

吉林省一级期刊  
吉林省科技期刊30强  
“中国知网”上网期刊  
《中国学术期刊网络出版总库》收录期刊  
《中文科技期刊数据库》收录期刊  
《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊  
“万方数据—数字化期刊群”全文上网期刊  
《CAJ—规范》执行优秀期刊

ISSN 1005-7129  
CN 22-1106/S

# 吉林林业科技

JOURNAL OF  
JILIN FORESTRY SCIENCE AND TECHNOLOGY

第55卷 总第299期  
**2026** **1**  
JILIN LINYE KEJI

# 目 次

施肥对露水河红松人工幼龄林开花结实的影响 .....	王 芳等(1)
干旱胁迫下大青杨转录组研究分析 .....	赵佳丽等(5)
干旱胁迫对日本落叶松苗木抗氧化酶活性的影响 .....	谢元秀(11)
NaCl 胁迫对蒙古栎幼苗生长性状的影响 .....	山昌林等(14)
光环境处理对‘高山圣火’月季组培苗增殖生长及生理特性的影响 .....	陈 爽等(19)
建三江地区小黑杨和落叶松农田防护林土壤特征研究 .....	王玉莹等(24)
太原市蔷薇科植物访花昆虫多样性研究 .....	杜秀娟等(31)
吉林白山龙山湖国家森林公园自然属性与生态价值评估 .....	鞠献存等(36)
吉林省被子植物新资料 .....	王戈戎等(40)
舒兰市七里乡林下经济发展现状、存在的问题及创新发展策略 .....	陈玉龙等(45)
征稿启事 .....	(23)
本刊声明 .....	(35)

## CONTENTS

Influence of Fertilization on Flowering and Fruiting of Young <i>Pinus koraiensis</i> Plantation of Lushuihe Forestry Limited Company .....	WANG Fang et al. (1)
Transcriptome Analysis of <i>Populus ussuriensis</i> under Drought Stress .....	ZHAO Jiali et al. (5)
Effect of Drought Stress on Antioxidant Enzyme Activity of <i>Larix kaempferi</i> Seedlings .....	XIE Yuanxiu (11)
Effect of NaCl Stress on Growth Traits of <i>Quercus mongolica</i> Seedlings .....	SHAN Changlin et al. (14)
Effects of Light Environment Treatments on the Proliferation and Physiological Characteristics of Tissue Culture <i>Rosa hybrida</i> ‘Alpine flame’ Seedlings .....	CHEN Shuang et al. (19)
Study on Soil Characteristics of <i>Populus simonii</i> × <i>P. nigra</i> and <i>Larix gmelinii</i> Farmland Shelterbelts in Jiansanjiang Area .....	WANG Yuying et al. (24)
Study on Diversity of Flower-visiting Insects of Rosaceae in Taiyuan City .....	DU Xiujuan et al. (31)
Evaluation of Natural Attribute and Ecological Value of Longshan Lake National Forest Park in Baishan City of Jilin Province .....	JU Xiancun et al. (36)
New Data of Angiosperms in Jilin Province .....	WANG Gerong et al. (40)
Development Status, Existing Problems and Innovative Development Strategies of Under-forest Economy in Qili Township of Shulan City .....	CHEN Yulong et al. (45)
Notice .....	(23)
Statement .....	(35)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.01.001

文章编号:1005-7129(2026)01-0001-04 中图分类号:S791.247 文献标识码:A

## 施肥对露水河红松人工幼龄林开花结实的影响

王芳<sup>1</sup>, 郭尹泽<sup>2</sup>, 赵吉胜<sup>3</sup>, 魏伟<sup>4</sup>, 吴琳<sup>4</sup>, 孙吉锋<sup>5</sup>

(1. 吉林省林业科学研究院, 吉林 长春 130033; 2. 吉林农业大学林学与草学学院, 吉林 长春 130118;  
3. 吉林省重点国有林技术服务中心, 吉林 长春 130022; 4. 吉林森工露水河林业有限公司, 吉林 白山 134506;  
5. 通榆县林业和草原局, 吉林 白城 137299)

**摘要:**施肥是补充林木养分,促进开花结实的最有效措施。本研究以吉林森工露水河林业有限公司清水河林场 19 年生红松人工林为材料,自 2021 年开始连续 3 年施用复合肥,共 4 个处理,施肥量分别为  $0 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  (CK)、 $500 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  (处理 I)、 $750 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  (处理 II)、 $1\ 000 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  (处理 III)。2022—2024 年,调查各处理的单株雌花数量、单株结实量并计算结实株率,探究促进红松开花结实、增加果实产量的最佳施肥处理。结果表明,除 2022 年单株结实量外,施肥处理对红松的单株雌花数量和单株结实量影响显著 ( $P < 0.05$ ),处理 II 和处理 III 可显著提高红松单株雌花数量和单株结实量,处理 I 与 CK 的单株雌花数量和单株结实量无显著差异。处理 I 和 CK 的结实株率较低,而处理 II 和处理 III 可提高红松结实株率。相关分析结果表明,2022 年雌花数量与 2023 年单株结实量、2023 年单株雌花数量与 2024 年单株结实量均呈极显著正相关。针对露水河林业有限公司红松人工幼龄林可采用处理 II 或处理 III 提高红松球果产量,提升林地经济收益。

**关键词:**红松;施肥;单株雌花数量;单株结实量;结实株率

## Influence of Fertilization on Flowering and Fruiting of Young *Pinus koraiensis* Plantation of Lushuihe Forestry Limited Company

WANG Fang<sup>1</sup>, GUO Yinze<sup>2</sup>, ZHAO Jisheng<sup>3</sup>, WEI Wei<sup>4</sup>, WU Lin<sup>4</sup>, SUN Jifeng<sup>5</sup>

(1. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China; 2. College of Forestry and Grassland Science of Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 3. Key State-owned Forest Technology Service Center of Jilin Province, Changchun 130022, China; 4. Lushuihe Forestry Limited Company of Jilin Forest Industry Group, Baishan 134506, China; 5. Forestry and Grassland Bureau of Tongyu County, Baicheng 137299, China)

**Abstract:** Fertilization was the most effective measure to supplement nutrients for trees and promote flowering and fruiting. In this study, the 19-year-old *Pinus koraiensis* plantation in Qingshuihe Forest Farm of Lushuihe Forestry Limited Company of Jilin Forest Industry Group was taken as the material. Since 2021, the compound fertilizer of  $0 \text{ g}$  per plant (CK),  $500 \text{ g}$  per plant (I),  $750 \text{ g}$  per plant (II), and  $1\ 000 \text{ g}$  per plant (III) had been applied for three consecutive years. From 2022 to 2024, the number of female flowers per plant, the number of fruits per plant, and the fruiting rate of each treatment were investigated to explore the best fertilization treatment for promoting flowering and fruiting of *P. koraiensis* and increasing fruit yield. The results showed that except for the number of fruits per plant in 2022, the fertilization treatment had the significant effect on the number of female flowers per plant and the number of fruits per plant ( $P < 0.05$ ). The numbers of fe-

收稿日期:2025-09-24

基金项目:吉林省科技发展计划项目(20250202048NC)

第一作者:王芳(1988—),女,高级工程师,从事林木遗传育种方向研究,E-mail:fangwang614@126.com。

通信作者:赵吉胜(1971—),男,正高级工程师,从事林木育种方向研究,E-mail:zjs13596568677@sina.com。

male flowers per plant and the numbers of fruits per plant of treatment II and treatment III significantly increased. There were no significant differences in the number of female flowers per plant and the number of fruits per plant between treatment I and CK. The fruiting rates of treatment I and CK were relatively low, while those of treatment II and treatment III increased. The results of correlation analysis showed that the number of female flowers per plant in 2022 was significantly positively correlated with the number of fruits per plant in 2023, and the number of female flowers per plant in 2023 was significantly positively correlated with the number of fruits per plant in 2024. For the young *P. koraiensis* plantation of Lushuihe Forestry Limited Company, treatment II or treatment III could be adopted to increase the cones yield and improve the economic benefits of forest land.

**Keywords:** *Pinus koraiensis*; fertilization; number of female flowers per plant; number of fruits per plant; fruiting rate

松科植物普遍存在结实“大小年”现象,主要表现为果实产量在连续两年中呈现明显波动<sup>[1]</sup>。“大年”结果后消耗了树体大量的营养物质,导致翌年养分缺乏,影响开花结果,出现“小年”现象。结实周期性造成果实产量下降,且由于“大年”消耗树体大量营养,可能导致树体抗性减弱,病虫害频发,甚至影响树木寿命。研究表明,影响树木开花结实的内部物质主要是碳水化合物和矿质养分<sup>[2]</sup>。碳水化合物是林木营养生长和生殖生长的重要能量来源,为生长过程提供碳骨架,也可作为信号分子调控果实生长发育,其代谢可以促进果实养分积累与果实成熟<sup>[3]</sup>。矿质养分不仅影响果实品质,也影响果实产量<sup>[4]</sup>。施肥是林木生产中补充养分最有效的措施,可以促进林木碳水化合物和矿质养分的积累,有利于开花结实,实现高产和稳产,提高果实品质<sup>[5]</sup>。在白桦(*Betula platyphylla*)<sup>[6]</sup>、蒙古栎(*Quercus mongolica*)<sup>[7]</sup>、日本落叶松(*Larix kaempferi*)<sup>[8]</sup>等树种的施肥研究中发现,合理的施肥方案可快速补充树体的营养物质,促进花芽分化,增加结实数量,有效缓解“大小年”现象,显著提高结实稳定性。

红松(*Pinus koraiensis*)是松科松属常绿乔木,主要分布于我国东北长白山区以及小兴安岭,在俄罗斯、朝鲜和日本也有分布,被列为国家二级重点保护野生植物,具有极高的生态和经济价值<sup>[9, 10]</sup>。其松籽粒大、味美,含有丰富的营养物质,是优良的天然生态保健品<sup>[11, 12]</sup>。红松具有明显的结实周期性,“大小年”周期通常为3~6年,红松籽产量的不稳定严重影响红松林的经济效益。目前促进红松开花结实的方案包括嫁接结实性状优良的红松穗条、人工修剪、疏伐、喷施植物激素等<sup>[13-17]</sup>,而通过施肥增加树体养分、提高结实产量的研究较少。本研

究于2021年开始连续3年对19年生红松人工林施用无机复合肥料,并连续调查不同施肥量的红松单株雌花数量、单株结实量和结实株率,旨在确定不同施肥量对红松开花结实的影响,为提高红松籽产量提供重要参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

研究区位于吉林森工露水河林业有限公司清水河林场(中心位置地理坐标128°01' E、42°30' N),该区域属温带季风气候,海拔750 m,年平均气温2.9℃,年均日照时数2 398 h,年均降水量894 mm,土壤为暗棕壤。

### 1.2 试验材料

2007年5月对苗龄为S2-3(5年生实生苗,圃地生长2年后进行移栽,移栽后继续培育3年)的红松砧木进行嫁接,2008年5月定植,株行距3 m × 3 m,2016年6月开始陆续结实,2021年平均树高3.71 m、平均胸径5.49 cm。

### 1.3 试验方法

2021年开始,连续3年进行施肥试验,施无机复合肥料(沃夫特黑珍珠增效复合肥,沃夫特复合肥有限公司)。共4个处理,每个处理随机选取生长一致的30株红松,施肥量分别为0 g · 株<sup>-1</sup>(CK)、500 g · 株<sup>-1</sup>(处理I)、750 g · 株<sup>-1</sup>(处理II)和1 000 g · 株<sup>-1</sup>(处理III),施肥时间为7月中旬左右。在距离红松母树树干1.5 m处开环状沟,沟宽和深均为20 cm,将肥料均匀撒于沟内,然后覆土盖平。2022年开始,每年6月中旬调查记录各处理单株雌花数量,9月调查记录各处理结实植株数量及单株结实量(大塔数量)。

### 1.4 数据处理

数据采用Excel 2023和SPSS 28.0软件进

行处理和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 结实性状分析

2022—2024 年不同施肥处理下单株雌花数量和单株结实量方差分析见表 1,各结实性状的均值见表 2。

2022 年不同施肥处理下单株雌花数量差异显著 ( $P < 0.05$ ),单株结实量无显著差异 ( $P > 0.05$ )。处理 III 单株雌花数量最多,显著高于其他处理;处理 II 单株雌花数量居中,显著高于处理 I 和 CK;处理 I 与 CK 无显著差异。单株结实量为处理 II > 处理 I > CK > 处理 III。

2023 年不同施肥处理下单株雌花数量差异极显著 ( $P < 0.01$ ),单株结实量差异显著 ( $P < 0.05$ )。处理 II 单株雌花数量最多,显著

高于其他处理;处理 III 单株雌花数量居中,显著高于处理 I 和 CK;处理 I 与 CK 无显著差异。处理 III 单株结实量最大,显著高于其他处理;处理 II 单株结实量居中,显著高于处理 I 和 CK;处理 I 与 CK 无显著差异。

2024 年不同施肥处理下单株雌花数量差异显著 ( $P < 0.05$ ),单株结实量差异极显著 ( $P < 0.01$ )。处理 II 单株雌花数量和单株结实量最多,显著高于其他处理;处理 III 单株雌花数量和单株结实量居中,显著高于处理 I 和 CK;处理 I 与 CK 无显著差异。

2022 年各处理的结实株率最大,为 35.87%~43.95%;2023 年各处理的结实株率最小,为 6.13%~29.74%;2024 年各处理的结实株率居中,为 21.35%~29.72%。处理 II 和处理 III 的结实株率较高,处理 I 和 CK 的结实株率较低。

表 1 方差分析

Tab. 1 Analysis of Variance

年份	性状	自由度	均方	F 值	显著性 P
2022	单株雌花数量	3	4.989	2.213	0.035
	单株结实量	3	8.681	0.931	0.425
2023	单株雌花数量	3	45.542	5.065	0.002
	单株结实量	3	6.146	3.720	0.011
2024	单株雌花数量	3	2.982	1.705	0.012
	单株结实量	3	42.814	4.610	0.003

表 2 红松结实性状的均值

Tab. 2 Means of reproductive traits of *P. koraiensis*

施肥处理	2022 年			2023 年			2024 年		
	单株雌花数量/个	单株结实量/个	结实株率/%	单株雌花数量/个	单株结实量/个	结实株率/%	单株雌花数量/个	单株结实量/个	结实株率/%
CK	0.20 c	1.62 a	35.87	0.80 c	0.19 c	7.32	0.87 c	0.66 c	21.56
处理 I	0.22 c	1.68 a	35.87	0.89 c	0.14 c	6.13	0.90 c	0.70 c	21.35
处理 II	0.47 b	1.85 a	43.95	1.57 a	0.40 b	12.33	1.89 a	1.52 a	29.72
处理 III	0.68 a	1.34 a	36.31	1.04 b	0.64 a	29.74	1.13 b	0.95 b	23.18

### 2.2 单株雌花数量和单株结实量的相关分析

单株雌花数量和单株结实量的相关分析结果见表 3。2022 年单株雌花数量与 2023 年单株雌花数量 (0.667) 和 2023 年单株结实量 (0.688) 呈极显著正相关,与 2024 年单株雌花数量 (0.053) 呈显著正相关;2023 年单株雌花

数量与 2023 年单株结实量 (0.626) 和 2024 年单株结实量 (0.555) 呈极显著正相关,与 2024 年单株雌花数量 (0.052) 呈显著正相关;2024 年单株雌花数量与 2024 年单株结实量呈极显著正相关 (0.811)。

表 3 红松结实性状的相关分析

Tab. 3 Correlation analysis of fruiting traits of *P. koraiensis*

性状	2022 年单株 结实量	2023 年单株 雌花数量	2023 年单株 结实量	2024 年单株 雌花数量	2024 年单株 结实量
2022 年单株雌花数量	0.039	0.667**	0.688**	0.053*	0.037
2022 年单株结实量		-0.034	-0.024	-0.031	-0.017
2023 年单株雌花数量			0.626**	0.052*	0.555**
2023 年单株结实量				0.034	0.035
2024 年单株雌花数量					0.811**

注:\*\*表示相关性在 0.01 水平上显著;\*表示表示相关性在 0.05 水平上显著。

### 3 讨论

施肥可以促进红松花芽分化,提高开花株率与开花数量,增加结实量<sup>[18, 19]</sup>,然而不同的施肥量对红松开花结实的促进效果存在差异。李树国等<sup>[20]</sup>以牡丹江青梅林场 25 年生红松人工幼龄林为对象,采用不同剂量的 3 种肥料(N 肥、P 肥、K 肥)进行施肥处理,探究施肥对开花结实的影响规律。结果表明,施用 N 肥效果最明显、P 肥次之、K 肥效果不明显,施肥量越高增产效果越明显,得出最佳的施肥组合是 N 肥 0.60 kg·株<sup>-1</sup>、P 肥 0.30 kg·株<sup>-1</sup>。孙文生等<sup>[21]</sup>研究了在红松无性系幼龄种子园中施 N 肥、P 肥、K 肥对种子园幼龄母树结实效果的影响,每种肥料施肥量设置 4 个水平,结果显示采用不同的施肥组合红松母树结实效果差异显著,0.40 kg·株<sup>-1</sup>N 肥、0.20 kg·株<sup>-1</sup>P 肥、0.15 kg·株<sup>-1</sup>K 肥是促进红松母树结实的最优组合。

本研究中,2021—2023 年连续施肥使 2022—2024 年的单株雌花数量和单株结实量在不同施肥处理间差异显著(2022 年单株结实量除外),且 750 g·株<sup>-1</sup>和 1 000 g·株<sup>-1</sup>的施肥处理下,单株雌花数量和单株结实量较大,均显著高于 500 g·株<sup>-1</sup>施肥和 CK。本研究中 750 g·株<sup>-1</sup>和 1 000 g·株<sup>-1</sup>的施肥处理可提高红松的结实株率,这主要是由于植物无论生殖生长还是营养生长都需要大量的营养供给,合理的施肥可以满足植物生长的养分需求,提高结实株率<sup>[22, 23]</sup>。

红松的球果从花芽分化到成熟,需要经过

2 个生长季节。第一年完成授粉和受精,球果初步形成,第二年球果继续生长,最终成熟并释放种子。因此 2022 年调查记录的单株球果是 2021 年 6 月雌花授粉发育而来的,此时还没有进行施肥,导致 2022 年不同施肥处理间的单株结实量差异不显著。红松的球果发育过程也验证了相关分析结果,即 2022 年单株雌花数量与 2023 年单株结实量、2023 年单株雌花数量与 2024 年单株结实量均呈极显著正相关,且相关系数较大。红松的结实周期为 3~6 年,本研究是根据连续 3 年的施肥数据得出的结果,后续需要继续施肥,并跟踪调查分析,进一步研究完整结实周期内红松对施肥的响应。

### 参考文献

- [1]张金虎. 红松人工林结实的密度效应及其周期结实模型的建立[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
- [2]Sala A, Hopping K, McIntire E J B, et al. Mast ing in whitebark pine (*Pinus albicaulis*) depletes stored nutrients[J]. *New Phytologist*, 2012, 196(1): 189-199.
- [3]Durán-Soria S, Pott D M, Osorio S, et al. Sugar signaling during fruit ripening[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: 564917.
- [4]周卫, 艾超, 易可可. 新阶段植物营养学的研究重点[J]. *植物营养与肥料学报*, 2024, 30(7): 1243-1252.
- [5]Okba S K, Mazrou Y, Elmenofy H M, et al. New insights of potassium sources impacts as foliar application on 'canino' apricot fruit yield, fruit anatomy, quality and storability[J]. *Plants*, 2021, 10(6): 1163. (下转第 48 页)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.01.002

文章编号:1005-7129(2026)01-0005-06 中图分类号:S792.113 文献标识码:A

## 干旱胁迫下大青杨转录组研究分析

赵佳丽<sup>1</sup>, 赵冷冰<sup>2</sup>, 杨子仁<sup>3</sup>, 樊巍<sup>4</sup>, 葛丽丽<sup>5</sup>, 邹建军<sup>1</sup>

(1. 吉林省林业科学研究院, 吉林 长春 130033; 2. 吉林省林业工作总站, 吉林 长春 130022; 3. 扶余市林业和草原局, 吉林 松原 131200; 4. 长春市净月潭实验林场, 吉林 长春 130117; 5. 吉林森工临江林业有限公司, 吉林 白山 134600)

**摘要:**本研究基于高通量 RNA-Seq 技术,对干旱胁迫条件下的大青杨进行转录组测序,并运用生物信息学方法系统分析了差异表达基因及其富集代谢通路。结果表明,对照 vs 中度干旱与对照 vs 重度干旱 2 组之间存在 2 382 个重叠的差异表达基因,这些基因可能是响应干旱胁迫的关键候选基因。GO 分类注释显示,这些重叠的差异表达基因主要富集于细胞过程、代谢过程、细胞解剖学实体、结合及催化活性等。KEGG 注释分析显示,这些重叠的差异表达基因主要参与代谢途径、次级代谢物生物合成、碳代谢、植物激素信号转导、淀粉与蔗糖代谢等。本研究通过系统分析筛选出大青杨响应干旱胁迫关键基因 PYL(Cluster-22342.2 与 Cluster-28537.0),为进一步解析其抗旱分子机制及开展抗旱分子育种提供了理论依据。

**关键词:**大青杨;干旱胁迫;转录组;差异表达基因

## Transcriptome Analysis of *Populus ussuriensis* under Drought Stress

ZHAO Jiali<sup>1</sup>, ZHAO Lengbing<sup>2</sup>, YANG Ziren<sup>3</sup>, FAN Wei<sup>4</sup>, GE Lili<sup>5</sup>, ZOU Jianjun<sup>1</sup>

(1. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China; 2. Forestry Work Station of Jilin Province, Changchun 130022, China; 3. Forestry and Grassland Bureau of Fnyu City, Songyan 131200, China; 4. Jingyuetan Experimental Forest Farm of Changchun City, Changchun 130117, China; 5. Linjiang Forestry Limited Company of Jilin Forest Industry Group, Baishan 134600, China)

**Abstract:** Based on deep RNA-Seq technology, the transcriptome sequencing of *Populus ussuriensis* under different drought stress conditions was conducted and the differentially expressed genes and their enriched metabolic pathways were systematically analyzed by bioinformatics methods in this paper. The results showed that there were 2 382 overlapping differentially expressed genes between control group vs moderate stress group and control group vs severe stress group. Those might be key candidate genes in response to drought stress. GO classification annotation showed that these overlapping differentially expressed genes were mainly enriched in cellular process, metabolic process, cellular anatomical entity, binding and catalytic activity. KEGG annotation analysis revealed that the differentially expressed genes were mainly involved in metabolic pathway, secondary metabolite biosynthesis, carbon metabolism, plant hormone signal transduction, starch and sucrose metabolism. The key genes PYL (Cluster-22342.2 and Cluster-28537.0) of *Populus ussuriensis* responding to drought stress were screened by systematic analysis. That would provide the theoretical basis for further analyzing its molecular mechanism of drought resistance and conducting molecular breeding of drought resistance.

**Keywords:** *Populus ussuriensis*; drought stress; transcriptome; differentially expressed genes

收稿日期:2025-09-25

基金项目:吉林省自然科学基金项目(YDZJ202201ZYTS438)

第一作者:赵佳丽(1990—),女,助理研究员,主要从事林木育种与遗传改良研究,E-mail:Zhaojl\_1990@126.com。

通信作者:邹建军(1977—),男,研究员,主要从事林木育种与遗传改良研究,E-mail:lkyzjj@126.com。

干旱胁迫是自然界最主要的非生物胁迫之一,严重制约着植物的生长发育<sup>[1]</sup>,干旱导致森林生产力下降甚至树木大规模死亡的相关报道日趋增多<sup>[2]</sup>。减少干旱胁迫对植物的危害,更好地了解植物对干旱胁迫的响应已成为当前研究热点<sup>[3]</sup>。植物响应干旱应答是一个高度复杂的过程,响应基因能够识别各种胁迫和刺激信号,从而激活相应信号转导途径上的基因转录调控<sup>[4]</sup>。*SnRK2.6* 作为植物抗旱信号通路中的关键激酶已被广泛研究,其不仅参与多个干旱响应基因的表达调控,还影响离子通道的活性及多种代谢,在植物应对水分胁迫过程中发挥核心作用<sup>[5]</sup>。研究表明,转录因子在植物抗旱调控过程中发挥关键作用,番茄中的 *SlbHLH96* 通过激活抗氧化剂合成、ABA 信号转导及胁迫相关蛋白编码基因的表达显著增强植株的耐旱性,起正向调控作用<sup>[6]</sup>。大麦过表达 *HvMYB1* 可通过提升相对含水量、降低失水率和气孔导度进而增强抗旱性<sup>[7]</sup>。

大青杨(*Populus ussuriensis*) 是东北山区主要造林树种之一,具有生长快、树干通直、木材轻软等特点。作为少数能够适应高寒山区环境的杨树品种,其不仅具有重要的经济价值,在维持区域生态平衡方面也发挥着关键作用<sup>[8]</sup>。本研究利用 RNA-seq 技术,对不同干旱胁迫处理下的大青杨进行转录组测序,通过分析差异表达基因、探讨其生物学功能及代谢通路富集情况,筛选出大青杨响应干旱胁迫关键基因,旨在从转录层面解析大青杨的抗旱机制,并为抗旱分子育种提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究所用植物材料为吉林省林业科学研究院选育的大青杨品种‘松江 36 号杨’,将当年生扦插苗定植于花盘中,栽培基质由泥炭土与蛭石按 1:1(体积比)混合配制,每盆定植 1 株。经 2 个月缓苗后,选取长势一致、生长状况良好的 15 株幼苗用于后续干旱处理,对照组、中度干旱组和重度干旱组每组 5 株。对照组土壤相对含水量维持在 75%~85%,中度干旱组控制在 45%~55%,重度干旱组控制在 15%~25%。处理 10 d 后,分别采集各组植株顶端茎尖第 4—7 片完整成熟叶片,经液氮速冻后,转

移至-80℃超低温冰箱保存,用于后续转录组测序分析(3次生物学重复)。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 RNA 提取与 cDNA 文库构建

供试样品采用 TRIzol 试剂提取总 RNA。通过琼脂糖凝胶电泳分析 RNA 降解及污染情况,采用 Qubit 4.0 荧光计、MD 酶标仪、Qsep 400 生物分析仪测量 RNA 浓度和完整性,检测合格后进行 cDNA 文库构建。

通过 Oligo(dT) 磁珠富集带有 polyA 尾的 mRNA,随后加入 Fragmentation buffer 将 RNA 打断成短片段,以短片段 RNA 为模板,用六碱基随机引物合成第一链 cDNA,加入缓冲液、dNTPs 和 DNA polymerase I 合成第二链 cDNA,利用 DNA 纯化磁珠纯化双链 cDNA。纯化的双链 cDNA 再进行末端修复、加 polyA 尾并连接测序接头,用 DNA 纯化磁珠进行片段大小选择,最后进行 PCR 富集构建 cDNA 文库并准确定量完成库检。

#### 1.2.2 转录组测序与组装

cDNA 文库检测合格后,使用 Illumina 平台进行转录组高通量测序(武汉迈维代谢生物科技股份有限公司)。将测序获得的原始数据过滤后进行测序错误率、GC 含量检查,获得后续分析使用的高质量 Clean reads。利用 Trinity 拼接得到的转录组序列作为 Unigene 进行后续分析<sup>[9]</sup>。使用 BLASTX 软件将 Unigene 序列与 KEGG、NR、Swiss-Prot、GO、COG/KOG、TrEMBL 数据库比对,预测 Unigene 的氨基酸序列之后使用 HMMER 软件与 Pfam 数据库比对,获得 Unigene 的注释结果<sup>[10]</sup>。

#### 1.2.3 差异表达基因筛选与分析

将组装后的转录组使用 Bowtie2 软件与参考基因组进行对比,利用 RSEM 软件对转录组进行表达量分析。利用 DESeq2 进行样品间的差异表达分析获得差异表达基因集<sup>[11]</sup>。差异分析后,采用 Benjamini-Hochberg 方法对假设检验得到的 *P* 值经 FDR 进行多重假设检验校正,差异基因的筛选条件为  $|\log_2 \text{Fold Change}| \geq 1$ ,且  $\text{FDR} < 0.05$ <sup>[12, 13]</sup>。

基因通过其产物在通路中协同作用以执行生物学功能,对差异表达基因进行功能注释及通路富集分析是阐释其生物学功能及其背后分子机制的关键步骤。将筛选得到的差异表达基

因在不同数据库中进行注释<sup>[14-17]</sup>,获得差异基因分类及富集通路。

## 2 结果与分析

### 2.1 转录组测序数据组装及注释结果

采用 Illumina 测序平台对不同于旱胁迫条件下的大青杨进行转录组测序。经过原始数据过滤,获得高质量 Clean reads 的平均长度为

44 757 147 bp。过滤后数据的 Q20(碱基质量值 $\geq 20$ )均达 98 %以上,Q30(碱基质量值 $\geq 30$ )均高于 94 %,GC 含量为 43.75 %~44.51 %,以上结果表明样品测序质量良好(见表 1)。经序列组装共得到 80 352 个 Unigenes,其中 71 556 个获得注释信息。在各类注释数据库中,NR 数据库注释到的基因数量最多(见表 2),共涵盖 71 110 个序列(占 88.50 %)。

表 1 大青杨转录组测序数据

Tab. 1 Transcriptome sequencing data of *Populus ussuriensis*

样本	原始数据 reads/bp	过滤后数据 reads/bp	测序错误率/%	Q20/%	Q30/%	GC/%
对照-1	47 605 136	46 157 008	0.02	98.30	94.75	44.51
对照-2	48 524 350	47 074 294	0.02	98.31	94.76	44.10
对照-3	49 139 966	47 683 256	0.02	98.31	94.75	44.23
中度干旱-1	45 855 656	44 641 698	0.02	98.31	94.75	44.11
中度干旱-2	47 158 886	45 837 404	0.02	98.09	94.36	44.12
中度干旱-3	43 580 712	42 210 484	0.03	98.03	94.18	44.24
重度干旱-1	45 261 338	43 644 126	0.03	98.00	94.12	43.75
重度干旱-2	44 055 632	42 582 584	0.03	98.03	94.18	43.88
重度干旱-3	44 261 058	42 983 470	0.03	98.00	94.09	43.82

表 2 Unigene 注释结果

Tab. 2 Unigene functional annotation of *Populus ussuriensis*

数据库名称	Unigene 数量/个	占比/%
KEGG	52 045	64.77
NR	71 110	88.50
Swiss-Prot	51 993	64.71
TrEMBL	69 871	86.96
KOG	40 938	50.95
GO	61 257	76.24
Pfam	49 175	61.20

### 2.2 不同干旱胁迫条件下差异表达基因

对不同于旱胁迫条件下的差异表达基因进行分析,对照 vs 中度干旱、对照 vs 重度干旱及中度干旱 vs 重度干旱 3 组比较如图 1 所示。对照 vs 重度干旱差异表达基因数量最多,共 7 772 个,其中上调基因 3 077 个,下调基因 4 695 个;对照 vs 中度干旱共有 3 840 个差异表达基因,包括 1 726 个上调基因和 2 114 个下

调基因;中度干旱 vs 重度干旱差异基因数量最少,为 746 个,其中上调基因 192 个,下调基因 554 个。对照 vs 中度干旱与对照 vs 重度干旱 2 组之间存在 2 382 个重叠的差异表达基因,其中上调基因 1 588 个,下调基因 794 个,这些基因可能是响应干旱胁迫的关键候选基因,后续对其进行注释分析。



表 3 差异表达基因 KEGG 功能注释

Tab. 3 KEGG functional annotation of differentially expressed genes

KEGG 通路	通路 ID	差异表达基因数量/个
代谢途径	ko01100	722
次级代谢物生物合成	ko01110	228
植物-病原体互作	ko04626	102
碳代谢	ko01200	90
植物激素信号转导	ko04075	86
氨基酸生物合成	ko01230	78
淀粉与蔗糖代谢	ko00500	74
植物 MAPK 信号通路	ko04016	71
辅因子生物合成	ko01240	66
糖酵解/糖异生	ko00010	60

### 3 结论与讨论

随着组学技术的迅速发展, RNA-seq 测序技术已成为研究热点, 目前已经在拟南芥、小麦、水稻、毛果杨等植物抗逆性研究中得到广泛应用<sup>[18-21]</sup>。本文基于高通量 RNA-seq 测序技术对不同干旱胁迫处理下的大青杨进行转录组测序分析, 获得质量较高的转录组。对照 vs 中度干旱与对照 vs 重旱 2 组之间存在 2 382 个重叠的差异表达基因, 这些基因可能是响应干旱胁迫的关键候选基因。GO 分类注释显示, 这些重叠的差异基因主要富集于细胞过程、代谢过程、细胞解剖学实体、结合及催化活性等。KEGG 注释分析显示, 这些重叠的差异基因主要参与代谢途径、次级代谢物生物合成、碳代谢、植物激素信号转导、淀粉与蔗糖代谢等, 与李文颖等<sup>[22]</sup> 研究结果相似, 这些聚类与通路是研究大青杨干旱胁迫的重要途径。

碳代谢对于维持植物正常生长与发育至关重要, 干旱胁迫会严重影响碳代谢过程, 从而显著抑制植物生长。淀粉和蔗糖作为植物体内两种最主要的碳水化合物, 参与渗透调节, 维持细胞水合状态, 从而有效缓解干旱引起的水分亏缺, 增强植物的抗旱能力和整体胁迫耐受性<sup>[23]</sup>。邱艳秋等<sup>[24]</sup> 对干旱胁迫下药菊的转录组分析表明, 淀粉和蔗糖代谢通路中的关键酶 UDP-葡萄糖基转移酶显著上调, 促进淀粉的转化与降解, 增加可溶性糖的积累, 从而有助于维持细胞渗透压平衡, 增强植株的耐旱性。朱凡等<sup>[25]</sup> 在对玉米花丝响应干旱胁迫的研究中

发现转化酶、淀粉合成相关酶类以及  $\beta$ -葡聚糖酶和  $\beta$ -葡萄糖苷酶基因显著下调, 这些关键基因的表达变化影响了淀粉合成与蔗糖分解代谢过程, 降低了植物抗旱性。本研究中, 干旱胁迫导致淀粉和蔗糖代谢途径中大部分差异表达基因如葡萄糖转移酶 (Cluster-20431.0)、 $\beta$ -淀粉酶 (Cluster-23645.0)、 $\beta$ -呋喃果糖苷酶 (Cluster-26975.1) 显著下调, 从而抑制了大青杨体内蔗糖与淀粉的正常合成与分解过程。

植物抗旱性受多种内源激素协同调控, 如脱落酸促进气孔关闭, 减少水分散失。已有研究表明, ABA 信号转导途径相关的功能基因在诱导气孔关闭与增强植物抗旱性中发挥关键作用<sup>[26, 27]</sup>。本研究在 ABA 信号通路中发现两个关键 PYL 基因 (Cluster-22342.2 与 Cluster-28537.0) 在干旱胁迫下显著上调, 其编码的受体蛋白与 ABA 结合后, 抑制 PP2C 蛋白 (Cluster-7176.2 与 Cluster-30081.1) 的活性, 从而解除对 SnRK2 的抑制作用, 激活 SnRK2 激酶 (Cluster-28050.6 与 Cluster-37814.4), 活化的 SnRK2 进一步磷酸化下游靶基因, 最终诱导气孔关闭, 减少水分流失, 增强大青杨的抗旱能力。

本研究采用转录组测序技术, 对大青杨在干旱胁迫条件下的差异表达基因进行了系统分析, 筛选出响应干旱胁迫的关键基因 PYL (Cluster-22342.2 与 Cluster-28537.0)。研究结果有助于深入解析大青杨的抗旱分子机制, 并为后续抗旱遗传改良与分子育种提供重要的理论依据。

## 参考文献

- [1]刘升学, 马爱芳, 秦峰, 等. 植物抗旱性研究进展[J]. 科学通报, 2025, 70(25): 4297-4314.
- [2]Laginha Pinto Correia D, Bouchard M, Filotas É, et al. Disentangling the effect of drought on stand mortality and productivity in northern temperate and boreal forests [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2019, 56(3): 758-768.
- [3]Choudhary A, Senthil-Kumar M. Drought: a context-dependent damper and aggravator of plant diseases[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2024, 47 (6): 2109-2126.
- [4]王凯悦, 陈芳泉, 黄五星. 植物干旱胁迫响应机制研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(2): 19-25.
- [5]Hasan M M, Liu X D, Waseem M, et al. ABA activated SnRK2 kinases: an emerging role in plant growth and physiology[J]. *Plant Signaling & Behavior*, 2022, 17(1): 2071024.
- [6]Liang Y F, Ma F, Li B Y, et al. A bHLH transcription factor, *SibHLLH96*, promotes drought tolerance in tomato [J]. *Horticulture Research*, 2022, 9: uhae198.
- [7]Alexander R D, Wendelboe-Nelson C, Morris P C. The barley transcription factor *HvMYB1* is a positive regulator of drought tolerance [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2019, 142: 246-253.
- [8]赵佳丽, 张志文, 徐亮, 等. 松江36号杨选育的研究[J]. 吉林林业科技, 2025, 54(4): 1-5, 35.
- [9]Grabherr M G, Haas B J, Yassonr M, et al. Full-length transcriptome assembly from RNA-Seq data without a reference genome[J]. *Nature Biotechnology*, 2011, 29: 644-652.
- [10]Buchfink B, Xie C, Huson D H. Fast and sensitive protein alignment using DIAMOND [J]. *Nature Methods*, 2015, 12: 59-60.
- [11]Love M I, Huber W, Anders S. Moderated estimation of fold change and dispersion for RNA-seq data with DESeq2[J]. *Genome Biology*, 2014, 15(12): 550.
- [12]Langmead B, Salzberg S L. Fast gapped-read alignment with bowtie 2[J]. *Nature Methods*, 2012, 9: 357-359.
- [13]Li B, Dewey C N. RSEM: accurate transcript quantification from RNA-Seq data with or without a reference genome[J]. *BMC Bioinformatics*, 2011, 12: 323.
- [14]Varet H, Brillet-Guéguen L, Coppée J Y, et al. SARTools: a DESeq2- and EdgeR-based R pipeline for comprehensive differential analysis of RNA-seq data[J]. *PLoS One*, 2016, 11(6): e0157022.
- [15]Ashburner M, Ball C A, Blake J A, et al. Gene Ontology: tool for the unification of biology[J]. *Nature Genetics*, 2000, 25(1): 25-29.
- [16]Tatusov R L, Galperin M Y, Natale D A, et al. The COG database: a tool for genome-scale analysis of protein functions and evolution [J]. *Nucleic Acids Research*, 2000, 28(1): 33-36.
- [17]Kanehisa M, Araki M, Goto S, et al. KEGG for linking genomes to life and the environment [J]. *Nucleic Acids Research*, 2008, 36: D480-D484.
- [18]Oh J E, Kwon Y, Kim J H, et al. A dual role for MYB60 in stomatal regulation and root growth of *Arabidopsis thaliana* under drought stress [J]. *Plant Molecular Biology*, 2011, 77: 91-103.
- [19]Yu Y, Yu M, Zhang S X, et al. Transcriptomic identification of wheat AP2/ERF transcription factors and functional characterization of TaERF-6-3A in response to drought and salinity stresses [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(6): 3272.
- [20]Jung S E, Kim T H, Shim J S, et al. Rice NAC17 transcription factor enhances drought tolerance by modulating lignin accumulation [J]. *Plant Science*, 2022, 323: 111404.
- [21]Tang S, Dong Y, Liang D, et al. Analysis of the drought stress-responsive transcriptome of black cottonwood (*Populus trichocarpa*) using deep RNA sequencing [J]. *Plant Molecular Biology Reporter*, 2015, 33: 424-438.
- [22]李文颖, 李晓宇, 杨成超. 盐碱胁迫下不同抗性杨树品种转录组分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2025, 45(2): 122-130.
- [23]张军, 赖铭, 陈佳, 等. 转录组学在植物响应干旱胁迫中的研究进展 [J]. 现代农业科技, 2023(12): 14-22.
- [24]邱艳秋, 陈嘉颖, 杨林立, 等. 干旱胁迫下药菊转录组分析[J]. 北方园艺, 2005(3): 9-17.
- [25]朱凡, 徐芷琪, 段雨洁, 等. 玉米花丝响应干旱胁迫的转录组学分析[J]. 华北农学报, 2024, 39(1): 37-47.
- [26]Dou L R, He K K, Peng J L, et al. The E3 ligase MREL57 modulates microtubule stability and stomatal closure in response to ABA [J]. *Nature Communications*, 2021, 12: 2181.
- [27]Huang B L, Li X, Liu P, et al. Transcriptomic analysis of *Eruca vesicaria* subs. *sativa* lines with contrasting tolerance to polyethylene glycol-simulated drought stress [J]. *BMC Plant Biology*, 2019, 19(1): 419.

(本篇专家编审:陶晶)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.01.003

文章编号:1005-7129(2026)01-0011-03 中图分类号:S791.223 文献标识码:A

## 干旱胁迫对日本落叶松苗木抗氧化酶活性的影响

谢元秀

(辽宁老秃顶子国家级自然保护区管理中心,辽宁 本溪 117000)

**摘要:**日本落叶松为我国东北地区的主要造林树种,在林业生产和生态建设领域发挥着重要作用。本文以日本落叶松 1 年生苗木为研究对象,探究土壤持续干旱胁迫对苗木 4 种抗氧化酶活性的影响。结果表明,处理组 CAT、POD、SOD、PPO 活性基本都高于对照组。本研究可为日本落叶松科学造林和干旱环境下栽培管理提供依据。

**关键词:**日本落叶松;干旱胁迫;抗氧化酶

## Effect of Drought Stress on Antioxidant Enzyme Activity of *Larix kaempferi* Seedlings

XIE Yuanxiu

(Liaoning Laotudingzi National Nature Reserve Management Center, Benxi 117000, China)

**Abstract:** *Larix kaempferi* was the main afforestation species in Northeast China and played an important role in forestry production and ecological construction. The one-year-old *Larix kaempferi* seedling was used as the research subject to explore the effects of continuous soil drought stress on the activities of four antioxidant enzymes in seedlings. The results showed that the activities of CAT, POD, SOD and PPO in the treatment group were basically higher than those in the control group. This study could provide the basis for scientific afforestation of *Larix kaempferi* and its cultivation management in the drought environment.

**Keywords:** *Larix kaempferi*; drought stress; antioxidant enzymes

正常条件下植物体内抗氧化酶彼此协调,受到生物胁迫和非生物胁迫会产生过量的活性氧,活性氧自由基浓度超过一定阈值会影响植物的正常生长,植物需动员整个防御系统以抵抗过氧化伤害<sup>[1,2]</sup>,防御系统中抗氧化酶的活性是控制伤害的决定因素。植物体内的抗氧化酶主要包括过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和多酚氧化酶

(PPO)等。日本落叶松(*Larix kaempferi*)为松科(Pinaceae)落叶松属(*Larix*)高大落叶乔木,原产于日本。1884年引种到我国,在我国北方地区林业生产和生态建设领域发挥着重要作用。本文以日本落叶松 1 年生苗木为研究对象,初步解析干旱胁迫对日本落叶松苗木 CAT、POD、SOD 和 PPO 4 种抗氧化酶活性的影响,为日本落叶松科学造林和干旱环境下栽培

收稿日期:2025-06-26

作者简介:谢元秀(1979—),女,工程师,主要从事野生动植物保护与利用方面的工作,E-mail:52380974@qq.com。

管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为1年生日本落叶松实生苗,2021年4月播种,2022年5月移植至40 cm × 40 cm的花盆中,期间保证苗木生长所需光照和水份充足。

### 1.2 试验设计

选择生长较为一致的盆栽苗进行试验,对照组继续正常管理,处理组则一直不浇水。每个处理10株苗木,重复3次。在处理的第0 d、5 d、10 d、15 d、20 d进行取样,取样时在每株苗木不同方位上摘取完整的针叶,充分混合均匀,每个重复摘取5 g鲜针叶即可,液氮冷冻,带回实验室保存,之后进行相关指标测定。

### 1.3 抗氧化酶活性测定

按照CAT、POD、SOD和PPO试剂盒(南京建成生物有限公司)说明书中的方法测定CAT、POD、SOD和PPO活性。

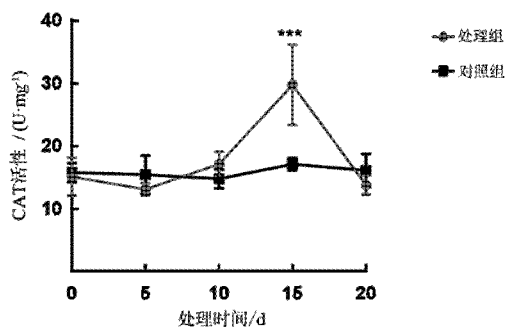
### 1.4 数据处理

数据采用Excel 2010进行处理,采用Graphpad Prism 7.0进行方差分析并绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 CAT活性变化

干旱胁迫对日本落叶松苗木CAT活性的影响如图1所示。



注:\*\*\*表示差异极显著( $P < 0.001$ )。

图1 干旱胁迫对日本落叶松苗木CAT活性的影响

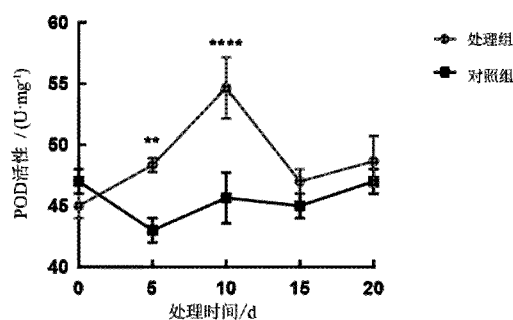
Fig. 1 Effect of drought stress on CAT activity of *Larix kaempferi* seedlings

处理组CAT活性呈“下降—上升—下降”的变化趋势,而对照组则表现较为平稳。处理0~5 d,处理组CAT活性小幅下降,5 d后开始

升高,第15 d达到峰值( $30 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ),峰值比对照组同期值高76.5%,二者差异达到极显著水平( $P < 0.001$ )。15~20 d又迅速下降,这可能是随着干旱胁迫程度的加深,苗木生长和代谢受到抑制,细胞活性也相应降低,导致CAT活性下降。处理10~20 d,处理组的CAT活性基本高于对照组。

### 2.2 POD活性变化

干旱胁迫对日本落叶松苗木POD活性的影响如图2所示。处理组POD活性呈现“上升—下降—上升”的变化趋势,而对照组总体呈“下降—上升”的趋势。处理组POD活性开始即持续上升,5 d达到 $48 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,比对照组同期值高11.6%,二者差异达到极显著水平( $P < 0.01$ );10 d达到峰值 $55 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,比对照组同期值高22.2%,二者差异达到极显著水平( $P < 0.0001$ )。10~15 d迅速下降,15~20 d小幅度上升。而对照组POD活性开始即下降,5 d达到低谷值( $43 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ),5~10 d上升,10~15 d较为平缓,随后小幅上升。整个处理过程中,处理组的POD活性基本高于对照组。



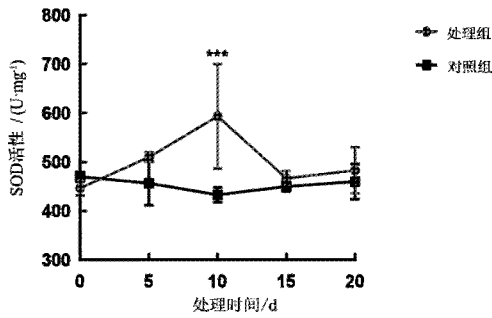
注:\*\*表示差异极显著( $P < 0.01$ );\*\*\*\*表示差异极显著( $P < 0.0001$ )。

图2 干旱胁迫对日本落叶松苗木POD活性的影响

Fig. 2 Effect of drought stress on POD activity of *Larix kaempferi* seedlings

### 2.3 SOD活性变化

干旱胁迫对日本落叶松苗木SOD活性的影响如图3所示。处理组SOD活性呈“上升—下降”的变化趋势,而对照组则是整体变化不大。处理组SOD活性开始即上升,10 d达到峰值 $600 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,比对照组同期值高33.3%,二者差异达到极显著性水平( $P < 0.001$ )。10~15 d急剧下降,15~20 d较为稳定。整个处理过程中,处理组的SOD活性基本高于对照组。

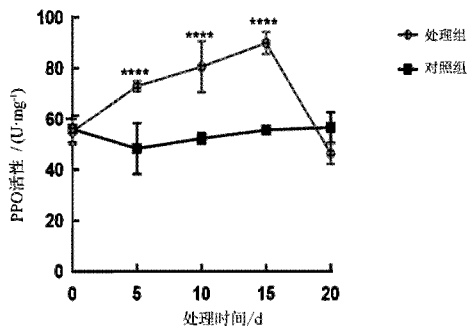


注:\*\*\*表示差异极显著( $P < 0.001$ )

图3 干旱胁迫对日本落叶松苗木 SOD 活性的影响  
Fig. 3 Effect of drought stress on SOD activity of *Larix kaempferi* seedlings

#### 2.4 PPO 活性变化

干旱胁迫对日本落叶松苗木 PPO 活性的影响如图 4 所示。处理组 PPO 活性呈“上升—下降”的趋势,而对照组则是“下降—上升”的趋势。处理组 PPO 活性开始即上升,5 d 达到  $76 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,比对照同期值高 52.0%,二者差异达到极显著水平( $P < 0.0001$ );10 d 达到  $80 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,比对照同期值高 53.8%,二者差异达到极显著水平( $P < 0.0001$ );15 d 达到峰值  $88 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$ ,比对照同期值高 66.0%,二者差异达到极显著水平( $P < 0.0001$ )。而对照组 PPO 活性 0~5 d 缓慢下降,5~20 d 缓慢上升。整个处理过程中,处理组的 PPO 活性基本高于对照组。



注:\*\*\*\*表示差异极显著( $P < 0.0001$ )

图4 干旱胁迫对日本落叶松苗木 PPO 活性的影响  
Fig. 4 Effect of drought stress on PPO activity of *Larix kaempferi* seedlings

### 3 结论与讨论

当植物生长发育阶段受到土壤干旱胁迫时,细胞内首先发生的变化就是大量活性氧堆积,随后植物体内的防御系统快速启动,清除多余的活性氧离子,弥补仅仅靠自身清除效率不足的问题<sup>[3,4]</sup>。抗氧化酶系统的响应规律可以直接反映植物受到环境胁迫后的自身变化与适应策略。本研究的结果与周欢欢等<sup>[5]</sup>的报道一致,当日本落叶松苗木受到土壤持续干旱胁迫时,其细胞内部的抗氧化酶活性普遍升高,而且整个处理过程中,处理组 CAT、SOD、POD、PPO 活性基本都高于对照组,这间接表明日本落叶松苗木在受到干旱胁迫时产生了过量的活性氧离子,其“第一时间”产生具有活性氧祛除能力的抗氧化酶,它们协同生效,共同祛除积累的活性氧,减轻活性氧堆积对其造成的伤害,使其适应干旱胁迫环境。

#### 参考文献

- [1] 崔婷茹, 于慧敏, 李会彬, 等. 干旱胁迫及复水对狼尾草幼苗生理特性的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(4): 788-793.
- [2] 代红军. 干湿变化与植物补偿效应的生理机制研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(32): 10222-10224.
- [3] Zhang Y, Zhong C L, Chen Y, et al. Improving drought tolerance of *Casuarina equisetifolia* seedlings by arbuscular mycorrhizas under glasshouse conditions [J]. *New Forests*, 2010, 40(3): 261-271.
- [4] 关春景, 焦孟月, 张彦妮. 8 个矮牵牛品种抗旱性综合评价分析 [J]. 西北林学院学报, 2018, 33(2): 62-69, 187.
- [5] 周欢欢, 傅卢成, 马玲. 干旱胁迫及复水对‘波叶金桂’生理特性的影响 [J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(4): 687-696.

(本篇专家编审:林士杰)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.01.004

文章编号:1005-7129(2026)01-0014-05 中图分类号:S792.186 文献标识码:A

## NaCl 胁迫对蒙古栎幼苗生长性状的影响

山昌林<sup>1</sup>, 于越<sup>2</sup>, 林蔚<sup>3</sup>, 程广有<sup>4</sup>

(1. 吉林省林业技术推广站, 吉林 长春 130022; 2. 新疆维吾尔自治区和田地区和田市吐沙拉镇人民政府, 新疆和田 848002; 3. 黑龙江省林业科学院齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161000; 4. 北华大学林学院, 吉林 吉林 132013)

**摘要:**对盆栽蒙古栎幼苗进行耐盐性胁迫试验,设计 5 个 NaCl 梯度,以盆土质量分数计,分别为 0、0.05%、0.10%、0.15%、0.20%。结果表明,0.20%NaCl 胁迫 1 周后、0.15%NaCl 胁迫 3 周后或者 0.10%NaCl 胁迫 5 周后,株高增长量显著低于对照。0.20%NaCl 胁迫条件下,新梢长度增长量显著低于对照。NaCl 胁迫下地下生物量显著低于对照,0.10%~0.20%NaCl 胁迫条件下,总生物量显著低于对照。

**关键词:**蒙古栎;NaCl 胁迫;生长性状;生物量

## Effect of NaCl Stress on Growth Traits of *Quercus mongolica* Seedlings

SHAN Changlin<sup>1</sup>, YU Yue<sup>2</sup>, LIN Wei<sup>3</sup>, CHENG Guangyou<sup>4</sup>

(1. Jilin Provincial Forestry Technology Popularizing Station, Changchun 130022, China; 2. People's Government of Tushalla Town in Hotan City of Hotan Prefecture in Xinjiang Uygur Autonomous Region, Hotan 848002, China; 3. Qiqihar Branch of Heilongjiang Academy of Forestry, Qiqihar 161000, China; 4. Forestry College of Beihua University, Jilin 132013, China)

**Abstract:** The potted *Quercus mongolica* seedlings were subjected to salinity stress. Five gradients of NaCl were designed, which were 0, 0.05%, 0.10%, 0.15% and 0.20% by mass fraction of the pot soil, respectively. The results showed that the height increment under 0.20% NaCl stress for 1 week or 0.15% NaCl stress for 3 weeks or 0.10% NaCl stress for 5 weeks was significantly lower than that of the control. The twig length increment under 0.20% NaCl stress was significantly lower than that of the control. The underground biomass under NaCl stress was significantly lower than that of the control. The total biomass under 0.10%~0.20% NaCl stress was significantly lower than that of the control.

**Keywords:** *Quercus mongolica*; NaCl stress; growth traits; biomass

蒙古栎(*Quercus mongolica*)属壳斗科栎属落叶乔木,树高可达 30 m,是我国东北林区主要次生林树种,所占比重约为 15%~20%<sup>[1]</sup>。

其根系发达,是较好的护坡、涵养水源树种,具有防止水土流失和改良土壤功能<sup>[2,3]</sup>。蒙古栎全身是宝,集用材、绿化、食用、药用、养蚕和栽

收稿日期:2025-11-11

基金项目:吉林省重点科技研发项目(20220202091NC)

第一作者:山昌林(1968—),男,正高级工程师,主要从事营林生产技术工作。

通信作者:程广有(1963—),男,教授,主要从事林木遗传育种研究工作,E-mail:cgy6868@sina.com。

培食用菌等功能于一身,是重要的生态经济型树种。培育蒙古栎人工林,既能增加优质蒙古栎木材产品,又可提高柞蚕、食用菌等间接产品供给能力。土壤盐分过高会影响植物生长,目前全球超过  $9 \times 10^8 \text{ hm}^2$  的土地受到盐分过高的影响,土壤盐渍化已成为威胁农业可持续发展的全球性问题。探讨蒙古栎耐盐性,对扩大该树种推广区域和带动相关产业发展具有重要的理论和实践意义。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为1年生蒙古栎幼苗,购自吉林森工集团临江林业有限公司望江楼苗圃,株高和地径基本一致,株高  $45 \pm 0.4 \text{ cm}$ ,地径  $4 \pm 0.3 \text{ mm}$ 。

盐分调节剂为天津市北联精细化学品开发有限公司生产的无水 NaCl(分析纯)。

### 1.2 试验方法

每个花盆栽植1株蒙古栎幼苗,花盆上口径19 cm,高17 cm,每个花盆内盛2 kg 基质(沙壤土+腐殖土,体积比为3:1),缓苗后进行胁迫试验。

NaCl 胁迫试验共设5个梯度(以干盆土质量分数计),分别为0(CK)、0.05%( $S_1$ )、0.10%( $S_2$ )、0.15%( $S_3$ )、0.20%( $S_4$ ),制成水溶液后浇入盆土中。每个处理15株重复,NaCl 处理后用塑料膜遮挡,防止过多雨水进入花盆改变NaCl含量。在处理后苗木生长期,2天浇水一次,用自来水适量浇灌,保证其水分充足,同时在每个试验植株花盆底下放置托盘,将浇灌时流到托盘中的水倒回盆中,防止盆土中的盐分流失。

### 1.3 生长调查

#### 1.3.1 生长性状测定

分别于处理后1周、3周、5周,用直尺和游标卡尺等工具对蒙古栎幼苗的株高、地径、新梢长度、叶片长度、叶片宽度进行测量。

#### 1.3.2 生物量测定

生长季节结束后,拔出植株,每个处理随机选取3株幼苗,用自来水清洗干净。将幼苗的茎叶与根系分开,分别称量其地上部分和地下部分鲜重;再将上述材料放入干燥箱内,先105℃杀青35 min,再80℃烘干至恒重,冷却后分别称量地上部分和地下部分干重。

### 1.4 数据处理

试验数据利用 Excel 2007 和 SAS 9.4 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 NaCl 胁迫对株高的影响

蒙古栎幼苗在 NaCl 胁迫下,植株高生长受到抑制(见图1)。NaCl 胁迫时间相同时,随着 NaCl 质量分数的增加,株高增长量呈下降趋势。

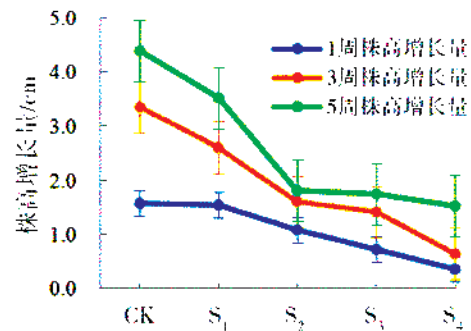


图1 NaCl 胁迫下幼苗株高增长量

Fig. 1 Height increments of seedlings under NaCl stress

方差分析结果表明不同 NaCl 质量分数间株高增长量差异显著,多重比较结果见表1。NaCl 处理1周,NaCl 质量分数达到0.20%时,株高增长量与对照差异显著。NaCl 处理3周,NaCl 质量分数达到0.15%时,株高增长量与对照差异极显著;NaCl 处理5周,NaCl 质量分数达到0.10%时,株高增长量与对照差异极显著。蒙古栎株高生长对 NaCl 的敏感性随着胁迫时间延长而加重,胁迫时间相同时 NaCl 质量分数越高抑制越明显。延长 NaCl 处理时间和加大 NaCl 质量分数,对蒙古栎株高增长量有同样的抑制效果。

表 1 NaCl 胁迫下幼苗株高增长量多重比较

Tab. 1 Multiple comparison of height increments of seedlings under NaCl stress

处理	处理后 1 周			处理后 3 周			处理后 5 周		
	均值/cm	差异显著性		均值/cm	差异显著性		均值/cm	差异显著性	
		0.05	0.01		0.05	0.01		0.05	0.01
CK	1.58	a	A	3.34	a	A	4.38	a	A
S <sub>1</sub>	1.55	a	A	2.6	ab	AB	3.51	ab	AB
S <sub>2</sub>	1.08	ab	A	1.61	abc	AB	1.81	b	B
S <sub>3</sub>	0.72	ab	A	1.41	bc	B	1.75	b	B
S <sub>4</sub>	0.36	b	A	0.64	c	B	1.52	b	B

2.2 NaCl 胁迫对地径的影响

蒙古栎幼苗地径受 NaCl 抑制的程度小于株高,不同质量分数 NaCl 胁迫下,地径增长量呈先升高后降低的趋势(见图 2)。NaCl 质量分数为 0.05 % 时,地径增长量较大;NaCl 质量分数为 0.10 % 时,地径增长量开始下降;NaCl 质量分数为 0.20 % 时,地径增长量下降幅度最大。方差分析结果表明,不同 NaCl 胁迫之间地径增长量差异不显著。

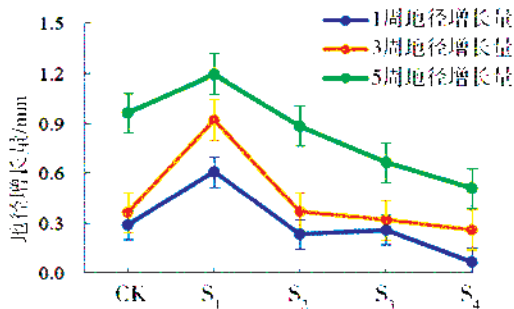


图 2 NaCl 胁迫下幼苗地径增长量

Fig. 2 Ground diameter increments of seedlings under NaCl stress

表 2 NaCl 胁迫下幼苗新梢长度增长量多重比较

Tab. 2 Multiple comparison of twig length increments of seedlings under NaCl stress

处理	处理后 1 周			处理后 3 周			处理后 5 周		
	均值/cm	差异显著性		均值/cm	差异显著性		均值/cm	差异显著性	
		0.05	0.01		0.05	0.01		0.05	0.01
CK	0.46	a	A	0.55	a	A	0.95	a	A
S <sub>1</sub>	0.32	ab	A	0.45	ab	A	0.92	ab	A
S <sub>2</sub>	0.32	ab	A	0.41	ab	A	0.85	ab	A
S <sub>3</sub>	0.17	bc	A	0.37	ab	A	0.73	bc	A
S <sub>4</sub>	0.12	c	A	0.33	b	A	0.63	c	A

2.3 NaCl 胁迫对新梢生长的影响

蒙古栎幼苗在 NaCl 胁迫下,植株新梢生长受到抑制(见图 3)。NaCl 胁迫时间相同时,随着 NaCl 质量分数的增加,新梢长度增长量总体呈下降趋势。

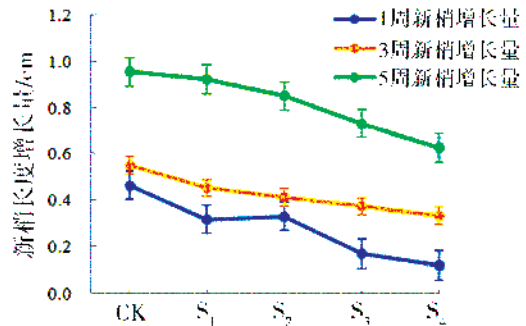


图 3 NaCl 胁迫幼苗新梢长度增长量

Fig. 3 Twig length increments of seedlings under NaCl stress

方差分析结果表明,不同 NaCl 质量分数间蒙古栎新梢长度增长量差异显著。多重比较结果表明,NaCl 质量分数为 0.20 % 时,新梢增长量与对照差异达到显著水平(见表 2)。

## 2.4 NaCl 胁迫对叶片长度的影响

NaCl 胁迫条件下蒙古栎叶片长度受到抑制,随着 NaCl 质量分数增加叶片长度增长量呈先升高后降低的趋势(见图 4)。不同 NaCl 质量分数间叶片长度增长量差异不显著。

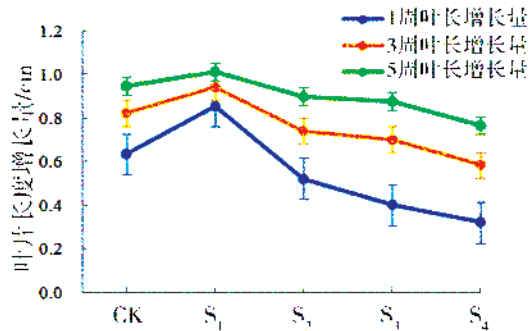


图 4 NaCl 胁迫下幼苗叶片长度增长量

Fig. 4 Leaf length increments of seedlings under NaCl stress

## 2.5 NaCl 胁迫对叶片宽度的影响

在 NaCl 胁迫下,蒙古栎叶片宽度增长量呈

先升高后降低的趋势(见图 5)。NaCl 质量分数为 0.05 % 时,叶片宽度增长量最大,之后急剧下降,然后趋于稳定。

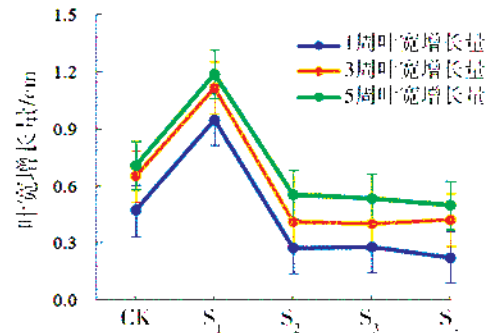


图 5 NaCl 胁迫下幼苗叶片宽度增长量

Fig. 5 Leaf width increments of seedlings under NaCl stress

方差分析结果表明不同 NaCl 质量分数之间叶片宽度增长量差异极显著,多重比较结果见表 3。

表 3 NaCl 胁迫下叶片宽度增长量多重比较

Tab. 3 Multiple comparison of leaf width increments of seedlings under NaCl stress

处理	处理后 1 周			处理后 3 周			处理后 5 周		
	均值/cm	差异显著性		均值/cm	差异显著性		均值/cm	差异显著性	
		0.05	0.01		0.05	0.01		0.05	0.01
CK	0.47	b	AB	0.65	b	AB	0.71	b	AB
S <sub>1</sub>	0.95	a	A	1.12	a	A	1.19	a	A
S <sub>2</sub>	0.28	b	B	0.41	b	B	0.55	b	B
S <sub>3</sub>	0.28	b	B	0.4	b	B	0.53	b	B
S <sub>4</sub>	0.23	b	B	0.42	b	B	0.5	b	B

NaCl 质量分数达到 0.05 % 时,叶片宽度增长量最大,显著高于其他处理。NaCl 质量分数为 0.10 %~0.20 % 时,叶片宽度增长量与对照之间无显著差异。

## 2.6 NaCl 胁迫对生物量的影响

NaCl 胁迫条件下蒙古栎地上生物量、地下生物量与总生物量均呈下降趋势,总生物量下降的幅度略高于地上生物量和地下生物量(见图 6)。

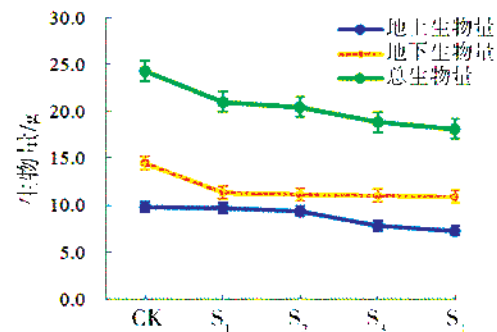


图 6 NaCl 胁迫下幼苗生物量

Fig. 6 Seedling biomass under NaCl stress

方差分析结果表明不同 NaCl 质量分数间蒙古栎地下生物量、总生物量差异达到显著水平,多重比较结果见表 4。NaCl 胁迫下,蒙古栎

地下生物量显著低于对照。NaCl 质量分数达到 0.10 % 时,总生物量显著低于对照。

表 4 NaCl 胁迫下幼苗各生物量多重比较

Tab. 4 Multiple comparison of young seedling biomass under NaCl stress

处理	地上生物量			地下生物量			总生物量		
	均值/g	差异显著性		均值/g	差异显著性		均值/g	差异显著性	
		0.05	0.01		0.05	0.01		0.05	0.01
CK	9.80	a	A	14.47	a	A	24.27	a	A
S <sub>1</sub>	9.69	a	A	11.33	b	A	21.02	ab	AB
S <sub>2</sub>	9.33	a	A	11.12	b	A	20.45	b	AB
S <sub>3</sub>	7.81	a	A	11.00	b	A	18.81	b	B
S <sub>4</sub>	7.27	a	A	10.87	b	A	18.14	b	B

### 3 讨论与小结

盐胁迫对植物苗期形态的影响较为显著,且不同部位受影响的程度不同<sup>[4]</sup>。有研究表明,随着盐胁迫程度的增加,植物株高降低、干物质质量减少、根长缩短、叶表面积减小<sup>[5-10]</sup>。本研究中,NaCl 胁迫条件下,蒙古栎幼苗株高、新梢生长受到抑制。0.20 % NaCl 胁迫 1 周后、0.15 % NaCl 胁迫 3 周后或者 0.10 % NaCl 胁迫 5 周后,株高增长量显著低于对照。0.20 % NaCl 胁迫条件下,新梢长度增长量显著低于对照。NaCl 胁迫下,蒙古栎地下生物量显著低于对照。0.10 % ~ 0.20 % NaCl 胁迫条件下,总生物量显著低于对照。

### 参考文献

[1] 许中旗, 王义弘. 蒙古栎研究进展[J]. 河北林果研究, 2002, 17(4): 365-370.  
 [2] Zhao H X, Wang C K, Liu B H. Growth of Mongolian oak [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 1994, 5(1): 10-17.  
 [3] 盖小刚. 林木根系固土力学特性研究[D]. 北京:

北京林业大学, 2013.

[4] 齐琪, 马书荣, 徐维东. 盐胁迫对植物生长的影响及耐盐生理机制研究进展[J]. 分子植物育种, 2020, 18(8): 2741-2746.  
 [5] 赵可夫, 范海. 盐生植物及其对盐渍生境的适应生理[M]. 北京: 科学出版社, 2005.  
 [6] 党培培, 李明宇, 赵喆, 等. 混合盐碱胁迫对地被菊寒露红生长的影响[J]. 广西植物, 2019, 39(2): 228-237.  
 [7] Bai Y N, Ren P, Feng P Y, et al. Shift in rhizospheric and endophytic bacterial communities of tomato caused by salinity and grafting[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 734: 139388.  
 [8] 曹磊, 陈伟楠, 胡增辉, 等. 盐碱胁迫对榉树幼苗生长与光合特性的影响[J]. 北京农学院学报, 2018, 33(4): 86-90.  
 [9] 胡华冉, 刘浩, 邓纲, 等. 不同盐碱胁迫对大麻种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(4): 61-68.  
 [10] 程广有, 唐晓杰, 董燕, 等. 杨树扦插苗耐盐性鉴定[J]. 延边农学院学报, 1996, 18(4): 212-217.

(本篇专家编审:陶晶)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.01.005

文章编号:1005-7129(2026)01-0019-05 中图分类号:S685.12 文献标识码:A

## 光环境处理对‘高山圣火’月季组培苗 增殖生长及生理特性的影响

陈爽<sup>1,2</sup>, 陈思羽<sup>2</sup>, 李岩<sup>2</sup>, 赵凡瑶<sup>3</sup>, 李晓光<sup>4</sup>, 陈士刚<sup>2</sup>

(1. 吉林农业大学林学与草学学院, 吉林 长春 130118; 2. 吉林省林业科学研究院, 吉林 长春 130033;  
3. 吉林森工红石林业有限公司, 吉林 吉林 132400; 4. 吉林省林木种苗管理站, 吉林 长春 130022)

**摘要:**为明确光环境处理对‘高山圣火’月季组培苗增殖生长和生理特性的影响,以无菌茎段为外植体,在组培增殖培养过程中设置 6 种不同光环境处理,分析光环境处理对组培苗增殖系数、超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量及玉米素核苷(ZR)含量的影响。结果表明,光环境处理对‘高山圣火’月季组培苗的增殖性状和生理指标均产生显著影响( $P < 0.05$ )。红光 1 蓝光 1 每日补光 12 h 处理下组培苗增殖系数最高,同时具有较高的 SOD 活性和 ZR 含量以及较低的 MDA 含量,说明该处理提高了‘高山圣火’月季组培苗对活性氧的解毒能力,减轻了细胞膜受氧化损伤程度,提高了内源激素 ZR 含量,是‘高山圣火’月季组培苗增殖的较佳光环境条件。

**关键词:**现代月季;组织培养;光环境;增殖

## Effects of Light Environment Treatments on the Proliferation and Physiological Characteristics of Tissue Culture *Rosa hybrida* ‘Alpine flame’ Seedlings

CHEN Shuang<sup>1,2</sup>, CHEN Siyu<sup>2</sup>, LI Yan<sup>2</sup>, ZHAO Fanyao<sup>3</sup>, LI Xiaoguang<sup>4</sup>, CHEN Shigang<sup>2</sup>

(1. College of Forestry and Grassland Science of Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China; 3. Hongshi Forestry Limited Company of Jilin Forest Industry Group, Jilin 132400, China; 4. Forest Seedling Management Station of Jilin Province, Changchun 130022, China)

**Abstract:** In order to clarify the effects of light environment treatments on the growth and physiological characteristics of tissue culture *Rosa hybrida* ‘Alpine flame’ seedlings during the proliferation stage, six different light environment treatments were set up during the proliferation culture stage by using sterile stem segments as explants. The effects of these treatments on the proliferation coefficient, superoxide dismutase (SOD) activity, malondialdehyde (MDA) content and zeatin riboside (ZR) content of tissue culture seedlings were analyzed. The results showed that light environment treatments had significant

收稿日期:2025-10-28

基金项目:吉林省科技发展计划项目农业关键技术研发项目(2024030390NC)

作者简介:陈爽(1998—),女,在读硕士研究生,主要从事林业方面研究,E-mail:c2421686458@sina.com。

通信作者:陈士刚(1976—),男,研究员,硕士研究生,主要从事林木遗传育种方面的研究,E-mail:chensga@126.com。

effects on the proliferation traits and physiological indicators ( $P < 0.05$ ). Under the treatment with the blue and red photon flux ratio of 1 : 1 for supplementing light 12 h daily, the proliferation coefficient was highest, the SOD activity and ZR content were higher, and the MDA content was lower. That indicated that the treatment improved the detoxification ability of tissue culture seedlings to reactive oxygen, reduced the degree of oxidative damage to cell membranes, and increased the endogenous hormone ZR content. The treatment with the blue and red photon flux ratio of 1 : 1 for supplementing light 12 h daily was the optimal light environment condition for the proliferation of tissue culture *Rosa hybrida* 'Alpine flame' seedlings.

**Keywords:** *Rosa hybrida*; tissue culture; light environment; proliferation

现代月季 (*Rosa hybrida*) 是蔷薇科 (Rosaceae) 蔷薇属 (*Rosa*) 灌木或藤本植物, 被誉为“花中皇后”, 在众多名花中占据重要地位<sup>[1]</sup>。‘高山圣火’月季 (*Rosa hybrida* ‘Alpine flame’) 由吉林省林业科学研究院从新疆维吾尔自治区石河子市引进并筛选而来, 是耐寒性突出、花量丰沛的现代月季品种。然而, 其常规扦插繁殖效率受母株数量、季节与环境条件限制, 难以满足快速扩繁的需求。植物组织培养增殖效率高、周期短、不受季节限制, 已成为多种花卉尤其是月季的重要快繁途径<sup>[2]</sup>。其中, 增殖阶段是决定生产效率的关键环节, 明确调控因素对于构建稳定、高效的快繁体系至关重要。

光环境是调控组培苗生长的重要外界信号, 不同光环境处理可显著影响植物体外培养过程中芽的形成<sup>[3, 4]</sup>, 光环境变化还可能引起组培苗抗氧化相关生理指标及内源激素水平的变化从而影响增殖表现, 月季组培体系中有关光环境调控的研究较少。本研究以‘高山圣火’月季无菌茎段为外植体, 在组培增殖阶段设置不同光环境处理, 重点分析组培苗增殖系数、SOD 活性、MDA 含量及 ZR 含量在不同光环境处理下的变化特征, 旨在明确不同光环境对组培苗增殖及相关生理指标的影响, 为月季组培快繁过程中光环境参数的合理配置提供试验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究以‘高山圣火’月季组培苗为材料,

选取继代培养且生长一致的茎段作为外植体进行增殖培养。基本培养基为 MS, 附加 6-BA  $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、IBA  $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、蔗糖  $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  和琼脂  $6.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , pH 5.8。培养环境温度为  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。

### 1.2 试验方法

设置 6 个光环境处理: 处理 I (红光 3 蓝光 1, 每日补光 16 h)、处理 II (红光 1 蓝光 1, 每日补光 16 h)、处理 III (白光, 每日补光 16 h)、处理 IV (红光 3 蓝光 1, 每日补光 12 h)、处理 V (红光 1 蓝光 1, 每日补光 12 h) 和处理 VI (白光, 每日补光 12 h)。所有培养材料均置于 LED 光源正下方 20 cm 处培养, 以保证受光均匀一致。为避免不同处理之间光照条件相互干扰, 各培养层之间均采用黑色遮光布进行物理隔离, 确保光环境的独立性。

### 1.3 指标测定

#### 1.3.1 形态指标

每个处理随机选取 45 个茎段进行测定, 设 3 个生物重复 (每个重复 15 个), 计算增值系数。增值系数 = 诱导再生芽数量 / 初始接种芽数量。

#### 1.3.2 生理指标

SOD 活性、MDA 含量采用北京盒子生工科技有限公司试剂盒测定, ZR 含量使用上海酶联生物科技有限公司试剂盒测定。

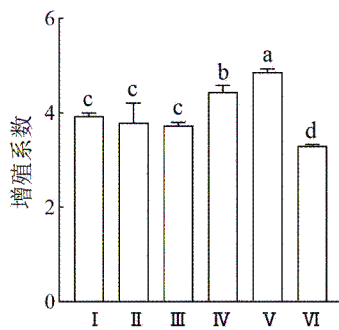
### 1.4 数据处理与统计

采用 Excel 2013 和 SPSS 27.0 进行数据整理和统计分析, 使用 GraphPad Prism 9.5 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 光环境处理对‘高山圣火’组培苗增殖系数的影响

方差分析结果显示,光环境处理对‘高山圣火’月季组培苗的增殖系数产生显著影响( $P < 0.05$ )。对数据进行多重比较,结果见图1。处理V增殖系数最高,达4.87,显著高于其他处理;处理IV次之,为4.44,显著高于处理I、处理II、处理III和处理VI;处理VI增殖系数最低,仅为3.30,显著低于其他处理。结果表明,不同光环境处理对组培苗芽体形成具有差异化影响。



注:图中不同小写字母差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

图1 光环境处理对‘高山圣火’组培苗增殖系数的影响

Fig. 1 Effects of light environment treatments on the proliferation coefficient of tissue culture

*Rosa hybrida* ‘Alpine flame’ seedlings

### 2.2 光环境处理对‘高山圣火’组培苗 SOD 活性和 MDA 含量的影响

方差分析结果显示,光环境处理对‘高山圣火’月季组培苗的抗氧化酶 SOD 活性产生显著影响( $P < 0.05$ )。对数据进行多重比较,结果见图2。处理V的SOD活性最强,为 $146.65 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于其他处理,表现出最强的活性;处理II次之,为 $134.24 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于处理I、处理III、处理IV和处理VI;处理I和处理III的SOD活性相对较低,分别为 $98.60 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $94.95 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著低于其他处理。结果表明,不同光环境处理在激活组培苗SOD酶活性方面存在明显差异。

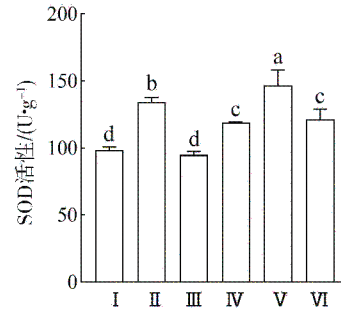


图2 光环境处理对‘高山圣火’组培苗 SOD 活性的影响

Fig. 2 Effects of light environment treatments on superoxide dismutase (SOD) activity of tissue culture *Rosa hybrida* ‘Alpine flame’ seedlings

方差分析结果显示,光环境处理对‘高山圣火’月季组培苗的MDA含量产生显著影响( $P < 0.05$ )。对数据进行多重比较,结果见图3。处理VI的MDA含量最高,为 $25.30 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于其他处理,说明该处理下组培苗膜脂过氧化水平较高;处理III次之,为 $21.16 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于处理I、处理II、处理IV和处理V;处理V的MDA含量最低,为 $17.36 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著低于其他处理,表明这种光环境处理下组培苗细胞膜受氧化损伤程度较轻。

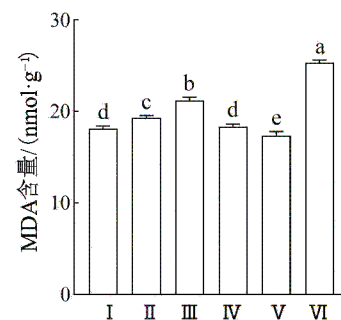


图3 光环境处理对‘高山圣火’组培苗 MDA 含量的影响

Fig. 3 Effects of light environment treatments on malondialdehyde (MDA) content of tissue culture *Rosa hybrida* ‘Alpine flame’ seedlings

### 2.3 光环境处理对‘高山圣火’组培苗 ZR 含量的影响

方差分析结果显示,不同光环境处理下‘高山圣火’月季组培苗ZR含量存在显著差异( $P < 0.05$ )。对数据进行多重比较,结果见图4。处理V的ZR含量最高,为 $2.50 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著

高于其他处理;处理 I 次之,为  $2.28 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于处理 II、处理 III、处理 IV、处理 VI;处理 VI 的 ZR 含量最低,为  $0.67 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著低于其他处理。

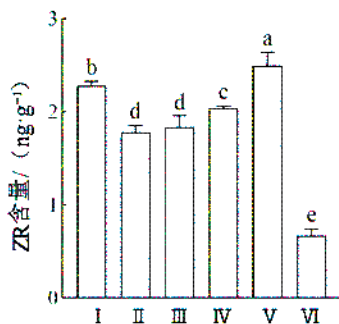


图4 光环境处理对‘高山圣火’组培苗 ZR 含量的影响

Fig. 4 Effects of light environment treatments on zeatin riboside (ZR) content of tissue culture *Rosa hybrida* ‘Alpine flame’ seedlings

### 3 讨论

#### 3.1 光环境处理对组培苗增殖的影响

红光和蓝光可通过不同光受体途径共同参与细胞分裂与形态建成过程,其光质配比及光照时长的变化可能影响植物体外培养过程中芽的增殖表现<sup>[5,6]</sup>,合理的光环境配置有利于提高组培苗的增殖效率<sup>[7]</sup>。本研究中,在不同光环境处理下‘高山圣火’月季组培苗的增殖系数存在显著差异,其中红光 I 蓝光 I、每日补光 12 h 处理的增殖系数最高,为 4.87

#### 3.2 光环境处理对组培苗 SOD 活性和 MDA 含量的影响

SOD 是清除活性氧的关键酶,其活性水平反映植物对氧化胁迫的响应能力。合理的红蓝光组合可能改善光能利用与能量分配状态,促进抗氧化酶系统的激活,从而增强植物对氧化胁迫的适应能力<sup>[8]</sup>。本研究中不同光环境处理下‘高山圣火’月季组培苗 SOD 活性存在显著差异,其中红光 I 蓝光 I、每日补光 12 h 处理的 SOD 活性最高,显著高于其他处理,表明该光环境处理更有利于抗氧化防御系统的激活。

MDA 含量是衡量膜脂过氧化程度的重要

指标,其升高通常意味着细胞膜结构受到氧化损伤。有研究指出,不同光环境条件下植物体内活性氧代谢水平存在差异,可能导致膜脂过氧化程度的变化<sup>[9]</sup>。本研究中不同光环境处理下‘高山圣火’月季组培苗 MDA 含量差异显著,白光、每日补光 12 h 处理的 MDA 含量最高,可能承受较强的氧化胁迫。相反,红光 I 蓝光 I、每日补光 12 h 处理的 MDA 含量较低,可能该处理下细胞膜氧化损伤相对较轻。综上,不同光环境处理对组培苗膜脂过氧化程度具有不同的影响。

#### 3.3 光环境处理对组培苗 ZR 含量的影响

ZR 是一种植物体内重要的内源细胞分裂素,在细胞分裂、腋芽诱导及不定芽形成过程中发挥重要调控作用<sup>[10]</sup>。本研究结果表明,不同光环境处理下,‘高山圣火’月季组培苗 ZR 含量存在显著差异,其中红光 I 蓝光 I、每日补光 12 h 处理下 ZR 含量最高,其增殖系数也最大,说明 ZR 含量较高有助于芽的增殖,这一结果与 Šmeringai 等<sup>[11]</sup>和 Mohammadi 等<sup>[12]</sup>关于细胞分裂素参与芽器官发生和增殖调控的研究结论相符。

### 4 结论

综上所述,光环境处理显著影响‘高山圣火’月季组培苗芽的增殖。综合考虑生长生理指标,红光 I 蓝光 I、每日补光 12 h 处理的增殖系数最高,同时 SOD 活性和 ZR 含量较高、MDA 含量较低,是较适合‘高山圣火’月季组培苗增殖的光环境处理。本研究为该品种组培快繁规模化生产的光质调控技术奠定了理论基础。

#### 参考文献

- [1] 张佐双,许桂花. 花中的皇后——月季[J]. 园林, 2007(10): 14-15.
- [2] 周艳,侯秋梅,张佳佳,等. 月季离体快繁技术研究现状及展望[J]. 农业与技术, 2025, 45(5): 133-137.
- [3] Cendron J M, Staiger D. New horizons in plant photo-

- periodism [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2023, 74: 481-509.
- [4] Wang Q, Liu Q, Wang X, et al. New insights into the mechanisms of phytochrome-cryptochrome coaction[J]. *New Phytologist*, 2018, 217(2): 547-551.
- [5] Hernández R, Kubota C. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2016, 121: 66-74.
- [6] Ouzounis T, Rosenqvist E, Ottosen C O. Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism: a review[J]. *HortScience*, 2015, 50(8): 1128-1135.
- [7] Ahmad H I, Zhang J L, Luo F X, et al. Evaluating the impact of various LED light spectrums on *Dendrobium officinale* tissue culture seedlings[J]. *Sarhad Journal of Agriculture*, 2024, 40(2): 615-624.
- [8] Manivannan A, Soundararajan P, Park Y G, et al. Physiological and proteomic insights into red and blue light-mediated enhancement of in vitro growth in *Scrophularia kakudensis* - a potential medicinal plant[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 11: 607007.
- [9] Li J, Liu, Y B, Wang J W, et al. Effects of different LED spectra on the antioxidant capacity and nitrogen metabolism of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*) [J]. *Plants*, 2024, 13(21): 2958.
- [10] Pasternak T P, Steinmacher D. Plant growth regulation in cell and tissue culture in vitro [J]. *Plants*, 2024, 13(2): 327.
- [11] Šmeringai J, Schrupfová P P, Permisová M. Cytokinins-regulators of de novo shoot organogenesis[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1239133.
- [12] Mohammadi M A, Chen K, Song W C, et al. Trans-Zeatin Riboside enhanced plant regeneration and Auxins induced adventitious rooting in *Stevia rebaudiana* [J]. *Plant Science*, 2026, 362: 112788.
- (本篇专家编审:林士杰)

## 征稿启事

《吉林林业科技》是吉林省林业和草原局主管、吉林省林业科学研究院(吉林省林业生物防治中心站)主办的林业综合性学术期刊,国内外公开发行人。本刊被中国知网、万方、维普、超星数据库收录。主要刊登林业及相关领域最新科研成果,及时反映林业发展重点与方向,提供林业科技前沿信息,促进林业技术完善,为林业科技工作者搭建学术交流平台。

### 1 征稿内容

森林培育、森林生态、林木遗传育种、森林保护、森林经理、野生动植物保护与利用、经济林、水土保持与荒漠化治理、林业可持续发展、森林工程、木材科学与技术、林产化学加工工程等方面的学术论文、研究报告、综合评述、学术问题讨论及研究简报等。

### 2 版权

作者拥有稿件的著作权,应对其内容的原创性、真实性、科学性负责;请勿一稿多投。编辑部拥有稿件的印刷和电子版复制权、发行权、广播权、信息网络传播权、改编权、翻译权、汇编权,有权对稿件的文字、图表进行非思想性修改及删除。

### 3 投稿方式

请将稿件投到《吉林林业科技》投稿邮箱 jlykj2004@sina.com。投稿时请注明工作单位、通信地址、邮编、办公电话、手机、邮箱等联系方式。

《吉林林业科技》编辑部联系电话:0431-85850400。

《吉林林业科技》编辑部

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.01.006

文章编号:1005-7129(2026)01-0024-07 中图分类号:S714 文献标识码:A

## 建三江地区小黑杨和落叶松农田防护林土壤特征研究

王玉莹, 贾鹏博, 郝迪菽, 姜秀煜, 彭博, 孟卓异

(黑龙江省林业科学院佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007)

**摘要:**为研究建三江地区典型农田防护林的土壤特征,对建三江地区小黑杨农田防护林和落叶松农田防护林土壤理化性质进行测定和分析。结果表明,落叶松农田防护林土壤容重高于小黑杨农田防护林,小黑杨农田防护林土壤的含水量、饱和持水量、田间持水量、毛管持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度和总孔隙度高于落叶松农田防护林。小黑杨农田防护林土壤的有机质、速效氮、速效钾和全氮含量显著高于落叶松农田防护林( $P < 0.05$ );落叶松农田防护林土壤的速效磷和全磷含量显著高于小黑杨农田防护林( $P < 0.05$ )。农田防护林树种与土壤容重、田间持水量、毛管持水量和全氮含量呈显著相关( $P < 0.05$ ),与全磷、速效钾、速效磷、速效氮和有机质含量呈极显著相关( $P < 0.01$ )。小黑杨农田防护林的土壤理化指标综合得分高于落叶松农田防护林。本研究结果有助于优化农田防护林的配置,提升其生态服务功能,为制定科学合理的土壤改良和肥力提升策略提供科学依据。

**关键词:**土壤;农田防护林;小黑杨;落叶松;建三江地区

## Study on Soil Characteristics of *Populus simonii* × *P. nigra* and *Larix gmelinii* Farmland Shelterbelts in Jiansanjiang Area

WANG Yuying, JIA Pengbo, HAO Diqiu, JIANG Xiuyu, PENG Bo, MENG Zhuoyi

(Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Forestry, Jiamusi 154007, China)

**Abstract:** In order to study the soil characteristics of typical farmland shelterbelts in Jiansanjiang area, the soil physical and chemical properties of *Populus simonii* × *P. nigra* farmland shelterbelt and *Larix gmelinii* farmland shelterbelt in Jiansanjiang area were measured and analyzed in this study. The results showed that the soil bulk density of *Larix gmelinii* farmland shelterbelt was higher than that of *Populus simonii* × *P. nigra* farmland shelterbelt. The water content, saturation moisture capacity, field moisture capacity, capillary moisture capacity, air-filled porosity, capillary porosity, and total porosity of the soil of *Populus simonii* × *P. nigra* farmland shelterbelt were higher than those of the soil of *Larix gmelinii* farmland shelterbelt. The contents of organic matter, available nitrogen, available potassium, and total nitrogen in the soil of *Populus simonii* × *P. nigra* farmland shelterbelt were significantly higher than those in the soil of *Larix gmelinii* farmland shelterbelt ( $P < 0.05$ ). The contents of available phosphorus and total phosphorus in the soil of *Larix gmelinii* farmland shelterbelt were significantly higher than those in the soil of *Populus simonii* × *P. nigra* farmland shelterbelt ( $P < 0.05$ ). The tree species of the farmland shelterbelt was significantly correlated with soil bulk density, field moisture capacity, capillary moisture capacity, and total nitrogen content ( $P < 0.05$ ), and that was extremely significantly correlated with the contents of total phosphorus, available potassium, available phosphorus, available nitrogen and organic matter in the soil

收稿日期:2025-08-26

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研项目(Jfy2024-013)

第一作者:王玉莹(1998—),女,研究实习员,硕士研究生,从事林业科学研究,E-mail:2621687525@qq.com。

通信作者:贾鹏博(1984—),女,高级工程师,硕士研究生,从事林业科学研究,E-mail:124223277@qq.com。

( $P < 0.01$ ). The comprehensive score of soil physical and chemical indexes of *Populus simonii* × *P. nigra* farmland shelterbelt was higher than that of *Larix gmelinii* farmland shelterbelt. The results of this study were helpful to optimize the configuration of farmland shelterbelt, improve its ecological service function, and provide scientific basis for formulating scientific and reasonable soil improvement and fertility improvement strategies.

**Keywords:** soil; farmland shelterbelt; *Populus simonii* × *P. nigra*; *Larix gmelinii*; Jiansanjiang area

农田防护林有助于维持生态平衡,保护生物多样性,在农业生态系统中发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。近年来,不少地区的农田防护林出现了林分退化现象,以人工纯林为主的农田防护林经多年持续生长后,出现了土壤养分降低以及植被生长更新困难等不良现象<sup>[2]</sup>。

建三江地区位于祖国北部边陲的三江平原腹地,占整个黑龙江垦区面积的 22%。该地区盛产绿色优质水稻,有“中国绿色米都”之誉<sup>[3]</sup>。建三江农田防护林在该地区生态系统中的生态地位特殊,在植被恢复、土壤修复、水土流失防治等方面发挥重要作用。

农田防护林土壤养分是林木生长的重要物质基础之一,也是防护林营养元素转化的枢纽<sup>[4]</sup>。林分养分生物循环中,林地土壤与植物养分彼此交互,林间植物不断的吸收养分、储存物质、释放能量<sup>[5]</sup>,研究其特征可为防护林更新技术提供重要的理论依据<sup>[6]</sup>。本研究对建三江地区小黑杨农田防护林和落叶松农田防护林土壤理化性质进行测定和分析,旨在为建三江地区农田防护林的管理与经营提供坚实的理论基础和数据分析,为制定科学合理的土壤改良和肥力提升策略、优化农田防护林的配置、提升其生态服务功能提供科学依据。

## 1 试验地概况

本研究试验样地位于建三江地区的七星农场机场路附近,地理位置 132°06′ ~ 132°07′ E、47°12′ ~ 47°16′ N。小黑杨农田防护林造林密度 2 m × 3 m,中龄林,处于最佳防护期;落叶松农田防护林造林密度 1 m × 3 m,中龄林,处于生长旺盛期。

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集

2025 年 6 月,沿小黑杨农田防护林与落叶松农田防护林走向的中线,分别在林带长度

1/4、1/2、3/4 位置各布设 3 个样地,并在样地中设置土壤剖面<sup>[7]</sup>,使用 100 cm<sup>3</sup> 的环刀采集深度 20~40 cm 的土壤,重复 3 次,在野外取样后测鲜重,之后带回实验室用于测定物理指标。采用五点取样法分别在防护林样地进行土壤采样,将采集的土样均匀混合后装入塑料自封袋带回实验室用于测定化学指标。

### 2.2 试验方法

参照陆乃静的相关研究方法测定土壤物理指标<sup>[8]</sup>,包含土壤含水量、土壤容重、土壤饱和持水量、土壤田间持水量、土壤毛管持水量、土壤非毛管孔隙度、土壤毛管孔隙度、土壤总孔隙度,计算公式如下:

$$W = 100\% \times (M - M_0) / M_0$$

$$\rho_b = M_0 / V$$

$$W_s = 100\% \times (M_1 - M_0) / M_0$$

$$W_f = 100\% \times (M_2 - M_0) / M_0$$

$$W_c = 100\% \times (M_3 - M_0) / M_0$$

$$V_a = (M_1 - M_3) / \rho$$

$$P_a = 100\% \times V_a / V$$

$$V_c = (M_3 - M_0) / \rho$$

$$P_c = 100\% \times V_c / V$$

$$P_t = P_a + P_c$$

式中:  $W$  为土壤含水量/%;  $M$  为土壤鲜重/g;  $M_0$  为烘干土质量/g;  $\rho_b$  为土壤容重/(g · cm<sup>-3</sup>);  $V$  为环刀容积/cm<sup>3</sup>;  $W_s$  为土壤饱和持水量/%;  $M_1$  为浸 12 h 后湿土质量/g;  $W_f$  为土壤田间持水量/%;  $M_2$  为在干沙上放置 1 昼夜后湿土质量/g;  $W_c$  为土壤毛管持水量/%;  $M_3$  为在干沙上放置 2 h 后湿土质量/g;  $V_a$  为土壤非毛管孔隙体积/cm<sup>3</sup>;  $\rho$  为水的密度,即 1.0 g · cm<sup>-3</sup>;  $P_a$  为土壤非毛管孔隙度/%;  $V_c$  为土壤毛管孔隙体积/cm<sup>3</sup>;  $P_c$  为土壤毛管孔隙度/%;  $P_t$  为土壤总孔隙度/%。

将采集回的袋中土壤过筛,进行土壤 pH、有机质含量、速效氮含量、速效磷含量、速效钾

含量、全氮含量、全磷含量、全钾含量的测定。采用玻璃电极法测定土壤 pH,采用重铬酸钾容量法—外加热法测定土壤有机质(有机碳)含量,采用扩散皿法测定速效氮含量,采用钼锑抗比色法测定土壤速效磷含量,采用乙酸铵浸提火焰光度计法测定速效钾含量,采用凯氏定氮法测定土壤全氮含量,采用 NaOH 碱熔—钼锑抗分光光度法测定土壤全磷含量,采用 NaOH 碱熔—火焰光度法测定全钾含量<sup>[9]</sup>。

### 2.3 数据处理

使用 Excel 2024 和 SPSS 20 进行数据处理和分析,使用 Origin 2024 绘图。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同农田防护林土壤物理性质

小黑杨农田防护林与落叶松农田防护林土壤物理指标如表 1 所示。小黑杨农田防护林土壤含水量略高于落叶松农田防护林,其土壤含水量均在 15 % 左右,可能是表层土壤水分受大

气蒸发主导,短期降水波动掩盖了植被类型的影响。落叶松农田防护林土壤容重显著高于小黑杨农田防护林( $P < 0.05$ ),其土壤容重分别为  $1.46 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  和  $1.03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,该差异主要是由于落叶松针叶凋落物分解缓慢导致,其木质素含量高,抑制土壤团聚体形成,土壤颗粒结构紧密。小黑杨农田防护林的土壤饱和持水量高于落叶松农田防护林,小黑杨和落叶松农田防护林的土壤饱和持水量分别为 55.3 % 和 28.7 %,符合沙质土壤的土壤饱和持水量特征。小黑杨农田防护林的土壤非毛管孔隙度和土壤毛管孔隙度高于落叶松农田防护林,此结果与土壤饱和持水量具有一致性,因为毛管孔隙和非毛管孔隙是影响土壤饱和持水量的要素。小黑杨农田防护林的土壤田间持水量和土壤毛管持水量显著高于落叶松农田防护林( $P < 0.05$ ),说明建三江地区小黑杨农田防护林的土壤保水能力高于落叶松农田防护林。

表 1 小黑杨与落叶松农田防护林土壤物理指标

Tab. 1 Soil physical indexes of *Populus simonii* × *P. nigra* and *Larix gmelinii* farmland shelterbelts

林型	土壤含水量/%	土壤容重/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	土壤饱和持水量/%	土壤田间持水量/%
小黑杨农田防护林	16.2±0.2 a	1.03±0.18 a	55.3±5.1 a	34.5±6.2 a
落叶松农田防护林	14.9±2.5 a	1.46±0.03 b	28.7±0.6 a	22.1±1.0 b
林型	土壤毛管持水量/%	土壤非毛管孔隙度/%	土壤毛管孔隙度/%	土壤总孔隙度/%
小黑杨农田防护林	43.0±9.7 a	11.3±1.6 a	42.7±5.9 a	54.0±7.1 a
落叶松农田防护林	23.7±0.1 b	7.3±0.9 a	34.7±0.9 a	42.0±0.1 a

注:同列不同字母表示不同林型间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

### 3.2 不同农田防护林土壤化学性质

小黑杨农田防护林与落叶松农田防护林土壤化学指标如表 2 所示。小黑杨农田防护林与落叶松农田防护林土壤 pH 和全钾含量相差不大,可能是由于两种农田防护林的距离较近,所处区域环境的成土母质、气候条件和土壤本底值等较为一致。小黑杨农田防护林土壤的有机质含量、速效氮含量、速效钾含量和全氮含量显著高于落叶松农田防护林,落叶松农田防护林土壤的速效磷含量和全磷含量显著高于小黑杨

农田防护林( $P < 0.05$ )。这些结果表明,小黑杨农田防护林与落叶松农田防护林土壤的养分状况差异显著,小黑杨农田防护林在氮素和有机质积累方面更具优势,而落叶松农田防护林则在磷素积累方面表现突出。这可能源于树种凋落物分解特性及养分吸收循环模式的差异,小黑杨凋落物可能更易于矿化归还氮素和有机碳,而落叶松凋落物分解或根系活动可能更利于磷素的积累或有效性提升。

表 2 小黑杨与落叶松农田防护林土壤化学指标

Tab. 2 Soil chemical indexes of *Populus simonii* × *P. nigra* and *Larix gmelinii* farmland shelterbelts

林型	pH	有机质含量/(mg · g <sup>-1</sup> )	速效氮含量/(mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷含量/(mg · kg <sup>-1</sup> )
小黑杨农田防护林	6.90±0.09 a	18.62±0.53 a	44.88±6.23 a	6.15±0.14 a
落叶松农田防护林	6.94±0.00 a	11.63±0.75 b	29.01±2.92 b	8.91±0.24 b

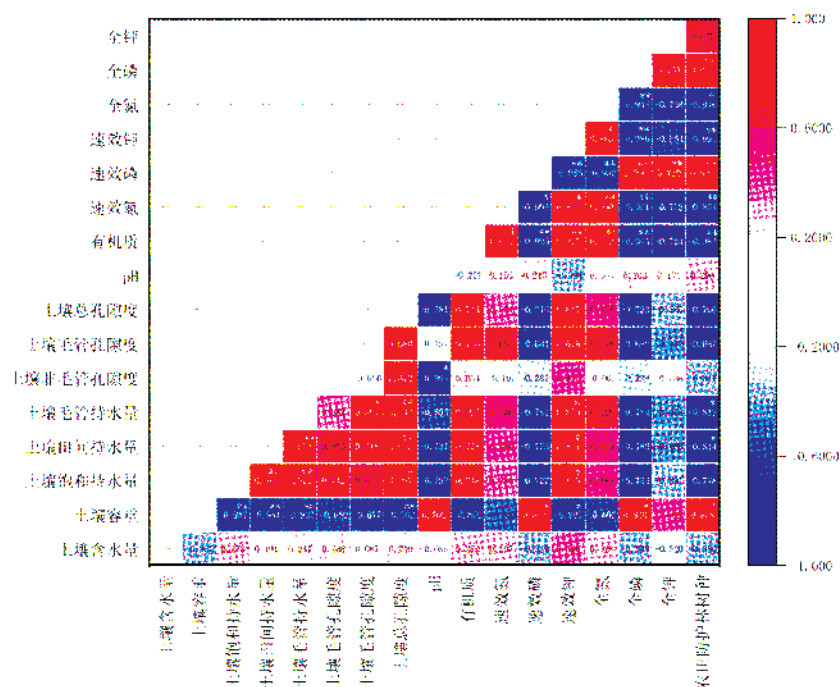
  

林型	速效钾含量/(mg · kg <sup>-1</sup> )	全氮含量/(mg · kg <sup>-1</sup> )	全磷含量/(μg · g <sup>-1</sup> )	全钾含量/(mg · g <sup>-1</sup> )
小黑杨农田防护林	202.98±9.09 a	947.04±77.41 a	373.04±8.93 a	14.57±0.16 a
落叶松农田防护林	67.69±6.53 b	682.94±26.86 b	590.57±22.39 b	15.48±0.80 a

3.3 农田防护林树种及土壤理化指标相关性分析

农田防护林树种及土壤理化指标相关性分析如图 1 所示。土壤容重与土壤饱和持水量、土壤田间持水量、土壤毛管持水量和土壤总孔隙度呈极显著负相关,与速效磷含量和全磷含量呈显著正相关,与速效钾含量呈显著负相关。土壤饱和持水量与土壤田间持水量和土壤毛管持水量和土壤总孔隙度呈极显著正相关,与速效钾含量呈显著正相关。土壤田间持水量与土壤毛管持水量和土壤总孔隙度呈极显著正相关,与速效钾含量呈显著正相关。土壤毛管持水量与土壤总孔隙度呈极显著正相关,与土壤毛管孔隙度和速效钾含量呈显著正相关。土壤非毛管孔隙度与土壤 pH 呈显著负相关。土壤

有机质含量与速效磷含量和全磷含量呈极显著负相关,与速效钾含量和全氮含量呈极显著正相关,与速效氮含量呈显著正相关。土壤速效氮含量与全氮含量呈极显著正相关,与速效钾含量呈显著正相关,与全磷含量呈极显著负相关,与速效磷含量呈显著负相关。土壤速效磷含量与速效钾含量和全氮含量呈极显著负相关,与全磷含量和全钾含量呈极显著正相关。土壤速效钾含量与全磷含量呈极显著负相关,与全氮含量呈显著正相关。土壤全氮含量与全磷含量呈极显著负相关。农田防护林树种与土壤容重、土壤田间持水量、土壤毛管持水量和全氮含量呈显著相关,与全磷含量、速效钾含量、速效磷含量、速效氮含量和有机质含量呈极显著相关。



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

图 1 农田防护林类型及土壤理化指标相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of the type of the farmland shelterbelt and the soil physical and chemical indexes

### 3.4 不同农田防护林土壤理化指标主成分分析

小黑杨和落叶松农田防护林土壤理化指标主成分分析分别如图 2、图 3 所示。土壤含水量、土壤容重、土壤饱和持水量、土壤田间持水量、土壤毛管持水量、土壤非毛管孔隙度、土壤毛管孔隙度、土壤总孔隙度、土壤 pH、有机质含量、速效氮含量、速效磷含量、速效钾含量、全氮含量、全磷含量、全钾含量参数提取了 PC1 和 PC2 两个主成分进行分析,二者方差累计贡献率均为 100%。小黑杨农田防护林的土壤参数 PC1 的方差累计贡献率为 83.4%,PC2 的方差累计贡献率为 16.6%;落叶松农田防护林的土壤参数 PC1 的方差累计贡献率为 59.4%,PC2 的方差累计贡献率为 40.6%。小黑杨农田防护林土壤的毛管孔隙度和土壤毛管持水量被识别为 PC2 的主导因子,且均呈现较强的正向负荷,凸显了该防护林土壤在毛管水储存与保持能力方面的协同优势。落叶松农田防护林 PC2 主要由土壤毛管孔隙度、土壤容重、土壤非毛管孔隙度、土壤饱和持水量、土壤含水量驱动。其中,土壤毛管孔隙度和土壤容重表现出较强的正向负荷,而土壤非毛管孔隙度、土壤饱和持水量、土壤含水量则表现出较强的反向负荷。这种负荷模式清晰地揭示了落叶松农田防护林土

壤物理结构(尤其是孔隙分布)与持水能力之间强烈的拮抗关系,土壤容重的增加(表征结构紧实)伴随着土壤毛管孔隙度的相对上升(可能源于总孔隙度下降),但导致土壤非毛管孔隙度(影响通气排水)、土壤饱和持水量(最大持水能力)以及实际土壤含水量的显著降低。PC1 则主要由养分指标主导,包括有机质含量、速效钾含量、速效氮含量、全氮含量、全磷含量、土壤 pH、速效磷含量、全钾含量,其中有机质含量、速效钾含量、速效氮含量、全氮含量表现出较强的正向负荷,表明这些养分元素在落叶松农田防护林土壤中存在协同变化的趋势。

综合主成分分析结果可见,小黑杨农田防护林土壤系统表现出更强的内在协调性,其高度集中的变异(PC1 主导)及优异的毛管持水特性(PC2 指向),与发现的该农田防护林较低容重、较高有机质含量及多数养分优势相吻合。落叶松农田防护林则呈现出土壤物理结构(PC2 揭示)与养分状况(PC1 主导)在维度上的相对分离,这种结构—养分的潜在不协调性,可能与其较高的土壤容重、部分养分(如速效氮、有机质)含量偏低以及独特的磷含量优势相关联。

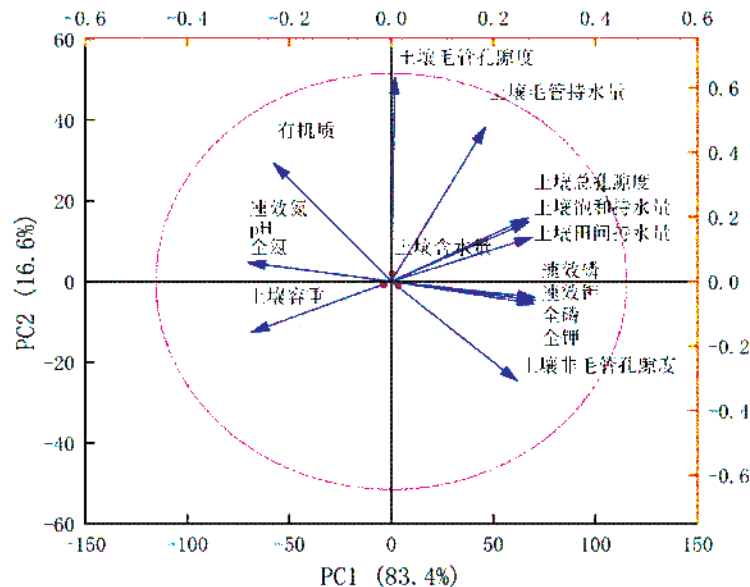


图 2 小黑杨农田防护林土壤理化指标主成分分析

Fig. 2 Principal component analysis of soil physical and chemical indexes of *Populus simonii* × *P. nigra* farmland shelterbelt

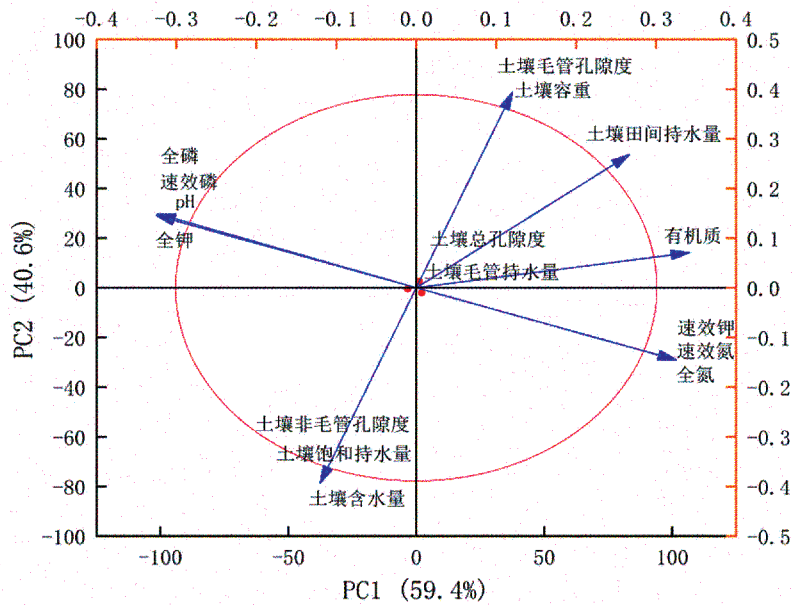


图3 落叶松农田防护林土壤理化指标主成分分析

Fig. 3 Principal component analysis of soil physical and chemical indexes of *Larix gmelinii* farmland shelterbelt

### 3.5 不同农田防护林土壤理化指标综合评价

将农田防护林土壤理化指标进行参数标准化、归一化处理转换成标准化数值,经过主成分权重计算后,建立基于指标标准化数值和各权重因子的综合得分函数。小黑杨农田防护林的土壤理化指标综合得分  $Y = -0.219X_1 - 0.272X_2 + 0.269X_3 + 0.278X_4 + 0.265X_5 + 0.146X_6 + 0.145X_7 + 0.276X_8 - 0.231X_9 - 0.119X_{10} - 0.231X_{11} + 0.228X_{12} + 0.231X_{13} - 0.231X_{14} + 0.231X_{15} + 0.234X_{16}$ , 落叶松农田防护林的土壤理化指标综合得分  $Y = -0.305X_1 + 0.343X_2 + 0.003X_3 + 0.426X_4 + 0.305X_5 - 0.305X_6 + 0.305X_7 + 0.112X_8 - 0.305X_9 + 0.418X_{10} + 0.305X_{11} - 0.302X_{12} + 0.305X_{13} + 0.305X_{14} - 0.305X_{15} - 0.305X_{16}$ 。式中: $X_1$  为土壤含水量标准化数值; $X_2$  为土壤容重标准化数值; $X_3$  为土壤饱和持水量标准化数值; $X_4$  为土壤田间持水量标准化数值; $X_5$  为土壤毛管持水量标准化数值; $X_6$  为土壤非毛管孔隙度标准化数值; $X_7$  为土壤毛管孔隙度标准化数值; $X_8$  为土壤总孔隙度标准化数值; $X_9$  为土壤 pH 标准化数值; $X_{10}$  为有机质含量标准化数值; $X_{11}$  为速效氮含量标准化数值; $X_{12}$  为速效磷含量标准化数值; $X_{13}$  为速效钾含量标准化数值; $X_{14}$

为全氮含量标准化数值; $X_{15}$  为全磷含量标准化数值; $X_{16}$  为全钾含量标准化数值。经计算得出,小黑杨农田防护林的土壤理化指标综合得分(1.510)高于落叶松农田防护林(0.847)。小黑杨农田防护林土壤在表征持水能力(饱和持水量、田间持水量、毛管持水量)、孔隙结构(总孔隙度)和养分有效性(速效钾)等高权重指标上表现优异,同时在土壤容重等负权重指标上具有显著优势(更低的容重),这种多指标协同优化的特征是其土壤综合得分显著高于落叶松农田防护林的原因。该结果反映了小黑杨作为农田防护林树种,在改善和维持土壤物理结构、水分保持及部分养分供应方面具有积极作用。

### 3 结论与讨论

本研究系统分析了建三江地区小黑杨与落叶松农田防护林的土壤理化特性。在土壤物理性质方面,小黑杨农田防护林在多项关键指标上表现更优,土壤含水量、土壤饱和持水量、土壤田间持水量、土壤毛管持水量、土壤非毛管孔隙度、土壤毛管孔隙度及土壤总孔隙度均高于落叶松农田防护林。落叶松农田防护林土壤容重高达  $1.46 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 超出理想土壤容重范围(通常认为土壤容重  $< 1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  更适宜植

物生长);而小黑杨农田防护林土壤容重仅为 $1.03\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 左右,这与其较高的有机质含量密切相关。有机质通过改善土壤团粒结构和降低紧实度,有效维持了较低的容重,使其更符合耕地土壤质量要求<sup>[10]</sup>。在土壤化学性质方面,小黑杨农田防护林的有机质含量、速效氮含量、速效钾含量及全氮含量显著高于落叶松农田防护林。这表明小黑杨可能更有利于土壤氮素和钾素的积累与供应。然而,落叶松农田防护林在速效磷含量和全磷含量上表现突出,显著高于小黑杨农田防护林。这一差异可能与树种自身的根系分泌物、凋落物分解特性及其对土壤磷活化能力的差异有关。跨区域比较发现,建三江地区小黑杨与落叶松农田防护林土壤的pH、速效磷含量及全磷含量均高于拜泉县的落叶松、樟子松农田防护林<sup>[11]</sup>。这揭示土壤特性存在明显的区域异质性,气候、母质或管理措施等因素可能共同驱动了这种差异。

农田防护林树种(小黑杨/落叶松)与土壤容重、土壤田间持水量、土壤毛管持水量和全氮含量呈显著相关,与全磷含量、速效钾含量、速效磷含量、速效氮含量和有机质含量呈极显著相关,这印证了树种选择对土壤理化指标的深刻影响。土壤持水特性(田间持水量、毛管持水量、饱和持水量)与孔隙结构(总孔隙度)及容重之间存在显著关联,体现了土壤物理性质间的内在联系。土壤养分指标(有机质含量、速效氮含量、速效磷含量、速效钾含量、全磷含量)间存在显著相关性,表明土壤养分循环与平衡的内在机制。

基于主成分分析的土壤理化指标综合评价显示,小黑杨农田防护林的土壤综合得分显著高于落叶松农田防护林。这主要得益于小黑杨农田防护林在土壤物理结构(如低容重、高孔隙度与持水量)及核心养分指标(有机质含量、氮含量、钾含量)上的综合优势。虽然李伟珍等<sup>[12]</sup>的研究指出落叶松防护林在提升坡耕地土壤抗侵蚀能力方面效果显著,但本研究结果揭示,在建三江地区小黑杨在维持和改善整体

土壤质量(结构、持水性及氮钾养分)方面可能更具优势。因此,对于落叶松防护林,可通过增施有机肥等措施提升有机质含量,改善土壤结构,以弥补其部分不足。

建议加强对不同树种农田防护林土壤养分动态的长期监测,结合林木更新策略与林下植被管理(如增加物种多样性)优化防护林结构,实现土壤质量提升与生态功能的协同增效。

#### 参考文献

- [1]葛君. 农田防护林建设策略与实践——以黑龙江省海林农场为例[J]. 林业勘察设计, 2025, 54(6): 82-86.
- [2]于静. 我国三北防护林工程建设发展现状及存在的问题[J]. 现代农业科技, 2019(17): 164.
- [3]北大荒农垦集团有限公司建三江分公司. 巩固发展成果提升服务质量聚焦农业社会化服务助力乡村全面振兴[J]. 中国农垦, 2025(1): 14-15.
- [4]季倩如. 黑土区典型农田防护林林地土壤养分特征研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2022: 1.
- [5]黄秀勇. 滨海沙地湿地松人工林生物量结构与养分生物循环[D]. 福州: 福建农林大学, 2017: 7.
- [6]王涛, 蒙仲举, 党晓宏, 等. 库布齐沙漠人工防护林林下枯落物及土壤水文效应研究[J]. 生态环境学报, 2021, 30(4): 700-707.
- [7]谢雷雷, 潘理, 李伟珍, 等. 典型黑土区防护林带和耕地土壤有机碳分布特征及其影响因素[J]. 东北林业大学学报, 2024, 52(7): 71-76.
- [8]陆乃静. 达拉特旗典型人工林林下植被特征与土壤理化性质研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023: 15.
- [9]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10]郑必昭. 土壤分析技术指南[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [11]李德文, 周文玲, 季倩如, 等. 不同林型农田防护林植物与土壤理化指标及功能基因差异[J]. 中国水土保持, 2023(7): 41-46.
- [12]李伟珍, 谢雷雷, 师立鹏, 等. 不同树种防护林带对黑土区坡耕地土壤侵蚀的阻控效应[J]. 东北林业大学学报, 2024, 52(10): 104-109.

(本篇专家编审:何怀江)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.01.007

文章编号:1005-7129(2026)01-0031-05 中图分类号:Q968 文献标识码:A

## 太原市蔷薇科植物访花昆虫多样性研究

杜秀娟, 廉梅霞, 刘俊英, 付丽娇, 宁鹏, 李雁杰

(山西林业职业技术学院, 山西太原 030009)

**摘要:**为揭示不同蔷薇科植物在维持访花昆虫多样性方面的生态功能差异,对太原市主要蔷薇科植物杏、樱花、海棠花、山楂的访花昆虫多样性进行研究。访花昆虫的丰富度是 16, 日丰富度是 3, 属丰富度是 14。杏的访花昆虫丰富度最高(11), 山楂最低(7)。访花昆虫的多度是 2 369, 山楂访花昆虫多度最高(1 140), 杏最低(297)。访花昆虫优势物种为中华蜜蜂、意大利蜜蜂。杏的访花昆虫香农-威纳指数和辛普森指数最高, 4 种植物访花昆虫的 Pielou 均匀度指数差异相对较小。尽管杏吸引的访花昆虫多度最低, 但其物种多样性丰富、均匀度较高, 表明其是多样性维持的关键物种, 在维持城市访花昆虫物种库方面具有重要价值, 增加杏的种植比例可能有助于提升整体访花昆虫多样性。

**关键词:**太原市; 蔷薇科植物; 访花昆虫; 多样性

## Study on Diversity of Flower-visiting Insects of Rosaceae in Taiyuan City

DU Xiujuan, LIAN Meixia, LIU Junying, FU Lijiao, NING Peng, LI Yanjie

(Shanxi Forestry Vocational Technical College, Taiyuan 030009, China)

**Abstract:** In order to reveal the differences in ecological functions of different Rosaceae plants in maintaining the diversity of flower-visiting insects, the diversity of flower-visiting insects of *Prunus armeniaca*, *Prunus serrulata*, *Malus spectabilis*, and *Crataegus pinnatifida* those were main Rosaceae plants in Taiyuan City was studied. The species richness of flower-visiting insects was 16, the order richness was 3, and the genus richness was 14. The species richness of flower-visiting insects of *Prunus armeniaca* was 11 that was the maximum. That of *Crataegus pinnatifida* was 7 that was the minimum. The abundance of flower-visiting insects was 2 369. The abundance of flower-visiting insects of *Crataegus pinnatifida* was 1 140 that was the maximum. That of *Crataegus pinnatifida* was 297 that was the minimum. The dominant species of flower-visiting insects were *Apis cerana* and *Apis mellifera*. The Shannon-Wiener index and Simpson index of flower-visiting insects of *Prunus armeniaca* were the highest. The difference of Pielou evenness index of flower-visiting insects of four plants was relatively small. Although the abundance of flower-visiting insects of *Prunus armeniaca* was the lowest, its species diversity was rich and the evenness was high. That indicated that *Prunus armeniaca* was the key species for maintaining diversity and had important value in maintaining the species pool of urban flower-visiting insects. Increasing the planting proportion of *Prunus armeniaca* might help to improve the overall diversity of flower-visiting insects.

**Keywords:** Taiyuan City; Rosaceae; flower-visiting insect; diversity

蔷薇科(Rosaceae)植物隶属于被子植物门(Angiospermae)双子叶植物纲(Dicotyledoneae)蔷薇目(Rosales)<sup>[1]</sup>。蔷薇科植物访花昆虫主

要指频繁活动于蔷薇科植物花上的昆虫,包括传粉昆虫、取食花朵昆虫和天敌昆虫,蔷薇科植物的传粉昆虫包括采食花蜜和花粉、仅采食花

收稿日期:2025-09-26

基金项目:山西林业职业技术学院科研基金资助项目(20250107)

第一作者:杜秀娟(1979—),女,副教授,主要从事森林保护专业的教学与研究,E-mail:dudragonfly@126.com。

蜜和仅采食花粉昆虫,取食花朵昆虫包括取食花冠、花蕊、花萼昆虫,天敌昆虫包括捕食传粉昆虫的害虫和捕食取食花朵昆虫的益虫<sup>[2,3]</sup>。蔷薇科植物大多属于典型的虫媒传粉植物,主要的访花昆虫为膜翅目(Hymenoptera)、双翅目(Diptera)、鞘翅目(Coleoptera)、鳞翅目(Lepidoptera)、半翅目(Hemiptera)、直翅目(Orthoptera)及缨翅目(Thysanoptera)<sup>[1]</sup>。

蔷薇科植物在太原市城市绿化中发挥着重要作用,以杏(*Prunus armeniaca*)、樱花(*Prunus serrulata*)、海棠花(*Malus spectabilis*)、山楂(*Crataegus pinnatifida*)为主。杏是蔷薇科李属木本落叶大乔木,其茎干挺拔,株高可达十余米,枝条略上展,嫩枝呈现褐色或褐红色,叶柄短,叶子呈圆形,杏花开放时花瓣呈现玉白色或稍带红晕,花蕊多为雄蕊,杏的访花昆虫主要是膜翅目、双翅目、鳞翅目、鞘翅目和半翅目的昆虫<sup>[4]</sup>。樱花是蔷薇科李属木本落叶乔木,是早春重要的观花树种,常用于园林观赏,其枝叶繁茂旺盛,每枝3到5朵花,花瓣先端缺刻,花色多为粉红色,樱花的访花昆虫主要是鞘翅目、半翅目、膜翅目、双翅目、鳞翅目<sup>[5]</sup>。海棠花是蔷薇科苹果属木本落叶乔木,其小枝粗壮,呈圆柱形,叶片椭圆形至长椭圆形,边缘有紧贴细锯齿,有时部分近于全缘,花序近伞形,花瓣卵形,基部白色,端部呈粉红色,海棠花的访花昆虫主要是膜翅目、鞘翅目、双翅目<sup>[3]</sup>。山楂是蔷薇科山楂属木本落叶乔木,其小枝圆柱形,当年生枝紫褐色,叶片宽卵形或三角状卵形,伞房花序具多花,花瓣倒卵形或近圆形,花开放时花瓣多呈白色,山楂的访花昆虫主要是膜翅目和双翅目<sup>[6]</sup>。本文对太原市杏、樱花、海棠花、山楂的访花昆虫多样性进行研究,揭示不同蔷薇科植物在维持访花昆虫多样性方面的生态功能差异。

## 1 调查区域概况与方法

### 1.1 调查区域概况

在太原市大面积栽植杏、樱花、海棠花、山楂的区域进行调查。

汾河公园是太原市中心的大型城市生态景

观公园,海拔758~774 m,花期温度9~22℃,相对湿度36%~64%。

生态园位于太原市万柏林区,海拔838~994 m,花期温度9~23℃,相对湿度27%~48%。

胜利桥东美特好超市西绿化带位于太原市尖草坪区滨河东路,海拔779~782 m,花期温度9~26℃,相对湿度27%~47%。

山西林业职业技术学院西绿化带位于太原市尖草坪区滨河东路,海拔762~786 m,花期温度9~25℃,相对湿度32%~60%。

森林公园位于太原市尖草坪区大同路北,海拔775~785 m,花期温度8~24℃,相对湿度33%~58%。

崛围山杏园位于太原市尖草坪区柴村呼延村西,海拔863 m左右,花期温度8~23℃,相对湿度25%~46%。

### 1.2 调查方法

调查区域内,4种蔷薇科植物各随机选取30株盛花期样树,以拍照方式采样。有虫飞停花上采粉、采蜜即拍照,每株样树调查30 min,每株样树调查若干花枝。统计拍照昆虫个体数量,参考相关文献观察照片对物种进行鉴定。

### 1.3 数据统计方法

多度  $A = N$ , 式中: $N$  为个体数量。

丰富度  $R = S$ , 式中: $S$  为物种数量。

目丰富度  $R_0 = O$ , 式中: $O$  为目数量。

目级丰富度  $R_0 = S_0$ , 式中: $S_0$  为同目的物种数量。

属丰富度  $R_G = G$ , 式中: $G$  为属数量。

香农-威纳指数  $H' = -\sum(P_i \cdot \ln P_i)$ , 式中: $P_i$  为第  $i$  个物种的个体数量占总个体数量的比例。

辛普森指数  $D = 1 - \sum P_i^2$ 。

Pielou 均匀度指数  $J' = H'/\ln S$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 蔷薇科植物访花昆虫丰富度和多度

调查到的4种蔷薇科植物访花昆虫的个体数量见表1。

表 1 蔷薇科植物访花昆虫个体数量

Tab. 1 Individual number of flower-visiting insects of Rosaceae

访花昆虫	个体数量			
	杏	樱花	海棠花	山楂
膜翅目 Hymenoptera	256	332	522	906
1 蜜蜂属 <i>Apis</i>				
1 中华蜜蜂 <i>Apis cerana</i>	117	156	183	594
2 意大利蜜蜂 <i>Apis mellifera</i>		104	252	252
2 条蜂属 <i>Anthophora</i>				
3 毛跗黑条蜂 <i>Anthophora acervorum</i>	119	47	9	
3 长脚黄蜂属 <i>Polistes</i>				
4 家马蜂 <i>Polistes jadaigae</i>	1			
4 木蜂属 <i>Xylocopa</i>				
5 中华木蜂 <i>Xylocopa sinensis</i>		19	42	24
5 壁蜂属 <i>Osmia</i>				
6 角额壁蜂 <i>Osmia cornifrons</i>	9	6		18
7 凹唇壁蜂 <i>Osmia excavata</i>	10			18
6 隧蜂属 <i>Dialictus</i>				
8 中国淡脉隧蜂 <i>Dialictus chinense</i>			36	
双翅目 Diptera	40	45	33	234
7 鼓额蚜蝇属 <i>Scaeva</i>				
9 斜斑鼓额食蚜蝇 <i>Scaeva pyrastris</i>	32		3	
8 条胸蚜蝇属 <i>Helophilus</i>				
10 狭带条胸食蚜蝇 <i>Helophilus virgatus</i>	2	7		18
9 食蚜蝇属 <i>Syrphus</i>				
11 大灰食蚜蝇 <i>Syrphus corollae</i>	2	8		216
10 细腹食蚜蝇属 <i>Sphaerophoria</i>				
12 印度细腹食蚜蝇 <i>Sphaerophoria Indiana</i>	2		15	
11 宽盾蚜蝇属 <i>Phytomia</i>				
13 羽芒宽盾食蚜蝇 <i>Phytomia zonata</i>		30		
12 蜂虻属 <i>Bombylius</i>				
14 大蜂虻 <i>Bombylius major</i>			15	
13 蓝蝇属 <i>Cynomya</i>				
15 蓝蝇 <i>Cynomya sp.</i>	2			
鳞翅目 Lepidoptera	1			
14 长喙天蛾属 <i>Macroglossum</i>				
16 蜂鸟鹰蛾 <i>Macroglossum stellatarum</i>	1			

调查到的4种蔷薇科植物访花昆虫丰富度是16,日丰富度是3,属丰富度是14。杏、樱花、海棠花、山楂的访花昆虫丰富度分别是11、8、8、7,杏花吸引的访花昆虫种类最多,山楂花吸引的访花昆虫种类最少。

4种蔷薇科植物的花吸引膜翅目昆虫的种类虽然不同,但吸引膜翅目昆虫访花的种类数量相同。杏、樱花、海棠花、山楂的膜翅目访花昆虫丰富度均为5。杏、樱花、海棠花、山楂的双翅目访花昆虫丰富度分别是5、3、3、2,杏花吸引的双翅目访花昆虫的种类最多,山楂花吸引的双翅目访花昆虫种类最少。鳞翅目访花昆虫只有杏花上有1种,是蜂鸟鹰蛾。

调查到的4种蔷薇科植物访花昆虫多度是2369,杏、樱花、海棠花、山楂的访花昆虫多度分别是297、377、555、1140,山楂花吸引访花昆虫的个体数量最多,杏花吸引访花昆虫的个体数量最少。

杏、樱花、海棠花、山楂的膜翅目访花昆虫多度分别是256、332、522、906,山楂花吸引的膜翅目访花昆虫个体数量最多,杏花吸引的膜翅目访花昆虫的个体数量最少。杏、樱花、海棠花、山楂的双翅目访花昆虫多度分别是40、45、33、234,山楂花吸引双翅目访花昆虫的个体数量最多,海棠花吸引双翅目访花昆虫的个体数量最少。鳞翅目昆虫只访问杏花,个体数量非常少。

## 2.2 蔷薇科植物优势物种和特有物种

按照访花3种以上蔷薇科植物且访问多度均大于100的访花昆虫为优势物种,则蔷薇科

植物访花昆虫优势物种为中华蜜蜂、意大利蜜蜂。中华蜜蜂访问4种蔷薇科植物,杏、樱花、海棠花、山楂的中华蜜蜂多度分别是117、156、183、594,山楂花对中华蜜蜂最具有吸引力,杏花对中华蜜蜂的吸引力最差。意大利蜜蜂访问3种蔷薇科植物,樱花、海棠花、山楂的意大利蜜蜂多度分别为104、252、252,海棠花与山楂花对意大利蜜蜂的吸引力相同,樱花对意大利蜜蜂的吸引力次之。

家马蜂、蓝蝇、蜂鸟鹰蛾只访问杏花,是杏的特有访花昆虫物种。羽芒宽盾食蚜蝇只访问樱花,是樱花的特有访花昆虫物种。大蜂虻只访问海棠花,是海棠花的特有访花昆虫物种。山楂不具有特有访花昆虫物种。

## 2.3 蔷薇科植物访花昆虫物种多样性分析

调查到的4种蔷薇科植物访花昆虫多样性见图1。香农-威纳指数表明,杏的访花昆虫多样性最高(1.85),山楂最低(1.24)。这与丰富度结果一致,进一步证实杏花在吸引多种访花昆虫方面具有较高生态功能。杏的访花昆虫的辛普森指数最高(0.78),说明其群落结构较为均匀;而山楂最低(0.54),表明其访花昆虫群落中少数物种(如中华蜜蜂)占据明显优势。Pielou均匀度指数显示,4种蔷薇科植物均匀度差异不大,为0.64~0.78。其中樱花略高(0.78),说明其访花昆虫个体分布相对均匀;山楂最低(0.64),与其多度高度集中于膜翅目昆虫(尤其是中华蜜蜂)有关。

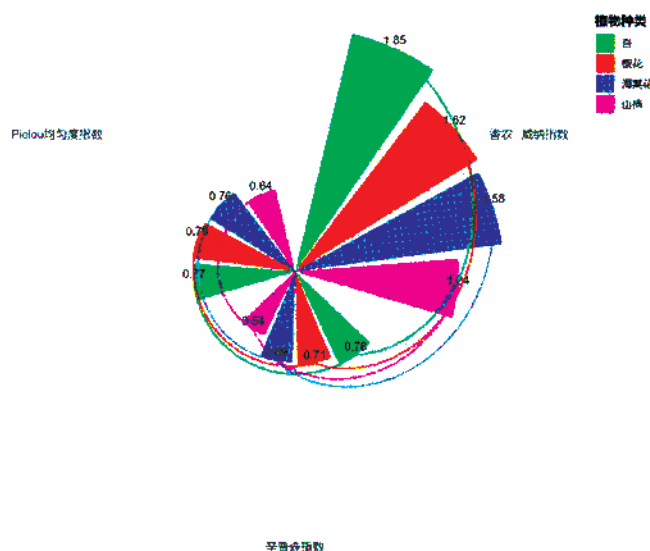


图1 蔷薇科植物访花昆虫多样性指数

Fig. 1 Diversity indexes of flower-visiting insects of Rosaceae

### 3 讨论

调查的4种蔷薇科植物访花昆虫的丰富度是16,目丰富度是3,属丰富度是14。杏的访花昆虫丰富度最高,山楂最低。访花昆虫的多度是2369,山楂访花昆虫多度最高,杏最低。山楂膜翅目访花昆虫多度最高,杏最低。访花昆虫优势物种为中华蜜蜂、意大利蜜蜂。

本研究中,杏的访花昆虫香农-威纳指数最高,表明其能够吸引更多种类的访花昆虫,其访花昆虫群落具有较高的物种多样性和结构复杂性,这可能与杏的花部特征(如花蜜分泌量、花色、花期等)密切相关。相比之下,山楂最低,说明其访花昆虫群落结构相对简单,这可能与山楂花对中华蜜蜂的高度特异性吸引有关。辛普森指数反映了群落中物种的优势程度,值越高表示群落中物种分布越均匀,优势种越不明显。本研究中,杏的最高,说明其访花昆虫群落中无明显的优势种,各物种分布相对均衡。而山楂最低,表明其访花昆虫群落中存在明显的优势物种(中华蜜蜂),这与实际观察到的中华蜜蜂在山楂花上的高访花频率相一致。均匀度指数差异相对较小,表明各植物访花昆虫群落的均匀度处于中等水平。其中樱花略高,说明其访花昆虫个体在各物种间分布最为均衡;而山楂最低,进一步证实了其访花昆虫群落中中华蜜蜂的绝对优势地位。

在本研究中,多样性指数的分析结果揭示了不同蔷薇科植物在维持访花昆虫多样性方面的生态功能差异。尽管杏花吸引的访花昆虫多度最低,但其物种多样性丰富、均匀度较高,表明杏是维持多样性的关键物种,其在维持城市

访花昆虫物种库方面具有重要价值。在城市园林规划中,增加杏的种植比例可能有助于提升整体访花昆虫多样性。山楂则表现出明显的生态专一性特征,其访花昆虫群落以中华蜜蜂为绝对优势种。这种专一性互作关系可能源于山楂与中华蜜蜂在长期协同进化过程中形成的适应性特征,如山楂的花蜜成分、花部形态等特别适合中华蜜蜂的访花行为。樱花和海棠花在多样性指数上处于中间水平,可能在访花昆虫群落中扮演“桥梁”角色,为不同访花昆虫类群提供过渡性资源。特别是海棠花,虽然丰富度中等,但膜翅目访花昆虫多度较高,可能对维持传粉昆虫种群具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 张未仲, 胡嘉隽, 赵龙龙, 等. 蔷薇科果树访花昆虫生态调查[J]. 果树资源学报, 2021, 2(3): 28-32.
- [2] 杜秀娟, 马春森, 吉国强, 等. 不同生境访问桃花昆虫群落组成与时间动态[J]. 吉林林业科技, 2018, 47(4): 17-23.
- [3] 杜秀娟, 张静, 吉国强, 等. 访海棠花昆虫群落多样性及优势物种时间动态[J]. 吉林林业科技, 2020, 49(5): 31-35.
- [4] 官庆涛, 武海斌, 张坤鹏, 等. 杏开花与落花动态及访花昆虫调查[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(2): 332-339.
- [5] 颀彩霞, 郭光辉, 方辽, 等. 西藏林芝樱花访花昆虫多样性及访花行为研究[J]. 西藏科技, 2024, 46(10): 12-17, 24.
- [6] 杜秀娟, 吉国强, 赵宏伟, 等. 山楂访显花昆虫多样性的研究[J]. 吉林林业科技, 2025, 54(1): 25-28.

(本篇专家编审:李兴鹏)

### 著作权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司分别在中国知网、万方数据—数字化期刊群、维普资讯—中文科技期刊数据库、超星期刊域出版平台及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。相关著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《吉林林业科技》编辑部

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.01.008

文章编号:1005-7129(2026)01-0036-04 中图分类号:S759.9 文献标识码:A

# 吉林白山龙山湖国家森林公园自然属性与生态价值评估

鞠献存, 陈卓, 张景春, 汤政泽, 徐嘉璐, 张馨元

(吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022)

**摘要:**为科学评估吉林省自然保护地现状与管护成效,本文以吉林白山龙山湖国家森林公园摸底调查数据为基础,评估了其自然属性和生态价值。结果表明,综合评估分为 70 分,符合国家级森林公园标准。

**关键词:**自然属性;生态价值;森林公园

## Evaluation of Natural Attribute and Ecological Value of Longshan Lake National Forest Park in Baishan City of Jilin Province

JU Xiancun, CHEN Zhuo, ZHANG Jingchun, TANG Zhengze, XU Jialu, ZHANG Xinyuan

(Forestry Investigation and Planning Institution of Jilin Province, Changchun 130022, China)

**Abstract:** In order to scientifically evaluate the current situation and management effectiveness of natural protected areas in Jilin Province, the natural attribute and ecological value of Longshan Lake National Forest Park in Baishan City of Jilin Province were evaluated based on the survey data. The results showed that the comprehensive evaluation score was 70. It met the standard of the national forest park.

**Keywords:** natural attribute; ecological value; forest park

为推进吉林省的自然保护地(以国家公园为主体)体系建设,编制发展专项规划,需对吉林省的自然保护地现状与管护成效进行科学评估。本文以吉林白山龙山湖国家森林公园摸底调查数据为基础,评估了其自然属性和生态价值。

### 1 研究区概况

吉林白山龙山湖国家森林公园(以下简称森林公园)位于吉林省白山市东南部三道沟镇,鸭绿江沿岸,地理坐标  $126^{\circ}23'34''\sim 126^{\circ}40'53''\text{E}$ 、 $41^{\circ}30'25''\sim 41^{\circ}40'27''\text{N}$ 。森林公

园南北长 17.3 km,东西宽 27.75 km,经营面积 13 128.00  $\text{hm}^2$ 。森林公园地处长白山西南坡,长白山系老岭山脉东段,距长白山主峰 130 km。森林公园内最高山峰为老虎山,海拔 1 367 m,最低点海拔 290 m,位于三道沟河与鸭绿江交汇处。森林公园内以花岗岩、玄武岩和沉积岩为主,土壤主要有暗棕壤、白浆土、草甸土、冲积土等。

### 2 评估依据

参照吉林白山龙山湖国家森林公园森林资源“一张图”数据及卫星遥感数据,结合现地核

收稿日期:2025-10-16

第一作者:鞠献存(1996—),男,工程师,从事森林资源调查与监测工作,E-mail:973570040@qq.com。

实,针对自然属性和生态价值相关指标对森林公园进行摸底调查。本研究采用6个因子评估其自然属性,原真性表示其生态系统和主要保护对象未受人为干扰、维持自然或原始状况的程度,生物多样性表示其生态综合体的多样化程度,典型性表示其自然生态状况能在多大程度上反应其所处生物地理区域的自然生态状况,稀有性表示其物种、群落、生境和生态系统在自然界现存量的稀有程度,完整性表示其生态系统在外来干扰下维持自然状态、稳定性和自组织能力的程度,脆弱性表示其物种、生境、生态系统等遭受破坏和扰动后恢复原状的能力。本研究采用4个因子评估其生态价值,生态系统服务价值表示人类直接或间接从其生态系统得到的利益,科研价值表示其保护对象在科学研究方面的重要程度,观赏价值表示其景观资源的重要程度,文化价值表示其文化景观的重要程度。本研究依据定性和定量评估相结合的方法,得出森林公园自然属性和生态价值的评估分数<sup>[1-8]</sup>。

### 3 评估结果与分析

#### 3.1 自然属性

##### 3.1.1 原真性

森林公园进行过采伐活动,现保留的天然林大部分为天然次生林。天然林面积为10 841.43 hm<sup>2</sup>,占园区总面积的82.58%。幼龄林面积为182.24 hm<sup>2</sup>,占天然林总面积的1.68%;中龄林面积为1 869.84 hm<sup>2</sup>,占天然林总面积的17.25%;近熟林面积为8 516.54 hm<sup>2</sup>,占天然林总面积的78.55%;成熟林面积为272.81 hm<sup>2</sup>,占天然林总面积的2.52%。因此,原真性评估等级II级,属于天然次生状态,评估分数8分。

##### 3.1.2 生物多样性

《吉林省生物多样性保护战略与行动计划(2011—2030)》将白山市区划入生物多样性优先保护区域。森林公园内分布有野生维管植物800余种,其中国家重点保护野生植物9种,还

分布有黄花落叶松(*Larix olgensis*)、杉松(*Abies holophylla*)等94种吉林省重点保护野生维管植物。森林公园内分布有脊椎野生动物240余种,其中国家重点保护野生动物30余种。森林公园内生态系统的组成成分与结构复杂、构成多样,保护对象具有突出代表意义。因此,生物多样性评估等级I级,属于生态多样性富集分布区,评估分数12分。

##### 3.1.3 典型性

森林公园地处长白山针阔叶混交林林区,乔木林面积为11 034.99 hm<sup>2</sup>。红松(*Pinus koraiensis*)林面积38.77 hm<sup>2</sup>,占总面积的0.35%;核桃楸(*Juglans mandshurica*)林面积26.68 hm<sup>2</sup>,占总面积的0.24%;落叶松(*Larix gmelinii*)林面积63 hm<sup>2</sup>,占总面积的0.57%;蒙古栎(*Quercus mongolica*)林面积282.26 hm<sup>2</sup>,占总面积的2.56%;阔叶混交林面积10 526.41 hm<sup>2</sup>,占总面积的95.39%;针阔混交林面积43.78 hm<sup>2</sup>,占总面积的0.40%;其他林分面积54.09 hm<sup>2</sup>,占总面积的0.49%。综上,森林公园在省内具有代表意义,典型性评估等级III级,属于一般典型,评估分数4分。

##### 3.1.4 稀有性

森林公园有国家重点保护野生动物30余种,其中国家一级重点保护野生动物3种,紫貂(*Martes zibellina*)、原麝(*Moschus moschiferus*)、中华秋沙鸭(*Mergus squamatus*)。森林公园有国家一级重点保护野生植物1种,东北红豆杉(*Taxus cuspidata*);国家二级重点保护野生植物8种,松口蘑(*Tricholoma matsutake*)、对开蕨(*Asplenium komarovii*)、红松、朝鲜崖柏(*Thuja koraiensis*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、野大豆(*Glycine soja*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)。森林公园内主要保护对象地理分布狭窄,稀有性评估等级III级,属于一般稀有,评估分数4分。

##### 3.1.5 完整性

森林公园面积为13 128.00 hm<sup>2</sup>,大小较适宜,基本能够维持生态系统的结构和功能,能有

效保护现自然保护地范围内主要保护对象,能基本维持原自然保护地范围内主要保护物种最小存活种群。因此,完整性评估等级 II 级,属于较完整,评估分数 8 分。

### 3.1.6 脆弱性

根据《全国水土保持规划国家级水土流失重点预防区和重点治理区复核划分成果》(办

水保[2013]188 号),确定森林公园位于国家级水土流失重点预防区。因此,脆弱性评估等级 I 级,属于十分脆弱,评估分数 10 分。

### 3.2 生态价值

#### 3.2.1 生态系统服务价值

采用生态服务价值当量因子法对森林公园的生态系统服务价值进行测算<sup>[5]</sup>,见表 1。

表 1 生态系统服务价值

Tab. 1 Ecosystem service value

分类	服务价值/元						
	水资源供给	气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	土壤保持	持续养分循环
阔叶林	8 184 691	52 237 587	156 472 036	46 460 158	114 104 223	63 792 445	4 814 524
针叶林	63 636	400 671	1 194 941	351 176	787 200	485 519	37 710
针阔混交林	35 831	227 577	680 795	192 714	339 913	276 966	21 305
水系	33 605 999	3 121 426	9 283 201	22 498 588	414 460 479	3 770 034	283 766
灌木	22 283	142 815	428 446	129 648	339 313	174 214	13 167
裸地	0	605	0	3 026	908	605	0
合计	41 912 440	56 130 681	168 059 419	69 635 310	530 032 036	68 499 783	5 170 472

森林公园生态系统服务价值为 939 440 141.00 元,其面积为 13 128.00 hm<sup>2</sup>,单位面积生态系统服务价值为 71 560.04 元·hm<sup>-2</sup>。森林公园属陆地生态系统类型为主的自然保护地,面积>1 000 hm<sup>2</sup>,且单位面积生态系统服务价值>35 000 元·hm<sup>-2</sup>。因此,生态系统服务价值评估等级 I 级,属于高服务价值,评估分数 9 分。

#### 3.2.2 科研价值

森林公园地处长白山针阔叶混交林林区内,有国家重点保护野生植物 9 种,国家重点保护野生动物 30 余种。保护对象在生物学方面具有较大的科研价值。因此,科研价值评估等级 II 级,属于中科研价值,评估分数 5 分。

#### 3.2.3 观赏价值

森林公园内龙山湖是由中朝两国的界江——鸭绿江拦截而成的条状蜿蜒湖泊,是鸭绿江上一道亮丽的风景线。森林公园水量充足,每年 11 月中旬至次年 3 月中旬,当气温低于 0℃但还未达到下雪的条件时,水面雾气袅袅,水气化成云雾凝结成细小的霜状结晶附着

在岸边的树枝、草叶、岩石上产生雾凇景观,使游客陶醉其中。因其优越的自然条件,森林公园具有较高的资源价值和旅游价值。因此,观赏价值评估等级 II 级,属于中观赏价值,评估分数 5 分。

#### 3.2.4 文化价值

森林公园所在的三道沟镇属少数民族散居地区,有朝鲜、回、满、锡伯等民族居住。公园内还有抗联密营遗址、侵华日军碉堡遗址等历史遗迹。红色文化和民俗风情文化交织,既承载着过往岁月的智慧积淀,也映射出当代社会的万千风貌。因此,文化价值评估等级 II 级,属于中文化价值,评估分数 5 分。

### 3.3 综合评估结果

森林公园所有评分等级以及分数见表 2,在自然属性和生态价值 10 项评估因子中,有 I 级 3 项、II 级 5 项、III 级 2 项。其综合评估分 70 分,其中,自然属性评估分 46 分,生态价值评估分 24 分。

表 2 吉林白山龙山湖国家森林公园自然属性与生态价值评估结果

Tab. 2 Evaluation results of natural attribute and ecological value of Longshan Lake National Forest Park in Baishan City of Jilin Province

评估因素	评估因子	评估等级	评估分数
自然属性	原真性	II	8
	生物多样性	I	12
	典型性	III	4
	稀有性	III	4
	完整性	II	8
	脆弱性	I	10
	小计		46
生态价值	生态系统服务价值	I	9
	科研价值	II	5
	观赏价值	II	5
	文化价值	II	5
	小计		24
合计			70

#### 4 结论与建议

##### 4.1 结论

吉林白山龙山湖国家森林公园自然属性评估分 46 分,生态价值评估分 24 分,综合评估分 70 分,符合国家级森林公园标准。

##### 4.2 建议

森林公园的管理上,要健全保护地机构管理长效机制,充实管理人员并建立完善的保护网络系统。根据国家、地方有关自然保护区的法律、法规和条例,按照“分区管理、分级保护”的原则,结合公园的实际情况,制定行之有效的管理办法和联防共管制度,使保护管理工作制度化、规范化和法制化。同时,要做到森林资源保护与开发的协调同步,保持自然资源的完整性,为人民提供良好、舒适的生活、旅游环境。

##### 参考文献

[1]姚雪,丁京仲,陈思羽,等.吉林露水河国家森林公园自然属性与生态价值评估[J].吉林林业科技,2021,50(2):3-5.

[2]易桂秀,邓兆芳,胡而思.国家公园为主体的江西省自然保护地体系建设路径与策略[J].林业资源管理,2020(2):67-72.

[3]钟林生,肖笃宁,赵士洞.乌苏里江国家森林公园生态旅游适宜度评价[J].自然资源学报,2002,17(1):71-77.

[4]孙一博,贺梦莹,王桂鑫.吉林江源国家森林公园自然属性与生态价值评估[J].林业科技情报,2022,54(3):179-181.

[5]谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,38(8):1243-1254.

[6]葛剑锋,吕家.吉林老梁山省级森林公园自然属性与生态价值评估[J].吉林林业科技,2023,52(3):37-39.

[7]丁智强,王平,李玉辉,等.滇东南博吉金国家森林公园旅游资源评价研究[J].林业调查规划,2019,44(2):104-110.

[8]张雪.吉林泉阳泉国家森林公园自然属性与生态价值评估[J].绿色科技,2022,24(1):141-143.

(本篇专家编审:林士杰)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.01.009

文章编号:1005-7129(2026)01-0040-05 中图分类号:Q948.5 文献标识码:A

## 吉林省被子植物新资料

王戈戎<sup>1</sup>, 安海成<sup>2</sup>, 蔡群<sup>3</sup>, 田强<sup>3</sup>, 姜润华<sup>4</sup>, 夏富才<sup>1</sup>

(1. 北华大学, 吉林 吉林 132013; 2. 吉林市烟筒山苗木合作社, 吉林 吉林 132302; 3. 吉林省林木种苗管理站, 吉林 长春 130022; 4. 吉林省林业科学研究院, 吉林 长春 130033)

**摘要:**在吉林省种质资源普查与收集工作中,发现吉林省被子植物新记录 5 种,即腺柄凤仙花、木龙葵、黏果酸浆、两栖苣菜、欧亚苣菜,新记录种的发现进一步丰富了吉林省的植物资源。

**关键词:**吉林省;被子植物;新记录

## New Data of Angiosperms in Jilin Province

WANG Gerong<sup>1</sup>, AN Haicheng<sup>2</sup>, CAI Qun<sup>3</sup>, TIAN Qiang<sup>3</sup>, JIANG Runhua<sup>4</sup>, XIA Fucui<sup>1</sup>

(1. Beihua University, Jilin 132013, China; 2. Yantong Mountain Seedling Cooperative in Jilin City, Jilin 132302, China; 3. Forest Seedling Management Station of Jilin Province, Changchun 130022, China; 4. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** During the general survey and collection of germplasm resources in Jilin Province, five new angiosperm species in Jilin Province were recorded. Those were *Impatiens glandulifera* Royle, *Solanum scabrum* Mill., *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem., *Rorippa amphibia* (L.) Besser, and *Rorippa sylvestris* (L.) Besser. The discovery of new record species further enriched the plant resources in Jilin Province.

**Keywords:** Jilin Province; angiosperm; new record

吉林省位于我国东北地区中部,地理位置 121°38'~131°19' E、40°50'~46°19' N,总面积达 18.74 万 km<sup>2</sup>,地势东南高、西北低<sup>[1]</sup>,气候为温带大陆性季风气候。全省兼有平原、丘陵和山地,地形的多样性造就了植被类型的多样性并孕育了丰富的植物种质资源<sup>[2-4]</sup>,尤其是吉林省东部的长白山区,其植被的垂直地带性明显<sup>[5]</sup>。据不完全统计,吉林省约有维管植物

2 400 余种,植物区系较为复杂<sup>[6]</sup>,多位植物学者对吉林省植物资源进行了系统的调查<sup>[7-10]</sup>。

2023 年 6 月—2025 年 7 月,研究人员对吉林省的多个区域开展林草种质资源普查与收集工作,查证《东北植物检索表》《中国植物志》等资料<sup>[7, 11-13]</sup>,发现吉林省被子植物新记录 5 种,即腺柄凤仙花(*Impatiens glandulifera* Royle)、木龙葵(*Solanum scabrum* Mill.)、黏果酸浆(*Phys-*

收稿日期:2025-10-28

基金项目:吉林省科技发展计划项目(20240601089RC)

第一作者:王戈戎(1974—),女,副教授,硕士研究生,主要从事植物资源研究,E-mail:wanggerong2000@163.com。

通信作者:夏富才(1973—),男,教授,博士研究生,主要从事植物资源研究,E-mail:xfc0707@163.com。

*alis ixocarpa* Brot. ex Hornem.)、两栖焯菜 *Rorippa amphibia* (L.) Besser、欧亚焯菜 *Rorippa sylvestris* (L.) Besser, 分属 3 科 4 属, 凭证标本保存在北华大学林学院植物标本室(JLFC)。新记录种的发现进一步丰富了吉林省的植物资源。

### 1 腺柄凤仙花

腺柄凤仙花(*Impatiens glandulifera* Royle in Ill. Bot. Himal. Mts.: 151, 1835.) 为凤仙花科凤仙花属(见图 1)。一年生草本, 一般高 60~120 cm, 最高可达 250 cm。茎直立, 粗壮, 圆柱形, 具明显的棱, 节上常具明显的腺体。叶对生或轮生, 椭圆状卵形或卵状披针形, 长 6~15 cm, 宽 1.8~6.5 cm。总状花序顶生或近顶生, 花多数。花粉红色或红紫色, 长约 3 cm。侧生萼片 2, 斜卵状心形; 唇瓣囊状, 基部骤狭成长 5~6 mm 急内弯的短距; 旗瓣近圆形, 背部具龙骨突, 顶端微凹; 翼瓣无柄, 长约 2.6 cm, 上下裂片不等长; 上部裂片宽斧形, 长约 1.5 mm; 基部裂片近斧形, 尖侧面具明显反折

的耳状附属物。蒴果宽棒状, 下垂, 顶端喙尖。种子近球形, 宽约 3 mm, 具皱纹。花果期 7—10 月。

该种采集地为吉林省永吉县双河镇, 地理位置 126. 211 453° E、43. 466 598° N, 海拔 299. 0 m, 生境为路旁、小河沟旁, 伴生植物主要有葎草(*Humulus scandens* (Lour.) Merr.)、东方蓼 *Persicaria orientalis* (L.) Spach、狼把草(*Bidens tripartita* L.)、藜(*Chenopodium album* L.) 等。

该种原产于西喜马拉雅, 在黑龙江漠河<sup>[14]</sup>、内蒙古呼伦贝尔归化。其属高大草本, 叶对生或轮生, 叶椭圆状卵形或卵状披针形, 总状花序多花, 与吉林省已知分布的 4 种凤仙花属的物种区别明显<sup>[11, 14-16]</sup>。

该种日前已经在欧洲、北美、俄罗斯成为严重的外来物种<sup>[14-17]</sup>, 其总状花序多花, 易产生大量种子, 种子通过河流或溪水传播<sup>[18]</sup>, 繁殖力强, 可能会在东北地区产生一定的危害, 需定期监测其扩散趋势, 以及采取必要的防治措施<sup>[19]</sup>。

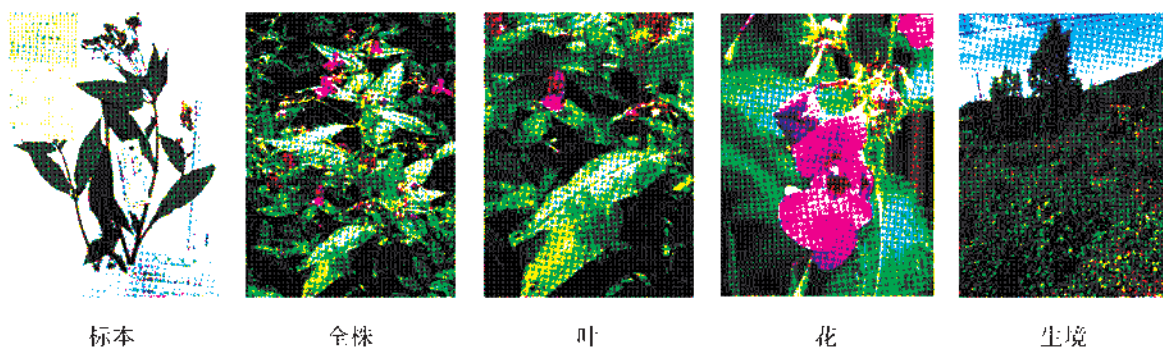


图 1 腺柄凤仙花

Fig. 1 *Impatiens glandulifera* Royle

### 2 木龙葵

木龙葵(*Solanum scabrum* Mill. in Gard. Dict., ed. 8, Solanum no. 6. 1768.) 为茄科茄属(见图 2)。一年生草本, 高约 0.8 m。茎直立, 多分枝, 无毛或疏生短毛。叶互生, 叶片卵形或卵状披针形, 叶柄长 1~3 cm。伞状聚伞花序腋外生, 花冠白色或淡紫色。雄蕊 5, 花药黄

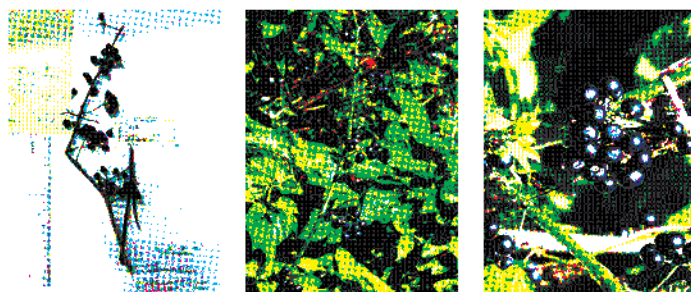
色。果有光泽, 果梗下垂。种子多数, 扁平, 黄褐色。

该种采集地为吉林省磐石市烟筒山镇长崴子村, 地理位置 125. 995 350° E、43. 287 071° N, 海拔 285. 0 m, 生境为农田路边、村庄附近等人为干扰环境。

该种原产于非洲, 在浙江、福建、江西、湖南、广东、广西、四川、贵州、云南、西藏、台湾逸

生<sup>[12]</sup>。其半灌木状,伞状聚伞花序腋外生,萼齿三角状卵形,先端钝,子房圆形,与东北地区常见的龙葵(*Solanum nigrum* L.)区别明显<sup>[12]</sup>。

该种在原产地非洲作为栽培蔬菜,浆果可食用,叶可治疗痢疾<sup>[20]</sup>,可作为吉林省潜在的野生可食用植物资源开发。



标本 叶 果实

图2 木龙葵

Fig. 2 *Solanum scabrum* Mill.

### 3 黏果酸浆

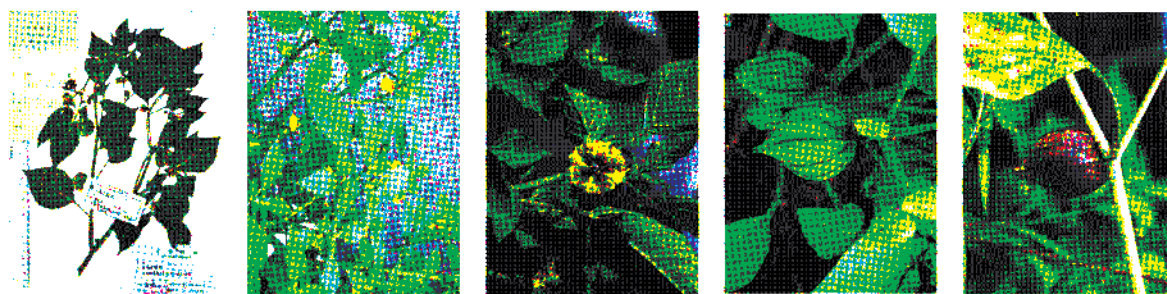
黏果酸浆(*Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem. in Hort. Bot. Hafn., Suppl.: 26, 1819.)为茄科洋酸浆属(见图3)。草本,高40~100 cm。茎粗,其分枝较为茂密。叶片呈椭圆形,顶部较尖,基部为歪斜心形,叶片的正反两面有疏毛,叶柄具有较小的绒毛。花腋生,花瓣中存在星形结构形式的紫色斑点,萼片为钟状,裂片为披针形。花冠为淡黄色,花药为淡紫色,长2~4 mm。浆果为圆球形果实,直径3~6 cm,黄色至紫色,果实内部由表果皮、中果皮和内果皮组成。表果皮薄,而中果皮和内果皮肉质种子扁

圆。其单生花和果实被膨大的果萼包围<sup>[21]</sup>。

该种采集地为吉林省磐石市烟筒山镇石棚村,地理位置125.994 698° E、43.312 758° N,海拔293.0 m,生境为路旁。

该种原产于中美洲与北美西南部,墨西哥的伊达尔戈州和莫雷洛斯州是其核心原产地,吉林省系首次记录。

该种浆果可食用,为墨西哥传统食材,在绿色莎莎酱等特色料理中不可或缺,其国际市场需求潜力大。该种还具有抗肿瘤,消炎等作用,因此可作为潜在的资源植物。同时该种的繁殖力强,也需注意外来入侵的风险<sup>[22]</sup>。



标本 叶 花 果实(未成熟) 果实(成熟)

图3 黏果酸浆

Fig. 3 *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem.

### 4 两栖蕻菜

两栖蕻菜 *Rorippa amphibia* (L.) Besser in

Enum. Pl. Volh.; 27, 1821.]为十字花科焯菜属(见图4)。茎直立或匍匐,中空,基部木质化,节处易生不定根。叶片无毛,果期时枯萎,

形态随环境变化显著。水生时,羽状深裂,裂片细长如线形;陆生时,叶长椭圆形至短椭圆形,长3~6 cm,边缘有不整齐的锯齿但不分裂。基生叶和茎下部叶略大,基部渐狭成叶柄状,中部以上的叶渐小,基部不呈柄状,而稍呈耳状抱茎。花小,黄色,花瓣4枚,排列成总状花序。果实为长角果,圆柱形,内含多数网状纹种子。

该种采集地为吉林省农安县吉林波罗湖国家级自然保护区,地理位置 124. 794 960° E、

44. 361 851° N,海拔 168. 0 m,生境为池塘、河岸。

该种原产于欧洲,目前在中亚、北非、北美等地亦有分布<sup>[23]</sup>,该种在我国首次记录为辽宁省大连市<sup>[24]</sup>,为我国新发现的归化物种。

该种根系发达,以分蘖为主要的繁殖方式,且生在潮湿处,适应力强,能在草坪、荒地、林下生长,具有潜在的危害,需加强外来植物检验检疫。

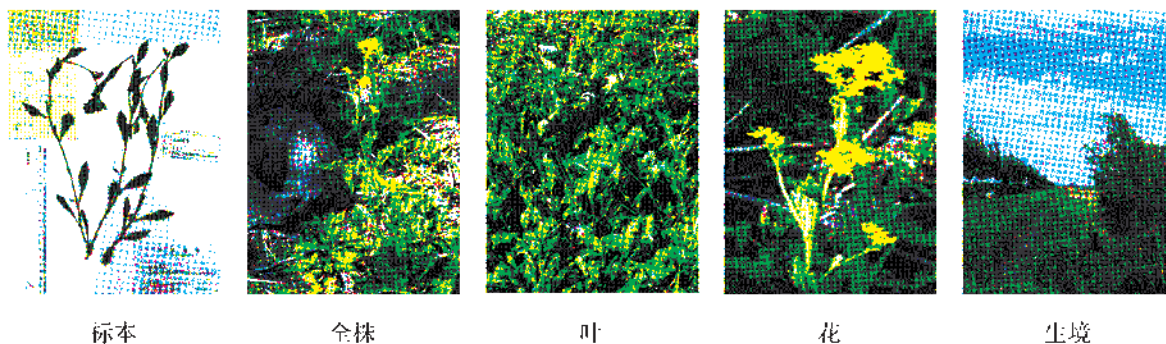


图4 两栖蔊菜

Fig. 4 *Rorippa amphibia* (L.) Besser

#### 5 欧亚蔊菜

欧亚蔊菜 [*Rorippa sylvestris* (L.) Besser in Enum. Pl. Volh. : 27, 1821.] 为十字花科蔊菜属(见图5)。一、二年生至多年生草本,高0.2~0.4 m。茎直立或呈铺散状,多分枝,无毛或疏生短毛。叶长圆形或披针形,边缘有不规则锯齿,上部茎生叶较小,羽状浅裂或深裂。总状花序顶生或腋生,花小,黄色。果梗细长,近水平开展。种子多数,椭圆形,棕褐色<sup>[13]</sup>。

该种采集地为吉林省磐石市取柴河镇五一水库,地理位置 126. 180 649° E, 43. 321 386° N,海拔 382. 0 m,生境为农口、路边等人为干扰环境。

该种原产于欧洲和亚洲西南部,在新疆、青海、西藏、甘肃、辽宁等地有分布,其在吉林省的发现可能与农业活动和人为传播有关。

该种嫩茎叶可食用,在欧洲部分地区被作为野菜采集。其繁殖能力强,在适宜环境中可能形成大面积群落,应关注其在吉林省的扩散情况。

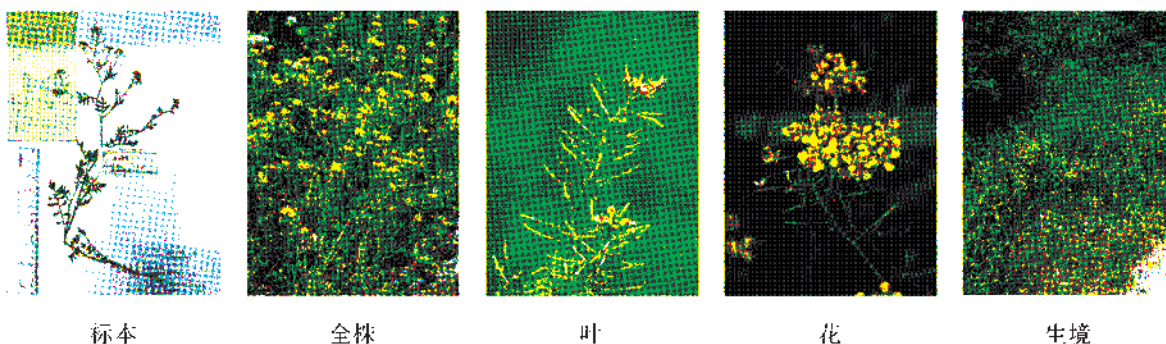


图5 欧亚蔊菜

Fig. 5 *Rorippa sylvestris* (L.) Besser

## 6 小结

以上吉林省5种被子植物新记录丰富了吉林省的植物资源,但部分物种系外来入侵植物,今后需对其进行监测,并制定有效的防控措施。新记录物种木龙葵、黏果酸浆的发现,为吉林省新增可食用植物资源,今后可对其进行更深入的研究。

## 参考文献

- [1]孙明洲. 吉林省生物多样性 菌物志 植物志 动物志: 植物志 第七卷[M]. 长春: 吉林教育出版社, 2021: 1-5.
- [2]周繇. 中国常见植物野外识别手册: 吉林册[M]. 北京: 商务印书馆, 2023.
- [3]白玉光, 祝廷成. 利用卫星影像编制吉林省植被类型图(1: 50万)[J]. 地理科学, 1991, 11(1): 67-75, 100.
- [4]徐文铎, 何兴元, 陈玮, 等. 长白山植被类型特征与演替规律的研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 162-174.
- [5]金英花, 金洙哲. 吉林省植物志 第二卷[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2022: 1-2.
- [6]倪红伟, 张喜军. 吉林省植物区系的组成及其基本特点[J]. 国土与自然资源研究, 1990(3): 59-63.
- [7]傅沛云. 东北植物检索表[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 1995.
- [8]杨利民, 韩梅. 吉林药用植物志[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2020.
- [9]张淑梅. 东北植物检索图志[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2024.
- [10]牛亚玲. 吉林省植物新记录[J]. 西北植物学报, 2014, 34(1): 193-195.
- [11]中国植物志编辑委员会. 中国植物志 第四十七卷 第二分册[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 29-170.
- [12]中国植物志编辑委员会. 中国植物志 第六十七卷 第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 78.
- [13]中国植物志编辑委员会. 中国植物志 第三十三卷[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 301.
- [14]秦菲, 张文笛, 刘琴, 等. 腺柄凤仙花, 中国凤仙花属一新归化种[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(1): 111-116.
- [15]丛义艳, 胡光万, 刘克明, 等. 中国凤仙花科植物[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2024.
- [16]杨利民. 吉林省生物多样性 菌物志 植物志 动物志: 植物志 第五卷[M]. 长春: 吉林教育出版社, 2021: 1-5.
- [17]Beerling D J, Perrins J M. *Impatiens glandulifera* Royle (*Impatiens roylei* Walp.) [J]. *Journal of Ecology*, 1993, 81(2): 367-382.
- [18]Varia S, Pollard K, Ellison C. Implementing a novel weed management approach for *Himalayan balsam*: progress on biological control in the UK[J]. *Outlooks on Pest Management*, 2016, 27(5): 198-203.
- [19]李成宏, 苑景淇, 于忠亮, 等. 吉林省外来入侵植物的现状与防治对策[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(14): 51-54.
- [20]池方河, 颜福彬, 林峰, 等. 发现于浙江的2个华东归化植物新记录[J]. 浙江林业科技, 2023, 43(2): 89-92.
- [21]宗宪春, 张佳奇. 粘果酸浆的植物化学成分及生物活性研究进展[J/OL]. 分子植物育种, 2023-07-25. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20230724.2114.009>.
- [22]Zhang C R, Khan W, Bakht J, et al. New anti-inflammatory sucrose esters in the natural sticky coating of tomatillo (*Physalis philadelphica*), an important culinary fruit [J]. *Food Chemistry*, 2016, 196: 726-732.
- [23]张淑梅, 李增新, 王青, 等. 中国焯菜属新记录—两栖焯菜[J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17(2): 176-178.
- [24]刘森. 草坪外来入侵种两栖焯菜(*Rorippa amphibia*)的种群动态和危险性评估[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019: 34.

(本篇专家编审:刘玉波)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.01.010

文章编号:1005-7129(2026)01-0045-04 中图分类号:F326.27 文献标识码:A

## 舒兰市七里乡林下经济发展现状、 存在的问题及创新发展策略

陈玉龙, 李岩

(1. 舒兰市七里乡综合服务中心, 吉林 吉林 132600; 2. 舒兰市新安乡综合服务中心, 吉林 吉林 132625)

**摘要:**本文基于舒兰市七里乡 2024 年林下经济核心数据,梳理了中药材、林果、林木种苗及人参种植等领域的林下经济发展现状,指出了林下经济发展存在的问题,提出了创新发展策略。

**关键词:**舒兰市七里乡;林下经济;发展现状;问题;创新发展策略

## Development Status, Existing Problems and Innovative Development Strategies of Under-forest Economy in Qili Township of Shulan City

CHEN Yulong, LI Yan

(1. Comprehensive Service Center of Qili Township in Shulan City, Jilin 132600, China; 2. Comprehensive Service Center of Xin'an Township in Shulan City, Jilin 132625, China)

**Abstract:** Based on the core data of under-forest economy in Qili Township of Shulan City in 2024, the development status of under-forest economy in the fields of Chinese crude drug, forest fruit, forest seedling and ginseng planting was combed in this paper. The problems existing in the development of under-forest economy were pointed out, and the innovative development strategies were put forward.

**Keywords:** Qili Township of Shulan City; under-forest economy; development status; problems; innovative development strategies

集体林权制度改革的深化为林区经济发展注入了新动能,“向森林要食物”的战略导向推动林下经济成为乡村振兴的重要增长方向,但林下经济规模有限、产业较少、预期不稳是制约林下经济助力乡村振兴的主要因素<sup>[1]</sup>。七里乡地处吉林省舒兰市东北部,长白山余脉向松嫩平原过渡地带,东与黑龙江省五常市沙河镇接壤,南与开原镇相连,西与水曲柳镇毗邻,北

与平安镇交界,是舒兰市的典型林区,集体林地面积较大,结构分布均匀,其 14 756 hm<sup>2</sup> 的林地面积为多元产业发展提供了较大的拓展空间。应结合当地条件,通过科技创新激活森林资源潜力,推动林下经济高质量发展。本文基于七里乡 2024 年林下经济核心数据,结合实地产业特征,探索适合东北林区的林下经济特色发展路径。

收稿日期:2025-09-16

第一作者:陈玉龙(1990—),男,工程师,主要从事林业工作,E-mail:55238995@qq.com。

## 1 发展现状

### 1.1 产业布局

目前七里乡已形成了中药材、林果、林木种苗、人参种植四大林下经济板块。

中药材(不含人参)种植面积 10.4 hm<sup>2</sup>,鲜品产量 4 t,产值 51 万元。其中赤芍面积 4.7 hm<sup>2</sup>,产值 30 万元(占比 58.8%);桔梗面积 4.0 hm<sup>2</sup>,产值 15 万元(占比 29.4%);板蓝根面积 1.7 hm<sup>2</sup>,产值 6 万元(占比 11.8%)。板蓝根种植项目与国家“林药生态栽培”技术方向高度契合,板蓝根作为药食同源品种符合森林食物功能化开发的要求,可为后续产业链延伸预留空间。

林果种植面积 72.9 hm<sup>2</sup>,总产量 340.5 t,产值 295.3 万元。其中大榛子面积 10 hm<sup>2</sup>,处于盛果期,产值 108 万元(占比 36.6%);软枣猕猴桃面积 4 hm<sup>2</sup>,处于盛果期,产值 40 万元;大棚葡萄单位面积效益 20.8 万元·hm<sup>-2</sup>。

林木种苗方面,6 户经营主体生产绿化种苗,培育基地 151.3 hm<sup>2</sup>,年出圃苗木超 200 万株,产值 140.7 万元;1 户经营主体生产造林种苗,主要以红松为主。部分经营主体多树种多元化培育,产品辐射周边城乡绿化市场。

人参种植面积 211.7 hm<sup>2</sup>。舒兰原生野山参是长白山野生人参的传代品种,拥有原始基因,“野籽野播”,生命力顽强,病虫害少,成活率高,品质优良,安全性高。其含有的稀有皂苷 RG3 和 RH2 以及多糖等物质是普通林下参的 3 倍以上,国家药典规定的 33 种农残、激素均为零值。2020 年舒兰原生野山参通过欧盟森林认证认可计划(PEFC)、中国森林认证委员会(CFCC)、中国合格评定委员会(CNAS)三家联合认证,获得生产经营性珍稀濒危植物(野生人参)森林认证。

### 1.2 空间分布与经营特征

地域分布呈现“一村一品”的离散集聚特征,永生村集聚龙丰果/鸡心果种植(11 hm<sup>2</sup>),三合村侧重龙丰果与葡萄组合,七里村形成大榛子(10 hm<sup>2</sup>)与软枣猕猴桃(4 hm<sup>2</sup>)的特色搭配,长治村、黄泥村人参种植面积占人参种植总

面积的 80%。

经营主体以小农户为主导,28 户林果经营主体中,90%的经营规模低于 5 hm<sup>2</sup>,且均未形成龙头带动效应。专业合作社覆盖率为零,导致市场议价能力薄弱。林木种苗方面虽出现年销售额 50 万元左右的规模化经营主体,但仍停留在“育苗—销售”的初级阶段,产业链延伸不足。

## 2 存在的问题

### 2.1 规模效应与结构失衡的双重约束

产业规模存在明显短板,中药材种植面积仅为林果种植面积的 14.3%,人参产业虽规模较大,但 15~20 年的生产周期导致短期效益难以显现。品种结构存在同质化风险,龙丰果种植涉及 8 户经营主体,占林果经营主体的 28.6%,可能引发市场饱和。林木造林种苗中,紫叶稠李、王族海棠等品种重复培育,资源配置效率有待提升。

七里乡集体林地单位面积产出低于全国水平,扣除成本后实际效益更低。这种差距源于产业结构单一,缺乏“林菌—林药—林旅”的复合经营模式,未能实现林地资源的立体开发。

### 2.2 产业链条的断层与附加值困境

加工环节成为突出短板,中药材加工企业为零,林果产品以鲜销为主,深加工率不足 5%,与“森林食物高值化利用”的要求存在代际差距。以榛子产业为例,仅停留在原料出售阶段,未开发坚果加工品、保健品等高附加值产品,价值链提升空间巨大。

市场体系建设滞后,28 户林果经营主体均采用独立销售模式,物流成本占比达 15%~20%。品牌建设近乎空白,虽拥有软枣猕猴桃等特色品种,但未形成地理标志或区域公共品牌,产品溢价能力薄弱,难以进入高端消费市场。

### 2.3 科技支撑与要素保障的不足

技术应用处于初级阶段,中药材种植沿用传统耕作方式,未采用“精准水肥药一体化”技术。林果病虫害防治依赖化学农药,与“绿色防控”要求脱节。林木种苗繁育中,智能化设备普及率为零,远低于全国集体林区 15%的平

均水平。

专业人才匮乏,全乡 122 名从业人员(其中脱贫户 19 名)中具备专业技术背景的不足 5 名。与“林机林艺融合”的技术要求相比,在机械化采收、智能化监测等领域存在明显差距,如人参种植仍采用人工,效率仅为机械化作业的 1/8。

要素保障存在短板,集体林地利用率仅 10%,人参种植 90% 依赖国有林地,林地流转机制不完善制约规模化经营。基础设施薄弱,林区道路通达率 62%,灌溉系统覆盖率不足 3%,影响生产稳定性。

### 3 创新发展策略

#### 3.1 构建三链融合的产业体系

##### 3.1.1 产业链延伸工程

重点发展中药材初加工与精深加工,建设赤芍饮片加工厂,开发芍药苷提取生产线,提升产品附加值。林果产业引入冻干技术,生产葡萄脆片、梨膏等产品,延长货架期。提升林下经济产品价值,提高企业和从业者收益,促进产业的发展<sup>[2]</sup>。

##### 3.1.2 供应链整合工程

建立“农户+合作社+电商”产销体系,依托舒兰市农产品电商平台,提高线上销售额占比。借鉴“东北林药生态栽培模式”的成功经验,构建覆盖种植、采收、仓储、物流的全链条服务中心,降低流通成本。

##### 3.1.3 价值链提升工程

加强和维护林下经济的品牌建设,打造“七里山珍”区域公共品牌,重点培育软枣猕猴桃、原生野山参等地理标志产品。建立产品溯源系统,实现“从林地到餐桌”的全程质量控制,提升优质优价率。

#### 3.2 实施科技赋能行动计划

##### 3.2.1 技术引进与转化

与科研院所合作,引进“林药复合经营”技术,在榛子林下套种赤芍、红松林下套种威灵仙,形成“上层坚果—下层药材”的立体种植模式,提高土地综合收益。推广无人机植保技术,提升病虫害防治效率,减少农药使用量。

##### 3.2.2 智能化改造

在林木种苗基地安装环境监测设备,实现土壤墒情、空气温湿度等数据的实时采集,建立育苗智能决策系统,提高出苗率。人参种植区试点物联网技术,精准控制光照、土壤水分、空气湿度,缩短生产周期。

##### 3.2.3 人才培育计划

实施“林下经济带头人”培训项目,与职业院校合作,开设林产品加工、电商运营等课程,培养掌握先进技术的骨干人员。树立林农发展林下经济意识,提升乡镇林下经济科技水平<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 深化政策衔接与要素保障

##### 3.3.1 集体林权制度改革

建立林地经营权流转平台,鼓励农户以入股、托管等形式整合零散林地,培育 50 hm<sup>2</sup> 以上的规模化经营主体。探索“林地经营权抵押贷款”模式,撬动金融资本,在金融支持下让林下经济高质量发展<sup>[4]</sup>。

##### 3.3.2 基础设施升级

争取国家项目资金,改善林区道路,建设产地冷库,降低鲜果损耗率。中药材种植区配套建设灌溉系统,增强抗自然风险能力。

##### 3.3.3 多元主体协同

引入龙头企业带动,形成“企业+基地+农户”的利益联结机制<sup>[5]</sup>。培育专业合作社,提高从业农户组织化程度,提升市场谈判地位。

### 4 展望

七里乡林下经济发展已具备资源基础与产业雏形,但需突破规模瓶颈、产业链断层与科技支撑不足等制约。通过构建“三链融合”体系、实施科技赋能、深化政策衔接,有望实现从传统种植向现代林下经济的转型,推动林下经济产业发展。这些举措是增加林地收入和效益、解决“三农”问题的重要路径,同时也是现代林业发展的必然之路<sup>[6]</sup>。

未来在乡村振兴背景下,需要持续利用好国家政策带来的发展机遇,发挥好当地的资源优势,借鉴国内外先进的林下经济发展经验,大力发展林下经济,壮大林下经济产业规模,完善

产业链,突显林下产品特色,持续加强产品创新,提高林下经济的发展水平<sup>[7]</sup>。七里乡需重点把握三个方向。一是紧扣“大食物观”,拓展森林食物的多元供给;二是践行“两山”理念,实现生态保护与经济动态平衡;三是紧跟科技革命,以智能化提升产业竞争力。通过持续深化改革创新,七里乡有望成为东北集体林区绿色发展的典范。

#### 参考文献

- [1]张媛,魏杰. 林下经济助推乡村振兴的云南例证[J]. 南方农机, 2024, 55(21): 108-112.
- [2]廖克波,李书瑜,韦英丽,等. 广西林下经济品牌建设现状问题及对策[J]. 南方农业, 2025,

19(3): 237-241.

- [3]程贵文. 乡村振兴中林下经济发展的现状及对策分析[J]. 林业科技通讯, 2020(6): 36-38.
- [4]陈红,彭岳. 黑龙江省林下经济发展与资金支持的关系研究[J]. 中国林业经济, 2018(3): 9-12, 76.
- [5]孙翟翎. 依托示范基地做专林下经济——记新化县绿源农林科技有限公司[J]. 林业与生态, 2023(8): 13.
- [6]张良勇. 我国林下经济发展现状及对策[J]. 江西农业, 2019(2): 98.
- [7]周克豪. 广西三江县林下经济问题研究[D]. 武汉:华中师范大学, 2022.

(本篇专家编审:陈建军)

(上接第4页)

- [6]Wang S, Jiang J, Li T F, et al. Influence of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on flowering and expression of flowering-associated genes in white birch (*Betula platyphylla* Suk.) [J]. *Plant Molecular Biology Reporter*, 2011, 29(4): 794-801.
- [7]王清宇,郭雨竹,张砚辉,等. 施肥对蒙古栎开花结实的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2025, 45(1): 112-121, 180.
- [8]王骞春,战金伟,杨圆圆,等. 施肥对日本落叶松母树种子球果和形质特征的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2024, 44(3): 10-17.
- [9]Zyryanova O A, Yaborov V T, Abaimov A P, et al. Problems in the maintenance and sustainable use of forest resources in Priamurye in the Russian Far East[J]. *Eurasian Journal of Forest Research*, 2005, 8: 53-64.
- [10]Wu H B, Yin D S, Salomón R L, et al. Cone-bearing branches of *Pinus koraiensis* are not carbon autonomous during cone development [J]. *Forests*, 2021, 12(9): 1257.
- [11]王芳,杨叶磊,苑长华,等. 红松优树子代生长变异分析及优良材料选择[J]. 植物研究, 2025, 45(5): 816-826.
- [12]张鹏,刘畅,沈海龙. 世界食用松资源及其开发利用现状[J]. 世界林业研究, 2017, 30(1): 12-17.
- [13]张钦亮. 红松经济果林的培育与管理[J]. 林业勘查设计, 2021, 50(6): 16-17, 20.

- [14]赵明迪,李志新,王铁树,等. 红松果林矮化丰产技术探讨[J]. 中国林副特产, 2024(6): 31-33.
- [15]王芳,陆志民,王君,等. 不同疏伐密度对红松结实量的影响[J]. 吉林林业科技, 2023, 52(3): 1-4, 21.
- [16]刘殿辉,韩瑞龙,薛添钰,等. 外源 GA<sub>4+7</sub> 对红松提早结实的影响[J]. 防护林科技, 2024(6): 52-55.
- [17]赵明迪,李志新,王铁树,等. 红松果林矮化丰产技术探讨[J]. 中国林副特产, 2024(6): 31-33.
- [18]杨一帆,黄河,吴海波,等. 秋季施肥对不同砧木类型红松嫁接苗生长、生理及开花的影响[J]. 森林工程, 2023, 39(5): 11-21.
- [19]徐冰玉,刘彬昕,李晔男,等. 施肥对红松无性系果林生长及结实的影响[J]. 林业科技, 2023, 48(3): 10-13.
- [20]李树国. 施肥对红松幼树开花结实的影响[J]. 中国林副特产, 2012(4): 30-31.
- [21]孙文生,陈晓阳,高琼,等. 施肥对红松无性系种子园母树结实效应研究[J]. 吉林林业科技, 2005, 34(2): 10-14.
- [22]吴海波. 红松球果发育的光合生理特性和光合产物分配研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2022.
- [23]曹双成,乔一娜,石孟迪,等. 沙地樟子松人工林结实影响因素研究[J]. 陕西林业科技, 2023, 51(3): 68-72.

(本篇专家编审:杨雨春)

# 《吉林林业科技》编辑委员会

主任委员 高海珠  
副主任委员 李东友  
执行委员 张建秋  
委 员 (按姓氏笔画为序)

山昌林	王志明	王福维	邓 祥	尹子康
尹春梅	叶雅玲	史建伟	刘玉波	刘学芝
刘彦龙	刘晓龙	安丰云	孙广仁	孙长彬
孙文生	杜凤国	杨义波	杨世海	吴景才
宋丽文	张启昌	张忠辉	陆志民	陈万毅
陈建光	陈建军	单延龙	孟庆繁	赵 云
赵珊珊	姜贵全	郭忠玲	高金贵	高峻崇
陶 晶	黄祥童	曹长清	梁万君	董 然
程广有	焦为屹	温宇光	鞠志新	

## 《吉林林业科技》编辑部

主 编 张建秋  
责任编辑 魏松艳  
英文编译 陈 玲

吉林林业科技  
双月刊, 1972年创刊  
第55卷 第1期 (总第299期)

Journal of Jilin Forestry Science and Technology  
Bimonthly, Started in 1972  
Volume 55 Number 1 (No.299)

主管单位: 吉林省林业和草原局  
主办单位: 吉林省林业科学研究院  
(吉林省林业生物防治中心站)  
编辑出版: 《吉林林业科技》编辑部  
地 址: 吉林省长春市经开区临河街3528号  
邮政编码: 130033  
电 话: 0431-85850400  
传 真: 0431-85850400  
电子信箱: jllykj2004@sina.com  
出版日期: 2026年1月15日  
印 刷: 吉林省信诚印刷有限公司  
发 行: 《吉林林业科技》编辑部

**Administered** by Forestry and Grassland Bureau of Jilin Province  
**Sponsored** by Jilin Provincial Academy of Forestry Science (Forestry Biological Control Central Station of Jilin Province)  
**Published** by Editorial Department of Journal of Jilin Forestry Science and Technology  
**Address** No. 3528, Linhe Street, Jingkai District, Changchun 130033, Jilin, P. R. China  
**Telephone** 0431-85850400 **Fax** 0431-85850400  
**E-mail** jllykj2004@sina.com  
**Publication date** Jan.15th, 2026  
**Printed** by Xincheng Printing Co., Ltd. of Jilin Province  
**Issued** by Editorial Department of Journal of Jilin Forestry Science and Technology

公开发行

定价: 10.00元

ISSN 1005-7129

