

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302期
2026
JILIN LINYE KEJI



目次

林下参生长年限对丛枝菌根菌侵染特征与群落组成的影响 杨 航等(1)

光叶珙桐幼苗对 PEG 模拟干旱胁迫的生理响应 高兴国等(7)

兴安杜鹃物候学特性及其年生长规律研究 裴乙达等(14)

吉林省延边地区造林适宜树种的多维评价研究 陶祥云等(21)

吉林省通化地区森林碳储量及其经济价值研究 周宸宇等(26)

黑龙江省森林认证现状及发展对策研究 孙守意等(30)

桦甸市外来入侵植物现状调查及分析 王明利等(33)

吉林省森林火灾多要素耦合形成机理与防控 巨一琳等(37)

废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物的潜力与路径探讨 李 岩等(41)

柳河县林下经济生态化发展的优化路径探索 于雪泽等(45)

本刊声明 (40)

CONTENTS

Effects of Growth Year of *Panax ginseng* in Forest on Colonization Characteristics and Community
Composition of Arbuscular Mycorrhizal Fungi YANG Hang et al. (1)

Physiological Response of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* Seedlings to PEG Simulated
Drought Stress GAO Xingguo et al. (7)

Phenological Characteristics and Annual Growth Rhythm of *Rhododendron dauricum*
..... PEI Yida et al. (14)

Research on Multidimensional Evaluation of Suitable Tree Species for Afforestation in Yanbian Region
of Jilin Province TAO Xiangyun et al. (21)

Study on Forest Carbon Storage and Its Economic Value in Tonghua Region of Jilin Province
..... ZHOU Chenyu et al. (26)

Status and Development Countermeasures of Forest Certification in Heilongjiang Province
..... SUN Shouyi et al. (30)

Investigation and Analysis of Invasive Alien Plants in Huadian City
..... WANG Mingli et al. (33)

Multi-factor Coupling Formation Mechanism and Prevention and Control of Forest Fires in
Jilin Province JU Yilin et al. (37)

Potential and Pathways for Converting Waste Wood Materials into Soil Organic Mulch
..... LI Yan et al. (41)

Optimization Path for Ecological Development of Under-forest Economy in Liuhe County
..... YU Xueze et al. (45)

Statement (40)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.04.001
文章编号:1005-7129(2026)04-0001-06 中图分类号:S567.51 文献标识码:A

林下参生长年限对丛枝菌根真菌侵染特征与群落组成的影响

杨 航^{1,2}, 高 强³, 崔 磊¹, 潘艳艳², 黄胜慧⁴, 张义飞²

(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. 吉林长白山森工集团森林经营部, 吉林 延边 133000; 4. 吉林大观生态环境科技有限公司, 吉林 长春 130022)

摘 要: 为明确林下参生长年限对丛枝菌根真菌 (AMF) 侵染特征与群落组成的影响, 在吉林省抚松县选择 2~5 年生林下参, 分别测定 AMF 孢子密度、土壤菌丝密度、侵染频率、侵染强度、根内菌丝丰度、丛枝丰度 6 个侵染指标, 采用高通量测序分析林下参土体土 AMF 群落 α 多样性与群落组成变化。结果表明, 试验范围内林下参生长年限对 AMF 侵染特征与群落结构影响显著。随着林下参生长年限延长 AMF 侵染指标整体呈上升趋势, 4 年生林下参 AMF 孢子密度、侵染频率、侵染强度、丛枝丰度达到峰值, 之后趋于稳定, 5 年生林下参土壤菌丝密度和根内菌丝丰度达到峰值。2 年生林下参土壤 AMF 群落 Chao 指数、Shannon 指数、Pd 指数、Pielou 指数最高, 随林下参生长年限延长呈先降后升趋势。AMF 群落组成随林下参生长年限延长呈阶段性演替, 优势类群依次为球囊霉属、近明球囊霉属、球囊霉属、球囊霉属+类球囊霉属。本研究可为林下参根际微生态调控与优质栽培提供数据支撑。

关键词: 丛枝菌根真菌; 林下参; 侵染特征; 群落结构

Effects of Growth Year of *Panax ginseng* in Forest on Colonization Characteristics and Community Composition of Arbuscular Mycorrhizal Fungi

YANG Hang^{1,2}, GAO Qiang³, CUI Lei¹, PAN Yanyan², HUANG Shenghui⁴, ZHANG Yifei²

(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. Forest Management Department of Changbai Mountain Forest Industry Group Limited Company, Yanbian 133000, China; 4. Jilin Daguan Ecological Environment Technology Limited Company, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to clarify the effects of the growth year of *Panax ginseng* in forest on colonization characteristics and community composition of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), 2 to 5 years old *Panax ginseng* in forest in Fusong County of Jilin Province was selected. Six AMF colonization indicators including spore density, soil hyphal density, colonization frequency, colonization intensity, intraradical hyphal abundance and arbuscule abundance were determined, and high-throughput sequencing was used to analyze the α diversity and community composition of AMF in the soil. The results showed that the growth year of *Panax ginseng* in forest had the significant effect on the colonization characteristics and community structure of AMF. With the increase of the growth year, AMF colonization indicators showed the overall upward

收稿日期:2026-04-08

基金项目:吉林省林草产业创新发展项目(JLLC-2026-17-3)

第一作者:杨航(2001—),男,在读硕士研究生,主要从事菌根真菌理论研究及应用工作,E-mail:996572527@qq.com。

通信作者:张义飞(1972—),男,研究员,博士研究生,主要从事林草生态系统修复工作,E-mail:yifei@hotmail.com。

trend. The spore density, colonization frequency, colonization intensity and arbuscule abundance reached the maximum when the growth year was 4 and then stabilized. The soil hyphal density and intraradical hyphal abundance reached the maximum when the growth year was 5. The Chao index, Shannon index, Pd index and Pielou index of AMF in the soil of *Panax ginseng* reached the maximum when the growth year was 2. These indexes decreased first and then increased with the increase of the growth year. The AMF community composition showed the staged succession with the increase of the growth year. The dominant genera were *Glomus*, *Claroideoglomus*, *Glomus* and *Glomus* + *Paraglomus* in turn. This study could provide data support for the rhizosphere microecological regulation and high-quality cultivation of *Panax ginseng* in forest.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi; *Panax ginseng* in forest; colonization characteristics; community structure

人参(*Panax ginseng*)是五加科人参属的珍稀药用植物,也是我国传统中医药体系的核心药材之一,其根系富含人参皂苷等次生代谢产物,具有增强免疫、抗氧化、调节心血管功能等重要药用价值,在医药、保健领域应用广泛,市场需求持续攀升^[1]。

丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)隶属于球囊菌门(Glomeromycota),是陆地生态系统中分布最广泛的共生微生物,能与80%~90%的陆生植物形成互惠共生体系^[2],通过扩展根系吸收范围、调节根际微环境及调控植物次生代谢等途径,在药用植物品质提升方面发挥重要作用^[3]。

AMF的生存与定殖依赖根际与非根际土壤环境,非根际土体土是AMF孢子繁殖、菌丝延伸的重要菌源库,其群落特征直接影响植物根际AMF的侵染与群落构建^[4]。现有药用植物AMF研究多聚焦根际土壤的群落特征,对非根际土AMF分布规律、环境响应及宿主年龄效应的研究极为匮乏。封晔^[5]对贵州省特有药用植物的研究表明,不同植物根际AMF种类丰富,宿主植物对根际微生物群落结构多样性有显著影响,张梦汉^[6]对河南省常见栽培药用植物的研究表明,植物物种、栽培地点与土壤因子共同解释了根际AMF群落多样性的变异。王桂君^[7]对吉林省西部盐碱化羊草草原的AMF多样性进行研究,鉴定出AMF 29种,分属无梗囊霉属(*Acaulospora*)、球囊霉属(*Glomus*)等5属,其中球囊霉属占优势。徐嘉美^[8]对松嫩盐碱草地兔儿伞根围AMF多样性与功能进行研究,共鉴定出13属34种AMF。现有研究均未开展非根际土的AMF的系统分析,针对药用植物年龄梯度的根际AMF群落的系统性研究也较少。

目前,针对人参AMF的专项研究较少,已有研究多聚焦于人参内生菌与根际细菌,对AMF这一核心功能菌群的关注不足^[9]。在人

参属近缘种的研究中,冉志芳等^[10]对栽培西洋参根系丛枝菌根进行了初步调查,发现AMF感染率与侵染强度与人参皂苷含量呈显著正相关,表明AMF的定殖可能通过改善营养吸收促进人参皂苷的合成。AMF还能增加药用植物生物量并提高某些次生代谢产物的含量,在药用植物生产中已展现出作为微生物菌剂的应用潜力^[11]。林下参不同生长年限对根系AMF感染特征与AMF群落演替的时序调控规律尚不清晰,且非根际土AMF作为重要菌源库的研究基础薄弱,难以支撑林下参根际微生态调控与菌根生物技术应用。本研究以不同生长年限林下参为研究对象,系统探究生长年限对AMF感染特征与群落组成的影响,阐明林下参根际AMF的演替规律及与人参生长的关联机制,为林下参优质高效栽培、丛枝菌根真菌菌剂开发及根际微生态优化提供科学理论与技术支撑。

1 试验方法

1.1 取样方法及前处理

2024年9—10月,在吉林省抚松县林下参种植地(地理位置126°57'33"E、41°58'14"N)选择2~5年生林下参,每个生长年限的林下参随机选取3个采样点,每个采样点采集人参根系样品并确定其须根数量可供后续做足量的切片即可,将其暂存于4℃冷藏箱,带回实验室后用清水洗净。剪下须根后立即置于预先配制的FAA固定液(甲醛、冰醋酸、70%乙醇体积比为1:1:18)中固定保存用于后续指标测定。在离人参主茎水平距离约10cm处挖取土壤,挖取深度为15~30cm,一部分样品自然风干后4℃冷藏保存用于测定AMF孢子密度和土壤菌丝密度,一部分样品置于-80℃冰箱中保存用于后续土壤AMF群落测序。

1.2 测定方法

1.2.1 AMF侵染指标测定

将FAA固定液固定的人参根系用清水充

分清洗,剪成约 1 cm 根段。置于 10 % KOH 溶液中,于 90 ℃ 水浴锅中消解 60 min,倒出溶液后用清水冲洗至中性。采用 5 % 醋酸墨水溶液对根段进行染色,冲洗后随机挑选 35~40 个根段,均匀排列于 2 张载玻片上,加盖盖玻片后在显微镜下观察。依据 Trouvelot 等^[12]的评价体系将染色根段按侵染程度划分为 5 级并赋值,0 级(无侵染,赋值 0)、1 级(侵染面积<10 %,赋值 1)、2 级(10 %≤侵染面积<30 %,赋值 2)、3 级(30 %≤侵染面积<50 %,赋值 3)、4 级(侵染面积≥50 %,赋值 4)。采用以下公式计算侵染频率、侵染强度、根内菌丝丰度、丛枝丰度。

$$F = \frac{N_{\text{侵染}}}{N_{\text{总}}} \times 100$$

$$M = \frac{\sum (n_i \times i)}{N_{\text{总}} \times 4} \times 100$$

$$H = \frac{\sum (n_i \times h_i)}{N_{\text{总}} \times 4} \times 100$$

$$A = \frac{\sum (n_i \times a_i)}{N_{\text{总}} \times 4} \times 100$$

式中: F 为侵染频率/%; $N_{\text{总}}$ 为观测根段数量/个; $N_{\text{侵染}}$ 为被侵染根段数量/个; M 为侵染强度/%; n_i 为第 i 级侵染根段数量/个; i 为侵染程度分级赋值; H 为根内菌丝丰度/%; h_i 为第 i 级根段内菌丝分布密度赋值(0~4); A 为丛枝丰度/%; a_i 为第 i 级根段内丛枝发育程度赋值(0~4)。

采用湿筛倾析—蔗糖离心法获取孢子^[12, 13]。用四分法取 20 g 土样,放入大烧杯中加水搅拌。静置 10 s 后过三层筛(上层孔径 0.800 mm,中层孔径 0.250 mm,下层孔径 0.038 mm),将下层筛中的过滤物冲入离心管中,以 3 000 r·min⁻¹ 离心 3 min。离心后弃上清液,加入 60 % 蔗糖搅匀,再次以 3 000 r·min⁻¹ 离心 3 min,上清液冲洗干净,过孔径 0.038 mm 的筛获得孢子,在体视显微镜下于培养皿内分格计数(每格 5 mm × 5 mm),得到孢子密度(个·10 g⁻¹)。

将风干过筛(孔径 0.425 mm)的土壤样品称量 2 g,加 20 ml 蒸馏水,置于高速搅拌机中搅拌 30 s,用 200 mL 蒸馏水转移到 500 mL 烧杯中,静置 30 s 后从液面下 1 cm 吸取溶液 5 mL,过 0.45 μm 微孔滤膜,将滤膜置于载玻片上。每个样品重复 3 次,滴加曲利苯蓝染色剂 3 滴。自然风干后在 20 倍光学显微镜下随

机观察 25 个视野,采用网格交叉法对交叉点进行计数,按以下公式计算土壤菌丝密度^[14]。

$$D = \left(\frac{\frac{11}{14} \times N \times L \times A_F}{A_C} \times \frac{200}{5} \right) \div W \div 1000$$

式中: D 为土壤菌丝密度/(m·g⁻¹); N 为 25 个视野中的交叉点数量; L 为单元格长度(0.5 mm); A_F 为滤膜面积(1 962.5 mm²); A_C 为 25 个视野的滤膜面积(25 × 25 mm²); W 为干土质量/g。

1.2.2 土壤 AMF 群落测序

称取 0.25 g 土样,根据 E. Z. N. A. © soil DNA kit (Omega Bio-tek, Norcross, GA, U. S.) 说明书提取土壤总 DNA,使用 1 % 琼脂糖凝胶电泳验证 DNA 质量,并用 NanoDrop 2000 (美国 Thermo Scientific 公司)测定 DNA 浓度和纯度。选用 AMF 特异性引物进行巢式 PCR 扩增,PCR 产物经 1 % 琼脂糖凝胶电泳检测其质量,然后使用 AxyPrep DNA 凝胶回收试剂盒纯化,并用 Qubit 4.0 (Thermo Fisher Scientific, USA) 对回收产物进行检测定量。纯化后的 PCR 产物利用 Illumina NovaSeq 6000 PE300 平台测序,通过美吉生物云平台(<https://v.majorbio.com>)对测序数据进行拼接、质控和 OTU 聚类分析,评估样本 AMF 群落的多样性指数与群落结构,并完成数据统计和可视化分析。

1.3 数据分析

数据统计分析采用 SPSS 25.0 软件,采用单因素 ANOVA 检验不同生长年限间各指标的差异,后续多重比较采用 Tukey HSD 法。图表绘制采用 Origin 2017 软件及 R 语言(v3.3.1)完成。

2 结果与分析

2.1 不同生长年限林下参 AMF 侵染特征

单因素方差分析结果表明,试验范围内林下参生长年限对 AMF 孢子密度($P = 0.009$)、土壤菌丝密度($P < 0.001$)、侵染频率($P = 0.009$)、侵染强度($P = 0.004$)均影响显著,对根内菌丝丰度($P = 0.224$)、丛枝丰度($P = 0.480$)的影响不显著。

随着林下参生长年限的延长,AMF 侵染指标整体呈上升趋势(见图 1)。孢子密度方面,2 年生林下参(22.33 个·10 g⁻¹)、3 年生林下参(29.33 个·10 g⁻¹)、4 年生林下参(33.33 个·10 g⁻¹)

逐步增长,5年生林下参(32.00个·10g⁻¹)小幅下降,趋于稳定;土壤菌丝密度方面,2年生林下参(0.30m·g⁻¹)和3年生林下参(0.26m·g⁻¹)维持于较低水平,4年生林下参(0.95m·g⁻¹)出现显著跃升,5年生林下参(0.99m·g⁻¹)增幅放缓,趋于稳定;侵染频率方面,3年生林下参(73.33%)较2年生林下参(53.33%)有所增长,4年生林下参(76.67%)增幅放缓,5年生林下参与4年生林下参相同,保持稳定;侵染强度方面,2年生林下参(3.00%)、3年生林下参(9.73%)、4年生林下参(16.88%)快速增长,5年生林下参(15.91%)小幅下降,趋于稳定;

根内菌丝丰度方面,3年生林下参(57.25%)较2年生林下参(45.10%)有所增长,4年生林下参(56.84%)小幅回落,5年生林下参(61.86%)继续增长;丛枝丰度方面,2年生林下参(2.33%)、3年生林下参(6.31%)、4年生林下参(10.96%)快速增长,5年生林下参(10.21%)小幅下降,趋于稳定。综合来看,3年和4年是多数AMF侵染指标快速积累的关键时期,4年生林下参孢子密度、侵染频率、侵染强度、丛枝丰度达到峰值,之后趋于稳定,5年生林下参土壤菌丝密度和根内菌丝丰度达到峰值。

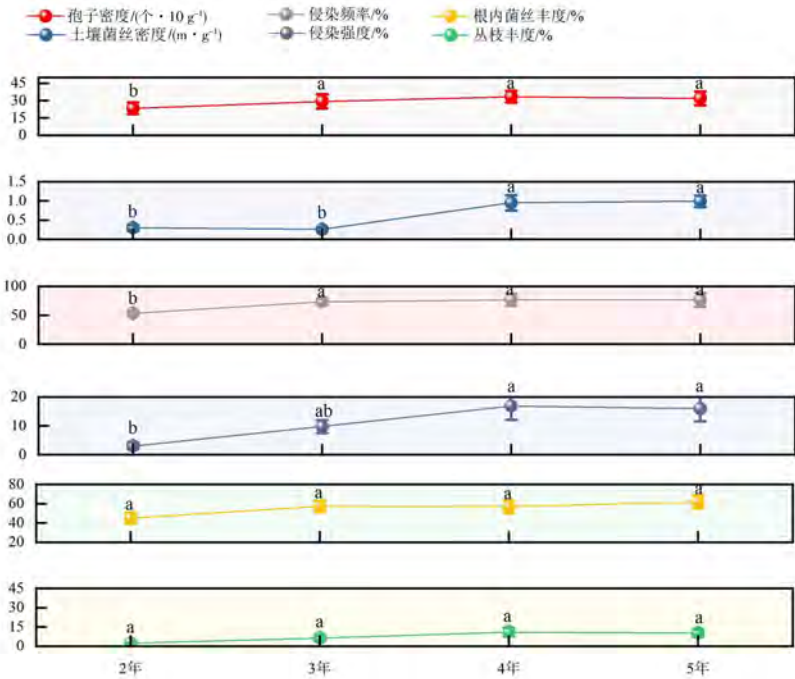


图 1 不同生长年限林下参 AMF 侵染特征

Fig. 1 AMF colonization characteristics of *Panax ginseng* with different growth age

2.2 不同生长年限林下参土壤 AMF 群落 α 多样性

试验范围内不同林下参生长年限对土壤 AMF 群落 α 多样性存在显著调控效应(见表 1),Chao 指数、Shannon 指数、Simpson 指数、Pd 指数均存在显著差异($P < 0.05$),Pielou 指数则无显著差异($P > 0.05$)。

Chao 指数方面,2年生林下参土壤 AMF 群落显著高于其他生长年限林下参,4年生林下参和5年生林下参土壤 AMF 群落显著高于3年生林下参,表明2年生林下参土壤 AMF 群落物种丰富度显著高于其他生长年限;Shannon 指数方面,2年生林下参土壤 AMF 群落显著高于其他生长年限林下参,其他生长年限林下参

土壤 AMF 群落间无显著差异,表明2年生林下参土壤 AMF 群落物种多样性显著高于其他年限;Simpson 指数方面,3年生林下参和4年生林下参土壤 AMF 群落显著高于2年生林下参和5年生林下参,表明3年生林下参和4年生林下参土壤 AMF 群落优势类群的优势度显著提升;Pd 指数方面,2年生林下参土壤 AMF 群落显著高于其他生长年限林下参,4年生林下参和5年生林下参土壤 AMF 群落显著高于3年生林下参,表明2年生林下参土壤 AMF 群落系统发育多样性显著高于其他生长年限;Pielou 指数方面,各生长年限林下参土壤 AMF 群落间无显著差异,表明林下参生长年限未显著改变土壤 AMF 群落的物种分布均匀性。

表 1 不同生长年限林下参土壤 AMF 群落 α 多样性

Tab. 1 The α diversity of AMF community in the soil of *Panax ginseng* with different growth year

林下参生长年限	Chao 指数	Shannon 指数	Simpson 指数	Pd 指数	Pieloue 指数
2 年	46.00 ± 5.00 a	2.24 ± 0.55 a	0.21 ± 0.15 b	7.23 ± 0.61 a	0.58 ± 0.14 a
3 年	13.00 ± 2.65 c	1.46 ± 0.05 b	0.31 ± 0.05 a	2.94 ± 0.45 c	0.57 ± 0.06 a
4 年	21.67 ± 4.04 b	1.61 ± 0.21 b	0.32 ± 0.08 a	3.77 ± 0.97 b	0.52 ± 0.05 a
5 年	20.00 ± 11.14 b	1.62 ± 0.49 b	0.29 ± 0.12 b	4.58 ± 0.71 b	0.55 ± 0.08 a

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示不同生长年限林下参土壤 AMF 群落 α 多样性在 $P < 0.05$ 水平差异显著(Tukey HSD 多重比较)。

2.3 不同生长年限林下参土壤 AMF 群落组成

基于属水平相对丰度分析,试验范围内各生长年限林下参土壤 AMF 群落组成呈现出明显的阶段性演替特征(见图 2)。

2 年生林下参土壤 AMF 群落球囊菌门(Glomeromycota)未分类属占比较高,在已分类属中球囊霉属(*Glomus*)为优势类群,类球囊霉属(*Paraglomus*)为次优势属;3 年生林下参土壤 AMF 群落结构发生显著转变,近明球囊霉属(*Claroideoglomus*)相对丰度大幅提高(接近 90%),成为绝对优势属,球囊霉属为次优势

属,其他类群相对丰度极低,群落多样性降至最低;4 年生林下参土壤 AMF 群落结构再次转型,球囊霉属相对丰度迅速回升(约 75%)并占据主导地位,类球囊霉属相对丰度同步提高,群落多样性有所提升;5 年生林下参土壤 AMF 群落结构再次变化,类球囊霉属相对丰度进一步提高(约 40%),球囊霉属相对丰度下降(约 40%),呈现双优势属共存的格局,近明球囊霉属相对丰度也有所提高,多类群共存,整体群落多样性进一步提高。

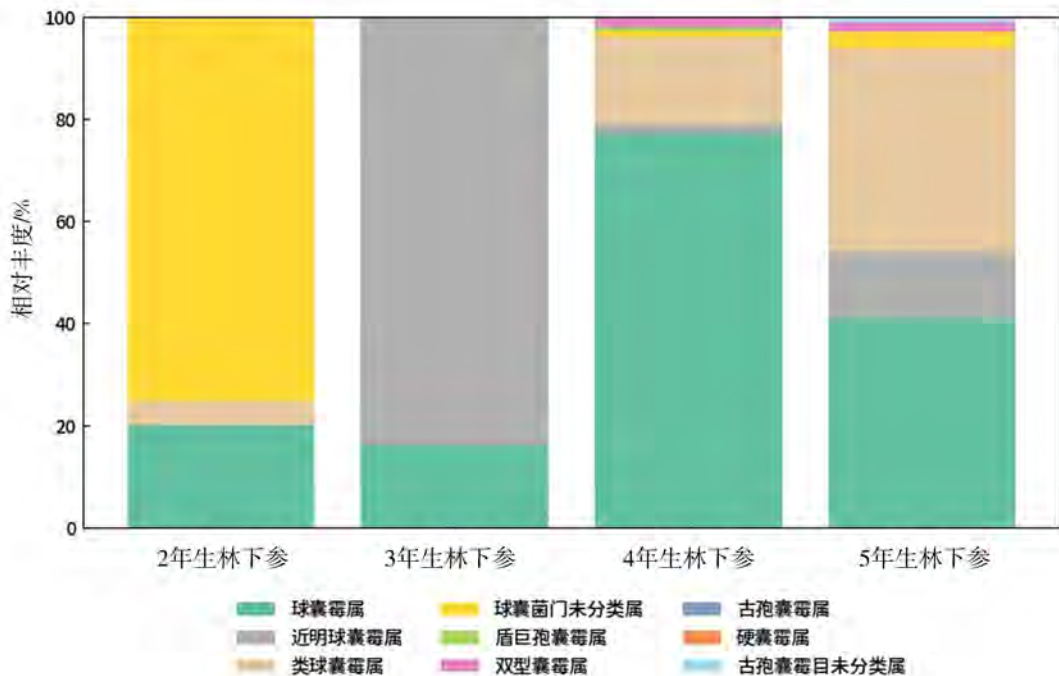


图 2 不同生长年限林下参土壤 AMF 群落组成

Fig. 2 AMF community composition in the soil of *Panax ginseng* with different growth year

3 结论与讨论

本试验范围内,随着林下参生长年限的延长 AMF 侵染指标整体呈上升趋势。林下参生长年限为 3 年和 4 年时多数指标快速积累,4

年生林下参孢子密度、侵染频率、侵染强度、丛枝丰度达到峰值,之后趋于稳定,5 年生林下参土壤菌丝密度和根内菌丝丰度达到峰值。这与人参根系快速膨大与养分需求高峰期在时间上吻合,说明根系内 AMF 基础定殖结构的积累是

一个持续性过程,人参的生长发育进程对 AMF 功能性共生关系的建立具有重要的驱动作用。

土壤 AMF 群落组成随林下参生长年限的演替,反映了宿主植物生长发育过程对土壤微环境的动态塑造。2 年生林下参土壤 AMF 群落以球囊霉属为优势属,该属是自然生态系统中分布最广泛的 AMF 类群之一,具有较强的宿主适应性,能快速与幼龄根系建立共生关系^[15]。3 年生林下参土壤 AMF 群落近明球囊霉属相对丰度爆发式增长并成为绝对优势属,群落多样性降至最低,推测与该阶段土壤环境的特异性变化对近明球囊霉属的强烈筛选有关,但其具体机制有待进一步研究。4 年生林下参土壤 AMF 群落球囊霉属相对丰度迅速回升成为绝对优势属,类球囊霉属相对丰度同步提高,群落多样性有所回升。5 年生林下参土壤 AMF 群落形成球囊霉属和类球囊霉属双优势属共存格局,近明球囊霉属相对丰度也有所提高,多类群共存,群落结构复杂度进一步提高。2 年生林下参土壤 AMF 群落 Chao 指数、Shannon 指数、Pd 指数、Pielou 指数最高,3 年生林下参土壤 AMF 群落多样性指数下降,与近明球囊霉属的快速富集在时间上高度同步,推测优势类群的高度集中压缩了其他类群的生态位,导致群落多样性降低。4 年生林下参和 5 年生林下参土壤 AMF 群落多样性指数回升,这与群落组成向多类群共存结构转变的趋势一致^[16, 17]。

本研究选择 2~5 年生林下参,明确了林下参生长年限对 AMF 侵染特征与群落组成的影响,可为林下参根际微生态调控提供数据支撑。未来研究可在此基础上进一步深入,同步探究林下参土体与根际微生物的互作机制,针对性开展微生物改良研究,明确功能菌群调控对 AMF 共生结构、人参生长及品质的影响,为林下参土体与根际微生态协同优化、绿色高效栽培提供更全面的理论支撑。

参考文献

[1] Lee J, Zhao Y Q, Liang X J. Current evaluation of the millenniumphytomedicine - ginseng (II): collected chemical entities, modern pharmacology, and clinical applications emanated from traditional Chinese medicine[J]. *Current Medicinal Chemistry*, 2009, 16(22): 2924-2942.

[2] 孙羽. 丛枝菌根真菌在植物生态系统中的调控作用[J]. 黑龙江农业科学, 2011(8): 128-131.

[3] 苑海鹏, 叶云舒, 司皓, 等. 丛枝菌根真菌对植物逆境胁迫抗性及其次生代谢产物合成的影响[J]. 生物技术通报, 2024, 40(6): 45-56.

[4] 向丹, 徐天乐, 李欢, 等. 丛枝菌根真菌的生态分布及其影响因子研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(11): 3597-3606.

[5] 封晔. 贵州特有药用植物根际菌根真菌多样性研究[J]. 价值工程, 2015, 34(17): 219-220.

[6] 张梦汉. 河南省常见栽培药用植物丛枝菌根真菌多样性及其生态分布[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2023: 41-58.

[7] 王桂君. 吉林省西部盐碱化羊草草原的丛枝菌根共生多样性[D]. 长春: 东北师范大学, 2005: 13-20.

[8] 徐嘉美. 松嫩盐碱草地兔儿伞根围 AM 真菌多样性与功能研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2023: 12-17.

[9] 赵智灵. 人参内生菌多样性及其可利用菌株的筛选[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015: 18-38.

[10] 冉志芳, 杨小彤, 丁伟娜, 等. 栽培西洋参根系丛枝菌根初步调查[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(9): 2050-2056.

[11] 郭兰萍, 汪洪钢, 黄璐琦, 等. 泡囊丛枝菌根(AM)对苍术生长发育及挥发油成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(18): 1491-1496.

[12] Trouvelot A, Kough J L, Gianinazzi-Pearson V. Estimation of vesicular arbuscular mycorrhizal infection levels. Research for methods having a functional significance[C]//*Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae: Proceedings of the 1st European Symposium on Mycorrhizae*. Paris: INRA Press, 1986: 217-221.

[13] Brundrett M, Melville L, Peterson L. *Practical Methods in Mycorrhiza Research*[M]. British Columbia: Mycologue Publication, 1994: 36-39.

[14] 赵金莉, 贺学礼. 毛乌素沙地典型克隆植物根际 AM 真菌多样性研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(2): 199-206.

[15] 李丽, 彭点, 杨浩, 等. 不同年限丹参根际土壤丛枝菌根真菌多样性[J]. 湖北农业科学, 2025, 64(10): 41-48, 246.

[16] 李熙英, 金海强, 贾斌. 不同生长年限人参地土壤微生物多样性研究初报[J]. 延边大学农学学报, 2011, 33(2): 133-136.

[17] 封晔, 唐明, 陈辉, 等. 黄土高原六道沟流域 8 种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究[J]. 2012, 33(1): 314-322.

(本篇专家编审:李立梅)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.04.002
文章编号:1005-7129(2026)04-0007-07 中图分类号:S792.99 文献标识码:A

光叶珙桐幼苗对 PEG 模拟干旱胁迫的生理响应

高兴国¹, 王磊², 杨顺强¹

(1. 昭通学院农学与生命科学学院, 云南 昭通 657000; 2. 昭通学院化学化工学院, 云南 昭通 657000)

摘 要: 为了解光叶珙桐幼苗对干旱胁迫的生理响应, 本研究以 3 年生光叶珙桐幼苗为对象, 以 PEG 模拟干旱胁迫, 对光叶珙桐叶片中的叶绿素(Chl)、游离脯氨酸(Pro)、可溶性总糖、可溶性蛋白、丙二醛(MDA)含量以及抗氧化酶(SOD、POD、CAT)活性的变化进行分析。光叶珙桐叶片中的叶绿素具有较强的干旱敏感性, Chla 含量与 Chlb 含量的比值较高, 其对直射光适应性强。可溶性总糖含量在轻度胁迫时显著增加, 在重度干旱条件下适应性响应减弱。Pro 含量在干旱胁迫初期显著增加, 但随胁迫时间延长而下降, 表明其对短期干旱胁迫敏感, 但长期胁迫下调节能力有限。随胁迫强度提高可溶性蛋白含量先升后降, 在短期胁迫下起到保护作用, 但在长期与严重胁迫下含量降低。抗氧化酶对干旱胁迫反应灵敏, 但保护作用较弱。轻度胁迫保护酶活性较强使 MDA 产量下降, 随胁迫强度提高细胞膜受到破坏, 保护酶活性受到抑制而 MDA 增多。研究结果表明, 3 年生光叶珙桐通过增加光合色素、渗透调节物质和抗氧化酶活性等途径适应干旱胁迫, 但对于干旱环境的适应能力较弱, 难以适应更严重的干旱条件。

关键词: 光叶珙桐; 干旱胁迫; 生理响应

Physiological Response of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* Seedlings to PEG Simulated Drought Stress

GAO Xingguo¹, WANG Lei², YANG Shunqiang¹

(1. College of Agronomy and Life Sciences of Zhaotong University, Zhaotong 657000, China; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering of Zhaotong University, Zhaotong 657000, China)

Abstract: In order to understand the physiological response of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* seedlings to the drought stress, three-year-old seedlings were taken as the research object. The polyethylene glycol was used to simulate the drought stress. The contents of chlorophyll (Chl), proline (Pro), soluble sugar, soluble protein, malondialdehyde (MDA) and the activities of SOD, POD, CAT in the leaves were analyzed. The Chl was sensitive to drought stress. The ratio of Chla content to Chlb content was high. It had strong adaptability to direct light. The content of soluble sugar increased significantly under mild stress and the adaptive response weakened under severe drought stress. The Pro content increased significantly at the initial stage of drought stress, but decreased with the extension of stress duration. It was sensitive to short-term drought stress, but the regulation capacity was limited under long-term stress. The content of soluble protein increased first and then decreased with the increase of the stress intensity. It played the protective role under short-term stress, but its content decreased under long-term stress and severe stress. The antioxidant enzymes were sensitive to drought stress, but the protective effect was weak. The activity of protective enzymes was strong under mild stress, and MDA yield decreased. The cell membrane was destroyed with the increase of the stress intensity, the activity of protective enzymes was inhibited and MDA content increased. The results showed that three-year-old *Davidia involucrata*

收稿日期:2026-03-30
基金项目:云南省教育厅项目(ZD2015018)
第一作者:高兴国(1973—),男,副教授,主要从事植物生理生态研究,E-mail:772342121@qq.com。
通信作者:王磊(1966—),男,教授,主要从事生理生态学研究,E-mail:ztwle@sohu.com。

var. *vilmoriniana* could adapt to drought stress through increasing photosynthetic pigments, osmotic regulatory substances, and antioxidant enzyme activities, but its adaptability to drought environments was weak, and it was difficult to adapt to more severe drought conditions.

Keywords: *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana*; drought stress; physiological response

水分是影响植物分布和生长发育的主要环境因子之一,植物受干旱胁迫时细胞水分平衡失调,膜结构受到破坏,产生更多的自由基,引起活性氧蓄积,进而影响其内部光合色素和渗透调节物质的含量以及抗氧化保护酶系统的代谢^[1-8]。光叶珙桐(*Davidia involucrata* var. *vilmoriniana*)是国家一级重点保护野生植物,主要集中在生长于我国的云、贵、川、鄂等地区,具有极高的科研、经济及观赏价值。由于光叶珙桐在自然条件下种子发芽率低、生长地人为破坏严重等因素,光叶珙桐种群数量逐渐减少^[9, 10]。光叶珙桐叶面无毛,喜湿润凉爽,对水分需求高,对干旱等逆境抵抗力较弱^[11, 12]。其环境适应性特别是抗旱性是引种的主要影响因素,成为当下的首要研究课题。本研究以3年生光叶珙桐幼苗为对象,以聚乙二醇(PEG)模拟干旱胁迫,分析不同胁迫水平下叶片中的叶绿素(Chl)、游离脯氨酸(Pro)、可溶性总糖、可溶性蛋白、丙二醛(MDA)含量以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性的变化,深入了解光叶珙桐适应干旱胁迫的机理,揭示其抵御逆境的生理途径。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料及处理

试验材料为云南大关三江口自然保护区提

供的3年生光叶珙桐幼苗,取生长健壮、长势相同的15株幼苗,水洗根后放入不同浓度PEG-6000溶液中培养,模拟不同土壤干旱胁迫程度,溶液浓度分别为5%(T1,轻度胁迫)、10%(T2,中度胁迫)、15%(T3,重度胁迫)、20%(T4,严重胁迫),对照组(CK)用霍格兰液培养。

1.2 测定指标

光叶珙桐幼苗在设定浓度下处理24 h、48 h,采顶芽下第3—7片功能叶叶片样本,以叶片鲜重为基准,采用张志良等^[13]的试验方法测定并计算Chl含量、Pro含量、可溶性总糖含量(蒽酮法)、可溶性蛋白含量、MDA含量以及SOD活性(NBT还原法)、POD活性(愈创木酚法)、CAT活性(愈创木酚法),每组数据重复测量3次。

1.3 数据处理

对数据进行单因素方差分析和多重比较,采用SPSS 25.0软件进行数据处理和统计分析,采用GraphPad Prism 11.0进行作图。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对叶片表型变化与Chl含量的影响

干旱胁迫下光叶珙桐幼苗叶片表型如图1所示,Chl含量如表1所示。



图1 干旱胁迫下光叶珙桐幼苗叶片表型

Fig. 1 Phenotypic responses of leaves of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* seedlings under drought stress

从图1可以看出,叶片在形态上对干旱胁迫表现出明显的生理响应,在较短时间内叶片

表型出现显著改变,对干旱胁迫极为敏感。随着干旱胁迫强度的提高,叶片从原有的舒展逐

渐转变为严重枯萎卷曲,颜色由绿转为枯黄,T4的叶片枯萎和卷曲程度最严重。这些表型变化与植物内部的渗透调节、抗氧化防御系统的激活等生理和生化反应存在极强的相关性^[8]。这些快速发生的表型变化,为评估光叶珙桐幼苗的抗旱性和适应性提供了外在直观

从表 1 可以看出,Chl 具有较强的干旱敏感性,不同干旱胁迫强度下叶片中 Chl 含量差异显著($P < 0.05$)。干旱胁迫 48 h,T4 的 Chl 总含量达到 CK 的 2.07 倍,表明叶片的光合能力并未受到显著抑制。此外,Chla 含量与 Chlb 含量的比值较高,说明光叶珙桐更适应直射光,偏好阳光充足的环境。

表 1 干旱胁迫下光叶珙桐幼苗叶片的 Chl 含量

Tab. 1 Chlorophyll content in leaves of <i>Davidia involucrata</i> var. <i>vilmoriniana</i> seedlings under drought stress					
处理时间/h 处理		Chla 含量/ (mg · g ⁻¹ FW)	Chlb 含量/ (mg · g ⁻¹ FW)	Chl 总含量/ (mg · g ⁻¹ FW)	Chla 含量/ Chlb 含量
24	CK	1.102 ± 0.044 b	0.420 ± 0.002 c	1.563 ± 0.103 b	2.626 ± 0.134 b
	T1	1.204 ± 0.071 b	0.507 ± 0.014 b	1.712 ± 0.083 b	2.374 ± 0.082 b
	T2	1.372 ± 0.069 a	0.658 ± 0.070 a	2.157 ± 0.250 a	2.084 ± 0.151 b
	T3	1.427 ± 0.184 a	0.450 ± 0.050 c	1.765 ± 0.402 b	3.172 ± 0.107 a
	T4	1.121 ± 0.112 b	0.463 ± 0.035 c	1.584 ± 0.146 b	2.423 ± 0.027 b
48	CK	1.102 ± 0.168 b	0.409 ± 0.044 b	1.371 ± 0.428 b	2.697 ± 0.449 c
	T1	1.831 ± 0.429 a	0.399 ± 0.016 b	2.670 ± 0.638 a	4.591 ± 0.330 a
	T2	1.461 ± 0.030 b	0.407 ± 0.016 b	2.460 ± 0.454 b	3.590 ± 0.383 b
	T3	1.201 ± 0.079 b	0.418 ± 0.021 a	1.804 ± 0.088 b	2.877 ± 0.264 c
	T4	1.933 ± 0.046 a	0.405 ± 0.030 b	2.843 ± 0.126 a	4.777 ± 0.353 a

注:表中数据为平均值±标准误差;相同处理时间同列不同小写字母表示各处理间差异显著($P < 0.05$),下同。

2.2 干旱胁迫对叶片渗透调节物质含量的影响

由图 2 可看出,干旱胁迫下叶片中可溶性总糖含量升高,各处理间差异显著($P < 0.05$)。干旱胁迫 24 h,T1、T2、T3、T4 的可溶性总糖含量分别比 CK 高 44.5 %、32.68 %、20.79 %、

45.74 %;干旱胁迫 48 h,T1、T2、T3、T4 的可溶性总糖含量分别比 CK 高 41.53 %、47.86 %、36.62 %、44.72 %。轻度干旱条件下可溶性总糖含量显著增加,重度干旱条件下适应性响应减弱。

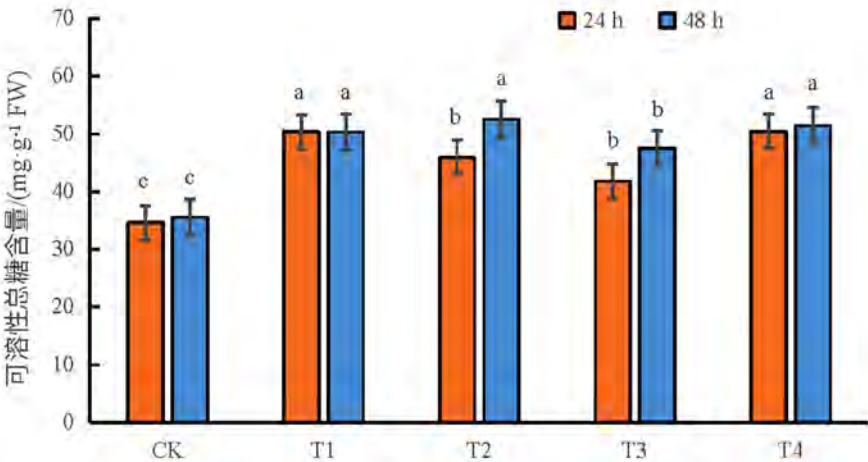


图 2 干旱胁迫对光叶珙桐幼苗叶片可溶性总糖含量的影响

Fig. 2 Effect of drought stress on total soluble sugar content in leaves of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* seedlings

从图 3 可以看出,不同干旱胁迫强度下叶片中 Pro 含量差异显著($P < 0.05$)。干旱胁迫 24 h,随胁迫强度提高 Pro 含量呈先升后降的趋势,T1、T2、T3、T4 的 Pro 含量较 CK 分别高 64.98 %、83.00 %、57.06 %、37.84 %,表明干旱胁迫明显促进了光叶珙桐叶片中 Pro 的积

累。干旱胁迫 48 h,各处理组 Pro 含量总体回落到与 CK 相当的水平。由此可见,干旱初期光叶珙桐通过提高 Pro 含量来进行渗透调节以维持细胞膨压以及正常生理功能。随着干旱时间延长、胁迫强度提高,蛋白质合成受抑制,Pro 合成量减少,其抗旱作用弱化。

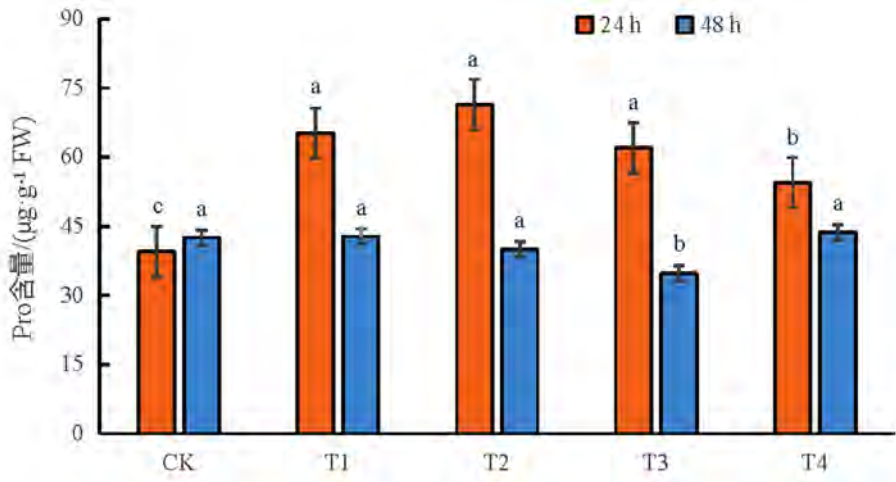


图 3 干旱胁迫对光叶珙桐幼苗叶片 Pro 含量的影响

Fig. 3 Effect of drought stress on Pro content in leaves of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* seedlings

从图 4 可以看出,随胁迫强度提高叶片中可溶性蛋白含量呈先升后降的趋势,不同处理间差异显著($P < 0.05$)。干旱胁迫 24 h,T1、T2、T3、T4 的可溶性蛋白含量较 CK 分别高 47.22 %、102.46 %、145.26 %、113.19 %,表明在干旱胁迫初期叶片能够通过不断积累可溶性蛋白降低水势以保留水分来抵御胁迫,有效缓解干旱带来的伤害。干旱胁迫 48 h,T1 的可

溶性蛋白含量继续升高,其余各胁迫组则大幅回落,T1 比 CK 高 26.21 %、T2 比 CK 高 12.72 %、T3 比 CK 低 5.79 %、T4 比 CK 低 13.02 %。这一结果说明,尽管可溶性蛋白在短期抗旱防御中起关键作用,但在应对较长时间与较剧烈的干旱胁迫时,可溶性蛋白的抗旱作用较为有限,在长期与严重胁迫下其含量降低,调节能力减弱。

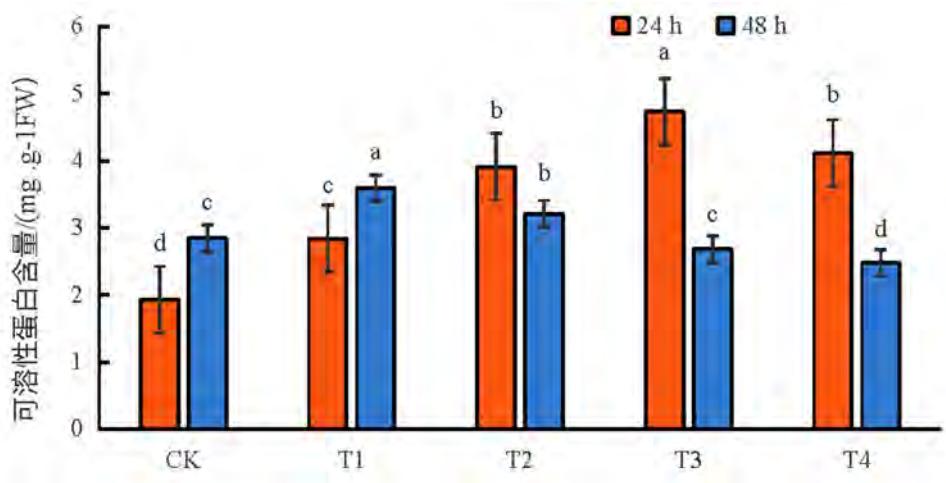


图 4 干旱胁迫对光叶珙桐幼苗叶片可溶性蛋白含量的影响

Fig. 4 Effect of drought stress on soluble protein content in leaves of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* seedlings

2.3 干旱胁迫对叶片抗氧化酶活性和 MDA 含量的影响

2.3.1 SOD 活性

从图 5 可以看出,干旱胁迫下 SOD 活性总体有所升高,不同处理间差异显著($P < 0.05$)。干旱胁迫 24 h,T1 的 SOD 活性比 CK 高 3.17 %、T2 比 CK 低 0.78 %、T3 比 CK 高 14.70 %、T4

比 CK 高 5.32 %;干旱胁迫 48 h,T1、T2、T3、T4 的 SOD 活性分别比 CK 高 12.33 %、11.63 %、4.31 %、17.76 %。干旱胁迫会促使 SOD 清除活性氧以保护细胞免受损伤^[14, 15],光叶珙桐 SOD 对细胞膜的保护作用有限,其对于干旱环境尚未形成充分有效的适应机制。

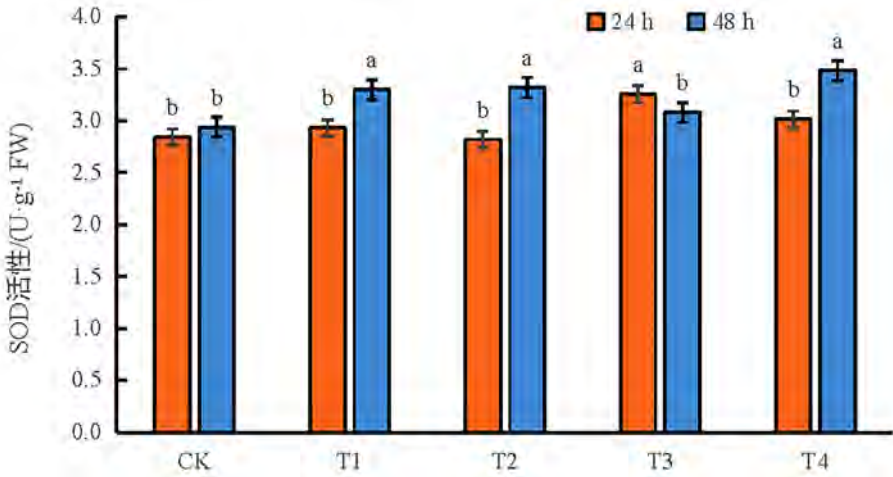


图 5 干旱胁迫对光叶珙桐幼苗叶片 SOD 活性的影响

Fig. 5 Effect of drought stress on SOD activity in leaves of *Davidia involocrata* var. *vilmoriniana* seedlings

2.3.2 POD 活性

从图 6 可以看出,不同干旱胁迫强度下 POD 活性差异显著($P < 0.05$)。干旱胁迫 24 h,T1 的 POD 活性急剧上升,比 CK 高 409.14 %,表明干旱胁迫强烈诱导了植物体内 POD 的合成;随胁迫强度提高 POD 活性逐渐下降,T4 的

POD 活性低于 CK。干旱胁迫 48 h,T1 和 T2 的 POD 活性大幅回落,T3 和 T4 的 POD 活性大幅上升。POD 在干旱胁迫下能将 H_2O_2 转化为无害的 H_2O 和 O_2 ,因而能保护幼苗免受活性氧毒害。光叶珙桐在干旱胁迫下能激活植物内在保护机制,提高 POD 活性。

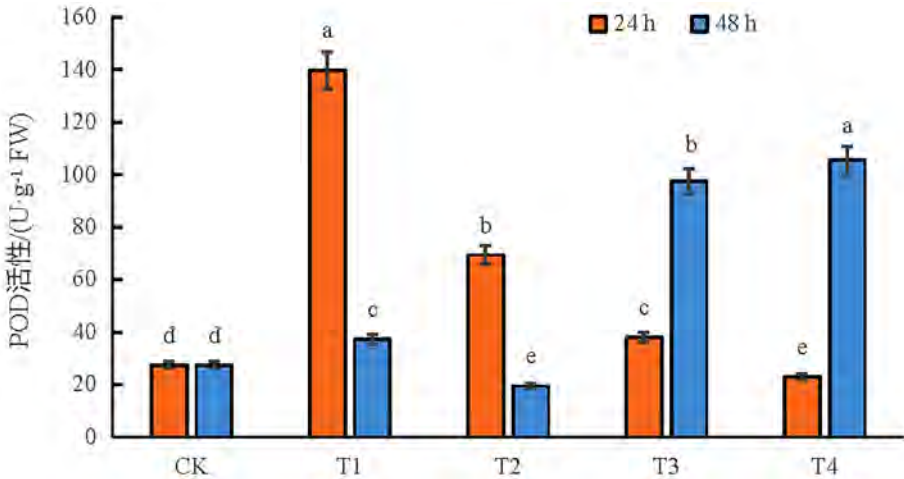


图 6 干旱胁迫对光叶珙桐幼苗叶片 POD 活性的影响

Fig. 6 Effect of drought stress on POD activity in leaves of *Davidia involocrata* var. *vilmoriniana* seedlings

2.3.3 CAT 活性

从图 7 可以看出,CAT 对于干旱胁迫有较强

的敏感性,随胁迫强度提高 CAT 活性呈先升后降的趋势,不同处理间差异显著($P < 0.05$)。

干旱胁迫 24 h, T3 的 CAT 活性最高, 比 CK 高 191.49 %, 这表明 CAT 在轻度至重度干旱胁迫下具有显著的抗氧化保护作用, 帮助植物适应外界的胁迫; T4 的 CAT 活性比 T3 下降 49.06 %, 但仍比 CK 高 43.01 %, 说明在严重干旱胁迫下 CAT 仍具有一定的抗氧化保护作

用。干旱胁迫 48 h, 各处理组 CAT 活性均有所回落, 反映出长期胁迫下 CAT 系统功能受损。说明 CAT 在短期、中低强度干旱胁迫下响应积极, 但对持续、重度胁迫的耐受性有限, 其保护效应随胁迫时间延长而衰减。

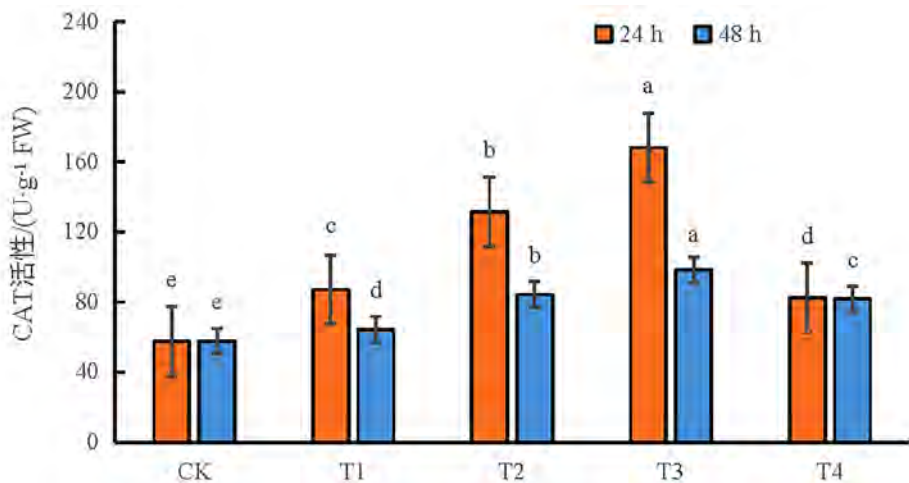


图 7 干旱胁迫对光叶珙桐幼苗叶片 CAT 活性的影响

Fig. 7 Effect of drought stress on CAT activity in leaves of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* seedlings

2.3.4 MDA 含量

从图 8 可以看出, 随胁迫强度提高 MDA 含量呈先降后升的趋势, 不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。干旱胁迫 24 h, T1 的 MDA 含量比 CK 低 14.26 %、T2 比 CK 低 14.47 %、T3 比 CK 高 20.98 %、T4 比 CK 高 29.86 %。干旱胁迫 48 h, 各处理组 CAT 活性均升高, T1 比 CK 高 4.96 %、T2 比 CK 低 9.44 %, T3 比 CK 高

45.26 %、T4 比 CK 高 67.36 %。衡量植物膜脂过氧化程度的一个重要指标是 MDA 含量, 干旱胁迫使细胞内的活性氧不断累积, 造成膜脂过氧化和脱氧化反应, 促使 MDA 生成和累积^[16, 17]。轻度干旱胁迫对光叶珙桐 MDA 含量的影响较小, 随着干旱时间延长、胁迫强度提高, 活性氧逐渐积累, 光叶珙桐叶片中的膜系统受到破坏, MDA 含量增加。

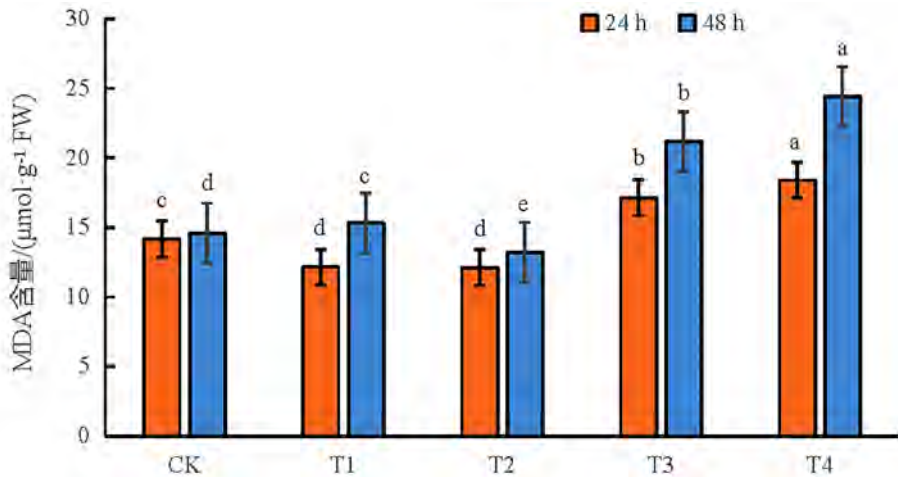


图 8 干旱胁迫对光叶珙桐幼苗叶片 MDA 含量的影响

Fig. 8 Effect of drought stress on MDA content in leaves of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* seedlings

3 结论与讨论

逆境胁迫下植物会产生应激反应,通过增加可溶性总糖、Pro 和可溶性蛋白等物质降低渗透势,提升抗逆性。本研究对干旱胁迫下光叶珙桐幼苗叶片中 Chl、可溶性总糖、Pro、可溶性蛋白含量的测定发现,一定程度的干旱胁迫使 Chl、可溶性总糖、Pro、可溶性蛋白含量升高。其光合能力不受抑制,光合作用维持在一定水平,在一定范围内能适应干旱逆境。Chla 含量与 Chlb 含量的比值较高,光叶珙桐具有较高的直射光适应度且喜阳。Chl 含量和比值呈现“波动型”响应模式,反映了植物在水分逆境下的主动适应策略。可溶性总糖含量在轻度胁迫时显著增加,在重度干旱条件下适应性响应减弱。Pro 含量在干旱胁迫初期显著增加,但随胁迫时间延长而下降,表明其对短期干旱胁迫敏感,但长期胁迫下调节能力有限。随胁迫强度提高可溶性蛋白含量先升后降,在短期胁迫下起到保护作用,但在长期与严重胁迫下含量降低。光叶珙桐优先启动碳水化合物代谢(可溶性总糖)进行即时渗透调节,随后激活 Pro 合成,而蛋白质合成可能受能量供应限制存在滞后。短期干旱下三者协同参与渗透调节,但随胁迫时间延长、强度增加,Pro 和可溶性蛋白合成受阻、降解加速,其调节功能快速弱化。相比之下,可溶性总糖作为主要的渗透调节物质,在持续胁迫中仍发挥关键作用,对维持细胞膨压和水分平衡具有重要贡献。综合来看,光叶珙桐幼苗可耐受短期轻度干旱,但长期胁迫导致光合效率下降、代谢消耗加剧、渗透调节系统失衡,最终难以适应干旱环境。

植物细胞内活性自由基的产生及清除是维持细胞正常功能的两个彼此关联的基本过程^[18]。在逆境下,细胞产生的自由基会对植物细胞膜造成破坏,使细胞功能和渗透性发生变化,对植物组织产生破坏。为避免受到损伤,在遭受干旱胁迫时,植物利用抗氧化酶系统清除自由基,避免过度氧化破坏植物细胞膜。抗氧化酶的活性受植物种类、胁迫强度、胁迫时间的影响,整个抗氧化酶系统的抗逆能力取决于植物体中抗氧化酶的相互协作。SOD、POD 和 CAT 是抗氧化系统中三种典型的酶,其协同作用赋予了植物抵御干旱的直接生理能力。但随

着干旱胁迫强度的提高及持续时间的延长,这种动态平衡会被打破。本试验中 SOD 活性有所提高,但是增幅不大,对干旱胁迫的响应相对迟钝,POD 和 CAT 对干旱胁迫反应敏感,CAT 在短期、中低强度干旱胁迫下响应积极,但对持续、重度胁迫的耐受性有限,其保护效应随胁迫时间延长而衰减。POD 和 CAT 在胁迫初期协同的作用可视为植物逆境适应过程中内在保护机制的激活与调整,这与黄高峰等^[19]关于干旱胁迫下菊芋苗期叶片保护酶活性的研究结果一致。干旱胁迫下活性氧逐渐积累,膜系统受到破坏,膜脂过氧化产物 MDA 含量增加^[20]。本研究中随胁迫强度提高 MDA 含量呈先降后升的趋势,轻度干旱胁迫对光叶珙桐 MDA 含量的影响较小,表明此时抗氧化保护酶系统活性较强,有效抑制了活性氧积累,细胞膜损伤较轻,中度胁迫 MDA 含量仍保持较低水平,说明光叶珙桐幼苗在该胁迫梯度下产生了一定的适应性响应,细胞膜过氧化损伤得到一定缓解,重度及严重干旱胁迫下,抗氧化酶活性受抑或清除能力不足,膜脂过氧化程度加剧。轻度胁迫下,保护酶的协同作用起到了保护作用,减少了 MDA 的生成。随着干旱时间延长、胁迫强度提高,保护酶活性降低,保护机制受到抑制,酶促清除速率低于脂质过氧化速率,细胞膜损伤加重,MDA 含量明显增加。光叶珙桐的抗氧化防御系统缺乏紧密的协同调控机制,属于“被动应对”而非“主动增强”,随着干旱时间延长、胁迫强度提高光叶珙桐受到的危害逐步加剧。这种现象在珙桐属植物中可能具有普遍性,朱利君等^[16]研究发现珙桐原种在干旱胁迫下质膜透性显著增大,与本研究结果一致。

通过以上分析可见,光叶珙桐植株幼苗对轻度干旱反应敏感,可对抗轻度干旱胁迫,而对持续的、更剧烈的干旱胁迫的适应能力有限,水分成为光叶珙桐向干旱区域引种的限制因子。

参考文献

- [1] 范苏鲁,苑兆和,冯立娟,等. 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 651-657.
- [2] 贾瑞丰,徐大平,杨曾奖,等. 干旱胁迫对降香黄檀幼苗光合生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2013, 33(6): 1197-1202. (下转第 36 页)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.04.003

文章编号:1005-7129(2026)04-0014-07

中图分类号:S685.21

文献标识码:A

兴安杜鹃物候学特性及其年生长规律研究

裴乙达¹, 吕伟伟¹, 王金玲², 赵溪月¹, 李微³, 刘刚¹

(1. 吉林市林业科学研究院, 吉林 吉林 132013; 2. 北华大学林学院, 吉林 吉林 132013; 3. 吉林长白山森工集团市场发展部, 吉林 延边 133000)

摘 要: 本文系统研究了吉林地区引种栽培的兴安杜鹃(*Rhododendron dauricum*)的物候学特性及年生长规律。花芽萌动始于 3 月下旬, 4 月下旬进入花期(持续约 25 d)。5 月上旬花谢后展叶, 叶片 9 月下旬开始变色, 10 月上旬开始脱落, 11 月上旬完成落叶, 部分宿存。有效积温达 46.2 °C 时花芽萌动, 有效积温达 150 °C 左右时新梢与叶片开始快速生长, 有效积温达 200 °C 左右时果实启动快速发育, 新梢、叶片和果实生长停止分别对应有有效积温约 1 800 °C、500 °C 和 1 200 °C, 整个生长周期有效积温约 2 500 °C。不同器官生长指标与有效积温呈特异性函数关系, 有效积温是驱动其生长发育的核心因子。本研究可为该物种在吉林地区的引种驯化、规范化栽培及资源高效利用奠定基础。

关键词: 兴安杜鹃; 物候特性; 年生长规律; 有效积温

Phenological Characteristics and Annual Growth Rhythm of *Rhododendron dauricum*

PEI Yida¹, LYU Weiwei¹, WANG Jinling², ZHAO Xiyue¹, LI Wei³, LIU Gang¹

(1. Academy of Forestry Sciences of Jilin City, Jilin 132013, China; 2. School of Forestry of Beihua University, Jilin 132013, China; 3. Market Development Department of Jilin Changbai Mountain Forestry Industry Group Limited Company, Yanbian 133000, China)

Abstract: The phenological characteristics and annual growth rhythm of introduced and cultivated *Rhododendron dauricum* in Jilin area were systematically studied in this paper. The flower bud sprouted in late March and the flowering period started in late April (lasting about 25 d). In early May, the flower withered and then the leaf unfolded. The leaf began to discolor in late September, began to fall off in early October and completed abscission in early November with some leaves remaining on the tree. The flower bud sprouted when the effective accumulated temperature reached 46.2 °C. The twig and leaf grew rapidly when the effective accumulated temperature reached about 150 °C. The fruit develop rapidly when the effective accumulated temperature reached about 200 °C. The twig, leaf and fruit stopped growing when the effective accumulated temperature reached about 1 800 °C, 500 °C and 1 200 °C, respectively. The effective accumulated temperature of the entire growth cycle was about 2 500 °C. There was the specific functional relationship between the growth index of different organs and the effective accumulated temperature. The effective accumulated temperature was the core factor driving

收稿日期:2026-02-10

基金项目:中央财政林业科技推广示范资金项目(JLT2023-20 号)

第一作者:裴乙达(1996—),女,助理工程师,主要从事森林培育相关工作,E-mail:875970113@qq.com。

通信作者:刘刚(1970—),男,正高级工程师,主要从事珍贵树种培育及技术推广工作,E-mail:741307974@qq.com。

the growth and development. This study could provide the basis for the introduction and domestication, standardized cultivation, and resources utilization of the species in Jilin area.

Keywords: *Rhododendron dauricum*; phenological characteristics; annual growth rhythm; effective accumulated temperature

植物的物候是植物长期适应环境季节性变化而形成的生长发育规律,是自然环境对植物长期作用的结果^[1],具体包括发芽、展叶、开花、结实、落叶等^[2]。开展物候学特性及年生长规律研究可系统揭示物候进程与环境因子的关联。

杜鹃花属(*Rhododendron*)植物的物候观测具有重要的理论与实践价值,是其资源保护、引种驯化与园林应用的核心基础,已有学者围绕该属不同物种开展了相关研究。韩红娟等^[3]观测了兴安杜鹃(*Rhododendron dauricum*)与迎红杜鹃(*Rhododendron mucronulatum*)的物候,明确了二者的花期、营养生长启动的积温范围及花期差异;周宏香等^[4]揭示了杜鹃花属植物的雌雄异熟特性及自交限制因素;王婉琳^[5]研究了4种树状杜鹃的物候及适宜生长条件;李晓花等^[6]研究了4种常绿杜鹃亚属杜鹃物候及播种繁殖情况。兴安杜鹃为杜鹃花科杜鹃花属落叶或常绿灌木,主产于我国东北地区,又名达子香、野杜鹃花、满山红,具有典型先花后叶特征,花期早且持续时间长,是东北早春极具代表性的观赏木本花卉^[7,8]。其叶片可提取芳香油与挥发油,根部可入药,开发价值显著,在香料、医药领域应用前景广阔^[9-11]。目前,对兴安杜鹃在吉林省的物候特征研究较为薄弱。

本文以吉林地区引种栽培的兴安杜鹃为对象,系统观测其完整物候周期,确定了新梢、叶片、果实等器官生长指标与有效积温的特异性函数关系,明确各生长阶段的关键积温值及寒温带兴安杜鹃生长发育物候规律,可为吉林地区兴安杜鹃人工驯化、园林配置、资源高效利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验地位于吉林市林科院四合实验苗圃,地处长白山向松辽平原过渡地带,海拔190 m,土壤类型为河流冲击土,土层厚度25~30 cm。

该区域属北温带大陆性季风气候,年平均气温3.9℃,极端最低气温可达-40℃以下,年有效积温2 400~2 800℃;初霜期一般出现在9月下旬,终霜期在5月中旬,无霜期120~140 d;年平均降水量696.1 mm,年平均日照时数2 447.1 h。

1.2 试验材料

在实验苗圃内选取30株生长健壮、无病虫害的成年母树作为观测对象,分别开展物候观测和生长观测。

1.3 研究方法

1.3.1 物候观测

参照相关研究开展物候观测^[12],包括萌芽期、花期、展叶期、果期、种子脱落期、叶变色期及落叶期。每株植株分别在东、西、南、北4个方位各选取生长状态一致的1个侧枝作为标准枝,悬挂标签后进行系统的物候动态观测。

1.3.2 生长观测

在植株树冠外围均匀选取带有饱满叶芽的小枝,编号并挂牌标记,进行叶片生长观测。自展叶初期开始,测定第一片完全展开叶片的叶长、叶宽及有效面积,此后每隔7 d测定一次,直至叶片生长完全停止。叶片有效面积采用网格纸描图法进行测定,将叶片平铺于粘有网格纸的记录夹上,用记录笔精确描绘叶片边缘轮廓,通过计数网格纸有效格子数量计算叶片有效面积实际数值。

在植株树冠外围选取生长正常的延长梢,编号并挂牌标记,进行新梢生长观测。自叶芽开裂初期开始,每隔7 d用钢卷尺测定新梢长度,直至生长停止。

落花后选取发育状态一致的幼果,编号标记,进行果实生长发育观测。每隔7 d用游标卡尺测定果实纵径、横径等指标。

从开花时起,每隔7 d取兴安杜鹃果实,至果实成熟开裂为止,进行子房发育观测。将果实用FAA固定,然后制作石蜡切片,厚度为8~10 μm,番红固绿染色,加拿大树胶封片,在显

显微镜下观察、照相。选取较清晰切片,使用测微尺测量子房内壁、子房中壁、子房外壁的厚度、子房室长、子房室宽,选取切片中结构比较完整的种子测量种子长、种子宽。

1.3.3 积温测算法

活动积温指植物在生长发育期间,高于其生物学零度(植物开始生长发育的最低温度)的日平均气温之和,反映植物生长发育所需的总热量。有效积温指植物在生长发育期间,日平均气温与生物学零度之差的累积值,剔除了低于生物学零度的无效热量,可精准反映植物生长发育的有效热量供给。为确保数据的权威

性与可靠性,气象数据均来源于国家气象科学数据共享服务平台。

1.4 数据处理

采用 Excel 2000 进行数据计算与处理,基于有效积温测算结果,通过曲线拟合与回归分析,建立各生长指标与有效积温的函数关系模型。采用 SigmaPlot 12.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 兴安杜鹃的物候

兴安杜鹃物候及各阶段活动积温、有效积温详见表 1。

表 1 兴安杜鹃物候
 Tab. 1 Phenological observation of *Rhododendron dauricum*

物候观测项目		日期	活动积温/℃	有效积温/℃
萌芽期	花芽萌动期	3 月 20 日—4 月 26 日	0~143.7	0~46.2
	叶芽萌动期	4 月 5 日—4 月 30 日	13.7~208.7	0~91.2
	花芽开裂期	4 月 27 日—4 月 28 日	151.1~164.3	48.6~56.8
花期	开花始期	4 月 29 日—4 月 30 日	185.5~208.7	73.0~91.2
	开花盛期	5 月 1 日—5 月 8 日	225.9~328.4	103.4~170.9
	开花末期	5 月 12 日—5 月 20 日	383.0~485.2	205.5~267.7
展叶期	展叶始期	5 月 1 日—5 月 8 日	225.9~328.4	103.4~170.9
	展叶盛期	5 月 9 日—5 月 13 日	342.5~394.8	180.0~212.3
	展叶末期	5 月 14 日—5 月 17 日	406.1~444.7	218.6~242.2
果期	幼果期	5 月 3 日—5 月 20 日	259.0~485.2	126.5~267.7
	果实成熟期	9 月 16 日—9 月 23 日	3 061.8~3 187.7	2 254.3~2 345.2
种子脱落期 (果实开裂)	种子脱落始期	9 月 18 日—9 月 20 日	3 102.6~3 133.8	2 285.5~2 306.3
	种子脱落盛期	9 月 21 日—9 月 25 日	3 151.0~3 216.9	2 318.5~2 364.4
叶变色期	叶色始变期	9 月 20 日—10 月 1 日	3 133.8~3 291.9	2 306.3~2 409.4
	叶色全变期	10 月 8 日—10 月 15 日	3 390.6~3 448.5	2 473.1~2 496.0
落叶期	落叶始期	10 月 4 日—10 月 9 日	3 337.5~3 400.1	2 440.0~2 477.6
	落叶盛期	10 月 10 日—10 月 19 日	3 409.1~3 468.7	2 481.6~2 501.2
	落叶末期	10 月 20 日—11 月 6 日	3 468.7~3 531.5	2 501.2~2 524.0

2.2 兴安杜鹃新梢生长过程

5 月上旬展叶期启动后,兴安杜鹃枝节间快速伸长,新梢在 5 月上旬至 6 月末进入快速生长阶段,6 月末新梢长度达 7.0 cm,占当年生长结束后新梢长度(10.0 cm)的 70 %;此后新梢生长逐渐减缓,直至 7 月下旬以后进入二次

快速生长期,8 月下旬生长完全停止。新梢长度与有效积温呈显著线性关系(见图 1)。当有效积温达到 150 ℃左右时,新梢开始随有效积温增加而启动生长;当有效积温达到 1 800 ℃左右时,新梢生长进程停止。

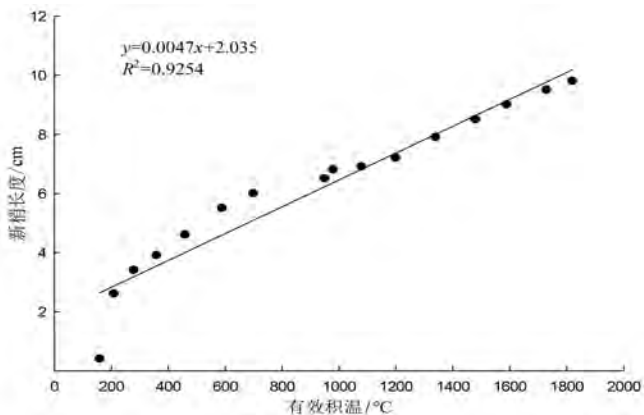


图 1 新梢长度与有效积温的关系

Fig. 1 Relation between twig length and effective accumulated temperature

2.3 兴安杜鹃叶片的生长过程

由图 2 和图 3 可见,叶片生长发育与有效积温呈显著线性关系。当有效积温达到 150 ℃ 左右时,叶片开始快速生长;当有效积温达到 500 ℃ 左右时,叶片生长停止。兴安杜鹃叶片

生长发育期约 5 周,展叶后第 1 周生长速率较快,且叶长生长速率大于叶宽生长速率;叶片有效面积在第 3 周(5 月中下旬)显著增加,此阶段正值兴安杜鹃落花期与展叶盛期的重叠阶段,养分分配向叶片生长倾斜。

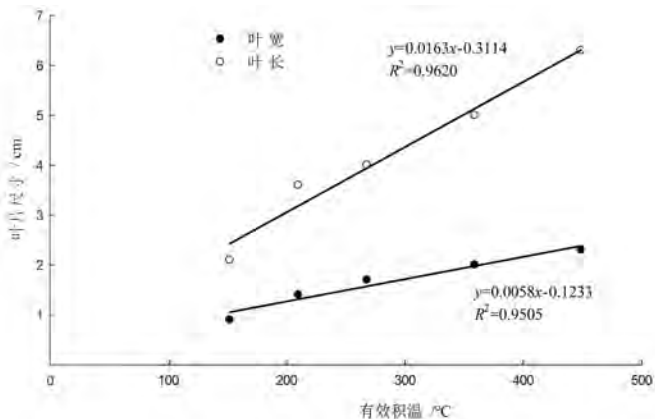


图 2 叶片尺寸与有效积温的关系

Fig. 2 Relation between leaf size and effective accumulated temperature

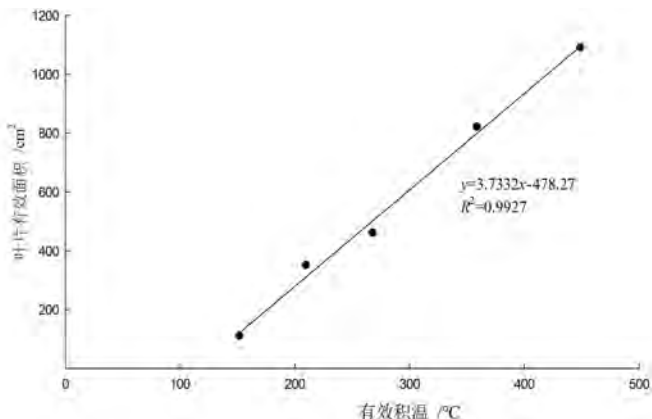


图 3 叶片有效面积与有效积温的关系

Fig. 3 Relation between effective leaf area and effective accumulated temperature

2.4 果实生长动态

2.4.1 果实成熟过程

花瓣脱落后,兴安杜鹃蒴果启动发育进程,

初始颜色为黄白色,3~5 d 后转为绿色;约 40 d 后果实变为浅褐色,外被绒毛;60 d 时呈现成熟特征色——深褐色。果实生长发育阶段中,6

月中旬至7月中旬为快速生长阶段,7月下旬后生长速率显著减缓,8月下旬形态生长基本停止,9月下旬蒴果开裂,种子开始散落。

2.4.2 果径的变化

兴安杜鹃果实纵径与横径生长均呈阶段性快速增长特征,且两者生长节奏存在差异。果实纵径第一个快速生长期出现在花后2周(此阶段花朵凋谢,养分向果实转移),平均日增长量达0.360 mm,净增长量占成熟果实纵径的25.0 %,且纵径生长速率显著高于横径;果实横径第一个快速生长期则出现在花后1周,平均日增长量为0.036 mm,净增长量占成熟果实横径的7.6 %。第一个快速生长期结束后,果实纵径日均增长量降至0.160 mm。直至花后4周,果实进入第二个快速生长期,此时纵径与横径

同步快速增长。纵径平均日增长量为0.170 mm,净增长量占成熟纵径的11.8 %;横径平均日增长量为0.040 mm,净增长量占成熟横径的8.5 %。整体来看,果实生长高峰期集中在5月,5月末纵径达成熟时的80 %,横径达成熟时的77 %;6月末,果实形态生长基本停止,进入种子缓慢发育阶段。

果径与有效积温的关系显示,果实横径与有效积温呈多项式关系,纵径与有效积温呈对数关系,均不表现为简单线性关系(见图4)。这一结果表明,果实生长发育除受温度因子调控外,还受自身养分供给等其他因素的综合影响。从积温来看,当有效积温达到约200 ℃时(5月中旬),果实启动快速发育;当有效积温达到约1 200 ℃时,果实生长进程停止。

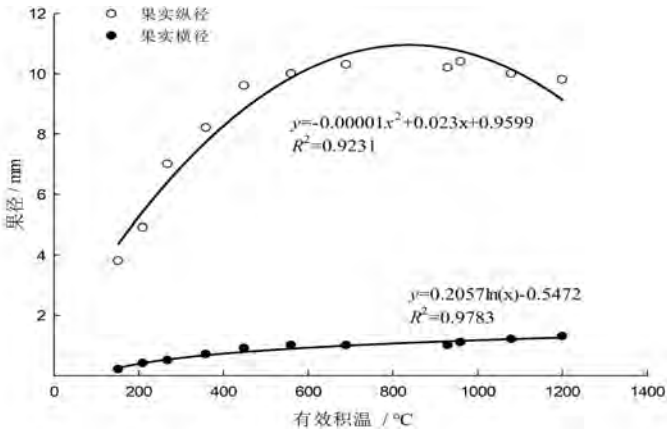


图4 果径与有效积温的关系

Fig. 4 Relation between fruit diameter and effective accumulated temperature

2.4.3 子房壁的发育

6月中下旬子房内壁厚度不再增加,逐渐消失。7月初果径基本停止生长,子房内壁全部消失,只可见子房外壁和中壁;子房中壁的发育逐渐减慢,直至果实基本成熟子房中壁消失。子房外壁厚度在种子成熟后继续增加,这可能与兴安杜鹃蒴果开裂有关。

从图5可知,子房壁的生长发育与有效积温的变化不是简单的线性关系,子房外壁厚度与有效积温呈对数关系,而子房中壁厚度、内壁厚度与有效积温呈多项式关系。说明影响子房内壁和子房中壁厚度的因素应该是一致的,但与影响子房外壁厚度的因素不同。

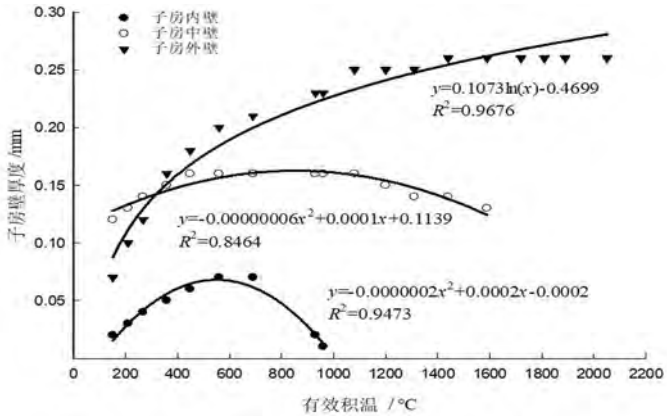


图5 子房壁厚度与有效积温的关系

Fig. 5 Relation between ovary wall thickness and effective accumulated temperature

2.4.4 子房室的发育

子房室长与子房室宽第一次生长高峰期出现在5月末,此时果实正处于旺盛生长期,第二次高峰出现在果实发育末期,此时增长是由于

蒴果开裂造成的。由图6可见子房室长与有效积温呈乘幂关系,子房室宽与有效积温呈指数关系,这说明子房室的发育除与温度有关外,还存在其他影响因素,如果实开裂等。

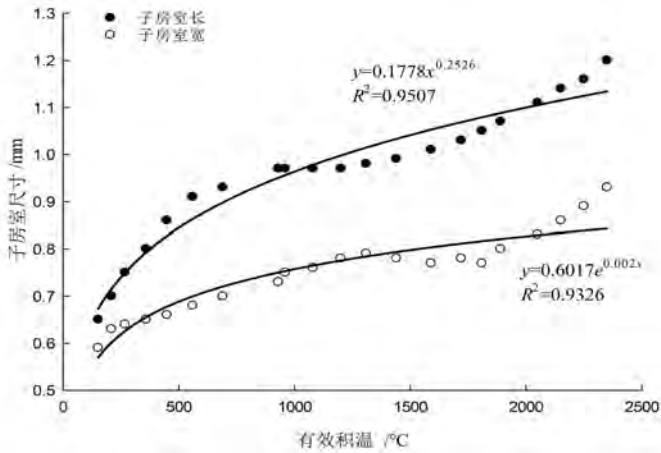


图6 子房室尺寸与有效积温的关系

Fig. 6 Relation between locule size and effective accumulated temperature

2.4.5 种子的生长

从开花后第1周到第6周(6月10日)种子处于旺盛生长期,生长曲线几乎直线上升,此时种子长、种子宽分别为种子成熟时长、宽的

80.7%和62.0%,种子长的生长大于种子宽;7月1日后种子发育缓慢。种子长、种子宽与有效积温呈对数关系(见图7),说明种子的生长发育除与温度有关外,还有其他影响因素。

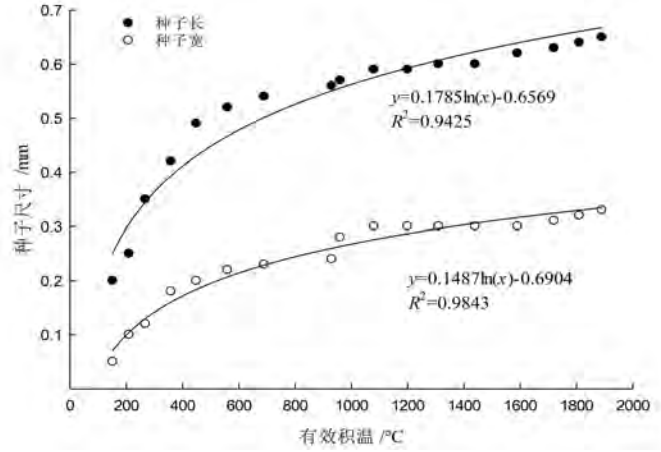


图7 种子尺寸与有效积温的关系

Fig. 7 Relation between seed size and effective accumulated temperature

3 结论与讨论

兴安杜鹃为东北地区典型的早春先花后叶树种,本研究明确了兴安杜鹃完整的年物候进程。花芽3月下旬开始萌动,花期集中在4月下旬至5月下旬,展叶期与花期部分重叠,果实5月上旬启动发育,9月中旬成熟开裂,叶片于10—11月变色脱落并进入自然休眠状态,整体物候序列完整,物候节律与温带季风气候区水

热季节分配特征高度适应,这与迎红杜鹃的物候观测结果相近^[3],均体现出北方寒冷地区杜鹃花属植物早春开花、营养生长与生殖生长有序衔接的共性适应特征,与北方常见木本植物物候规律的研究结论一致,反映出区域气候条件对植物物候进程具有显著调控作用。白素琴^[13]在研究区域植物物候对气候变化的响应时指出,温度是驱动温带地区植物物候进程的核心环境因子。本研究中兴安杜鹃各物候阶段

随热量积累依次启动、有序推进,同样表现出对温度累积过程的高度依赖,进一步印证了温度对温带花木物候进程的决定性作用。杜鹃花属植物物候特性既具有属内共性,又因物种遗传特性、分布区气候条件不同具有种间差异。

有效积温是解析兴安杜鹃年生长规律的关键量化指标。本研究结果显示,兴安杜鹃完成整个生长周期需积累有效积温约 2 500 ℃,新梢、叶片、果实的生长启动、快速生长及生长停止均对应明确的积温值,充分体现出有效积温对其生长发育进程的精准调控作用,这与东部白松(*Pinus strobus*)等温带树种生长节律的研究结果相似^[2],即温带木本植物各器官生长并非随时间简单线性推进,而是在积温积累达到临界值后才进入快速发育阶段。目前,针对杜鹃开花生物学和杜鹃引种栽培适应性的研究多侧重于物候与生长表型描述^[4, 6],没有采用有效积温指标开展定量解析,而本研究通过界定关键生长阶段的积温值、构建生长指标与积温的量化关系,弥补了现有研究在兴安杜鹃生长动态定量预测方面的不足,也为杜鹃花属植物物候预报与生长节律调控提供了可借鉴的方法。

从生长指标与积温的关系模式来看,兴安杜鹃新梢长度、叶片尺寸和有效面积与有效积温均呈显著线性正相关,而果径、子房壁厚度和子房室尺寸及种子尺寸与有效积温则表现为对数函数、多项式函数、乘幂函数或指数函数关系,说明不同器官对积温的响应模式存在明显分化。这种分化是兴安杜鹃在长期系统发育过程中形成的资源分配与环境适应策略,即营养器官对积温表现为稳定的线性响应,可保证植株在适宜温度范围内持续生长与营养积累,而生殖器官则呈现非线性增长特征,在积温达到一定水平后生长速率逐渐趋于平缓,这与杜鹃花属植物花果发育阶段性特征基本一致^[4]。兴安杜鹃各器官生长与有效积温函数关系类型的差异是内源发育程序与外界热量条件协同调控的结果。

综上所述,兴安杜鹃物候进程清晰,具有典型的温带地区早春花木物候特征,有效积温是调控其物候节点与年生长动态的核心环境因

子,各器官生长指标与有效积温之间存在可量化的函数关系。但本研究未系统考虑光照、水分、土壤养分及内源激素等因素的综合作用,以及培养过程中的生境异质性和多环境因子对植物生长发育的协同影响等方面,未来可在此基础上开展多因子互作研究,完善其人工培育技术体系。

参考文献

- [1] 张学涛, 谭敦炎. 10 种菊科短命植物的物候与主要气象因子的关系[J]. 干旱区研究, 2007, 24(4): 470-475.
- [2] 吕伟伟, 刘颖, 刘刚, 等. 东部白松物候学特性及年生长规律观测[J]. 林业科技, 2020, 45(6): 10-12.
- [3] 韩红娟, 谭梦, 曹玉峰. 迎红杜鹃物候及生长节律的研究[J]. 防护林科技, 2015(2): 26-28.
- [4] 周宏香, 邵凤侠, 张旻恒, 等. 三种杜鹃开花生物学特性研究[J]. 植物科学学报, 2024, 42(6): 703-716.
- [5] 王婉琳. 四种树状杜鹃在重庆市低山丘陵地带引种栽培研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020: 17-51.
- [6] 李晓花, 李丹丹, 王凯红, 等. 4 种常绿杜鹃亚属杜鹃物候观测及播种繁殖研究[J]. 中国野生植物资源, 2019, 38(6): 6-13.
- [7] 于忠亮, 苑景淇, 李成宏, 等. 兴安杜鹃研究现状及保育对策探析[J]. 南方农业, 2019, 13(15): 50-51, 53.
- [8] 吕伟伟, 杜凤国, 刘刚, 等. 大花兴安杜鹃组织培养技术[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2023, 24(1): 32-37.
- [9] 辛柏福, 尹贻东, 谭振平. 兴安杜鹃花精油化学成分研究[J]. 黑龙江大学(自然科学学报), 1996(3): 93-95.
- [10] 杨宏辉, 孙岳胤. 兴安杜鹃的药用价值[J]. 中国林副特产, 2000(1): 46.
- [11] 张捷莉, 何方奕, 陶静, 等. 满山红花蕾挥发油成分分析[J]. 鞍山师范学院学报, 2000(1): 86-88.
- [12] 任宪威, 刘秀珍, 李珍. 北京树木物候研究[J]. 北京林学院学报, 1983, 5(1): 1-13.
- [13] 白素琴. 哈密市近 30 年物候变化及其对气候变化的响应[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2010: 33-39.

(本篇专家编审: 杨雨春)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.04.004

文章编号:1005-7129(2026)04-0021-05

中图分类号:S725.1

文献标识码:A

吉林省延边地区造林适宜树种的多维评价研究

陶祥云¹, 金成吉², 张鹏¹, 李文³, 张亮¹, 张传波³

(1. 延边朝鲜族自治州碳汇服务中心, 吉林 延边 133000; 2. 延边朝鲜族自治州自然资源资产管理服务中心, 吉林 延边 133000; 3. 龙井市自然资源和林业局, 吉林 延边 133400)

摘 要: 植树造林是增加陆地碳汇、减缓气候变化的有效手段, 树种选择需兼顾生态适应性、固碳效率、经济可行性与社会接受度。针对当前区域性造林树种选择中普遍存在的评价维度单一的问题, 本文构建了一套涵盖生态、经济、社会与政策 4 个维度 21 项具体指标的综合评价体系, 采用多维评价与 TOPSIS 模型相结合的方法, 对延边地区 16 种主要乔木树种的适宜性进行量化评估与排序。结果表明, 红松、白桦和蒙古栎的评价等级最高。本研究建立的综合评价体系, 不仅为延边地区造林与森林多功能经营提供了科学的树种选择依据, 也为其他地区开展适宜造林树种选择提供了参考。

关键词: 造林; 树种选择; 多维评价; TOPSIS 模型

Research on Multidimensional Evaluation of Suitable Tree Species for Afforestation in Yanbian Region of Jilin Province

TAO Xiangyun¹, JIN Chengji², ZHANG Peng¹, LI Wen³, ZHANG Liang¹, ZHANG Chuanbo³

(1. Carbon Sequestration Service Center of Yanbian Korean Autonomous Prefecture, Yanbian 133000, China; 2. Natural Resources Asset Management Service Center of Yanbian Korean Autonomous Prefecture, Yanbian 133000, China; 3. Natural Resources and Forestry Bureau of Longjing City, Yanbian 133400, China)

Abstract: Afforestation was the effective mean to increase terrestrial carbon sink and mitigate climate change. The selection of tree species should balance ecological adaptability, carbon sequestration efficiency, economic feasibility, and social acceptability. At present, there was the common problem of single evaluation dimension in the selection of regional afforestation tree species. The comprehensive evaluation system covering 21 specific indicators in four dimensions of ecology, economy, society, and policy was constructed in this paper. The suitability of 16 major tree species in Yanbian region was quantitatively evaluated and sorted by combining multidimensional evaluation and TOPSIS model. The results showed that *Pinus koraiensis*, *Betula platyphylla*, and *Quercus mongolica* had the highest evaluation grade. The comprehensive evaluation system established in this study not only provided the scientific basis for tree species selection in afforestation and multi-functional forest management in Yanbian region, but also provided the reference for the selection of suitable afforestation tree species in other regions.

Keywords: afforestation; tree species selection; multidimensional evaluation; TOPSIS model

植树造林是增加陆地碳汇、减缓气候变化的有效手段, 树种选择需兼顾生态适应性、固碳效率、经济可行性与社会接受度。我国幅员辽

阔, 不同气候带和植物区系的森林类型、树种组成及生长规律差异显著, 全国范围内难以制定统一的造林树种选择标准^[1]。因此, 开展区域

收稿日期: 2026-03-05

基金项目: 延边州科技攻关计划项目 (2024NS06)

第一作者: 陶祥云 (1984—), 男, 高级工程师, 主要从事森林经营方面的工作, E-mail: 409871794@qq.com。

尺度的树种适宜性评估具有迫切的现实需求。

近年来,国内造林树种的筛选工作多聚焦于树种的固碳能力^[2-10],相对忽视了其乡土适应性、长期生态稳定性、生物多样性贡献、经济价值及林农造林意愿等。这种单一维度的评价倾向可能导致造林后林木保存率低、生态系统服务功能单一、与地方发展需求脱节等问题,甚至引发生态风险,如树种入侵、地力衰退等。

延边朝鲜族自治州位于长白山核心区域,是中国重要的森林生态功能区和木材战略储备基地。为科学指导该地区以提升森林生态系统服务功能为目标的造林与森林经营活动,本研究构建了一个系统、综合、可操作的评价体系,对区域主要乔木树种进行多维度定量评估,以筛选出综合表现最优的造林树种,并为构建区域尺度“生态-经济-社会”协同发展的造林模式提供理论依据与技术支持。

1 数据与方法

1.1 研究区概况与评价树种确定

研究区为吉林省延边朝鲜族自治州,属温

带大陆性季风气候,森林覆盖率高,植被类型以针阔混交林为主。评价树种以延边地区森林群落优势树种、建群种、顶级群落树种、先锋树种等为主,共 16 种,包括红松(*Pinus koraiensis*)、云杉(*Picea* spp.)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、臭松(*Abies nephrolepis*)、长白落叶松(*Larix olgensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、核桃楸(*Juglans mandshurica*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、槭树(*Acer* spp.)、枫桦(*Betula costata*)、榆树(*Ulmus* spp.)、白桦(*Betula platyphylla*)、杨树(*Populus* spp.)、柳树(*Salix* spp.)。

1.2 综合评价指标体系构建

遵循科学性、系统性、代表性和数据可获性原则,构建了综合评价指标体系,包括生态因素、经济因素、社会因素和政策因素 4 个方面(见表 1)。部分因子由调查获得,部分较难量化的因子通过征求意见由地区林业专家根据林业经营管理经验评估取平均值,部分因子经查阅文献获得。

表 1 各因子数据说明、赋值范围及计算权重

Tab. 1 Data description, assignment range and calculation weight of each factor

因素	因子	数据说明	赋值范围	计算权重
	一般造林环境适应性	皆伐地、疏林地、荒山荒地、园地、村屯空地、绿化、废弃矿山等一般造林环境适应性,由专家评分。	0~1	0.10
	平均成活率	各地方林业局调查的一年成活率。	0~1	0.01
	平均保存率	各地方林业局调查的第三年保存率。	0~1	0.01
	树木材积年平均生长量/m ³	参考本地文献数据。	实际数值	0.29
	基本木材密度/(t·m ⁻³)	参考《温室气体自愿减排项目方法学 造林碳汇	实际数值	0.10
	地上生物质含碳率/(t C·t ⁻¹)(CCER-14-001-V01)》。		实际数值	0.10
生态因素	碳储时间/年	人工用材林到达成熟林的年龄(红松等产果类经济树种按照 121 计算,白桦因取汁产业按 81 计算)。	0~121	0.10
	珍稀性	参考 2021 版《国家重点保护野生植物名录》,二级 0.7、其他 0.5。	0~1	0.01
	生物群落地位	所有均为基石树种 0.40;建群种 0.20(红松、蒙古栎、紫椴、水曲柳、核桃楸、云杉、臭松);先锋种 0.10(白桦、杨树);一级食物源 0.10(红松、紫椴、蒙古栎、核桃楸、白桦、杨树);栖息场所提供者 0.10(红松、蒙古栎、杨树),其余为 0.05;分解循环起点 0.10(所有树种)。	0~1	0.01

表 1(续)				
因素	因子	数据说明	赋值范围	计算权重
经济因素	固土防止水土流失能力	较强 0.8(樟子松、长白落叶松、水曲柳、核桃楸、黄檗、紫椴、蒙古栎、槭树、榆树、柳树,多为深根性或根系极其发达的树种);中等 0.6(红松、云杉、白桦、枫桦、杨树);较弱 0.4(臭松)。	0~1	0.01
	涵养水源能力	较强 0.8(云杉、臭松、水曲柳、核桃楸、黄檗、紫椴、蒙古栎、槭树、柳树,多为树冠浓密、郁闭度高的树种,能有效截留降水,同时林下枯枝落叶层丰富、厚度大,像海绵一样吸收和贮存大量水分并缓慢释放或下渗);中等 0.6(红松、长白落叶松、白桦、枫桦、榆树);较弱 0.4(樟子松、杨树)。	0~1	0.01
	森林景观价值	包括形态、色彩、意境及文化关联性、稀缺与独特性等,由专家评分。	0~1	0.01
	木材价值/(元·m ⁻³)	大径材均价,由林草司法鉴定部门提供。	实际数值	0.05
	林副价值/元	成熟林每株每年产出林副产品价值(无典型产品的因具有林下采集、林下养殖等潜力,均按有典型林副产品树种每年单株平均价值的 1/10 计算,黄檗因只取一次黄柏,按上述均值的 1/5 计算)。	实际数值	0.06
社会因素	造林意愿	林农造林意愿(用材林和经济林),民意调查获得。	0~1	0.10
政策因素	国储林工程		0~1	
	防护林工程		0~1	
	木本粮油	优先 0.8,适用 0.6,条件适用 0.4,不适用 0。	0~1	0.03
	低质低效林改造		0~1	
	国土绿化		0~1	
	防火树种		0~1	
合计				1.00

1.3 评价模型

其相对贴近度(C_i),给出推荐等级。

在造林适宜树种评估中引入 TOPSIS 法,通过构建数据矩阵、归一化处理(去单位)、叠加权重、设定理想解和负理想解、计算各评价对象与正理想解和负理想解的距离,进而计算出

2 结果与分析

2.1 指标赋值

各树种各因子评估赋值见表 2、表 3。

表 2 各树种生态因素各因子赋值

Tab.2 Assignment of ecological factors for each tree species

树种(组)	一般造林环境适应性	平均成活率	平均保存率	树木材积年平均生长量	基本木材密度	地上生物质含碳率	碳储时间	珍稀性	生物群落地位	固土防止水土流失能力	涵养水源能力	森林景观价值
红松	0.72	0.68	0.60	1.65	0.389 7	0.496 7	121	0.7	0.90	0.6	0.6	0.70
云杉	0.75	0.75	0.68	1.80	0.359 7	0.493 1	81	0.5	0.75	0.6	0.8	0.65
樟子松	0.60	0.80	0.75	1.60	0.389 7	0.496 7	41	0.5	0.55	0.8	0.4	0.63
臭松	0.30	0.75	0.70	1.15	0.359 7	0.493 1	41	0.5	0.75	0.4	0.8	0.70

表 2(续)												
树种(组)	一般造林环境适应性	平均成活率	平均保存率	树木材积年平均生长量	基本木材密度	地上生物质含碳率	碳储时间	珍稀性	生物群落地位	固土防止水土流失能力	涵养水源能力	森林景观价值
长白落叶松	0.75	0.70	0.65	1.92	0.405 9	0.489 5	41	0.5	0.55	0.8	0.6	0.70
水曲柳	0.50	0.50	0.45	2.49	0.525 7	0.473 4	51	0.7	0.75	0.8	0.8	0.75
核桃楸	0.50	0.50	0.45	2.85	0.525 7	0.473 4	51	0.5	0.85	0.8	0.8	0.50
黄檗	0.50	0.60	0.50	2.71	0.525 7	0.473 4	51	0.7	0.55	0.8	0.8	0.45
紫椴	0.60	0.55	0.50	2.28	0.525 7	0.473 4	51	0.7	0.85	0.8	0.8	0.45
蒙古栎	0.90	0.70	0.65	2.00	0.576 2	0.482 7	51	0.5	0.90	0.8	0.8	0.85
槭树	0.60	0.60	0.55	2.14	0.525 7	0.473 4	51	0.5	0.55	0.8	0.8	0.90
枫桦	0.75	0.60	0.55	2.35	0.525 7	0.473 4	51	0.5	0.55	0.6	0.6	0.45
榆树	0.90	0.75	0.70	2.24	0.525 7	0.473 4	41	0.5	0.55	0.8	0.6	0.50
白桦	0.75	0.65	0.60	2.25	0.484 8	0.489 7	81	0.5	0.75	0.6	0.6	0.80
杨树	0.90	0.80	0.76	2.00	0.417 7	0.472 8	16	0.5	0.80	0.6	0.4	0.65
柳树	0.75	0.80	0.75	1.80	0.384 8	0.475 0	16	0.5	0.55	0.8	0.8	0.72

表 3 各树种经济因素、社会因素、政策因素各因子赋值

Tab. 3 Assignment of economic factors, social factors and policy factors for each tree species

树种(组)	经济因素		社会因素	政策因素					
	木材价值 (2019 年)	林副价值	造林意愿	国储林工程	防护林工程	木本粮油	低质低效林改造	国土绿化	防火树种
红松	600	260.00	0.95	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	0
云杉	600	13.78	0.70	0.8	0.8	0	0.6	0.6	0
樟子松	600	13.78	0.40	0.8	0.8	0	0.8	0.6	0
臭松	700	13.78	0.20	0.6	0.6	0	0.4	0.4	0
长白落叶松	580	13.78	0.90	0.8	0.8	0	0.8	0.6	0.8
水曲柳	1 770	13.78	0.60	0.8	0.8	0	0.8	0.6	0.8
核桃楸	1 250	120.00	0.55	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8
黄檗	1 400	27.56	0.20	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8
紫椴	1 370	32.00	0.20	0.8	0.8	0.6	0.8	0.8	0.6
蒙古栎	1 600	105.00	0.70	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8
槭树	1 330	13.78	0.75	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8
枫桦	1 150	13.78	0.60	0.6	0.8	0	0.8	0.8	0
榆树	1 300	120.00	0.55	0.6	0.8	0.4	0.8	0.8	0.8
白桦	970	190.00	0.75	0.6	0.8	0	0.8	0.8	0
杨树	550	13.78	0.80	0.4	0.6	0.8	0.8	0.8	0
柳树	700	13.78	0.60	0	0.8	0	0.4	0.8	0.8

2.2 树种综合评价结果与推荐等级

根据 TOPSIS 模型计算出的各树种相对贴近度及其评价等级如表 4 所示。评价结果显示,五星树种($C_i \geq 0.5$)为红松、白桦、蒙古栎,这三者综合表现最优。红松作为地带性顶级群落树种,兼具较高的碳汇潜力(生长速率与木材密度中等偏上,碳储时间长)、较高的经济价值(松籽)和很高的社会认可度;白桦虽为先锋树种,碳储时间较短,但其生长较快、适应性强、景观与取汁价值高,综合得分靠前;蒙古栎则表

表 4 延边地区主要造林树种适宜性综合评价结果

Tab. 4 Comprehensive evaluation results of suitability for major afforestation tree species in Yanbian Region							
树种(组)	C_i	评价等级	排序	树种(组)	C_i	评价等级	排序
红松	0.660 6	☆☆☆☆☆	1	云杉	0.401 1	☆☆☆☆	9
白桦	0.646 2	☆☆☆☆☆	2	黄檗	0.389 8	☆☆☆	10
蒙古栎	0.555 5	☆☆☆☆☆	3	紫椴	0.384 9	☆☆☆	11
核桃楸	0.495 8	☆☆☆☆	4	长白落叶松	0.371 2	☆☆☆	12
榆树	0.493 2	☆☆☆☆	5	杨树	0.342 1	☆☆☆	13
槭树	0.441 3	☆☆☆☆	6	柳树	0.257 9	☆☆	14
枫桦	0.433 8	☆☆☆☆	7	樟子松	0.219 6	☆☆	15
水曲柳	0.429 8	☆☆☆☆	8	臭松	0.129 4	☆	16

2.3 关键因子贡献分析

为进一步解析评价结果,对影响综合排序的关键因子进行分析发现,生长速率快的树种(如水曲柳、核桃楸、枫桦等)在碳汇潜力上具有明显优势,是提升 C_i 值的关键。综合排名靠前的树种(如红松)普遍在“一般造林环境适应性”和“造林意愿”两个指标上同时获得高分,表明乡土性强、群众基础好的树种更容易在综合评估中胜出。红松、云杉、白桦(取汁产业设定较长轮伐期)因“碳储时间”长,提升了其长期固碳的评分,对冲了部分树种生长速率不突出的劣势。红松(松籽)、核桃楸(山核桃)、蒙古栎(橡实、柞蚕)、白桦(汁液)等具有高附加值林副产品的树种,在经济因素上得分较高,助推了其综合排名。

3 结论与讨论

本研究针对区域造林中树种选择的科学需求,以吉林省延边地区为例,建立了一个涵盖生态、经济、社会与政策 4 个维度的综合评价指标

现出极强的适应性和稳定性,生态功能突出。四星推荐树种($0.4 \leq C_i < 0.5$)为核桃楸、榆树、槭树、枫桦、水曲柳、云杉,这些树种在碳汇能力、生态或经济某一方面或多个方面有良好表现,但在适应性、造林意愿、政策契合度上存在一定短板。三星推荐树种($0.3 \leq C_i < 0.4$)为黄檗、紫椴、长白落叶松、杨树。二星推荐树种($0.2 \leq C_i < 0.3$)为柳树、樟子松。一星推荐树种($C_i < 0.2$)为臭松,其生长海拔相对较高、适应性得分低,综合评分最低。

体系,并运用 TOPSIS 模型对 16 种主要乔木树种进行了定量评估与排序。结果表明,红松、白桦和蒙古栎是该地区综合表现最佳的造林推荐树种。

评价结果明确提示,在延边地区开展造林活动,应优先考虑红松、蒙古栎等综合表现优异的树种。这并非否定其他树种的价值,而是在有限的造林资金和土地资源下采取的优化配置。评价基于“一般环境”假设,实践中应遵循“适地适树”根本原则,参照树种的详细生境要求,考虑森林演替进程以及森林经营中的不同阶段的树种调整,例如白桦虽综合得分相对较高,但其为演替先锋树种,天然更新能力强,天然林分布较多,在经营过程中为了提高林分树种多样性、加速森林演替、促进演替后期树种更新,往往作为优先采伐树种,因此不作为优先推荐树种。推广混交造林模式,避免营造单一树种的纯林。可将五星、四星推荐树种进行科学搭配,构建针阔混交的复层林分,既能提升整体碳汇能力,又能增强生物多样性、稳定性和抗逆性。(下转第 29 页)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.04.005

文章编号:1005-7129(2026)04-0026-04

中图分类号:S718.5

文献标识码:A

吉林省通化地区森林碳储量及其经济价值研究

周宸宇, 陈维建, 赵国辉, 梁为玉, 任 贺, 于世宏

(吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022)

摘 要:合理估算森林碳储量及其经济价值对于实现“双碳”目标具有重要意义。本文依托 2024 年全国森林草原湿地荒漠化普查数据,对通化地区森林碳储量及其经济价值进行了测算。结果表明,通化地区森林碳储量约为 63.49×10^6 Mg C, 森林碳密度约为 66.00 Mg C $\cdot$ hm⁻², 森林碳储量经济价值约为 39.59 亿元,可为吉林省生态管理与“双碳”目标实现提供参考依据。

关键词:森林碳储量;碳密度;碳储量经济价值;“双碳”目标

Study on Forest Carbon Storage and Its Economic Value in Tonghua Region of Jilin Province

ZHOU Chenyu, CHEN Weijian, ZHAO Guohui, LIANG Weiyu, REN He, YU Shihong

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

Abstract: Reasonable estimation of forest carbon storage and its economic value was of great significance for achieving carbon peaking and carbon neutrality goals. Based on the national census data of forest, grassland, wetland and desertification in 2024, the forest carbon storage and its economic value in Tonghua region of Jilin Province were calculated in this paper. The results showed that the forest carbon storage was about 63.49×10^6 Mg C, the forest carbon density was about 66.00 Mg C $\cdot$ hm⁻², and the economic value of forest carbon storage was about 3.959 billion yuan. That would provide the reference for the ecological management and the realization of carbon peaking and carbon neutrality goals in Jilin Province.

Keywords: forest carbon storage; carbon density; economic value of carbon storage; carbon peaking and carbon neutrality goals

森林是陆地生态系统中最大的碳库,具有较高的碳密度和较快的碳积累速度,森林碳汇被国际社会公认为改善全球变暖最有效的途径之一,合理估算森林碳储量及其经济价值对于实现“双碳”目标具有重要意义^[1-7]。吉林省是我国重点林业省份之一,森林资源丰富。通化地区是吉林省重点林区,本文对该地区森林碳

储量及其经济价值进行了测算,可为吉林省生态管理和“双碳”目标实现提供参考。

1 研究区概况

通化地区(含梅河口市)位于吉林省东南部,地理位置 $125^{\circ} 71' \sim 126^{\circ} 44' E$ 、 $42^{\circ} 52' \sim 40^{\circ} 49' N$ 。该地区面积 $15\ 698$ km²,三分之二

收稿日期:2026-03-17

第一作者:周宸宇(1996—),男,助理工程师,主要从事林草资源调查规划,E-mail:zcy7707@qq.com。

以上面积为山区,属长白山系。该地区属北温带大陆性季风气候,年平均气温 5.5℃。乔木植被包括落叶松(*Larix gmelinii*)、红松(*Pinus koraiensis*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、辽东栎(*Quercus wutaishansea*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、椴树(*Tilia* spp.)、杨树(*Populus* spp.)等。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究采用 2024 年全国森林草原湿地荒漠化普查资料数据,对通化地区森林样地数据(共 81 块有林地,东昌区 2 块、二道江区 4 块、通化县 29 块、辉南县 6 块、柳河县 13 块、梅河

口市 8 块、集安市 19 块)及图斑数据进行提取计算。

2.2 计算方法

2.2.1 碳储量计算

碳储量计算采用蓄积量扩展原理,利用生物量转换因子连续函数法^[8, 9],通过蓄积量计算森林生物量,计算公式为 $B = aV + b$ 。式中: B 为某一森林类型单位面积的生物量, $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$; V 为该森林类型的单位面积蓄积量, $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; a 、 b 为转换系数。由于该研究方法中转换系数具有区域和树种局限性,因此采用 Zhang 等^[10]改进的转换系数进行估算(见表 1)。单位面积碳储量由单位面积生物量直接乘以碳转换系数计算得出,本研究采用较为常用的 0.5 作为碳转换系数^[11]。

表 1 通化地区主要森林类型的生物量函数转换系数

Tab. 1 Conversion factors in the biomass function for main forest types in Tonghua region

森林类型	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	森林类型	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²
落叶松林	0.607 9	17.062 0	0.894 8	水曲柳林、胡桃楸林、黄檗林	1.039 4	2.372 8	0.751 6
红松林	0.469 1	24.659 0	0.851 1				
樟子松林	0.516 2	18.293 0	0.835 7	针叶混交林	0.744 2	26.806 0	0.702 6
栎类林	0.784 8	16.715 0	0.954 2	针阔混交林	0.438 5	52.905 0	0.717 9
椴树林	0.756 4	8.310 3	0.980 0	阔叶混交林	0.739 3	43.210 0	0.731 4
杨树林	0.625 1	11.462 0	0.853 7	其他软阔类、硬阔类	0.891 8	28.441 0	0.810 3

注:主要森林类型划分以森林草原湿地荒漠化普查数据为依据,对其中面积或蓄积量较小的树种,按照其生长特性、生境条件等特点进行相近合并。

2.2.2 碳密度计算

森林碳密度是评估森林生长质量的关键指标之一,为森林抚育、经营管理等相关措施的制定提供了重要参考依据。森林碳密度的计算方法为森林碳储量除以森林面积。

2.2.3 碳储量经济价值计算

本研究采用市场价值法计算碳储量经济价值^[5],计算公式为 $Q = C \times P$ 。式中: Q 为森林碳储量经济价值,元; P 为自然资源部公布的 2025 年碳市场全年交易均价,62.36 元 $\cdot \text{t}^{-1}$; C 为森林碳储量, t 。

3 结果与分析

3.1 不同森林类型碳储量及碳密度

通化地区不同森林类型碳储量及碳密度如表 2 所示。森林碳储量 $63.49 \times 10^6 \text{ Mg C}$;阔叶混交林碳储量最大,占比为 62.18%;其次为落叶松林和栎类林,占比分别为 11.40%和 9.26%;其余 8 种森林类型总占比为 17.16%。森林碳密度 $66.00 \text{ Mg C} \cdot \text{hm}^{-2}$;栎类林、针叶混交林和阔叶混交林碳密度较大,均超过 $70 \text{ Mg C} \cdot \text{hm}^{-2}$;杨树林和樟子松林相对较低。

表 2 通化地区主要森林类型的碳储量与碳密度

Tab. 2 Carbon storage and carbon density for main forest types in Tonghua region

森林类型	面积/hm ²	单位面积蓄积 量/(m ³ ·hm ⁻²)	碳储量/Mg C	碳密度/(Mg C·hm ⁻²)
阔叶混交林	54.92 × 10 ⁴	136.00	39.48 × 10 ⁶	71.89
落叶松林	13.35 × 10 ⁴	150.30	7.24 × 10 ⁶	54.23
栎类林	8.00 × 10 ⁴	166.12	5.88 × 10 ⁶	73.50
红松林	5.95 × 10 ⁴	156.68	2.92 × 10 ⁶	49.08
其他软阔类、硬阔类	3.16 × 10 ⁴	108.33	1.98 × 10 ⁶	62.66
针叶混交林	2.54 × 10 ⁴	157.83	1.83 × 10 ⁶	72.05
针阔混交林	3.12 × 10 ⁴	123.50	1.67 × 10 ⁶	53.53
杨树林	1.94 × 10 ⁴	116.67	0.82 × 10 ⁶	42.27
水曲柳林、胡桃楸林、黄檗林	1.26 × 10 ⁴	116.67	0.78 × 10 ⁶	61.90
樟子松林	1.62 × 10 ⁴	133.33	0.71 × 10 ⁶	43.83
椴树林	0.33 × 10 ⁴	133.33	0.18 × 10 ⁶	54.55

3.2 森林碳储量经济价值

通化地区森林碳储量总经济价值约为 39.59 亿元,阔叶混交林碳储量经济价值最高

(24.62 亿元),其次为落叶松林(4.52 亿元)和栎类林(3.67 亿元),其余森林类型总碳储量经济价值约为 6.78 亿元。

表 3 通化地区主要森林类型的碳储量经济价值

Tab. 3 The economic value of carbon sinks for the main forest types in Tonghua region

森林类型	碳储量经济 价值/元	森林类型	碳储量经济 价值/元	森林类型	碳储量经济 价值/元
阔叶混交林	24.62 × 10 ⁸	其他软阔类、硬阔类	1.23 × 10 ⁸	水曲柳林、胡桃楸林、黄檗林	0.49 × 10 ⁸
落叶松林	4.52 × 10 ⁸	针叶混交林	1.14 × 10 ⁸	樟子松林	0.44 × 10 ⁸
栎类林	3.67 × 10 ⁸	针阔混交林	1.04 × 10 ⁸	椴树林	0.11 × 10 ⁸
红松林	1.82 × 10 ⁸	杨树林	0.51 × 10 ⁸		

4 结论与讨论

研究表明,通化地区不同森林类型碳密度差异较大,其中栎类林、针叶混交林和阔叶混交林的碳密度较大,均超过了 70 Mg C·hm⁻²。栎类林碳密度较大的原因可能是其在一些生境中属于演替中后期的优势树种,具有较强的竞争力,能更好地利用环境资源,维持较高的生物量和碳密度水平。另外,栎类木材密度较高,生物量积累能力也比较强,能直接影响碳密度。针叶混交林和阔叶混交林碳密度较大可能与混交林的物种多样性丰富、生态系统稳定性强、能够有效抵御环境变化或病虫害的影响有关。另外,混交林较高的物种多样性可有效发挥生态位的互补效应,这种互补效应能够有效提高生

态系统的生物量积累,进而提高碳密度。

不同森林类型的碳储量结果表明,阔叶混交林碳储量大幅高于其他森林类型,这应该也与混交林生物多样性与生态位互补效应较高的特点有关。落叶松林碳储量较高可能由于落叶松耐寒、抗逆能力强、根系发达,可在东北严寒环境中迅速生长,且与通化地区人工落叶松林面积较大有关。栎类林碳储量较大的原因可能与在阳坡陡坡环境中栎类易凭借其富含单宁的落叶所形成的酸性腐殖质抑制其他植物种子萌发有关,其生存特点及生物性状决定了其在通化地区的生存优势,从而拥有了较大的生存空间,且该林种碳密度较高,进而积累了较高的碳储量。

通化地区森林碳储量约为 63.49 × 10⁶ Mg C,

森林碳密度约为 $66.00 \text{ Mg C} \cdot \text{hm}^{-2}$, 森林碳储量经济价值约为 39.59 亿元。研究结果表明通化地区森林生态系统对吉林省森林碳储量的贡献较大,其森林碳储量评估将为吉林省碳储量估算和“双碳”目标实现提供基础数据。本研究利用全国森林草原湿地荒漠化普查数据按照森林类型对通化地区森林碳储量进行了估算,数据具有较好的参考价值,但在计算中只考虑了乔木层碳储量,未对幼树、灌草及土壤层碳储量进行系统测算,低估了生态系统碳储量,后续研究中将进一步完善。

参考文献

[1]刘世荣,王晖,李海奎,等. 碳中和目标下中国森林碳储量、碳汇变化预估与潜力提升途径[J]. 林业科学, 2024, 60(4): 157-172.

[2]胡鞍钢. 中国实现 2030 年前碳达峰目标及主要途径[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2021, 21(3): 1-15.

[3]张春华,王莉媛,宋茜薇,等. 1973~2013 年黑龙江省森林碳储量及其动态变化[J]. 中国环境科学, 2018, 38(12): 4678-4686.

[4]张峰,彭祚登. 北京市森林碳储量和碳汇经济价值研究[J]. 林业资源管理, 2021(6): 52-58.

[5]韩泽华,李国春,刘丹丹,等. 黑龙江省主要乔木林类型碳储量及碳汇能力[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(11): 10-23.

[6]景春林. 基于森林资源清查的辽宁省生物量碳储量时空变化及潜力研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2024: 6-9.

[7]李奇,朱建华,冯源,等. 中国森林乔木林碳储量及其固碳潜力预测[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(3): 287-294.

[8]张启月,张国徽. 吉林省森林碳储量及经济价值核算研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2025, 56(1): 21-31.

[9]Fang Jingyun, Chen Anping, Peng Changhui, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. *Science*, 2001, 292(5525): 2320-2322.

[10]Zhang Chunhua, Ju Weimin, Chen Jing M, et al. China's forest biomass carbon sink based on seven inventories from 1973 to 2008 [J]. *Climatic Change*, 2013, 118(3): 933-948.

[11]Johnson W C, Sharpe D M. The ratio of total to merchantable forest biomass and its application to the global carbon budget[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1983, 13(3): 372-383.

(本篇专家编审:何怀江)

(上接第 25 页)

本研究构建的“多维指标+TOPSIS”评价框架,有效克服了树种选择中“唯生长量论”或“唯固碳量论”等单一评价指标的局限性。本研究提出的方法论框架和具体评价结果,不仅为延边地区的森林碳汇提升与可持续经营提供了直接、科学的决策支持,也为我国其他生态区域开展系统性、多维度的树种筛选工作提供了可借鉴的技术路径。未来研究应致力于融入气候变化因子、量化混交效应并开展长期跟踪验证,以持续优化造林的理论与实践。

参考文献

[1]孙航,邓涛,陈永生,等. 植物区系地理研究现状及发展趋势[J]. 生物多样性, 2017, 25(2): 111-122.

[2]肖尧,张鹏,井丽杰,等. 基于“双碳”目标背景下的高固碳林木良种选育思考[J]. 辽宁林业科技, 2023(1): 39-42.

[3]郜晴,马锦义,邵海燕,等. 不同生活型园林植物固碳能力统计分析[J]. 江苏林业科技, 2020, 47(2): 44-47.

[4]苏伟斌,方玉凤,司思. 三江平原高固碳树种推广利用[J]. 现代农村科技, 2015(12): 32.

[5]贾庆彬,张含国,姚宇,等. 长白落叶松高固碳种源选择研究[J]. 林业科学研究, 2014, 27(3): 341-348.

[6]贾宏涛,赵成义,盛钰,等. 干旱区退耕还林高固碳效率树种筛选[J]. 新疆农业大学学报, 2009, 32(3): 29-31.

[7]武辉斌,霍祥,张玉洁,等. 张家口市清水河滨河公园 48 种树木固碳能力评估[J]. 南方农业, 2025, 19(13): 38-42.

[8]朱俊文,周伟,吴宝成,等. 南京市常用乔灌木植物固碳能力比较分析[J]. 中国野生植物资源, 2025, 44(3): 50-56.

[9]徐嘉艺,王小玲,宋坤,等. 上海四种常见树种单株固碳能力差异及其影响因子[J]. 生态学报, 2024, 44(13): 5532-5541.

[10]林玮,白青松,陈雪梅,等. 华南主要造林树种碳汇能力评价体系构建及优良碳汇树种筛选[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2020, 40(1): 28-37.

(本篇专家编审:何怀江)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.04.006

文章编号:1005-7129(2026)04-0030-03

中图分类号:F326.2

文献标识码:A

黑龙江省森林认证现状及发展对策研究

孙守意¹, 李燕利², 李 晟¹

(1. 吉林省林业勘察设计院, 吉林 长春 130022; 2. 黑河市爱辉区林业和草原局, 黑龙江 黑河 164300)

摘 要: 开展森林认证有助于推动森林可持续经营, 本文系统梳理了黑龙江省森林认证发展现状, 总结了发展成效, 提出了相应发展对策。

关键词: 森林认证; 黑龙江省; 现状; 发展对策

Status and Development Countermeasures of Forest Certification in Heilongjiang Province

SUN Shouyi¹, LI Yanli², LI Sheng¹

(1. Forest Survey and Design Institute of Jilin Province, Changchun 130022, China; 2. Forestry and Grassland Bureau of Aihui District in Heihe City, Heihe 164300, China)

Abstract: Implementation of the forest certification was helpful to promote sustainable forest management. The development status of forest certification in Heilongjiang Province was systematically reviewed in this paper. The development results were summarized. The corresponding development countermeasures were put forward.

Keywords: forest certification; Heilongjiang Province; status; development countermeasures

森林是维系生态平衡、赋能绿色经济、造福社会民生的根基命脉, 森林可持续经营是实现生态、社会和经济效益协同发展的关键。近年来, 森林质量与功能退化、土地荒漠化加剧、生物多样性降低、生态系统自我调节能力减弱等世界性的森林问题日益突出。为促进生态平稳运行, 森林认证作为管理工具应运而生^[1, 2]。开展森林认证有助于推动森林可持续经营、有效提升森林经营单位的科学化管理水平。对生产经营全过程实行规范监管能够切实保护生物多样性, 增强林产品的市场认可度、竞争力与社

会影响力, 全面提升森林经营的生态效益、经济效益与社会效益^[3]。

黑龙江省位于我国东北部, 森林资源丰富, 北部为寒温带湿润针叶林区、东部为温带湿润针阔叶混交林区、西部为温带草原区, 整体林分特点为天然林多、人工林少, 中幼龄林多、成过熟林少。黑龙江省作为我国重要的林业生产基地, 其森林认证工作推动了区域林业经济转型升级, 对国家生态文明建设具有示范意义。本文系统梳理了黑龙江省森林认证发展现状, 总结了发展成效, 提出了相应发展对策。

收稿日期: 2026-04-01

第一作者: 孙守意 (1984—), 男, 高级工程师, 主要从事森林资源保护、林业调查规划设计和森林认证等工作, E-mail: jlfcc_ssy@163.com。

通信作者: 李燕利 (1985—), 女, 高级工程师, 主要从事森林资源保护、森林认证等工作, E-mail: 276470400@qq.com。

1 黑龙江省森林认证现状

黑龙江省森林认证主要遵循国际主流认证体系,包括森林管理委员会(Foret Stewardship Council,FSC)认证、森林认证体系认可计划(Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes,PEFC)认证和中国森林认证委员会(China Forest Certification Council,CFCC)认证。PEFC认证和CFCC认证于2014年达成互认协议,通过CFCC认证可获得CFCC/PEFC认证证书。近年来黑龙江省在森林认证方面取得了巨大突破,认证范围包括森林经营(Forest management,FM)认证、非木质林产品经营(Non-timber forest products management,NTFP)认证、森林生态环境服务 自然保护区(Forest eco-environment services - Nature reserve,NR)认证、森林公园生态环境服务(Forest park eco-environment services,FP)认证、产销监管链(Chain of custody,CoC)认证、野生动物饲养管理(Wildlife husbandry and management,WL)认证等。2001年伊春友好林业局成为黑龙江省首个国家级森林认证试点^[4];2012年黑龙江丰林国家级自然保护区列为全国首个自然保护区类森林认证试点;2014年我国首次在大兴安岭地区开展国家森林认证试点工作,大兴安岭林业集团公司10个林业局被列为试点单位,同步启动CFCC认证。

据统计,目前黑龙江省森林认证获证组织191家,在探索实现生态与经济效益双提升方面积累了宝贵的经验。获得FSC认证证书的组织79家,认证类别均为CoC认证;获得CFCC/PEFC认证证书的组织112家,包括FM获证组织8家、NTFP获证组织25家、NR获证组织1家、FP获证组织1家、CoC获证组织76家、WL获证组织1家。部分企业同时开展了多领域认证,涉及天然林、人工林等多种森林类型。

通过CFCC网站数据整合,截至2025年黑龙江省获得FM、NTFP、NR、FP认证证书的35家组织森林认证总面积达912.69万hm²。森林认证林地呈现以重点林区为核心、多点分布的格局,主要分布在哈尔滨、伊春、牡丹江、绥芬河、佳木斯、大兴安岭等地。森工企业在获证组织数量(27家)和认证面积(900.65万hm²)方

面占绝对主导,是黑龙江省森林认证的核心支撑力量;国有林场(获证组织5家,认证面积5.88万hm²)和个体企业(获证组织3家,认证面积6.16万hm²)的森林认证覆盖面有极大提升空间。

认证产品方面,黑龙江省认证产品包括家具、木制品、纸制品、松籽、榛子、山核桃、刺五加、五味子、桦树汁、山野菜、寒葱、食用菌等。黑龙江省森林认证领域比重最大的是CoC认证,获证组织155家,占比81.16%;NTFP获证组织占比13.09%;FM获证组织占比4.19%;NR获证组织占比0.52%;FP获证组织占比0.52%;WL获证组织占比0.52%,为林蛙产品的认证,是黑龙江省森林认证领域一次新的探索。依托认证企业的示范引领,黑龙江省持续完善森林经营到产品加工的全产业链布局,有效提升林产品附加值与市场竞争力,在带动区域经济增长的同时,拓宽了林农就业渠道,促进稳定增收。

2 黑龙江省森林认证成效

2.1 森林经营管理水平提升

通过开展森林认证相关工作,森林经营单位和林业企业以科技为依托实施高集约经营、完善规划、建立森林经营档案^[5],促进了森林资源的可持续开发和利用。例如,伊春森工美溪林业局有限公司实施近自然经营、目标树培育、低强度抚育等技术措施,严格执行“采小留大、采密留疏、采劣留优”作业规则,同步开展补植补造、病腐木清理与生物多样性保护,投入专项资金建设轻基质网袋苗基地,保障优质种苗供应,完善森林经营全过程管理,通过精细化经营林区林分结构持续优化、树木生长量稳步提升,森林生态系统更加稳固健康,获得黑龙江国有林区首张完整林地FSC认证。黑龙江省森林经营单位依据可持续经营标准和规范,不断完善森林经营体系,实施可持续的森林培育、采伐更新和抚育管理等措施,有效提升了森林经营管理水平。

2.2 生态环境持续良性循环

森林认证要求实施可持续森林经营作业。黑龙江省森林资源丰富,通过加强大小兴安岭、长白山林区天然林保护与修复,严格管护高保护价值森林与珍稀树种资源,推行近自然经营、

低干扰作业、严控采伐、抚育、营林道路建设、化学药剂使用等活动对寒温带森林生态环境的影响,防范森林生态系统退化,有效维护了生物多样性与森林健康,筑牢我国北方重要生态安全屏障,推动森林生态系统良性循环与高质量可持续发展。

2.3 林产品市场占有率提高

森林认证不仅给林产品标上“合法性”和“可持续性”标签,还能促进林业经营及林产品加工企业建立较为完善的经营管理体系和可追溯体系,增强品牌影响力与市场话语权,提高林产品的市场占有率和竞争力。例如,黑龙江森林食物“九珍十八品”凭借森林认证优势使其森林菌菇、坚果、浆果、蜂产品、药食同源产品获得市场高度认可。认证林产品凭借绿色、合规、优质的优势,有效拓宽国内外市场渠道,助力优质林产品走出林区、走向全国、远销海外,让绿水青山的生态优势持续转化为产业发展的经济优势。

2.4 社会经济效益提升

通过开展森林认证,黑龙江省建立了可持续经营标准与市场化绿色价值实现机制,有效带动就业,拓宽基层就业渠道,稳定林业从业人员队伍,为乡村振兴提供坚实支撑。认证体系推动森林资源规范化、高效化利用,激活林下经济、生态旅游、绿色林产品等产业链发展,显著促进林区经济转型升级,让绿水青山真正转化为金山银山。同时,认证林产品凭借市场溢价与更优销路,直接提高林农经济收入,增强林业经营收益与抗风险能力,实现生态保护与民生改善协同发展,构建起生态优良、产业兴旺、群众富裕的良性发展格局。

3 黑龙江省森林认证发展对策

3.1 加强森林认证宣传及推广

当前,黑龙江省在森林认证方面整体仍处于初级阶段,各相关方对森林认证的认识仍有待提高,应通过多种方式对森林认证进行宣传。可通过报纸、期刊、广播电视、短视频平台、微信公众号、小程序等多种媒体开展宣传,提升宣传的时效性和覆盖面。可通过现场讲座、案例分享、互动答疑等形式,普及森林认证的核心价值。同时,通过宣传及推广激发森林经营主体参与森林认证的主动性,形成“宣传促认知、认

知促参与、参与促发展”的良性循环。

3.2 加快森林认证体系建设

黑龙江省森林资源以国有林为主,经营模式、资源禀赋具有鲜明的地域特色,积极构建适配本地实际的森林认证体系是推动认证工作落地的关键。结合当前我国森林认证体系发展的最新经验,在体系建设中应坚持“本土化适配、国际化接轨”的原则,立足黑龙江省国有林经营特点,制定科学合理的认证标准,避免标准过高导致经营主体难以达标,也防止标准过低失去认证的生态价值。此外,要积极借鉴国际先进认证经验,推广联合认证、团体认证等创新模式,降低中小经营主体的认证门槛和成本,提升黑龙江省认证林产品的国际竞争力,为林产品出口奠定基础。

3.3 强化技术支持和服务保障

森林认证涉及生态保护、经营管理、市场对接等多个领域,对森林行业可持续发展具有深远影响。森林认证技术含量高、专业性强,虽然国内已有森林认证相关标准,但符合我国国情尤其是黑龙江省林业实际的认证标准不够细化,认证过程中相关技术难题尚未完全解决。相关科研部门应聚焦这些难点问题,开展针对性研究,优化认证技术流程,解决认证技术难题,夯实森林认证的技术基础;同时,加强技术服务,为森林经营主体提供技术指导和咨询服务,助力其规范开展认证工作。

3.4 加强认证产品市场开发

当前我国森林认证产品存在市场认可度不高、产业链协同不足等问题,制约了森林认证的规模化发展。结合当前林业产业高质量发展趋势,黑龙江省应与吉林省、内蒙古自治区等森林资源丰富的地区联动,开展认证林产品市场调研,精准对接市场需求,打造具有区域特色的认证林产品品牌。通过线上线下相结合的方式,举办认证林产品展销会、推介会,拓宽销售渠道,提升认证产品的市场知名度和认可度。同时,国内大型林业企业应发挥龙头带动作用,联合中小型森林经营主体、加工企业、销售企业,组建森林贸易团体,实现资源共享、优势互补,推动认证林产品从生产、加工到销售的全产业链协同发展,让经营主体从森林认证中获得实实在在的收益,激发其参与森林认证的积极性。(下转第 48 页)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.04.007

文章编号:1005-7129(2026)04-0033-04

中图分类号:S765

文献标识码:A

桦甸市外来入侵植物现状调查及分析

王明利¹, 刘 全², 司永彪³, 卢金山⁴

(1. 桦甸市森林病虫害防治检疫站, 吉林 吉林 132400; 2. 桦甸市九星林场, 吉林 吉林 132400; 3. 桦甸市地局子林场, 吉林 吉林 132400; 4. 桦甸市清水林场, 吉林 吉林 132400)

摘 要: 为明确县域尺度外来入侵植物的分布规律、生态危害并制定精准防控策略, 采用踏查与标准样地调查相结合的方法, 对吉林省桦甸市不同生境的外来入侵植物开展系统性调查与环境影响评估。共记录外来入侵植物 12 种, 隶属于 5 科 10 属, 一年生草本占比较高。外来入侵植物集中分布于人居干扰强烈的边缘生境, 传入途径以农业调运、交通运输携带和园林绿化引种为主。入侵植物对生物多样性、林业生态系统和人类健康均产生不利影响。本文为桦甸市外来入侵植物的科学防控提供了决策依据。

关键词: 外来入侵植物; 分布格局; 影响; 林业危害; 防控策略; 桦甸市

Investigation and Analysis of Invasive Alien Plants in Huadian City

WANG Mingli¹, LIU Quan², SI Yongbiao³, LU Jinshan⁴

(1. Forest Pest Control and Quarantine Station of Huadian City, Jilin 132400, China; 2. Jiuxing Forest Farm of Huadian City, Jilin 132400, China; 3. Dijuzi Forest Farm of Huadian City, Jilin 132400, China; 4. Qingshui Forest Farm of Huadian City, Jilin 132400, China)

Abstract: In order to clarify the distribution pattern, ecological harm of invasive alien plants at the county scale and formulate precise prevention and control strategies, the systematic investigation and environmental impact assessment of invasive alien plants in different habitats in Huadian City of Jilin Province were carried out by combining field survey and standard plot survey. The total of 12 species of invasive alien plants belonging to 10 genera of 5 families were recorded. The proportion of annual herbs was high. Invasive plants were concentrated in edge habitats with intense human disturbance. The invasive plants were mainly introduced through agricultural transportation, transportation carrying and garden greening introduction. The invasive plants had adverse effects on biodiversity, forestry ecosystem and human health. The study could provide decision-making basis for the scientific prevention and control of invasive alien plants in Huadian City.

Keywords: invasive alien plants; distribution pattern; impact; forestry harm; prevention and control strategy; Huadian City

外来植物入侵已成为威胁全球生物多样性和生态系统稳定的重大环境问题之一, 对农林生产、生态安全和人类健康构成多重威胁^[1-5]。桦甸市位于长白山余脉与松辽平原过渡地带, 含天然次生林、农田、湿地等多种生态系统, 地处农林交错区, 人类活动(农业调运、交通往

来、园林绿化等)频繁, 是外来入侵植物易扩散蔓延的敏感区域。目前, 吉林省县域尺度外来入侵植物的系统性调查相对匮乏, 无法为区域生态安全维护提供精准支撑。本文采用踏查与标准样地调查相结合的方法, 对吉林省桦甸市不同生境的外来入侵植物开展系统性调查, 明

收稿日期: 2026-02-03

第一作者: 王明利(1969—), 男, 正高级工程师, 主要从事森林保护研究, E-mail: 584027830@qq.com。

确了其种类、分布格局、传入途径,剖析其对生物多样性、林业生态系统和人类健康的危害,提出了防控对策,旨在为吉林省县域尺度林业外来入侵植物的科学防控提供参考。

1 桦甸市概况

桦甸市地理位置 126° 16′ ~ 127° 45′ E、42°34′~43°29′ N,面积 6 624 km²,属温带大陆性季风气候,年平均气温 3. 7 ℃,年均降水量 748. 1 mm。境内山地占 76. 2 %、耕地占 15. 5 %,主要生态系统包括以红松 (*Pinus koraiensis*)、黄花落叶松 (*Larix olgensis*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 为建群种的天然次生林生态系统、农田生态系统、松花江支流湿地生态系统,人类干扰集中于城镇周边、交通干线、农林交错带等边缘生境。

2 调查方法

2.1 踏查

2023 年 5—10 月(植物生长季),对桦甸市 10 个乡镇(街道)的荒地、厂房周边、道路两侧、

水沟旁、林缘、林间道路、农田边界等进行踏查,记录入侵植物种类、分布范围、生境类型,标记集中分布区域。

2.2 标准样地调查

在踏查发现的入侵植物集中分布区设置标准样地,草本植物采用 1 m × 1 m 样方,记录物种密度、盖度、伴生本土植物种类,对优势种增设 10 m × 10 m 样方,统计种群年龄结构、扩散距离。同时,对当地农户、林业和农业部门工作人员进行访谈,追溯物种传入途径。

3 调查结果

3.1 外来入侵植物名录

共记录外来入侵植物 12 种,隶属于 5 科 10 属(见表 1)。其中,菊科物种最多(6 种,占比 50. 0 %),其次为锦葵科(2 种,占比 16. 7 %)和豆科(2 种,占比 16. 7 %)。生活型以一年生草本为主,豚草 (*Ambrosia artemisiifolia*)、三裂叶豚草 (*Ambrosia trifida*)、小蓬草 (*Erigeron canadensis*) 被列入《重点管理外来入侵物种名录》。

表 1 桦甸市外来入侵植物
Tab. 1 Invasive alien plants in Huadian City

序号	物种名称	拉丁学名	科属	生活型	原产地	危害等级
1	豚草	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	菊科豚草属	一年生草本	北美洲	严重
2	三裂叶豚草	<i>Ambrosia trifida</i>	菊科豚草属	一年生草本	北美洲	严重
3	小蓬草	<i>Erigeron canadensis</i>	菊科飞蓬属	一年生草本	北美洲	中度
4	一年蓬	<i>Erigeron annuus</i>	菊科飞蓬属	一年生草本或 二年生草本	北美洲	中度
5	大狼把草	<i>Bidens frondosa</i>	菊科鬼针草属	一年生草本	北美洲	中度
6	粗毛牛膝菊	<i>Galinsoga quadriradiata</i>	菊科牛膝菊属	一年生草本	南美洲	中度
7	凹头苋	<i>Amaranthus blitum</i>	苋科苋属	一年生草本	热带地区	中度
8	苘麻	<i>Abutilon theophrasti</i>	锦葵科苘麻属	一年生草本	印度	中度
9	白车轴草	<i>Trifolium repens</i>	豆科车轴草属	多年生草本	欧洲	轻度
10	月见草	<i>Oenothera biennis</i>	柳叶菜科月见草属	二年生草本	北美洲	轻度
11	黄香草木樨	<i>Melilotus officinalis</i>	豆科草木樨属	二年生草本	欧洲	轻度
12	野西瓜苗	<i>Hibiscus trionum</i>	锦葵科木槿属	一年生草本	非洲	轻度

3.2 分布格局

外来入侵植物主要分布于人居干扰强烈的边缘生境,其中道路两侧(占比 35. 2 %)、荒地(占比 21. 6 %)、厂房周边(占比 18. 9 %)为核

心分布区,林缘、水沟旁、农田边界分别占 12. 7 %、8. 1 %、3. 5 %。

豚草、三裂叶豚草在全市 10 个乡镇均有分布,小蓬草、一年蓬沿沈吉高速、桦甸—磐石公

路两侧形成连续扩散带,白车轴草、黄香草木樨则集中分布于林缘和农田林网,呈现向天然林边缘渗透的趋势。

3.3 传入途径

桦甸市外来入侵植物主要通过3种途径传入:一是农业调运传入,如苘麻、凹头苋、野西瓜苗随农作物种子、有机肥、农机具调运进入本地,在农田生态系统扩散;二是交通运输携带传入,如小蓬草、一年蓬、豚草等植物的种子通过车辆轮胎、货物包装携带,沿道路向周边生境扩散;三是园林绿化引种传入,如白车轴草因固氮、观赏特性被引种为绿肥或地被植物,逐渐逸生至自然生境。此外,部分物种(如大狼把草)传入途径不明,推测与自然扩散有关。

4 外来入侵植物的影响

4.1 对生物多样性的影响

入侵植物通过化感抑制、生境挤占和资源竞争,显著降低本土植物多样性。豚草、三裂叶豚草释放的化感物质可抑制车前草、狗尾草等本土植物种子萌发,其单优群落内本土植物丰富度较未入侵样地下降;小蓬草、粗毛牛膝菊繁殖能力极强(单株产种数万粒),可在1~2年内形成单优群落,排挤本土物种,导致群落均匀度指数下降。

4.2 对林业生态系统的影响

4.2.1 抑制天然林自然更新

豚草、三裂叶豚草等优势入侵种在林缘及林间空地大量定居,其高密度群落不仅通过化感物质抑制红松、黄花落叶松等乡土树种实生苗的种子萌发与胚根生长,还通过遮蔽阳光、抢占土壤水肥资源,导致林窗内乡土树种幼苗存活率下降,严重阻碍天然林的自然更新进程。

4.2.2 破坏林分结构与生态连通性

小蓬草、一年蓬沿林间道路、林缘形成连续的入侵带,阻断了林内本土草本与灌木的物种交流通道,导致林分边缘的草本层单一化,降低了林分的抗干扰能力与生态稳定性。调查发现,入侵程度严重的林缘区域,本土灌木的盖度较未入侵区下降。

4.2.3 间接危害经济林生产

粗毛牛膝菊、大狼把草等入侵植物常成为松大蚜(*Cinara pinitabulaeformis*)、落叶松毛虫

(*Dendrolimus superans*)等林业有害生物的中间宿主或越冬场所,增加了经济林的病虫害防控压力。同时,其与经济林木竞争水肥,导致红松籽单株产量下降。

4.2.4 改变森林土壤理化性质

白车轴草虽具固氮能力,但大量单优群落会改变土壤微生物群落结构,降低土壤有机质分解效率,长期定植可能导致土壤养分循环失衡,影响乡土树种的生长潜力。

4.3 对人类健康的影响

豚草每年7—9月开花,花粉产量大(单株产花粉百万粒),且致敏性强,是桦甸市过敏性鼻炎、哮喘等疾病的主要过敏原。据桦甸市人民医院统计,豚草花期过敏性疾病就诊量较非花期增加40%以上,严重影响居民生活质量。

5 结论与讨论

5.1 桦甸市外来入侵植物的分布特征与驱动因素

本文填补了桦甸市外来入侵植物调查的空白,明确了桦甸市外来入侵植物的种类(12种)、分布格局(集中于边缘生境)、传入途径(农业调运、交通携带为主)及影响,重点剖析了对林业生态系统的多重危害(抑制天然林更新、破坏林分结构、间接影响经济林生产等)。豚草、三裂叶豚草分布范围广、危害程度高,这与当地的生境特点密切相关。长白山余脉的天然林生境稳定性强,对入侵植物的抵抗能力较强。边缘生境(道路、荒地、厂房周边、林缘)受人类干扰强烈,生态系统结构脆弱,为入侵植物提供了适宜的定植环境。此外,农业调运和交通运输作为主要传入途径,反映了区域经济活动对入侵植物扩散的驱动作用。

5.2 防控难点与对策建议

目前,桦甸市外来入侵植物防控存在监测网络不完善、防控技术单一、林业生境针对性防控不足等问题,需制定针对性防控策略,采取“检疫—监测—分区防控”一体化的综合管理措施。

一是强化检疫监管。在农业生产资料调运、交通运输环节建立检疫监测点,严格排查,阻断传入途径。针对林业种苗调运,可增加入侵植物专项检疫。

二是构建精准监测体系。利用卫星遥感、无人机等技术,对道路两侧、林缘、农林交错带等重点生境进行动态监测,建立入侵植物预警机制。在天然林更新区设置固定监测样地,实时掌握入侵植物对森林更新的影响。

三是实施分区分类防控。农田生境采用农业措施(轮作、覆盖除草)与化学防治结合。林业生境针对不同入侵阶段采取差异化措施,入侵初期采用人工拔除+本土植被恢复,入侵盛期采用生物防治结合低毒化学药剂防控,重点保护天然林更新区与经济林。城镇周边重点防控豚草属植物的花粉传播,采用花期刈割+花粉阻隔网等措施。

四是加强公众教育。通过科普讲座、宣传栏、短视频等方式,普及入侵植物的识别与危害知识,引导公众主动参与防控,尤其在豚草花期,提醒敏感人群做好防护。

参考文献

[1]张悦,马巍格,刘谷娥,等. 东北半干旱区外来植物入侵现状评估[J]. 应用生态学报, 2024, 35(1): 73-79.

[2]刘翔宇,李琦,麻蕙琳,等. 吉林省延边州外来入侵种子植物区系研究[J]. 种子, 2024, 43(5): 86-92.

[3]刘晶,杨艺涵,钱永强,等. 尼山-峰山区外来入侵草本植物风险评估[J]. 草业学报, 2024, 33(11): 1-14.

[4]崔夏,郝强,李飞飞. 中国北方外来入侵植物研究[J]. 植物研究, 2024, 44(6): 843-851.

[5]黄薇,张敏,毛岭峰. 外来植物入侵的主要入侵假说及研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2026, 50(1): 284-294.

(本篇专家编审:陈建军)

(上接第 13 页)

[3]梁少辉,陈虹,刘书典,等. 核桃优良单株幼苗对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价[J]. 天津农业科学, 2023, 29(6): 1-6.

[4]马朝阳. 掌叶木幼苗对不同土壤含水量处理的生长及生理响应研究[D]. 南宁: 广西大学, 2023: 34-40.

[5]刘燕,张凌楠,刘晓宏,等. 干旱胁迫植物个体生理响应及其生态模型预测研究进展[J]. 生态学报, 2023, 43(24): 10042-10053.

[6]桑子阳,马履一,陈发菊. 干旱胁迫对红花玉兰幼苗生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(1): 109-115.

[7]陈海鹏,陈晓琳,刘春海,等. 宇璐沙棘与深秋红沙棘对干旱胁迫的生长与生理响应[J]. 西北林学院学报, 2024, 39(6): 104-112.

[8]程平,汤东,王凯,等. 天山北坡前山带 12 种植物对干旱胁迫和复水的生理响应及抗旱性评价[J]. 西北植物学报, 2024, 44(5): 691-705.

[9]高兴国,王磊,杨顺强,等. 干旱胁迫对光叶珙桐幼苗抗氧化系统的影响[J]. 西部林业科学, 2019, 48(1): 23-28.

[10]王磊,代勋,黄良江,等. 三江口自然保护区的珙桐种群分布状态的研究[J]. 西部林业科学, 2009, 38(3): 72-75.

[11]王磊,杨顺强,代勋,等. 云南大关三江口自然保护区光叶珙桐资源保护现状及对策[J]. 绿色科技, 2010(8): 10-13.

[12]郑小江,刘金龙,肖浩,等. 珙桐与光叶珙桐过氧化物酶活性及酶谱研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2009, 27(3): 261-263.

[13]张志良,瞿伟菁,李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2009: 62-180.

[14]董晶晶,齐淑艳,郭婷婷. PEG 模拟干旱胁迫对入侵植物牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)抗氧化酶系统的影响[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2014, 26(3): 184-189.

[15]颜淑云,周志宇,邹丽娜,等. 干旱胁迫对紫穗槐幼苗生理生化特性的影响[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 139-145.

[16]朱利君,苏智先,胡进耀,等. 珍稀濒危植物珙桐过氧化物酶活性和丙二醛含量[J]. 生态学报, 2009, 28(3): 451-455.

[17]郝敬虹,易旸,尚庆茂,等. 干旱胁迫下外源水杨酸对黄瓜幼苗膜脂过氧化和光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 717-723.

[18]阎秀峰,祖元刚. 干旱胁迫对红松幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 生态学报, 1999(6): 850-854.

[19]黄高峰,王丽慧,方云花,等. 干旱胁迫对菊芋苗期叶片保护酶活性及膜脂过氧化作用的影响[J]. 西南农业学报, 2011, 24(2): 552-555.

[20]谢志玉,张文辉,刘新成. 干旱胁迫对文冠果幼苗生长和生理生化特征的影响[J]. 西北植物学报, 2010, 30(5): 948-954.

(本篇专家编审:陶晶)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.04.008

文章编号:1005-7129(2026)04-0037-04

中图分类号:S762

文献标识码:A

吉林省森林火灾多要素耦合形成机理与防控

巨一琳,王东娜,刘世超,赵晶博,赵新强

(吉林省林业调查规划院,吉林 长春 130022)

摘 要: 吉林省森林资源丰富,生态地位突出。森林火灾对生态环境和人类生活造成严重威胁,呈明显的季节性与空间差异。本文从可燃物、气候、地形与火源条件等维度梳理了吉林省森林火灾形成机理,构建了耦合解释模型,针对不同火灾类型提出了处置建议,可为吉林省森林火灾防控提供参考。

关键词: 森林火灾;耦合机制;火灾形成机理

Multi-factor Coupling Formation Mechanism and Prevention and Control of Forest Fires in Jilin Province

JU Yilin, WANG Dongna, LIU Shichao, ZHAO Jingbo, ZHAO Xinqiang

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

Abstract: Jilin Province had abundant forest resources and the prominent ecological status. The forest fire posed the serious threat to the ecological environment and human life. It showed obvious seasonal and spatial differences. The formation mechanism of forest fires in Jilin Province was sorted out from multiple dimensions including combustible conditions, climate factors, topographic features and fire source types in this paper. The coupling interpretation model was constructed. The disposal measures were put forward for different fire types. That would provide the reference for the prevention and control of forest fires in Jilin Province.

Keywords: forest fire; coupling mechanism; fire formation mechanism

吉林省地处长白山脉与松辽平原交汇地带,是全国重点林业省份之一,森林资源丰富。截至 2024 年,全省林地面积约 882.86 万 hm^2 ,有林地面积 841.76 万 hm^2 ,森林蓄积量 11.91 亿 m^3 ,森林覆盖率约 45.52%,森林资源主要集中分布于吉林省中东部。在全球气候变暖和人类活动等多因素叠加影响下,森林生态系统面临极大威胁,发生大面积、高强度森林火灾的风险不断增加。森林火灾破坏性大、危险性高、处置困难,严重危害森林资源及珍稀野生动植物资源,影响空气质量和气候环境,对生态环境和人类生活造成严重威胁^[1-3]。为科学应对严峻的森林防火形势,本文梳理了吉林省森

林火灾形成机理,构建了耦合解释模型,针对不同火灾类型提出了处置建议,可为吉林省森林防火资源精准配置、风险分级管理和科学防控决策提供重要依据。

1 吉林省森林火灾形成机理

1.1 基本机制

森林火灾的发生与扩展通常需同时满足可燃物供给、点火热源与氧气条件三要素。由于野外环境具有高度开放性与动态性,火三角常被进一步扩展为火环境,即将气候(风、温度、湿度、降水等)以及地形(坡度、坡向、沟谷等)纳入对火蔓延速度、火强度与火行为转化的解

收稿日期:2026-01-14

第一作者:巨一琳(1997—),女,助理工程师,从事林业调查规划工作,E-mail:juyilina@163.com。

释变量。森林火灾形成过程可以被理解为“点火概率—初期蔓延—火行为演化—灾害后果”的链式过程,其前端往往由火源暴露与可燃物干燥化共同驱动,而地形与风场则对蔓延方向、扩展速度与突变风险起到显著放大作用。森林火灾治理通常强调“预防为主、积极消灭”的工作方针和“科学分区、分类施策”的治理原则。

1.2 可燃物条件

1.2.1 林型与可燃物结构

吉林省中东部的长白山林区林分结构相对复杂,林内植被呈典型的乔木、灌草、枯落物多层立体分布。春秋季节气候干燥多风,导致林下大量枯枝落叶和杂草成为高载量、易燃烧的地表可燃物。这种条件不仅大幅提升了地表火的发生风险,也为火灾发生后迅速蔓延乃至向树冠发展提供了必要的物质基础。赵丽等^[4]对吉林省发生重特大森林火灾林型的特征进行了研究,指出林型差异导致重特大森林火灾在空间上呈非均匀分布,重特大森林火灾在部分林型上表现出显著的集中分布特征,柞树(*Quercus mongolica*)林、阔叶混交林和针阔混交林的受害面积与起火次数占比更高。除常态可燃物累积外,极端扰动事件也会改变可燃物结构并导致火灾风险提高。风倒木、风折木清理不及时可能增强林下可燃物的堆积与水平连续性,进而增大蔓延势。

1.2.2 可燃物含水率与连续性

可燃物含水率决定其由可点燃向易点燃转变,是火灾风险预警与燃料管理的重要基础变量。可燃物连续性则决定火由可蔓延向快速蔓延或跨越阻隔的可达性,通常体现在枯落物连片分布、灌草层密度与上下层燃料的耦合程度等方面。另外,还需要关注地下腐殖质层和泥炭层的阴燃风险,泥炭含水率降低到一定水平后更易被点燃并形成稳定阴燃^[5]。

1.3 气候条件

吉林省森林火灾呈显著季节性。春季气温回升快、降水偏少且大风频繁,林下枯落物与杂草易快速干燥,成为火灾高发期;秋季天干物燥,火灾风险也会提高。丛国华^[6]研究指出,吉林省森林火灾发生呈现出显著的月份集中态势,春季3—5月火灾发生数量显著高于其他月份,秋季9—10月也是火灾发生高峰期,这与季节性干燥叠加风力增强的火险窗口一致。

1.4 地形条件

地形作为关键的环境基底,通过重塑局部

气候、调控可燃物状态及畸变风场,系统性地驱动并放大了火灾风险。坡向影响光照与蒸散,决定可燃物的干燥速率,向阳坡面加速燃料干燥;坡度影响火焰贴附与辐射预热效应,决定林火蔓延速度,陡峭地形更容易引发飞火与树冠火;复杂的沟谷与鞍部地形催生峡谷风与穿堂风,导致风向突变与火线加速,加大了火灾扑救难度。吉林省精准的防火治理必须建立在精细化的地形分析之上。

1.5 火源条件

森林火灾的发生是自然环境基础条件与各类火源条件相互结合、共同作用的结果。大量研究得出,绝大部分森林火灾是人为因素造成的^[7]。环境条件是主导火灾发生潜在风险的关键因素,火源条件决定火灾是否实际发生,二者高度叠加时,森林火灾隐患会显著增加。以吉林省森林火灾资料数据为基础,火源类型主要分为以下几类。

农事用火是吉林省典型的森林火源,与吉林省农林交错的地理特点高度关联。吉林省东部山区与农耕区交错分布,春季耕作整地、荒地清理、秸秆焚烧、林下种植养殖等农事活动集中,致使用火需求大、范围广。每年春季气温回升、降水偏少,林下植被及田间可燃物持续干燥,若防火措施不到位极易发生跑火、飞火,引燃周边林地可燃物。农事用火是春季森林火灾高发的核心原因。

野外吸烟是需要重点关注的森林火源。吉林省林地分布范围广,林间道路、农林交错地带等区域人员活动频繁,野外吸烟行为屡有发生。部分人员森林防火安全意识薄弱,无视野外森林禁火规定,吸烟后未彻底熄灭烟蒂便随意丢弃,造成残留火星,极易引燃周边植被形成森林火灾。

生活与祭祀用火具有时段集中、分散性强、管控难度大的特点。部分群众在清明、春节等传统节日期间上坟烧纸、焚香燃烛、燃放鞭炮等,形成祭祀用火;偏远林区居民野外取暖、炊事等活动形成零散生活火源。这类用火行为随意性较强,加之春季林区干旱多风,细小明火和余烬极易复燃蔓延,易引发突发性森林火情。

国外火源是边境特有的火灾风险类型。吉林省为边境省份,天然阻隔条件不足,在春季、秋季大风高火灾风险天气下,境外燃烧的林火易借助风力向境内林区蔓延。这类火源受边境

地形复杂、交通闭塞、巡查扑救条件有限等限制,入境后极易快速扩散,对我省东部重点林区生态安全造成严重威胁。

1.6 多要素耦合解释模型

吉林省森林火灾的形成可概括为气候条件主导可燃物干燥速度与可燃窗口,可燃物条件影响林火蔓延能力与燃烧强度,火源条件决定火灾起始触发概率。吉林省东部长白山沿线及

边境地带在林分复杂度、可燃物载量与监管成本等方面形成风险叠加。如果森林防火管理与基础保障体系存在薄弱环节,会形成“早期火情处置失效—林火行为持续恶化—灾害损失不断加剧”的演变路径,凸显区域森林生态系统的整体抗灾脆弱性。可基于气候与可燃物、火源以及空间区域的内在关联建立吉林省森林火灾形成的耦合解释模型(见图1)。

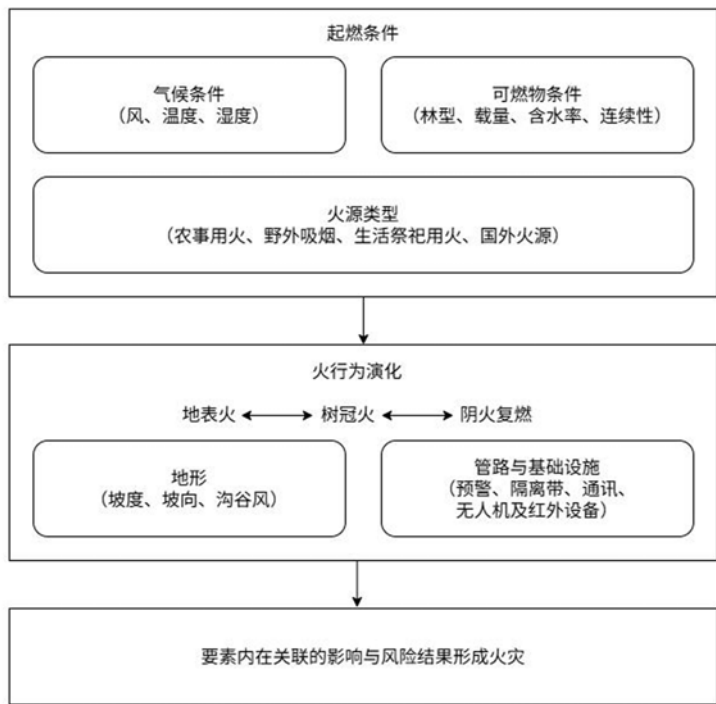


图1 吉林省森林火灾形成的耦合解释模型

Fig. 1 Coupled explanatory model for forest fire formation in Jilin Province

2 吉林省森林火灾处置建议

2.1 地表火的处置

地表火多发生于林下枯落物、草本植被与灌木层连片区域,其早期火强度相对可控,适宜采用直接扑救以缩短处置时间窗口。常采用手持工具扑打、以水灭火、泡沫或阻燃剂抑制火焰传播,配合清理可燃物、开设小型隔离带形成侧翼合围。应严格落实火场风险预判,实时监测风向、风速变化,规范划定作业安全区、避险点位与紧急撤离路线,杜绝无防护、无依托近距离扑打火头。在风向突变、蔓延速度较快或火强度较高情形下,应依托道路、河流、隔离带等构筑控制线。应合理划分作战组,保持联动配合,避免单人分散作业,防范火旋风、飞火等突发危险。明火扑灭后,应持续开展全域踏查,重点清

理腐殖质、厚层枯落物中的阴燃火种,采用洒水、翻挖、覆盖阻隔等方式彻底消除隐蔽火源,建立专人留守机制,进行常态化巡查,从源头降低地表火反复复燃的风险。结合高火险时段与地表火高发区域,应提前布设防火巡查队伍、应急物资与扑救力量;定期开展林下可燃物清理,从根本上削弱地表火蔓延条件。

2.2 树冠火的处置

树冠火作为森林高强度火灾的主要表现形式,蔓延速度极快,扑救难度较大,对森林植被破坏最为严重,同时释放大量热能,加速火势扩展并引发大范围燃烧^[8]。树冠火应以间接灭火扑救为核心,通过人工工程隔离带与天然阻隔带建立火势控制边界。针对地形复杂、过火范围较大的火场则应采用无人机等卫星作业与地面阻隔措施协同联动,借助遥感巡护实时监

测火头动态与飞火隐患,为应急指挥调度提供精准依据,增强决策的科学性与时效性。应实时动态监测风速、风向、气温等气象要素变化,提前预判火行为突变风险,严格划定危险作业区域、安全避险点位与紧急撤离路线,保障扑火人员安全。日常应加强森林抚育,降低林木郁闭度,清理林下可燃物,降低火灾风险。应常态化完善防火隔离带网络,从源头弱化树冠火形成条件。

2.3 地下火和阴燃火的处置

地下火和阴燃火具有隐蔽性强、持续时间长、复燃概率高、破坏力大等特点,已成为威胁森林生态安全的重大隐患^[9]。腐殖质层和泥炭层含有大量有机物质,干旱季节土壤含水率下降,为森林地下火持续燃烧创造了有利条件。设置防火隔离带是阻止森林地下火蔓延的重要防线,通过隔离沟阻断地下火的蔓延路径确保有效维护周边森林资源安全。应利用人工实地踏查和无人机、红外监测手段,重点对厚腐殖质地带、火烧迹地、老旧火场等区域开展地毯式排查,精准定位地下火、阴燃点位。针对重点森林火险区的枯枝落叶、杂草和腐殖质等可燃物,通过机械清理或喷淋渗透等方式降低基质温度、提升含水率,冷却高温燃烧层,减少复燃隐患。

3 结论

吉林省林区林分结构复杂、可燃物储量充足,春秋两季干旱大风的气候条件叠加山地复杂地形,为林火发生与快速蔓延创造了天然环境,农事用火、野外吸烟、生活祭祀、国外火源等

是触发火情的直接诱因,多要素耦合进一步加剧了东部重点林区的火灾脆弱性与防控压力。需通过优化林分结构、规范用火管理、完善阻隔体系与强化多部门协同全面提升吉林省森林火灾综合处置能力,降低火灾风险和危害。

参考文献

- [1] 孟东阳,高威,陈卓. 吉林地区常见森林自然灾害及防控策略[J/OL]. 天津农林科技, 2025-11-27. <https://doi.org/10.16013/j.cnki.1002-0659.20251126.001>.
- [2] 张巍,颜廷强. 新时代生态文明建设与森林防火工作[J]. 森林防火, 2018, 36(3): 1-5.
- [3] 杨盼. 新时代生态文明建设与森林防火工作的关系[J]. 消防界(电子版), 2019, 5(2): 44.
- [4] 赵丽,单延龙,赵景刚,等. 吉林省发生重特大森林火灾林型的特征[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(9): 80-82.
- [5] 黄鑫炎,林少润,刘乃安. 林火中的阴燃现象:研究前沿与展望[J]. 工程热物理学报, 2021, 42(2): 512-528.
- [6] 丛国华. 吉林省森林火灾应急管理存在的问题及对策[D]. 长春:吉林大学, 2019: 16-17.
- [7] 蒋敬,郭会玲,蒋霄然. 我国 2005~2016 年森林火灾案件大数据分析[J]. 林业经济, 2019, 41(7): 106-109, 128.
- [8] 陈有成,代张音,黄淙葆,等. 地表火引燃云南松树冠火蔓延规律研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2025, 21(4): 125-134.
- [9] 于文男. 森林地下火成因与对策研究[J]. 森林防火, 2025, 43(5): 21-25.

(本篇专家编审:章林)

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.1005-7129.2026.04.009

文章编号:1005-7129(2026)04-0041-04

中图分类号:X72

文献标识码:A

废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物的潜力与路径探讨

李 岩, 李 娟, 刘 璐, 刘鑫荣, 沈佳龙, 陈 玲

(吉林省林业科学研究院, 吉林 长春 130033)

摘 要: 本文以废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物的综合利用模式为研究对象, 分析了将废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物的生态潜力, 指出了其转化现实困境, 探讨了实现这一转化目标的路径。

关键词: 废弃木质材料; 有机覆盖物; 循环利用; 生态产品价值

Potential and Pathways for Converting Waste Wood Materials into Soil Organic Mulch

LI Yan, LI Juan, LIU Lu, LIU Xinrong, SHEN Jialong, CHEN Ling

(Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The comprehensive utilization mode of converting waste wood materials into soil organic mulch was taken as the research object in this paper. The ecological potential of the conversion was analyzed. The practical dilemmas were pointed out and the realization pathways were explored.

Keywords: waste wood materials; organic mulch; recycling utilization; ecological product value

随着我国城市化进程不断加快, 林业产业持续深化, 废弃木质材料产生量逐年增加, 已成为城市固体废弃物的重要来源之一。在全球推进废弃物减量化的背景下, 如何安全、高效地实现固体废弃物综合利用已成为环境与林业领域共同面临的挑战^[1]。

废弃木质材料主要包括两类: 一类是含有胶黏剂、化学涂层的工程木废料, 如建筑装修板材、废旧家具等; 另一类是未经化学处理的纯木质废料, 如城市绿化修剪物、林业采伐剩余物及木材加工残留物^[2]。在“碳达峰、碳中和”目标下, 推动废弃木质材料资源化利用已成为城市园林与林业绿色低碳转型的重要途径之一^[3]。基于全生命周期评估(LCA)的研究表明, 将废弃木质材料制成木屑、木片等土壤有机覆盖物能够有效降低全球变暖潜势(GWP), 并在一定程度上缓解水体富营养化问题^[4, 5]。土壤有机

覆盖物作为“隐形碳汇”, 既能实现碳在地表长期封存, 又可通过其缓慢的生物降解过程为分解者提供持续碳源, 促进土壤微生物和相关酶的活性, 改善土壤肥力。

本文以废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物的资源化利用为研究对象, 系统梳理其生态潜力与现实困境, 探讨其循环经济模式下的突破路径, 为推进废弃木质材料无害化、资源化利用提供参考。

1 废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物的生态潜力

研究表明, 适宜厚度的土壤有机覆盖物能够发挥物理阻隔作用。有机覆盖物可使土壤蒸发量降低约 35%, 径流量减少约 43%, 能够有效缓解季节性干旱、冻融侵蚀等不利因素的影响^[6], 显著提高土壤保水保墒能力。木质有机覆盖物在缓慢分解过程中, 持续为土壤提供碳

收稿日期: 2026-04-08

第一作者: 李岩(1978—), 女, 研究员, 主要从事林业科学研究工作, E-mail: liyan_j2004@163.com。

通信作者: 陈玲(1981—), 女, 研究员, 主要从事木材资源利用研究工作, E-mail: 530701653@qq.com。

源,促进腐殖质形成。实测数据表明,施用木质有机覆盖物后,0~30 cm 土层内总氮含量较裸地提高 31.89 %^[7]。同时,其分解还能促进分解者群落(如放线菌、木霉菌等)富集,大幅提升脱氢酶、 β -葡萄糖苷酶等土壤胞外酶活性,加速农药和化肥的降解,增加土壤有机质积累,增强土壤团聚体稳定性,有效缓解土壤退化问题。

木质有机覆盖物与堆肥配施有助于提升叶绿素含量和光合效率,明显促进植物生长;覆盖层还可减小土壤温度波动,降低昼夜温差对植物根系的刺激,增加根系密度^[8]。有机覆盖物还可为昆虫、微生物等提供栖息地和食物,有助于提高生物多样性;还可以增强植被抗逆性,减少化学药剂使用量,改善生态环境。

相较于地膜等传统的无机覆盖材料,木质有机覆盖物降解周期较长,无需频繁更换,其覆盖后形成透气层,既能抑制杂草生长,又能减少土壤水分蒸发,在灌溉、除草等环节可减少后期养护人力与物资投入,有效降低城市绿化维护频次,节约养护成本。

将需要焚烧、掩埋的废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物,可有效降低堆积带来的火灾隐患与环境治理压力、解决废弃木质材料处置难题、促进传统木材加工产业链向绿色低碳方向延伸,是兼具生态效益与经济效益的可持续利用路径,生态潜力十分可观。

2 废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物的现实困境

2.1 工程木废料高值化回收的技术与装备壁垒

工程木废料不同于纯木质废料,其复杂的结构难以沿用常规的转化路径,在资源回收与高价值转化过程中面临着严峻的技术挑战。

在初级回收阶段,工程木废料中的金属异物极易造成破碎设备的严重磨损,板材中树脂胶黏剂深度固化,难以通过常规物理或温和化学手段清除,回收的木纤维纯度较低,高值化回收利用效率较低。工程木废料还存在甲醛释放及重金属残留等潜在安全隐患,无法满足生物发酵或堆肥等的技术要求,难以直接应用于农业及园林领域。

已有研究在高温缺氧条件下将含胶工程木废料制成生物炭,通过热裂解技术破坏胶黏剂的分子结构,减少有毒气体释放量,促进重金属钝化^[9]。但目前来看,这一技术仍处于产业化探索阶段,含胶工程木废料的高效热解工艺与

专用设备尚不成熟、热解过程能耗较高是制约其规模化推广的重要因素。

有毒胶黏剂降解的微生物发酵技术也取得初步突破,可在实验室规模下实现甲醛的有效降解。但生物菌剂在工业级固体废物处理中仍存在不确定性,集中处理大宗废弃胶合板时,面临设备运行稳定性不足、大规模菌种优化困难等诸多挑战^[10]。

2.2 混合处置引发的二次污染与资源浪费

我国废弃木质材料的资源化利用尚处于发展阶段^[11, 12]。尽管我国已出台国家标准《废弃木质材料分类》(GB/T 29408—2012)^[13],但在实际回收过程中,木质废弃物来源复杂、分散,分类回收落实到位,仍存在将不同种类的废弃木质材料混杂收集的现象,严重制约后续加工利用及高附加值转化^[14]。

简单粗放的混杂收集模式会将适用于不同利用/处理途径的废弃木质材料错误混合。直接填埋的废弃木质材料中如果含有脲醛树脂、表面涂层及金属配件,酚、苯等有毒物质及重金属残留会对土壤、地下水、生态环境等构成长期威胁;如果含有需要特殊处理的有害物质,会在厌氧环境下分解产生大量甲烷,加剧温室效应,且无法发挥其改良土壤的生态潜能,造成严重的碳流失和生态资源浪费。焚烧的废弃木质材料中如果含有胶黏剂,其不完全燃烧会释放挥发性有机物(VOCs)及二噁英类物质,引发环境二次污染。

2.3 效益评价体系的参数缺失与多维监测匮乏

现阶段利用 LCA 评估废弃木质材料转化效益多依赖 Ecoinvent 等国外数据库,缺少本土化关键参数,脱离了本土特有的气候条件和土壤特性,导致评价结果与实际生态环境存在显著偏差。

现有研究多局限于 GWP、基础碳排放核算等方面,缺乏对木质有机覆盖物应用长期动态演变过程的相关研究。木质有机覆盖物在缓解土壤富营养化等方面的作用机制尚不清晰;在 10~50 年时间尺度上,有机质降解引起的酸化波动规律也缺少连续观测和定量分析;对土壤微生物的深层影响仍有待进一步明确;缺少填埋处置后氨氮和化学需氧量(COD)的释放特征及焚烧产生的微量持久性污染物长期监测结果,在一定程度上影响了废弃木质材料资源化转化相关政策的制定,以及碳汇交易机制的实际推进。

2.4 末端应用市场的拓展受限与激励机制缺失
因技术标准、政策激励等因素的缺失,废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物的整体回收转化效率和市场配置效率明显低于其他大宗工业固废的水平。

在城市园林绿化等末端应用中,高端景观工程多采用进口松树皮等高价原料,而低端养护市场则滥用易引发微塑料污染的廉价防尘网。废弃木质材料制成的有机覆盖物虽具有原料充足、环境友好等优势,但因缺乏统一的技术标准,且无相关的税收减免、绿色采购目录倾斜等配套激励政策,市场占有率较低,相关企业回收和转化意愿低,市场拓展受限,接受度不足。

2.5 专业技术短缺与人才储备不足

废弃木质材料的综合利用涉及林学、环境工程、材料科学、碳核算等多个领域,对从业人员的知识结构和实践能力要求较高。目前熟悉废弃木质材料收集、分选、加工、利用、效益评估及碳核算全流程的复合型人才极度匮乏,相关基层管理单位和企业普遍面临专业人员短缺的问题。

人才储备不足会直接增加项目研发、运行和推广的成本,影响废弃木质材料资源转化利用率。在碳汇市场逐步完善的背景下,缺少专业团队开展减排量核算、监测和申报,废弃木质材料转化的减排效益难以进一步转化为国家核证自愿减排量(CCER),从而限制相关产业的市场化发展。

3 废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物的路径探讨

3.1 融合多维数据,摸清资源底数

应融合多维数据,进行精准的资源本底调查,构建动态管理数据库,为统筹废弃木质材料资源产能布局与综合利用提供数据支撑。

在林草领域,可依托卫星遥感、无人机航测和地面样方调查等技术手段,对主要林区的采伐剩余物与加工残留物进行精准评估和动态监测;在城市固体废物领域,应围绕建筑装修废弃板材、城市绿化修剪物、废旧家具等重点来源,打破住建、环卫、林草等各系统间的数据壁垒,建立从源头产生、中间收运到末端处置的全流程数据系统。

针对不同来源的废弃木质材料,应建立差异化核算体系。可引入城市代谢模型,测算废弃木质材料的产生基数与分布规律,构建废弃木质材料动态数据库和项目储备库;根据材料

类型、资源规模与开发条件等因素,将项目分为优先开发类、培育开发类与探索开发类几大类并实行动态追踪管理。为废弃木质材料资源化利用提供更加可靠的决策依据,也为后端加工企业的选址与产能匹配提供坚实的数据支撑。

3.2 实行源头分类,推进“双轨制”转化

废弃木质材料来源复杂,必须摒弃传统的粗放混合处置模式,实行严格的源头分类,依据材料的理化特性,推行差异化、安全化的“双轨制”资源转化。

含有胶黏剂、表面涂层及五金配件的工程木废料,须实现源头精细分选与安全脱毒处理,突破预处理、无害化处置阶段关键技术瓶颈。在物理分选阶段,利用稳定性高的精细破碎设备,高效剥离金属异物并实现定制化粉碎;在生化处理阶段,通过优化生物发酵等工艺,促进木质材料中 toxic 有害成分的标准化降解,阻断土壤污染途径,降低生态风险。最终转化产物须严格开展定量监测,确保铅、镉等重金属含量符合《绿化用有机基质》(LY/T 1970—2011)的Ⅱ级标准要求^[15]。

原木、园林修剪物等纯木质废料及经无害化处理达标的工程废弃木颗粒,可规模化制备为生态型有机覆盖物。为突破覆盖物应用场景单一的局限、提升其经济与美学附加值,可引入低毒无害的环保染色技术,打造兼具生态效益与实用价值的园林景观,实现城市低成本景观维护,最终构建“以废治土、生态美化、循环互补”的良性闭环。

3.3 破除部门管理壁垒,建立多部门协同机制

废弃木质材料的综合利用关键在于打通回收—分类—处理—应用各环节体制机制堵点。应构建涵盖住建、城管、林草及生态环境等多部门联动的协同治理体系,厘清各部门在建筑垃圾、园林绿化废弃物、林业采伐加工剩余物等监管及污染无害化防治环节的权责边界,填补现行分类标准与监管体系的盲区,保障前端废弃木质材料的规范化分类与定向回收,为上下游产业链的高效衔接提供坚实的制度保障。

废弃木质材料的利用应结合各地资源的空间分布特征,实施因地制宜的精准调配与定向应用。风蚀、水蚀、盐碱化等问题突出的生态退化地区宜将其加工为大颗粒有机覆盖物并优先调拨,充分发挥其物理阻隔与节水保墒的生态效能;林区则应将林木采伐与加工剩余物发酵处理后就地还林,以改善森林地表微生境,促进

土壤腐殖质积累和恢复。

3.4 优化激励政策,构建多元化转化体系

废弃木质材料循环产业良性运转的关键是政府、处置加工企业和农林业用户之间相对稳定的利益关系。应综合考虑各部门的监管成本、企业的处置与加工收益、农林业用户的使用成本以及生态、社会效益,定量分析不同主体在参与过程中的收益与风险,建立相对清晰的成本收益核算机制,合理测算政府补贴最优阈值、违规处置惩罚力度、绿色采购价格区间,制定差异化的政策激励,避免盲目补贴造成财政浪费及监管失效等问题。

积极探索废弃木质材料资源化利用与碳金融协同发展的现实路径。推动废弃木质材料转化利用过程与 CCER 市场有效衔接,重点围绕“有机覆盖物入土固碳”的增汇路径,提升项目碳资产开发的可操作性。引导金融机构参与废弃木质材料循环利用全生命周期的碳金融产品开发,通过市场化机制拓宽项目资金来源,有效缓解规模化推广过程中的资金压力,增强废弃木质材料资源化利用项目的持续运营能力和产业化发展动力。

3.5 深化产学研融合,加强复合型人才储备

废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物的核心技术突破、碳汇机制的有效落地都需要复合型智力资源的强力支撑。应充分依托高校与科研院所的科研优势,加强环境工程、林学、机械、资源循环利用、碳金融等多领域合作,加快培育兼具技术研发能力、熟悉国际碳交易规则及掌握 LCA 方法的复合型专业人才,推动技术创新体系建设,

构建长效化培训机制,邀请相关领域专家面向林草、住建、生态环境等基层管理部门及相关企业开展系统性培训。重点围绕废弃木质材料的分类回收、无害化处理、发酵技术、碳核算和政策要求等实际问题全面提升从业人员的理论水平与实操技能,为废弃木质材料循环利用产业的高质量发展奠定坚实的人才基础。

4 结论

在“双碳”目标和资源化利用战略不断推进的背景下,废弃木质材料转化为土壤有机覆盖物是实现生态修复和资源循环利用的有效途径。现有研究表明,土壤有机覆盖物可显著改善土壤结构、提高土壤肥力、减少蒸发、有效缓解土壤退化。推动废弃木质材料的规模化利用,有助于促进林业剩余物与城市木质固废的

协同处置,能够有效减少固废处理压力和处置成本,提高废弃资源的利用价值,对推进绿色低碳发展和完善循环经济体系具有重要现实意义。

参考文献

- [1] Agyemang E, Ofori-Dua K, Dwumah P, et al. Towards responsible resource utilization: a review of sustainable vs. unsustainable reuse of wood waste[J]. *PloS One*, 2024, 19(12): e0312527.
- [2] 虞华强, 孙照斌, 段新芳, 等. 废弃木质材料分类与利用方式[J]. 林业机械与木工设备, 2018, 46(3): 7-9, 14.
- [3] Liu Houzhou, Wang Hui, Nong Huazhan, et al. Opportunities and implementation pathway for China's forestry development under the "Dual Carbon" strategy[J]. *Carbon Research*, 2024, 3(1): 59.
- [4] 朱安明. 基于生命周期评价(LCA)的人造板产品碳足迹研究——以重组竹地板和胶合板模板为例[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023: 1-7.
- [5] Lan Kai, Zhang Bingquan, Yao Yuan. Circular utilization of urban tree waste contributes to the mitigation of climate change and eutrophication[J]. *One Earth*, 2022, 5(8): 944-957.
- [6] Chalker-Scott L. Impact of mulches on landscape plants and the environment - a review[J]. *Journal of Environmental Horticulture*, 2007, 25(4): 239-249.
- [7] 岳大然, 张嘉怡, 梁昌宝. 园林废弃有机物修复城市森林土壤研究进展[J]. 世界林业研究, 2023, 36(2): 38-44.
- [8] Scharenbroch B C, Watson G W. Wood chips and compost improve soil quality and increase growth of *Acer rubrum* and *Betula nigra* in compacted urban soil[J]. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2014, 40(6): 319-331.
- [9] 易启睿, 任学勇, 周颖, 等. 城市废弃木质材料热裂解炼制能源化利用研究进展[J]. 世界林业研究, 2017, 30(2): 56-61.
- [10] 杨华龙, 齐英杰, 刘长莉. 我国木材加工剩余物的综合利用[J]. 林业机械与木工设备, 2015, 43(11): 4-6.
- [11] 申伟, 肖再然, 范凌霖. 废弃木质材料制造人造板现状与发展趋势[J]. 森林防火, 2024, 42(3): 115-118.
- [12] 郝洪阳. 废弃木质材料循环利用的研究进展[J]. 居舍, 2022(21): 42-45, 176.
- [13] GB/T 29408—2012 废弃木质材料分类[S].
- [14] 张海霞. 废弃木质材料的相关标准及回收利用的建议[J]. 吉林林业科技, 2021, 50(2): 42-44.
- [15] LY/T 1970—2011 绿化用有机基质[S].

(本篇专家编审:陈建军)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.04.010

文章编号:1005-7129(2026)04-0045-04

中图分类号:S7-9

文献标识码:A

柳河县林下经济生态化发展的优化路径探索

于雪泽¹, 贾宁¹, 赵强¹, 刘慧²

(1. 吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022; 2. 柳河县国有林总场, 吉林 通化 135300)

摘要: 本文分析了柳河县林下经济发展基础与实践模式, 指出了存在的问题, 提出了优化路径, 为东北林区林下经济生态化发展提供县域实践参考。

关键词: 柳河县; 林下经济; 人参产业

Optimization Path for Ecological Development of Under-forest Economy in Liuhe County

YU Xueze¹, JIA Ning¹, ZHAO Qiang¹, LIU Hui²

(1. Forestry Investigation and Planning Institution of Jilin Province, Changchun 130022, China; 2. State-owned Forest Farm of Liuhe County, Tonghua 135300, China)

Abstract: The foundation and practical model of under-forest economy development in Liuhe County were analyzed in this paper. The existing problems were pointed out, and the optimization paths were put forward. That would provide county-level practical references for the ecological advancement of the under-forest economy in the forest areas of Northeast China.

Keywords: Liuhe County; under-forest economy; ginseng industry

林下经济兼具生态保护和经济增长双重作用, 是践行“两山”理念的有效载体, 是推动森林生态产品价值实现的关键措施, 是促进乡村振兴的重要手段, 也是实现“美丽中国”“健康中国”“双碳”战略目标的可行路径^[1-4]。为推动吉林省林草发展, 需系统推进长白山生态区林下经济高质量发展, 以生态产品价值实现为核心, 推动林药、林旅融合发展。柳河县地处吉林省东南部、长白山腹地, 获评“中国野山参之乡”, 是长白山人参地理标志核心产区, 森林生态资源禀赋优越, 林下经济已成为县域经济重要增长极, 形成了以林药为主、多业态协同的发展格局, 但其产业发展仍面临业态融合程度低、生态产品价值难以实现等瓶颈。本文结合柳河县林下经济发展实际, 梳理其生态化发展的基

础与实践模式, 精准剖析现存瓶颈, 借鉴吉林省内先进县域发展经验, 探索针对性优化路径, 为东北林区县域践行生态优先理念发展林下经济提供可落地的实践参考。

1 柳河县林下经济生态化发展的基础与实践模式

1.1 生态化发展基础

1.1.1 资源开发潜力显著

柳河县森林植被覆盖率高, 土壤、气候、水文条件与林下参、细辛、五味子等作物生长要求高度适配, 林下资源开发潜力显著, 具备发展特色林下经济的天然生态条件。

1.1.2 产业格局基本成型

柳河县已形成“林药为主、多态互补”的发展格局, 林下参为核心特色业态, 林菌、林禽、林

收稿日期: 2026-03-16

第一作者: 于雪泽 (2000—), 女, 助理工程师, 从事林业调查规划方向研究, E-mail: 1150808657@qq.com。

蛙等业态稳步发展。经多年实践探索形成的“政府+企业+合作社+农户”经营模式日趋成熟,有效推动产业从分散经营向规模化、规范化转型。

1.1.3 支撑体系持续升级

柳河县出台林地流转、产业补贴等一系列林下经济扶持政策,生态优先的发展导向与吉林省林下经济发展规划高度契合;与高校深度合作,组建专业技术团队,为产业发展提供仿野生种植、病虫害绿色防控等全流程技术服务;云岭大北岔林下参基地获省级科研资金支持。

1.1.4 人参品牌初步确立

依托“中国野山参之乡”地域品牌优势,柳河县林下参的道地性与品质获得市场高度认可,云岭野山参粉等产品成功入选吉林省对外推介伴手礼,以林下参为核心的生态种植林产品在中药材、生鲜农产品市场具备较强核心竞争力,为品牌价值提升与市场拓展奠定了坚实基础。

1.2 林下经济发展的林业实践模式

1.2.1 生态管护型发展模式

柳河县始终将森林生态保护作为林下经济发展的前提,严格划定林下经济生态红线,在全省首创“参警”专项监管机制。同时建设电子围栏,部分林下参基地实现智能化管护,将产业发展与森林抚育、生物多样性保护有机结合,切实践行“绿水青山就是金山银山”理念。

1.2.2 特色产业驱动型发展模式

柳河县以林下参特色产业为核心,借助其在技术、政策、市场等方面的成熟优势,辐射带动林菌、林药等其他林下业态协同发展。开展人参主题旅游,成功打造“参乡水街”等文旅地标,实现特色产业与文旅产业初步融合,逐步完善“特色引领、多态互补”的林下经济发展格局。

1.2.3 利益联结型经营模式

通过“政府+企业+合作社+农户”多方利益联结模式,柳河县有效整合产业发展资源并明确各主体收益分配机制,大幅降低农户经营与市场风险。人参产业全年带动全县上千农户就业增收,真正实现森林生态保护与林农增收致富的协同共进。

2 柳河县林下经济生态化发展的现存问题

2.1 业态融合程度低,多元价值挖掘不足

柳河县林下经济发展仍以一产种植、采集为主,二产精深加工环节发展薄弱,三产文旅康养业态推进滞后。林下参产品仍以鲜参、干参等初级产品为主,高附加值品类占比偏低;森林景观、林业文化等特色资源未得到充分整合开发,文旅康养业态处于初级探索阶段,资源的生态、经济、社会多元价值未能有效释放。

2.2 价值体系不健全,生态价值难以实现

柳河县林下产品定价仅以原料价值、品种规格为核心,未将生态保护成本、森林碳汇价值等纳入定价体系,生态溢价缺失。作为典型林下生态产品的林下参,其产业仍处于产业链上游,加工水平低、附加值不足^[5],进一步制约了生态价值的经济转化。同时,产品溯源与生态认证体系不完善,生态产品价值认证与溯源保障不足,难以充分体现其核心价值。

2.3 生态经营技术推广不均,供需错配突出

柳河县龙头企业、专业合作社的生态经营水平较高,但部分农户仍秉持传统粗放经营思维,对仿野生种植、病虫害绿色防控等核心技术掌握不足,个别经营行为存在破坏林地微生态的潜在风险。技术服务资源多向龙头企业倾斜,农户获取技术培训的渠道有限,生态经营指导的覆盖范围不足,技术服务供需错配问题成为制约产业生态化发展的重要因素。

2.4 品牌建设碎片化,市场运营模式偏传统

柳河县尚未打造统一的林下经济区域公共品牌,除林下参外,林菌、山野菜等特色林产品均无统一品牌标识;部分经营主体存在以次充好的行为,此类行为严重损害柳河县林下产品的整体品牌形象。市场运营模式较为传统,线上线下融合程度低,开展电商销售的人参经营户数量少,线上渠道开拓不足,市场辐射范围与品牌影响力受限。

2.5 风险防控体系不完善,抗风险能力弱

林下经济易受自然灾害、市场价格波动、病虫害等因素影响,配套的风险防控机制尚未健全。针对人参、林麝等当地特色业态的专属保险产品缺失,农户与中小企业经营抗风险能力

较弱;尚未形成全链条的“保险+防控”风险保障体系,产业发展的稳定性不足。

2.6 保障机制不完善,要素支撑能力不足

林地流转机制灵活性不足,分散经营的现状制约了产业规模化、生态化发展;金融支撑覆盖面有限,林下经济部分业态种植周期长、资金投入大、回报慢,农户与中小企业普遍面临融资难、融资贵问题,虽 2025 年发放吉林省首笔林下参不动产权抵押贷款,但尚未形成成熟的金融赋能产业发展机制。社会化服务体系不完善,市场信息推送、专业产品检测等服务能力不足,难以满足林下经济绿色高质量发展的实际需求。

3 柳河县林下经济生态化发展的路径探索

3.1 深化康养产业融合,打造“三维一体”产业体系

借鉴白山市“生态保护+产业开发”融合经验,以柳河县林下道地中药材规模化种植、森林康养基地建设规划为基础,构建“林下种植+精深加工+生态康养”三维一体特色产业体系,有效破解业态融合程度低的核心问题。健康消费作为林下新型消费的高价值赛道,其核心在于紧扣“生态疗愈+药食同源”理念,推动林下中药材向大健康产品与康养服务延伸。依托云岭、华特酒业等本土龙头企业,开发人参康养酒、草本康养膏等康养型加工品,同步推动加工环节绿色化改造;以“参乡水街”和森林康养基地为核心,整合区域资源打造森林康养与林业产业融合示范路线,对接省内外平台实现客源精准引流;推动康养基地与林下种植、养殖基地联动,开发“林下采摘+药用科普”沉浸式体验项目,丰富康养业态,推动生态资源向康养经济高效转化。

3.2 健全价值实现机制,构建全链条溯源体系

对标抚松县林下参“一参一码”管理经验,柳河县应加快产地溯源体系建设步伐,进一步构建“种植—加工—销售”全链条溯源检测体系,实现重点林下参基地的“一参一码”赋码管理,并与市级溯源平台对接,确保信息全程可查。同时,应推动绿色生产体系建设,完善生态产品认证体系,鼓励企业申报有机标志、地理标志等认证,持续提升林下参产品的生态附加值与市场认可度。还应建立科学的森林生态产品价值核算体系,将生态保护成本与碳汇价值纳入定价机制,充分释放生态溢价。

3.3 强化技术赋能,推广标准化生态经营模式

借鉴通化县“红松+中药材”林药间作经验,依托科研院所,以云岭大北岔种源基地为核心,编制适配柳河县地域特征的林下参、黄精等品种的标准化种植技术规程,重点明确林下参种植密度、土壤培肥、病虫害绿色防控等技术指标,夯实“龙头企业+合作社+散户”的技术辐射体系基础。针对林下经济科技支撑薄弱问题,可实施“强研发—促转化”双轮驱动路径,加大良种选育、病虫害绿色防控与精深加工技术投入,推行“林业科技特派员”制度,引导科研人员下沉一线,深化产学研融合,破解技术推广“最后一公里”难题。组建县级林业技术服务队,为农户提供一对一生态经营指导,重点推广仿野生种植(林下腐殖土培肥+自然生境模拟)、绿色防控(生物菌剂防治+性诱剂诱捕)等核心技术;建设县级林下经济技术示范基地,打造可复制的生态经营样板,培育优质道地中药材种苗,从源头解决种苗优质化问题,从根本上扭转散户经营粗放化局面。

3.4 整合品牌资源,构建“双品牌+全渠道”市场格局

借鉴梅河口市果仁产业发展经验,打造“柳河林下经济”(区域公共品牌)+“云岭野山参”(企业核心品牌)的双品牌体系,制定统一的品质标准与包装规范,加强品牌授权管理,严厉打击虚假宣传、以次充好等损害品牌形象的行为。深挖人参文化内涵,构建线上线下融合、国内国际联动的市场格局,持续提升“长白山人参”品牌的市场认可度与国际影响力。依托林业产销平台搭建线上线下流通渠道,线上整合主流电商平台,组建县域林下经济电商运营中心,开展产地直供等新零售模式;线下依托浙江农合集团等平台进入政企采购系统,推动“柳河野山参”与泸州老窖集团有限责任公司、湖北蕲艾集团有限公司等头部企业合作,开发高端定制产品,开拓高端消费市场,持续提升区域品牌知名度与市场影响力,打破市场运营传统化瓶颈。

3.5 完善保障机制,构建“林长+金融+智能”支撑体系

借鉴辉南县“林长制+智慧管理”、延边州“林长碳汇+生态司法”经验,完善林地流转政策,引导林地资源向龙头企业、专业合作社集中,推动产业规模化、生态化经营。强化财政资

金保障,可充分利用乡村振兴产业发展基金、现代种业发展基金等政策性工具撬动社会资本投入,聚焦升级偏远产区数字化基础设施,逐步消弭产业链上下游的“数字鸿沟”。深化“林长制”改革,构建县、乡、村三级林长网格化管理体系,配套建设人参产业数字化管理平台,实现林下种植基地实时监控、数据化管护;在林下参抵押贷款基础上,探索碳汇质押贷款、种苗抵押贷款等特色金融产品,扩大金融支持覆盖面,实现人参产业贷款普惠至散户;整合林业、农业、市场监管等部门资源,构建集技术培训、产品检测、市场信息于一体的社会化服务体系,全面落实松材线虫病预防、森林保险等政策,为林下经济绿色发展提供全方位保障。

4 结语

本文立足柳河县长白山腹地生态禀赋,梳理了当地林下经济以林药为主、多业态协同的生态化发展基础以及生态管护型、特色产业驱动型、利益联结型的林业实践模式,剖析了业态融合不足、价值转化机制不健全、林业技术推广不均等核心瓶颈,结合吉林省内先进县域经验,

从产业融合、价值实现等五大维度提出针对性生态化发展优化路径,可为东部长白山腹地县域践行“生态优先、产业兴林”理念,推动林业产业高质量发展提供直接的实践参考。

参考文献

[1] 陈幸良, 窦亚权. 林下经济高质量发展: 战略要义、技术突破与关键举措[J]. 林业科学, 2025, 61(7): 59-71.

[2] 成莹, 曾维忠, 胡原. 基于计划行为理论的农户参与林下经济意愿影响因素分析[J]. 农村经济, 2021(11): 62-69.

[3] 冯丹娃, 曹玉昆. “双碳”战略目标视域下我国林业经济的转型发展[J]. 求是学刊, 2021, 48(6): 91-100.

[4] 徐晋涛, 关宝珠. 气候变化背景下的食物观: 基于森林食物视角的分析[J]. 农业经济问题, 2024, 45(10): 57-67.

[5] 王梓默, 刘彦珍, 林士杰, 等. 吉林省林下参产业现状及发展对策[J]. 吉林林业科技, 2025, 54(6): 39-41.

(本篇专家编审:陈建军)

(上接第 32 页)

3.5 提升森林认证能力建设

我国森林认证体系仍处于发展阶段,认证机构、森林经营主体、监管部门等相关各方的认证能力不足,是制约认证工作高质量发展的重要因素。黑龙江省应结合国际先进经验和国内实践成果,坚持“引进来+走出去”,积极借鉴成熟的认证模式和技术经验,邀请专业团队开展专题培训、现场指导,提升相关从业人员的专业素养,破解能力提升瓶颈。同时,建立健全能力建设长效机制,鼓励认证机构、森林经营主体开展自主学习和交流合作,总结推广先进认证经验,推动认证能力持续提升,为森林认证的规模化、规范化发展提供有力支撑。

4 结语

森林认证是协调森林资源保护与利用、推动森林可持续发展、提高森林经营水平的重要机制,作为我国重点国有林区和林业大省,黑龙江省开展森林认证有着得天独厚的资源基础与现实需求。本文对黑龙江省森林认证发展现状

进行梳理,针对黑龙江省森林认证发展面临的宣传推广不足、体系建设不够完善、认证技术和服务保障不够、认证市场急需拓展等问题,提出了相应的发展对策,旨在为黑龙江省森林认证的高质量发展提供理论参考,助力国有林场转型和林业可持续发展。

参考文献

[1] 赵劼. 森林认证理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 2015: 1-25.

[2] 李家璇, 彭志远. 森林经营认证比较及中国森林认证发展策略研究[J]. 西部林业科学, 2025, 54(3): 136-145.

[3] 尹玉, 魏雪峰. 云南省森林认证现状分析与可持续发展路径探究[J]. 林业调查规划, 2026, 51(1): 7-13.

[4] 赵劼, 马阿滨, 梁洪民. 黑龙江省友好林业局开展森林认证的研究[J]. 林业科技, 2004(4): 47-49.

[5] 李地雄, 郭霞. 海南省森林认证现状与发展对策[J]. 热带林业, 2014, 42(3): 13-16.

(本篇专家编审:陈建军)

《吉林林业科技》编辑委员会

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4期 (总第302期)

Journal of Jilin Forestry Science and Technology
Bimonthly, Started in 1972
Volume 55 Number 4 (No.302)

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7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 Jul. 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



9 771005 712267