

## 欧洲云杉扦插生根特性的研究

靳景春<sup>1</sup>, 胡勐鸿<sup>1</sup>, 张宋智<sup>1</sup>, 马建伟<sup>1</sup>, 张守攻<sup>1\*</sup>, 王军辉<sup>2</sup>,

(1. 甘肃省小陇山林业实验局 林业科学研究所, 甘肃 天水 741020; 2. 中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100091)

**摘要:**采用全光照自动间歇喷雾装置, 河沙做基质, 用不同激素(ABT1、NAA、IBA 和 GGR)、ABT1 不同浓度和处理时间、不同插穗长度、不同采穗母株年龄、不同插穗类型(嫩枝带硬枝和嫩枝)的欧洲云杉扦插生根试验, 清水处理插穗做对照(CK), 试验数据经 spss12.0 分析。结果表明, 不同激素处理的插穗生根率差异显著, 生根率  $ABT1 > GGR > IBA > NAA$ 。而 IBA 处理的插穗生根数, 根系总长和根系效果指数最高, 根系发达。ABT1 不同浓度和处理时间以  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  浸泡 30 min 和 2 h 的插穗生根率最高。50  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  浸泡 1 h 的插穗生根数、根系总长、根系效果指数最高。嫩枝带硬枝的生根数、根系总长和根系效果指数  $>$  嫩枝。 $>15 \text{ cm}$  的插穗生根数、根系总长、根系效果指数最高。来自 23 a 生母株的插穗生根率为 0.0%。

**关键词:**欧洲云杉; 扦插; 插穗; 激素

中图分类号: S791.180.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-7461(2009)05-0070-04

### Rooting Capability of Twigs of *Picea abies*

JIN Jing-chun<sup>1</sup>, HU Meng-hong<sup>1</sup>, ZHANG Song-zhi<sup>1</sup>, MA Jian-wei<sup>1</sup>,

ZHANG Shou-gong<sup>1\*</sup>, WANG Jun-hui<sup>2</sup>

(1. Forestry Institute of Xiaolongshan Forestry Experiment Bureau, Tianshui, Gansu 741020, China;

2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Using river sand as medium, the cutting experiment of *Picea abies* was carried out under the full sunlight and automatic intermittent spraying. The results showed that cuttings treated with different hormones generated significantly different rooting rates, and in the order of  $ABT1 > GGR > IBA > NAA$ . However, the number of roots generated, total rooting length and the root effect index of the cuttings treated with IBA were better than those treated by other hormones. The rooting rates were the highest when the cuttings were treated by ABT1 with the concentrations of  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  for 30 min and  $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  for 2 h. The number of roots generated, total rooting length, and root effect index were the highest when the cuttings were treated by ABT1 with the concentrations of  $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  for 1 h. The number of roots generated, total root length and the root effect index of shoots with hardwood outnumbered shoots, and cuttings length at  $>15 \text{ cm}$  were the best. The rooting rates of the cuttings from 23 a mother trees were 0.0%.

**Key words:** *Picea abies*; cuttage; cutting shoot; hormone

欧洲云杉(*Picea abies*)又名挪威云杉, 乔木, 树形高大, 生长快、干形直、耐寒性强、适应性广。天然分布主要在中欧和北欧, 地处  $42.0^{\circ} \sim 69.5^{\circ} \text{N}$  之间,

是典型的山地树种。在瑞典南部主要分布海拔为 2 000 m, 德国北部分布海拔为  $10 \sim 2\,000 \text{ m}$ , 年降雨量 1 000 mm 左右, 德国北部年均温  $4.4^{\circ} \text{C} \sim 9.2^{\circ} \text{C}$ 、

收稿日期: 2008-10-25 修回日期: 2009-03-12

基金项目: 948 项目“欧洲云杉育种和扩繁产业化技术引进(2006-4-56)”; 国家科技支撑计划“高产优质多抗落叶松、云杉新品种选育”(2006BAD01A1401)课题。

作者简介: 靳景春, 男, 工程师, 主要从事林木良种选育研究工作。

\* 通讯作者: 张守攻。E-mail: shougongzhang@car.ae.cn

奥地利年均温 7℃~10℃<sup>[1-2]</sup>。由于材质好,用途广,为西欧北欧波罗的海沿岸国家,俄罗斯和加拿大的重要工业用材树种。同时,由于树形美观,枝条浓密常绿,又是城市绿化的观赏树种<sup>[3]</sup>。并且其药用价值也为人们所关注<sup>[4]</sup>。世界各地广为引种,其中日本北海道、美国东北部和加拿大东部引种的欧洲云杉优于乡土树种<sup>[5]</sup>。我国引种的欧洲云杉也比国内云杉生长快。而且抗寒、抗病虫害、表现出较强的适应性<sup>[1-2,6]</sup>。

欧洲云杉种子繁殖苗木需 5~7 a 才能出圃。用种困难,远不能满足造林和城市绿化用苗的需要。云杉是针叶树种中无性繁殖最好的树种<sup>[7]</sup>。已将一些特殊高价值基因型通过无性繁殖而扩繁。如加拿大 BC 省林木遗传研究所已开始大量生产由抗象鼻虫双亲产生的西加云杉优良无性系苗<sup>[8]</sup>。德国、瑞典、芬兰等国家一直重视欧洲云杉无性系育种和无性系林业的研究,瑞典、德国、法国营造的人工林中有 15%~50% 来自扦插苗,且呈逐年上升趋势<sup>[9]</sup>。并且短期内使人工林的遗传增益提高 10%~20%。扦插苗在造林成活率、适应性、稳定性和生长等方面优于实生苗<sup>[8-10]</sup>。国外研究认为:欧洲云杉不同类型插穗的生根能力不同<sup>[9-11]</sup>。随年龄增加,硬枝插穗的生根能力下降<sup>[12-13]</sup>。根系发育与化学处理方法有关<sup>[14]</sup>,国内有研究认为:IBA 和 ABT1 能提高欧洲云杉扦插生根率<sup>[15]</sup>。为了更进一步了解欧洲云杉扦插生根特性,在沙坝实验基地进行了欧洲云杉扦插试验。

1 试验地自然概况

试验地设在甘肃天水娘娘坝镇(沙坝实验基地)。地理坐标为 105°54'E、34°07'N,海拔 1 560~2 019 m,年均气温 7.2℃、极端最高气温 32℃、极端最低气温 -27℃、年均降水量 1 012.2 mm,≥10℃ 的有效积温 2 480℃,无霜期 154 d。

2 材料与方法

2.1 扦插基质与插床设置

扦插基质为河沙,厚度>35 cm,采用全光照自动间歇喷雾设备的圆形插床。扦插前用 800 mg·kg<sup>-1</sup>多菌灵消毒,约 1 h 后用水冲洗后待插。

2.2 试验设计与插穗来源

试验采用随机完全区组设计,每处理 3 次重复,每重复 30 株。插穗采自沙坝实验基地 5 a 生欧洲云杉采穗圃和 23 a 生欧洲云杉引种林。插穗为带顶芽的半木质化当年生嫩枝(试验中除不同插穗类

型外其余各处理均为嫩枝)。平均长 12.5 cm、平均基径 2.97 mm,采穗时间为 7:00~9:00。插穗从母株上用刀片削取后基部对齐,每 30 株 1 捆,将基部浸入清水中待处理。

2.3 扦插时间与插穗处理

扦插时间 2007 年 7 月 12 日 16:00 开始扦插,扦插前按试验设计将插穗浸入不同处理溶液中,浸入深度 4 cm,随处理随扦插,扦插株行距 5 cm×5 cm,扦插深度≤5 cm。

2.4 插穗试验

2.4.1 不同激素的试验 用 IBA、NAA、GGR 和 ABT1(中国林科院林研所研制)200 mg·kg<sup>-1</sup>浸泡 1 h(表 1)。

2.4.2 ABT1 不同浓度和处理时间的试验 ABT1 不同浓度和处理时间的试验见表 1。

2.4.3 不同插穗长度的试验 选取 5~10 cm、10~15 cm 和>15 cm 3 种插穗长度。用 200 mg·kg<sup>-1</sup>ABT1 浸泡 1 h。

2.4.4 不同插穗类型的试验 嫩枝基部带 2 a 生硬枝(不带侧枝平均长 23.4 cm、平均基径 4.42 mm)和嫩枝用 200 mg·kg<sup>-1</sup>ABT1 浸泡 1 h。

2.4.5 不同采穗母株年龄的试验 从 5 a 和 23 a 生母株上采取插穗,200 mg·kg<sup>-1</sup>ABT1 浸泡 1 h。

2.4.6 数据来源 2008 年 3 月基质解冻后调查单株生根数、根系总长,每处理调查 20 株。

表 1 欧洲云杉嫩枝扦插激素试验设计  
Table 1 Hormone experiment designs of softwood cuttings of *P. abies*

激素	浓度/(mg·kg <sup>-1</sup> )	处理时间/min	试验编号
GGR	200	60	A
ABT	200	60	B
NAA	200	60	C
IBA	200	60	D
ABT1	50	60	1
ABT1	100	30	2
ABT1	1 000	3	3
ABT1	1 000	5	4
ABT1	500	5	5
ABT1	500	3	6
ABT1	500	60	7
ABT1	800	3	8
ABT1	800	5	9
ABT1	100	60	10
ABT1	200	30	11
ABT1	200	60	12
ABT1	200	120	13
ABT1	200	300	14
CK	0		15

2.5 扦插管理

扦插后 7:00 前 19:00 后及雨天停喷,40 d 内每

3 min 喷雾 30 s,40 d 后每 6~7 min 喷雾 30 s,阴天延长喷雾时间,80 d 后每 10 min 喷雾 30 s。及时剪除杂草,每 15 d 用 800 倍液多菌灵消毒 1 次。留床越冬,扦插基质解冻后移床培育。

2.6 数据分析

计算各处理生根率、平均生根数、平均根系总长,采用 SPSS12.0 进行统计分析。百分率数据进行反正弦转换,利用根系效果指数评价各类插穗的生根性,根系效果指数参照王军辉<sup>[7]</sup>简化的公式即:根系效果指数=(平均根长×根系数量)/调查穗条数。

3 结果与分析

3.1 不同激素对欧洲云杉嫩枝扦插生根的影响

欧洲云杉嫩枝扦插生根主要为愈伤组织生根,因此不同植物生长调节物质的使用有助于愈伤组织和不定根的形成。从表 2 可以看出,不同激素对欧洲云杉嫩枝扦插生根率的影响差异显著,但对生根数、根系总长和根系效果指数的影响差异不显著。ABT1 处理的插穗生根率最高,GGR 次之,生根率分别为 96.7%和 86.7%(表 3),比对照(CK)分别提高了 25%和 15%。而 IBA 处理的生根数、根系总长和根效果指数高于其他激素的处理,平均生根数为 7.9 条·株<sup>-1</sup>,平均根总长为 14.3 cm·株<sup>-1</sup>,根系效果指数为 78.1。表明 GGR、ABT1 能提高插穗的生根率,而 IBA 对根系发育有促进作用,能提高根系质量。

3.2 ABT1 不同浓度和处理时间对生根的影响

方差分析显示,ABT1 不同浓度不同浸泡时间对生根率、生根数、根长和根系效果指数的影响差异极显著(表 2)。由表 4 可见,100 mg·kg<sup>-1</sup>和 200 mg·kg<sup>-1</sup>浸泡插穗基部 30 min 和 1 h 的处理生根率最高,而 50 mg·kg<sup>-1</sup>浸泡插穗基部 1 h 的插穗生根数、根系总长和根系效果指数高于其他处理;平均生根数达 11.5 条·株<sup>-1</sup>,平均根长达 18.8 cm·株<sup>-1</sup>;其次为 200 mg·kg<sup>-1</sup>浸泡插穗 2 h 的处理平均根长 16.7 cm·株<sup>-1</sup>。100 mg·kg<sup>-1</sup>浸泡 1 h 和 200 mg·kg<sup>-1</sup>浸泡 30 min 的生根率最低仅为 6.5%。而 1 000 mg·kg<sup>-1</sup>和 500 mg·kg<sup>-1</sup>处理 3 min 和 5 min 次之,生根率分别为 21.1%和 18.0%,平均生根数也少,分别为 4.8 条·株<sup>-1</sup>和 4.5 条·株<sup>-1</sup>。800 mg·kg<sup>-1</sup>处理插穗 5 min 平均根长仅为 2.3 cm·株<sup>-1</sup>,根系效果指数为 1.46,不仅生根率低根系质量也差。200 mg·kg<sup>-1</sup>ABT1 浸泡 5 h 插穗平均生根数 3.7 条·株<sup>-1</sup>,平均根总长 3.5 cm·株<sup>-1</sup>。由此可见 ABT1 对欧洲云杉嫩枝扦插生根

的影响不仅与浓度有关还与处理时间有关。800~1 000 mg·kg<sup>-1</sup> ABT1 浸泡 3~5 min 的处理对生根没有促进作用反而有拟制作用。相同浓度(如 100 mg·kg<sup>-1</sup>和 200 mg·kg<sup>-1</sup>)不同处理时间(30 min 和 60 min)对欧洲云杉嫩枝扦插生根的影响不同(表 4)。试验表明,50 mg·kg<sup>-1</sup> ABT1 浸泡 1 h 处理的插穗的根系发达,100 mg·kg<sup>-1</sup> ABT1 浸泡 30 min 和 200 mg·kg<sup>-1</sup>浸泡 2 h 处理的插穗生根率高。

表 2 欧洲云杉扦插生根性状方差分析结果

Table 2 Analysis of variance of rooting character of cuttings of *P. abies*

试验处理	根系效果指数	平均生根数/(条·株 <sup>-1</sup> )	平均根长/(cm·株 <sup>-1</sup> )	生根率/%
不同激素间	3.553	1.924	2.789	4.491*
ABT 不同浓度与浸泡时间	6.146**	2.776**	9.091*	17.871**
枝条类型	28.332*	95.671*	27.423*	6.329
枝条长度	2.228	16.038**	12.876**	1.765

注:\*表示差异显著(5%显著水平);\*\*表示差异极显著(1%极显著水平)。

表 3 不同激素对生根的影响

Table 3 Effects of different hormone treatments on rooting characters of cuttings of *P. abies*

试验处理	根系效果指数	平均生根数/(条·株 <sup>-1</sup> )	平均根长/(cm·株 <sup>-1</sup> )	生根率/%
A	52.9a	7.1a	8.4a	86.7ab
B	24.0a	6.8a	11.3a	96.7a
C	25.0a	5.2a	7.6a	53.3b
D	78.1a	7.9a	14.3a	63.3ab
CK	87.7a	8.1a	15.8a	71.7ab

注:同列数据中不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

3.3 不同插穗类型对生根的影响

嫩枝基部带 2 a 生硬枝(不带侧枝)与嫩枝 2 种插穗间生根率差异不显著(表 2)。但生根数、根系总长和根效果指数差异极显著。嫩枝基部带 2 a 生硬枝的生根数、根系总长、根系效果指数远远大于嫩枝,平均生根 14.8 条·株<sup>-1</sup>,平均根系总长 71.5 cm·株<sup>-1</sup>,而嫩枝平均生根 5 条·株<sup>-1</sup>,平均根长 5.4 cm·株<sup>-1</sup>。嫩枝基部带 2 a 生硬枝插穗的生根数是嫩枝的 3 倍,平均根长是嫩枝的 13.3 倍(表 5)。经跟踪调查嫩枝带硬枝扦插苗移床培育后当年平均苗高 31.2 cm,地径 5.1 mm,当年高生长量 7.2 cm(2008 年 9 月样方调查,3 次重复、每重复调查 24 株)已达出圃标准。

3.4 不同插穗长度对生根的影响

方差分析显示,不同长度的插穗生根率差异不显著,但是平均生根数、根系总长差异显著(表 2 和表 6)。>15 cm 的插穗生根数、根系总长 2 项指标都高,而 5~10 cm 的插穗根长和生根数最低。表明

欧洲云杉扦插生根与插穗本身的健康状况和枝条本身的属性有关,有明显长度效应。

表 4 ABT1 不同浓度和浸泡时间对生根的影响

Table 4 Effects of different hormone concentrations and time on rooting characters of cuttings of <i>P. abies</i>												
处理	根系效果指数			平均生根数/(条·株 <sup>-1</sup> )			平均根总长/(cm·株 <sup>-1</sup> )			生根率/%		
1	170.4	a	A	11.5	a	A	18.8	a	A	59.2	a	AB
2	72.8	ab	AB	6.1	ab	AB	13.1	abcde	ABCDE	70.7	a	A
3	5.0	b	B	4.8	b	B	6.2	def	BCDE	21.1	c	E
4	9.0	b	B	6.5	ab	AB	5.2	ef	CDE	23.4	c	DE
5	16.5	b	B	6.9	ab	AB	7.0	cdef	BCDE	33.9	bc	BCDE
6	12.3	b	B	7.0	ab	AB	7.0	cdef	BCDE	29.9	bc	DE
7	17.4	b	B	6.7	ab	AB	7.6	abcde	ABCDE	28.5	bc	DE
8	12.8	b	B	7.0	ab	AB	6.0	def	BCDE	30.8	bc	CDE
9	1.5	b	B	4.5	b	B	2.3	f	E	18.0	c	E
10	84.5	ab	AB	6.7	ab	AB	14.6	abcd	ABCD	6.5	a	A
11	23.0	b	B	5.5	b	AB	5.0	ef	DE	6.5	a	A
12	66.1	b	AB	6.6	ab	AB	7.6	bcdef	BCDE	61.0	a	A
13	96.7	ab	AB	6.6	ab	AB	16.7	ab	AB	66.6	a	A
14	9.5	b	B	3.7	b	B	3.5	f	E	51.8	ab	ABCD
15	87.7	ab	AB	8.1	ab	AB	15.8	abc	ABC	62.9	a	A

注:同列数据中不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P>0.01$ ),下表同。

表 5 不同插穗类型对生根的影响

Table 5 Effects of different cutting types on rooting characters of cuttings of <i>P. abies</i>				
插穗类型	根系效果指数	平均生根数 /(条·株 <sup>-1</sup> )	平均根总长 /(cm·株 <sup>-1</sup> )	生根率/%
嫩枝带硬枝	942.6a	14.8a	71.5a	67.4a
嫩枝	17.7b	5.3b	5.4b	51.9a

3.5 不同采穗母株年龄对生根的影响

由于材料所限仅做了 5 a 和 23 a 采穗母株年龄的试验。结果采自 23 a 生母株上的插穗枯死,无一生根;而采自 5 a 生母株的插穗生根率为 89.6%。有的研究认为<sup>[12-13]</sup>,树龄 1~20 a 生的欧洲云杉扦插生根率在 80% 以上,20~40 a 间突然下降至 40%。表明欧洲云杉嫩枝扦插年龄效应明显。

表 6 不同插穗长度对生根的影响

Table 6 Effects of different lengths on rooting characters of cuttings of <i>P. abies</i>												
处理/cm	根系效果指数			平均生根数/(条·株 <sup>-1</sup> )			平均根总长/(cm·株 <sup>-1</sup> )			生根率/%		
10~15	42.1	a	A	6.5	bc	AB	7.8	b	AB	66.1	a	A
>15	133.2	a	A	9.7	a	AB	23.9	a	AB	51.0	a	A
5~10	18.4	a	A	4.1	c	B	5.3	b	B	64.0	a	A
CK	87.7	a	A	8.1	ab	AB	15.8	ab	AB	62.9	a	A

4 结论与讨论

不同激素对欧洲云杉扦插生根的影响效果显著。ABT1 处理的插穗生根率最高。NAA 处理的插穗生根率最低。

IBA 对欧洲云杉根系发育有促进作用,经 IBA 处理的插穗平均生根数、平均根总长和根系效果指数高,根系较其他激素处理的发达。

ABT1 不同浓度和处理时间以 100 mg·kg<sup>-1</sup> 浸泡 30 min 插穗生根率最高,200 mg·kg<sup>-1</sup> 处理插穗 2 h 的生根率次之。100 mg·kg<sup>-1</sup> 浸泡 1 h 和 200 mg·kg<sup>-1</sup> 浸泡 30 min 的生根率最低,1 000 mg·kg<sup>-1</sup> 浸泡 3 min 处理的插穗生根率次之。50 mg·kg<sup>-1</sup> 浸泡 1 h 的插穗根系发达。ABT1 对欧洲云杉嫩枝扦插生根的影响与浓度和处理时间都有关。浓度与时间的恰当配置有待进一步研究。

欧洲云杉嫩枝扦插存在明显年龄效应,试验中采自 23 a 生母株上的插穗生根率为 0.0%。欧洲云

杉嫩枝扦插采穗母株年龄应在 20 a 以下。

欧洲云杉扦插生根与插穗本身的属性有关。嫩枝带硬枝插穗的平均生根数、平均根总长和根系效果指数>嫩枝。>15 cm 的插穗平均生根数、平均根总长和根系效果指数>5~15 cm 的插穗。欧洲云杉扦插繁殖宜用嫩枝带硬枝或>15 cm 的嫩枝作插穗效果最佳。

致谢:西北农林科技大学杨途熙教授提出修改意见,特此致谢!

参考文献:

[1] 张立功,张闯令,赵恒军,等,欧洲云杉引种研究[J]. 河北林学院学报,1995,10(2):122-126.  
[2] 祁万宜,应中华,王军辉,等,几种针叶树引种试验研究[J]. 河北农业大学学报,2004,40(1):38-44.  
[3] 马常耕. 世界云杉无性系林业发展现状[J]. 世界林业研究, 1993,(6):24-31.

增加,AM真菌对葡萄幼苗根段的侵染率先上升后下降。这说明接种AM真菌对葡萄受到重金属盐胁迫时具有一定的缓解作用,但有一定的浓度限制。多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)在酚类化合物聚合成木质素时起重要作用。它们的重要特性就是催化细胞壁酚类化合物氧化形成更疏水的聚合物如木质素,这可以加固细胞壁,减少植物被病原菌侵染的可能性。所以,PPO、POD是植物提高自身抗病性的物质代谢基础。结果表明,接种AM真菌的葡萄植株在镉胁迫下具有较高的酶活性,显著高于未接种葡萄植株。因此接菌葡萄能减弱镉胁迫对植株细胞膜的伤害而提高植株的抗性。苯丙氨酸解氨酶(PAL)是苯丙烷类代谢途径中的关键酶,结果表明,接种AM真菌能在 $0\sim 600\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的镉胁迫下促进PAL活性的提高,降低重金属镉对葡萄苗木的毒害,但最大承受浓度还有待于以后的研究。

#### 参考文献:

- [1] 贺学礼,刘妮,安秀娟,等.水分胁迫下AM真菌对柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)生长和抗旱性的影响[J].生态学报,2009,29(1):47-52.
- [2] 王奇燕,张振文,刘世秋.AM真菌在赤霞珠扦插苗上的应用研究[J].酿酒科技,2008(6):75-78.
- [3] 郭绍霞,姜洪波,刘宁,等.AM真菌对3种花卉生长发育的影响[J].辽宁林业科技,2008(4):22-25.
- [4] 毕银丽,吴福勇.菌根对煤矿废弃物生态恢复的营养动力学影响[J].农业工程学报,2006,22(5):147-152.
- [5] 程兆霞,凌婉婷,高彦征,等.丛枝菌根对砷污染土壤修复及植物吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(6):1178-1185.
- [6] JAMAL A, AYUB N, USMAN M, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance zinc and nickel uptake from contaminated soil by soybean and lentil [J]. Int J Phytoremed, 2002, 4(3): 205-221.
- [7] 王发园,林先贵.丛枝菌根-植物修复重金属污染土壤研究中的热点[J].生态环境,2006,15(5):1086-1090.
- [8] 杨旭,向昌国,刘志霄.重金属污染对土壤动物的影响[J].中国农学通报,2008,24(12):454-457.
- [9] RUFYIKIRI G, DECLERCK S, THIRY Y. Comparison of  $^{233}\text{U}$  and  $^{33}\text{P}$  uptake and translocation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in root organ culture conditions[J]. Mycorrhiza, 2004, 14(3):203-207.
- [10] 王发园,林先贵.丛枝菌根在植物修复重金属污染土壤中的作用[J].生态学报,2007,27(2):793-801.
- [11] HEGGO A, ANGLE J S, CHAN R L. Effects of mycorrhizal fungi on heavy metal uptake by soybeans[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1990, 22:865-869.
- [12] 刘润进,陈应龙.菌根学[M].北京:科学出版社,2007.
- [13] 孙群,胡景江,曹翠玲,等.植物生理学研究技术[M].陕西杨陵:西北农林科技大学出版社,2006.
- [14] 高俊凤.植物生理学实验技术[M].西安:世界图书出版公司,2000.
- [15] 戴青,韩刚,孙德祥,等.干旱胁迫下杨柴的抗氧化防御系统研究[J].西北林学院学报,2008,23(4):1-4.
- [16] 冯蕾,白志英,路丙社,等.NaCl胁迫对色木碱和流苏膜脂过氧化及抗氧化酶活性的影响[J].西北林学院学报,2008,23(4):5-7.
- [4] 王良信.摘欧洲赤松和欧洲云杉粗提取物的胃保护作用[J].国外医药(植物药分册),2002,17(1):26.
- [5] NEUFFER M G, EHCOC J R. Paraffin oil technique for treating corn pollen with chemical mutagens [J]. MAYDICA, 1978, 22:21-28
- [6] 赵秋玲,杨海浴,黄慧玲,等.小陇山林区欧洲云杉引种试验初报[J].甘肃农业科技,2006(6):17-19.
- [7] 王军辉,张建国,张守攻,等.青海云杉硬枝扦插的激素、年龄、和位置效应研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(7):65-71.
- [8] 四川粗枝云杉纸浆材协作组.挪威云杉无性系林业发展现状与趋势[J].西南林学院学报,2001,21(1):57-63.
- [9] MATS H C A, INGER E. Rooting success of cutting from young *Picea abies* in transition to flowering competent phase [J]. Scand J For Res, 1999, 14:498-504.
- [10] 金明深,崔永林,朴光日.无性系林业的实用化现状[J].延边大学农学报,2004,26(1):20-26.
- [11] BENTZER B G. Rooting and early shoot characteristics of *Picea abies* (L.) Karst cutting originating from shoots with enforced vertical growth [J]. Scand J For Res, 1988, 3:481-491.
- [12] KLEINSCHMIT J, SCHMIDT J. Experiences with *Picea abies* cutting propagation in Germany and problems connected with large scale application [J]. Silvae Genetica, 1997, 26:5-6.
- [13] MEIER-DINKEL A J. Ageing in Tree Specie; Present Knowledge [M] //Rodriqz R. Plant Ageing-Basic and Applied Approaches. New York and London: Plinum Press, 1990.
- [14] 张含国.欧洲云杉的无性繁殖[J].国外林业,1992,22(4):8-10.
- [15] 董健,黄国学,吴月亮,等.欧洲云杉嫩枝扦插育苗技术[J].东北林业大学学报,2001,29(4):57-59.

(上接第73页)