

凹叶厚朴快繁技术体系的建立

马英姿¹, 许欢¹, 王志毅¹, 刘江海¹, 王晓明², 蒋丽娟¹

1. 中南林业科技大学生命科学与技术学院, 湖南 长沙 410004

2. 中国林科院湖南省分院无性系重点实验室, 湖南 长沙 410004

摘要: **目的** 建立凹叶厚朴 *Magnolia officinalis* subsp. *biloba* 快速繁殖体系。**方法** 以选育的优质凹叶厚朴种胚为初始外植体, 采用单因素及正交试验筛选不同基本培养基, 不同植物调节剂 (6-BA、NAA、IBA、IAA), 获取最适种胚启动培养基, 丛芽增殖培养基和生根培养基。**结果** 适宜种胚萌发的启动培养基为 B5+6-BA 0.5 mg/L+NAA 0.1 mg/L, 出芽率达 87.0%; 适合丛芽增殖的培养基为 MS+6-BA 2.5 mg/L+NAA 0.5 mg/L, 增殖系数可达 6.2; 适合生根的培养基为 1/2 MS+NAA 0.5 mg/L, 30 d 生根率可达 84%。**结论** 建立了凹叶厚朴快速繁殖体系, 为凹叶厚朴优质种苗的工厂化育苗奠定了基础。

关键词: 凹叶厚朴; 组织培养; 快速繁殖; 培养基; 正交试验

中图分类号: R282.21

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2014)12-1769-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2014.12.023

Establishment of rapid propagation system of *Magnolia officinalis* subsp. *biloba*

MA Ying-zi¹, XU Huan¹, WANG Zhi-yi¹, LIU Jiang-hai¹, WANG Xiao-ming², JIANG Li-juan¹

1. College of Life Science and Technology, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

2. Key Laboratory of Clones, Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China

Abstract: **Objective** To establish a rapid propagation system of *Magnolia officinalis* subsp. *biloba*. **Methods** Using peeling seeds of *M. officinalis* subsp. *biloba* as the initial explants, different media and various combinations of plant growth regulators (6-BA, NAA, IBA, and IAA) on the seeds germination, the seedlings subculture, and rooting culture were studied by single factor test and orthogonal test. **Results** The best culture medium of seeds germination was B5 + 6-BA 0.5 mg/L + NAA 0.1 mg/L, and the budding percentage was 87.0%; The effective medium for cluster buds-inducing and subculture was MS + 6-BA 2.5 mg/L + NAA 0.5 mg/L, and the propagation coefficient was 6.2; The best rooting medium was 1/2 MS + NAA 0.5 mg/L, and the rooting rate was over 84% after 30 d. **Conclusion** Rapid propagation technique system is established in order to lay technique foundation for the industrial production of *M. officinalis* subsp. *biloba*.

Key words: *Magnolia officinalis* subsp. *biloba* (Rehd.et Wils.) Law.; tissue culture; rapid propagation; medium; orthogonal test

凹叶厚朴 *Magnolia officinalis* subsp. *Biloba* Rehd. et Wils. Law.为厚朴 *Magnolia officinalis* Rehd. et Wils. 的亚种, 是中国特有的木兰科木兰属植物。在中药生产中, 厚朴及凹叶厚朴均统称为厚朴, 是中国传统的大宗中药材, 其根皮以及茎皮都可入药, 具有燥湿消痰等功效, 用于食积气滞, 腹胀便秘, 痰饮喘咳^[1]。厚朴酚 (magnolol) 与和厚朴酚 (honokiol) 是其主要活性成分, 具有多种药理作用, 包括抗炎、抗心律失常、抗癫痫、抗血小板、抑制肌肉收缩和抗菌等。在 20 世纪 80 年代, 凹叶厚朴

已被列为国家二级珍稀保护植物。正是由于资源的不断减少, 大批生长年限不足的厚朴被提前砍伐, 造成药材整体质量下降, 《中国药典》2010 年版对其含总酚的量规定也由 3%降到了 2%^[2]。目前, 关于凹叶厚朴的组织培养, 刘贤旺等^[3]对凹叶厚朴愈伤组织的超低温保存进行了相关研究, 但凹叶厚朴愈伤组织难以分化成苗, 不利于扩大繁殖; 宋荣等^[4]、王志毅等^[5]对凹叶厚朴茎段进行了腋芽诱导培养及离体胚培养研究, 由于凹叶厚朴内富含多酚类化合物, 极易褐化, 没有建立完整的再生体系。

收稿日期: 2014-01-24

基金项目: 林业公益性行业科研专项经费“金银花、凹叶厚朴新品种创制及利用技术研究”(201104023); 湖南省教育厅重点项目(2012A0146)

作者简介: 马英姿(1967—), 女, 河南巩义人, 博士, 副教授, 主要从事药用植物资源保护与利用。

Tel: (0731)85623494 E-mail: ma_yingzi@163.com

植物快繁是珍稀药用植物实现规模化生产, 解决资源不足的有效途径^[6-9], 本研究采用湖南永州市道县洪营塘乡优质凹叶厚朴植株的种子为材料, 建立离体快繁再生体系, 为凹叶厚朴进一步规模化生产优质苗奠定基础。

1 材料

样品采自湖南省永州市道县洪营塘乡凹叶厚朴种植基地, 经选育的优株所结的成熟饱满的种子。由湖南省林业科学院王晓明研究员鉴定为凹叶厚朴 *Magnolia officinalis* subsp. *biloba* Rehd. et Wils. Law. 种子。

2 方法

2.1 外植体消毒

将种子洗净后, 先用质量分数为 0.2% 的高锰酸钾浸泡 5 min, 再用水冲洗 24 h, 晾干, 备用。在无菌操作台上, 用体积分数为 75% 乙醇浸泡 15 s, 无菌水冲洗 3~4 次, 再用质量分数为 0.1% HgCl_2 处理 8 min, 无菌水冲洗 5~6 次, 用无菌滤纸或纱布吸干后夹破种皮后剥去种皮, 接种。

2.2 初代启动培养

将种胚接种到有无菌水的经过灭菌消毒的纸桥瓶中进行暗培养, 每瓶接种 3 粒, 7 d 后观察统计, 将没有污染的无菌材料接种到启动培养基中, 启动培养基的组合: 选择 MS、 B_5 、WPM 3 种基本培养基, 加入细胞分裂素 6-BA (0.1、0.5、1.0 mg/L), 生长素 NAA (0.05、0.1、0.2 mg/L), 进行 $\text{L}_9(3^3)$ 正交设计, 每种处理接种 30 瓶。培养条件: 光照强度为 1 500~2 000 lx, 12 h/d (以下培养条件相同), 温度为 25 °C, 30 d 后观察生长状况, 并统计发芽率^[10]。

2.3 继代增殖培养

2.3.1 植物生长调节剂的单因素试验 在 B_5 培养基中, 分别添加植物生长调节剂的种类和质量浓度如下: 6-BA (1.0、3.0、5.0、6.0 mg/L)、KT (1.0、3.0、5.0、6.0 mg/L)、IBA (0.05、0.1、0.5、1.0 mg/L)、NAA (0.05、0.1、0.5、1.0 mg/L), 共 16 个处理, 每种处理接种 20 瓶, 每瓶接 3 株, 重复 3 次, 30 d 后统计出芽率, 记录生长状况。

2.3.2 最适增殖培养基的选择 通过单因素植物生长调节物质的选择, 得知 6-BA 和 NAA 对出芽率的影响较大。以基本培养基 (3/4 MS、 B_5 、MS), 6-BA (2.0、2.5、3.0 mg/L), NAA (0.1、0.3、0.5 mg/L), 蔗糖质量浓度 (20、25、30 g/L) 为因素, 设计 $\text{L}_9(3^4)$ 正交设计, 共 9 个处理, 每个处理接种 20 瓶, 每瓶

接 3 株, 重复 3 次, 30 d 后统计从芽诱导率和增殖系数, 记录生长状况。

诱导率 = 增殖后丛生芽总数 / 产生丛生芽外植体总数

增殖系数 = 增殖的丛生芽数 / 接种丛生芽的外植体总数

2.4 试管苗的生根培养

2.4.1 基本培养基筛选 凹叶厚朴增殖苗经过壮苗培养后, 选择 1/4 MS、1/3 MS、1/2 MS、MS 4 种基本培养基, 添加 0.1 mg/L NAA, 每个处理接种 30 瓶, 30 d 后记录根的生长状况, 计算生根率和生根系数^[8]。

生根率 = 生根株数 / 接种的总株数

生根系数 = 生根条数 / 有生根现象数

2.4.2 单因素试验选择生长调节剂 选择 NAA、IBA、IAA 及 KIBA 为生根试验生长调节剂, 质量浓度设计为 0.1、0.2、0.5、1.0、2.0 mg/L, 基本培养基选择 1/2 MS, 蔗糖为 20 g/L。每种处理接种 20 瓶, 30 d 后统计生根率、平均根数、观察根的生长状况, 选择生根效果较好的生长素种类。

2.4.3 生长调节剂组合对生根的影响 以 1/2 MS 为基本培养基, 经单因素试验结果最好的生长调节剂 NAA (0.05、0.1、0.2、0.4 mg/L) 与 IBA (0.5、1 mg/L) 组成 8 个处理, 每个处理接种 20 瓶, 重复 3 次, 30 d 后统计各处理的生根率、平均根条数, 考察两种生长素组合对生根的影响。

3 结果与分析

3.1 初代培养基的选择

将无菌种胚接种到初代启动培养基中, 30 d 后观察结果, 从表 1 中可以看出, 以 B_5 为基本培养基, 添加 6-BA 0.5 mg/L 及 NAA 0.1 mg/L 的配方, 种胚萌芽率最高, 可达 87%。

采用 SPSS 19.0 对初代培养各处理下发芽率进行统计学分析, 极差分析表明, NAA、6-BA 和基本培养基在一定程度上对发芽率均有影响, 影响大小依次为: $\text{NAA} > 6\text{-BA} > \text{基本培养基}$; 方差分析表明 (表 2), NAA、6-BA 各个水平之间存在显著差异 ($P < 0.05$); 基本培养基各水平之间无显著差异 ($P > 0.05$)。在 3 种因素中, 极差分析及方差分析都表明基本培养基对种胚萌芽的影响最小, 其原因是因为种胚萌发初期, 种胚的子叶内贮存了丰富的营养物质, 可以在短期内供给萌芽的营养。从植株的生长状况来看, NAA 质量浓度为 0.1 mg/L 的植株长势明显比 0.05 mg/L 强, B_5 培养基培养的组培苗长势优于 MS 和 WPM 培养基所培养的。因此, 综

表 1 种胚萌芽 $L_9(3^3)$ 正交试验结果

Table 1 Result of $L_9(3^3)$ orthogonal test for seed germination

处理	6-BA / (mg·L ⁻¹)	NAA / (mg·L ⁻¹)	基本培养基	接种数 / 个	发芽数 / 个	发芽率 / %
1	0.5	0.05	MS	30	21	70.0
2	0.5	0.10	B5	30	27	87.0
3	0.5	0.20	WPM	30	17	56.7
4	1.0	0.05	B5	30	18	60.0
5	1.0	0.10	WPM	30	17	56.7
6	1.0	0.20	MS	30	7	23.3
7	0.1	0.05	WPM	30	15	50.0
8	0.1	0.10	MS	30	16	53.3
9	0.1	0.20	B5	30	7	23.3
K_1	213.7	180.0	146.6			
K_2	140.0	197.0	170.3			
K_3	126.6	103.3	163.4			
R	29.03	31.23	7.9			

表 2 种胚萌芽正交试验方差分析

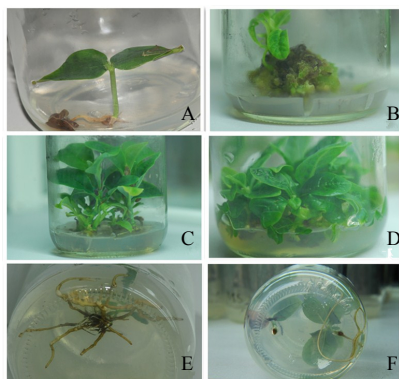
Table 2 Variance analysis of orthogonal test for seed germination

变异来源	离差平方和	自由度	均方差	均方比	P
6-BA	0.157	2	0.079	22.806	0.042
NAA	0.173	2	0.087	25.144	0.038
基本培养基	0.121	2	0.006	1.758	0.363
误差	0.007	2	0.003		

合考虑正交结果和苗的生长状况，初代培养最佳方案：B5+6-BA 0.5 mg/L+NAA 0.1 mg/L。

3.2 丛芽诱导增殖培养

3.2.1 植物生长调节物质种类的选择 实验中发现，凹叶厚朴愈伤组织分化成苗率很低，且分化的苗长势弱（图 1），不利于增殖培养。将初代培养获得的凹叶厚朴无菌苗，剪成长度 1.0~1.5 cm 的离体带叶茎段，转入继代增殖培养基中，期望能够诱导获得丛生苗^[11]。



A-种胚为外植体 B-愈伤组织分化 C、D-丛生芽 E、F-试管苗生根
A-seed as explants B-callus differentiation C, D-adventitious buds E, F-rooting plantlets

图 1 快繁体系的不同阶段

Fig. 1 Different stages of rapid propagation system

植物生长调节剂的种类和质量浓度对丛生芽诱导增殖影响很大，为了筛选合适的生长调节剂种类和质量浓度，首先进行单因素试验，发现不同种类的细胞分裂素和生长素对凹叶厚朴丛生芽诱导增殖效果差异明显。从图 2 中可知，分裂素 6-BA 的丛生芽诱导率在 56%~73%，KT 的诱导率在 63%~76%，但 KT 诱导的丛生芽成簇状，长势较慢，苗颜色发黄，而 6-BA 诱导的丛生芽，颜色亮绿，生长势旺盛；生长素 IBA 的腋芽诱导率在 19%~24%，NAA 的诱导率在 20%~29%，且生长良好，因此，分裂素选择 6-BA，

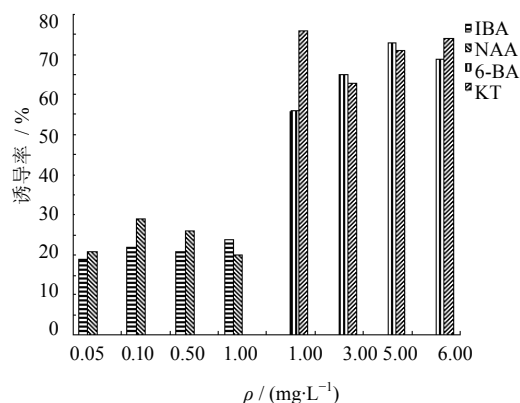


图 2 植物生长调节物质对丛生芽诱导率的影响

Fig. 2 Effects of plant growth regulators on instruction percentage

生长素选择 NAA 有利于试管苗的增殖培养。

3.2.2 适宜增殖培养基的筛选 经过单因素筛选出合适的植物生长调节物质种类: 6-BA 和 NAA, 为了确定合适的浓度范围, 结合基本培养基种类和蔗糖浓度两因素, 设计 $L_9(3^4)$ 正交试验, 结果见表 3。

正交试验结果表明, 4 种因素对丛生芽诱导率的影响依次为蔗糖>基本培养基>6-BA>NAA。蔗

糖浓度对凹叶厚朴丛生芽诱导的效果影响较大, 且差异显著 ($P<0.05$), 基本培养基对凹叶厚朴丛生芽诱导的效果影响仅次于蔗糖质量分数, 但是差异不显著 ($P>0.05$), 其次对丛生芽诱导影响较大的是 6-BA, 差异显著 ($P<0.05$), 生长素 NAA 在丛生芽诱导阶段影响最小, 差异不显著 ($P>0.05$)。

4 种因素对丛生芽增殖系数的影响次序: 基本

表 3 $L_9(3^4)$ 正交试验结果

Table 3 Results of $L_9(3^4)$ orthogonal test

处理	基本培养基	6-BA / (mg·L ⁻¹)	NAA / (mg·L ⁻¹)	蔗糖 / %	诱导率 / %	增殖系数
1	3/4 MS	2.0	0.1	30	87.3	2.53
2	3/4 MS	2.5	0.3	25	79.6	2.19
3	3/4 MS	3.0	0.5	20	76.4	4.31
4	B5	2.0	0.5	25	72.3	4.82
5	B5	2.5	0.1	20	88.1	3.66
6	B5	3.0	0.3	30	79.2	3.24
7	MS	2.0	0.3	20	89.5	5.17
8	MS	2.5	0.5	30	94.2	6.25
9	MS	3.0	0.1	25	82.3	5.84
K_1	243.3	249.1	257.7	260.7		
K_2	239.6	261.9	248.3	234.2		
K_3	266.0	237.9	242.9	254.0		
R	8.8	8.0	4.9	8.83		
k_1	9.03	12.52	12.03	12.02		
k_2	11.72	12.10	10.60	12.85		
k_3	17.26	13.39	15.38	13.14		
r	2.74	1.29	1.59	0.37		

K_1 、 K_2 、 K_3 、 R 对应诱导率, k_1 、 k_2 、 k_3 、 r 对应增殖系数算的极差

K_1 , K_2 , K_3 and R refer to the range of instruction rate, k_1 , k_2 , k_3 and r refer to the range of multiplication coefficient

培养基>NAA>6-BA>蔗糖。基本培养基影响仍然最大, 差异显著 ($P<0.05$), 生长素 NAA 对丛生芽增殖影响较大, 差异极显著 ($P<0.05$), 分裂素对丛生芽增殖影响差异也显著 ($P<0.05$), 蔗糖浓度对丛生芽增殖影响小, 差异不显著 ($P>0.05$)。因此, 综合考虑, 最佳增殖培养基组合为 MS+6-BA 2.5 mg/L+NAA 0.5 mg/L。

3.3 试管苗生根培养

3.3.1 生根基本培养基选择 查阅文献, 可知植物试管苗生根的基本培养基大多为 MS 及其改良的培养基^[6-11]。将 0.1 mg/L 的 NAA 添加到 1/4 MS、1/2 MS、1/3 MS、MS 中, 其结果为 1/4 MS 培养基中无不定根的形成; 1/3 MS 培养基中有少量不定根形成, 但不定根短, 细弱; 1/2 MS 培养基中, 不定根形成较多, 且生长良好; MS 中几乎无不定根形成。因此, 生根基本培养基选择 1/2 MS。

3.3.2 生长调节剂单因素选择试验 以 1/2 MS 为基本培养基, 分别添加 NAA、IBA、IAA、KIBA 4 种生长调节剂进行单因素的试验, 结果发现, IAA、KIBA 处理的试管苗生根率低, 且苗长势弱, 明显不适合凹叶厚朴试管苗生根; NAA 和 IBA 均可以诱导不定根的形成, 诱导结果见表 4。

NAA 和 IBA 是植物组织培养中广泛用于诱导不定根的生长素^[7], 且植物生长调节剂的质量浓度也起着决定性作用, 单因素试验结果表明, 0.5 mg/L NAA 对凹叶厚朴试管苗生根有显著促进作用, 生根率 30 d 后可达 84%, 且试管苗叶色浓绿, 长势好; 其次为 1 mg/L IBA, 生根率达 67%, 但 IBA 诱导的试管苗, 茎基部有愈伤组织, 且叶色有发黄现象。

3.3.3 生长素双因素组合对生根影响 为了研究 2 种生长素组合是否对试管苗生根有叠加效应, 以 1/2 MS 为基本培养基, 对不同质量浓度的 NAA 和 IBA

表4 NAA和IBA对试管苗生根的影响

Table 4 Effects of NAA and IBA on test-tube plantlet rooting

处理	NAA / (mg·L ⁻¹)	生根系数	生根率 / %	处理	IBA / (mg·L ⁻¹)	生根系数	生根率 / %
1	0.05	4	45	6	0.05	3	30
2	0.10	6	62	7	0.10	4	38
3	0.50	8	84	8	0.50	7	46
4	1.00	8	65	9	1.00	5	67
5	2.00	3	54	10	2.00	2	52

进行组合试验,结果见表5,IBA 0.5 mg/L+NAA 1.0 mg/L 组合最佳,生根系数可达 8.3,生根率达到 76%。但综合株高及叶片长势等考虑,仍没有单独使用 NAA 0.5 mg/L 的效果好。

表5 生长素对生根培养的影响

Table 5 Effect of auxin on rooting culture

处理	IBA / (mg·L ⁻¹)	NAA / (mg·L ⁻¹)	株高 / cm	生根系数	生根率 / %
1	0.5	0.05	3.9	0	36
2	0.5	0.1	4.8	3.6	57
3	0.5	0.5	4.1	6.4	64
4	0.5	1.0	3.6	8.3	76
5	1.0	0.05	3.4	2.3	55
6	1.0	0.1	4.6	4.1	45
7	1.0	0.5	3.9	5.7	52
8	1.0	1.0	2.8	0	48

NAA 和 IBA 的双因素试验表明,2 种生长素同时添加时并没有出现叠加效应,反而有相互消长作用。结合试管苗的生长状况综合考虑,适宜的生根培养基为 1/2 MS+NAA 0.5 mg/L,30 d 生根率可达 84%。

4 讨论

本实验采用优质凹叶厚朴种胚为初始外植体,外植体消毒后先用纸桥法接种,然后将无菌种胚接种于启动培养基中,这种方法不仅节约了试验成本,而且在种胚萌发的早期,接在纸桥上的水分高,能促进种胚的萌发,从而缩短了萌芽时间。初代培养中,分裂素及生长素的质量浓度对苗的生长有较大的影响,分裂素 6-BA 过高时,幼苗不长根,苗粗壮短小,生长缓慢;而生长素 NAA 过高时,根系过于发达,影响苗的生长,不利于进一步的增殖培养。蔗糖质量浓度对丛芽诱导有较大影响,在 30 g/L 的质量浓度范围内,丛芽诱导随着蔗糖质量浓度的增大而增高。生根培养表明,高盐质量浓度的 MS 培养基对凹叶厚朴的离体生根有抑制作用,这与

全妙华等^[8]的研究结论相同;1/2 MS 培养基中,无机盐质量比例适中,能满足植物的生长^[12],生根效果好。试管苗的离体生根与扦插生根的原理相同,凹叶厚朴扦插生根的解剖学研究表明,其茎的皮层内具有潜伏型根原基和诱导型根原基^[13],因此,本实验中添加合适浓度的生长素能诱导凹叶厚朴根原基的生长。有研究表明,活性炭的添加对于试管苗生根有促进作用^[14],但本研究中也曾添加活性炭,生根率反而降低,这可能是由于活性炭的吸附作用降低了植株周围的生长素质量浓度,影响了生长素对根原基的诱导生根作用^[15]。

凹叶厚朴植株含有大量的多酚类物质,在培养过程中极易被氧化引起褐化,一直是凹叶厚朴组织培养的最大障碍。研究中发现,尚未生根的试管苗在培养过程中需要精心管理,温度要控制在 24~25 ℃,如果温度偏高,试管苗对环境变化会产生应激反应^[16-17],植株体内会形成大量的次生代谢产物,同时高温也加速了次生代谢产物多酚类物质的氧化,从而加速褐化,一旦植株受损就很难恢复。

参考文献

- [1] 刘玉壶,吴献瑞,吴容芳,等.中国植物志(第三十卷,第一分册)[M].北京:科学出版社,1996.
- [2] 国家林业局,农业部.国家重点保护野生植物名录(第一批)[M].北京:国家林业局,1999.
- [3] 刘贤旺,杜勤.凹叶厚朴愈伤组织的超低温保存[J].植物资源与环境,1996,5(1):9-13.
- [4] 宋荣,马英姿,张慧,等.凹叶厚朴离体培养初探[J].中南林业科技大学学报,2011,31(7):179-182.
- [5] 王志毅,马英姿,王小明,等.凹叶厚朴离体胚培养的研究[J].中南林业科技大学学报,2012,32(5):50-53.
- [6] 丁伟,张立红,潘晟昊.水半夏组培快繁体系的建立[J].中草药,2011,42(3):585-589.
- [7] 汪付田,展锐,王建良,等.铁棒锤快速繁殖体系的建立[J].中草药,2012,43(6):1191-1194.
- [8] 全妙华,欧立军,贺安娜,等.天门冬组培快繁体系研究[J].中草药,2012,43(8):1599-1603.

- [9] 张 鸿, 张显强, 罗正伟. 曼陀罗种子萌发及植株再生 [J]. 中草药, 2012, 43(12): 2499-2501.
- [10] 王 平, 马英姿, 左之文, 等. 药用植物单面针离体胚培养研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(1): 130-133.
- [11] 石大兴, 石铁松, 王米力, 等. 巨桉芽器官离体培养与快繁体系建立的研究 [J]. 林业科学, 2003, 39(1): 69-74.
- [12] 崔凯荣, 邢更生, 周功克. 植物激素对体细胞胚胎发生的诱导与调节 [J]. 遗传, 2002, 22(5): 349-3541.
- [13] 马英姿, 宋 荣, 宋庆安, 等. 凹叶厚朴扦插繁殖的生理机理研究 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(33): 112-117.
- [14] 吴月燕, 刘秀莲, 汪财生. 乐昌含笑组织培养过程中根的诱导 [J]. 园艺学报, 2007, 34(4): 991-994.
- [15] 卜学贤, 陈维纶. 活性炭对培养基中植物生长调节物质的吸附作用 [J]. 植物学报, 1998, 14(4): 401-405.
- [16] 马英姿, 王 平, 张 慧, 等. 酸碱胁迫对药用植物凤壳花椒白藜碱含量的影响 [J]. 中南林业科技大学, 2012, 32(5): 50-53.
- [17] 段 飞, 杨建雄, 周西坤, 等. 逆境胁迫对菘蓝幼苗靛玉红含量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 111-114.