菌根形成的直观指标。土壤盐分和有效磷含量都影响着 AM 真菌对寄主的侵染。首先,菌根的形成需要一定的磷素,但土壤有效磷过多又会抑制菌根真菌的侵染,这与植物根分泌物的数量和组成有关<sup>[8]</sup>。缺磷情况下植物根分泌物数量增加,促进真菌孢子萌发和菌丝生长<sup>[9,10]</sup>,而正常磷水平下植物根分泌物数量减少<sup>[11]</sup>;其次,盐胁迫通过抑制真菌孢子萌发、菌丝生长和根分泌物的数量与组成而抑制菌根形成<sup>[12,13]</sup>。

从本试验可以看出,施磷水平提高使菌根侵染率降低的幅度远大于盐胁迫使菌根侵染率降低的幅度,说明施磷水平对菌根形成的抑制作用大于盐胁迫的作用。Pfeiffer 和 Bloss 报道,在土壤中加入 100  $\mu\text{g/g}$  P 对银胶菊的菌根侵染率无明显影响,但同时施磷和加入 750  $\mu\text{g/g}$  NaCl 或单独施加 NaCl 时都显著减少了根内泡囊和丛枝的数量<sup>[14]</sup>。表明施磷和盐胁迫的交互作用也是降低菌根侵染率的原因之一。

#### 3.2 土壤有效磷水平制约着菌根效应,改善磷营养条件是 AM 真菌提高植物耐盐性的主导机理

除了改善磷营养条件之外,菌根真菌促进植物生长是否还存在其他机理一直是菌根研究者关心的问题。本试验中,在供磷水平较低(25 mg/kg)时,无论有无盐胁迫,AM 真菌都促进了玉米的生长(表 1),当供磷水平较高(100 或 150 mg/kg)时,接种菌根真菌对玉米耐盐性没有显著影响,这说明菌根真菌提高植物耐盐性的作用受土壤供磷状况制约。从

3 个试验因素的交互作用来看,NaCl  $\times$  M、P  $\times$  NaCl 对玉米生长没有交互作用(表 1),而 P  $\times$  M 对玉米生长和玉米磷营养状况都表现出极显著的正效应(表 1,表 2),表明改善植物磷营养状况是菌根促进植物生长的核心问题。值得注意的是,在盐胁迫下施磷 50 mg/kg 时,尽管接种玉米的含磷量与不接种玉米的含磷量相当,但是接种玉米的生物产量却显著高于不接种玉米(表 1)。这说明在土壤供磷量充分的条件下,菌根真菌可以通过其他机理提高植物的耐盐性。Druge 等发现接种 AM 真菌能够提高植物体内细胞分裂素含量,并且这一作用与真菌改善植株磷营养状况无关<sup>[15]</sup>。然而,目前尚无证据能够证实植物体内激素水平提高是来自菌根真菌的。综上所述,菌根真菌提高植物耐盐性的直接机理不是唯一的,但改善磷营养状况是其中的主导机理。菌根真菌改善植物磷营养主要是通过根外菌丝扩大吸磷范围、活化土壤有机磷和增加对难溶性无机磷的吸收的结果<sup>[16-19]</sup>。

#### 3.3 盐胁迫下植物需磷量增加

盐胁迫有增加玉米植株磷含量的趋势(表 2),作者在棉花<sup>①</sup>、无芒雀麦(*Bromus inermis* Leyss.)<sup>[19]</sup>上也观察到类似的现象。其原因可能是盐胁迫对这些植株生长的抑制作用大于对元素吸收速率的抑制作用,即产生了浓缩效应。目前在这一方面由水培试验所获得的结果与土培结果有很大矛盾,前者认为盐胁迫抑制植物对磷的吸收和运输,因而降低磷在植株体内的含量<sup>[20,21]</sup>;而后者,尤其是田间试验结果往往与此向背<sup>[5,22,23]</sup>,其原因与生长介质中盐分和磷的含量有关,但目前尚不清楚在什么情况下盐害对磷的吸收速率表现出抑制作用或没有影响,这个问题值得深入研究。从本试验结果可以认为,在缺磷条件下盐胁迫使植株体内含磷量升高,造成生产单位干重时所需累积的磷量增加,AM 真菌正好能够满足植物在盐胁迫下的这一需要,因而提高了植物的耐盐性。

#### 参考文献

- [1] 王遵亲主编. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社, 1993.

① 冯 固,杨茂秋,白灯莎,等. 不同生态型摩西球囊霉菌株对棉花耐盐性的影响(生态学报,待刊).

- [2] Stahl P D, Williams S E, Christensen M. Effect of native vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi after severe soil disturbance[J]. *New Phytol*, 1988, 110: 347~353.
- [3] 冯 固, 杨茂秋, 白灯莎, 等. 盐胁迫对菌根形成的影响及接种 VA 菌根真菌对植物生长的效应[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(1): 79~82.
- [4] Ruiz-Lozano J M, Azcon R, Gomez M. Alleviation of salt stress by arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species in *Lactuca sativa* plants [J]. *Physiologia Plantarum*, 1996, 98: 767~772.
- [5] Sigh R, Sengupya M, Goswami N. Role of phosphate in saline soil in relation to soil properties and crop growth[J]. *J India Society of Soil Sci*, 1988, 36: 766~773.
- [6] Hirrel M C, Gerdemann J W. Improved growth of onion and dell pepper in saline soils by two vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi [J]. *Soil Sci Soc Amer J*, 1980, 44: 654~655.
- [7] Poss J A, Pond E, Menge J A, et al. Effect of salinity on mycorrhizal onion and tomato in soil with and without additional phosphate[J]. *Plant and Soil*, 1985, 88: 307~319.
- [8] Graham J H. Effect of citrus root exudates on germination of chlamydozoospores of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeum* [J]. *Mycologia*, 1982, 74: 831~835.
- [9] Minggang Li, Takuro Shinano, Toshiaki Tadano. Distribution of Exudates of Lupin roots in the rhizosphere under phosphorus deficient conditions[J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 1997, 43: 237~245.
- [10] Tawarayama K, Watanabe S, Yoshida E. Effect of onion (*Allium cepa*) root exudates on the hyphal growth of *Gigaspora margarita* [J]. *Mycorrhiza*, 1996, 6: 57~59.
- [11] Dunlop J, Gradiner S. Phosphate uptake, proton extrusion and membrane electropotentials of phosphorus deficient *Trifolium repens* L. [J]. *J Experimental Botany*, 1993, 44: 1801~1808.
- [12] Estaun M V. Effect of sodium chloride and mannitol on germination and hyphal growth of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1989, 29: 123~129.
- [13] Hirrel M C. The effect of sodium and chloride salts on the germination of *Gigaspora margarita* [J]. *Mycologia*, 1981, 43: 610~617.
- [14] Pfeiffer C M, Bloss H E. Growth and nutrition of guayule (*Parthenium argentatum*) in a saline soil as influenced by vesicular-arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization [J]. *New Phytol*, 1988, 108: 315~321.
- [15] Druge U, Schonbeck F. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on transpiration, photosynthesis and growth of flax (*Linum usitatissimum* L.) in relation to cytokinin levels [J]. *J plant physiol*, 1992, 141: 40~48.
- [16] 冯 固, 杨茂秋, 白灯莎. 石灰性土壤上 VA 菌根真菌对土壤有机质矿化的影响及其机理初探[J]. *土壤通报*, 1993, 24(4): 184~186.
- [17] 冯 固, 杨茂秋, 白灯莎. VA 菌根真菌对石灰性土壤中不同形态磷酸盐的有效性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 1997, 3(1): 43~48.
- [18] 张福锁, 李晓林, 李春俭, 等著. 环境胁迫与植物根际营养 [M], 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [19] 冯 固, 杨茂秋, 白灯莎. 盐胁迫下 VA 菌根真菌对无芒雀麦 (*Bromus inermis* Leys.) 体内矿质元素含量及组成的影响 [J], *草业学报*, 1998, 7(3): 21~28.
- [20] Cachorro P, Ortiz A, Cerda A. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity [J]. *Plant and Soil*, 1994, 159: 205~212.
- [21] Martinez V, Lauchli A. Salt-induced inhibition of phosphate uptake in plants of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. *New Phytol*, 1994, 125: 609~614.
- [22] Grattan S R, Grieve M. Mineral element acquisition and growth response of plants grown in saline environments [J]. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 1992, 38: 275~300.
- [23] Awad A, Edwards D, Campbell L. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato [J]. *Crop Science*, 1990, 30: 123~128.

(责任编辑: 惠 红)