

青海云杉硬枝扦插的激素、年龄和位置效应研究*

王军辉^{1,2}, 张建国^{1,2}, 张守攻^{1,2}, 许洋^{1,2}, 杨红旗³, 张金学⁴, 孙国平⁴

(1 中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100091; 2 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

3 河南农业大学 林学院园艺学院, 河南 郑州 450001; 4 甘肃天祝县林业局, 甘肃 天祝 733200)

[摘要] 为了解青海云杉插穗生根的外在因素和内在生理生化基础, 采用网袋容器和自动间歇喷雾扦插繁殖技术, 系统研究了青海云杉插穗母株年龄、部位、类型及激素处理等对插穗生根的影响, 并采用高效液相色谱法测定了不同插穗类型内源激素吲哚乙酸(IAA)、脱落酸(ABA)、赤霉素(GA₃)、玉米素(Z)、玉米素核苷(ZR)、异戊烯基腺嘌呤(IPA)、酚类化合物和糖类的含量。结果表明, 以7年生母株枝条作穗条扦插繁殖效果最佳; 一级侧枝的生根情况优于二级侧枝和顶枝穗条, 树冠下部穗条生根优于上部枝条; 激素处理能显著提高硬枝插穗的生根率, 其中以BA 200 mg/kg处理3h的生根效果最好; 邻苯二酸和儿茶酸2种酚类化合物可能对生根有抑制作用; 枝条和针叶中三糖含量随母株年龄增加而增大, 而葡萄糖含量却呈下降趋势; 高含量的Z和ZR均有利于插条生根, IAA对生根无促进作用, IPA对插条生根可能具有一定的抑制作用, 单一的某种激素对青海云杉插穗生根无明显影响。

[关键词] 青海云杉; 硬枝扦插; 激素效应; 年龄效应; 位置效应

[中图分类号] S791.18

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)07-0065-07

世界云杉属树种约计40多个种, 其单位面积年蓄积量高、材质好、用途广, 早已成为西欧、北欧、波罗的海沿岸国家及俄罗斯和加拿大的重要工业用材树种^[1]。青海云杉(*Picea crassifolia* Kom)是我国青藏高原东北边缘特有的森林建群树种, 是西北地区造林和城市绿化的重要树种, 分布于青海、甘肃、宁夏、内蒙古等省(区), 水平分布在北纬32°40'~41°30', 东经98°40'~112°30', 海拔1750~3550 m, 但多集中在2200~3200 m^[2]。目前, 青海云杉苗的生产主要是通过实生繁殖, 但其实生苗前期生长缓慢, 结实亦较晚, 而且实生种子园由建园到生产种子需时极长, 致使青海云杉良种苗供不应求, 远远不能满足造林需求。随着科学技术的发展, 扦插繁殖作为一种最典型、简便和经济实用的无性繁殖技术, 在云杉无性系林业研究中受到广泛重视^[1]。德国和斯堪迪那维亚半岛的欧洲云杉项目, 已经实现了将一些特殊高价值基因型通过无性繁殖传承的目标; 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^[3]。国外对欧洲云杉的扦插育苗试验表明, 不同种类插条的生根力不同^[4-5], 且随着年龄的增加, 欧洲云杉硬枝插条

生根力逐渐下降^[6]。近年来, 我国对不同激素及其浓度和处理时间在红皮云杉、青海云杉、粗枝云杉扦插繁殖过程中的作用也作了一些研究^[7-9], 但尚不够系统深入。

为了更有效地促进青海云杉无性系苗在生产实际中的广泛使用, 作者对青海云杉硬枝扦插进行了系统研究, 旨在寻找促进青海云杉硬枝插条更易生根的激素及其浓度、处理时间和采穗母株年龄、枝条类型、枝条着生部位, 同时也对枝条中部分内含物含量与生根间的关系作了探索, 以便找到更好的插穗插前处理技术, 为云杉无性系林业的发展开拓道路。

1 材料与方 法

1.1 插穗来源

试验所用穗条采自甘肃天祝县华藏寺林场同一苗圃中, 分别在树龄为5、7和12年的青海云杉母株上剪取1年生硬枝。插穗平均长度12.3 cm, 平均直径3.9 mm。插穗从采穗母株上剪取后, 迅速用刀将基部削成楔形, 每20根一捆, 然后将其基部浸入不同激素和不同浓度组配的溶液中。试验采用完全随机区组设计, 每处理3次重复, 每重复20株。

* [收稿日期] 2005-09-26

[基金项目] 国家“十五”科技攻关子课题“粗枝云杉和青海云杉良种选育与高效栽培技术”(2004BA515B0403); 国家“863”高新技术研究与发展计划项目(2001AA244061); 退耕还林科技支撑专题“祁连山退耕区植物新品种的引进和乡土树种的扩繁技术研究”

[作者简介] 王军辉(1972-), 男, 河南郑县人, 副研究员, 博士, 主要从事落叶松、云杉的遗传育种和转基因林木安全评估研究。

1.2 扦插网袋容器的制作

本试验采用网袋型容器,其基质用泥炭和珍珠岩按体积比1:1搅拌混匀后,生产成2m长的基质肠。扦插前,基质肠先用5g/L的高锰酸钾溶液浸泡消毒,再用切割机切成长14~15cm的短肠段,并摆放于大小为58cm×23cm的托盘中,托盘放置在网架苗床上,以待扦插。

1.3 插床与生根条件设置

扦插于2004-04下旬在甘肃天祝华藏寺示范园区配有地热线扦插床的温棚内进行。棚内扦插床为钢丝网做成的钢架苗床,苗床高出地面90cm,宽度和长度为2m×5m。苗床上搭高为1.5m的小拱棚,上覆聚乙烯塑料薄膜。采用直径为1.5mm粗的地热线来回环绕于插床上面,其上用沙土覆盖,用以对基质进行加温。扦插后,棚内每隔1周喷施1次30~40g/L的多菌灵。苗床温度平均保持在约17℃,用全自动间歇喷雾保持棚内湿度在89%左右。棚内平均气温白天为22℃,日最高气温不超过

28℃,夜晚温度平均为14℃,最低温度不低于10℃。

1.4 插穗试验

1.4.1 激素处理试验 从10年生青海云杉采穗母株上剪取1年生下部一级侧枝,试验处理见表1。试剂采用北京耀北生物技术有限公司销售的吲哚-3-丁酸(BA)和奈乙酸(NAA)以及中国林业科学院林业研究所研制的生根粉1号(ABT1)。

1.4.2 采穗母株年龄试验 分别从5、7和12年生的青海云杉采穗母株上剪取1年生硬枝,并用200mg/kg BA处理3h。

1.4.3 枝条类型试验 从7年生青海云杉采穗母株上分别剪取顶芽穗条和一级侧枝、二级侧枝,并用200mg/kg BA处理3h。

1.4.4 枝条部位试验 根据穗条着生部位,从7年生青海云杉采穗母株上分别剪取树冠上部枝条和下部枝条,并用200mg/kg BA处理4h。

表1 青海云杉硬枝扦插的激素试验设计

Table 1 Hormone experiment designs of hardwood cutting of *Picea crassifolia*

激素种类 Hormone	激素浓度/(mg·kg ⁻¹) Hormone concentration	处理时间/h Treatment time	激素种类 Hormone	激素浓度/(mg·kg ⁻¹) Hormone concentration	处理时间/h Treatment time
ABT1	500	0 008 3	NAA	500	1
ABT1	200	1	NAA	200	3
ABT1	100	3	NAA+ BA	200+ 200	1
BA	1 000	0 008 3	ABT1+ BA	200+ 200	1
BA	500	1	ABT1+ NAA	200+ 200	1
BA	200	3	清水(CK) Water		24
NAA	1 000	0 008 3			

1.5 生根情况调查与内含物的测定

扦插后3个月调查并按常规方法计算插穗的生根情况。同时利用Waters 244型高效液相色谱分析系统^[10],测定相应年龄母株枝条和针叶内的内源激素、糖类物质和酚类物质含量。分析工作由中国林业科学研究院分析中心完成。

(1) 植物生长素赤霉素(GA₃)、吲哚乙酸(IAA)、脱落酸(ABA)测定的色谱条件。色谱柱:Novapak C₁₈(0.4cm×15cm);流动相:40%CH₃OH-15%CH₃CN-45%H₂O(体积分数),用H₃PO₄调pH=4;流速:0.7mL/min;检测器:UV254nm×0.1AUFS。

(2) 细胞分裂素玉米素(Z)、玉米素核苷(ZR)、异戊烯基腺嘌呤(IPA)测定的色谱条件。色谱柱:Novapak C₁₈(0.4cm×15cm);流动相:40%

CH₃CN-25%CH₃OH-60%H₂O(体积分数),用H₃PO₄调pH=3.5;流速:0.7mL/min;检测器:UV254nm×0.1AUFS。

(3) 游离酚酸含量测定的色谱条件。色谱柱:u-Bonkapak Phenyl(0.4cm×30cm);流动相:35%CH₃OH-65%H₂O(体积分数),用H₃PO₄调pH=4.5;流速:1.0mL/min;检测器:UV254nm×0.1AUFS。

(4) 游离糖含量测定的色谱条件。色谱柱:Sugarpak-1(0.65cm×30cm);流动相:H₂O;流速:0.7mL/min;检测器:RI4×;柱温:90℃。

1.6 试验数据统计

百分率数据均经反正弦转换,数据处理与分析采用SAS统计软件^[11]。

采用根系效果指数评价各类插穗的生根性。将

朱湘渝的根系效果指数^[12]简化为:

根系效果指数 = (平均根长 × 根系数量) / 扦插穗条总数

2 结果与分析

2.1 青海云杉硬枝扦插中的激素效应

青海云杉硬枝扦插的激素效应方差分析结果见表 2。由表 2 可知, 根系效果指数、生根率、萌芽率、平均生根数、平均根长、根长总和及基部腐烂率在激素处理间差异均达极显著水平 ($P < 0.01$), 其多重

比较结果见表 3。

表 3 表明, 以 200 mg/kg BA 浸泡穗条基部 3 h 的处理对促进青海云杉硬枝插条生根的综合效果最佳, 其根系效果指数、平均生根数、根长总和 3 项指标均较高, 而且穗条基部腐烂率相对较低。所有处理中, 以 500 mg/kg NAA 处理 1 h 的综合效果最差。对照的根系效果指数、生根率、平均生根数和根长总和分别为 0.31, 5.0%, 1.3 条和 22 cm, 与效果最差的处理接近。

表 2 青海云杉硬枝扦插生根性状的方差分析结果

Table 2 Analysis of variance of rooting characters of hardwood cuttings of *Picea crassifolia*

试验处理 Experiment treatment	根系效果指数 Root effect-index	生根率 Rooting rate	偏根率 Hyponastic root rate	萌芽率 Bud break rate	平均生根数 Mean root-number	平均根长 Mean root length	根长总和 Length sum	基部腐烂率 Basal rot rate
激素效应 Hormone effect	4.19**	5.43***	1.19	3.34**	4.30**	5.01***	4.16**	7.47***
母株年龄 Age of the ortets	4.23	82.30***	3.96	11.51*	6.18	9.55*	0.96	47.74**
枝条类型 Branch types	6.45	3.57	8.64	3.56	6.00	6.92	6.45	6.49
枝条部位 Cutting position	44.08*	26.79*	3.14	0.01	0.01	0.08	44.08*	2.91

注: 数据后标 * 表示在 $0.01 < P < 0.05$ 水平上差异显著, ** 表示在 $0.001 < P < 0.01$ 水平上差异显著, *** 表示在 $P < 0.001$ 水平上差异极显著, 无 * 表示 $P < 0.05$ 差异不显著。

Note: * denote significant difference at $0.01 < P < 0.05$ level, ** denote significant difference at $0.001 < P < 0.01$ level, *** denote extremely significant difference at $P < 0.001$ level, NS denote insignificant difference

表 3 不同激素处理对青海云杉硬枝穗条生根的影响

Table 3 Effects of different hormone treatments on rooting characters of cuttings of *Picea crassifolia*

试验处理 Experiment treatment			根系效果指数 Root effect-index	生根率/% Rooting rate	平均生根数 Mean root-number	平均根长/cm Mean root length	根长总和/cm Length sum	基部腐烂率/% Basal rot rate	萌芽率/% Bud break rate
激素种类 Hormone	激素浓度/ (mg · kg ⁻¹) Hormone concentrations	处理时间 Treatment time							
BA	200	3 h	6.26 a	28.4 abc	7.7 a	2.8 bcd	125.03 a	37.0 e	51.1 abc
ABT1+ BA	200+ 200	1 h	6.51 a	34.4 ab	5.1 abcd	3.8 ab	130.13 a	32.4 e	70.8 a
NAA+ BA	200+ 200	1 h	7.81 a	30.5 abc	5.0 abcd	4.8 a	156.17 a	50.7 cde	34.5 bcd
BA	1 000	30 s	5.33 a	36.1 ab	7.0 ab	2.9 abcd	103.6 a	53.2 cde	37.5 bcd
ABT1+ NAA	200+ 200	1 h	4.95 ab	15.1 bcd	8.4 a	4.4 ab	98.93 ab	83.3 bc	52.4 abc
ABT1	100	3 h	4.63 abc	27.1 abc	3.8 bcd	3.3 abc	92.53 abc	27.1 e	10.0 d
ABT1	200	1 h	4.39 abc	38.2 a	5.7 abc	2.5 bcde	87.2 abcd	32.2 e	49.7 abc
BA	500	1 h	3.99 abcd	35.9 ab	3.97 bcd	2.6 bcde	79.7 abcd	46.9 de	60.5 ab
NAA	200	3 h	1.01 bcd	8.6 cd	3.0 cd	1.3 de	17.07 bcd	93.3 ab	53.3 abc
ABT1	500	30 s	0.77 bcd	10.1 cd	2.4 cd	1.4 cde	15.27 bcd	71.6 bcd	53.3 abc
NAA	1000	30 s	0.50 cd	5.0 d	1.7 d	0.7 e	10.23 cd	83.8 bc	51.1 abc
NAA	500	1 h	0.18 d	1.7 d	1.3 d	0.9 de	3.67 d	91.7 a	23.7 cd
CK	0	24 h	0.31 d	5.0 d	1.3 d	0.3 f	22.00 bcd	34.3 e	35.2 bcd

注: 同列数据后标不同字母者表示显著差异 ($P < 0.05$)。表 4 和表 6 同。

Note: The same column data with different letter are significant different at 0.05 in Tukey's studentized range (HSD) test. Table 4 and table 6 are the same

2.2 青海云杉硬枝扦插中的年龄效应

2.2.1 采穗母株年龄对穗条生根的影响 不同年龄母株穗条扦插后各性状的方差分析结果见表 2。

表 2 表明, 母株年龄间穗条生根率、萌芽率、平均根长和穗条基部腐烂率差异均达极显著或显著水平, 表明母株年龄极显著影响插条生根, 而 5 年生母株

穗条生根率低的原因可能是采穗母株生长势较弱所致。

从表 4 可以看出, 采穗母株年龄从 7 年到 12 年, 其根系效果指数和生根率分别从 5.69 和 33% 降到 0 和 0%; 基部腐烂率随母株年龄的增加而显

著增大, 从 5 年的 46.7% 增加到 12 年的 96.7%, 表明 12 年母株的插条生根性极差。依据生根效果指数及其他指标, 初步认为以 7 年生母株上的枝条繁殖较适宜。

表 4 不同母株年龄对青海云杉硬枝穗条生根的影响

Table 4 Effects of different ages on rooting characters of cuttings of *Picea crassifolia*

母株年龄/年 Age of the ortets	根系效果指数 Root effect index	生根率/% Rooting rate	平均生根数 Mean root number	平均根长/cm Mean root length	根长总和/cm Length sum	基部腐烂率/% Basal rot rate
5	1.79 b	27 b	3.8 a	1.61 ab	17.8 a	46.7 b
7	5.69 a	33 a	5.0 a	3.09 a	56.9 a	60.0 b
12	0 b	0 b	0 b	0.0 b	0 a	96.7 a

2.2.2 不同年龄母株硬枝穗条中酚类物质含量与穗条生根的关系 利用 HPLC 分析测定不同年龄母株上枝条和针叶内酚类物质含量发现, 5 年生母株枝条和针叶中含有微量绿原酸和阿魏酸, 7 年和 12 年生母株枝条中检测到了微量香豆酸, 而其他年龄母株枝条和针叶中均不含此物。在所有检测样本中, 均未检测到咖啡酸。穗条中酚类物质含量随母株年龄的变化见图 1 和图 2。从图 1 和图 2 可以看出, 在青海云杉枝条和针叶中, 儿茶酸和邻苯二酸的含量远高于没食子酸和对羟基苯甲酸, 且其含量均随

母株年龄增加而显著增大, 虽然在枝条中儿茶酸的增加量不如邻苯二酸的明显, 但儿茶酸的含量高于邻苯二酸; 但在针叶中, 邻苯二酸含量高于儿茶酸。据此推断, 枝条中儿茶酸、邻苯二酸对插条生根可能具有抑制作用。在枝条和针叶中没食子酸和对羟基苯甲酸的含量均较低, 且随母枝年龄的增加变化幅度不大, 仅没食子酸含量随母株年龄的增加在针叶中有小幅度增加, 而对羟基苯甲酸含量基本不受母株年龄影响, 表明这 2 种物质对插条生根可能没有影响或影响甚微。

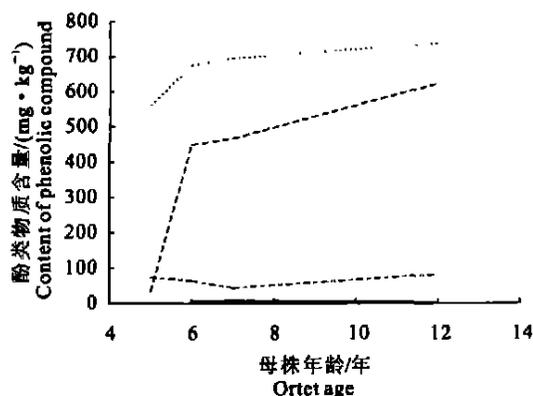


图1 母株年龄对枝条中酚类物质含量的影响

----- 没食子酸; 儿茶酸;
- · - · - 邻苯二酸; ———— 对羟基苯甲酸

Fig. 1 Effect of ortet age on content of phenolic compound in branch

----- .Gallic acid;Catechol acid;
- · - · - .Brenzcatechin acid; ———— .Hydroxyl benzoate acid

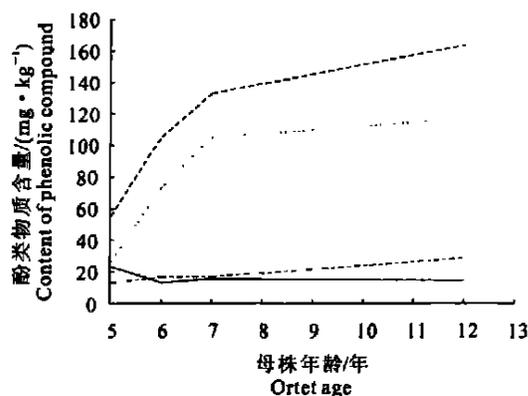


图2 母株年龄对针叶中酚类物质含量的影响

----- 没食子酸; 儿茶酸;
- · - · - 邻苯二酸; ———— 对羟基苯甲酸

Fig. 2 Effect of ortet age on content of phenolic compound in needles

----- .Gallic acid;Catechol acid;
- · - · - .Brenzcatechin acid; ———— .Hydroxyl benzoate acid

2.2.3 不同年龄母株硬枝穗条中糖类物质含量与穗条生根的关系 利用 HPLC 分析枝条和针叶内糖类物质含量, 发现多糖和四糖在枝条和针叶中的

含量与母株年龄无明显的关联性。枝条和针叶中一些变化明显的糖类物质含量与母株年龄的关系见图 3 和图 4。从图 3 和图 4 可以看出, 枝条中总糖含量

随母株年龄的增加而增大,而在针叶中则相反。三糖含量在枝条和针叶中均表现为随母株年龄的增加而增大。葡萄糖含量在 5 年生母株枝条和 7 年生母株

针叶中最高,在 12 年生母株枝条和针叶中最低。二糖和果糖含量在母株枝条和针叶中较稳定,随母株年龄增加无明显变化。

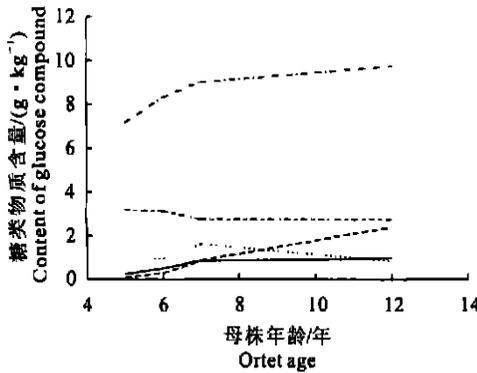


图3 母株年龄对枝条中糖类物质含量的影响

—— 三糖; ····· 二糖; ····· 葡萄糖;
· · · · · 果糖; ····· 总糖

Fig. 3 Effect of ortet age on content of glucose compound in branch

—— .Triose; ····· .Biose; ····· .Glucosa;
· · · · · .Fructose; ····· .Total sugar

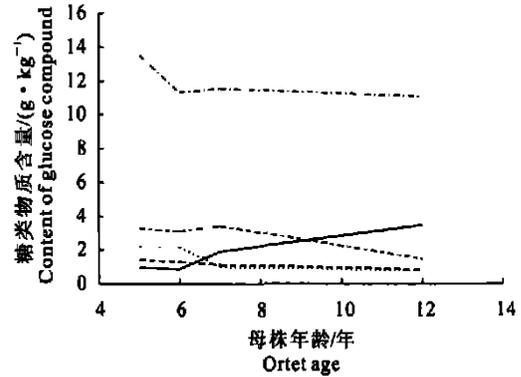


图4 母株年龄对针叶中糖类物质含量的影响

—— 三糖; ····· 二糖; ····· 葡萄糖;
· · · · · 果糖; ····· 总糖

Fig. 4 Effect of ortet age on content of glucose compound in needles

—— .Triose; ····· .Biose; ····· .Glucosa;
· · · · · .Fructose; ····· .Total sugar

2 2 4 不同年龄母株硬枝穗条中内源激素含量与穗条生根的关系 由表 5 可知,在针叶中,所有激素的含量均未表现出与母株树龄相应的变化规律。云杉针叶中内源激素含量可能由针叶年龄决定,而与母株年龄关系不大。在针叶中有些激素的含量差别很大,如 ZR,在 6 年生母株枝针叶中其含量为 212.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$,而在 7 年生母株针叶中其含量仅为 40.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$,在 12 年生母株针叶中其含量却为 140.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$,造成此类差异的原因可能与母株本身的遗传特性、母株的健康营养状况、枝条在母株上所处的位置、叶在枝条上的分布或取叶的方法等有关。真正的原因还有待于进一步研究。

由表 5 还可知,青海云杉枝条中 GA_3 和 ABA 的含量与母株年龄无明显关联性。在枝条中 Z 的含

量和 Z/IAA 值均随母株年龄的增加而明显降低; ZR 的含量除在 6 年生母株枝条中略低外,在其余几个年龄母株的枝条中随母株年龄增大而明显降低。结合硬枝扦插的年龄效应可知,插条内高含量的 Z 和 ZR 有利于生根。在枝条中 IAA 的含量随母株年龄由 6 年生到 7 年生而逐渐增加,而在 12 年生时却有所降低,但仍远高于 5~6 年生母株枝条内的 IAA 含量,表明 IAA 对青海云杉硬枝插条生根无促进作用,此结果类似于在长白 \times 日本杂种落叶松穗生根研究中的现象^[13]。在枝条中 IPA 的含量随母株年龄的增加而明显增大,表明枝条中的 IPA 含量可能对插条生根具有一定的抑制作用。总之,青海云杉硬枝插条生根并非由某个单一激素或内含物所决定,而是枝条内源激素和内含物协同作用的结果。

表 5 不同年龄母株穗条针叶和枝条中内源激素的含量

Table 5 Endogenesis hormone contents of needles and branches of different ortet ages of *Picea crassifolia* $\mu\text{g}/\text{kg}$

材料 Material	母株年龄/年 Age	Z	ZR	IPA	GA_3	IAA	ABA	Z/IAA
针叶 Needles	5	45.3	100.1	40.9	254.6	50.8	-	0.89
	6	156.6	212.3	84.6	198.2	45.2	1.7	3.46
	7	-	40.6	99.4	449.2	102.5	-	-
	12	13.3	140.7	15.7	169.3	164.3	9.2	0.08
枝条 Branches	5	140.6	255.9	53.8	342.8	88.5	3.9	1.67
	6	83.9	119.3	89.9	222.8	84.1	-	0.95
	7	49.1	232	112	435.7	276.1	12.4	0.18
	12	-	165.4	-	302.2	204.1	4.7	0

2.3 青海云杉硬枝扦插中的位置效应

2.3.1 不同枝条类型对穗条生根的影响 用 7 年生青海云杉采穗母株的顶芽穗条、一级侧枝和二级侧枝进行试验, 对不同类型枝条扦插生根性状的方差分析结果见表 2。由表 2 知, 3 种类型枝条的各生根性状均无显著差异, 但仍有差别。一级侧枝的根系效果指数和生根率均最高, 分别为 13.0 和 64%; 顶芽穗条的根系效果指数和生根率分别为 0.1 和 8.3%; 二级侧枝的根系效果指数与生根率分别为 4 和 15%。所以 3 种类型枝条中以一级侧枝生根最

好, 二级侧枝次之, 顶芽穗条生根效果最差。

2.3.2 不同枝条部位对穗条生根的影响 用 7 年生青海云杉采穗母株上、下部枝条进行试验, 其结果见表 2 和表 6。由表 2 知, 7 年生母株枝条的根系效果指数、生根率和根长总和在上、下部枝条间存在显著差异 ($P < 0.05$)。表 6 表明, 7 年生母株下部枝条根系效果指数较上部枝条高 114%, 生根率高 94%, 相反穗条基部腐烂率低, 表明下部枝条的生根效果较上部枝条好。

表 6 不同枝条部位对青海云杉硬枝插穗生根的影响

Table 6 Effects of different cutting positions on rooting characters of cuttings of *Picea crassifolia*

枝条部位 Cutting position	根系效果指数 Root effect-index	生根率/% Rooting rate	平均生根数 Mean root-number	平均根长/cm Mean root length	根长总和/cm Length sum	基部腐烂率/% Basal rot rate
上部枝条 Upper branch	13.31 b	35 b	8.3 a	4.79 a	266.3 b	40 a
下部枝条 Lower branch	28.47 a	68 b	8.1 a	5.12 a	569.5 a	25 a

3 结论与讨论

1) 用 200 mg/kg BA 浸泡青海云杉穗条基部 3 h 对促进其生根效果最好。根系效果指数为 6.26, 平均生根数 7.7 条, 穗条基部腐烂率为 37.0%。

2) 青海云杉硬枝扦插存在年龄效应。该结论与师晨娟等^[7]对青海云杉硬枝扦插的研究结果一致, 并与红皮云杉^[8]和欧洲云杉^[5]扦插繁殖中年龄效应结果一致。但采穗母株年龄越小, 可提供的合格穗条数量也少, 因此以 7 年生母株枝条作穗条扦插繁殖效果最佳。

3) 青海云杉硬枝扦插效果还存在位置效应, 不同类型枝条扦插生根差异不显著, 但一级侧枝生根性状优于二级侧枝和顶芽穗条。欧洲云杉插条生根

最好的也是一级侧枝, 但其二级侧枝扦插苗侧根数却明显比其他类型的少, 处于主干上的枝条生根性状略优于二级侧枝^[3], 这与青海云杉扦插结果有所不同。

4) 青海云杉下部枝条生根率和根系效果指数均高于上部枝条, 这与在红皮云杉^[14]、杉木^[15-16]、马尾松^[17]和挪威云杉^[3]扦插试验中所得结果相同。树冠下部枝条生根优于上部的原因在于, 处于树冠下部的枝条个体发育较上部枝条更幼嫩, 枝条中养分也较充实, 因而更容易产生外生根^[3, 8]。前人通过降低挪威云杉篱化高度来生产更年轻、幼嫩和芽饱满充实的穗条, 用于无性繁殖以达到幼化的目的^[18-19], 就是对该原理的实践运用。

致谢: 本文承蒙中国林业科学院林业研究所马常耕研究员审阅并提出修改意见, 河南农业大学陈广辉硕士、甘肃天祝县林业局张文虎、周光军等同志参与调查研究工作, 特此一并致谢。

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] 刘兴聪. 青海云杉[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1992.
- [3] Talbert C B, Ritchie G A, Gupta P. Conifer vegetative propagation: an overview from a commercialization perspective[M] // Ahuja M R, Libby W J. Clonal Forestry, Genetics and Biotechnology. Berlin Heidelberg: Springer-verlag, 1993: 145-181.
- [4] Hannerz M, Amqvist C, Ekberg I. Rooting success of cutting from young *Picea abies* in transition to flowering competent phase[J]. Scand J For Res, 1999, 14: 498-504.
- [5] 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.
- [6] Kleinschmidt 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.

- [7] 师晨娟, 刘勇, 胡长寿, 等. 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
- [8] 周显昌, 张含国, 潘本立. 红皮云杉嫩枝扦插繁殖技术的研究[J]. 林业科技, 1995, 20(5): 1-4
- [9] 任建中, 赵健康, 郑智礼. 云杉扦插试验研究[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(3): 68-70
- [10] 中国林业科学研究院分析中心. 现代实用仪器分析方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994
- [11] 高惠旋, 耿直, 李贵斌, 等译. SAS系统 SAS/STAT 软件使用手册[M]. 北京: 中国统计出版社, 1997
- [12] 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
- [13] 刘桂丰, 杨传平, 曲冠正, 等. 落叶松杂种插穗生根过程中4种内源激素的动态变化[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(6): 1-3
- [14] 赵丽惠, 张兴祥, 彭冬梅, 等. 红皮云杉扦插繁殖技术[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(1): 15-18
- [15] 施季森, 何祯详, 叶志宏, 等. 杉木无性系扦插生根能力遗传变异的研究[J]. 南京林业大学学报, 1993, 17(4): 9-14
- [16] 郭素娟. 林木扦插生根的解剖学及生理学研究进展[J]. 北京林业大学学报, 1997(19): 64-69
- [17] 季孔庶, 王章荣, 陈天华, 等. 马尾松插穗生根能力变异的研究[J]. 南京林业大学学报, 1998, 22(3): 66-70
- [18] Clair J B S, Kleinschmitt J, Svolba J. Juvenility and serial vegetative propagation of Norway Spruce clones (*Picea abies* Karst.) [J]. Silvae Genetica, 1985, 34(1): 42-49
- [19] Domling I, Kellerström H. Rooting and rejuvenation in propagation Norway spruce cutting [R]. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, 1981.

Research of hormone, age and position effect of hardwood cutting in *Picea crassifolia* Kom

WANG Jun-hui^{1,2}, ZHANG Jian-guo^{1,2}, ZHANG Shou-gong^{1,2},
XU Yang^{1,2}, Yang Hong-qi³, ZHANG Jin-xue⁴, SUN Guo-ping⁴

(1 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2 Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China;

3 College of Forestry and Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China;

4 Forestry Bureau of Tianzhu County, Tianzhu, Gansu 733200, China)

Abstract: In order to understand the techniques of cutting propagation and physiological and biochemical basis for hardwood cutting of *Picea crassifolia* Kom, by cutting method in auto-interval mist system together with some treatments, the rooting ability of different ortet ages, different cutting positions, different branch types, different hormones, some rooting indexes such as rooting ratio, rooting quantity and root length were investigated. The endogenous hormones contents, including IAA, ABA, GA₃ and Z, phenol compounds and sugar compound, were measured using HPLC. The result obtained by the experiment indicated that the rooting ratio of seven-year-old ortet was higher than that of twelve-year-old. The rooting effect of cuttings from first-order lateral branches was better than that of cuttings from second-order lateral branches, and their rooting effect both were better than apical shoots. The rooting ratio of hardwood was increased by plant hormone treatment, especially treated by BA 250 mg/kg 3 hours. The contents of IAA, ABA, GA₃ and Z, phenol compounds and sugar compound as well as the ratio of IAA to ABA, IAA to Z from different cutting types were correlated with the rooting ratio. Hydroxyl benzoate acid and catechol acid perhaps had some restraining functions. Trisaccharide content increased but glucose content decreased with the aging of mother-plants. While the higher-leveled content of Z, ZR contributed to produce more roots, IAA had no any promoting function to cuttings rooting. IPA also can probably control cuttings rooting. Single hormone had no obvious effect on the rooting of hardwood cutting of *Picea crassifolia*.

Key words: *Picea crassifolia* Kom; hardwood cutting; hormone effect; age effect; position effect