

# 丛枝菌根真菌对不同番茄品种幼苗素质的影响

王倡宪<sup>1</sup>, 李晓林<sup>2</sup>, 宋福强<sup>3</sup>, 王哲琛<sup>4</sup>

(1. 黑龙江大学 农业资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 中国农业大学 资源与环境学院, 农业部植物营养学重点开放实验室, 北京 100094; 3. 黑龙江大学 生命科学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 4. 黑龙江农垦职业学院, 黑龙江 哈尔滨 150025)

**摘要:** 采用盆栽试验的方法, 于两个番茄品种旭日与金龙粉王育苗时分别接种 *G. mosseae* 以明确该 AM 真菌在培育壮苗中的潜力。结果表明, *G. mosseae* 显著的改善了两个番茄品种幼苗的素质, 但是金龙粉王较旭日的接种效应明显。旭日与金龙粉王接种 *G. mosseae* 后, 壮苗指数分别为相应不接种处理的 2.38 倍与 3.49 倍。菌根化幼苗的健壮生长在一定程度上依赖于 *G. mosseae* 对氮、磷养分吸收的显著促进作用。*G. mosseae* 对氮吸收的菌根效应分别为 47.50% 与 87.52%, 对磷吸收的菌根效应分别为 23.08% 与 64.74%。结果表明, 将该 AM 真菌作为潜在的生物肥料引入设施番茄生产培育健壮幼苗是可行的。

**关键词:** 番茄; *G. mosseae*; 幼苗素质; N, P 养分吸收

中图分类号: S432.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2010)增刊-0149-05

## Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungus on Qualities of Different Cultivars Tomato (*Lycopersicon esculentum*) Seedlings

WANG Chang-xian<sup>1</sup>, LIXiao-lin<sup>2</sup>, SONG Fu-qiang<sup>3</sup>, WANG Xizhen<sup>4</sup>

(1. College of Agricultural Resources and Environmental Sciences, Heilongjiang University, Harbin 150080, China; 2. College of Agricultural Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 3. College of Life Science, Heilongjiang University, Harbin 150080, China; 4. Heilongjiang Nongken Vocational College, Harbin 150025, China)

**Abstract** To evaluate the potential of *G. mosseae* in improving the qualities of tomato seedlings, two cultivars Xuri and Jinlongfenwang were selected and pots experiment was conducted. The results indicated that the qualities of seedlings were both improved by inoculating with *G. mosseae* when the seeds were sown, but *G. mosseae* is much efficient in mycorrhizal effect on Jinlongfenwang seedlings which is perfect symbiosis. The indexes of seedlings' quality are 2.38 and 3.49 times for Xuri and Jinlongfenwang respectively compared with the corresponding control. Mycorrhizal effectiveness of *G. mosseae* on N uptakes are 47.50% and 87.52%, and P uptakes are 23.08% and 64.74% for Xuri and Jinlongfenwang respectively. So it is practical to culture strong seedlings by apply *G. mosseae* as a potential biofertilizer in tomato production under protected conditions.

**Key words** Tomato; *G. mosseae*; Quality of seedlings; Uptakes of nitrogen and phosphorus

丛枝菌根 (Arbuscular mycorrhiza, AM) 是广泛分布于各类生态系统中一类重要共生体, 它是由丛枝菌根真菌侵染寄主植物根系后形成的互惠共生体, 其互惠性体现为真菌与寄主间营养的双向交换, 即 AM 真菌从寄主获得碳水化合物以满足其自身代谢的需要, 同时, 其外生菌丝能从介质中吸收多种矿质

营养及水分并转运至植物体内满足寄主生长的需求, 丛枝是该类共生体的典型结构。寄主与真菌间的共生效应受寄主、AM 真菌及外界条件等诸多因素的影响<sup>[1]</sup>。优良的共生体组合不仅能改善寄主的营养状况, 而且在改善土壤结构、修复生态环境、提高寄主抗逆性中发挥着重要作用<sup>[2]</sup>。

番茄营养丰富, 鲜美可口, 是人们喜食的蔬菜之

收稿日期: 2010-10-11

基金项目: 国家自然科学基金 (30571493); 黑龙江大学校青年基金 (Q1200530)

作者简介: 王倡宪 (1974-), 女, 内蒙古包头人, 副教授, 博士, 主要从事菌根生物技术研究。

一,其栽培适应范围广,种植效益高,是设施条件下栽培的主要蔬菜种类之一。目前,设施番茄栽培面积逐步扩大<sup>[3]</sup>。但是包括番茄在内的设施蔬菜产业发展过程中因过度依赖肥料与农药而引发的资源浪费及环境污染等一系列现实问题却不容忽视<sup>[4]</sup>。鉴于AM真菌的有益作用,近年来国内外就AM真菌与番茄的共生效应也进行过许多研究,且这些研究主要集中于单一或多个AM菌种对番茄生长及抗病性的影响<sup>[5-11]</sup>。而同一种AM真菌与不同番茄品种的共生效应却鲜见报道,设施生产中番茄品种却多种多样,为此,本试验以当地主栽的两个番茄品种为研究对象,于番茄育苗时接种同一种AM真菌,研究该AM真菌对番茄幼苗素质及氮、磷养分吸收的影响,同时明确该AM真菌与不同番茄品种间的共生效应差异,从而筛选出适宜的共生体组合,为设施番茄生产中利用AM真菌培育壮苗、以减少氮、磷肥及农药的投入提供科学的论据及技术支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

AM真菌:优势种为 *Glaucus mosseae*,以河沙为基质,玉米为宿主,经多孢诱导培养后扩繁出的优良菌种,试验中所用AM菌剂包括AM真菌的孢子、菌丝及侵染根段。

宿主:番茄(品种为旭日与金龙粉王,为当地设施的主栽品种),将吸胀的番茄种子用10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>进行表面消毒5 min,然后用灭菌蒸馏水冲洗干净,最后将其放在铺有湿润滤纸的培养皿里28℃黑暗催芽。

育苗基质:蛭石,湿热间歇灭菌2 h。

育苗容器:营养钵(上口径10 cm,下口径6 cm,高12 cm),将盆钵用70%的酒精表面消毒备用。

### 1.2 试验设计

试验共设4个处理,①旭日接种 *G. mosseae*(+ *G. mosseae*);②旭日不接种 *G. mosseae*(- *G. mosseae*);③金龙粉王接种 *G. mosseae*(+ *G. mosseae*);④金龙粉王不接种 *G. mosseae*(- *G. mosseae*),其中+和-分别表示接种与不接种处理,每处理30盆,共计120盆。

### 1.3 植物培养

先将育苗基质与AM菌剂按质量比为1:2混合均匀,然后装入64孔育苗盘,并调节至适宜水分含量,将筛选出的芽长近1 cm的均一种子播于其中,每孔播种2颗,出苗后留1株。未接种处理以等量灭菌的AM菌剂代替,同时浇灌10 mL菌剂滤液,以保证AM菌剂中其他微生物种类的一致性。7 d后,

将子叶完全展开的幼苗连同混合基质同时移入营养钵,每隔2 d浇灌Hoagland营养液,幼苗生长35 d后收获。

### 1.4 指标测定及方法

收获后每处理随机取15株,迅速分割地上部与根系,将根系冲洗干净后剪成1 cm的根段,用根段法测定菌根侵染率<sup>[12]</sup>,同时测定株高、茎粗、叶面积与叶绿素含量<sup>[13]</sup>;各处理其余15株用于干质量、全氮及全磷含量测定。全氮与全磷含量采用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮,流动注射分析仪(FIA)测定。

菌根效应(%) = (接种AM真菌处理鲜质量 - 未接种处理鲜质量) / 接种处理鲜质量 × 100

壮苗指数 = 茎粗 × 株高 × 叶面积 × 全株干质量

### 1.5 试验数据统计

试验数据应用SAS 6.12统计软件的二因素方差分析处理,应用LSD方法进行多重比较,显著水平取0.05( $P \leq 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 AM真菌对番茄幼苗生长及素质的影响

由表1可知:两个番茄品种间在株高、叶面积与叶绿素含量这三个指标上差异显著;育苗时是否接种 *G. mosseae*对两个番茄品种幼苗的株高、茎粗与叶面积有显著影响;番茄品种与 *G. mosseae*间不存在交互作用。

株高、茎粗、叶面积均是用于度量植株长势的基本参数。在本研究中,除叶绿素含量外,旭日与金龙粉王两个番茄品种于育苗时接种 *G. mosseae*处理的株高、茎粗、叶面积均显著大于其各自相应的对照。其中,就叶面积而言,旭日与金龙粉王接种 *G. mosseae*处理分别为其相应对照的1.68倍与1.97倍,即金龙粉王的接种效应较旭日明显。两番茄品种接种 *G. mosseae*后,叶绿素含量虽然与各自相应的对照间差异不显著,但育苗时接种 *G. mosseae*仍可促进叶绿素含量的增加。

表2的结果说明:两个番茄品种间在地上部干质量、地下部干质量上存在显著差异;育苗时接种 *G. mosseae*对两个番茄品种的地上部干质量、地下部干质量、根冠比均产生了显著影响;番茄品种与 *G. mosseae*间不存在交互作用。

植株干质量是用于反映植株生物量积累状况的重要指标之一。本研究中,旭日与金龙粉王两个番茄品种于育苗时接种 *G. mosseae*处理的地上部干质量与地下部干质量均显著大于其各自相应的对照,即育苗时接种 *G. mosseae*可显著促进旭日与金龙粉

王生物量的积累。旭日接种 *G. mosseae* 后, 地上与地下部干质量分别是其自身不接种处理的 1.67 倍与 1.63 倍, 接种 *G. mosseae* 的金龙粉王, 地上与地下部干质量分别为其自身对照的 1.89 倍和 1.47 倍, 由此可见, *G. mosseae* 对两番茄品种地上部的促生作用优于地下部。旭日与金龙粉王接种 *G. mosseae*

处理植株的干重分别为其相应对照的 1.66 倍与 1.82 倍。与上述 *G. mosseae* 对番茄品种叶面积的影响相似, 即金龙粉王的接种效应较旭日明显。旭日接种 *G. mosseae* 后, 植株根冠比与其自身的对照间差异不显著, 金龙粉王接种 *G. mosseae* 后植株根冠比明显小于其自身的对照。

表 1 *G. mosseae*对番茄幼苗长势的影响

Tab 1 Effects of *G. mosseae* on growth parameters of tomato seedlings

番茄品种 Tomato cultivars	AM 真菌 AM Fungus <i>G. mosseae</i>	株高 / ( × 10 <sup>-2</sup> m) Height	茎粗 / ( × 10 <sup>-2</sup> m) Stem diameter	叶面积 / ( × 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> ) LA	叶绿素含量 / (mg/g) Content of chlorophyll (a + b)
旭日	+	11.60 ± 0.83a	0.33 ± 0.02a	94.70 ± 5.36a	0.99 ± 0.02b
Xuri	-	8.16 ± 0.23b	0.27 ± 0.01b	56.50 ± 5.12b	0.81 ± 0.15b
金龙粉王	+	13.02 ± 0.66a	0.36 ± 0.01a	80.98 ± 4.67a	1.65 ± 0.05a
Jinlongfenwang	-	9.26 ± 0.28b	0.25 ± 0.01b	41.08 ± 5.36c	1.59 ± 0.08a
方差分析 ANOVA		P 值 P values			
番茄品种 Tomato cultivars		0.039 7	0.600 3	0.011 9	< 0.000 1
AM 真菌 AM Fungus		< 0.000 1	< 0.000 1	< 0.000 1	0.209 1
番茄品种 × AM 真菌 Interactions between Tomato cultivars and AM fungus		0.779 8	0.128 4	0.870 8	0.542 4

注: 表中“+”和“-”分别表示接种与未接种处理; 表中数值为 15次重复测定的均值 ±标准误; 同列不同字母表示差异显著, 相同字母表示差异不显著。下同。

Notes “+”, inoculation; “-”, Uninoculation; the values are means of fifteen replicates ±SE; Significant difference (LSD,  $P \leq 0.05$ ) is indicated by different letters within the same columns. The same as followed.

表 2 *G. mosseae*对番茄幼苗生物量及素质的影响

Tab 2 Effects of *G. mosseae* on biomass and qualities of tomato seedlings

番茄品种 Tomato cultivars	AM 真菌 AM fungus <i>G. mosseae</i>	干质量 / (g/株) Dry weight		根冠比 Ratio of roots to shoots	壮苗指数 Indexes of seedlings' quality
		地上部 Shoots	根系 Roots		
旭日	+	0.159 3 ± 0.009 9a	0.028 1 ± 0.002 3a	0.176 2 ± 0.01a	0.512 6 ± 0.048 6a
Xuri	-	0.095 4 ± 0.009 2b	0.017 2 ± 0.002 1b	0.180 7 ± 0.01a	0.215 7 ± 0.038 0c
金龙粉王	+	0.135 5 ± 0.009 4a	0.019 1 ± 0.002 0a	0.140 6 ± 0.006 b	0.349 1 ± 0.043 0b
Jinlongfenwang	-	0.071 8 ± 0.007 1b	0.0130 ± 0.000 2b	0.180 6 ± 0.02a	0.099 9 ± 0.021 5c
方差分析 ANOVA		P 值 P values			
番茄品种 Tomato cultivars		0.017 6	0.002 6	0.183 9	0.002 5
AM 真菌 AM Fungus		< 0.000 1	0.000 3	0.029 6	< 0.000 1
番茄品种 × AM 真菌 Interactions between Tomato cultivars and AM fungus		0.991 2	0.222 8	0.051 8	0.549 7

2.2 AM 真菌对番茄幼苗氮、磷养分吸收的影响

表 3 的结果表明: 两个番茄品种间 N 浓度、N 含量存在极显著差异; 接种 *G. mosseae* 与否极显著地影响两个番茄品种中的 N 浓度与 N 含量; 番茄品种与 AM 真菌间仅在 N 浓度上存在显著的交互作用。

对于金龙粉王而言, 接种 *G. mosseae* 的幼苗叶片中 N 浓度显著高于其相应的对照; 对旭日来说, 接种 *G. mosseae* 的幼苗叶片中 N 浓度高于相应的对照, 但差异不显著。

金龙接种 *G. mosseae* 后, 植株全氮量明显高于相应对照; 旭日接种 *G. mosseae* 处理的幼苗, 其植株全氮量也明显高于相应对照; 这说明 *G. mosseae* 可

促进两个番茄品种幼苗植株根系对氮的吸收, 改善植物的氮素营养。菌根效应是指在一定条件下, AM 真菌促进植物生长效应的大小, 可用来预测某个菌种或菌株在该植物上的应用潜力。在本研究中, 金龙接种该真菌后, 菌根效应较旭日高。

由表 4 可知, 两个番茄品种间 P 浓度、P 含量及 P 利用率存在极显著差异; AM 真菌 *G. mosseae* 仅对番茄幼苗叶片中的 P 含量有极显著影响; 番茄品种与 AM 真菌 *G. mosseae* 在番茄幼苗 P 浓度、全 P 含量及 P 利用上存在交互作用, 且二者联合对上述指标产生了显著影响。

表 3 *G. mosseae*对番茄幼苗氮吸收的影响  
Tab 3 Effects of *G. mosseae* on nitrogen absorption of tomato seedlings

番茄品种 Tomato Cultivars	AM 真菌 AM fungus <i>G. mosseae</i>	N 含量 % Nitrogen concentration	N 吸收量 /(mg/株) Nitrogen absorption	菌根效应 % Mycorrhizal effect
旭日	+	5.46±0.081a	981.02±81.3a	47.50
Xuri	-	4.86±0.055a	515.02±54.5c	
金龙粉王	+	5.20±0.066a	755.06±65.5b	87.52
Jinlongfengwang	-	1.30±0.021b	94.2±21.0d	
方差分析 ANOVA			P 值 P Values	
番茄品种 Tomato cultivars		< 0.000 1	< 0.000 1	-
AM 真菌 AM fungus		< 0.000 1	< 0.000 1	-
番茄品种 × AM 真菌 Interactions between Tomato cultivars and AM fungus		< 0.000 1	0.144 0	-

表 4 *G. mosseae*对番茄幼苗磷吸收的影响  
Tab 4 Effects of *G. mosseae* on phosphorus absorption of tomato seedlings

番茄品种 Tomato cultivars	AM 真菌 AM fungus <i>G. mosseae</i>	P 含量 % Phosphorus concentration	P 吸收量 /(mg/株) Phosphorus absorption	菌根效应 % Mycorrhizal effect
旭日	+	0.92±0.03b	165.1±12.27a	23.08
Xuri	-	1.21±0.05a	126.99±12.26b	
金龙粉王	+	0.90±0.03b	132.4±12.91ab	64.74
Jinlongfengwang	-	0.65±0.04c	46.68±5.31c	
方差分析 ANOVA		P 值 P Values		
番茄品种 Tomato cultivars		< 0.000 1	< 0.000 1	-
AM 真菌 AM fungus		0.572	< 0.000 1	-
番茄品种 × AM 真菌 Interactions between Tomato cultivars and AM fungus		< 0.000 1	< 0.05	-

接种 *G. mosseae* 处理的金龙粉王幼苗叶片中 P 浓度显著高于其相应的对照。而旭日育苗时接种 *G. mosseae* 显著降低了叶片中的 P 浓度, 结合两番茄品种的长势, 这可能是由于接种 *G. mosseae* 的旭日品种长势比对照组好, 其地上部生物量明显高于对照组, 吸收到体内的磷被稀释。与各自不接种的对照相比, 两个番茄品种于育苗时接种 *G. mosseae* 均显著提高了植株的全磷含量, 且以金龙粉王的效应为高, 这一方面说明 *G. mosseae* 能够促进两个番茄品种幼苗对磷的吸收, 另一方面, *G. mosseae* 对 P 吸收的促进效应因番茄品种而异, 两个番茄品种相比, 金龙粉王的接种效应更明显。

3 讨论

试验结果表明, *G. mosseae* 与旭日、金龙粉王两个番茄品种都能建成菌根共生体, 且该 AM 真菌对幼苗体内氮、磷营养水平及幼苗素质均表现出了显著的改善作用。但是该 AM 真菌与两个番茄品种形成菌根共生体的能力不同, 表现为共生体建成后菌根侵染率的差异, 接种 AM 真菌 4 周后, 旭日的菌根侵染率超过 50%, 而金龙粉王仅为 42%。此外, 该 AM 真菌对两个番茄品种幼苗的生长及氮、磷养分吸收的促进效应也不同, 金龙粉王育苗时接种 *G.*

*mosseae* 的菌根效应较旭日明显。

菌根效应是一个用于度量宿主对 AM 真菌响应的可靠指标, 它是指在一定条件下, AM 真菌促进植物生长效应的大小, 该指标可用来预测某个菌种或菌株在该植物上的应用潜力。菌根效应受 AM 真菌种类、寄主、土壤养分水平及光照等诸多因素的影响<sup>[14]</sup>。江龙等<sup>[15]</sup>在研究 AM 真菌对烟苗生长及某些生理指标的影响中证实, AM 真菌的菌根效应取决于真菌、宿主、土壤生态条件、真菌与寄主之间的协调性等, 其中真菌和宿主的因素尤为重要。徐敏等<sup>[16]</sup>在 AM 真菌对姜生长和产量的影响认为, 只有接种合适的 AM 真菌才能显著提高生姜叶片和根中磷含量。结合本研究结果, 认为, 金龙粉王与 *G. mosseae* 是较理想的共生体组合。

根、冠间功能均衡的关系常用根冠比表示, 且常表现为冠合成的碳水化合物和根系吸收的水分和养分优先供应起限制作用的部分<sup>[17]</sup>。本试验中, 两个番茄品种与 *G. mosseae* 的共生能力虽然不同, 但在共生体的发育阶段都存在 AM 真菌和宿主根系争夺有限的碳水化合物的问题, 导致根系的生长因为碳源的不足而受到限制, 表现为接种处理幼苗的根冠比小于对照, 尤其是菌根效应明显的金龙粉王, 其菌

根化幼苗的根冠比显著小于相应的对照。

氮是植物体叶绿素的组分, 而叶绿素是高等植物进行光合作用最重要的色素, 因此, 植物体内的叶绿素及全氮含量会直接或间接地影响植物体光合作用的速率及光合产物的形成。本研究中, 接种 *G. mosseae* 可在一定程度上促进旭日与金龙粉王幼苗叶绿素含量的增加及氮素的吸收, 从而提高幼苗的光合能力, 最终体现为菌根化幼苗地上部干重显著高于非菌根化苗。当然, 菌根化幼苗地上部生物量的显著积累与接种 *G. mosseae* 后幼苗叶面积的显著增加也有关。任志雨等<sup>[18]</sup>在研究 *G. mosseae* 对津优2号黄瓜的生长及矿质养分吸收的影响时发现, 接种 AMF 处理明显地增加了黄瓜幼苗的生长势、叶片叶绿素含量, 并且认为: 接种 AMF 处理对黄瓜幼苗的叶面积影响较大。

目前, 关于 AM 真菌能改善贫磷土壤上宿主的磷营养水平的观点已为国际社会所公认。本研究中, 两个番茄品种育苗时接种 *G. mosseae* 能显著促进幼苗对磷的吸收, 而磷在植物体内不仅参与光合过程中碳水化合物代谢, 同时, 光合产物的运输也离不开磷。因此, AM 真菌对幼苗生长的促进作用在一定程度上与磷营养的改善有关。

设施番茄生产过程中育苗是一个很重要的环节, 结合本研究结果, 可以将 *G. mosseae* 引入设施番茄育苗环节, 充分利用该 AM 真菌与金龙粉王间较高的亲和性, 为设施番茄生产培育壮苗, 同时在一定程度上减少氮、磷肥的投入, 进而减轻设施生产中因过度施肥带来的环境污染。

## 参考文献:

- [1] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal Symbiosis [M]. The third edition New York: Academic Press, 2008: 117–145.
- [2] Siddiqui Z A, Akhtar M S, Futai K. Mycorrhizae Sustainable Agriculture and Forestry [M]. Netherlands: Springer, 2008: 6–14.
- [3] 王玉军, 朱志娟, 吴祖斌. 大棚早春番茄无公害栽培 [J]. 农业装备技术, 2008, 34(6): 45.
- [4] 张真和. 我国设施蔬菜生产中的问题与对策 [J]. 中国蔬菜, 2009(1): 1–3.
- [5] Pozo M J, Azcón-Aguilar C, Dumas-Gaudot E, et al.  $\beta$ -1,3-Glucanase activities in tomato roots inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and/or *Phytophthora parasitica* and their possible involvement in bioprotection [J]. Plant Science, 1999, 141: 149–157.
- [6] Pozo M J, Cordier C, Dumas-Gaudot E. Localized versus system ic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defense responses to *Phytophthora* infection in tomato plants [J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(368): 525–534.
- [7] Vigo C, Normana JR, Hooker JE. Biocontrol of the pathogen *Phytophthora parasitica* by arbuscular mycorrhizal fungi is a consequence of effects on infection loci [J]. Plant Pathology, 2000, 49: 509–514.
- [8] Guilo L, Giovanni D A, Nadia M, et al. Mycorrhiza-induced differential response to a yellow s disease in tomato [J]. Mycorrhiza, 2002, 12: 191–198.
- [9] 贺忠群, 贺超兴, 张志斌, 等. 不同丛枝菌根真菌对番茄生长及相关生理因素的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 308–312.
- [10] 任志雨, 贺超兴, 孙世海, 等. 丛枝菌根真菌对番茄幼苗生长和矿质元素吸收的影响 [J]. 北方园艺, 2008, 4: 35–37.
- [11] 龙良鲤, 黎志坤, 姚青, 等. 番茄菌根化育苗及对青枯病的防治试验 [J]. 中国蔬菜, 2009, 4: 52–55.
- [12] Phillips J M, Hayan D S. Improved procedures for cleaning and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection [J]. Trans Brit Mycol Soc, 1970, 55: 158–160.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134–137.
- [14] Gerde mann J W. Vesicular-arbuscular mycorrhizae [C] // Torrey J G, Clarkson D T. The Development and Function of Roots London UK: Academic Press, 1975: 575–591.
- [15] 江龙, 李竹枚, 黄建国, 等. AM 真菌对烟苗生长及某些生理指标的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 156–161.
- [16] 徐敏, 史庆华, 李敏. AM 真菌对姜生长和产量的影响 [J]. 山东农业科学, 2002, 4: 22–23.
- [17] 陈晓远, 高志红, 罗远培. 植物根冠关系 [J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(5): 555–562.
- [18] 任志雨, 贺超兴, 孙世海, 等. 丛枝菌根真菌对黄瓜幼苗生长和矿质元素吸收的影响 [J]. 长江蔬菜: 学术版, 2008, 11(1): 34–36.