

用了不同酸度的流动相,结果表明所选条件峰形较好、较稳定。对于检测波长的选择,天麻中多数成分的吸收在 220、270 nm,但 220 nm 醋酸有吸收,因此最终选择检测波长为 270 nm。

3.3 参照峰的选择:天麻素、对羟基苯甲醇和巴利森苷均为天麻中高质量分数的活性组分,但天麻素和对羟基苯甲醇的质量分数不稳定,有共轭互变关系且保留时间也不如巴利森苷稳定,因此选择巴利森苷作为参照峰。

3.4 指纹峰的选择:本实验没有考虑保留时间在 5 min 之前的峰,因为实验选择了尽可能低的有机相起始体积分数 2%,并在两相流动相中添加了酸抑制剂,所以 5 min 之前的峰为在反相柱上未分离的峰。

3.5 指纹峰的特征性:已鉴定的 12 个指纹峰中有 7 个为天麻活性成分,它们是天麻素、对羟基苯甲醇、对羟基苯甲醛、巴利森苷、巴利森苷 B、巴利森苷 C 和 4,4'-二羟基苜蓿。3 个核苷类成分尿苷、鸟苷

和腺苷为天麻中首次鉴定,文献报道其有增强免疫作用,推测它们可能为天麻的潜在活性成分。这些成分均为天麻特征成分,因此本实验所选择的指纹峰具有较强的特征性可以用来控制天麻质量。

References:

[1] Ch P (中国药典) [J]. Vol 1. 2005.  
 [2] Zhao Y K, Cao Q E, Xiang Y Q, et al. Identification and determination of active compound in *Gastrodia elata* Bl. by capillary electrophoresis [J]. *J Chromatogr A*, 1999, 849 (1): 277-283.  
 [3] Li H X, Ding M Y, Yu J Y. Simultaneous determination of *p*-hydroxybenzaldehyde, *p*-hydroxybenzyl alcohol, 4-(*D*-glucopyranosyloxy)-benzyl alcohol, and sugars in *Gastrodia elata* Blume measured as their acetylated derivatives by GC-MS. [J]. *J Chromatogr Sci*, 2001, 39(6): 251-254.  
 [4] Luo G A, Wang Y M, Cao J, et al. A study on establishing modern standard system to control the quality of traditional Chinese medicine in our nation. [J]. *World Sci Tech: Mod Tradit Chin Med* (世界科学技术—中药现代化), 2002, 4 (4): 5-11.  
 [5] Xiao R, Yuan Z F, Wang C Y, et al. Fingerprints of *Scutellaria baicalensis* from different habitats by HPLC. [J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2005, 36(5): 743-747.  
 [6] Miao A D, Sun D J. Application of microsoft 2000 to calculate the similarity in fingerprints in Chinese herbs. [J]. *Prog Pharm Sci* (药学进展), 2003, 27(1): 51-54.

施磷量和 AM 真菌对柴胡生长的交互效应

赵丽莉<sup>1</sup>,滕华容<sup>2</sup>,贺学礼<sup>1,2</sup>

(1. 河北大学生命科学学院,河北 保定 071002; 2. 西北农林科技大学生命科学院,陕西 杨凌 712100)

摘要:目的 研究不同施磷水平下接种 AM 真菌摩西球囊霉 *Glomus mosseae*、苏格兰球囊霉 *G. caledonium* 和两者的混合菌剂对柴胡 *Bupleurum chinense* 生长的影响。方法 采用盆栽试验与室内分析相结合的方法。结果 接种 AM 真菌提高了柴胡根系菌根侵染率,增加了植株磷的量和根干质量;叶片叶绿素、类胡萝卜素和可溶性糖的量明显高于对照株,而接种混合菌种的柴胡根可溶性糖的量低于对照株;AM 真菌接种效应因菌种和施磷量不同而变化,施磷量为 0.1~0.3 g/kg 时接种效果最好。结论 接种 AM 真菌有利于柴胡生长,提高磷肥利用率。

关键词:AM 真菌;施磷量;生长量;柴胡

中图分类号:R282.2 文献标识码:A 文章编号:0253-2670(2006)09-1405-05

Effects of AM fungi on growth of *Bupleurum chinense* under different phosphorus levels

ZHAO Li-li<sup>1</sup>, TENG Hua-rong<sup>2</sup>, HE Xue-li<sup>1,2</sup>

(1. College of Life Science, Hebei University, Baoding 071002, China; 2. Northwest Agriculture & Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: Objective The effects of AM fungi on the growth of *Bupleurum chinense* were investigated by inoculation *Glomus mosseae*, *G. caledonium*, and the two fungal mixture under different phosphorus levels. Methods Pot culture and experimental analyses were carried out. Results Mycorrhizal infection rate could be promoted by inoculation and increased phosphorus content of plant and root dry weight; the content of chlorophyll, carotenoids, and soluble sugar of leaf was higher than that of controlled plant, and the soluble sugar content of plant root by inoculation the two fungal mixtures were lower than that of

收稿日期:2005-10-12

基金项目:国家自然科学基金项目(40471637);河北大学自然科学基金重点项目(Z200405)

作者简介:赵丽莉(1964—),女,陕西省富平县人,副教授,主要从事植物生理生化和分子生物学方面的教学和研究工作,在该领域已发表论文 15 篇。 Tel: (0312)4101908 E-mail: zhao3615@tom.com

controlled plant. The inoculation effect of AM fungi was closed related to AM fungal species and phosphorus applied levels, which was the best under 0.1—0.3 g/kg  $P_2O_5$  soil. **Conclusion** The growth of host plant and using rate of phosphorus fertilizer can be promoted by inoculation of AM fungi.

**Key words:** AM fungi; phosphorus applied levels; growth amount; *Bupleurum chinense* DC.

AM(arbuscular mycorrhiza)真菌广泛分布于陆地生态系统中,能与绝大多数植物形成共生关系,扩大根系的吸收范围,增加植物对土壤中矿质元素(特别是磷素)和水分的吸收,从而促进植物生长发育<sup>[1,2]</sup>。但 AM 真菌对植物的有益作用受生态条件影响很大,其中土壤磷的有效性是重要的影响因子之一。要充分发挥 AM 真菌的增产作用,就必须了解菌根发挥最大效应的适宜条件。本试验在土培下初步研究了施磷量和接种 AM 真菌对柴胡生长的影响,以便为充分利用 AM 真菌资源提高柴胡产量和品质提供依据。

## 1 材料和方法

1.1 材料:供试土壤取自河北大学土壤耕作层(0~20 cm),装盆前过 2 mm 筛混匀,土壤含有机质 17.3 g/kg,碱解 N 40.9 mg/kg,速效 P 9.1 mg/kg,速效 K 167.8 mg/kg,pH( $H_2O$ )7.69。

供试植物种子由西北农林科技大学农科院提供,并鉴定为北柴胡。AM 真菌接种剂是摩西球囊霉 *Glomus mosseae* (Nicol & Gerd) Gerd & Trappe 和苏格兰球囊霉 *G. caledonium* Nicol & Gerd 分别经黑麦草扩大繁殖后获得的含有孢子、菌丝和侵染根段的根际土。试验容器为 24 cm×24 cm×30 cm 的塑料盆,每盆装土 10 kg。接种方法:接种处理每盆层施菌剂 100 g,混合菌剂为 2 种 AM 真菌菌剂各 50 g,对照处理加入等量灭菌接种剂和等体积接种物浸提液,以保持除 AM 真菌外的其他微生物区系一致。2004 年 3 月 16 日播种,25 d 后出苗,8 片真叶后留下生相一致的壮苗,每盆 2 株。生长期,温室常规管理,不定期灭蚜,松土,12 月 10 日收获。

1.2 方法:试验设 6 个施磷水平,依次为施  $P_2O_5$  0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 g/kg,分别用  $P_0$ 、 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 、 $P_5$  表示,同一施磷水平设接种 *G. mosseae* (GM)、*G. caledonium* (GC)、*G. mosseae* 和 *G. caledonium* 等量的混合菌种(CM)以及不接种(CK) 4 个处理,每个处理重复 4 次,同时,每盆土加 N 0.25 g/kg 和  $K_2O$  0.2 g/kg。试验盆随机排列。

柴胡收获时菌根侵染率按 Pillips & Hayman 方法<sup>[3]</sup>测定;根干质量用称重法;叶片叶绿素的量用丙酮酸提取法;可溶性糖量用蒽酮法测定<sup>[4]</sup>;土壤有机质用重铬酸钾容量法外加热法测定;碱解氮用碱解扩散法

测定;速效磷用 Olsen 法测定;速效钾用硝酸钠浸提—四苯硼钠比浊法测定;pH( $H_2O$ )用酸度计测定<sup>[5]</sup>。

试验数据用 SPSS12.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

2.1 AM 真菌与施磷量对叶片叶绿素的影响:柴胡叶片叶绿素测定结果表明(表 1),不施磷条件下,接种株叶片叶绿素的量均高于对照株,差异达显著水平。以接种 *G. caledonium* 的植株为例,其叶绿素的量分别比对照株增加了 28.68%(8 月 26 日)、22.98%(9 月 11 日)、7.73%(9 月 26 日)、11.21%(10 月 11 日)、13.84%(10 月 26 日)、21.02%(11 月 11 日)和 40.74%(12 月 5 日)。

在施磷条件下,无论是接种株还是非接种株均在  $P_3$  水平时叶绿素的量最大,超过  $P_3$  水平时,叶绿素的量下降。同一施磷水平,接种株与非接种株及不同菌种间的叶绿素量的差异均达显著水平,并以接种 *G. caledonium* 的效果最好。

2.2 AM 真菌与施磷量对叶片类胡萝卜素的含量影响:类胡萝卜素的测定结果表明(表 2),柴胡叶片类胡萝卜素的量先升后降,在 10 月 11 日达到最大值。不同施磷水平对叶片类胡萝卜素量的影响不同,不施磷( $P_0$ )或高施磷( $P_5$ ),类胡萝卜素量低;施磷量为  $P_1$ ~ $P_3$  时,类胡萝卜素量较高,其中以  $P_3$  水平时最高。同一施磷水平,接种株类胡萝卜素量显著高于对照株(8 月 26 日除外)。3 种不同菌剂对类胡萝卜素量影响不同,以接种混合菌剂的效果最好。

2.3 AM 真菌与施磷量对植株可溶性糖的影响:不同施磷水平对叶片可溶性糖量的影响不同,以  $P_3$  水平最好,施磷量过低或过高都不利于叶片可溶性糖量的增加。同一施磷水平下接种株叶片可溶性糖量大多高于非接种株,并以接种 *G. mosseae* 的效果最好。随着施磷量增加,接种株和非接种株根的可溶性糖量均增加,并在  $P_3$  水平上达到最大值,只有接种 *G. mosseae* 的柴胡根可溶性糖量在  $P_4$  水平上才有最大值,随后下降。在不同施磷水平上,接种 *G. mosseae* 和 *G. caledonium* 的植株根可溶性糖量大都高于非接种株,而接种混合菌剂的植株根可溶性糖量均低于同一施磷水平下的非接种株。说明 AM 真菌对柴胡根可溶性糖量的接种效果因菌种而异(表 3)。

表 1 AM 真菌与施磷量对柴胡叶片叶绿素量的影响

Table 1 Effects of AM fungi on chlorophyll content of *B. chinense* leaves under different phosphorus levels

施 P 量	处 理	叶绿素/(mg · g <sup>-1</sup> )						
		08-26	09-11	09-26	10-11	10-26	11-11	12-05
P <sub>0</sub>	CK	1.29d	1.61c	2.20c	2.23d	2.24d	1.57d	1.08d
	GM	1.34c	1.61c	2.25b	2.57a	2.50c	1.98b	1.40c
	GC	1.66a	1.98b	2.37a	2.48b	2.55b	1.90c	1.52b
	CM	1.55b	2.01a	2.26b	2.34c	2.57a	2.23a	1.61a
P <sub>1</sub>	CK	1.41d	1.88d	2.45c	2.57d	2.74d	1.69d	1.33d
	GM	1.48c	1.65c	2.57b	2.85b	2.98b	2.17c	1.71b
	GC	1.91a	2.14a	2.96a	3.17a	3.29a	2.35a	1.91a
	CM	1.82b	2.04b	2.58b	2.68c	2.94c	2.25b	1.64c
P <sub>2</sub>	CK	1.45d	1.89c	2.61d	2.92c	3.19a	2.24d	1.70d
	GM	1.55c	1.69d	2.72c	2.99b	3.20a	2.27c	1.82c
	GC	2.12a	2.42a	3.34a	3.01b	3.02b	2.95a	2.50a
	CM	2.06a	2.06b	2.89b	3.13a	2.56c	2.48b	1.87b
P <sub>3</sub>	CK	1.70c	1.79a	2.93d	3.06d	3.08b	2.49c	1.99d
	GM	1.63d	1.81a	2.95c	3.56b	3.70c	2.44d	2.20c
	GC	1.92b	2.99a	3.45a	3.61a	3.72b	3.04a	2.59a
	CM	1.94a	1.67b	3.00b	3.53c	3.77a	2.89b	2.51b
P <sub>4</sub>	CK	1.56d	1.90b	2.83d	3.04d	3.06d	2.33d	1.99c
	GM	1.77c	1.78d	2.92c	3.24c	3.35c	2.37c	1.98d
	GC	1.87b	1.81c	3.40a	3.46b	3.60a	2.99a	2.54a
	CM	1.92a	1.98a	3.21b	3.54a	3.56b	2.58b	2.16b
P <sub>5</sub>	CK	1.53b	1.76a	2.84c	2.77d	2.29c	2.12c	1.77a
	GM	1.25d	1.43c	2.91b	2.85c	2.53b	2.19b	1.53b
	GC	1.76a	1.38d	3.04a	2.94b	2.53b	1.87d	1.45d
	CM	1.41c	1.53b	2.59d	3.01a	2.57a	2.21a	1.47c

同一列数据中字母不同者表示在 5% 水平上差异显著(下表同)

Different letters in same column means 5% significant differences (same below)

表 2 AM 真菌与施磷量对柴胡叶片类胡萝卜素量的影响

Table 2 Effects of AM fungi on carotenoid content of *B. chinense* leaves under different phosphorus levels

施磷量	处 理	类胡萝卜素/(mg · g <sup>-1</sup> )						
		08-26	09-11	09-26	10-11	10-26	11-11	12-05
P <sub>0</sub>	CK	0.78a	0.81b	0.86b	0.90c	0.67c	0.57b	0.36b
	GM	0.79a	0.85b	0.91b	1.07b	0.75bc	0.64b	0.42b
	GC	0.84a	0.93a	0.97ab	1.21a	0.81b	0.78a	0.61a
	CM	0.82a	0.82b	1.06a	1.21a	0.95a	0.76a	0.65a
P <sub>1</sub>	CK	0.84a	0.92b	1.01ab	1.02b	0.84b	0.57c	0.47c
	GM	0.88a	0.93ab	0.96b	1.03b	0.87b	0.75b	0.57b
	GC	0.86a	1.01a	1.01ab	1.42a	0.98a	0.85a	0.80a
	CM	0.92a	0.97ab	1.05a	1.42a	1.03a	0.88a	0.72a
P <sub>2</sub>	CK	0.90a	0.99b	1.08a	1.14b	0.93b	0.67c	0.64b
	GM	0.93a	1.06ab	1.17a	1.20ab	0.95b	0.91b	0.64b
	GC	0.95a	1.10a	1.15a	1.27a	1.04a	0.85b	0.73b
	CM	0.98a	0.99b	1.16a	1.27a	1.09a	1.04a	0.87a
P <sub>3</sub>	CK	1.02a	1.28a	1.31b	1.56a	0.93b	0.89b	0.68b
	GM	1.01a	1.38a	1.44a	1.57a	0.97b	0.89b	0.87b
	GC	1.06a	1.29a	1.35b	1.57a	0.99b	0.94b	0.82b
	CM	1.07a	1.31a	1.44a	1.57a	1.09a	1.06a	0.72a
P <sub>4</sub>	CK	0.86a	1.00a	1.15a	1.36a	0.92b	0.75a	0.68a
	GM	0.88a	0.92a	0.95d	1.04c	0.99a	0.74a	0.59b
	GC	0.81a	0.98a	1.14ab	1.11b	0.97a	0.79a	0.74a
	CM	0.84a	1.00a	1.05bc	1.11b	0.93b	0.92a	0.69a
P <sub>5</sub>	CK	0.72a	0.74c	0.87b	0.91b	0.78a	0.69ab	0.55b
	GM	0.76a	0.82b	0.87b	1.03a	0.77a	0.64b	0.53b
	GC	0.73a	0.90a	1.02a	0.94ab	0.81a	0.76a	0.74a
	CM	0.82a	0.88ab	0.86b	0.94ab	0.83a	0.76a	0.56b

表 3 AM 真菌与施磷量对植株可溶性糖量的影响

Table 3 Effects of AM fungi on soluble sugar content of host plant under different phosphorus applied amount

施磷量	处理	侵染率/%	地上部分全磷/%	根全磷/%	叶可溶性糖/%	根可溶性糖/%	根干质量/(g·株 <sup>-1</sup> )
P <sub>0</sub>	CK	3.8d	0.24c	0.45c	0.83c	37.70b	1.89b
	GM	25.0c	0.37a	0.54b	0.96a	34.25b	2.32a
	GC	36.1b	0.34a	0.46c	0.91b	41.64a	2.30a
	CM	45.4a	0.29b	0.74a	0.91b	22.18c	2.06b
P <sub>1</sub>	CK	5.6d	0.29c	0.49c	1.06c	38.05a	2.24b
	GM	27.7c	0.40bc	0.58b	1.03d	39.44a	2.95a
	GC	46.1b	0.43a	0.52c	1.15a	42.23a	3.07a
	GM	60.5a	0.39b	0.77a	1.09b	25.75b	2.74a
P <sub>2</sub>	CK	6.5d	0.36c	0.53d	1.43d	41.52a	2.69b
	GM	30.3c	0.47b	0.61b	1.48b	46.85a	3.20a
	GC	52.5b	0.50a	0.57c	1.45c	43.26a	3.18a
	CM	68.8a	0.45b	0.79a	1.52a	38.90a	3.31a
P <sub>3</sub>	CK	13.3c	0.38c	0.55c	1.71c	44.93b	2.98b
	GM	66.5b	0.52a	0.63b	1.48d	49.38a	3.45a
	GC	66.0b	0.54a	0.61b	1.97a	48.78a	3.39a
	CM	78.9a	0.47b	0.82a	1.73b	47.42a	3.34a
P <sub>4</sub>	CK	10.9c	0.46b	0.58c	1.30c	40.75b	3.09b
	GM	56.6b	0.56a	0.66b	1.11d	57.38a	3.33a
	GC	58.2b	0.59a	0.66b	1.40b	41.85b	3.21ab
	CM	77.0a	0.55a	0.85a	1.46a	30.67c	3.33a
P <sub>5</sub>	CK	8.0c	0.51a	0.61b	0.97c	37.56b	3.12a
	GM	44.1b	0.39b	0.56bc	1.09b	29.19c	3.15a
	GC	46.9b	0.33c	0.51	1.32a	40.52a	3.13a
	CM	56.0a	0.34bc	0.75a	1.08b	24.52c	3.09a

2.4 AM 真菌与施磷量对植株磷的量的影响:由表 3 可见,同一施磷水平下柴胡根全磷量大于地上部分全磷量。随施磷量增加,植株地上部分和根中全磷量增加,但接种株地上部分和根中全磷量在 P<sub>4</sub> 水平达最大值,而非接种株在 P<sub>5</sub> 水平时才有最大值。同一施磷水平下,接种株地上部和根中全磷量均高于非接种株(除 P<sub>5</sub> 外),并有显著差异。接种 *G. caledonium* 对柴胡地上部分全磷量的提高效果最佳,而接种混合菌剂对柴胡根全磷量的提高作用较好。

2.5 AM 真菌与施磷量对侵染率和根生长量的影响:柴胡收获时测定 AM 真菌侵染率,非接种株菌根侵染率最大为 13.0%,最小为 3.0%;接种后显著提高了菌根侵染率。施磷量对菌根侵染率有明显影响,以施磷量为土施 0.3 g/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 时菌根侵染率最高,达 78.0%,而不施磷和高施磷都不利于菌根真菌的侵染。但侵染率大小因菌种而异,以混合菌种侵染率最高,其次为 *G. caledonium*,最低为 *G. mosseae* (表 3)。

在整个施磷范围内,对照株根干质量一直增加;接种株在 P<sub>0</sub>~P<sub>3</sub>,根干质量随施磷量升高而增加,但施磷量过高时,接种株根干质量反而下降。不施磷时,虽然接种株根干质量高于对照株,但无明显差异;高施磷条件下,接种株根干质量与对照株几乎相

等。不同 AM 真菌对柴胡根干质量作用大小各异,以接种混合菌剂的效果最好(表 3)。

### 3 讨论

AM 真菌侵染柴胡根部,与其形成共生结构。产生的外生菌丝扩大了根系吸收范围,形成的内生菌丝在柴胡根皮层细胞间隙和细胞内形成孢囊和丛枝结构,增加了细胞体积,扩大了菌根真菌同根细胞质间的接触面积,加快了根对土壤营养物质(特别是磷)的吸收和运输,从而促进了柴胡生长<sup>[2]</sup>。本试验也充分证明了这一点。

土壤磷量的高低直接影响 AM 真菌的共生状态和菌根效应的发挥<sup>[6]</sup>。试验结果表明,供试土壤中的土著 AM 真菌对柴胡根系有不同程度的侵染,接种 AM 真菌后显著提高了各施磷水平下菌根侵染率。在土壤有效磷的量低或不施磷时,菌根菌的侵染率低,因为不仅柴胡生长要有充足的磷素营养,而且菌根菌的正常生长同样需要一定水平的磷素营养。当土壤磷水平不能满足这一要求时,菌根菌就不能大量生长,因而侵染率低,对柴胡体内磷的量和植株生长发育贡献小,甚至无促进作用。因此,要充分发挥 AM 真菌的有益效应,就应适量施用磷肥,以保证菌根菌正常生长,提高其侵染率。

过高施磷量(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.5 g/kg)对菌根菌的侵染则有抑制作用。Graham 等<sup>[7]</sup>研究表明,当土壤有效磷

量高时,植株体内磷量相应提高,根细胞膜磷脂成分随之增加,根细胞膜透性降低,宿主向根外分泌的菌根菌赖以生存的光合产物数量减少,导致侵染率降低。在高磷条件下,植物根系无需菌根帮助就可吸收所需的全部磷素,而菌根菌则需相当数量的光合产物维持其生长发育。同时,菌根化的根比非菌根化的根消耗更多能量<sup>[8]</sup>。因此,AM 真菌与宿主对光合产物的竞争导致了植株生长量的降低。由此可见,过高施磷量不利于 AM 真菌生长发育及对宿主植物的侵染,甚至对宿主植物生长有抑制作用。本试验结果也证明了这一点。

柴胡接种 AM 真菌后,提高了植株叶片光合色素和植株可溶性糖的量,并且同一施磷水平下接种株各指标明显优于非接种株。这可能缘于 AM 真菌促进了柴胡根系对土壤矿质元素(特别是磷素)的吸收,提高了柴胡体内磷素等营养元素的量,而柴胡磷量的提高,不仅有利于光合磷酸化等许多与光合作用有关的环节正常运行,也可促进光合产物的运输和分配<sup>[9]</sup>,光合产物向根的运输和分配又促进了 AM 真菌的生长发育和对宿主根系的侵染<sup>[10]</sup>,如在本试验中,由于 AM 真菌的旺盛生长依赖于宿主根系光合产物的供应,造成接种混合菌剂的柴胡根系可溶性糖的量始终低于对照株。

试验结果表明,不仅施磷量与 AM 真菌对柴胡生长有明显的交互作用,而且不同菌种对柴胡的接种效果也不同,即宿主植物和 AM 真菌之间存在一定的选择性。总体而言,施磷与 AM 真菌两者组合比不接种相应施磷水平的组合提高了柴胡根干质量和各生理指标量。

不论是柴胡根干质量,还是各生理指标的量,接种株在低磷条件下的测定值都接近或超过高磷水平下未接种株的测定值,并且施磷量与 AM 真菌之间存在最佳组合关系。因此,接种 AM 真菌不仅对优质柴胡生产有积极效应,而且在促进柴胡生长的同时,能够提高磷肥利用率,减少磷肥用量。

References:

- [1] Singh J, Aneja K R. *From Ethnomycology to Fungal Biotechnology Exploiting Fungi from Natural Resource for Novels Products* [M]. New York: Plenum Press, 1999.
- [2] He X L, Zhao F G, Li B, et al. Effects of AM fungi on the growth and chemical composition of tobacco leaf under different P levels [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2001, 12(5): 761-764.
- [3] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection [J]. *Trans Br Mycol Soc*, 1970, 55: 158-161.
- [4] Gao J F. *Plant Physiology Experiment Technology* (植物生理学实验技术) [M]. Xi'an: World Publishing Corporation, 2000.
- [5] Nanjing Soil Institute of Academy of Sciences of China. *Physical and Chemical Analysis of Soil* (土壤理化分析) [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1978.
- [6] Tarafdar J C, Marschner H. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus [J]. *Soil Biol Biochem*, 1994, 26(3): 387-395.
- [7] Graham J H, Leonard R H, Merge J A. Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of VAM formation [J]. *Plant Physiol*, 1981, 67: 548-552.
- [8] Pang P C. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on <sup>14</sup>C and <sup>15</sup>N distribution in nodulated faba beans [J]. *Can J Soil Sci*, 1980, 60: 241.
- [9] Zhang J S. *Plant Physiology* (植物生理学) [M]. Xi'an: World Publishing Corporation, 1999.
- [10] Jakobsen I, Rosendahl L. Carbon flow into soil and external hyphae from root of Mycorrhizal cucumber plants [J]. *New Phytologist*, 1990, 115: 77-83.

## 桔梗试管苗茎尖玻璃化法超低温保存及植株再生

艾鹏飞<sup>1</sup>, 卢利平<sup>2</sup>

(1. 河北科技大学生物科学与工程学院, 河北 石家庄 050018; 2. 河北科技大学 图书馆, 河北 石家庄 050018)

**摘要:**目的 为桔梗 *Platycodon grandiflorum* 种质资源的保存提供一条新途径。方法 采用玻璃化法研究了桔梗试管苗茎尖超低温保存及植株再生。结果 桔梗嫩梢在培养基(MS+5%DMSO+103 g/L 蔗糖)上培养 3 d, 切取 2~3 mm 茎尖, 室温(20 ℃)下装载液(60%PVS<sub>2</sub>)过渡 20 min, 0 ℃下玻璃化液(PVS<sub>2</sub>)处理 90 min, 投入液氮保存 1 d 后, 40 ℃水浴化冻, 含 410 g/L 蔗糖的 MS 培养基洗涤 20 min, 接种于含 0.6 mg/L KT、0.2 mg/L BA、0.05 mg/L NAA 的 MS 培养基表面的滤纸上, 暗处理 1 d 后转移到新鲜的上述再生培养基中, 暗培养 1 周后转到正常光下, 80%以上成活, 植株生长正常。结论 桔梗种质资源的玻璃化法超低温保存操作简单、成活率高、再生植株正

收稿日期: 2005-12-16

基金项目: 校博士基金项目(QD200309)

作者简介: 艾鹏飞(1974—), 男, 湖北浠水人, 副教授, 博士, 从事植物细胞工程与分子生物学教学、科研工作, 在该领域已发表论文 10 余篇。 Tel: (0311)88632163 Fax: (0311)88632642 E-mail: apf2002@sina.com