

外源 NO 供体 SNP 对欧洲云杉插穗生根的效应

安三平¹, 王丽芳¹, 王美琴¹, 马建伟¹, 张宋智¹, 王军辉^{2*}

(1. 小陇山林业科学研究所, 甘肃 天水 741002; 2. 中国林业科学研究院 林业研究所 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

摘 要:对 SNP 处理欧洲云杉的最适浓度、最佳处理时间、不同插穗年龄和侧枝类型以及 SNP、IBA、NAA 促进生根效果的比较等方面进行了系统研究。结果表明:一定浓度 SNP 均能显著促进欧洲云杉的生根和侧根的发生, 50 mg · L⁻¹ SNP 处理 5 h 是 SNP 促进欧洲云杉生根的最佳浓度和最佳时长; SNP 和 IBA 处理, 均可明显促进欧洲云杉的生根, SNP 的生根数量、平均根长均最佳; SNP 处理的插穗年龄和侧枝类型对欧洲云杉的响应较大, 1 龄和一级侧枝可明显提高扦插成活率, 内源 NO 在侧根发生及其形成中可能起着重要作用。

关键词: 硝普钠(SNP); 一氧化氮; 欧洲云杉; 生根

中图分类号: S723.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2012)04-0124-05

Effects of Exogenous NO Donor SNP on Cuttage Rooting of *Picea abies*

AN San-ping¹, WANG Li-fang¹, WANG Mei-qin¹, MA Jian-wei¹,
ZHANG Song-zhi¹, WANG Jun-hui^{2*}

(1. Research Institute of Forestry of Xiaolongshan, Tianshui, Gansu 741002, China; 2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Effects of sodium nitroprusside (SNP) on cottage rooting of *Picea abies* were systemically examined from the aspects of optimal concentration, optimal treatment time, age of cuttings, and lateral branch types. The results were compared with those of IBA and NAA. It was found that SNP in certain concentrations could significantly promote rooting and lateral roots development. The optimal concentration and optimal treatment time were 50 mg · L⁻¹ and 5 h, respectively. Treated by SNP and IBA, the rooting could significantly be promotes, the number of rooting, average root length were optimal after treated by SNP. Differences were observed among the cuttings with different ages and lateral branches with different types after treated by SNP. Higher survival rates were found in one-age cuttings and I—lateral branches. Exogenous NO had an important role in lateral roots development.

Key words: SNP; NO; *Picea abies*; rooting

一氧化氮(NO)是一种新型的细胞间和细胞内信使分子,已广泛存在于生物界包括植物和微生物中。直到 1996 年,关于 NO 对植物功能的研究才引起了全球植物学界的密切关注。近年来的研究表明,NO 也是植物的重要生物活性分子,参与许多植物生长发育过程,如种子萌发^[1]、侧根形成^[2]、根和叶的生长发

育^[3]、光合特性^[4-5]、氮化合物合成以及硝酸还原酶活性^[6]等。NO 在常温下为气体,在水中溶解度很小,极易透过细胞膜扩散,半衰期为 3~5 s。SNP(硝普钠)是一种有效的外源 NO 供体,被植物体吸收后可在细胞内降解并释放 NO,用 SNP 作外源处理探求 NO 效应,是目前研究中常用的方法。目前有关 NO 效应的

收稿日期:2011-09-14 修回日期:2011-11-14

基金项目:农业科技成果转化资金项目(2010GB24320611);林业科技成果国家级推广计划项目(2009-5);甘肃省科技重大专项(1102NKDE028)。

作者简介:安三平,男,工程师,研究方向:林木良种选育。E-mail:ansanplks@126.com

* 通讯作者:王军辉,研究员,博士生导师,研究方向:云杉和楸树的遗传育种。E-mail:wangjh808@sina.com

研究多集中在大田农作物及蔬菜作物上,但对云杉植物侧根发生的影响尚未见报道。欧洲云杉(*Picea abies*)是研究侧根发生的良好试验材料^[7-8]。本试验以欧洲云杉为材料,研究了外源 NO 供体 SNP 促进生根的浓度效应、处理时间效应、不同插穗年龄效应及侧枝类型效应等问题,并对 SNP、吲哚丁酸(IBA)、萘乙酸(NAA)促进生根的效应进行了比较。为进一步探索 SNP 和 IBA、NAA 等生长调节剂促进欧洲云杉不定根发生的机制以及 NO 在植物生长发育中的作用积累基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况和插床设置

试验地设在甘肃小陇山林业科学研究所苗圃,海拔 1 160 m。年降雨量 600~800 mm,蒸发量 1 290 mm,平均气温 10.7℃。插床采用悬臂转动式全光自动喷雾装置,为直径 12 m,高 60 cm 的圆形架空插床。在轻基质网袋容器中(基质炭化稻壳:泥炭土为 6:4)进行扦插试验。

1.2 插穗来源和处理方法

材料选取甘肃小陇山林业科学研究所 6 年生欧洲云杉采穗圃的插穗。2009 年 6 月下旬,剪取采穗母株上带顶芽的一级侧枝为插穗,并迅速用利刀刀将基部削成楔形,制成长 8~10 cm 的穗条,每 30 根捆成 1 捆,扦插试验采用完全随机区组设计,每处理 3 次重复,每重复 30 个插穗,采用蒸馏水处理为对照(CK)。

SNP 购自 Sigma 公司,IBA、NAA 均为国产分析纯试剂。SNP、IBA、NAA 先用蒸馏水配制成 1 000 mg·L⁻¹的母液,4℃保存,用时按所需浓度进行稀释。

1.3 试验设计

1.3.1 不同激素对欧洲云杉生根影响 处理 1:用 300 mg·L⁻¹ SNP 处理 5 h;处理 2:200 mg·L⁻¹ IBA 处理 1 h;处理 3:200 mg·L⁻¹ NAA 处理 1 h;CK:蒸馏水处理 10 h。

1.3.2 外源 NO 供体 SNP 不同浓度和不同处理时

间对欧洲云杉生根的影响 SNP 不同浓度分别用 50、100、150、200、300 和 500 mg·L⁻¹,每种浓度的处理时间梯度分别为 1、5、10 h。

1.3.3 外源 NO 供体 SNP 对欧洲云杉插穗年龄生根的效应 在采穗母株上采 1、2、3 龄共 3 种枝龄,插穗采用 300 mg·L⁻¹ SNP 处理 5 h,研究 SNP 对插穗生理年龄的生根影响。

1.3.4 外源 NO 供体 SNP 对欧洲云杉分枝次序生根的效应 以采穗母树的主梢、顶轮侧枝、一级侧枝、二级侧枝、三级侧枝为插穗,插穗用 300 mg·L⁻¹ SNP 处理 5 h,研究 SNP 对采穗母树各级侧枝的生根影响。

1.4 调查统计分析方法

试验均在扦插 100 d 时,按处理和重复调查 90 个插穗的根部腐烂率、生根率、生根数量、单根长度。用 DPS 对数据进行统计分析。

各类插穗生根性状评价采用根系效果指数,根据朱湘渝^[9]的根系效果指数简化为:根系效果指数=平均根长×生根数量/扦插穗条总数。

2 结果与分析

2.1 SNP、IBA 和 NAA 对欧洲云杉扦插生根比较

不同激素处理的生根数量、平均根长存在显著的差异,根系效果指数存在极显著的差异,生根率差异不显著(表 1)。与 CK 相比,SNP 和 IBA 单独处理,均可明显促进欧洲云杉的生根率、生根数量和平均根长,SNP 的处理的生根率虽然比 IBA 处理的生根率低 12.2%,但生根数量、平均根长和根系效果指数均显著优于 IBA 的处理。而 NAA 与 CK 差异不显著(表 2)。通过形态观察发现,SNP 与 IBA 单独处理诱导形成的侧根形态基本一致,较细长,说明 NO 与 IBA 诱导生根的内部机制有一定相关性。而 NAA 为生长素类似物,对欧洲云杉促进细胞的分裂与扩大的效果不明显,与 IBA 和 SNP 不同的是,其诱导的侧根较粗、短。因此,用 SNP 处理欧洲云杉插穗,可以明显的促进生根率(73.33%)、生根数量(7.41 条)、平均根长(1.70 cm)。

表 1 扦插生根性状的方差分析
Table 1 Analysis of variance on rooting characteristics of cutting

试验处理	生根率		生根数量		平均根长		根系效果指数	
	F	p	F	p	F	p	F	p
不同激素	3.940	0.080 6	7.791 *	0.021 5	5.820 *	0.039 4	16.310 **	0.003 7
不同浓度和处理时间	0.830	0.660 0	2.249 *	0.020 0	1.570	0.120 0	1.664	0.092 3
侧枝类型	34.158 **	0.000 1	207.847 **	0.000 1	9.836 **	0.001 7	14.000 **	0.000 4
插穗年龄	39.669 **	0.000 3	109.598 **	0.000 1	47.506 **	0.000 2	129.091 **	0.000 1

注:数据后标 * 表示在 p<0.05 水平上差异显著,** 表示在 p<0.01 水平上差异极显著。

表 2 不同激素对欧洲云杉插穗生根的影响
Table 2 Effects of different hormones on cuttage rooting of *P. abies*

激素	生根率/%	生根数量/条	平均根长/cm	根系效果指数
IBA	85.55±1.93a	6.40±0.87ab	1.65±0.27a	0.35±0.08ab
NAA	52.22±1.12b	5.82±0.96b	0.82±0.44b	0.27±0.08b
SNP	73.33±0.52ab	7.41±1.65a	1.70±0.54a	0.44±0.23a
CK	58.89±0.70b	2.54±0.61c	0.85±0.10b	0.12±0.05b

同列数据后不同字母间表示差异显著($p<0.05$)。下同。

2.2 外源 NO 供体 SNP 浓度和处理时间对欧洲云杉生根的影响

外源 NO 供体 SNP 不同浓度和不同时间处理对欧洲云杉生根影响的生根数量存在显著的差异,其它性状差异不显著(表 1)。与对照相比,一定浓度 SNP 均能显著促进欧洲云杉的生根和侧根的发生,表现出明显的浓度效应(表 3)。浓度 50~500 mg·L⁻¹处理 5 h 的生根效应明显优于 CK,但随浓度增加,生根数量明显有下降的趋势,表现出插穗失水萎蔫,基部腐烂等受害症状,因此,以 50 mg·L⁻¹ SNP 作为促进欧洲云杉侧根发生的最适浓度,其生根率较对照增加了 39.6%,单株生根数较对照增加了 253.5%。不同处理时间对欧洲云杉其生根效应明显不同,且以 5 h 最佳,用 50 mg·L⁻¹ SNP 处理 5 h 的单株生根数平均为 8.98 条,处理 10 h 的生根

数量下降了 50%。处理 10 h 后,插穗出现明显的失水萎蔫症状。因此,50 mg·L⁻¹ SNP 处理 5 h 是 SNP 促进欧洲云杉生根的最佳时长,超过这一时间,NO 浓度可能过大,对插穗基部造成一定程度伤害,导致生根数下降。

2.3 外源 NO 供体 SNP 对欧洲云杉生根的插穗年龄效应

外源 NO 供体 SNP 对欧洲云杉不同生理年龄处理的生根率、生根数量、平均根长、根系效果指数都存在极显著的差异(表 1)。1 龄与 2、3 龄的生根率差异极显著,1 龄的为 90.00%,2 龄和 3 龄的为 50.00%;但 2 龄的生根数量显著好于 1 龄的生根数量,1 龄的为 6.79 条,2 龄的为 13.93 条;因此,用 SNP 处理欧洲云杉 2 龄的插穗,可以获得较高质量的扦插苗,但生根率明显低于 1 龄的插穗(表 4)。

表 3 NO 供体 SNP 不同浓度和不同处理时间对欧洲云杉插穗生根的影响

Table 3 Effects different concentrations and treatment time of SNP on cuttage rooting of *P. abies*

浓度/mg·L ⁻¹	时间/h	生根率/%	生根数量/条	平均根长/cm	根系效果指数
50	1	80.00±2.12a	6.62±0.69abcd	1.08±0.30abcd	0.24±0.10bcde
	5	82.22±0.21a	8.98±0.76a	1.90±0.14a	0.57±0.07a
	10	42.22±1.19b	4.42±1.08cdef	1.06±0.39abcd	0.16±0.09cde
100	1	67.78±4.72ab	5.11±3.56bcdef	1.38±0.78abc	0.30±0.25bcde
	5	85.56±0.46a	6.64±0.33abcd	1.54±0.03ab	0.34±0.02abcde
	10	44.44±0.88b	6.18±2.68abcde	1.41±0.20abc	0.29±0.13bcde
150	1	66.67±5.77ab	3.82±3.33def	0.68±0.59cd	0.13±0.12de
	5	81.11±039a	7.21±0.89abc	1.31±0.38abcd	0.32±0.14abcde
	10	47.78±0.98b	5.94±0.68abcde	1.09±0.20abcd	0.22±0.05bcde
200	1	58.89±1.31b	6.76±1.88abcd	1.73±0.70a	0.42±0.27abc
	5	73.33±2.27a	6.47±0.23abcde	1.81±0.07a	0.39±0.01abcd
	10	68.89±0.47a	7.61±2.43abc	1.23±0.33abcd	0.33±0.19abcde
300	1	80.00±0.33a	8.16±0.73ab	1.61±0.13ab	0.44±0.07ab
	5	81.11±0.72a	7.33±0.8abc	1.57±0.19ab	0.39±0.08abcd
	10	62.22±5.58ab	3.21±2.86ef	0.84±0.72bcd	0.13±0.12de
500	1	71.11±3.67a	6.22±2.65abcde	1.44±1.20abc	0.37±0.35abcde
	5	64.44±1.80a	5.74±2.37abcde	1.56±0.55ab	0.33±0.24abcde
	10	30.00±5.48c	2.06±3.57f	0.51±0.88d	0.10±0.18e
CK	12	58.89±0.70b	2.54±0.61e	0.85±0.10e	0.12±0.05e

表 4 SNP 对欧洲云杉插穗年龄效应试验的生根影响

Table4 Effects of cuttage age on cuttage rooting after treated by SNP

插穗年龄/a	生根率/%	生根数量/条	最长根长/cm	平均根长/cm	总根长/cm
1	90.00±4.58a	6.79±0.97b	2.17±0.47b	1.12±0.10c	8.359±0.56c
2	50.00±5.00b	13.93±0.35a	3.51±0.36a	2.89±0.36a	20.34±1.51a
3	50.00±8.66b	7.87±0.40b	2.18±0.30b	1.98±0.08b	10.36±0.52b

2.4 外源 NO 供体 SNP 对欧洲云杉生根的分枝次序效应

外源 NO 供体 SNP 对欧洲云杉插穗类型的生根率、生根数量、平均根长、根系效果指数都存在极显著的差异(表 1)。一级侧枝的生根率为 90%，显

著比顶轮(53.33%)和主梢插穗(63.33%)的高;主梢插穗的生根数量显著的高于其他侧枝;综合考虑选择一级侧枝为欧洲云杉插穗,可以明显提高扦插成活率,生根质量也优于三级侧枝(表 5)。

表 5 SNP 对欧洲云杉分枝次序生根效应试验的生根影

Table 5 Effects of *P. abies* branching order on cuttage rooting after treated by SNP

插穗类型	生根率/%	生根数量/条	最长根长/cm	平均根长/cm	总根长/cm
主梢插穗	63.33±2.31c	10.84±0.20a	2.7±0.26a	1.68±0.28ab	14.99±0.36a
顶轮侧枝	53.33±3.51d	8.44±0.51b	1.44±0.19c	1.12±0.10c	7.6±0.36d
一级侧枝	90.00±5.00a	6.79±0.26d	2.17±0.32b	1.11±0.19c	8.35±0.30c
二级侧枝	83.33±5.77ab	7.36±0.29c	2.54±0.35ab	1.48±0.13b	10.5±0.50b
三级侧枝	80.00±5.00c	3.92±0.07e	2.57±0.25ab	1.95±0.05a	6.16±0.15e

3 结论和讨论

有学者^[10-11]曾证明 SNP 能够有效促进绿豆侧根的发生,本文以欧洲云杉为材料,得到了与其完全一致的结果,并且对 SNP 的最适浓度、最佳处理时间、不同插穗年龄和侧枝类型对 SNP 的响应以及 SNP、IBA、NAA 促进生根效果的比较进行了系统研究。

生长素 IBA 和 SNP 对生根均有促进作用。SNP 处理的生根效果优于其他,表现出一定的促进效应,SNP 与 IBA 单独处理诱导形成的侧根形态基本一致,较细长,说明 NO 与 IBA 诱导生根的内部机制有一定相关性。而 NAA 为生长素类似物,对欧洲云杉促进细胞的分裂与扩大的效果不明显,与 IBA 和 SNP 不同的是,其诱导的侧根较粗、短。这可能与生长素类物质具有诱导 NO 生成的效应有关。曹冰^[10]等在探讨内源 NO 在绿豆侧根形成中,用 c-PTIO 和 L-NAME 对绿豆胚根进行外源处理,结果发现,外源 NO 可以显著促进绿豆侧根的发生,c-PTIO 和 L-NAME 却明显抑制生根,表明内源 NO 在侧根发生及其形成中可能起着重要作用,二者与 IBA、NAA 混合处理能够极显著抑制或延缓 IBA 和 NAA 诱导的侧根发生,说明 NO 很可能在 IBA 和 NAA 诱导生根过程中起信号传递作用,与黄爱霞^[11]在绿豆侧根的发生影响结论基本一致。Pag-nussat^[12]等也发现,SNP 和吡啶乙酸(IAA)诱导的不定根具有相似的解剖学结构,SNP 对不定根形态、结构的影响似乎更近似于吡啶类生长素(IAA、IBA 均属此类),而与萘类生长素(NAA 属此类)明显不同。

SNP 对欧洲云杉生根的影响具有明显的浓度依赖效应,促进生根的 SNP 最适浓度为 50 mg · L⁻¹,浓度较大时,插穗出现失水萎蔫和基部腐烂等外观受害症状。所以该浓度处理 5 h 是 SNP 促进

欧洲云杉生根的最佳时长,超过这一时间,NO 浓度可能过大,对插穗基部造成一定程度伤害,导致生根数下降。这与 NO 本身是一种自由基,低浓度时有生物效应,高浓度时则表现出对细胞的毒性作用,与 Beligni 的观点一致^[13]。

对欧洲云杉不同插穗年龄和侧枝类型对 SNP 的响应研究发现,1 龄和一级侧枝为欧洲云杉的插穗,可以明显提高扦插成活率,这与安三平^[14]等在蓝云杉(*Picea pungens*)、师晨娟^[15]等在青海云杉(*Picea crassifolia*)、王军辉^[16-17]等在川西云杉(*Picea likiangensis* var. *balfouriana*)、安三平^[18]等在丽江云杉(*Picea likiangensis*)和马建伟^[7]在欧洲云杉结论基部一致。因此为了提高欧洲云杉的扦插成活率,选择母树上 1 龄的一级侧枝为插穗,可以明显提高扦插成活率。

参考文献:

[1] 汤绍虎,周启贵,孙 敏,等. 外源 NO 对渗透胁迫下黄瓜种子萌发、幼苗生长和生理特性的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(2):419-425.
TANG SH H,ZHOU Q G,SUN M, *et al.* Effects of exogenous nitric oxide on seed germination, seedling growth and physiological characteristics of cucumber under osmotic pressure[J]. Scientia Agricultura Sinica,2007,40(2):419-425. (in Chinese)
[2] 陈明,沈文飏,阮海华,等. 一氧化氮对盐胁迫下小麦幼苗根生长氧化损伤的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报,2004,35(5):569-576.
CHENG M,SHEN W B,RUAN H H, *et al.* Effects of nitric oxid on root growth and its oxidative damage wheat seedling under salt stress [J]. Journal of Plant Physiology and Molecutur Biology,2004,30(5):569-576. (in Chinese)
[3] RIBEIRO E A,CUNHA F Q,TAMASHIRO W M S H, *et al.* Growth phase-dependent subcellular localization of nitric oxide synthase in maize cells [J]. Febs Letters,1999,445(2/3):283-286.
[4] 吴雪霞,朱为民,朱月林,等. 外源一氧化氮对 NaCl 胁迫下番

茄幼苗光合特性的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2007, 13(6): 1105-1109.

WU X X, ZHU W M, ZHU Y L, *et al.* Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis and ionic contents of tomato seedlings under NaCl stress [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 1105-1109. (in Chinese)

[5] 韩亚琦, 唐宇丹, 张少英, 等. 盐胁迫抑制榲桲 2 变种光合作用的机理研究[J]. 西北植物学报, 2007, 27(3): 583-587.

HAN Y Q, TANG Y D, ZHANG S Y, *et al.* Photosynthesis inhibition of two varieties of *Quercus aalienain* salt stress [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(3): 583-587. (in Chinese)

[6] 樊怀福, 郭世荣, 杜长霞, 等. 外源 NO 对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗氮化合物和硝酸还原酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2063-2068.

FAN H F, GUO S R, DU C X, *et al.* Effects of exogenous NO on NO₃-N, NH₄⁺-N and soluble protein contents and NR activities in cucumber seedlings under NaCl stress [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(10): 2063-2068. (in Chinese)

[7] 马建伟, 安三平, 王丽芳, 等. 不同生长调节剂对欧洲云杉插穗生根的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(6): 80-84

MA J W, AN S P, WANG L F, *et al.* Effects of different growth regulators on cutting and rooting ability of *Picea abies* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(6): 80-84. (in Chinese)

[8] 王丽芳, 安三平, 张宋智, 等. 5 个云杉树种的扦插生根进程对比试验[J]. 甘肃林业科技, 2011, 36(1): 32-34.

WANG L F, AN S P, ZHANG S Z, *et al.* contrast test on cutting rooting process of rive species of *Picea asperrata* [J]. Journal of Gansu Forestry Science and Technology, 2011, 36(1): 32-34. (in Chinese)

[9] 朱湘渝, 王瑞玲. 欧美杨新无性系生根性研究[J]. 林业科学, 1991, 27(2): 163-167.

ZHU X Y, WANG R L. Research on the rooting properties of the new clones of *Populus euramericana* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1991, 27(2): 163-167. (in Chinese)

[10] 曹冰, 余小平. 一氧化氮对绿豆侧根发生的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(12): 119-122.

CAO B, SHE X P. Effect of nitric oxide on the lateral root's generation of mung bean[J]. Journal of Northwest A&F University: Nature Science Edition, 2009, 37(12): 119-122. (in Chinese)

[11] 黄爱霞, 余小平. 硝普钠(SNP)对绿豆下胚轴插条生根的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(12): 2196-2199.

HUANG AI X, SHE X P. Effect of SNP on rooting of hypocotyl cutting from mung bean seedling[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003, 23(12): 2196-2199. (in Chinese)

[12] PAGNUSSAT G C, SIMONTACCHI M, PUNTARULO S, *et al.* Nitric oxide is required for root organogenesis [J]. Plant Physiol, 2002, 129: 954-956.

[13] BELIGNI M V, LAMATTINA L. Is nitric oxide toxic or protective[J]. Trends Plant Sci, 1999, 4: 299-300.

[14] 安三平, 王丽芳, 石红, 等. 蓝云杉不同品种扦插生根能力和生根特性研究[J]. 林业科学研究, 2011, 24(4): 512-516.

AN S P, WANG L F, SHI H, *et al.* Root ability and properties of different varieties of *Picea pungens* cutting[J]. Forest Research, 2011, 24(4): 512-516. (in Chinese)

[15] 师晨娟, 刘勇, 胡长寿. 青海云杉硬枝扦插繁殖研究[J]. 江西农业大学学报, 2002, 24(2): 259-263.

SHI C J, LIU Y, HU C S. Research oil hardy branch cutting cultivation of Qinghai Spruce [J]. Acta Agdcuhurae Universitatis Jiangxiensi, 2002, 24(2): 259-263. (in Chinese)

[16] 王军辉, 张建国, 张守攻, 等. 川西云杉硬枝扦插生根特性的研究[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(3): 351-356.

WANG J H, ZHANG J G, ZHANG S G, *et al.* Rooting ability of hardwood cutting of *Picea balfouriana* [J]. Journal of Zhejiang Forestry Colleg, 2006, 3(3): 351-356. (in Chinese)

[17] 王军辉, 张建国, 张守攻, 等. 几种因素对川西云杉扦插繁殖生根的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, 31(1): 51-54.

WANG J H, ZHANG J G, ZHANG S G, *et al.* Effects of several factors on rooting of cutting propagation of *Picea balfourian*[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2007, 31(1): 51-54. (in Chinese)

[18] 安三平, 王丽芳, 王美琴, 等. 丽江云杉的扦插促根剂配方筛选和插条效应[J]. 林业科技开发, 2011, 25(3): 88-91.

AN S P, WANG L F, WANG M Q, *et al.* Screening of cutting root-inducing agent and cutting effect of *Picea likiangensis* [J]. China Forestry Science and Technology, 2011, 25(3): 88-91. (in Chinese)