

不同处理对青海云杉花芽分化过程内源激素的影响

胡 盼^{1,2}, 王 川¹, 王军辉^{1*}, 贾子瑞¹, 仲永芳³, 李登平³

(1. 国家林业局 林木培育国家重点实验室, 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 中国林业科学研究院
热带林业研究所, 广东 广州 510520; 3. 青海省大通县东峡林场, 青海 大通 810100)

摘 要:对所选取的 9 个青海云杉无性系进行了茎杆注射(GA4/7)、环割(Girdling)和 GA4/7+Girdling 处理,测定并分析了不同处理下青海云杉叶片内源激素赤霉素(GAs)、吲哚乙酸(IAA)、脱落酸(ABA)和玉米素核苷(ZR)含量的变化。结果表明:与对照相比,经 GA4/7+Girdling 处理后,青海云杉花芽分化过程各时期内源激素 GAs 及 IAA 含量显著增加,而环割(Girdling)处理使得各时期 IAA 含量显著升高,当采用茎杆注射(GA4/7)处理时,各时期内源 GAs 及 IAA 含量略有增加;而与对照相比,3 种处理都使得 ZR 含量处于极低水平。说明外源植物生长调节剂通过影响内源激素水平来影响青海云杉的花芽分化,而环割处理减少了根部细胞分裂素的输出,从而延缓芽的伸长生长。

关键词:青海云杉; 花芽分化; 茎杆注射; 环割

中图分类号:S791.180.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2013)-05-0089-06

Different Treatment Influence on the Flower Bud Differentiation of *Picea crassifolia*

HU Pan^{1, 2}, WANG Chuan¹, WANG Jun-hui^{1*}, JIA Zi-rui¹, ZHONG Yong-fang³, LI Deng-ping³

1. Research Institute of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, CAF, Beijing 100091, China; 2. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 3. Dongxia Forestry Centre, Datong, Qinghai 810100, China)

Abstract:Nine clones of *Picea crassifolia* were selected and treated with exogenous gibberellin (GA4/7) by stem injection, girdling, and GA4/7 stem injection + girdling. The content changes of endogenous hormones, gibberellic acid (GAs), indole acetic acid (IAA), abscisic acid (ABA) and corn meal nucleoside (ZR) under different treatments were determined and analyzed. The results showed that comparing with the control, the contents of GAs and IAA increased significantly after GA4/7+girdling treatment, while IAA content increased dramatically after girdling treatment, and the contents of GAs and IAA had slight increase when treated by exogenous gibberellin (GA4/7) stem injection; while all the three treatments made the content of ZR in a very low level compared with the control. The exogenous plant growth regulators influenced the flower bud differentiation of *P. crassifolia* by affecting the endogenous hormones, while girdling reduced the output of cytokinin in the roots, and then delayed the elongation and growth of the bud.

Key words:*Picea crassifolia*; flower bud differentiation; stem injection; girdling

青海云杉(*Picea crassifolia*)为松科(Pinaceae)云杉属(*Picea*)常绿高大乔木,为我国青藏高原东北边缘特有树种,其分布面积广而稳定,是祁连山山地的主要针叶树种之一,可作为建筑、桥梁、家具等工业和

民用用途,具有极高的经济价值^[1]。目前青海云杉苗的生产主要是通过实生繁殖,但青海云杉实生苗前期生长缓慢,结实亦较晚,这对青海云杉的经济效益和遗传改良进程造成极为严重的影响,因此缩短其育种

收稿日期:2013-02-28 修回日期:2013-04-07

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划课题“北方针叶树种高世代育种技术与示范”课题(2012BAD01B01)。

作者简介:胡盼,女,在读博士,研究方向:林木遗传育种。E-mail:hupan622@139.com

* 通信作者:王军辉,男,研究员,博士,博士生导师,研究方向:云杉、楸树遗传育种。E-mail:wangjh808@sina.com

周期,加快其良种化进程,对青海云杉遗传改良而言尤为重要^[2-3]。花芽分化是植物发育中最为关键的阶段,直接关系着植物的发育成熟进程,以及营养生长和生殖生长周期的长短。研究表明一系列可缩短林木幼龄期生长的人工调控措施能使林木提前进入成熟期而较早开花结实^[4-5]。植物生长调节剂和环割技术等影响植物内源激素的合成、运输和分布,根据植物内部激素的含量,探明花芽分化的机理及其与外界条件的关系,进而应用植物生长调节剂或环割技术等调控植物花芽分化、调节花周期和提高种子产量,已成为控制植物营养生长、调控花期等的重要手段。如植物生长调节剂赤霉素 GA4/7 和 ABA 可显著增加马尾松雄球花数,单独环割处理明显促进了 6 年生马尾松实生苗雄球花的形成,对雌球花成花也有较显著的促进作用^[6]。在同期工作基础上^[7],分析了不同处理下青海云杉花芽分化过程中内源激素含量的变化,以期寻找一种有效的缩短林木开花结实年龄的方法,为加速林木育种进程奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验采样地设在青海大通县东峡林场,地理坐标为:101°50′27″E、35°56′N,海拔 2 760 m,属高原大陆性气候,年均温度为 2.9℃,最冷月平均气温为-11.7℃,最暖月平均气温为 16℃,年均降雨量为 556 mm。圃地土壤为坡基母质,团粒状或小碎块状,腐殖质层中等,耕性良好。

1.2 方法

通过观察发现,每年 4 月底或 5 月初青海云杉雌雄花芽开始萌动,到 6 月 17 号左右雄花开始散粉,该过程持续 1 周左右,期间雌球果的种鳞张开约 3 d,随即闭合;6 月末或 7 月初顶芽生长即告封顶;而青海云杉花芽的生理分化时期为顶芽封顶后到 8 月中旬的这段时间,随后大小孢子叶球以大小孢子母细胞形式越冬。

本试验选择的供试材料为嫁接种子园内生长正常、树势和立地条件一致的 7 年生青海云杉无性系,用四种不同方式进行处理(图 1),分别为茎杆注射(GA4/7 100 mg/株)、环割(Girdling)、茎杆注射+环割(GA4/7+Girdling,100 mg/株)和对照处理。环割处理于 4 月 24 日进行,在主干距地面 1.3 m 处环割 2 刀,间距 30 mm,环割切口宽度为 12 mm,割口深达木质部。茎杆注射处理分别于 4 月 24 日和 7 月 2 日进行,注射高度为离地面 1.5 m 处,斜向下打孔,深度为 20~30 mm,将药品溶液分 4 次均匀注射,每次打 2 个孔。每个处理设 9 个重复,共选取 36 株青海云杉进

行试验。本试验中采样时间为花芽生理分化期前 1 个月,花芽生理分化期(6 月 28 日—8 月 15 日)以及形态分化期(8 月 17 日—9 月 23 日)。于 5 月 26 日起每 7 d 采摘 1 次当年生枝条顶端叶片,用于内源激素的测定。8:00 进行采样,材料经洗涤剂与无离子水洗净,吸水纸擦干称重后于液氮中速冻,并于-20℃下保存,以备测定。

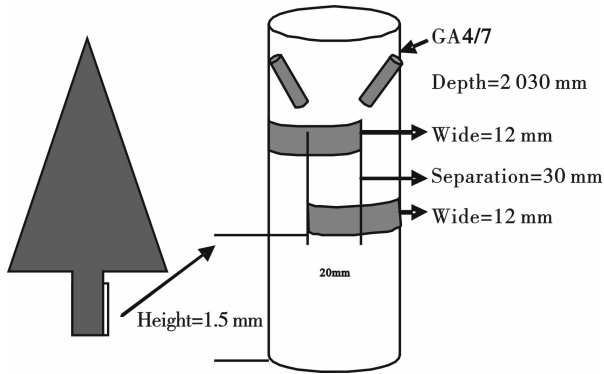


图 1 青海云杉外源激素茎杆注射及环割处理示意图
Fig. 1 Sketch map of GA4/7 stem-injections
and girdling treatment

1.3 试验测定方法

内源激素赤霉素(GAs)、吲哚乙酸(IAA)、脱落酸(ABA)和玉米素核苷(ZR)的提取、分离和测定采用酶联免疫吸附法^[8],检测波长为 490 nm。

1.4 数据处理

试验数据运用 Excel 2003 进行数据整理和分析;用 SPSS 16.0(Duncan's 法)进行显著差异性分析。

2 结果与分析

2.1 对青海云杉叶片中 GAs 含量变化的影响

内源 GAs 含量变化在不同处理间差异显著($F>F_{0.05}$)(图 2-(1))。青海云杉花芽分化过程中叶片 GAs 的含量变化显著,于生理分化期和形态分化期出现高峰。生理分化期前一个月(5 月 26 日所测),GAs 含量处于较高水平,随后小幅波动下降;生理分化前期迅速上升并出现高峰,随后下降,在生理分化后期降到低谷;形态分化前期 GAs 含量快速上升,于形态分化中期出现第 2 个高峰后再次迅速下降。

与对照相比,茎杆注射+环割(GA4/7+Girdling)处理后叶片中内源 GAs 含量在各个时期明显高于对照,处理显著的促进了生理分化前期及形态分化前期 GAs 含量的增加。而茎杆注射(GA4/7)和环割(Girdling)处理下各个时期内源 GAs 含量略高于对照。

2.2 对青海云杉叶片中 IAA 含量变化的影响

图 2-(2)所示,内源 IAA 含量变化在不同处理间

差异显著($F>F_{0.05}$),且变化动态与 GAs 的变化情况极为相似。LAA 含量在青海云杉花芽生理分化期前一个月有极高值,随后下降出现最低值,接着又迅速上升,在生理分化前期达到第 2 个高峰,该高峰值持续 7 d,但生理分化中期 LAA 含量迅速下降,在生理分化后期降到谷底,而形态分化前中期 IAA 含量上升并出现第 3 个高峰;形态分化后期再次下降。

不同处理对内源 LAA 含量变化的影响与内源

GAs 类似。与对照相比,环割(Girdling)处理显著促进了生理分化前期及形态分化前期 LAA 含量的增加;且环割(Girdling)处理下,各个时期内源 LAA 含量略高于对照。而茎杆注射(GA4/7)处理则使得各个时期内源 LAA 含量稍低于对照;茎杆注射+环割(GA4/7+Girdling)处理后,内源 IAA 含量变化与对照相比不显著。

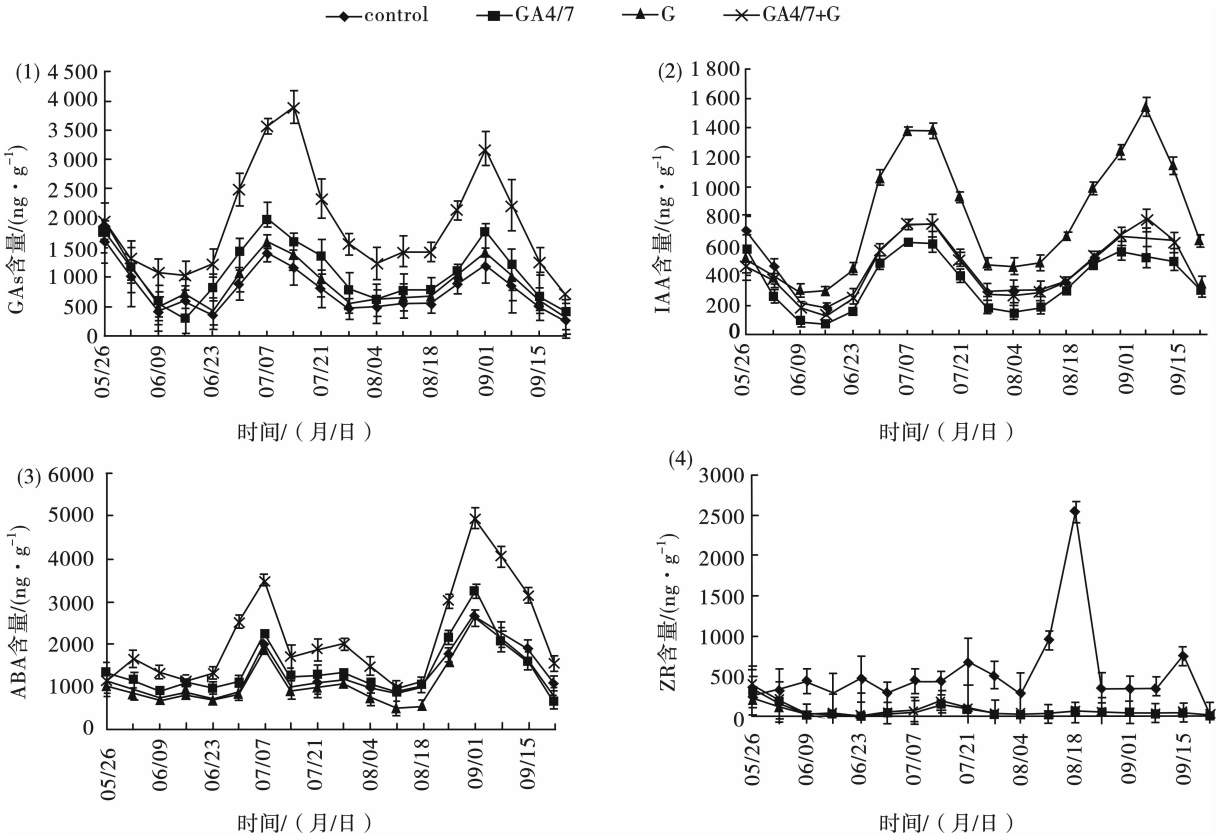


图 2 不同处理下青海云杉花芽生理分化期叶片中各种内源激素的变化情况

Fig. 2 Changes of endogenous hormones under different treatments during the flower bud physiology differentiation in *P. crassifolia*

2.3 对青海云杉叶片中 ABA 含量变化的影响

图 2-(3)所示,内源 ABA 含量变化在不同处理间差异显著($F>F_{0.01}$),生理分化前期和形态分化中期青海云杉叶片中 ABA 含量有高峰值。生理分化前 1 个月 ABA 含量一直处于较低水平小幅波动中。生理分化前期 ABA 含量迅速上升直至出现第 1 个高峰,随后迅速下降,生理分化中期和后期该值维持较低水平波动,但在形态分化前期迅速上升,并在形态分化中期出现另一个高峰,形态分化后期有所下降,但仍然高于花芽生理分化期 ABA 含量水平。

与对照相比,环割(Girdling)处理对 ABA 含量变化的影响不显著,茎杆注射(GA4/7)处理下各个时期内源 ABA 含量略高于对照。而茎杆注射+环割(GA4/7+Girdling)处理促进了生理分化前期及形态分化前期 IAA 含量的增加,且该处理下,各个时期内

源 ABA 含量高于对照。

2.4 对青海云杉叶片中 ZR 含量变化的影响

图 2-4 所示,内源 ZR 含量变化在不同处理间差异显著($F>F_{0.05}$),ZR 含量在整个青海云杉花芽生理分化过程持续处于低水平的波动状态,形态分化前期该值出现一个峰值后迅速下降到形态分化中期的最低值,而形态分化后期 ZR 含量变化不显著,维持在较低水平,略有上升后降低到接近零水平。

与对照相比,茎杆注射(GA4/7)、环割(Girdling)及茎杆注射+环割(GA4/7+Girdling)3 种处理皆使得各个时期内源 ZR 含量显著降低。

2.5 对青海云杉叶片中内源激素含量变化的影响

不同处理下,青海云杉花芽分化过程叶片中各内源激素间比值变化情况如图 3 所示。ZR/M. J. GAs、ZR/IAA 值的变化特征极为相似(图 3-(1),图 3-

(2));对照中,ZR/GAs、ZR/LAA 值在花芽生理分化期处于低水平波动状态,但皆在形态分化前期出现显著高峰后下降;与对照相比,茎秆注射(GA4/7)、环割(Girdling)及茎秆注射+环割(GA4/7+Girdling)3 种处理下,青海云杉花芽分化过程中各时期 ZR/GAs, ZR/LAA 值皆下降到接近 0 水平。除茎秆注射

(GA4/7)使得 ABA/GA 值在生理分化前一个月出现一个高峰外(图 3-(3)),各处理下,ABA/GAs 值总体皆呈现出波动递增的趋势;相似的,茎秆注射(GA4/7)下 ABA/IAA 值在生理分化前一个月也存在一个高峰,随后各处理下,花芽分化过程的各个时期 ABA/LAA 值皆处于中低水平稳定波动状态。

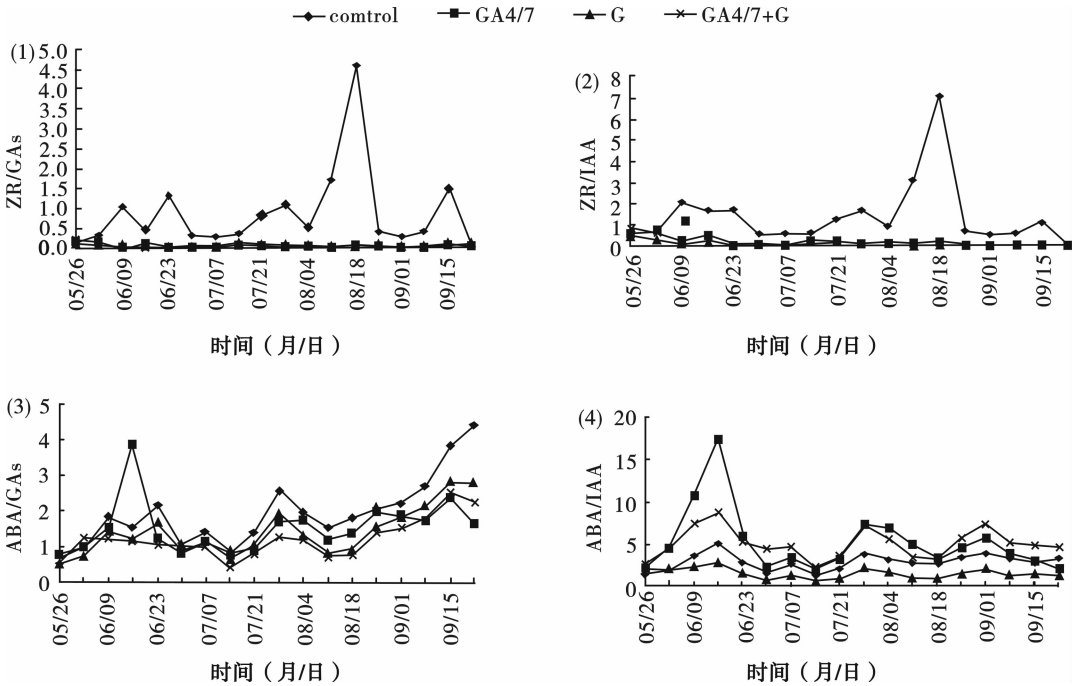


图 3 不同处理下青海云杉花芽生理分化期叶片中各内源激素间比值的变化情况

Fig. 3 Variations of ZR/GA, ZR/IAA, ABA/GA, ABA/IAA under different treatments during the flower bud physiology differentiation in *P. crassifolia*

3 结论与讨论

树木花芽分化是一个极为复杂的生理生化和形态发生过程,是植物体内各种因素共同作用、相互协调的结果,期间各类植物激素发挥不同作用,同时呈现一定的变化规律^[4]。L. C. Luckwill^[9]等指出果树花芽分化是多因子参与,多步骤控制,各种物质进行的一系列复杂的,由量变到质变的过程,在林木花芽分化过程中,细胞分裂素/赤霉素的平衡对成花过程起控制作用。

赤霉素对植物花芽分化的抑制作用以被大量研究证明^[10-11]。M. J. Grochowska^[12]等认为 GA₃ 可能通过抑制过氧化物酶及多酚氧化酶的活性,促进新梢生长,导致叶片内木质素的合成延缓,从而抑制花芽分化。细胞分裂素在花芽分化过程中的促进作用也为大多数学者肯定^[11]。J. M. Malaughlin^[13]等研究发现细胞分裂素通过促进芽细胞有丝分裂影响植物花芽分化。目前,对于生长素及脱落酸在花芽分化中的作用尚无一致说法。G. H. Kulikowska^[14]等认为 IAA 对果树花芽分化的影响可能是通过调控 GA、CTK 及 ABA 水平来实现;马书荣^[15]等认为 IAA 含

量减少是长春花成花的必要条件。张万萍^[10]等研究发现形态分化前期一定水平的 ABA 可促进银杏雄花芽原基分化,认为 ABA 可能与 GAs 拮抗,α-淀粉酶活性受到抑制使得淀粉积累增加,从而促进花原基形成。而季志平^[16]等认为 ABA 在植物花芽分化过程中有着双重作用,除 GA 拮抗外,还可诱导生长点进入休眠状态而不能成花。本试验中,茎秆注射(GA4/7)、环割(Girdling)、GA4/7+Girdling 及对照处理下,青海云杉叶片中所测 3 种激素(GAs、IAA、ABA)皆在花芽生理分化前期都达到了较高水平,在生理分化后期下降后于形态分化前期回升,而形态分化后期再次下降到较低水平;对照中,花芽生理分化期,ZR 含量持续处于较低水平,于形态分化前期出现一次高峰后迅速下降。结果表明,GAs 激素含量处于较低水平对青海云杉花芽的生理分化有利,而与本文观点一致的是罗羽涓^[17]等发现较低水平的 GA₁₊₃ 有利于无花果花芽生理分化;青海云杉花芽分化过程叶片 IAA 含量的变化情况与郭文丹^[18]等在油桐以及王玉华^[19]等在大樱桃花芽分化中的研究结果相似,表明较低的 IAA 含量有利于青海云杉花芽生理分化向花芽形态分化的转变,同时,形态分化期内 IAA 含量维持在较

高水平可以促进花芽的形态分化;从青海云杉花芽分化过程叶片 ABA 含量的变化情况可以看出,较高的 ABA 含量有助于青海云杉完成花芽生理分化向形态分化的转变,相对高水平的 ABA 含量对其花芽形态分化有利;彭磊^[20]等在研究短截后芒果花芽分化期间 ABA 含量的变化时有着相似发现,指出高含量的 ABA 对芒果剪口腋芽由营养生长向生殖生长转变有利,短截提高了 ABA 含量,可促进芒果成花;李丽霞^[21]等研究发现喷施 80 mg/L 外源 GA₃ 溶液后,2 年生中国沙棘苗木内源 GA_{1/3} 含量显著升高,ABA 含量降低,使得 GA_{1/3}/ABA 值增高,对苗木提早萌芽及萌芽后生长有促进作用。另外,高水平 ZR 含量可促进青海云杉花芽的形态分化。

环割,一种广泛应用于植物花期调控的促花措施,可单独施用,也可作为辅助手段,与植物生长调节剂配合使用。吴定尧^[22]等探讨了环割促进龙眼成花的生理机制,发现环割处理提高了花芽生理分化期和花序原基形成期的 iPA 和 ABA 含量,降低了 GA_{1/3} 的水平,改变了内源激素的平衡。黄羌维^[23]等同样发现环割有利于龙眼成花。陈波^[24]对龙眼进行环割控制冬梢促进成花试验,取得了良好效果。甘霖^[25]等研究了环割促进柑桔花芽分化的生理机制,试验表明,环割后叶片中的 CTK 和 ABA 含量均有增加。本研究中,环割(Girdling)单独处理使青海云杉花芽分化的各个时期的内源 GAs 和 ABA 含量变化的影响不大;但使得各时期的内源 IAA 含量显著高于对照。结果表明,环割处理改变了青海云杉花芽分化过程内源激素的平衡,影响青海云杉花芽分化;环割(Girdling)处理在一定程度上可能会促进青海云杉花芽分化。

注射 GA4/7 是一种常用的促进植物开花结实的方法,其简单方便,且适合大面积的促花作业。R. P. Pharis^[26]等发现外源赤霉素 GA4/7 可显著刺激松科树种开花;陈雁云^[27]等研究认为 7—9 月施用 10~20 mg/L 赤霉素处理仙客来,可使其提前开花 20~65 天,花量增加 250%~310%;王港^[28]等发现不同浓度 GA₃ 显著影响麻疯树花枝比例、小花数量以及雌花比例,而注射 GA₃ (100×10⁻⁶)对麻疯树雌花数有提高作用;但刘春荣^[29]等指出经叶片喷施 GA 处理后,宫川温州蜜柑生理分化期秋梢中内源 GA 含量显著升高,成花受到抑制;王庆成^[30]等研究发现外源 GA₃ 对杨树雌株花芽分化过程有显著的抑制作用;而毛世忠^[31]等发现 0.1 mg·L⁻¹GA₂ 处理的朱砂根植株坐果率没有显著影响。本研究中,与对照相比,经过茎杆注射(GA4/7)处理的青海云杉植株中,内源激素 GAs 和 ABA 的含量在花芽分化的各个时期都有所

增加,同时茎杆注射处理下 ABA/GA、ABA/IAA 值皆在生理分化前一个月有最大值;内源激素 IAA 和 ZR 的含量则在花芽分化的各个时期有较大降低。而与茎杆注射处理相似,经茎杆注射+环割(GA4/7+Girdling)处理后青海云杉植株中各个时期内源 GAs 和 ABA 含量显著增高;经分析,外源 GA4/7 显著影响青海云杉花芽分化过程中各内源激素的含量水平,内源抑花激素 GA 含量在施加外源 GA4/7 后显著升高,可见外源 GA4/7 对青海云杉花芽分化可能有抑制作用。

另外与对照相比,经茎杆注射(GA4/7)、环割(Girdling)及茎杆注射+环割(GA4/7+Girdling)这 3 种方法处理后,各个时期内源 ZR 含量皆显著降低,同时各时期 ZR/GA、ZR/IAA 值显著降低,可见茎杆注射(GA4/7)、环割(Girdling)及茎杆注射+环割(GA4/7+Girdling)这 3 种处理方法都可能影响细胞分裂素的含量水平,延缓芽的伸长生长,而无法达到显著的促花效果。

通过对青海云杉无性系进行不同处理,本研究测定了不同处理下植株花芽生理分化过程中叶片内源激素的含量,探讨了不同处理对青海云杉的不同促花效果,但如何进一步找到促进青海云杉提早开花结实的最有效措施以及施用时期仍需进一步研究。

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] 陈广辉, 王军辉, 张守攻, 等. 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, 2007, 38(4): 650-653.

CHEN G H, WANG J H, ZHANG S G, *et al.* Current situation and streaa of research on spruce cutting orchard on the world [J]. Journal of Shandong Agricultural University: Nat. Sci. Edi., 2007, 38(4): 650-653. (in Chinese)

[3] 张守攻, 王军辉, 刘娇妹, 等. 青海云山强化育苗技术研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(5): 33-38.

ZHANG S G, WANG J H, LIU J M, *et al.* Study on techniques of accelerating spruce seedling growth [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agricultural and Forestry: Nat. Sci. Edi., 2005, 33(5): 33-38. (in Chinese)

[4] 郜爱玲, 李建安, 刘儒, 等. 高等植物花芽分化机理研究进展 [J]. 经济林研究, 2010, 28(2): 131-136.

[5] 曲波, 张微, 陈旭辉, 等. 植物花芽分化研究进展 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(24): 109-114.

[6] 黄众, 陈天华, 王章荣, 等. 植物生长调节剂对马尾松种子园植株雄球花成花的作用 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 1999, 23(3): 86-88.

HUANG Z, CHEN T H, WANG Z R, *et al.* The role of plant growth regulations in flowering of male strobil in masson pine [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Nat. Sci. Edi., 1999, 23(3): 86-88. (in Chinese)

[7] 胡盼, 王川, 王军辉, 等. 青海云杉花芽分化期内源激素含量

的变化特征[J]. 西北植物学报, 2012, 32(3):540 - 545.

HU P, WANG C, WANG J H, *et al.* Content changes of endogenous hormones during flower bud differentiation of picea crassifolia[J]. Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin., 2012, 32(3): 0540-0545. (in Chinese)

[8] 唐尚格, 夏玉光, 裴炎. 间接酶联免疫法测定植物内源激素[J]. 西南农业大学学报, 1991, 13(2): 183-186.

TANG S G, XIA Y G, PEI Y. Quantitative analysis of plant hormones with indirect enzyme-linked immunosorbent assay (elisa) [J]. Journal of Southwest Agricultural University, 1991, 13(2): 183-186. (in Chinese)

[9] LUCKWILL L C, SILVA J M. The effects of daminozide and gibberellic acid on flower initiation, growth and fruiting of apple cv. *Golden delicious* [J]. Journal of Horticultural Science, 1979, 54(3): 217-223.

[10] 张万萍, 史继孔. 银杏雄花芽分化期间内源激素、碳水化合物和矿质营养含量的变化[J]. 林业科学, 2004, 40(2): 51-54.

ZHANG W P, SHI J K. Changes of endogenous hormones, carbohydrate and mineral nutrients during the differentiation of male flower buds in *Ginkgo biloba* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(2): 51-54. (in Chinese)

[11] 高英, 张志宏. 激素调控果树花芽分化的研究进展[J]. 经济林研究, 2009, 27(2): 141-146.

[12] GROCHOWSKA M J, HODUN M. The dwarfing effect of a single application of growth inhibitors to the root-stem connection-“the collar tissue”-of five species of fruit trees [J]. Journal of Horticultural Science, 1997, 72(1): 83-91.

[13] MCLAUGHLIN J M, GREENE D W. Fruit and hormones influence flowering of apple. I, Effects of hormones [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1991, 116(3): 450-453.

[14] KULIKOWSKA G H, KOPCEWICZ J. Ethylene in the control of photoperiodic flower induction in *pharbitis nil* chois [J]. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 1999, 68:33-37.

[15] 马书荣, 祖元刚. 长春花叶片内源激素及黄酮与花芽分化的关系[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(5): 72-73.

MA S R, ZU Y G. Correlations of endogenous hormones and flavonoids and flower bud differentiation in leaves in *Cm-haramh roseus* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(5): 72-73. (in Chinese)

[16] 季志平, 魏安智, 吕平会, 等. 板栗花芽分化和花序生长过程中的内源激素含量变化[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(4): 669-672.

[17] 罗羽涓, 解卫华, 马凯. 无花果花芽分化与内源激素含量的关系[J]. 西北植物学报, 2007, 27(7): 1399-1404.

LUO Y Y, XIE W H, MA K. Correlation between endogenous hormones contents and flower bud differentiation stage of *Ficus carica* L. [J]. Acta Bot. Borea. -Occident. Sin. 2007, 27(7): 1399-1404. (in Chinese)

[18] 郭文丹, 李建安, 刘丽娜, 等. 油桐花芽分化期内源激素含量的变化[J]. 经济林研究, 2009, 27(2): 31 - 34.

[19] 王玉华, 范崇辉, 沈向, 等. 大樱桃花芽分化期内源激素含量的变化[J]. 西北农业学报, 2002, 11(1): 64-67.

WANG Y H, FAN C H, SHEN X, *et al.* Changes in endogenous hormones during the flower Bud differentiation of sweet cherry [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2002, 11(1): 64-67. (in Chinese)

[20] 彭磊, 高小军, 龙雯虹, 等. 短截后芒果花芽分化期间 ABA 含量的变化[J]. 云南农业大学学报, 2011, 26(3): 434-436.

PENG L, GAO X J, LONG W H, *et al.* Changes of ABA contents in mango during floral differentiation after heading-back [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2011, 26(3): 434-436. (in Chinese)

[21] 李丽霞, 梁宗锁, 魏宇昆, 等. 土壤干旱胁迫下沙棘休眠、萌芽期内源激素变化及外源 GA₃ 的调节[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(2): 10-14.

LI L X, LIANG Z S, WEI Y K, *et al.* Changes of endogenous hormone of sea buckthorn in dormancy stage and sprout period under soil water stress and exogenous GA₃ regulation [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16(2): 10-14. (in Chinese)

[22] 吴定尧, 周贤军, 黄辉白, 等. 不同环剥形式对荔枝成花、果实品质及产量的影响[J]. 广东农业科学, 1996(2): 17-19.

[23] 黄羌维. 龙眼内源激素变化和花芽分化及大小年结果的关系[J]. 热带亚热带植物学报, 1996, 4(2): 58-62.

[24] 陈波. 环割技术在龙眼控制花上的应用[J]. 广西热带农业, 2001 (4): 24-25.

[25] 甘霖, 陈梦龙, 李顺望. 环割促进柑桔花芽分化的生理机制研究[J]. 中国柑桔, 1990, 19(3): 10-13.

[26] PHARIS R P, WEBBER, J E ROSS S D. The promotion of flowering in forest trees by gibberellin A4/7 and cultural treatments: a review of possible mechanisms [J]. Forest Ecology and Management, 1987, 19: 65-84.

[27] 陈雁云, 周贱平, 余凤英. GA₃ 对仙客来花梗伸长的影响初探[J]. 广东园林, 1995(3): 43.

[28] 王港, 罗扬, 陈波涛. 外源植物激素对麻疯树开花影响初探[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(5): 86-89.

WANG G, LUO Y, CHEN B T. A preliminary study on external plant hormones for *Jatropha curcas* flowering [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(5): 86-89. (in Chinese)

[29] 刘春荣, 张上隆, 张百寿. 环切和页面喷施 GA 对温州蜜柑成化过程中内源 GA 和核酸含量的影响[J]. 浙江农业学报, 1995, 7(4): 304-307.

[30] 王庆成, 徐德兰. 赤霉素(GA₃)对杨树开花结实的效应[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(6): 510-512.

WANG Q C, XU D L. Effects of gibberellin on flowering of poplar trees [J]. Plant Physiology Communications, 2001, 37(6): 510-512. (in Chinese)

[31] 毛世忠, 周太久, 唐文秀, 等. 不同处理对朱砂根坐果及生长的影响 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(2): 93-96.