

Mother Tree to Pruning, Bud Picking, and BA Treatment

Hu Menghong^{1,2} Lv Xun² Wang Junhui¹

(1.State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, 2. Forestry Research Institute of Xiaolong Mountain, Key laboratory of secondary forest cultivation GanSuTianshui 741022, China)

Keywords: *Picea balfouriana*, cutting branches of ortets, Pruning and bud picking, 6-BA concentration and treatment time, cutting branches yield and quality

Abstract: [Objective] In order to provide reference for the management of the scion-seed tree nursery of *Picea balfouriana*. [Method] In the Shaba National Spruce Germplasm Resources Collection and Preservation Repository, Taking the 8-year-old *Picea balfouriana* cutting branches mother tree as the research object, Using a completely randomized block test, We studied the effects of prune cutting branches of ortets (fusiform pruning, fusiform pruning+bud picking, fusiform pruning+branch retraction with the different intensities), 6-BA concentration (0, 300, 600, 1000 mg·L⁻¹), and spraying time (before bud germination, 30 days of new shoot growth, and after the formation of new terminal buds) on the yield of harvestable cutting branches, the quality of cutting branches and number of winter buds of cutting branches ortets of *Picea balfouriana* in the current year, The data were analyzed using SPSS16.0 for analysis of variance, multiple comparisons, and principal component analysis. [Conclusion] There was no significant difference ($P>0.05$) in the effect of different concentrations of 6-BA on the length of harvestable cutting of ortets of *Picea balfouriana* in the same year, except for the 6-BA concentration × Effect of treatment time on the diameter of the base of the harvestable cutting and 6-BA concentration of the harvest ortets in the current year × treatment time × The interaction effect of ortets pruning on the number of winter buds of ortets for cutting is not significant ($P>0.05$), The effects of ortets pruning, 6-BA concentration and treatment time on the diameter of the base of the harvestable cutting, yield of cutting, and number of winter buds of the ortets in the same year were significantly different ($P<0.05$), and the ortets pruning also showed significant differences ($P<0.05$) × 6-BA concentration, mother tree pruning × 6-BA treatment time, 6-BA treatment time × 6-BA concentration × The pruning of ortets has a significant interaction effect on the traits such as the diameter, length, and yield of the harvestable cuttings at the base of the cutting in the current year of the Sichuan spruce harvesting ortets ($P<0.05$). Different concentrations of 6-BA can significantly improve the quality, yield, and number of winter buds of the ortets that can be harvested in the same year; The effect of spraying 6-BA before sprouting and after 30 days of new shoot growth on promoting the length and diameter of the ortets of harvestable cutting is better than that after the formation of new top buds. After fusiform pruning and sprouting, the ortets of *Picea balfouriana* was sprayed with 300 mg·L⁻¹ of 6-BA before sprouting to promote the growth of the diameter and length of the harvestable cutting base. The diameter and length of the cutting base reached (4.71 ± 1.38) mm and (16.71 ± 4.99) cm, respectively. The diameter of the cutting base was 0.99 times that of the control (2.37 ± 0.48 mm), and the cutting length was 25.17% higher than the corresponding control (13.35 ± 1.69 cm); Spraying 6-BA with a concentration of 1000 mg·L⁻¹ on the growth of new shoots for 30 days resulted in the highest number of harvested cuttings and winter buds of the ortets, reaching (123.0 ± 7.1) branches plant⁻¹ and (348.5 ± 89.8) Number·plant⁻¹, respectively. After 30 days of new shoot growth, spraying 6-BA on the cutting of tretts significantly increased the number of fusiform pruning (88.6 ± 34.8 branches plant⁻¹) compared to 28.78% and 31.65% before bud germination and after the formation of new top buds ($P<0.05$). The number of winter buds in the ortets (342.2 ± 84.6 Number·plant⁻¹) was also significantly higher than 17.43% after the formation of new top buds ($P<0.05$). The spraying time of 6-BA is crucial for improving the number of cutting and winter buds in the cutting ortets that

year. The maximum score coefficients for the diameter and length of the base of the cutting ortets in the current year were 0.534 and 0.538 in principal component 1, and the maximum score coefficients for the number of cutting and winter buds in principal component 2 were 0.535 and 0.539. The cumulative variance components of principal component 1 and principal component 2 accounted for 86.64% of the overall variance, which can reflect the majority of information about the cutting ortets. [Result] After fusiform pruning and bud picking treatment, the ortets of *Picea balfouriana* was sprayed with 300 mg·L⁻¹ of 6-BA before bud germination. The quality of the ortet cuttings was significantly improved in the same year, and spraying 1000 mg·L⁻¹ of 6-BA after 30 days of new shoot growth could increase the yield of the ortets cuttings and the number of winter buds in the same year.

川西云杉 (*Picea balfouriana*) 为青藏高原东南地区分布很广的一个树种, 以其对寒冷和干旱的适应能力在半湿润-湿润地区的亚高山上形成断续分布的森林群落, 分布辽阔, 广泛分布于四川西部、西藏东部及南部、青海南部, 分布区大致位于 29°30'~32°50'N, 93°45'~102°30'E, 是我国西南亚高山暗针叶林的主要建群树种之一, 资源丰富, 是重要的用材林树种; 同时, 是组成森林草原过渡地带的边缘森林, 对防止草原南移、森林线下降及长江源头地区的涵养水源、保持水土都有极为重要的作用 (He JR. 1993; 1985)。西南山地岷江冷杉 (*Abies faxoniana*)、紫果云杉 (*P. purpurea*) 原始林采伐后形成以川西云杉、粗枝云杉 (*P. asperata*) 为建群种的人工林 (Liu XL, et al., 2006), 川西云杉约占 10% (Liu XL et al., 1998), 已成为川西高山林区主要后续资源 (Liu XinLiang, et al., 2004), 是分布区的主要造林树种之一 (Li ChenBiao et al., 1990)。川西云杉种子园或采种基地从实生苗从建园到生产可用的种子需时长, 而且种子产量低, 种子苗在实生繁殖过程中容易发生分化 (李青粉, 2009), 云杉无性系苗 (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, 而且短期内使人工林的遗传增益提高 10%~20% (Hu MH et al., 2008; 2014; 2016; 2018)。充分利用遗传改良川西云杉、进行大量的无性繁殖利用, 是推行川西云杉林健康持续高质量发展的有效措施 (Hu MH et al., 2022)。

云杉属树种是无性系林业发展最快最有效的树种之一 (马常耕, 1993), 扦插作为获取无性系苗最简便、经济、实用的技术, 在云杉无性系扦插中取得了良好的效果 (胡勔鸿等, 2008; 2014; 2016; 2018;), 但是云杉扦插苗质量和后期生长与穗条质量密切相关, 长而粗的穗条不仅生根状况好而且扦插苗后期生长也好 (胡勔鸿等, 2014; 2016; 2018; Ouyang FQ, et al., 2015), 并存在年龄和位置效益 (Kleinschmit J, et al., 1997; 师晨娟等, 2002; 2006; 王军辉等, 2006a; 靳景春等, 2008; 段昌盛等, 2008;), 云杉扦插利用 >15 cm 的扦插苗更加具有意义, 比实生苗更加具有优势和经济效益 (胡勔鸿等, 2016; 2018; 陈广辉等, 2007a; Jianjun Kang, et al., 2015)。王军辉等研究认为川西云杉 12~20cm 插穗长度生根率分别比 >20cm 和 <12cm 的高出 83.2% (王军辉等, 2006b), I级侧枝和II级枝顶枝的生根率显著大于II级枝顶枝 (Wang JH, et al., 2007)。然而云杉采穗母树幼龄期可采穗条少 (陈广辉等, 2007a; 胡勔鸿等, 2012), 难以满足无性系林业发展的需要, 云杉采穗母树穗条产量和质量成为云杉无性系林业发展的瓶颈, 严重制约着云杉无性系林业的飞速发展 (张保全等, 2023)。因此如何使云杉采穗母树在幼龄期生产更多可供扦插的穗条, 而且使采穗母树的幼嫩状态持续保持多年是云杉采穗圃管理亟需解决的问题。由于摘芽、摘芽+修剪能有效抑制川西云杉顶端优势, 促进保留芽萌发新梢的伸长和粗生长, 还能刺激川西云杉节间处簇生隐芽, 从而增加采穗母树冬芽数, 提高穗条质量 (胡勔鸿等, 2012; 张保全 2023), 青海云杉 (*P. Crasifolia* Kom) 去顶芽修剪和 BA 处理明显促进当年新梢数量的增加和枝条的生长发育 (Chen G H, et al., 2007b), 剪去北美乔松 (*Pinus strobus* L.) 长枝上的终端芽能够刺激完整矮化枝上的侧芽发育, 并形成新的枝条 (Michael A. 1978), 不同年龄阶段的加勒比海松 (*P. caribaea* Morelet) 去顶和重度修剪均刺激带有延长初生叶的枝条的发育, 枝条显示出更加幼龄的状态 (Haines R J et al., 1993), 重剪可以刺激树体复幼和复壮, 提高分生组织的发育以保持树体的持续幼嫩状态; 对欧洲云杉采穗母树进行反复的篱式修剪使枝条的成熟度明显低于未经篱式修剪的枝条, 表明不同的成熟状态可以通过篱式的高低来维护 (Clai J B Sr C et al. 1985)。瑞典和挪威在欧洲云杉采穗圃、英国在西甲云杉采穗圃管理中采取这种修剪技术 (马常耕, 1993)。BA

对许多树种芽的形成和枝条的延长生长有促进作用 (Henny R J ,1985; Mazzola M *et al.*, 1987; Foeshe y C G., 1982), 如果选择恰当的时期, 在一定的环境条件下, 适宜的 BA 浓度能够促进花旗松 (*Pseudots uga menziesii*)、北美蓝云杉 (*P. engelmannii*)、香脂冷杉 (*A. balsamea*) 侧芽的形成, 尤其 1000 mg·L⁻¹ BA 有促进北美蓝云杉芽生成的作用 (Mazzola M *et al.*,1987;Kossuth S.V.,1978;Little,1985), BA 对青海云杉芽的生长发育有较好的促进效果 (陈广辉等, 2007b), BA 能够刺激黄松 (*P. ponderosa*) 短枝上芽的发生和生长, 8 周以后整个树干短枝上都长满了芽, 进而延长生长而形成侧枝 (Michael A.1978)。因此为提高川西云杉采穗母树可采穗条产量和质量, 有利于扦插生根和扦插苗后期生长, 在以往摘芽和修剪研究的基础上 (胡劭鸿等, 2012; 张保全等, 2023), 借鉴前人的经验, 在甘肃省小陇山沙坝国家云杉种质资源库川西云杉超级苗采穗圃, 进行了不同强度的修剪、修剪+摘芽、BA 浓度和处理时间对采穗母树穗条产量和质量影响的研究, 期望为川西云杉采穗母树管理提供参考。

1 研究区自然概况

试验地位于甘肃省小陇山沙坝国家云杉种质资源库, 地处 105°51'27"~105° 54' 51" E, 34° 07' 28"~34° 10' 22" N, 海拔 1560~2019m, 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 800~1012.2 mm, ≥10℃的有效积温 2480℃、无霜期 154d~185d (胡劭鸿等, 2021; 吕寻等, 2020; 牟小梅等, 2020)。

2 试验材料与方法

2.1 试验材料

试验材料从 8 年生川西云杉超级苗采穗圃 (实生苗) 中选择生长状况基本一致、无损伤和病虫害、生长健壮的采穗母树为试验材料。试验母树平均高 149.9 cm、平均地径 131.2 mm, 株行距 0.5m×0.50m, 整地规格 60 cm×60 cm×40 cm。

2.2 试验设计与方法

2.2.1 试验设计

采用完全随机区组试验, 布置了树体管理 6 水平 (C₁~C₆)、BA 浓度 4 水平 (0、300、600、1000 mg·L⁻¹) 和 BA 不同浓度处理时间 3 水平 (T₁:芽萌动前、T₂:新梢生长 30d、T₃:新顶芽形成后) 的田间试验, 每 4 株为 1 个处理, 每个区组 72 个处理 288 株, 3 个区组共处理 864 株, 母树不做任何处理为对照 (CK) (试验设计见表 1)。

表 1: 川西云杉采穗母树树体管理、BA 浓度和处理时间试验设计表

Table 1: Experimental Design Table for Tree Body Management, BA Concentration, and Treatment Time of Western Sichuan Spruce Harvesting Mother Tree

母树修剪/Pruning of ortets	6-BA 处理时间/6-BA treatment time								
	T ₁ 芽萌动前(before bud germination)			T ₂ 新梢生长 30 天(30 days of new shoot growth)			T ₃ 新顶芽形成后(after the formation of new terminal buds)		
	6-BA 浓度 (6-BA concentration) /mg·L ⁻¹			6-BA 浓度 (6-BA concentration) /mg·L ⁻¹			6-BA 浓度 (6-BA concentration) /mg·L ⁻¹		
C ₁ 修剪+摘除保留枝顶芽/fusiform pruning+bud picking	300	600	1000	300	600	1000	300	600	1000
C ₂ 修剪+保留枝先端 1/3 截掉/fusiform pruning+Cut off 1/3 of the reserved branch apex	300	600	1000	300	600	1000	300	600	1000
C ₃ 修剪+保留枝先端 1/2 截掉/fusiform pruning+Cut off 1/2 of the reserved branch apex	300	600	1000	300	600	1000	300	600	1000
C ₄ 修剪+保留枝先端 2/3 截掉/fusiform pruning+Cut off 2/3 of the reserved branch apex	300	600	1000	300	600	1000	300	600	1000
C ₅ 修剪/5(fusiform pruning)	300	600	1000	300	600	1000	300	600	1000

C₆ 对照/CK

300 600 1000

300 600 1000

300 600 1000

C₁(f+p)修剪+摘除保留枝顶芽/fusiform pruning+bud picking, C₂修剪+保留枝先端 1/3 截掉/fusiform pruning+Cut off 1/3 of the reserved branch apex, C₃(f+1/2)修剪+保留枝先端 1/2 截掉/fusiform pruning+Cut off 1/2 of the reserved branch apex, C₄(f+2/3)修剪+保留枝先端 2/3 截掉/fusiform pruning+Cut off 2/3 of the reserved branch apex, C₅(f)修剪 fusiform pruning, C₆ 对照 C₆(CK); T₁ 芽萌动前(before bud germination), T₂ 新梢生长 30 天(30 days of new shoot growth), T₃ 新顶芽形成后(after the formation of new terminal buds)。

2.2.2 试验方法

芽萌动前完成川西云杉采穗母树修剪(从 4 月 15 日~4 月 22 日),即纺锤形修剪(fusiform pruning),具体方法是首先剪除内堂弱枝,自下而上每一轮生枝保留 3 个 I 级侧枝,夹角约为 120°,第二层与第一层互不重叠,相互错开夹角约为 120°其余依次类推。将纺锤形修剪后的川西云杉采穗母树继续取处理 C₁(f+p)掐除所有保留侧枝顶端中心的一个芽,保留主干枝顶芽,处理 C₂(f+1/3)将母树上保留侧枝先端 1/3 截取,处理 C₃(f+1/2)将母树上保留侧枝先端 1/2 截取,处理 C₄(f+2/3)将母树上保留侧枝先端 2/3 截取,处理 C₅(f)只进行纺锤形修剪,处理 C₆(CK)采穗母树不做任何处理。选择无风的晴天,用喷雾器或洒水壶,不同物候期喷施或洒施 6-BA,每个物候期洒施或喷施 3 次,间隔期 15~20 天,其中 T₁(在 4 月 22 日、5 月 14 日、6 月 7 日洒施)、T₂(在 5 月 15 日、6 月 7 日和 7 月 3 日洒施)、T₃(于 5 月 30 日、6 月 14 日和 7 月 3 日洒)。

2.3 数据采集与处理

2.3.1 数据调查

把母树上长度≥5 cm 的当年生枝条作为母树当年可采穗条。11 月中旬枝条完全木质化后,采用电子游标卡尺和钢卷尺,每个处理每个重复随机测量 3 株川西云杉采穗母树当年可采穗条基部直径 BD(Basal Diameter)(精度 0.1 mm),枝条长度 BL(Branch Length)(精度 0.1 cm),枝条数量 NB(Number of Branch)(1.0 条·株⁻¹),枝条上的冬芽数 NB(Number of winter buds)(含隐芽数 NK(Number of kryptoblast))(精度 1.0 个·株⁻¹),采穗母树冬芽数则是母树当年可采穗条上的冬芽数(隐芽数)之和。

2.3.2 数据统计分析

数据采用 SPSS16.0 进行方差分析(GLM)、多重比较(Duncan^a)、主成分分析。方差分析模型:

$$X_{ijkl} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \beta_k + \gamma_l + (\alpha\beta)_{jk} + (\alpha\gamma)_{jl} + (\beta\gamma)_{kl} + (\alpha\beta\gamma)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

中: μ 为群体均值, ρ_i 为第 i 区组效应值, α_j 为 A 因子第 j 水平效应值, β_k 为 B 因子第 k 效应值, γ_l 为 C 因子第 l 效应值, $(\alpha\beta)_{jk}$ 为 AB 效应值, $(\alpha\gamma)_{jl}$ 为 AC 效应值, $(\alpha\beta\gamma)_{jkl}$ 为 ABC 效应值, ε_{ijkl} 为随机误差。

3 结果分析

3.1 母树修剪、BA 浓度和处理时间对川西云杉采穗母树当年可采穗条质量的影响

3.1.1 对采穗母树当年可采穗条基部直径生长的影响

方差分析结果显示:母树修剪($F=65.38$)、6-BA 浓度($F=5.78$)和处理时间($F=24.98$)对川西云杉采穗母树(C₁~C₆)当年萌发的≥5 cm 枝条基部直径的影响具有显著差异($P>0.05$),除 6-BA 处理时间×6-BA 浓度($F=1.85$)对川西云杉基部直径没有显著交互作用外($P=0.12>0.05$),且 6-BA 处理时间×母树修剪($F=12.06$)、BA 浓度×母树修剪($F=8.85$)、BA 浓度×BA 处理时间×母树修剪($F=5.58$)均具有显著的交互作用($P<0.05$)。

表 2: 不同处理对川西云杉采穗母树当年可采穗条基部直径生长影响的多重比较

Table 2: Multiple comparisons of the effects of different treatments on the diameter growth of the base of the harvestable ear strips of the Sichuan spruce harvest mother tree in the same year

母树修剪(Pruning of ortets)		6-BA 浓度(concentration)		6-BA 处理时间(treatment time)	
母树修剪方式 Different pruning of ortets	穗条基部直径 (BD) mm	mg·L ⁻¹	穗条基部直径 (BD) mm	处理时间 treatment time	穗条基部直径 (BD) mm
C ₁ (f+p)	3.56±1.27a	0	2.86±0.69b	T ₁	3.31±1.38a
C ₂ (f+1/3)	3.17±1.21c	300	3.19±1.34a	T ₂	3.27±1.33a
C ₃ (f+1/2)	3.22±1.33c	600	3.18±1.33a	T	3.07±1.170b
C ₄ (f+2/3)	3.33±1.39b	1000	3.25±1.20a		

C ₅ (f)	3.24±1.20bc
C ₆ (CK)	2.73±1.05d

注：表中数值为（均值±标准差），同列数字标有不同小写字母者在 $P<0.05$ 差异显著，下表同。Note: The values in the table are (mean±standard deviation), and those with different lowercase letters in the same column or same row have significant differences in $P<0.05$, as shown in the following table.

多重比较结果显示，不同母树修剪方式对川西云杉采穗母树当年可采穗条基部直径生长的影响可划分为5类，其中处理C₁为效果最好的一类，基部直径达到（3.56±1.27）mm，显著高于对照C₆和其他处理（ $P<0.05$ ），处理C₄和C₅当年可采穗条基部直径次之，且差异不显著（ $P>0.05$ ），但均显著高于对照C₆的21.98%和18.68%，也比处理C₂、处理C₃高，可归为一类，再就是处理C₅、处理C₃、处理C₂间当年可采穗条基部直径差异不显著（ $P>0.05$ ），但依次显著高于对照C₆的18.68%、17.95%和16.12%，可归为一类，对照C₆为当年可采穗条基部直径为最小的一类，仅为（2.73±1.05）mm，显著低于其他处理（ $P<0.05$ ）。不同母树修剪方式都能有效促进川西云杉采穗母树穗条基部直径生长，从处理C₁~处理C₅当年母树可采穗条基部直径依次比对照提高了30.41%、16.12%、17.95%、21.98%、18.68%（ $P<0.05$ ）。

300、600、1000 mg·L⁻¹浓度处理的采穗母树当年可采穗条基部直径显著高于对照（0.0 mg·L⁻¹）的11.54%、11.19%和13.64%，由此可见，6-BA不同浓度都能显著促进采穗母树当年可采穗条基部直径生长，且6-BA不同浓度间基部直径生长差异不显著（ $P>0.05$ ），虽然不同浓度6-BA对采穗母树当年可采穗条基部直径生长的影响差异不显著，但是随着6-BA浓度的增加基部直径呈增大的趋势（见表2）。

芽萌动前洒施6-BA对采穗母树当年可采穗条基部直径生长的影响效果最显著，其次就是新梢生长30d，且二者差异不显著，但是均显著高于新顶芽形成后洒施6-BA（见表2）。

母树修剪（修剪、摘芽）、6-BA浓度和处理时间对采穗母树当年可采穗条基部直径的影响不是孤立的，而是相互的，不同因素间具有显著的交互作用（ $P<0.05$ ）。对采穗母树当年可采穗条基部直径生长影响最好的组合是C₁+300 mg·L⁻¹6-BA+T₁，直径达到（4.71±1.38）mm，高出相应对照（2.37±0.48）mm的0.99倍，再就是C₁+600 mg·L⁻¹6-BA+T₁和C₄+1000 mg·L⁻¹6-BA+T₂的当年可才穗条基部直径分别为（4.20±1.79）mm和（3.77±1.41）mm。因此，在修剪+摘芽的基础上，于芽萌动前洒施300 mg·L⁻¹浓度的6-BA能有效提高川西云杉采穗母树当年可采穗条基部直径生长，有利于扦插生根和扦插苗后期生长。

3.1.2 母树修剪、BA浓度和处理时间对川西云杉采穗母树枝条长度影响的分析

经方差分析，6-BA浓度对川西云杉采穗母树当年枝条长度的影响差异不显著（ $F=2.66$ ， $P>0.05$ ）外，母树修剪（ $F=48.31$ ）、BA处理时间（ $F=43.46$ ）、BA浓度×BA处理时间（ $F=43.46$ ）、BA处理时间×母树修剪（ $F=43.46$ ）、BA浓度×母树修剪（ $F=43.46$ ）、BA处理时间×BA浓度×母树修剪间也具有显著交互作用（ $F=43.46$ ）（ $P<0.05$ ）。

表3：不同处理对川西云杉采穗母树当年可采穗条长度生长影响的多重比较

Table 3: Multiple comparisons of the effects of different treatments on the growth of the harvestable panicle length of the Western Sichuan spruce harvest mother tree in the same year

母树修剪/Pruning of ortets		6-BA 浓度/6-BA concentration		6-BA 处理时间/6-BA treatment time	
母树不同修剪 Different pruning of ortets	可采穗条长度 (BL) cm	mg·L ⁻¹	可采穗条长度 (BL) cm	处理时间 treatment time	可采穗条长度 (BL) cm
C ₁ (f+p)	14.03±4.79a	0	11.84±3.35b	T ₁	13.07±5.25a
C ₂ (f+1/3)	12.45±4.99c	300	12.73±5.35a	T ₂	13.26±5.18a
C ₃ (f+1/2)	12.69±5.22c	600	12.77±4.92a	T	12.04±4.66b
C ₄ (f+2/3)	12.67±5.34c	1000	12.67±4.84a		
C ₅ (f)	13.20±4.92b				
C ₆ (CK)	11.20±4.16d				

多重比较结果显示，不同母树修剪方式都能有效促进采穗母树当年可采穗条长度的生长，处理C₁、处理C₅、处理C₃、处理C₄、处理C₂采穗母树当年可采穗条长度显著高于对照C₆的25.27%、17.86%、13.3

0%、13.13%、11.16%，其中处理 C_1 的效果最为显著，采穗母树当年可采穗条长度达到 (14.03 ± 4.79) cm，与处理 C_2 、处理 C_3 、处理 C_4 和处理 C_5 具有显著差异 ($P < 0.05$)，其次是处理 C_5 ，再就是处理 C_2 、处理 C_3 、处理 C_4 ，且采穗母树当年可采穗条长度差异不显著 ($P > 0.05$)。不同母树修剪对采穗母树当年可采穗条长度影响最为显著的是处理 C_1 和处理 C_5 ，因为处理 C_5 剪除了内堂弱枝，重叠和一些有竞争的枝条，增加了树体通风透光性，因而就有利于保留枝条的伸长生长，由于处理 C_1 摘除了保留枝条顶芽，有效抑制顶端优势，有效促进采穗母树当年可采穗条的伸长生长的缘故。

6-BA 不同浓度都显著提高采穗母树当年可采穗条长度的生长，300、600、1000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度处理采穗母树当年可采穗条平均长度显著高于对照（为 11.84 ± 5.35 cm）的 7.85%、7.77% 和 7.01%，6-BA 不同浓度间采穗母树当年可采穗条长度差异不显著 ($P > 0.05$)，600 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的处理要比 300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度和 1000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的处理略高 0.31% 和 0.79%。

芽萌动前和新梢生长 30d 后洒施 6-BA 对川西云杉采穗母树当年可采穗条长度的影响差异不显著 ($P > 0.05$)，但是均显著高于新顶芽形成后洒施 6-BA 的 10.13% 和 8.55%。芽萌动前和新梢生长 30d 后洒施 6-BA 虽然对采穗母树当年可采穗条平均长度的影响差异不显著 ($P > 0.05$)，但是新梢生长 30d 后洒施 6-BA 的促进效果略高于芽萌动前洒施 6-BA 的 1.45%（见表 3）。

综合分析，对采穗母树当年可采穗条长度生长最好的组合是 $C_1 + 300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ 6-BA} + T_1$ ，其次是 $C_5 + 300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ 6-BA} + T_1$ 和 $C_1 + 1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ 6-BA} + T_2$ ，穗条长度分别达到 (16.71 ± 4.99) cm、 (15.98 ± 4.59) cm 和 (14.91 ± 4.54) cm，显著高于相应对照 (13.35 ± 1.69) cm 的 25.17%、19.70% 和 11.69%。在修剪+摘芽得到基础上，于芽萌动前洒施 300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的 6-BA 既能有效促进采穗母树当年可采穗条长度的生长，也能有效促进采穗母树当年可采穗条基部直径的生长，是川西云杉采穗母树提高当年可采穗条质量的有效管理措施。

3.2 母树修剪、BA 浓度和时间对川西云杉采穗母树枝条数量的影响

经方差分析，母树修剪 ($F=346.22$)、6-BA 浓度 ($F=17.75$)、6-BA 处理时间 ($F=135.87$) 对川西云杉采穗母树枝当年 ≥ 5 cm 枝条数量的影响差异达显著水平 ($P < 0.05$)，且 6-BA 浓度 $\times$ 6-BA 处理时间 ($F=38.50$)、6-BA 浓度 $\times$ 母树修剪 ($F=3.26$)、BA 处理时间 $\times$ 母树修剪间 ($F=11.91$)、6-BA 处理时间 $\times$ 6-BA 浓度 $\times$ 母树修剪间 ($F=10.63$) 存在显著的交互作用 ($P < 0.05$)。

表 4：不同处理对川西云杉采穗母树当年可采穗条数量影响的多重比较

Table 4: Multiple Comparison of the Effects of Different Treatments on the Number of Collectable Panicles of *Picea balfouriana* mother tree of cutting scion in the Current Year

母树修剪 Pruning of ortets	6-BA 浓度/6-BA conce		6-BA 处理时间/6-BA treatment ti	
	ntration		me	
母树不同修剪 Different pruning of ortets	穗条数量 NB 条·株 ⁻¹ branch es plant ⁻¹	mg·L ⁻¹	穗条数量 N B 条·株 ⁻¹ branch es plant ⁻¹	穗条数量 NB 条·株 ⁻¹ branch es plant ⁻¹
$C_1(f+p)$	$86.5 \pm 20.1b$	0	$50.0 \pm 15.5c$	$68.8 \pm 36.4b$
$C_2(f+1/3)$	$61.1 \pm 12.2d$	300	$72.8 \pm 31.9b$	$88.6 \pm 34.8a$
$C_3(f+1/2)$	$55.6 \pm 10.4d$	600	$72.1 \pm 33.4b$	$67.3 \pm 24.3b$
$C_4(f+2/3)$	$40.3 \pm 9.4e$	1000	$79.9 \pm 35.3a$	
$C_5(f)$	$69.3 \pm 17.6c$			
$C_6(CK)$	$121.9 \pm 37.5a$			

经多重比较，不同母树修剪方式都显著降低了川西云杉采穗母树当年可采穗条产量，对照 C_6 采穗母树当年可采穗条数量最多，达到 (121.9 ± 37.5) 条·株⁻¹，当年可采穗条数量最少的是处理 C_4 ，仅为 (40.3 ± 9.4) 条·株⁻¹，显著低于对照和其他处理 ($P < 0.05$)，处理 C_6 采穗母树当年可采穗条数量是处理 C_4 的 2.02 倍，也是处理 C_3 和处理 C_2 的 1.19 和 1.00 倍，也显著高于处理 C_1 和 C_5 的 40.92% 和 75.90% ($P < 0.05$)；处理 C_3 和处理 C_2 间采穗母树当年可采穗条数量差异不显著 ($P > 0.05$)。不同母树修剪方式对川西云杉采穗母树当年可采穗条数量影响的大小顺序是对照 $C_6 >$ 处理 $C_1 >$ 处理 $C_5 >$ 处理 $C_2 >$ 处理 $C_3 >$ 处理 C_4 （表 4）。由

于处理 C₄ 采取重度修剪采穗母树，大幅减少了保留枝条上萌发新梢的芽数，当年可采穗条数量随之减少，处理 C₂ 和 C₃ 也相应不同程度减少了采穗母树保留枝条上可萌发成枝条的冬芽数，同样处理 C₁ 采穗母树采取修剪和保留枝条摘芽处理，穗条数量也随之下降；不同处理都有效刺激采穗母树隐芽发育成枝条，但是处理 C₂、C₃、C₄ 的修剪强度比处理 C₁ 高，减少母树可能发新梢的芽数显然要比处理 C₁ 多，所以处理 C₁ 当年可采穗条数量除了 C₆ 外，要比其他处理高，显著高于处理 C₅ 的 24.82%。虽然处理 C₆ 枝条数量是最多的，但是枝条质量不高，不利于扦插和扦插苗后期生长，而且由于枝条过密，随着树龄增大，大多内堂枝条干枯。因此，既有利于提高采穗母树当年可采穗条质量又能提高穗条产量适宜的管理措施为处理 C₁，即采取纺锤形修剪+摘芽处理。

1000 mg·L⁻¹ 浓度 6-BA 处理的川西云杉采穗母树当年可采穗条数量最多，显著高于 0、300、600 mg·L⁻¹ 浓度 6-BA 处理的 59.80%、10.00%、11.00% ($P<0.05$)，300 和 600 mg·L⁻¹ 浓度 6-BA 处理间采穗母树当年可采穗条数量差异不显著 ($P>0.05$)，但是均显著高于对照（为 50.0±15.5）条·株⁻¹ 的 45.60%和 44.20% ($P<0.05$)，表明不同浓度的 6-BA 均能有效提高川西云杉采穗母树当年可采穗条数量，但以 1000 mg·L⁻¹ 浓度 6-BA 处理的效果最为显著。

新梢生长 30d 后洒施 6-BA 川西云杉采穗母树当年可采穗条数量最多，达到 (88.6±34.8) 条·株⁻¹，显著高于芽萌动前和新顶芽形成后的 28.78%和 32.00% ($P<0.05$)，芽萌动前和新顶芽形成后洒施 6-BA 川西云杉采穗母树当年可采穗条产量差异不显著 ($P>0.05$)，但芽萌动前洒施 6-BA 要比新顶芽形成后洒施 6-BA 当年可采穗条数量略高 2.00%，提高川西云杉采穗母树当年可采穗条产量适宜 6-BA 处理时间是新生长 30d 后洒施。

对川西云杉采穗母树当年可采穗条产量影响最显著的组合是 C₆+1000 mg·L⁻¹6-BA+T₁ 和 C₆+300 mg·L⁻¹6-BA+T₁，其次是 C₆+600 mg·L⁻¹6-BA+T₂，当年可采穗条数量分别是 (158.0±2.8) 条·株⁻¹、(158.0±39.6) 条·株⁻¹ 和 (155.0±41.0) 条·株⁻¹，当年可采穗条数量依次是相应对照 (62.5±2.1) 条·株⁻¹ 的 1.53、1.53 和 1.48 倍。虽然处理 C₆ 枝条数量是最多的，但是枝条质量不高，不利于扦插和扦插苗后期生长，而且由于枝条过密，随着树龄增大，大多内堂枝条干枯。由于处理 C₁ 能显著提高母树当年可采穗条质量，C₁+1000 mg·L⁻¹6-BA+T₂ 组合当年可采穗条数量也能达到 (123.0±7.1) 条·株⁻¹，因此，采用纺锤形修剪+摘芽处理后，在新梢生长 30d 后洒施高浓度 6-BA 有促进采穗母树穗条产量增加的趋势。

3.3 母树修剪、BA 浓度和时间对川西云杉采穗母树冬芽数的影响

母树修剪 ($F=92.06$)、6-BA 浓度 ($F=26.67$)、6-BA 处理时间 ($F=30.00$) 对川西云杉采穗母树冬芽数（含隐芽）的影响差异达显著水平 ($P<0.05$)，除 6-BA 处理时间×6-BA 浓度×母树修剪间交互作用不显著 ($P>0.05$) 外，6-BA 浓度×6-BA 处理时间 ($F=9.84$)、6-BA 浓度×母树修剪 ($F=4.13$)、6-BA 处理时间×母树修剪间 ($F=4.14$) 存在显著交互作用 ($P<0.05$)。

表 5：不同处理对川西云杉采穗母树冬芽数量影响的多重比较

Table 5: Multiple comparisons of the effects of different treatments on the number of winter buds in the ortets of *Picea balfouriana* during harvest

母树修剪 Pruning of ortets		6-BA 浓度/6-BA concentration		6-BA 处理时间/6-BA treatment time	
母树不同修剪 Different pruning of ortets	冬芽数 NB	mg·L ⁻¹	冬芽数 NB 个·株 ⁻¹	处理时间 treatment time	冬芽数 NB
	个·株 ⁻¹ Number·Plant ⁻¹		个·株 ⁻¹ Number·Plant ⁻¹		个·株 ⁻¹ Number·Plant ⁻¹
C ₁ (f+p)	336.0±51.3b	0	262.6±56.8c	T ₁	326.0±67.3a
C ₂ (f+1/3)	327.9±50.6b	300	307.6±63.9b	T ₂	342.2±84.6a
C ₃ (f+1/2)	240.0±38.6c	600	303.5±73.0b	T	291.4±75.4b
C ₄ (f+2/3)	233.7±44.8c	1000	348.5±89.8a		
C ₅ (f)	343.6±16.7b				
C ₆ (CK)	410.0±83.8a				

不同母树修剪方式对川西云杉采穗母树冬芽数的影响经多重比较可划分 3 组，对照 C₆ 为采穗母树的冬芽数量最多的 1 组，采穗母树冬芽数显著高于其他处理 ($P<0.05$)，处理 C₁、处理 C₂、处理 C₅ 间母树冬芽数差异不显著 ($P>0.05$)，为冬芽数居中的 1 组，处理 C₃ 和处理 C₄ 是母树冬芽数最少的 1 组，且二者母树冬芽数差异不显著 ($P>0.05$)。

300、600、1000 mg·L⁻¹ 浓度 6-BA 处理的采穗母树冬芽数分别显著高于对照 (262.6±56.8) 个·株⁻¹ 的 17.14%、15.58%、32.71%，1000 mg·L⁻¹ 浓度 6-BA 处理的采穗母树冬芽数最多，为 (348.5±89.8) 个·株⁻¹，显著高于 300、600 mg·L⁻¹ 浓度 6-BA 处理的 13.30%和 14.83%，且 300 和 600 mg·L⁻¹ 浓度 6-BA 处理的采穗母树冬芽数差异不显著 ($P>0.05$)，表明不同浓度的 6-BA 都能有效促进母树冬芽数的增加，6-BA 刺激母树芽形成的作用随浓度的增加呈增强的趋势。

芽萌动前和新梢生长 30d 后洒施 6-BA 川西云杉采穗母树冬芽数差异不显著 ($P>0.05$)，均显著高于新顶芽形成后洒施 6-BA 的 50.80%和 11.87% ($P<0.05$)，6-BA 处理时间对采穗母树冬芽数影响的大小依次是新梢生长 30d>芽萌动前>新顶芽形成后 (表 5)。

母树冬芽数增多，有利于下年度穗条数量的增多。由于 6-BA 浓度和处理时间一方面有效促进了采穗母树当年可采穗条长度的生长，枝条上的冬芽数随着穗条长度的生长而增加，其次 6-BA 不同浓度和处理时间刺激母树形成芽 (促进隐芽发育)，尤其高浓度的 6-BA 能有效刺激川西云杉采穗母树芽的形成，从而 6-BA 处理能促进采穗母树冬芽数增多。

综合分析，冬芽数了增多最显著的组合是 C₆+1000 mg·L⁻¹6-BA+T₂，冬芽数达到 (566.5±6.4) 个·株⁻¹，但是处理 C₆ 枝条稠密，冬芽数量自然就多，加之高浓度的 6-BA 有刺激冬芽形成的作用，由于处理 C₆ 枝条过于稠密，也不利于后期母树通风透光和穗条生长，而经过 C₁ 和 C₂ 处理后，在新梢生长 30d 和新顶芽形成后洒施 1000 mg·L⁻¹6-BA 的冬芽数分别为 (407.0±32.5) 个·株⁻¹ 和 (425.5±7.8) 个·株⁻¹，且 C₁+1000 mg·L⁻¹6-BA+T₂ 的当年可采穗条数量和穗条长度也比较好，综合来看是比较适宜的采穗母树管理措施。

3.4 主成分分析

采穗母树当年可采穗条基部直径 (X₁)、穗条长度 (X₂)、穗条数量 (X₃)、采穗母树冬芽数 (X₄) 对采穗母树的影响是相互的，穗条长度的生长影响穗条上冬芽数量、穗条数量也决定采穗母树冬芽数量。经主成分分析，2 个初始特征根>1.0 的主成分，累积方差分量占总体方差分量的 86.643%，几乎包含了采穗母树的绝大部分信息 (表 6)。

表 6：主成分分析
Table 6: Principal Component Analysis

主成分 Component	特征根 Initial Eigenvalues	方差贡献率% % of Variance	累积方差贡献率% Cumulative %
1	1.776	44.408	44.408
2	1.689	42.235	86.643
3	0.295	7.380	94.023
4	0.239	5.977	100.000

主成分 1 中变量母树当年可采穗条基部直径 (X₁) 和穗条长度 (X₂) 旋转后的因子负荷矩阵值最大，起主导作用，主成分 1 中变量的 (X₁) 和 (X₂) 的得分系数分别是 0.534 和 0.538，反应了采穗母树当年可采穗条质量状况；主成分 2 中，变量穗条数量 (X₃) 和采穗母树冬芽数 (X₄) 的值最高，起主导作用，在主成分 2 中的得分系数也最高，分别是 0.535 和 0.539。主成分 2 是不同管理措施对川西云杉采穗母树影响的具体反应。

表 7：采穗母树旋转后的因子负荷矩阵和因子得分系数矩阵

表 7: Principal component eigenvector and principal component score coefficient matrix of mother tree cutting branches

变量 variable	旋转后的因子负荷矩阵 Rot ated Component Matrix		因子得分系数矩阵 Compo nent Score Coefficient Matrix	
	主成分 1	主成分 2 (Co	1	2
	(Compoment)	mpoment)		
穗条基部直径 X ₁ Diameter of the base branches	0.930	-0.079	0.534	-0.033
可采穗条长度 X ₂ cutting branches length	0.933	0.055	0.538	0.046
可采穗条数量 X ₃ cutting branches number	-0.051	0.925	-0.016	0.535
母树冬芽数 X ₄ Number of winter buds of ortets	0.028	0.928	0.029	0.539

4 结果与讨论

4.1 母树修剪对川西云杉采穗母树可采穗条产量、质量、冬芽数的影响

母树修剪能够有效调节结实母树生殖生长和营养生长，不仅广泛应用于种子园管理，在落叶松配套扦插繁殖中也得到广泛应用，具有良好的效果（王笑山等，1995；2003；2000）。幼林采穗母树重剪可以刺激树木复幼和复壮，提高分生组织的发育以保持树体的持续幼嫩状态。如果采穗母树每年实施修剪，其插条的生根率较好的情况将会持续很多年（罗建勋，1997）。对洪都拉斯加勒比松、花旗松、日本落叶松等进行强度修剪刺激营养芽和叶腋休眠芽发育成长枝，并刺激针叶簇萌生新芽（Haines RJ,et al.,1993；王笑山等，1995；Donald L，1992），去主干和侧枝终端芽能刺激北美乔松侧芽的发育及发育枝的进一步生长（Michael A.1978）；去顶和强度修剪刺激了加勒比松(*P. caribaea* Morelet)短枝和休眠轮生枝长出新梢，增加了单株的采穗量（Haines RJ,et al.,1993），欧洲赤松(*P. sylvestris* L.)和日本落叶松去顶修剪能诱导生出丛生芽，持续处理还会导致新梢的持续生长（Kossuth S V,1978;Edson J L,1991）。挪威云杉进行反复的篱式修剪能够增加单位面积上的穗条数，使插条的成熟程度明显降低，更有利于提高扦插成活率（Clai J B SrC, et al.,1985）。青海云杉实施篱式修剪，穗条数的增加不明显，去顶芽修剪方式的效果优于纺锤形修剪和篱式修剪。去顶芽能够明显的增加当年长于 6cm 的新梢数量和新梢总长度，同时还增加了当年新梢上的冬芽数（陈广辉等，2007）。川西云杉幼龄采穗母树经摘芽、修剪+摘芽处理后有效促进了当年可采穗条长度和基部直径的生长，并促进隐芽发育，母树冬芽数增加（胡勐鸿等，2012；张保全等，2023）。本研究对幼龄川西云杉采穗母树经纺锤形修剪、纺锤形修剪+摘芽、纺锤形修剪+不同强度的保留侧枝回缩等处理后，当年≥5 cm枝条基部直径和长度显著高于不做任何处理的采穗母树，纺锤形修剪+摘芽处理效果最显著，当年可采穗条基部直和长度显著高于对照的 25.27%和 30.41%。由于川西云杉I级侧枝和II级枝顶枝的生根率显著大于II级枝顶枝（王军辉等，2007）。12~20cm 插穗长度生根率分别比>20cm 和<12cm 的高出 83.2%（王军辉等，2006）。用 15 cm以上枝条扦插而成的扦插苗比较有经济意义，能很好的体现扦插繁殖的优越性，比实生苗更具有市场价值（陈广辉等，.2007;胡勐鸿等，2014；2016；2018）。强度修剪不适用于青海云杉幼龄采穗母树，同样川西云杉幼龄母树强度修剪后由于减少了可萌发成枝条的芽数，当年≥5 cm的枝条数量和母树冬芽数显著低于不做任何处理的母树，枝条数量和冬芽数随枝条回缩强度的加大呈减少的趋势。修剪强度愈大，创伤面愈大，造成伤流，树体损伤严重，短期树势恢复困难，反而对枝条生长不利。不做任何处理的采穗母树虽然穗条数量和母树冬芽数最多，但是可采穗条质量不高，而且随着母树的生长树冠内堂多为弱枝，由于光照不足甚至干枯，不利于扦插生根和扦插苗后期生长。川西云杉当年采穗扦插，母树修剪宜采用纺锤形修剪后再摘除保留枝条顶芽，一方面纺锤形修剪增加了树冠的通风透光性，摘除保留侧枝顶芽有效抑制了顶端优势，促进保留侧芽萌发枝条的粗生长和长生长，显著提高当年可采穗条质量，有利于扦插生根和扦插苗后期生长（胡勐鸿等，2012；2014；2016；2018），而且除对照外，当年可采穗条数量也最多，母树冬芽数低于对照和仅进行修剪处理外，也要比其他处理高，这是川西云杉采穗母树适宜

的修剪方式。

4.2 6-BA 浓度对川西云杉采穗母树穗条产量、质量、冬芽数的影响

6-BA 对许多树种芽的形成和枝条的延长生长均有促进作用 (Henny R J.1985;Mazzola M et al.,1987; Forshey C G.1982;Chen GH,et al.,2007)。BA 浓度对青海云杉芽的生长发育与母树年龄有关,陈广辉等 (2007) 用 $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 6-BA 涂抹 5a 生母树效果优于 100 、 $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 而 7a 生母树 $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 效果优于 $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。川西云杉 8a 生采穗母树洒施 300 、 600 、 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 BA 都能有效促进枝条直径生长和伸长生长,而且枝条直径生长随浓度的增大呈增大的趋势,洒施不同浓度 6-BA 后枝条长度显著高于不洒施 6-BA 的采穗母树。BA 能够刺激美国黄松 (*P. ponderosa*) 短枝上芽的发生和生长,进而延长生长而形成侧枝 (Michael A.1978),BA 对花旗松和北美蓝云杉侧芽的形成有促进作用,整树叶面洒施 BA 的花旗松,当年新梢上的侧芽数量比那些仅处理主导枝顶或没有用 6-BA 处理的树产生的侧芽数量要多很多,在温室条件下, $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 BA 有促进北美蓝云杉芽生成的作用 (Mazzola M, et al.,1987),BA 不同浓度使欧洲赤松,能产生簇生芽的新梢数随 BA 浓度的增加而增大,BA 浓度越大,能够产生簇生芽的新梢越多。并且,在 8 月份处理结束之前,所有的簇生芽均达到 $6\sim 9\text{ mm}$ 的长度 (Kossuth S V,1978)。本研究结果显示,不同浓度的 6-BA 不仅对川西云杉采穗母树枝条的粗生长和伸长生长有显著促进作用,而且对川西云杉采穗母树枝条数量 ($\geq 5\text{ cm}$) 和母树冬芽数也有显著的促进作用,母树枝条数量和冬芽数随 6-BA 浓度的增大呈增多的趋势,一方面不同浓度的 6-BA 都能有效促进了采穗母树当年枝条的长度生长,随着母树枝条的伸长,枝条上的芽数增加了,母树冬芽数随之增加,而且不同浓度的 6-BA,尤其高浓度的 6-BA 有效刺激隐芽发育和枝条节间簇生芽的形成,因此洒施不同浓度 6-BA 后的采穗母树当年枝条数量和冬芽数显著高于不洒施 6-BA 的采穗母树。 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 BA 对母树冬芽数的增加效果最为显著,显著高于对照采穗母树冬芽数的 32.71%,这与 Mazzola.M 等 (1987) 对北美蓝云杉的研究结论一致。

300 、 $600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的 6-BA 对川西云杉采穗母树当年可采穗条长度生长促进效果比 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 6-BA 好。纺锤形修剪+摘除保留侧枝顶端芽后,洒施 $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 6-BA 对川西云杉采穗母树当年枝条粗生长和长效果最为显著,枝条基部直径和长度分别为: $(4.71\pm 1.38)\text{ mm}$ 和 $(16.71\pm 4.99)\text{ cm}$,显著高于其它处理。 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的 6-BA 由于有效刺激隐芽发育和枝条节间簇生芽的形成,使川西云杉采穗母树冬芽数增多。因此,川西云杉当年采穗扦插,采用纺锤形修剪+摘芽处理后芽萌动前洒施 $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 6-BA 显著促进采穗母树当年可采穗条质量提高,有利于当年扦插和扦插苗后期生长。洒施 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 BA,母树冬芽最多,有望提高了采穗母树下年度穗条产量。

4.3 BA 处理时间对川西云杉采穗母树枝条产量、质量、冬芽数的影响

不同物候期洒施 6-BA,对川西云杉采穗母树当年可采穗条基部直径、长度、穗条数量、冬芽数的影响效果不同。芽萌动前和新梢生长 30d 洒施不同浓度的 6-BA 对当年枝条基部直径、长度、母树枝条数、冬芽数的影响效果比新顶芽形成后效果显著。 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 6-BA 不论是芽萌动前、新梢生长 30d 还是新顶芽形成后洒施,都能促进川西云杉采穗母树冬芽数的增加。川西云杉采穗母树采用纺锤形修剪+摘芽处理后当新梢生长 30d 后洒施 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的 6-BA,母树当年可采穗条数量和冬芽数增多的效果最佳,显著高于新顶芽形成后洒施 6-BA,也高于芽萌动前洒施 6-BA。这与采用 BA 对香脂冷杉处理的结果类似,香脂冷杉枝条伸长到全年生长长度的 70% 时叶面洒施 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 BA 能够获得最多数量的芽,太早或太晚 BA 的效果均不是最佳 (陈广辉等, 2007)。

川西云杉采穗母树当年可采穗条基部直径、穗条长度是影响采穗母树当年可采穗条质量的关键因子,起主导作用,穗条数量和母树冬芽数对采穗母树当年可采穗条产量和预期产量的影响起主导作用。

本研究只进行了纺锤形修剪后摘芽、保留枝条不同强度的回缩,在芽萌动前、新梢生长 30d、新顶芽形成后洒施 300 、 600 、 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的 6-BA 对川西云杉采穗母树当年可采穗条质量和产量、母树冬芽数的影响,不同修剪方式 (如篱式修剪),6-BA 的不同施用方式 (涂抹芽、茎秆注射等),其他激素以及其它激素与 6-BA 的配比使用,母树年龄、持续处理后效、不同处理母树可采穗条与生根力关系以及施肥管理等对川西云杉采穗母树穗条质量和产量的影响等有待进一步研究。只有通过多年持续试验,才能总结出

适宜云杉采穗母树管理的措施。

5 结论

川西云杉采穗母树纺锤形修剪后摘除保留枝条顶芽,增加了树冠内通风透光并抑制顶端优势,有效促进采穗母树当年可采穗条的伸长和增粗生长,当年可采穗条质量大幅提高,有利于采穗扦插和扦插苗后期生长;不同浓度的 6-BA 都能有效促进采穗母树当年可采穗条的长度和直径的生长,并能刺激母树冬芽数增加,促进隐芽发育成穗条,刺激母树冬芽数增加随浓度的增加有增大的趋势,高浓度 6-BA 有刺激母树冬芽数增多的作用;6-BA 处理时间非常关键,芽萌动前和新梢生长 30d 处理效果比新顶芽形成后好。川西云杉采穗母树纺锤形修剪并摘除保留枝条顶芽后于芽萌动前洒施 $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 6-BA 能显著提高当年可采穗条质量,新梢生长 30d 洒施 $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 6-BA 能提高母树当年可采穗条产量并使母树冬芽数增加。

参考文献

- 陈广辉,王军辉,张守功,等.2007a.世界云杉采穗圃研究现状及研究重点[J].山东农业大学学报(自然科学版),(04):650-653. (CHEN G H, WANG J H, ZHANG S G, et al. 2007a, Current situation and stress of research on spruce cutting orchard on the world. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science), 38(4):650-654. [in Chinese]) 陈广辉,杨红旗,张守功,等.2007b.修剪和生长调节剂对青海云杉苗芽生长发育的影响[J].林业科学研究,20(03):375-380. (Chen G H, Yang H Q, Zhang S G, et al. 2007b. Effects of Pruning and Growth Regulators on the Bud Growth and Development of *Picea crassifolia* Seedlings. Forest Research, 20(3):375-380 [in Chinese])
- 段昌盛,张守功,王军辉,等.2009.3 种云杉扦插生根特性的研究[J].西北林学院学报,24(06):59-61. (DUN C H, ZHANG S G, WANG J H, et al. 2009, Rooting capability of twigs of three spruce species. Journal of Northwest Forestry University, 24(06):59-61. [in Chinese])
- 何家仁.1993.甘孜森林[M].成都:四川科学技术出版社,39. (He J R. 1993. Dendrology in Ganzi. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 39. [in Chinese])
- 胡劭鸿,张宋智,马建伟,等.2008.欧洲云杉扦插繁殖技术研究[J].陕西林业科技,36(04):20-24. (HU M H, ZHANG S Z, MA J W, et al. 2008, Cutting propagation techniques of *Picea abies* (L) Karst. Shanxi Forestry Science Technol, (4):20-24. [in Chinese])
- 胡劭鸿,欧阳芳群,贾子瑞,等.2014.欧洲云杉扦插生根影响因子研究与生根力优良单株选择[J].林业科学,50(02):42-49. (HU M H, OUYANG F Q, JIA Z R, et al. 2014, Factors affecting rooting of *Picea abies* shoot cuttings and individual selection with high rooting ability. Scientia Silvae Sinicae, 50(2):42-49. [in Chinese])
- 胡劭鸿,欧阳芳群,贾子瑞,等.2018.我国云杉扦插繁殖技术研究进展[J].温带林业研究,1(01):20-29. (HU M H, OUYANG F Q, JIA Z R, et al. 2018, Research progress of cutting reproduction technology of *Picea* in China. Journal of Temperate Forestry Research, 1(1):20-29. [in Chinese])
- 胡劭鸿,欧阳芳群,贾子瑞,等.2016.不同穗条类型、长度的欧洲云杉扦插苗质量评价[J].林业科学研究,29(06):919-925. (HU M H, OUYANG F Q, JIA Z R, et al. 2016, Quality evaluation Norway Spruce cuttings with different types and lengths. Forest Research, 29(6):919-925. [in Chinese])
- 胡劭鸿,张宋智,马建伟,等.2012.摘芽处理对川西云杉采穗母树生长和穗条产量与质量的影响[J].东北林业大学学报,4(03):8-10,40. (HU M H, ZHANG S Z, MA J W, et al. 2012, Effects of bud removal on the growth of scion mother trees of *Picea balfouriana* and quantity and quality of cuttings[J]. Journal of Northeast Forestry University, 40(3):8-10,40. [in Chinese])
- 胡劭鸿,吕寻,吴春燕,等.2022.日本落叶松无性系种子园球果产量对长期氮磷钾配方施肥的响应[J].北京林业大学学报,44(1):9-18. (Hu M H, Lv X, Wu C Y, et al. 2022. Response of cone yield in clonal seed orchard of *Larix kaempferi* to long-term nitrogen, phosphorus and potassium formula fertilization[J]. Journal of Beijing Forestry University, 44(1):9-18. [in Chinese])
- 靳景春,胡劭鸿,张宋智,等.2009.欧洲云杉扦插生根特性的研究[J].西北林学院学报,24(05):70-73,105. (Rooting Capability of Twigs of *Picea abies*)
- 刘兴良,马钦彦,杨冬生,等.2006.川西山地区主要人工林种群根系生物量与生产力[J].生态学报, 6(02):542-551. (Liu X L, Ma Q Y, Yang D S, et al. 2006. Studies on root biomass and productivity in dominant plantation populations in the mountainous land in Western Sichuan. Acta Ecologica Sinica, 26(2): 542-551. [in Chinese])

- 刘兴良, 宿以明, 向成华, 等.1998.川西云杉人工林种群竞争规律初步研究[J].四川林业科技, 19(02):17-24.
- (Liu X L, Su Y M, Xiang C H, *et al.* 1998. Researches on competitive laws of artificial *Picea balfouriana* forestry population of West Sichuan. Journal of Sichuan Forestry Science&Technology, 19(2):14-21. [in Chinese])
- 刘兴良, 宿以明, 刘世荣, 等.2004.川西高山林区人工林生态学的研究—人工林分区与分类[J].四川林业科技, 25(1):1-9.
- (Liu X L, Su Y M, Liu S R, *et al.* 2001. Studies of ecology of plantation in alpine forest areas of western Sichan: division and classification of plantation. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 25(1): 1-9. [in Chinese])
- 李承彪.1990.四川森林生态研究[M].成都:四川科学技术出版社.
- (Li C B. 1990. Ecological study on forests in Sichuan. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press. [in Chinese])
- 李青粉.2014.川西云杉早期体细胞胚胎发生机理研究[D].北京:中国林业科学研究院博士论文.
- (LI Q F.2014.Reseach mechanism of early somatic embryogenesis in *picea balfouriana*.BeiJing,Doctoral Thesis of the Chinese Academy of Forestry Sciences. [in Chinese])
- 吕寻,胡劭鸿.2020.日本落叶松种子园结实母株种实性状对氮磷钾配比施肥的响应[J].西南林业大学学报(自然科学版),40(06):6-11.
- (Lv X, Hu M H. Response of Seed Characteristics of Seed-bearing Mother Plant of *Larix kaempferi* Seed Orchard to Nitrogen, Phosphorus and Potassium Proportional Fertilization. Journal of Southwest Forestry University(Natural Science), 2020, 40(6):6-11. [in Chinese])
- 罗建勋.1997.英国西加云杉和落叶松的无性繁殖[J].世界林业研究,(3):60-65.
- (LUO J X.1997,Vegetative Propagation of *Picea sitchensis* and Hybrid Larch (*Larix*×*eurolapis* Henry) in the UK.World Forest rY Research,(3):60-65.[in Chinese])
- 马常耕.1993.世界云杉无性系林业发展现状[J].世界林业研究, (06):24-31.
- (MA C G.1993.State of development of clonal forestry of *picea asperata* in the world.World Forest rY Research,[in Chinese])
- 牟小梅, 胡劭鸿, 吕寻.2020.磷肥对日本落叶松种子园结实母株种实性状和球果产量的影响[J].西南林业大学学报(自然科学版),40(05):18-24.
- (Mou X M, Hu M H, Lv X. 2020. Effects of Phosphate Fertilizer on Seed-bearing Characteristics and Cone Yield of Seed bearing Mother Plant of *Larix kaempferi* Seed Orchard. Journal of Southwest Forestry University(Natural Science), 40(5):18-24. [in Chinese])
- 师晨娟, 刘 勇,胡长寿.2002.青海云杉硬枝扦插繁殖研究[J].江西农业大学学报(自然科学版), 24(02):259-263.
- (SHI C J,LIU Y,HU C S.2002,Research on hardy branch cutting cultivation of qinghai spruce.Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis. 24(02):259-263. [in Chinese])
- 师晨娟, 刘 勇, 王春城, 等.2006.青海云杉扦插的年龄效应及其生根机理研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版), 34(12):101-104.
- (SHI C J,LIU Y,WANG C C,*et al.*2006,Study on the age effect of cutting propagationof *Picea crassifolia* and its rooting mechanism.Jour. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For. (Nat. Sci. Ed.) ,34(12):101-104. [in Chinese])
- 王军辉,张建国,张守功,等.2006a.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), 34(07):65-71.
- (Wang J H,Zhang J G,Zhang S G,*et al.*2006a, Research of hormone, age and position effect of hardwood cutting in *Picea crassifolia* Kom. Jour. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For. (Nat. Sci. Ed.) ,34(07):65-71.. [in Chinese])
- 王军辉, 张建国, 张守功,等.2006b.川西云杉硬枝扦插生根特性的研究[J].浙江林学院学报,(03):351-356.
- (Wang J H,Zhang J G,Zhang S G,*et al.*2006b, Rooting ability of hardwood cutting of *Picea balfouriana*[J]. Journalof Zhejiang Forestry College.23(3):351-356. [in Chinese])
- 王军辉,张建国,张守功,等.2007.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),(01):51-54.
- (WANG J H, ZHANG J G. ZHANG S G, *et al.* 2007,Effects of several factors on rooting of cutting propagation of *Picea balfouriana*[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition).31(1):51-54. [in Chinese])
- 王笑山, 孙晓梅,齐力旺,等.2003.日本落叶松整形修剪对母株生长、产穗量、插穗生根和扦插苗生长的影响[J].林业科学,39(2):44-51.
- (Wang X S, Sun X M , Qi L W, *et al.* 2003. Effects pruning in different types on growth and cutting production of ortets and rooting and growth of cuttings. Scientia Silave Sinicae, 39(2): 44-51. [in Chinese])
- 王笑山,马常耕,寇金堂,等.1995.日本落叶松整形修剪对插穗产量及生根率的影响[J].林业科学, 31(2):116-124.

- (Wang X S, Ma C G, Kou J T, et al. 1995. Production and rooting ability of cuttings collected from *Larix kaempferi*(Lamb.) Carr ortets hedged in different types. *Scientia Silvae Sinicae*, 31(2):116-124. [in Chinese])
- 王笑山,马 浩,王建华,等.2000.落叶松杂种大规模繁殖配套技术研究[J].林业科学研究,13(5):469-476.
- (WANG X S, MA H, WANG J H, et al. 2000,Study on a complete set of larch hybrid mass propagation.*Forest Research*,5):469-476. [in Chinese])
- 张保全,胡勔鸿,欧阳芳群,等.2023.修剪和摘芽对川西云杉采穗母树穗条产量和质量的影响[J].中南林业科技大学学报(自然科学版),43(1):33-42.
- (ZHANG B Q,HU M H,OUYANG F Q, et al. 2023,Effects of pruning and bud removal on the yield and quality of spike strips of *Picea likiangensis* var. *rubescens*[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 43(1):33-42. [in Chinese])
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队.1985.西藏森林[M].北京:科学出版社
- (Tibetan Plateau Comprehensive Scientific Expedition Team of the Chinese Academy of Sciences. 1985. *Tibetan Forest* . Beijing: Science Press. [in Chinese])
- Michael A. Cohen. 1978. shoot apex development and rooting of *Pinus strobes* L.by dwarf shoots. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 103(4): 483-484.
- Donald L.Copes. 1992.Effects of long-term pruning, meristem origin,and branch order on the rooting of Doungias-fir stem cuttings. *CanJ. For. Res*, 22:1888-1894.
- Edson J L,Wenny D L,Fins L. 1991. Inducing long-shot growth for vegetative propagation of western larch. *New Forests*, 5:51-60.
- Forshey C G. 1982. Branching responses of young apple tree to application of 6-benzylaminopurine and gibberelin. *Amer Soc Hort Sic*, 107:538-541.
- Henny R J. 1985. BA Induces branching of *Peperomia obtusifolia*. *Hort Science*, 20(1):115-116.
- HU M H, LI J Y,SUN M. 2022. Strong Seedlings of Improved Varieties and High efficiency Cultivation of Artificial Forests Promotes the Early Realization of "Carbon Neutrality". *Agricultural Biotechnology*, 11(11): 136-41.
- Haines R J,Walker S M, Copley T R. 1993. Morphology and rooting of shots developing in response to decapitation and pruning of Caribbean Pine. *New Forests*, (7):133-141.
- Kang J J, Zhao W Z, Zhao M, et al. 2015. The type, position and age effect on the cutting reproduction of *Picea crassifolia* and its rooting mechanism in the Qilian Mountains. *Joural. For.Res*, 26(4): 993-1002.
- Kleinschmit J, Schmidt J. 1997. Experiences with *Picea abies* cutting propagation in Germany and problems connected with large scale application, 26:5-6.
- Kossuth S V. 1978. Induction of fascicular bud development in *Pinus sylvestris* L. *Hort Science*, 13(2):174-176.
- Mazzola M, Constante J F. 1987. Efficacy of BA for the promotion of lateral bud formation on Douglas-fir and Colorado blue spruce. *Hort Science*, 22(2): 234-235.
- Ouyang F Q, Wang J H, Li Y. 2015. Effects of cutting size and exogenous hormone treatment on rooting of shoot cuttings in Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.]. *New Forests*, (46): 91-105.
- Clair By.J.B.Sr, Kleinschmit J, Svolba J. 1985. Juvenility and serial vegetative propagation of Norway spruce clones(*Picea abies* Karst). *Silvae Genetica*, 34(1):42-48.