

留兰香组织培养及快速繁殖条件的优化

王小敏, 梁呈元, 李维林^①

[江苏省·中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014]

摘要: 以留兰香(*Mentha spicata* L.) 茎尖为实验材料, 对外植体消毒、不定芽增殖和试管苗移栽生根的最佳条件进行研究。结果表明, 最佳外植体消毒方法为: 用体积分数 75% 乙醇浸泡 30 s, 再用 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ HgCl_2 浸泡 10 min, 培养 7 d 后外植体生长状况良好。正交实验结果表明, 在附加 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA 和 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 的 MS 培养基中, 留兰香不定芽的增殖倍数最高, 试管苗生长状况最好。在含 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 的混合溶液中浸泡 1 h, 移栽试管苗的生根率可达 100%, 且根较长。

关键词: 留兰香; 组织培养; 快速繁殖

中图分类号: Q943.1; S567.23⁺9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2007)04-0038-05

Condition optimization of tissue culture and rapid propagation of *Mentha spicata* WANG Xiao-min, LIANG Cheng-yuan, LI Wei-lin^① (Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2007, 16(4): 38-42

Abstract: The optimal conditions for disinfecting of explants, propagating of adventitious buds and rooting of transferring plantlets of *Mentha spicata* L. were studied by using stem tips as explants. The results showed that the optimal disinfection method was to put explants in 75% alcohol for 30 s, then in $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ HgCl_2 for 10 min. As a result of disinfection, growth status of explants was better after cultured for 7 d. Orthogonal test results showed that proliferation time of adventitious buds was the highest and growth status of seedlings was the best in MS medium containing $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA and $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA. Rooting rate of transferring plantlets were 100% and their roots were longer when putting in solution containing $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA and $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA for 1 h.

Key words: *Mentha spicata* L.; tissue culture; rapid propagation

留兰香(*Mentha spicata* L.) 为多年生草本植物, 在江苏、安徽、浙江和四川等地均有栽培, 新疆有野生种分布^[1]。留兰香在医药、日用化工、食品生产、农业生态保护、生物防治及环境美化等方面具有广泛的应用价值^[2]。在生产中, 由于留兰香种子发芽率较低, 且有性繁殖易发生变异等原因, 多采用扦插及分株的方法进行繁殖^[3-5]。长期无性繁殖易导致留兰香产生病毒感染, 引起品种退化及产量和质量的下降, 因此, 选择适宜的繁殖方法对扩大留兰香的生产规模及提高其产量和质量有重要作用。由于组织培养技术可用于植物脱毒复壮等领域, 因此可通过组织培养对留兰香进行复壮和规模化生产。有研究表明, 留兰香的愈伤组织可诱导成苗^[6,7], 但在诱导过程中愈伤组织易产生变异, 且诱导成功率较低。由于可以诱导留兰香外植体直接产生丛生芽, 既能省去愈伤组织诱导分化的过程又可缩短成苗时间,

因此, 作者以留兰香茎尖为外植体, 通过诱导不定芽达到快速繁殖的目的, 并优选出最佳培养条件及试管苗移栽技术, 为留兰香的脱毒复壮提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 材料

实验用留兰香(*Mentha spicata* L.) 于 2004 年引自江苏东台, 栽培于江苏省·中国科学院植物研究所苗圃内。

收稿日期: 2006-10-23

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BA106A12-12) 和江苏省“十五”高科技研究项目(BG2005317)

作者简介: 王小敏(1980-), 女, 山东苍山人, 硕士, 研究实习员, 主要从事药用植物栽培与生物技术方面的研究。

^① 通讯作者 E-mail: lwlcnb@mail.cnbg.net

1.2 方法

1.2.1 外植体的消毒和培养 于2005年8月至2006年4月进行实验。选择晴天下午,剪取留兰香植株顶端2~3 cm的茎尖,剥去最外层叶片,自来水冲洗10 min后,加少量洗衣粉浸泡5 min,再用自来水冲洗20 min,转入超净工作台进行后期消毒。用体积分数75%的乙醇浸泡30 s,无菌水冲洗3~4次,将茎尖分为6组,分别用1.0和2.0 g·L⁻¹ HgCl₂溶液浸泡5、10和15 min,再用无菌水冲洗3~4次。消毒完毕后将茎尖剪成约1 cm的小段,无菌条件下接种到MS培养基^[8]上。于25℃、光照度2 000 lx、光照时间12 h·d⁻¹的条件下培养。每处理15株,各3次重复。7 d后观察外植体的生长状况,并统计污染率。

1.2.2 激素浓度的单因素实验 取初代培养一段时间后长势较好且无污染的茎尖,剪成长约1 cm的茎段,并接种到附加不同浓度6-BA和NAA及40 g·L⁻¹蔗糖、7.5 g·L⁻¹琼脂的MS培养基(pH 5.8)中,其中6-BA浓度分别为0.2、0.5、1.0、1.5、2.0和2.5 mg·L⁻¹;NAA浓度分别为0.01、0.02、0.05、0.10、0.20和0.50 mg·L⁻¹。于25℃、光照度2 000 lx、光照时间12 h·d⁻¹的条件下培养。每处理10瓶,每瓶2株,各3次重复。20 d后观察试管苗的生长情况,统计增殖系数并测量芽长。

1.2.3 培养条件的正交实验 以6-BA浓度、NAA浓度及基本培养基类型为3个因素,每因素设3个水平;6-BA浓度分别为0.1、0.2和0.5 mg·L⁻¹;NAA浓度分别为0.02、0.05和0.10 mg·L⁻¹,基本培养基类型分别为MS、3/4 MS和1/2 MS。选择初代培养一段时间后长势较好且无污染的茎尖,剪成约1 cm的茎段,接种到供试培养基(含40 g·L⁻¹蔗糖和7.5 g·L⁻¹琼脂,pH 5.8)中。于25℃、光照度2 000 lx、光照时间12 h·d⁻¹的条件下培养。每处理15瓶,每瓶2株。20 d后观察试管苗的生长情况,统计增殖系数并测量芽长。

1.2.4 试管苗的移栽条件筛选 将增殖培养30 d的健壮无根试管苗(株高3~5 cm)在室内打开瓶盖炼苗3 d后,将其置于含不同浓度6-BA(0.25和50 mg·L⁻¹)和NAA(0.25和50 mg·L⁻¹)的混合溶液中浸泡1 h,再移栽至填有蛭石、沙子及营养土(体积比1:1:3)的穴盘中,并进行遮阳保水处理。每处理30株苗,培养2周后统计移栽苗的生根率、

生根数及根长。

1.3 数据处理

采用SPSS软件对实验数据进行统计分析,并对各处理间的差异进行显著性分析。

外植体污染率的计算公式为:污染率=(污染苗数/接种苗数)×100%。增殖系数的计算公式为:增殖系数=有效芽苗数/接种芽苗数,其中,有效芽苗是指株高大于0.5 cm的试管苗。

2 结果和分析

2.1 最佳消毒方法

不同浓度HgCl₂及消毒时间对留兰香茎尖消毒效果和生长情况的影响结果见表1。由表1可知,用相同浓度HgCl₂溶液消毒,随消毒时间的延长,虽然外植体的污染率有所下降,但芽的萌发量却减少;消毒时间相同的条件下,用高浓度HgCl₂处理后,留兰香外植体的污染率有所下降,但侧芽的萌发量却急剧减少。结果表明,高浓度HgCl₂处理和长时间浸泡对留兰香茎尖的损伤较大,不利于侧芽的进一步萌发。

根据污染率的差异显著性分析结果,并综合考虑外植体的生长状况,最终确定留兰香茎尖外植体的最佳消毒方法为:初步清洗后,先用体积分数75%的乙醇浸泡30 s,无菌水冲洗3~4次后,再用1.0 g·L⁻¹ HgCl₂溶液浸泡10 min。

2.2 最佳激素浓度的单因素筛选实验结果

2.2.1 最佳6-BA浓度 接种7 d后,留兰香茎尖及茎段均能产生不定芽,且在含较高浓度6-BA的培养基中不定芽的诱导数量较多。接种20 d后,留兰香不定芽的生长及增殖状况见表2。由表2可以看出,6-BA浓度超过1.0 mg·L⁻¹,不定芽的增殖系数明显增大,但玻璃化现象严重,且外植体的伸长生长受到严重抑制;6-BA浓度为2.0 mg·L⁻¹,不定芽的增殖系数达4.70,明显高于其他浓度处理组,但平均芽长仅0.80 cm,且大多玻璃化。因此,为保证不定芽的增殖及芽的伸长生长,留兰香茎尖增殖培养基中的6-BA浓度应低于1.0 mg·L⁻¹。

2.2.2 最佳NAA浓度 不同浓度NAA对留兰香茎尖不定芽增殖效果的影响见表3。由表3可见,接种7 d后,留兰香无菌茎段在只含NAA的培养基上也能产生不定芽,但其增殖系数较添加了6-BA

表1 不同消毒方法对留兰香茎尖消毒效果的比较¹⁾Table 1 Comparison of disinfection effectiveness in different methods for disinfection of *Mentha spicata* L. stem tips¹⁾

HgCl ₂ 浓度/ g · L ⁻¹ Conc. of HgCl ₂	消毒时间/min Disinfection time	外植体数 Number of explant	外植体污染率/% Contamination rate of explant	外植体生长状况 Growth status of explant
1.0	5	15	88.89a	呈绿色,大多数有侧芽萌发 Green, most generating lateral buds
1.0	10	15	20.00b	呈淡褐色,多数有侧芽萌发 Light brown, many generating lateral buds
1.0	15	15	13.33bc	呈暗褐色,少量有侧芽萌发 Dark brown, some generating lateral buds
2.0	5	15	77.78a	呈淡褐色,少量有侧芽萌发 Light brown, a few generating lateral buds
2.0	10	15	15.55bc	呈暗褐色,极少量有侧芽萌发 Dark brown, few generating lateral buds
2.0	15	15	6.67c	呈黑褐色,无侧芽萌发 Black brown, none generating lateral buds

¹⁾ 表中所有数据均为3次重复的平均值 All datums in the table are the average of three replications; 同列中的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)
The different letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

表2 培养基中不同浓度6-BA对留兰香不定芽增殖培养的影响(培养20 d后)¹⁾Table 2 Effects of different concentrations of 6-BA in medium on proliferation culture of adventitious buds of *Mentha spicata* L. (after cultured for 20 d)¹⁾

浓度/mg · L ⁻¹ Concentration	增殖系数 Coefficient of proliferation	平均芽长/cm Average length of bud	不定芽生长状况 Growth status of adventitious bud
0.2	2.20e	1.51b	良好,伸长生长慢 Growing better, elongating slowly
0.5	2.70de	2.12a	良好,伸长生长慢 Growing better, elongating slowly
1.0	3.43cd	1.68b	良好,个别苗玻璃化 Growing better, few vitrification
1.5	3.80c	1.06c	伸长生长慢,玻璃化苗多 Elongating slowly, many vitrification
2.0	4.70a	0.80d	苗矮弱,玻璃化苗较多 Growing poorly, more vitrification
2.5	4.17b	0.54e	苗矮弱,玻璃化苗最多 Growing poorly, most vitrification

¹⁾ 表中所有数据均为3次重复的平均值 All datums in the table are the average of three replications; 同列中的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)
The different letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

表3 培养基中不同浓度NAA对留兰香不定芽增殖培养的影响(培养20 d后)¹⁾Table 3 Effects of different concentrations of NAA in medium on proliferation culture of adventitious buds of *Mentha spicata* L. (after cultured for 20 d)¹⁾

浓度/mg · L ⁻¹ Concentration	增殖系数 Coefficient of proliferation	平均芽长/cm Average length of bud	不定芽生长状况 Growth status of adventitious bud
0.01	1.13c	1.47e	生长势弱 Growing weakly
0.02	2.17a	1.89d	生长良好 Growing better
0.05	1.57b	2.79c	生长良好 Growing better
0.10	1.30bc	3.42a	伸长生长快,苗弱 Elongating fast, weak seedlings
0.20	1.13c	3.18ab	节间长,苗弱 Weak seedlings with long internode
0.50	1.03c	3.06bc	生长势极弱 Growing most weakly

¹⁾ 表中所有数据均为3次重复的平均值 All datums in the table are the average of three replications; 同列中的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)
The different letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

的培养基低,最高仅2.17,平均芽长却相对较长,最长可达3.42 cm。研究结果表明,留兰香不定芽的平均芽长随NAA浓度不同而有所变化,NAA浓度超过0.10 mg · L⁻¹,平均芽长逐渐降低,即较高浓度NAA对留兰香不定芽的伸长生长有抑制作用。因此,在留兰香不定芽的增殖培养过程中,培养基中的NAA浓度不应超过0.10 mg · L⁻¹。

2.3 最佳培养条件的正交实验结果

以增殖系数和平均芽长为指标,对留兰香茎尖组织培养条件优化的正交实验结果进行比较,并对

各因素的重要性进行分析,结果见表4。由表4可以看出,就增殖系数而言,培养基类型为主要影响因素,其次为6-BA浓度,NAA浓度的影响最小;就平均芽长而言,NAA浓度是主要影响因素,其次为培养基类型,6-BA浓度的影响最小。说明培养基类型对留兰香丛生芽的生长和分化有较大影响。另外,培养基中添加6-BA主要影响芽的诱导,而添加NAA则对芽的伸长生长有一定影响。

若以增殖系数为参考指标,则以附加0.5 mg · L⁻¹ 6-BA和0.02 mg · L⁻¹ NAA的MS培养基

最好;若以平均芽长为参考指标,则以附加 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA 和 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 的 MS 培养基最佳。研究还发现,6-BA 浓度为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,留兰香试管苗的玻璃化程度较重。

综合正交实验结果,以增殖系数为主要参考指标,并综合考虑平均芽长和试管苗生长状况等因素,最终确定以添加 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA 和 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 的 MS 培养基为最佳增殖培养基。

表4 留兰香茎尖组织培养条件优化的正交实验设计和结果¹⁾
Table 4 Design and result of the orthogonal experiment for culture condition optimization of *Mentha spicata* L. stem tips¹⁾

编号 Number	因素和水平 Factor and level				I	II
	A	B	C	D		
1	MS	0.1	0.02	-	4.30	2.96
2	MS	0.2	0.05	-	4.57	3.85
3	MS	0.5	0.10	-	4.83	2.63
4	3/4 MS	0.1	0.05	-	3.23	3.15
5	3/4 MS	0.2	0.10	-	3.40	2.54
6	3/4 MS	0.5	0.02	-	4.93	2.23
7	1/2 MS	0.1	0.10	-	2.47	2.31
8	1/2 MS	0.2	0.02	-	3.23	2.76
9	1/2 MS	0.5	0.05	-	3.47	2.45
K I ₁	13.70	10.00	12.46	11.17		
K I ₂	11.56	11.20	11.27	11.97		
K I ₃	9.17	13.23	10.70	11.29		
R I	4.53	3.23	1.76	0.08		
K II ₁	9.44	8.42	7.95	7.95		
K II ₂	7.92	9.15	9.45	8.39		
K II ₃	7.52	7.31	7.48	8.54		
R II	1.92	1.84	2.06	0.59		

¹⁾ A: 基本培养基类型 Type of basic medium; B: 6-BA 浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration of 6-BA; C: NAA 浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration of NAA; D: 空列 Blank; I: 增殖系数 Coefficient of proliferation; II: 平均芽长 (cm) Average length of bud.

2.4 试管苗移栽生根的最佳处理方法

上述培养过程得到的留兰香无根试管苗经过不同浓度 6-BA 和 NAA 混合溶液处理,移栽后的生根情况见表 5。由表 5 可见,不用激素处理的无根试管苗也能生根,但生根率明显低于激素处理的试管苗;在含不同浓度 6-BA 和 NAA 的混合溶液中浸泡 1 h 后再移栽的留兰香无根试管苗均可生根,且生根率在 96% 以上。观察发现,扦插 5 d 后,试管苗开始生根;2 周后,不同处理组试管苗的生根数量和平均根长出现显著差异。综合分析认为,含 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 的溶液对根的诱导效果最佳,含 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 的

溶液对根的伸长生长最有利。

在试管苗移栽过程中,较长根系有利于植株吸收水分和矿质营养,因此,应选择有利于根伸长生长的激素溶液作为留兰香无根试管苗移栽前的最佳处理液,即移栽前将试管苗根部在含 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 的溶液中浸泡 1 h。

表5 不同处理对留兰香无根试管苗移栽生根的影响¹⁾
Table 5 Effects of different treatments on rooting of *Mentha spicata* L. transferring plantlets¹⁾

浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Concentration		平均生根率/% Average rate of rooting	平均生根数 Average number of root	平均根长/cm Average length of root
6-BA	NAA			
25	25	96.67	6.8c	1.18c
25	50	100.00	10.2ab	3.17a
50	25	100.00	9.0bc	2.60b
50	50	100.00	12.6a	2.10bc
0	0	83.33	5.3d	0.94d

¹⁾ 表中所有数据均为 3 次重复的平均值 All datums in the table are the average of three replications; 同列中的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) The different letters in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

3 讨论和结论

由于留兰香具有在叶腋及茎部密生腺毛的特殊组织结构^[10],因而其外植体极易带菌、消毒十分困难,为此,作者选择了包括茎尖在内的茎段做为初代培养的外植体,以降低初代培养的污染率。由于 HgCl_2 消毒对外植体有一定的伤害作用,因此应尽量选择低浓度 HgCl_2 溶液对外植体进行消毒。根据本实验的结果,留兰香组织培养中外植体的最适消毒条件为用 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ HgCl_2 溶液浸泡 10 min。

由于留兰香试管苗伸长生长非常迅速,因此可选择茎段做为增殖培养的外植体。又由于留兰香的分化和生长都需要极高的盐浓度,因此组织培养的基本培养基应选择 MS 基本培养基。留兰香极易生根,盐度较高的培养基还能在增殖培养过程中抑制根的分化。

相对于薄荷属其他种类而言^[11,12],留兰香组织培养过程中需要的激素水平较低,尤其对细胞分裂素的要求很低^[1],高浓度 6-BA 极易导致留兰香试管苗玻璃化,而高浓度 NAA 对试管苗的伸长生长也有一定的抑制作用。根据单因素实验及正交实验结果,确定留兰香茎尖组织培养不定芽增殖的最佳培养基为:添加 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA 和 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

NAA 的 MS 培养基。

留兰香丛生芽在增殖培养过程中极易产生大量的气生根和底部根,因此无需进行专门生根培养,只需在移栽前用一定浓度的激素溶液浸泡一定时间即可,既缩短了培养时间又避免了生根培养时的污染等问题,同时也能节约成本。综合本实验结果,确定留兰香试管苗移栽前的最佳处理方式:将留兰香试管苗在含 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA 和 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 的混合溶液中浸泡 1 h。

参考文献:

- [1] 沙红,廖康.药用植物留兰香的组织培养研究[J].新疆农业大学学报,2003,26(1):10-12.
 - [2] 何璞,康占国.留兰香的生产应用[J].河南农业,2004(8):21.
 - [3] 糙民.留兰香冬季繁殖技术[J].新农业,2004(5):47.
 - [4] 陈小军,陈力,赵刚.留兰香的引种与试种[J].新疆农业科技,2005(1):16-17.
 - [5] 吴康云,陶莲,崔德祥.皱叶留兰香人工驯化栽培技术[J].种子,2006(4):102-103.
 - [6] 柴明良.留兰香的试管繁殖[J].植物生理学通讯,1994(1):30.
 - [7] Li X, Niu X M, Bressan R A, et al. Efficient plant regeneration of native spearmint (*Mentha spicata* L.) [J]. In Vitro Cellular & Developmental Biology—Plant, 1999, 35(4): 333-338.
 - [8] 沈海龙.植物组织培养[M].北京:中国林业出版社,2005.2.
 - [9] 李云雁,胡传荣.试验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2004.209.
 - [10] 张艳玲,姚雷,申晓辉.芳香植物唇萼薄荷组织培养中的污染控制[J].上海农业学报,2005,21(1):4-6.
 - [11] 王小敏,李维林,赵志强,等.不同培养条件对薄荷试管苗玻璃化现象的影响[J].植物资源与环境学报,2006,15(3):51-54.
 - [12] 王小敏,李维林,梁呈元,等.椒样薄荷试管苗生根的影响因素分析[J].植物资源与环境学报,2007,16(3):73-75.
-
- (上接第 28 页 Continued from page 28)
- [3] 徐晓兰,冯煦,王鸣,等.野生与栽培茅苍术挥发油成分的比较分析[J].植物资源与环境学报,2007,16(1):28-30.
 - [4] 王金华,薛宝云,梁爱华,等.苍术有效成分 β -桉叶醇对小鼠小肠推进功能的影响[J].中国药理学杂志,2002,37(4):266-268.
 - [5] Hwang J M, Tseng T H, Hsieh Y S, et al. Inhibitory effect of atractylon on tert-butyl hydroperoxide induced DNA damage and hepatic toxicity in rat hepatocytes[J]. Arch Toxicol, 1996, 70(10): 640-644.
 - [6] Resch M, Heilmann J, Steigel A, et al. Further phenols and polyacetylenes from the rhizomes of *Atractylodes lancea* and their anti-inflammatory activity [J]. Planta Med, 2001, 67: 437-442.
 - [7] Kiso Y, Tohkin M, Hikino H. Antihepatotoxic principles of *Atractylodes* rhizomes [J]. J Nat Prod, 1983, 46(5): 651-654.
 - [8] 朱晓琴,贺善安.苍术(*Atractylodes lancea* (Thunb.) DC.)种内遗传多样性分析[J].植物资源与环境,1995,4(2):1-6.
 - [9] 任冰如,於虹,贺善安.苍术 DNA 分离及 RAPD 遗传多样性分析[J].植物资源与环境,1997,6(4):1-6.
 - [10] 王玉玺,李汉保,周继红,等.苍术的质量研究——茅苍术根和根茎中挥发油的比较[J].中国中药杂志,1991,16(7):393-394.
 - [11] 张康健,马希汉,马梅.杜仲叶次生代谢物生长积累动态的研究[J].林业科学,1999,35(2):15-20.
 - [12] 阎秀峰,王洋,尚辛亥.温室栽培光强和光质对高山红景天生物量和红景天甙含量的影响[J].生态学报,2003,23: 841-849.
 - [13] 徐贵福,庾英兰,刘娟,等.关苍术若干形态特征观察[J].佳木斯医学院学报,1993,16(5):15-17.