

# 盐胁迫和 AM 真菌对生菜生长的效应\*

郑义艳 冯 固<sup>†</sup>

(中国农业大学资源与环境学院;农业部植物营养与养分循环重点实验室;教育部土壤植物相互作用重点实验室;北京 100094)

**摘 要** 试验设不接种、接种 *Glomus intraradices* (BEG141)、接种 *Glomus mosseae* (BEG167) 3 个接种处理,每个接种处理下再设电导率 (EC) 为  $607 \mu\text{S cm}^{-1}$  (低盐)、 $1\ 236 \mu\text{S cm}^{-1}$  (中盐)、 $1\ 866 \mu\text{S cm}^{-1}$  (高盐) 等 3 个不同盐水平处理。试验结果表明:随着土壤 EC 值的增加,生菜生物量降低,但在低盐胁迫下,非菌根植株降低幅度大于菌根植株。与不接种处理相比,在低盐和中盐条件下,接种菌根真菌的植株体内  $\text{NO}_3^-$  含量、植株地上部干重增加;同一土壤盐水平下,接种处理的植株磷、叶绿素含量高于不接种处理的;在低盐下,接种处理的植株的根系可溶性糖含量高于不接种处理的,但在  $1\ 236$  和  $1\ 866 \mu\text{S cm}^{-1}$  的盐度下,接种处理的植株根系可溶性糖含量低于不接种处理的。说明在施肥过量引起的次生盐渍化土壤中,AM 真菌侵染对生菜在低盐胁迫下的生长存在促进作用,而在高盐胁迫下,使其生长受到抑制。

**关键词** AM 真菌;设施土壤;次生盐渍化;生菜;可溶性糖  
**中图分类号** S626 **文献标识码** A

大棚土壤普遍存在过量施肥问题<sup>[1]</sup>,土壤营养元素过量积聚<sup>[2]</sup>。大量的盐分在土壤中累积,造成土壤次生盐渍化,其中盐离子的累积以  $\text{NO}_3^-$  为主<sup>[1,3]</sup>,另外也有过量的  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等累积,使土壤电导率升高,对作物生长产生渗透胁迫和离子毒害,这已成为设施栽培蔬菜生理障碍的主要因子。关于大棚土壤次生盐渍化对蔬菜生长发育的影响已有一些报道<sup>[1,3,4]</sup>,但是对于设施土壤条件下蔬菜与丛枝菌根真菌共生关系影响的研究鲜见报道。众所周知,自然界中普遍存在着丛枝菌根真菌与植物之间的共生关系<sup>[5]</sup>。许多试验结果表明,在盐胁迫下,AM 真菌能够促进植物生长。申连英等<sup>[6]</sup>报道接种丛枝菌根真菌提高了酸枣实生苗的耐盐能力。Boss 等<sup>[7]</sup>发现,盐胁迫下接种 *Glomus fasciculatum* 和 *Glomus mosseae* 能提高洋葱和番茄的生物量。Copeman 等<sup>[8]</sup>也证实了在 NaCl 胁迫下,接种 AM 真菌能促进番茄生长。Feng 等<sup>[9]</sup>发现 AM 真菌能够通过增加根系可溶性糖的浓度提高玉米的耐盐能力。Rabie<sup>[10]</sup>报道,接种菌根真菌能提高 10% 海水灌溉的绿豆体内叶绿素和可溶性糖的含量,从而提高其耐盐能力。然而这些研究都是以 NaCl 盐害为研究对象的,这种盐胁迫与设施土壤次生盐渍化截然不同。前者对作

物生长的抑制主要起离子毒害作用;而后者主要是渗透胁迫作用<sup>[11]</sup>,即:由于  $\text{NO}_3^-$  大量累积,使土壤渗透势降低,作物吸水困难,从而抑制作物生长。本试验将不同量的  $\text{KNO}_3$  加入土壤中模拟设施土壤不同含盐水平,通过盆栽条件来揭示过量  $\text{NO}_3^-$  胁迫和 AM 真菌对生菜生长的效应,以期能为理解设施蔬菜在次生盐渍化环境下的生长过程提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验在中国农业大学植物营养系温室进行。供试植物为生菜 (*Lactuca sativa*) (美国大洋生),其种子在 10%  $\text{H}_2\text{O}_2$  中浸泡 15 min 经去离子水漂洗 10 次,在培养箱中催芽 24 h,然后播种。每盆播种 20 粒,间苗后留健壮苗 4 株。供试菌种为 *Glomus intraradices* (BEG141) 和 *Glomus mosseae* (BEG167)。供试土壤为河北唐山褐土,其土壤有机质含量为  $8.3 \text{ g kg}^{-1}$ ,全氮  $0.76 \text{ g kg}^{-1}$ ,全磷  $0.34 \text{ g kg}^{-1}$ ,有效磷  $9.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ,速效钾  $107.7 \text{ mg kg}^{-1}$ ,pH( $\text{H}_2\text{O}$ ) 7.07,用塑料盆 (14 cm  $\times$  12 cm  $\times$  9 cm) 每盆装土 800 g,播种前将磷以  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的形式与土壤均匀混合(施

\* 农业部蔬菜遗传与生理重点开放实验室基金和教育部科学技术研究重点项目 (105012) 资助

<sup>†</sup> 通讯作者, E-mail: fenggu@cau.edu.cn, 电话: 010 - 62733885

作者简介: 郑义艳 (1984 ~), 男, 福建人, 中国农业大学资源与环境学院农业资源与环境专业 2002 级本科生

收稿日期: 2005 - 07 - 28; 收到修改稿日期: 2006 - 03 - 15

磷量为  $P\ 75.5\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}$ ), 该土壤在试验前经 120 连续湿热高压灭菌 2 h, 以消除土壤 AM 真菌的干扰。

### 1.2 接种方法

AM 真菌接种物经白三叶草繁殖后制成含有孢子、菌丝及侵染根段的接种物, 其用量为  $70\ \text{g}\ \text{pot}^{-1}$ 。不接种处理中施加等量的灭菌接种物和不灭菌接种物水滤液  $20\ \text{ml}\ \text{pot}^{-1}$ , 以保证不同处理间除 AM 真菌以外的微生物区系保持一致。

### 1.3 试验处理

试验设不接种(对照)、接种 *Glomus intraradices* (BEG141)、接种 *Glomus mosseae* (BEG167) 3 个接种处理, 每个接种处理下再设  $1\ 000$ 、 $3\ 000\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{KNO}_3$  和  $3\ 000\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{KNO}_3 + 1\ 802\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{KCl}$  3 个盐水平处理。三个盐水平处理的土壤以 5:1 的水土比测定土壤电导率(EC), 其实测值分别为  $607$ 、 $1\ 236$  和  $1\ 866\ \mu\text{S}\ \text{cm}^{-1}$ 。植株生长 30 d 后开始盐胁迫处理, 为了防止渗透休克, 盐分以溶液的形式依次加入土壤, 每 2 d 一次。加入方法如下: 对于  $607\ \mu\text{S}\ \text{cm}^{-1}$  盐处理, 每次加入  $500\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{KNO}_3$ , 最后盐分总量为  $1\ 000\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{KNO}_3$ ; 对于  $1\ 236\ \mu\text{S}\ \text{cm}^{-1}$  盐处理, 每次加入  $500\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{NO}_3^-$ , 最后盐分总量为  $3\ 000\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{KNO}_3$ ; 对于  $1\ 866\ \mu\text{S}\ \text{cm}^{-1}$  盐处理, 先每次加入  $500\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{KNO}_3$  共 2 次, 接着每次加入  $1\ 000\ \text{mg}$

$\text{kg}^{-1}\ \text{KNO}_3$  共 2 次, 随后每次加入  $901\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{KCl}$  共 2 次, 最后盐分总量为  $3\ 000\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{KNO}_3$  和  $1\ 802\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}\ \text{KCl}$ ; 12 d 后上述盐分全部加毕(上述 3 个盐处理同一天开始加盐)。各种处理重复 4 次, 随机排列。植株在整个生长过程中, 环境条件如下: 光照  $14\ \text{h}\ \text{d}^{-1}$ ; 白天气温  $28 \pm 2$ , 夜间气温  $20 \pm 2$ 。

### 1.4 测定方法

生菜生长 55 d 后进行生理参数的测定。植株分为地上和地下部分, 在  $60 \sim 70$  下烘干。菌根侵染率用网格法测定<sup>[12]</sup>。叶片可溶性糖(蒽酮法)、叶绿素含量(酒精提取法)、叶片电导率(电导仪法)、叶片  $\text{NO}_3^-$  含量(水杨酸法)用植株鲜样测定<sup>[13]</sup>; 根系可溶性糖(蒽酮法)、全磷(钒钼黄法)用植株干样测定<sup>[14]</sup>。测样所用叶片均为倒 3 叶。数据采用 SAS6.01 软件 ANOVA 过程进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫下 AM 真菌对生菜生长的效应

由表 1 可知, 接种处理的生菜根系均不同程度地侵染了 AM 真菌, 而未接种处理的生菜根系没有观察到 AM 真菌的侵染。同一接种处理下, 随着土壤电导率值的增大, 菌根侵染率呈下降趋势, 表明盐胁迫抑制了 AM 真菌对生菜的侵染。

表 1 不同盐水平下接种 AM 真菌对生菜生物量的影响

Table 1 Effect of inoculation of AM fungi on biomass of lettuce plants in soils different in soil EC

接种处理 Inoculation	土壤电导率 Soil EC ( $\mu\text{S}\ \text{cm}^{-1}$ )	茎叶干重 Shoot dry weight ( $\text{g}\ \text{pot}^{-1}$ )	根系干重 Root dry weight ( $\text{g}\ \text{pot}^{-1}$ )	茎叶鲜重 Shoot fresh weight ( $\text{g}\ \text{pot}^{-1}$ )	侵染率 Colonization (%)
- M	607	$2.67 \pm 0.56$	$0.52 \pm 0.17$	$35.63 \pm 7.48$	0
	1 236	$1.48 \pm 0.24$	$0.18 \pm 0.04$	$17.38 \pm 1.44$	0
	1 866	$1.22 \pm 0.13$	$0.13 \pm 0.04$	$14.48 \pm 1.54$	0
+ BEG141	607	$2.96 \pm 0.32$	$0.62 \pm 0.21$	$44.09 \pm 3.26$	$56 \pm 14$
	1 236	$1.35 \pm 0.34$	$0.18 \pm 0.05$	$17.60 \pm 2.91$	$30 \pm 3$
	1 866	$1.14 \pm 0.21$	$0.09 \pm 0.03$	$12.82 \pm 1.33$	$14 \pm 6$
+ BEG167	607	$2.50 \pm 0.89$	$0.41 \pm 0.09$	$43.44 \pm 6.72$	$34 \pm 9$
	1 236	$1.40 \pm 0.07$	$0.26 \pm 0.23$	$18.25 \pm 1.64$	$17 \pm 7$
	1 866	$0.94 \pm 0.03$	$0.09 \pm 0.03$	$12.82 \pm 1.33$	$14 \pm 6$

注: - M 表示不接种; 表中的数据为 4 次重复的平均值  $\pm$  标准误差 Note: - M indicates non-inoculated control. Values are means ( $n=4$ )  $\pm$  SE

在同一盐水平下, 随着土壤电导率由  $607\ \mu\text{S}\ \text{cm}^{-1}$  升到  $1\ 866\ \mu\text{S}\ \text{cm}^{-1}$ , 生菜生物量显著下降, 这表明过量  $\text{NO}_3^-$  导致的土壤次生盐害抑制了生菜

生长。

当土壤电导率为  $607\ \mu\text{S}\ \text{cm}^{-1}$  时, 接种 BEG141 处理的地上部分鲜重较对照 (-M) 高 24%, 接种

BEG167 处理的地上部分鲜重较对照 (-M) 高 22 % ; 当土壤电导率为  $1\ 236\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时, 接种 BEG141 和 BEG167 对地上部分鲜重影响不大; 当土壤电导率为  $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时, 接种 BEG141 和 BEG167 处理的地上部分鲜重反而较对照 (-M) 低。上述结果说明, AM 真菌在低盐胁迫 ( $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$ ) 下能促进生菜的生长, 但是在中高盐胁迫下 ( $1\ 236$ 、 $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$ ), 不仅不能促进生菜生长, 甚至抑制了生长。

## 2.2 盐胁迫下 AM 真菌对植株叶绿素含量的影响

叶绿素含量的多少反映了植物进行光合作用、合成碳水化合物的潜力。表 2 表明, 在相同的接种处理下, 随着土壤电导率的增加, 生菜叶绿素含量无明显变化。

但是, 同一盐水平下, 接种 AM 真菌对生菜叶绿素含量有显著影响。与不接种处理相比, 当土壤电导率为  $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时, 接种 BEG167 显著提高了生菜叶绿素含量; 当土壤电导率为  $1\ 236\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时, 接种 BEG141 和 BEG167 均显著提高了生菜叶绿素含量; 但是当土壤电导率为  $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时, 接种 AM 真菌对叶绿素含量不再有显著影响。

## 2.3 盐胁迫下 AM 真菌对叶片质膜相对透性的影响

由表 2 可知, 无论是否接种 AM 真菌, 随着土壤电导率的增加, 生菜叶片质膜相对透性增加。当土壤电导率为  $1\ 236\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时, 生菜叶片质膜相对透性较  $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时显著增加; 当土壤电导率为  $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时, 叶片质膜相对透性虽然没有较  $1\ 236\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时大幅度增加, 但与低盐处理 ( $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$ ) 相比, 也已达到显著增加的水平。说明硝酸盐累积导致土壤电导率值过高时, 生菜叶片细胞质膜受到了伤害。

在同一土壤电导率下, 接种 AM 真菌能影响生菜叶片质膜相对透性。低盐水平 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) 下, 接种 BEG141 和 BEG167, 叶片质膜相对透性分别较不接种处理的低 24 % 和 22 %。但是当土壤电导率为  $1\ 236$  和  $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时, 接种 AM 真菌的生菜叶片质膜相对透性反而增大。

上述结果说明, 无论是否接种 AM 真菌, 随着土壤电导率的增加, 生菜均受到盐害作用; 但是在低盐水平下, 接种 AM 真菌稳定了宿主植物细胞膜的透性, 减轻了  $\text{NO}_3^-$  的渗透胁迫, 而在中高盐条件下, AM 真菌的侵染反而加剧了盐害程度。

表 2 不同盐水平下接种 AM 真菌对叶片可溶性糖、根系可溶性糖、叶片质膜相对透性和叶绿素的影响

Table 2 Effect of inoculation on concentrations of soluble sugar in leaf and root, chlorophyll and relative permeability of plasmamembrane in leaf of lettuce plants in soil different in soil EC

接种处理 Inoculation	土壤电导率 Soil EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	叶片可溶性糖 Soluble sugar in leaf ( $\mu\text{g g}^{-1}$ FW)	根系可溶性糖 Soluble sugar in root ( $\text{mg g}^{-1}$ DW)	质膜相对透性 Relative permeability of plasmamembrane (%)	叶绿素 Chlorophyll ( $\text{mg g}^{-1}$ FW)
- M	607	23.63 $\pm$ 3.14	376 $\pm$ 44	4.5 $\pm$ 0.7	0.53 $\pm$ 0.06
	1 236	6.34 $\pm$ 10.18	779 $\pm$ 30	9.0 $\pm$ 3.3	0.49 $\pm$ 0.08
	1 866	23.57 $\pm$ 11.00	926 $\pm$ 33	9.3 $\pm$ 2.1	0.60 $\pm$ 0.02
+ BEG141	607	13.20 $\pm$ 5.03	730 $\pm$ 40	3.4 $\pm$ 0.7	0.57 $\pm$ 0.06
	1 236	19.40 $\pm$ 1.26	550 $\pm$ 52	9.9 $\pm$ 1.4	0.61 $\pm$ 0.04
	1 866	21.77 $\pm$ 8.30	527 $\pm$ 156	12.0 $\pm$ 4.1	0.57 $\pm$ 0.05
+ BEG167	607	8.19 $\pm$ 2.34	459 $\pm$ 68	3.5 $\pm$ 0.6	0.65 $\pm$ 0.05
	1 236	22.66 $\pm$ 8.26	539 $\pm$ 35	12.6 $\pm$ 1.2	0.69 $\pm$ 0.16
	1 866	21.23 $\pm$ 12.14	400 $\pm$ 40	11.7 $\pm$ 3.3	0.61 $\pm$ 0.09

注: - M 表示不接种; 表中的数据为 4 次重复的平均值  $\pm$  标准误差 Note: - M indicates non-inoculated control. Values are means ( $n=4$ )  $\pm$  SE

## 2.4 盐胁迫下 AM 真菌对植株可溶性糖的影响

由表 2 可知, 无论接种菌根真菌与否, 生菜叶片可溶性糖含量呈现出随着土壤电导率的增加而大量增加的趋势。在同一盐水平下, 接种处理的生菜叶片可溶性糖较未接种处理的低。

在未接种处理下, 随着土壤电导率的增加, 生菜

根系可溶性糖显著增加; 在接种 BEG141 情况下, 随着土壤电导率的增加, 根系可溶性糖降低; 接种 BEG167 后, 当土壤电导率为  $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时, 根系可溶性糖显著低于土壤盐度为  $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时的。

与不接种处理相比, 在  $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$  下, 接种 BEG141 显著提高了植株根系可溶性糖, 但在  $1\ 236$

和  $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$  下,菌根植株根系可溶性糖较非菌根植株的低。

### 2.5 盐胁迫下 AM 真菌对植物体内磷、 $\text{NO}_3^-$ 浓度的影响

由表 3 可知,在不接种和接种 BEG141 条件下,高盐处理的植株磷浓度显著高于低盐和中盐处理的,而接种 BEG167 则表现为随着土壤盐度增加,植株含磷降低的趋势。

同一土壤电导率水平下,与未接种处理相比,在土壤电导率为  $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时,接种 BEG141 与 BEG167 均显著提高了生菜体内的磷浓度。当土壤电导率进一步提高时两种真菌改善植物磷营养的程度就不尽一致了:在  $1\ 236\ \mu\text{S cm}^{-1}$  下,接种 BEG141 无显著影响,而接种 BEG167 显著提高生菜磷浓度;  $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$  下,接种 BEG141 显著提高含磷量,而

接种 BEG167 则没有提高生菜磷浓度。这说明,接种 AM 真菌能改善植物的磷营养状况的能力受到土壤电导率的影响,不同菌种表现出不同的效应。

不接种条件下,生菜体内的  $\text{NO}_3^-$  水平随着土壤电导率的增加而增加;接种 BEG141 条件下,  $1\ 236\ \mu\text{S cm}^{-1}$  和  $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$  处理生菜体内  $\text{NO}_3^-$  水平高于  $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$  处理时的;接种 BEG167 条件下,  $1\ 236\ \mu\text{S cm}^{-1}$  和  $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$  处理生菜体内  $\text{NO}_3^-$  水平却低于  $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$  处理时的。

当土壤电导率为  $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$  和  $1\ 236\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时,接种 AM 真菌提高了植株体内  $\text{NO}_3^-$  浓度;当土壤电导率为  $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时,接种 AM 真菌对植株体内  $\text{NO}_3^-$  浓度无显著影响。

表 3 不同盐水平下接种 AM 真菌对生菜体内  $\text{NO}_3^-$  和磷浓度的影响

Table 3 Effect of inoculation on concentrations of  $\text{NO}_3^-$  and P in lettuce plants in soils different in soil EC

接种处理 Inoculation	土壤电导率 Soil EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg g}^{-1}\text{DW}$ )	P ( $\text{mg g}^{-1}\text{DW}$ )
- M	607	$6.36 \pm 0.65$	$0.99 \pm 0.04$
	1 236	$7.75 \pm 3.52$	$0.86 \pm 0.20$
	1 866	$9.53 \pm 4.71$	$1.26 \pm 0.04$
+BEG141	607	$10.94 \pm 2.47$	$1.46 \pm 0.06$
	1 236	$18.84 \pm 5.02$	$1.14 \pm 0.10$
	1 866	$11.35 \pm 1.99$	$2.00 \pm 0.33$
+BEG167	607	$15.65 \pm 6.41$	$1.85 \pm 0.38$
	1 236	$10.17 \pm 3.76$	$1.28 \pm 0.09$
	1 866	$7.71 \pm 2.54$	$1.24 \pm 0.32$

注: - M 表示不接种;表中的数据为 4 次重复的平均值  $\pm$  标准误差 Note: - M indicates non-inoculated control. Values are means ( $n=4$ )  $\pm$  SE

## 3 讨 论

当土壤电导率为  $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$  时,与非菌根植株相比,菌根植株具有较大的生物量和叶绿素含量以及较低的叶片质膜相对透性。这表明低盐胁迫下,AM 真菌能够减轻  $\text{NO}_3^-$  渗透胁迫的影响,显示出在次生盐渍化环境下,AM 真菌与蔬菜耐盐性之间存在直接的关系。AM 真菌与寄主植物的共生关系建立在 AM 真菌向植物提供矿质养分,而植物向 AM 真菌提供碳水化合物的基础之上。菌根这个碳库加强了对植物碳水化合物消耗的同时又增加了植物体内的磷浓度,而磷营养的改善是因为菌丝能够从距根表  $11.7\ \text{cm}$  的土壤中获得植物根系吸收不到的磷<sup>[15]</sup>。也就是说,在盐胁迫条件下,植物根部的可

溶性糖既起着维持渗透平衡的作用,又起着供应 AM 真菌生长发育需要的作用。

低盐胁迫下 ( $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$ ),菌根植株体内叶绿素含量显著增加,加强了光合作用,进而叶片向根系转移的可溶性糖的数量增加,补偿了 AM 真菌对碳水化合物的需求<sup>[16]</sup>。而根部可溶性糖浓度的增加会降低细胞质的渗透势,提高植物对渗透胁迫的抵抗力<sup>[9,17]</sup>。有资料表明,AM 真菌要消耗宿主  $10\% \sim 20\%$  的碳水化合物<sup>[18]</sup>。菌根是一个消耗有机物的活性库,为了维持自身生长,必须积累一定数量的可溶性碳源,如可溶性糖等,而这些物质从源到库的运输都需要磷帮助。在低盐胁迫下 ( $607\ \mu\text{S cm}^{-1}$ ),菌根植株含磷量的改善有利于可溶性糖向根系运输,导致根系细胞渗透势降低,增强对渗透胁迫的抵抗能力,菌根植株的耐盐能力提高,其生长量

高于非菌根植株。但是在中、高盐胁迫 ( $1\ 236$ 、 $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$ ) 条件下,生菜植株为了维持渗透平衡所需的可溶性糖增加,而此时 AM 真菌又大大消耗根系的可溶性糖,导致根系无法维持渗透平衡,所以菌根植株的耐盐性没有明显改善。甚至在高盐胁迫 ( $1\ 866\ \mu\text{S cm}^{-1}$ ) 下,接种 AM 真菌处理的生菜耐盐性低于不接种处理,即 AM 真菌所消耗的碳水化合物已超过它给宿主带来的效益。上述结果表明,在低盐条件下,AM 真菌可以保护生菜免遭  $\text{NO}_3^-$  累积所导致的渗透胁迫危害;而在高盐条件下,AM 真菌侵染进一步加剧了盐害的程度。

本试验观察到在  $\text{NO}_3^-$  的渗透胁迫下,根系可溶性糖的增加是菌根植株耐盐的重要机制,而磷营养状况的改善是其核心机理。在同一盐水平下,菌根植株叶片可溶性糖较非菌根植株低,但是叶片也要像根系一样抵抗渗透胁迫,那么是否还有其他渗透调节物质(如脯氨酸、甜菜碱等)大量合成,或者是否还有其他抗盐机制(如植物体内抗氧化机制)被菌根真菌侵染所强化,这些都值得进一步研究。

综上所述,AM 真菌广泛地存在于多种陆地生态系统中,在设施园艺中也不例外。因此,在评价次生盐渍化对蔬菜的危害时,应考虑到 AM 真菌的作用。

## 参考文献

- [ 1 ] 冯永军,陈为峰,张蕾娜,等. 设施园艺土壤的盐化与治理对策. 农业工程学报, 2001, 17(2): 111 ~ 114. Feng Y J, Chen W F, Zhang L N, *et al.* Soil salinization and countermeasures in protected horticulture (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2001, 17(2): 111 ~ 114
- [ 2 ] Li W Q, Zhang M, S. van Der Zee. Salt contents in soils under greenhouse gardening in China. Pedosphere, 2001, 11(4): 359 ~ 367
- [ 3 ] 李刚,张乃明,毛昆明,等. 大棚土壤盐分累积特征与调控措施研究. 农业工程学报, 2004, 20(3): 44 ~ 47. Li G, Zhang N M, Mao K M, *et al.* Characteristics of soil salt accumulation in plastic greenhouse and its control measures (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2004, 20(3): 44 ~ 47
- [ 4 ] 郭文忠,刘声峰,李丁仁,等. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望. 土壤, 2004, 36(1): 25 ~ 29. Guo W Z, Liu S F, Li D R, *et al.* Mechanism of soil salinization in protected cultivation (In Chinese). Soils, 2004, 36(1): 25 ~ 29
- [ 5 ] Bowen G. The biology and physiology of infection and its development. In: Safir G R. ed. Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. Boca Raton Fla: CRC Press, 1987. 27 ~ 57
- [ 6 ] 申连英,毛永民,鹿金颖,等. 丛枝菌根对酸枣实生苗耐盐性的影响. 土壤学报, 2004, 41(3): 426 ~ 433. Shen L Y, Mao Y M, Lu J Y, *et al.* Effects of arbuscular mycorrhizae on salt tolerance of wild jujube (*Zizyphus spinosus hu*) seedlings (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(3): 426 ~ 433
- [ 7 ] Boss J A, Bond E, Menge J A, *et al.* Effect of salinity on mycorrhizal onion and tomato in soil with and without additional phosphate. Plant and Soil, 1985, 88: 307 ~ 319
- [ 8 ] Copeman R H, Martin C A, Stutz J C. Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or nonsaline soils. HortScience, 1996, 31(3): 341 ~ 344
- [ 9 ] Feng G, Zhang F S, Li X L, *et al.* Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza, 2002, 12(4): 185 ~ 190
- [ 10 ] Rabie G H. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and kinetin on the response of mungbean plants to irrigation with seawater. Mycorrhiza, 2005, 15(3): 225 ~ 230
- [ 11 ] 刘志媛,朱祝军,钱亚榕,等. 等渗  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  和  $\text{NaCl}$  对番茄幼苗生长的影响. 园艺学报, 2001, 28(1): 31 ~ 35. Liu Z Y, Zhu Z J, Qian Y R, *et al.* Effect of iso-osmotic  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{NaCl}$  on growth of tomato seedlings (In Chinese). Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(1): 31 ~ 35
- [ 12 ] Giovannetti M, Mosse B. An evaluation of techniques for measuring vascular/arbuscular mycorrhizal infection in root. New Phytol., 1980, 84: 489 ~ 500
- [ 13 ] 李合生主编. 植物生理生化实验原理和技术. 北京:高等教育出版社, 2000. Li H S. ed. Principle and Technology of Plant Physiology and Biochemistry (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2000
- [ 14 ] 鲍士旦主编. 土壤农化分析(第三版). 北京:中国农业出版社, 2000. Bao S D. ed. Soil and Agricultural Chemistry Analysis (In Chinese). 3rd Ed. Beijing: China Agricultural Press, 2000
- [ 15 ] Awad A S, Edwaeds D G, Campbell L C. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. Crop Science, 1990, 30: 123 ~ 128
- [ 16 ] Wright D P, Scholes J D, Read D J. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repens* L. Plant, Cell & Environment, 1998, 21: 209 ~ 216
- [ 17 ] 李晓林,冯固. 丛枝菌根生态生理. 北京:华文出版社, 2001. Li X L, Feng G. Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants (In Chinese). Beijing: Hua Wen Press, 2001
- [ 18 ] Ruiz-Lozano J M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. Mycorrhiza, 2003, 13(6): 309 ~ 317

**EFFECT OF SALT STRESS AND AM FUNGI ON GROWTH OF LETTUCE**Zheng Yíyan Feng Gu<sup>†</sup>

( Key Laboratory of Plant Nutrition , MOA , Key Laboratory of Plant Soil Interactions , MOE ,  
College of Natural Resource and Environment Sciences , China Agricultural University , Beijing 100094 , China)

**Abstract** In order to test the hypothesis that arbuscular mycorrhizal fungi (AM fungi) can improve growth of vegetables cultivated in protected horticulture soils which was affected by secondary salinization as a result of over-fertilization , *Lactuca sativa* plants growing at three soil EC levels (607 , 1 236 and 1 866  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) were inoculated with *Gomus intraradices* (BEG141) and *Gomus mosseae* (BEG167) . Results show that with the increase in soil EC value , the lettuce decreased in biomass , but this decrement was greater in CK than in the inoculation treatment when soil EC was low , eg. 607  $\mu\text{S cm}^{-1}$  . Compared with the plants in CK , the inoculated plants had a higher  $\text{NO}_3^-$  concentration at the soil EC level of 607 and 1 236  $\mu\text{S cm}^{-1}$  , higher P and chlorophyll concentrations at the same soil EC level . and a higher soluble sugar concentration in the root when soil EC was 607  $\mu\text{S cm}^{-1}$  , but a lower when it was increased to 1 236 and 1 866  $\mu\text{S cm}^{-1}$  . The findings suggest that AM fungi can improve the growth of lettuce plants at a lower soil salt (607  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) level , but reduced the growth at a higher level (1 866  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) . Its possible mechanisms are to be discussed.

**Key words** AM fungus ; Protected soil ; Secondary salinization ; *Lactuca sativa* ; Soluble sugar