

# 丛枝菌根真菌对盐胁迫下黄瓜植株生长、果实产量和品质的影响\*

韩冰<sup>1,3</sup> 郭世荣<sup>1</sup> 贺超兴<sup>2\*\*</sup> 闫妍<sup>2</sup> 于贤昌<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>南京农业大学园艺学院, 南京 210095; <sup>2</sup>中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; <sup>3</sup>江苏省农业科学院蔬菜研究所, 南京 210014)

**摘要** 采用有机基质栽培, 选用盐敏感黄瓜品种‘津春2号’为试验材料, 研究了丛枝菌根真菌(AMF)对盐胁迫下黄瓜植株生长、矿质营养吸收、果实品质和产量的影响。结果表明: 接种AMF可以有效促进黄瓜植株生长和对矿质营养的吸收, 提高果实产量和改善蔬菜营养品质; 盐胁迫下, 黄瓜生长受到抑制, 植株体内N、P、K、Cu、Zn含量减少和 $K^+/Na^+$ 降低, 果实产量和可溶性蛋白、总糖、Vc、硝酸盐含量下降; 接种AMF可缓解盐胁迫对黄瓜生长的抑制作用, 使植株体内N、P、K、Cu和Zn含量分别比对照提高7.3%、11.7%、28.2%、13.5%和9.9%,  $K^+/Na^+$ 、果实产量、可溶性蛋白、总糖、Vc含量明显提高, 果实硝酸盐含量显著降低。表明AMF可通过促进盐胁迫下黄瓜植株对矿质营养的吸收, 促进植株生长, 增强植株对盐胁迫的耐性, 进而提高其产量和改善营养品质。

**关键词** 丛枝菌根真菌 黄瓜 盐胁迫 产量 营养品质

**文章编号** 1001-9332(2012)01-0154-05 **中图分类号** S642.2 **文献标识码** A

**Effects of arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on the plant growth, fruit yield, and fruit quality of cucumber under salt stress.** HAN Bing<sup>1,3</sup>, GUO Shi-rong<sup>1</sup>, HE Chao-xing<sup>2</sup>, YAN Yan<sup>2</sup>, YU Xian-chang<sup>2</sup> (<sup>1</sup>College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; <sup>2</sup>Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; <sup>3</sup>Institute of Vegetable Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2012, 23(1): 154–158.

**Abstract:** By adopting organic substrate culture, and salt-sensitive cucumber variety ‘Jinchun No. 2’ was used as test material, this paper studied the effects of inoculating arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on the plant growth, fruit yield, and fruit quality of cucumber under salt stress. AMF-inoculation could effectively promote the plant growth and nutrient uptake, and improve the fruit yield and fruit nutrient quality, compared with ordinary cultivation. Under salt stress, the plant growth was inhibited, and the plant N, P, K, Cu, and Zn contents and  $K^+/Na^+$  ratio, fruit yield, and fruit soluble protein, total sugar, vitamin C, and nitrate contents decreased, while inoculation with AMF could mitigate the inhibitory effect of salt stress on the plant growth, made the plant N, P, K, Cu, and Zn contents increased by 7.3%, 11.7%, 28.2%, 13.5%, and 9.9%, respectively, and made the plant  $K^+/Na^+$  ratio, fruit yield, and fruit soluble protein, total sugar, and vitamin C contents have an obvious increase and the fruit nitrate content have a significant decrease. It was suggested that AMF could promote the plant growth and nutrient uptake of cucumber under salt stress, increase the plant salt-tolerance, and improve the fruit yield and its nutrient quality.

**Key words:** arbuscular mycorrhiza fungi; cucumber; salt stress; yield; nutrient quality.

\* “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD12B03, 2011BADA4B01)、国家大宗蔬菜产业技术体系项目(CARS-2S-C-01)和农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目资助。

\*\* 通讯作者. E-mail: hechaoxing@126.com

2011-04-07 收稿, 2011-10-28 接受。

我国设施蔬菜生产中因追求高产而不合理地大量施用化肥和偏施氮肥,造成土壤盐分过量积累,严重影响了设施蔬菜生产的可持续发展。黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是设施栽培的重要蔬菜作物,在生产中也同样面临土壤次生盐渍化的严重威胁。盐分是影响作物生长和产量的主要环境因子<sup>[1]</sup>,盐胁迫会对作物产生离子毒害、渗透胁迫、营养失衡和氧化胁迫等危害<sup>[2]</sup>,从而导致作物减产或死亡。丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhiza fungi, AMF)能够通过感染植物根系与植物建立互惠互利的共生关系,是广泛存在于自然界中的一种真菌。土壤中的AMF对植物具有广泛的侵染性<sup>[3]</sup>,并依赖寄主植物的光合产物来维持自身的生长和繁殖,以不同途径影响植物的代谢过程<sup>[4]</sup>。特别是AMF还能增加植物对P、N等大量元素<sup>[5]</sup>和Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn等微量元素<sup>[6]</sup>的吸收,显著改善植物的营养状况,提高蔬菜产量和品质<sup>[7]</sup>,并增强植物对不良环境的抗性<sup>[8-9]</sup>,对于优质蔬菜生产具有重要意义。有关盐胁迫下AMF对蔬菜的影响研究多集中在苗期<sup>[10-11]</sup>,而对于成株期盐胁迫对蔬菜植株生长及果实产量和品质影响的研究还不多见。为此,本研究以黄瓜为试材,研究了AMF对盐胁迫下黄瓜植株生长、矿质营养吸收、产量和果实品质的影响,旨在为AMF在蔬菜生产中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料 with 处理

试验于2010年3—7月在中国农业科学院蔬菜花卉研究所日光温室内进行,供试黄瓜(*Cucumis sativus*)品种为‘津春2号’;接种菌种系来源于澳大利亚的菌剂,是青岛农业大学提供的摩西球囊霉属摩西球囊霉(*Glomous mosseae*,以下简称GMA)。育苗基质为草炭:蛭石=1:1的混合基质,将混合均匀后的基质于烘箱中160℃高温灭菌2 h,自然冷却后继续在160℃烘2 h后放凉;采用高和直径均为10 cm的塑料营养钵栽培,营养钵用75%酒精擦洗消毒。选取饱满一致的种子浸种催芽,待种子发芽后分别播于装有接种10 g菌剂和接种10 g灭菌接种物(保持营养物一致)的基质的营养钵中育苗(3月24日),昼温27~30℃、夜温16~18℃。

采用长塑料槽(60 cm×30 cm×30 cm)进行栽培,即黄瓜幼苗达到两叶一心后,选整齐一致的幼苗32株定植于装有有机土(腐熟秸秆、有机肥与土壤混合配制,氮140 mg·kg<sup>-1</sup>、磷737 mg·kg<sup>-1</sup>、钾

458 mg·kg<sup>-1</sup>、有机质46 g·kg<sup>-1</sup>)的塑料槽中,每槽2株。待幼苗达到四叶一心时(5月6日),进行0.6% NaCl处理。试验共设4个处理:1)对照(CK):未接菌苗,以清水灌溉;2)盐处理(S):未接菌苗,以0.6% NaCl灌溉;3)接菌处理(GMA):接菌苗,以清水灌溉;4)接菌盐处理(S+GMA):接菌苗,以0.6% NaCl灌溉。每4 d浇1次盐水,每槽3 L,最后一次处理后(第6次灌溉)可溶性盐含量(EC)值依次为0.9、4.2、1.0、4.1 d·Sm<sup>-1</sup>。为保证栽培槽内盐浓度,槽下放水盘,如有渗漏,将渗出液反倒回去,期间进行正常水分管理。第1次盐处理后20 d,分别进行植株株高、茎粗的测定。于最后1次处理结束后(5月24日),取各处理黄瓜果实进行品质指标测定。对整个试验期间的黄瓜小区计产后计算单株产量。于拉秧时(7月6日)进行植株地上部、地下部干鲜质量、矿质营养及菌根侵染率的测定。

### 1.2 测定方法

测量幼苗从子叶到生长点的高度记为株高;幼苗与子叶展开方向平行的子叶节的茎粗度记为茎粗。分别取幼苗地上部和地下部,用清水冲洗表面杂物,再用去离子水冲洗干净,擦干水分后,分别称鲜质量,105℃杀青15 min,75℃烘至恒量,称干质量。取根系30个根段采用苯胺蓝(aniline blue)染色镜检后,通过频率标准法计算菌根侵染率<sup>[12]</sup>。菌根依存度计算公式<sup>[13]</sup>:菌根依存度=(接种处理干质量-不接种处理干质量)/接种处理干质量×100%。植株地上部和根系分别于105℃杀青15 min,80℃下烘干,磨成粉末后过筛,称取地上部混样50 g和地下部混样10 g,用于全N、全P、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>含量的测定。用凯氏定氮仪测定全氮含量,钒钼酸比色法测定全磷含量,原子吸收分光光度计法测定K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>含量。每处理取1.5 kg果实混样测定品质指标,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250法测定<sup>[14]</sup>;Vc含量采用钼蓝比色法测定,可溶性总糖含量采用苯酚法测定,硝酸盐含量采用改进的紫外差减法测定<sup>[15]</sup>。

### 1.3 数据处理

采用SAS软件对数据进行统计分析,多重比较采用Duncan法(α=0.05)。

## 2 结果与分析

### 2.1 AMF对盐胁迫下黄瓜植株生长和菌根侵染率的影响

由表1可知,接种菌根显著促进了黄瓜植株的

生长,植株株高、茎粗、地上部和地下部鲜、干质量分别比对照增加 6.0%、11.9%、10.3%、19.7%、18.4%和 13.8%。盐胁迫下黄瓜生长受到明显抑制,各生长指标均明显低于对照,接种 AMF 可以明显缓解盐胁迫对黄瓜植株生长的抑制,植株株高、茎粗、地上部和地下部鲜、干质量分别比盐胁迫下增加 44.8%、29.5%、53.7%、45.3%、32.3%和 18.7%。盐胁迫使菌根侵染率降低 8.6%,但菌根依存度升高 56.9%,可见盐胁迫下接种菌根的效应更明显。

2.2 AMF 对盐胁迫下黄瓜植株矿质元素含量的影响

从表 2 可以看出,接种菌根促进了黄瓜植株对矿质元素的吸收,使其地上部和地下部 N、P、K、Cu 和 Zn 含量均显著高于对照。盐胁迫使黄瓜植株对 N、P、K、Cu 和 Zn 的吸收受到明显抑制,接种 AMF 可有效缓解盐胁迫的抑制效应,使植株地上部 N、P、K、Cu 和 Zn 含量分别比对照提高 7.3%、117%、28.2%、13.5%和 9.6%,地下部 N、P、K、Cu 和 Zn 含量分别比对照提高 6.1%、9.1%、4.4%、8.6%和

8.2%。  
2.3 AMF 对盐胁迫下黄瓜植株 Na<sup>+</sup>含量和 K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>的影响

由图 1 可知,盐胁迫下植株地上部和地下部 Na<sup>+</sup>含量分别为对照的 2.8 和 1.5 倍,K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>仅为对照的 27.0%和 60.9%;接种菌根使盐胁迫下植株地上部和地下部 Na<sup>+</sup>含量分别降低 11.5%和 11.6%,K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>分别提高 44.8%和 18.1%,有效减轻了 Na<sup>+</sup>的毒害作用。表明接种 AMF 可以通过增加植株体内各种矿质元素含量,减少 Na<sup>+</sup>的毒害作用,减轻盐胁迫对植株的伤害,从而促进植株生长。

2.4 AMF 对盐胁迫下黄瓜果实品质和产量的影响

由表 3 可以看出,接种菌根可以显著提高黄瓜果实产量,使总产量和单株产量分别比对照提高 4.7%和 7.9%。接种菌根还可明显改善黄瓜果实营养品质,使果实可溶性蛋白、总糖、Vc 含量分别比对照提高 29.0%、12.6%和 8.5%,硝酸盐含量比对照降低 17.1%。盐胁迫下黄瓜总产量和单株产量分别比对照减少 41.5%和 66.9%;果实可溶性蛋白、总

表 1 AMF 对盐胁迫下黄瓜植株生长和菌根侵染率的影响  
Table 1 Effects of AMF on plant growth and colonization rate of cucumber under salt stress

处理 Treatment	株高 Height ( cm )	茎粗 Stem diameter ( mm )	鲜质量 Fresh mass ( g )		干质量 Dry mass ( g )		菌根侵染率 AMF colonization rate( % )	菌根依存度 AMF dependence ( % )
			地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root		
CK	148. 2b	13. 5b	508. 4c	52. 2b	62. 3c	4. 1b	0	0
S	94. 5d	10. 3d	340. 6d	30. 2d	50. 7d	2. 3d	0	0
GMA	157. 0a	15. 1a	560. 9a	62. 5a	73. 8a	4. 7a	58. 0	15. 3
S+GMA	136. 9c	13. 4c	523. 5b	43. 9c	67. 1b	2. 7c	53. 0	24. 1

同列中不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

表 2 AMF 对盐胁迫下黄瓜植株矿质元素含量的影响  
Table 2 Effects of AMF on mineral element contents of cucumber under salt stress

处理 Treatment	N 含量 N content (%)		P 含量 P content (%)		K 含量 K content (%)		Cu 含量 Cu content (mg·kg <sup>-1</sup> )		Zn 含量 Zn content (mg·kg <sup>-1</sup> )	
	地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root
CK	3.2b	2.7b	0.74b	0.79b	2.6b	2.9b	11.3b	20.7c	103.0c	138.0b
S	2.9d	2.5d	0.63d	0.70d	2.0d	2.7d	10.4d	19.7d	115.0b	147.0b
GMA	3.5a	3.0a	0.92a	0.92a	2.8a	3.1a	12.7a	22.3a	115.1b	144.0b
S+GMA	3.1c	2.6c	0.72c	0.76c	2.5b	2.8c	11.8c	21.4b	126.0a	159.0a

表 3 AMF 对盐胁迫下黄瓜果实品质和产量的影响  
Table 3 Effects of AMF on fruit quality and yield of cucumber under salt stress

处理 Treatment	可溶性蛋白 Soluble protein (%)	总糖 Total sugar (%)	Vc (mg·kg <sup>-1</sup> )	硝酸盐 Nitrate (mg·kg <sup>-1</sup> )	小区瓜数 Total number	单株产量 Yield per plant (kg)	总产量 Total yield (kg)
CK	0.9b	2.5b	141b	469a	64b	1.46b	11.7b
S	0.8c	1.9d	112d	289c	49d	0.98d	8.0d
GMA	1.1a	2.8a	153c	389b	67a	1.58a	12.6a
S+GMA	1.1a	2.3c	122a	262d	54c	1.25c	10.2c

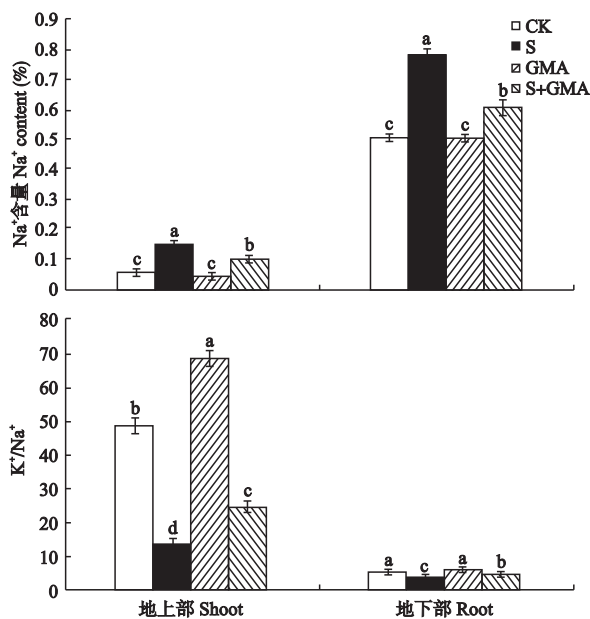


图1 AMF对盐胁迫下黄瓜植株地上部和地下部Na<sup>+</sup>含量及K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>的影响

**Fig.1** Effects of AMF on Na<sup>+</sup> contents and K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> in shoot and root of cucumber under salt stress (mean±SD).

不同字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level.

糖、Vc和硝酸盐含量均显著低于对照,接种AMF使盐胁迫下果实可溶性蛋白、总糖、Vc含量分别提高38.9%、17.2%和8.9%,硝酸盐含量降低9.3%,总产量和单株产量分别提高9.5%和28.3%。表明接种AMF可以减轻盐胁迫对植株的伤害,缓解盐胁迫对黄瓜产量和品质的不利影响。

### 3 讨 论

已有研究表明,接种AMF可以有效缓解盐胁迫下植物生长受到的抑制作用<sup>[16]</sup>,提高其地上部及地下部干物质质量<sup>[17-18]</sup>。本研究结果表明,接种AMF可以提高盐胁迫下黄瓜植株株高、茎粗、地上部和地下部鲜、干质量,显著促进植株生长。盐胁迫减少了AMF对黄瓜植株的侵染率,这与Trimble和Knowles<sup>[19]</sup>在黄瓜、Copeman等<sup>[20]</sup>在番茄上的研究结果一致。菌根依存度指接种AMF与未接菌相比对植株生长的效应,盐胁迫下接菌处理的菌根依存度高于正常接菌处理,说明与正常生长条件相比,盐胁迫下接种菌根对植株生长的促进作用更明显。

盐胁迫使植物细胞K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>下降<sup>[21]</sup>,对植物产生Na<sup>+</sup>毒害<sup>[22]</sup>,还会造成植物的营养亏缺<sup>[23]</sup>。接种AMF后,植物的根部会形成菌丝网促进根毛对水分和矿质养分特别是P的吸收<sup>[18]</sup>。本试验发现,接种

AMF可以使盐胁迫下黄瓜植株对N、P、K、Cu和Zn的吸收量增加,为植物的生长提供更多的矿质营养,有效缓解盐胁迫造成的营养亏缺。接菌AMF使盐胁迫下植株体内的K<sup>+</sup>含量和K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>升高,Na<sup>+</sup>含量下降,说明接种AMF会抑制植物对Na<sup>+</sup>的吸收,减轻Na<sup>+</sup>对植物的毒害作用,同时促进植物对K<sup>+</sup>的吸收,维持细胞内的离子平衡。植物接种AMF后,最直观的效应就是促进植株生长、提高产量<sup>[24-25]</sup>、改善品质<sup>[26-27]</sup>。吕桂云等<sup>[28]</sup>研究表明,接种AMF可显著提高黄瓜果实产量及Vc、可溶性糖、氨基酸和蛋白质含量。本试验中,接种菌根也显著提高了黄瓜果实的可溶性蛋白、总糖、Vc含量和产量,并降低了硝酸盐含量,与吕桂云等<sup>[28]</sup>的研究结果一致。但本研究还发现,盐胁迫下黄瓜果实的可溶性蛋白、总糖、Vc、硝酸盐含量和产量均显著低于对照,而接种AMF可以缓解盐胁迫对果实可溶性蛋白、总糖、Vc含量和产量的抑制效应,其硝酸盐含量也比盐胁迫下有所降低。表明接种AMF可明显改善盐胁迫下黄瓜果实的口感和品质,显著提高其产量,有效减轻盐胁迫对黄瓜产量和品质的不良影响。

综上所述,盐胁迫下接种AMF可以促进黄瓜植株对矿质营养的吸收,缓解盐胁迫造成的离子毒害和营养亏缺,从而促进植株株高和地上部、地下部的生长,提高果实品质和产量。

### 参考文献

- [1] Allakhverdiev SI, Sakamoto A, Nishiyama Y, et al. Ionic and osmotic effects of NaCl-induced inactivation of photosystems I and II in *Synechococcus* sp. *Plant Physiology*, 2000, **123**: 1047-1056
- [2] Liu Y-L (刘友良), Wang L-J (汪良驹). The response and resistant to salt stress of plant// Yu S-W (余叔文), Tang Z-C (汤章成), eds. *Plant Physiology and Molecular Biology*. 2<sup>nd</sup> Ed. Beijing: Science Press, 1998: 86-97 (in Chinese)
- [3] Serrano R, Gaxiola R. Microbial models and salt stress tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 1994, **13**: 121-138
- [4] Smith S, Read D. *Mycorrhizal Symbiosis*. London: Academic Press, 1997
- [5] He X-L (贺学礼), Liu T (刘 娟), Zhao L-L (赵丽莉). Effects of inoculating AM fungi on physiological characters and nutritional components of *Astragalus membranaceus* under different N application levels. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(9): 2118-2122 (in Chinese)
- [6] Wu Q-S (吴强盛), Zou Y-N (邹英宁), Xia R-X (夏仁学). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxygen metabolism of *Citrus tangerine* leaves under



- water stress. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(4): 825–830 (in Chinese)
- [7] Liu R-J (刘润进), Li M (李敏), Shi Z-Y (石兆勇), *et al.* Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on yield of peanut and sweet potato. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2003, **11**(1): 36–37 (in Chinese)
- [8] Song H-X (宋会兴), Peng Y-Y (彭远英), Zhong Z-C (钟章成). Photosynthetic responses of AMF-infected and AMF-free *Bidens pilosa* L. to drought stress conditions. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008, **28**(8): 3744–3751 (in Chinese)
- [9] Zhu X-C, Song F-B, Xu H-W. Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. *Plant and Soil*, 2010, **33**: 129–137
- [10] He Z-Q (贺忠群), He C-X (贺超兴), Zhang Z-B (张志斌). Study on osmotic adjustment mechanism of tomato salt tolerance enhanced by arbuscular mycorrhizal fungi. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2007, **34**(1): 147–152 (in Chinese)
- [11] Cengiz K, Muhammed A, Osman S. The influence of arbuscular mucorrhizal colonization on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. *Scientia Horticulturae*, 2009, **121**: 1–6
- [12] Kormanik PP, McGraw AC. Quantification of VA mycorrhizae in plant roots// Schenk NC, ed. *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. MN, USA: American Phytopathological Society, 1982: 37–45
- [13] Takacs T, Voros I. Effect of metal non-adapted arbuscular mycorrhizal fungi on Cd, Ni and Zn uptake by ryegrass. *Acta Agronomica Hungarica*, 2003, **51**: 347–354
- [14] Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 1976, **72**: 248–254
- [15] He Z-F (何仲复). The improvement of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NO}_2^-$ -N determination method in fresh samples of vegetables and fruits. *Agro-Environmental Protection* (农业环境保护), 1995, **14**(1): 46–48 (in Chinese)
- [16] Yanomelo AM, Saggin OJ, Maia LC. Tolerance of mycorrhized banana (*Musa* sp. cv. *pacovan*) plantlets to saline stress. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, **95**: 343–348
- [17] Feng G (冯固), Zhang F-S (张福锁). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on saline tolerance in cotton. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2003, **11**(2): 22–24 (in Chinese)
- [18] Sharifi M, Ghorbanli M, Ebrahimzadeh H. Improved growth of salinity-stressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Physiology*, 2007, **164**: 1144–1156
- [19] Trimble M, Knowles N. Influence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, carbohydrate partitioning and mineral nutrition of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants during establishment. *Canadian Journal of Plant Science*, 1995, **75**: 239–250
- [20] Copeman RH, Martin CA, Stutz JC. Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or monsaline soil. *HortScience*, 1996, **31**: 313–318
- [21] Ning J-F (宁建凤), Zheng Q-S (郑青松), Yang S-H (杨少海), *et al.* Impact of high salt stress on *Apocynum venetum* growth and ionic homeostasis. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(2): 325–330 (in Chinese)
- [22] Tester M, Davenport R.  $\text{Na}^+$  tolerance and  $\text{Na}^+$  transport in higher plants. *Annals of Botany*, 2003, **91**: 503–527
- [23] Zheng Q-S (郑青松), Liu H-Y (刘海燕), Long X-H (隆小华), *et al.* Effects of salt stress on ionic absorption and distribution of rapeseed seedlings. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences* (中国油料作物学报), 2010, **32**(1): 65–70 (in Chinese)
- [24] Shi Z-Y (石兆勇), Diao Z-K (刁志凯), Xu Q (徐倩), *et al.* Effects of media and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of watermelon. *Journal of Laiyang Agricultural College* (Natural Science) (莱阳农学院学报·自然科学版), 2006, **23**(1): 1–6 (in Chinese)
- [25] Qin H-B (秦海滨), He C-X (贺超兴), Zhang Z-B (张志斌), *et al.* The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of cucumber in greenhouse. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University* (Natural Science) (内蒙古农业大学学报·自然科学版), 2007, **28**(3): 69–72 (in Chinese)
- [26] Wang Y-F (王玉峰). The application effect of VA fungi in potato. *China Vegetables* (中国蔬菜), 2007(2): 30–31 (in Chinese)
- [27] Guo T, Zhang J, Christie P, *et al.* Influence of nitrogen and sulphur fertilizers and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on yield and pungency of spring onion. *Journal of Plant Nutrition*, 2006, **29**: 1767–1778
- [28] Lü G-Y (吕桂云), Chen G-L (陈贵林), Qi G-H (齐国辉), *et al.* Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and fruit quality of plastic greenhouse *Cucumis sativus* L. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(12): 2352–2356 (in Chinese)

作者简介 韩冰,女,1984年生,硕士研究生.主要从事设施蔬菜逆境生理生态研究. E-mail: hanbing372@tom.com

责任编辑 张凤丽