

修剪措施对紫叶紫薇花蕾中内源激素 和碳氮营养含量的影响

罗雪梦^{1,2}, 王晓明², 曾慧杰², 李永欣², 唐 丽^{1*}

(1 中南林业科技大学 林学院, 长沙 410004; 2 湖南省林业科学院, 长沙 410004)

摘 要: 为探讨修剪措施对二次开花的紫叶紫薇花蕾中内源激素和碳氮营养含量的影响, 为指导紫叶紫薇花期调控提供理论依据, 该研究以‘丹红紫叶’为试验材料, 在一次花的末花期对主花枝进行重度修剪, 以不进行修剪为对照(CK), 分析不同处理下紫叶紫薇花蕾中主要花发育时期的吲哚乙酸(IAA)、脱落酸(ABA)、赤霉素(GA₃)、玉米素核苷(ZR)、可溶性糖、淀粉、全氮含量的变化。结果表明: (1) 修剪处理后, 紫叶紫薇花蕾中内源 ZR 含量在各花发育时期显著升高; 内源 GA₃ 含量在花芽分化期降低, 在初花期至末花期显著升高; 内源 IAA 含量在花芽分化期显著升高, 在初花期至末花期降低; 内源 ABA 含量变化不显著。(2) 修剪处理后, 紫叶紫薇花蕾可溶性糖含量较对照组先升高后降低, 在末花期变化达到显著水平; 其淀粉、全氮含量增加但未达到显著水平。(3) 紫叶紫薇花蕾中碳氮比总体呈上升趋势, 修剪处理后其碳氮比值小幅度提高。研究认为, 修剪措施能够影响紫叶紫薇内源激素水平变化, 并通过调控碳水化合物与全氮含量影响花蕾中碳氮营养代谢, 从而促进了紫叶紫薇二次成花、花期延长。

关键词: 紫叶紫薇; 修剪; 内源激素; 可溶性糖; 淀粉; 碳氮比

中图分类号: Q945.78

文献标志码: A

Effects of Pruning Measures on Endogenous Hormones, Carbon and Nitrogen Nutrition in Flower Buds of Purple-leaf *Lagerstroemia indica*

LUO Xuemeng^{1,2}, WANG Xiaoming², ZENG Huijie², LI Yongxin², TANG Li^{1*}

(1 College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, 410004, China; 2 Hunan Academy of Forestry Sciences, Changsha, 410004, China)

Abstract: To explore the effects of pruning measures on the endogenous hormone contents, carbon and nitrogen nutrition contents in Purple-leaf *Lagerstroemia indica* flower buds of secondary flowering, and provide a theoretical basis for floescence regulation, we took *L. indica* ‘Ebony Embers’ as experimental materials in this study. The severe pruning were carried out on main flowering branches in late flowering period with no pruning as control. The changes of indole acetic acid (IAA), abscisic acid (ABA), gibberellin (GA₃), zeatin riboside (ZR), soluble sugar, starch and total nitrogen contents in flower buds of Purple-leaf *L. indica* under different treatments were analyzed. The results showed that: (1) the content of endogenous ZR in flower buds of Purple-leaf *L. indica* increased significantly at each flower development stage after pruning. The content of endogenous GA₃ decreased at the stage of flower bud differentiation, and increased significantly from the initial flowering stage to the late flowering stage after pruning. The

收稿日期: 2021-06-28; 修改稿收到日期: 2021-10-27

基金项目: 国家重点研发计划项目子课题“紫薇苗木高效繁殖及培育技术集成与示范”(2020YFD100050203)

作者简介: 罗雪梦(1996-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为园林植物与观赏园艺。E-mail: 1007697314@qq.com

* 通信作者: 唐 丽, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向为园艺。E-mail: 435629404@qq.com

endogenous IAA content increased significantly at the stage of flower bud differentiation, and decreased from the initial flowering stage to the late flowering stage after pruning. The endogenous ABA content did not change significantly after pruning. (2) The content of soluble sugar in flower buds of Purple-leaf *L. indica* increased at first and then decreased after pruning, and reached a significant level at the late flowering stage. The content of starch and total nitrogen increased, while the difference was not significant. (3) The C/N ratio in flower buds of Purple-leaf *L. indica* in general, and the C/N ratio increased slightly after pruning. The study argued that pruning affects the endogenous hormone levels of Purple-leaf *L. indica*, and effects the metabolism of carbon and nitrogen nutrition in flower buds by regulating the contents of carbohydrate and total nitrogen. Pruning promotes the secondary flowering and prolongs the blooming period of Purple-leaf *L. indica*.

Key words: purple-leaf *Lagerstroemia indica*; pruning; endogenous hormone; soluble sugar; starch; carbon-nitrogen ratio

紫薇(*Lagerstroemia indica* L.)属于千屈菜科(Lythraceae)紫薇属(*Lagerstroemia*)植物,是中国夏季重要的园林观赏树种。大量关于果树生长的报道中,常采用修剪措施以调整树枝结构、改变树体营养分配、增加果实产量等^[1-2]。关于紫薇采用修剪措施的报道已有很多,如剪除第一次开花的花穗实现北京地区紫薇花期持续至国庆节前后^[3],通过修剪4/5当年生枝与施肥结合实现厦门地区紫薇盛花天数显著增加^[4],达到实现二次开花、花期延长的目的。还有学者研究紫薇一年多次花开的技术措施,如沙飞等^[5]研究证明紫薇在夏季采用轮次修剪处理后能够获得一年花开四度的最佳状态。

修剪措施对不同植株不同器官内的生长激素会产生不同程度的影响,通过改变内源激素比例促进或延迟成花进程^[6]。苏曼琳等^[1]发现文冠果(*Xanthoceras sorbifolia* Bunge)经不同程度短截后不同部位芽内源激素含量有所变化,脱落酸(ABA)含量下降,而赤霉素(GA₃)、吲哚乙酸(IAA)和玉米素(ZT)含量均上升。艾沙江·买买提等^[7]研究‘富士’苹果(*Malus × domestica* Borkh.)枝条不同方式修剪后芽内源激素平衡,发现ZR和GA₃含量显著提高,促进萌发成枝。修剪后植株各部分之间建立新的营养代谢关系,碳素主要供给生殖生长,氮素主要供给营养生长,如红花玉兰(*Magnolia wufengensis*)不同程度地夏季修剪均能提高可溶性蛋白和可溶性糖含量^[8],不同程度短截后薄壳山核桃(*Carya illinoensis* K. Koch)新枝叶片及枝条的碳氮比值随短截程度的增大而提高^[9]。紫薇夏剪是目前重要的花期调控措施和生产实践经验,目前关于紫薇修剪的报道基本集中在处理后树势生长和开花特征等方面,鲜见紫薇修剪后激素水平和营养代谢变化的有关报道。

紫叶紫薇(purple-leaf *Lagerstroemia indica*)枝干直立性强,花色大红色,成熟叶黑紫色至紫红色,是极具观赏价值的选育良种。本研究通过对紫叶紫薇主花枝进行重度修剪,探究修剪措施对花芽内源激素和碳氮代谢的影响,旨在为紫叶紫薇花期调控实践提供进一步理论依据,以支持紫薇修剪技术的实践应用与推广。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

田间试验地位于湖南省长沙市雨花区湖南省林业科学院林木新品种创制中试基地,地处113°01'E,28°06'N,属低山丘陵地貌,地势较平缓,坡度15~20°。属亚热带季风性湿润气候,年均气温17℃,年均降雨量1400mm,年均日照时数1500h。试验地土壤为四纪酸性红壤,pH4.0~5.5。

1.2 材料与处理

试验材料为5年生紫叶紫薇品种‘丹红紫叶’(*Lagerstroemia indica* ‘Ebony Embers’)。平均树高约3m,树势中等,长势良好。选取生长势一致的‘丹红紫叶’设2个处理,一是每植株的双权花枝的其中一个枝条进行重度修剪(剪去当年生枝长度的2/3),二是以植株不进行修剪为对照(CK)。每个处理3株,单株小区,3次重复。修剪处理于夏季一次花末花期进行,修剪后常规养护管理。

1.3 样品采集与处理

对照植株于花芽膨大期、花蕾成熟期、初花期、盛花期、末花期各采样一次,处理植株枝条于修剪后当年二次开花同样的花发育阶段各采样一次;在修剪处理枝条及对照植株上随机摘取顶端花蕾,用于内源激素含量测定的样品液氮速冻后存于-75℃冰箱中待测,用于可溶性糖、淀粉、全氮含量测定的

样品在 105 °C 烘箱中杀青 30 min, 80 °C 继续烘干 48 h, 粉碎机研磨过 80 目筛, 装入密封袋待测。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 内源激素含量 称取鲜样 0.5 g, 液氮研磨为粉末状, 激素的分离纯化参照饶丹丹^[10]的方法进行, 采用高效液相色谱法 (HPLC) 测定样品中赤霉素 (GA₃)、吲哚乙酸 (IAA)、脱落酸 (ABA)、玉米素核苷 (ZR) 的含量, 高效液相色谱仪为岛津 LC-20AT, 色谱柱为 Hypersil BDS C₁₈ 色谱柱, 流动相为甲醇-0.75% 冰乙酸水溶液, 色谱柱温度为 30 °C, 进样量为 10 μL, 检测波长为 254 nm, 流速为 1.0 mL · min⁻¹。

1.4.2 可溶性糖和淀粉含量 称取样品粉末 0.1 g, 采用蒽酮比色法测定样品中可溶性糖和淀粉的吸光度, 再根据葡萄糖标准曲线计算可溶性糖和淀粉含量 (mg · g⁻¹)^[11], 并计算非结构性碳水化合物含量 (可溶性糖含量 + 淀粉含量)。

1.4.3 全氮含量 称取样品粉末 0.2 g, 采用硫酸-双氧水消解, 凯氏法测定样品中全氮含量^[12], 并计算碳氮比 (C/N, 非结构性碳水化合物含量/全氮含量)。

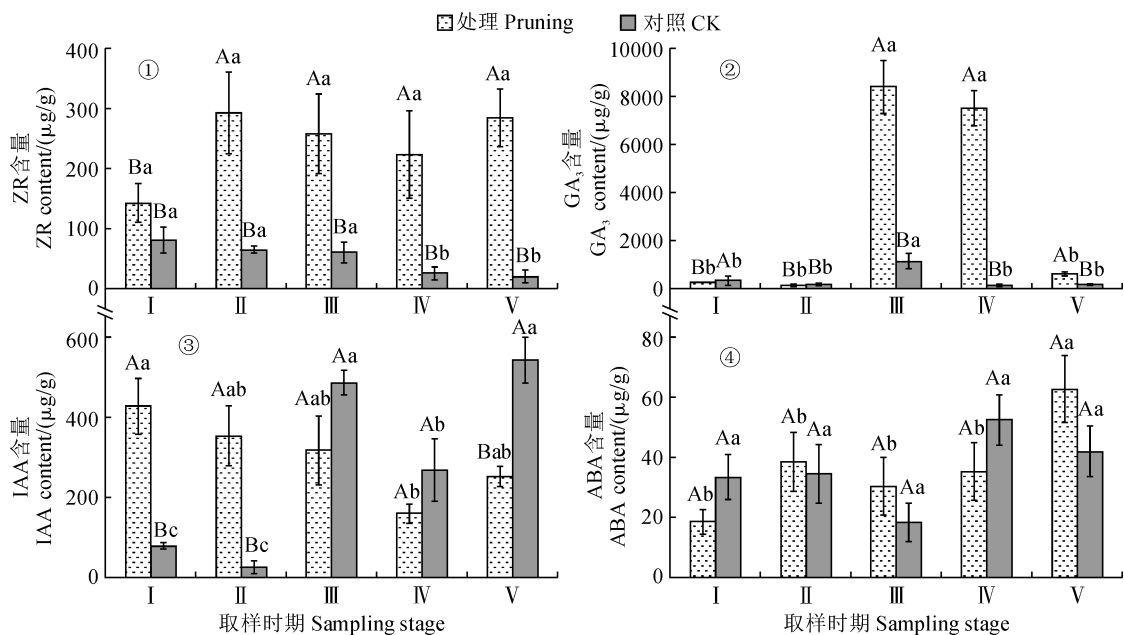
1.5 数据分析

采用 Excel2010 进行数据统计与作图, SPSS25 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 修剪处理对紫叶紫薇花蕾内源激素含量的影响

2.1.1 玉米素核苷 (ZR) 含量 由图 1, ①可知, 修剪处理紫叶紫薇在开花过程中花蕾的 ZR 含量均比同期不修剪对照显著提高, 其在花蕾成熟期 ZR 含量较对照显著增加了 263.98% ($P < 0.05$)。修剪处理组花蕾中 ZR 含量在花芽膨大期至花蕾成熟期上升, 之后逐渐下降, 盛花期至末花期再次上升, 但整个开花过程 ZR 含量变化并不显著 ($P > 0.05$)。对照组花蕾中 ZR 含量随生育期逐渐下降, 从花芽膨大期至初花期变化不显著, 至盛花期开始显著降低, 盛花期和末花期 ZR 含量分别比初花期显著降低了 57.82% 和 67.23%, 而盛花期和末花期之间无显著差异 ($P > 0.05$)。说明紫叶紫薇经重度修剪后会显著提高花蕾中 ZR 水平, 也明显改变了其在花芽发育过程中动态变化规律。



I. 花芽膨大期; II. 花蕾成熟期; III. 初花期; IV. 盛花期; V. 末花期; 处理内不同小写字母表示不同取样时期在 0.05 水平存在显著性差异; 同一取样时期内不同大写字母表示不同处理间在 0.05 水平存在显著性差异 ($P < 0.05$)。下同

图 1 修剪处理对紫叶紫薇花蕾内源激素含量的影响

I. Flower bud expansion period; II. Flower bud maturity period; III. Initial flowering period; IV. Full-flowering period; V. Late flowering period; Different lowercase letters indicate a significant difference at the 0.05 level at different sampling time points for the same treatment, and different capital letters indicate a significant difference at the 0.05 level at same sampling time point for the different treatments ($P < 0.05$). The same as below

Fig. 1 Effect of pruning treatment on endogenous hormone contents in flower buds of purple-leaf *Lagerstroemia indica*

2.1.2 赤霉素(GA₃)含量 紫叶紫薇花蕾 GA₃ 含量随开花过程大致呈现“降-升-降”的变化趋势(图 1,②)。其中,修剪处理的紫叶紫薇花蕾 GA₃ 水平从花芽膨大期至花蕾成熟期降低约 47%;然后在初花期迅速上升,并在初花期出现 GA₃ 含量峰值,此时较花蕾成熟期增加了约 60 倍;随后在盛花期 GA₃ 含量虽略降低,但仍维持在较高水平;末花期 GA₃ 含量比盛花期显著下降了 91.81% ($P < 0.05$)。对照组花蕾中 GA₃ 水平从花芽膨大期至花蕾成熟期同样降低约 47%,然后在初花期比前一时期大幅显著增加约 5 倍,但初花期至盛花期 GA₃ 含量显著下降了 88.62% ($P < 0.05$),盛花期与末花期之间 GA₃ 含量变化不显著 ($P > 0.05$)。同时,在紫叶紫薇花芽分化、开花过程中,修剪处理组花蕾中 GA₃ 含量在花芽膨大期显著低于对照组,在初花期、盛花期、末花期 GA₃ 含量较对照组显著升高了 2~56 倍 ($P < 0.05$)。说明紫叶紫薇经重度修剪后会先显著降低花芽分化前期花蕾中 GA₃ 水平,而后显著提高开花时期花蕾中 GA₃ 水平。

2.1.3 吲哚乙酸(IAA)含量 图 1,③显示,修剪处理的紫叶紫薇花蕾 IAA 含量在花芽分化期显著高于不修剪对照 4.4~12.8 倍,其在初花期及盛花期低于对照组但差异不显著,其在末花期显著低于对照 53.63% ($P < 0.05$)。修剪处理组花蕾中 IAA 含量在花芽膨大期为最高值,之后在花蕾成熟期及初花期小幅度下降,其在初花期至盛花期显著降低 49.84% ($P < 0.05$),而在末花期比盛花期显著上升了 58.01%。对照组花蕾中 IAA 含量随开花过程呈现“降-升-降-升”变化趋势,其在花蕾成熟期较花芽膨大期降低但未达到显著性水平,在初花期显著升高,而后在盛花期显著下降并处于中等水平,其在末花期再次显著升高 ($P < 0.05$)。说明紫叶紫薇经

重度修剪后于花芽分化期提高花蕾中 IAA 水平,而在开花期降低花蕾中 IAA 水平。

2.1.4 脱落酸(ABA)含量 由图 1,④来看,修剪处理和不修剪对照紫叶紫薇花蕾 ABA 含量在开花过程中均大致表现为“升-降-升”的动态变化趋势。其中,修剪处理组花蕾中 ABA 含量变化从花芽膨大期至盛花期均较稳定,无显著性差异,其在末花期较盛花期显著增加 78.11% ($P < 0.05$)。对照组花蕾中 ABA 含量在花芽膨大期和花蕾成熟期小幅波动,其在初花期呈最低水平 ($18.30 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$),至盛花期又上升至 $52.48 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,但变化并不显著 ($P > 0.05$)。同时,修剪处理的紫叶紫薇花蕾 ABA 含量在花芽膨大期低于对照组 44.38%,在花蕾成熟期及初花期分别比对照提高 10.28% 和 39.80%,至末花期高于对照组 49.55%,但整个开花过程中修剪处理组与对照组之间的 ABA 含量差异不显著 ($P > 0.05$)。以上结果说明重度修剪对紫叶紫薇花蕾中 ABA 含量的影响不显著。

2.2 修剪处理对紫叶紫薇花蕾非结构性碳水化合物含量的影响

2.2.1 可溶性糖含量 图 2,①显示,紫叶紫薇植株修剪处理组花蕾中可溶性糖含量随花发育进程逐渐升高,且花蕾成熟期及初花期比花芽膨大期分别显著上升了 20.39%、62.48%,其在初花期与盛花期间无显著差异且处于较高水平 ($12.3 \sim 12.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),至末花期比盛花期显著降低 38.31% ($P < 0.05$)。紫叶紫薇对照组花蕾中可溶性糖含量随花发育进程持续上升,各发育时期比花芽膨大期含量显著上升了 23.92%~106.81% ($P < 0.05$)。修剪处理组花蕾中可溶性糖含量在花芽膨大期至盛花期比对照组高 6.94%~17.46%,在花蕾成熟期与初花期比对照组显著增加,其却在末花期比对照组显

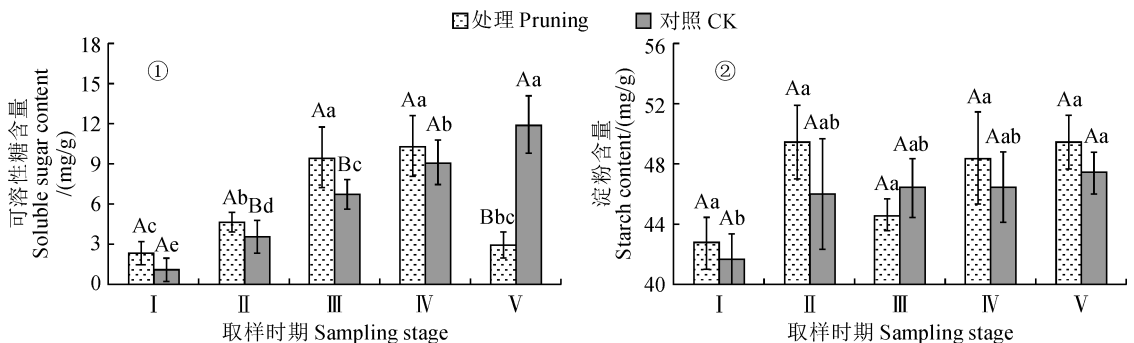


图 2 修剪处理对紫叶紫薇花蕾可溶性糖和淀粉含量的影响

Fig. 2 Effect of pruning treatment on soluble sugar and starch contents in flower buds of purple-leaf *L. indica*

著降低 43.06% ($P < 0.05$)。说明紫叶紫薇经重度修剪后花芽分化期及开花前期的花蕾中可溶性糖含量增加,花期末期的花蕾中可溶性糖含量降低。

2.2.2 淀粉含量 从图 2, ②可知,紫叶紫薇修剪处理组花蕾中淀粉含量从花芽膨大期至花蕾成熟期上升,在初花期下降,在盛花期与末花期再次逐渐升高;修剪处理组花蕾淀粉含量在花发育进程中处于 42.75~49.46 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间,但其在各发育时期均未表现显著性差异 ($P > 0.05$)。对照组花蕾淀粉含量在花发育进程中呈现逐渐上升趋势,其从花芽膨大期的 41.64 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 上升到末花期的 47.40 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,显著上升了 13.83% ($P < 0.05$)。同时,修剪处理花蕾中的淀粉含量在初花期比不修剪对照降低 3.96%,在其他时期增加 2.66%~7.49%,整体花发育进程中处理组与对照组间差异均并不显著 ($P > 0.05$)。说明紫叶紫薇经重度修剪后花蕾中淀粉含量小幅度增加但受到影响并不显著。

2.3 修剪处理对紫叶紫薇花蕾全氮含量的影响

修剪处理组和对照组紫叶紫薇花蕾中全氮含量随着花芽分化和开花时期均逐渐降低(图 3)。其中,修剪处理组花蕾中全氮含量从花芽膨大期至花

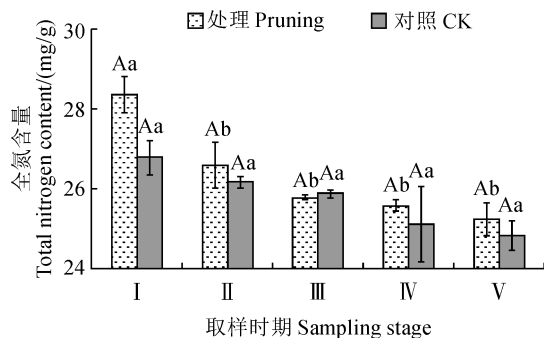


图 3 修剪处理对紫叶紫薇花蕾全氮含量的影响
Fig. 3 Effect of pruning treatment on total nitrogen content in flower buds of purple-leaf *L. indica*

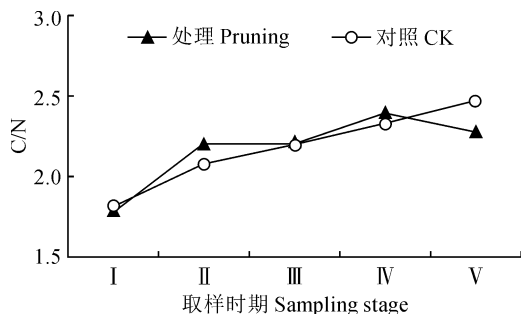


图 4 修剪处理对紫叶紫薇花蕾 C/N 的影响
Fig. 4 Effect of pruning treatment on C/N in flower buds of purple-leaf *L. indica*

蕾成熟期显著降低 6.18% ($P < 0.05$),而其在初花期至末花期未表现出显著性变化。对照组花蕾中全氮含量从花芽膨大期至末花期下降率在 1.08%~2.99%,均不表现显著性差异 ($P > 0.05$)。同时,修剪处理组花蕾中全氮含量在花发育各阶段均高于对照组,比对照组分别增加了 5.76%、1.54%、0.37%、1.91% 和 1.67%,但两者间未表现显著性差异 ($P > 0.05$)。说明紫叶紫薇经重度修剪后能够稍微提高花蕾中全氮含量,但增幅并不显著。

2.4 修剪处理对紫叶紫薇花蕾碳氮代谢的影响

修剪处理及未修剪的紫叶紫薇植株的花蕾中碳氮比总体上均呈现上升趋势(图 4)。其中,修剪处理组的花蕾碳氮比值从花芽膨大期至花蕾成熟期上升较快,初花期比值波动小,然后在盛花期逐渐增大,最终在末花期逐渐下降至 2.27。对照组的花蕾碳氮比值从花芽膨大期至末花期持续小幅度上升。同时,修剪处理的紫叶紫薇花蕾中碳氮比值在花芽分化期至盛花期高于不修剪对照,但其间碳氮比值差值小(0.030~0.126);其在末花期低于不修剪对照,碳氮比值相差约 0.198。可见,紫叶紫薇经重度修剪会小幅度提高花芽分化期及开花前期花蕾中的碳氮比值。

3 结论与讨论

夏季修剪通过剪除部分老枝老叶及残花败果,可阻碍夏季高温多雨引发的叶部疾病,刺激腋芽抽发新枝及新生叶片的营养生长,促进内源激素重新分配及激素平衡调节,增强碳水化合物积累,为花发育进程提供能量。紫薇常采用夏季修剪的方式达到再度开花、延长花期的目的。从花的分化形成到再次开花的整个过程,始终发生着内源激素相互协调、碳水化合物代谢等各种生理生化反应。前人研究发现:巴拉多葡萄(*Vitis vinifera* 'Balado')经花穗整穗修剪后测得花穗在盛花期及落花期细胞分裂素(CTK)含量提高,在葡萄幼果期 ABA 含量显著升高,盛花期和幼果初期 IAA 含量降低,盛花期至幼果期 GA 含量均降低。表明花穗整形可以减少巴拉多葡萄落花落果,增强座果率^[13]。本研究发现,紫叶紫薇经过重度修剪后花蕾中 ZR 含量显著提高,并且自初花期至末花期 GA₃ 含量显著增加,说明紫叶紫薇修剪后使得植株再次成花、花期延长可能与 ZR 及 GA₃ 含量上升有关。李建军等^[14]也发现忍冬(*Lonicera japonica* Thunb.)大白期时间延长与花蕾 ZR 水平升高有关。杨晓红等^[15]表示植物组织

处于衰老状态时,内源细胞分裂素水平会下降以减少水分的消耗,寿命长的花比寿命短的花具有更高的 ZR 水平。因此高含量 ZR 可能有利于水分的快速吸收,使植株花期延长。

关于 GA 诱导开花的理论认为 GA 浓度越高,表现出越大的促进作用,不存在超最适浓度的抑制作用^[16],因此可能修剪处理后的紫叶紫薇花蕾 GA₃ 含量在开花期升高促进了植株花期延长。有学者发现短截后从根部运输而来的养分使枝条剪口下部的芽 GA₃ 含量大幅度提高^[7],大量研究表明 GA 可以向上或向下进行双向运输^[17],本研究中 GA₃ 水平的上升可能是因为枝条中上部被剪除后 GA 通过韧皮部积累于侧芽中,根部合成的 GA 通过木质部不断输送,使二次花 GA₃ 累积量增加。孟雯雯^[18]对高羊茅(*Festuca arundinacea* Schreb.)进行不同修剪高度处理后发现其根系赤霉素含量与对照组相比显著增加。其次,本研究发现,紫叶紫薇经过重度修剪处理后 IAA 含量在花芽分化期显著高于对照,在初花期至末花期较对照降低,贾玥等^[13]也发现葡萄花穗经整穗修剪后 IAA 含量在开花中后期显著低于对照,其他时期 IAA 含量较稳定。Nito 等^[19]在报道中认为 IAA 含量高低在同一花穗中的分布有所不同,枝条上部 IAA 水平更高,中部及下部 IAA 水平较低,因此紫叶紫薇开花期 IAA 含量降低可能是 IAA 含量更高的部分被剪除而导致。另外,在本研究中,花芽分化期修剪组 ABA 含量低于对照组但无显著影响,据黄丛林等^[20]研究发现葡萄果实中的 ABA 大部分来源于叶片,因此叶片可能是紫叶紫薇花蕾中 ABA 的主要来源,修剪处理使早期花芽内 ABA 来源不充足,ABA 含量低于对照。重度修剪处理对紫叶紫薇花蕾中 ABA 含量整体情况的影响不显著,与刘仁道等^[21]为促进甜樱桃(*Prunus. avium* L.)生殖生长对直立生长的新梢进行拿枝处理的报道中情况相似,结果发现拿枝后 ABA 含量与对照差异不显著。在本研究中,对照组与修剪组在盛花期和末花期 ABA 含量均处于较高水平,ABA 含量的增加可能与 ABA 具有增强代谢的作用有关,盛花期至末花期紫叶紫薇开始产生果实,需要更多的营养,ABA 含量上升促进了代谢库活性^[22]。有学者认为 ABA 在成花的不同阶段可能有不同作用^[23],本研究的紫叶紫薇修剪处理组 ABA 含量在花芽分化期低于对照组而在末花期高于对照组,推测高水平 ABA 可能与紫叶紫薇植株修剪后花期延长相关,但修剪后 ABA 含量在末花期升高

对紫叶紫薇花期延长的影响效应有待进一步探究。

在花的形成与开放过程中,碳水化合物和氮代谢起着重要的作用。孙颖等^[24]认为油茶在简化整形修剪模式下很大程度地提高了叶碳水化合物的累积,从而提高油茶产量与品质。本研究发现,紫叶紫薇花蕾中可溶性糖含量随开花进程逐渐上升,但变化量不大,这与高小俊等^[25]对芒果(*Mangifera indica* L.)短截后花芽内可溶性糖含量变化的研究结果类似。可溶性糖作为关键的能量来源和结构物质,其含量的增加可促进细胞液浓度,是花发育进程的保障。修剪处理组可溶性糖含量在花芽分化期高于对照组,可能是修剪处理解除了顶端优势,可溶性糖大多集中于附近侧芽,促进腋芽发育成花芽^[26]。前人研究中关于番红花(*Crocus sativus* L.)^[27]、枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)^[28]等在花芽分化期其可溶性糖含量增加,我们可以认为修剪处理使紫叶紫薇可溶性糖含量提高与紫叶紫薇再次成花相关,高可溶性糖含量有助于紫叶紫薇花芽分化。末花期修剪处理组可溶性糖含量显著低于对照组,田璐^[29]同样发现忍冬花蕾可溶性糖含量随花芽分化进行逐渐上升,至花盛放时达最高值,开放后由于能量的大量释放糖含量开始降低,因此可以认为紫叶紫薇再度开放后末花期有较多果实产生,消耗了植株大部分养分导致糖含量快速下降。本试验中修剪组紫叶紫薇花蕾中淀粉含量先升高后下降,然后再次升高,与环剥处理下毛棉杜鹃(*Rhododendron moulmianense* Hook.)花芽分化过程叶淀粉含量变化规律相似^[30]。紫叶紫薇初花期淀粉含量的降低趋势可能是因为淀粉在植株内作为能量补充的角色,并不直接被利用,因此淀粉水解为可溶性糖为生长代谢提供能量,淀粉累积量较低^[25]。淀粉作为贮藏性营养物质,在后期成为主要的花发育能量提供者,因此开花中后期淀粉含量继续升高。

本研究中,紫叶紫薇修剪处理组与对照组的全氮含量表现为逐渐降低趋势,且修剪组全氮含量略高于对照组,与罗丽^[31]短截处理川香核桃(*Juglans regia* 'Chuanxiang')全氮含量变化类似。而张翔^[9]的研究认为薄壳山核桃在不同程度短截处理后其全氮含量均低于对照,推测这与植物的试验地区、当地气候条件及植物品种关系密切。本试验中紫叶紫薇修剪组的全氮含量较对照组增幅并不显著,在夏季修剪对红花玉兰生理影响的研究中同样发现全氮及可溶性蛋白含量仅在一定程度上增加^[8]。修剪处理使得全氮含量在花发育进程提高的响应特征有

待进一步探究。

碳氮代谢是植株最基本的代谢活动,碳和氮的比例适当,营养充足,有利于花芽分化,开花也多。碳氮比协调对紫叶紫薇花发育生理过程起到推动作用。本试验结果表明,紫叶紫薇花蕾碳氮比值随花发育时间呈逐渐上升趋势,修剪组碳氮比值在花芽分化期及开花盛期小幅度高于对照组。碳氮比学说认为高碳氮比状态有利于花芽分化,反之则抑制花芽的形成。前人对短截处理后的薄壳山核桃的碳氮代谢研究也发现碳氮比提高,从而说明适度修剪处理可以促进薄壳山核桃成花^[9]。夏黑葡萄(*Vitis vinifera* × *Vitis labrusca* ‘Summer Black’)采用喷药处理促进二花的试验中,其可溶性糖含量增加,使得碳氮比增加,表明二次成花与碳氮比提高有密切关系^[32]。因此,紫叶紫薇经重度修剪后碳氮比值高于对照可能与紫叶紫薇再次成花相关。在本研究中,紫叶紫薇修剪组碳氮比值在末花期下降,且比值低于对照组,原因可能是末花期气温降低及光照强

度减弱,叶片逐渐衰老,植株光合能力受到影响进而非结构性碳水化合物积累下降;也可能是花果期即将结束,非结构性碳水化合物向其他储存器官转移为休眠期做准备^[33]。

综上所述,内源激素的作用方式及碳氮代谢的协调程度与紫叶紫薇整个花发育进程的关系极其复杂,紫叶紫薇经过重度修剪处理后,花蕾中 ZR、GA₃ 含量显著升高,IAA 含量先上升再下降,ABA 含量变化较稳定;可溶性糖、淀粉、全氮含量增加;碳氮比值小幅度提高,然后在末花期比值降低。多种因素共同调控紫叶紫薇的二次成花进程。本试验只研究了紫叶紫薇花发育过程中的生理变化(内源激素和碳氮含量),尚未探讨内含物质变化的内因,有关影响紫叶紫薇花发育过程中这一系列变化的基因调节机制有待深入研究。另外,本研究为小区域试验,且品种单一,研究结果具有一定的局限性,还需要增加品种数量及植株数量进一步探究与充实。

参考文献:

- [1] 苏曼琳,吴 尚,马雁一,等. 3 种修剪方法对文冠果芽内源激素含量和萌芽成枝的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(5): 101-108.
SU M L, WU S, MA L Y, et al. Effects of three pruning methods on endogenous hormone and shoot growth of *Xanthoxerces sorbifolia* Bunge buds[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2017, 45(5): 101-108.
- [2] 刘 英,窦肖菲,王承香,等. 不同修剪量对不同树势甜樱桃生长的影响[J]. 安徽农业科学,2020,48(13): 51-52.
LIU Y, DOU X F, WANG C X, et al. Effect of different pruning amount on the growth of sweet cherry of different growth potential[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48(13): 51-52.
- [3] 于方玲. 北京地区紫薇的二次开花及养护技术[J]. 现代园艺, 2016, (24): 27.
YU F L. Secondary flowering and maintenance technology of *Lagerstroemia indica* in Beijing[J]. *Xiandai Horticulture*, 2016, (24): 27.
- [4] 詹福麟. 厦门地区紫薇二次成花调控技术研究[J]. 亚热带植物科学,2020,49(3): 220-224.
ZHAN F L. Reflowering time regulation of *Lagerstroemia indica* in Xiamen[J]. *Subtropical Plant Science*, 2020, 49(3): 220-224.
- [5] 沙 飞,杨海牛,刘 芳,等. 轮次修剪对紫薇多轮开花的影响[J]. 北方园艺,2020, (20): 77-82.
SHA F, YANG H N, LIU F, et al. Effects of round pruning on multiple rounds of flowering of *Lagerstroemia indica* [J]. *Northern Horticulture*, 2020, (20): 77-82.
- [6] KOVALESKI A P, DARNELL R L, CASAMALI B, et al. Effects of timing and intensity of summer pruning on reproductive traits of two southern highbush blueberry cultivars[J]. *HortScience*, 2015, 50(10): 1 486-1 491.
- [7] 艾沙江·买买提,杨 清,王晶晶,等. 短截、拉枝、刻芽对苹果枝条不同部位芽激素含量的影响[J]. 园艺学报,2013, 40(8): 1 437-1 444.
MAIMAITI A S J, YANG Q, WANG J J, et al. Effects of cutting back, branch-bending and bud-notching treatments on endogenous hormones in the buds of fuji apple[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(8): 1 437-1 444.
- [8] 王志杨. 土壤生化处理和夏季修剪对红花玉兰移栽苗生长及生理的影响[D]. 北京:北京林业大学,2017.
- [9] 张 翔. 修剪措施及生长调节剂对薄壳山核桃枝条发育和结果潜力的影响[D]. 南京:南京农业大学,2014.
- [10] 饶丹丹. 紫薇新品种‘紫玉’组织培养及内源激素含量变化研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2020.
- [11] 李 莹,李映志,叶春海. 不同种质菠萝蜜成熟果实中可溶性总糖与淀粉含量的关系[J]. 安徽农业科学,2016,44(36): 10-12.
LI Y, LI Y Z, YE C H. Relationship between total soluble sugar and starch content in different germplasm of jackfruit [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(36): 10-12.
- [12] 李朝英,郑 路,卢立华,等. 测定植物全氮的 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮法改进[J]. 中国农学通报,2014,30(6): 159-162.
LI Z Y, ZHENG L, LU L H, et al. Improvement in the H₂SO₄-H₂O₂ digestion method for determining plant total nitrogen[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(6): 159-162.

- [13] 贾 玥,郑 焕,任俊鹏,等.花穗整穗修剪对巴拉多葡萄内源激素的影响[J].江西农业学报,2013,25(5): 31-34.
JIA Y, ZHENG H, REN J P, *et al.* Effects of pruning floral cluster on endogenous hormones of balado grape[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2013, 25(5): 31-34.
- [14] 李建军,连笑雅,王 兰.忍冬花蕾延迟开花与内源激素调控研究[J].园艺学报,2019,46(7): 1 399-1 408.
LI J J, LIAN X Y, WANG L. Study on the regulation mechanism of endogenous hormones in delayed flowering of *Lonicera japonica*[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46(7): 1 399-1 408.
- [15] 杨晓红,陈晓阳,刘克锋.细胞分裂素对植物衰老的延缓作用[J].热带亚热带植物学报,2006,14(3): 256-262.
YANG X H, CHEN X Y, LIU K F. The role of cytokinins in retarding of senescence in plants[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2006, 14(3): 256-262.
- [16] 王雅倩.不同修剪方法对苹果芽和叶内源激素的影响[D].陕西杨陵:西北农林科技大学,2012.
- [17] 张晓娟,张 杰.激素对枸杞根系生长的影响[J].中国农学通报,2016,32(22): 94-97.
ZHANG X J, ZHANG J. The effects of hormones on root growth of *Lycium*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(22): 94-97.
- [18] 孟雯雯,张旭虎,柴 睿,等.基于根系抗氧化系统的高羊茅草坪修剪高度研究[J].家畜生态学报,2017,38(3): 56-60.
MENG W W, ZHANG X H, CHAI R, *et al.* A study on turf mowing height based on the antioxidant system of tall fescue roots[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2017, 38(3): 56-60.
- [19] NITO N, KURAIISHI S. Abnormal auxin distribution and poor berry setting (coulture) in grapes[J]. *Scientia Horticulturae*, 1979, 10(1): 63-72.
- [20] 黄丛林,张大鹏,贾文锁.葡萄果实发育后期脱落酸来源的研究[J].园艺学报,2001,28(5): 385-391.
HUANG C L, ZHANG D P, JIA W S. A study of the sources of abscisic acid in grape berry during its late developmental phases[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(5): 385-391.
- [21] 刘仁道,何瑞生,范理璋.内源激素与甜樱桃营养生长的关系[J].北方园艺,2001,(6): 20-21.
LIU R D, HE R S, FAN L Z. Relationship between endogenous hormones and nutrient growth of Sweet Cherry[J]. *Northern Horticulture*, 2001, (6): 20-21.
- [22] 王卫平.花期施用外源生长素类物质对番茄果实糖代谢影响的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2011.
- [23] 于 越,安万祥,董德祥,等.柑橘花芽分化研究进展[J].中国果菜,2019,39(9): 53-56.
YU Y, AN W X, DONG D X, *et al.* Advances in studies on flower bud differentiation of Citrus[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2019, 39(9): 53-56.
- [24] 孙 颖,雷小林,李建安,等.油茶树体调控对营养物质变化的影响[J].草业科学,2014,31(4): 711-716.
SUN Y, LEI X L, LI J A, *et al.* Effect of tree-controlling on nutrient of *Camellia oleifera* [J]. *Pratacultural Science*, 2014, 31(4): 711-716.
- [25] 高小俊,吴兴恩,程永生,等.短截对芒果再次花芽分化的影响[J].湖南农业科学,2010,(15): 47-49.
GAO X J, WU X E, CHENG Y S, *et al.* Effects of cutting back on the second flower bud differentiation of mango[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010, (15): 47-49.
- [26] 艾沙江·买买提,梅 闯,张校立,等.短截对富士苹果萌芽前后枝条不同部位碳氮营养的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(8): 140-146.
MAIMAITI A S J, MEI C, ZHANG X L, *et al.* Effect of cutting back on carbon and nitrogen nutrients of apple shoots during the germination period[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2015, 43(8): 140-146.
- [27] 张衡锋,韦庆翠,汤庚国.番红花花芽分化过程中内源激素和糖含量的变化[J].云南农业大学学报(自然科学),2018,33(4): 684-689.
ZHANG H F, WEI Q C, TANG G G. Changes in the endogenous hormones and carbohydrate contents in *Crocus sativus* L. during floral bud differentiation[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2018, 33(4): 684-689.
- [28] 阿布都卡尤木·阿依麦提,樊丁宇,岳婉婉,等.枣花芽分化过程中营养物质和内源激素含量及抗氧化酶活性变化研究[J].西北植物学报,2021,41(1): 142-150.
AYIMAITI A B D K Y M, FAN D Y, YUE W W, *et al.* Changes of nutrients, endogenous hormones and antioxidant enzymes activities during flower bud differentiation process of *Ziziphus jujuba* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, 41(1): 142-150.
- [29] 田 璐.几种田间管理方式对忍冬花期及碳氮代谢的影响[D].济南:山东中医药大学,2015.
- [30] 康美丽.环剥对毛棉杜鹃花芽分化过程中叶片养分及激素变化的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [31] 罗 丽.不同短截时间和短截强度对‘川香’核桃幼树生理特性的影响[D].四川雅安:四川农业大学,2015.
- [32] 赵 静,吕秀兰,聂 萧,等.夏黑葡萄冬芽二花成花过程中叶碳氮物质代谢变化[J].黑龙江农业科学,2016,(12): 82-86.
ZHAO J, LÜ X L, NIE X, *et al.* Changes of carbon and nitrogen metabolism during the flowering of grape summer black winter bud[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2016, (12): 82-86.
- [33] 朱亚男,李金霞,刘 娜,等.氮磷配施对黑果枸杞叶片非结构性碳动态的影响[J].西北植物学报,2020,40(12): 2 093-2 100.
ZHU Y N, LI J X, LIU N, *et al.* Effect of nitrogen and phosphorus fertilizer on non-structural carbon dynamics in leaves of *Lycium ruthenicum* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, 40(12): 2 093-2 100.