

树体管理对落叶松种子园母树生理特性的影响

卜鹏图^{1,2}, 冯健^{1,2*}, 杨圆圆^{1,2}, 孙丽娟³, 李光⁴

(1. 辽宁省林业科学研究院, 沈阳 110032; 2. 辽宁白石砬子森林生态系统国家定位观测研究站, 辽宁 丹东 118201; 3. 国有清原满族自治县大孤家林场, 辽宁 抚顺 113300; 4. 岫岩满族自治县国有清凉山林场, 辽宁 鞍山 114312)

摘要: 落叶松是我国北方地区重要的人工林树种。为揭示树体管理对落叶松母树生理影响, 以落叶松2代种子园母树为研究对象, 采用截干(TT)、拉枝(PB)及截干+拉枝(TT+PB)的处理, 测定并分析落叶松母树结实枝中内源激素、营养物质、氧化酶、丙二醛(MDA)及游离脯氨酸等生理指标。结果表明, 从内源激素质量分数上看, 截干和拉枝促进落叶松母树结实枝中吲哚乙酸(IAA)、赤霉素(GA₃)和玉米素(ZT)质量分数的增加, 而降低了脱落酸(ABA)的质量分数。尤其是截干和拉枝相结合(TT+PB)的处理, 其IAA、GA₃和ZT质量分数分别是对照(CK)的107.80%、108.61%和107.29%。从内源激素比例上看, 树体管理提高了IAA/ABA、GA₃/ABA、ZT/ABA、GA₃/IAA、ZT/IAA和ZT/GA₃的比值。树体管理增加了落叶松母树结实枝内可溶性蛋白、淀粉和可溶性糖的质量分数, 尤其是TT+PB效果最为显著, 其可溶性蛋白、淀粉和可溶性糖质量分数分别是CK的103.09%、115.99%和104.40%。树体管理提高了超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)的活性, 提高了落叶松母树的抗性。综上所述, 树体管理技术为落叶松母树种子产量和质量提高提供了充足的物质基质。研究结果为落叶松种子园丰产和稳产提供理论支撑。

关键词: 落叶松; 拉枝; 截干; 激素

中图分类号: s725

文献标识码: A

DOI: 10.7525/j.issn.1006-8023.2025.06.008

The Influence of Tree Management on the Physiological Characteristics of Mother Trees in Larch Seed Orchard

BU Pengtu^{1,2}, FENG Jian^{1,2*}, YANG Yuanyuan^{1,2}, SUN Lijuan³, LI Guang⁴

(1. Liaoning Academy of Forestry Science, Shenyang 110032, China; 2. Liaoning Baishilazi Forest Ecosystem National Research Station, Dandong 118201, China; 3. Da Gu Jia Forest Farm, State-owned Qingyuan Manchu Autonomous County, Fushun 113300, China; 4. Qing Liang Shan Forest Farm, State-owned Xiuyan Manchu Autonomous County, Anshan 114312, China)

Abstract: Larch is an important plantation tree species in northern China. In order to reveal the physiological effects of tree management on the mother tree of larch, the mother tree of the second generation seed orchard of larch was used as the research object in this study. The physiological indexes such as endogenous hormones, nutrients, oxidase, MDA and free proline in the fruiting branches of the mother tree of larch were determined and analyzed by means of trunk truncation, pulling branches and trunk truncation+pulling branches. The results showed that the contents of IAA, GA₃ and ZT were increased, while the content of ABA was decreased. Especially for the treatment combining trunk truncation + pulling branches (TT+PB), the contents of IAA, GA₃ and ZT in TT+PB were 107.80%, 108.61% and 107.29% of CK, respectively. In terms of endogenous hormone ratio, tree management increased the ratio of IAA/ABA, GA₃/ABA, ZT/ABA, GA₃/IAA, ZT/IAA and ZT/GA₃. Tree management increased the contents of soluble protein, starch and soluble sugar in the fruiting branches of larch mother tree, especially trunk truncation + pulling branches (TT+PB), whose contents of soluble protein, starch and soluble sugar were 103.09%, 115.99% and 104.40% of CK. The activity of SOD and POD was improved by tree management, and the resistance of larch mother tree was improved. In summary,

收稿日期: 2025-04-10

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD220030204); 辽宁省农业科学院学科建设(2025XKJS8563)。

第一作者简介: 卜鹏图, 正高级工程师。研究方向为林木育种及森林培育。E-mail: 185731231@qq.com

***通信作者:** 冯健, 博士, 教授级高工。研究方向为林木育种。E-mail: lnkyfj@163.com

引文格式: 卜鹏图, 冯健, 杨圆圆, 等. 树体管理对落叶松种子园母树生理特性的影响[J]. 森林工程, 2025, 41(6): 1174-1181.

BU P T, FENG J, YANG Y Y, et al. The influence of tree management on the physiological characteristics of mother trees in larch seed orchard [J]. Forest Engineering, 2025, 41(6): 1174-1181.

tree management technology provides sufficient material substrate for improving seed yield and quality of larch mother tree. This study provided theoretical support for high and stable yield of larch seed orchard.

Keywords: Larch; pulling branches; trunk truncation; hormone

0 引言

树体管理是林木种子园经营管理中常采用的一项技术^[1-2],通过控制树体高度、调整枝条角度和疏除多余枝条等技术措施促使林木种子园母树形成合理的冠形,进而促进种子园母树产种量的增加和种子质量的提升。郑一等^[3]研究矮化处理对马尾松雌球花的影响后认为,在树干高度2 m处截干,显著促进高产、中产型无性系雌球花量的增加,2018年分别比对照(CK)高出24.22%和30.70%,2019年分别比CK高出37.56%和38.38%。除了关注树体管理对结实的影响之外,也有学者开展了树体管理对母树生理特性的影响研究,揭示树体管理促进结实的生理机制。韩超等^[4-5]开展了截干对刺槐内源激素、营养元素的影响研究后认为,不同截干高度影响了内源激素质量分数,1.0 m的截干高度更有利于脱落酸(ABA)质量分数的上升;1.2 m的截干高度能够显著提高赤霉素(GA₄)质量分数的上升,有利于采种树的营养生长;0.8 m的截干高度能够显著降低玉米素(ZT)质量分数。同时,截干促进了P、Mg的吸收。艾沙江·买买提等^[6]研究短截、拉枝、刻芽对苹果枝条不同部位芽激素质量分数的结果表明,短截处理降低了枝条中部和下部芽中吲哚乙酸(IAA)和ABA的质量分数,拉枝处理显著增加了枝条中部和下部芽中IAA和ABA的质量分数。

落叶松(*Larix gmelinii*)是我国北方地区重要的人工林树种^[7-10]。其种子园种子存在产量低且结实量不稳定的问题,制约着落叶松人工林高质量发展。以往研究表明,通过合理的树体管理可以提高落叶松单株球果的产量,且降低采收成本,提高采收效率^[11]。徐开源等^[12]探索落叶松结实性状与树体管理之间的关系表明,截枝处理可提高总结实量166%~335%;定干处理会降低结实层高度,且总结实量提高7%~146%。本研究以落叶松2代种子园母树为研究对象,设置截干、拉枝等不同处理,测定并分析了母树结实枝的内源激素、营养物质、氧化酶、MDA及游离脯氨酸等指标的变化情况,旨在揭示树体管理促进落叶松种子园母树结实的生理机制,为落叶松良种生产提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于国有清原满族自治县大孤家林场,地

处辽宁省抚顺市清原满族自治县北部,属温带大陆性季风气候,年平均气温5.4℃,极端最低气温-37.5℃,极端最高气温37.8℃,无霜期130 d左右;土壤以棕壤为主;年平均降雨量为806.5 mm,多集中于7—9月。

1.2 试验设计

大孤家林场良种基地2代种子园营建于2011年,建园材料为1年生嫁接苗。2021年末至2022年春,选择生长健壮、无病虫害、树势一致的种子园母树24株用于试验,共分为4个处理。其中,6株为截干(截去主干,保留3~4轮轮生枝并清理病虫枝和衰弱枝,TT);6株为拉枝(利用拉枝绳控制主枝拉枝角度约为65°,PB);6株为截干+拉枝(TT+PB),6株为对照(CK)。进行树体管理措施后,该24棵试验母树采取相同的种子园管理措施。2022年7月,选取试验母树的3年生枝条作为取材对象,用于生理指标测定,其中,CK的母树取材按照高度将树冠平均分为上、中、下3层,每层采集4个方向的3年生枝条并加以混合。

1.3 测定指标

各生理指标测定方法参照《植物生理学实验教程第二版》^[13],采用酶联免疫法测定生长素(IAA)、脱落酸(ABA)、赤霉素(GA₃)、玉米素(ZT)4类激素质量分数,考马斯亮蓝G-250染色法测定可溶性蛋白质量分数,蒽酮比色法测定可溶性糖质量分数,改进的一苯酚浓硫酸法测定淀粉质量分数,硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)质量浓度,酸性茚三酮法测定游离脯氨酸(f-Pro)质量分数,愈创木酚比色法测定过氧化物酶(POD)活性,氮蓝四唑法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性。全部生理指标委托沈阳鼎鑫瑞泰生物技术有限公司测定完成。

1.4 数据分析

测得数据采用Excel 2020和SPSS 25.0软件进行统计与分析,显著性水平设为0.05。

2 结果与分析

2.1 树体管理对落叶松种子园母树结实枝内源激素的影响

2.1.1 内源激素在落叶松种子园母树树冠的分布特征

对CK树冠不同层次测定结果见表1,由表1可知,GA₃质量分数表现为上、中层高于下层,其中,中层质量分数最高,达到99.8 ng/g,为下层的113.55%。IAA和ABA质量分数表现为上、下层高于中层,其中,IAA

下层质量分数最高,达到4.49 $\mu\text{g/g}$,为中层的111.69%;ABA上层质量分数最高,达到4.05 $\mu\text{g/g}$,为中层的114.41%。ZT质量分数表现为中层高,而上、

下层低的趋势,其中,中层质量分数达到48.88 ng/g ,为上层的119.8%。方差分析结果表明,IAA质量分数在落叶松母树不同树冠层间达到显著水平($P<0.05$)。

表1 不同处理落叶松母树内源激素含量比较

Tab. 1 Comparison of endogenous hormone content of larch mother trees under different treatments

	$\text{GA}_3/(\text{ng}\cdot\text{g}^{-1})$	$\text{IAA}/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$\text{ABA}/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$\text{ZT}/(\text{ng}\cdot\text{g}^{-1})$
拉枝(PB) Pulling branches(PB)	97.82 ± 13.01a	2.84 ± 0.35c	4.01 ± 0.92a	48.80 ± 8.37a
CK上部 CK top	99.55 ± 14.61a	4.11 ± 0.46b	4.05 ± 0.91a	40.82 ± 7.56a
CK中部 CK middle	99.80 ± 8.73a	4.02 ± 0.68b	3.54 ± 0.94a	48.88 ± 6.89a
CK下部 CK lower	87.89 ± 20.33a	4.49 ± 0.27ab	4.01 ± 0.67a	42.24 ± 7.40a
截干(TT) Trunk truncation(TT)	88.78 ± 8.24a	4.27 ± 0.39b	3.90 ± 1.03a	53.45 ± 7.49a
截干+拉枝(TT+PB) Trunk truncation+pulling branches(TT+PB)	95.46 ± 17.78a	4.84 ± 0.30a	3.56 ± 0.95a	45.32 ± 6.77a

注:同一列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$), the same as below.

不同激素间的比例见表2,由表2可知,处理ZT/ GA_3 表现为从上层至下层逐渐升高的趋势之外,IAA/ABA、 GA_3/ABA 、ZT/ABA、 GA_3/IAA 、ZT/IAA均表现为中层比值最高,其中,中层IAA/ABA为1.19,是上层的113.33%;中层 GA_3/ABA 为29.61,是下层的133.56%;

中层ZT/ABA为14.61,是上层的139.67%;中层 GA_3/IAA 为25.40,是下层的128.54%;中层ZT/IAA为12.38,是下层的131.56%。方差分析结果表明,IAA/ABA和ZT/ GA_3 在落叶松母树不同树冠层间差异达到显著水平($P<0.05$)。

表2 不同处理落叶松母树内源激素比例比较

Tab. 2 Comparison of endogenous hormone ratio in mother trees of larch under different treatments

	IAA/ABA	GA_3/ABA	ZT/ABA	GA_3/IAA	ZT/IAA	ZT/ GA_3
拉枝(PB) Pulling branches(PB)	0.74 ± 0.20c	25.72 ± 7.36a	13.09 ± 4.86a	35.17 ± 7.61a	17.57 ± 4.46a	0.51 ± 0.11ab
CK上部 CK top	1.05 ± 0.21b	26.32 ± 9.63a	10.46 ± 2.89a	24.67 ± 5.47b	9.90 ± 1.34b	0.42 ± 0.12b
CK中部 CK middle	1.19 ± 0.33ab	29.61 ± 6.80a	14.61 ± 4.48a	25.40 ± 4.96b	12.38 ± 2.40b	0.50 ± 0.10ab
CK下部 CK lower	1.15 ± 0.21ab	22.17 ± 4.54a	10.96 ± 3.36a	19.76 ± 5.36b	9.41 ± 1.57b	0.51 ± 0.16ab
截干(TT) Trunk truncation(TT)	1.14 ± 0.23ab	23.98 ± 6.25a	14.54 ± 4.87a	20.93 ± 2.59b	12.60 ± 2.11b	0.60 ± 0.08a
截干+拉枝(TT+PB) Trunk truncation+pulling branches(TT+PB)	1.42 ± 0.30a	27.36 ± 3.84a	13.13 ± 2.28a	19.62 ± 2.68b	9.34 ± 1.09b	0.48 ± 0.04ab

2.1.2 树体管理对落叶松种子园母树结实枝内源激素的影响

落叶松母树截干后保留的部位位于树冠的下层,因此,本研究以CK树冠下层激素质量分数和比例作为对照数据(营养物质、氧化酶、MDA及游离脯氨酸质量分数与此相同)。从内源激素质量分数上看(表1),树体管理提高了IAA、 GA_3 和ZT的质量分数,而降低了ABA的质量分数。IAA质量分数由大到小表现为TT+PB、CK、TT、PB,TT+PB的IAA质量分数达到4.84 $\mu\text{g/g}$,是CK的107.80%。 GA_3 质量分数由大到小表现为PB、TT+PB、TT、CK,PB中 GA_3 质量分数达到97.82 ng/g ,是

CK的111.3%。ZT质量分数由大到小表现为TT、PB、TT+PB、CK,TT中ZT质量分数达到53.45 ng/g ,是CK的126.54%。ABA质量分数表现为PB与CK相等,均大于TT和TT+PB,TT大于TT+PB,TT+PB中ABA质量分数最低,仅为3.56 $\mu\text{g/g}$,是CK的88.78%。方差分析结果表明,IAA质量分数在不同处理间差异均达到显著水平($P<0.05$)。从内源激素间比例看(表2),树体管理提高了IAA/ABA、 GA_3/ABA 、ZT/ABA、 GA_3/IAA 、ZT/IAA和ZT/ GA_3 的比值。IAA/ABA由大到小表现为TT+PB、CK、TT、PB,TT+PB的IAA/ABA为1.42,是CK的123.48%。 GA_3/ABA 由大到小表现为TT+PB、PB、

TT、CK、TT+PB的GA₃/ABA为27.36,是CK的123.41%。ZT/ABA的由大到小表现为TT、TT+PB、PB、CK,TT的ZT/ABA为14.54,是CK的132.66%。方差分析结果表明,IAA/ABA、GA₃/IAA、ZT/IAA和ZT/GA₃在不同处理间差异达到显著水平($P < 0.05$),其中,PB中ZT/IAA与其他处理间差异达到显著水平($P < 0.05$),其他处理间差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 树体管理对落叶松种子园母树营养物质的影响

2.2.1 营养物质在落叶松种子园母树树冠的分布特征

由表3可知,可溶性蛋白质质量分数在落叶松母树

中表现为上、下层高,中层低,其中,下层可溶性蛋白质质量分数最高,达到94.44 mg/g,为中层的123.56%。淀粉质量分数与可溶性蛋白质质量分数表现相反,为中层质量分数高而上、下层质量分数低,其中,中层淀粉质量分数达到46.01 mg/g,为上层的126.16%。可溶性糖质量分数表现为从上层向下层逐渐减少的趋势,其中,上层可溶性糖质量分数达到133.57 mg/g,是下层的117.7%。方差分析结果表明,可溶性蛋白和可溶性糖质量分数在落叶松母树不同树冠层间差异达到显著水平($P < 0.05$)。

表3 不同处理落叶松母树营养物质含量比较

Tab. 3 Comparison of nutrient content of larch mother trees under different treatments

	可溶性蛋白/(mg·g ⁻¹) Soluble protein	淀粉/(mg·g ⁻¹) Starch	可溶性糖/(mg·g ⁻¹) Soluble sugar
拉枝(PB) Pulling branches(PB)	87.59 ± 16.81ab	39.18 ± 7.00a	122.61 ± 14.66ab
CK上部 CK top	94.06 ± 17.26ab	36.47 ± 9.64a	133.57 ± 18.20a
CK中部 CK middle	76.43 ± 11.53b	46.01 ± 4.94a	126.83 ± 19.65ab
CK下部 CK lower	94.44 ± 18.66ab	39.02 ± 4.33a	113.48 ± 12.10b
截干(TT) Trunk truncation(TT)	90.08 ± 14.11ab	39.25 ± 9.96a	124.60 ± 11.85ab
截干+拉枝(TT+PB) Trunk truncation+pulling branches(TT+PB)	97.36 ± 10.20a	45.26 ± 6.41a	118.47 ± 9.69ab

2.2.2 树体管理对落叶松种子园母树营养物质质量分数的影响

由表3可知,树体管理提高了落叶松母树营养物质的质量分数。可溶性蛋白由大到小表现为TT+PB、CK、TT、PB,TT+PB中可溶性蛋白达到97.36 mg/g,是CK的103.09%。淀粉由大到小表现为TT+PB、TT、PB、CK,TT+PB中淀粉质量分数达到45.26 mg/g,是CK的115.99%。可溶性糖质量分数由大到小表现为TT、PB、TT+PB、CK,TT中可溶性糖质量分数达到124.6 mg/g,是CK的109.8%。方差分析结果表明,可溶性蛋白和可溶性糖质量分数在不同处理间差异达到显著水平($P < 0.05$),其中,TT+PB中可溶性蛋白质质量分数显著高于其他处理,而其他处理间差异不显著($P > 0.05$);可溶性糖质量分数在TT+PB、TT和PB间差异不显著($P > 0.05$),但均与CK间差异达到显著水平($P < 0.05$)。

2.3 树体管理对落叶松种子园母树氧化酶的影响

2.3.1 氧化酶在落叶松种子园母树树冠的分布特征

由表4可知,SOD和POD均表现为中层质量分数高而上、下层质量分数低。中层SOD为4.38 ng/g,是上层的114.06%;中层POD为7.81 ng/g,是下层的

120.52%。方差分析结果表明,POD在落叶松母树不同树冠层间差异达到显著水平($P < 0.05$)。

2.3.2 树体管理对落叶松种子园母树氧化酶的影响

由表4可知,树体管理提高了SOD和POD的质量分数。SOD由大到小表现为TT+PB、CK、PB、TT,TT+PB中SOD为4.62 ng/g,是CK的106.94%。POD由大到小表现为PB、TT+PB、CK、TT,PB中POD为7.36是CK的106.94%。方差分析结果表明,TT中POD与其他处理间差异达到显著水平($P < 0.05$),其他处理间差异不显著($P > 0.05$)。

2.4 树体管理对落叶松种子园母树MDA质量浓度的影响

由表4可知,MDA在落叶松母树中表现为上、中层含量较高,下层质量浓度低,中层MDA质量浓度达到2.36 nmol/g,是下层的111.85%。方差分析结果表明,MDA在落叶松母树不同树冠层间差异未达到显著水平($P > 0.05$)。树体管理降低了MDA质量浓度,由大到小表现为TT、CK、TT+PB、PB,TT的MDA质量浓度为2.33 nmol/g,是CK的110.43%。方差分析结果表明,PB中MDA与其他处理间差异达到显著水平($P < 0.05$),其他处理间差异不显著($P > 0.05$)。

表4 不同处理落叶松母树氧化酶、MDA、f-Pro含量比较

Tab. 4 Comparison of oxidase, MDA and f-Pro contents of larch mother trees under different treatments

	SOD/(ng·g ⁻¹)	POD/(ng·g ⁻¹)	MDA/(nmol·g ⁻¹)	f-Pro/(ng·g ⁻¹)
拉枝(PB) Pulling branches(PB)	4.01 ± 0.88a	7.36 ± 0.93ab	1.54 ± 0.39b	124.52 ± 25.67b
CK上部 CK top	3.84 ± 1.12a	7.42 ± 1.35ab	2.36 ± 0.37a	173.14 ± 21.07a
CK中部 CK middle	4.38 ± 0.60a	7.81 ± 1.05a	2.36 ± 0.37a	190.46 ± 21.59a
CK下部 CK lower	4.32 ± 0.81a	6.48 ± 1.33ab	2.11 ± 0.29a	172.58 ± 18.82a
截干(TT) Trunk truncation(TT)	3.76 ± 1.11a	6.17 ± 1.48b	2.33 ± 0.42a	185.21 ± 33.04a
截干+拉枝(TT+PB) Trunk truncation+pulling branches(TT+PB)	4.62 ± 1.01a	6.59 ± 1.05ab	2.05 ± 0.38a	171.85 ± 30.50a

2.5 树体管理对落叶松种子园母树游离脯氨酸(f-Pro)质量分数的影响

由表4可知,f-Pro在落叶松母树中表现为中高层而上、下层低,其中,中层质量分数达到190.46 ng/g,是下层的110.36%。方差分析结果表明,MDA在落叶松母树不同树冠层间差异未达到显著水平($P>0.05$)。树体管理降低了f-Pro的质量分数,由大到小表现为TT、CK、TT+PB、PB,TT的f-Pro质量分数为185.21 ng/g,是CK的107.32%。方差分析结果表明,PB中f-Pro与其他处理间差异达到显著水平($P<0.05$),其他处理间差异不显著($P>0.05$)。

2.6 落叶松种子园母树内含物质间相关性分析

由表5可知,落叶松种子园母树内含物质间存在一定的相关性。淀粉质量分数与ABA质量分数间存在极显著负相关关系($P<0.01$);MDA与f-Pro间存在极显著正相关关系($P<0.01$);GA₃与POD、GA₃/IAA与ZT/IAA间存在显著正相关关系($P<0.05$)。另外,可溶性蛋白与内源激素比例、POD,淀粉与内源激素比例、SOD,可溶性糖与GA₃、氧化酶,IAA与氧化酶、MDA、游离脯氨酸,ABA与SOD间的相关系数也较高,具有一定的相关性。

3 讨论

截干和拉枝等树体管理是种子园主要的经营管理措施之一,二者通过调整树形,促进树冠扩大,提高光合效率,促使母树在生理层面出现适应性调整,从而优化资源分配,促进母树开花和结实^[14]。因此,截干和拉枝可引起母树生理特性的改变受到广泛重视。其中,激素及其比例的调整有助于促进花芽基形成及加速花器官的发育,最终决定果实产量及品质。营养物质是母树开花和球果、种子产量与质量形成的物质基础,而氧化酶、MDA和游离脯氨酸等则与母树的抗性

有关,较高的抗性也是母树开花和结实的保障^[15-17]。落叶松种子园存在种子产量、质量不高的制约性因素,树体管理则是破解此难题的方式之一;结合上述生理特性对于母树开花和结实的重要性,探讨树体管理引起的母树生理特性的变化有助于促进落叶松种子园丰产和稳产。

3.1 树体管理对落叶松母树激素及其比例的影响

以往研究表明,截干和拉枝等树体管理技术改变了内源激素在母树体内含量和比例,这些变化最终促进了母树枝条的生长、萌芽率及结实量等的增加。如,魏常燕等^[18]研究结果表明拉枝提高了核桃的萌芽率。同时,拉枝处理使同一枝条不同部位芽的内源激素质量分数进行了重新分配,也改变了不同激素在树体上下部位的原有分配。张瑜等^[14]的研究表明,高水平IAA/ABA、GA₃/ABA、ZR/IAA、ZR/GA₃及ZR/ABA更有利于‘库车小白杏’雌蕊分化。聂晗宇等^[19]研究拉枝对玉露香梨的影响认为,叶片中低N质量分数和高P、K质量分数,较高水平ZR质量分数,较高ZR/ABA、ZR/IAA和ZR/GA₃比值均有利于花芽分化,促进玉露香梨成花。本研究结果与以往研究结果相类似,截干和拉枝等树体管理技术既改变了落叶松母树结实枝内源激素的质量分数,也改变了不同激素间的比例关系。根据以往的研究结果,我们推测树体管理技术通过改变落叶松母树树体内激素含量和比例,从而调控落叶松母树花芽分化,最终促进落叶松母树结实枝花量和球果量的增加。

3.2 树体管理对落叶松母树营养物质质量分数的影响

本研究中,树体管理增加了落叶松母树结实枝内可溶性蛋白、淀粉和可溶性糖的质量分数,尤其是截干+拉枝(TT+PB)效果最为显著。树体管理促进落叶松母树结实枝营养物质积累的原因可能在于,一方面,

表 5 落叶松母树内源激素、营养物质、氧化酶、MDA 及 fPro 间相关性
 Tab. 5 Correlation among endogenous hormones, nutrients, oxidase, MDA and fPro in larch mother tree

	可溶性蛋白 Soluble protein	淀粉 Starch	可溶性糖 Soluble sugar	GA ₃	IAA	ABA	ZT	IAA/ABA	GA/ABA	ZT/ABA	GA ₃ /IAA	ZT/IAA	ZT/GA	SOD	POD	MDA	f-Pro
可溶性蛋白 Soluble protein	1																
淀粉 Starch	-0.414	1															
可溶性糖 Soluble sugar	-0.322	-0.233	1														
GA ₃	-0.413	0.246	0.659	1													
IAA	0.444	0.301	-0.274	-0.406	1												
ABA	0.361	-0.976**	0.094	-0.272	-0.410	1											
ZT	-0.499	0.273	0.031	-0.171	-0.281	-0.263	1										
IAA/ABA	0.246	0.594	-0.248	-0.214	-0.941**	-0.693	-0.121	1									
GA ₃ /ABA	-0.558	0.68	0.496	0.846*	-0.084	-0.726	0.112	0.203	1								
ZT/ABA	-0.615	0.626	0.014	0.026	-0.118	-0.620	0.916*	0.136	0.424	1							
GA ₃ /IAA	-0.429	-0.186	0.309	0.568	-0.976**	0.290	0.195	-0.873*	0.247	0.100	1						
ZT/IAA	-0.493	-0.101	0.138	0.257	-0.927**	0.210	0.594	-0.804	0.102	0.440	0.888*	1					
ZT/GA ₃	-0.176	0.036	-0.334	-0.687	-0.012	-0.009	0.830*	-0.010	-0.406	0.649	-0.151	0.314	1				
SOD	0.007	0.795	-0.572	0.084	0.438	-0.722	-0.255	0.609	0.355	0.086	-0.307	-0.371	-0.262	1			
POD	-0.643	0.178	0.578	0.901*	-0.526	-0.149	-0.177	-0.374	0.720	-0.009	0.633	0.329	-0.607	0.050	1		
MDA	-0.123	0.091	0.409	-0.071	0.644	-0.254	-0.073	0.583	0.161	0.027	-0.672	-0.661	-0.006	-0.095	-0.046	1	
f-Pro	-0.147	0.327	0.150	-0.207	0.761	-0.458	0.034	0.750	0.162	0.190	-0.787	-0.692	0.141	0.143	-0.175	-0.948**	1

注: **表示相关性极显著 ($P < 0.01$); *表示相关性显著 ($P < 0.05$)。

Note: ** indicates that the correlation is extremely significant ($P < 0.01$); * indicates that the correlation is significant ($P < 0.05$).

截干改变了营养物质在母树体内的分布^[20];另一方面,拉枝改善了母树透光条件和树体结构,提高了树体的光合效率^[21]。刘元媛^[22]开展的拉枝处理对富士苹果M9-T337生理的影响表明,拉枝可提高苹果树净光合速率、最大光合值、光补偿点和暗呼吸速率等光合指标。此外,本研究结果表明,落叶松种子园母树内含物质间存在一定的相关性。淀粉质量分数与ABA质量分数间存在极显著负相关关系($P < 0.01$);MDA与游离脯氨酸间存在极显著正相关关系($P < 0.01$);GA₃与POD、GA₃/IAA与ZT/IAA间存在显著正相关关系($P < 0.05$)。这表明树体管理技术是通过协调影响落叶松母树内多种物种间的变化,最终影响落叶松开花结实。

从表型指标来看,截干和拉枝等树体管理措施能够提高花量、球果和种子产量,改善种子的质量^[3,11]。从生理指标来看,树体管理措施能够改变激素及激素比例、营养物质和抗性物质^[4,6]。本研究中截干和拉枝相结合时母树枝条IAA、GA₃和ZT质量浓度分别是CK的107.80%、108.61%和107.29%,可溶性蛋白、淀粉和可溶性糖质量分数则分别是CK的103.09%、115.99%和104.40%。考虑到上述生理指标对于促花促果的重要作用,可以判定截干和拉枝等树体管理措施能够提高激素及激素比例、营养物质和抗性物质,为落叶松母树开花和结实储备了充足的物质基础,并且相互影响,协同发挥作用,进而促进丰产稳产。但是,对于实行树体管理措施后开花结实等表型指标和生理指标间相互关系的研究目前涉及较少,可以通过花量和结实量的数据分析出树体管理对落叶松母树种子产量的影响关系;也可以通过球果和种子形质指标及种子活性指标分析出树体管理对落叶松母树种子质量的影响关系。最终,从内源激素、营养物质和抗性物质等指标揭示出树体管理促进落叶松种子园产量和种子质量提升的生理机制。

4 结论

针对落叶松种子园种子产量和质量不高的现实性问题,本研究从拉枝和截干等树体管理的角度出发,重点研究了其对母树开花和结实密切相关的生理指标的影响。截干和拉枝提高了落叶松母树结实枝中IAA、GA₃、ZT、可溶性蛋白、淀粉、可溶性糖、SOD和POD质量分数,提升了IAA/ABA、GA₃/ABA、ZT/ABA、GA₃/IAA、ZT/IAA、ZT/GA₃的比值,其中,截干和拉枝相结合的处理效果最为显著。这些生理物质质量分数的增加为落叶松母树开花和结实储备了充足的物质基础,有助于促进花芽分化和种子产量形成,进而促进落叶松种子园良种生产。

参 考 文 献

- [1] WAN C Y, MI L, CHEN B Y, et al. Effects of nitrogen during nursery stage on flower bud differentiation and early harvest after transplanting in strawberry [J]. Brazilian Journal of Botany, 2018, 41(1): 1-10.
- [2] COLARIC M, STAMPAR F, HUDINA M. Content levels of various fruit metabolites in the 'Conference' pear response to branch bending [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 113(3): 261-266.
- [3] 郑一, 张含国, 张振, 等. 矮化对马尾松雌球花发生及枝梢生长的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(10): 1-5.
ZHENG Y, ZHANG H G, ZHANG Z, et al. Effect of dwarfing on occurrence of female strobilus of *Pinus massoniana* and its effect on branch growth [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2021, 49(10): 1-5.
- [4] 韩超, 毕伟, 段安安, 等. 截干处理对刺槐表型性状及内源激素含量的影响 [J]. 分子植物育种, 2023, 21(8): 2738-2745.
HAN C, BI W, DUAN A A, et al. Effects of truncated treatments on phenotypic traits and endogenous hormone contents of *Robinia pseudoacacia* [J]. Molecular Plant Breeding, 2023, 21(8): 2738-2745.
- [5] 韩超, 毕伟, 段安安, 等. 截干措施对刺槐种子园采种树表型性状和营养元素的影响 [J]. 中国农学通报, 2021, 37(13): 29-34.
HAN C, BI W, DUAN A A, et al. Effects of truncation measures on the phenotypic characters and nutrient elements of seed harvesting trees in seed orchard of *Robinia pseudoacacia* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(13): 29-34.
- [6] 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): 1437-1444.
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): 1437-1444.
- [7] 冯健, 王骞春, 郑颖, 等. 带状抚育间伐对辽东落叶松人工林生长及部分土壤养分指标的影响 [J]. 西南林业大学学报(自然科学版), 2021, 41(3): 11-17.
FENG J, WANG Q C, ZHENG Y, et al. Effect of strip tending thinning on the growth and some soil nutrient indexes of larch plantation in Eastern Liaoning Province [J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2021, 41(3): 11-17.
- [8] 冯健, 王骞春, 陆爱君, 等. 辽东山区长白落叶松异龄混

- 交林植被多样性和土壤特征研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2021, 49(3): 57-66.
- FENG J, WANG Q C, LU A J, et al. Study on vegetation diversity and soil characteristics of *Larix olgensis* uneven-aged mixed stand in Eastern Liaoning mountain region [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2021, 49(3): 57-66.
- [9] 冯健, 王骞春, 陆爱君, 等. 辽东山区落叶松-水曲柳混交林植物多样性和土壤特性研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2021, 49(6): 27-37.
- FENG J, WANG Q C, LU A J, et al. Plant diversity and soil characteristics of larch-manchurian ash mixed stand in eastern Liaoning [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2021, 49(6): 27-37.
- [10] 冯健, 高慧琳, 王骞春, 等. 辽东山区落叶松-水曲柳混交林及其纯林生长与生物量分配特征[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(7): 22-27, 32.
- FENG J, GAO H L, WANG Q C, et al. Growth and biomass allocation of mixed larch-ash forest and its pure stand in the eastern mountainous area of Liaoning Province [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2021, 49(7): 22-27, 32.
- [11] 张砚辉, 冯健, 张素清, 等. 树体管理对长白落叶松种子园母树生长及结实性状的影响[J]. 北方园艺, 2017, 41(6): 60-64.
- ZHANG Y H, FENG J, ZHANG S Q, et al. Influence of growth and fructification characteristics of mother trees by tree management in *Larix olgensis* Henry seed orchard [J]. Northern Horticulture, 2017, 41(6): 60-64.
- [12] 徐开源, 郝俊飞, 张含国. 树体管理对杂种落叶松球果产量的影响[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(8): 11-15.
- XU K Y, HAO J F, ZHANG H G, et al. Effect of tree management on seed yield of hybrid larch [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48(8): 11-15.
- [13] 路文静, 李奕松. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- LU W J, LI Y S. An experimental course of plant physiology [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2011.
- [14] 张瑜, 玉苏甫·阿不力提甫. 拉枝对‘库车小白杏’花芽分化时期内源激素含量变化的影响[J/OL]. 分子植物育种, 1-14.
- ZHANG Y, YUSUFU A B L T F. Effects of branch bending angle on endogenous hormone content during flower bud differentiation of ‘Akeximixi’ [J/OL]. Molecular Plant Breeding, 1-14.
- [15] 付山, 梁邴, 何善林, 等. 土壤全氮含量过高是引发台农17号菠萝水心病的关键因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2025, 31(2): 353-363.
- FU S, LIANG Y, HE S L, et al. Excessive soil total nitrogen is a key factor causing translucency in pineapple cultivar ‘Tainong 17’ [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2025, 31(2): 353-363.
- [16] 刘欢, 黄小龙, 刘济明, 等. 米槁种子发育过程的形态和生理特性[J]. 东北林业大学学报, 2022, 50(1): 21-26.
- LIU H, HUANG X L, LIU J M, et al. Morphology and physiological characteristics of *Cinnamomum migao* during seed development [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2022, 50(1): 21-26.
- [17] 陈思雨, 贾忠奎, 马履一, 等. 红花玉兰截干对矮化和生理的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(10): 53-59.
- CHEN S Y, JIA Z K, MA L Y, et al. The dwarf and physiology effect of cutting strunk on *Magnolia wufengensis* [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2018, 38(10): 53-59.
- [18] 魏常燕, 张雪梅, 齐国辉, 等. 不同时期拉枝刻芽对‘绿岭’核桃萌芽成枝和内源激素含量的影响[J]. 林业科学, 2013, 49(6): 167-171.
- WEI C Y, ZHANG X M, QI G H, et al. Effects of bending branch and notching buds in different periods on endogenous hormone concentrations and shoot growth of ‘Lüling’ walnut [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(6): 167-171.
- [19] 聂晗宇, 闫帅, 赵亮亮, 等. 玉露香梨对拉枝处理的生理响应研究[J]. 中国果树, 2023(8): 92-97.
- NIE H Y, YAN S, ZHAO L L, et al. Study on the physiological effect of ‘Yuluxiang’ pear to branch bending treatment [J]. China Fruits, 2023(8): 92-97.
- [20] 王志恒. 杨树截干埋干造林技术研究及其对人工林生长的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- WANG Z H. Study on afforestation technology of cutting and burying *Poplar* trunk and its effect on the growth of plantation [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2022.
- [21] 李光锋, 胡焕平. 拉枝角度对惠民短枝红富士苹果光合特性、产量及品质的影响[J]. 果树资源学报, 2024, 5(5): 6-9.
- LI G F, HU H P. Influence of pulling angle on photosynthetic characteristics, yield and quality of Huimin short-branch red Fuji apples [J]. Journal of Fruit Resources, 2024, 5(5): 6-9.
- [22] 刘元媛. 拉枝处理对富士苹果M9-T337生长及生理的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- LIU Y Y. Effects of branch drawing treatment on growth and physiology of *Malus pumila* Fuji M9-T337 [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.