

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54卷 总第297期
2025 5
JILIN LINYE KEJI

目 次

长白落叶松 R2R3-MYB 基因家族鉴定及表达分析	赵佳丽等(1)
不同样地尺度下物种多样性与林分生物量关系研究	杨帆等(7)
长白山区不同林分类型东北红豆杉种群结构特征	刘凯鹏等(13)
磨盘山地区不同林型地表甲虫生物多样性	韩喜越等(17)
林分郁闭度对松墨天牛诱捕量的影响分析	朱宁(21)
汪清县森林火灾危险性与风险性评估	刘长海等(24)
吉林敦化大砬子省级森林公园自然属性和生态价值评估	孙晓阳等(30)
植物开花结实研究进展	王芳等(33)
舒兰市乡村绿化工作现状、存在问题、解决对策及展望	张志刚等(39)
当前我国沙化土地治理的主要措施、问题及对策建议	邵文山(43)
吉林延边仙峰国家森林公园现状、存在的问题及建议	王涵等(46)
本刊声明	(42)

CONTENTS

Identification and Expression Analysis of R2R3-MYB Gene Family in <i>Larix olgensis</i>	ZHAO Jiali et al. (1)
Study on Relationship Between Species Diversity and Stand Biomass under Different Plot Scales	YANG Fan et al. (7)
Population Structure Characteristics of <i>Taxus cuspidata</i> in Different Types of Forests in Changbai Mountain Area	LIU Kaipeng et al. (13)
Biodiversity of Ground-dwelling Beetles in Different Types of the Forest in Mopan Mountain Area	Han Xiyue et al. (17)
Analysis of the Influence of Forest Canopy Density on the Trapping Amount of <i>Monochamus alternatus</i>	ZHU Ning(21)
Hazard and Risk Assessment of Forest Fire in Wangqing County	LIU Changhai et al. (24)
Evaluation of Natural Attribute and Ecological Value of Dalazi Provincial Forest Park in Dunhua City of Jilin Province	SUN Xiaoyang et al. (30)
Research Progress on Flowering and Fruiting of Plants	WANG Fang et al. (33)
Status, Existing Problems, Countermeasures and Prospects of Rural Greening in Shulan City	ZHANG Zhigang et al. (39)
Current Main Measures, Problems and Suggestions of Desertified Land Control in China	SHAO Wenshan(43)
Status, Existing Problems and Suggestions of Yanbian Xianfeng National Forest Park in Jilin Province	WANG Han et al. (46)
Statement	(42)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2025.05.001

文章编号:1005-7129(2025)05-0001-06 中图分类号:S791.22 文献标识码:A

长白落叶松 R2R3-MYB 基因家族鉴定及表达分析

赵佳丽¹, 刘刚², 韩勇³, 张旭⁴, 赵冷冰⁵, 樊巍⁴

(1. 吉林省林业科学研究院, 吉林长春 130033; 2. 吉林市林业科学研究院, 吉林吉林 132000; 3. 东丰县国有林总场, 吉林辽源 136300; 4. 长春市净月潭实验林场, 吉林长春 130117; 5. 吉林省林业工作站, 吉林长春 130022)

摘要: MYB 基因家族广泛参与植物生长发育、次生代谢及生物和非生物胁迫等生理活动。本研究利用生物信息学对长白落叶松 R2R3-MYB 家族基因进行筛选与鉴定, 并对其蛋白理化性质与系统发育树进行分析。长白落叶松转录组测序结果共鉴定到 12 个 R2R3-MYB 基因; 大部分为酸性不稳定亲水蛋白; 亚细胞定位预测均位于细胞核; 系统发育树显示 12 个蛋白被分为 8 个亚族; 干旱胁迫条件下, R2R3-MYB 基因均受到诱导表达并具有不同的响应模式。本研究可为深入研究长白落叶松 MYB 基因响应干旱胁迫应答机制提供理论基础。

关键词: 长白落叶松; R2R3-MYB 基因家族; 生物信息学; 干旱胁迫

Identification and Expression Analysis of R2R3-MYB Gene Family in *Larix olgensis*

ZHAO Jiali¹, LIU Gang², HAN Yong³, ZHANG Xu⁴, ZHAO Lengbing⁵, FAN Wei⁴

(1. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China; 2. Academy of Forestry Science of Jilin City, Jilin 132000, China; 3. State-owned Forest Farm of Dongfeng County, Liaoyuan 136300, China; 4. Jingyuetan Experimental Forest Farm of Changchun City, Changchun 130117, China; 5. Jilin Provincial Forestry Work Station, Changchun 130022, China)

Abstract: MYB gene family was widely involved in plant physiological activities such as growth and development, secondary metabolism, and biotic and abiotic stresses. In this study, R2R3-MYB family genes in *Larix olgensis* were screened and identified by bioinformatics. The physicochemical properties of proteins and the phylogenetic tree were analyzed. Twelve R2R3-MYB genes were identified from transcriptome sequencing results. Most of them were acidic unstable hydrophilic proteins. The subcellular localization predicted that all of them were located in the nucleus. The phylogenetic tree showed that the 12 proteins were classified into 8 subfamilies. The expression of R2R3-MYB genes was induced under drought stress and they had different response modes. This study could provide the theoretical basis for further study on the response mechanism of MYB genes in *Larix olgensis* response to drought stress.

Keywords: *Larix olgensis*; R2R3-MYB gene family; bioinformatics; drought stress

长白落叶松(*Larix olgensis*)为松科落叶松属多年生乔木, 是我国东北林区主要造林树种之一, 其材质好、生长速度快、轮伐期较短, 在东北林区的林业发展和生态建设中具有重要的生

态与经济价值^[1]。当前气候变化挑战日益严峻, 极端天气严重影响植物的生长发育, 有关干旱引起森林生产力下降、树木死亡的报道日渐增多, 降低干旱胁迫对植物的危害、了解植物对

收稿日期:2025—03—24

基金项目:吉林省青年科技人才托举工程(QT202219)

第一作者:赵佳丽(1990—), 女, 助理研究员, 主要从事林木育种与遗传改良研究工作, E-mail: Zhaojl_1990@126.com。

干旱胁迫的响应机制至关重要^[2]。深入挖掘长白落叶松响应干旱胁迫相关基因对探究该物种的抗逆性和遗传品质改良等具有重要的理论与实践意义。

转录因子(Transcription factor, TF)也称作反式作用因子,是一种能够识别真核生物基因特定转录调控区域并发生特异性相互作用的DNA结合蛋白,转录因子是参与转录调控的关键基因^[3]。转录因子一般包含4个功能域,通过不同功能域识别启动子区的顺式作用元件或与其他蛋白相互作用进而激活下游基因的转录表达^[4, 5]。

MYB基因家族具有高度保守的DNA结构域^[6],根据其结构域特征可分为4类,其中R2R3-MYB转录因子是植物中家族成员最多的亚类^[7]。已有研究表明,R2R3-MYB转录因子广泛参与了植物的生长发育和次生代谢调控^[8, 9]。马尾松*PmMYB45*可以通过调节木质素生物合成途径来促进木质素合成^[10]。芝麻*SiMYB75*通过表达显著促进根的生长并提高植物对干旱、NaCl和甘露醇的耐受性,同时*SiMYB75*通过ABA介导的途径正向调控干旱、盐和渗透胁迫的响应^[11]。目前,关于长白落叶松MYB转录因子的研究鲜见报道。本研究利用转录组测序数据对MYB家族基因进行筛选,通过生物信息学方法对长白落叶松R2R3-MYB基因家族进行了系统鉴定和分析,探讨其蛋白理化性质,构建系统发育树,分析干旱胁迫下的表达特征,为进一步探究长白落叶松MYB转录因子在非生物胁迫下的分子机理和生物学功能提供理论依据,为培育长白落叶松抗旱新品种奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

长白落叶松种子取自东北林业大学国家重点实验室,在室温24℃、相对湿度60%~65%和光照16 h、黑暗8 h的条件下育苗。选取长势一致、生长状况较好的3月龄幼苗作为试验材料。分别采集叶、茎、根混样放入液氮冻存后保存于-80℃冰箱,用于后续转录组测序分析。用20%PEG₆₀₀₀充分浇灌幼苗进行模拟干旱胁迫处理,分别于0 h、4 h、8 h、12 h、24 h、48 h采集植株(取整株植株的根茎叶混样),其中0 h为对照组,每个处理分别采集5株植株并设置3次重复,采集的样本立即放入液氮速冻,储存

于-80℃冰箱,用于实时荧光定量试验。

1.2 方法

1.2.1 RNA提取

转录组测序与实时荧光定量试验均采用北京百泰克生物技术有限公司的通用植物总RNA快速提取试剂盒(RP3301)提取样品RNA,PrimeScript™ RT reagent Kit with gDNA Eraser(Perfect Real Time)反转录试剂盒将提取的总RNA反转录成cDNA,引物由生工生物工程(上海)股份有限公司合成。

1.2.2 长白落叶松R2R3-MYB基因家族鉴定与理化性质分析

根据北京百迈客生物科技有限公司提供的长白落叶松转录组测序结果鉴定R2R3-MYB家族基因,使用BLAST软件将Unigene序列与KEGG、NR、Swiss-Prot、GO、COG/KOG、Trembl数据库比对,将预测完成的Unigene氨基酸序列使用HMMER软件与Pfam数据库比对,初步获得MYB基因家族的注释信息。利用SMART程序检测候选基因保守结构域,鉴定具有完整R2R3保守结构域的MYB家族基因并命名。利用ExPasy在线软件中ProtParam模块(<https://web.expasy.org/protparam/>)分析长白落叶松R2R3-MYB基因家族的蛋白理化性质,包括基因分子量、氨基酸数量、理论等电点(pI)、亲水指数等理化特性指标。利用在线工具WoLF PSORT(<https://wolfsort.hgc.jp/>)对R2R3-MYB蛋白质亚细胞定位进行初步预测。

1.2.3 长白落叶松R2R3-MYB基因家族系统发育树构建

将拟南芥数据库(TAIR)下载的AtMYB家族蛋白序列(<http://www.arabidopsis.org>)与筛选得到的基因进行多序列比对,利用MEGA-X软件中的邻近法(Neighbor-joining, NJ)构建系统发育树,将校验参数Bootstrap值设为1 000,其他参数保持默认。

1.2.4 干旱胁迫下长白落叶松R2R3-MYB基因家族表达分析

通过实时荧光定量PCR分析家族基因在干旱胁迫下的表达模式。实时荧光定量PCR反应体系为10 μL TB Green Ptemix Ex Taq™ II (Tli RNaseH Plus) 2X,上下游引物各1.0 μL, cDNA模板1 μL, ddH₂O补至20 μL,每个样品设置3次重复。反应程序为94℃预变性30 s, 94℃5 s、60℃30 s、72℃10 s进行40个循环,72℃延伸10 min。

2 结果与分析

2.1 长白落叶松 R2R3-MYB 基因家族鉴定与理化性质分析

根据长白落叶松转录组测序结果共鉴定到 12 个 R2R3-MYB 家族基因,命名为 *LoMYB1~LoMYB12*,对其理化性质进行分析。氨基酸数量为 184~490;蛋白的相对分子量为 21.55~54.37 kD;pI 为 5.00~9.51,其中小于 7 的基因

表 1 长白落叶松 R2R3-MYB 基因家族理化性质及亚细胞定位分析

Tab. 1 Physicochemical properties and subcellular localization of R2R3-MYB gene family in *Larix olgensis*

基因名称	氨基酸数量/aa	分子量/kD	pI	不稳定系数	脂溶性指数	亲水指数	亚细胞定位
<i>LoMYB1</i>	448	49.42	6.89	42.93	71.27	-0.523	细胞核
<i>LoMYB2</i>	290	32.31	5.91	44.87	76.72	-0.478	细胞核
<i>LoMYB3</i>	388	43.57	7.03	47.94	65.39	-0.800	细胞核
<i>LoMYB4</i>	353	39.07	6.03	59.37	59.52	-0.808	细胞核
<i>LoMYB5</i>	454	50.85	5.00	53.17	68.57	-0.567	细胞核
<i>LoMYB6</i>	436	48.58	5.35	55.04	63.58	-0.807	细胞核
<i>LoMYB7</i>	490	54.37	6.97	50.67	67.71	-0.690	细胞核
<i>LoMYB8</i>	450	49.56	5.28	55.48	69.40	-0.586	细胞核
<i>LoMYB9</i>	220	24.79	9.20	44.04	77.18	-0.780	细胞核
<i>LoMYB10</i>	254	28.45	8.01	57.93	69.96	-0.704	细胞核
<i>LoMYB11</i>	408	43.61	7.63	56.75	61.05	-0.536	细胞核
<i>LoMYB12</i>	184	21.55	9.51	50.23	84.29	-0.647	细胞核

2.2 长白落叶松 R2R3-MYB 基因系统发育树分析

为了研究长白落叶松 R2R3-MYB 基因家族的进化关系,构建系统发育树(见图 1),表明

为 7 个,说明大多数 R2R3-MYB 基因为酸性蛋白;蛋白不稳定系数为 42.93~59.37,均为不稳定蛋白(系数大于 40);蛋白的脂溶性指数为 59.52~84.29,亲水性指数为 -0.808~-0.478,表明 R2R3-MYB 均为亲水性蛋白。同时,通过对亚细胞定位进行预测可知,鉴定得到的 12 个 R2R3-MYB 蛋白均定位于细胞核内,主要在细胞核中行使功能,符合转录因子特性(见表 1)。

图 1 长白落叶松 R2R3-MYB 基因家族系统发育树分析

Fig. 1 Phylogenetic tree analysis of R2R3-MYB in *Larix olgensis*

2.3 干旱胁迫下长白落叶松 R2R3-MYB 基因家族表达分析

为了探究长白落叶松 R2R3-MYB 基因家族对干旱胁迫的响应,本研究通过实时荧光定

量 PCR 分析了 12 个家族基因在干旱胁迫下的表达模式。选择 α -tubulin 作为内参基因,各基因引物见表 2。

表 2 实时荧光定量 PCR 引物

Tab. 2 The primer sequences of qRT-PCR

基因名称	上游引物(5'-3')	下游引物(5'-3')
<i>LoMYB1</i>	CCGAATACCCCGTTAACGTGGCTCG	GTTCTGAACCTGCTGCCATGATATTG
<i>LoMYB2</i>	TTCCTGGGTTAACACTGCT	CGCTCTGACCATTCTCCACT
<i>LoMYB3</i>	TCCACAGCCAAACAACAAAT	TCTGGTTCTGTCTTCCGTTTT
<i>LoMYB4</i>	CAGCAGCTTCAATAACACGTTCATTC	CCATCTCACAGCCTCCGACATC
<i>LoMYB5</i>	CCGCATACCAAGCTAGAACTGATAACG	TTGGCTCTGTCAATCTAACGGACTTC
<i>LoMYB6</i>	ATACCCATGTCACAAACCT	TGACTTCACACCCACCATC
<i>LoMYB7</i>	GAAGAGCATCCAGACCTCAATC	TTATTTGCTGCCCTCTGTCG
<i>LoMYB8</i>	CATCATTTTCGGTTCATTTGG	CAGCGACAGGCTAACCGAT
<i>LoMYB9</i>	CCTACACAAGACGAGGTCCATT	ATCTGTTTGTAATGCACCCA
<i>LoMYB10</i>	AGAGGTGGGCTCTCATTCA	TATCCTCTTCCCTGCGACCAG
<i>LoMYB11</i>	ACCAGGGCCTGTCAACTCTC	CCTGTCATTTCCGGCCTT
<i>LoMYB12</i>	TGACAAACATTGCCATTCCC	GCTGCTTACCTCCTTTCCCTA
α -tubulin	GCCGTGCTGGATAATGAGG	TGTCTGGAACTCAGTCACATCAACG

大部分基因在干旱胁迫下表现出响应(见图 2),*LoMYB1* 在 8 h 表达量最高,*LoMYB4*、*LoMYB8*、*LoMYB11* 在 12 h 表达量最高。随着时间增加 *LoMYB9* 表达量总体呈上升趋势,而 *LoMYB3* 与 *LoMYB5* 在 4 h 后随时间增长总体呈下降趋势,对干旱胁迫表现出负响应。*LoMYB1*、*LoMYB4*、*LoMYB7*、*LoMYB8*、*LoMYB10*、

LoMYB11 表达量总体呈现先上升后下降的趋势,*LoMYB2*、*LoMYB6* 与 *LoMYB12* 未有明显趋势。干旱诱导上调表达的基因中,*LoMYB8* 上调幅度最为明显,表达量在 12 h 达到对照的 14.05 倍,而且在 24 h 和 48 h 表达量未明显下降。结果分析表明,长白落叶松 R2R3-MYB 基因可能参与调控植物对干旱胁迫的响应。

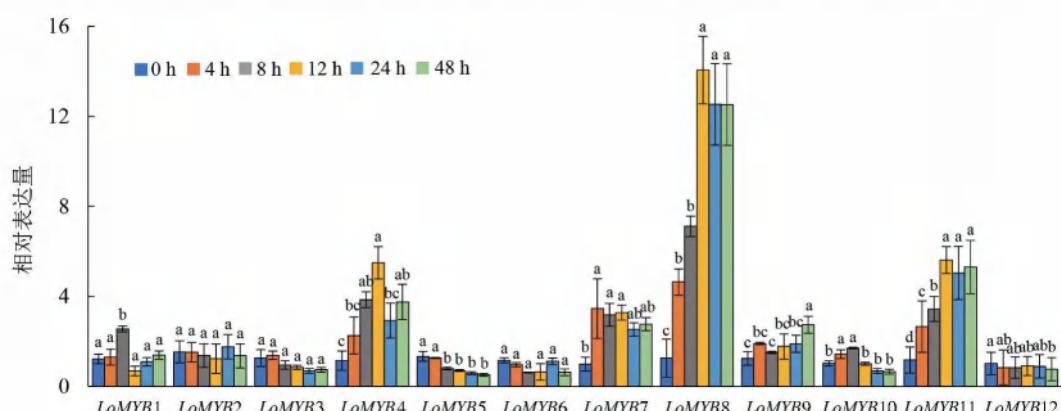


图 2 20 % PEG₆₀₀₀ 处理下不同时期 R2R3-MYB 转录因子表达量分析

Fig. 2 Analysis of R2R3-MYB genes expression in different periods under 20 % PEG₆₀₀₀ treatment.

3 结论与讨论

由于长白落叶松遗传背景复杂、基因组庞大,基因组测序和组装难度较大,同时,缺乏高质量参考基因组,导致基因组在功能注释过程中准确性受限,其分子育种方面的研究进展非常缓慢^[12]。长白落叶松作为一种无参考基因组物种,其基因组信息尚未被完整地测序和组装,相较于其他物种基因家族信息报道较少。现有研究表明,含有2个MYB结构域的R2R3-MYB是植物中数量最多的一类MYB转录因子,也是目前研究较多的亚类^[13],在拟南芥基因组中有198个、水稻基因组中有185个、大豆基因组中有244个、玉米基因组中有200个^[14-17]。本研究基于转录组测序技术运用生物信息学等方法对长白落叶松MYB基因家族进行鉴定与分析,共鉴定12个R2R3-MYB转录因子。通过系统发育树分析,12个蛋白序列被分成8个亚族,与拟南芥R2R3-MYB家族基因高度同源。处于相同亚族内的同源蛋白可能具有相同或相似的功能^[18, 19]。其中LoMYB1、LoMYB3、LoMYB7被分为1组,与拟南芥AtMYB16和AtMYB106相邻,可能在角质蜡生物合成过程中起正向调控作用^[20, 21]。LoMYB6、LoMYB8、LoMYB12被分为1组,与AtMYB5位于同一分支上,可能在外种皮与毛状体发育过程中起关键作用^[22]。其余6个蛋白各为一个单支,它们的基因结构与蛋白质结构域也与其他基因存在较大差异,推测它们可能存在功能上的差异。

MYB转录因子在植物响应逆境胁迫过程中起重要作用,R2R3-MYB转录因子参与了干旱胁迫应答^[23-25]。本研究中,大部分长白落叶松R2R3-MYB基因在干旱胁迫下表现出响应,随着时间增加LoMYB9表达量总体呈上升趋势,而LoMYB3与LoMYB5在4 h后随时间增长总体呈下降趋势。LoMYB1、LoMYB4、LoMYB7、LoMYB8、LoMYB10、LoMYB11基因在响应干旱应答过程中表现出正、负调控,表达量总体呈先上升后下降的趋势,这与许多研究结果表现一致^[26, 27]。系统发育树分析结果表明LoMYB11与拟南芥的第22亚族的AtMYB44、AtMYB70、AtMYB73、AtMYB77的亲缘关系最近。研究表

明,拟南芥第22亚族主要参与抵抗生物和非生物胁迫^[28]。过表达AtMYB44的转基因拟南芥对ABA更敏感,通过促进气孔关闭增强对干旱的耐受性^[29]。在对AtMYB73进行脱水复水试验中,AtMYB73在复水过程中被显著诱导,AtMYB73突变体中发现ABA含量明显低于野生型,表明AtMYB73受到了ABA的抑制,参与调控拟南芥响应ABA干旱胁迫^[30]。根据以上研究结果,推测LoMYB11与拟南芥的第22亚族基因发挥相似作用。在干旱诱导上调表达的基因中,LoMYB8上调幅度最为明显,是潜在响应干旱胁迫的基因。但是其如何行使功能尚不清楚,有待于进一步研究。

综上,本研究基于长白落叶松转录组测序结果筛选并鉴定出12个R2R3-MYB基因家族成员,大多为酸性不稳定亲水蛋白。通过系统发育树分析将其分为8个亚族,同一亚族内基因结构和蛋白结构域相似,实时荧光定量PCR结果表明大部分R2R3-MYB基因家族成员能够响应干旱胁迫,且具有不同的响应模式。本研究为进一步探究长白落叶松MYB基因的功能和调控机制提供理论依据。

参考文献

- [1] 张克, 全延宇, 张代忠. 长白落叶松良种选育的研究进展[J]. 林业科技, 2001, 26(4): 8-9.
- [2] Hartmann H, Moura C F, Anderegg W R L, et al. Research frontiers for improving our understanding of drought-induced tree and forest mortality [J]. *New Phytologist*, 2018, 218(1): 15-28.
- [3] 刘蕾, 杜海, 唐晓凤, 等. MYB转录因子在植物抗逆胁迫中的作用及其分子机理[J]. 遗传, 2008, 30(10): 1265-1271.
- [4] 陈清, 汤浩茹, 董晓莉, 等. 植物Myb转录因子的研究进展[J]. 基因组学与应用生物学, 2009, 28(2): 365-372.
- [5] 李文正, 张海文, 王俊英, 等. ERF转录因子及其在烟草抗逆性改良中的应用[J]. 生物技术通报, 2006, 22(4): 30-34.
- [6] Ding P C, Tang P, Li X F, et al. Genome-wide identification, phylogeny and expression analysis of the R2R3-MYB gene family in quinoa (*Chenopodium quinoa*) under abiotic stress [J]. *Functional Plant Biology*, 2024, 51(3): FP23261.
- [7] 柯玉洁, 陈明堃, 马山虎, 等. 兰科植物MYB转录

- 因子研究进展 [J]. 园艺学报, 2021, 48 (11): 2311–2320.
- [8] 陈俊, 王宗阳. 植物 MYB 类转录因子研究进展 [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2002, 28(2): 81–88.
- [9] 牛义岭, 姜秀明, 许向阳. 植物转录因子 MYB 基因家族的研究进展 [J]. 分子植物育种, 2016, 14(8): 2050–2059.
- [10] Peng M Q, Qin Y Y, He Y, et al. Cloning and functional analysis of *PmMYB45*, a transcription factor in *Pinus massoniana* [J]. *Forests*, 2024, 15(5): 814.
- [11] Doesa K, Mmedi M A, Zhou R, et al. Ectopic expression of the sesame MYB transcription factor *SiMYB305* promotes root growth and modulates ABA-mediated tolerance to drought and salt stresses in *Arabidopsis* [J]. *AoB Plants*, 2020, 12(1): plz081.
- [12] 魏晓新. 落叶松属的分子进化与生物地理学 [D]. 北京: 中国科学院研究生院(植物研究所), 2004.
- [13] 乔孟, 于延冲, 向凤宁. 拟南芥 R2R3-MYB 类转录因子在环境胁迫中的作用 [J]. 生命科学, 2009, 21(1): 145–150.
- [14] Du H, Feng B R, Yang S S, et al. The R2R3-MYB transcription factor gene family in maize [J]. *PLoS One*, 2012, 7(6): e37463.
- [15] Du H, Yang S S, Liang Z, et al. Genome-wide analysis of the MYB transcription factor superfamily in soybean [J]. *BMC Plant Biology*, 2012, 12: 106.
- [16] Katiyar A, Smita S, Lenka S K, et al. Genome-wide classification and expression analysis of MYB transcription factor families in rice and *Arabidopsis* [J]. *BMC Genomics*, 2012, 13: 544.
- [17] He Q L, Jones D C, Li W, et al. Genome-wide identification of R2R3-MYB genes and expression analyses during abiotic stress in *Gossypium raimondii* [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 22980.
- [18] 赵银鸽, 袁欣, 高杰, 等. 牡丹 ARF 基因家族鉴定及表达分析 [J]. 河南农业科学, 2024, 53(11): 117–126.
- [19] Zuluaga D L, Gonzali S, Loret E, et al. *Arabidopsis thaliana* MYB75/PAP1 transcription factor induces anthocyanin production in transgenic tomato plants [J]. *Functional Plant Biology*, 2008, 35(7): 606–618.
- [20] Oshima Y, Mitsuda N. Enhanced cuticle accumulation by employing MIXTA-like transcription factors [J]. *Plant Biotechnology*, 2016, 33(3): 161–168.
- [21] Oshima Y, Mitsuda N. The MIXTA-like transcription factor MYB16 is a major regulator of cuticle formation in vegetative organs [J]. *Plant Signaling & Behavior*, 2013, 8(11): e26826.
- [22] Gonzalez A, Mendenhall J, Huo Y J, et al. TTG1 complex MYBs, MYB5 and TT2, control outer seed coat differentiation [J]. *Developmental Biology*, 2009, 325(2): 412–421.
- [23] Tang Y H, Bao X X, Zhi Y L, et al. Overexpression of a MYB family gene, *OsMYB6*, increases drought and salinity stress tolerance in transgenic rice [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019, 10: 168.
- [24] Sun Y H, Zhao J, Li X Y, et al. E2 conjugases UBC1 and UBC2 regulate MYB42-mediated SOS pathway in response to salt stress in *Arabidopsis* [J]. *New Phytologist*, 2020, 227(2): 455–472.
- [25] Wang N, Zhang W X, Qin M Y, et al. Drought tolerance conferred in soybean (*Glycine max* L.) by *Gm-MYB84*, a novel R2R3-MYB transcription factor [J]. *Plant and Cell Physiology*, 2017, 58(10): 1764–1776.
- [26] Li D P, Peng S B, Chen S W, et al. Identification and characterization of 5 walnut MYB genes in response to drought stress involved in ABA signaling [J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2021, 27(6): 1323–1335.
- [27] Liu Q X, Xu Y L, Li X Y, et al. Genome-wide identification and characterization of MYB transcription factors in Sudan grass under drought stress [J]. *Plants*, 2024, 13(18): 2645.
- [28] 樊锦涛, 蒋琛茜, 邢继红, 等. 拟南芥 R2R3-MYB 家族第 22 亚族的结构与功能 [J]. 遗传, 2014, 36(10): 985–994.
- [29] Jung C, Seo J S, Han S W, et al. Overexpression of *AtMYB44* enhances stomatal closure to confer abiotic stress tolerance in transgenic *Arabidopsis* [J]. *Plant Physiology*, 2008, 146(2): 623–635.
- [30] Seki M, Ishida J, Narusaka M, et al. Monitoring the expression pattern of around 7,000 *Arabidopsis* genes under ABA treatments using a full-length cDNA microarray [J]. *Functional & Integrative Genomics*, 2002, 2(6): 282–291.

(本篇专家编审:陶晶)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2025.05.002

文章编号:1005-7129(2025)05-0007-06 中图分类号:S718.55 文献标识码:A

不同样地尺度下物种多样性与林分生物量关系研究

杨帆^{1,2}, 罗也^{1,2}, 王清玉^{1,2}, 管孝文³, 王晶⁴, 何怀江^{1,2}

(1. 吉林省林业科学研究院, 吉林 长春 130033; 2. 吉林省退化森林生态系统恢复与重建跨区域合作科技创新中心, 吉林 长春 130033; 3. 和龙市林业局下天坪林场, 吉林 延边 133500; 4. 抚顺矿业集团有限责任公司林业处, 辽宁 抚顺 113000)

摘要:为了解不同样地尺度下物种多样性与林分生物量之间关系,本文以天然次生针阔混交林为对象,研究4种样地尺度下不同林分层次物种多样性、生物量变化规律及其之间的关系。结果表明,随着样地尺度的增大,乔木层、灌木层和草本层的Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数和单位面积生物量均逐渐增大。乔木层和灌木层100 m×100 m和50 m×50 m尺度下多样性指数和单位面积生物量差异不显著,但显著高于20 m×20 m和10 m×10 m尺度,草本层多样性指数100 m×100 m尺度下显著高于10 m×10 m尺度,草本层单位面积生物量在各样地尺度下无显著差异。100 m×100 m和50 m×50 m尺度下,Shannon-Wiener多样性指数和Simpson多样性指数与单位面积生物量呈显著负相关,其余样地尺度下物种多样性与单位面积生物量呈负相关但不显著。该结果可为不同样地尺度下物种多样性及生物量变化研究和调查提供理论支持。

关键词:样地尺度;物种多样性;生物量

Study on Relationship between Species Diversity and Stand Biomass under Different Plot Scales

YANG Fan^{1,2}, LUO Ye^{1,2}, WANG Qingyu^{1,2}, GUAN Xiaowen³, WANG Jing⁴, HE Huaijiang^{1,2}

(1. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China; 2. Jilin Province Cross-regional Cooperation Science and Technology Innovation Center of Degraded Forest Ecosystem Restoration and Reconstruction, Changchun 130033, China; 3. Xiatianping Forest Farm of Helong Forestry Bureau, Yanbian 133500, China; 4. Forestry Department of Fushun Mining Group Limited Company, Fushun 113000, China)

Abstract: To investigate the relationship between species diversity and stand biomass under different plot scales, the natural secondary coniferous and broad-leaved mixed forest was taken as the research object to study the changes in species diversity and biomass and their relationship across different forest layers under four plot scales. The results showed that the Shannon-Wiener diversity index, Simpson diversity index, Pielou evenness index, and biomass per unit area for the tree layer, shrub layer, and herb layer increased gradually with the increase of the plot scale. For the tree layer and shrub layer, there were no significant differences in the diversity index and biomass per unit area under 100 m×100 m scale and 50 m×50 m scale, and the diversity index and biomass per unit area under 100 m×100 m scale and 50 m×50 m scale were significantly higher than those under 20 m×20 m scale and 10 m×10 m scale. For the herb layer, the diversity index under 100 m×100 m scale was significantly higher than that under 10 m×10 m scale, and there were no significant differences in biomass under different scales. Under 100 m×100 m scale and 50 m×50 m scale, the negative correlation between Shannon-Wiener diversity index and biomass per unit area and the negative correlation between Simpson diversity

收稿日期:2025—05—07

基金项目:吉林省科技厅自然科学基金项目(YDZJ202301ZYTS363)

第一作者:杨帆(1987—),女,副研究员,主要从事林业工作,E-mail:327482375@qq.com。

通信作者:何怀江(1988—),男,研究员,主要从事森林经理工作,E-mail:442488087.2007@163.com。

index and biomass per unit area were significant. The negative correlation between species diversity and biomass per unit area was not significant under other scales. The results could provide theoretical support for the study and investigation on the changes of species diversity and stand biomass under different plot scales.

Keywords: plot scale; species diversity; biomass

物种多样性及其尺度效应是当今生态学领域的重要研究内容^[1]。物种多样性是群落的重要特征,也是反映群落组成和结构变化规律的重要指标^[2, 3]。近年来有关物种多样性的研究较多,主要集中在气候变化^[4]、环境梯度^[5]、海拔梯度^[6]、林龄^[7]、林分密度^[8]等对植被组成和物种多样性的影响。生物量是研究森林生态系统生产力、碳储量和碳平衡的基础,是森林生态系统状态的重要指示特征^[9]。国内外众多学者对森林生物量进行了不同尺度的研究,包括个体水平、群落水平、生态系统水平、区域水平等^[10-13]。本研究以天然次生针阔混交林为对象,分析了不同样地尺度下物种多样性及林分生物量变化规律及其之间的关系。

1 研究区概况

研究区位于吉林省林业实验区国有林保护中心辖区内(中心位置地理坐标 127°27' E、43°36' N),海拔 486~519 m。该区域属于温带大陆性季风气候,年平均气温 3.7 ℃,年降水量 650~800 mm,无霜期 105~130 d,土壤为典型山地暗棕森林壤。该区域以天然次生针阔混交林为主,植被类型隶属于长白山植物区系,乔木植物主要包括白桦(*Betula platyphylla*)、白牛槭(*Acer mandshuricum*)、榆(*Ulmus pumila*)、红松(*Pinus koraiensis*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、山槐(*Maackia amurensis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、千金榆(*Carpinus cordata*)、大青杨(*Populus ussuriensis*)、色木槭(*Acer pictum* subsp. *mono*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、紫椴(*Tilia amurensis*)等。灌木植物主要包括暴马丁香(*Syringa reticulata* subsp. *amurensis*)、稠李(*Prunus padus*)、刺五加(*Eleutherococcus senticosus*)、鼠李(*Rhamnus davurica*)、瘤枝卫矛(*Euonymus verrucosus*)、毛榛(*Corylus mandshurica*)、鸡树条莢蒾(*Viburnum opulus* subsp. *calvescens*)、卫矛(*Euonymus alatus*)、珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia*)等。草本植物主要包括细叶薹草(*Carex duriuscula* subsp. *stenophylloides*)、东北羊角芹(*Aegopodium alpestre*)、白花碎米荠

(*Cardamine leucantha*)、荨麻(*Urtica fissa*)、宽叶山蒿(*Artemisia stolonifera*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置

选择地形和林分状况大体一致的天然次生针阔混交林,设置 4 块面积为 1 hm²(100 m × 100 m)的固定样地。为消除边缘效应,每块样地相隔 50 m,样地建成后,将每个样地划分成 100 个 10 m × 10 m 的样方、25 个 20 m × 20 m 的样方、4 个 50 m × 50 m 的样方。

2024 年 7 月对所有样地内胸径 ≥ 5 cm 的乔木记录树种、胸径、树高等,并挂牌编号。在各尺度全部样方内分别随机选取 5 m × 5 m 的灌木样方 3 个,对样方内所有灌木和胸径 < 5 cm 的幼树记录树种、株高、地径、冠幅(W-E, S-N)、丛高、每丛植株数量、单株地径等。在各尺度全部样方内分别随机选取 1 m × 1 m 的草本样方 3 个,记录所有草本物种、多度、平均高度、盖度、总盖度等。

2.2 物种多样性

2.2.1 重要值计算

乔木重要值 = (相对密度+相对频度+相对显著度)/3,灌木/草本重要值 = (相对密度+相对频度+相对盖度)/3。

2.2.2 多样性计算

物种多样性主要采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H)、Simpson 多样性指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J)来进行评价。具体公式为:H = - $\sum(P_i \cdot \ln P_i)$, D = 1 - $\sum P_i^2$, J = H / ln S。式中:P_i = N_i / N, P_i 为物种 i 的相对重要值,N 为物种 i 所在样地的各个物种重要值之和,N_i 为物种 i 的重要值。

2.3 生物量

乔木层和灌木层生物量以何怀江^[14]的乔木、灌木树种异速生物量方程为基础,本研究调查的具体乔木、灌木异速生物量方程见表 1 和表 2。单个样方的生物量等于样方内所有个体生物量的总和,分别统计各尺度的生物量,并以单位面积生物量进行比较分析。

表 1 主要乔木树种异速生物量方程

Tab. 1 Allometric biomass equations for major tree species

树种	方程式	R ²	RMSE	P
白桦	$\ln Y_{乔} = -3.779 + 1.004 (D_{乔2}H_{乔})$	0.996	0.095	<0.001
白牛槭	$\ln Y_{乔} = -4.052 + 1.063 (D_{乔2}H_{乔})$	0.991	0.111	<0.001
春榆	$\ln Y_{乔} = -3.526 + 0.997 (D_{乔2}H_{乔})$	0.989	0.185	<0.001
红松	$\ln Y_{乔} = -3.502 + 0.96 (D_{乔2}H_{乔})$	0.996	0.087	<0.001
胡桃楸	$\ln Y_{乔} = -4.131 + 1.06 (D_{乔2}H_{乔})$	0.993	0.102	<0.001
怀槐	$\ln Y_{乔} = -3.272 + 0.936 (D_{乔2}H_{乔})$	0.98	0.173	<0.001
蒙古栎	$\ln Y_{乔} = -3.863 + 1.026 (D_{乔2}H_{乔})$	0.996	0.119	<0.001
千金榆	$\ln Y_{乔} = -3.849 + 1.059 (D_{乔2}H_{乔})$	0.947	0.173	<0.001
大青杨	$\ln Y_{乔} = -4.196 + 1.009 (D_{乔2}H_{乔})$	0.991	0.125	<0.001
色木槭	$\ln Y_{乔} = -3.396 + 0.976 (D_{乔2}H_{乔})$	0.996	0.085	<0.001
水曲柳	$\ln Y_{乔} = -3.821 + 0.995 (D_{乔2}H_{乔})$	0.983	0.191	<0.001
紫椴	$\ln Y_{乔} = -4.146 + 1.022 (D_{乔2}H_{乔})$	0.996	0.086	<0.001
其他乔木	$\ln Y_{乔} = -2.857 + 2.25 (D_{乔2}H_{乔})$	0.979	0.125	<0.001

注: $Y_{乔}$ 为乔木树种生物量/kg, $D_{乔}$ 为乔木树种胸径/cm, $H_{乔}$ 为乔木树种树高/m。

表 2 主要灌木树种异速生物量方程

Tab. 2 Allometric biomass equations for major shrub species

树种	方程式	R ²	RMSE	P
暴马丁香	$\ln Y_{灌} = 2.794 + 2.589 \ln D_{灌} + 0.146 \ln H_{灌}$	0.973	0.363	<0.001
稠李	$\ln Y_{灌} = 0.592 + 1.909 \ln D_{灌} + 0.668 \ln H_{灌}$	0.983	0.21	<0.001
刺五加	$\ln Y_{灌} = -1.429 + 1.075 \ln D_{灌} + 0.977 \ln H_{灌}$	0.907	0.328	<0.001
东北鼠李	$\ln Y_{灌} = 1.246 + 1.566 \ln D_{灌} + 0.827 \ln H_{灌}$	0.961	0.254	<0.001
瘤枝卫矛	$\ln Y_{灌} = 0.799 + 1.894 \ln D_{灌} + 0.666 \ln H_{灌}$	0.991	0.19	<0.001
毛榛	$\ln Y_{灌} = -0.696 + 1.933 \ln D_{灌} + 0.886 \ln H_{灌}$	0.993	0.17	<0.001
鸡树条莢蒾	$\ln Y_{灌} = -2.89 + 0.799 \ln D_{灌} + 1.526 \ln H_{灌}$	0.943	0.32	<0.001
卫矛	$\ln Y_{灌} = 0.131 + 2.207 \ln D_{灌} + 0.77 \ln H_{灌}$	0.983	0.197	<0.001
珍珠梅	$\ln Y_{灌} = 3.456 + 2.96 \ln D_{灌} + 0.034 \ln H_{灌}$	0.985	0.125	<0.001
其他灌木	$\ln Y_{灌} = -0.972 + 1.596 \ln D_{灌} + 1.071 \ln H_{灌}$	0.953	0.427	<0.001

注: $Y_{灌}$ 为灌木树种生物量/kg, $D_{灌}$ 为灌木树种地径/cm, $H_{灌}$ 为灌木树种株高/m。

对所有草本样方进行调查, 将样方内所有草本植物整株采集, 放入自封袋, 并记录样方号。带回实验室后用水将泥土冲洗干净, 装入信封袋放入烘箱, 先在 105 °C 条件下杀青 30 min, 后调至 85 °C 烘干至恒重, 烘干后称取干重即为整株草本生物量。

2.4 数据分析

试验数据及表格采用 Excel 2007 进行处理, 采用 SPSS 19.0 进行相关性分析。

3 结果与分析

3.1 不同样地尺度下各林分层次物种多样性

随着样地尺度增大, 乔木层、灌木层和草本层的多样性指数均逐渐增大(见表 3)。乔木层 Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 多样性指数 100 m × 100 m 和 50 m × 50 m 尺度下显著高于其他尺度; Pielou 均匀度指数 10 m × 10 m 尺度下显著低于其他尺度, 其他尺度之间无显著

差异。灌木层 Shannon - Wiener 多样性指数 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 和 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 尺度下显著高于其他尺度; Simpson 多样性指数 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 和 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 尺度下显著高于其他尺度, $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 尺度下显著高于 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 尺度; Pielou 均匀度指数各尺度之间无显著差异。草本层 Shannon - Wiener 多样性指数 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 尺

度下显著高于 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 尺度, 其他尺度之间无显著差异; Simpson 多样性指数 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 与 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 尺度间无显著差异, 但显著高于 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 尺度; Pielou 均匀度指数 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 尺度下显著低于其他尺度, 其他尺度之间无显著差异。

表 3 不同样地尺度下各林分层次物种多样性
Tab. 3 Species diversity across different forest layers under different plot scales

样地尺度	林层	H	D	J
$10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$	乔木层	$2.4956 \pm 0.35 \text{ b}$	$0.8013 \pm 0.06 \text{ b}$	$0.8654 \pm 0.12 \text{ b}$
	灌木层	$2.6912 \pm 0.25 \text{ b}$	$0.8346 \pm 0.08 \text{ c}$	$0.8966 \pm 0.05 \text{ a}$
	草本层	$2.8946 \pm 0.24 \text{ b}$	$0.8694 \pm 0.07 \text{ b}$	$0.9023 \pm 0.03 \text{ b}$
$20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$	乔木层	$2.5964 \pm 0.16 \text{ b}$	$0.8124 \pm 0.02 \text{ b}$	$0.8995 \pm 0.08 \text{ a}$
	灌木层	$2.7019 \pm 0.28 \text{ b}$	$0.8894 \pm 0.12 \text{ b}$	$0.9138 \pm 0.11 \text{ a}$
	草本层	$2.9013 \pm 0.36 \text{ ab}$	$0.9017 \pm 0.11 \text{ ab}$	$0.9465 \pm 0.13 \text{ a}$
$50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$	乔木层	$2.7952 \pm 0.31 \text{ a}$	$0.9058 \pm 0.09 \text{ a}$	$0.9168 \pm 0.07 \text{ a}$
	灌木层	$3.0256 \pm 0.18 \text{ a}$	$0.9213 \pm 0.08 \text{ a}$	$0.9366 \pm 0.06 \text{ a}$
	草本层	$3.1278 \pm 0.11 \text{ ab}$	$0.9311 \pm 0.04 \text{ a}$	$0.9467 \pm 0.09 \text{ a}$
$100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$	乔木层	$2.8215 \pm 0.09 \text{ a}$	$0.9158 \pm 0.13 \text{ a}$	$0.9288 \pm 0.08 \text{ a}$
	灌木层	$3.1598 \pm 0.36 \text{ a}$	$0.9318 \pm 0.11 \text{ a}$	$0.9561 \pm 0.08 \text{ a}$
	草本层	$3.3655 \pm 0.28 \text{ a}$	$0.9467 \pm 0.18 \text{ a}$	$0.9699 \pm 0.07 \text{ a}$

注: 同列不同小写字母表示不同样地尺度下多样性差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

3.2 不同样地尺度下各林分层次单位面积生物量

随着样地尺度增大, 各林分层次单位面积生物量呈逐渐增大的趋势(见表4)。乔木层和灌木层 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 和 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 尺度下

单位面积生物量显著高于其他尺度, 草本层单位面积生物量各尺度下无显著差异。各样地尺度下, 乔木层单位面积生物量占比最高, 均在 88%以上, 其次是灌木层, 草本层占比最小。

表 4 不同样地尺度下各林分层次单位面积生物量

Tab. 4 Biomass per unit area across different forest layers under different plot scales

样地尺度	乔木层		灌木层		草本层	
	单位面积生物量/ $(\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$	占比/%	单位面积生物量/ $(\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$	占比/%	单位面积生物量/ $(\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$	占比/%
$10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$	$104.56 \pm 5.26 \text{ b}$	88.56	$7.39 \pm 0.56 \text{ b}$	6.26	$6.12 \pm 0.92 \text{ a}$	5.18
$20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$	$162.75 \pm 3.15 \text{ b}$	91.57	$8.64 \pm 1.68 \text{ b}$	4.86	$6.35 \pm 0.64 \text{ a}$	3.57
$50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$	$220.56 \pm 4.39 \text{ a}$	91.45	$13.68 \pm 1.64 \text{ a}$	5.67	$6.94 \pm 0.55 \text{ a}$	2.88
$100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$	$249.13 \pm 3.36 \text{ a}$	91.46	$15.99 \pm 1.58 \text{ a}$	5.87	$7.28 \pm 0.34 \text{ a}$	2.67

3.3 不同样地尺度下物种多样性与单位面积生物量相关性分析

各样地尺度下, 物种多样性与单位面积生物量均呈负相关, 即随着物种多样性增加, 各样

地尺度下林分单位面积生物量呈逐渐降低的趋势(见表5)。 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 和 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 尺度下, 物种多样性与单位面积生物量相关性均不显著。 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 尺度下, Shannon - Wiener 多

样性指数与单位面积生物量呈显著负相关, Simpson 多样性指数与单位面积生物量呈极显著负相关, Pielou 均匀度指数与单位面积生物量相关性不显著。100 m × 100 m 尺度下,

Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 多样性指数与单位面积生物量均呈极显著负相关, Pielou 均匀度指数与单位面积生物量相关性不显著。

表 5 不同样地尺度下物种多样性与单位面积生物量相关性

Tab. 5 Correlation between species diversity and biomass per unit area under different plot scales

样地尺度	物种多样性与单位面积生物量相关性		
	H	D	J
10 m × 10 m	-0.181	-0.196	-0.043
20 m × 20 m	-0.199	-0.176	-0.099
50 m × 50 m	-0.385 *	-0.717 **	-0.087
100 m × 100 m	-0.577 **	-0.724 **	-0.196

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

4 讨论与结论

物种多样性一般存在尺度依赖性^[15], 本研究发现, 随着样地尺度增大, 乔木层、灌木层和草本层的 Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均逐渐增大。即大样地尺度下多样性程度相比小尺度更高, 这与郭屹立等^[16]和吴晓煜等^[17]研究结果一致。说明样地尺度越大, 植物种类越多, 其多样性指标会随之增加。乔木层 Shannon - Wiener 多样性指数和 Simpson 多样性指数 100 m × 100 m 和 50 m × 50 m 尺度下显著高于 20 m × 20 m 和 10 m × 10 m 尺度; Pielou 均匀度指数 10 m × 10 m 尺度下显著低于其他尺度, 其他尺度之间无显著差异。说明在乔木层, 多样性指数虽然随着样地尺度的增加而增大, 但样地尺度增加到一定程度后, 其多样性指标增加不再显著, 这与吴晓煜等^[17]和姚杰等^[18]研究结果一致, 同时表明调查区域内物种多样性指标在较小样地尺度下不具有代表性, 大样地尺度下的物种多样性能够代表该地区物种多样性分布情况。100 m × 100 m 尺度既可满足调查资源的合理性, 又能保证调查数据具有代表性。灌木层 Shannon - Wiener 多样性指数和 Simpson 多样性指数 100 m × 100 m 和 50 m × 50 m 尺度下显著高于 20 m × 20 m 和 10 m × 10 m 尺度; Pielou 均匀度指数各尺度之间无显著差异。多样性整体变化规律与乔木层相似, 这与胡文杰等^[19]研究结果相似。草本层 Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数 100 m × 100 m, 50 m × 50 m

和 20 m × 20 m 尺度之间无显著差异。说明当尺度超过 10 m × 10 m 时, 草本层多样性变化差异不明显。

本研究结果显示, 随着样地尺度增大, 各林分层次单位面积生物量呈逐渐增大的趋势, 100 m × 100 m 样地尺度下最大, 乔木层和灌木层在 100 m × 100 m 和 50 m × 50 m 尺度下单位面积生物量差异不显著, 但显著高于 20 m × 20 m 和 10 m × 10 m 尺度, 草本层单位面积生物量在各尺度下无显著差异, 与于水今等^[20]研究结果相似。此外在各样地尺度下, 乔木层单位面积生物量占比最高, 均在 88 % 以上, 其次是灌木层, 草本层占比最小。说明乔木层是林分生物量主要构成部分和核心储存载体^[21]。

目前多数学者对物种多样性和生物量之间相关性进行了研究, 但研究结论并不统一。有研究表明生物量随物种多样性的升高而显著下降^[22], 也有研究表明生物量随物种多样性的升高呈先下降后上升的趋势^[23], 另外一些研究则表明生物量随物种多样性的升高而增长^[24]。本研究结果表明在各个尺度下, 物种多样性与单位面积生物量之间均呈现负相关关系, 且在 50 m × 50 m 尺度下, Shannon - Wiener 多样性指数与单位面积生物量呈显著负相关关系, Simpson 多样性指数与单位面积生物量呈极显著负相关关系, 在 100 m × 100 m 尺度下, Shannon - Wiener 多样性指数和 Simpson 多样性指数与单位面积生物量均呈极显著负相关关系, 其余尺度下物种多样性与单位面积生物量之间关系均不显著。产生以上不同结果, 主要

是因研究区域位置、林分、树种等之间差异所致,因此不同林分多样性与生物量研究要遵循实际情况进行分析。

综上所述,样地尺度大小对林分多样性和生物量均有显著影响,且随样地尺度增大均呈逐渐增大的趋势,当达到某一大尺度条件下,多样性和生物量增加幅度不显著,因此在实际调查试验中,可根据研究目的选择不同的样地尺度,满足调查资源的合理性,保证调查数据的代表性。该结果可为不同样地尺度下物种多样性及林分生物量变化研究和调查提供理论支持。

参考文献

- [1] 范春雨,元正龙,赵秀海.吉林蛟河近熟林树种多样性格局尺度依赖性分析[J].北京林业大学学报,2014,36(6):73-79.
- [2] 李林霞,王瑞君,辜彬,等.海岛矿区岩质边坡植物群落演替中物种多样性的变化[J].生态学杂志,2014,33(7):1741-1747.
- [3] 罗也,何怀江,张忠辉,等.张广才岭不同林分密度下物种组成及其多样性[J].中南林业科技大学学报,2023,43(11):131-141.
- [4] Rahbek C, Borregaard M K, Antonelli A, et al. Building mountain biodiversity: geological and evolutionary processes [J]. *Science*, 2019, 365 (6458): 1114-1119.
- [5] 徐满厚,李晓丽.基于物种多样性与生物量关系的草地群落稳定性对全球变暖的响应研究进展[J].西北植物学报,2021,41(2):348-358.
- [6] 陈水飞,徐辉,林文俊,等.武夷山国家公园植物群落物种多样性沿海拔梯度的变化分析[J].植物资源与环境学报,2023,32(1):1-9.
- [7] 王敏,周润惠,余飞燕,等.不同林龄桉树人工林林下物种多样性和生物量的动态变化[J].植物研究,2021,41(4):496-505.
- [8] 丁继伟,张芸香,郭跃东,等.华北落叶松天然林密度对林下植被物种组成和多样性的影响研究[J].西北林学院学报,2018,33(4):10-16.
- [9] 巨文珍,农胜奇.森林生物量研究进展[J].西南林业大学学报,2011,31(2):78-83,89.
- [10] 代海军,何怀江,赵秀海,等.阔叶红松林两种主要树种的生物量分配格局及异速生长模型[J].应用与环境生物学报,2013,19(4):718-722.
- [11] Elfving B, Ulvcrona K A, Egnell G. Biomass equations for lodgepole pine in northern Sweden [J]. *Ca-*
- nadian Journal of Forest Research, 2017, 47 (1): 89-96.
- [12] Ma W H, Fang J Y, Yang Y H, et al. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982-2006 [J]. *Science China Life Sciences*, 2010, 53 (7): 841-850.
- [13] Poorter L, Bongers F, Aide T M, et al. Biomass resilience of neotropical secondary forests [J]. *Nature*, 2016, 530 (7589): 211-214.
- [14] 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.
- [15] Ouyang S, Xiang W H, Wang X P, et al. Effects of stand age, richness and density on productivity in subtropical forests in China [J]. *Journal of Ecology*, 2019, 107 (5): 2266-2277.
- [16] 郭屹立,王斌,向悟生,等.广西弄岗北热带喀斯特季节性雨林监测样地种群空间点格局分析[J].生物多样性,2015,23(2):183-191.
- [17] 吴晓煜,赵秀海.长白山阔叶红松林物种多样性格局及其尺度效应[J].林业科学,2025,61(2):40-49.
- [18] 姚杰,丁易,周超凡,等.海南热带天然林木本植物多样性对地上生物量的影响及其尺度效应[J].北京林业大学学报,2024,46(12):1-10.
- [19] 胡文杰,潘磊,雷静品,等.三峡库区马尾松(*Pinus massoniana*)林林分结构特征对灌木层物种多样性的影响[J].生态环境学报,2019,28(7):1332-1340.
- [20] 于水今,王娟,何海燕,等.针阔混交林生物量稳定性驱动因子[J].林业科学,2022,58(11):181-190.
- [21] 白静,田有亮,韩照日格图,等.油松人工林地上生物量、叶面积指数与林分密度关系的研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(3):183-187.
- [22] 杨佳云,胡启武,刘运媛,等.鄱阳湖典型湿地植物群落生物量及分配对植物多样性变化的响应[J].应用与环境生物学报,2023,29(6):1337-1345.
- [23] 胡凤烨,赵锐锋,张丽华,等.黄河首曲湿地植物群落生产力、物种多样性及其与生境的关系[J].生态学报,2023,43(24):10238-10249.
- [24] 张锦涛,赵峰侠,陈俊合,等.青藏高原不同类型高寒草地物种多样性与生物量的关系及影响要素[J].草业科学,2023,40(3):616-626.

(本篇专家编审:任军)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2025.05.003

文章编号:1005-7129(2025)05-0013-04 中图分类号:S791.49 文献标识码:A

长白山区不同林分类型东北红豆杉种群结构特征

刘凯鹏¹, 张玥¹, 田晓华², 邵玲³, 张骁⁴

(1. 北华大学林学院, 吉林 吉林 132013; 2. 前郭县查干花林场, 吉林 松原 131100; 3. 长白县龙泉镇林场, 吉林 白山 134411; 4. 吉林省林业勘察设计研究院, 吉林 长春 130022)

摘要:本文对吉林长白山国家级自然保护区不同林分类型东北红豆杉种群进行了调查,分析了其种群结构特征。结果表明,保护区4个样地东北红豆杉存活个体分别为68株、75株、81株和97株。各样地的龄级分布均呈现“单峰型”分布,样地内I龄级和II龄级的林木存活个体均较少,种群天然更新能力均较差。4个样地的初始生命期望由大到小为样地IV、样地III、样地I和样地II,样地IV紫椴-臭松针阔混交林为东北红豆杉最适宜生存的林分类型。

关键词:东北红豆杉;种群特征;长白山区

Population Structure Characteristics of *Taxus cuspidata* in Different Types of Forests in Changbai Mountain Area

LIU Kaipeng¹, ZHANG Yue¹, TIAN Xiaohua², SHAO Ling³, ZHANG Xiao⁴

(1. Forestry College of Beihua University, Jilin 132013, China; 2. Chaganhua Forest Farm in Mongolian Autonomous County of Qian Gorlos, Songyuan 131100, China; 3. Long Quan Zhen Forest Farm in Korean Autonomous County of Changbai, Baishan 134411, China; 4. Forest Survey and Design Institute of Jilin Province, Changchun 130022, China)

Abstract: *Taxus cuspidata* populations in different types of forests in Changbai Mountain National Nature Reserve in Jilin Province were investigated and the population structure characteristics were analyzed in this paper. The results showed that the numbers of surviving individual trees in the four plots in the reserve were 68, 75, 81 and 97, respectively. The age class of each plot showed ‘unimodal’ distribution. There were few surviving individual trees of age class I and age class II. The natural regeneration ability of populations was poor. The initial life expectancy was as follows: plot IV > plot III > plot I > plot II. The coniferous and broad-leaved mixed forest of *Tilia amurensis* and *Abies nephrolepis* in plot IV was the most suitable stand type for the survival of *Taxus cuspidata*.

Keywords: *Taxus cuspidata*; population characteristics; Changbai Mountain area

东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)为红豆杉科红豆杉属乔木,主要分布于我国老爷岭、张广才岭及长白山区,此外日本、朝鲜、俄罗斯也有分布^[1, 2]。其是植物活化石,具有重要的研究价值,1996年联合国教科文组织将其列为世界珍

稀濒危植物,1999年首次公布的《国家重点保护野生植物名录》中,其被列为国家一级重点保护野生植物。分析植物种群结构,编制种群生命表和绘制存活曲线,有利于了解种群当前状态和稳定性,对种群生态特性和更新策略以

收稿日期:2025—06—27

第一作者:刘凯鹏(2002—),男,在读硕士研究生,主要从事森林资源管理与生态学方向的研究,E-mail:2642059602@qq.com。

通信作者:张骁(1990—),男,工程师,硕士研究生,主要从事林业勘察设计工作,E-mail:191503594@qq.com。

及生态系统的发展都具有非常重要的意义。王进等^[3]分析了湖北省西南地区亮叶桦(*Betula luminifera*)种群结构与动态特征,结果表明3个区域的光皮桦种群均属增长型,高度级结构较完整。集安市清河镇紫椴(*Tilia amurensis*)天然母树林保护区,紫椴种群径级分布呈正偏山状分布,属于衰退型种群^[4]。朱红大杜鹃(*Rhododendron griersonianum*)是中国极小种群野生植物,其种群存活曲线趋近Deevey-I型分布,种群的死亡高峰出现在X龄级,死亡率为40%^[5]。本文对吉林长白山国家级自然保护区不同林分类型东北红豆杉种群进行了调查,分析了其种群结构特征,旨在为东北红豆杉资源的保护与利用提供参考。

1 研究区概况

研究区位于吉林省东南部,与朝鲜民主主义人民共和国相毗邻。属受季风影响的大陆山地气候,年平均温度-7~3℃,严冬时最低气温可达-40℃,年日照时数约2 300 h,无霜期约100 d,年降水量700~1 400 mm。森林植被较为复杂,以天然云冷杉为主。主要乔木树种有鱼鳞云杉(*Picea jezoensis*)、臭松(*Abies nephrolepis*)、紫椴、香杨(*Populus koreana*)、春榆(*Ulmus davidiana* var. *japonica*)、红松(*Pinus koraiensis*)、假色槭(*Acer pseudo-sieboldianum*)和色木槭(*Acer pictum* subsp. *mono*)等,主要灌木有长白忍冬(*Lonicera ruprechtiana*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、卫矛(*Euonymus alatus*)和珍珠梅

(*Sorbaria sorbifolia*)等。主要草本有羊须草(*Carex callitrichos*)、蚊子草(*Filipendula digitata*)和木贼(*Equisetum hyemale*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

根据相关部门掌握的东北红豆杉分布情况,确定调查范围为东北红豆杉较为集中分布区域,总面积7 356 hm²,共调查东北红豆杉5 247株。根据已调查的东北红豆杉分布情况以及所处林分类型的不同设置4个样地,样地I为鱼鳞云杉-假色槭针阔混交林,样地II为香杨-臭松针阔混交林,样地III为臭松-鱼鳞云杉针阔混交林,样地IV为紫椴-臭松针阔混交林。每个样地为500 m×1 000 m的矩形样地,面积50 hm²。每个样地分成8个250 m×250 m的正方形调查样地,共32个种群调查样地,每个调查样地面积6.25 hm²。

对调查样地内所有胸径>1 cm的东北红豆杉植株进行调查,记录坐标、胸径、树高、生长情况、病虫害情况,拍摄单株照片和生境照片,对胸径≥5 cm的植株悬挂树牌,记录编号。利用胸径尺测量林木的胸径,精确到0.1 cm;利用测高仪(深达威SW-1500A)测量林木的树高,精确到0.1 m。利用钢尺测量林木相对样方西南角的相对坐标,再利用样方位置换算林木相对位置,对林木位置进行定位,同时观测记录每木健康状况。

表1 调查样地基本情况

Tab. 1 Basic conditions of survey plots

样地	平均胸径/cm	平均树高/m	林分密度/株·hm ⁻²	树种组成	样地坐标
样地 I	18.2±5.3	15.7±3.3	824	2云杉 2假色槭 1红松 1臭松 1紫椴 1色木槭 1柞树 1水曲柳	127° 56' 3.374" E 42° 13' 1.356" N
样地 II	21.1±7.6	18.3±4.6	656	4香杨 3臭松 1云杉 1紫椴 1花楷槭	127° 57' 57.964" E 42° 9' 33.438" N
样地 III	20.2±6.3	17.6±5.2	732	2臭松 2云杉 2枫桦 1红松 1色木槭 1紫椴 1假色槭	127° 57' 33.451" E 42° 10' 49.255" N
样地 IV	21.1±8.3	18.8±4.5	632	3紫椴 2臭松 2假色槭 1色木槭 1香杨 1柞树	127° 56' 7.445" E 42° 10' 46.182" N

2.2 种群龄级结构划分

东北红豆杉生长周期较长,且处于濒危状

态,测得树木的实际年龄比较困难。正常生长条件下林木年龄越大胸径越大^[6],本文采用径

级代替龄级的方法对东北红豆杉种群存活个体进行分组。根据东北红豆杉检尺记录径级分布特点,将<8.0 cm 划分为 I 龄级、8.0~<16.0 cm 划分为 II 龄级,每隔 8.0 cm 为一个龄级,以此类推,≥72.0 cm 为 X 龄级。将龄级从小到大的顺序视为时间顺序,I 龄级对应 I 龄级,II 龄级对应 II 龄级,以此类推。

2.3 种群曲线绘制

统计各龄级植株数量并将数据标准化。许多研究为了避免死亡率出现负值,往往作匀滑处理^[7]。本文参照郭忠玲等^[4]对种群个体存活数量的匀滑处理方法,对东北红豆杉不同种群的个体存活数量进行匀滑处理。

种群曲线一般包括存活曲线、生命期望曲线和消失率曲线。其中: $I_x = (a_x' / a_0) \times 1000$, $d_x = l_x - l_{x+1}$, $T_x = \sum l_x$, $e_x = T_x / l_x$, $K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$ 。式中: x 为龄级, a_x 为 x 龄级内现有个体存活数量, a_0 为 a_x 的初始值, a_x' 为 a_x 匀滑后的个体存活数量, l_x 是在 x 龄级开始时标准化个体存活数量, d_x 为 x 龄级到 $x+1$ 龄级间隔期内标准化死亡数量, T_x 为 x 龄级到超过 x 龄级的个体数量, e_x 为进入 x 龄级的期望寿命, K_x 为消失率。以 $\ln l_x$ 、 e_x 、 K_x 为纵坐标,以龄级为横坐标,分别绘制存活曲线、生命期望曲线和消失率曲线。

2.4 数据处理与统计

应用 Winklemass 1.0 和 Matlab 2016a 对数据进行整理和统计分析,应用 Office 2023 软件进行绘图。

3 结果与分析

3.1 种群龄级结构

通过调查,样地 I、样地 II、样地 III 和样地 IV 内东北红豆杉存活个体分别为 68 株、75 株、81 株和 97 株(见图 1)。可以看出,4 个样地的龄级分布均呈“单峰型”分布,且均在 IV 龄级出现存活个体数量最大值,存活个体数量分别为 30 株、32 株、27 株和 30 株。4 个种群样地内 I 龄级和 II 龄级的林木存活个体均较少,或没有存活的林木个体,说明东北红豆杉自我更新能力较低,这与东北红豆杉种子休眠特性和幼苗个体的竞争能力相关。样地 II 在 VI 龄级开始,林木存活个体明显下降,至 VIII 龄级开始已无林木个体存活,这与该种群所在的群落特征相关。样地 II 所在群落的林木竞争强度最大,且群落内林木分布的随机性较强,这对东北红豆杉林木个体的存活产生了较大的制约。样地 III 和样地 IV 种群在高龄级阶段均有存活林木个体,说明这 2 个种群所在群落特征适合东北红豆杉林木个体存活。

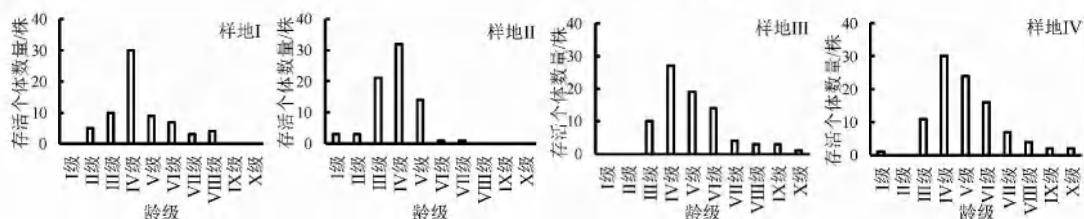


图 1 东北红豆杉种群龄级结构

Fig. 1 Age class structure of *Taxus cuspidata* population

3.2 种群曲线

存活曲线如图 2 所示,样地 I、样地 II、样地 III 和样地 IV 存活曲线的截止龄级分别为 VII 龄级、VII 龄级、X 龄级和 X 龄级,说明样地 III 和样地 IV 内的个体均能存活到生理年龄,其群落特征适宜东北红豆杉种群的个体存活。样地 II 的存活曲线截止龄级较早,主要是由于该种群所在的群落内林木竞争较为激烈,导致种群的个体较难存活至生理年龄。

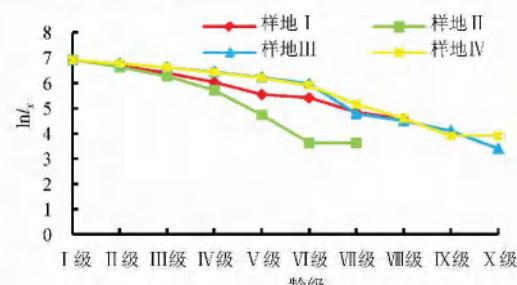


图 2 东北红豆杉种群存活曲线

Fig. 2 Survival curve of *Taxus cuspidata* population

生命期望曲线如图 3 所示,4 个样地的初始生命期望由大到小为样地Ⅳ、样地Ⅲ、样地Ⅰ 和样地Ⅱ, 生命期望分别为 4.0、3.9、3.1 和 2.3, 说明样地Ⅲ 和样地Ⅳ 内的个体在种群初始阶段的生命活力较为旺盛, 个体存活质量较高, 而样地Ⅱ 内的个体存活质量较低。4 个样地的种群生命期望在Ⅵ 龄级时较为接近, 均在 1.5 左右, 主要是由于该龄级下 4 个样地的种群死亡率和消失率达到最大值。

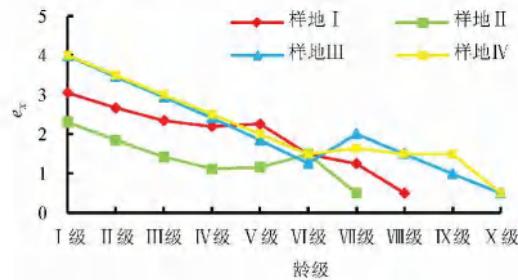


图 3 东北红豆杉种群生命期望曲线

Fig. 3 Life expectancy curve of *Taxus cuspidata* population

消失率曲线如图 4 所示, 样地Ⅱ 种群的消失率随龄级增加而增加, 并仅持续到 V 龄级, 主要是由于该样地种群内存活的个体尚未达到生理年龄即全部消失。其他 3 个样地均在 VI 龄级出现种群消失率的最大值, 这与种群死亡率的变化趋势基本一致, 说明该龄级下东北红豆杉种群存活个体竞争能力均相对较弱, 导致种群消失率突然增加。随后样地Ⅲ 和样地Ⅳ 种群消失率有所下降, 并分别在 IX 龄级和 VII 龄级出现种群消失率的第二个峰值, 说明这 2 个样地种群内的存活个体已到达生理年龄。

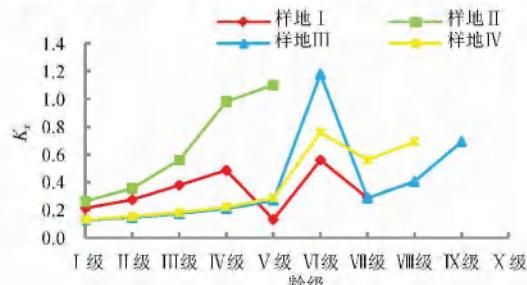


图 4 东北红豆杉种群消失率曲线

Fig. 4 Loss rate curve of *Taxus cuspidata* population

4 结论与讨论

东北红豆杉种质资源具有较高的保护价值, 对其种群特征进行分析, 对了解和掌握其种群维持机制具有重要意义, 可为其资源的保护、繁育和利用提供参考^[8]。吉林长白山国家级自然保护区 4 个样地东北红豆杉存活个体分别

为 68 株、75 株、81 株和 97 株。各样地的龄级分布均呈“单峰型”分布, 样地内 I 龄级和 II 龄级的林木存活个体均较少, 种群天然更新能力均较差。这与刁云飞等^[9]的研究结果一致, 该研究结果表明东北红豆杉径级结构近似于正态型, 小径级存活个体极少, 在 88~90 cm 间出现峰值, 而后又递减。而其另一研究结果表明, 其种群早期死亡率很高, 幼龄期生长非常不稳定, 中龄期、成熟期相对稳定衰退^[6]。相关研究表明, 东北红豆杉适宜生存的群落类型多为臭冷杉与紫椴形成的针阔混交林^[9], 这与本文的研究结果一致。4 个样地的初始生命期望由大到小为样地Ⅳ、样地Ⅲ、样地Ⅰ 和样地Ⅱ, 样地Ⅳ 紫椴-臭松针阔混交林为东北红豆杉最适宜生存的林分类型。今后, 可对不同种群生境的群落空间结构和种间关联进行进一步研究。

参考文献

- [1] 刘邦伟, 曹蓉芬, 汪彦宏, 等. 东北红豆杉在北方沿海地区迁地保护研究[J]. 温带林业研究, 2024, 7(2): 25~29, 44.
- [2] Chang B L, Huang C, Chen B M, et al. Predicting the potential distribution of *Taxus cuspidata* in northeastern China based on the ensemble model[J]. *Ecosphere*, 2024, 15(8): e4965.
- [3] 王进, 姚兰, 艾训儒, 等. 鄂西南不同区域亮叶桦种群结构与动态特征[J]. 应用生态学报, 2020, 31(2): 357~365.
- [4] 郭忠玲, 宋雪婷, 范春楠, 等. 紫椴天然种群空间分布与生命结构特征分析[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2022, 23(6): 726~732.
- [5] 朱培高, 乔琴, 马永鹏, 等. 极小种群野生植物朱红大杜鹃的种群结构与动态特征[J]. 西部林业科学, 2024, 53(1): 17~24.
- [6] 刁云飞, 刘延坤, 刘玉龙, 等. 穆棱东北红豆杉种群结构特征[J]. 中国科学: 生命科学, 2020, 50(4): 391~397.
- [7] 王电杰, 温国胜, 童在康, 等. 浙江省大鹿岛木麻黄种群静态生命表分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011, 32(4): 145~150.
- [8] 刘丹, 郭忠玲, 崔晓阳, 等. 5 种东北红豆杉植物群丛及其物种多样性的比较[J]. 生物多样性, 2020, 28(3): 340~349.
- [9] 刁云飞, 金光泽, 田松岩, 等. 黑龙江省穆棱东北红豆杉林物种组成与群落结构[J]. 林业科学, 2016, 52(5): 26~36.

(本篇专家编审:陈建军)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2025.05.004

文章编号:1005-7129(2025)05-0017-04 中图分类号:S718.7 文献标识码:A

磨盘山地区不同林型地表甲虫生物多样性

韩喜越, 孙晓阳, 陈卓, 梁为玉, 鞠献存

(吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022)

摘要: 为探讨磨盘山地区不同林型地表甲虫生物多样性特征, 采用巴氏罐诱法在磨盘山地区 6 种林型下共设置 30 个取样点, 共计采集标本 706 头, 经分类鉴定统计, 共 30 种, 分属 9 科。磨盘山地区森林地表甲虫的群落中, 优势类群为步甲科, 其个体数量占地表甲虫总数的 91.36%。地表甲虫物种丰富度、物种多度及优势度指数均以混交林最低, 多样性指数和均匀度指数则是山杨林最低, 磨盘山地区的 6 种林型地表甲虫群落相似性都很高。

关键词: 地表甲虫; 生物多样性; 磨盘山地区

Biodiversity of Ground-dwelling Beetles in Different Types of the Forest in Mopan Mountain Area

Han Xiyue, Sun Xiaoyang, Chen Zhuo, LIANG Weiyu, JU Xiancun

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

Abstract: To elucidate the biodiversity characteristics of ground-dwelling beetles in different types of the forest in Mopan Mountain area, 30 pitfall traps were set up in six types of the forest by Barber trapping method. 706 specimens were collected. The taxonomic identification revealed that there were 30 species belonging to 9 families. The dominant population was Carabidae, and its individual number accounted for 91.36%. Species richness, abundance, and Simpson dominance index in the mixed forest were lowest, whereas Shannon diversity index and Pielou evenness index in *Populus davidiana* forest were lowest. The similarity of ground-dwelling beetle communities among the six forest types of the forest in Mopan Mountain area was high.

Keywords: ground-dwelling beetle; biodiversity; Mopan Mountain area

生物多样性最早的概念实质上就是物种多样性, 物种多样性在整个生物多样性研究中具有非常重要的地位^[1]。物种多样性是指物种及其集合体的生物学多样性, 物种多样性研究的核心是物种的数量变化和物种的生物学多样性程度^[2, 3]。

研究表明, 随着生态恢复与重建过程中植物种类的增加, 昆虫种类也相应增加, 群落稳定性提高。生境的稳定性与昆虫群落相对稳定性直接相关, 不同生境昆虫群落多样性反映了

环境演替与物种之间的关系, 昆虫群落特征对生态系统的不同恢复阶段具有重要的指示作用^[4]。

在森林地表生活的甲虫(简称地表甲虫)是森林昆虫的重要组成部分, 其结构特殊、食性复杂, 对环境具有较强的适应能力, 在维持森林生态系统平衡过程中起着重要作用^[5-7]。许多研究表明, 枯落物密度、植被组成和结构、栖息地类型、栖息地受干扰程度、土壤水分以及植被覆盖度等都可能影响地表甲虫群落的多样性和

丰富度^[8, 9]。阔叶林的物种丰富度和个体数量通常高于针叶林或针阔混交林, 阔叶林中丰富的植物种类和较厚的枯落物层可以为地表甲虫提供更好的遮蔽和食物资源^[10]。本文探讨了磨盘山地区不同林型地表甲虫生物多样性特征。

1 研究地概况

磨盘山位于吉林省吉林市丰满区前二道乡王相村境内, 最高海拔 783.8 m, 总面积约 10 km²。属北温带大陆性季风气候, 年均温 4.5 ℃, 年均降水量 668 mm, 无霜期约 130 d。植被属长白山植物区系, 森林群落以采伐干扰的次生落叶阔叶林为主, 森林覆盖率达 90%。乔木树种以花曲柳 (*Fraxinus chinensis* subsp. *rhynchophylla*) 为主, 还有蒙古栎 (*Quercus mongolica*)、胡桃楸 (*Juglans mandshurica*)、色木槭 (*Acer pictum* subsp. *mono*)、落叶松 (*Larix gmelini*)、红松 (*Pinus koraiensis*)、旱柳 (*Salix matsudana*)、山杨 (*Populus davidiana*) 等; 灌木以卫矛 (*Euonymus alatus*)、山楂叶悬钩子 (*Rubus crataegifolius*) 等为主; 草本植物以丝引薹草 (*Carex remotiuscula*)、连钱草 (*Glechoma longituba*) 等为主^[11-13]。

2 研究方法

2.1 采集方法

2023 年 6 月, 使用巴氏罐诱法进行昆虫采集, 巴氏罐容器为直径 7 cm、高 10 cm 的一次性塑料水杯。在 6 种天然林(旱柳林、山杨林、蒙古栎林、落叶松林、红松林、混交林) 中分别设置 1 块样地, 每个样地随机选取 5 个取样点, 每

个取样点间隔 6 m, 每个取样点埋 10 个塑料杯, 杯口低于地面 5 cm, 在杯内放入少量酒精溶液, 埋杯 5 天后收集。

2.2 标本鉴定

将收集的地表甲虫放入盛有 75% 酒精的标本瓶中保存, 带回实验室分拣, 再进行鉴定。标本鉴定主要依据《中国土壤动物检索图鉴》^[14] 和《东北森林土壤动物研究》^[15]。

2.3 数据分析处理

物种多样性主要采用物种丰富度 (*R*)、物种多度 (*A*)、多样性 Shannon-Wener 指数 (*H'*)、均匀度 Pielou 指数 (*E*) 和优势度 Simpson 指数 (*C*) 进行评价。计算公式为: $R = S, A = N/B, H' = -\sum(P_i \cdot \ln P_i), E = H'/\ln S, C = \sum P_i^2$ 。式中: $P_i = N_i/N, N$ 是样地内所有物种总个体数量, N_i 是样地内物种 *i* 的个体数量, *S* 是样地内物种数量, *B* 是样地内巴氏诱罐组数。

采用 Excel 软件和 SPSS 软件进行统计分析, 使用 Origin 软件进行聚类分析。

3 结果与分析

3.1 地表甲虫群落组成与数量分布

在磨盘山地区 6 种林型内采集地表甲虫标本共计 706 头, 经分类鉴定统计, 共 30 种, 分属 9 科。由表 1 可知, 地表甲虫的优势类群为步甲科 Carabidae, 总共采集到 645 头, 占地表甲虫总数量的 91.36%; 葬甲科 Silphidae、阎甲科 Histeridae、象甲科 Curculionidae、叩甲科 Elateridae 为常见类群; 隐翅虫科 Staphilinidae、拟步甲科 Tenebrionidae、金龟科 Scarabaeidae、虎甲科 Cicindelidae 为稀有类群。

表 1 地表甲虫群落组成及个体数量

Tab. 1 Community composition and individual number of ground-dwelling beetles

科	旱柳林		山杨林		蒙古栎林		落叶松林		红松林		混交林	
	物种数 量/种	个体数 量/头										
葬甲科	1	1	1	1	0	0	2	2	3	4	1	2
隐翅虫科	1	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
阎甲科	2	2	0	0	3	4	2	7	2	7	1	1
象甲科	3	6	0	0	1	2	0	0	0	0	1	2

表 1(续)

科	旱柳林		山杨林		蒙古栎林		落叶松林		红松林		混交林	
	物种数 量/种	个体数 量/头										
拟步甲科	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
叩甲科	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2	0	0
金龟科	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0
虎甲科	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
步甲科	13	127	13	189	10	37	13	99	11	180	5	13
合计	24	142	15	191	18	49	21	112	19	194	8	18

3.2 不同林型地表甲虫群落多样性特征

由图 1 可知, 地表甲虫的物种丰富度(R)为旱柳林>落叶松林>红松林>蒙古栎林>山杨林>混交林, 物种多度(A)为红松林>山杨林>旱柳林>落叶松林>蒙古栎林>混交林, 多样性

指数(H')为蒙古栎林>混交林>落叶松林>旱柳林>红松林>山杨林, 均匀度指数(E)为混交林>蒙古栎林>落叶松林>旱柳林>红松林>山杨林, 优势度(C)指数排序为山杨林>红松林>旱柳林>落叶松林>蒙古栎林>混交林。

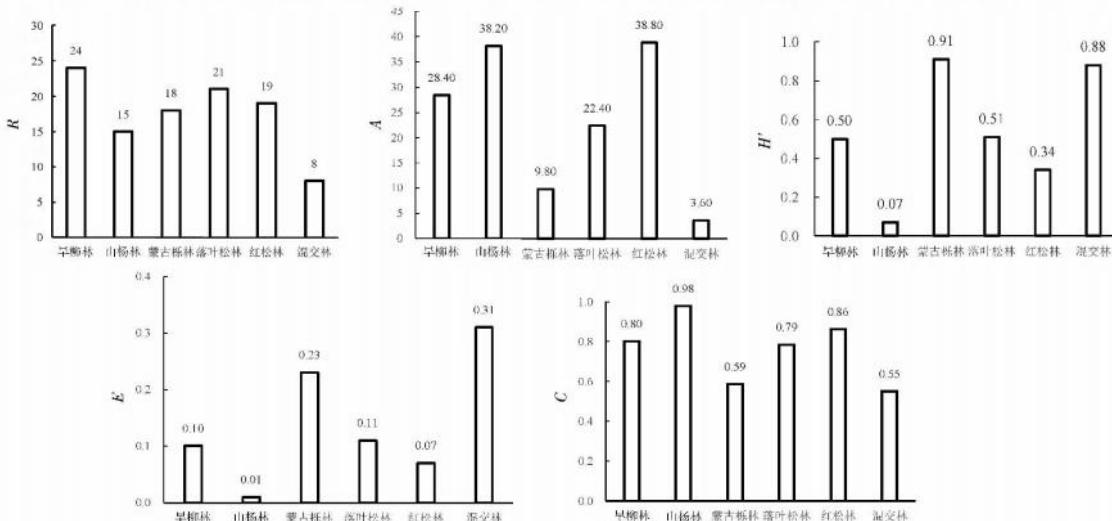


图 1 磨盘山地区不同林型地表甲虫各多样性指数分布

Fig. 1 Distribution of various diversity indices of ground-dwelling beetles in different types of the forest in Mopan Mountain area

3.3 不同林型地表甲虫群落相关分析

由表 2 可知, 在磨盘山调查的 6 种林型地

表甲虫群落相似性都很高, 说明这些林型的生态环境在某些关键因素上具有高度相似性。

表 2 不同林型地表甲虫相关分析

Tab. 2 Correlation analysis of surface beetles in different types of the forest

	旱柳林	山杨林	蒙古栎林	落叶松林	红松林	混交林
旱柳林	1	0.998 **	0.972 **	0.997 **	0.998 **	0.993 **
山杨林		1	0.970 **	0.997 **	0.999 **	0.981 **
蒙古栎林			1	0.974 **	0.969 **	0.933 **
落叶松林				1	0.999 **	0.979 **
红松林					1	0.982 **
混交林						1

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关。

磨盘山地区森林地表甲虫的群落组成中,步甲科的个体数量占地表甲虫总数量的 91.36 %,为研究地的优势科,表明其在磨盘山地区的森林生态系统中具有重要的生态地位。步甲科甲虫通常以捕食小型昆虫为生,是该地区森林生态系统中重要的天敌昆虫,对维持生态平衡和控制害虫数量起关键作用。磨盘山地区较厚的落叶层为步甲科甲虫提供了丰富的食物资源和良好的栖息环境,在研究和保护该地区的生态系统时,需要特别关注步甲科甲虫的生态需求和保护策略。

6 种林型条件下物种丰富度、物种多度及优势度指数均以混交林最低,多样性指数和均匀度指数则是山杨林最低。纯林的生态系统具有一定的稳定性和相似性,在这些林型中,甲虫群落能够通过多样化的物种组成和相对均匀的分布来维持生态系统的功能和稳定性。由于混交林植被结构复杂、资源分布不均或竞争压力较大,导致甲虫群落物种丰富度、物种多度及优势度指数最低,建议通过改善土壤条件或减少人为干扰等方式,促进其恢复和发展。

6 种林型间地表甲虫群落相似性都很高,说明这些林型的生态环境在某些关键因素上具有高度相似性。甲虫作为生态系统中的重要组成部分,其群落结构往往与植被类型、土壤条件、湿度、光照等因素密切相关。高相似性表明这些林型之间存在一定的生态连通性,甲虫能够在不同林型之间自由迁徙和扩散。这种连通性有助于维持物种的多样性,减少因栖息地隔离导致的物种灭绝风险。

目前的研究仅基于短期的调查数据,初步分析林型对甲虫群落的影响。为了解甲虫群落在不同季节和年份的变化趋势,以及它们对环境变化的响应,还需开展长期监测。今后可进一步定量分析土壤湿度、植被覆盖度、光照强度等环境因素对甲虫群落的具体作用机制,并对甲虫群落内部的物种间相互作用(如捕食关系、竞争关系等)开展进一步研究。

- [1] 王献溥. 生物多样性的基本概念及其应用[J]. 生物学杂志, 1988, 5(5): 1-4.
- [2] 贺奇, 王新谱, 杨贵军. 宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性[J]. 生态学报, 2011, 31(4): 923-932.
- [3] 冀卫荣, 胡俊杰, 李友莲. 山西庞泉沟自然保护区步甲物种组成及多样性格局[J]. 昆虫学报, 2008, 51(9): 953-959.
- [4] 娄巧哲, 徐养诚, 马吉宏, 等. 古尔班通古特沙漠南缘地表甲虫物种多样性及其与环境的关系[J]. 生物多样性, 2011, 19(4): 441-452.
- [5] 王敏, 李欣芸, 杨益春, 等. 贺兰山地表甲虫群落多样性及其与环境因子的相关性[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(4): 154-161.
- [6] 王玉, 高光彩, 付必谦, 等. 北京野鸭湖湿地地表甲虫群落组成与空间分布格局[J]. 生物多样性, 2009, 17(1): 30-42.
- [7] 贾玉珍, 赵秀海, 孟庆繁. 长白山阔叶红松林不同演替阶段地表甲虫组成和多样性[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(6): 797-802.
- [8] 王晶, 吕昭智, 殷飞. 干旱区景观异质性对地表甲虫多样性的影响[J]. 环境昆虫学报, 2016, 38(1): 67-76.
- [9] 李岳诚, 张大治, 贺达汉. 荒漠景观固沙柠条林地地表甲虫多样性及其与环境因子的关系[J]. 林业科学, 2014, 50(5): 109-117.
- [10] 刘生冬, 孟昕, 孟庆繁, 等. 阔叶红松林不同林分对地表甲虫群落的影响[J]. 林业科学, 2018, 54(2): 110-118.
- [11] 陆龙龙, 郭忠玲, 范春楠, 等. 吉林磨盘山次生落叶阔叶林群落特征和稳定性分析[J]. 应用生态学报, 2018, 29(7): 2079-2087.
- [12] 项凤武, 郑金萍, 范春楠, 等. 磨盘山次生混交林群落主要树种空间分布格局[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2006, 7(4): 362-366.
- [13] 项凤武, 郑金萍, 范春楠, 等. 吉林市磨盘山草本植物种类及其多样性[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2006, 7(1): 75-78.
- [14] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [15] 殷秀琴. 东北森林土壤动物研究[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 2001.

(本篇专家编审:李兴鹏)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2025.05.005

文章编号:1005-7129(2025)05-0021-03 中图分类号:S763.38 文献标识码:A

林分郁闭度对松墨天牛诱捕量的影响分析

朱 宁

(永安市林业局,福建三明 366000)

摘要:为了探究林分郁闭度对松墨天牛诱捕量的影响,在永安市槐南镇海拔高度相似的林间选择 8 个不同郁闭度条件,各悬挂 5 个诱捕器,进行调查分析。结果显示,随着郁闭度的不断升高,松墨天牛的诱捕数量不断增加。其中郁闭度 0.2 与郁闭度 0.8、0.9 诱捕天牛数量存在显著差异,郁闭度 0.3 和 0.4 分别与郁闭度 0.9 诱捕天牛数量存在显著差异。研究结果为今后林间悬挂诱捕器监测松墨天牛及更好的防治松材线虫病提供了依据。

关键词:松墨天牛;诱捕量;郁闭度;防治

Analysis of the Influence of Forest Canopy Density on the Trapping Amount of *Monochamus alternatus*

ZHU Ning

(Forestry Bureau of Yong'an City, Sanming 366000, China)

Abstract: In order to explore the effect of forest canopy density on the trapping amount of *Monochamus alternatus*, eight different canopy densities were chose in the forest with the similar altitude in Huinan Town of Yong'an City. Five traps were hung under each condition for investigation and analysis. The results showed that the trapping amount with the canopy density of 0.2 was significantly different from that with the canopy density of 0.8 and 0.9. The trapping amount with the canopy density of 0.3 and 0.4 was significantly different from that with the canopy density of 0.9. The results provided the basis for monitoring *M. alternatus* by hanging traps in the forest and better controlling pine wilt disease in the future.

Keywords: *Monochamus alternatus*; trapping amount; canopy density; control

郁闭度影响林内的光照、湿度、温度等环境因素,较高的郁闭度会降低树木营养的吸收,导致树势衰弱,为松墨天牛(*Monochamus alternatus*)的侵害创造有利条件,从而使虫口密度升高^[1, 2]。林分条件和林内虫口密度决定松墨天牛的诱捕量^[3, 4]。国内目前对于林分条件中郁

闭度与天牛诱捕量的相关性也多有研究^[5-7]。

松墨天牛是鞘翅目天牛科的重要林业害虫,也是传播松材线虫病的主要媒介之一^[8, 9]。幼虫期通过取食松属植物韧皮部与木质部交界区域破坏维管系统的运输功能,导致寄主树势衰退;成虫羽化后补充营养,其取食行为造成的

收稿日期:2025—04—18

作者简介:朱宁(1990—),女,农艺师,硕士研究生,从事森林保护及森林病虫害防治及培育工作,E-mail:471754369@qq.com。

新鲜伤口为松材线虫的侵入提供了通道^[10-12]。有“松树癌症”之称的松材线虫病是松树的一种毁灭性病虫害,发病速度快、传播迅速、防治难度较大^[13]。福建省永安市近年来遭受了严重的松材线虫病入侵,本文以永安市槐南镇作为研究地点,探究林分郁闭度与松墨天牛诱捕量的关系,从而为有针对性监测松墨天牛及防控松材线虫病提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

APF-1 持久型松墨天牛引诱剂及松墨天牛诱捕器由福建厦门三涌生物科技有限公司生产,诱捕器由圆形顶盖、十字面板、漏斗和收集杯组成。

1.2 试验地概况

试验地设在福建省永安市槐南镇,地理位置 $117^{\circ}56' \sim 118^{\circ}23' E, 25^{\circ}48' \sim 26^{\circ}01' N$, 属于亚热带季风气候,年均温 $18 \sim 20^{\circ}C$, 夏季均温 $28 \sim 32^{\circ}C$, 年降水量 $1500 \sim 1800 mm$, 森林覆盖率为 80.26%, 林分以天然次生林和人工林为主。

试验地以马尾松(*Pinus massoniana*)纯林为主,海拔高度相似,林分郁闭度 0.1~1.0,松墨天牛危害严重。

1.3 试验方法

将诱捕器悬挂在气流畅通、光线充足处,收集杯底部距离地面 $1.5 \sim 2.0 m$ (成虫飞行活跃层),相邻诱捕器间隔约 $50 m$, 海拔高度相似。共选择 8 个不同郁闭度,分别为 0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9,每个条件下悬挂 5 个诱捕器。在松墨天牛主要活动期^[14]同一方法同一位置连续悬挂 3 年(2022—2024 年,每年 4 月 9 日—10 月 21 日),自试验之日起,每隔 7 d 调查诱捕松墨天牛数量并进行记录,清理收集杯中的天牛和杂物,最后对每个郁闭度 5 个诱捕器诱捕到的天牛总量和均量进行分析。

APF-1 持久型引诱剂以 α -蒎烯+乙醇为主要成分,具有一定的挥发性,其更换诱芯频次为 30 d。

1.4 数据分析

试验数据采用 GraphPad Prism 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同郁闭度对诱捕总量的影响

通过不同郁闭度诱捕总量的分析发现,随着郁闭度的不断升高,松墨天牛的诱捕数量不断增加,整体诱捕数量和郁闭度正相关(见图 1)。

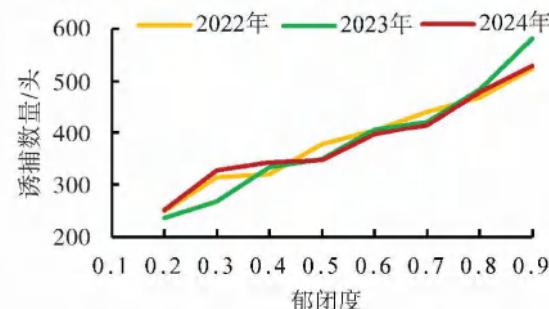


图 1 不同郁闭度松墨天牛诱捕总量

Fig. 1 Total trapping amount of *M. alternatus* with different canopy densities

2.2 不同郁闭度诱捕均量差异性分析

2022—2024 年不同郁闭度松墨天牛诱捕均量方差分析结果见表 1、表 2、表 3,可以看出各年份不同林分郁闭度的诱捕量存在极显著差异($P < 0.01$)。各年份不同郁闭度松墨天牛诱捕均量的多重比较结果见图 2,郁闭度 0.2 的诱捕量与郁闭度 0.8、0.9 的诱捕量差异显著,郁闭度 0.3 和 0.4 的诱捕量分别与郁闭度 0.9 的诱捕量差异显著,其他郁闭度诱捕量间均无显著差异。研究结果表明,林分郁闭度对松墨天牛数量或空间分布具有统计学意义的显著影响($P < 0.01$)。

表 1 2022 年不同郁闭度松墨天牛诱捕均量的方差分析

Tab. 1 Variance analysis of the average trapping amount of *M. alternatus* with different canopy densities in 2022

差异源	SS	df	MS	F	P
组间	11 474.18	7	1 639.168	4.133	5 0.002 4
组内	12 689.6	32	396.55		
总计	24 163.78	39			

表 2 2023 年不同郁闭度松墨天牛诱捕均量的方差分析
Tab. 2 Variance analysis of the average trapping amount of *M. alternatus* with different canopy densities in 2023

差异源	SS	df	MS	F	P
组间	17 956.8	7	2 565.257	4.902	7 0.000 7
组内	16 743.2	32	523.225		
总计	34 700	39			

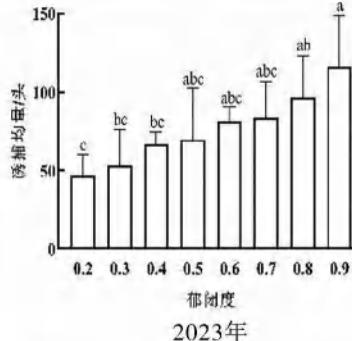
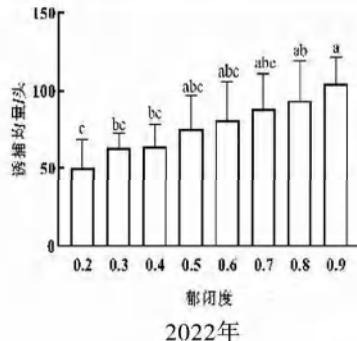


表 3 2024 年不同郁闭度松墨天牛诱捕数均的方差分析
Tab. 3 Variance analysis of the average trapping amount of *M. alternatus* with different canopy densities in 2024

差异源	SS	df	MS	F	P
组间	10 990.18	7	1 570.025	4.913	2 0.000 7
组内	10 225.6	32	319.55		
总计	21 215.78	39			

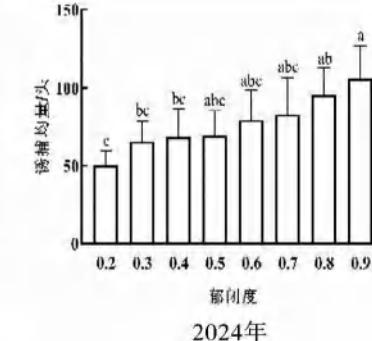


图 2 2022—2024 年不同郁闭度松墨天牛诱捕均量

Fig. 2 Average trapping amount of *M. alternatus* with different canopy densities from 2022 to 2024

3 结论与讨论

本研究通过对永安市槐南镇不同林分郁闭度下松墨天牛的诱捕数量进行分析,得出郁闭度与松墨天牛诱捕量正相关,验证了郁闭度作为关键环境因子对松墨天牛生态行为的调控作用。这可能是由于郁闭度影响林内的生态环境,而这些环境因子则会影响松墨天牛的繁殖和产卵。结合林分郁闭度的影响因素,可为林间悬挂诱捕器监测松墨天牛及更好地防治松材线虫病,提供管理维度的理论依据。

参考文献

- [1] 蒋晓辉, 王昭成, 姚剑飞, 等. 黄山中低海拔区域松林松墨天牛虫口数量分布与环境因子分析 [J]. 中国森林病虫, 2020, 39(2): 16–19.
- [2] 田会鹏. 重庆市铁山坪林场马尾松林病虫害生态控制基础研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2005.
- [3] 陈龙. 松墨天牛种群动态监测和诱捕器野外应用技术研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [4] 蔡梦玲. 松材线虫在树干中的分布与松墨天牛成虫历期影响因素分析 [D]. 福州: 福建农林大学, 2019.
- [5] 刘月芳, 魏国玲, 魏国英, 等. 杨树林光肩星天牛

数量分布影响因子分析 [J]. 内蒙古林业科技, 2012, 38(4): 60–61, 64.

- [6] 李祥康, 黄焕华, 范军祥, 等. 林分因子对松褐天牛引诱剂诱捕效果的影响 [J]. 中国森林病虫, 2013, 32(6): 21–23, 26.
- [7] 谢金礼. 林分条件对松墨天牛成虫诱捕量的影响 [J]. 亚热带农业研究, 2020, 16(4): 268–272.
- [8] 展茂魁, 杨忠岐, 王小艺, 等. 松褐天牛成虫松材线虫病的传播能力 [J]. 林业科学, 2014, 50(7): 74–81.
- [9] 杜瑞卿, 陈顺立, 余培旺, 等. 武夷山景区松墨天牛种群密度与环境因子的坐标变换对应分析 [J]. 昆虫学报, 2010, 53(2): 183–191.
- [10] 宋士涵, 张连芹, 黄焕华, 等. 松墨天牛生物学的初步研究 [J]. 林业科技通讯, 1991(6): 9–13.
- [11] 王玲萍, 陈顺立, 武福华, 等. 松墨天牛幼虫空间格局的研究 [J]. 福建林学院学报, 2002(1): 78–81.
- [12] 李成德. 森林昆虫学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [13] 骆有庆. 高度重视虫传危险性森林病害——松材线虫病 [J]. 昆虫知识, 2001, 38(2): 150.
- [14] 朱宁. 永安市松墨天牛不同时期及海拔种群动态变化 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)农业科学, 2024(11): 69–72.

(本篇专家编审: 王志明)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2025.05.006

文章编号:1005-7129(2025)05-0024-06 中图分类号:S762.2 文献标识码:A

汪清县森林火灾危险性与风险性评估

刘长海, 智献坡, 张伟伦, 王春光

(吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022)

摘要:研究通过收集地理信息、森林资源、气象数据、历史火灾记录等多源数据,运用了包含危险性、暴露度、脆弱性三要素的风险评估模型,通过计算获得汪清县各乡镇单元的森林火灾危险性及风险性评估结果,能够为区域森林火灾防治提供科学依据。

关键词:森林火灾;危险性;风险性;评估

Hazard and Risk Assessment of Forest Fire in Wangqing County

LIU Changhai, ZHI Xianpo, ZHANG Weilun, WANG Chunguang

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

Abstract: The multi-source data such as geographic information, forest resources, meteorological data, and historical fire records in Wangqing County were collected. The risk assessment model including three elements of danger, exposure, and vulnerability was used. The hazard and risk of forest fire for each township unit were assessed by calculation. The survey findings would provide the scientific basis for regional forest fire prevention and control.

Keywords: forest fire; hazard; risk; assessment

森林火灾是威胁全球生态安全与经济社会发展的重大自然灾害之一^[1],具有突发性强、破坏性大、处置困难的特点。随着全球气候变暖和人类活动频繁,森林火灾的风险越来越大^[2-5]。2021 年我国启动的全国自然灾害综合风险普查将森林火灾风险普查列为重点内容,旨在通过科学评估为灾害防治提供数据支持。汪清县位于吉林省东部,森林覆盖率高达 88.79 %,是长白山生态屏障的重要组成部分。然而,其地形复杂,人为活动频繁,森林火灾风险居高不下。本研究以汪清县为对象,通过系

统性普查与模型分析,明确其森林火灾风险分布特征,为区域防灾减灾提供决策依据。

1 区域概况

汪清县位于吉林省延边朝鲜族自治州东北部,地理位置 $129^{\circ} 05' 07'' \sim 130^{\circ} 53' 53''$ E、 $43^{\circ} 06' 35'' \sim 44^{\circ} 02' 41''$ N,面积 $9\,016\text{ km}^2$,东西距离 152 km,南北距离 108 km。地处长白山麓,平均海拔 806 m,境内沟壑纵横,河流密布,丘陵、盆地缀于山水之间,构成综合型山川地貌。属于中温带湿润温凉气候区,年平均气温 4.9°C ,

收稿日期:2025—04—08

第一作者:刘长海(1974—),男,高级工程师,主要从事林业调查规划工作,E-mail:150030089@qq.com。

年降水量 575 mm 左右。汪清县有林地面积 783 045.44 hm², 有林地蓄积量 10 674.14 万 m³, 有林地单位面积蓄积量 136.32 m³ · hm⁻², 森林覆盖率 88.79 %, 主要林型为针叶林、阔叶林、针阔叶混交林、阔叶混交林。区域内共 15 个乡镇统计单元, 包括 3 个街道、8 个镇、1 个乡以及长白山森工集团下属的 3 个林业局场区。

2 数据与方法

2.1 数据来源

研究采用的数据如表 1 所示。本研究以国

家下发的 30 弧秒标准格网(以下简称标准格网)为基础单元, 汪清县共 14 157 个标准格网, 其中大川街道 7 个、新民街道 15 个、长荣街道 8 个、汪清镇 380 个、大兴沟镇 1 621 个、天桥岭镇 2 160 个、罗子沟镇 1 870 个、百草沟镇 931 个、春阳镇 1 499 个、复兴镇 1 912 个、东光镇 2 365 个、鸡冠乡 1 303 个、汪清林业局场区 56 个、天桥岭林业局场区 13 个、大兴沟林业局场区 17 个。林区及林缘 100 m 范围涉及危险性与风险性指数计算的格网有 14 084 个, 有 73 个格网赋值为空, 不参与计算。

表 1 基础数据来源

Tab. 1 Basic data source

数据名称	获取途径	数据内容	时间范围	空间范围
基础地理信息资料	民政	各级行政区界, 各级政府及行政村 村委会驻地	2021 年	全县
森林可燃物分布数据	普查工程	森林可燃物分布数据及以小班为 基本单元的可燃物类型、载量等	2021 年	全县
森林资源分布数据	林草	森林类型、优势树种、面积、蓄积量、 地形地势等	2019 年	全县
气象数据	气象	月大风日数、月平均降水量、 月平均气温、月最高气温等	2011—2020 年	全县
野外火源分布数据	普查工程	引起火灾的火源、经批准的野外用火、 违规野外用火、重要火源点	2016—2020 年	全县林区及边缘 100 m 范围内
历史火灾数据	林草	火灾发生数量	1990—2020 年	全县
房屋建筑分布数据	住建部	城乡房屋建筑数量、建筑物结构类型 属性和空间分布数据	2021 年	全县林区及边缘 100 m 范围内
人口数据	人口普查办	人口总数、无民事行为能力和 限制民事行为能力人口数量等	2021 年	全县林区及边缘 100 m 范围内

2.2 评估方法

2.2.1 森林火灾危险评估方法

森林火灾危险性评估指标包括可燃物、气象条件、野外火源、地形地势 4 个方面, 根据《森林火灾危险性评估技术规范》对其二级指标进行计算, 将不同单位或量级的二级评估指标值采用离差法进行正向标准化处理。标准化后的数据 $X' = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。式中: X 为原始数据; X_{\max} 为总样本最大值; X_{\min} 为总样本最小值。 X' 数值范围为 [0,1], 当计算结果

大于 1 时直接取 1。森林火灾危险性指数 $HI = \sum w_i \times H'_i$ 。式中: w_i 为危险性二级指标中第 i 项指标权重值; H'_i 为标准化处理后的第 i 项指标值。

2.2.2 森林火灾风险评估方法

森林火灾风险评估主要与森林火灾危险性指数、森林火灾承灾体暴露度指数、森林火灾承灾体脆弱性指数这 3 项有直接关联。本研究分别以标准格网、乡镇为单元, 对森林火灾风险、森林资源风险、建筑物风险和人口风险分别进行

评估。风险指数 $R = \sqrt[3]{H \times E \times V}$ 。式中: E 为暴露度标准化指数; V 为脆弱性指数。

3 结果与分析

3.1 森林火灾危险性评估结果

汪清县森林火灾危险性评估结果见表 2、表 3。

表 2 汪清县乡镇单元森林火灾危险性指数及等级

Tab. 2 Forest fire hazard index and grade
of township units in Wangqing County

乡镇单元	危险性指数	危险性等级
大川街道	0.046 4	中高风险
新民街道	0.207 8	高风险
长荣街道	0.046 7	中高风险
汪清镇	0.326 2	高风险
大兴沟镇	0.299 9	高风险
天桥岭镇	0.365 3	高风险
罗子沟镇	0.321 8	高风险
百草沟镇	0.350 1	高风险
春阳镇	0.373 8	高风险
复兴镇	0.342 0	高风险
东光镇	0.356 0	高风险
鸡冠乡	0.347 6	高风险
汪清林业局场区	0.334 6	高风险
天桥岭林业局场区	0.142 9	高风险
大兴沟林业局场区	0.296 6	高风险

表 3 汪清县森林火灾不同危险性等级标准格网数量

Tab. 3 Quantity of standard grid with different hazard
grades of forest fire in Wangqing County

危险性等级	标准格网数量/个	占比/%
高风险	10 349	73.48
中高风险	3 300	23.43
中低风险	279	1.98
低风险	156	1.11
合计	14 084	100.00

高风险等级的乡镇单元和标准格网区域多数为低山、中山地形,是森林资源集中分布区;林分内主要以天然阔叶混交林和针阔叶混交林为主,可燃和易燃树种比例较大,容易发生重特大森林火灾。中高风险等级格网位于居民区附近和林缘附近区域,该区域森林覆盖率和可燃物载量分布相对略低,但因人口稠密且活动频繁,野外火源点多、用火频率高,易形成中高风险区域。中低风险、低风险等级格网数量相对较少,多为林缘以外与大片非林地接壤区域,森林可燃物载量低,风险相对较小。

3.2 森林火灾风险性评估结果

汪清县森林火灾风险性评估结果见表 4、表 5、表 6、表 7、表 8。

表 4 汪清县森林火灾不同风险等级标准格网数量

Tab. 4 Quantity of standard grid with different risk grades of forest fire in Wangqing County

等级	森林火灾风险		森林资源风险		建筑物风险		人口风险	
	格网数量/个	占比/%	格网数量/个	占比/%	格网数量/个	占比/%	格网数量/个	占比/%
高风险	12 275	87.16	12 801	90.89	58	0.41	396	2.81
中高风险	1 621	11.51	1 099	7.81	6 033	42.83	4 805	34.12
中风险	89	0.63	93	0.66	7 136	50.67	8 236	58.48
中低风险	37	0.26	30	0.21	463	3.29	596	4.23
低风险	62	0.44	61	0.43	394	2.80	51	0.36

表 5 森林火灾风险评估要素及结果
Tab. 5 Elements and results of forest fire risk assessment

乡镇单元	承灾体暴露度	承灾体脆弱性	森林火灾风险	
	标准化指数	指数	指数	等级
大川街道	0.178 1	0.686 6	0.178 4	中高风险
新民街道	0.088 3	0.687 5	0.232 8	中高风险
长荣街道	0.094 3	0.749 4	0.148 9	中高风险
汪清镇	0.138 0	0.645 8	0.307 5	高风险
大兴沟镇	0.233 6	0.753 4	0.375 1	高风险
天桥岭镇	0.223 1	0.862 9	0.412 8	高风险
罗子沟镇	0.238 0	0.907 5	0.411 2	高风险
百草沟镇	0.161 9	0.750 2	0.349 0	高风险
春阳镇	0.234 8	0.644 7	0.383 9	高风险
复兴镇	0.271 4	0.718 3	0.405 5	高风险
东光镇	0.250 4	0.642 2	0.385 4	高风险
鸡冠乡	0.243 3	0.849 4	0.415 7	高风险
汪清林业局场区	0.236 7	0.725 8	0.385 9	高风险
天桥岭林业局场区	0.055 4	0.652 1	0.172 8	中高风险
大兴沟林业局场区	0.144 6	0.536 2	0.284 4	中高风险

表 6 森林火灾森林资源风险评估要素及结果
Tab. 6 Elements and results of forest resources risk assessment of forest fires

乡镇单元	森林资源暴露度		森林资源脆弱性		森林资源风险	
	单位面积地上活 生物量/(t · hm ⁻²)	标准化指数	森林资源脆弱性指数	指数	等级	
大川街道	63.88	0.266 2	0.78	0.212 8	中高风险	
新民街道	46.84	0.195 2	0.63	0.294 5	高风险	
长荣街道	46.08	0.192 0	0.86	0.197 6	中高风险	
汪清镇	73.13	0.304 7	0.51	0.370 1	高风险	
大兴沟镇	124.51	0.518 8	0.52	0.432 5	高风险	
天桥岭镇	118.98	0.495 8	0.82	0.529 6	高风险	
罗子沟镇	126.88	0.528 7	0.83	0.520 7	高风险	
百草沟镇	86.28	0.359 5	0.54	0.408 1	高风险	
春阳镇	125.17	0.521 5	0.32	0.396 6	高风险	
复兴镇	144.74	0.603 1	0.49	0.465 8	高风险	
东光镇	133.49	0.556 2	0.48	0.456 4	高风险	
鸡冠乡	129.74	0.540 6	0.76	0.522 7	高风险	
汪清林业局场区	124.95	0.520 6	0.64	0.481 3	高风险	
天桥岭林业局场区	26.41	0.110 0	0.3	0.167 7	中高风险	
大兴沟林业局场区	77.12	0.321 3	0.46	0.352 6	高风险	

表 7 森林火灾建筑物风险评估要素及结果

Tab. 7 Elements and results of risk assessment of forest fire buildings

乡镇单元	建筑物暴露度		建筑物脆弱性指数	建筑物风险	
	单位面积房屋建筑和防火设施数量/(栋·hm ⁻²)	标准化指数		指数	等级
大川街道	8.41	0.056 053	0.16	0.074 7	中高风险
新民街道	0.09	0.000 600	0.34	0.034 9	中风险
长荣街道	1.09	0.007 267	0.12	0.034 4	中风险
汪清镇	0.12	0.000 800	0.41	0.047 5	中风险
大兴沟镇	0.08	0.000 533	0.90	0.052 4	中风险
天桥岭镇	0.03	0.000 200	0.75	0.038 0	中风险
罗子沟镇	0.04	0.000 267	0.94	0.043 2	中风险
百草沟镇	0.05	0.000 333	0.84	0.046 1	中风险
春阳镇	0.05	0.000 333	0.83	0.046 9	中风险
复兴镇	0.02	0.000 133	0.80	0.033 1	中风险
东光镇	0.03	0.000 200	0.46	0.032 0	中风险
鸡冠乡	0.04	0.000 267	0.82	0.042 4	中风险
汪清林业局场区	0.92	0.006 133	0.50	0.100 9	高风险
天桥岭林业局场区	4.21	0.028 067	0.91	0.154 0	高风险
大兴沟林业局场区	1.06	0.007 100	0.93	0.125 1	高风险

注:防火设施包括林业管护站、森林消防专业队营房、物资储备库、防火检查站等。

表 8 森林火灾人口风险评估要素及结果

Tab. 8 Elements and results of forest fire population risk assessment

乡镇单元	人口暴露度		人口脆弱性指数	人口风险	
	单位面积人口数量/(人·hm ⁻²)	标准化指数		指数	等级
大川街道	158.04	0.263 400	1.00	0.230 3	高风险
新民街道	0.96	0.001 600	1.00	0.069 3	中高风险
长荣街道	11.05	0.018 417	1.00	0.095 1	高风险
汪清镇	1.77	0.002 950	1.00	0.098 7	高风险
大兴沟镇	0.07	0.000 117	1.00	0.032 7	中风险
天桥岭镇	0.03	0.000 050	1.00	0.026 3	中风险
罗子沟镇	0.07	0.000 117	1.00	0.033 5	中风险
百草沟镇	0.12	0.000 200	1.00	0.041 2	中风险
春阳镇	0.09	0.000 150	1.00	0.038 3	中风险
复兴镇	0.03	0.000 050	1.00	0.025 8	中风险
东光镇	0.04	0.000 067	1.00	0.028 8	中风险
鸡冠乡	0.03	0.000 050	1.00	0.025 9	中风险
汪清林业局场区	3.12	0.005 200	1.00	0.120 3	高风险
天桥岭林业局场区	0.06	0.000 100	1.00	0.024 3	中风险
大兴沟林业局场区	0.02	0.000 033	1.00	0.021 4	中风险

汪清县森林火灾高风险格网占比 87.16%，中高风险格网占比 11.51%，中风险格网占比 0.63%，中低风险格网占比 0.26%，低风险格网占比 0.44%（见表 4）。其中，中风险、中低风险、低风险格网总占比仅为 1.33%，主要分布在林缘外靠近耕地或居民点的无林或少林地带。乡镇单元森林火灾风险评估结果为高风险等级 10 个、中高风险等级 5 个（见表 5），全县各乡镇森林火灾风险等级以高风险为主。

汪清县森林火灾森林资源高风险格网占比 90.89%，中高风险格网占比 7.81%，中风险格网占比 0.66%，中低风险格网占比 0.21%，低风险格网占比 0.43%（见表 4）。乡镇单元森林火灾森林资源风险评估结果为高风险等级 12 个、中高风险等级 3 个（见表 6）。全县各乡镇森林覆盖率高，植被种类丰富，乔木、灌木、草本等地上总生物量大，易燃可燃树种比例高，大部分评估为高风险等级。

汪清县森林火灾建筑物高风险格网占比 0.41%，中高风险格网占比 42.83%，中风险格网占比 50.67%，中低风险格网占比 3.29%，低风险格网占比 2.80%（见表 4）。乡镇单元森林火灾建筑物风险评估结果为高风险等级 3 个、中高风险等级 1 个、中风险等级 11 个（见表 7），乡镇单元建筑物风险以中风险为主。乡镇单元高风险区为汪清林业局场区和天桥岭林业局场区，主要是因为房屋暴露度和易燃建筑比例相对较高。

汪清县森林火灾人口高风险格网占比 2.81%，中高风险格网占比 34.12%，中风险格网占比 58.48%，中低风险格网占比 4.23%，低风险格网占比 0.36%（见表 4）。乡镇单元森林火灾人口风险评估结果为高风险等级 4 个、中高风险等级 1 个、中风险等级 10 个（见表 8），全县森林火灾人口风险等级以中风险为主，其次为中高风险和高风险等级。市区街道及附近地区人口密度大，属于风险等级较高区域。从格网人口风险等级分布可以看出，在中风险等级的乡镇单元中，百草沟镇、大兴沟镇、春阳镇、罗子沟镇的人口暴露度相对较高。

4 结论与讨论

汪清县乡镇单元森林火灾危险性及风险性等级大多为高风险，森林火灾森林资源风险等级多为高风险，人口相对集中地区的森林火灾建筑物及人口风险等级为高风险。对于森林资源丰富的城市来说，大部分地区的森林火灾危险性与风险性指数均在高风险范围内，且没有绝对的低风险区域。森林资源丰富的城市降低森林火灾发生几率主要侧重降低野外火源与提高地方抗灾能力 2 个方面。当前，全球气候变暖导致森林火灾风险攀升，而人为火源仍是引发林火的主要诱因。吉林省林农交错情况普遍，加之受传统生产方式和祭祀习俗的影响，“烧荒”“烧秸秆”“烧地头”等农事用火大量存在，清明节上坟祭祖、焚香烧纸等现象比较普遍，林区野外火源管理难度大。近年来吉林省森林面积、森林覆盖率和森林蓄积量稳中有升，增加了森林火灾风险。作为典型的东北林区城市，汪清县森林火灾风险等级与森林火灾森林资源风险等级均处于最高级，应针对主要因素进一步完善森林防火体制机制，落实防火责任，提高防患意识，在风险等级高的乡镇街道形成有组织的森林防火救灾指挥体系。同时应加大依法治火力度，加强防火宣传，提高群众防火意识。

参考文献

- [1] 王维民. 浅析森林火灾成因特点及应对措施[J]. 森林防火, 2025, 43(2): 19-22.
- [2] 杨雪清, 孙志超, 柴政, 等. 全国森林可燃物载量样地调查与预估方法探讨[J]. 林业资源管理, 2022(6): 1-6.
- [3] 王博, 程述龙, 常宁, 等. 加强新形势下森林灭火安全的思考[J]. 森林防火, 2023, 41(2): 40-43.
- [4] 王亚峰. 森林防火救灾的现状问题及火灾扑救解决措施[J]. 森林防火, 2023, 41(2): 61-64.
- [5] 张恒, 王轩, 张鑫, 等. 内蒙古赤峰市森林火险等级评价及火灾危险性评估[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2019, 39(2): 143-150.

（本篇专家编审：章林）

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2025.05.007

文章编号:1005-7129(2025)05-0030-03 中图分类号:S759.9 文献标识码:A

吉林敦化大砬子省级森林公园自然属性和生态价值评估

孙晓阳, 刘长海, 韩喜越, 赵士博, 孟东阳

(吉林省林业调查规划院, 吉林 长春 130022)

摘要:为推进吉林省自然保护地体系建设,需对自然保护地现状进行科学评估。本文通过实地调查与查阅资料的方法对吉林敦化大砬子省级森林公园自然属性和生态价值进行了定性、定量评估,其综合评估得分为 62 分,其中,自然属性的评估分数为 42 分,符合省级自然保护地标准。

关键词:大砬子省级森林公园;自然属性;生态价值;评估

Evaluation of Natural Attribute and Ecological Value of Dalazi Provincial Forest Park in Dunhua City of Jilin Province

SUN Xiaoyang, LIU Changhai, HAN Xiyue, ZHAO Shibo, MENG Dongyang

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

Abstract: In order to promote the construction of the natural protected area system in Jilin Province, the status of the natural protected area should be scientifically evaluated. The natural attribute and ecological value of Dalazi Provincial Forest Park in Dunhua City of Jilin Province were qualitatively and quantitatively assessed through field investigation and literature review in this paper. The comprehensive evaluation score was 62. The evaluation score of the natural attribute was 42, which met the standard of the provincial natural protected area.

Keywords:Dalazi Provincial Forest Park; natural attribute; ecological value; evaluation

科学合理地开展自然保护地现状评估是对其进行整合优化以及编制发展规划的前提与基础,而自然属性和生态价值直接决定了自然保护地的建设类型与级别^[1]。吉林敦化大砬子省级森林公园(以下简称大砬子森林公园)是2002年获批营建的省级自然保护地,对于保护区域生物多样性、维持生态平衡、保持水土、构建生态屏障具有重要意义,同时,其独特的地质、地貌和森林景观具有较高的观赏价值。

1 研究区概况

大砬子森林公园位于吉林省延边朝鲜族自治州敦化市黄泥河镇,距敦化市中心 47 km,

面积为 1 893.73 hm², 地理位置 127°41'~128°42' E、43°25'~44°06' N。公园地处黄泥河林业局辖区,南北跨威虎岭林场、大川林场,北界紧邻珲乌高速公路,东南毗邻明子屯。公园以大砬子山为核心,其主峰呈东南—西北走向,最高点海拔 994 m,峰脊长约 1 200 m。

公园所处黄泥河镇属温带大陆性季风气候,年平均气温 2.6 ℃,最高气温 34 ℃,最低气温 -38 ℃,年降水量 500~800 mm,无霜期约 120 d。主要土壤类型为暗棕壤,原始植被为小兴安岭—完达山地红松(*Pinus koraiensis*)阔叶混交林,经长期人为干扰,现存植被类型以次生落叶阔叶林为主,小面积次生针阔混交林、人工

收稿日期:2025—04—14

第一作者:孙晓阳(1993—),男,工程师,主要从事林业资源调查与监测方面工作,E-mail:285642647@qq.com。

针叶林和人工阔叶林在其中镶嵌分布。

2 评估方法

本文按照《吉林省自然保护地评估技术规范》，通过实地调查与查阅资料相结合的方式对大砬子森林公园自然属性和生态价值进行定性与定量评估，自然属性评估因子包含原真性、生物多样性、典型性、稀有性、完整性及脆弱性，生态价值评估因子包含生态系统服务价值、科研价值、观赏价值及文化价值。对各因子进行评估，得出公园自然属性与生态价值综合评估分值^[1-3]。

生态服务价值的估算采用当量因子法，使用吉林省生态系统服务价值当量因子价格基础值($D = 2\,212 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$)和不同生态系统类型的生态服务价值当量调节值(R_i)^[4]，结合公园内不同生态系统类型土地面积(S_i)计算水资源供给、气体调节、气候调节、净化环境、水文调节、土壤保持与维持养分循环 7 项服务价值。

$$\text{单项服务价值 } V_i = D \cdot \sum (R_i \cdot S_i)。$$

3 评估指标与结果

3.1 自然属性评估结果

3.1.1 原真性

原真性是自然保护地自然性的体现。大砬子森林公园以天然林生态系统为主，天然林面积为 $1\,742.03 \text{ hm}^2$ ，占公园面积的 92.0%。整体而言，公园内森林结构复杂，林木层次分明，林相完整。但公园内植被以采伐后形成的天然次生林为主，并且公园整体面向游客开放，人为干扰因素一定程度上削弱了森林公园对生态系统的保护功能。因此，原真性评估等级为Ⅱ级，得分为 8 分。

3.1.2 生物多样性

生物多样性能够评价自然保护地生物、环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的丰富程度。大砬子森林公园位于长白山生物多样性保护优先区域附近，公园内地形、地貌较复杂，植被类型多样，森林生态系统较为完整，野生动植物资源丰富^[5]。经实地调查，公园内分布有野生维管束植物 104 科 641 种，包括蕨类植物 16 科 34 种，裸子植物 1 科 5 种，被子植物 87 科 602 种。其中，红松、黄檗(*Phellodendron amurense*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、水曲

柳(*Fraxinus mandshurica*)和野大豆(*Glycine soja*)为国家二级重点保护野生植物。公园内分布有野生脊椎动物 69 科 201 种，其中，紫貂(*Martes zibellina*)为国家一级重点保护野生动物，白尾鵟(*Circus cyaneus*)、雀鹰(*Accipiter nisus*)、雕鸮(*Bubo bubo*)、黑熊(*Ursus thibetanus*)、黄喉貂(*Martes flavigula*)等 21 种为国家二级重点保护野生动物。公园内野生动植物丰富程度符合生物多样性富集分布区标准，评估等级为Ⅰ 级，得分为 12 分。

3.1.3 典型性

典型性用来评估自然保护地内植被所处的演替阶段以及该地物种在其分布区内的代表程度。大砬子森林公园植被在演替过程中形成亚顶级群落，主要植被类型为次生阔叶混交林，在省内、市内典型性一般。同时，公园仅为紫貂种群的零散分布区。因此，公园典型性一般，评估等级为Ⅲ 级，得分为 4 分。

3.1.4 稀有性

稀有性用来评估自然保护地内物种的稀有程度。大砬子森林公园分布有红松等 5 种国家二级重点保护野生植物，1 种国家一级重点保护野生动物(紫貂)，白尾鵟等 21 种国家二级重点保护野生动物。依照《吉林省自然保护地评估技术规范》，其物种稀有性一般，评估等级为Ⅲ 级，得分为 4 分。

3.1.5 完整性

完整性是指自然保护地面积适宜性，确保足够的面积是自然保护地发挥其功能、价值的基础。大砬子森林公园面积为 $1\,893.73 \text{ hm}^2$ ，大小较适宜，基本能够维持园内森林生态系统的结构和功能，可以基本维持园内主要物种最小存活种群，并对园内生态系统、自然环境起到了较好的保护作用。因此，公园完整性为较完整，评估等级为Ⅱ 级，得分为 8 分。

3.1.6 脆弱性

脆弱性是自然保护地生态系统在特定时空尺度下对于外界干扰所具有的敏感反应和自恢复能力，是自然属性和人类经济行为共同作用的结果，包括生态系统稳定性和生态系统恢复程度。大砬子森林公园地处省级水土流失重点预防区，易发生水土流失和泥石流灾害。公园内林分结构相对简单，导致生态系统较为脆弱，稳定性一般。此外，旅游、采摘活动以及偶有发

生的违规放牧在一定程度上对公园生态系统恢复造成干扰。因此,公园脆弱性为比较脆弱,评估等级为Ⅱ级,得分为6分。

3.2 生态价值评估结果

3.2.1 生态系统服务价值

根据黄泥河林业局2019年森林资源管理“一张图”进行统计,得出大砬子森林公园提供生态系统服务的各类土地面积(见表1)。

经评估,大砬子森林公园生态系统服务总价值为7 496.82万元(见表2)。其中,水资源供给价值146.83万元,气体调节价值863.07万元,气候调节价值2 559.61万元,净化环境价值767.46万元,水文调节价值2 022.27万元,土壤保持价值1 057.11万元,维持养分循环价值80.47万元。公园的主要生态服务价值表现在气候调节和水文调节方面,两者分别贡

献了公园生态服务价值的34.14%和26.98%,公园生态服务价值的95.26%是由阔叶林产生的。公园单位面积生态系统服务价值为3.96万元·hm⁻²。

表1 大砬子森林公园提供生态系统服务的各类土地面积

Tab. 1 The area of various types of the land that provides the ecosystem service in Dalazi Forest Park

土地类型	面积/hm ²
阔叶林	1 742.27
针叶林	39.59
针阔混交林	1.19
灌草丛	3.89
旱田	69.82
水系	7.13

表2 大砬子森林公园生态系统服务价值

Tab. 2 Ecological value of Dalazi Forest Park

土地类型	水资源供给 价值/元	气体调节 价值/元	气候调节 价值/元	净化环境 价值/元	水文调节 价值/元	土壤保持 价值/元	维持养分循环 价值/元	合计/元
阔叶林	1 310 326	8 362 966	25 050 358	7 438 029	18 267 492	10 212 838	770 780	71 412 789
针叶林	21 256	133 833	399 136	117 300	262 942	162 174	12 596	1 109 237
针阔混交林	974	6 186	18 505	5 238	9 239	7 528	579	48 249
灌草丛	1 893	12 133	36 398	11 014	28 826	14 800	1 119	106 183
旱田	3 089	103 476	55 599	15 444	41 699	159 075	18 533	396 915
水系	130 746	12 144	36 117	87 532	1 612 484	14 668	1 104	1 894 795
合计	1 468 284	8 630 738	25 596 113	7 674 557	20 222 682	10 571 083	804 711	74 968 168

公园生态系统服务价值很高,作为以森林生态系统为保护对象的自然保护地,其面积超过1 000 hm²,且单位面积生态系统服务价值超过35 000元·hm⁻²。生态系统服务价值评估等级达到I级,得分为9分。

3.2.2 科研价值

大砬子森林公园森林资源丰富,具备开展森林经理、森林培育和森林保护等方向科学的研究基础条件。同时,公园的地质、地貌比较具有区域代表性,能够开展地质学相关研究。公园内还有丰富的珍稀濒危野生动植物资源,适合开展野生动植物保护相关研究。但由于附近区域的地质地貌环境、野生动植物资源、森林资源与森林公园相似,公园开展科学的研究的不可

替代性相对较低。因此,其科研价值评估等级为Ⅲ级,得分为3分。

3.2.3 观赏价值

大砬子森林公园内森林、地质、地貌景观具有较高的观赏价值和游憩价值,其中,奇石景观是公园的特色,大砬子山主峰西侧石崖峭立,高数十米,层峦叠嶂,形态各异,而大砬子山主峰也是观赏日出的理想地点。按照《中国森林公园风景资源质量等级评定》,从地文资源、水文资源、生物资源、人文资源和天象资源5个方面对公园风景资源总体状况进行调查和监测,公园的风景资源质量评价得分为23.38分(满分为30分)。综合评估公园观赏价值为Ⅱ级,得分为5分。(下转第48页)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2025.05.008

文章编号:1005-7129(2025)05-0033-06 中图分类号:Q945 文献标识码:A

植物开花结实研究进展

王芳¹, 王璞², 郭尹泽³, 魏伟⁴, 贾庆彬¹, 王元兴¹

(1. 吉林省林业科学研究院, 吉林长春 130033; 2. 东北师范大学附属中学, 吉林长春 130022; 3. 吉林农业大学林学与草学学院, 吉林长春 130118; 4. 吉林森工露水河林业有限公司, 吉林白山 134300)

摘要:本文综述了影响植物开花结实的遗传因素、矿质营养元素、非结构性碳水化合物、激素以及环境因素等方面的研究进展,为进一步深入研究植物开花结实及促进农林生产提供新思路。

关键词:植物开花结实;遗传因素;矿质营养元素;非结构性碳水化合物;激素;环境因素

Research Progress on Flowering and Fruiting of Plants

WANG Fang¹, WANG Pu², GUO Yinze³, WEI Wei⁴, JIA Qingbin¹, WANG Yuanxing¹

(1. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun 130033, China; 2. High School Attached to Northeast Normal University, Changchun 130022, China; 3. College of Forestry and Grassland Science of Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 4. Lushuihe Forestry Limited Company of Jilin Forest Industry Group, Baishan 134300, China)

Abstract: The research progress of genetic factors, mineral nutritive elements, non-structural carbohydrates, hormone and environmental conditions affecting flowering and fruiting of plants was reviewed in this paper. That would provide new ideas for further research on flowering and fruiting of plants and promotion of agriculture and forestry production.

Keywords: flowering and fruiting of plants; genetic factors; mineral nutritive elements; non-structural carbohydrates; hormone; environmental conditions

开花和结实是植物繁殖后代的基本过程,维持着物种延续与遗传多样性,提升种群环境适应能力^[1]。世界主要粮食作物中,谷类作物和豆类作物均为显花植物,食用部分均为种子^[2];椰子(*Cocos nucifera*)、油棕(*Elaeis guineensis*)、油茶(*Camellia oleifera*)、油橄榄(*Olea europaea*)等木本油料植物以及核桃(*Juglans regia*)、红松(*Pinus koraiensis*)、文冠果(*Xanthoceras sorbifolium*)等我国重点发展的特色植物,可食用和可炼油部位也为果实或种子^[3]。因此,促进植物开花结实对人类生存以及经济发展具有重要作用。影响植物开花结实

的因素主要有以下几方面,本文对其研究情况进行综述。

1 遗传特性

植物的开花时间、结实时间、雌雄花开花比例以及结实能力受遗传基因控制,不同物种或同一物种不同品种存在显著差异^[4, 5]。

在水稻(*Oryza sativa*)的杂交育种研究中,Gou Y J 等^[6]对 12 个粳稻(*Oryza sativa* subsp. *japonica*)和 28 个籼稻(*Oryza sativa* subsp. *indica*)的每日开花时间进行统计研究,结果显示籼稻的每日开花时间为 10:00—11:00,粳稻的每

收稿日期:2025—06—27

基金项目:“十四五”国家重点研发计划任务(2023YFD2200605-1-6)

第一作者:王芳(1988—),女,高级工程师,从事林木遗传育种方向的研究。

通信作者:王元兴(1964—),男,正高级工程师,主要从事林木遗传育种方向的研究,E-mail:842139075@qq.com。

日开花时间为 12:00—12:30, 糜稻的开花时间早于粳稻。梁庆平等^[7]的研究发现, 糜型三系不育系水稻的每日开花时间为 8:00 左右, 早于普通糜稻, 表明不同水稻品种由于遗传物质不同, 导致开花时间存在差异。*Flowering Locus T*(*FT*) 是控制麦类植物开花基因的主要位点基因之一, 吕波^[8]利用转基因后代及 EMS 诱变突变体, 研究了 *FT* 基因表达的水平与麦类植物开花时间和成熟早晚的关系, *FT* 基因过量表达植株表现为过早开花、结实, 即在培养基的再生阶段就能开花以及结实, 表明 *FT* 基因在开花中具有决定性作用, 植物的开花、结实是受遗传基因控制的。

植物雌雄花开花比例受相应的遗传控制机制调控。瓜类植物花的性别分化主要受乙烯合成酶基因(*ACO*、*ACS*)、乙烯信号响应因子基因以及 *WIPI*(属 *WIP* 家族 C2H2 锌指转录因子)等调控^[9]。在笋瓜(*Cucurbita maxima*)中, 超表达 1 个钙依赖性蛋白激酶(*CPK*)基因可以直接与乙烯合成酶基因 *CmaACS5* 和 *CmaACS7* 互作, 使其磷酸化, 最终导致乙烯含量增加, 植株雌花数量增加^[10]。*CsERF31* 可抑制黄瓜(*Cucumis sativus*)雄花中的雄蕊发育, 促进雌蕊发育, 乙烯信号通过 *CsEIN3* 激活 *CsERF31* 及 *CsACS2* 促进雌花分化^[11]。同一林分不同红松母树个体单株结实量存在显著差异, 且雌雄花数量之比也有显著区别, 这是由红松个体之间的遗传基因差异导致, 根据雌雄花数量比将红松分为偏雌性、中性和偏雄性个体^[12]。

植物结实能力也受基因调控, 已有研究表明调控小麦(*Triticum* spp.)穗发育的基因和数量位点(QTL)对小穗数量、小花活性等性状具有重要影响, 可通过调节小麦穗发育进程或结构提高小麦产量^[13]。田子怡^[14]以塔里木大学枣(*Ziziphus jujuba*)种质资源圃 126 个枣品种为试验材料, 对不同枣品种的结实能力进行评价, 筛选出滕州脆枣、衡阳珍珠、冀抗 1 号等 10 个结实能力较强的品种。曹世刚^[15]对清河城红松无性系种子园优树收集区的 550 个无性系进行连续 4 年的结实量调查, 最终筛选出 43 个高产无性系, 平均结实量增加 114%, 筛选出的优良品种均可稳定遗传。

综上, 植物整个开花结实过程均受遗传因子控制, 通过基因工程技术或选择育种可获得遗传品质优良的植物品种。

2 矿质营养元素

植物生长发育必需的矿质营养元素包括大量元素、中量元素和微量元素^[16]。土壤中的矿质养分显著影响植物的产量及品质, 科学合理补充土壤矿质养分可促进开花结实^[17]。

大量元素在植物体内含量较高, 一般占植物干重的 1% 以上, 对植物生长发育起至关重要的作用, 主要包括氮(N)、磷(P)、钾(K)。研究显示, N、P、K 平衡施肥提高了白桦(*Betula platyphylla*) 5 个开花相关基因的表达水平, 增加了花序产量, 从而促进白桦由幼龄期向成熟期过渡^[18]。施 N 可使水稻开花期延迟 1~4 d, 进一步增加施 N 量水稻开花期更晚; 施 P 后水稻开花期提前 1 d; 施 K 明显促进开花, 且施 K 量越高开花越早^[19]。王金鑫等^[20]研究发现, 植物体内的 C/N 直接影响花的形成, C/N 较高时有助于花芽的分化。

中量元素一般占植物干重的 0.1%~1%, 需求量介于大量元素和微量元素之间, 主要包括硫(S)、钙(Ca)、镁(Mg)。S 元素在植物生长发育中发挥着不可替代的作用, 其可参与植物的光合作用、呼吸作用以及氮素和碳水化合物代谢, 是蛋白质分子不可缺少的组成部分, 同时参与叶绿素、胡萝卜素以及许多维生素、酶和酯的形成^[21]。董文楠等^[22]对冬小麦(*Triticum aestivum*)干物质积累和籽粒产量的研究发现, 适量施用氮硫肥有利于提高冬小麦旗叶叶绿素相对含量和叶面积指数, 从而增强叶片的光合能力, 促进花后干物质积累和花前氮素转运, 最终增加冬小麦产量。Kihara J 等^[23]指出, 施用 S 肥和一些微量元素肥料比只施用大量元素肥料可使每公顷玉米(*Zea mays*)产量提高 0.84 t。Ca 是植物结构组分元素, 植物主要以二价钙离子形式吸收钙, 构成果胶酸钙、肌醇六磷酸钙镁、钙调素蛋白等, 植物的液泡中有大量的有机酸钙, 如草酸钙、柠檬酸钙和苹果酸钙等^[24]。施用 Ca 肥可以提高草莓(*Fragaria × ananassa*)的产量, 改善草莓的质地和口感, 增加糖酸比以及可溶性固形物和维生素 C 含量^[25~27]。缺 Ca 会减少植物开花数量, 降低受精率, 致使花蕾早落, 果实发育不良、畸形, 严重影响果实的产量和品质。施用合理浓度的 Ca, 可增加大豆(*Glycine max*)的开花和结荚数量, 提高水稻和小麦的穗粒数量和千粒重, 籽粒的

营养成分也随之增加,品质有所提高^[28]。Mg 是叶绿素分子的中心原子,在植物光合作用中发挥着重要作用,是核糖体的结构组分,可以稳定核糖体颗粒在蛋白质合成中所需的构型,是多种酶的辅助因子,在光合作用、糖酵解和三羧酸循环等几乎所有磷酸化过程的酶促反应中起辅助作用。植物缺 Mg 症状首先出现在低位衰老叶片上,叶片变为黄色、青铜色或红色,但叶脉仍为绿色,之后进一步发展为整个叶片变黄、褐,直至全部坏死,从而抑制植物开花、结实等生殖行为^[29]。董雪梅等^[30]探究了不同 Mg 肥对寒地香稻品种牡育稻 49 生长、产量和品质的影响,结果显示,适当施用 Mg 肥可显著提高水稻的株高、穗长、有效穗数量、每穗的籽粒数量、结实率和千粒重,从而增加产量,也可显著提高淀粉最高黏度、热浆黏度和崩解值,显著降低最终黏度、回复值和消减值,提高稻米品质。

微量元素是植物生长发育过程中需求量极少的元素,一般占植物体干重的 0.01 % 以下,主要包括铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、镍(Ni)、硼(B)、钼(Mo)、氯(Cl),虽然需求量少,但对植物的产量与品质至关重要。20世纪 40 年代开始,研究学者们便开始了微量元素(如 Mn 和 Zn)对植物生长、开花、结实以及碳水化合物代谢影响的研究^[31, 32]。1976 年,华中农学院王运华等^[33]发现,棉花(*Gossypium spp.*)如果缺 B 会出现“蕾而不花”的现象,补施 B 肥后治疗效果显著。Zn 肥可促进小麦、玉米和水稻的开花结实,增加产量(增产 9.7 %~15.0 %),其增产效果受施肥方式和施肥量的影响^[34, 35]。采用树干注射的方式在新疆灰枣的萌芽期增施 Fe 肥,其干径增长量、基径增长量、枣吊增长量、单果质量和产量分别是对照的 1.27 倍、1.32 倍、1.21 倍、1.5 倍和 1.19 倍,且果实中 Ca、Mn、Fe 和 Zn 的含量分别是对照的 1.24 倍、1.44 倍、1.63 倍和 1.04 倍,不仅促进了树体生长、增加了果实产量,也提高了果实的营养品质^[36]。王俊等^[37]对冬小麦‘百农 207’采用土施和喷施的方式施 Fe 肥,结果显示土施和喷施 FeSO₄ 均显著提高了小麦籽粒的生物量,而土施 EDTA-Fe 处理降低了小麦各器官的生物量。用 0.1 % 的 Mo 肥浸种花生(*Arachis hypogaea*)12 h,然后在花生的五叶期和初花期再各喷施 1 次 0.1 % 的 Mo 肥液,显著增加了花生的产量(增产 47.51 %)和双仁果数量,花

生蛋白质含量增加 2.39 %^[38]。浇施和喷施 Mo 肥可提高柑橘(*Citrus reticulata*)的单果重,从而促使产量增加,还可以改善果皮色泽,降低果实的可滴定酸,提高固酸比和维生素 C 含量,从而提高果实质品^[39]。车丽等^[40]研究发现,施加适量的 Zn、Mn 肥,可使玉米产量较对照增加 11.2 %~19.7 %,同时玉米籽粒中蛋白质和脂肪含量也较对照分别增加 4.5 %~12.0 % 和 0.8 %~5.6 %。莫士力等^[41]研究发现,在施土壤基肥的基础上,施用 7.5~15.0 kg · hm⁻² 的五水硫酸铜,可以促进水稻生长,明显提高水稻产量。

综上所述,科学合理补充矿质养分可保证植物完成正常的生长发育,促进花芽分化,是植物健康生长和高产的关键。

3 非结构性碳水化合物

植物体内的碳水化合物可以分为结构性碳水化合物(SC)和非结构性碳水化合物(NSC)。SC 主要包括木质素和纤维素等高分子化合物,是植物细胞壁结构的支撑成分,参与植物组织构建,几乎不参与代谢活动;NSC 主要包括可溶性糖和淀粉等,是植物光合作用的主要产物,参与植物代谢过程,是植物呼吸、营养生长和生殖生长的重要碳源^[42]。同时,NSC 作为一种重要的渗透调节物质,可提高苗木对逆境的适应能力^[43]。张文地等^[44]研究施 N 对水稻 NSC 积累及颖花形成的影响,结果显示,中等施 N 量(210 kg · hm⁻²)可增加水稻开花前茎鞘中的 NSC 积累,从而促进开花后 NSC 向籽粒转运,提高水稻的产量和品质,且抽穗前 5 天幼穗中 NSC 积累量与二次颖花分化数量和现存数量、总颖花分化数量和现存数量呈极显著正相关关系,进一步说明 NSC 含量与开花结实密切相关。魏凤桐等^[45]发现,水稻开花前 NSC 的积累(主要贮藏在茎鞘中)对产量有一定的促进作用,此外开花后光合生产能力的提高(主要是 NSC 的积累)也是提高产量的一个重要途径。胡麻(*Linum usitatissimum*)开花前储存的 NSC 对产量的贡献率为 10.97 %~33.92 %,施 N 后 NSC 向籽粒中的转移率降低,施 P 后转移率提高;开花后光合产物对产量的贡献率较高(39.26 %~73.68 %);开花后胡麻叶中 NSC 含量与胡麻植株有效蒴果数量、蒴果大小、千粒重和产量均呈显著正相关^[46]。由此可见,NSC

是植物开花结实发育阶段的重要能量来源,且是果实中营养物质的主要来源,充足的 NSC 积累可以促进植物开花结实,增加抗逆性及提高果实品质等。

4 激素

植物激素是植物体内产生的一些微量而能够调节自身生理过程的有机化合物,主要包括生长素、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸、乙烯和油菜素甾醇,其中赤霉素、生长素等内源激素在特定浓度下能促进花芽分化和开花^[47]。有关赤霉素的研究较多,1958 年有学者研究发现赤霉素可以诱导针叶树提早开花^[48]。苦荞麦(*Fagopyrum tataricum*)始花期对其叶面喷施不同浓度的 GA₃ 溶液,对比 CK 结实率、花朵总数量、成熟籽粒数量和枯花数量分别增加 19.5 %、13.8 %、30.0 % 和 38.4 %,其单株粒重和产量随着 GA₃ 浓度的增加先升高后下降,50 mg · L⁻¹ 的处理浓度时,单株粒重和产量均达到最大值,分别比 CK 增加 16.1 % 和 21.8 %,说明外源 GA₃ 能显著促进苦荞麦开花结实^[49]。蓖麻(*Ricinus communis*)叶片中内源激素 ABA 和 IAA 的含量及 ABA/IAA 的比值对主花序花性分化起重要作用,GA₃ 和 ABA 的含量及 ABA/(IAA+GA₃+ZR) 比值主要影响结实^[50]。20~40 mg GA₃ 均可以促进红松雌球花和雄球花数量的增加,且 40 mg 处理效果最好^[51]。侯丹^[52]认为提高红松雌花数量最佳激素处理方式为 2.0~3.0 ml 500~1 000 mg · L⁻¹ 的 GA4/7 或 2.0 ml 500 mg · L⁻¹ 的 IAA,最佳处理时间为 6 月 20 日左右,约提高 60 % 的雌花量比率,GA4/7 和 IAA 均能显著提高雌花数量。外源喷施多效唑(PP₃₃₃)和 6-苄基腺嘌呤(6-BA)能加速甜荞(*Fagopyrum esculentum*)花芽分化过程,使开花时间提前,也可增加花粉可育率和柱头可授性,从而提高结实率,增加产量^[53]。外源和内源植物激素可以调控植物生长发育,影响开花结实。

5 环境因素

温度、光照、水分等环境因子是植物营养生长和生殖生长的重要影响因素^[54]。植物遇到逆境,如极端的高温^[55, 56]、低温^[57]、高盐^[58]、低强度光照^[59]等,会提前开花结实以尽早完成生命周期,这种现象在植物的进化上具有非常

重要的生物学意义^[60]。荣贵纯^[61]研究了文冠果叶幕微气候与树体生长和开花结实的关系,结果表明相较于温度和湿度,光照强度与单果质量和果实总产量的相关性最强,呈正相关且相关系数达 0.5 以上。红松雌雄花芽的形成取决于 5 月的日照时数和日平均温度,这一阶段一般要求日照时数不能低于 240 h,平均温度保持在 11 ℃ 左右;授粉后果实发育期,即 7 月的平均温度大于 20 ℃,降水量 200~300 mm 时,种胚可正常发育,反之种胚发育不正常^[62]。水稻开花时期,高温可导致水稻空瘪粒增加,产量下降,这主要是由于高温使花药开裂困难,柱头上的花粉量减少,花粉管停止伸长,畸形花粉增多,影响正常的授粉过程,30~31 ℃ 是水稻开花结实的最适宜温度^[63]。土壤水分充足时,薇甘菊(*Mikania micrantha*)开花数量多、结实量高,花期长^[54]。土壤水分条件是限制我国小麦生产的重要因素之一。三叶期—返青期,土壤湿度对小麦发育小花数量有显著影响,含水率 30 % 的土壤最适小花发育;开花—灌浆期,土壤湿度对小麦结实率有显著影响,土壤湿度过大严重限制小麦的结实率,影响经济产量^[64]。另外,植物开花期间,昆虫、鸟类等传粉者数量不足时,雌雄异株或异花植物结实率显著下降^[65]。真菌或虫害等可以直接破坏花器官,影响开花,降低结实量^[66]。

6 总结与展望

植物开花结实是遗传特性、矿质营养元素、非结构性碳水化合物积累、激素以及环境因素共同作用的结果,需根据物种特性优化管理措施以提高产量。未来的研究可进一步探索开花结实的分子机制,特别是逆境条件下,植物完成开花结实的分子机理。可通过基因编辑技术促进植物开花结实,培育具有抗逆性的植物新品种,提高农业及林业的生产效率。

参考文献

- [1] 唐圆圆, 张秀龙, 韦丹丹, 等. 委陵菜属(*Potentilla* L.)植物有性繁殖生态学研究进展[J/OL]. 应用与环境生物学报, 2025. (2025-02-05) [2025-05-07]. <https://doi.org/10.19675/j.cnki.1006-687x.2024.08006>.
- [2] 吕佩珂, 高振江, 张宝棣, 等. 中国粮食作物、经济作物、药用植物病虫原色图鉴(上册)[M]. 呼和浩特: 远方出版社, 1999.

- [3] 马超, 尤幸, 王广东. 中国主要木本油料植物开发利用现状及存在问题[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 330–333.
- [4] 张皓轩. 四种植物年间结实动态及其与碳氮时空分配的关系研究[D]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2025.
- [5] 胡继杰, 房玉伟, 赵超越, 等. 早籼型水稻两用核不育系开花习性研究[J]. 杂交水稻, 2024, 39(3): 89–93.
- [6] Gou Y J, Heng Y Q, Ding W Y, et al. Natural variation in *OsMYB8* confers diurnal floret opening time divergence between *indica* and *japonica* subspecies[J]. *Nature Communications*, 2024, 15(1): 2262.
- [7] 梁庆平, 黄少军, 吴献强. 水稻三系不育系开花习性研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(7): 3938–3940.
- [8] 吕波. 植物开花基因 *FT* 的遗传转化及其参与开花调控的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [9] 韩圆圆, 王紫雯, 朱梦园, 等. 瓜类作物花性别分化研究进展[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(6): 1–5.
- [10] Wang C J, Wang Y L, Wang G C, et al. The calcium-dependent protein kinase *CmaCPK4* regulates sex determination in pumpkin (*Cucurbita maxima* D.) [J]. *Plant Physiology*, 2025, 197(2): kiae666.
- [11] Pan J, Wen H F, Chen G Q, et al. A positive feedback loop mediated by *CsERF31* initiates female cucumber flower development[J]. *Plant Physiology*, 2021, 186(2): 1088–1100.
- [12] 胡静. 红松偏雄、偏雌性别型鉴别技术研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2008.
- [13] Flavell R B. A framework for improving wheat spike development and yield based on the master regulatory TOR and SnRK gene systems[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2023, 74(3): 755–768.
- [14] 田子怡. 不同枣品种结实能力及抗裂性评价[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2022.
- [15] 曹世刚. 清河城红松种子园高产结实无性系选择的研究[J]. 防护林科技, 2015(5): 61–62, 67.
- [16] Zeng H Q, Chen H Y, Zhang M X, et al. Plasma membrane H⁺-ATPases in mineral nutrition and crop improvement[J]. *Trends in Plant Science*, 2024, 29(9): 978–994.
- [17] 周卫, 艾超, 易可可. 新阶段植物营养学的研究重点[J]. 植物营养与肥料学报, 2024, 30(7): 1243–1252.
- [18] Wang S, Jiang J, Li T F, et al. Influence of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on flowering and expression of flowering-associated genes in white birch (*Betula platyphylla* Suk.) [J]. *Plant Molecular Biology Reporter*, 2011, 29(4): 794–801.
- [19] Ye T H, Li Y W, Zhang J L, et al. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization affects the flowering time of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2019, 20: e00753.
- [20] 王金鑫, 贾林光, 邵建柱, 等. 天红2号苹果花芽分化期枝条和叶片碳水化合物含量和C/N变化[J]. 河南农业科学, 2024, 53(7): 124–132.
- [21] 刘存辉, 董树亭, 胡昌浩. 硫在作物增产中的作用研究进展[J]. 山东农业大学学报, 1998, 29(1): 121–124.
- [22] 董文楠, 兰会杰, 郝倩倩, 等. 氮硫互作对冬小麦干物质积累和籽粒产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2025, 45(2): 194–203.
- [23] Kihara J, Sileshi G W, Nziguheba G, et al. Application of secondary nutrients and micronutrients increases crop yields in sub-Saharan Africa [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2017, 37(4): 25.
- [24] 曹恭, 梁鸣早. 钙——平衡栽培体系中植物必需的中量元素[J]. 土壤肥料, 2003(2): 48–49.
- [25] 曾祥国, 韩永超, 向发云, 等. 采前叶面喷施螯合钙对草莓品质、钙形态和贮藏期灰霉病的影响[J]. 中国果树, 2015, 3(6): 23–26.
- [26] 李剑, 久兰, 肖厚军, 等. 含钙物质对草莓产量及铅含量的影响[J]. 贵州农业科学, 2007, 35(4): 71–72.
- [27] 陈丽璇, 陈丽虹, 庄荣福. 田间喷钙对草莓果实和叶片营养元素含量的影响[J]. 园艺学报, 2003, 30(4): 449–451.
- [28] 李彩侠. 钙对植物生长的影响研究进展[J]. 河北农业, 2024(4): 86–87.
- [29] 宋传俊, 叶斌. 水稻缺镁症及镁肥试验效果初报[J]. 土壤肥料, 2003(1): 41–42.
- [30] 董雪梅, 赵云彤, 孟祥海, 等. 不同镁肥对寒地香稻品种牡育稻49生长及产量和品质的影响[J]. 中国稻米, 2025, 31(3): 103–107.
- [31] 陆定志, 罗宗洛. 微量元素生长素和数种化学物质对小麦子叶鞘伸长的影响[J]. 中国科学, 1950(Z1): 379–393.
- [32] 焉翠蔚, 侯子艾. 锌锰等微量元素拌种对冬小麦生长及产量的影响[J]. 莱阳农学院学报, 1992, 9(1): 49–53.
- [33] 王运华. 我国棉田缺硼和棉花施用硼肥研究初报——1981年全国棉花施硼试验示范总结[J]. 华中农学院学报, 1982, 1(3): 24–31.
- [34] 王孝忠, 田娣, 邹春琴. 锌肥不同施用方式及施用量对我国主要粮食作物增产效果的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 998–1004.
- [35] 朱盼盼, 石磊. 我国主要粮食作物施用锌肥增产效果的整合分析[J]. 中国土壤与肥料, 2023(6):

- [36]宋锋惠, 张萍, 史彦江. 树干注射铁肥对新疆灰枣产量和品质的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(6): 102-107.
- [37]王俊, 张淑华, 李广鑫, 等. 不同铁肥及施用方式对小麦镉积累的影响研究[J]. 中国土壤与肥料, 2024(12): 185-196.
- [38]姚健, 戴爱梅, 杨稚娟, 等. 钼肥施用模式对花生农艺性状、产量及蛋白质的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(27): 82-87.
- [39]高子. 钼肥浇施和喷施对柑橘产量、品质及养分利用的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [40]车丽, 韩彦青, 杨丽. 锌锰肥对春玉米产量及品质的影响[J]. 山西农业科学, 2019, 47(11): 1980-1983.
- [41]莫士力. 施用铜肥对水稻产量的影响[J]. 农业研究与应用, 2018, 31(3): 23-25.
- [42]郑云普, 王贺新, 娄鑫, 等. 木本植物非结构性碳水化合物变化及其影响因子研究进展[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1188-1196.
- [43]陈轶群, 柯梦, 彭钟通, 等. 热带乡土植物大青叶片非结构性碳水化合物及氮磷含量对氮磷添加的响应[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27(2): 389-397.
- [44]张文地, 董明辉, 李扬, 等. 施氮量对水稻非结构性碳水化合物积累分配与颖花形成的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2023, 44(1): 29-39, 48.
- [45]魏凤桐, 陶洪斌, 王璞. 旱稻 297 非结构性碳水化合物的生产与产量构成因子的关系[J]. 作物学报, 2010, 36(12): 2135-2142.
- [46]剡斌, 牛俊义, 崔政军, 等. 氮磷用量对胡麻非结构性碳水化合物积累转运及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(2): 63-69.
- [47]满冰心, 张龙, 孙嘉志, 等. 植物生长调节剂促进红松提早结实技术研究[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2012, 13(3): 329-334.
- [48]王洪梅, 周显昌, 周志军, 等. 赤霉素促进针叶树开花结实技术的研究进展[J]. 林业科技, 2011, 36(3): 11-15.
- [49]王强, 向达兵, 魏威, 等. 赤霉素对苦荞生长、结实和产量的影响[J]. 南方农业学报, 2022, 53(2): 441-450.
- [50]李培旺, 陈景震, 张良波, 等. 蓖麻叶片内源激素变化对主花序开花结实的影响[J]. 经济林研究, 2016, 34(4): 113-116.

- [51]陈昊良. 激素处理对不同性别型红松开花及内源激素的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2024.
- [52]侯丹. 红松无性系花芽分化及花果发育的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2024.
- [53]金晓蕾. 外源激素对甜荞开花结实的影响及调控机制研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- [54]杨期和, 冯惠玲, 叶万辉, 等. 环境因素对薇甘菊开花结实影响初探[J]. 热带亚热带植物学报, 2003, 11(2): 123-126.
- [55]许阳东. 开花期高温胁迫下茉莉酸甲酯对水稻光温敏核不育系开花结实的调节作用[D]. 扬州: 扬州大学, 2019.
- [56]Sherrard M E, Maherli H. The adaptive significance of drought escape in *Avena barbata*, an annual grass[J]. Evolution, 2006, 60(12): 2478-2489.
- [57]Shinozaki M, Takimoto A. The role of cotyledons in flower initiation of *Pharbitis nil* at low temperatures [J]. Plant and Cell Physiology, 1982, 23(3): 403-408.
- [58]Kolář J, Seříková J. Reduction of mineral nutrient availability accelerates flowering of *Arabidopsis thaliana*[J]. Journal of Plant Physiology, 2008, 165(15): 1601-1609.
- [59]Takimoto A. Flower initiation of *Lemna perpusilla* under continuous low-intensity light [J]. Plant and Cell Physiology, 1973, 14(6): 1217-1219.
- [60]张敏, 朱佳旭, 王磊, 等. 逆境诱导植物开花的研究进展[J]. 生物工程学报, 2016, 32(10): 1301-1308.
- [61]荣贵纯. 文冠果叶幕微气候与树体生长和开花结实的关系[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.
- [62]宁晓光, 赵鹏, 崔崧. 影响红松开花结实的主要因素分析[J]. 林业科技情报, 2009, 41(2): 23-24.
- [63]任昌福, 张洪松. 高温对杂交水稻开花结实的影响[J]. 西南农学院学报, 1984, 6(1): 25-30.
- [64]柳芳, 王传海, 申双和, 等. 土壤水分对小麦开花及结实的影响[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(5): 671-676.
- [65]宋晴晴, 龚燕兵. 花蜜微生物与传粉者的相互作用: 现状与展望[J]. 生物资源, 2023, 45(5): 403-411.
- [66]何勇. 引种植物欧李的病虫害调查及钙素对欧李开花结实的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2020.

(本篇专家编审: 陈建军)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2025.05.009

文章编号:1005-7129(2025)05-0039-04 中图分类号:S731.7 文献标识码:A

舒兰市乡村绿化工作现状、存在问题、解决对策及展望

张志刚, 王新波, 张迪, 侯磊, 李瑞, 钱程

(舒兰市林业局, 吉林 吉林 132600)

摘要:本文以舒兰市 2021—2024 年乡村绿化数据为基础,简述了乡村绿化工作现状,分析了存在的问题,并提出了相应的对策和建议,可为吉林省同类地区提供乡村绿化经验借鉴,助力乡村生态振兴。

关键词:舒兰市;乡村绿化;现状;问题;对策;展望

Status, Existing Problems, Countermeasures and Prospects of Rural Greening in Shulan City

ZHANG Zhigang, WANG Xinbo, ZHANG Di, HOU Lei, LI Rui, QIAN Cheng

(Forestry Bureau of Shulan City, Jilin 132600, China)

Abstract: Based on the rural greening data of Shulan City from 2021 to 2024, the current situation of rural greening work was briefly described in this paper. The existing problems were analyzed, and corresponding countermeasures and suggestions were put forward. That would provide experience for the rural greening of similar areas in Jilin Province and help rural ecological revitalization.

Keywords: Shulan City; rural greening; status; problems; countermeasures; prospects

乡村绿化是生态文明建设的关键环节,也是实现乡村振兴战略的重要支撑,不仅可以改善乡村生态环境、提升生活质量,还能为乡村经济发展注入新的活力^[1, 2]。近年来,舒兰市积极响应国家号召,深入推进乡村绿化工作,取得了显著成效,但是在实际推进过程中,也面临着许多挑战,例如资金短缺、技术落后以及管理不到位等。本文以舒兰市 2021—2024 年乡村绿化数据为基础,总结近些年取得的成效,深入分析存在的不足,并提出优化资金分配、科技护绿、推动“绿化+”产业融合等对策和建议,旨在为吉林省同类地区提供有益的借鉴,助力全省乡村生态振兴。

1 乡村绿化工作现状

1.1 政策驱动与工作完成情况

舒兰市依托“绿化舒兰 全民行动”“全新舒兰”等政策框架,构建了市级牵头组织及指导、乡级负责具体实施、村级进行管护的“市—乡—村”三级联动机制,乡村绿化工作有序开展,每年设定了明确且具有针对性的目标。

2021 年,舒兰市以实现乡村绿化“全覆盖”为目标,全力推进绿化工作,当年成功完成 988 个村屯绿化,栽植 16.2 万株乔灌木,乡村绿化的基础得到了极大的夯实,为后续的绿化提升工作奠定了坚实基础。2022 年,工作重点转向

收稿日期:2025—04—07

第一作者:张志刚(1969—),男,高级工程师,主要从事造林绿化工作,E-mail:14166977@qq.com。

“提质增效”,在已有绿化成果的基础上,更加注重绿化质量的提升,当年新增36个示范村屯,在绿化规划、树种选择、景观设计等方面进行优化,村屯平均绿化覆盖率达35%,乡村整体面貌得到显著改善。2023年,聚焦“生态修复”,致力于解决前期绿化过程中出现的生态问题,新建124个村屯小树林和37处休闲绿地,为村民提供了更多亲近自然、休闲娱乐的空间。2024年,为达成建设生态文明、改善生态环境、打造旅游城市的目标,成功打造了2条“一街一景、街景合一”的绿化景观街道,精心

建设了3个口袋公园,确定了4条休闲游精品路线和5条绿化美化精品线路,进一步提升城市的生态魅力和旅游吸引力。

2021—2024年,舒兰市累计投入乡村绿化资金3300余万元(见表1),打造了“点(示范村屯)—线(公路、河流)—面(全域覆盖)”的绿化格局。示范村屯作为绿化工作的亮点,起到了良好的示范引领作用;公路、河流沿线的绿化则串联起各个村屯,形成了一道道绿色长廊;全域覆盖的绿化理念确保了乡村的每一个角落都能享受到绿化带来的生态红利。

表1 舒兰市绿化资金分配

Tab. 1 Fund allocations for greening in Shulan City

序号	单位	绿化村屯数量/个				绿化资金/万元			
		2021年	2022年	2023年	2024年	2021年	2022年	2023年	2024年
1	金马镇	32	0	3	6	100	0	14	14
2	白旗镇	36	3	5	3	180	25	39	11
3	溪河镇	66	5	4	6	132	29	7	47
4	法特镇	72	6	6	8	263	29	17	42
5	开原镇	56	2	11	2	127	10	15	5
6	上营镇	28	2	5	1	75	11	30	30
7	平安镇	66	1	3	4	184	5	11	11
8	天德乡	118	3	2	3	245	13	31	3
9	朝阳镇	89	1	6	1	119	10	12	2
10	小城镇	37	1	2	1	42	9	14	6
11	水曲柳镇	73	2	3	4	175	19	4	27
12	七里乡	75	2	8	6	72	7	36	35
13	新安乡	50	1	7	2	110	13	47	42
14	莲花乡	40	3	3	7	144	22	42	33
15	亮甲山乡	33	1	1	2	125	0.6	31	8
16	吉舒街道	22	1	10	2	75	28	44	32
17	环城街道	95	2	1	4	153	20	2	7

1.2 全民参与情况

舒兰市引入了“村规民约+专职管护队”模式,将绿化管护纳入村规民约,并在全市范围内设立了500余处管护责任牌。舒兰市组织党政机关干部、企事业单位职工以及志愿者等进行义务植树,鼓励企事业单位投入绿化包保资金,通过积极动员各方力量、整合各方资源,形成了“政府主导、社会协同”的共建模式。

1.3 数据对比与目标差距

舒兰市现有1195个自然屯,“十四五”规划完成绿化940个,2021—2024年实际完成绿化1166个,乡村绿化完成率97%以上。村屯平均绿化覆盖率稳步提升至41%,但与舒兰市村屯绿化“十四五”规划设定的45%目标相比,仍存在一定差距(见表2)。

表 2 舒兰市 2021—2024 年乡村绿化核心数据对比

Tab. 2 Comparison of core data of rural greening in Shulan City from 2021 to 2024

年份	“十四五”规划绿化村屯数量/个	实际绿化村屯数量/个	乔灌木栽植数量/万株	投资金额/万元	修建植树台或边沟的村屯数量/个	苗木成活率/%	村屯平均绿化覆盖率/%
2021 年	800	988	16.2	2 321	682	91	32
2022 年	30	36	13.6	250.6	32	92	35
2023 年	60	80	14.1	396	60	92	38
2024 年	50	62	19.2	355	48	94	41

2 存在问题

2.1 财政投入不足且分配不均衡

舒兰市财政拨款无法满足乡村绿化工作的实际需求,部分乡镇资金缺乏稳定性和计划性,苗木采购工作受限,优质苗木占比较低,苗木质量不佳,导致苗木成活率降低,绿化效果大打折扣。

从区域分配来看,部分基础设施较好的乡镇在绿化资金分配上占据较大优势,绿化资金占比超 40 %,这些乡镇凭借较好的基础设施条件,能够更好地吸引和利用绿化资金,进一步提升绿化水平。而偏远乡镇村屯基础设施不健全,无法进行科学合理的绿化布局,从而影响了资金的投入。

2.2 设计不合理,后续管护不到位

据统计,近 30 %的村屯未修建植树台或边沟,导致绿化工作实施难度显著增加,同时绿化空间布局与道路建设存在结构性矛盾,部分村屯道路拓宽改造破坏原有绿化带,造成生态资源重复投入与浪费。

乡镇普遍缺乏专业的养护团队和专业的技术指导,在苗木养护过程中,对病虫害防治、施肥等关键环节把握不到位,导致苗木生长不良,死亡率增加。部分乡镇对苗木的浇水时间和浇水量掌握不准确,苗木因缺水而干枯、因浇水过多而烂根的现象时有发生。管护责任方面过度依赖政府,部分乡镇存在“重栽轻管”的现象,只注重绿化种植阶段,而忽视后期的养护管理,并且缺乏有效的监督和管理机制。

2.3 缺乏协同发展

在推进乡村绿化工作时,部分乡镇盲目追求“示范村”数量,未能将绿化布局与乡村旅游、林业产业进行深度融合,生态效益无法有效

转化为经济效益。一些示范村屯虽然绿化效果较好,但由于缺乏与周边产业的协同发展,无法吸引游客,也无法带动当地农产品的销售,使得绿化的经济价值未能得到充分体现。

3 对策建议

3.1 优化资金配置,构建资金多元投入机制

整合财政资金与社会资本,设立“乡村绿化专项基金”,在资金分配上,优先支持基础设施薄弱乡镇的绿化工作,确保这些区域能够获得足够的资金支持,改善绿化条件。参考“以奖代补”模式,对管护成效显著的乡镇,给予资金奖励用于设备购置、技术培训、启动新绿化项目,或提供优质绿化苗木、先进灌溉设备、高效防治药剂等物资支持,激发乡镇加强绿化管护的积极性,助力其进一步提升绿化水平。

积极吸引企业参与乡村绿化,并鼓励企业认养绿地,这样不仅能够提升企业的社会形象,还可以为乡村绿化提供资金和技术支持。在休闲公园、河道绿化等项目中引入政府和社会资本合作的 PPP 模式,鼓励企业与村集体合作开发林下经济项目,如菌类种植、中药材种植等,通过合理的收益分成机制,使企业和村集体能从项目中获得经济收益,进而反哺绿化工程,实现乡村绿化的可持续发展^[3]。

3.2 加大乡土树种的利用,加强绿化管护

乡村绿化时,不仅栽植水曲柳、紫叶稠李、花楸等常规树种,同时还要在全市建立乡土树种繁育基地,加强研究,选育出四季常绿、春季开花、秋季赏叶、夏季纳凉的适合本地生长的优良品种^[4],确保质量和数量的基础上,加大乡土树种的推广力度,将乡土树种的覆盖率提升至 90 %以上。

建立“苗木生长监测系统”,充分利用物联网、大数据等技术,对苗木的病虫害发生态势和灌溉需求进行实时精准追踪,同时积极引入先进的灌溉优化技术,实现精准灌溉^[5]。凭借技术升级措施,切实提升绿化管护的科学化、智能化水平,降低管护成本,提升苗木成活率和绿化效果。

设立“绿色家庭”动态评选机制,对积极参与村屯绿化管护以及门前绿化效果好的家庭实施奖励,推行“绿化积分制”,将村民参与绿化管护的行为量化为积分,如参与植树、浇水、修剪等工作都可以获得相应积分,村民可以用积分兑换苗木、农资或其他生活用品^[6]。通过这些方式,将村民的个人利益与绿化工作紧密挂钩,激发村民的内生动力,提高村民参与绿化管护的积极性和主动性。

3.3 强化协同发展,文化赋能乡村绿化

编制多规合一方案,将绿化规划与国土空间规划、乡村旅游规划、农村产业规划等规划有机融合,依托舒兰市示范村屯的良好绿化基础和自然景观,发展农家乐、乡村小院等具有当地特色的产业,推动集生态旅游、购物、休闲娱乐为一体的“绿化+”产业融合,增加村民的收入,同时促进农产品的销售,将当地的特色农产品推向市场,实现生态效益与经济效益的双赢。

结合乡村绿化工作,深入挖掘民俗中的生态智慧,例如设计“古树名木文化长廊”等文化景观,将乡村绿化与文化旅游有机融合,不仅提升乡村的文化内涵和吸引力,还能增强村民对本地文化的认同感和自豪感,进一步激发村民参与绿化工作的热情。

4 乡村绿化工作展望

舒兰市在乡村绿化实践中,通过政策驱动与技术创新在短期内取得了显著成效,乡村绿化覆盖率不断提高,生态环境得到明显改善。然而,从长期可持续发展的角度来看,仍面临着诸多挑战,如财政投入不足、技术支撑不足、规划脱节等问题,制约着乡村绿化工作的深入推进和生态效益的持续提升。

未来,舒兰市应紧紧围绕资金保障、技术支撑、产业融合发展等关键环节,进一步探索数字化治理与生态经济转化路径。优化资金配置,吸引更多社会资本参与,为乡村绿化提供充足的资金支持;借助技术升级,提升绿化管护效率和质量;推动“绿化+”产业融合,实现生态效益与经济效益的协同发展。为吉林省乡村生态振兴打造出可复制、可推广的“舒兰模式”,推动乡村绿化事业持续健康发展,实现乡村的全面振兴。

参考文献

- [1] 李俊飞,赵东方,史江伟.绿化树进村“1351”模式及效益分析[J].现代园艺,2022,45(15):200-202.
- [2] 陈艳.生态文明视角下乡村绿化美化的实践探索[J].中国林业产业,2024(12):119.
- [3] 崔立明.园林绿化工程PPP项目绩效评价研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2023.
- [4] 道丹.吉林省东部地区乡村绿化美化现状及解决对策[J].林业勘查设计,2025,54(1):9-12.
- [5] 苏艳刚.乡村绿化成活率的影响因素及提升策略[J].农村科学实验,2024(19):132-134.
- [6] 杜莹,王洪俊.吉林省新农村绿化现状及对策研究[J].现代农业科技,2019(2):121-122.

(本篇专家编审:邹建军)

著作权声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网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。该社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.1005-7129.2025.05.010

文章编号:1005-7129(2025)05-0043-03 中图分类号:S775 文献标识码:A

当前我国沙化土地治理的主要措施、问题及对策建议

邵文山

(甘肃省武威市凉州区林业技术推广中心,甘肃 武威 733000)

摘要:沙化土地治理是当前我国生态建设的重要内容。本文归纳了沙化土地治理的主要措施,指出了当前急需在实践中解决的突出问题,提出了建议和对策,旨在为当前我国沙化土地治理提供参考。

关键词:沙化土地治理;主要措施;问题;对策建议

Current Main Measures, Problems and Suggestions of Desertified Land Control in China

SHAO Wenshan

(Forestry Technology Extension Center of Liangzhou District in Wuwei City of Gansu Province, Wuwei 733000, China)

Abstract: Desertified land control was an important part of ecological construction in China. The main measures of desertified land control were summarized in this paper. The urgent problems in practice were pointed out. Suggestions and countermeasures were put forward. That would provide reference for desertified land control in China.

Keywords: desertified land control; main measures; problems; suggestions

土地沙化是当前我国生态安全面临的主要威胁之一,其主要形成原因为自然或人为因素造成的沙漠延伸或草原退化。根据第六次全国荒漠化与沙化调查结果显示,我国沙化土地面积 168.78 万 km²,占国土面积的 17.58%^[1],每年因土地沙漠化造成的生态和经济损失高达 650 亿元,严重制约社会经济发展^[2]。长期以来,我国把防沙治沙作为荒漠化防治的主要任务,投入了大量的人力和物力,总结和积累了丰富的经验和方法,当前我国沙化土地治理已处于世界领先地位^[3]。截至目前我国 53% 以上的可治理沙化土地已经得到有效治理,沙化土地面积净减少 43 333 km²,在全球率先实现土地退化“零增长”^[4]。本文阐述了我国沙化土

地治理主要措施,简要分析存在的问题,提出对策和建议,以期为我国的土地沙化治理提供参考。

1 沙化土地治理主要措施

当前我国土地沙化治理技术和方法较为成熟,各地在实践中根据本地区沙化土地的实际情况探索出了适宜当地的治理措施和方法,主要可归纳为三类^[5-7]。

1.1 自然修复

自然修复治理是依靠生态系统自身恢复能力,通过自然过程恢复植被、土壤和生态功能。主要措施是实施封育保护,一般采用划定禁牧/禁垦区、建立沙化土地封禁保护区或者实施围

收稿日期:2025—04—14

作者简介:邵文山(1990—),男,高级工程师,硕士研究生,主要从事荒漠化治理、土壤生态学等方面研究,E-mail:jinhaide@163.com。

栏封禁等方式。自然修复一般适用于轻度—中度沙化的区域,该区域土壤尚未完全丧失结构,土壤种子库尚存,周边植被种子可通过风、动物等传播。年降水量 ≥ 150 mm的区域更容易完成自然修复。

1.2 人工治理+自然修复

“人工治理+自然修复”是在尊重自然的基础上,通过适度的人工干预加速生态恢复。一般治理初期以人工治理为主,主要采用铺设沙障、种植先锋灌木等措施;治理中期人工治理和自然修复并重,主要采用补播本地草本植物种子、种植适宜灌木等措施;治理后期以自然修复为主,通过减少人为活动,积极采取防火、防病虫害等措施,逐步实现植被自我更新。该模式一般适用于中度—重度沙化的区域。人工措施强度不宜过高,当自然恢复速率 $>50\%$ 后,要逐步撤出人工干预,以自然修复为主。

1.3 人工治理

人工治理是通过主动的工程、技术手段,快速遏制沙化进程,并重建生态系统。主要措施是先实施人工/机械固沙阻止沙丘流动,一般采用植物秸秆、黏土、无公害化学材料等设置沙障,然后人工种植/补播抗旱沙生植物,治理初期应人工适当补充生态水。近年来,多采用光伏治沙,即人为设置光伏板后,板下设置沙障或种植抗旱植被。人工治理一般适用于重度沙化或发展沙产业的区域,该措施见效快、针对性强,但需要科学合理设计以避免过度生态扰动,同时应引导其向稳定地自然生态系统过渡。

2 面临的问题

2.1 治理区再次退化

虽然我国53%以上的可治理沙化土地已经得到了有效治理,但调查发现已治理区还存在再次退化的风险。一是受极端天气的影响,部分区域人工栽植的苗木尚未完全达到自我更新阶段,因干旱或风蚀等原因出现苗木死亡,造成再次退化。二是前期受治理水平和技术限制,治理方案设计不合理,例如人工种植沙生苗木主要为耐干旱植物,种类较为单一,后期生态系统恢复不够全面,容易再次退化。三是人为活动压力持续存在,新能源开发、矿业开采、交

通建设等占用沙化土地治理区,生态治理空间被过度压缩,局部地区过度放牧、滥砍滥伐等现象仍然存在,特别是一些依赖传统农牧业发展的地区,过度人为活动影响土壤结皮、植被生长。四是资金和政策可持续性不足,沙化土地治理主要靠生态项目支撑,受资金限制,大多生态治理项目完工后管护期不超过3年,各地区经济水平差异较大,后期投入管护的地方资金差距较大,特别是经济落后的偏远地区管护投资较少或基本无投资,导致治理区再次退化。

2.2 治理方向单一

过去的沙化土地治理一般治理方向单一,无法解决复杂的沙化问题。一是仅考虑生态效益,忽视了经济效益,未能与产业发展相结合。二是采用“输血式”的单一资金投入模式,对政府投资的依赖性较强,不利于长期发展。三是树种选择单一,缺乏乔、灌、草多样化配置,生态系统脆弱。四是过度使用工程固沙,虽然短期内效果明显,但治沙成本高,长期效益不佳。

2.3 缺少区域联动

土地沙化一般横跨多个行政区域,治理措施、治理时间等不统一影响整体治理成效。一是治理时间存在差异,一般各地沙化土地治理原则上由绿洲区边缘向腹地延伸,各地区因沙化土地面积、资金投入等差异导致行政边界区域治理不同步,往往治理效果不佳,容易出现重复治理或治理后再次退化。二是治理标准不一致,各地沙化土地治理受技术、经济影响,在行政界限周边实施的治理措施可能存在差异,一定程度上也会影响区域整体治理成效。三是生态保护政策存在差异,例如放牧监管、生态补偿机制等不一致,缺乏相应的奖励机制,难以充分调动治沙的积极性和创造性。

3 治理对策和建议

3.1 由单一治理转向系统治理

单一治理短期内效果可能明显,但容易发生再次退化。需根据治理区现状向“生态、经济、社会”协同发展转变,增强治理的韧性,提高治理可持续性水平。实施系统治理可节约成本、提高生态系统稳定性。一是治理措施应多样化,随着3S技术的发展,对沙化土地的监测

手段越来越精准,同一区域针对不同微地形可以选择不同的措施,例如流动沙丘需固定沙障和种植沙生苗木,丘间地可直接种植沙生苗木。二是树种、草种选择要多样化,应选择耐旱、耐盐碱的乡土种,要根据现地条件栽植适宜本区域的混交林或增加补播草种的种类,防止后期林业有害生物集中危害或植被集中退化。三是要构建乔灌草结合的复合型生态系统,例如建立“防护林+固沙带+草方格”立体防护模型或推广实施“低密度造林+补播草种”模式,因地制宜建立复合型模式,显著提升生态系统稳定性。

3.2 由政府主导转向多元化参与

过去沙化土地治理主要依靠政府投资,往往局限性较大,不利于可持续发展,由政府主导,社会各界广泛参与不仅可以加快治理进程还可以提升治理成效。一是建立健全社会和公众义务参与机制,鼓励企业、个人以多种渠道参与义务压沙造林或承包治理。二是鼓励企业市场化参与治理和经营,在不破坏当地原有生境的基础上,通过承包经营等方式鼓励企业发展特色沙产业,实现“治沙+增收”双赢,或者引导企业通过碳汇交易、绿色债券等方式投资沙化土地治理项目。

3.3 由本地治理转向区域协同治理

不同地区在技术、经济、生态资源等不同领域各具优势,打破行政界限,统一规划、统一标准协同开展沙化土地治理,可提升治理效率。一是建立跨省、跨国联防联治机制,对沙尘暴策源地、重点沙化区域进行统一规划,按照统一治理技术规程同时开展治理。二是建立数据共享和监测联动机制,通过共享卫星遥感、气象、野外观测等数据,实现治理后期管护统一化,降低人为破坏、气候异常等因素带来的再次退化风险。三是加大横向生态补偿机制,通过加强对生态系统服务价值评估和生态保护成本核算的研究,综合考虑生态系统的类型、功能、质量、区位等因素,制定科学合理、动态调整的生态补偿标准,根据不同地区的经济发展水平和财政承受能力,兼顾公平与效率,可由受益地区向治理地区提供资金或技术补偿。

3.4 由人工治理转向科技赋能

传统的流动沙丘固定主要依靠人工,成本

高、时间长。单一的人工手段治理沙化土地局限性较大,已不能满足系统治理、科学治理的需求,治理效果有限。依靠科学赋能,可使治沙从人海战术转向精准生态修复,显著提升治理效率。一是使用精准修复技术,可根据现地条件选择机械压沙、微生物固沙、3D 打印沙障,甚至利用 AI 预测沙丘迁移路径科学设计固沙措施,从而实现精准有效治理。二是借助智能管理平台,实现精准规划、精准施工、精准管护,提高自然资源、林草等部门的管理和治理水平。

3.5 由短期治理转向长期提升巩固

不同退化程度的沙化土地形成稳定生态系统的时间长短不一,一般都在 10 年以上,总体上周期相对较长。沙化土地的治理是一个长期且复杂的过程,通过科学化、规模化的方法可以在较短时间内取得显著成效,但受自然、人为等诸多因素的影响,容易发生再次退化,从长期来看需要持续巩固,特别是一些生态脆弱区域。一是制定长期规划与稳定投入机制,持续投入,保持长期稳定,巩固沙化土地综合治理成果,切实筑牢生态安全屏障。二是完善法律法规与考核机制,修订法律法规,强化对治理成果的长期保护,严禁破坏性开发,改革考核体系,重点考核生态效益等长期指标。

参考文献

- [1] 邵丹晖, 谈嫣蓉, 陈文业, 等. 我国沙障的研究进展与应用综述 [J]. 中国水土保持, 2023 (7): 37-40, 69.
- [2] 潘昌祥, 欧阳茜如, 廖梦榆, 等. 西北干旱区沙漠化土地生态修复技术及沙产业的适用范围 [J]. 中国沙漠, 2023, 43(5): 155-165.
- [3] 程莉, 宁志英, 杨红玲, 等. 固沙措施对流动沙丘植被和土壤特性的影响 [J]. 中国沙漠, 2024, 44(2): 273-282.
- [4] 李晓梅. 沙化土地面积净减少 6500 万亩我国防沙治沙成效显著 [J]. 国土绿化, 2024(12): 4-5.
- [5] 同德仁, 同婷. 内蒙古流动沙地治理技术发展回顾 [J]. 中国沙漠, 2022, 42(1): 66-70.
- [6] 王健. 浑善达克沙地 3 种治理模式植被恢复效益分析 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [7] 龚逸夫. 河西走廊防风固沙功能评估及风沙防治建议 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2024.

(本篇专家编审:陈建军)

DOI:10.16115/j.cnki.issn.1005-7129.2025.05.011

文章编号:1005-7129(2025)05-0046-03 中图分类号:S759.91 文献标识码:A

吉林延边仙峰国家森林公园现状、存在的问题及建议

王涵, 尹航

(吉林长白山森工集团八家子林业有限公司, 吉林 延边 133505)

摘要: 本文简述了吉林延边仙峰国家森林公园的基本情况, 指出了存在的问题, 提出了相应的建议。

关键词: 吉林延边仙峰国家森林公园; 现状; 存在问题; 建议

Status, Existing Problems and Suggestions of Yanbian Xianfeng National Forest Park in Jilin Province

WANG Han, YIN Hang

(Bajiaazi Forestry Limited Company of Jilin Changbai Mountain Forest Industry Group Limited Company, Yanbian 133505, China)

Abstract: The basic situation of Yanbian Xianfeng National Forest Park in Jilin Province was briefly described in this paper. The existing problems were pointed out and some suggestions were put forward.

Keywords: Yanbian Xianfeng National Forest Park in Jilin Province; status; existing problems; suggestions

吉林延边仙峰国家森林公园(以下简称仙峰国家森林公园)隶属于吉林长白山森工集团八家子林业有限公司, 2002 年 12 月被国家林业局批准为国家级森林公园。园内风光奇异秀丽, 有优美的自然景观、悠久的人文景观, 形成了丰富的旅游景观资源。经多年建设, 公园已初具规模, 但建设和运营中也出现了一些问题, 针对这些问题笔者提出了相应的建议。

1 基本情况

仙峰国家森林公园坐落在吉林省延边朝鲜族自治州和龙市中部, 地理位置 $128^{\circ}44' \sim 128^{\circ}46' E$ 、 $42^{\circ}29' \sim 42^{\circ}31' N$, 总面积 $19\ 102.23\text{ km}^2$ 。南岗山由南向北横亘整个园区, 为典型侵蚀山地地貌, 山顶漫岗形, 有深切河曲发育。其最高峰海拔 1 500.1 m, 在海拔 1 000~1 250 m 有一条南北

走向、长约 5 000 m 的裸露玄武岩岩石山地。属温带大陆性季风气候, 海拔 1 100 m 以上区域(高山区)夏季多雨, 冬季多雪, 积雪厚度可达 2 m 以上, 海拔 1 100 m 以下区域(低山区)则气候温和湿润。年均气温高山区为 1 ℃, 低山区为 3 ℃, 最高温在 7 月, 最低温在 1 月, 封冻期从 10 月下旬开始至翌年 4 月上旬, 无霜期约 110 d, 冬季多西北风, 其他季节多东南风, 年降水量 500~1 000 mm, 年平均风速 $2\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。地表径流形态为放射状, 小水泡星罗棋布, 以南岗山之脊为架(周边多泉)各水流分别向东、西、北流, 东部的二道河(蜂蜜沟河)、古洞河和西部的大沙河、小沙河是较大的河流, 河网密度约为 $0.14\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$ 。

仙峰国家森林公园森林覆盖率达 98 %, 植被繁茂, 呈现典型的长白山植物区系森林景观。

收稿日期:2025—05—29

第一作者:王涵(1989—), 女, 助理工程师, 主要从事森林旅游管理工作, E-mail:578087041@qq.com。

基于地形与海拔特点,针叶林、针阔叶混交林、阔叶林由高向低梯次分布。野生植物种类丰富,分属87科348种。国家一级重点保护野生植物1种,东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)^[1]。国家二级重点保护野生植物13种,红松(*Pinus koraiensis*)、平贝母(*Fritillaria usuriensis*)、杓兰(*Cypripedium calceolus*)、天麻(*Gastrodia elata*)、野大豆(*Glycine soja*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)、兴安杜鹃(*Rhododendron dauricum*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、草苁蓉(*Boschniakia rossica*)、人参(*Panax ginseng*)^[1]。野生动物种类也十分丰富,兽类分属5目12科37种、鸟类分属11目21科116种。国家一级重点保护野生动物1种,紫貂(*Martes zibellina*)^[2]。国家二级重点保护野生动物16种,花尾榛鸡(*Tetrastes bonasia*)、鸳鸯(*Aix galericulata*)、苍鹰(*Accipiter gentilis*)、白尾鵟(*Circus cyaneus*)、鵟鵰(*C. melanoleucus*)、毛脚鵟(*Buteo lagopus*)、大鵟(*B. hemilasius*)、普通鵟(*B. japonicus*)、长耳鸮(*Asio otus*)、短耳鸮(*A. flammeus*)、红隼(*Falco tinnunculus*)、红脚隼(*F. amurensis*)、燕隼(*F. subuteo*)、游隼(*F. peregrinus*)、黑熊(*Ursus thibetanus*)、水獭(*Lutra lutra*)^[2]。吉林和龙仙峰紫貂重要栖息地入选国家林业和草原局《陆生野生动物重要栖息地名录(第一批)》^[3]。

仙峰国家森林公园以温带森林生态系统为依托,生态质量优异,风景资源多样,拥有丰富的地文景观资源、水文景观资源、生物景观资源、人文景观资源和天象景观资源。经测定,园区大气质量均达到国家环境空气质量一级标准,地表水环境质量均达到国家地表水环境质量I类标准,空气负离子含量>70 000个·cm⁻³,空气细菌含量<200个·cm⁻³。受典型侵蚀山地地貌的影响,山峰险峻、层次复杂、变化多端。水景大部分为山涧小溪,流量不大,水体蜿蜒曲折,错落有致,共有河流4条,较大溪流17条。植被繁茂、优美多样、色彩斑斓、层次分明,季相变化很大,呈现典型的长白山植物区系森林景观。日出日落及阴雨天的云雾景观层层叠叠,连绵奔涌,景色十分秀美。该地流传着许多美丽的传说,具有独特的民俗风情。

2 存在的问题

2.1 保护与发展矛盾突出

国家森林公园需要兼顾景观资源的保护及旅游业的发展,但随着旅游业的发展,游客大量进入,对土壤、水体、大气、动植物等产生负面影响,特别是一些游客随意进入未规划的景区,干扰了景区内的野生动植物,也给自身安全带来隐患,保护与发展矛盾突出。

2.2 管理机制不健全

目前公园管理者大都是过去从事森林经营人员,受体制惯性束缚,在管理方面仍摆脱不了林业粗放管理模式,缺乏专业人才,无法对资源各要素进行合理配置,在发展上难有大的突破。各景区建设及商业性活动均采取协议外委模式开展,各自经营管理,经营管理水平粗放且参差不齐,没有统一的经营管理规范,无法塑造公园主体形象。

2.3 公共服务体系不完善

公园没有规划停车场,乱停现象严重,不仅影响交通秩序,还可能堵塞应急通道、破坏生态环境。园区监控覆盖度差、有死角,对出现的安全事故以及违法犯罪行为有监管缺陷。各景区公共服务体系建设仍不完善,整体公共服务配套不齐全,一些景区游憩路线设计不合理且有安全隐患,服务质量评价一般。

2.4 研学宣教滞后

近年来,虽积极开展自然教育、红色教育、科普宣教等工作,但园区基础设施薄弱,研学宣教工作缺乏基础性支撑。另外,公园宣传方式单一、宣传力度不够,对外知名度和吸引力有待提升,在一定程度上制约了其发展。

3 建议措施

3.1 加强资源保护,合理发展旅游

与大专院校及科研单位进行合作,对园区内的野生动植物、风景资源进行科学考察,摸清园区本底资源及分布情况,为资源保护和旅游休憩路线规划提供科学依据。旅游休憩路线规划应充分考虑可观赏风景资源和珍稀野生动植物群系等,强化资源保护,在不干扰其生长、生活及保障游客人身安全的情况下,重塑最佳游憩路线和康养场所。可在公园管理服务区、各

景区景点、游憩区设专人值守,规劝不按规定路线随意乱走的游客确保其安全,减少破坏和干扰野生动植物行为。

3.2 加强人员培训,强化公园管理

聘请具有森林公园管理经验的人员对公园管理干部、员工进行定期业务培训,组织员工到其他森林公园进行观摩、交流,制定并执行公园管理细则,熟知公园景区景点的特点,提升干部、员工的素质及管理、服务水平。

3.3 改善公园综合服务功能,提升公共服务形象

按相关标准加强基础设施建设(公共卫生间、生活污水处理站、餐饮中心、垃圾处理站、停车场等),设立安全标识,完善无障碍设施。推进省重点旅游景区综合监测与应急指挥平台的建设工作,增加监控设备,实现资源保护和安全监测全覆盖。从根本上改善公园综合服务功能,提高游憩舒适度,提升公共服务形象。

(上接第 32 页)

3.2.4 文化价值

敦化的民族风情文化、红色文化为大砬子森林公园增色不少,同时公园的建设也为当地林区文化的创新提供了契机,但尚未发展形成具有其独到之处且影响深远的地域文化,社会影响力仍待提高。综合评估公园文化价值等级为Ⅲ级,得分为 3 分。

3.3 综合评估结果

大砬子森林公园自然属性和生态价值综合评估得分为 62 分,其中,自然属性的评估分数为 42 分,符合省级自然保护地标准。

4 结论与建议

大砬子森林公园以天然次生林为主要植被类型,生物多样性丰富,分布有长白山地区珍稀野生动植物,为当地创造了可观的生态服务价值。同时,受自然因素和人类活动因素影响,公园生态系统表现出一定的脆弱性,需要对其进行加强保护。作为开放的森林公园,其开发程度低,

3.4 开展研学宣教,加强科普宣传

与科研机构、教育机构及各类协会合作,组织开展自然教育、森林研学活动,利用地质、生态、红色教育等特色,营建网红打卡地。通过举办森林文化周、摄影大赛等活动,提升公园的知名度和吸引力。

参考文献

- [1]国家林业和草原局,农业农村部.国家重点保护野生植物名录[EB/OL].(2021-09-08)[2025-05-08].<https://www.forestry.gov.cn/lyj/1/gkzfwj/20210908/272693.html>.
- [2]国家林业和草原局,农业农村部.国家重点保护野生动物名录[EB/OL].(2021-02-01)[2025-05-08].<https://www.forestry.gov.cn/lyj/1/gkzfwj/20210201/546057.html>.
- [3]国家林业和草原局.陆生野生动物重要栖息地名录(第一批)[EB/OL].(2023-12-20)[2025-05-08].<https://www.forestry.gov.cn/c/www/gkzfwj/538675.jhtml>.

(本篇专家编审:陈建军)

影响力有限,观赏价值和文化价值表现并不突出,存在较大的提升空间。管理单位可通过加强媒体宣传、与教育科研单位合作开展游学与科研活动等方式增加公园的社会影响力。

参考文献

- [1]巩玮琦,李奇,郭红.吉林罗通山省级自然保护区自然属性和生态价值评估[J].吉林林业科技,2022,51(6):31-33,46.
- [2]张雪.吉林泉阳泉国家森林公园自然属性与生态价值评估[J].绿色科技,2022,24(1):141-143.
- [3]姚雪,丁京仲,陈思羽,等.吉林露水河国家森林公园自然属性与生态价值评估[J].吉林林业科技,2021,50(2):3-5.
- [4]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.
- [5]姜春艳.黄泥河国家级自然保护区生态旅游资源评价与开发策略研究[D].长春:吉林农业大学,2014.

(本篇专家编审:王梓默)

《吉林林业科技》编辑委员会

主任委员	高海珠	山昌林	王志明	王福维	邓祥	尹子康	刘学芝
副主任委员	李东友	尹春梅	叶雅玲	史建伟	刘玉波	孙广仁	孙长彬
执行委员	张建秋	刘彦龙	刘晓龙	安丰云	杨义波	杨世海	吴景才
委员	(按姓氏笔画为序)	孙文生	杜凤国	张忠辉	陆志民	陈万毅	陈万毅
		宋丽文	张启昌	单延龙	孟庆繁	赵云	赵云
		陈建光	陈建军	郭忠玲	高金贵	高峻崇	高峻崇
		赵珊珊	姜贵全	曹长清	梁万君	董然	董然
		陶晶	黄祥童	鞠志新			
		程广有	焦为屹	温宇光			

《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54卷 第5期（总第297期）

Journal of Jilin Forestry Science and Technology
Bimonthly, Started in 1972
Volume 54 Number 5 (No.297)

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：2025年9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 Sep.15th, 2025
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

