

# 接种 AM 真菌对烤烟生长、营养及抗旱性的影响

周霞<sup>1</sup> 梁永江<sup>2</sup> 张长华<sup>2</sup> 陈小明<sup>2</sup> 黄建国<sup>1</sup>

(1. 西南大学 资源环境学院 重庆 北碚 400716; 2. 贵州省烟草公司遵义市公司 贵州 遵义 530000)

**摘要:** 试验利用漂浮育苗技术, 接种丛枝菌根真菌根内球囊霉(*Glomus intraradices* 193, 编号 BEG-193)、幼套球囊霉(*Glomus etunicatum*, 编号 BEG-168 和 BGC-HEB07A) 生产菌根烟苗, 研究了 AM 真菌对烤烟生长、营养和抗旱性的影响。结果表明, 烟苗生长对水分供应比较敏感, 轻度干旱使它们的生物量降低 27.24%。在干旱条件下, 接种 BEG-193 和 BGC-HEB07A 的烟苗生物量显著高于不接种, 接种 BEG-168 无效。接种 AM 真菌总体上有益于提高烟苗的氮、磷、钾含量和吸收量。此外, 干旱使叶片丙二醛含量显著增加了 1.71 倍(轻度干旱)和 5.56 倍(重度干旱); 而只有在重度干旱条件下叶绿素含量和根系活力才会显著降低, 说明干旱容易造成膜脂氧化伤害。接种 AM 真菌之后, 干旱时叶片丙二醛含量低于但叶绿素含量和根系活力高于不接种的烟苗, 说明接种 AM 减轻了干旱对细胞膜的伤害作用, 并保持了较强的光合作用和养分吸收能力。接种 AM 真菌对烟苗生物量、营养状况、丙二醛、叶绿素和根系活力的影响因菌株不同而异, 也与干旱程度有关。在生产菌根苗的过程中, 选择适宜的菌株是必要的。

**关键词:** AM 真菌; 烤烟; 营养; 干旱

中图分类号: S572 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)03-0181-05

## Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth Nutrition and Drought Resistance of Flue-cured Tobacco Seedlings

ZHOU Xia<sup>1</sup>, LIANG Yong-jiang<sup>2</sup>, ZHANG Chang-hua<sup>2</sup>, CHEN Xiao-ming<sup>2</sup>, HUANG Jian-guo<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Zunyi Company of Guizhou Tobacco Company, Zunyi 530000, China)

**Abstract:** Flue-cured tobacco seedlings were grown in the culture boxes floating on nutrient solution and inoculated without and with *Glomus intraradices* 193 (BEG-193) and *Glomus etunicatum* 168 and HEB07A (BEG-168 and BGC-HEB07A), respectively. Thereafter, the seedlings were used to investigate the growth, nutrition and drought resistance. The results indicated the sensitivity of the seedlings to water stress and the decrease in biomass by 27.24% in light drought compared with normal water supply. The seedling biomasses inoculated with BEG-193 and BGC-HEB07A were higher than that without inoculation, while there was no difference between BEG-168 inoculation and non-inoculation. Fungal inoculation increased generally in the concentration and absorption of nitrogen, phosphorus and potassium. In addition, malondialdehyde increased by 1.71 (light drought) and 5.56 folds (serious drought), respectively. However, chlorophyll and root activity were reduced only in serious drought condition. The results suggested easy damage of membrane lipids under water stress. It was observed the lower malondialdehyde but the higher chlorophyll and root activity following fungal inoculation compared with non inoculation. Therefore, fungal inoculation might reduce the damages of membrane lipids and keep photosynthesis and root activity. It is necessary to point out the influence of fungal inoculation on growth, nutrition, malondialdehyde, chlorophyll and root activity varied in fungal strains and drought degrees. Suitable fungal strains should be selected in tobacco seedling cultivation.

**Key words:** Arbuscular mycorrhizal fungus; Flue-cured tobacco; Nutrition; Drought

收稿日期: 2012-02-17

基金项目: 贵州省烟草专卖局重大科技项目(2006-4); 遵义烟草公司科技项目(2007-11)

作者简介: 周霞(1985-), 女, 新疆伊犁人, 在读硕士, 主要从事菌根研究。

通讯作者: 黄建国(1959-), 男, 四川仁寿人, 教授, 博士生导师, 主要从事微生物与植物营养研究与教学工作。

烤烟(*Nicotiana L.*)是我国的主要经济作物,广泛分布于西南地区。由于云贵高原属于太平洋和印度洋季风气候,春季干旱缺水,夏季伏旱频繁,严重影响烤烟生长发育和产量品质。在烤烟育苗时主要采用漂浮、湿润和肥土等设施育苗,水分管理至关重要。在干旱条件下,烤烟叶绿素含量降低,光合作用受到抑制,硝酸还原酶活性降低,影响氮代谢<sup>[1-3]</sup>。当土壤含水量为最大田间持水量的55%时,烤烟株高、茎围、单株叶面积和有效叶片数分别为正常供水的66.1%、83.5%、77.4%和83.3%<sup>[4]</sup>。但是,不同烤烟品种的抗旱能力差异显著,K326对水分亏缺比较敏感,干旱对云烟87生长发育的影响相对较小<sup>[5-6]</sup>。烤烟在不同生育时期对水分胁迫的敏感性也不一样,伸根期最为敏感,旺长期次之,成熟期相对不敏感<sup>[7]</sup>。此外,增施钾肥能提高烤烟的抗旱性,减少产量损失,改善烟叶品质<sup>[5-6]</sup>。提高烤烟的抗旱性对于提高烟叶产量,改善品质,烟农增收有重要意义。

丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)是寄主植物与AM真菌形成的共生体<sup>[8-11]</sup>。菌根的根外菌丝可扩大吸收水分的空间,增强根系吸收水分的能力,改变内源激素平衡,进而提高寄主的抗旱性<sup>[12]</sup>。烤烟感染AM真菌之后,根冠比增加,萎蔫率降低,抗旱性增强<sup>[13]</sup>。此外,AM真菌还能促进烟苗吸收养分。接种AM真菌BEG-168显著提高烟苗氮、磷、钾含量,接种BEG-193显著提高烟苗含磷量<sup>[14]</sup>。所以,AM真菌既可改善烟苗营养,又可提高抗旱性,烟苗营养与抗旱性有一定联系。在烤烟育苗过程中,接种AM真菌越早,侵染率越高<sup>[15]</sup>。

目前,80%以上的烤烟采用集中式漂浮育苗,为AM真菌的应用奠定了基础。试验利用漂浮育苗技术生产菌根烟苗,研究了AM真菌对烤烟幼苗生长、营养和抗旱性的影响。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

供试土壤为重庆市北碚区的灰棕紫泥土,肥力中等,有机质17.92 g/kg、全氮4.08 g/kg、全磷0.94 g/kg、全钾13.32 g/kg、碱解氮36.27 mg/kg、有效磷6.575 mg/kg、速效钾121.9 mg/kg、pH值6.61。烤烟品种为K326(*Nicotiana tabacum L.*)包衣种。供试菌种为根内球囊霉1株(*Glomus intraradices* Smith&Schenck, BEG Number 193, 简称BEG-193), 幼套球囊霉2株(*Glomus etunicatum* Becker&Gerdemann, BEG Number 168, 简称BEG-168, BGC-HEB07A)。BEG168和BEG193由中国农业大学李晓林教授惠

赠,BGC-HEB07A购自北京农科院。试验前经白三叶草(*Trifolium repens L.*)和玉米(*Zea mays L.*)扩繁后得到由孢子、菌丝、菌根节段和培养基质组成的菌剂。用漂浮育苗技术,按照李建伟等<sup>[14]</sup>的接种和育苗方法,获得非菌根和3种菌根烟苗。

### 1.2 试验设计

采集0~20 cm的耕作层土壤,拣去杂物,风干,磨细过1 mm筛,121℃蒸汽灭菌2 h。然后,装入17 cm×15 cm的塑料钵中,每钵装土600 g。每千克土壤施用纯氮0.1 g, N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:1:2,由硝酸铵、磷酸氢二钾和硫酸钾提供。每盆种植均匀一致的烟苗1株,正常浇水。成活15 d后,用重量法分别保持土壤含水量为田间最大持水量(23%)的(55±2)% (重度干旱)、(65±2)% (轻度干旱)和(75±2)% (正常供水)。试验在烤烟生长季节进行,自然温度与光照,培育烟苗45 d。

### 1.3 测定项目与方法

收获烟苗根系,洗净后剪成1.5 cm长的根段,用0.01%酸性乳酸甘油染色后,在显微镜下,采用根段频率标准法<sup>[16-17]</sup>估算烟苗根系AM真菌侵染率。取第1片完全展开叶分别用TBA比色法<sup>[18]</sup>、丙酮乙醇混合提取-比色法<sup>[19]</sup>和TTC法<sup>[20]</sup>测定叶片中的丙二醛和叶绿素含量,以及根系活力。用H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>消化植株样品,分别用凯氏法、钼锑抗比色法和火焰光度法测消化液中的氮、磷、钾含量<sup>[21]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用Excel进行基本计算,SPSS 18.0统计软件进行统计分析,显著水平为 $P = 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 AM真菌对烟苗的侵染率的影响

由图1可知,烟苗侵染率因AM真菌菌株不同而异,又因干旱程度不同而发生变化。平均侵染率BEG-193最高(35.46%),BEG-168次之(27.81%),BGC-HEB07A最低(24.95%)。干旱显著降低了BEG-168的侵染率,但对BEG-193和BGC-HEB07A无显著影响。

### 2.2 AM真菌对烟苗生长的影响

由图2可知,干旱显著抑制了烟苗生长,生物量(以湿质量计)平均降低了27.24% (轻度干旱)和51.35% (重度干旱)。AM真菌不同菌株对烟苗生长的影响各异,也因干旱程度不同而发生变化。在正常供水条件下,接种BGC-HEB07A显著促进烟苗生长,生物量比对照提高了15.37%,接种BEG-193和BEG-168对烟苗生长无显著影响。在轻度干旱

条件下,接种 BEG-193 和 BGC-HEB07A 显著促进烟苗生长,生物量比不接种的处理分别提高了 29.01% (BEG-193) 和 38.33% (BGC-HEB07A),接种 BEG-168 对烟苗生长无显著影响。在重度干旱条件下,接种 BEG-193 的效果最好,烟苗生物量增加了 48.95%,BGC-HEB07A 次之,烟苗生物量增加了 26.54%,BEG-168 仍然无效。

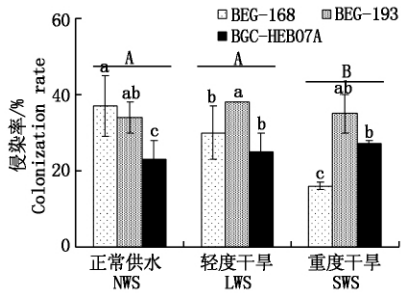


图1 干旱与接种 AM 真菌对烟苗侵染率的影响

Fig.1 Colonization rate of AM fungi to flue-cured tobacco seedlings under different drought conditions

2.3 AM 真菌对烟苗营养状况的影响

2.3.1 AM 真菌对烟苗氮含量及吸收量的影响

表1 干旱与接种 AM 真菌对烟苗养分含量与吸收量的影响

Tab.1 Effect of drought and mycorrhizal inoculation on nutrient content and uptake by tobacco seedlings

	氮 Nitrogen		磷 Phosphorus		钾 Potassium	
	含量/%	吸收量/(mg/株)	含量/%	吸收量/(mg/株)	含量/%	吸收量/(mg/株)
	Content	Absorption	Content	Absorption	Content	Absorption
NWS						
CK	0.69f	0.87d	0.33e	0.42b	1.72cd	2.13b
BEG-168	0.90e	1.13c	0.38bcd	0.48a	1.64de	2.08b
BEG-193	1.14c	0.81d	0.35cde	0.25c	1.95ab	1.41d
BGC-HEB07A	1.69b	2.42a	0.38bcd	0.55a	1.62e	2.36a
LWS						
CK	1.10cd	0.56f	0.41ab	0.29c	1.68cde	1.22e
BEG-168	0.90e	0.81d	0.41ab	0.25c	1.88b	1.17e
BEG-193	1.95a	1.12c	0.44a	0.26c	1.91b	1.12e
BGC-HEB07A	1.65b	1.92b	0.38bc	0.44b	1.60e	1.87c
SWS						
CK	0.75ef	0.39f	0.34d	0.16d	1.35f	0.65f
BEG-168	1.29c	0.50f	0.39bc	0.15d	2.01a	0.77f
BEG-193	0.91de	0.64e	0.41ab	0.27c	1.61e	1.14e
BGC-HEB07A	1.22c	0.75de	0.35cd	0.22cd	1.74c	1.09e

注: 在同一列中,有不同小写字母者表示差异显著( $P = 0.05$ )。下同。

Note: In each column, date followed by different letters are significantly different at  $P = 0.05$ . The same as below.

2.3.2 AM 真菌对烟苗磷含量及吸收量的影响

干旱显著降低吸磷量,平均值分别降低了 19.76% (轻度干旱) 和 32.80% (重度干旱)。接种 AM 真菌后,烟苗含磷量和吸收量显著提高或无显著变化(正常供水时 BEG-193 例外,比对照显著降低)。此外,AM 真菌对烟苗含磷量和吸收量的影响程度因菌株不同而异,干旱程度不同,菌根效应也不一样。

干旱显著降低了吸氮量,平均值分别降低了 11.59% (轻度干旱) 和 50.23% (重度干旱)。接种 AM 真菌显著提高烟苗含氮量(轻度干旱接种 BEG-168 例外,与不接种相似)和氮素吸收量(正常供水接种 BEG-193 例外,与不接种相似),分别增加了 17.58% ~ 59.17% (含氮量) 和 22% ~ 64.05% (吸收量)。此外,AM 真菌对烟苗含氮量和吸收量的影响程度因菌株不同而异,且因干旱程度不同而发生变化(表 1)。

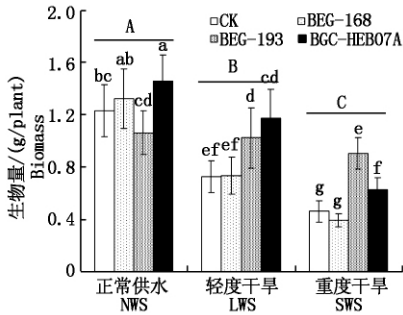


图2 干旱与接种 AM 真菌对烟苗生物量的影响

Fig.2 Effect of drought and mycorrhizal inoculation on the biomass of flue-cured tobacco seedlings

2.3.3 AM 真菌对烟苗钾含量及吸收量的影响

干旱显著降低了吸钾量,平均值分别降低了 31.95% (轻度干旱) 和 51.36% (重度干旱)。接种 AM 真菌后,烟苗含钾量有增有降或无显著变化;吸钾量显著增加或无明显变化(正常供水接种 BEG-193 例外,比对照显著降低)。与氮磷相似,AM 真菌对烟苗含钾量和吸收量的影响程度因菌株不同而

异,且因干旱程度不同而发生变化。

#### 2.4 干旱和接种 AM 真菌对部分生理指标的影响

2.4.1 干旱和接种 AM 真菌对丙二醛的影响 在干旱条件下,膜脂发生过氧化作用产生丙二醛(以鲜质量计)。由图 3 可知,干旱显著提高叶片丙二醛含量,重度干旱 > 轻度干旱 > 正常供水,平均值依次为 8.40, 3.47, 1.28  $\mu\text{mol/g}$ 。此外,正常供水条件下,接种 AM 真菌对叶片丙二醛含量无显著影响,其含量变化在 2.10 ~ 2.30  $\mu\text{mol/g}$  之间;轻度干旱条件下,接种 AM 真菌显著降低叶片丙二醛含量,但不同菌株之间无显著差异;在重度干旱条件下,接种 AM 仍然显著降低叶片丙二醛含量,分别比不接种降低 20% (BGC-HEB07A), 32% (BEG-168), 34% (BEG-193)。

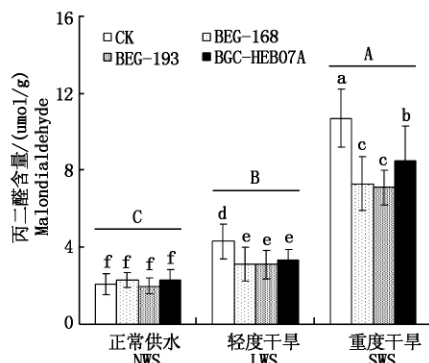


图 3 干旱与接种 AM 真菌对烟苗丙二醛含量的影响

Fig. 3 Influence of drought and mycorrhizal inoculation on the malondialdehyde of flue-cured tobacco seedlings

#### 2.4.2 干旱和接种 AM 真菌对叶绿素含量的影响

由图 4 可知,轻度干旱对烤烟叶绿素含量(以鲜质量)无显著影响,重度干旱显著降低叶绿素含量,平均比正常供水降低了 29%。此外,接种 AM 真菌提高烤烟叶绿素含量,平均值分别比不接种提高了 37% (BEG-168), 29% (BEG-193), 46% (BGC-HEB07A)。

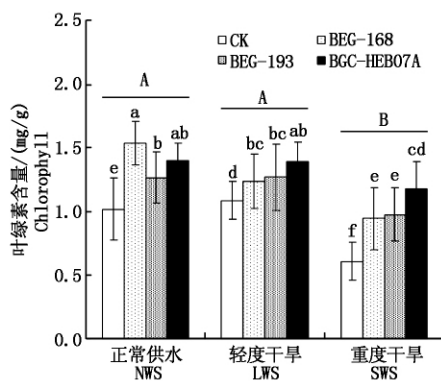


图 4 干旱与接种 AM 真菌对烟苗叶绿素含量的影响

Fig. 4 Influence of drought and mycorrhizal inoculation on chlorophyll content of flue-cured tobacco seedlings

#### 2.4.3 干旱和接种 AM 真菌对根系活力的影响

由图 5 可知,轻度干旱对根系活力无显著影响,重度干旱显著降低根系活力,平均比正常供水降低了 34%。接种 AM 真菌显著提高根系活力,提高幅度因菌株和干旱程度不同而异。就平均值而言,根系活力分别比对照提高了 26% (BEG-193), 38% (BEG-168), 43% (BGC-HEB07A)。

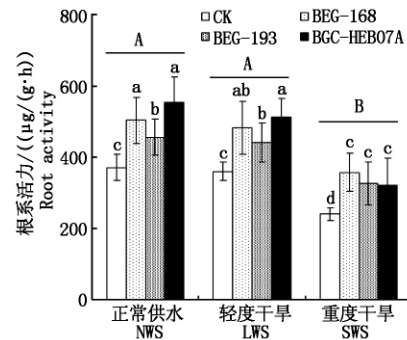


图 5 干旱和接种菌根真菌对烤烟根系活力的影响

Fig. 5 Influence of drought and mycorrhizal inoculation on the root activities of flue-cured tobacco

### 3 讨论

轻度干旱(土壤含水量为最大田间持水量的  $(65 \pm 2)\%$ )即可显著抑制烟苗生长,说明烟苗对水分供应比较敏感。目前,烤烟育苗主要采用集中式漂浮育苗技术,为 AM 菌根烟苗的大规模生产奠定了基础。试验利用漂浮育苗技术生产菌根烟苗移栽至盆钵,在干旱条件下,菌株感染率与生物量无显著相关( $r = 0.1014$ ,  $n = 8$ ),接种 BEG-193 和 BGC-HEB07A 的烟苗生物量显著高于对照(不接种),接种 BEG-168 无效。说明 AM 真菌的不同菌株对烟苗抗旱性的影响因菌株而异,针对性地选择适宜的菌株,用于提高烟苗的抗旱性是必要的。

干旱显著降低烟苗氮、磷、钾等养分的吸收量。相关分析表明,根系活力与烟苗氮、磷、钾吸收量的相关系数分别为  $r_N = 0.791$  ( $n = 12$ ),  $r_P = 0.718$  ( $n = 12$ ),  $r_K = 0.711$  ( $n = 12$ ),达到显著水平。考虑到根系活力是根系代谢和养分吸收能力的重要指标之一,故推测在干旱条件下,烟苗养分吸收量减少与根系活力降低有关。在大多数情况下,接种 AM 真菌之后,烟苗含氮量和氮素吸收量提高,含磷量和吸收量显著提高或无显著变化,这与贺学礼等<sup>[22]</sup>的研究结果相一致,烟苗含钾量有增有降或无显著变化。因此,接种 AM 真菌总体上有益于改善烟苗干旱条件下的营养状况。柯世省<sup>[23]</sup>谈到 AM 真菌对植物氮磷钾以及微量元素和碳素的影响时,认为其主要作用机理在于扩大宿主根系吸收面积、分泌酸性物质以及调节宿主内源激素含量,但 AM

真菌对烟苗养分含量和吸收量的影响程度因菌株不同而异,这可能与不同 AM 真菌的生物学特性有关。方宇澄等<sup>[24]</sup>在全国 12 个主要烟区分离出的 33 种 AM 真菌中,有 23 种都是球囊霉属,包括本试验选用的摩西球囊霉、幼套球囊霉和根内球囊霉。

在干旱条件下,叶片丙二醛含量显著增加,分别增加了 1.71 倍(轻度干旱)和 5.56 倍(重度干旱);而只有在重度干旱条件下叶绿素含量和根系活力才显著降低,说明叶片丙二醛含量对水分条件十分敏感,即使轻度干旱也能造成膜脂氧化伤害。值得注意的是,接种 AM 真菌之后,干旱时,叶片丙二醛含量低于、但叶绿素含量和根系活力高于不接种的烟苗,说明接种 AM 减轻了干旱对细胞膜的伤害作用,并保持了较强的光合作用和养分吸收能力。

本研究中土壤含水量设置了 3 个水平,轻度干旱对烟苗的生长影响不是很明显,应在下阶段的研究中多设置几个梯度。另外,在生长的后期,烟叶尤其是不接种处理呈现微黄、表现出缺氮的症状。故推测,有可能在试验前施氮量偏低,在下一阶段试验中可适量增加氮肥施用量,或者定期在不同生长期补充。

若想探明 AM 真菌发挥菌根效应的机制,须在分子水平上进行相关研究,下一步将同时进行大田试验,并结合分子生物学技术作相应的研究。

AM 菌根是 AM 真菌与寄主植物形成的共生体。研究表明,AM 菌根的外延菌丝广泛分布于土壤中,极大地增加了根系吸收水分和养分空间,有益于改善寄主植物的营养状况和提高抗旱能力。烤烟属于阔叶作物,需水量大。育苗移栽到田间之后,正值西南地区的少水干旱季节,缓苗期较长,影响烟株生长发育和产量形成。提高烟苗的抗旱性和缩短缓苗期等是烤烟栽培中亟待解决的生产问题。

总之,干旱不同程度地影响烟苗生长、养分含量与吸收等,接种 AM 真菌生产菌根烟苗可提高烟苗抗旱性,包括提高生物量、影响烟苗营养、减轻膜伤害、提高叶绿素含量和根系活力等,但作用大小因菌株不同而异。

#### 参考文献:

- [1] 郭卫华,李波,黄永梅,等. 不同程度的水分胁迫对沙棘幼苗生理生态特征的影响[J]. 植物学报, 2003, 45(10): 1238-1244.
- [2] 黄建国. 植物营养学[M]. 北京: 林业出版社, 2004: 357-358.
- [3] 言勇,颜合洪. 气候因子对烟草品质影响的研究进展[J]. 作物研究, 2009, 23(5): 339-344.
- [4] 陈亚,袁玲,习向银. 干旱胁迫对烤烟影响的研究进展[J]. 甘肃联合大学学报: 自然科学版, 2008, 2(2): 68-72.
- [5] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 102-140.
- [6] 张晗,孙向前,李福泉,等. 优质烟草的栽培技术[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(1): 189-190.
- [7] 王军,王益奎,李鸿莉,等. 水分胁迫对烟草生长发育的影响研究进展[J]. 广西农业科学, 2004, 35(6): 440-442.
- [8] 刘润进,陈应龙. 菌根学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-404.
- [9] 刘润进,李晓林. 丛枝菌根及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-198.
- [10] 李晓林,冯固. 丛枝菌根生态生理[M]. 北京: 华文出版社, 2001: 1-301.
- [11] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal Symbiosis [M]. 3rd edition. London: Academic Press, 2008: 1-187.
- [12] 张瑞,于林清,孟根花,等. 丛枝菌根对植物抗盐碱性的影响及其在紫花苜蓿上的研究展望[C]//中国草学会. 2009 年中国草原发展论坛论文集. 呼和浩特: 农业部草原监理中心, 2009: 765-767.
- [13] Davies F T Jr, Olalde-Portugal V, Aguilera-Gomez L, et al. Alleviation of drought stress of Chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. cv. San Luis) with AM indigenous to Mexico [J]. Scientia Horticulture, 2002(92): 347-359.
- [14] 李建伟,江龙,袁玲. 不同施肥量条件下 AM 真菌对烟苗生长及营养状况的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1190-1195.
- [15] 江龙,李竹枚,黄建国. 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, 15(1): 156-160.
- [16] Phillips J M, Hayman D S. Improve procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection [J]. Trans Brit Mycol Soc, 1970, 55: 158-161.
- [17] Jakobsen I, Abbott L K, Robson A D. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. I. Spread of hyphae and phosphorus in flow into roots [J]. New Phytol, 1992, 120(3): 371-379.
- [18] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 1-289.
- [19] 杨敏文. 快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨[J]. 光谱实验室, 2002, 19(4): 478-481.
- [20] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 1-328.
- [21] 杨剑虹. 土壤农化分析与环境监测[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008: 37-75.
- [22] 贺学礼,赵丽莉,李生秀. 水分胁迫和 VA 菌根对绿豆生长的影响[J]. 核农学报, 2000, 14(5): 290-294.
- [23] 柯世省. 丛枝菌根与植物营养[J]. 生物学教学, 2007, 32(8): 4-5.
- [24] 方宇澄,黄镇,刘延荣. 烟草 VA 菌根菌区系研究[J]. 中国烟草学报, 2000, 6(4): 26-30.