

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301期
2026 **3**
JILIN LINYE KEJI

目 次

平欧杂种榛叶片功能性状的协同关系及其榛果产量的响应研究	鲁佳乐等(1)
柳树不同无性系主要材性指标综合评价	余玉玺等(9)
永吉县大岗子林场乔木林地生物量及碳储量估算	张明瑞等(12)
不同助剂对生物源农药防治春尺蠖的增效作用	刘芮彤等(18)
吉林松花江三湖国家级自然保护区不同林分组成下甲虫群落多样性研究	刘国良等(26)
山西芦芽山国家级自然保护区外来入侵植物调查及防控对策	庞海颖(31)
吉林白山龙山湖国家森林公园边界划定、矛盾冲突及管理评估	张伟东等(35)
仙景台风景名胜区自然属性与生态价值评估	梁为玉等(38)
吉林省林草碳汇价值实现路径及对策研究	宋玥娇等(42)
智慧林业与人才培养协同发展的初步探析	高 芳等(46)
本刊声明	(8)

CONTENTS

Study on Synergistic Relationships of Leaf Functional Traits of Hybrid Hazelnut (<i>Corylus heterophylla</i> × <i>C. avellana</i>) and Response of Nut Yield	LU Jiale et al. (1)
Comprehensive Evaluation of Main Wood Property Indexes of Different Willow Clones	YU Yuxi et al. (9)
Estimation of Biomass and Carbon Storage of Arbor Forest Land in Dagangzi Forest Farm of Yongji County	ZHANG Mingrui et al. (12)
Synergistic Effects of Different Adjuvants on Bio-based Pesticides for Controlling <i>Apocheima cinerarius</i>	LIU Ruitong et al. (18)
Study on Beetle Community Diversity under Different Forest Stand in Jilin Sanhu National Nature Reserve along Songhua River	LIU Guoliang et al. (26)
Survey and Control Measures of Invasive Alien Plants in Shanxi Luya Mountain National Nature Reserve	PANG Haiying(31)
Evaluation of Boundary Demarcation, Conflicts and Management of Longshan Lake National Forest Park in Baishan City of Jilin Province	ZHANG Weidong et al. (35)
Evaluation of Natural Attribute and Ecological Value of Xianjingtai Scenic and Historic Area	LIANG Weiyu et al. (38)
Study on Pathways and Countermeasures for Realizing the Value of Forest and Grassland Carbon Sinks in Jilin Province	SONG Yuejiao et al. (42)
Preliminary Analysis on the Coordinated Development of Smart Forestry and Personnel Cultivation	GAO Fang et al. (46)
Statement	(8)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.03.001

文章编号:1005-7129(2026)03-0001-08

中图分类号:S664.4

文献标识码:A

平欧杂种榛叶片功能性状的协同关系 及其榛果产量的响应研究

鲁佳乐^{1,2}, 金桂香², 任军², 张立民², 孔晨¹, 吕梦燕²

(1. 吉林农业大学, 吉林 长春 130118; 2. 吉林省林业科学研究院, 吉林 长春 130033)

摘要: 叶片功能性状是反映植物资源分配策略与环境适应能力的关键指标。为探究平欧杂种榛叶片功能性状间的关系及其对果实产量的影响,本研究以 5 年生平欧杂种榛品种‘达维’为对象,测定了叶干重、比叶面积、比叶重、叶绿素相对含量、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度 8 项叶片功能性状指标以及单株果实产量。通过主成分分析法构建叶片功能性状综合评价得分函数,并依据综合得分将榛树划分为优等、良好、一般三个等级,比较不同等级间性状及产量的差异。结果表明,叶片综合性能优等的平欧杂种榛表现出叶干重和比叶重高、比叶面积低的特征,叶绿素相对含量、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度也更高。果实产量随叶片综合性能等级下降而降低,叶片综合性能优等的平欧杂种榛果实产量较高,叶片综合性能与产量间存在一定程度的关联。本研究表明,平欧杂种榛的高产依赖于多个叶片性状间的协调与平衡。基于多种叶片性状的综合评价能够更全面地反映平欧杂种榛叶片功能性状对产量的影响,可为榛树高产品种选育与栽培管理提供理论依据。

关键词: 叶片功能性状; 光合特性; 主成分分析法; 果实产量

Study on Synergistic Relationships of Leaf Functional Traits of Hybrid Hazelnut (*Corylus heterophylla* × *C. avellana*) and Response of Nut Yield

LU Jiale^{1,2}, JIN Guixiang², REN Jun², ZHANG Limin², KONG Chen¹, LYU Mengyan²

(1. Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Leaf functional traits were key indicators reflecting allocation strategies and environmental adaptation capabilities of plant resource. In order to explore relationships among leaf functional traits of hybrid hazelnut (*Corylus heterophylla* × *C. avellana*) and their effects on fruit yield, five-year-old hybrid hazelnut cultivar Dawei was used as research object. Eight leaf functional trait indices were measured, including leaf dry weight, specific leaf area, specific leaf weight, relative chlorophyll content, net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, and intercellular CO₂ concentration. The fruit yield per plant was recorded. The comprehensive evaluation score function for leaf functional traits was constructed by principal component analysis. Based on the comprehensive score, the plants were categorized into three grades: excellent, good, and average. The differences in leaf functional traits and yield among these grades were compared. The results

收稿日期:2026-01-08

基金项目:吉林省科技发展计划项目(20220508104RC)

第一作者:鲁佳乐(2001—),女,在读硕士研究生,主要从事森林培育研究,E-mail:2495036719@qq.com。

通信作者:吕梦燕(1987—),女,副研究员,主要从事森林培育及林木遗传育种研究,E-mail:14851379@qq.com。

showed that the hybrid hazelnut with excellent leaf comprehensive performance showed the characteristics of higher leaf dry weight and specific leaf weight, lower specific leaf area, and higher relative chlorophyll content, net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and intercellular CO₂ concentration. The fruit yield decreased with the decline of leaf comprehensive performance grade. The fruit yield of the hybrid hazelnut with excellent leaf comprehensive performance was higher. That indicated that there was the certain degree of correlation between leaf comprehensive performance and yield. This study showed that high yield of the hybrid hazelnut depended on the coordination and balance among multiple leaf traits. Therefore, the comprehensive evaluation based on multiple leaf traits could more comprehensively reflect the effect of leaf functional traits on yield of the hybrid hazelnut and provide the theoretical basis for breeding and cultivation management of high-yield varieties.

Keywords: leaf functional traits; photosynthetic characteristics; principal component analysis; fruit yield

在植物体生长发育过程中,功能性状能够反映其对周边环境的适应能力、生存对策与资源分配状况^[1-3]。叶片是植物体最易被观察且在外裸露的面积最大的器官,也是植物体通过光合作用与外界环境进行物质与能量交换的重要场所。叶片功能性状是反映植物资源分配策略与环境适应能力的关键指标,主要包括形态性状(叶面积与叶干重等)、结构性状(比叶面积、比叶重与气孔结构等)和生理性状(叶绿素含量与光合特性等),其对环境变化具有较高的敏感性,这是植物长期适应外界环境的结果。叶片功能性状主要受光照、温度、水分状况的影响,其他环境因子(如 CO₂ 浓度与土壤养分含量等)对其也有一定影响。叶片功能性状在不同的环境条件下表现出不同的适应策略,“性状-环境”和“性状-性状”间的关系反映了植物在自然条件下的最优“适应原则”^[4]。

植物叶片功能性状并不是孤立的,而是通过性状间的协同关联或者权衡关系适应外界多变的环境^[4]。比叶面积较高的植物通常叶片平均寿命较低,但其叶片的光捕获面积、单位质量叶片氮含量较高,因此净光合速率通常较高^[5,6]。叶片通过自身结构性状与生理性状的调整优化其构型模式,进而调控光合特征参数提高自身的生境适应性,而光合特征参数的变化往往影响光合产物的输出与分配,进而影响果实干物质积累及产量。在有限的资源环境中,植物对某一功能性状的资源投入较多必然会导致对其他性状的资源投入减少,以牺牲其他性状的构建和功能维持为代价达到平衡“生存、生长、繁殖”的目的,这就导致某些性状之间“此消彼长”的权衡关系^[7-9],因此解析叶片

功能性状间的协同与权衡机制对植物的栽培与选育具有重要意义。目前,关于叶片功能性状的研究主要集中在不同生境中的特征和适应策略、种间种内变异及其与环境因子的互作等方面^[10-15]。

榛(*Corylus heterophylla*)是我国北方重要的干果与木本粮油树种之一,其果实营养丰富、经济价值高。该树种具有抗寒、耐瘠薄、根系发达等特点,是生态修复的优良树种,应用前景广阔^[16]。本文以平欧杂种榛(*Corylus heterophylla* × *C. avellana*)品种‘达维’为研究对象,对多个叶片功能性状进行综合评价,分析叶片功能性状各指标的影响权重及其与果实产量变化的关系,以为榛树高产品种选育和栽培管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于吉林省吉林市永吉县北大湖镇草庙子村(地理位置 126°28'2.02" E、43°24'56.51" N),地处松嫩平原向长白山过渡地带,平均海拔 387.17 m。该地区属北温带大陆性季风气候,春季干燥多大风,夏季温热多雨,秋季凉爽、昼夜温差大,冬季漫长寒冷,年均气温 5.39 ℃,年平均积温 2 790 ℃,年平均降水量 690 mm,无霜期 130 d 左右,年日照时数 2 500~2 900 h,空气相对干燥。土壤类型为棕壤土,土壤 pH 为 5.09,速效磷含量为 61.15 mg · kg⁻¹,速效氮含量为 104.08 mg · kg⁻¹,速效钾含量为 162.52 mg · kg⁻¹,有机质含量为 23.70 g · kg⁻¹。

1.2 试验材料

试验材料为 5 年生平欧杂种榛品种‘达

维’(株行距 1.8 m × 3 m),挑选无病虫害、长势健壮且生长势基本相同的植株 45 株,进行正常的水肥管理。

1.3 试验方法

1.3.1 指标测定

2024 年 7 月下旬,每株挑选 5 枝树冠中部、向阳面的一年生枝条,在每枝枝条选取树冠外层 1 枚完整、无病虫害的第 3 或第 4 片叶片,共计 5 枚。在晴朗无风天气的 9:00—11:00,采用便携式叶绿素仪 (SPAD-502 Plus) 测定叶片的叶绿素相对含量,采用 Li-6800 测定叶片蒸腾速率、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度和气孔导度等光合特征参数^[17]。之后将叶片装入自封袋带回实验室,采用 Epson Perfection V700 Photo 扫描并测定每枚叶片的叶面积,然后将叶片置于 105 ℃ 烘箱内杀青 20 min,再以 85 ℃ 烘干至恒重,采用电子天平(精度 0.000 1 g)称量叶干重。根据测定结果,计算比叶面积和比叶重,比叶面积 = 叶面积/叶干重,比叶重 = 叶干重/叶面积。

2024 年 8 月下旬榛果成熟后,分别采收 45 株供试榛树果实,脱苞后称量果实鲜重,将鲜果自然晾晒至恒重后,称量果实干重。

1.3.2 叶片功能性状综合评价得分函数构建

为解析叶片功能性状间的协同关系,并基于多性状评估叶片综合性能水平,本研究采用主成分分析法分析了各叶片功能性状对叶片综合性能的影响程度。

因各叶片功能性状指标的量纲不同,通过公式对各指标进行标准化处理,统一量纲。

$$z_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

其中: z_i 为第 i 个指标标准化后的变量值; x_i 为第 i 个指标实际变量值; x_{\min} 为第 i 个指标中最小值; x_{\max} 为第 i 个指标中最大值。

对标准化后的各指标数据进行主成分分析^[18],计算获得特征值、单位特征向量以及各主成分的方差贡献率和累积方差贡献率,提取特征值>1 的主成分,计算各主成分得分,根据各主成分权重构建综合评价得分函数。

1.3.3 叶片综合性能不同等级榛树叶片功能性状及产量分析

根据叶片功能性状综合评价得分由高到低的排序结果,将 45 株榛树划分为 3 个等级。排名第 1 至第 15 归为优等,排名第 16 至第 30 归为良好,排名第 31 至第 45 归为一般。对叶片综合性能不同等级榛树的叶片功能性状及产量的差异进行比较分析。

1.4 数据处理

对数据进行单因素方差分析和多重比较,采用 Excel 2016 和 SPSS 27.0 软件进行数据处理和统计分析,采用 Excel 2016 作图。

2 结果与分析

2.1 叶片功能性状综合评价得分函数构建

叶片功能性状数据 KMO 抽样适合性检验检验系数为 0.672 (> 0.600),Bartlett 球形度检验的显著性 $P < 0.01$,表明适合进行主成分分析。提取特征值>1 的主成分,8 项指标简化为 3 个主成分时累计方差贡献率达 85.160%,表明其能够综合反映叶片功能性状的大部分信息。旋转后的载荷矩阵如表 1 所示。

表 1 旋转后的载荷矩阵

Tab. 1 Rotated loading matrix

指标	成分			指标	成分		
	1	2	3		1	2	3
叶干重	0.972	-0.154	-0.032	蒸腾速率	-0.010	0.084	0.925
比叶面积	-0.981	0.069	0.039	净光合速率	-0.053	0.196	0.895
比叶重	0.983	-0.109	-0.011	胞间 CO ₂ 浓度	-0.271	0.911	0.089
叶绿素相对含量	0.015	0.592	0.216	气孔导度	-0.098	0.936	0.024

第一主成分的特征值最大,为 3.418,方差贡献率达 42.727%,是影响叶片综合性能的最

主要成分。其中,载荷值较高的指标为比叶重 (0.983)、叶干重 (0.972) 和比叶面积

(-0.981)。比叶重可表征投资到单位面积叶片中的光合产物的积累量,反映植物的光捕获能力以及碳水化合物积累能力^[19];比叶面积可表征植物对生长前期捕获光、养分等资源的预期回报,反映植物在不同资源环境下的碳获取策略、生长策略和适应策略的权衡^[20];叶干重代表了叶片积累的总生物量。三者协同反映了光合产物在叶片中的分配状况。

第二主成分的特征值为 2.048, 方差贡献率为 25.603%, 载荷值较高的指标为气孔导度(0.936)、胞间 CO₂ 浓度(0.911)与叶绿素相对含量(0.592)。气孔作为植物叶片与外界进行气体交换的主要通道, 气孔导度的动态调控影响胞间 CO₂ 浓度, 直接决定了植被碳同化与水分损耗的效率权衡^[21, 22], 叶绿素含量反映了叶片捕获光能的基础能力, 三者共同影响着光合效率。

第三主成分的特征值为 1.346, 贡献率为 16.830%, 载荷较高的指标为蒸腾速率(0.925)和净光合速率(0.895)。两者分别体现植物的蒸腾耗水量和光合效率, 反映碳水化合物的获取与固定策略^[23, 24]。

根据主成分得分系数矩阵得到 3 个主成分得分函数, $Y_1 = 0.336z_1 - 0.349z_2 + 0.345z_3 +$

$0.072z_4 + 0.007z_5 - 0.004z_6 - 0.040z_7 + 0.004z_8$, $Y_2 = -0.032z_1 - 0.079z_2 + 0.054z_3 + 0.287z_4 - 0.089z_5 - 0.029z_6 + 0.444z_7 + 0.486z_8$, $Y_3 = -0.003z_1 + 0.013z_2 + 0.010z_3 + 0.050z_4 + 0.566z_5 + 0.531z_6 - 0.076z_7 - 0.119z_8$ 。式中: z_1 为叶干重标准化数值; z_2 为比叶面积标准化数值; z_3 为比叶重标准化数值; z_4 为叶绿素相对含量标准化数值; z_5 为蒸腾速率标准化数值; z_6 为净光合速率标准化数值; z_7 为胞间 CO₂ 浓度标准化数值; z_8 为气孔导度标准化数值。以各主成分对应的方差贡献率比例为权重, 构建叶片功能性状综合评价得分函数 $Y = 0.502Y_1 + 0.300Y_2 + 0.198Y_3$ 。

2.2 叶片综合性能不同等级榛树叶片功能性状及产量分析

2.2.1 叶片综合性能不同等级榛树叶片功能性状差异性

方差分析结果显示, 综合得分在叶片综合性能的不同等级间存在极显著差异 ($P < 0.01$)。说明本研究的等级划分能够区分叶片功能性状综合表现的差异, 并为后续分析提供层次化依据。叶片综合性能不同等级榛树叶片功能性状的方差分析结果显示, 叶片功能性状各指标在 3 个等级间呈现一定规律(见表 2)。

表 2 叶片综合性能不同等级榛树叶片功能性状

Tab. 2 Leaf functional traits of hazelnut trees with different grades of comprehensive leaves performance

等级	叶干重/g	比叶面积/(cm ² ·g ⁻¹)	比叶重/(mg·cm ⁻²)	叶绿素相对含量/%
优等	0.46 ± 0.13 a	180.99 ± 50.52 b	5.93 ± 1.61 a	48.62 ± 1.43 A
良好	0.38 ± 0.11 ab	215.10 ± 64.89 ab	4.92 ± 1.42 ab	48.05 ± 1.12 A
一般	0.34 ± 0.17 b	261.72 ± 108.33 a	4.02 ± 1.91 b	47.01 ± 1.27 B
等级	蒸腾速率/ (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	净光合速率/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	胞间 CO ₂ 浓度/ (μmol·mol ⁻¹)	气孔导度/ (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
优等	5.66 ± 2.24 A	15.18 ± 3.56 A	301.55 ± 25.56 A	348.37 ± 134.90 A
良好	4.18 ± 1.34 B	13.66 ± 2.27 A	288.80 ± 37.89 A	278.69 ± 132.65 A
一般	3.37 ± 1.67 B	11.46 ± 2.48 B	263.03 ± 29.09 B	166.72 ± 60.52 B

注: 同列不同小写字母表示指标在不同等级间差异显著 ($P < 0.05$); 同列不同大写字母表示指标在不同等级间差异极显著 ($P < 0.01$);

叶干重、比叶面积与比叶重在 3 个等级间存在显著差异 ($P < 0.05$)。随着等级降低, 叶干重与比叶重呈下降趋势, 叶片综合性能优等的榛树叶干重与比叶重显著高于叶片综合性能

一般的榛树, 两者与叶片综合性能良好的榛树间差异均不显著。比叶面积则呈现相反的变化趋势, 随着等级降低比叶面积升高。叶片综合性能优等的榛树比叶面积显著低于叶片综合性

能一般的榛树,两者与叶片综合性能良好的榛树间差异均不显著。综合性能表现优异的叶片呈现出叶干重高、比叶重高、比叶面积低的特征,意味着榛树叶片的构建策略表现为优先增加叶片单位面积的质量,构建更厚、更密实的叶片组织结构,而非扩大单位质量的叶面积。

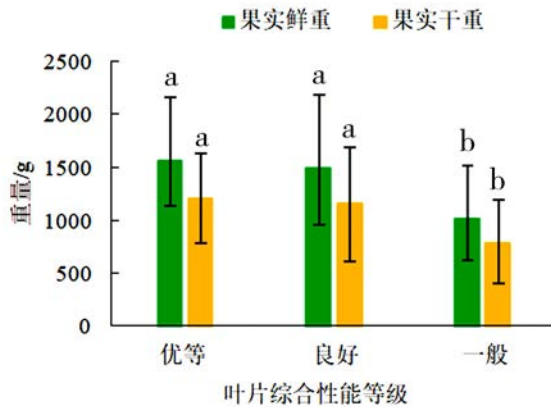
叶绿素相对含量、蒸腾速率、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度与气孔导度 5 项指标在 3 个等级间均存在极显著差异($P < 0.01$),均随等级的降低而降低。叶片综合性能优等和良好的榛树叶绿素相对含量、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度与气孔导度均极显著高于叶片综合性能一般的榛树,叶片综合性能优等和良好的榛树之间差异不显著。蒸腾速率的表现则有所差异,叶片综合性能优等的榛树极显著高于叶片综合性能良好和一般的榛树,叶片综合性能良好和一般的榛树之间差异不显著。蒸腾速率、净光合速率、胞间 CO₂ 浓度与气孔导度 4 项光合特征参数呈现相同的变化趋势,表明气孔因素是限制净光合速率提升的主要因素。气孔开放程度的提升使 CO₂ 进入与 H₂O 逸出的阻力减小,直接导致蒸腾速率提高,水分消耗加快;胞间 CO₂ 浓度的升高使碳供应增加,从而为光合作用提供更多的原料,进而增强光合作用。

比叶面积与叶绿素含量均可反映叶片捕获

光能的能力^[25-27],比叶面积高意味着相同叶干重下叶片能够捕获光的面积更大,叶绿素含量高意味着叶片捕获与转换光能量的能力更强。本试验中综合性能优等的榛树比叶面积小、净光合速率较大,表明以扩大单位质量叶面积的方式来增强叶片的光合能力并非是平欧杂种榛叶片的第一选择,其更倾向于通过提升捕获与转换光量的能力来增强光合能力。这一现象体现了叶片功能性状间的权衡关系,进而说明单一性状的强弱不足以完全反映和评价叶片综合性能^[28, 29]。

2.2.2 叶片综合性能不同等级榛树产量指标差异性

叶片综合性能不同等级榛树产量指标的方差分析结果显示,单株果实总鲜重及总干重在不同等级间均存在显著差异($P < 0.05$)。随着等级降低,单株果实总鲜重及总干重均呈降低趋势(见图 1)。多重比较结果表明,叶片综合性能优等和良好的榛树果实鲜重(优等 1 557.45 g、良好 1 486.94 g)与果实干重(优等 1 204.61 g、良好 1 148.39 g)均显著高于叶片综合性能一般的榛树(果实鲜重 1 019.67 g、果实干重 789.79 g),叶片综合性能优等和良好的榛树之间差异不显著。



注:同一指标的不同小写字母表示在 0.05 水平下指标在不同等级间差异显著。

图 1 叶片综合性能不同等级榛树产量指标

Fig. 1 Yield indicators of hazelnut trees with different grades of comprehensive leaves performance

综合叶片功能性状与产量指标发现,叶片综合性能与产量间存在相同的变化趋势,叶片综合性能高的榛树对应着更高的产量水平,表明叶片综合性能与产量间存在一定程度的关联

性,即高产的榛树一般表现出比叶重高、比叶面积低、叶绿素含量高、气孔导度高、净光合速率高的特征。根据主成分分析可知,对叶片综合性能乃至产量影响较大的因素为比叶重、比叶

面积、叶干重、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、叶绿素相对含量、蒸腾速率、净光合速率。

3 讨论

3.1 叶片功能性状间的联系

叶片功能性状间的关联模式反映了植物基于生理需求与功能约束的权衡机制,是理解植物关键适应策略的重要依据^[30]。在生长过程中,叶片功能性状对环境变化的响应并非相互独立,性状间存在协同与权衡关系。如在木本植物中,气孔行为在调节光合与蒸腾过程中具有重要作用,气孔导度与净光合速率和蒸腾速率间一般呈显著正相关^[31]。本研究中平欧杂种榛叶片的胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率、净光合速率与气孔导度表现同步的变化趋势,表明气孔在多性状协同中具有重要作用,其限制着光合性能的表达。

除气孔调节外,叶片的结构性与功能性指标亦共同制约其光合能力^[15]。多数研究亦表明比叶重与净光合速率之间存在显著正相关,例如在刺槐与山杨等树种中,净光合速率随比叶重的增加而提高,其中刺槐表现为指数函数关系、山杨为线性函数关系;有研究表明比叶重对净光合速率的影响存在一个阈值;也有研究表明同一物种在不同发育阶段或叶龄该关系存在动态变化^[32, 33]。比叶面积与光合性能关系的研究基于树种的不同,呈现出显著正相关、负相关或相关性不显著的结果^[33-35]。上述研究表明比叶重和比叶面积与光合作用的关系具有显著的树种特异性及发育阶段依赖性,是多方面生理与生态机制共同作用的结果。本研究中平欧杂种榛比叶重与净光合速率呈现相同的变化趋势,比叶面积与净光合速率呈现相反的变化趋势,净光合速率高的平欧杂种榛叶片表现出比叶面积低、比叶重高、叶绿素含量高的特征。比叶面积与叶绿素含量均可反映叶片捕获光能的能力,平欧杂种榛叶片在构建时优先选择增加单位面积的叶片质量,以构建更厚、更密实的叶片组织结构,同时优先选择通过提升光合色素含量的方式来增强叶片捕获光能的能力。这一现象体现了叶片功能性状间的权衡关系,进而说明单一性状的强弱不足以完全反映

和评价叶片综合性能。

本研究对叶片功能性状的分析重点在于表明叶片结构性状与光合性状间的权衡,及其对果实产量的影响,若要更全面揭示植物整体的生活史策略及其对环境变化的适应机制,可将叶片功能性状拓展至叶片解剖结构性状及气孔形态等多方面,还可加强叶片性状与根系、茎干功能性状的系统关联分析,整合多器官性状间的协调与权衡关系。

3.2 叶片功能性状与果实产量的联系

植物光合作用受光合面积与叶片素质的影响,通过改善叶片的光合素质增强叶片光合能力是提高植物产量的重要途径^[36]。本研究中,叶片综合性能与产量存在一定程度的关联,高产的榛树往往表现出比叶重高、比叶面积低、叶绿素含量高、气孔导度高、净光合速率高的特征。其中比叶重较高的叶片一般对应较长的叶片寿命和较高的叶片构建成本^[41],其叶片组织密度较大,自身防御与养分存储能力更强,能更好应对环境的变化,保障果实形成过程中的生理稳定性,而较高的光合速率和光合产物储存是构建出这种叶片的基础^[5],这也解释了比叶重与光合速率乃至果实产量间的正向关系^[16]。

在叶经济谱理论中,高比叶重一般对应较低的含氮量、光合速率和呼吸速率,代表着“缓慢投资—收益”型物种^[37]。较低的光合速率表明光合产物输出较低,而叶片又需要较高的构建成本,意味着向果实中转移的光合产物也较低,因此其产量也较低。而本研究中平欧杂种榛表现的特征介于“缓慢投资—收益”型与“快速投资—收益”型的中间态,且该特征在不同榛种质资源间也同样存在^[17]。该特征的形成可能与榛树对外源养分输入的反应机制有关,施入氮肥能显著提高叶片氮含量^[38-41],而叶片氮含量又与叶绿素含量呈显著正相关^[41],使叶绿素含量提升,进而增强叶片的光合能力^[42],提升净光合速率,增加光合产物的输出。同时,较高的叶绿素含量有利于延长叶片功能期,进一步促进光合产物的累积,最终对产量产生积极影响^[43]。本研究的结果体现了榛树的生境适应机制及在自身性状间的资源配置策略,结构投资较高的叶片具有较高的光合性能^[44]。

因此,通过多性状综合评价,筛选出在特定生境中能够协同支持高产的性状组合,对于榛树品种选育与栽培管理具有重要意义。

4 结论

本研究基于主成分分析法对叶片功能性状进行了综合评价,叶片综合性能高的植株表现为高比叶重、低比叶面积、高叶绿素含量、高气孔导度、高净光合速率、高蒸腾速率与高胞间CO₂浓度的性状组合,体现了平欧杂种榛叶片在构建时优先投资于叶片单位面积质量(比叶重)与光合效率的构建策略。该性状组合与单株果实产量呈相同的变化趋势,表明叶片功能性状与果实产量间存在一定联系,叶片性状的协同优化可提高产量。因此,探究高产平欧杂种榛叶片功能性状的特性,并对叶片性能进行综合性评价,有助于筛选出支撑高产的叶片功能性状组合,可为榛树高产品种的选育与栽培管理提供理论依据。

参考文献

[1]白涵,郝珉辉,何怀江,等.东北主要树种幼树叶片功能性状对模拟氮沉降的响应[J].林业科学,2025,61(5):23-32.

[2]Violle C, Navas M L, Vile D, et al. Let the concept of trait be functional! [J]. *Oikos*, 2007, 116(5): 882-892.

[3]杨霖,黄郑雯,毛开泽,等.望天树幼苗光合特性与功能性状对光照和施肥的响应[J].西部林业科学,2021,50(6):46-52.

[4]孙梅,田昆,张贇,等.植物叶片功能性状及其环境适应研究[J].植物科学学报,2017,35(6):940-949.

[5]Wright I J, Reich P B, Westoby M, et al. The worldwide leaf economics spectrum [J]. *Nature*, 2004, 428(6985): 821-827.

[6]杨冬梅,章佳佳,周丹,等.木本植物茎叶功能性状及其关系随环境变化的研究进展[J].生态学杂志,2012,31(3):702-713.

[7]赵夏纬,王一峰,马文梅.高寒草地不同坡向披针叶黄华蒸腾速率与叶性状的关系[J].生态学报,2019,39(7):2494-2500.

[8]叶俊龙,郭梁,赵璐峰,等.农业生态系统植物功能性状研究进展[J].应用生态学报,2023,

34(11):3144-3156.

[9]Li Y, Liu C C, Sack L, et al. Leaf trait network architecture shifts with species - richness and climate across forests at continental scale [J]. *Ecology Letters*, 2022, 25(6): 1442-1457.

[10]张萨如拉,贺俊英,苏亚拉图,等.浑善达克沙地黄柳小枝功能性状对风蚀环境响应的性别差异[J].生态学报,2024,44(15):6874-6880.

[11]彭正东,甘玉婷,甘婉怡,等.白花鬼针草在入侵过程中的叶功能性状变化特点及其与环境因子的关系[J].生态学报,2024,44(21):9862-9873.

[12]梁婉凤,杨卓生,王舟帆,等.厦门10种主要园林乔木叶功能性状及其叶经济谱[J].湖北农业科学,2025,64(3):92-99.

[13]冯莉绚,黄志群,贾辉,等.邻体竞争和土壤对植物叶功能性状及其种内变异的影响[J].森林与环境学报,2024,44(6):608-618.

[14]崔西甜,袁凤辉,王安志,等.蒙古栎叶片光合作用随叶龄的变化及其与叶片功能性状的关系[J].生态学杂志,2017,36(11):3160-3167.

[15]康瑶瑶,赵旭燕,李玲艳.滇西北水蓼叶功能性状的关联性及其对气候因子的响应[J].广西植物,2026,46(2):311-319.

[16]郝春英.辽西北地区榛树产业的发展现状、推广前景及措施[J].农业开发与装备,2020(9):37-38.

[17]罗达,史彦江,宋锋惠,等.38个榛种质资源叶功能性状与光合特征变异及其相关性[J].生态学杂志,2021,40(1):11-22.

[18]裴帅帅,牛富婷,王秋宝,等.132份连翘种质资源农艺性状的遗传多样性分析和综合评价[J].中国现代中药,2025,27(11):2031-2037.

[19]雍雨彤.天童常绿阔叶林下层植物叶片功能性状对长期磷添加的响应及资源利用策略转变[D].上海:华东师范大学,2024:17.

[20]刘可佳,何念鹏,侯继华.中国温带典型森林植物比叶面积的空间格局及其影响因素[J].生态学报,2022,42(3):872-883.

[21]王明洁,鲁会玲,胡禧熙,等.日光温室不同部位葡萄光合作用、生长和果实品质差异分析[J].中国果树,2025(12):83-88.

[22]陈锐,吉喜斌,赵文玥.干旱胁迫下植物气孔导度估算模型研究进展与展望[J].地球科学进展,2025,40(9):877-889.

[23]石子华,张海维,王子豪,等.CO₂施肥效应对植物光合作用影响的研究进展[J].南京农业大学学报,2025,48(4):755-765.

- [24]杨瑞卿. 不同配方土对上海市4种行道树叶片净光合速率和蒸腾速率的影响及矢量关系分析[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(1): 52-59.
- [25]Milla R, Reich P B. The scaling of leaf area and mass: the cost of light interception increases with leaf size[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2007, 274(1622): 2109-2114.
- [26]Wright I J, Westoby M, Reich P B. Convergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient-poor habitats has different consequences for leaf life span[J]. *Journal of Ecology*, 2002, 90(3): 534-543.
- [27]陈风帆, 杨哲, 江海都, 等. 极小种群物种滇桐幼苗与幼树光合特性和叶片显微结构的比较研究[J/OL]. 广西植物, 2025-12-11. <https://link.cnki.net/urlid/45.1134.Q.20251210.1125.004>. DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202507023.
- [28]蒋丛泽, 受娜, 高玮, 等. 陇东旱塬区不同青贮玉米品种生产性能和营养品质综合评价[J]. 草业学报, 2023, 32(7): 216-228.
- [29]赵祎伟, 马祥, 张然, 等. 青海东部农区高产优质燕麦品种筛选[J]. 草业科学, 2020, 37(3): 532-541.
- [30]刘雄. 大熊猫主食竹功能性状特征及适应策略[D]. 雅安: 四川农业大学, 2025: 1-3.
- [31]李娟霞, 田青. 兰州市6种园林植物叶片形态和光合生理特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(1): 72-80.
- [32]范晶, 赵惠勋, 李敏. 比叶重及其与光合能力的关系[J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(5): 37-39.
- [33]康博文, 刘建军, 徐学选, 等. 黄土高原常见树种比叶重及其与光合能力的关系[J]. 西南林学院学报, 2005, 25(2): 1-4, 11.
- [34]王子奇, 查天山, 贾昕, 等. 油蒿光合参数季节动态及其与叶氮含量和比叶面积的关系[J]. 生态学杂志, 2017, 36(4): 916-924.
- [35]程建峰, 陈根云, 沈允钢. 植物叶片特征与光合性能的关系[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(4): 466-473.
- [36]王凯玺, 丁增伟, 张海金, 等. 谷子灌浆期叶片比叶重变化及产量关系研究[J]. 东北农业科学, 2016, 41(1): 32-34, 63.
- [37]陈莹婷, 许振柱. 植物叶经济谱的研究进展[J]. 植物生态学报, 2014, 38(10): 1135-1153.
- [38]索伟伟, 李志军. 平欧杂交榛幼苗形态建成对氮的响应研究[J]. 林业科技通讯, 2018(3): 3-8.
- [39]王志强, 梁威威, 徐心志, 等. 氮肥对限制灌溉下冬小麦旗叶氮同化及水氮利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(8): 12-16.
- [40]孙剑, 梁文佳, 梁佳芳, 等. 基于根叶性状研究不同林龄油松对氮添加的响应策略[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2026, 46(1): 48-59.
- [41]文程敬, 吴俊文, 刘元玺, 等. 不同氮添加对轻木人工林生长及叶养分吸收的影响[J]. 广西植物, 2026, 46(2): 353-366.
- [42]李玲燕, 唐银, 钟明慧, 等. 缓释肥对杉木容器苗生长、光合生理和养分积累的影响[J]. 广西植物, 2023, 43(6): 1059-1069.
- [43]谢立勇, 孙雪, 赵洪亮, 等. FACE条件下水稻生育后期剑叶光合色素含量及产量构成的响应研究[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(4): 425-431.
- [44]王满莲, 蒋运生, 韦霄, 等. 实生和嫁接槐树的枝梢生长与光合特性[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(4): 359-362.

(本篇专家编审:陶晶)

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.1005-7129.2026.03.002

文章编号:1005-7129(2026)03-0009-03

中图分类号:S792.12

文献标识码:A

柳树不同无性系主要材性指标综合评价

余玉玺^{1,2}, 刘鑫荣², 崔永清³, 张岚⁴, 李绍臣²

(1. 吉林农业大学, 吉林 长春 130118; 2. 吉林省林业科学研究院, 吉林 长春 130033; 3. 桦南县林草事业发展中心孟家岗镇林草站, 黑龙江 佳木斯 154400; 4. 桦南县七峰林场, 黑龙江 佳木斯 154400)

摘要: 本文对 6 个柳树无性系(349 柳、106 柳、208 柳、180 柳、111 柳 5 个无性系及对照 109 柳)在木材密度、气干干缩率、木纤维形态及综纤维素含量等方面进行了比较研究。结果表明:在木材密度方面,349 柳、106 柳、180 柳显著高于对照;在气干干缩率方面,349 柳、106 柳显著低于对照;在木纤维形态方面,349 柳、106 柳、208 柳木纤维长度显著高于对照,5 个无性系木纤维宽度显著高于对照;在综纤维素含量方面,106 柳、349 柳、208 柳、180 柳显著高于对照。基于以上研究结果,筛选出 349 柳、106 柳、180 柳为优良无性系。

关键词: 柳树;无性系;木材密度;气干干缩率;纤维形态;综纤维素;材性分析

Comprehensive Evaluation of Main Wood Property Indexes of Different Willow Clones

YU Yuxi^{1,2}, LIU Xinrong², CUI Yongqing³, ZHANG Lan⁴, LI Shaochen²

(1. Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China; 3. Mengjiagang Town Forestry and Grassland Station of Huanan County Forestry and Grassland Development Center, Jiamusi 154400, China; 4. Qifeng Forest Farm of Huanan County, Jiamusi 154400, China)

Abstract: In this paper, the wood density, air-dry shrinkage rate, wood fiber morphology, and holocellulose content of six willow clones (349, 106, 208, 180, 111 and 109) were compared. The wood densities of clone 349, clone 106, and clone 180 were significantly higher than that of clone 109. The air-dry shrinkage rates of clone 349 and clone 106 were significantly lower than that of clone 109. The fiber lengths of clone 349, clone 106, and clone 208 were significantly higher than that of clone 109. The fiber widths of five clones were significantly higher than that of clone 109. The holocellulose contents of clone 106, clone 349, clone 208, and clone 180 were significantly higher than that of clone 109. Based on the above results, clone 349, clone 106 and clone 180 were selected as excellent clones.

Keywords: *Salix* spp.; clone; wood density; air-dry shrinkage rate; fiber morphology; holocellulose; wood property analysis

柳树(*Salix* spp.)广泛分布于北半球温带与寒带地区^[1],其生长迅速、易繁殖、适应性

强,在生态修复、园林绿化、工业用材等领域具有重要价值。近年来,随着生态可持续发展战

收稿日期:2026-01-09

基金项目:吉林省林业厅育林基金科研项目(2014-002)

第一作者:余玉玺(2002—),男,在读硕士研究生,主要从事林木遗传育种与应用研究,E-mail:2558131501@qq.com。

通信作者:李绍臣(1970—),男,副研究员,硕士研究生,主要从事林木遗传育种和园林植物栽培研究,E-mail:547022223@qq.com。

略的推进,其作为短周期能源林和工业原料林的潜力日益受到关注。在木材加工行业,木材材性直接决定了终端产品的性能和经济效益。目前,针对吉林省适栽的柳树无性系材性方面的研究相对不足。本试验以6个柳树无性系为研究对象,在吉林省东辽县开展优良无性系选择试验,系统分析了其木材密度、气干干缩率、木纤维形态、综纤维素含量等材性指标,以期筛选出优良无性系,为其良种推广与工业原料林的营建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于吉林省东辽县,地处长白山系老爷岭余脉与松辽平原过渡带,地理位置 $124^{\circ}52'35.9''\sim 125^{\circ}30'33.6''$ E、 $42^{\circ}56'50.3''\sim 42^{\circ}51'07.3''$ N,属半湿润中温带大陆性气候区,四季分明,境内以低山丘陵为主,海拔214~620 m,地势东南高西北低。土壤以白浆土、灰棕土为主。

1.2 试验材料

2016年春季造林,2025年秋季采用非破坏性取样方式进行样品采集。349柳、106柳、208柳、180柳、111柳5个柳树无性系及对照109柳(林龄均为10年)每个无性系选取3株生长健壮、长势一致的植株,在树干胸高处(1.3 m)采用生长锥钻取木芯样本,重复3次^[2]。将采集的木芯样本带回实验室,去除树皮和边材部分,选取心材部分用

于各项材性指标的测定。

1.3 试验方法

参照《无疵小试样木材物理力学性质试验方法 第5部分:密度测定》(GB/T 1927.5—2021)测定试样的基本密度和气干密度^[3]。参照《无疵小试样木材物理力学性质试验方法 第6部分:干缩性测定》(GB/T 1927.6—2021)测定试样的干缩性(弦向气干干缩率、径向气干干缩率、体积气干干缩率)^[4]。采用酸离析方法制备木纤维样品^[5],将制备好的木纤维样品均匀分散在载玻片上,采用OLYMPUS BX53光学显微镜(配备DP74图像采集系统)进行观察,随机选取200根完整木纤维,利用Image-Pro Plus 6.0图像分析软件测量木纤维长度和宽度,计算木纤维长宽比。参照《造纸原料综纤维素含量的测定》(GB/T 2677.2—2011)测定综纤维素含量^[6]。

1.4 数据处理

对数据进行单因素方差分析和多重比较,采用Excel 2020整理数据,利用SPSS 25.0进行数据统计和分析。

2 结果与分析

2.1 指标测定结果

6个柳树无性系(349柳、106柳、208柳、180柳、111柳及对照109柳)的木材密度、气干干缩率、木纤维尺寸、综纤维素含量平均值及多重比较结果见表1。

表1 木材密度、气干干缩率、木纤维尺寸、综纤维素含量平均值及多重比较

Tab. 1 Determination of wood density, air-dry shrinkage rate, fiber size, and holocellulose content with multiple comparison

无性系	基本密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	气干密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	气干干缩率/%			木纤维长 度/ μm	木纤维宽 度/ μm	综纤维素 含量/%
			体积气干 干缩率	弦向气干 干缩率	径向气干 干缩率			
349	0.392 a	0.426 a	0.342 c	0.234 b	0.108 b	1 230 a	26.10 a	86.14 a
106	0.381 a	0.421 a	0.349 c	0.237 b	0.111 b	1 174 ab	25.63 a	86.22 a
208	0.339 c	0.407 b	0.357 b	0.240 ab	0.143 a	1 162 b	24.73 b	85.41 a
180	0.359 b	0.411 a	0.354 b	0.250 a	0.132 a	1 092 c	25.73 a	85.35 a
111	0.343 c	0.384 c	0.366 a	0.256 a	0.144 a	1 086 c	24.10 b	80.30 b
109	0.334 c	0.383 c	0.362 a	0.254 a	0.142 a	1 043 c	22.16 c	77.42 b

注:同列不同小写字母表示不同无性系间差异显著($P < 0.05$)。

2.2 木材密度分析

方差分析结果表明,各无性系的基本密度和气干密度存在显著差异($P < 0.05$)。基本密度方面,349柳和106柳显著高于其他无性系,较对照109柳分别高17.37%和14.07%;180柳显著高于111柳、208柳、109柳,较109柳高7.49%;111柳、208柳、109柳差异不显著。气干密度方面,349柳、106柳和180柳显著高于其他无性系,较对照109柳分别高11.23%、9.92%和7.31%;208柳显著高于111柳和109柳,较109柳高6.27%;111柳与109柳差异不显著。

2.3 气干干缩率分析

方差分析结果表明,各无性系的气干干缩率存在显著差异($P < 0.05$)。体积气干干缩率方面,349柳和106柳显著低于其他无性系,较对照109柳分别低5.52%和3.59%;180柳和208柳显著低于109柳、111柳,较109柳分别低2.21%和1.38%;109柳、111柳差异不显著。弦向气干干缩率方面,349柳和106柳与208柳差异不显著,显著低于其他无性系,较对照109柳分别低7.87%和6.69%;208柳、180柳、109柳、111柳差异不显著。径向气干干缩率方面,349柳和106柳显著低于其他无性系,较对照109柳分别低23.94%和21.83%;180柳、109柳、208柳、111柳差异不显著。

2.4 木纤维形态分析

方差分析结果表明,各无性系的木纤维长度和木纤维宽度差异显著($P < 0.05$)。木纤维长度方面,349柳、106柳、208柳显著高于其他无性系,较对照109柳分别高17.93%、12.56%、11.41%;180柳、111柳、109柳差异不显著。木纤维宽度方面,349柳、180柳、106柳显著高于其他无性系,较对照109柳分别高17.78%、16.11%、15.66%;208柳、111柳显著高于109柳,较109柳分别高11.60%、8.75%。木纤维长宽比方面,由大到小依次为349柳(47.13)、109柳(47.07)、208柳(46.99)、106柳(45.81)、111柳(45.06)、180柳(42.44)。

2.5 综纤维素含量分析

方差分析结果表明,各无性系的综纤维素含量差异显著($P < 0.05$)。106柳、349柳、208柳、180柳的综纤维素含量差异不显著,显著高

于111柳和109柳,较对照109柳分别高11.37%、11.26%、10.32%和10.24%。

3 讨论

木材密度是反映木材单位体积质量的重要物理参数,直接反映木材的质地和强度,对木材的加工利用具有重要影响^[7]。本研究中,349柳、106柳、180柳的基本密度和气干密度显著高于对照109柳,基本密度分别高17.37%、14.07%、7.49%,气干密度分别高11.23%、9.92%、7.31%,材质更致密。木材基本密度为 $0.334 \sim 0.392 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,整体处于柳属木材基本密度的典型区间,与甘春雁等^[8]研究报道的 $320 \sim 420 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 相符。气干密度为 $0.383 \sim 0.426 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,属于轻软至中等硬度的木材,这类木材通常易加工、重量轻,是制浆造纸的常用原料。

气干干缩率反映了木材在干燥过程中的收缩程度,与木材的尺寸稳定性密切相关。本研究中,349柳、106柳气干干缩率显著低于其他无性系,体积气干干缩率较对照分别低5.52%和3.59%,弦向气干干缩率分别低7.87%和6.69%,径向气干干缩率分别低23.94%和21.83%,尺寸稳定性好。

木纤维作为木材的主要构成成分,其长度和宽度等形态特征不仅影响木材的物理力学性能,更是衡量木材在制浆造纸等工业领域利用价值的关键参数^[9]。通常情况下,木纤维宽度适中,长度越长所制纸张的强度和柔韧性越佳^[10]。本研究中,5个无性系的木纤维宽度显著高于对照109柳,349柳、106柳、208柳的木纤维长度显著高于其他无性系,较对照分别高17.93%、12.56%、11.41%,这3个无性系均具有良好造纸潜力。邱坚等^[11]研究指出,长宽比小于35的纤维不适合造纸。本研究6个无性系木纤维长宽比为42.44~47.13,表明这6个无性系都是优良造纸原料,其中349柳木纤维长度最长、宽度最宽、长宽比最大,造纸或制成纤维板时强度最高,工业利用价值突出。

综纤维素是植物纤维原料中纤维素与半纤维素的总和,主要存在于造纸原料的细胞壁结构中,其含量直接影响纸浆的得率和质量,是评价纸浆材质量的重要指标^[12]。(下转第17页)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.03.003

文章编号:1005-7129(2026)03-0012-06

中图分类号:S718.5

文献标识码:A

永吉县大岗子林场乔木林地生物量及碳储量估算

张明瑞, 陈维建, 王春光, 梁为玉, 韩喜越, 任贺

(吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022)

摘要: 本文以吉林省永吉县大岗子林场 2025 年森林资源二类调查数据为基础, 采用生物量换算系数连续函数和含碳率进行计算, 对区域内生物量、碳储量及其分布特征进行研究。结果表明, 大岗子林场乔木林地总生物量为 1.17×10^6 t, 总碳储量为 0.57×10^6 t, 平均碳密度为 $65.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。蒙古栎林生物量及碳储量最大, 人工杨树林最小, 天然林生物量和碳储量约为人工林的 4 倍。整体林分结构较合理, 经营效果明显。各器官生物量密度与龄组、海拔、坡度呈正相关, 但与坡位关系不明显。

关键词: 二类调查; 森林生物量; 森林碳储量; 生物量转换系数; 空间分布

Estimation of Biomass and Carbon Storage of Arbor Forest Land in Dagangzi Forest Farm of Yongji County

ZHANG Mingrui, CHEN Weijian, WANG Chunguang, LIANG Weiyu, HAN Xiyue, REN He

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

Abstract: Based on the datasets of forest inventory for planning and design of Dagangzi Forest Farm in Yongji County of Jilin Province in 2025, the biomass, carbon storage and their distribution characteristics in the area were studied through the calculation by using the biomass conversion coefficient continuous function and carbon content rate. The results showed that the total biomass of arbor forest land was 1.17×10^6 t, the total carbon storage was 0.57×10^6 t, and the average carbon density was $65.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. The biomass and carbon storage in *Quercus mongolica* forest were the highest, and those in the plantation of *Populus* spp. were the lowest. The total biomass and total carbon storage of natural forests were about four times those of the plantation. The overall forest structure was relatively reasonable, and the management effect was obvious. The biomass density of each organ was positively correlated with age group, altitude, and slope, but that was not significantly correlated with slope position.

Keywords: forest inventory for planning and design; forest biomass; forest carbon storage; biomass conversion coefficient; spatial distribution

森林生物量和碳储量是森林生态系统质量和功能的重要特征, 二者的变化可直接或间接反映气候变化、森林演替、环境污染、人为活动干扰等^[1]。对森林生物量和碳储量的准确估算是森林资源监测的一项重要内容, 可为分析森林资源结构、衡量森林固碳能力、评价森林生态系统生

产力提供数据基础^[2], 目前根据数据来源可大致分为基于地面调查数据估算和引入遥感数据估算。彭妮等^[3]基于森林样地数据, 建立了一元可加性生物量模型, 估算了不同林型不同碳层的碳储量。李欣然^[4]以遥感影像和激光点云数据为主要信息源, 对比分析了森林碳储量的估测精

收稿日期:2026-01-13

第一作者:张明瑞(1997—),男,助理工程师,从事林业调查规划工作,E-mail:1289468867@qq.com。

度。但多数研究是在对森林固定样地点状数据进行估算的基础上推算区域整体碳储量,缺乏对森林资源监测中面状数据的考量。

森林资源二类调查,即森林资源规划设计调查,是以小班为基本调查单元,依据现有森林资源档案和地形图等进行区划,对林分因子和林木因子进行调查的方法。其成果是实行生态效益补偿、制定采伐限额、编制森林经营方案、制定森林发展规划的重要基础^[5]。

本研究以吉林省永吉县大岗子林场为研究对象,基于2025年森林资源二类调查数据,采用生物量换算系数连续函数法计算生物量,再根据生物量和不同林分类型含碳率计算碳储量,分析林龄及不同地形因素对二者的影响,为制定森林经营策略提供参考。

1 研究区概况

大岗子林场位于吉林省永吉县西南部,地

理位置 125°57'56"~126°15'18" E、43°30'24"~43°39'50" N。总经营面积约 8 800 hm²,森林覆盖率达 98%。地形以低山为主,约 90% 小班海拔为 300~500 m,坡度为 5°~25°。属北温带大陆性季风气候,年平均降水量 677.4 mm,极端年最大降雨量 948.8 mm(1986年);年平均气温 5.3℃,极端最低气温 -40.4℃(2001年),极端最高气温 37.8℃(1997年)。区域内植被以落叶松(*Larix gmelinii*)、红松(*Pinus koraiensis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)为主,还有少量樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongholica*)、杨树(*Populus* spp.)、柳树(*Salix* spp.)、榆树(*Ulmus* spp.)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)等。该研究使用的基础数据为大岗子林场 2025 年二类调查中所有乔木林地数据,因疏林地及一般灌木林地小班数量极少,故忽略不计。主要林分类型的基本特征如表 1 所示,乔木林地总蓄积量为 $1.26 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

表 1 大岗子林场主要林分类型基本特征

Tab. 1 Basic characteristics of the main stand types in Dagangzi Forestry Farm

林分类型	林龄/年	植株密度/ (株·hm ⁻²)	平均胸 径/cm	平均树 高/m	单位面积蓄积 量/(m ³ ·hm ⁻²)	总面 积/hm ²	总蓄积 量/m ³
人工落叶松林	30.5±12.7	1 176.0±558.5	15.7±6.1	14.5±5.3	142.9±75.8	1 566.0	252 594.8
人工红松林	19.1±15.9	1 583.9±600.4	8.1±6.6	6.2±4.9	(50.7, 71.4)	202.2	12 460.3
人工樟子松林	43.2±9.7	750.9±204.4	21.4±4.6	15.5±3.3	175.5±53.1	73.5	13 438.2
人工杨树林	17.8±6.4	928.4±438.8	17.2±4.6	15.1±3.9	123.8±56.8	44.9	6 136.2
蒙古栎林	61.2±23.1	932.2±509.6	17.9±7.3	13.8±4.9	136.5±58.9	2 961.2	449 193.9
阔叶混交林	54.8±19.3	894.8±368.4	17.2±4.7	14.1±3.6	123.3±48.4	3 011.9	426 898.8
针阔混交林	29.8±16.3	1 228.7±634.7	13.8±6.6	12.2±5.6	107.8±70.4	502.6	69 095.5
针叶混交林	28.2±15.6	1 241.7±620.5	13.9±7.8	11.9±6.3	114.1±87.9	91.4	15 030.9
其他	32.9±18.8	1 057.3±547.5	13.6±6.6	11.3±5.4	86.9±61.0	162.4	13 453.7

注:其他林分类型为以柳树、榆树和胡桃楸等为优势树种且小班数量较少的林分;表中数据为平均值±标准差,对于人工红松林的单位面积蓄积量,因标准差大于平均值,以(平均值,标准差)表示。下同。

2 研究方法

2.1 生物量估算

生物量的估算方法主要有生物量-林分变量模型、生物量-蓄积量模型、固定生物量换算系数法、生物量换算系数连续函数法等。Fang 等^[6]研究表明,生物量换算系数与树种组成、

林龄等林分因子密切相关,因此本研究将大岗子林场分为 9 个林分类型,基于董利虎^[1]建立的生物量换算系数连续函数模型,计算出各器官的生物量密度,具体模型形式见表 2。因其他林分类型主要包含柳属植物、榆属植物和胡桃楸等阔叶树种,因此采用与“阔叶混交林”林分类型相同的模型形式进行计算。

表 2 大岗子林场主要林分类型生物量转换系数连续函数模型

Tab. 2 Biomass conversion coefficient continuous function models of main stand types in Dagangzi Forest Farm

林分类型	器官	方程	林分类型	器官	方程
人工落叶松林	树根	$W_r = [D/(33.7667 + 4.8766D)]V$	蒙古栎林	树根	$W_r = [D/(-4.6791 + 5.1424D)]V$
	树干	$W_s = [D/(10.4102 + 1.4646D)]V$		树干	$W_s = [D/(3.3652 + 1.4479D)]V$
	树枝	$W_b = [D/(-41.4842 + 19.3514D)]V$		树枝	$W_b = [D/(72.7284 + 0.1516D)]V$
	树叶	$W_f = [D/(-590.6420 + 98.4307D)]V$		树叶	$W_f = [D/(-32.2793 + 38.3100D)]V$
人工红松林	树根	$W_r = [H/(-7.4947 + 5.4000H)]V$	阔叶混交林	树根	$W_r = [N/(-70.6721 + 6.0504N)]V$
	树干	$W_s = [N/(369.6842 + 1.5593N)]V$		树干	$W_s = [D/(5.0873 + 1.5771D)]V$
	树枝	$W_b = 0.1087D^{0.1196}H^{-0.1086}V$		树枝	$W_b = [D/(71.5891 + 3.6766D)]V$
	树叶	$W_f = 0.2835D^{-0.2446}H^{-0.2737}V$		树叶	$W_f = [D/(-134.2730 + 52.0772D)]V$
人工樟子松林	树根	$W_r = [D/(-25.6700 + 7.3893D)]V$	针阔混交林	树根	$W_r = [D/(8.1024 + 5.3007D)]V$
	树干	$W_s = 0.3063D^{0.2638}H^{0.0044}V$		树干	$W_s = [D/(2.2799 + 1.9224D)]V$
	树枝	$W_b = 0.0809D^{0.3271}H^{-0.2820}V$		树枝	$W_b = [D/(47.5331 + 8.1051D)]V$
	树叶	$W_f = [D/(-71.0595 + 22.4834D)]V$		树叶	$W_f = [D/(-194.9340 + 54.1812D)]V$
人工杨树林	树根	$W_r = [H/(16.5625 + 7.1240H)]V$	针叶混交林	树根	$W_r = [D/(22.8489 + 4.2751D)]V$
	树干	$W_s = 0.2472D^{0.1340}H^{-0.0461}V$		树干	$W_s = [D/(1.7340 + 2.1111D)]V$
	树枝	$W_b = [D/(70.9902 + 8.7291D)]V$		树枝	$W_b = [H/(-9.1670 + 14.2319H)]V$
	树叶	$W_f = [D/(-23.3672 + 49.6218D)]V$		树叶	$W_f = [D/(-406.2050 + 62.8217D)]V$

注: W_r 、 W_s 、 W_b 、 W_f 分别为树根、树干、树枝、树叶的生物量密度/($t \cdot hm^{-2}$); D 为林分平均胸径/cm; H 为林分平均树高/m; N 为植株密度/(株 $\cdot hm^{-2}$); V 为单位面积蓄积量/($m^3 \cdot hm^{-2}$)。

2.2 碳储量估算

碳储量由生物量乘以含碳率计算得出。多数学者采用 0.50 作为所有林分类型的平均含碳率,也有部分学者采用 0.45。我国常见植物

含碳率为 0.3979~0.5506,采用固定的含碳率会产生系统误差。本研究采用范春楠^[7]实际测定的吉林省不同林分类型的含碳率(见表 3),计算得出较准确的碳储量。

表 3 大岗子林场主要林分类型含碳率

Tab. 3 Carbon content rate of the main stand types in Dagangzi Forest Farm

林分类型	含碳率 %	林分类型	含碳率 %	林分类型	含碳率 %
人工落叶松林	50.82	人工杨树林	47.61	针阔混交林	49.51
人工红松林	52.97	蒙古栎林	48.46	针叶混交林	51.08
人工樟子松林	50.77	阔叶混交林	47.60	其他	48.92

2.3 影响因素分级

森林生物量和碳储量受气候、地形、人为干扰等因素的影响^[8],实际中可以简单认为海拔越高、坡度越陡、坡位越高受到的人为干扰越少。本研究分别计算了不同林龄、海拔、坡度、坡位条件下的生物量及碳储量,以探究二者的分布规律。林龄分为幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林共 5 类,海拔分为 <300 m、

[300, 400) m、[400, 500) m、 ≥ 500 m 共 4 级,坡度分为 <5°、[5, 15)°、[15, 25)°、 $\geq 25^\circ$ 共 4 级,坡位分为平地、下坡、中坡、上坡、全坡共 5 类。

3 结果与分析

3.1 不同林分类型生物量和碳储量

研究表明,大岗子林场乔木林地总生

物量为 1.17×10^6 t, 总碳储量为 0.57×10^6 t (见表 4)。蒙古栎林的总生物量和总碳储量最大, 分别为 0.51×10^6 t 和 0.25×10^6 t; 人工杨树林总生物量和总碳储量最小, 分别为 3 351.1 t 和 1 595.4 t。天然林总生物量为 0.96×10^6 t、总碳储量为 0.46×10^6 t, 人工林总生物量为 0.21×10^6 t、总碳储量为 0.11×10^6 t, 天然林约

为人工林的 4 倍。人工樟子松林生物量密度最大, 其次为蒙古栎林, 人工红松林最小。这可能是由于大岗子林场的人工樟子松林多为成熟林, 而人工红松林多为幼龄林。对于各器官生物量密度, 各林分类型总体呈树干 > 树根 > 树枝 > 树叶的趋势, 仅有蒙古栎林为树干 > 树枝 > 树根 > 树叶。

表 4 大岗子林场主要林分类型生物量及碳储量

Tab. 4 Biomass and carbon storage of the main stand types in Dagangzi Forest Farm

林分类型	各器官生物量密度/(t · hm ⁻²)				总生物量/t	总碳储量/t
	树根	树干	树枝	树叶		
人工落叶松林	21.1±12.1	69.9±40.0	8.5±4.2	2.2±1.1	180 284.7	91 620.7
人工红松林	(11.2, 14.4)	(26.5, 35.8)	(5.9, 8.2)	(3.9, 4.4)	11 345.2	6 009.5
人工樟子松林	28.3±7.9	123.5±41.3	18.1±6.3	9.1±2.6	13 783.6	6 997.9
人工杨树林	15.2±7.2	39.8±18.6	9.8±4.9	2.6±1.2	3 351.1	1 595.4
蒙古栎林	27.8±11.9	84.7±36.8	37.5±17.8	3.7±1.6	508 510.1	246 424.0
阔叶混交林	20.7±8.1	66.4±27.3	16.3±7.3	2.8±1.0	371 709.6	176 933.8
针阔混交林	18.6±12.4	52.4±34.8	9.9±6.8	2.6±1.4	53 689.4	26 581.6
针叶混交林	20.7±16.9	51.7±40.3	8.4±6.3	3.2±2.6	11 095.5	5 667.6
其他	14.6±10.2	46.1±33.8	11.0±8.8	2.0±1.3	11 380.5	5 567.3

3.2 不同林龄生物量和碳储量

各龄组统计结果表明, 大岗子林场近熟林总生物量和总碳储量最大, 分别为 0.81×10^6 t 和 0.39×10^6 t, 总体呈近熟林 > 成熟林 > 中龄林 > 幼龄林 > 过熟林 (见表 5)。生物量密度总

体表现为随着林龄的增加而增加, 符合实际情况, 而过熟林小于成熟林主要是由于样本量过小, 不具有统计意义。各器官生物量密度大致表现为随着林龄的增加而增加, 但树叶的生物量密度在各龄组间变化不大。

表 5 大岗子林场各龄组生物量及碳储量

Tab. 5 Biomass and carbon storage of different age groups in Dagaizi Forest Farm

龄组	各器官生物量密度/(t · hm ⁻²)				总生物量/t	总碳储量/t
	树根	树干	树枝	树叶		
幼龄林	(5.0, 6.0)	(14.3, 17.2)	(2.7, 3.2)	(1.3, 1.8)	27 751.7	13 911.5
中龄林	19.3±8.6	59.4±24.0	11.6±7.0	2.8±2.1	106 804.7	52 338.9
近熟林	27.9±6.5	88.3±18.9	23.0±14.0	3.6±1.6	810 570.8	392 761.4
成熟林	31.3±7.0	103.4±28.3	18.6±13.5	4.0±2.2	219 963.4	108 357.9
过熟林	23.2±2.9	61.4±7.2	15.6±1.5	3.9±0.5	59.1	28.1

3.3 地形对生物量及碳储量的影响

地形因素对生物量及碳储量的影响如表 6 所示。海拔为 [300, 400) m 时, 总生物量和总碳储量最大, 分别为 0.55×10^6 t 和 0.27×10^6 t。各器官生物量密度均随着海拔的升高而增大。当坡度为 [15, 25)° 时, 总生物量和总碳储量最

大, 分别为 0.72×10^6 t 和 0.35×10^6 t。各器官生物量密度随着坡度的增加而增加, 与海拔呈现相同的趋势。当坡位为中坡和上坡时, 总生物量和总碳储量相差不大, 均占总量的 40% 左右。各器官生物量密度随坡位的变化没有表现出明显的趋势。

表 6 大岗子林场不同地形因素下生物量及碳储量

Tab. 6 Biomass and carbon storage of different terrain factors in Dagangzi Forest Farm

地形因子	分级	各器官生物量密度/(t·hm ⁻²)				总生物量/t	总碳储量/t
		树根	树干	树枝	树叶		
海拔	<300 m	19.1±12.1	60.1±38.9	12.4±11.6	2.6±2.1	263 687.9	128 944.6
	[300, 400) m	20.7±12.4	65.5±41.5	14.3±13.7	2.9±2.2	554 922.7	270 536.4
	[400, 500) m	24.0±11.7	75.3±37.3	19.4±15.1	3.4±2.0	303 689.7	147 259.9
	≥500 m	27.4±8.6	85.6±26.5	26.8±16.5	3.5±1.2	42 849.4	20 656.9
坡度	<5°	15.2±11.3	47.6±36.9	8.2±6.4	1.9±1.3	5 429.7	2 615.5
	[5, 15)°	19.9±12.3	63.6±41.6	11.5±9.8	2.8±2.3	410 827.9	201 732.4
	[15, 25)°	21.9±12.1	68.5±38.3	18.3±16.3	3.0±1.9	722 047.7	350 098.9
	≥25°	24.7±11.2	76.5±34.6	26.8±18.2	3.4±1.5	26 844.4	12 951.0
坡位	平地	(9.7, 11.0)	(31.1, 39.0)	(5.6, 7.0)	(1.9, 2.6)	182.0	91.1
	下坡	20.0±11.8	64.7±40.6	10.9±8.6	2.8±2.2	201 465.1	99 056.6
	中坡	19.6±12.4	61.7±40.2	13.2±12.3	2.7±2.0	433 272.9	210 181.4
	上坡	23.4±12.2	72.4±38.4	21.4±17.6	3.4±2.3	437 715.9	212 883.4
	全坡	25.2±11.3	79.6±36.7	21.7±17.2	3.3±1.2	92 513.8	45 185.3

4 结论与讨论

本研究得出,大岗子林场乔木林地总生物量为 1.17×10^6 t,总碳储量为 0.57×10^6 t,平均碳密度为 $65.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。蒙古栎林生物量及碳储量最大,人工杨树林最小,天然林生物量和碳储量约为人工林的 4 倍。不同林龄生物量和碳储量为近熟林>成熟林>中龄林>幼龄林>过熟林,近熟林达 69%,成熟林为 19%,过熟林不足 1%,整体林分结构合理,处于向成过熟林正向演替的阶段,经营效果明显。

本研究中生物量密度与林分年龄总体呈正相关,这与胡海清等^[9]的研究结果一致。但树枝在成熟林时低于近熟林,这可能是因为区域内成熟林大部分为人工落叶松,而近熟林大多为树枝粗大的蒙古栎,从而“拉高”了近熟林的树枝生物量密度。另外,树叶在各龄组间变化不大,可以简单认为随着林龄增加树叶不会明显“变大”,符合所调查林木的生物学特性。

地形因素对大岗子林场生物量和碳储量的影响十分明显。各器官生物量密度均与海拔、坡度呈正相关,符合实际情况。在低海拔、坡度小的区域,多为林分密度较小的阔叶混交林,生

物量密度较小。随着海拔升高、坡度增加,多为林分密度较大的蒙古栎纯林,生物量密度较高。各器官生物量密度随坡位的变化未表现出明显的趋势。

本研究生物量测算采用的是董利虎建立的长白山林区生物量换算系数连续函数模型,其研究区域位于吉林省东部,而大岗子林场位于吉林省中心区域,在地理位置上存在一定距离,可能导致生物量和碳储量估算与实际存在一定误差。二类调查是较为粗放的调查方式,为提高生物量和碳储量估算的准确性,可在条件允许下增加样地调查,进行每木检尺,选取标准木并全株挖取后测量胸径、树高等林木因子,建立其与各组分生物量的异速生长方程,进而推算林分各分组的生物量和碳储量,对仅通过调绘方法估算的结果进行校正^[10]。还可增加对灌木层、草本层、枯落物层、地下层的调查,进一步提高生物量和碳储量估算的准确性。

参考文献

- [1]董利虎. 东北林区主要树种及林分类型生物量模型研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015: 123-127.

[2] 邹文涛, 曾伟生. 森林生物量和碳储量估算研究进展[J]. 世界林业研究, 2025, 38(2): 32-38.

[3] 彭妮, 董利虎, 李凤日. 基于可加性生物量模型的大兴安岭东部主要林型森林植被碳储量及其分配[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3749-3758.

[4] 李欣然. 基于高分影像与 LiDAR 数据的福建省漳州市森林碳储量估测[D]. 南京: 南京林业大学, 2025: 38-47.

[5] 崔传洋. 基于二类调查数据的县级森林碳储量及碳密度测算——以山东省泗水县为例[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016: 6-7.

[6] Fang J Y, Wang G G, Liu G H, et al. Forest biomass of China: an estimate based on the biomass-volume relationship [J]. *Ecological Applications*, 1998,

8(4): 1084-1091.

[7] 范春楠. 吉林省森林植被碳估算及其分布特征[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014: 66.

[8] 黄韵宁. 应用二类调查数据对塔林林场森林碳储量的估算[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(5): 12-16, 37.

[9] 胡海清, 罗碧珍, 魏书精, 等. 大兴安岭 5 种典型林型森林生物碳储量[J]. 生态学报, 2015, 35(17): 5745-5760.

[10] 何怀江. 采伐干扰对吉林蛟河针阔混交林碳储量和碳平衡的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2018: 17-49.

(本篇专家编审:何怀江)

(上接第 11 页) 本研究中, 106 柳、349 柳、208 柳、180 柳综纤维素含量显著高于对照 109 柳, 较对照分别高 11.37%、11.26%、10.32% 和 10.24%, 高于李景涛等^[13] 研究报道的 22 个柳树无性系, 化学利用价值稳定, 可作为优质工业制浆用材。

本研究对 5 个柳树无性系与对照 109 柳的材性进行了系统分析, 综合各项材性指标, 349 柳、106 柳、180 柳在木材密度、气干干缩率、纤维形态及综纤维素含量方面表现突出, 在尺寸稳定性、纤维性能与材料强度之间实现了更优的平衡, 符合优良树种的性能定位, 可作为优良无性系在工业原料林营建中推广应用。本研究为柳树优良无性系的定向培育、良种推广及工业原料林营建提供了重要的科学依据, 后续研究可进一步结合木材力学性能、木质素含量等指标开展更全面的材性评价, 并探究材性性状与环境因子的相关性, 同时扩大试验区域与样本量, 为柳树资源的高效利用与良种选育提供更坚实的理论支撑。

参考文献

[1] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第二十卷第二分册[M]. 北京: 科学出版社, 1984.

[2] 许军, 杜俊婕, 张磊, 等. 长白落叶松生长与材性分析及优良无性系选择[J]. 森林工程, 2025, 41(6): 1182-1192.

[3] GB/T 1927.5—2021 无疵小试样木材物理力学性

质试验方法 第 5 部分: 密度测定[S].

[4] GB/T 1927.6—2021 无疵小试样木材物理力学性质试验方法 第 6 部分: 干缩性测定[S].

[5] 郭东强, 叶露, 周维, 等. 2 个种源邓恩桉木材纤维特性及变异[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(4): 502-507.

[6] GB/T 2677.10—1995 造纸原料综纤维素含量的测定[S].

[7] 窦延光, 吕凯良, 赵泾峰, 等. 秦黑杨新品种木材纤维形态及其材性研究[J]. 西北林学院学报, 2023, 38(6): 276-281.

[8] 甘春雁, 吕曼芳, 李昌荣, 等. 不同树龄尾巨桉无性系人工林木材纤维形态变异分析[J]. 广西林业科学, 2020, 49(2): 270-275.

[9] Monteoliva S, Senisterra G, Marlats R. Variation of wood density and fibre length in six willow clones (*Salix* spp.)[J]. *IAWA Journal*, 2005, 26(2): 197-202.

[10] 国增超, 侯静, 郭炜, 等. 簸箕柳材性性状株内纵向变异的趋势分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(5): 149-152.

[11] 邱坚, 闭梅松, 伍建玲, 等. 巨桉人工林木材纤维形态特征及其变异[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(1): 67-68.

[12] 黄江涛, 徐峻, 李军, 等. 不同树龄湿加松原料特性及其制浆性能研究[J]. 中国造纸, 2023, 42(1): 44-50.

[13] 李景涛, 段春玲, 周继磊, 等. 柳树无性系材性分析[J]. 山东林业科技, 2017, 47(1): 33-36.

(本篇专家编审:陈建军)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.03.004

文章编号:1005-7129(2026)03-0018-08

中图分类号:S763

文献标识码:A

不同助剂对生物源农药防治春尺蠖的增效作用

刘芮彤, 高桂珍

(新疆农业大学林学与风景园林学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:为明确激健、阿法通、杰效利 3 种助剂对生物源农药防治春尺蠖的增效作用,采用浸叶法测定了 5 种生物源农药对春尺蠖 2 龄幼虫的室内毒力,并将毒力较高的 6 % 乙基多杀菌素和 1.5 % 除虫菊素分别与 3 种助剂按不同体积比混配,测定混剂毒力、药液物理性质及田间防效。室内毒力测定结果表明,6 % 乙基多杀菌素和 1.5 % 除虫菊素与杰效利配比为 7 : 3 时增效作用最强,增效比分别为 1.37 和 1.44。物理性质测定表明,杰效利对药液在胡杨叶面的铺展直径具有一定的提升作用。田间试验结果表明,有效成分浓度为 $4.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、6 % 乙基多杀菌素与杰效利配比为 7 : 3 时施药后 7 d 的防效为 97.67 %,与有效成分浓度为 $12.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的单剂处理相当;有效成分浓度为 $2.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、1.5 % 除虫菊素与杰效利配比为 7 : 3 时施药后 7 d 防效为 89.54 %,显著高于同浓度单剂处理。合理添加杰效利可显著提升生物源农药对春尺蠖的防治效果。

关键词:春尺蠖;生物源农药;助剂;增效;防效

Synergistic Effects of Different Adjuvants on Bio-based Pesticides for Controlling *Apocheima cinerarius*

LIU Ruitong, GAO Guizhen

(College of Forestry and Landscape Architecture of Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to clarify the synergistic effects of three adjuvants, Jijian, Afatong, and Jiexiao, on bio-based pesticides for controlling *Apocheima cinerarius*, the indoor toxicities of five bio-based pesticides against second-instar larvae of *A. cinerarius* were determined using the leaf-dip method. The 6 % spinetoram and 1.5 % pyrethrins with high toxicity were mixed with the three adjuvants at different volume ratios to evaluate the toxicity of the mixtures, the physical properties of the spray solutions, and the field efficacy. The indoor toxicity results showed that the strongest synergistic effects with synergistic ratios of 1.37 and 1.44 were obtained when 6 % spinetoram and 1.5 % pyrethrins were mixed with Jiexiao at the ratio of 7 : 3. The physical property tests showed that Jiexiao increased the spreading diameter of the spray solutions on *Populus euphratica* leaves. Field trials showed that when 6 % spinetoram with the active ingredient concentration of $4.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ was mixed with Jiexiao at the ratio of 7 : 3, control efficacy on 7th day after treatment was 97.67 % that was comparable to the single pesticide with the active ingredient concentration of $12.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. When 1.5 % pyrethrins with the active ingredient concentration of $2.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ was mixed with Jiexiao at the ratio of 7 : 3, the control efficacy on 7th day after treatment was 89.54 % that was significantly higher than that of the single pesticide treatment with the same active ingredient concentration. These results indicated that the appropriate addition of Jiexiao could significantly improve the control efficacy of bio-based pesticides against *A. cinerarius*.

Keywords: *Apocheima cinerarius*; bio-based pesticide; adjuvant; synergistic effect; control efficacy

收稿日期:2026-03-09

基金项目:新疆维吾尔自治区天山英才计划

第一作者:刘芮彤(2001—),女,在读硕士研究生,研究方向为林业有害生物防治,E-mail:2280755379@qq.com。

通信作者:高桂珍(1984—),女,教授,博士研究生,研究方向为昆虫生态学,E-mail:gaogz@xjau.edu.cn。

春尺蠖 (*Apocheima cinerarius*) 属鳞翅目 (Lepidoptera) 尺蛾科 (Geometridae), 主要分布于黑龙江、新疆、河北和内蒙古等地, 对当地林业构成了严重威胁^[1-3]。春尺蠖幼虫暴发时, 化学防治能快速有效地控制其种群数量, 早期防治常使用 3 % 高效氯氰菊酯^[4], 但高效氯氰菊酯危害水生动物, 严重时致其死亡^[5]。近年来, 生物源农药因来源天然、环境相容性好、对非靶标生物安全性较高等优势逐渐成为林业害虫绿色防控的重要手段。春尺蠖核型多角体病毒对于防治春尺蠖有很好的效果^[6], 但其杀虫速度较慢、成本较高等缺点限制了其广泛应用^[7]。乙基多杀菌素、除虫菊素、鱼藤酮等生物源农药在多种鳞翅目害虫防治中有较好的防治效果^[8-10], 但此类药剂普遍存在持效期较短、有效成分易降解的问题, 在实际防治中往往需要提高药剂浓度或施药频率才能达到理想的防治效果。添加适宜的助剂能够改善药液的湿润、展布和渗透性能, 从而提高防效^[11]。因此, 在保证生态安全的同时, 如何提升生物源农药的防治效率成为当前春尺蠖绿色防控研究的关键问题。本研究通过室内毒力测定、物理性质测定及田间防效试验, 探究 3 种助剂与生物源农药复配后对春尺蠖幼虫防治的增效作用, 从而为春尺蠖科学防治提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

春尺蠖卵 2025 年 3 月采于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州尉犁县的胡杨 (*Populus euphratica*) 树皮缝内, 将其带回实验室, 放入保湿后的培养盒 (7.2 cm × 2.1 cm × 6.5 cm), 置于温度 26 °C ± 1 °C、相对湿度 65 % ± 5 %、光周期 L : D = 16 : 8 的人工气候箱 (RXZ-280B, 宁波江南仪器厂) 中进行孵化。待其孵化后用新鲜的胡杨叶片进行饲养, 选用 2 龄幼虫进行试验。

1.2 供试药剂

生物源农药为 6 % 鱼藤酮微乳剂 (山西德威本草生物科技有限公司)、0.6 % 烟碱·苦参碱乳油 (河南省安阳市五星农药厂)、0.3 % 印楝素可溶液剂 (内蒙古清源保生物科技有限公司)、6 % 乙基多杀菌素悬浮剂 (科迪华农业科技有限责任公司)、1.5 % 除虫菊素水乳剂 (内

蒙古清源保生物科技有限公司), 助剂为激健 (四川蜀峰化工有限公司)、阿法通 (河北明顺农业科技有限公司)、杰效利 (迈图高新材料有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 室内毒力测定

采用浸叶法进行毒力测定。单剂毒力测定中, 5 种生物源农药分别设置 5 个质量浓度梯度; 混剂毒力测定中, 将单剂毒力测定中毒力较高的药剂分别与 3 种助剂按 1 : 9、3 : 7、5 : 5、7 : 3 和 9 : 1 体积比进行混配, 每种混剂同样设置 5 个质量浓度梯度。以清水处理为对照, 各处理每次 30 头幼虫, 3 次重复。将新鲜胡杨叶片浸入配制好的药液中 5 s, 取出后自然晾干。选取相同日龄的春尺蠖 2 龄幼虫置于养虫盒内饥饿处理 4 h, 将处理后的叶片放入养虫盒中, 供试幼虫自由取食, 统计死亡幼虫数量, 计算幼虫死亡率 (死亡幼虫数量占初始幼虫数量的百分比) 和校正死亡率 $D(\%)$, $D = 100 \times (D_1 - D_0) / (1 - D_0)$ 。式中: D_1 为处理区幼虫死亡率%; D_0 为对照区幼虫死亡率%。选取 48 h 校正死亡率数据进行 Probit 回归分析, 计算各药剂致死中浓度 (LC_{50}) 及其 95 % 置信区间, 并计算混剂增效比 Z , $Z = A_1 / (A_2 \times P)$ 。式中: A_1 为单剂 $LC_{50} / (mg \cdot L^{-1})$; A_2 为混剂 $LC_{50} / (mg \cdot L^{-1})$; P 为单剂占比。

1.3.2 物理性质测定

将单剂毒力测定中毒力较高的生物源农药配制成有效成分浓度适宜的药剂, 再与 3 种助剂按增效比最高的配比进行混配, 以单剂为对照。用微量移液枪吸取 2 μ L 药剂滴加于胡杨叶片表面, 待液滴扩展面积不再变化后, 采用十字交叉法用游标卡尺测量液滴直径, 记录液滴由扩展稳定至完全干燥所需时间。称取完整胡杨叶片初始质量 $W(g)$, 再用镊子夹持叶片垂直浸入药液 10 s, 提出后垂直悬置, 待叶片表面无液滴继续流下时称取质量 $W_1(g)$, 测定叶面积 $S (cm^2)$, 计算叶片最大持留量 $R(mg \cdot cm^{-2})$, $R = 1000 \times (W_1 - W) / 2S$ 。各处理均设 3 次重复。

1.3.3 田间防效试验

依据室内毒力测定结果, 选取增效作用较明显的混剂配比设置 3 个有效成分浓度开展田间防效试验。以 2 年生、长势一致的胡杨为试

材,并设置单剂处理和清水对照。采用喷雾法施药,单株施药量约 300 mL,以叶片均匀着药且药液不滴落为准。每个处理重复 3 次,施药后 1 d、3 d 和 7 d 调查虫口数量,计算虫口减退率 $T(\%)$ 和防效 $E(\%)$ 。 $T = 100 \times (N_0 - N_1)/N_0$ 。式中: N_0 为施药前虫口基数/头; N_1 为施药后残存虫数量/头。 $E = 100 \times (T_1 - T_0)/(1 - T_0)$ 。式中: T_1 为处理区虫口减退率/%; T_0 为对照区虫口减退率/%。

1.4 数据处理与分析

试验数据使用 Excel 2019 和 SPSS 27.0 软件进行统计处理,计算回归方程的斜率、 LC_{50} 及 95 % 置信区间,使用单因素方差分析进行组

间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 生物源农药对春尺蠖的室内毒力测定

5 种供试药剂对春尺蠖 2 龄幼虫的毒力存在明显差异, LC_{50} 为 6 % 乙基多杀菌素 < 1.5 % 除虫菊素 < 6 % 鱼藤酮 < 0.6 % 烟碱·苦参碱 < 0.3 % 印楝素(见表 1)。6 % 乙基多杀菌素和 1.5 % 除虫菊素在较低剂量下即可对春尺蠖 2 龄幼虫产生较强毒杀作用,因此选取二者作为后续与助剂混配进行减量增效试验的供试药剂。

表 1 生物源农药单剂对春尺蠖幼虫的室内毒力

Tab. 1 Indoor toxicity of single bio-based pesticide against *A. cinerarius* larvae

药剂	毒力回归方程	卡方值	$LC_{50}/(mg \cdot L^{-1})$	95 % 置信区间/ $(mg \cdot L^{-1})$
6 % 鱼藤酮	$y = -6.337 + 3.513lgx$	1.02	63.66	54.90~74.78
0.6 % 烟碱·苦参碱	$y = -2.798 + 1.273lgx$	1.66	157.64	103.20~354.66
0.3 % 印楝素	$y = -2.460 + 0.921lgx$	0.50	470.56	154.70~115150.49
6 % 乙基多杀菌素	$y = -0.328 + 1.660lgx$	0.13	1.58	0.70~2.18
1.5 % 除虫菊素	$y = -1.295 + 3.779lgx$	1.18	2.20	1.65~2.65

注: y 为春尺蠖幼虫 48 h 校正死亡率/%; x 为药剂质量浓度/ $(mg \cdot L^{-1})$ 。下同。

2.2 不同助剂对生物源农药室内毒力的影响

6 % 乙基多杀菌素与 3 种助剂混配后,对毒力的增效作用因助剂种类和配比不同而存在差异(见表 2)。6 % 乙基多杀菌素+激健配比为 7:3 时增效作用最强,增效比为 1.34;6 %

乙基多杀菌素+阿法通配比为 9:1 时增效作用最强,增效比为 1.24;6 % 乙基多杀菌素+杰效利配比为 7:3 时增效作用最强,增效比为 1.37。不同助剂的适宜配比不同,6 % 乙基多杀菌素与杰效利配比为 7:3 时增效最明显。

表 2 3 种助剂与 6 % 乙基多杀菌素混配对照春尺蠖幼虫的室内毒力

Tab. 2 Indoor toxicity of 6 % spinetoram mixed with three adjuvants against *A. cinerarius* larvae

药剂	毒力回归方程	卡方值	$LC_{50}/(mg \cdot L^{-1})$	95 % 置信区间/ $(mg \cdot L^{-1})$	增效比
6 % 乙基多杀菌素+激健	1:9 $y = -1.964 + 1.589lgx$	1.50	17.22	12.04~34.12	0.92
	3:7 $y = -1.339 + 1.920lgx$	0.38	4.98	3.53~6.47	1.06
	5:5 $y = -0.909 + 2.265lgx$	0.12	2.52	1.53~3.22	1.25
	7:3 $y = -0.352 + 1.551lgx$	0.44	1.69	0.88~2.38	1.34
	9:1 $y = -0.283 + 1.695lgx$	1.62	1.47	0.76~2.07	1.19
6 % 乙基多杀菌素+阿法通	1:9 $y = -2.089 + 1.672lgx$	2.69	17.76	12.55~34.08	0.89
	3:7 $y = -1.284 + 1.849lgx$	0.72	4.94	3.44~6.47	1.06
	5:5 $y = -0.990 + 2.366lgx$	0.30	2.62	1.69~3.30	1.20
	7:3 $y = -0.654 + 2.031lgx$	1.76	2.10	1.46~2.71	1.07
	9:1 $y = -0.302 + 2.026lgx$	2.59	1.41	0.80~1.91	1.24

表 2(续)

药剂	毒力回归方程	卡方值	LC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)	95%置信区间/(mg·L ⁻¹)	增效比
1:9	$y = -1.860 + 1.614gx$	2.91	14.21	10.26~24.91	1.11
6%乙基多杀菌素+杰效利					
3:7	$y = -1.451 + 1.854gx$	2.14	6.06	4.45~7.97	0.87
5:5	$y = -1.278 + 2.872gx$	0.02	2.79	2.04~3.36	1.13
7:3	$y = -0.408 + 1.875gx$	0.87	1.65	0.99~2.22	1.37
9:1	$y = -0.233 + 2.046gx$	2.05	1.30	0.70~1.78	1.35

1.5%除虫菊素与3种助剂混配后,对毒力的增效作用因助剂种类和配比不同而存在差异(见表3)。1.5%除虫菊素+激健配比为9:1时增效作用最强,增效比为1.34;1.5%除虫菊素+阿法通配比为9:1时增效作用最强,增

效比为1.30;1.5%除虫菊素+杰效利配比为7:3时增效作用最强,增效比为1.44。总体看,1.5%除虫菊素与杰效利配比为7:3时增效最明显。

表 3 3种助剂与1.5%除虫菊素混配对春尺蠖幼虫的室内毒力

Tab.3 Indoor toxicity of 1.5% pyrethrins mixed with three adjuvants against *A. cinerarius* larvae

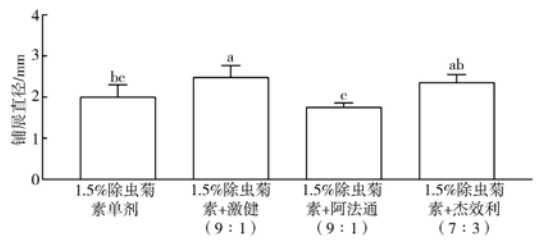
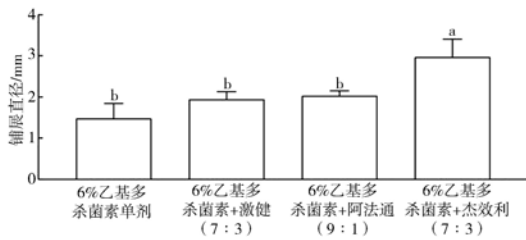
药剂	毒力回归方程	卡方值	LC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)	95%置信区间/(mg·L ⁻¹)	增效比
1.5%除虫菊素+激健					
1:9	$y = -2.439 + 1.760gx$	1.02	24.29	18.13~34.33	0.91
3:7	$y = -1.827 + 2.160gx$	2.15	7.02	5.56~9.44	1.05
5:5	$y = -1.463 + 2.483gx$	2.52	3.88	3.02~4.78	1.13
7:3	$y = -2.385 + 5.913gx$	1.39	2.53	2.31~2.77	1.24
9:1	$y = -1.269 + 4.856gx$	2.82	1.83	1.43~2.07	1.34
1.5%除虫菊素+阿法通					
1:9	$y = -2.546 + 1.795gx$	0.87	26.19	19.62~37.33	0.84
3:7	$y = -1.897 + 2.082gx$	3.12	8.15	6.37~11.50	0.90
5:5	$y = -1.378 + 2.158gx$	4.68	4.35	3.32~5.50	1.01
7:3	$y = -1.983 + 4.880gx$	0.52	2.55	2.28~2.84	1.23
9:1	$y = -1.746 + 6.342gx$	0.69	1.89	1.60~2.07	1.30
1.5%除虫菊素+杰效利					
1:9	$y = -2.235 + 1.591gx$	0.33	25.40	18.48~37.87	0.87
3:7	$y = -1.632 + 2.065gx$	1.02	6.17	4.84~8.22	1.19
5:5	$y = -2.048 + 3.812gx$	1.44	3.45	3.00~3.99	1.28
7:3	$y = -1.607 + 4.748gx$	0.52	2.18	1.875~2.424	1.44
9:1	$y = -1.565 + 5.819gx$	1.25	1.86	1.538~2.062	1.32

2.3 添加助剂对生物源农药物理性质的影响

将6%乙基多杀菌素和1.5%除虫菊素配制有效成分浓度为6.00 mg·L⁻¹和4.17 mg·L⁻¹的药剂,再与3种助剂按增效比最高的配比进行混配。

添加助剂对2种药剂铺展直径的影响如图1所示,不同助剂差异显著($P < 0.05$)。6%乙基多杀菌素单剂铺展直径为1.48 mm;6%乙基多杀菌素+激健(7:3)和6%乙基多杀菌素+阿法通(9:1)铺展直径分别为1.94 mm和

2.03 mm,与单剂差异不显著;6%乙基多杀菌素+杰效利(7:3)铺展直径为2.97 mm,显著高于单剂及其他两种混剂。1.5%除虫菊素单剂铺展直径为2.00 mm;1.5%除虫菊素+激健(9:1)铺展直径为2.48 mm,显著高于单剂;1.5%除虫菊素+杰效利(7:3)铺展直径为2.36 mm,与单剂及1.5%除虫菊素+激健(9:1)差异不显著;1.5%除虫菊素+阿法通(9:1)铺展直径为1.76 mm,低于单剂,显著低于其他两种混剂。



注:不同小写字母表示各处理间差异显著($P < 0.05$),下同。

图1 不同助剂最佳混配比例对6%乙基多杀菌素和1.5%除虫菊素铺展直径的影响

Fig. 1 Effects of different adjuvants at optimal mixing ratios on spreading diameter of 6% spinetoram and 1.5% pyrethrins

添加助剂对2种药剂干燥时间的影响如图2所示,不同助剂差异显著($P < 0.05$)。6%乙基多杀菌素单剂干燥时间为14.82 min;6%乙基多杀菌素+杰效利(7:3)和6%乙基多杀菌素+激健(7:3)干燥时间分别为25.62 min和22.46 min,显著高于单剂;6%乙基多杀菌素+阿法通(9:1)干燥时间为15.84 min,与单剂

差异不显著。1.5%除虫菊素单剂干燥时间为16.18 min;1.5%除虫菊素+阿法通(9:1)和1.5%除虫菊素+激健(9:1)干燥时间分别为35.79 min和22.08 min,显著高于单剂;1.5%除虫菊素+杰效利(7:3)干燥时间为13.48 min,与单剂差异不显著。

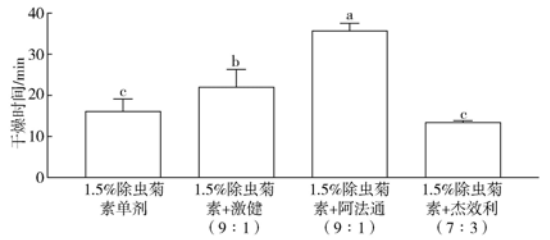
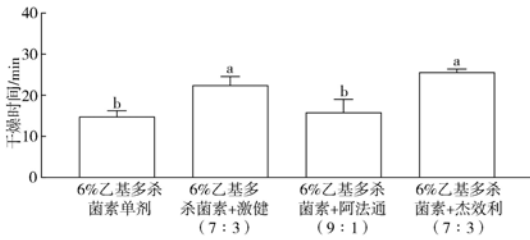


图2 不同助剂最佳混配比例对6%乙基多杀菌素和1.5%除虫菊素干燥时间的影响

Fig. 2 Effects of different adjuvants at optimal mixing ratios on drying time of 6% spinetoram and 1.5% pyrethrins

添加不同助剂对2种药剂持留量的影响如图3所示。6%乙基多杀菌素单剂持留量为 $1.94 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$;与激健、阿法通、杰效利混配后持留量分别为 $1.97 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、 $2.21 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 和 $2.24 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$,与单剂差异不显著($P >$

0.05)。1.5%除虫菊素单剂持留量为 $2.91 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$,与3种助剂混配后持留量均显著降低($P < 0.05$),分别下降至 $1.18 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、 $1.72 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 和 $1.76 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

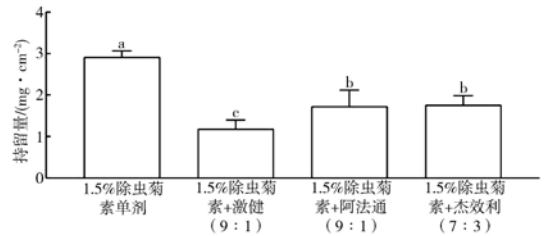
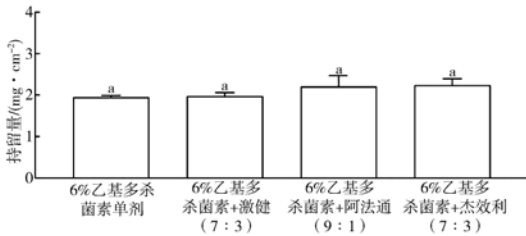


图3 不同助剂最佳混配比例对6%乙基多杀菌素和1.5%除虫菊素持留量的影响

Fig. 3 Effects of different adjuvants at optimal mixing ratios on retention of 6% spinetoram and 1.5% pyrethrins

2.4 助剂对生物源农药田间防效的影响

6%乙基多杀菌素单剂、6%乙基多杀菌素+激健(7:3)、6%乙基多杀菌素+阿法通(9:1)和6%乙基多杀菌素+杰效利(7:3)分别开展田间防效试验,各处理组的防效均随有效成分浓度的增加和施药时间的延长而升高(见表4)。有效成分浓度为 $4.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,6%乙基多杀菌

素单剂施药后1 d防效仅为51.69%,显著低于同浓度下添加助剂的处理组($P < 0.05$),混剂防效为6%乙基多杀菌素+杰效利(7:3) $>$ 6%乙基多杀菌素+激健(7:3) $>$ 6%乙基多杀菌素+阿法通(9:1)。其中,6%乙基多杀菌素+杰效利(7:3)施药后1 d防效达到76.40%,表现出良好的速效性;施药后7 d防效达到

97.67%,与有效成分浓度为 12.00 mg · L⁻¹ 的 6%乙基多杀菌素单剂防效相当,表明在低剂

表 4 3种助剂与 6%乙基多杀菌素混配对春尺蠖幼虫的田间防效

Tab.4 Field efficacy of 6% spinetoram mixed with three adjuvants against *A. cinerarius* larvae

药剂	有效成分浓度/ (mg · L ⁻¹)	施药后 1 d		施药后 3 d		施药后 7 d	
		虫口减退率/%	防效/%	虫口减退率/%	防效/%	虫口减退率/%	防效/%
6%乙基多 杀菌素+激 健(7:3)	4.00	70.00±5.09 ef	69.66±5.15 ef	84.44±2.22 d	83.91±2.30 d	93.33±3.85 bc	93.02±4.03 bc
	6.00	82.22±4.01 cd	82.02±4.05 cd	95.56±2.94 ab	95.40±3.04 ab	98.89±1.11 ab	98.84±1.16 ab
	12.00	91.11±1.11 ab	91.01±1.12 ab	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
6%乙基多 杀菌素+阿 法通(9:1)	4.00	67.78±4.84 f	67.42±4.90 f	76.67±3.85 e	75.86±3.98 e	85.56±4.84 d	84.88±5.07 d
	6.00	83.33±5.09 bcd	83.15±5.15 bcd	92.22±1.11 bc	91.95±1.15 bc	97.78±2.22 ab	97.67±2.33 ab
	12.00	87.78±2.94 abc	87.64±2.97 abc	97.78±1.11 a	97.70±1.15 a	98.89±1.11 ab	98.84±1.16 ab
6%乙基多 杀菌素+杰 效利(7:3)	4.00	76.67±3.33 de	76.40±3.37 de	90.00±1.92 c	89.66±1.99 c	97.78±1.11 ab	97.67±1.16 ab
	6.00	86.67±1.92 abc	86.52±1.95 abc	97.78±1.11 a	97.70±1.15 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
	12.00	94.44±1.11 a	94.38±1.12 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
6%乙基 多杀菌素	4.00	52.22±1.11 g	51.69±1.12 g	61.11±1.11 f	59.77±1.15 f	87.78±4.01 cd	87.21±4.19 cd
	6.00	65.56±2.94 f	65.17±2.97 f	83.33±1.92 d	82.76±1.99 d	88.89±2.94 cd	88.37±3.08 cd
	12.00	81.11±2.22 cd	80.90±2.25 cd	95.56±1.11 ab	95.40±1.15 ab	97.78±2.22 ab	97.67±2.33 ab
CK		1.11±1.11 h		3.33±1.92 g		4.44±1.11 e	

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示数据经 Duncan 氏新复极差法检验在 P < 0.05 水平差异显著。下同。

1.5%除虫菊素分别与激健(9:1)、阿法通(9:1)和杰效利(7:3)混配开展田间防效试验,各处理组的防效均随有效成分浓度的增加和施药时间的延长而升高(见表5)。有效成分浓度为 2.08 mg · L⁻¹ 时,1.5%除虫菊素单剂毒力较弱,施药后 1 d 和 7 d 防效仅为 35.96%

和 76.75%,低于同浓度下添加助剂的处理组,1.5%除虫菊素+杰效利(7:3)施药后 7 d 防效为 89.54%,显著高于其他混剂(P < 0.05)。有效成分浓度为 8.33 mg · L⁻¹ 时,各混剂与单剂施药后 7 d 防效均超过 96%。

表 5 3种助剂与 1.5%除虫菊素混配对春尺蠖幼虫的田间防效

Tab.5 Field efficacy of 1.5% pyrethrins mixed with three adjuvants against *A. cinerarius* larvae

药剂	有效成分浓度/ (mg · L ⁻¹)	施药后 1 d		施药后 3 d		施药后 7 d	
		虫口减退率/%	防效/%	虫口减退率/%	防效/%	虫口减退率/%	防效/%
1.5%除虫 菊素+激健 (9:1)	2.08	55.56±2.94 d	55.06±2.97 d	67.78±1.11 d	66.67±1.15 d	81.11±4.01 c	80.23±4.19 c
	4.17	80.00±3.33 ab	79.78±3.37 ab	92.22±2.22 ab	91.95±2.30 ab	96.67±1.92 a	96.51±2.01 a
	8.33	85.56±4.84 a	85.39±4.90 a	95.56±1.11 a	95.40±1.15 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
1.5%除虫 菊素+阿法 通(9:1)	2.08	46.67±3.85 e	46.07±3.89 e	56.67±3.33 e	55.17±3.45 e	77.78±1.11 c	76.75±1.16 c
	4.17	74.44±4.84 bc	74.16±4.90 bc	90.00±5.09 ab	89.66±5.27 ab	94.44±2.94 ab	94.19±3.08 ab
	8.33	83.33±3.85 a	83.15±3.89 a	94.44±1.11 a	94.25±1.15 a	97.78±2.22 a	97.67±2.33 a
1.5%除虫 菊素+杰效 利(7:3)	2.08	54.44±2.94 de	53.93±2.97 de	81.11±4.01 c	80.46±4.14 c	90.00±3.33 b	89.54±3.49 b
	4.17	84.44±1.11 a	84.27±1.12 a	93.33±0.00 ab	93.10±0.00 ab	97.78±1.11 a	97.67±1.16 a
	8.33	87.78±2.22 a	87.64±2.25 a	95.56±2.94 a	95.4±3.04 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a

表 5(续)

药剂	有效成分浓度/ (mg·L ⁻¹)	施药后 1 d		施药后 3 d		施药后 7 d	
		虫口减退率/%	防效/%	虫口减退率/%	防效/%	虫口减退率/%	防效/%
1.5 %除 虫菊素	2.08	36.67±3.85 f	35.96±3.89 f	61.11±2.22 de	59.77±2.30 de	77.78±4.84 c	76.75±5.07 c
	4.17	71.11±1.11 c	70.79±1.12 c	86.67±5.09 bc	86.21±5.27 bc	94.44±2.22 ab	94.19±2.33 ab
	8.33	84.44±4.01 a	84.27±4.05 a	92.22±1.11 ab	91.95±1.15 ab	96.67±1.92 a	96.51±2.01 a
CK		1.11±1.11 g		3.33±1.92 f		4.44±1.11 d	

3 结论与讨论

生物源农药环境友好、对非靶标生物安全性较高,已在多种农林害虫防治中得到广泛关注。其中,乙基多杀菌素对多种鳞翅目害虫具有较高活性,在夜蛾类及尺蛾类害虫上的防治效果较为突出^[12, 13],其在环境中可较快通过光解和土壤微生物降解,环境兼容性较好^[14];除虫菊素在多种鳞翅目害虫防治中表现出较好的速效性和触杀活性^[15, 16],但见光易分解,降解速度较快,田间持效期相对较短^[17]。本研究选用的 5 种生物源农药对春尺蠖 2 龄幼虫的毒力存在明显差异,6 %乙基多杀菌素和 1.5 %除虫菊素毒力较高。

助剂与生物源农药混配后,其增效作用因其种类和配比不同而表现出差异。本研究中 6 %乙基多杀菌素和 1.5 %除虫菊素与杰效利配比为 7 : 3 时增效作用最强。已有研究表明,助剂在适宜浓度下可通过改善滴液与叶面的接触状态、延缓干燥并促进有效成分穿透叶片来增强药效,其增效作用受助剂类型和浓度影响,但并非随助剂添加比例增加而持续增加,助剂浓度过高时可能会降低增效作用^[18, 19]。

表面活性较强的助剂可通过降低表面张力增强液滴在叶面的扩展能力^[20-22],助剂对药液持留量的影响因药剂体系不同而存在差异^[23-25],适度延长干燥时间可能有利于活性成分渗透吸收^[26-28]。本研究添加不同助剂后对供试药剂物理性质测定结果表明,杰效利对 6 %乙基多杀菌素铺展直径的提升作用最为明显,对 1.5 %除虫菊素的铺展直径也有一定提升作用。杰效利属于有机硅类助剂,其特殊的分子结构和显著的生物活性能迅速扩展药液与叶片接触面积,使药液具有极低表面张力,可以在植物叶片上充分铺展,通过气孔渗透方式来增加靶标叶片对杀虫剂的吸收^[29]。但铺展增

强并不一定伴随持留量增加,1.5 %除虫菊素加入助剂后叶片持留量下降,而 6 %乙基多杀菌素与助剂混配后持留量与单剂差异不显著,说明不同药剂体系对助剂的响应方式存在差异。同时,添加助剂后多数处理的干燥时间有所延长。助剂对药剂的影响并非由单一因素决定,而是与铺展面积、持留量和干燥时间等的综合变化有关。

田间试验结果进一步表明,助剂在春尺蠖减量增效防治中具有较好的应用潜力。6 %乙基多杀菌素与杰效利配比为 7 : 3 时,在较低有效成分浓度下仍可达到与较高浓度单剂相当的防治效果;1.5 %除虫菊素与杰效利配比为 7 : 3 时,在低剂量条件下的防效也明显优于同浓度单剂处理。这与张暄翊等^[30]的研究结果一致,乙基多杀菌素减量 20 %后添加强力源,对花蓟马的防效仍显著高于单剂处理。说明合理添加助剂有利于改善药液沉积性能,并在较低施药水平下维持较高防效,为实际生产中使用的生物源农药减量防治提供了参考^[31]。

综上,杰效利对 6 %乙基多杀菌素和 1.5 %除虫菊素均表现出较好的增效作用,配比为 7 : 3 时增效作用最强,可作为春尺蠖减量增效防治的参考组合。在春尺蠖绿色防控中,合理筛选助剂并优化配比,有助于在保证防治效果的同时提高药剂利用率、减少农药投入。

参考文献

- [1] 卿薇,阿地力·沙塔尔,闫文兵. 春尺蠖生物学特性研究[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(1): 174-184.
- [2] 马建军,姚虹,齐志利. 春尺蠖越冬蛹羽化特性及幼虫空间分布研究[J]. 中国森林病虫, 2010, 29(1): 10-12.
- [3] 黄晓曦,刘占国. 春尺蠖生物学特性及综合防治的研究[J]. 中国农业信息, 2013(17): 98.
- [4] 倪鸣,柴汝松,张鹏,等. 不同药剂对舞毒蛾和春

- 尺蠖的毒力测定[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(5): 121-122.
- [5] 王丽, 张耘泽, 耿歌, 等. 高效氯氰菊酯急性暴露中斑马鱼相关酶活性和基因表达变化[J]. 生态毒理学报, 2016, 11(4): 146-154.
- [6] 阿地力·沙塔尔, 张新平, 玛依拉. 荧光增白剂对春尺蠖核型多角体病毒的增效作用研究[J]. 新疆农业大学学报, 2008(2): 67-70.
- [7] 王承锐, 李恩杰, 王少博, 等. 春尺蠖新病毒株的鉴定及其对春尺蠖核型多角体病毒的增效作用[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(2): 196-202.
- [8] 周陈杰, 马闪闪, 洪庆红, 等. 13种杀虫剂对木椴尺蠖的室内毒力测定及田间防效[J]. 甘肃农业大学学报, 2024, 59(2): 171-178.
- [9] 章恩婷, 杨一平, 濮利罡, 等. 5种天然除虫菊素制剂对家蚕的毒性比较[J]. 蚕桑通报, 2025, 56(3): 42-45, 55.
- [10] 徐淑, 董易之, 姚琼, 等. 6种生物源农药对板栗实蛾和小蛀果斑螟的室内毒效和田间防效[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(5): 154-156.
- [11] 王潇楠, 王思威, 常虹, 等. 两种喷雾助剂对噻虫嗪防治豇豆上蓟马的减施增效作用[J]. 农药学报, 2022, 24(2): 368-375.
- [12] 谢显彪, 孟继枝, 杨园耘, 等. 25%乙基多杀菌素水分散剂对玉米草地贪夜蛾田间防治效果[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(9): 112-115.
- [13] 王泽华, 杨帆, 孙昂, 等. 9种药剂对槐尺蠖的防治效果及对天敌的影响[J]. 农药, 2023, 62(4): 305-308.
- [14] 史雪岩. 多杀菌素类杀虫剂的环境降解及抗性机制研究进展[J]. 农药学报, 2018, 20(5): 557-567.
- [15] 李志朋. 有机桃生产中桃潜叶蛾药剂防治技术研究[J]. 中国植保导刊, 2012, 32(3): 46-47.
- [16] 陈凤英, 何寿斌, 徐国平. 5%除虫菊素乳油防治斜纹夜蛾田间药效试验[J]. 江西植保, 2005, 28(2): 84-85.
- [17] 刘芬, 古开平, 温嘉祺, 等. 球孢白僵菌与天然除虫菊素混配及防治害虫的应用[J]. 华南农业大学学报, 2025, 46(1): 97-105.
- [18] Wang C J, Liu Z Q. Foliar uptake of pesticides - present status and future challenge[J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2007, 87(1): 1-8.
- [19] 彭昱绮. 金银花蚜虫分布特性及其减药增效关键技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2024: 26-30.
- [20] Zhang Songchao, Huang Meng, Zhou Qingqing, et al. Study on effects of different concentration adjuvants on the properties of prochloraz emulsion in water solution droplets and deposition[J]. *Agronomy*, 2023, 13(10): 2635.
- [21] 景亮亮, 柴军发, 高强, 等. 6种喷雾助剂对3种药剂表面张力与接触角的影响[J]. 浙江农业学报, 2020, 32(10): 1823-1833.
- [22] Song Yuying, Huang Qiliang, Huang Guizhen, et al. The effects of adjuvants on the wetting and deposition of insecticide solutions on hydrophobic wheat leaves[J]. *Agronomy*, 2022, 12(9): 2148.
- [23] Meng Yanhua, Wu Qiufang, Zhou Hanxue, et al. How tank-mix adjuvant type and concentration influence the contact angle on wheat leaf surface[J]. *PeerJ*, 2023, 11: e16464.
- [24] 王潇楠, 齐鹏, 于聪伟, 等. 农药雾滴雾化沉积飘失研究进展[J]. 农药学报, 2022, 24(5): 1065-1079.
- [25] Chen Weiwei, Dong Linxi, Tan Qimei, et al. An adjuvant that increases the adhesion of pesticides on plant surfaces and improves the efficiency of pest control: polyethylene glycol sol-gel polymer[J]. *Reactive and Functional Polymers*, 2023, 192: 105722.
- [26] Zhou Zhaolu, Cao Chong, Cao Lidong, et al. Effect of surfactant concentration on the evaporation of droplets on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves[J]. *Colloids Surface B: Biointerfaces*, 2018, 167: 206-212.
- [27] Zhou Zhaolu, Cao Chong, Cao Lidong, et al. Evaporation kinetics of surfactant solution droplets on rice (*Oryza sativa*) leaves [J]. *PLoS One*, 2017, 12(5): e0176870.
- [28] Jing Jing, Zhou Yang, Zhang Zhengyu, et al. Uptake, translocation, and terminal residue of chlorantraniliprole and difenoconazole in rice: effect of the mixed-application with adjuvant[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023, 71(18): 6838-6845.
- [29] 范佳怡. 喷雾助剂对除草剂的增效作用及增效机理研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2023: 12.
- [30] 张暄翊, 王堃, 洪波, 等. 喷雾助剂对2种药剂防治花蓟马的减量增效作用[J]. 环境昆虫学报, 2023, 45(3): 778-786.
- [31] 刘明月, 帕提玛·乌木尔汗, 徐韬, 等. 喷雾助剂改善22%氟啶虫胺胍悬浮剂物理性能及减量增效作用[J]. 植物保护, 2021, 47(4): 258-263, 281.

(本篇专家编审:李立梅)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.03.005

文章编号:1005-7129(2026)03-0026-05

中图分类号:S718.7

文献标识码:A

吉林松花江三湖国家级自然保护区不同林分组成下 甲虫群落多样性研究

刘国良¹, 汤政泽¹, 杜志琦¹, 武飞岳¹, 李燕², 孟庆繁³

(1. 吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022; 2. 广西生态工程职业技术学院, 广西 柳州 545003; 3. 北华大学林学院, 吉林 吉林 132013)

摘要: 为探究甲虫群落多样性与林分类型之间的关系, 本研究采用马氏诱捕器在吉林松花江三湖国家级自然保护区白桦-春榆混交林、白桦纯林和白桦-落叶松混交林 3 种林分内进行了甲虫标本采集。采集到的甲虫分属 31 科 146 种, 优势类群为叶甲科、叩甲科和象甲科。不同林分甲虫个体数量和物种数量均差异显著, 白桦纯林个体数量显著高于其他林分, 白桦-春榆混交林物种数量显著高于其他林分。不同林分甲虫 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数、Berger-Parker 优势度指数无显著差异; 丰富度指数差异极显著, 白桦-春榆混交林显著高于其他林分。不同月份叩甲科个体数量和物种数量均差异极显著, 均为 6 月>5 月>7 月>8 月>9 月; 叶甲科和象甲科的个体数量和物种数量均无显著差异。不同月份甲虫个体数量、物种数量、Shannon-Wiener 指数、丰富度指数差异显著, 均为 6 月最高, 9 月最低; Pielou 均匀度指数和 Berger-Parker 优势度指数无显著差异。不同月份 3 种林分的甲虫个体数量和物种数量差异显著。

关键词: 甲虫; 多样性; 林分; 时间动态

Study on Beetle Community Diversity under Different Forest Stand in Jilin Sanhu National Nature Reserve along Songhua River

LIU Guoliang¹, TANG Zhengze¹, DU Zhiqi¹, WU Feiyue¹, LI Yan², MENG Qingfan³

(1. Forestry Investigation and Planning Institution of Jilin Province, Changchun 130022, China; 2. Guangxi Eco-engineering Vocational and Technical College, Liuzhou 545003, China; 3. College of Forestry of Beihua University, Jilin 132013, China)

Abstract: In order to explore the relationship between beetle community diversity and forest stand type, Malaise traps were used to collect beetle specimens in the mixed forest of *Betula platyphylla* and *Ulmus davidiana* var. *japonica*, the pure *Betula platyphylla* forest, and the mixed forest of *Betula platyphylla* and *Larix gmelinii* in Jilin Sanhu National Nature Reserve along Songhua River. The collected beetles belonged to 146 species of 31 families. The dominant groups were Chrysomelidea, Elateridae, and Curculionidea. There were significant differences in the individual number and species number of beetles among different forest stands. The individual number of beetles in pure *Betula platyphylla* forest was significantly higher than that in the other forests. The species number of beetles in the mixed forest of *Betula platyphylla* and *Ulmus davidiana* var. *japonica* was significantly higher than that in the other forests. There were no significant differences in Shannon-Wiener index, Pielou evenness index, and Berger-Parker dominance index of beetles among different forest stands. There was extremely significant difference in richness index of beetles among different forest stands. The richness index of beetles

收稿日期:2026-01-04

第一作者:刘国良(1967—),男,正高级工程师,主要从事林业工作,E-mail:147226840@qq.com。

in the mixed forest of *Betula platyphylla* and *Ulmus davidiana* var. *japonica* was significantly higher than that in the other forests. There were extremely significant differences in both individual number and species number of beetles belonged to Elateridae among different months. Both numbers were as follow: June > May > July > August > September. There were no significant differences in both individual number and species number of beetles belonged to Chrysomelidea and Curculionidea among different months. There were significant differences in individual number, species number, Shannon-Wiener index, and richness index of beetles among different months. Those were the highest in June and those were the lowest in September. There were no significant differences in Pielou evenness index and Berger-Parker dominance index of beetles among different months. There were significant differences in individual number and species number of beetles under three forest stands among different months.

Keywords: beetle; diversity; forest stand; temporal dynamics

森林演替对森林节肢类动物(以昆虫为主)的构成与分布产生一定影响,改变了昆虫群落的多样性和结构,不同昆虫对森林演替的反应不同,目前对鳞翅目和鞘翅目昆虫的研究较多^[1-7]。研究表明,次生林中甲虫多样性和个体数量明显少于原生天然林^[8]。植物群落、环境因子、时间对甲虫群落的空间分布、多样性和富集程度等产生一定影响^[9-12],不同生态系统的环境因子与昆虫群落的相关性不同,已有研究集中在湿地、草原、森林、农田等不同生态系统^[13]。

在森林演替序列中,白桦(*Betula platyphylla*)林通常作为先锋群落出现。在长白山阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林的不同演替阶段中,次生白桦林的地表甲虫物种数量和个体数量往往高于演替后期的原始阔叶红松林和次生针阔混交林^[14]。林分结构特征(如树种组成、郁闭度、胸高断面面积、枯落物厚度等)随演替发生变化,直接或间接影响甲虫的分布。

长期以来,甲虫群落多样性的研究取得了许多成果^[15-18]。本文对吉林松花江三湖国家级自然保护区白桦-春榆(*Ulmus davidiana* var. *japonica*)混交林、白桦纯林和白桦-落叶松(*Larix gmelinii*)混交林甲虫群落多样性进行研究,掌握甲虫群落多样性及其时间动态,探究甲虫群落多样性与林分类型之间的关系,为科学营林提供依据。

1 研究区概况

吉林松花江三湖国家级自然保护区天然林面积约 9.0 万 hm^2 , 占总面积的 78.01%, 主要为混交林、阔叶林等, 是吉林省重要野生动物种源基因库, 生物多样性较丰富。由于特殊的地理、气候环境, 其保存着较大面积呈自然原生状

态的森林生态系统和湿地生态系统, 保存、繁衍、栖息着大量野生生物物种。年降雨量 600~830 mm。年平均气温 1.9~4.4 $^{\circ}\text{C}$, 1 月最冷, 平均气温 -18 $^{\circ}\text{C}$, 7 月最热, 平均气温 20 $^{\circ}\text{C}$, ≥ 10 $^{\circ}\text{C}$ 年积温为 1 900~2 800 $^{\circ}\text{C}$ ^[19]。

2 研究方法

2021 年 5—9 月, 采用样线法设置马氏诱捕器进行甲虫采集。针对保护区森林资源的分布特征, 样线设置海拔为 500~600 m。每种林分设置一条样线, 沿样线设置 3 个样地, 样地的间距大于 50 m, 在 5 m \times 5 m 样地内的四个角和中心点共设置 5 个马氏诱捕器, 每个诱捕器瓶内装入 2/3 以上乙醇, 每 15 天回收一次, 回收完毕后重新加入乙醇, 5—9 月共计回收 10 次。将收集的甲虫装入塑料容器, 并记录回收日期。

将野外采集的甲虫带回实验室, 利用昆虫针、展翅板等工具进行展翅、整姿、定型, 做成标本, 在实验室避光实验台上自然风干后放入标本盒中密封保存, 依据文献资料在体视显微镜下将标本鉴定到种。

采用 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数、Berger-Parker 优势度指数、丰富度指数表征甲虫群落多样性。采用单因素方差分析比较不同林分组成及时间的甲虫群落多样性, 使用 SPSS 22.0 软件进行数据统计分析, 使用 Origin 24 软件绘图。

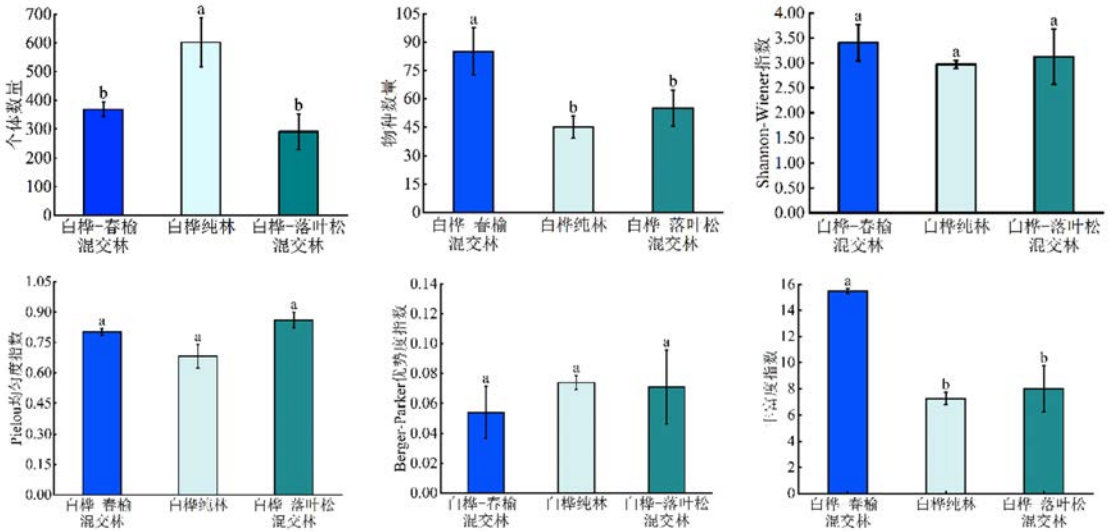
3 结果与分析

3.1 不同林分甲虫 α 多样性

不同林分甲虫群落个体数量、物种数量、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数、Berger-Parker 优势度指数、丰富度指数如图 1 所示。不同林分甲虫个体数量差异显著 ($P =$

0.046), 白桦纯林显著高于其他林分; 不同林分甲虫物种数量差异显著 ($P = 0.044$), 白桦-春榆混交林显著高于其他林分。不同林分甲虫 Shannon-Wiener 指数 ($P = 0.568$)、Pielou 均匀度指数 ($P = 0.688$)、Berger-Parker 优势度指数 ($P = 0.553$) 无显著差异, 丰富度指数差异

极显著 ($P = 0.003$)。白桦-春榆混交林 Shannon-Wiener 指数最高, 白桦纯林最低; 白桦-落叶松混交林 Pielou 均匀度指数最高, 白桦纯林最低; 白桦纯林 Berger-Parker 优势度指数最高, 白桦-春榆混交林最低; 白桦-春榆混交林丰富度指数显著高于其他林分。



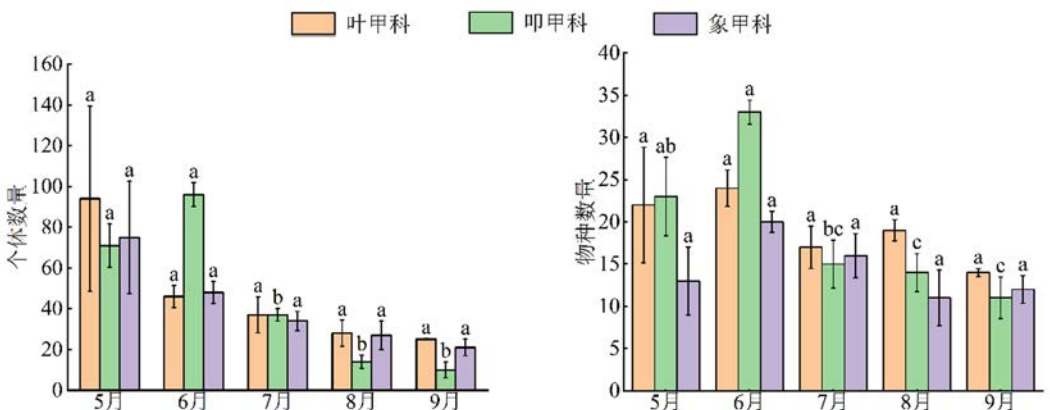
注: 图中不同小写字母表示不同林分间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 1 不同林分甲虫个体数量、物种数量及多样性指数

Fig. 1 Individual number, species number and diversity indexes of beetles under different forest stands

3.2 不同月份优势类群甲虫个体数量与物种数量
采集到的甲虫分属 31 科 146 种, 叶甲科、叩甲科和象甲科是甲虫群落的优势类群。不同月份叶甲科、叩甲科和象甲科甲虫个体数量和物种数量如图 2 所示。不同月份叩甲科个体数量差异极显著 ($P < 0.001$), 6 月 > 5 月 > 7 月 > 8 月 > 9 月, 5 月和 6 月显著高于其他月份; 不同月份叶甲科个体数量 ($P = 0.658$)、象甲科个

体数量 ($P = 0.614$) 均无显著差异, 均为 5 月 > 6 月 > 7 月 > 8 月 > 9 月。不同月份叩甲科物种数量差异极显著 ($P < 0.001$), 6 月 > 5 月 > 7 月 > 8 月 > 9 月; 不同月份叶甲科物种数量 ($P = 0.315$)、象甲科物种数量 ($P = 0.221$) 均无显著差异, 叶甲科为 6 月 > 5 月 > 8 月 > 7 月 > 9 月, 象甲科为 6 月 > 7 月 > 5 月 > 9 月 > 8 月。



注: 相同科的不同小写字母表示个体数量或物种数量在不同月份间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 2 不同月份叶甲科、叩甲科和象甲科甲虫个体数量和物种数量

Fig. 2 Individual number and species number of beetles belonged to Chrysomelidae, Elateridae, and Curculionidae in different months

3.3 不同月份甲虫 α 多样性

不同月份甲虫群落个体数量、物种数量、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数、Berger-Parker 优势度指数、丰富度指数如图 3 所示。不同月份甲虫个体数量差异显著 ($P = 0.047$), 物种数量差异极显著 ($P < 0.001$), 均呈单峰型变化, 6 月最高, 9 月最低, 5 月、6 月采集到的甲虫个体数量显著高于 8 月、9 月, 6 月

物种数量显著高于其他月份。不同月份甲虫 Shannon - Wiener 指数差异极显著 ($P = 0.003$), 6 月最高。不同月份甲虫 Pielou 均匀度指数 ($P = 0.157$)、Berger-Parker 优势度指数 ($P = 0.353$) 差异不显著, 均为 9 月最高。不同月份甲虫丰富度指数差异极显著 ($P = 0.004$), 6 月最高。

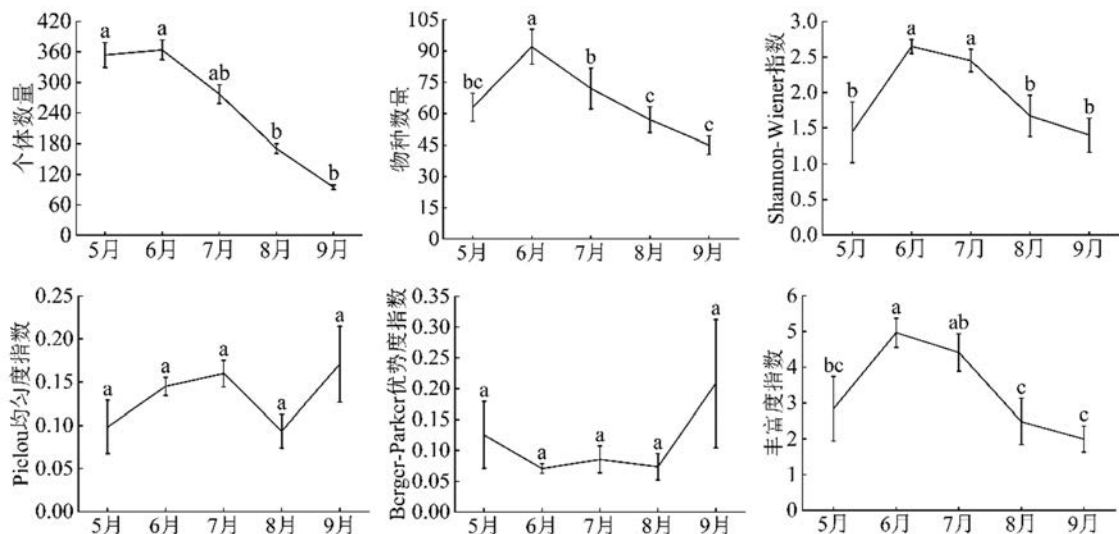


图 3 不同月份甲虫个体数量、物种数量及多样性指数

Fig. 3 Individual number, species number and diversity indexes of beetles in different months

3.4 不同林分甲虫群落个体数量与物种数量时间动态

不同林分甲虫群落个体数量与物种数量时间动态如图 4 所示。不同月份白桦-春榆混交林甲虫个体数量差异显著 ($P = 0.017$), 6 月显著高于其他月份, 9 月最低; 不同月份白桦纯林甲虫个体数量差异极显著 ($P < 0.001$), 5 月显著高于其他月份, 9 月最低; 不同月份白桦-落

叶松混交林甲虫个体数量差异显著 ($P = 0.042$), 6 月显著高于其他月份, 8 月最低。不同月份白桦-春榆混交林甲虫物种数量差异显著 ($P = 0.037$), 6 月最高, 9 月最低; 不同月份白桦纯林林甲虫物种数量差异显著 ($P = 0.047$), 6 月最高, 9 月最低; 不同月份白桦-落叶松混交林甲虫物种数量差异显著 ($P = 0.033$), 8 月显著高于其他月份, 9 月最低。

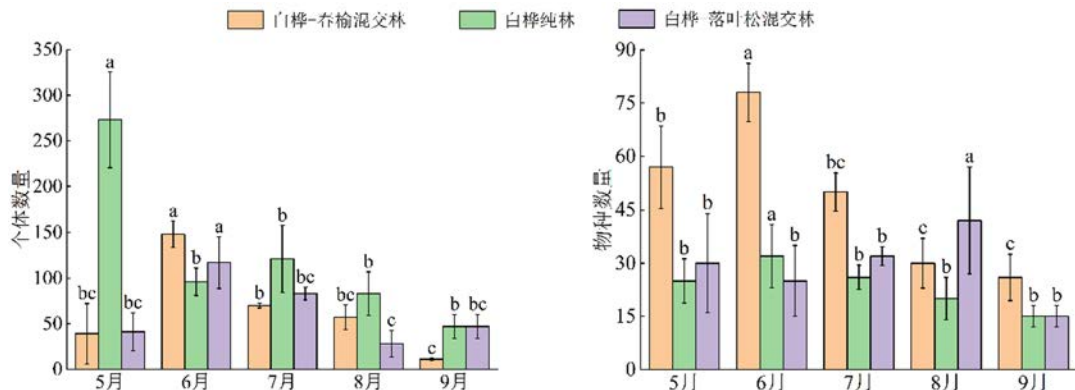


图 4 不同林分下甲虫个体数量和物种数量时间动态

Fig. 4 Temporal dynamics of individual number and species number of beetles under different forest types

4 结论与讨论

本研究采集到的甲虫分属 31 科 146 种,优势类群为叶甲科、叩甲科和象甲科。不同林分甲虫群落个体数量差异显著,白桦纯林显著高于其他林分;物种数量差异显著,白桦-春榆混交林显著高于其他林分。不同林分甲虫 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数、Berger-Parker 优势度指数无显著差异;丰富度指数差异极显著,白桦-春榆混交林显著高于其他林分。不同月份叩甲科个体数量和物种数量均差异极显著,均为 6 月>5 月>7 月>8 月>9 月;叶甲科和象甲科的个体数量和物种数量均无显著差异,个体数量均为 5 月>6 月>7 月>8 月>9 月,叶甲科物种数量为 6 月>5 月>8 月>7 月>9 月,象甲科物种数量为 6 月>7 月>5 月>9 月>8 月。不同月份甲虫个体数量、物种数量、Shannon-Wiener 指数、丰富度指数差异显著,均为 6 月最高,9 月最低;Pielou 均匀度指数和 Berger-Parker 优势度指数无显著差异。不同月份 3 种林分的甲虫个体数量和物种数量差异显著,白桦-春榆混交林个体数量 6 月最高、物种数量 5 月最高,白桦纯林个体数量 5 月最高、物种数量 6 月最高,白桦-落叶松混交林个体数量 6 月最高、物种数量 8 月最高。

研究指出,林分组成越复杂昆虫群落多样性越高,森林抵抗外界干扰的能力越强^[20-22]。本研究不同林分间存在差异,可能是由于不同植物群落对昆虫群落的影响不同^[23, 24]。时间的动态变化会导致森林环境因子(例如温度和降水)的变化,进而改变昆虫群落的结构^[25]。适宜的环境可为甲虫的生存提供丰富的资源^[26],甲虫个体数量较多、活跃度较高。研究表明,甲虫主要的活跃期为春末夏初^[27]。本研究于 5—9 月进行采集工作,覆盖了甲虫群落的主要活动期。为提高数据的详细性和完整性,应延长采样期,深入研究稀有物种的生活环境,进一步了解其生物学特性及生态功能^[28]。

为更好发挥森林生态系统的稳定性和调控作用,应充分利用生物间关系,科学营林、合理配置林木的空间结构、选择适当的造林树种,结合甲虫种群的生物学特性,对珍稀甲虫种类进行保护,保持其多样性,从而使森林达到可持续利用和健康发展的状态。

参考文献

- [1] Koivula M, Kukkonen J, Niemelä J. Boreal carabid-beetle (Coleoptera, Carabidae) assemblages along the clear-cut originated succession gradient[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2002, 11(7): 1269-1288.
- [2] Koivula M, Niemelä J. Boreal carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) in managed spruce forests - a summary of Finnish case studies[J]. *Silva Fennica*, 2002, 36(1): 423-436.
- [3] Waltz A E M, Wallace Covington W. Ecological restoration treatments increase butterfly richness and abundance: mechanisms of response[J]. *Restoration Ecology*, 2004, 12(1): 85-96.
- [4] Corbet S A. Insects, plants and succession: advantages of long-term set-aside[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1995, 53(3): 201-217.
- [5] Summerville K S, Ritter L M, Crist T O. Forest moth taxa as indicators of lepidopteran richness and habitat disturbance: a preliminary assessment[J]. *Biological Conservation*, 2004, 116(1): 9-18.
- [6] Choi S W. Diversity and composition of larger moths in three different forest types of Southern Korea[J]. *Ecological Research*, 2008, 23(3): 503-509.
- [7] McGeoch M A, Van Rensburg B J, Botes A. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 39(4): 661-672.
- [8] Yu Xiaodong, Luo Tianhong, Zhou Hongzhang. Distribution of carabid beetles among 40-year-old regenerating plantations and 100-year-old naturally regenerated forests in Southwestern China[J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(7): 2617-2625.
- [9] 高宝嘉, 申曙光, 王正文, 等. 园林昆虫群落时间结构及动态研究[J]. *生态学报*, 1998, 18(2): 193-197.
- [10] 刘生冬, 孟昕, 孟庆繁, 等. 吉林蛟河阔叶红松林中甲虫(鞘翅目)群落时间动态分析[J]. *林业科学*, 2018, 54(10): 80-88.
- [11] Rieske L K, Buss L J. Effects of gypsy moth suppression tactics on litter- and ground-dwelling arthropods in the central hardwood forests of the Cumberland Plateau [J]. *Forest Ecology and Management*, 2001, 149(1-3): 181-195.
- [12] 杭佳. 黄土丘陵区植被景观格局与地表甲虫群落组成及空间分布的变化研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2014: 34-57. (下转第 34 页)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.03.006

文章编号:1005-7129(2026)03-0031-04

中图分类号:S765

文献标识码:A

山西芦芽山国家级自然保护区外来入侵植物 调查及防控对策

庞海颖

(山西芦芽山国家级自然保护区管理局,山西忻州 034000)

摘要:为掌握山西芦芽山国家级自然保护区外来入侵植物的分布现状与潜在生态风险,采用踏查与样地调查相结合的方式,对保护区内森林、草原生态系统外来入侵植物开展系统调查。共发现外来入侵陆生草本植物 3 种,分别为反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)、野燕麦(*Avena fatua*)和圆叶牵牛(*Ipomoea purpurea*),其中野燕麦为重点管理外来入侵物种。3 种入侵植物零散分布于实验区和缓冲区的人为活动频繁区域,核心区无分布。当前尚未对原生生态系统造成显著危害,但野燕麦与反枝苋存在局部扩散风险。本文可为该区域入侵物种的监测预警、精准防控及生态保护提供科学依据。

关键词:山西芦芽山国家级自然保护区;外来入侵植物;分布特征;生态风险;防控对策

Survey and Control Measures of Invasive Alien Plants in Shanxi Luya Mountain National Nature Reserve

PANG Haiying

(Shanxi Luya Mountain National Nature Reserve Administration, Xinzhou 034000, China)

Abstract: In order to elucidate the distribution status and potential ecological risks of invasive alien plants in Shanxi Luya Mountain National Nature Reserve, the systematic survey of invasive alien species in forest and grassland ecosystems in the reserve was conducted by means of field investigation and plot investigation. Three invasive terrestrial herbaceous species including *Amaranthus retroflexus*, *Avena fatua*, and *Ipomoea purpurea* were identified in the reserve. *Avena fatua* was the invasive alien species with key management. The three invasive plants scattered in areas with frequent human activities in the experimental zone and the buffer zone. There was no distribution in the core zone. Currently, it had not caused significant harm to the native ecosystem, but *Avena fatua* and *Amaranthus retroflexus* showed the localized expansion trend. The study could provide scientific basis for monitoring, early warning, precise control, and ecological protection of invasive species in the region.

Keywords: Shanxi Luya Mountain National Nature Reserve; invasive alien plants; distribution characteristics; ecological risks; control strategies

外来入侵物种繁殖力强、适应范围广,常挤占本地物种生态位、破坏生态系统结构与功能,是生物多样性减少、生态系统退化的重要影响因素之一^[1-5]。国家级自然保护区作为生物多样性保护的主要载体,其生态系统的完整性直

接关系到珍稀濒危物种的生存繁衍及区域生态安全。山西芦芽山国家级自然保护区是野生动植物类型自然保护区,同时兼具国家 4A 级旅游景区属性,外来物种入侵压力较大。为填补该保护区外来入侵物种专项调查空白,全面掌

收稿日期:2025-10-30

作者简介:庞海颖(1993—),女,工程师,硕士研究生,主要从事森林培育经营研究,E-mail:1401952759@qq.com。

握外来入侵物种的分布现状、发生规律及潜在威胁,2024—2025年笔者对森林、草原生态系统开展外来入侵植物专项普查,明确入侵植物的种类、生境特点、传播方式、扩散趋势和生态风险。结合保护区的生态特征及外来入侵物种的分布现状,秉持“预防为主、早发现、早处理、综合防治”的理念^[6-11],坚持“生态优先、科学防控、分类施策”的方针,制定针对性的防控对策,为保护原生生态系统、维护区域生物多样性提供科学依据。

1 研究区概况

山西芦芽山国家级自然保护区位于晋西北吕梁山脉北端、管涔山南麓,地理位置 111°50′~112°50′ E、38°35′~38°55′ N,地处宁武、五寨、岢岚三县交界地带^[12]。属温带大陆性季风气候,四季分明,昼夜温差大,年平均气温 2~6℃,年降水量 450~750 mm。海拔 1 346~2 787 m,以亚高山地貌为主,地形复杂,是华北地区重要的生态屏障,在涵养水源、保持水土、维护区域生态平衡方面发挥着关键作用。

保护区保护对象为以世界珍禽褐马鸡(*Crossoptilon manchuricum*)为代表的珍稀野生动物,以及以云杉(*Picea asperata*)、华北落叶松(*Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii*)天然次生林为主的森林植物群落,属典型的野生动植物类型自然保护区。涵盖森林、亚高山草甸等多种生态系统,植被类型丰富,物种多样性较高,是华北地区重要的物种基因库。

2 调查方法

参照《全国森林、草原、湿地生态系统外来

表 1 芦芽山国家级自然保护区外来入侵植物名录

Tab. 1 Invasive alien plants in Shanxi Luya Mountain National Nature Reserve

物种	拉丁名	科	主要生境	传播方式
反枝苋	<i>Amaranthus retroflexus</i>	苋科	保护区周边农田、居民点附近、步道两侧	风力、水力传播,人为携带
野燕麦	<i>Avena fatua</i>	禾本科	低海拔实验区农田边缘、山地草原	风力、水力传播,人为携带
圆叶牵牛	<i>Ipomoea purpurea</i>	旋花科	缓冲区灌丛边缘、居民点周边、林地间隙	引种逸生、风力、动物传播

3.2 外来入侵植物分布及发生特征

3种入侵植物零散分布于实验区及缓冲区,整体发生面积较小,未形成大面积连片危害,核心区无分布。

反枝苋为保护区内分布最广的入侵物种,主要集中在实验区周边农田、旅游步道两侧及

入侵物种普查技术规程》,结合《中国外来入侵物种名单》及山西省调查实际,对保护区内森林、草原生态系统外来入侵植物开展调查,记录物种种类、生境类型、分布范围、发生面积、传播方式及危害程度等信息。调查范围涉及宁武县的西马坊乡、宁化镇、石家庄镇,五寨县的前所乡,岢岚县的三井镇,重点区域为保护区周边农田、旅游步道两侧、缓冲区居民点附近、实验区林地边缘等,重点覆盖人为活动频繁、生态较为脆弱的区域。

调查于2024年5月至2025年10月开展,覆盖植物生长的关键物候期,采用踏查与样地调查相结合的方法,确保调查结果的准确性。制定专项踏查方案,确定踏查路线覆盖保护区核心区边缘、缓冲区、实验区的所有生态类型,重点排查人为活动频繁区域。共布设踏查路线 85 条,总长度 267.85 km,踏查面积 1 213.5 hm²。其中实验区踏查覆盖率>90%,缓冲区>75%,核心区仅沿边缘适度踏查,以最大限度降低干扰。在踏查过程中发现入侵植物的区域及潜在高风险区域设置样地,每个样地内设置 5 个重复样方,草原及草本植被区样方大小为 1 m × 1 m,林地边缘及灌丛区样方大小为 2 m × 2 m,记录样方内入侵物种的植株数量、盖度、伴生植物等信息。对入侵物种的分布边界进行标记,明确其发生面积及扩散趋势。

3 调查结果

3.1 外来入侵植物名录

经系统调查与鉴定,芦芽山国家级自然保护区内共发现外来入侵陆生草本植物 3 种,物种的详细信息见表 1。

缓冲区居民点附近,多生长于撂荒地及人为干扰区域;呈单生或丛生状态,株型分散,未对周边植被造成明显竞争压制,自然传播为主要扩散方式。

野燕麦被列入《重点管理外来入侵物种名录》,为本次调查发现的重点关注物种,主要分

布在低海拔实验区的农田边缘及山地草原地带;与本地禾本科植物混生,分蘖能力较强,与本地小麦等农作物及草原植被存在潜在竞争风险。

圆叶牵牛以引种逸生后自然扩散为主,分布于缓冲区居民点周边及林地间隙;依靠藤蔓攀附本地植物生长,植株数量少、分布范围狭窄,仅个别区域有发现,尚未对本地木本、草本植物造成明显危害。

3.3 外来入侵植物扩散趋势与生态风险

3种入侵植物的传入均与人为活动密切相关,均集中于人为干扰区域,农事活动、旅游活动、居民生活为主要传入途径。核心区因人为活动稀少、生态系统完整性高,未受入侵影响。从扩散趋势来看,3种植物目前繁殖扩散速度较慢,但存在差异化风险。野燕麦生态可塑性与繁殖能力强,如果保护区周边农事活动增加或防控滞后,存在向实验区草原、林地扩散的风险;反枝苋依托风力、水力传播,可能随自然因素向缓冲区内部扩散;圆叶牵牛传播能力有限,扩散风险相对较低。整体而言,保护区外来入侵植物当前未对原生生态系统造成显著危害,入侵风险等级较低,但局部区域的监测与防控仍需加强。

4 防控对策及建议

4.1 构建监测预警网络

针对实验区、缓冲区重点区域布设外来入侵物种固定监测样地,重点监测野燕麦、反枝苋的分布动态与扩散趋势;定期开展全域踏查,将入侵物种监测纳入保护区管护日常工作,建立监测信息即时上报制度,实现入侵物种的早发现、早处置。

4.2 实施分类精准治理

对重点管控物种野燕麦,于6—9月花果期人工拔除植株,杜绝种子传播;对反枝苋采取物理清除与生境修复相结合的方式,清理步道两侧、居民点附近植株,同步恢复本地植被,抑制其扩散蔓延;对圆叶牵牛开展常态化排查,及时清除逸生植株,严格杜绝人为引种行为。

4.3 强化人为活动管控

严格管控人为干扰,阻断入侵传播途径。规范实验区农事活动管理,划定合理作业范围;规范旅游区域游览管理,增设垃圾收集设施,防

止游客携带外来植物种子进入;加强保护区周边居民引种行为管理,禁止随意引种外来植物,减少入侵风险。

4.4 开展本土生态修复

在保护区内人为干扰区域及入侵物种清除区域开展本土植被修复工程,种植适生的本地草本、灌木植物,提升区域植被盖度,增强本土生态系统的稳定性与抗干扰能力,从生态层面抑制外来入侵植物的定殖与扩散。

4.5 建立联防联控机制

加强与周边乡镇部门的协作,实现监测数据、防控措施的信息互通,建立外来入侵物种跨区域防控协同机制。组织保护区周边区域入侵物种清理行动,搭建外围防控屏障,阻断外来入侵物种的传入路径。

4.6 加强科普宣传教育

通过宣传栏、科普手册、现场讲解等多种形式,向保护区工作人员、周边居民及游客开展外来入侵物种科普宣传,普及物种辨别、危害特性及防控常识;提升全社会生态保护观念,引导公众主动参与入侵物种防控工作,营造群防群控的良好生态保护氛围。

5 结论

芦芽山国家级保护区共记录外来入侵陆生草本植物3种,即反枝苋、野燕麦和圆叶牵牛,种类较少,与保护区实施的严格人为管控及核心区完整的原生生态系统密切相关。3种入侵植物零散分布于实验区和缓冲区的人为活动频繁区域,核心区无分布,整体发生面积小,尚未对原生生态系统及生物多样性造成显著危害。外来入侵物种的传入与扩散主要与人为活动相关,野燕麦作为重点管控物种,繁殖能力与生态竞争力强,为防控的重点对象,存在局部扩散风险。后续需依托监测预警网络实现动态管控,实施分类精准治理,强化人为活动源头管控,结合本土生态修复与跨区域联防联控,构建全方位防控体系,持续维护保护区生态系统完整性与生物多样性。

参考文献

- [1] 刘志祺, 陈凤新, 孙亚男, 等. 京津冀地区潜在高风险外来入侵物种研究[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2024, 44(1): 60-69.
- [2] 邢辉. 周口市外来入侵物种普查作业技术规范

- 范[J]. 农业与技术, 2022, 42(16): 62-66.
- [3] 苏雨晴. 北京远郊区山地外来植物构成及分布特征研究[J]. 山东林业科技, 2025, 55(1): 33-41.
- [4] 赖妍君. 忻州市外来入侵物种调查及风险评估[J]. 山西林业科技, 2025, 54(2): 51-53.
- [5] 陶德树, 杨娟, 吴少武, 等. 怀化市外来入侵植物物种组成及分布特征[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(5): 116-119.
- [6] 胡艳萍, 王清泉. 药山国家级自然保护区外来入侵物种调查及对策研究[J]. 林业勘查设计, 2024, 53(2): 17-21.
- [7] 焦志伟, 李为超, 字强, 等. 苍山洱海外来入侵物种现状分析及其管控措施[J]. 绿色科技, 2025, 27(14): 13-17, 65.
- [8] 张迪, 倪天飞, 夏洋, 等. 宝应县森林湿地生态系统外来入侵物种调查及治理策略[J]. 黑龙江环境通报, 2025, 38(5): 88-90.
- [9] 邓云彬. 泸州市纳溪区主要外来入侵物种防控技术[J]. 四川农业科技, 2025(4): 44-47.
- [10] 黄琴, 刘玉平, 毛颖娟, 等. 四川九寨沟外来入侵植物现状及其管控策略[J]. 福建林业科技, 2025, 52(1): 141-149.
- [11] 姚志军, 李泽生, 普思维, 等. 瑞丽市外来入侵物种调查及建议[J]. 现代农业科技, 2025(14): 69-72, 78.
- [12] 韩文斌, 郭建荣, 吴丽荣, 等. 新时代国家级自然保护区建设发展需求探索——以山西省芦芽山国家级自然保护区为例[J]. 林业经济, 2018, 40(9): 6-9, 26.
- (本篇专家编审:陈建军)

(上接第30页)

- [13] Irmiler U, Hoernes U. Assignment and evaluation of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages to sites on different scales in a grassland landscape[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2003, 12(7): 1405-1419.
- [14] 贾玉珍. 长白山阔叶红松林不同演替阶段昆虫数量动态研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010: 36-44.
- [15] 王佳生, 孟庆繁, 刘生冬, 等. 三湖国家级自然保护区不同林型食腐甲虫群落结构及多样性[J]. 东北林业大学学报, 2024, 52(7): 111-118.
- [16] 王佳生, 赵红蕊, 孟庆繁, 等. 天然阔叶混交林-人工红松幼龄林交错区地表甲虫多样性[J]. 生态学报, 2024, 44(22): 10287-10299.
- [17] 韩喜越, 孙晓阳, 陈卓, 等. 磨盘山地区不同林型地表甲虫生物多样性[J]. 吉林林业科技, 2025, 54(5): 17-20.
- [18] Werner S M, Raffa K F. Effects of forest management practices on the diversity of ground-occurring beetles in mixed northern hardwood forests of the Great Lakes Region[J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 139(1-3): 135-155.
- [19] 程福山, 何怀江, 刘强, 等. 三湖国家级自然保护区蒙古栎林空间结构研究[J]. 林业资源管理, 2018(2): 138-145.
- [20] 张飞萍, 尤民生. 不同林分类型毛竹林节肢动物群落的多样性与稳定性[J]. 昆虫学报, 2007, 50(1): 31-37.
- [21] 申曙光, 高宝嘉, 张玉会, 等. 不同植物类型昆虫群落结构的研究[J]. 河北农业大学学报, 1997, 20(4): 61-65.
- [22] 徐郑周, 刘广营, 王广海, 等. 燕山山地华北落叶松人工林群落生物多样性及其生物量的研究[J]. 林业资源管理, 2010(2): 43-49.
- [23] Jobidon R, Cyr G, Thiffault N. Plant species diversity and composition along an experimental gradient of northern hardwood abundance in *Picea mariana* plantations[J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 198(1-3): 209-221.
- [24] Moreira X, Abdala-Roberts L, Rasmann S, et al. Plant diversity effects on insect herbivores and their natural enemies: current thinking, recent findings, and future directions[J]. *Current Opinion in Insect Science*, 2016, 14: 1-7.
- [25] Ramilo P, Galante E, Micó E. Intra-annual patterns of saproxylic beetle assemblages inhabiting Mediterranean oak forests[J]. *Journal of Insect Conservation*, 2017, 21(4): 607-620.
- [26] 刘生冬, 孟庆繁, 高文韬, 等. 吉林蛟河阔叶红松林地表甲虫多样性时间动态分析[J]. 生态学报, 2018, 38(7): 2462-2470.
- [27] Wikars L O, Sahlin E, Ranius T. A comparison of three methods to estimate species richness of saproxylic beetles (Coleoptera) in logs and high stumps of Norway spruce[J]. *The Canadian Entomologist*, 2005, 137(3): 304-324.
- [28] Ramírez-Hernández A, Micó E, Galante E. Temporal variation in saproxylic beetle assemblages in a Mediterranean ecosystem[J]. *Journal of Insect Conservation*, 2014, 18(5): 993-1007.
- (本篇专家编审:李兴鹏)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.03.007

文章编号:1005-7129(2026)03-0035-03

中图分类号:S759.91

文献标识码:A

吉林白山龙山湖国家森林公园边界划定、 矛盾冲突及管理评估

张伟东, 鞠献存, 王春光, 周宸宇

(吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022)

摘要: 为客观研判吉林白山龙山湖国家森林公园边界划定科学性、矛盾冲突态势及管理效能, 本文通过空间叠加分析、矛盾冲突分级判定及管理水平量化评估对其进行系统剖析。结果显示, 公园整体边界划定合理, 管理基础扎实, 但局部边界与土地利用存在历史遗留问题, 科研监测与社区参与环节仍显薄弱。研究结果可为公园优化调整及管理水平提升提供支撑。

关键词: 边界划定; 矛盾冲突; 管理; 评估

Evaluation of Boundary Demarcation, Conflicts and Management of Longshan Lake National Forest Park in Baishan City of Jilin Province

ZHANG Weidong, JU Xiancun, WANG Chunguang, ZHOU Chenyu

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

Abstract: In order to assess the scientificity of boundary demarcation, the conflict condition, and the management effectiveness of Longshan Lake National Forest Park in Baishan City of Jilin Province, the boundary demarcation, the conflicts, and the management level were analyzed through spatial overlay analysis, conflict classification, and quantitative evaluation of management level. The results indicated that the overall boundary demarcation was reasonable. The management foundation was solid. There were historical issues in the local boundary and land use. The scientific monitoring and community participation were still weak. The research results could provide the support for the optimization and adjustment of the park and the improvement of management level.

Keywords: boundary demarcation; conflicts; management; evaluation

自然保护地是保障区域生态安全和生物多样性的关键空间单元, 在生态文明建设中发挥基础性作用^[1, 2]。国家森林公园作为自然保护地体系中的重要类型, 在森林生态系统保护、生态服务功能维持以及公众生态认知提升等方面发挥着积极作用^[3-6]。随着自然保护地整合优化工作的推进, 一些早期设立的森林公园在边

界划定和土地利用方面显现出一些问题, 对空间区划合理性和管理水平提出了更高要求, 因此有必要通过系统评估加以梳理。

吉林白山龙山湖国家森林公园位于长白山生态功能区, 具有重要的生态地位。其设立初期纳入部分耕地、村庄及人工林, 存在一定矛盾冲突。本文基于实地调研, 系统评估了公园边

收稿日期: 2026-01-12

第一作者: 张伟东 (1982—), 男, 工程师, 从事森林资源调查与监测工作, E-mail: wangkevin11@163.com。

界与功能区界线划定合理性、矛盾冲突态势及管理效能,对提升其精细化管理水平具有实际价值,可为其优化调整与管理决策提供支撑。

1 研究区概况

吉林白山龙山湖国家森林公园位于吉林省白山市浑江区境内,地处长白山中西部森林生态区,地形以中低山为主,林地类型多样,生态环境整体良好,是重要的水源涵养和生物多样性保护区域,兼具生态保护与游憩功能。公园总面积为 13 128.00 hm²,受历史规划与土地利用格局影响,园内非林地与商品林地占比较低,分布零散。

2 评估方法

2.1 评估依据

参照现有自然保护地相关政策与标准文件,在自然保护地实地摸底调查基础上,构建综合评估体系。通过数据核验、实地核查、综合研判完成评估全过程。

2.2 评估内容与指标

边界与功能区界线划定合理性评估包括面积一致性(误差率 $\leq \pm 5\%$)、边界吻合度、功能区匹配度,其中面积一致性通过比对批准面积与 2018 年白山市林地变更“一张图”数据进行矢量测算。矛盾冲突评估通过实地调研、权属核查及数据统计,结合吉林省自然保护地主要矛盾及历史遗留问题评估标准,识别出公园内各类矛盾冲突,按严重程度分为 A 级(严重)、B 级(较大)、C 级(一般),统计冲突类型、规模及分布。管理水平评估涵盖管理基础、保护成效、科研监测、宣传教育、旅游发展、社区参与 6 个方面,采用量化评分(总分 100 分)。

3 结果与分析

3.1 边界与功能区界线划定合理性评估

3.1.1 面积一致性分析

面积一致性是自然保护地边界划定合理性的核心指标之一,直接反映规划范围与实际管控范围的契合度。吉林白山龙山湖国家森林公园于 2017 年经国家林业局批准设立,规划经营面积为 13 417.00 hm²;2018 年经国家林业和草原局批准,对森林公园范围进行调整,批准面积

变更为 13 128.00 hm²。依据 2018 年白山市林地变更“一张图”数据,对森林公园范围进行矢量测算,其实际面积为 13 417.14 hm²。

对比批准面积与矢量测算面积,两者差值为 289.14 hm²,面积误差为 2.16%,处于自然保护地允许的 $\pm 5\%$ 误差范围内,说明森林公园范围界定总体准确,面积数据具有较好的一致性,为后续边界划定合理性评估和功能区管理奠定了基础。

3.1.2 边界吻合度与功能区匹配度分析

边界与周边自然保护地的重叠情况直接影响管控权责划分与保护成效。空间叠加分析结果表明,吉林白山龙山湖国家森林公园东北部与吉林白山原麝国家级自然保护区存在一定程度的交叉重叠,重叠面积为 14.13 hm²。

边界吻合度侧重考量公园边界与自然地形、人为活动边界的契合情况,功能区匹配度主要评估功能区划分与保护对象、生态价值的适配性。在边界吻合度方面,公园边界与自然地形(山脉、河流)、人为活动边界基本吻合,面积误差在允许范围内,重叠问题主要源于历史区划及不同保护地设立时间差异所致,面积虽小,但对保护地边界衔接和功能区协调管理方面有一定的影响,在后续管理中仍需通过边界优化或管理协同加以解决。功能区匹配度方面,公园范围及功能区界线清晰明确,设立了界桩界碑,全部保护对象及其依存的自然环境均按生态价值高低划入相应功能区。

3.1.3 边界与功能区界线划定综合评价

综合来看,公园边界与功能区界线划定评估结果为 II 级,整体符合自然保护地建设要求,但需针对边界重叠区域及不合理纳入的地块进行局部优化调整。

3.2 矛盾冲突评估

3.2.1 严重矛盾冲突(A 级)分析

其他耕地是公园内最突出的严重矛盾冲突,面积达 297.33 hm²,占公园总面积的 2.26%。该类耕地主要集中在村屯周围及道路两侧的一般游憩区,与当地原住民生产生活高度绑定,农户对耕地享有合法使用权。其形成源于规划初期为保障公园完整性,将大量耕地纳入管控范围,由于面积较大、涉及利益主体较多,短期内难以实现大规模退出,虽未直接破坏核心生态

资源,但农业生产活动可能对周边土壤、水环境产生潜在影响。

3.2.2 较大矛盾冲突(B级)分析

较大矛盾冲突呈现“分布散、涉及广、协调难”的特点。村庄或人口密集区涉及3个村屯1132名原住民,分布在管理服务区,原住民日常生活及人员集中活动与保护地管控存在一定冲突。集体林零散分布于一般游憩区,整体调出会损害林农林下经济收益,产权调整协调难度大。林区公路作为保障林区管护、防火及居民出行的关键基础设施,虽未占用核心区,但人员物资流通频繁,需控制规模扩张。保护地重叠问题需按“上位保护原则”完成管控衔接,明确权责划分。

3.2.3 一般矛盾冲突(C级)分析

一般矛盾冲突为公园内的废弃采矿、采石旧址,相关探矿权已纳入有序退出计划,设置5

年过渡期用于勘查成果评估及退出处置。目前该区域已无实际采矿活动,对当前生态环境影响较小,属于可逐步化解的历史遗留问题。

3.2.4 矛盾冲突综合评价

根据吉林省自然保护地矛盾冲突评估标准,凡存在1项及以上严重矛盾冲突(A级),即认定矛盾冲突为I级。公园内包含1项A级矛盾冲突,综合判定矛盾冲突为I级,需按照政策规定采取分类有序退出处置、调整管控分区、生态移民等方式重点解决。

3.3 管理水平评估

3.3.1 量化评分

从管理基础、保护成效、科研监测、宣传教育、旅游发展和社区参与6个方面对吉林白山龙山湖国家森林公园管理水平进行量化评估。具体量化评分结果见表1。

表1 龙山湖国家森林公园管理水平评估得分

Tab. 1 Evaluation scores of management level for Longshan Lake National Forest Park in Baishan City of Jilin Province

评估维度	评估项	评估分值	评估维度	评估项	评估分值
管理基础(40分)	界线范围(5分)	5	保护成效(20分)	资源保护(15分)	13
	土地权属(5分)	3		日常管护与巡护(5分)	4
	管理机构与人员(10分)	7		监测活动(3分)	1
	制度建设(5分)	1	科研监测(10分)	科研工作(3分)	1
	规划编制与实施(5分)	5		资源调查(4分)	2
旅游发展(10分)	基础设施(10分)	10	宣传教育(10分)	-	4
	-	2	社区参与(10分)	-	3

3.3.2 管理水平综合评价

结果显示森林公园总得分为61分(总分100分),整体管理水平评定为II级。在各分项中,管理基础(31分)和保护成效(17分)得分相对较高,界线范围清晰、基础设施完善,森林资源、野生动植物资源及文化资源保持完整稳定,公益林管护与巡护制度执行到位,体现了“生态优先”的管理核心。但科研监测、宣传教育、旅游发展、社区参与四个方面得分偏低,是管理工作的主要短板,具体表现为缺乏常态化监测与科研支撑、生态保护宣传力度不足、旅游资源未有效开发、社区协同参与机制缺失,这些问题制约了公园管理的精细化、科学化与可持续性。

4 结论与建议

4.1 结论

本文从边界与功能区界线划定、矛盾冲突和管理水平三个核心维度对吉林白山龙山湖国家森林公园进行了综合评估。整体边界划定较为合理,能够覆盖主要保护对象,但局部区域仍存在边界重叠和管控冲突问题,边界与功能区界线划定综合评定为II级。矛盾冲突主要为历史遗留问题,其中严重矛盾冲突1项,矛盾冲突综合判定为I级。基础管理条件较好,但在科研监测、公众参与等方面仍存在不足,精细化管理水平有待进一步提升,管理水平综合评定为II级。(下转第48页)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.03.008

文章编号:1005-7129(2026)03-0038-04 中图分类号:S759.9 文献标识码:A

仙景台风景名胜区自然属性与生态价值评估

梁为玉, 智献坡, 任贺, 孟东阳, 韩喜越

(吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022)

摘要: 本文通过现场踏勘与资料分析,对仙景台风景名胜区的自然属性与生态价值进行了评估。其综合评估分数为 56 分,保持了较高的森林覆盖率和生态系统原真性,拥有独特的花岗岩地貌景观和较高的观赏游憩价值,是以独特自然景观和游憩功能为主的风景区。

关键词: 自然属性;生态价值;仙景台风景名胜区;综合评估

Evaluation of Natural Attribute and Ecological Value of Xianjingtai Scenic and Historic Area

LIANG Weiyu, ZHI Xianpo, REN He, MENG Dongyang, HAN Xiyue

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

Abstract: The natural attribute and ecological value of Xianjingtai Scenic and Historic Area were evaluated in this paper through reconnaissance and data analysis. The comprehensive evaluation score was 56. It maintained the high forest coverage and ecosystem authenticity. It had the unique granite landform landscape and high ornamental and recreational value. It was the scenic and historic area with unique natural landscape and recreational functions.

Keywords: natural attribute; ecological value; Xianjingtai Scenic and Historic Area; comprehensive evaluation

自然保护地是生物多样性保育和生态系统服务功能维持的基石,也是衡量一个国家生态文明建设水平的重要标志^[1, 2]。中国是全球生物多样性最丰富的国家之一,具备几乎所有生态系统类型。新中国成立以来,自然保护地体系建设经历了从无到有、从单一类型到系统整合的历史性跨越^[3]。经过多年的努力,我国已建成数量众多、类型丰富、功能多样的各级各类自然保护地,在维持生物多样性、保护自然遗产、改善生态环境质量和维护国家生态安全方面发挥了重要作用。以国家公园为主体的自然保护地体系是我国生态文明建设的一项重大制度创新,旨在系统保护最具国家代表性的自然

生态系统,实现人与自然和谐共生。近年来,我国自然保护地体系建设进入了全面提速的阶段,并取得了实质性进展^[4, 5]。本文对仙景台风景名胜区的自然属性、生态价值进行了综合评估,可为该区域自然保护地合理整合优化及编制保护地发展规划提供科学支撑。

1 仙景台风景名胜区概况

仙景台风景名胜区(地理位置 129°01'38"~129°05'49" E、42°16'41"~42°20'47" N)经国务院审定为第四批国家重点风景名胜区,位于吉林省延边朝鲜族自治州和龙市南坪镇境内,海拔 505~1 190 m,总面积 32.26 km²,外围保护

收稿日期:2026-01-27

第一作者:梁为玉(1990—),男,工程师,从事森林资源调查及相关工作,Email:605829500@qq.com。

地带总面积 11.18 km²,为中型风景区。属中纬度中温带季风半湿润气候区,四季分明,夏季温和凉爽,冬季较为寒冷。年平均气温约 4.9℃,日照充足,年均日照时数 2 441.7 h,夏秋季节降水较多,日最大降水量达 164.8 mm。属花岗岩地貌类型,为火山岩系。

2 评估方法

依照《吉林省森林资源调查规划设计技术细则》(2013)和《森林资源连续清查技术规程》(GB/T 38590—2020),对仙景台风景名胜区进行资源本底调查工作,结合 2020 年森林资源“一张图”,掌握其各类资源及分布,对其自然属性和生态价值进行评估,其中生态服务价值采用基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法进行估算^[6]。

表 1 不同林型森林面积

Tab. 1 Forest areas of different types of the forest

林型	面积/hm ²	天然林面积/hm ²	人工林面积/hm ²	林型	面积/hm ²	天然林面积/hm ²	人工林面积/hm ²
蒙古栎林	1 348.75	1 348.75	0	紫椴林	33.29	33.29	0
阔叶混交林	1 136.76	1 136.76	0	红松林	32.62	0	32.62
针阔混交林	206.88	93.00	113.88	白桦林	22.06	22.06	0
落叶松林	162.43	15.55	146.88	针叶混交林	15.81	0	15.81
樟子松林	92.86	79.36	13.50	云杉林	1.13	0	1.13

3.1.2 生物多样性

仙景台风景名胜区地处长白山余脉,动植物资源丰富。野生植物资源主要有红松(*Pinus koraiensis*)、黄花落叶松(*Larix olgensis*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongholica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、白桦(*Betula platyphyl- la*)、红皮云杉(*Picea koraiensis*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、山葡萄(*Vitis amurensis*)、五味子(*Schisandra chinensis*)、山杏(*Prunus sibirica*)、桔梗(*Platycodon grandiflorus*)、党参(*Codonopsis pilosula*)、人参(*Panax ginseng*)、蕨(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)、椴木(*Aralia elata*)等 1 000 余种,植被类型多样,构成了白、棕和翠绿色的多层次树色特有的森林景观,具有良好的生态环境。野生动物主要有野猪(*Sus scrofa*)、狍(*Capreolus pygargus*)、亚洲狗獾

3 评估结果与分析

3.1 自然属性

3.1.1 原真性

仙景台风景名胜区是以森林生态系统为主要保护对象的自然保护地。根据 2020 年森林资源“一张图”,其总面积 3 226.26 hm²,林地面积 3 140.87 hm²,森林面积 3 052.59 hm²,活立木总蓄积量 428 315 m³,森林覆盖率 94.62%。其中,国有林地面积 2 001.90 hm²,活立木蓄积量 315 416 m³;集体林地面积 1 138.97 hm²,活立木蓄积量 112 899 m³。不同林型森林面积如表 1 所示,其中天然林面积 2 728.77 hm²,占景区总面积的 84.58%,森林资源以天然次生林为主。基本保持了原始次生林的风貌和植物群落,具有良好的生态环境。

(*Meles leucurus*)、东北兔(*Lepus mandshuricus*)、环颈雉(*Phasianus colchicus*)、东北林蛙(*Rana dybowskii*)等,其动物区系与周边地区基本一致,由于其面积较小且没有成规模的河流湖泊等,对动物的多样性有一定影响。

3.1.3 典型性

仙景台风景名胜区保护对象的代表性一般,地带性植被为长白山地区比较普遍的针阔混交林,如今受人类活动的影响已演化为次生阔叶林。林型以阔叶混交林和蒙古栎林为主,二者在景区总面积中的占比分别为 35.23%和 41.81%,蒙古栎林占比居首,其群落结构尚处于植被演替的初始阶段。

3.1.4 稀有性

仙景台风景名胜区属于旅游景区,人为活动相对频繁,对动植物的生境有一定的影响。目前没有特有动植物分布的相关记载,风景区

范围外的自然环境与景区自然环境基本相同,自然生境在区域内比较普遍,不存在其独有的特殊性。

3.1.5 完整性

仙景台风景名胜区景点星罗棋布,但一条公路贯穿其中,且从面积适宜性角度考量,其总面积偏小,既难以维持生态系统的结构与功能,也无法充分保护主要保护对象,更不足以维系保护地范围内主要保护物种的最小存活种群。其与相连、相邻区域的生态环境大体相似,是该区域生物群落生存繁殖的有机组成部分,依赖整个区域发挥生态功能。

3.1.6 脆弱性

仙景台风景名胜区山势险峻,坡度较大,土层较薄。蒙古栎林面积占景区总面积三分之一

以上,且多分布在坡度较大的山体上;部分观赏性极佳的针叶景观林分布在峭壁上。坡度较大山体上的蒙古栎林和峭壁上的针叶景观树木一旦受到干扰和破坏,通过人工管理和天然更新很难恢复,生态系统的稳定性一般,生态系统恢复程度一般。

3.2 生态价值

3.2.1 生态系统服务价值

采用基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法对7种生态系统服务价值进行了估算,具体包括水资源供给、气体调节、气候调节、净化环境、水文调节、土壤保持以及维持养分循环价值。经计算,生态系统服务总价值为1.24亿元,每公顷生态系统服务价值为38379元(见表2)。

表2 仙景台风景名胜区各生态系统服务价值

Tab. 2 Ecosystem service values of Xianjingtai Scenic and Historic Area

分类	生态系统服务价值/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	维持养分循环
阔叶	1 910 927	12 196 209	36 532 424	10 847 320	26 640 567	14 893 988	1 124 075
针叶	183 730	1 156 819	3 450 041	1 013 917	2 272 808	1 401 792	108 877
针阔混	169 319	1 075 404	3 217 059	910 661	1 606 241	1 308 789	100 676
水系	28 292	2 628	7 815	18 941	348 921	3 174	239
旱地	2 529	84 732	45 528	12 647	34 146	130 260	15 176
灌木	16 660	106 777	320 331	96 932	253 690	130 253	9 845
裸地		3 448		17 241	5 172	3 448	

3.2.2 科研价值

仙景台风景名胜区自然森林植被保存完好,森林覆盖率90%以上,长白山地区绝大多数的典型植被均有分布,植物资源丰富。核心景观如寻仙峰、骆驼峰、莲花峰、阿里郎峰、仙景峰、龙王台等,是以长白山余脉花岗岩地貌为基础的地质景观。其在生物学、地质学等领域的研究工作中,具备一定程度的科研价值。

3.2.3 观赏价值

仙景台风景名胜区以长白山余脉的森林植被为绿色基底,有300余处奇景,汇聚了各种自然景观和人文景观,具有极高的观赏价值和游憩价值。其海拔差异明显,区域内山峦连绵不断,有大小山峰10余座,在长白山火山运动作用下塑造了造型丰富的花岗岩地貌景观,受构

造和自然风化的影响形成了形式各异的奇峰、奇岩。区域内河流为山间流下的溪水汇集而成,水量大小与季节降雨量有一定的协同性。主要的瀑布景观有七星瀑布和天降瀑布,水流在下落过程中与周围岩石剧烈碰撞,形成跌水飞溅的壮观景象。其在观光游憩方面具有较高价值,能够为游客提供独特的旅游体验。根据《风景名胜区总体规划标准》(GB/T 50298—2018)对其景点或景群进行评价,目前共有74处景源(见表3)。其中,一级景源6处,包括寻仙峰、金龟峰、骆驼峰、独秀峰、阿里郎峰、仙景峰,是极具代表性的精华所在;二级景源11处,包括神仙宫、千姿岩、七星瀑布、象鼻岩、仙人岩、长寿峰、金达莱峰、仙台峰、观景峰、龙王台、莲花峰,景观特色鲜明。

表 3 仙景台风景名胜区风景资源

Tab. 3 Landscape resources in Xianjingtai Scenic and Historic Area

风景资源类别			风景资源名称
大类	中类	小类	
自然 景观	天景	云雾景观	云海日出
		山景	仙景门、观望台、仙游台、步步登高、聚仙台、寻仙台、龙王台、磐石台
		奇峰	仙景峰、独秀峰、长寿峰、白云峰、骆驼峰、仙台峰、阿里郎峰、寻仙峰、金龟峰、金达莱峰、彩悬峰、观景峰、莲花峰
	地景	洞府	财神洞、长寿洞、神仙宫
		石林石景	扇子岩、虎斑岩、马蹄印、仙人枕、鹰翅岩、老君岩、卧虎岩、仙人椅、仙人坐、仙人床、千姿岩、象鼻岩、仙人岩、七星岩、仙耳岩
		峡谷	一线天
		泉景	神泉水、甘露泉
	水景	溪流	天仙池
		瀑布跌水	天降瀑布、七星瀑布
		古树名木	长寿松、护仙松、友谊松、独秀松、甲丽松、卧丽松、松鹤松、凤凰松、自强松、千枝松、丽枝松、双龙松、结绿松、虎斑松、三星松、盘龙松、夫妻松、寻仙松、天仙松、观音松、仙丽松
人文 景观		植物生态群落	山野林花
		风景建筑	七星广场、金达莱广场
	建筑	宗教建筑	七星寺遗址
		纪念建筑	革命烈士纪念碑
		遗址建筑	渤海国遗址
	胜迹	雕塑	汉白玉观音菩萨

3.2.4 文化价值

仙景台风景名胜区文化价值具有地区性。其所处的延边朝鲜族自治州是国内最大的朝鲜族聚居地,拥有特色鲜明的朝鲜族民俗文化。其所在的区域是古渤海国的重要组成部分之一,拥有悠久的历史文化,渤海国三代文王大钦茂曾盛游于此,现存芦果遗迹、龙州遗迹、高山佛寺址、南坪遗迹等。19世纪中叶在七星岩东侧建成的七星寺现仅存遗址,具有一定的佛教研究价值。

3.3 综合评估结果及分析

仙景台风景名胜区的自然属性与生态价值综合评估分数为 56 分(满分 100 分),其中自然属性评估分数为 34 分(满分 70 分),生态价值评估分数为 22 分(满分 30 分)。原真性为天然次生,等级为 II 级,评估分数计 8 分;生物多样性为较集中分布区,等级为 II 级,评估分

数计 8 分;典型性为一般典型,等级为 III 级,评估分数计 4 分;稀有性为一般稀有,等级为 III 级,评估分数计 4 分;完整性为不完整,等级为 III 级,评估分数计 4 分;脆弱性为比较脆弱,等级为 II 级,评估分数计 6 分;生态系统服务价值为高,等级为 I 级,评估分数计 9 分;科研价值为低,等级为 III 级,评估分数计 3 分;观赏价值为高,等级为 I 级,评估分数计 7 分;文化价值为低,等级为 III 级,评估分数计 3 分。

仙景台风景名胜区自然属性总体评价中等,生态系统本底良好但存在局限,综合评估得分为 34 分。其保持了较高的原真性和相对丰富的生物多样性,等级均为 II 级。然而,景区也存在明显短板。其森林植被以蒙古栎林和阔叶混交林为主,在该地区具有普遍性,典型性等级为 III 级;未记录有特有或濒危物种,稀有性等级为 III 级;景区面积偏小且(下转第 45 页)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.03.009

文章编号:1005-7129(2026)03-0042-04 中图分类号:X322; F326.2; F832 文献标识码:A

吉林省林草碳汇价值实现路径及对策研究

宋玥娇, 段加玉, 陆爽, 张莉媛, 耿文馨, 拱翹楚

(吉林省重点国有林技术服务中心, 吉林 长春 130022)

摘要: 全国温室气体自愿减排交易市场启动后, 林草碳汇迎来新的发展机遇。本文结合吉林省林草碳汇资源现状, 对吉林省林草碳汇价值实现的现实困境进行深入分析, 并提出未来发展建议。

关键词: 林草碳汇; 吉林省; 价值实现

Study on Pathways and Countermeasures for Realizing the Value of Forest and Grassland Carbon Sinks in Jilin Province

SONG Yuejiao, DUAN Jiayu, LU Shuang, ZHANG Liyuan, GENG Wenxin, GONG Qiaochu

(Key State-owned Forest Technology Service Center of Jilin Province, Changchun 130022, China)

Abstract: With the launch of the national greenhouse gas voluntary emission reduction trading market, new development opportunities had emerged for forest and grassland carbon sinks. Based on the status of forest and grassland carbon sink resources in Jilin Province, the practical difficulties in realizing their values were analyzed deeply. The corresponding recommendations for future development were proposed.

Keywords: forest and grassland carbon sinks; Jilin Province; value realization

林草碳汇是通过开展植树造林、森林经营、草原湿地保护修复, 提高生态系统吸收二氧化碳等温室气体的能力, 降低大气中温室气体浓度的过程、活动或机制。推动林草碳汇价值实现能够激励市场主体保护生态环境, 提升生态系统碳汇功能, 助力实现“双碳”目标^[1-5]。森林、草原、湿地作为陆地生态系统主体, 拥有强大的碳汇功能和作用。据专家估测, 到 2060 年全国碳排放为 25 亿 t 左右, 林草碳汇预计为 15~18 亿 t, 对国家碳中和贡献超过 60%, 是实现“双碳”目标最为经济、安全、有效的路径之一。

吉林省作为我国重点林区, 森林、草原、湿地资源丰富, 碳汇开发潜力较大。但如何将资源优势转化为可交易、可增值的碳汇资产, 如何

稳妥有序推进项目开发, 仍是需要深入探索的重要课题。本文对吉林省林草碳汇价值实现的基础进行梳理, 指出其现实困境, 提出未来发展建议, 为吉林省推进“双碳”工作、实现生态产品价值转化提供理论支撑与实践指引。

1 吉林省林草碳汇价值实现的基础

1.1 碳汇潜力巨大

吉林省地处东北亚核心区域, 是我国重点林业省份之一。全省林地面积 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 45.52%; 草地面积 35.53 万 hm^2 , 其中天然牧草地 15.80 万 hm^2 , 人工牧草地 1.06 万 hm^2 , 其他草地 18.67 万 hm^2 ; 湿地面积 82.30 万 hm^2 。从空间分布来看, 东部长白山

收稿日期: 2026-03-31

第一作者: 宋玥娇 (1987—), 女, 工程师, 主要从事吉林省林草碳汇价值实现的研究和重点国有林区技术服务工作, E-mail: 582168112@qq.com。

通信作者: 段加玉 (1972—), 女, 高级工程师, 主要从事重点国有林区林业研究工作, E-mail: 719247259@qq.com。

区被誉为“东北生态屏障”,是我国重要的天然林区,森林覆盖率高,生态系统完整,在涵养水源和固碳增汇等方面具有不可替代的生态价值;中部松辽平原地势平坦,土质肥沃,农田防护林体系健全,环境承载能力较强,兼具生态调节与固碳增汇功能,是碳汇产品开发的重要补充区域;西部以草原湿地生态系统为主,草原辽阔,湿地面积较大,在固碳增汇与保护生物多样性方面具有独特价值。

经初步估算,吉林省林草湿年碳汇量约为3 936.44万t CO₂,其中森林年碳汇量约为3 864.19万t CO₂,湿地年碳汇量约为59.24万t CO₂,草原年碳汇量约为13.01万t CO₂。丰富的碳汇资源为吉林省林草碳汇产品的规模化开发、多元化价值实现提供了天然优势。

1.2 碳汇试点格局初步形成

吉林省立足“东、中、西三大板块”资源禀赋差异,构建了“3个国家级+18个省级”的碳汇试点格局,各试点单位围绕林草固碳增汇能力建设,在管理体制机制创新、资源本底调查、碳汇计量监测、项目开发、司法碳汇协同等方面进行了探索。其中临江林业有限公司和三岔子林业有限公司依托丰富森林资源,推进核证碳标准(Verified Carbon Standard,VCS)项目开发,达成了林业碳汇项目交易。延边朝鲜族自治州确立“生态司法+碳汇”多部门联合工作机制,开创了破坏森林资源案件适用林业碳汇赔偿的司法先例。各试点单位通过差异化路径探索,形成了类型多样的碳汇开发试验矩阵,为全省提升森林碳汇能力、推进林草碳汇项目开发积累了关键技术与实践经验。

1.3 碳汇计量监测技术体系初步构建

在碳汇计量监测方面,依托吉林省林业科学研究院等技术支撑单位起草了《天然林碳库评估技术规程》《草地碳库评估技术规程》《沼泽湿地碳库评估技术规程》3项技术标准,围绕森林、草原、湿地三大生态系统,初步构建了林草碳汇计量监测技术体系,为实施林草碳汇连续动态监测、科学评估增汇潜力提供了重要的理论支撑与技术路径。

2 吉林省林草碳汇价值实现的现实困境

2.1 林草碳汇产品交易渠道单一

当前吉林省林草碳汇产品交易渠道呈现“国际市场遇阻、国内市场受限”的双重困境。

从国际市场来看,吉林省仅有少数试点单位参与VCS国际碳汇项目开发,但目前VCS交易呈现进入门槛高、审核标准严的趋势,导致项目落地难度大,难以形成稳定的交易渠道。从国内市场来看,林草碳汇产品交易主要依托全国温室气体自愿减排交易市场,但现行温室气体自愿减排项目方法学体系仅覆盖“造林碳汇”单一类型,森林经营、草原保护修复、湿地修复等类型尚未纳入,因此吉林省大量的碳汇资源无法转化为国家核证自愿减排量(Chinese Certified Emission Reduction,CCER)产品。同时,与国内先行地区相比,吉林省尚未建立具有本地特色的碳汇产品交易机制,碳票、碳普惠等多元化价值实现模式仍处于探索阶段,碳汇产品的市场流通性不足导致资源优势无法转化为市场优势。

2.2 符合开发条件的资源有限

尽管吉林省林草碳汇资源总量丰富,但能够开发为林草碳汇项目进入全国温室气体自愿减排市场的资源占比偏低,成为制约碳汇产品规模化开发的重要因素。从CCER项目开发要求来看,造林碳汇项目需为2012年后实施且土地为三年以上无林地,而吉林省在本世纪初已基本消除“荒山荒地”,2012年后的人工造林多为迹地更新,符合CCER造林碳汇项目开发条件的林地资源极少。此外,受权属、生态保护红线等因素影响,吉林省实际可开发的林草碳汇资源进一步缩减,碳汇产品的规模化开发面临瓶颈。

2.3 林草碳汇产品开发成本高

林草碳汇产品开发具有周期长、投入大、约束严的特点,全周期开发成本过高,导致各类林草经营主体的开发参与意愿偏低。一是时间成本冗长,林草碳汇项目从设计文件编制、第三方审定、现场监测到最终交易落地,整个流程最快需要1年左右,经营主体获得经济收益的周期漫长,资金回笼速度慢;二是投资成本高,林草碳汇项目开发成本约为100~200万元,小规模经营主体难以承担高额开发成本;三是机会成本凸显,林草碳汇项目计入期内,对林地采伐、林下经济等经营活动存在严格限制,与区域林草产业的短期经济收益形成冲突。在长周期、高投入、严约束下,多数单位对碳汇开发持审慎观望态度。

2.4 专业技术人才短缺

林草碳汇价值实现需要大量既具备理论知

识又了解政策法规的林学、生态学专业技术人才,但目前专业人才十分稀缺。大部分林草基层单位尚未配备专职工作人员,项目推进过度依赖外部咨询机构,难以独立实现碳汇项目全过程管理与技术把控,增加了项目开发成本与项目推进的不确定性。人才储备不足成为制约林草碳汇有序发展的重要瓶颈。

3 吉林省林草碳汇价值实现的路径探索

3.1 巩固提升林草碳汇能力

巩固提升林草碳汇能力是实现林草碳汇价值的根本,需科学开展造林种草,努力提高森林质量,全面提升吉林省林草生态系统的固碳增汇能力,为碳汇产品开发提供充足的资源保障。一是推进森林质量精准提升,加强长白山生态主体功能区建设,实施天然林保护、森林抚育、退化林修复等工程,优化林分结构,提升森林生态系统的固碳能力。二是加强黑土区水土流失治理,推进小流域综合治理提质增效,形成以林补水、林水互补良性循环。三是加强草原湿地生态修复,提升草原湿地生态系统的固碳增汇能力,探索草原湿地碳汇产品的开发路径;四是持续推进国土绿化工程,结合迹地更新、荒山绿化等措施努力扩充绿色资源总量,夯实碳汇产品的资源基础。

3.2 系统开展全省碳汇本底调查

林草碳汇资源本底调查是林草碳汇产品开发的前提和基础,需精准掌握碳汇资源状况,建立分级分类的碳汇项目储备库,为吉林省碳汇产品的科学化、规模化开发提供数据支撑。一是开展全口径碳汇本底调查,整合遥感监测、地面调查、模型模拟等技术手段,对全省森林、草原、湿地生态系统的碳储量、碳汇量进行全面核算,精准掌握不同区域、不同类型、不同林龄林分的碳汇能力,明确符合碳汇项目开发条件的资源底数;二是建立分级分类项目储备库,根据碳汇资源的类型、规模、开发条件,将碳汇项目分为优先开发类、培育开发类、探索开发类,优先开发符合 CCER 要求的造林碳汇项目,培育开发森林经营碳汇项目,探索开发西部草原湿地碳汇项目,实行动态管理,为碳汇产品的持续供给提供保障。

3.3 构建多元化碳汇价值实现渠道

突破单一的 CCER 开发渠道,结合吉林省资源特征,构建“CCER 产品+碳普惠”的多元化林草碳汇产品交易体系,打通碳汇产品从资

源到资产、再到资本的转化通道。一是积极对接全国温室气体自愿减排交易市场,重点开发符合现行方法学要求的造林碳汇项目,确保项目开发的合规性与科学性,争取将吉林省碳汇资源转化为 CCER 产品进行交易;二是推进碳普惠机制建设,针对小微企业、社区家庭和个人的减碳行为,以及省内小规模林草经营主体的碳汇开发需求,建立吉林省碳普惠体系,简化碳汇计量核算标准,开发普惠型碳汇产品,搭建碳普惠交易平台,推动碳普惠产品与碳中和需求对接,拓宽碳汇产品的普惠化价值实现渠道。

3.4 创新林草碳汇金融产品

加强与金融机构的深度合作,围绕林草碳汇产品开发的全生命周期,创新多元化的碳汇金融产品与服务模式,拓宽融资渠道,破解碳汇项目开发的资金瓶颈,吸引社会资本参与林草碳汇产品开发。探索碳汇远期交易、碳汇期货、碳汇抵(质)押贷款、碳汇保险、碳汇债券、碳汇基金等多元化碳汇金融产品,深化碳汇开发、碳汇交易、碳汇金融及衍生品的一体化解决方案研究,系统构建林草碳汇金融产品体系。通过创新碳汇金融工具,放大林草碳汇的生态效益与经济效益,有效破解林草碳汇开发面临的融资难瓶颈,拓展多元化融资渠道。

3.5 构建系统化人才培养体系

人才是推动事业发展的基本保障,涉林高校应立足于培养林草碳汇专业人才,探索设立林草碳汇专业课程,并逐步健全完善林草碳汇相关学科。另外,应邀请林草碳汇相关专家为全省林草行业相关人员开展林草碳汇专业技能培训,并建立长效培训机制,提升相关人员对碳汇政策、技术标准、开发流程的认知水平和实操能力。

4 讨论

林草碳汇价值实现是将林草生态资源转化为资产的重要路径,也是实现“双碳”目标的核心举措。本文对吉林省林草碳汇价值实现的基础条件、核心制约因素进行了系统分析。吉林省林草碳汇资源禀赋得天独厚,具备碳汇产品价值实现的先天优势。目前,吉林省林草碳汇试点格局初步形成,计量监测体系逐步完善,已经迈出了林草资源价值转化的第一步,但仍面临着开发渠道单一、开发成本高、专业人才短缺等核心制约因素。未来吉林省林草碳汇价值实现需通过强化林草生态保护修复,开展碳汇本

底调查、构建多元化碳汇价值实现渠道、创新碳汇金融产品等举措,推动生态优势向发展优势的跨越,实现生态保护与经济发展协调统一,促进吉林省林草事业高质量发展。

参考文献

- [1]高晓龙,林亦晴,徐卫华,等.生态产品价值实现研究进展[J].生态学报,2020,40(1):24-33.
- [2]李青,苟丽晖,郑芊卉,等.林草碳汇产品价值实

现路径及对策研究[J].林草资源研究,2023(6):18-26.

- [3]牛玲.碳汇生态产品价值的市场化实现路径[J].宏观经济管理,2020(12):37-42,62.
- [4]陈元哲,李怒云.加快建立中国自愿碳减排标准体系[J].绿色中国,2024(14):42-45.
- [5]于贵瑞,朱剑兴,徐丽,等.中国生态系统碳汇功能提升的技术途径:基于自然解决方案[J].中国科学院院刊,2022,37(4):490-501.

(本篇专家编审:任军)

(上接第41页)有公路贯穿,难以独立维持完整的生态系统结构与功能,完整性等级为Ⅲ级。此外,山势陡峭、土层较薄的地质条件使其生态系统稳定性一般,脆弱性等级为Ⅱ级。

仙景台风景名胜区生态价值特征鲜明,观赏游憩价值比较突出,综合评估得分为22分。最具优势的指标为生态系统服务价值和观赏价值,等级均为Ⅰ级。评估表明,景区生态系统服务总价值达1.24亿元,每公顷价值3.84万元,尤其在气候调节、水文调节等方面功能显著。同时,景区花岗岩地貌景观奇特,拥有300余处奇景,74处景源中包括6处一级景源,具有极高的观赏与游憩价值。相比之下,其科研价值和文化价值等级为Ⅲ级,主要体现在地质地貌的研究意义和地区性的朝鲜族民俗、渤海国历史文化价值。

仙景台风景名胜区综合评分为56分,定位为以独特自然景观和游憩功能为主的风景名胜区。其核心价值在于独特的花岗岩地貌景观、高森林覆盖率带来的优质生态环境以及由此产生的高水平生态系统服务功能和旅游吸引力。但其在自然生态系统的典型性、稀有性、完整性和科研价值方面存在不足,限制了其晋升为更高级别自然保护地的潜力。

4 建议

应明确保护与发展定位,实施差异化策略。建议在吉林省自然保护地体系规划中,将仙景台风景名胜区的核心功能定位于“自然景观保护与生态游憩”。管理重点应从追求生态系统的“国家代表性”转向维护区域生态安全格局和提供优质生态产品的“地方独特性”。应重

点保护其独特的花岗岩地貌景观和森林植被,而非过度强调其普遍存在的生物种类。

针对生态系统脆弱性问题,应制定专项保护方案。对坡度较大山体上的蒙古栎林和峭壁上的景观松树等所处的关键区域,设立保护标识,减少人为干扰,必要时采取工程固坡、植被恢复等辅助措施,增强生态系统稳定性,降低地质灾害风险。鉴于景区面积偏小、完整性不佳,建议在自然保护地整合优化中,探索将其与周边自然生态空间进行整体规划和协同管理。通过建立生态廊道,将其纳入更广泛的区域生态网络中,以提升整体生态功能,保护生物迁徙通道。

参考文献

- [1]迟磊,钟林生,张生瑞.中国自然保护地空间整合优化研究进展及展望[J].地理科学,2026,46(1):54-67.
- [2]黄佳璐,林峤涵,张骞,等.城市生物多样性保护现状、原则及发展对策[J].环境污染与防治,2025,47(5):14-19.
- [3]高兀昌.林业自然保护地生态修复路径与实践探讨[J].江西农业,2025(20):175-177.
- [4]刘超.以国家公园为主体的自然保护地体系立法研究[M].北京:中国社会科学出版社,2023:339.
- [5]喻舒琳,王爱华,王盼,等.基于自然的解决方案在以国家公园为主体的自然保护地建设中的应用思考[J].西部林业科学,2022,51(6):151-157.
- [6]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,2015,30(8):1243-1254.

(专家编审:陈建军)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2026.03.010

文章编号:1005-7129(2026)03-0046-03

中图分类号:S757

文献标识码:A

智慧林业与人才培养协同发展的初步探析

高芳¹, 阎光耀¹, 董环宇², 李青梅³, 韩娇³, 李岩³

(1. 应急管理大学, 河北 廊坊 065201; 2. 吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022; 3. 吉林省林业科学研究院, 吉林 长春 130033)

摘要: 智慧林业是现代林业发展的新方向, 本文指出了智慧林业与人才培养协同发展的困境, 提出了智慧林业与人才培养协同发展的路径。通过协同发展机制, 提升从业人员综合素养, 为林业现代化转型提供坚实的人才保障。

关键词: 智慧林业; 人才培养; 协同发展; 林业现代化

Preliminary Analysis on the Coordinated Development of Smart Forestry and Personnel Cultivation

GAO Fang¹, YAN Guangyao¹, DONG Huanyu², LI Qingmei³, HAN Jiao³, LI Yan³

(1. University of Emergency Management, Langfang 065201, China; 2. Forestry Investigation and Planning Institution of Jilin Province, Changchun 130022, China; 3. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Smart forestry had become the new direction for the development of modern forestry. The coordinated development dilemma of smart forestry and personnel cultivation was pointed out in this paper. The path of coordinated development was put forward. Through the coordinated development mechanism, the comprehensive quality of personnel was improved. That would provide the solid personnel support for the transformation of forestry modernization.

Keywords: smart forestry; personnel cultivation; coordinated development; forestry modernization

随着国家生态文明建设的不断推进, 以及“双碳”战略的深入落实, 智慧林业已成为现代林业发展的新方向, 行业发展正式迈入科技深度赋能的全新阶段^[1-3]。当前, 天空地一体化监测、数字孪生、林业大数据分析这些先进技术正逐步应用到森林资源保护、生态修复、林业灾害预警和防控等各个环节, 智能装备和数字化管理平台正在逐渐推广使用, 林业行业的系统性、整体性和智能的水平得到提升。与此同时, 国家层面不断强化政策引导力度, 涉林科研机构、高等院校与相关企业之间的产学研合作日益紧密, 为智慧林业发展搭建了良好的技术支

撑体系和人才培育环境, 进一步加快了林业行业数字化、智能化的转型进程^[4, 5]。

智慧林业的快速发展, 不仅对林业从业人员的职业素养提出了更高要求, 也给整个行业带来了全新的挑战。对于林业从业者而言, 既要扎实掌握传统林学专业知识与实际操作技能, 还需具备智能装备操作、数字化平台运维等跨学科技术能力。但就目前情况来看, 我国林业基层队伍的素养水平仍难以满足这一发展需求, 存在林业信息化人才供给滞后的问题。从业人员代际间的素养差距逐渐显现, 已成为制约相关技术落地应用的重要因素。另外, 林业

收稿日期: 2026-03-02

基金项目: 中央高校基本科研业务费科技基金(3142025003); 河北省高校党建研究课题(JXDJ2025b365)

第一作者: 高芳(1990—), 女, 讲师, 博士研究生, 主要从事红松体胚发生研究和高等教育管理工作, E-mail: 1401952759@qq.com。

通信作者: 李岩(1978—), 女, 研究员, 主要从事林业研究工作, E-mail: liyan_j2004@163.com。

行业还存在职业吸引力不足、从业人员职业认同感与行业归属感不强等突出问题。林业从业人员既要树立生态至上、科技创新、精益求精的职业理念,还要具备艰苦奋斗、扎根基层、无私奉献的精神,智慧林业发展与人才培养的适配程度亟待进一步提升。

1 智慧林业与人才培养协同发展的现实困境

1.1 技术迭代与职业素养的适配性失衡

林业智慧化转型正面临“技术领跑、素养跟跑”的结构性矛盾。随着智能装备与数字平台加速落地,技术更迭周期大幅缩短,而从业人员素养提升却严重滞后,这一失衡在基层队伍中呈现代际分化特征。老员工受年龄结构与知识固化制约,对智能化作业新模式存在畏难情绪,致使高成本引进的先进设备功能闲置。新入职大学生虽具备理论优势,却因缺乏复杂地形与恶劣气候下的实战经验而陷入“水土不服”,加之职业认同感薄弱、对林区艰苦环境心理准备不足,人员极易流失。行业整体职业吸引力下降,“苦、累、偏”的刻板印象进一步消解了从业人员主动精进技术、践行职业精神的意愿,导致智慧林业技术红利难以充分释放。

1.2 行业需求与人才供给的衔接性脱节

涉林院校作为人才供给主阵地,其培育模式与行业实际需求存在明显的“供需错位”,产教融合浅层化。一方面,课程体系更新迟缓,教学内容多停留在通用智能装备操作层面,缺乏针对特定地域环境(如高寒地形、复杂生态)的实操规范与本土化案例教学,导致毕业生“所学非所用”。研究表明,林业从业者技术与非技术技能的培养均存在明显短板^[6]。另一方面,培育理念存在“重技轻道”偏差,过度聚焦硬性技能传授,忽视了“知林、敬林、爱林”的情怀熏陶与职业精神塑造,致使学生行业归属感淡薄。此外,校企合作多流于形式,实训基地建设滞后,设备陈旧且难以模拟真实的智慧作业场景,学生应急处突能力缺失。这种产教融合的脱节,使得人才供给端在数量与质量上均难以支撑智慧林业对复合型人才的迫切需求。

1.3 激励机制与素养评价的协调性不高

绩效考核是职业行为的指挥棒,但当前林业行业评价体系存在严重的“素养盲区”。考核指标过度依赖木材产量、作业量等显性经济数据,而对生态保护成效、技术应用规范等隐性价值缺乏量化考量。技术素养与生态素养的评

价多流于定性描述,主观随意性强;艰苦奋斗、生态守护等职业精神更是游离于考核体系之外,无法转化为可评估的要素,且缺乏与职称、薪资、奖励等挂钩的实质激励。研究指出,学习新技能与个人成长是林业从业者参与培训的核心内在动机^[6]。激励机制的缺位,导致从业人员提升素养的内生动力枯竭,难以在全行业形成崇尚技能、坚守精神的良性氛围,使得协同发展陷入“无源之水”的困境。

2 智慧林业与人才培养协同发展的路径探析

2.1 筑牢智慧林业建设的实践培育载体

推动智慧林业与人才培养协同发展,首要任务是建设好智慧林业这一实践载体,并将人才培养功能深度嵌入其建设与运行全过程,实现“以建促育”。在硬件基础层面,林业主管部门应发挥主导作用,联合科研机构与企业构建行业通用的智慧林业技术标准体系,规范智能装备配置、数据接口与作业流程。针对中小型林场装备短缺的痛点,需加大财政扶持力度,逐步配齐适当地作业环境的智能装备,建设必要的数字化监测网络,为人才培养提供可操作的物质载体。在软件配套层面,应搭建集在线学习、模拟操作、考核评价于一体的智慧化人才培养支撑平台,汇聚行业优质课程资源,推广标准化操作教程。利用虚拟仿真技术构建典型作业场景,有效破解基层实训资源不足、场景单一的难题,并同步集成数据采集功能,为素养评价提供客观依据。在运行机制层面,推动智慧林业建设与产教融合深度绑定,鼓励重点林场与院校共建共享实训基地,将生产现场转化为人才培养课堂。建立跨区域、跨单位的技术帮扶机制,通过“先进带后进”的模式,在技术输出与转移中完成经验的传递与素养的培育,拓宽人才培养的现实渠道。

2.2 构建三维融合的人才培养体系

构建技术素养、生态素养、职业精神三位一体、相互融合的培养体系,是实现“以育促建”的核心。技术素养培育应推行“院校理论教育+林场实操实训”双轨并行模式。高校教育需引入智慧林业前沿技术与本土化案例,推广“双导师制”。林场层面需开展常态化、针对性的在岗培训,特别是对基层老员工采取“手把手”现场实操演练,消除智能技术应用障碍。生态素养培育需贯穿技术训练全过程,编制通俗易懂的生态素养操作手册,将生态保护红线细化为

采伐、集材等各环节的具体作业标准,并通过案例研讨分析经济效益与生态保护的冲突情境,培养从业人员的生态决策能力。职业精神培育则聚焦职业行为规范与价值认同,将艰苦奋斗、无私奉献的林业优良传统与科技创新、精益求精的智慧林业时代精神纳入行业文化建设。广泛选树先进典型,通过文化熏陶与榜样引领,激发从业人员对林业事业的热爱与坚守,实现从“被动”到“主动”的转变。

2.3 健全素养导向的协同发展激励机制

破解激励不足困境,关键在于建立科学、公正、有效的素养评价与激励体系。首先,构建以三维素养为核心的量化评价体系。依托智慧林业平台产生的作业数据与行为记录,结合同行评议与管理者评价,对从业人员的操作水平、生态保护成效及职业道德修养进行多维度、量化的综合考评,使素养评价有据可依,避免主观臆断。其次,强化评价结果与切身利益的刚性挂钩。将素养评价结果作为从业人员薪酬调整、职称评审、岗位聘任及培训机会分配的核心依据,对于在技术应用创新、生态保护贡献、职业精神践行等方面表现突出者,给予专项奖励和晋升通道,让素养价值得到真切的回报。另外,可设立专项激励基金,奖励在智慧林业技术应用、素养提升、职业精神弘扬方面有显著成效的单位和个人,形成全行业重视素养、追求卓越的导向与氛围。通过建立明确的“素养—回报”联动机制,将外部要求转化为从业人员提升自我、奉献行业的内生动力。

(上接第 37 页)

4.2 建议

在保持现有保护格局稳定的基础上,微调与周边自然保护地的重叠区域及不合理纳入地块,完善界桩标识并建立协同管理机制,提升空间管控精度。对其他耕地、集体林等历史遗留问题分阶段采取用途调整、生态补偿、产权转换等分类措施,兼顾生态保护与民生需求。同时加强科研监测与数据支撑,完善宣教设施及社区参与机制,在严格保护生态安全的前提下科学推进生态旅游与自然教育,全面提升公园管理精细化水平与综合功能。

参考文献

[1] 邢韶华, 张芳玲, 承勇, 等. 我国东北地区国家级自然保护地空间分布特征分析[J]. 自然保护地,

3 展望

随着数字孪生、AI 大模型等前沿技术深度渗透,智慧林业的形态与内涵将持续演进。通过持续深化智慧林业与人才培养的协同机制,将为我国林业现代化转型及高质量发展奠定坚实的人才与智力基础,从而有力支撑国家“双碳”战略目标,让林业在生态文明建设中发挥更关键的作用。

参考文献

[1] 张扬南. 智慧林业: 现代林业发展的新方向[J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版), 2013, 13(4): 77-81, 119.
[2] 谢宁波, 许新桥, 王前鹏, 等. 面向智慧林草的天空地一体化监测技术研究进展[J]. 林草资源研究, 2025(3): 1-8.
[3] 张寅. 智慧林业在现代林业管理中的应用[J]. 南方农机, 2024, 55(S1): 145-148.
[4] 李海亮, 李亦晴, 戴声佩, 等. 我国智慧林业关键技术研究进展[J]. 热带作物学报, 2024, 45(11): 2476-2486.
[5] 孙正, 乔赛. 浅析智慧林业技术在生态保护中的应用与优化策略[J]. 农业科技创新, 2025(7): 41-43.
[6] Kaminsky Z, Werner L, Franzen R L, et al. Assessment of forestry professional development needs in Wisconsin[J]. *Journal of Forestry*, 2025, 123(4): 467-484.

(本篇专家编审:陈建军)

2022, 2(3): 106-119.

[2] 姚雪, 丁京仲, 孙天玺. 白山地区自然保护地整合优化方案探析[J]. 吉林林业科技, 2024, 53(4): 33-37.
[3] 兰思仁. 国家森林公园理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
[4] 王涵, 尹航. 吉林延边仙峰国家森林公园现状、存在的问题及建议[J]. 吉林林业科技, 2025, 54(5): 46-48.
[5] 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.
[6] 高欢, 刘通, 张艳华, 等. 基于国土空间规划的白山市青山湖省级风景名胜区功能分区及分级保护[J]. 吉林林业科技, 2025, 54(3): 25-28.

(本篇专家编审:林士杰)

《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3期 (总第301期)

Journal of Jilin Forestry Science and Technology
Bimonthly, Started in 1972
Volume 55 Number 3 (No.301)

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: jlykj2004@sina.com
出版日期: 2026年5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 jlykj2004@sina.com
Publication date May 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