

申 报	系列：教师系列 教学科研并重 型
	专业：森林经理 学
	职称：副教授

业绩成果材料

（申报人的业绩成果材料包括论文、科研项目、获奖以及其他成果等）

单 位（二级单位）林学与风景园林学院

姓 名 林娜

材料核对人：

单位盖章：

核对时间：

华南农业大学制

目 录（模板）

一、教学研究业绩

1. 教学研究项目：基于绿美广东生态建设的高级森林经营管理人才培养模式改革研究与实践 2024 年校级教学改革项目有关佐证材料.....6
2. 教改论文：双语教学模式初探——以华南农业大学《森林生态系统管理》课程为例..... 9
3. 编写教材：“十三五”规划教材《林木种苗培育学》 .. 11
4. 编写教材：高等院校外国留学生教育系列教材《林木种苗培育学》 19

二、科研项目

1. 主持：基于高碳汇目标的造林树种筛选和林分结构研究（2023KJ CX001）（合同） 26
2. 主持：生态公益林生态功能对经营措施的响应机制研究（验收书） 38
3. 主持：清远市生态功能等级提升研究，即杉木人工林大径材培育试验（合同） 52
4. 主持：西江流域水源涵养林模式构建与筛选（合同） .. 58
5. 主持：广东省龙眼洞林场经营方案（2021-2025 年）（修编）（合同） 74
6. 主持：阔叶混交林大径材培育潜力调查与培训（合同） . 82
7. 主持：广东省龙眼洞林场森林经营方案（2021-2025 年）（再修编）（合同） 88
8. 主持：清远市小龙林场 2022 年中央财政森林抚育项目 .. 97
9. 主参：高原地区楸树立地质量评价研究（任务书） 111
10. 主参：桉树人工林生产力对旱季水分输入变化的响应机理研究（科研系统佐证） 129

11. 主参：秸秆半纤维素选择性分离技术（任务书）	131
12. 主参：土沉香重大害虫绿色关键防控技术推广与应用示范（合同）	164
13. 主参：松墨天牛新型引诱剂及野外应用技术研究（合同）	191
14. 主参：华桉 3 号新品种转化运用	212

三、论文、著作等

1. 检索证明	224
2. 以第一作者发表本专业论文情况	
2. 1. Short-Term Effects of Thinning on Tree Growth and Soil Nutrients in the Middle-aged Chinese Fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.) Hook.) Plantations	228
2. 2. Effects of Thinning on Carbon Storage in a Mixed Broadleaved Plantation in a Subtropical Area of China	245
3. 以通讯作者发表本专业论文情况	
3. 1. 不同密度杉木人工林林分生长和林分结构差异研究 ...	261
3. 2. 间伐保留密度对杉木人工林生长的影响	271
3. 3. 团花绢野螟成虫触角转录组及化学感受相关基因分析 ..	280
3. 4. 东莞市亚热带常绿阔叶次生林优势种生态位特征研究 ..	296
3. 5. 马尾松两种林型土壤养分特征及其与凋落物质量的关系	308
4. 学术专著：广东省森林、草地、实地资源资产系统研发与应用	319

四、科研成果

1. 科技奖励证书	
1. 1. 梁希林业科学技术奖三等奖（排名 4）	326
1. 2. 广东省农业技术推广奖二等奖（排名 4）	328

1.3. 中国商业联合会科学技术奖三等奖（排名 3）	330
1.4. 广东省农业技术推广奖三等奖（排名 7）	332
2. 知识产权	
2.1. 专利授权证书：土壤渗透管	334

五、其他业绩

1. 指导省级大学生创新创业训练项目	337
--------------------------	-----

【佐证材料切记与目录页所列页码对应，不要用图片格式的材料进行打印。】

一、教学研究业绩

1. 教学研究项目：基于绿美广东生态建设的高级森林经营管理人才培养模式改革研究与实践 2024 年校级教学改革项目有关佐证材料

林学与风景园林学院 2024 年度教改项目、质量工程推荐公示

根据华南农业大学《关于开展 2024 年度校级教学质量与教学改革工程建设项目申报推荐工作的通知》要求，学院组织开展了教学质量与教学改革工程建设项目申报工作。经专家评审，推荐“森林培育教研室”为校级质量工程项目，“绿美广东生态建设背景下林学专业课程思政建设与实践”为校级教改招标项目，“四育协同、多维并进”农林院校中药资源与开发专业课程群改革实践和创新——以中药鉴定学为例”等 4 个项目为校级教学改革重点项目，“新工科背景下基于 OBE 的风景园林专业美育教学研究”等 3 个项目为校级教学改革一般项目，“基于思政视域和应用场景的产教融合式《测树学》课程教学体系探索研究”等 3 个项目为校级教学改革自筹类建设项目，校级自筹学院予以校级一般项目同等经费资助建设。

附件：林学与风景园林学院 2024 年度校级教学改革与质量工程建设推荐项目名称

类别	序号	项目类别	项目名称	项目负责人	项目组成员
质量工程项目	1	课程教研室	森林培育教研室	何茜	何茜、邱权、陈祖静、潘澜、刘效东
招标项目	1	招标项目	绿美广东生态建设背景下林学专业课程思政建设与实践	吴道铭	曾曙才、邱权、李培、赵倩、单体江、林娜

教改项目	1	重点项目	“四育协同、多维并进”农林院校中药资源与开发专业课程群改革实践和创新—以中药鉴定学为例	李雁群	白玫、吴鸿、李镇魁、谭建文、梁祥修、孔德鑫、何韩军
	2	重点项目	数智驱动：知识图谱 AI 赋能林木育种学课程混合式教学模式创新	周 玮	陈晓阳、张俊杰、骈瑞琪、欧阳昆晞
	3	重点项目	新农科引领下林学专业改造提升路径探索与实践	刘效东	何茜、苏艳、李雪
	4	重点项目	新工科背景下风景园林设计表达课程教学改革研究	刘京一	陈崇贤、夏宇、潘建非、李梦然
	5	一般项目	新工科背景下基于 OBE 的风景园林专业美育教学研究	常博文	李静、刘小蓓、冼丽铨、胡志杰
	6	一般项目	基于绿美广东生态建设的高级森林经营管理人才培养模式改革研究与实践	林 娜	陈世清、李玉玲、王本洋
	7	一般项目	思政背景下的“环境保护与可持续发展”线上线下融合教学探索与实践	李青粉	邓成、黄小玲
	8	自筹项目	基于思政视域和应用场景的产教融合式《测树学》课程教学体系探索研究	邓 成	李青粉、王本洋、先锋
	9	自筹项目	高校学生会组织功能型团支部建设的探索与实践	喻 凯	陈锐帆、王国辽、陈刚、解加米
	10	自筹项目	“互联网+”背景下《高尔夫球场管理》专业核心课程思政融合设计与实践研究	钟天秀	欧阳昆晞、黄小玲

财务系统证明

项目

校级项目

我的项目

模板下载

当前申报

项目申报

开题论证

中期检查

项目验收

项目经费

项目变更

省级项目

项目详细信息

项目信息

预期成果与目标

负责人信息

参与人信息

项目文档

审批记录

变更记录

经费信息

相关成果

评审信息

审查结论

参与人权限

项目名称	基于绿美广东生态建设的高级森林经营管理人才培养模式改革研究与实践		
项目类别	教学改革项目	项目级别	校级
项目单位	林学与风景园林学院	项目周期	3 年
申请经费	0.400000 (万元)	学科	农学
申请时间	2024-06-12	立项时间	
开始时间	2024-11-01	结束时间	2026-11-30
批准文号		项目编号	
立项金额	(万元)		
项目状态	待学校审查	是否延期	否
延期时间		实际结题时间	

2. 教改论文：双语教学模式初探——以华南农业大学
《森林生态系统管理》课程为例

双语教学模式初探

——以华南农业大学《森林生态系统管理》课程为例

林娜 李吉跃(通讯作者) 何茜 苏艳

(华南农业大学林学与风景园林学院 广东 广州 510642)

【摘要】本文以《森林生态系统管理》课程为例,采用课堂教学、课堂讨论、课后布置相关领域英文书籍、网络视频的方法,加深双语教学的理念,进而为林学方向双语教学的实施提出建议与参考。

【关键词】双语教学 森林生态

【中图分类号】G64

【文献标识码】A

【文章编号】2095-3089(2017)31-0040-01

《森林生态系统管理》课程结合了《森林生态学》和《森林培育学》主要内容,包含森林生态系统的组成要素、各要素的动态变化、以及各组成部分之间的相互作用;森林生态系统内部资源的分配、引起内部竞争的机制、森林树木的地上以及地下生长对应资源变化的响应。该课程是华南农业大学林学与风景园林学院根据相关林学专业需求,开设的双语教学课程,旨在提高学生对于国内外相关学术领域的深入了解,采用课堂授课、学生讨论、校内实践和学生自学相结合的方式,充分调动学生的积极性;注重尝试英语教学,在教学内容上参阅外文资料、概念和术语用中、英文表达;旨在提高教学质量、教学效率及学生们对于本课程的兴趣,并合理运用相关专业解决大学生人才专业素质与培养的问题,这目前是每个双语教学工作认真探索的问题。

双语教学模式已然已成为国内各大高校教育改革的重点,双语教学正是冲破了原有的外语教育模式和传统的专业课教学模式,使学生能有效掌握专业术语和准确的英语表达,锻炼英语思维模式,培养学生阅读和翻译英文专业资料的能力,并在学科专业英语中运用自如。笔者以华南农业大学林学与风景园林学院《森林生态系统管理》课程为例,深入剖析双语教学模式,进而为今后双语教学的更好开展提供借鉴。

一、教学师资条件

教学师资是目前限制高校双语教学的主要因素,教学质量与教师英语水平直接关系到教学成功与否,双语教学不仅要求教师具有较好的英文水平,还必须具有扎实的林业学科知识和专业词汇的解析能力,在理解教学的基础上,及时把握学科前沿及动态,丰富教学经验,课程上可通过双语之间的熟练切换,调动学生的积极性。而笔者为海外留学森林培育与森林生态学博士(德国哥廷根大学),熟练掌握专业知识与专业术语,容易结合德国先进的教学模式及国际前沿动态,把握林业领域的热点方向,且从事本专业领域十余载,避免了林学专业不精,难以系统用英文传授专业领域知识,或外语听说能力较差,影响双语教学的效果。双语教学的师资必须为海外归国人士,且具有较好的林学专业造诣,切勿采用经过国内各种培训机构的师资,否则事倍功半。

二、外文书授课程

目前,随着网络教学课程的快速发展,板书教学已在全国高校教学课堂上愈来愈少,这多于中文教学问题不大,毕竟教师在授课时,学生可轻而易举的理解老师的内容,但是对于双语教学而言,外文书显得尤为重要,因为对于大多数学生而言,很难理解部分专业词汇的意思,而教师仅仅在教学过程中采用口语化,学生尚未明白老师的寓意,这时候教师的外文书也避免这一现象的发生,这也进一步引导了教师教学综合素质及能力的提升。笔者在教学过程中,合理合时的运用外文书,学生们易懂、易学、易记,起到了教学相长的效果,此外,也受到了华南农业大学教学督导的表扬。

三、学生课堂英文讨论

双语教学课堂,学生们采用全英文讨论交流是一种主要学习方式,不仅有利于学生合作交流,还能使学生们积极动脑,畅所欲言,学生们的语言表达及自信得到充分锻炼,教师督促学生讨论抓住重点,针对双语教学的重点、难点、知识的连接点,做到牵一发而动全身的学习效果,使每一个学生都真正参与到讨论的各个环节中。与此同时,笔者推荐了多本与《森林生态系统管理》课程及其相关的英文书籍,督促学生们认真拜读,使课堂及课后均得到了充实,为进一步课堂讨论奠定了基础。

四、课后实践

《森林生态系统管理》不仅要求学生们在课堂掌握应有的专业知识与外语能力,深入了解森林的分类,森林的功能,以及森林抚育间伐的措施等,具有较大的应用意义,因此在做好课堂教学的同时,带领学生亲身参与到丛林中,亲眼目睹森林类型(纯林、混交林)、森林垂直分布(乔木层、灌木层、草本层、苔藓地衣层,等)、森林地被层的组成、森林土壤类型等,做到把学生的创造性思维与实践紧密结合的教学模式。

五、网络视频

选取与《森林生态系统管理》课程相关的网络视频和国际时事林业新闻,让学生们在视频中学习,突破自我,然后课堂上跟老师进行英文探讨,通过对视频的观看,从中学习了什么,了解了什么,既在有限的时间内,锻炼了学生们的总结概括能力,又在有限的时间,将概括内容切换成英文,大大提高了学生们的课堂中英文切换能力。

六、双语教学的展望

目前,我国双语教学的开展处于尝试阶段,迄今尚无一套行之有效的双语教学教育建设模式,各大高校应当大胆进行双语教学的探索与改革,不断总结成功的经验与失败的教训,得出双语教学的教育模式,加大双语教学师资的培养力度,况且随着高校学科双语教学课程不断增设,如何更有效地开展双语教学,提高双语教学质量以真正实现双语教学的目的,将是未来双语教学研究热点之一;应注意以下几个方面:

(一)寻求符合我国高校双语教学的理论与方法,由于语言背景的差异,对于国外来说,英语是他们母语,加上文化氛围的影响,英语的学习相对容易;而我国,英语是处于外国语的地位,在以汉语的语言环境中英语的学习相对困难;因此,在双语教学中,不能搞“拿来主义”,我们要在借鉴国外成熟理论的基础上,把握自己的教学优势与特点,进而从专业和语言方面,摸索属于自己的双语教学理论与模式。

(二)双语教学应及时关注课堂的教学效果,关注学生们的学习反应及学习态度,根据学生们的反应,及时做好优化双语教学模式,并关注双语教学在之后工作中的应用,进而对社会进步及教学改革提供借鉴。

(三)双语教学也急需政策支持,各高校及时制定双语教学方案,加大双语教学师资的培养,有计划有目的的引进双语教学型人才,此外,加强青年教师的英语培训,增加教师的进修机会,鼓励教师参加国际学术性会议。

笔者通过自己教学课堂的简单总结,希望为进一步开展相关课程的双语教学奠定一定的理论基础;而目前双语教学作为一种全新的教学方式,是中西文化的碰撞与融合,学校通过实施双语教学,可有效提高我国高等学校双语教学水平及其国际竞争力,切实推行双语教学的快速发展。

参考文献:

- [1]徐德应,张小全.森林生态系统管理科学—21世纪森林科学的核心[J].世界林业研究,1998,(2):1-6.
- [2]林群,张守攻,江泽平等.森林生态系统管理研究概述[J].世界林业研究,2007,20(2):1-8.
- [3]郑大湖,戴炜华.我国高校双语教学研究十年:回顾与展望[J].外语界,2013(1):54-61.

作者简介:

林娜(1986,7-),女,汉族,山东临沂人,博士,研究方向:森林生态及森林培育学研究。

李吉跃(1959,11-),男,汉族,四川金堂人,博士,研究方向:森林培育学。

3. 编写教材：“十三五”规划教材《林木种苗培育学》



国家林业和草原局普通高等教育“十三五”规划教材

林木种苗 培育学

CULTIVATION OF FOREST SEEDS AND SEEDLINGS

刘 勇 主编



 中国林业出版社
China Forestry Publishing House

图书在版编目(CIP)数据

林木种苗培育学 / 刘勇等主编. —北京: 中国林业出版社, 2019. 10
国家林业和草原局普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5219-0307-2

I. ①林… II. ①刘… III. ①林木 - 育苗 - 高等学校 - 教材 IV. ①S723.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 228647 号

国家林业和草原局生态文明教材及林业高校教材建设项目

中国林业出版社教育分社

策划编辑: 肖基泮 吴 卉

责任编辑: 肖基泮

电话: (010)83143555

传真: (010)83143516

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail: jiaocaipublic@163.com

电话: (010)83143120

http: //www. forestry. gov. cn/lycb. html

经 销 新华书店
印 刷 三河市祥达印刷包装有限公司
版 次 2019 年 10 月第 1 版
印 次 2019 年 10 月第 1 次印刷
开 本 850mm × 1168mm 1/16
印 张 25
字 数 593 千字
定 价 62.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

《林木种苗培育学》编写人员

主 编：刘 勇

副 主 编：李国雷 侯智霞

编写人员：(以姓氏笔画为序)

王 君(北京林业大学)

韦小丽(贵州大学)

白淑兰(内蒙古农业大学)

刘 勇(北京林业大学)

李国雷(北京林业大学)

应叶青(浙江农林大学)

沈海龙(东北林业大学)

张 钢(河北农业大学)

陆秀君(沈阳农业大学)

林 娜(华南农业大学)

郑郁善(福建农林大学)

赵和文(北京农学院)

侯智霞(北京林业大学)

洪香香(南京林业大学)

祝 燕(中国林业科学研究院)

郭素娟(北京林业大学)

曹帮华(山东农业大学)

彭祚登(北京林业大学)

目 录

序

前 言

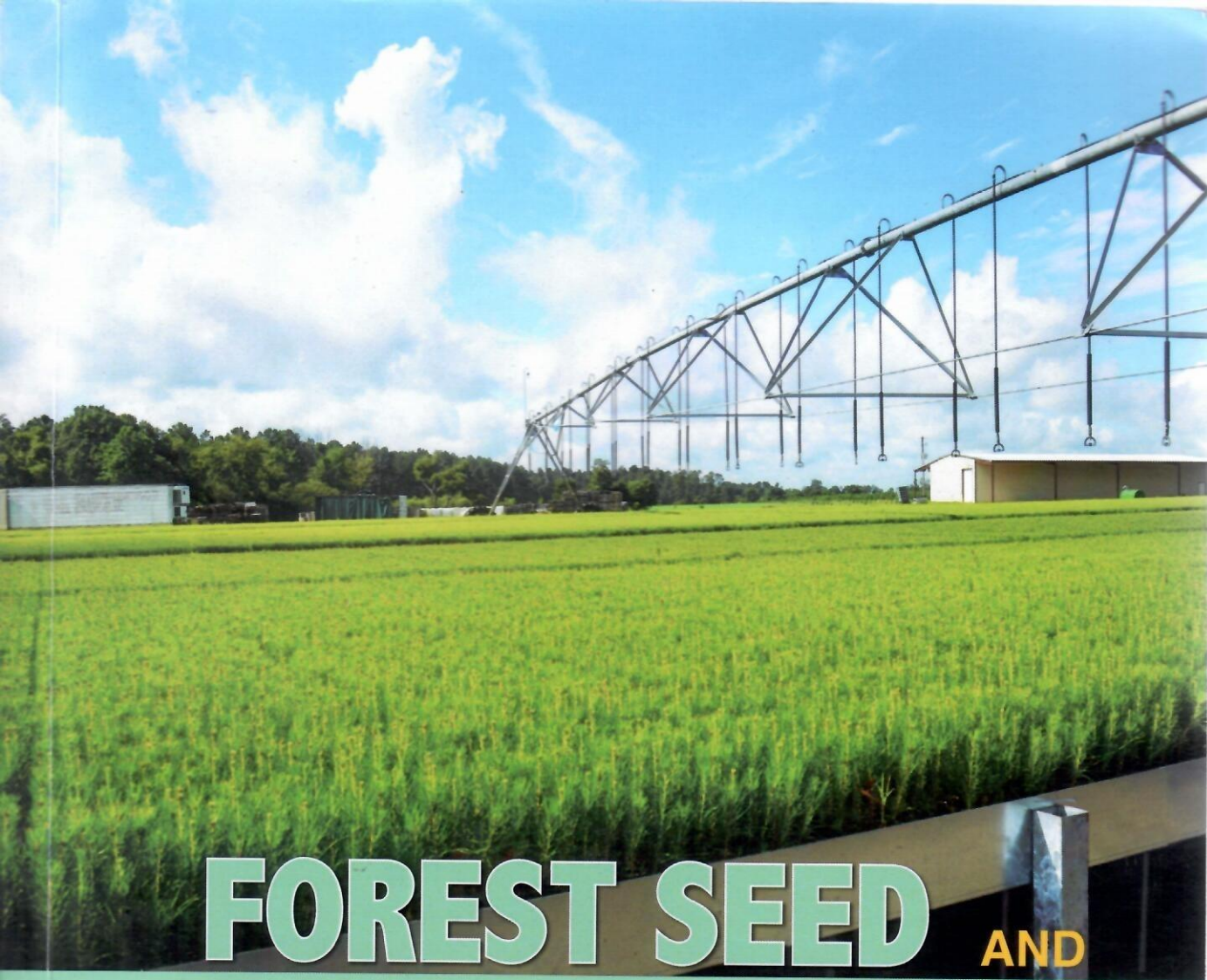
第1章 绪 论	(1)
1.1 林木种苗学的发展演化	(1)
1.2 林木种苗培育学的特点	(2)
1.3 种苗定向培育技术体系	(3)
1.4 我国种苗产业发展存在问题与展望	(8)
1.5 种苗培育学教学体系	(12)
复习思考题	(13)
推荐阅读书目	(14)
参考文献	(14)
第2章 苗圃规划设计	(15)
2.1 苗圃规划设计概述	(15)
2.2 苗圃规划设计的准备	(19)
2.3 苗圃规划设计的内容	(21)
2.4 苗圃规划设计成果	(30)
复习思考题	(32)
推荐阅读书目	(32)
参考文献	(33)
第3章 树木种质资源与新品种选育	(34)
3.1 树木种质资源意义	(34)
3.2 树木种质资源的特点	(35)
3.3 树木种质资源的收集与保存	(36)
3.4 树木新品种选育与保护	(43)
复习思考题	(51)
推荐阅读书目	(51)
参考文献	(51)
第4章 树木良种生产	(53)
4.1 种源选择与种子区划	(53)
4.2 树木良种生产基地	(56)
4.3 树木结实规律、采种与调制	(60)
4.4 无性繁殖材料采集与调制	(70)

复习思考题	(72)
推荐阅读书目	(72)
参考文献	(72)
第5章 树木繁殖材料贮藏与种子质量评价	(73)
5.1 种子贮藏生理与贮藏方法	(73)
5.2 无性繁殖材料贮藏生理与贮藏方法	(79)
5.3 树木种子质量评价	(82)
复习思考题	(100)
推荐阅读书目	(100)
参考文献	(100)
第6章 苗木生长与生理	(102)
6.1 苗木类型、特点、苗龄	(102)
6.2 苗木生长规律	(104)
6.3 影响苗木生长的因素	(109)
复习思考题	(118)
推荐阅读书目	(118)
参考文献	(119)
第7章 苗圃地管理与苗木管护	(120)
7.1 土壤改良	(120)
7.2 土壤肥力管理	(122)
7.3 水分管理	(135)
7.4 共生菌接种及其管理	(139)
7.5 杂草管理	(150)
7.6 病虫害防治	(160)
7.7 越冬保护	(162)
复习思考题	(165)
推荐阅读书目	(166)
参考文献	(166)
第8章 裸根苗播种育苗	(168)
8.1 种子的休眠与催芽	(168)
8.2 育苗方式与苗床准备	(180)
8.3 播种季节与播种量	(182)
8.4 播种方法	(183)
8.5 圃地和苗木管理	(186)
复习思考题	(192)
推荐阅读书目	(193)
参考文献	(193)

第9章 容器苗播种培育	(194)
9.1 容器育苗的特点	(194)
9.2 育苗容器	(195)
9.3 育苗基质	(205)
9.4 播种与容器苗管理	(209)
9.5 温室育苗环境控制	(216)
复习思考题	(216)
推荐阅读书目	(217)
参考文献	(217)
第10章 无性繁殖苗培育	(218)
10.1 扦插苗培育	(218)
10.2 嫁接苗的培育	(229)
10.3 压条苗培育	(240)
10.4 分株苗培育	(243)
10.5 组培苗培育	(243)
复习思考题	(255)
推荐阅读书目	(256)
参考文献	(256)
第11章 移植苗及大规格苗培育	(257)
11.1 裸根移植培育	(257)
11.2 带土坨移植培育	(263)
11.3 容器大苗培育	(269)
11.4 无性繁殖大苗培育	(276)
复习思考题	(278)
推荐阅读书目	(278)
参考文献	(278)
第12章 苗木修剪造型	(280)
12.1 苗木修剪造型的生物学基础	(280)
12.2 苗木的修剪造型原则	(281)
12.3 苗木修剪造型方法	(284)
复习思考题	(295)
推荐阅读书目	(296)
参考文献	(296)
第13章 植物促成培育	(297)
13.1 促成培育的理论基础	(297)
13.2 促成培育的途径与技术	(303)
复习思考题	(307)
推荐阅读书目	(307)

参考文献.....	(307)
第14章 苗木质量评价与苗木出圃	(309)
14.1 苗木质量评价	(309)
14.2 苗木调查方法	(322)
14.3 起苗分级及包装运输	(326)
复习思考题	(335)
推荐阅读书目	(335)
参考文献	(336)
第15章 苗圃管理	(338)
15.1 苗圃定位与目标管理	(338)
15.2 苗圃人力资源管理	(340)
15.3 苗圃生产管理	(341)
15.4 苗圃销售管理	(347)
15.5 苗圃档案管理	(351)
复习思考题	(355)
推荐阅读书目	(356)
参考文献	(356)
第16章 林木种苗培育典型案例	(357)
16.1 观叶型树种育苗典型实例	(357)
16.2 观花型树种育苗典型实例	(361)
16.3 观果型树种育苗典型实例	(365)
16.4 观干型树种育苗典型实例	(368)
16.5 芳香型树种育苗典型实例	(373)
16.6 用材林和生态林造林树种育苗典型实例	(378)
16.7 种苗培育相关技术标准目录	(386)
16.8 国内外种苗产业相关网站目	(386)
复习思考题	(386)
推荐阅读书目	(387)
参考文献	(387)

4. 高等院校外国留学生教育系列教材《林木种苗培育学》



FOREST SEED AND SEEDLING CULTIVATION

林木种苗培育学

EDITOR-IN-CHIEF LIU YONG

刘 勇 主编



中国林业出版社
China Forestry Publishing House

Forest Seed and Seedling Cultivation is a textbook about the theory and technology of tree seed production and seedling cultivation in forest establishment. It is also a required textbook for the core curriculum of forestry and urban forestry specialties.

图书在版编目(CIP)数据

林木种苗培育学 = Forest Seed and Seedling
Cultivation : 英文 / 刘勇主编. -- 北京 : 中国林业
出版社, 2024. 10. -- (高等院校外国留学生教育系列教
材). -- ISBN 978-7-5219-2974-4

I. S723.1

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024HJ8920 号

责任编辑: 肖基洪

封面设计: 睿思视思视觉设计

出版发行 中国林业出版社
(100009, 北京市西城区刘海胡同 7 号, 电话 83143562)

电子邮箱 jiaocaipublic@163.com

网 址 <https://www.cfph.net>

印 刷 北京印刷集团有限责任公司

版 次 2024 年 10 月第 1 版

印 次 2024 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 30.5

字 数 990 千字

定 价 96.00 元

Editorial Team of *Forest Seed and Seedling Cultivation*

Editor-in-Chief:

Liu Yong, Professor, Beijing Forestry University

Associate Editors:

Li Guolei, Professor, Beijing Forestry University

Hou Zhixia, Professor, Beijing Forestry University

Editorial Team Members:

Bai Shulan, Professor, Inner Mongolia Agricultural University

Cao Banghua, Professor, Shandong Agricultural University

Fu Xiangxiang, Professor, Nanjing Forestry University

Guo Shujuan, Professor, Beijing Forestry University

Lin Na, Lecturer, South China Agricultural University

Lu Xiujun, Professor, Shenyang Agricultural University

Peng Zuodeng, Professor, Beijing Forestry University

Shen Hailong, Professor, Northeast Forestry University

Wang Aifang, Associate Professor, Hebei Agricultural University

Wang Jun, Professor, Beijing Forestry University

Wang Weiwei, Engineer, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences

Wei Xiaoli, Professor, Guizhou University

Ying Yeqing, Professor, Zhejiang Agricultural and Forestry University

Zhang Gang, Professor, Hebei Agricultural University

Zhao Hewen, Professor, Beijing Agricultural College

Zheng Yushan, Professor, Fujian Agriculture and Forestry University

Zhu Yan, Assistant Researcher, Chinese Academy of Forestry

Contents

Preface

Chapter 1 Development of Forest Seed and Seedling Science and Technique System	1
1.1 Development and Evolution of Forest Seed and Seedling Science	1
1.2 Characteristics of Forest Seed and Seedling Cultivation	3
1.3 Theoretical Basis and Technical System of Directional Seedling Cultivation	4
1.4 Overview of Seedling Industry Development in China	11
Chapter 2 Establishment of Forest Nurseries	17
2.1 Site Selection of Forest Nursery	17
2.2 Planning and Design of Forest Nursery	19
Chapter 3 Tree Germplasm Resources and Breeding of New Varieties	46
3.1 Significance of Tree Germplasm Resources	46
3.2 Characteristics of Tree Germplasm Resources	48
3.3 Collection and Conservation of Tree Germplasm Resources	49
3.4 Breeding and Protection of New Tree Varieties	61
Chapter 4 Production of Improved Propagation Material of Forest Trees	73
4.1 Provenance Selection and Seed Regionalization	73
4.2 Production Base of Improved Tree Species	77
4.3 Tree Fruiting Law, Seed Collection, and Processing	85
4.4 Collection and Processing of Asexual Propagation Materials	99
Chapter 5 Propagative Materials Storage and Seed Quality Evaluation for Tree Species	103
5.1 Seed Storage Physiology and Storage Method	103
5.2 Storage Physiology and Storage Method of Vegetative Propagules	111
5.3 Quality Evaluation of Tree Seeds	115
Chapter 6 Seedling Growth and Physiology	143
6.1 Seedling Types, Characteristics, and Seedling Age	143
6.2 Seedling Growth Rhythm	146
6.3 Factors Affecting Seedling Growth	153
Chapter 7 Nursery Soil Management and Seedling Protection	169
7.1 Soil Fertility Management	169
7.2 Water Management	189
7.3 Symbiotic Fungi Inoculation and Management	194
7.4 Weed Management	210
7.5 Pest and Disease Control	224

Chapter 8 Bare-rooted Seedling Cultivation	231
8.1 Seed and Seedbed Preparation	231
8.2 Seedling-raising Pattern and Seedbed Preparation	250
8.3 Sowing Season and Sowing Quantity	252
8.4 Sowing Method	255
8.5 Nursery Soil and Seedling Management	258
Chapter 9 Container Seedling Cultivation	274
9.1 Characteristics of Container Seedling Production	274
9.2 Seedling Containers	275
9.3 Seedling Matrix	285
9.4 Sowing and Seedling Management	289
9.5 Greenhouse and Environment Control	301
Chapter 10 Vegetative Propagation	304
10.1 Cutting	304
10.2 Grafting	320
10.3 Tissue Culture	336
Chapter 11 Cultivation of Transplants and Large-size Seedlings	355
11.1 Bare-Root Transplantation	355
11.2 Transplantation and Cultivation with Soil Boll	364
11.3 Large-size Container Seedling Cultivation	373
Chapter 12 Seedling Pruning	386
12.1 Biological Basis of Pruning Seedlings	386
12.2 Principles of Pruning	388
12.3 Method of Pruning Seedlings	392
Chapter 13 Seedling Quality Evaluation and Seedling Lifting	411
13.1 Seedling Quality Assessment	411
13.2 Seedling Investigation Method	430
13.3 Seedling Lifting, Packing, and Transporting	436
Chapter 14 Nursery Management	453
14.1 Nursery Positioning and Target Management	453
14.2 Human Resource Management of Nursery	455
14.3 Production Management of Nursery	457
14.4 Marketing Management	464
14.5 Nursery Files Management	469

Chapter Seedling

Chapter

characteristics,
seedling indust
reader an over
industry, which

1.1 Dev Science

China has
Emperor Xuany
propagation by
included charac
economic trees,
flowers, and ot
a thinker in the
meaning he was
status at that ti
and Northern D
The Book of Fa
Fang Pu in M
acceleration, so

this knowledge
Seedling c
history of the ir
many scholars
ecological envin
textbook of silvi
compiled by Ge
became the orig
forest cultivation

二、科研项目

1. 主持：基于高碳汇目标的造林树种筛选和林分结构研究
(合同)

子课题编号：2023KJCX001-01

基于高碳汇目标的造林树种筛选和林分结构研究项目子课题

子课题名称：广东省人工林碳汇能力现状研究及提升示范

所属项目/编号：基于高碳汇目标的造林树种筛选和林分结构研究（2023KJCX001）

项目牵头承担单位：华南农业大学

子课题承担单位：华南农业大学

子课题负责人：林娜

联系方式：18565503503

起止年限：2023年1月至2026年12月

二〇二〇年制

填写说明

- 一、子课题甲方即项目牵头承担单位，乙方即项目参加单位。
- 二、子课题中的单位名称，请按规范全称填写，并与单位公章一致。
- 三、子课题中文字须用仿宋小四号字填写。
- 四、凡不填写内容的栏目，请用“无”表示。
- 五、乙方完成任务书的填写，提交甲方审核确认后，用 A4 纸打印、装订、签章。一式六份报牵头承担单位。
- 六、《项目实施方案》是本子课题填报的重要依据，子课题填报不得降低考核指标，不得自行对主要研究内容作大的调整。《项目实施方案》将共同作为子课题过程管理、验收和监督评估的重要依据。

一、子课题任务分工

- 1、广东省典型人工林样地调查；
- 2、利用广东省林业资源相关调查数据，结合遥感反演和样地调查，评估分析不同树种和林分结构在不同立地条件下的人工林固碳现状及其潜力；
- 3、云勇林场示范基地本底调查。
- 4、撰写广东省典型人工林固碳现状评估和分析报告；
- 5、发表论文 2-3 篇；
- 6、培养硕士研究生 2 名；
- 7、针对典型人工林进行林分结构优化示范，提升其碳汇能力。

二、子课题业绩指标

1、约束性指标

- 1、提交广东省典型人工林固碳现状评估报告 1 份；
- 2、提出低效人工林林分结构优化模式 2-3 个。
- 3、发表论文 2-3 篇。
- 4、培养硕士研究生 2-3 名。

2、预期性指标

经济效益：基于高固碳目标的人工造林可能无法通过木材产生直接的经济效益，但可以引入企业资金进行碳汇交易或补偿，另外还可以为区域经济发展提供更大的环境承载力，产生巨大的直接经济效益和间接经济价值。

生态效益：人工造林是一种基于自然的应对气候变化且具有成本效益的解决方案，通过营建功能性状协调稳定、固碳潜力突出的林分结构，不仅可以减缓气候变化，还可以促进人工林生态服务功能的提升，包括释放氧气、水源涵养、保育土壤、净化大气、维持生物多样性、减轻或减少自然灾害和病虫害等。

社会效益：通过高固碳树种和组合筛选、以及林分结构优化研究，可进一步提升广东省人工林整体的碳汇功能，为国家“双碳”战略贡献广东森林的碳汇能力。

三、子课题年度计划	
月份	工作内容
1 月实施计划	对广东省人工林数据进行收集、梳理和整合
2 月实施计划	对广东省人工林数据进行收集、梳理和整合
3 月实施计划	对以上数据进行碳储量计算
4 月实施计划	对以上数据进行碳储量计算
5 月实施计划	分析龄级不同优势树种人工林碳储量差异
6 月实施计划	分析龄级不同优势树种人工林碳储量差异
7 月实施计划	在杉木人工林、桉树人工林和相思人工林林种布设典型样地
8 月实施计划	在杉木人工林、桉树人工林和相思人工林林种布设典型样地
9 月实施计划	对样地进行地上、地表、地下碳储量调查
10 月实施计划	对样地进行地上、地表、地下碳储量调查
11 月实施计划	对样地进行地上、地表、地下碳储量调查
12 月实施计划	撰写碳汇现状报告；提出人工林林分结构优化方案。

四、子课题研究人员					
子课题负责人					
姓名	性别	年龄	职务/职称	工作单位	任务分工
林娜	女	36	讲师	华南农业大学	项目执行和实施
子课题成员					
陈世清	男	56	教授	华南农业大学	项目组织实施
马涛	男	37	高级实验师	华南农业大学	野外调查和室内试验
古洛炜	男	23	研究生	华南农业大学	野外调查与数据分析
何雨恒	男	24	研究生	华南农业大学	野外调查、室内分析
邱展鹏	男	23	研究生	华南农业大学	野外调查、室内分析
黄焕强	男	23	研究生	华南农业大学	野外调查、室内分析
冯铭淳	男	23	研究生	华南农业大学	野外调查、室内分析
王佳婷	女	30	研究生	华南农业大学	野外调查、室内分析

五、经费来源与支出预算		万元	
预算科目名称	合计	省财政科技资金	自筹经费
一、经费来源	100	100	0
二、经费支出			
(一) 直接费用	80	用途说明	
1.设备费	7.00	购买设置固定样地的全站仪等； 购买野外调查用的无人机 1 台。	0
2.材料费	9.00	用于购买布设实验样地的材料，调查材料等。	0
3.出版/文献/信息传播/知识产权事务费	4.00	用于发表 2-3 篇期刊论文的版面费。	0
4.会议培训费	0	本项目不组织培训。	0
5.差旅费	13.00	用于野外调查、取样的车费、住宿费等。	0
6.劳务费	11.00	给没有经济收入的参与本项目的研究生的补贴；用于设置固定样地时雇用工人。	0
7.委托业务费	33.00	委托华南植物园进行植物功能性状机器学习运算。	0
8. 专家咨询费	3.00	用于项目启动、项目中期考核、项目验收等费用。	0
9. 直接费用其他支出		/	
(二) 间接费用		/	
10.管理成本	0		0
11. 绩效支出	20		0

六、知识产权对策、成果管理及合作权益分配

（一）权利与义务

甲方全面负责项目各项任务，督促项目参与单位按照任务合约要求实施研究工作，合理使用项目经费，如期完成研究任务；甲方有权对乙方的年度计划执行情况进行监督、检查，并提供有关支持与保障条件；乙方具体负责承担任务的各项工作，严格按照合约保证及时完成研究任务，并接受甲方的监督检查。乙方有权参与甲方组织的项目方案制定等相关活动。

（二）经费管理

由甲方负责财务管理。根据有关经费管理办法和财务规定，甲方提供给乙方相应经费。甲方在收到财政专项拨款后，应在十个工作日内告知乙方，并按双方共同约定的办法给乙方提供相应的经费。

乙方使用经费应严格按照经费预算和约定的支出范围执行，保证专款专用，不得弄虚作假、挪用、挤占项目经费或违反相关法律法规。甲方根据国家有关法规和广东省科技计划经费开支的规定，监督乙方经费的使用情况。项目上级主管单位有权对甲乙双方经费使用进行监督管理。

（三）成果管理

双方在研发过程中应加强研究成果管理，严格执行《中华人民共和国科学技术进步法》、《关于加强国家科技计划知识产权管理工作的规定》、《中华人民共和国专利法》和《中华人民共和国著作权法》等有关规定。研究成果在申报国家及有关部门、地方的科技成果奖励时，

需由甲乙双方共同协商成果署名等相关事宜。

甲乙双方应根据有关法律法规，协商确定项目研究成果的收益分配等事宜并签订知识产权合作协议。

（四）信用管理

项目承担单位和上级主管单位有权对甲乙双方进行信用监管。甲乙双方均需建立信用管理档案，对参加人员进行信用记录。记录内容包括科研活动情况、任务完成情况、按时提交材料情况、经费使用情况等。双方均需遵守有关科研诚信建设的相关规定，积极配合有关单位或部门组织的信用评估工作。

（五）保密管理

按《中华人民共和国保守国家秘密法》和科学技术部《科技保密规定》及相关国家科技计划管理办法等有关规定执行。

（六）任务与经费调整

乙方须及时向甲方报告研究进展。乙方未能按规定进度和考核指标完成任务的，甲方可对乙方及其团队的任务和经费在本合约范围内进行调整。由甲方提出调整意见，报项目上级主管单位批准后执行，并报广东省科技厅备案。

（七）争议处理和合约变更

1、项目上级主管单位是双方争议的调解机构。上级主管单位具有对纠纷处理的监督权和问责权。

2、合约在履行过程中发生争议的，双方应首先通过协商的方式解决。协商不成时，双方向项目上级主管单位申请调解。

3、任何一方因不可抗力不能履行合约义务时，可以免除违约责任，但应及时通知另一方，并在 30 天内出具因不可抗力导致合约不能履行的证明。

4、合约一方要求变更或解除合约，应在提前 30 天书面通知另一方，并同时向项目上级主管单位提交书面申请，经批准后执行。

（八）附则

1、本合约由甲乙双方签字盖章后生效。

2、本合约正本壹式陆份，甲方执肆份，乙方执贰份。

七、子课题签订各方盖章

项目承担单位（甲方）：



项目负责人（签字）：

[Handwritten signature]

单位负责人（签章）：

薛红已

2024 年 3 月 22日

任务承担单位（乙方）：



项目负责人（签字）：

林娜

单位负责人（签章）：

薛红已

2024 年 3 月 22日

2. 主持：生态公益林生态功能对经营措施的响应机制研究
(验收书)

项目编号:	2021A1515011092
资助类别:	广东省自然科学基金-面上项目
文件编号:	粤基金字〔2021〕4号

广东省基础与应用基础研究基金项目 验收书

项目名称:	生态公益林生态功能对经营措施的响应机制研究		
项目负责人:	林娜	财政经费:	10 (万元)
计划完成时间:	2021-01-01 至 2023-12-31		
实际完成时间:	2021-01-01 至 2023-12-31		
依托单位:	华南农业大学		
参与单位:			
验收形式:	材料验收		
联系人:	倪慧群	联系电话:	15920301530
填表日期:	2024-03-27		

广东省基础与应用基础研究基金委员会
二〇二〇年制



(广东科技微信公众号)



(查看验收书信息)



(受理纸质材料二维码)

一、项目人员信息表

项目负责人：				
姓名	证件号码	职称	承担任务	所在单位
林娜	371302198607103146	讲师	项目负责人	华南农业大学
主要研究人员：				
姓名	证件号码	职称	承担任务	所在单位
陈世清	440106196608091813	教授	项目野外调查	华南农业大学
邱权	421127198905073011	讲师	野外调查	华南农业大学
苏艳	452322198309160042	高级实验师	野外调查与室内分析	华南农业大学
曾慧	432524199801087320	未取得	野外调查与室内分析	华南农业大学
卢德浩	441421199807191715	未取得	野外调查与室内分析	华南农业大学

二、项目摘要

中文摘要:

林分结构决定林木竞争态势及其空间生态位,在很大程度上决定林分的生态功能和经济功能的发挥。林分结构及其动态变化可用作评估森林经营的效果,因此,定量研究林分结构对森林经营活动有重要的指导意义。本项目研究不同经营措施和不同采伐强度(弱度、中度和强度)下不同树种的生态公益林生态功能的动态变化。量化林分非空间结构和空间结构(混交度、大小比数、竞争指数等),计算林分结构复杂度,确定经营措施和强度对林分结构复杂度的影响;用小型气象站测定林内温度和林内蒸气压差,明确不同林分结构下林内小气候的差异;用香依指数计算树种混交度,弄清林分结构复杂度与树种混交度的关系。量化不同经营措施和强度下的林分结构,即林木空间分布格局、树种混交状态和林木大小分化程度,筛选出促进生态公益林往天然林林分结构发展的经营措施和强度,促进生态公益林生态系统功能的发挥和恢复,为广东省生态公益林抚育经营管理提供理论依据。

关键词:

公益林; 林分结构; 生态功能; 经营措施

三、报告正文

报告正文:

1. 项目共设置了36个固定样地，间伐了21个样地

2、完成的研究内容有：

(1) 抚育间伐对杉木人工林林分生长的影响研究；

(2) 抚育间伐对杉木人工林林下植被生长影响研究；

(3) 抚育间伐对杉木人工林升天功能的影响研究；

(4) 抚育间伐对木荷混交林生长及碳储量的影响。

主要结论为：

人工林生态功能发挥水平是支持、供给、调节3大功能共同作用的结果，不同密度、不同林龄的杉木人工林生态功能存在差异，为了有效提升森林的生态功能，可通过补植乡土树种、灌草植物以丰富林下植被多样性，从而提升生态功能，实现杉木人工林的可持续经营。抚育间伐促进了木荷混交林的生长，增加了植被碳储量合土壤碳储量、以及总有机碳储量。

3、研究成果的应用前景

研究结论为森林经营在短期内对人工林生态系统生态功能的影响，要继续对实验样地进行长期跟踪监测，追踪林分非空间结构、空间结构随间伐时间的变化情况；监测间伐对不同人工林类型土壤有机碳及活性组分的影响机制。对大面积人工林以增汇为目的的经营提供理论和实践依据。

4、人才培养

本项目对青年教师的基础研究有非常大的激励、激发作用。通过本研究，发表了4篇论文，培养了4名研究生。对青年老师的职称晋升和学生的学术水平有极大的帮助。

5、项目成果

(1) 本研究共发表论文4篇，其中2篇SCI，2篇中文核心期刊；另外还有2篇SCI论文已投稿，1篇正在进行小修，1篇正在审稿阶段。

(2) 完成科技报告1篇。

(3) 本研究共培养林业专业硕士研究生4名。

(4) 本研究根据研究内容，授权实用新型专利1项，土壤渗透管，专利号：9 ZL 2023 3 0187587.1。

6、国内外同类工作取得的进展及研究设想

人工林和天然林最大的差异在于森林生态系统结构较为单一，如年龄结构、物种结构、垂直结构等。由于结构的局限性，导致生态系统功能单一和退化等问题，如林木生长受限、生物多样性减少和地力衰退等。解决这些问题，应该把森林生态系统作为一个整体来看，在合理的可调控的范围内进行科学干预，即对人工林结构进行调整，也就是在人工林生态系统功能的表达中寻找合理结构。因此，为了研究如何提升人工林生态系统的碳汇能力，应从碳汇能力对林分结构调整的响应入手，明确每种人工林合理的可调控的范围。

实际参加研究人数	高级职称	中级职称	初级职称	博士后	博士生	硕士生	其他人员
	2	1	0	0	0	2	0
计划执行情况	时间方面		按原计划				
	内容方面		内容不变				

四、研究成果目录

序号	成果类型	成果或论文名称	主要完成者	成果说明	标注状况
1	专利	土壤渗透管	李嘉诚, 罗贞, 黄家燕, 何辰辰, 和展梅, 康骏杰, 林娜	外观设计专利	已授权
2	论文	Short-Term Effects of Thinning on Tree Growth and Soil Nutrients in the Middle-Aged Chinese Fir (Cunninghamia lanceolata (Lamb.) Hook.) Plantations	Na Lin; Ninglong Deng; Dehao Lu; Huiyan Xie; Mingchun Feng; Shiqing Chen	Forests	见刊
3	论文	Plant Diversity and Composition in Masson pine Monocultures and Mixtures	Na Lin; Huiyan Xie; Tao Ma; Chunyong Li; Demin Huang; Mingxuan Zheng; Shiqing Chen	International Journal of Agriculture & Biology	见刊
4	论文	不同密度杉木人工林林分生长和林分结构差异研究	卢德浩; 陈世清; 谢惠燕; 邓宁栋; 冯铭淳; 林娜	《西北林学院学报》	见刊
5	论文	间伐保留密度对杉木人工林生长的影响研究	卢德浩, 冯铭淳, 黄焕强, 邱展鹏, 谢惠燕	《东北林业大学学报》	2024年第4期. (录用待刊)

五、科技成果统计表

期刊论文（含已录用）	论文数量及检索系统收录（篇）													
	总数		中文期刊		SCI		EI		SSCI		ISTP		其他	
	4.00		2		2		0		0		0		0	
	JCR大类分区（篇）（中科院期刊分区）													
	一区				二区				三区				其他	
	0				2				0				0	
	代表性论文（单篇最高影响因子）													
	发表期刊名称								影响因子					
	forests								2.90					
著作（不含论文汇编、成果汇编、文化艺术作品等）	数量（本）													
	合计		专著				编著				译著			
	0		0				0				0			
	代表性著作名称		无											
专利（件）	申请													
	合计		发明专利		实用新型专利		外观设计专利		PCT国际专利					
	1		0		0		1		0					
	授权													
	合计		发明专利		实用新型专利		外观设计专利		PCT国际专利					
	0		0		0		0		0					
标准（项）	总数		其中：		国标		行标		地标					
	0				0		0		0					
软件著作权（项）	0													
人才培养	人数				按职称				人才（团队）计划（人次）					
	合计	博士后	博士	硕士	合计	正高	副高	中级	国家级	省部级	荣誉名称			
	4.00	0	0	4	0	0	0	0	0	0	无			
项目后续资助	国家级项目后续资助（经费单位：万元）													
	国家自然科学基金						科技部项目（基础研究类）							
	项数		经费				项数		经费					
	0		0				0		0					

六、经费决算表

经费下达总额：（大写）	壹拾万圆整	（小写）	10
项目编号：	2021A1515011092	项目类型：	广东省自然科学基金-面上项目
项目名称：	生态公益林生态功能对经营措施的响应机制研究	项目负责人：	林娜
是否数学等纯理论基础研究项目： 否			
支出科目	经费支出(万元)	备注（说明）	
1. 设备费	0.00	无设备、软件等租赁和购买。	
2. 业务费	7.04	用于测试化验分析、购买实验材料，科研差旅和版面费。	
3. 直接人力资源成本	0.01	支付参与本项目的研究生的劳务费。	
4. 绩效支出	0.00	无绩效支出。	
5. 管理费用	0.50	学校扣除管理费	
6. 其他费用	0.00	无	
合计	7.55		

本研究获得广东省科学技术厅支持经费10万元。严格按照《关于生计财政科研项目资金拨付管理的暂行规定》（粤财教[2017]503号）文件，和《华南农业大学纵向科研项目管理办》进行支出。期末余额2.45万元（见经费决算表），用于支付3篇论文版面费，包括2篇SCI和一篇中文核心期刊，如下论文：

[1] 卢德浩，冯铭淳，黄焕强，邱展鹏，谢惠燕，林娜. 间伐保留密度对杉木人工林生长的影响研究. 东北林业大学学报，2024年第4期。（录用待刊）。

[2] Na Lin; Mingchun Feng; Huanqiang Huang; Zhanpeng Qiu; Tao Ma; Shiqing Chen; Effects of thinning on carbon storage in a mixed broadleaved plantation in subtropical area of China. (已投稿，返修阶段)。

[3] Na Lin; Huanqiang Huang; Zhanpeng Qiu; Zhifei Li; Yuheng He; Tao Ma; Shiqing Chen ; Mixed effects on leaf litter decomposition in *Pinus massoniana* monoculture and *Pinus massoniana* mixed with *Castanopsis fissa* forest in subtropical area of China. （已投稿，审稿阶段）

2. 会计师事务所信息

会计师事务所名称	无
签字注册会计师	无
防伪报备编号	无

八、专家意见表

专家1评议表						
1. 项目基本信息						
负责人		林娜		项目名称		生态公益林生态功能对经营措施的响应机制研究
项目编号		2021A1515011092		项目类别		广东省自然科学基金-面上项目
项目金额		10（万元）		自筹金额		0（万元）
项目承担单位		华南农业大学		项目参与单位		
2. 验收专家信息						
姓名		单位		职务职称		专家类别
专家1		*****		副教授		技术专家
3. 任务书指标完成情况						
成果内容			任务书指标	负责人填写的完成数	专家核实完成数	完成率
论文及专著情况	国家统计源刊物以上刊物发表论文（篇）		2	4	4	200%
	被SCI/EI/ISTP收录论文数（篇）		1	2	1	100%
	专著（册）		0	0	0	100%
	科技报告（篇）		1	1	1	100%
培养人才（人）			1	4	4	400%
引进人才（人）			0	0	0	100%
专利情况(项)	发明专利（件）	申请	0	0	0	100%
		授权	0	0	0	100%
	实用新型专利（件）	申请	0	0	0	100%
		授权	0	0	0	100%
	外观设计专利（件）	申请	0	1	0	100%
		授权	0	1	0	100%
	国外专利（件）	申请	0	0	0	100%
		授权	0	0	0	100%
其他	无		完成	完成	完成	
项目评价						
财务意见		经核查，本项目结余资金为2.45万元，违规使用的经费为0万元。				
验收结论		通过				
验收日期		2024-05-11				

专家2评议表

1. 项目基本信息

负责人	林娜	项目名称	生态公益林生态功能对经营措施的响应机制研究
项目编号	2021A1515011092	项目类别	广东省自然科学基金-面上项目
项目金额	10（万元）	自筹金额	0（万元）
项目承担单位	华南农业大学	项目参与单位	

2. 验收专家信息

姓名	单位	职务职称	专家类别
专家2	*****	研究员	技术专家

3. 任务书指标完成情况

成果内容			任务书指标	负责人填写的完成数	专家核实完成数	完成率
论文及专著情况	国家统计源刊物以上刊物发表论文（篇）		2	4	4	200%
	被SCI/EI/ISTP收录论文数（篇）		1	2	2	200%
	专著（册）		0	0	0	100%
	科技报告（篇）		1	1	1	100%
培养人才（人）			1	4	4	400%
引进人才（人）			0	0	0	100%
专利情况(项)	发明专利（件）	申请	0	0	0	100%
		授权	0	0	0	100%
	实用新型专利（件）	申请	0	0	0	100%
		授权	0	0	0	100%
	外观设计专利（件）	申请	0	1	1	超额完成
		授权	0	1	1	超额完成
	国外专利（件）	申请	0	0	0	100%
		授权	0	0	0	100%
其他	无		完成	完成	完成	

项目评价

有原创性 本项目通过对不同经营措施和不同采伐强度展开研究，探究不同树种的生态公益林生态功能的动态变化。阐明人工林生态功能发挥水平是支持、供给、调节3大功能共同作用的，相关研究结果为大面积人工林以增汇为目的的经营提供理论和实践依据。

财务意见

经核查，本项目结余资金为2.45万元，违规使用的经费为0万元。

验收结论

通过

验收日期	2024-05-16
------	------------

2021A151501109025

专家3评议表									
1. 项目基本信息									
负责人		林娜			项目名称		生态公益林生态功能对经营措施的响应机制研究		
项目编号		2021A1515011092			项目类别		广东省自然科学基金-面上项目		
项目金额		10（万元）			自筹金额		0（万元）		
项目承担单位		华南农业大学			项目参与单位				
2. 验收专家信息									
姓名		单位			职务职称		专家类别		
专家3		*****			教授		技术专家		
3. 任务书指标完成情况									
成果内容				任务书指标	负责人填写的完成数	专家核实完成数	完成率		
论文及专著情况	国家统计源刊物以上刊物发表论文（篇）			2	4	4	200%		
	被SCI/EI/ISTP收录论文数（篇）			1	2	2	200%		
	专著（册）			0	0	0	100%		
	科技报告（篇）			1	1	1	100%		
培养人才（人）				1	4	4	400%		
引进人才（人）				0	0	0	100%		
专利情况(项)	发明专利（件）	申请	0	0	0	100%			
		授权	0	0	0	100%			
	实用新型专利（件）	申请	0	0	0	100%			
		授权	0	0	0	100%			
	外观设计专利（件）	申请	0	1	1	超额完成			
		授权	0	1	1	超额完成			
	国外专利（件）	申请	0	0	0	100%			
		授权	0	0	0	100%			
其他	无			完成	完成	完成			
项目评价									
财务意见		经核查，本项目结余资金为2.45万元，违规使用的经费为0万元。							
验收结论		通过							
验收日期		2024-05-21							

九、验收结论表

验收结论：

该项目专家验收结论为通过。

该验收结论经公示无异议。

广东省基础与应用基础研究基金委员会意见：

生态公益林生态功能对经营措施的响应机制研究项目（项目编号：2021A1515011092），经专家评审及公示后，最终的验收结论为通过。

广东省基础与应用基础研究基金委员会（盖章）

2024 年 07 月 19 日

3. 主持：清远市生态功能等级提升研究，即杉木人工林大径材培育试验（合同）

清远市生态功能等级提升研究，即杉木人工 林大径材培育试验设计项目执行合同

项目名称：清远市生态功能等级提升研究

项目编号：CD-200506172212

甲方（采购人）：**清远市林业局**

电话：13927604899 传真：0763—3866275 地址：广东省清远市清城区

乙方（成交供应商）：**华南农业大学**

电话：18565503503 传真：020-85280256 地址：广州市天河区五山路 483 号

项目名称：清远市生态功能等级提升研究 项目编号：CD-200506172212

根据清远市生态功能等级提升研究项目（项目编号：CD-200506172212）的竞价结果，按照《中华人民共和国政府采购法》及其实施条例、《中华人民共和国合同法》的规定，经双方协商，本着平等互利和诚实信用的原则，一致同意签订本合同如下。

一、采购清单

序号	采购清单	数量
1	清远市生态功能等级提升研究	(1项)

二、合同金额

合同金额为（大写）：**肆拾玖万玖仟元（¥499,000.00元）。**

三、服务内容

为研究大径材培育技术，以广东省清远市金鸡林场、小龙林场、英德林场、杨梅林场不同龄级的杉木人工林为对象，采用目标树经营技术和传统抚育间伐技术，以及伐后施肥，开展杉木人工林大径材培育。

四、技术服务要求：

- 1、技术服务期限：自合同生效之日起至 2020 年 11 月 30 日。
- 2、跟踪分析期：自 2020 年 11 月 01 日起至 2023 年 9 月 30 日为本项目的保养期，在保养期内，乙方应继续按项目工作要求提供技术服务。
- 2、项目实施范围：清远市生态功能等级提升研究，即杉木人工林大径材培育试验设计。
- 3、工作内容：
 - (1) **实地调查**：使用现场调查法，调查金鸡林场、小龙林场、英德林场、杨梅林场杉木林林分基本情况和立地情况（郁闭度、平均胸径、平均树高、林龄、密度、地貌、坡向、坡位、蓄积量、病虫害和土壤等）。
 - (2) **试验设计和研究**：根据踏查结果，在金鸡林场、小龙林场、英德林场、杨梅林场选取代表性小班设置固定样地进行试验设计。设计抚育总面积 112 亩，分布在金鸡林场、小龙林场、英德林场、杨梅林场四个林场，涉及 4 个作业小班，进行科学研究。
- 4、技术服务质量要求：

- (1) **提供土壤分析报告：**在四个林场指定区域针对杉木种植进行土壤分析，提出施肥参数（包括施肥时间、每株数量、施肥方式、复合肥的各元素含量等）。
- (2) **提供病虫害防治分析报告：**对四个林场指定区域的病虫害防治进行分析。
- (3) **提供间伐强度分析报告：**对四个林场每个指定区域，将其分为三个立地条件相似的试验区块，进行不同间伐强度的对比试验，分析其三年后对杉木生长的效果。

五、甲方乙方的权利和义务

（一） 甲方的权利和义务

- 1. 负责传统间伐的采伐、采伐目标树经营中的移除木，和施肥。
- 2. “清远市生态功能等级提升研究”制订后，负责组织验收。
- 3. 支付给乙方项目款。

（二） 乙方的权利和义务

- 1. 调查林分改造前后的林分生产状况，并根据大量文献和生产实践，准确提出“清远市生态功能等级提升研究”方案。
- 2. 对项目的作业设计进行指导，并跟踪评估林分效益。
- 3. 协助甲方做好“清远市生态功能等级提升研究”验收工作。

六、付款方式

- (1) 合同签订之日起 30 个工作日内，支付合同总价 30%，完成项目设计和项目实施分析报告，于 2020 年 11 月前经专家验收后支付余款。
- (2) 乙方凭以下有效文件与甲方结算：
 - 1) 合同；
 - 2) 乙方开具的正式发票；
 - 3) 中标通知书。
- (3) 因甲方使用的是财政资金，甲方在前款规定的付款时间为向政府采购支付部门提出办理财政支付申请手续的时间（不含政府财政支付部门审核的时间），在规定时间内提出支付申请手续后即视为甲方已经按期支付。

七、验收要求：

乙方应先自行组织相关人员提出研究方案，编制作业设计按照检查验收办法对项目完成情况进行全面自查。自查合格后确认具备验收条件的，应及时编制验收报告（含综合设计报告、杉木生长效果报告、土壤分析报告、病虫害防治分析报告、间伐强度分析报告等），完整提交全部成果并通过专家验收会验收。

八、知识产权归属

乙方应保证本项目的投标技术、服务或其任何一部分不会产生因第三方提出侵犯其专利

权、商标权或其他知识产权而引起的法律和经济纠纷；如因第三方提出其专利权、商标权或其他知识产权的侵权之诉，则一切法律责任由乙方承担。

九、保密

项目实施过程中至乙方正式向甲方交付技术文档资料时止，乙方必须采取措施对本项目实施过程中的数据、源代码、技术文档等资料保密，否则，由于乙方过错导致的上述资料泄密的，乙方必须承担一切责任。项目完成后，甲、乙双方均有责任对本项目的技术保密承担责任。

- 1) 未经乙方事先书面同意，甲方不得将由乙方为本合同提供的条文、规格、计划、图纸、模型、样品或资料提供给与本合同无关的任何第三方，不得将其用于履行本合同之外的其它用途。即使向与履行本合同有关的人员提供，也应注意保密并限于履行合同所必需的范围。
- 2) 除了合同本身之外，上款所列举的任何物件均是乙方的财产。如果乙方有要求，甲方在完成合同后应将这些物件及全部复制件还给乙方。

十、违约责任与赔偿损失

- 1) 乙方提供的服务不符合采购文件、投标文件或本合同规定的，甲方有权拒收，并且乙方须向甲方支付本合同总价 5%的违约金。
- 2) 乙方未能按本合同规定的交货时间交付货物的/提供服务，从逾期之日起每日按本合同总价 3%的数额向甲方支付违约金；逾期 15 天以上（含 15 天）的，甲方有权终止合同，要求乙方支付违约金，并且给甲方造成的经济损失由乙方承担赔偿责任。
- 3) 甲方无正当理由拒收接受服务，到期拒付服务款项的，甲方向乙方偿付本合同总价 5%的违约金。甲方逾期付款，则每日按本合同总价的 3%向乙方偿付违约金。
- 4) 其它违约责任按《中华人民共和国合同法》处理。

十一、 争端的解决

合同执行过程中发生的任何争议，如双方不能通过友好协商解决，甲、乙双方一致同意向甲方所在地人民法院提起诉讼。

十二、 不可抗力

任何一方由于不可抗力原因不能履行合同时，应在不可抗力事件结束后 1 日内向对方通报，以减轻可能给对方造成的损失，在取得有关机构的不可抗力证明或双方谅解确认后，允许延期履行或修订合同，并根据情况可部分或全部免于承担违约责任。

十三、 税费

在中国境内、外发生的与本合同执行有关的一切税费均由乙方负担。

十四、 其它

- 1) 本合同所有附件、竞价公告、投标文件、中标通知书均为合同的有效组成部分，与本合同具有同等法律效力。
- 2) 在执行本合同的过程中，所有经双方签署确认的文件（包括会议纪要、补充协议、往来信函）即成为本合同的有效组成部分。
- 3) 如一方地址、电话、传真号码有变更，应在变更当日书面通知对方，否则，应承担相应责任。
- 4) 除甲方事先书面同意外，乙方不得部分或全部转让其应履行的合同项下的义务。

十五、 合同生效

- 1) 合同自甲乙双方代表或其授权代表签字盖章之日起生效。
- 2) 合同壹式份，其中甲乙双方各执份，采购代理机构执壹份，政府采购监督管理部门份。

甲方（盖章）：

乙方（盖章）：

代表：

代表：

签订地点：

签订日期：年 月 日

签订日期： 年 月 日

开户名称：华南农业大学

银行账号：3602002609000310520

开户行：广州工商银行五山支行

4. 主持：西江流域水源涵养林模式构建与筛选（合同）

广东省林学会科技计划项目 合同书

项目编号： 2021-GDFS-KJ-05

项目名称：西江流域水源涵养林模式构建与筛选

计划类别：科技计划项目

管理单位(甲方)：广东省林学会

承担单位(乙方)：广东省德庆林场

专业委员会（丙方）：森林经营专业委员会

合同起止年限：2021 年 11 月至 2024 年 10 月

广东省林学会

二〇二一年

填写说明

1. 合同书的内容是项目考核验收的重要依据，各项内容应实事求是、准确完整。

2. 合同书由项目承担单位填写，经省林学会专业委员会审核后按要求上报省林学会。

3. 合同书中的单位名称应写全称，并与单位公章一致。承担单位对所填写信息的真实性、完整性和有效性进行审核，并对其真实性、完整性负责。

5. 项目合同书一律用 **A4 纸** 双面打印装订，请勿另加封面；正文用仿宋体四号字，行距 30 磅。

一、项目信息表

项目编号	2021-GDFS-KJ-05					
项目名称	西江流域水源涵养林模式构建与筛选					
起始时间	2021 年 11 月		终止时间		2024 年 10 月	
项目类型	☒ 科学研究 ☐ 技术开发 ☐ 成果转化 ☐ 其它					
项目承担单位	名 称	广东省德庆林场				
	单位负责人	龚益广	职 务	副场长	技术职称	高级工程师
	单位所在地	肇庆市德庆县碧华苑一期				
	通讯地址	肇庆市德庆县碧华苑一期			邮编	526699
	单位类别	☐ 大专院校 ☐ 科研院所 ☐ 企业 ☒ 其他				
其他主要参加单位	序号	单 位 名 称				
	1	中国林业科学研究院热带林业研究所				
	2	华南农业大学				
项目负责人	姓 名	梁育兴	性别	☒ 男 ☐ 女	出生年月	1975.2
	学 历	☐ 研究生 ☒ 大学 ☐ 大专 ☐ 中专 ☐ 其他				
	学 位	☐ 博士 ☐ 硕士 ☐ 学士 ☒ 其他				
	职 称	☐ 正高级 ☒ 副高级 ☐ 中级 ☐ 初级 ☐ 其他				
	移动电话	13929855878	E-mail	254724982@qq.com		
项目联系人	联系电话	王凯	E-mail	513878721@qq.com		
预期成果类型	☐ 专利 ☐ 技术标准 ☐ 新产品（或林木新品种） ☐ 新工艺 ☐ 新材料 ☐ 计算机软件 ☒ 论文论著 ☒ 研究报告 ☐ 其他					
项目经费预算	33 万元，其中：省林学会补助 3 万元，自筹 30 万元。					
承担单位开户银行	农业银行德庆支行		银行帐号		44658001040032180	

二、项目立项背景与目的意义(限 800 字)

本研究所指的西江为广西壮族自治区梧州市至广东省佛山市三水区思贤滘河段。西江是广东省的重要河流，是珠江的四大干流之一和重要水源，流经肇庆、云浮及珠三角经济发达地区，是流经地市城乡居民生活、农业和工业用水的重要保障。西江还是连接广东和广西的重要水运要道，是广东和广西两省的物资交流和经济发展的主要渠道。

水是西江滋养泛珠三角居民、促进两广经济和物资往来的物质基础。西江流域森林是影响西江水量和水质的主要因素。西江流域是广东省重点林区，建国以来西江流域森林曾长期以木材生产为主，加之林种比例和林分结构不合理，抚育经营投入较少，其水源涵养功能下降，进而导致西江枯水期出现的频率和时期逐年增加，严重制约了西江流域甚至广东广西两省社会经济的可持续发展。21 世纪初我国林业建设开始从以木材生产为向以生态建设为主转变，广东省在全省重点林区和主要河流域开展水源涵养林建设。西江流域是广东省水源涵养林建设的重点区域，每年承担上万亩的高质量水源林建设任务，亟需水源涵养林培育技术的支撑。米老排和红锥是两广地区水源涵养林建设的主要树种，本项目以米老排和红锥为造林树种，开展西江流域水源涵养林模式构建与筛选研究，目的在于筛选出适合西江流域水源涵养林的混交比例和方式，为西江流域水源涵养林的建设提供最佳树种混交模式，提高西江流域水源涵养林的水分涵养能力，降低西江枯水频率和时长，保证西江作用和功能的正常发挥，研究结果对于维护西江在社会、经济发展中的作用和地位具有重要的意义。

三、科学研究、技术开发、成果转化的主要内容(成果转化项目要说明所利用的主要技术成果)

1、米老排与红锥混交模式的构建

设置 3 种混交方式和 3 种混交比例，共有 9 个混交组合处理，以 2 个树种的纯林为对照，累计 11 种处理。每种处理面积为 3 亩，每亩种植 111 株；每个处理设置 4 重复，共营建 150 亩混交模式试验林。

2、不同混交模式生物量与土壤持水量的分析

研究冠层生物量、灌草层生物量、凋落物量；0-10cm 层、10-20cm 层、20-30cm 层土壤持水量的测定分析。

3、不同混交模式水源涵养功能综合评价

综合不同模式、不同层次生物量和土壤持水量指标，评价不同混交模式的水源涵养功能，筛选出最佳混交方式。

四、研究方法与技术路线

1、研究方法

研究方法参照赵阳等人的方法（赵阳，王飞，齐瑞，等. 白龙江、洮河林区 5 种典型森林枯落物与土壤层水源涵养效应[J]. 2021, 28(3): 118-125）。

1.1 样地设置

在每个重复的混交模式林中设置 $50\text{m} \times 50\text{m}$ 的样地 1 块，逐一测定乔木树种的胸径、树高、冠幅等，灌木层设置为 $2\text{m} \times 2\text{m}$ ，草本层 $1\text{m} \times 1\text{m}$ ，采用对角线法调查物种多样性，对乔木幼苗、幼树（ $\text{DBH} < 5\text{cm}$ ）逐一测量并记录其高度、地径。

1.2 枯落物量及持水性测定

用 5 点法在上述样地内取面积为 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 的典型样方，将枯落物分为木残体、未分解和半分解层（木残体层指落叶上层基本保持原状较粗的木质化的枝干脱落物；未分解层指基本保持原形状和质地的落叶、树皮、花、果等；半分解层指植物组织为半分化状态或部分残余组织尚保持原形态）收集并称重后，置于 85°C 烘箱中烘至恒重后称重，计算单位面积的枯落物蓄积量和涵养的水量。枯落物持水率及吸水速率采用浸水法测定：将烘干后的枯落物装入尼龙网袋称重后浸水，分别测定浸水 0.5、1、2、3、4、8、10、12、24h 的质量变化，每次以无水滴下为标准进行称重，以此研究枯落物持水过程及吸水速率，并计算枯落物持水量和持水率。

并在西江流域现有的水源涵养林，选择 3-4 种林型，设置典型样地（ $25\text{m} \times 25\text{m}$ ），进行枯落物量及持水性测定。筛选出水源涵养效果较好

的混交模式。

1.3 土壤物理性质及持水性测定

在样地内按照 5 点法挖土壤剖面，用环刀法分 4 层：0-10cm、10-20cm、20-30cm 取原状土，每层 4 个重复，测定土壤容重、干重等，以此计算土壤孔隙度持水量等指标。测定及计算方法参见中华人民共和国林业行业标准《森林土壤水分 物理性质的测定》(LY/T 1215-1999)。

1.4 数据处理 采用 Excel 软件进行相关数据的处理和绘图，用 SPSS 统计分析软件对重复观测结果进行单因素方差分析 ANOVA 和差异显著性检验 (Duncan 法) 并进行曲线拟合。

2、技术路线

项目从试验林地选择开始，按试验设计进行造林，然后在试验林内设置样地和样方，每年开展生长调查和林木冠层、凋落物层、土壤层的饱和持水量，最后对数据进行分析，用以撰写论文和技术总结。

技术路线绘成如图 1 所示：

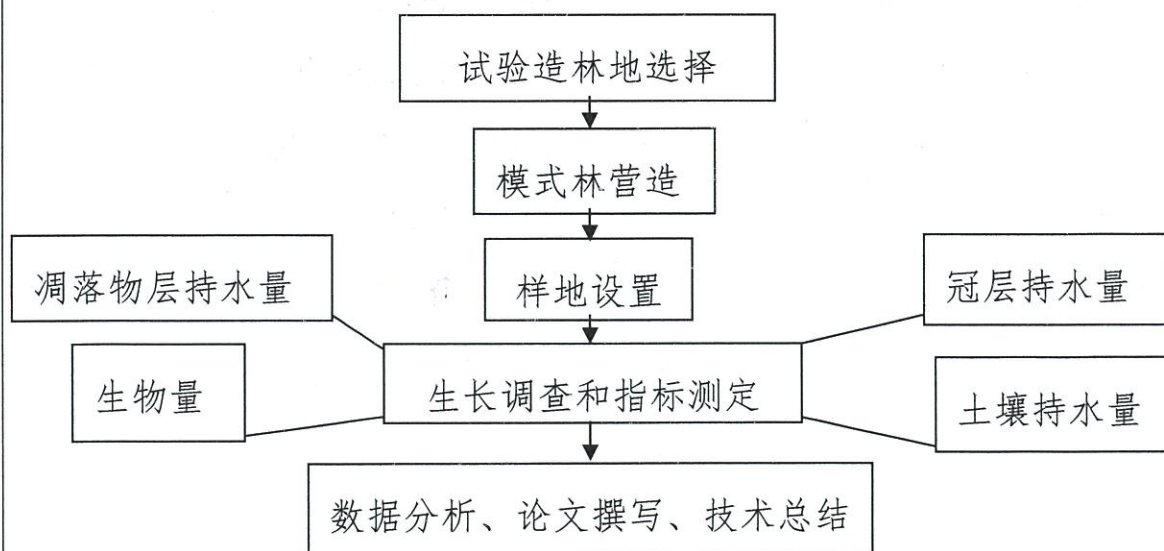


图 1 西江流域水源涵养林模式构建与筛选技术路线图

五、考核目标(要求达到的主要技术、经济指标等)

(一) 考核指标

1. 主要技术经济指标

筛选出水源涵养林模式 1 项，总结水源涵养林的营建技术 1 项。

2. 试验示范基地、中试线、生产线及其规模

建立试验示范林 150 亩。

3. 人才队伍建设

1-2 名项目成员在专业技术资格上获得晋升。

4. 其它应考核的指标

无。

(二) 成果呈现形式与数量(如形成的知识产权、技术标准、新技术、新产品、新装置、论文专著等数量等)

1. 发表论文 1 篇。

2. 提交项目结题报告 1 份。

3. 提交技术报告 1 份。

六、预期主要经济、社会和生态效益

项目营建的 150 亩米老排示范林，以 30 年为轮伐期，在第 30 年主伐时蓄积量最高可达 2818m³，可产规格材 1962m³，薪材 842 m³，以统材 1100 元/m³、薪材 500 元/ m³ 计算，可获总收入 258 万元。扣除苗木、肥料和造林人工费用 110 万元，以木材采伐运输成本 230 元/ m³、薪材采伐运输成本 120 元/ m³ 计算，可获利 162 万元。

根据石玉梅等人（石玉梅，徐畅，唐小囡. 抚顺东部水源涵养林涵养水量价值估算[J]. 黑龙江环境通报，2008，32（2）: 22-23，29）的计算方式，150 亩试验林可涵养水量将达到 4900 吨，价值可达 28000 多元。

本项目的实施，在林地清理、挖穴、栽植、抚育等工序都需要雇请临时工，造林及抚育人工费预算为 20 万元，为务工人员提供务工机会，增加务工收入，解决生活经济需要。

七、项目计划进度目标

起止时间	项目完成进度目标
2021.11-2022.6	完成试验林的造林工作。
2022.7-2022.12	完成试验样地设置和林分生长调查、凋落物层、草本层、林地持水量测定。
2023.1-2023.12	完成试验林的抚育、年度调查、数据分析，模式筛选，撰写论文。
2024.1-2024.10	试验林抚育、模式应用，项目总结。

八、经费概算（单位：万元）

（一）经费来源

年 度	2021 年	2022 年	2023 年	合计
学会拨款	3			3
单位自筹	5	15	10	30

（二）经费支出预算

序号	预算科目	预算经费	
		学会补助经费	自筹经费
1	设备费		
2	材料费		10.00
3	测试化验加工费		
4	燃料动力费		
5	差旅费/会议费/国际合作与交流费	2.00	
6	出版/文献/信息传播/知识产权事务费	0.50	
7	劳务费		20.00
8	专家咨询费	0.50	
9	其他支出		
合计			

注：学会补助经费主要用于“差旅费/会议费/国际合作与交流费”、“出版/文献/信息传播/知识产权事务费”和“专家咨询费”。

九、项目组织实施机制和知识产权管理

1. 组织管理措施（包括自筹经费筹措）

项目结合项目承担单位在建的广东省高质量水源林建设工程或在研的林业科技成果推广示范项目，以建促研，以研助建，形成产研共升的效果。项目单位成立项目执行组，建立项目交流群，定期召开项目例会。自筹经费通过上述高质量水源林或林业科技成果推广示范项目的部分资金作为配套保障，项目经费设立独立经济科目，专款专用。

2. 项目参与单位的任务分工

项目单位	任务分工
广东省德庆林场	项目主持，负责自筹经费，技术实施，样地设置和维护，取样。
中国林业科学研究院热带林业研究所	研究方案制订，样品测定，数据分析，论文撰写。
华南农业大学	样品测定，数据分析，论文撰写。

3. 知识产权与成果管理及权益分配

项目科技成果和论文属广东省德庆林场、中国林业科学研究院热带林业研究所、华南农业大学共有，三方均可用其申请成果推广和职称晋升，由第一完成单位负责成果登记和管理。

十、参加项目单位及主要人员(项目负责人在分工栏注明)

姓名	性别	年龄	职务职称	学历	所在单位	分工	签名
梁育兴	男	46	科长/高级工程师	本科	广东省德庆林场	主持	梁育兴
王凯	男	33	副科长/工程师	本科	广东省德庆林场	试验布设	王凯
李春永	男	39	副科长/工程师	本科	广东省德庆林场	示范林营建与管护	李春永
马焕基	男	37	站长/工程师	本科	广东省德庆林场	示范林营建与管护	马焕基
李荣生	男	46	副研究员	研究生	中国林业科学研究院 热带林业研究所	试验设计	李荣生
陈世清	男	55	教授	研究生	华南农业大学	试验设计	陈世清
林娜	女	35	讲师	研究生	华南农业大学	外业调查	林娜
龚益广	男	50	副场长/高级工程师	研究生	广东省德庆林场	技术指导	龚益广

姓名	性别	年龄	职务职称	学历	所在单位	分工	签名
文恩德	男	55	副场长/高级工程师	本科	广东省德庆林场	技术指导	文恩德
何 华	男	54	副场长/高级工程师	本科	广东省德庆林场	技术指导	何 华
张少杰	男	31	科员/助理工程师	本科	广东省德庆林场	外业调查	张少杰
陈志安	男	30	科员/助理工程师	本科	广东省德庆林场	外业调查	陈志安
邓万强	男	37	副主任/工程师	本科	广东省德庆林场	外业调查	邓万强
曹 谊	女	34	副主任/工程师	本科	广东省德庆林场	数据分析	曹 谊
叶晓鸿	男	34	副科长/工程师	本科	广东省德庆林场	数据分析	叶晓鸿
姜仲翔	男	53	主任/工程师	本科	广东省德庆林场	数据分析	姜仲翔

十一、合同主要条款

根据《中华人民共和国合同法》及广东省林学会科技项目管理有关要求，为顺利完成项目计划任务，经协商一致，特订立本合同，各方共同遵守。

1、本项目管理单位为广东省林学会(下称甲方)，负责对本项目实施监督和管理；各专业委员会（丙方）负责本专委会项目的归口管理。

2、任何一方均应严格遵守合同，甲方负责按合同要求核拨项目经费，并监督、检查项目实施，及时处理应由甲方解决的问题；乙方应切实落实好项目配套经费，严格按本合同履行承担的项目任务，并及时报送项目执行进度情况报告等材料。

3、任何一方凡因不可抗力不能履行合同义务时，应及时通知相关方，并在合理期间内出具合同不能履行的证明，并应采取适当措施减轻损失。

4、本合同的争议应由各方本着协商一致的原则解决，当合同需要更改或解除时，应订立变更条款或协议，需要仲裁和审理应在甲方所在地进行。

5、项目完成后，应按科技计划管理的有关规定，由乙方提出申请，经丙方同意后向甲方提交书面报告，并申请组织验收。

6、本项目技术成果的归属、转让和实施技术成果所产生的经济利益的分享，除各方另有约定处，按有关法规执行。

7、本合同一式五份，各份具有同等效力，甲方存二份，乙方存二份，专业委员会存一份，本合同自签字之日起生效。各方均应负合同的法律责任，不应受机构、人事变动而影响。

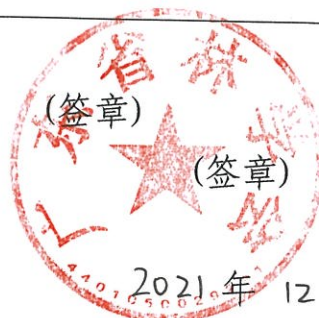
十二、本合同签约各方

管理单位(甲方): 广东省林学会

单位负责人:

联系人(项目主管):

电话: 1580201885



2021年12月27日

承担单位(乙方): 广东省德庆林场

单位负责人:

联系人姓名:

电话: 13822661691



(签章)



2021年12月27日

(开户银行: 中国农业银行德庆支行; 账号: 44658001040032180)

参加单位(1): 中国林业科学研究院热带林业研究所

单位负责人:

(签章)

联系人姓名:

电话: 13640823235



2021年12月27日

参加单位(2): 华南农业大学

单位负责人:

(签章)

联系人姓名:

电话: 18565503503



(签章)

2021年12月27日

专业委员会:

专委会负责人:

(签章)

联系人姓名:

电话: 13602423089



(签章)

2021年12月27日

5. 主持：广东省龙眼洞林场经营方案（2021-2025 年）（修编）（合同）

4X KJHT20212076

合同编号：

技术服务合同

项目名称：广东省龙眼洞林场森林经营方案（2021-2025 年）（修编）

委托方（甲方）：广东省龙眼洞林场（广东莲花顶森林公园管理处）

受托方（乙方）：华南农业大学

签订时间：2021 年 9 月 10 日

中华人民共和国科学技术部印制

填 写 说 明

一、本合同为中华人民共和国科学技术部印制的技术服务合同示范文本，各技术合同认定登记机构可推介技术合同当事人参照使用。

二、本合同书适用于一方当事人（受托方）以技术知识为另一方（委托方）解决特定技术问题所订立的合同。

三、签约一方为多个当事人的，可按各自在合同关系中的作用等，在“委托方”、“受托方”项下（增页）分别排列为共同委托人或共同受托人。

四、本合同书未尽事项，可由当事人附页另行约定，并作为本合同的组成部分。

五、当事人使用本合同书时约定无需填写的条款，应在该条款处注明“无”等字样。

业
科技
莲花
★

电子信箱: 104553727@qq.com

电子信箱: nalin@scau.edu.cn

1. 技术服务的目标：完成广东省龙眼洞林场森林经营方案（2021-2025 年）修编工作。

2. 技术服务的内容：根据修订后的《森林法》、《广东省森林经营方案编制（修编）技术指引（试行）》及相关文件精神，结合甲方提供的最新资料对《广东省龙眼洞林场森林经营方案（2018-2025）》进行修编。

3. 技术服务的方式：完成《广东省龙眼洞林场森林经营方案（2021-2025 年）（修编）》（送审稿）编制。

第二条：乙方应按下列要求完成技术服务工作：

1. 技术服务地点：广州

2. 技术服务期限：2021 年 9 月-2021 年 10 月

3. 技术服务进度：2021 年 9 月 30 日前完成《广东省龙眼洞林场森林经营方案（2021-2025 年）（修编）》（初稿）；2021 年 10 月 10 日前《广东省龙眼洞林场森林经营方案（2021-2025 年）（征求意见稿）；2021 年 10 月 31 日前《广东省龙眼洞林场森林经营方案（2021-2025 年）（送审稿）。

4. 技术服务质量要求：符合国家与地方的相关政策、法律要求。

第三条：为保证乙方有效进行技术服务工作，甲方应当向乙方提供下列工作条件和协作事项：

1. 提供技术资料：

(1) 2018-2021 年森林资源数据库及图件；

(2) 2018 年-2021 年历年计划与总结；

(3) 龙眼洞林场及其相关的区划、规划及可行性研究报告等；

(4) 正在开展或即将开展的林业科学研究材料；

(5) 乙方认为与进行森林经营方案修编的有关的其他资料。

2. 提供工作条件: 派员全过程指导与参加修编工作, 并为乙方开展资料收集、修编提供方便。

3. 其他: 无。

第四条: 甲方向乙方支付技术服务报酬及支付方式为:

1. 技术服务费总额(含税价)为: 人民币壹拾万元(¥100 000.00)

2. 技术服务费由甲方 两次 支付乙方, 签订合同后十天内, 支付合同款的 50%, 即支付: 伍万元整; 根据本合同第六条之约定验收合格后支付合同款的 50%, 即支付: 伍万元整。

乙方开户银行名称、地址和帐号为:

开户银行: 工商银行广州市五山支行

地址: 华南农业大学

帐号: 3602002609000310520

第五条: 本合同的变更必须由双方协商一致, 并以书面形式确定。但有下列情形之一的, 一方可以向另一方提出变更合同权利与义务的请求, 另一方应当在 10 日内予以答复:

1. 甲方未及时提供乙方相关支持材料, 需变更合同时间

第六条: 双方确定以下列标准和方式对乙方的技术服务工作成果进行验收:

1. 乙方完成技术服务工作的形式: 经营方案修编文本 30 份及电子版。

2. 技术服务工作成果的验收标准: 符合国家、地方有关政策、

法律要求。

3. 技术服务工作成果的验收方法：由甲方确定验收方式，验收相关费用由甲方承担。

4. 验收的时间和地点：由甲方确定。

第七条：双方确定：

1. 在本合同有效期内，甲方利用乙方提交的技术服务工作成果所完成的新的技术成果，归甲（甲、双）方所有。

2. 在本合同有效期内，乙方利用甲方提供的技术资料和工作条件所完成的新的技术成果，归双（乙、双）方所有。

第八条：双方确定，按以下约定承担各自的违约责任：

1. 乙方违反本合同第二条约定，应当赔偿甲方的费用损失。
2. 甲方违反本合同第三条约定，应当赔偿乙方的费用损失。

第九条：双方确定，在本合同有效期内，甲方指定郭勇为甲方项目联系人，乙方指定林娜为乙方项目联系人。项目联系人承担以下责任：

1. 项目的开展和费用支付
2. 项目验收

一方变更项目联系人的，应当及时以书面形式通知另一方，未及时通知并影响本合同履行或造成损失的，应承担相应的责任。

第十条：双方确定，发生不可抗力，致使本合同的履行成为不必要或不可能的，可以解除本合同。

第十一条：双方因履行本合同而发生的争议，应协商、调解解决。

协商、调解不成的，任何一方可以依法向天河区人民法院起诉。

第十二条：双方确定：本合同及相关附件中所涉及的有关名词和技术术语，其定义和解释如下：无。

第十三条：与履行本合同有关的下列技术文件，经双方确认后，为本合同的组成部分：无。

第十四条：双方约定本合同其他相关事项为：无。

第十五条：本合同一式肆份，双方各执贰份，具有同等法律效力。

第十六条：本合同经双方签字盖章后生效。

甲方：广东省龙眼洞林场（广东莲花顶森林公园管理处）（盖章）

法定代表人/委托代理人：周志（签名）

2024 年 9 月 10 日

乙方：华南农业大学（盖章）

法定代表人/委托代理人：刘非（签名）

2024 年 9 月 10 日

6. 主持：阔叶混交林大径材培育潜力调查与培训（合同）

技 术 服 务 合 同

合同编号：

项 目 名 称 ：阔叶混交林大径材培育潜力调查及培训

甲方（委托人）： 河源绿兴园林绿化有限公司

乙方（受托人）： 华南农业大学

签订日期 ： 年 月 日

签订地点 ： 广州市

甲方（委托人）：河源绿 兴园林绿化有限公司

乙方（受托人）：华南农业大学

甲方委托乙方承担阔叶混交林大径材培育潜力调查及培训项目，根据《中华人民共和国合同法》及相关法律法规的规定，结合该项目的具体情况，双方在平等、自愿、互利的基础上，就服务事宜经充分协商，签订本合同。

一、项目内容和成果分配

（一）项目内容

本项目主要旨在调查阔叶混交林中木荷、红锥、火力楠培育大径材的潜力，具体包含以下相关内容：

1. 明确阔叶混交林中目的树种和优势树种；
2. 根据林分现状，并根据培育大径材的目的，给出林分调整方案。

（二）成果分配

本项目技术成果的归属、转让和实施技术成果所产生的经济利益由甲、乙双方共享。本专项结题后，如申请科技成果鉴定、申报奖励等，视各承担单位及个人贡献情况经协商排名。

二、服务期限

自 2021 年 7 月 16 号起至 2021 年 12 月 31 号。如遇不可抗力自然因素，服务期可顺延。

三、合同价款

本合同服务费用为人民币 伍万元整（¥50000.00 元）。

四、付款方式

自签订合同之日起 10 个工作日内，一次性支付人民币：伍万元整（¥50000.00 元），甲方在付款前有权要求乙方先开具等额合法的发票，否则甲方有权顺延付款期限直至乙方开具等额合法的发票。

五、双方权利义务

（一）甲方的权利和义务

1. 支付技术服务项目费用。
2. 对本项目实施全过程进行监管、协调。对不符合合同约定的服务内容，甲方有权要求乙方限期更正，并有权利要求乙方更换其认为不合适的工作人员。
3. 同意乙方与有关权威部门进行技术攻关合作。

（二）乙方的权利和义务

1. 按照甲方的要求，认真开展研究、培训工作，确保研究、培训工作顺利完成。
2. 在项目执行期间，及时向甲方反馈进度信息、存在问题与解决方案。

六、项目廉政守则

（一）双方责任

1. 严格遵守国家各项法律、法规、相关政策，以及廉政建设的各项规定。
2. 严格执行技术服务项目合同文件，自觉按合同办事。
3. 发现对方在业务活动中违规、违纪、违法行为的，应及时提醒对方，情节严重的，应向其上级主管部门或纪检监察、司法等有关机关举报。

（二）甲方责任

1. 不准向乙方和相关单位索要或接受回扣、礼金、有价证券、贵重物品和好处费、感谢费等。

2. 不准在乙方和相关单位 报销任何应由甲方或个人支付的费用。

3. 不准要求、暗示或接受乙方和相关单位为个人装修住房、婚丧嫁娶、配偶子女的工作安排以及出国（境）、旅游等提供方便。

4. 不准参加有可能影响公正执行公务的乙方和相关单位的宴请、健身、娱乐等活动。

5. 不准为配偶、子女、亲属向乙方介绍或参与同甲方项目服务合同有关的设备、材料、项目分包、劳务等经济活动。不得以任何理由向乙方和相关单位推荐分包单位和要求乙方购买项目服务合同规定以外的材料、设备等。

（三）乙方责任

1. 不准以任何理由向甲方，相关单位及其工作人员索要、接受或赠送礼金、有价证券、贵重物品及回扣、好处费、感谢费等。

2. 不准以任何理由报销与项目无关的费用。

3. 不准接受或暗示为甲方、相关单位或个人装修住房、婚丧嫁娶、配偶子女的工作安排以及出国（境）、旅游等提供方便。

4. 不准以任何理由组织有可能影响项目正常进行的宴请、健身、娱乐等活动。

（四）项目廉政违约责任

1. 甲方工作人员有违反六（一）、六（二）责任行为的，按照管理权限，依据有关法律法规和规定给予党纪、政纪处分或组织处理；涉嫌犯罪的，移交司法机关追究刑事责任；给乙方单位造成经济损失的，应予以赔偿。

2. 乙方工作人员有违反六（一）、六（三）责任行为的，按照管理权限，依据有关法律法规和规定给予党纪、

政纪处分或组织处理；涉嫌犯罪的，移交司法机关追究刑事责任；给甲方单位造成经济损失的，应予以赔偿。

七、其他

（一）本合同自甲乙双方法定代表人或签约代表签字盖章之日起生效。

（二）本合同在履行过程中如发生争议，双方可协商解决，若调解不成，可向双方当地市人民法院起诉。

（三）未尽事宜，甲乙双方可根据实际需要另行签订补充协议，补充协议与本合同具同等法律效力。

（四）本合同一式六份，甲乙双方各执三份，经签字盖章后生效。

甲方：(签章)

乙方：(签章)华南农业大学

法定代表人/授权代表人：

法定代表人/授权代表人：

地址：河源市紫金县

地址：广州天河区五山路 483 号

统一社会信用代码：

开户银行：广州工行五山支行

9144162132483963811

帐号：3602002609000310520

7. 主持：广东省龙眼洞林场森林经营方案（2021-2025 年）
（再修编）（合同）

合同编号：

技术服务合同

项目名称：广东省龙眼洞林场森林经营方案（2021-2025
年）（再修编）

委托方（甲方）：广东省龙眼洞林场（广东莲花顶森林
公园管理处）

受托方（乙方）：华南农业大学

签订时间：2023 年 10 月 09 日

中华人民共和国科学技术部印制

填 写 说 明

一、本合同为中华人民共和国科学技术部印制的技术服务合同示范文本，各技术合同认定登记机构可推介技术合同当事人参照使用。

二、本合同书适用于一方当事人（受托方）以技术知识为另一方（委托方）解决特定技术问题所订立的合同。

三、签约一方为多个当事人的，可按各自在合同关系中的作用等，在“委托方”、“受托方”项下（增页）分别排列为共同委托人或共同受托人。

四、本合同书未尽事项，可由当事人附页另行约定，并作为本合同的组成部分。

五、当事人使用本合同书时约定无需填写的条款，应在该条款处注明“无”等字样。

森林公园
五星
青年
工业
联合技术

第一条：甲方委托乙方进行技术服务的内容如下：

1. 技术服务的目标：完成广东省龙眼洞林场森林经营方案(2021-2025年)(再修编)

2. 技术服务的内容：根据《中华人民共和国森林法》、《广东省森林质量精准提升行动方案(2023-2035年)》及国家森林经营试点等相关文件精神，结合甲方提供的最新资料，完成《广东省龙眼洞林场森林经营方案(2021-2025年)(再修编)》。

3. 技术服务的方式：完成广东省龙眼洞林场森林经营方案(2021-2025年)(再修编)编制。

第二条：乙方应按下列要求完成技术服务工作：

1. 技术服务地点：广州

2. 技术服务期限：2023年9月—2023年11月

3. 技术服务进度：2023年10月31日前完成《广东省龙眼洞林场森林经营方案(2023-2025年)(初稿)》；由甲方提出修后意见后十天内提交《广东省龙眼洞林场森林经营方案(2023-2025年)》(征求意见稿)；收到征求意见稿后十天内提交《广东省龙眼洞林场森林经营方案(2023-2025年)》(送审稿)。

4. 技术服务质量要求：符合国家与地方的相关政策法律、规范要求。

第三条：为保证乙方有效进行技术服务工作，甲方应当向乙方提供下列工作条件和协作事项：

1. 提供技术资料：

(1) 2021-2023年森林资源数据库及图件；

- (2) 2021 年-2023 年森林历年每个小班森林经营完成情况;
- (3) 龙眼洞林场及其相关的区划、规划及可行性研究报告等;
- (4) 正 2024 年、2025 年需要作业的小班数据, 以及需要开展的工程项目;
- (5) 甲方对相关数据的准确性负责, 如需进行补充外业调查, 由甲方组织开展, 并承担相关费用;
- (6) 乙方认为与进行森林经营方案修编的有关的其他资料。
2. 提供工作条件: 派员全过程指导与参加修编工作, 并为乙方开展资料收集、修编提供方便。

3. 其他: 无。

第四条: 甲方向乙方支付技术服务报酬及支付方式为:

1. 技术服务费总额 (含税价) 为: 人民币伍万元 (¥50 000.00)
2. 技术服务费由甲方 两次 支付乙方, 签订合同后十天内, 支付合同款的 50%, 即支付: 贰万伍仟元整; 根据本合同第六条之约定验收合格后支付合同款的 50%, 即支付: 贰万伍仟元整。

乙方开户银行名称、地址和帐号为:

开户银行: 工商银行广州市五山支行

地址: 华南农业大学

帐号: 3602002609000310520

第五条: 本合同的变更必须由双方协商一致, 并以书面形式确定。
但有下列情形之一的, 一方可以向另一方提出变更合同权利与义务的请

求，另一方应当在10日内予以答复：

1. 甲方未及时提供乙方相关支持材料，需变更合同时间

第六条：双方确定以下列标准和方式对乙方的技术服务工作成果进行验收：

1. 乙方完成技术服务工作的形式：经营方案修编文本 6 份及电子版。

2. 技术服务工作成果的验收标准：符合国家、地方有关政策、法律要求。

3. 技术服务工作成果的验收方法：由甲方确定验收方式，验收相关费用由甲方承担。

4. 验收的时间和地点：由甲方确定（以省局安排时间为准）。

第七条：双方确定：

1. 在本合同有效期内，甲方利用乙方提交的技术服务工作成果所完成的新的技术成果，归甲（甲、双）方所有。

2. 在本合同有效期内，乙方利用甲方提供的技术资料和工作条件所完成的新的技术成果，归双（乙、双）方所有。

第八条：双方确定，按以下约定承担各自的违约责任：

1. 乙方违反本合同第二条约定，应按以下承担违约责任：

（1）乙方未按技术服务时间进度要求完成委托工作的，且送审稿完成时间迟于省林业局所要求时间，按合同总额的 /天承担逾期责任，逾期 天以上，甲方有权解除合同，乙方全额退回已收款项。

（2）乙方所提交的工作成果，经甲方或甲方委托相关单位验收不

符合相关标准的，甲方有权要求解除合同，乙方全额退回已收款项。

2. 甲方违反本合同第三条约定，应当赔偿乙方的费用损失。

第九条：双方确定，在本合同有效期内，甲方指定郭勇

为甲方项目联系人，乙方指定林娜为乙方项目联系人。项目联系人承担以下责任：

1. 项目的开展和费用支付

2. 项目验收

一方变更项目联系人的，应当及时以书面形式通知另一方，未及时通知并影响本合同履行或造成损失的，应承担相应的责任。

第十条：双方确定，发生不可抗力，致使本合同的履行成为不必要或不可能的，可以解除本合同。

第十一条：双方因履行本合同而发生的争议，应协商、调解解决。协商、调解不成的，任何一方可以依法向天河区人民法院起诉。

第十二条：双方确定：本合同及相关附件中所涉及的有关名词和技术术语，其定义和解释如下：无。

第十三条：与履行本合同有关的下列技术文件，经双方确认后，为本合同的组成部分：无。

第十四条：双方约定本合同其他相关事项为：无。

第十五条：本合同一式肆份，双方各执贰份，具有同等法律效力。

第十六条：本合同经双方签字盖章后生效。

(本页为签署页，以下无正文)

甲方： 广东省龙眼洞林场（广东莲花顶森林公园管理处）（盖章）

法定代表人 / 委托代理人： 邝宇威（签名）

2023年10月9日

乙方： 华南农业大学（盖章）

法定代表人 / 委托代理人： 薛红已（签名）

2023年10月9日

8. 主持：清远市小龙林场 2022 年中央财政森林抚育项目（合同）

合同编号：

技术服务合同

项目名称：清远市小龙林场 2022 年中央财政森林抚育项目

委托方（甲方）：清远市小龙林场

受托方（乙方）：华南农业大学

签订时间：2022 年 2 月 16 日

中华人民共和国科学技术部印制

填 写 说 明

一、本合同为中华人民共和国科学技术部印制的技术服务合同示范文本，各技术合同认定登记机构可推介技术合同当事人参照使用。

二、本合同书适用于一方当事人（受托方）以技术知识为另一方（委托方）解决特定技术问题所订立的合同。

三、签约一方为多个当事人的，可按各自在合同关系中的作用等，在“委托方”、“受托方”项下（增页）分别排列为共同委托人或共同受托人。

四、本合同书未尽事项，可由当事人附页另行约定，并作为本合同的组成部分。

五、当事人使用本合同书时约定无需填写的条款，应在该条款处注明“无”等字样。

技术服务合同

委托方（甲方）：清远市小龙林场

住 所 地：连南县三江镇小龙林场

法定代表人（委托代理人）：周书忠

项目联系人：赖志坚

通讯地址：广东省清远市连南县三江镇小龙林场

电 话：13620572630 传真：0763-6838600

电子信箱：3547463572@qq.com

受托方（乙方）：华南农业大学

住 所 地：广州市五山路 486 号

法定代表人：刘雅红

项目联系人：林娜

通讯地址：广州市天河区五山路 486 号

电 话：18565503503 传真：020-85280256

电子信箱：nalin@scau.edu.cn

本合同甲方委托乙方就清远市小龙林场 2022 年中央财政森林抚育项目进行专项作业设计（5000 亩）项目进行的专项技术服务，并支付相应的技术服务报酬。经双方平等协商，在真实、充分地表达各自意愿的基础上，根据《中华人民共和国民法典》的规定，达成如下协议，并由双方共同恪守。

第一条、甲方委托乙方进行技术服务的内容如下：

在规定时间内编制“清远市小龙林场 2022 年中央财政森林抚育项目作业设计”，项目规模：5000 亩。

1. 技术服务的目标：完成清远市小龙林场 2022 年中央财政森林抚育项目作业设计（5000 亩）工作。

2. 技术服务的内容：结合甲方提供的矢量图和小班数据库对清远市小龙林场 2022 年中央财政森林抚育项目（5000 亩）进行作业设计。

3. 技术服务的方式：完成《清远市小龙林场 2022 年中央财政森林抚育项目作业设计（5000 亩）》稿。

第二条：乙方应按下列要求完成技术服务工作：

1. 技术服务地点：广州

2. 技术服务期限：2022 年 2 月-2022 年 12 月

3. 技术服务进度：2022 年 4 月 1 日前完成《清远市小龙林场 2022 年中央财政森林抚育项目作业设计（5000 亩）》稿。

4. 技术服务质量要求：符合国家与地方的相关政策、法律要求。

第三条：为保证乙方有效进行技术服务工作，甲方应当向乙方提供下列工作条件和协作事项：

1. 提供技术资料：

(1) 项目建设的有关文件、资料，包括项目概况、图纸、统计表等；

(2) 小龙林场森林资源最新矢量图以及相关小班数据库；

(3) 乙方认为与进行本项目作业设计有关的其他资料，涉及商业秘密等相关资料，甲方有权拒绝提供。

2. 提供工作条件：派出 1-2 名相关技术人员协助乙方进行外业调查，

并为乙方开展作业设计提供方便。

第四条：甲方向乙方支付技术服务报酬及支付方式为：

1.资金来源：清远市财政局文件《清远市财政局关于下达 2022 年中央林业改革发展资金的通知》（清财资环【2022】8 号）和清远市林业局《关于分解下达 2022 年中央林业改革发展资金的函》。

2. 技术服务费总额(含税价)为：人民币壹万柒仟柒佰圆整(¥ 17,700.00 元含税)（按专项资金的 2%计算）。

3. 项目设计任务全部完成后经甲方确认，报清远市林业局审核并批复，甲方按照要求进行财政资金项目报账，报账成功后由市级财政部门一次性支付给乙方全部合同价款。

第五条：本合同的变更必须由双方协商一致，并以书面形式确定。有下列情形之一的，一方可以向另一方提出变更本合同的请求，另一方应当在 10 日内予以是否同意变更的答复：

1. 因不可归咎于乙方原因，甲方未及时向乙方提供本项目主要支持材料，导致乙方无法在合同约定时间内完成技术服务工作，确需变更技术服务期限的。

第六条：双方确定以下列标准和方式对乙方的技术服务工作成果进行验收：

1. 乙方完成技术服务工作的形式：作业设计稿文本 10 份及电子版。

2. 技术服务工作成果的验收标准：符合国家、地方有关政策、法律要求。

3. 技术服务工作成果的验收方法：由甲方确定验收方式。

4. 验收的时间和地点：由甲方确定。

第七条：双方确定：

1. 在本合同有效期内，甲方利用乙方提交的技术服务工作成果所完成的新的技术成果，归甲方所有。

2. 在本合同有效期内，乙方利用甲方提供的技术资料和工作条件所完成的新的技术成果，归甲方所有。

第八条：双方确定，按以下约定承担各自的违约责任：

1. 乙方违反本合同第二条约定，应当赔偿甲方的费用损失。

2. 甲方违反本合同第三条约定，应当赔偿乙方的费用损失。

第九条：双方确定，在本合同有效期内，甲方指定赖志坚为甲方项目联系人，乙方指定林娜为乙方项目联系人。项目联系人承担以下责任：

1. 项目的开展和费用支付

2. 项目验收

一方变更项目联系人的，应当及时以书面形式通知另一方，未及时通知并影响本合同履行或造成损失的，应承担相应的责任。

3.乙方负责外业调查员的日常管理及交通、安全、生产责任。乙方外业调查员在小龙林场外业调查期间，因乙方引起的火灾或伤亡事故，由乙方承担所有的经济法律及赔偿责任，与清远市小龙林场无关。

4. 乙方应根据国家与地方的相关法律、法规的要求，按照现行有效的技术规范进行相关的工作，并对该工作的质量及其所涉及的技术问题负责。协助甲方办理与此项目有关的申报和报批手续。

5. 在中国境内、外发生的与本合同执行有关的一切税费均由乙方负担。

第十条：双方约定，因不可抗力导致本合同不能或不可能履行的，任一

方可以解除本合同。

第十一条：双方因履行本合同发生的争议，应协商、调解解决。协商、调解不成的，任何一方可以依法向甲方所在地人民法院起诉。

第十二条：本合同一式 陆 份，由甲方持有 肆 份，乙方持有 贰 份，各份合同具有同等法律效力。

第十三条：本合同经双方签字盖章后生效。

甲方：清远市小龙林场（盖章）

法定代表人 / 委托代理人：张志明（签名）

2022年 2 月 16 日

乙方：华南农业大学（盖章）

法定代表人 / 委托代理人：刘非（签名）

2022年 2 月 16 日

附件 1：甲方发票单位及统一社会信用代码

甲方发票单位：清远市小龙林场

甲方统一社会信用代码：12441800197970691Y

附件 2：乙方开户银行资料

乙方开户行：工商银行广州市五山支行

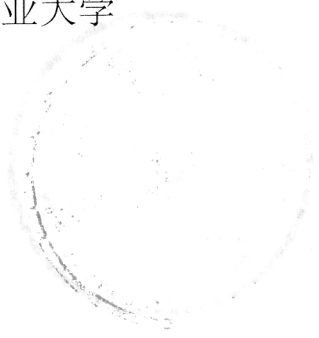
帐 号：3602002609000310520

户 名：华南农业大学

附件 3：乙方开户许可证

附件 4：乙方营业执照

附件 5：设计资格证



法定代表人授权委托书

本授权委托书声明：注册于 连南县三江镇小龙林场 的 清远市小龙林场 在下面签名的 周书忠 在此授权 小龙林场副场长赖志坚 作为我林场的合法代表人，就 清远市小龙林场 2022 年中央财政森林抚育项目 广东省网上中介服务超市信用择优选取方式进行公开选取结果项目技术服务合同的签订、执行、完成和售后服务，作为林场代表以我方的名义处理与之有关的事务。

被授权人（合同签订授权代表）无转委托权限。

本授权书自法定代表人签字之日起生效，特此声明。

林场名称（盖章）：清远市小龙林场

地 址：连南县三江镇小龙林场

联系电话：0763-6838600

电子邮箱：3547463572@qq.com

法定代表人（签字或盖章）：

签字日期：2022 年 2 月 16 日



法定代表人证明书

周书忠同志，现任我单位场长职务，为法定代表人，特此证明。

本证明书自签发之日起生效。

附：

小龙林场统一社会信用代码：12441800197970691Y

经营范围：保护、培育和合理开发利用森林资源，保持森林物种多样性；负责辖区内森林防火、生态公益林管护、区域良种示范、种质资源保存与创新、生态监测、科技示范工作；管理辖区内森林公园；开展科普、宣传工作；协助开展林业有害生物防治、协助完成林业资源规划、保护、科技推广；开展林业特色产业和森林旅游、物业等经营活动。



**中华人民共和国
居民身份证**

签发机关 连南瑶族自治县公安局
有效期限 2014.08.29-2034.08.29

姓名 周书忠
性别 男 民族 汉
出生 1972 年 10 月 18 日
住址 广东省连南瑶族自治县三江镇瑶山路商贸城吉祥阁6A
公民身份号码 441826197210180612



林场名称（盖章）：清远市小龙林场

地址：连南县三江镇小龙林场

签发日期：2022 年 2 月 16 日

开户许可证

核准号: J5810019713993

编号: 5810-07072391

经审核, 华南农业大学 符合开户条件, 准予
开立基本存款账户。

法定代表人(单位负责人) 刘雅红 开户银行 中国工商银行广州五山支行

账 号 3602002609000310520

发证机关(盖章)
2019 年 03 月 11 日

中华人民共和国
事业单位法人证书
(副本)

统一社会信用代码 124400004554165634



有效期 自 2021年06月02日 至 2026年06月01日

名称 华南农业大学

宗旨和 承担普通高等学历教育,成人学历教育,承担科技人员
函授和自考继续教育和培训,相关科学研究与技术开发,科技成果推广与科技咨询服务,国内外校际教育合
作和学术交流

业务范围

住 所 广东省广州市天河区五山

法定代表人 刘雅红

经费来源 财政核拨

开办资金 ¥311733万元

举办单位 广东省教育厅

登记管理机关



124400004554165634-02

国家事业单位登记管理局监制

林业调查规划设计资质证书

单位名称: 华南农业大学林业规划设计院

业务范围:

森林资源、野生动植物资源、湿地资源、荒漠化土地、草原修复和保护等调查监测和评价; 森林分类区划界定; 建设项目使用林地可行性报告编制; 森林资源规划设计调查; 实施方案编制; 林业专项核查和资源认定; 林业作业设计调查; 林业工程规划设计; 林业数表编制; 地方林业标准制定。

法定代表人: 刘雅红

资质等级: 乙级

证书编号: 乙 19-012

有效期至: 2023 年 10 月 31 日

发证机构 (印章)

2018 年 11 月 01 日

中国林业工程建设协会印制

9. 主参：高原地区楸树立地质量评价研究（任务书）

子课题编号：2024YFD2200403-1

密 级：公开

国家重点研发计划
子课题任务书

子课题名称：	高原地区楸树立地质量评价研究
所属课题：	楸树和椿树大径材培育技术研究
所属项目：	北方主要珍贵用材林定向培育技术
课题承担单位：	中国林业科学研究院林业研究所
子课题承担单位：	华南农业大学
子课题负责人：	苏 艳
执行期限：	2024 年 12 月至 2028 年 11 月

2024 年 12 月

填 写 说 明

- 一、任务书甲方即课题承担单位，乙方即子课题承担单位。
 - 二、任务书中的内容需与课题申报书和课题任务书的相关内容和指标保持一致。
 - 三、任务书中的单位名称，请按规范全称填写，并与单位公章一致。
 - 四、任务书中文字须用宋体小四号字填写。
 - 五、凡不填写内容的栏目，请用“无”表示。
 - 六、乙方完成任务书的填写，提交甲方审核确认后，用 A4 纸打印、装订、签章。
- 一式四份报甲方签章，甲方、乙方各留存二份。

子课题基本信息表

子课题名称		高原地区楸树立地质量评价研究										
子课题编号		2024YFD2200403-1										
所属课题		楸树和椿树大径材培育技术研究										
所属项目		北方主要珍贵用材林定向培育技术										
经费预算		总需求 65.00 万元，其中中央财政专项经费 65.00 万元										
课题周期节点		起始时间		2024 年 12 月		结束时间		2028 年 11 月				
		实施周期		共 48 个月		预计中期时间点		2026 年 12 月				
子课题 承担 单位	单位名称		华南农业大学			单位法定代表人 姓名		薛红卫				
	单位性质		大专院校			组织机构代码		124400004554165634				
	通信地址		广州市天河区五山路 483 号			邮政编码		510642				
	单位开户 名称		华南农业大学									
	开户银行 (全称)		中国工商银行广州五山支行			汇入地点		广州				
	银行账号		3602 0026 0900 0310 520			银行机构代码		102581000546				
子课题 负责 人	姓 名		苏艳		性 别		☐ 男 ☒ 女		出生日期		1983.09	
	证件类型		身份证		证件号码		452322198309160042					
	所在单位		华南农业大学									
	最高学位		☐ 博士 ☒ 硕士 ☐ 学士 ☐ 其他									
	职 称		☐ 正高级 ☒ 副高级 ☐ 中级 ☐ 初级 ☐ 其他						职务		无	
	电子邮箱		suyan@scau.edu.cn			移动电话			13570965211			
子课题 联系 人	姓 名		苏艳		电子邮箱		uyan@scau.edu.cn					
	固定电话		020-85280256		移动电话		13570965211					
	证件类型		身份证		证件号码		452322198309160042					

课题 财务 负责 人	姓 名	邱权	电子邮箱	qiuquan89@163.com
	固定电话	020-85280256	移动电话	13427525124
	证件类型	身份证	证件号码	421127198905073011
子课题 参加人 数	10 人。其中：		高级职称 5 人，中级职称 1 人，初级职称 0 人，其他 4 人；	
			博士学位 5 人，硕士学位 5 人，学士学位 0 人，其他 0 人。	

一、目标及考核指标、考核方式/方法

（一）子课题目标

本子课题聚焦阔叶类珍贵材用树种楸树大径材培育的提质增效，针对楸树人工林高原栽培区（云南、贵州）立地条件与适地适树精准匹配程度低造成的林分经营质量低质低效的问题，以不同立地条件的楸树为研究对象，开展立地调查和立地因子效应分析，通过立地质量评价，构建我国高原地区楸树立地质量评价体系和单木生长模型。

（二）考核指标

- （1）构建楸树立地质量评价技术体系 1 个；
- （2）提出楸树单木生长模型 1 个；
- （3）发表论文 2-3 篇；
- （4）培养学生 1-2 名。

（三）评测方式/方法

- （1）模式、体系评测方式/方法

建立楸树评价技术体系 1 个。技术模式/体系通过专家审定、制定标准及技术规程、研究生毕业论文等方式进行测评。

- （2）模型评测方式/方法

以模型能够运行/专家测评通过为准。

- （3）发表论文评测方式/方法

以项目研究期间投稿并正式或在线（online）发表的核心期刊原文/检索证明为准，课题级第一标注、发表的内容必须属于项目研究内容。

- （4）人才培养评测方式/方法

以项目研究期间毕业的研究生数量为准，论文内容必须属于项目研究内容。

（四）拟形成的代表性成果

本子课题对高原地区楸树大径材培育的立地质量选择、单木生长模型等关键技术进行研究，提出楸树立地质量评价体系。通过高原地区楸树的立地质量调查，进行立地质量评价和分级，明确适宜楸树大径材培育的立地类型，提出大径材培育立地质量选择技术体系，可为未来楸树大径材培育的立地选择提供科学依据；构建单木胸径生长模型，预测经营措施对楸树生长的影响，为楸树大径材培育提供了生长预测工具。

二、课题研究成果、研究方法及技术路线

（一）课题的主要研究内容

1. 拟解决的科学问题、关键技术问题

以高原地区楸树人工林为研究对象，摸清高原地区楸树的资源分布情况，进行楸树人工林立地类型划分和立地质量评价，明确楸树大径材的适生立地条件，构建楸树构建楸树立地质量评价体系和建立楸树单木生长模型。

2. 主要研究内容

（1）高原地区楸树资源调查

对高原地区（云贵）楸树资源进行调查，包括分布情况、立地特征、面积、年龄，为立地质量评价提供基础数据。

（2）楸树立地质量精准评价

基于前期楸树资源分布调查和资料收集结果，设立临时标准地，协同无人机、卫星遥感，“天、地、空”多数据融合，开展林分生长状况（林龄、树高、枝下高、胸径），气候因子（气温、降雨），地形因子（坡度、坡向、坡位、海拔），土壤因子（土壤类型、土层厚度、土壤养分）等调查，分析楸树生长规律和影响因子，筛选出主导因子划分立地类型，对楸树人工林进行立地质量评价和等级划分。

（3）楸树单木生长模型构建

选择高原地区不同立地质量的楸树林分，调查林分的生长状况和经营措施，每种立地质量选择3株标准木，测定其海拔和位置，并利用树木针测仪结合微木芯联合测定法，确定胸径生长量。以楸树单株胸径为模型的因变量，以土壤指标、海拔坐标、经营措施等为自变量，构建楸树单木胸径生长模型，进行模型评价后选取最优模型。

（二）课题采取的研究方法

（1）高原地区楸树资源调查

以高原地区（云南、贵州）的楸树人工林和天然林为研究对象，通过文献查询+森林资源清查数据+咨询当地林业相关部门+实地调查等办法，对楸树的分布情况、立地特征、面积、年龄进行调查，为立地质量评价提供基础数据。

（2）楸树立地质量精准评价

以高原区域（云南省和贵州省）楸树人工林为研究对象，依据气候因子（气温、降雨）、地形因子（坡度、坡向、坡位、海拔）、土壤（土壤类型、土层厚度）差异性，

设立临时标准地，开展楸树林分生长状况调查（林龄、树高、枝下高、胸径）和土壤采样分析。对大于评价年龄的单株采用单木取芯法调查楸树标准年龄的胸径。采用回归分析法，构建气候因子、立地因子、环境因子与林分树高或胸径生长的模型，并筛选出主导因子，进行立地质量评价。采用模糊隶属函数法和聚类分析等方法划分立地等级，明确大径材适生的立地类型。选择大径材适生区的成熟林地，分析影响大径材生长量的因子，构建包括胸径、地形、土壤质量等评价指标的大径材培育立地质量评价指标体系。

（3）楸树单木生长模型构建

在高原地区选择不同立地质量的楸树人工林，设置临时标准地，对标准地林分的生长状况（林龄、树高、枝下高、胸径）、林木枯损率和经营措施等进行调查，选择 3 株标准木，测定标准木的海拔、树木位置（RTK），并利用针测仪结合微木芯联合测定法，确定胸径生长量。以楸树单株胸径（DBH）为模型的因变量，将包括土壤指标、海拔坐标、经营措施等数据作为众多自变量，运用多元逐步回归的方法进行基础模型的构建，将数据汇总处理验证后建立非线性混合效应模型，进行模型评价后选取最优模型。

技术路线如图 1 所示：

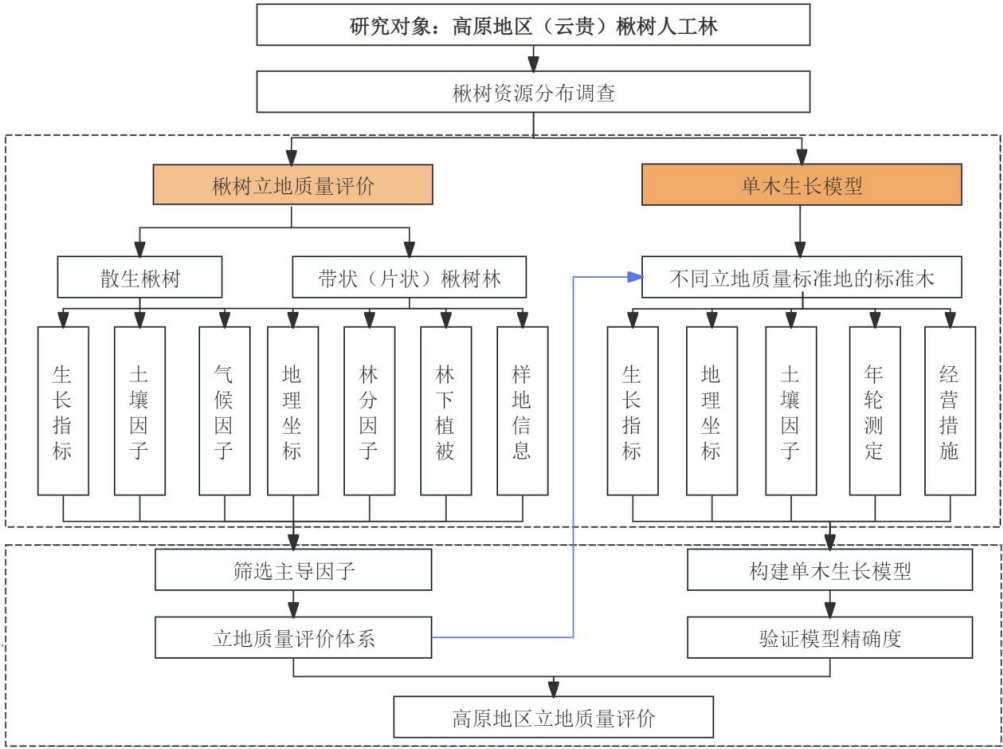


图 1 子课题技术路线

三、主要创新点

“适地适树”是林木高质量培育的基础。目前，关于楸树的研究多集中在抗逆优良种质选育、栽培技术及遗传多样性等方面，对其人工林立地质量方面的研究较少。通过在高原区域（云南省和贵州省）楸树人工林的调查，解析主要立地因子与楸树生长的关系，进行楸树立地质量精准评价，为楸树立地选择、大径材培育以及施肥等营林措施提供理论依据。在区域技术体系构建方面有明显创新。

四、预期经济社会效益

本子课题开展楸树人工林立地质量精准评价和构建单木生长模型研究，课题的科学、技术预期指标主要包括不同研究区的楸树立地质量评价、技术方法、论文、标准等。相关研究具有较大的社会、经济和生态效益。具体主要体现在以下三个方面：

（1）科学与技术方法

提出的人工林立地质量精准评价体系 and 构建单木生长模型，将有效突破大径材培育中的关键技术瓶颈，可提升楸树人工林的大径材产量和质量，对楸树的定向培育起到很好的科技支撑作用。

（2）生态效益

楸树人工林立地质量精准评价体系的提出，有助于充分利用土地资源、调节农田小气候、固碳增汇，在保持生态平衡、改善生态环境、提高生态系统稳定性等方面起着重要作用。

（3）社会经济效益

楸树人工林立地质量精准评价体系 and 单木生长模型的提出，从根本上提高研究区楸树生产力以及林农技术落后的现状，可有效的调整当地的楸树产业结构，增加当地林农的收入，同时对当地楸树高档木材加工产业发展起到积极地推动作用，间接的带动方经济全面发展，产生良好的社会经济效益。

五、子课题年度计划

日期	子课题任务	考核指标
2024.12-2025.5	细化实施方案；收集整理相关数据；各研究区楸树分布调查	收集研究区资料数据，地形、气候和楸树分布数据
2025.6-2025.11	开展云南省楸树立地质量调查，收集气候、地形、土壤、楸树生长状况数据；课题年度总结	撰写年度进展报告
2025.12-2026.5	开展贵州省的楸树立地质量调查；单木生长模型数据调查	前期立地质量调查数据汇总
2026.6-2026.11	继续楸树立地质量调查，数据分析和整理；进行子课题年度总结。	发表论文 1 篇；撰写年度进展报告
中期： 2026. 12		完成立地质量调查；发表论文 1 篇；撰写年度进展报告
2026.12-2027.5	单木生长模型数据调查	前期单木生长模型数据调查数据汇总
2027.6-2027.11	楸树立地质量评价；课题年度总结	楸树立地质量评价；单木生长模型数据整理
2027.12-2028.5	楸树大径材培育立地质量选择技术体系的分析和整理；楸树单木生长模型模拟和评价	提出单木生长模型 1 个；发表论文 1 篇；培养研究生 1 名
2028.6-2028.11	全面梳理总结课题取得的研究成果，提出楸树立地质量评价体系；进行子课题验收总结，完成验收科技报告。	完成验收相关材料提交

六、课题参加人员基本情况表

填表说明： 1. 专业技术职称：A、正高级 B、副高级 C、中级 D、初级 E、其他；
 2. 投入本课题的全时工作时间（人月）是指在课题实施期间该人总共为课题工作的满月度工作量；累计是指课题组所有人员投入人月之和；
 3. 课题固定研究人员需填写人员明细；
 4. 是否有工资性收入：Y、是 N、否；
 5. 人员分类代码：B、课题负责人 C、项目/课题骨干 D、其他研究人员；
 6. 工作单位：填写单位全称，其中高校要具体填写到所在院系。

序号	姓名	性别	出生日期	证件类型	证件号码	专业技术职称	职务	最高学位	专业	投入本课题的全时工作时间（人月）	人员分类代码	在课题中分担的任务	是否有工资性收入	工作单位
1	苏艳	女	1983.09.16	身份证	452322198309160042	B	无	硕士	森林培育	20	B	全面负责子课题研究，楸树定向培育技术	Y	华南农业大学林学与风景园林学院
2	林娜	女	1986.07.10	身份证	371302198607103146	C	无	博士	森林经理	20	C	楸树定向培育技术	Y	华南农业大学林学与风景园林学院
3	赵倩	女	1989.11.11	身份证	330781198911110526	B	无	博士	森林生态	24	C	楸树定向培育技术	Y	华南农业大学林学与风景园林学院
4	邱权	男	1989.05.07	身份证	421127198905073011	B	无	博士	森林培育	12	D	立地质量评价	Y	华南农业大学林学与风景园林学院
5	何茜	女	1981-06-09	身份证	51010519810609226X	A	院长	博士	森林培育	12	D	立地质量调查	Y	华南农业大学林学与风景园林学院

6	陈祖静	女	1985.03.19	身份证	522526198503190821	B	无	博士	森林培育	28	C	楸树定向培育技术	Y	华南农业大学林学与风景园林学院
7	杨金成	男	2002.09.20	身份证	441521200209203019	E	无	硕士	森林培育	30	D	立地质量调查	N	华南农业大学林学与风景园林学院
8	高隆辉	男	2001-02-11	身份证	440221200102113817	E	无	硕士	森林培育	30	D	立地质量调查	N	华南农业大学林学与风景园林学院
9	肖龙龙	男	2000-04-16	身份证	141127200004160110	E	无	硕士	森林培育	30	D	立地质量调查	N	华南农业大学林学与风景园林学院
10	姚晓杰	男	1999-11-04	身份证	432501199911040035	E	无	硕士	森林培育	30	D	立地质量调查	N	华南农业大学林学与风景园林学院
固定研究人员合计										236	/	/	/	/
流动人员或临时聘用人员合计										0	/	/	/	/
累计										236	/	/	/	/

七、经费预算

经费预算表

单位：万元

序号	预算科目名称	金额
	(1)	(2)
1	一、中央财政专项资金	65.00
2	(一) 直接费用	50.70
3	1. 设备费	0.00
4	其中：购置设备费	0.00
5	2. 业务费	38.70
6	3. 劳务费	12.00
7	(二) 间接费用（自动计算）	14.30
8	二、其他来源资金	0.00
9	三、合计	65.00

预算说明

一、中央财政资金

课题预算研究经费 65.00 万元，全部由国家财政拨款无偿资助，其中，直接经费 50.70 万元，业务费 38.70 万元，劳务费 12.00 万元；间接费用 14.30 万元。测算依据如下：

1.设备费：0.00 万元

2.业务费：38.70 万元

2.1 原材料及辅助材料费：5.76 万元

本课题需要开展楸树立地质量精准评价和单木生长模型构建研究任务。上述研究内容所涉及到的试验材料和耗材有特定且大量的需求。

全部为单品 10.00 万元以下的材料，主要包括：

(1) 野外调查用具耗材：3.99 万元

主要用途：用于支付野外立地质量调查等所需的材料费用。包括枝剪、塑料绳、标签、油漆、铁丝、测绳、围尺、线手套、记号笔、铁锹、梯子、取土钻、铝盒、土壤筛、自封袋、信封、液氮干冰等。

与课题的相关性、必要性：依据课题任务要求需要，需对云南省和贵州省的楸树分布进行调查，需用到样地布置、取样、测定等相关耗材。

测算依据：报价依据是参考目前市场上的平均报价，4 年预计 3.99 万元。

(2) 实验室内所用化学试剂和低值易耗品：1.77 万元

主要用途：支付本课题需要测定土壤养分、可溶性糖等指标所需的试剂盒、化学试剂费用。

与课题的相关性、必要性：依据课题任务安排，需要采集楸树不同立地类型土壤测定养分含量、生理生化指标。

测算依据：实验室测定所需重铬酸钾、硫酸亚铁、碳酸氢钠、乙醇、钼酸铵、硫酸、高氯酸、氢氟酸、盐酸、硝酸、氢氧化钠、硝酸钾、蒸馏水、定性滤纸、定量滤纸、不同规格吸头、橡皮筋、乳胶手套、活性炭口罩、EP 离心管、PCR 管，4 年累积花费 1.77 万元。

2.2 测试化验加工费：6.00 万元

根据研究目标和任务，需要对不同立地类型楸树人工林土壤进行养分分析，楸树成熟林土壤养分、植株养分和微生物多样性分析。测算单价依据近 2 年市场价格，测试数量依据研究任务的需要确定。

单次或累积费用均在 10.00 万元以下。

土壤、植株养分测定：6.00 万元

主要用途：用于支付土壤、植株养分测定。

与课题的相关性、必要性：课题研究期间，需要对不同楸树立地类型不同密度和修枝、复合经营的土壤和植株养分进行测定。

测算依据：预计调查样地 100 个，每个样地 3 个重复，分 2 层取样，分析土壤理化性质指标，测定土壤水分、pH、有机质、速效氮、速效磷、碱解氮、全钾、全氮、全磷含量等指标，测定单价为 100 元/个样品，共计 6.00 万元。

2.3 出版/文献/信息传播/知识产权事务费：2.50 万元

主要用途：用于支付课题成果呈现的发表论文费用以及研究过程中所需要的打印、复印、装订、文献检索、科技查新等费用。

与课题的相关性、必要性：按照考核指标要求，需要支付发表论文的出版费等；在项目执行过程中需要复印、打印、装订课题执行进展、成果凝练相关材料。

测算依据：

(1) 论文版面费：2.00 万元

预计发表论文 2 篇，参照以往发表类似论文的版面费中英文平均 1.00 万/篇，合计 2.00 万元。

(2) 其他资料费：0.50 万元

打印、复印、装订、文献检索、成果评价、查新等费用小计 0.50 万元。

2.4 会议/差旅费：24.18 万元

主要用途：用于支付执行期内野外观测与采样等差旅费、参加相关学术会议和参加或举办项目年度会议的费用。

与课题的相关性、必要性：在课题执行过程中需要进行楸树人工林立地调查和采样工作，以及为了掌握先进的研究进展，提高研究水平，参加相关学术会议和技术培训等。举办任务启动、中期检查、年度总结、结题验收等会议，或者参

加项目进度会议等。

测算依据：差旅费中的住宿费、交通费、伙食补助费依据《中央和国家机关工作人员赴地方差旅住宿费标准明细表》（财行[2016]71号）标准，交通补助 80 元，伙食补助 100 元计算，具体如下：

（1）野外调查差旅费：18.72 万元

云南、贵州各地进行立地质量评价调查，4 年累积出差 60 人次，每次出差时间约 4 天，往返交通费每人每次 1500 元，平均每人每天住宿费 300 元，伙食及交通补助 180 元计算，差旅费总计为 $(1500+300 \times 3+180 \times 4) \times 60=18.72$ 万元。

（2）参加国内学术会议：2.32 万元

参加国内学术会议，注册费 1500 元，往返交通费每人每次 2000 元，平均每人每天住宿费 300 元，伙食及交通补助 180 元计算，5 人次，累积花费 $(1500+2000+180 \times 3+300 \times 2) \times 5=2.32$ 万元。

（3）参加项目进度会：2.64 万元

参加项目会议，累积 10 人次，往返交通费每人每次 1500 元，每次出差时间约 3 天，平均每人每天住宿费 300 元，伙食及交通补助 180 元计算，项目执行期内预计出差 6 人次，花费为 $(1500+300 \times 2+180 \times 3) \times 10=2.64$ 万元。

（4）租车与市内交通费：0.50 万元

市内实验交流、汇报学习和材料购置等相关事宜的市内交通费 4 年需要 0.50 万元。

2.5 其他费用：0.26 万元

财务验收审计费：0.26 万元

主要用途：用于课题结题和财务验收时的审计费用。

与课题的相关性、必要性：审计确保项目经费使用的合规性。

测算依据：根据课题总经费的 0.4%进行测算， $65.00 \times 0.4\%=0.26$ 万元。

3. 劳务费：12.00 万元

主要用途：支付课题执行过参与课题的研究生以及科研辅助人员劳务性费用。

与项目的相关性、必要性：在课题实施过程中，需开展大量野外调查研究任务，但是本课题有固定收入的人员有限，无法独立完成所有任务，故需要聘请研

究生、临时工等人员辅助完成。

测算依据：

研究生费用：12.00 万元

硕士研究生 4 人参加研究工作，每人每月补助费 1000 元/月，每年按 10 个月计，3 年共约 $4 \times 1000 \times 10 \times 3 = 12.00$ 万元。

二、其他来源资金

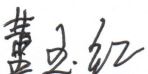
对其他来源资金主要用途、支出预算做简要说明。

八、签约各方签章

课题承担单位（甲方）

法定代表人签字（签章）

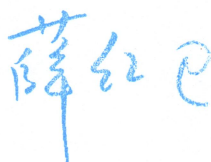


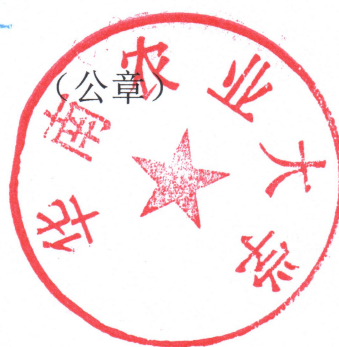
课题负责人（签字） 

2024年 12 月 16 日

子课题承担单位（乙方）

法定代表人签字（签章）





子课题负责人（签字） 

2024年 12 月 16 日

10. 主参：桉树人工林生产力对旱季水分输入变化的响应机理研究（科研系统佐证）

项目查看

【详细信息】

项目类型:	独立课题	批准号:	国科金计项 (2018) 26号
经费来源单位:	国家自然科学基金委员会	费用类型:	
承担方式:	主持	项目状态:	完成
立项日期:	2018-08-16	开始时间:	2019-01-01
计划完成日期:	2021-12-31	结项日期:	
合同经费:	28.8 万元	间接经费:	4.8 万元
直接经费:	24 万元	财务账号:	B18044
外拨经费:	0 万元		

【项目成员】

署名顺序	人员来源	成员姓名	学科方向	成员性别	职称	学历	工作单位
1	本校老师	邱权	林学	男	讲师	博士研究生	
2	本校老师	林娜	林学	女	讲师	博士研究生	

关闭

11. 主参：秸秆半纤维素选择性分离技术（任务书）

课题编号：2021YFC2101601-2

密 级：公开

国家重点研发计划 子课题任务书

子课题名称：	秸秆半纤维素选择性分离技术
所属课题：	秸秆绿色高效低成本预处理技术与工业化装备
所属项目：	纤维素乙醇生物炼制与产业示范
所属专项：	绿色生物制造
子课题承担单位：	华南农业大学
子课题负责人：	张爱萍
执行期限：	2021 年 07 月至 2025 年 06 月

中华人民共和国科学技术部制

填 写 说 明

- 一、任务书甲方即课题承担单位，乙方即子课题承担单位。
- 二、任务书与“国家科技计划管理信息系统公共服务平台”填写相关内容一致。
- 三、任务书中的单位名称，请按规范全称填写，并与单位公章一致。
- 四、任务书中文字须用宋体小四号字填写。
- 五、凡不填写内容的栏目，请用“无”表示。
- 六、《项目申报书》和《项目任务书》是本任务书填报的重要依据，任务书填报不得降低考核指标，不得自行对主要研究内容作大的调整。《项目申报书》、《项目任务书》和本任务书将共同作为课题过程管理、验收和监督评估的重要依据。

课题基本信息表

子课题名称	秸秆半纤维素选择性分离技术				
子课题编号	2021YFC2101601-2				
所属课题	秸秆绿色高效低成本预处理技术与工业化装备				
所属项目	纤维素乙醇生物炼制与产业示范				
所属专项	绿色生物制造				
密级	■公开 □秘密 □机密	单位总数	1		
子课题类型	□基础前沿 □重大共性关键技术 ■应用示范研究 □其他				
子课题活动类型	□基础研究 ■应用研究 □试验发展				
子课题研究 所属学科	一级学科：能源科学技术 二级学科：能源化学				
子课题成果应用 的主要国民经济 行业	制造业 废弃资源综合利用业 非金属废料和碎屑加工处理				
子课题的社会 经济目标	一级目标：能源生产、分配和合理利用 二级目标：可再生能源				
子经费预算	总预算 105.00 万元，其中中央财政专项经费 105.00 万元				
子课题周期节点	起始时间	2021 年 07 月	结束时间	2025 年 06 月	
	实施周期	共 48 个月	预计中期时间点	2023 年 06 月	
子课题 承担 单位	单位名称	华南农业大学		单位性质	大专院校
	单位所在地	广东省 广州市 天河区		组织机构代码	124400004554165634
	通信地址	广东省广州市天河区五山路 483 号		邮政编码	510642
	银行账号	3602002609000310520		法定代表人 姓名	刘雅红
	单位开户 名称	华南农业大学			
	开户银行 (全称)	中国工商银行广州五山支行			

子课题负责人	姓 名	张爱萍	性 别	☐ 男 ☒ 女	出生日期	1980-09-21
	证件类型	身份证	证件号码	370782198009210825		
	所在单位	华南农业大学				
	最高学位	☒ 博士 ☐ 硕士 ☐ 学士 ☐ 其他				
	职 称	☐ 正高级 ☒ 副高级 ☐ 中级 ☐ 初级 ☐ 其他			职务	无
	电子邮箱	aiping@scau.edu.cn		移动电话		13913118266
子课题联系人	姓 名	曾磊	电子邮箱	2959421817@qq.com		
	固定电话		移动电话	18750127950		
	证件类型	身份证	证件号码	522625199512140053		
子课题财务负责人	姓 名	刘焯	电子邮箱	652075768@qq.com		
	固定电话	020-85287730	移动电话	13640883198		
	证件类型	身份证	证件号码	130224197211158223		
其他参与单位	序号	单位名称		单位性质		组机构代码
子课题参加人数	<u>8</u> 人。其中：		高级职称 <u>1</u> 人，中级职称 <u>1</u> 人，初级职称 <u>0</u> 人，其他 <u>6</u> 人；			
			博士学位 <u>2</u> 人，硕士学位 <u>1</u> 人，学士学位 <u>5</u> 人，其他 <u>0</u> 人。			
子课题简介 (限 500 字以内)	半纤维素在植物细胞壁中与木质素以化学键连接与纤维素以氢键连接，半纤维素在组分间起到桥联作用，因此，选择性分离半纤维素组分对于提高纤维素的可及性至关重要。因此，本子课题重点研究半纤维素选择性分离技术，基于低 pH 值条件下预处理对秸秆组分拆解效率的研究，探讨半纤维素选择性拆解机制，考察预处理对秸秆组分及结构变化的影响，提出半纤维素高选择性分离技术，结合纤维素得率及可及性，创立适应于多种秸秆半纤维素选择性分离技术体系，最终实现纤维素得率 $\geq 95\%$ ，申请中国发明专利 2 件，发表论文 3 篇，培养硕士 3 人。					

一、目标及考核指标、评测方式/方法

请填写下表。

子课题目标、成果与考核指标表

课题目标 ¹	成果名称	成果类型	考核指标 ²				考核方式（方法）及评价手段 ⁴
			指标名称	立项时已有指标值/状态	中期指标值/状态 ³	完成时指标值/状态	
（限 500 字以内。）开发秸秆半纤维素高选择性分离技术	1: 秸秆半纤维素选择性分离技术	☐ 新理论 ☐ 新原理 ☐ 新产品 ☒ 新技术 ☒ 新方法 ☐ 关键部件 ☐ 数据库 ☐ 软件 ☐ 应用解决方案 ☐ 实验装置/系统 ☐ 临床指南/规范 ☐ 加工工艺 ☐ 标准 ☒ 论文 ☒ 发明专利 ☒ 其他	指标 1.1: 纤维素得率	90%	92%	≥95%	提供计算方法及技术报告，交专家审议
			论文数 专利数 研究生数	0 0 0	2 1 0	3 2 3	以书面证明材料的方式呈现
科技报告考核指标	序号	报告类型 ⁵	数量	提交时间		公开类别及时限 ⁶	
	1	年度技术进展报告	2	2022.06、2024.06		延期公开 2 年	
	2	中期进展报告	1	2023.06		延期公开 2 年	
	3	生命周期评价报告	1	2025.06		延期公开 2 年	
	4	最终科技报告	1	2025.06		延期公开 2 年	
其他目标与考核指标（对于难以采取上述表格细化的课题目标及其考核指标，可在此细化填写，限 1000 字以内。）							
（1）纤维素得率= $\frac{m_1}{m_0} \times 100\%$ m_1:预处理后固体残渣中纤维素的质量（g）；m_0:原料中纤维素的质量（g）；参照 NREL 标准方法检测纤维素的质量。							

备注：

- 1.“**课题目标**”，应从以下方面明确描述：（1）研发主要针对什么问题和需求；（2）将要解决哪些科学问题、突破哪些核心/共性/关键技术；（3）预期成果；（4）成果将以何种方式应用在哪些领域/行业/重大工程等，并拟在科技、经济、社会、环境或国防安全等方面发挥何种的作用和影响。
- 2.“**考核指标**”，指相应成果的数量指标、技术指标、质量指标、应用指标和产业化指标等，其中，数量指标可以为论文、专利、产品等的数量；技术指标可以为关键技术、产品的性能参数等；质量指标可以为产品的耐震动、高低温、无故障运行时间等；应用指标可以为成果应用的对象、范围和效果等；产业化指标可以为成果产业化的数量、经济效益等。同时，对各项考核指标需填写立项时已有的指标值/状态以及课题完成时要到达的指标值/状态。同时，考核指标也应包括支撑和服务其他重大科研、经济、社会发展、生态环境、科学普及需求等方面的直接和间接效益。如对国家重大工程、社会民生发展等提供了关键技术支撑，成果转让并带动了环境改善、实现了销售收入等。若某项成果属于开创性的成果，立项时已有指标值/状态可填写“无”，若某项成果在立项时已有指标值/状态难以界定，则可填写“/”。
- 3.“**中期指标**”，各专项根据管理特点，确定是否填写，鼓励阶段目标明确的项目课题填写中期指标。
- 4.“**考核方式方法**”，应提出符合相关研究成果与指标的具体考核技术方法、测算方法等。
- 5.“**科技报告类型**”，包括项目验收前撰写的全面描述研究过程和技术内容的最终科技报告、项目年度或中期检查时撰写的描述本年度研究过程和进展的年度技术进展报告以及在项目实施过程中撰写的包含科研活动细节及基础数据的专题科技报告（如实验报告、试验报告、调研报告、技术考察报告、设计报告、测试报告等）。其中，每个项目在验收前应撰写一份最终科技报告；研究期限超过2年（含2年）的项目，应根据管理要求，每年撰写一份年度技术进展报告；每个项目可根据研究内容、期限和经费强度，撰写数量不等的专题科技报告。科技报告应按国家标准规定的格式撰写。
- 6.“**公开类别及时限**”，公开项目科技报告分为公开或延期公开，内容需要发表论文、申请专利、出版专著或涉及技术诀窍的，可标注为“延期公开”。需要发表论文的，延期公开时限原则上在2年（含2年）以内；需要申请专利、出版专著的，延期公开时限原则上在3年（含3年）以内；涉及技术诀窍的，延期公开时限原则上在5年（含5年）以内。涉密项目科技报告按照有关规定管理。

二、子课题研究内容、研究方法及技术路线

（一）子课题的主要研究内容

拟解决的关键科学问题、关键技术问题，针对这些问题拟开展的主要研究内容，限 1000 字以内。

1. 拟解决的关键科学问题和关键技术问题

关键科学问题：低 pH 值预处理下，秸秆半纤维素选择性分离规律。

关键技术问题：秸秆半纤维素高选择性分离技术。

2. 主要研究内容

基于半纤维素结构与性质特性，探讨基于低 pH 条件的预处理技术对秸秆组分拆解效率的影响，研究半纤维素选择性拆解机制，结合纤维素得率和可及性，建立适应于多种秸秆半纤维素选择性分离技术体系。

（二）子课题采取的研究方法

针对子课题研究拟解决的问题，拟采用的方法、原理、机理、算法、模型等限 1000 字以内。

本子课题团队将以秸秆等为原料，通过二维核磁共振谱图分析、液相色谱分离分析等方法，对比研究低 pH 值的预处理方法如水热、超低酸（无机酸和有机酸）、汽爆等预处理方法对秸秆半纤维素分离效率的影响，重点在预处理因素如秸秆种类、水分、尺寸、酸类型、汽爆温度、压力和时间等对半纤维素拆解效率的影响；利用液相色谱、GPC、紫外、核磁等手段，研究预处理液中化学组成、化学结构及分子量，确定半纤维素、纤维素和木质素溶出解聚情况，测定预处理液中低聚糖、单糖、糖酸、呋喃等产物的含量，建立半纤维素水解动力学模型，确定半纤维素水解机制；通过高分辨率显微观察及 NREL 等分析方法，研究秸秆处理前后纤维素、半纤维素、木质素、灰分的含量，考察预处理前后秸秆形貌及疏松程度，比较不同预处理技术对秸秆中半纤维素溶出率、纤维素和木质素的保留率，优化对半纤维素具有选择性溶出的预处理条件；通过 XRD、红外等分析，研究预处理残渣中纤维素的结晶度，利用 ICs 等分析预处理条件对秸秆后续纤维素酶解的影响，筛选出不抑制酶解过程的预处理条件；基于以上研究，结合秸秆预处理过程中半纤维素溶出和降解机制，建立半纤维素选择性分离新技术。

三、主要创新点

围绕基础前沿、共性关键技术或应用示范等层面，简述子课题的主要创新点。具体内容应包括该项创新的基本形态及其前沿性、时效性等，并说明是否具备方法、理论和知识产权特征。每项创新点的描述限 500 字以内。

创新点：发展秸秆半纤维素选择性分离技术

基于秸秆主要组分对热和 pH 值敏感差异性，建立半纤维素溶出和降解效率与预处理各因素的构效关系模型，揭示半纤维素分离机制，发展高效的低 pH 预处理秸秆选择性分离半纤维素技术，解决预处理过程中半纤维素拆解选择性低、副产物多等问题，实现半纤维素高效溶出和降解的目标。

四、预期经济社会效益

子课题的科学、技术、产业预期指标及科学价值、社会、经济、生态效益。限 500 字以内。

（一）科学、技术及产业预期指标

1. 科学指标：揭示低 pH 预处理下秸秆半纤维素选择性分离机制及规律；
2. 技术指标：纤维素得率 $\geq 95\%$ 。

（二）科学技术价值

1. 揭示低 pH 预处理秸秆半纤维素选择性分离机制及规律，丰富生物质利用及纤维素乙醇与生物炼制领域的理论体系，夯实我国成为“绿色制造”强国的基础。

2. 基于理论创新开发秸秆绿色高效低成本预处理技术，有助于提升我国纤维素乙醇联产化学品及生物技术的水平，提高乙醇综合经济效益，助力推动我国纤维素乙醇产业发展。

（三）生态效益

减少秸秆直接露天焚烧带来的颗粒污染物排放，生态效益显著。本项目将年消纳秸秆约 1 万吨，年减排约 500 吨颗粒污染物，带来一定的生态与环境收益。

（四）社会与经济效益

1. 实现秸秆等农业废弃物资源化利用。本子课题以农业秸秆类为原料，通过绿色低 pH 预处理技术，有效打破秸秆细胞壁抗降解屏障，提高主要组分的选择性拆解，为后续燃料乙醇联产化学品提供优良原料，实现农业秸秆类的资源化利用。

2. 提高农民收入，促进乡村振兴。本项目年利用 1 万吨秸秆，可为农民增收 263

万元，显著提升农民收入水平，促进农村环境持续改善，促进乡村振兴。

五、子课题年度计划

按年度制定完成子课题的计划进度，应将子课题的考核指标分解落实到年度计划中。

年度	任务	考核指标	成果形式
2021 年 07 月 2022 年 06 月	完成课题设计、立项和启动；探索不同低 pH 值预处理如水热、超低酸（无机酸和有机酸）、汽爆等方法对秸秆组分迁移规律，考察其预处理中半纤维素水解动力学	解析低 pH 值预处理对秸秆组分拆解和对半纤维素选择性分离效果及预处理中半纤维素水解动力学行为	提供年度进展报告，发表高水平论文 1 篇。
2022 年 07 月 2023 年 06 月	研究不同低 pH 值预处理方法对秸秆半纤维素、纤维素和木质素溶出解聚情况，对比探讨半纤维素高效分离技术，研究半纤维素溶出及水解机理	纤维素得率在 92%以上	提供年度进展报告，申请发明专利 1 件，发表高水平论文 1 篇。
2023 年 07 月 2024 年 06 月	研究低 pH 值预处理前后秸秆中半纤维素、纤维素和木质素的物理化学性质，发展半纤维选择性分离方法	建立半纤维选择性分离方法	提供年度进展报告，申请发明专利 1 件，培养研究生 1 名。
2024 年 07 月	研究不同低 pH 值预处理过程中半纤维素水解动力学模型，建立秸秆预处理半纤维素选择性分离	纤维素得率在 95%以上	提供年度进展报告和结题验收报告。发表高水平论文 1 篇，培养

2025 年 06 月	技术体系；完成课题结题 验收		研究生 2 名。
-------------------	-------------------	--	----------

六、子课题组织实施机制及保障措施

1、子课题的内部组织管理方式、协调机制等，限 500 字以内。

本子课题将采用科学合理的项目组织管理模式，充分发挥高校人才、资源和技术优势，开展秸秆半纤维素选择性分离技术的研究。

在组织管理层面，子课题内设项目秘书和财务助理，各参与人员需要明确责任，密切合作，建立科学合理的分工、沟通协调和人事管理机制。在研究任务方面，合理分解子课题研究任务至各参与人员，制定单独考核的研究指标，建立参与人员执行报告制度，严格执行参与人员报告要求，完成参与人员目标任务。在经费使用方面，制定严格的经费使用计划，保证子课题经费转款专用，按项目管理部门要求如实按时填报项目年度完成情况和经费年度决算以及相关的统计调查表，接受对子课题执行情况的监督检查。

在协调机制层面，需在子课题各参与人员之间建立高效顺畅的沟通协调机制，统一调配子课题各方面资源。每年组织一次子课题成员参加的年度研讨会，促进研究成果和所遇到问题的及时交流，实现试验条件、数据与科研成果的内部共享。

2、子课题实施的相关政策，已有的组织、技术基础，支撑保障条件，限 500 字以内。

华南农业大学在纤维素乙醇技术和农林生物质工程研究方面具有长期的积累，拥有亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室、农业农村部能源植物资源与利用重点实验室、广东省高校生物质能源重点实验室和广东省农林生物质工程技术研究中心等国家/省部级科研平台。拥有本项目研究工作所需要的高温高压反应釜、超高速冷冻离心机、恒温摇床、冷冻干燥机、离子色谱、高效液相色谱、GC-MS 和 LC-MS/MS 联用仪、超高分辨率激光共聚焦显微镜、扫描式电子显微镜、X-射线多晶粉末衍射仪、核磁共振波谱仪等，为本项目的实施提供了强有力的平台支撑。

3、对实现项目总目标的支撑作用，及与项目内其他子课题的协同机制，限 500 字以内。

子课题二是本项目的关键点，针对秸秆结构特征和不同的预处理条件，实现半纤维素的定向分离，提高纤维素得率，获得有利于后续酶解的预处理秸秆。

通过各个子课题参与单位的全面合作，利用高等科研院校和企业单位的人才、技术、信息和研究平台等优势资源，开展该项目的研究，并充分利用参与单位在各自研究领域的基础和优势，进行新技术、新路线的验证和实施工作，构建秸秆绿色高效低成本预处理技术与工业化装备体系，有利推动我国纤维素乙醇产业发展。

七、知识产权对策、成果管理及合作权益分配

限 500 字以内。

子课题团队将大力加强成果和知识产权的管理与保护。按照《科技成果登记办法》等有关规定进行登记和管理。知识产权管理及其产生的知识产权归属和利益分配，参与单位各方严格按照国务院办公厅《关于国家科研项目研究成果知识产权管理的若干规定》和科技部《关于加强国家科技计划知识产权管理工作规定》等执行。

1. 合作各方同意在完成项目过程中，各自独立研发所产生的科研成果及相应的知识产权归独立完成方所有，经多方合作共同研发所产生的科研成果及相应的知识产权归合作方共同所有。各方基于该技术成果进行的后续改进，由此产生的具有实质性的改进成果，知识产权归改进方所有。

2. 加强知识产权的保护工作，项目组可参与单位在向外界提供必要的公共数据和结果的同时，一些重要的、具有潜在应用价值的信息和结果在获得知识产权保护后再向社会公开。

3. 由专项资助而产生的学术论文、著作以及成果，在对外公开发表、参加学术会议和成果展览时，明确表明获得本项目资助，必须注有“国家重点研发计划‘绿色生物制造’重点专项资助”的字样。

4. 本子课题研究开发人员，根据各自贡献，享有在有关技术成果和知识产权文件上写明技术成果完成者权利和取得有关荣誉证书、奖励的权利。

八、需要约定的其他内容

限 500 字以内。

第一条：甲乙双方要严格遵守《国家重点研发计划管理暂行办法》和《国家重点研

究法计划资金管理办法》相关规定，认真履行职责，保证任务目标按时完成。子课题未完成任务目标或综合绩效评价结论为结题和未通过的，乙方结余资金由甲方统一组织上交专业机构。

第二条：甲方依据相关管理规定和要求，对乙方进行检查、抽查等工作，并及时反馈结果，并以适当的形式、在适当范围公布。

第三条：在课题实施过程中，实行重大事项报告制度。发生如下事项的，乙方应该在 5 日内，以书面的形式报告甲方，其中包括：

1. 课题执行过程中实现重大突破的；
2. 乙方或其他参加单位发生重大变故、出现财务状况危机的；
3. 乙方或其他参加单位的研究进度严重滞后的；
4. 主要研究人员不能正常履行职责，严重影响子课题研究工作的；
5. 其他应该通知甲方的事项。

第四条：在课题实施过程中，对于所需要的保证条件，涉及的配套政策、工程和经费等未能如期落实以及超出乙方职权范围的事宜，必要时，甲方应当应乙方要求与相关行业主管部门、地方政府进行协调。

第五条：课题综合绩效评价后，本任务书终止。乙方在项目结束 3 年内根据需要或按照甲方要求，有报送项目成果应用、转让等情况的义务。

九、子课题参加人员基本情况表

填表说明： 1.职称分类：A、正高级 B、副高级 C、中级 D、初级 E、其他； 2.投入本课题的全时工作时间（人月）是指在课题实施期间该人总共为课题工作的满月度工作量；累计是指课题组所有人员投入人月之和； 3.课题固定研究人员需填写人员明细； 4.是否有工资性收入：Y、是 N、否； 5.人员分类代码：A、课题负责人 B、课题骨干 C、其他研究人员； 6.工作单位：填写单位全称，其中高校要具体填写到所在院系。													
序号	姓名	性别	出生日期	身份证号码 （军官证、护照）	技术 职称	职务	学位	专业	投入本课题的 全时工作时间 （人月）	人员 分类	在课题中分 担的任务	是否有 工资性 收入	工作单位
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	张爱萍	女	1980-09-21	370782198009210000	B	教师	博士	制浆造纸工程	24	B	子课题2负责人，半纤维素分离	Y	华南农业大学林学与风景园林学院
2	林娜	女	1986-07-10	371302198607103000	C	教师	博士	森林培育与森林生态学	24	C	秸秆半纤维分离	Y	华南农业大学林学与风景园林学院
3	沈荣晨	男	1993-08-26	340502199308260000	E	无	硕士	农业生物环境与能源	36	C	秸秆半纤维分离机制	N	华南农业大学林学与风景园林学院

								工程					
4	姜华彬	男	1993-04-20	412822199304200855	E	无	学士		36	C	秸秆半纤维素分离	N	华南农业大学林学与风景园林学院
5	曾磊	男	1995-12-14	522625199512140053	E	无	学士	林学	36	C	秸秆半纤维素分离机制	N	华南农业大学林学与风景园林学院
6	杨玉如	女	1997-09-18	410927199709187025	E	无	学士	林业工程	36	C	秸秆半纤维素分离方法	N	华南农业大学林学与风景园林学院
7	周康	男	1998-04-04	360302199804043000	E	无	学士	林业	36	C	秸秆半纤维素分离机制	N	华南农业大学林学与风景园林学院
8	梁子展	男	1995-09-14	440823199509143639	E	无	学士	应用化学	36	C	数据处理等	N	华南农业大学林学与风景园林学院
		固定研究人员合计							264	/	/	/	/
		流动人员或临时聘用人员合计							0	/	/	/	/
		累计							264	/	/	/	/

十、经费预算

子课题（课题编号）承担单位基本情况表

表 B1

填表说明：1.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”； 2.单位公章名称必须与单位名称一致。						
子课题编号		子课题二		执行周期（月）		48
子课题名称		秸秆半纤维素选择性分离技术				
子课题承担单位	单位名称		华南农业大学			
	单位性质		大专院校			
	单位主管部门		广东省科技厅	隶属关系	广东省	
	单位组织机构代码		124400004554165634			
	单位法定代表人姓名		刘雅红			
	单位所属地区		广东省	地市 (市、自治州、盟)	广州市	
	电子邮箱		无			
	通信地址		广东省广州市天河区五山路 483 号			
	邮政编码		510642			
相关责任人	子课题负责人		姓名	张爱萍		
			身份证号码	370782198009210825		
			工作单位	华南农业大学		
			电话号码	13913118266	手机号码	
			电子邮箱	aiping@scau.edu.cn	邮政编码	510642
			通信地址	广东省广州市天河区五山路 483 号		
	财务部门负责人		姓名	刘烨		
			电话号码	13640883198	手机号码	
			传真号码	无		
			电子邮箱	652075768@qq.com		
	科研财务助理		姓名	曾磊		
			身份证号码	522625199512140053		
			电话号码		手机号码	18750127950
			电子邮箱	2959421817@qq.com	微信号	18750127950

子课题预算表

表 B2 子课题编号：2021YFC2101601-2 子课题名称：秸秆半纤维素选择性分离技术

金额单位：万元

序号	预算科目名称	合计	专项经费	自筹经费
	(1)	(2)	(3)	(4)
1	一、经费支出	105.00	105.00	0.00
2	(一) 直接费用	88.30	88.30	0.00
3	1.设备费	0.00	0.00	0.00
4	(1) 购置设备费	0.00	0.00	0.00
5	(2) 试制设备费	0.00	0.00	0.00
6	(3) 设备改造与租赁费	0.00	0.00	0.00
7	2.材料费	20.60	20.60	0.00
8	3.测试化验加工费	20.30	20.30	0.00
9	4.燃料动力费	0.00	0.00	0.00
10	5.差旅/会议/国际合作与交流费	8.50	8.50	0.00
11	6.出版/文献/信息传播/知识产权事务费	6.50	6.50	0.00
12	7.劳务费	28.80	28.80	0.00
13	8.专家咨询费	3.60	3.60	0.00
14	9.其他支出	0.00	0.00	0.00
15	(二) 间接费用	16.70	16.70	0.00
16	二、经费来源			
17	(一) 申请从专项经费获得的资助			/
18	(二) 自筹经费来源		/	
19	1.地方财政拨款		/	
20	2.单位自有货币资金		/	
21	3.其他资金		/	

注：1. 子课题在研期间，年度剩余资金可以结转下一年度继续使用。子课题完成任务目标并通过验收，且承担单位信用评价好的，结余资金按规定在 2 年内由单位统筹安排用于科研活动的直接支出；2 年后未使用完的，按规定收回。

2. 项目资金将结合项目实施和资金使用进度，由专业机构及时拨付项目牵头承担单位，项目牵头承担单位拨付至课题承担单位。同时，项目资金实行部门预算批复前预拨制度，保证科研任务顺利实施。

设备费——购置/试制设备预算明细表

表 B3 子课题编号：2021YFC2101601-2

子课题名称：秸秆半纤维素选择性分离技术

金额单位：万元

填表说明：1.设备分类：购置、试制； 2.购置设备类型：通用、专用； 3.经费来源：专项、自筹； 4.试制设备不需填列本表（10）列、（11）列、（12）列、（13）列； 5.设备单价的单位为万元/台套，设备数量的单位为台套； 6.10 万元以下的设备不用填写明细。													
序号	设备名称	设备分类	功能和技术指标	单价	数量	金额	经费来源	购置或试制单位	安置单位	购置设备类型	主要生产厂家及国别	规格型号	拟开放共享范围
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
单价 10 万元以上购置设备合计							/	/	/	/	/	/	/
单价 10 万元以上试制设备合计							/	/	/	/	/	/	/
单价 10 万元以下购置设备合计							/	/	/	/	/	/	/
单价 10 万元以下试制设备合计							/	/	/	/	/	/	/
累计							/	/	/	/	/	/	/

测试化验加工费预算明细表

表 B4 子课题编号：2021YFC2101601-2 子课题名称：秸秆半纤维素选择性分离技术 金额单位：万元

填表说明： 量大及价高测试化验加工，是指课题研究过程中需测试化验加工的数量过多或单位价格较高、总费用在 5 万元及以上的测试化验加工，需填写明细。						
序号	测试化验加工的内容	测试化验加工单位	计量单位	单价 (元/单位数量)	数量	金额
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
量大及价高测试化验加工费合计						
其他测试化验加工费合计						
累计						

单位研究经费支出预算明细表

表 B5 子课题编号：2021YFC2101601-2 子课题名称：秸秆半纤维素选择性分离技术 金额单位：万元

填表说明：1.单位类型为承担单位、参与单位。 2.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”。									
序号	单位名称	组织机构代码	单位类型	任务分工	研究任务负责人	合计	专项经费		自筹经费
							小计	其中：间接费用	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	华南农业大学	124400004554165634	承担单位	秸秆半纤维素选择性分离技术	张爱萍	105.00	105.00	16.70	
累 计									

预算说明

一、对子课题承担单位、参与单位前期已形成的工作基础及支撑条件，以及相关部 门承诺为本子课题研究提供的支撑条件等情况进行详细说明。

子课题承担单位为华南农业大学，本团队长期从事农林生物质资源的高效转化与利用的研究，已取得大量基础研究成果以及具有工业化应用前景的成果，团队近五年承担国家级、省部级项目 12 项，在农林生物质领域拥有高效酶解糖化发酵转化乙醇先进技术。本单位华南农业大学拥有农业部能源植物资源与利用重点实验室、广东省农林生物质工程技术研究中心和广东省生物质高校重点实验室，是我国农林植物资源高效转化与利用研究领域重要的研究基地，近年来新配备了 3000 多万元分析测试仪器，拥有本课题研究所需要的高温高压反应釜、超高速冷冻离心机、恒温摇床、冷冻干燥机、离子色谱、高效液相色谱、GPC、GC-MS 和 LC-MS/MS 联用仪等，能够保证项目的顺利实施。

为完成本课题，本单位将投入 2 名高级研究人员，1 名博士生，4 名硕士生参与研究，保障课题参加人员的工资、津贴和奖金以及研究生的基本津贴。本单位承诺对该计划项目保证做到以下几点：（1）保证对研究计划实施所需的人力、物力和工作时间等条件给予支持。（2）保证公共平台设备将优先提供给该课题参加人员使用。（3）保证督促项目负责人和本单位项目管理部门，按《国家重点研发计划》规定，及时报送有关报表和材料。

二、对本子课题各科目支出主要用途、与课题研究的相关性、必要性及测算方法、 测算依据进行详细说明；按照课题进行说明，不需要按照参与单位分别说明；如同 一科目同时编列专项经费和自筹经费的，请分别说明。

（一）直接费用

1.设备费：0 万元。

2.材料费：共计 20.60 万元，其中专项经费 20.60 万元，自筹资金 0 万元。

[1] 试验仪器耗材，8.70 万元

序号	名称	单位	数量	单价 (元)	合计 (万元)	备注	用途
1	糖色谱柱	根	1	15000	1.5	Aminex 125-0140 HPX-87H 糖分 析柱、Aminex	液相色谱耗材

						HPX-42A 糖分析柱	
2	气相色谱柱	根	2	15000	3	岛津 SH-Rtx-1 Integra-Guard Column	气相色谱耗材
3	滤芯	套	2	6000	1.2	UPYZXI-10T	纯水仪耗材
4	屈臣氏蒸馏水	箱	15	500	0.75	一箱 4 瓶, 一瓶 4.5L	液相色谱耗材
5	液相色谱柱	根	1	15000	1.5	SGLC shim-pack velox 系列 C18(ODS)柱、Aminex 糖分析色谱柱 125-0140 HPX-87H、Aminex HPX-42A 糖分析柱	液相色谱耗材
6	高纯 He	瓶	5	600	0.3	99.5%	气相色谱载气
7	乙腈	瓶	30	50	0.15	色谱纯	液相色谱耗材
8	高纯 H2	瓶	5	600	0.3	99.5%	气相色谱载气
总计 (万元)					8.70 万元		

[2] 样品预处理、分离与提纯过程所需药品和试剂，5.03万元

序号	名称	规格	单位	数量	单价 (元)	合计 (万元)	备注	用途
1	吡啶	500mL	瓶	20	160	0.32	分析纯	样品的分离与提纯
2	二氧六环	500mL	瓶	20	80	0.16	分析纯	样品的分离与提纯
3	乙酸	500mL	瓶	20	100	0.2	分析纯	预处理
4	氢氧化钠	500g	瓶	30	40	0.12	分析纯	预处理
5	硫酸	500mL	瓶	20	30	0.06	分析纯	预处理及液相流动相
6	盐酸	500mL	瓶	20	30	0.06	分析纯	预处理
7	乙醇	500mL	瓶	15	30	0.045	分析纯	预处理
8	草酸	500g	瓶	20	80	0.16	分析纯	预处理
9	柠檬酸	500g	瓶	20	50	0.1	分析纯	预处理
10	马来酸	500g	瓶	20	90	0.18	分析纯	预处理
11	对甲苯磺	500g	瓶	20	80	0.16	分析纯	预处理

		酸								
12		γ-戊内酯	500g	瓶	5	300	0.15	分析纯	预处理	
13		离子液体	100g	瓶	25	534	1.335	分析纯	预处理	
14		纤维素酶	500g	瓶	3	830	0.25	分析纯	样品的分离与提纯	
15		半纤维素酶	500g	瓶	1	1600	0.16	分析纯	样品的分离与提纯	
16		甲酸	500mL	瓶	20	30	0.06	分析纯	预处理	
17		酒石酸	500g	瓶	15	400	0.6	分析纯	预处理	
18		磷酸	500mL	瓶	30	50	0.15	分析纯	预处理	

19	三氟甲磺酸	500g	瓶	5	1200	0.6	分析纯	预处理
20	苯酚	500g	瓶	10	30	0.03	分析纯	样品的分离与提纯
21	氢氧化钾	500g	瓶	15	40	0.06	分析纯	样品的分离与提纯
22	四氯甲烷	500ml	瓶	10	70	0.07	分析纯	样品的分离与提纯
共计（万元）						5.03 万元		

[3] 低值易耗品，共计 6.87 万元。具体说明如下表：

序号	种类	用途及用量说明	单位	数量	单价（元）	合计（万元）
1	干燥器	实验过程中所需的耗材	个	15	200	0.3
2	胶头滴管		包	30	10	0.03
3	0.22um 水相滤膜		盒	2	100	0.02
4	0.22um 有机相滤膜		盒	75	100	0.75
5	乳胶手套		盒	60	55	0.33
6	高精度移液器		支	2	2000	0.4
7	10mL 移液枪头		包	40	150	0.6
8	1mL 移液枪头		包	40	150	0.6
9	10μL 移液枪头		包	40	150	0.6
10	1μL 移液枪头		包	30	150	0.45

11	砂芯漏斗 G3		个	30	55	0.165
12	一次性进样针		个	30	100	0.3
13	防护眼镜		个	30	30	0.09
14	进样针		个	20	400	0.8
15	实验室口罩		盒	60	30	0.18
16	10 μ L 注射器		盒	30	40	0.12
17	1 μ L 注射器		盒	30	45	0.135
18	磁性搅拌子		个	50	10	0.05
19	烧杯		个	60	5	0.03
20	抽滤瓶		个	30	30	0.09
21	真空硅胶		盒	5	40	0.02
22	50 $\times$ 50 称量纸		包	30	10	0.03
23	75 $\times$ 75 称量纸		包	30	10	0.03
24	120 $\times$ 120 称量纸		包	30	10	0.03
25	外径 3mm 核磁管		支	30	20	0.06
26	外径 5mm 核磁管		支	40	15	0.06
27	外径 10mm 核磁管		支	30	10	0.03
28	烧瓶		个	30	40	0.12
29	塑料离心管		包	60	30	0.18
30	滤纸		盒	30	20	0.06
31	防毒面具		个	6	350	0.21
总计		6.87 万元				

3.测试化验加工费：共计 20.30 万元，其中专项经费 20.30 万元，自筹资金 0 万元。

序号	名称	主要用途	与课题研发的相关性和必要性	单价 (元)	数量	合计 (万元)	测算依据
1	X 射线衍射	对预处理前后的秸秆进行尺	对预处理前后的秸秆进行表征，确定预处理条件对秸秆	100	50	0.5	基于市场参考价格测算
2	扫描电镜			200	30	0.6	
3	透射电镜			200	50	1	
4	受激拉曼散射显微镜			200	50	1	
5	荧光寿命成像显微镜			200	20	0.4	

6	能谱仪(EDS)	寸、表面	结构的影响，	150	50	0.75	
7	共聚焦激光扫描显微镜	结构、晶体结构以及组分分布的分析。	从宏观层面分析三大组分迁移规律	100	100	1	
8	二维核磁共振	表征预处理前后的秸秆以及处理液中的化学成分及纤维素、半纤维素、木质素的物理特性、结构、成分、含量及分布。	通过分析预处理前后三大组分的分子结构和分布，阐明秸秆组分的拆解机制与迁移规律	150	100	1.5	
9	液相核磁共振- ¹ H			150	150	2.25	
10	液相核磁共振- ¹³ C			200	75	1.5	
11	液相核磁共振- ³¹ P			200	100	2	
12	固相核磁共振- ¹³ C			200	50	1	
13	红外光谱			100	150	1.5	
14	拉曼光谱			100	150	1.5	
15	凝胶渗透色谱			50	200	1	
16	元素分析			100	80	0.8	
17	热重分析			50	50	0.25	
18	差示扫描热分析			50	150	0.75	
19	离子色谱			100	100	1	
合计						20.30 万元	

4.燃料动力费：0 万元

5.出版/文献/信息传播/知识产权事务费：共计 6.50 万元，其中专项经费 6.50 万元，自筹资金 0 万元。

序号	内容	测算依据				专项/自筹
		单价/元	单位	数量	金额/万元	
1	打印复印	1000	本	17	1.70	专项

2	文本制作装订	1000	本	15	1.50	专项
3	专利申请费	5000	件	2	1.00	专项
4	专利维持费	3000	件	1	0.30	专项
5	论文版面费	5000 中文 /10000 英文	篇	2 中文 /1 英文	2.00	专项
合计					6.50	专项

6.其他支出：0 万元。

7.差旅/会议/国际合作与交流费、劳务费、专家咨询费：共计 40.90 万元，其中专项经费 40.90 万元，自筹资金 0 万元。

无需填写说明。

（项目实施中发生的差旅/会议/国际合作与交流费预算不超过直接费用 10%的，不需提供预算测算依据。超过直接费用 10%的，应说明测算依据）

（劳务费预算无比例限制。参与项目研究的研究生、博士后、访问学者以及项目聘用的研究人员、科研辅助人员等，均可开支劳务费。项目聘用人员的劳务费开支标准，参照当地科学研究和技术服务业从业人员平均工资水平，根据其在项目研究中承担的工作任务确定，其社会保险补助纳入劳务费科目中列支）

（专家咨询费应按照管理办法规定支出标准执行。）

（二）间接费用：共计 16.70 万元，其中专项经费 16.70 万元，自筹资金 0 万元。

无需填写说明。

（承担单位应当建立健全间接费用的内部管理办法，合规合理使用间接费用，不得在核定的间接费用或管理费用以外再以任何名义在项目资金中重复提取、列支相关费用。项目承担单位在统筹安排间接费用时，应结合一线科研人员实际贡献公开公正安排绩效支出，体现科研人员价值，充分发挥绩效支出的激励作用；要处理好合理分摊间接成本和对科研人员激励的关系，绩效支出的安排与科研人员在项目工作中的实际贡献挂钩）

三、自筹经费来源说明（需说明经费的来源、用途）

自筹经费来源证明

_____（单位全称），为_____课题，
提供_____万元的资金，资金来源为_____（ 1、地方财政拨
款 2、单位自有货币资金 3、其他资金）。

资金主要用于：_____（填写具体预算支出
科目）

特此证明！

出资单位（公章）：

年 月 日

十一、相关附件

1. 乙方与参加单位有关协议（须加盖乙方与参加单位公章、法人签字签章；协议文件须扫描上传。如无参加单位，则不填）；
2. 申报指南规定的其他附件。

任务书签署

甲乙双方根据《国务院关于改进加强中央财政科研项目和资金管理的若干意见》(国发[2014]11号)、《国务院印发关于深化中央财政科技计划(专项、基金)管理改革方案的通知》(国发[2014]64号)、《科技部财政部关于改革过渡期国家重点研发计划组织管理有关问题的通知》(国科发资[2015]423号)、《科技部财政部关于印发<中央财政科技计划(专项、基金等)监督工作暂行规定>的通知》(国科发政[2015]471号)、《财政部科技部关于中央财政科技计划管理改革过渡期资金管理有关问题的通知》(财教[2015]154号)等有关文件规定,以及有关法律、政策和管理要求,依据项目立项通知,签署本任务书。

课题承担单位(甲方):

法定代表人签字(签章):

(公章)

年 月 日

课题负责人签字（签章）：

年 月 日

子课题承担单位（乙方）：

法定代表人签字（签章）：

（公章）

年 月 日

子课题负责人签字（签章）：

年 月 日

12. 主参：土沉香重大害虫绿色关键防控技术推广与应用示范（合同）

编号：〔2022〕GDTK -06 号

中央财政林业改革发展资金 (林业科技推广示范) 项目合同书

项目名称：土沉香重大害虫黄野螟绿色关键防控技术推广与应用示范

管理单位（甲方）：广东省林业局

承担单位（乙方）：广东省森林资源保育中心

项目保证单位（丙方）：

起止年限：2022 年 1 月至 2024 年 12 月

签订日期： 年 月

国家林业和草原局科学技术司制

一、推广项目承担单位及实施地林业生产建设的基本情况、特点

（一）项目承担单位概况

项目承担单位广东省森林资源保育中心，拥有检验检疫实验楼，线虫检测鉴定室、昆虫和病理实验室、实验圃地及林木种子质量检验室等，现有工作人员 31 名，其中高级工程师 17 名（其中正高级工程师 4 人），硕士以上学历 10 人。先后承担了国家林草局、广东省林业局等科研项目 40 多项，获得了省部级科技进步奖一等奖 1 项、二等奖 8 项、三等奖 6 项，梁希林业科学技术奖三等奖 2 项，省农业技术推广奖一等奖 3 项、二等奖 8 项、三等奖 2 项，南粤林业科技一等奖 1 项。

项目主要参加及执行单位华南农业大学，现有亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室、国家植物航天育种工程技术研究中心、教育部重点实验室 2 个、农业部重点实验室 9 个、农业部科学观测实验站 3 个、国土资源部重点实验室 1 个、广东省重点（工程）实验室 13 个、教育部工程研究中心 3 个、广东省工程技术研究中心 25 个等；尤其在成果转化方面业绩突出，被评为中国产学研合作促进会的理事单位，拥有广东省农业科技企业孵化器、华南农业大学技术转移中心等。林学与风景园林学院拥有“广东省森林植物种质创新与利用重点实验室”、广东省天然活性物工程中心、华南农业大学天然活性物研究中心，其多项成果荣获广东省科学技术进步奖、广东省农业技术推广奖等多项奖项，在全省林业相关领域得到推广应用。森林保护教研室现有专职技术人员 13 人（其中博士学位 12 人，教授 4 人，

副教授 4 人），先后承担国家自然科学基金项目、林业公益性行业专项、农业公益性行业专项、广东省林业科技创新项目、2015 年度中央财政林业科技推广示范项目及广州市各区相关社会技术服务等课题 80 余项，多项科研成果在相关领域得到转化应用。

项目参加单位中山市林业有害生物防治检疫站，现有专业技术人员 7 名，其中高级工程师 3 名，先后获得南粤林业科学技术奖、广东省农业技术推广奖、梁希林业科学技术进步奖等多个奖项。

（二）实施地林业生产建设的基本情况、特点

本项目建设地点选在国家首批林业和草原创新联盟“沉香产业国家创新联盟”所在地-广东省中山市，设立示范林约 5000 亩。该地具有土沉香种植面积较大、集中连片、交通便利，且山林权属清晰等优势，利于本项目的顺利开展与技术应用推广。

二、推广项目成果来源、技术水平及推广的目的和意义

（一）推广项目成果来源及技术水平

推广项目成果来源为华南农业大学主持完成的“黄野螟生物学规律与防控技术（粤科成登 2 字[2017]0317）”，成果库编号：18040320，其技术水平处于同类研究的先进水平，制定了广东省地方标准 1 项（DB44/T 2148-2018），获得了首届南粤林业科学技术奖一等奖、广东省农业技术推广奖二等奖。

（二）推广的目的和意义

沉香（*Aquilaria sinensis*），又名白木香，称为“植物中的宝石”，瑞香科（Thymelaeaceae）沉香属植物，主产于广东、海南、

广西、福建、台湾等地，是我国特有的珍贵稀有树种，1999 年被列为国家二级重点保护野生植物，2003 年被载入《广东省珍稀濒危植物图谱》，2016 年沉香被纳入第一批保护的岭南中药材种类（广东省岭南中药材保护条例），具有极高的经济价值；为避免该属植物的灭绝，沉香属所有植物被列入《濒危野生动植物物种国际公约》加以保护。长期以来由于森林资源、生态环境遭受自然灾害和人为破坏，土沉香野生资源量在不断减少。为了保护 and 开发土沉香资源，近年来，我国先后建立了多个生产保护基地，旨在大力发展土沉香人工林，开拓这一我国特有的优势植物资源。

然而随着土沉香种植面积不断扩大，病虫害危害也愈发严重，在土沉香种植区，以黄野螟为主要危害的重大害虫，俨然成为制约土沉香产业进一步发展的主要因素。目前，由于存在缺乏及时有效的监测预警方法、防治不及时等因素，有的农户尽管每年喷洒化学农药多达 10 次以上，仍有大面积土沉香叶片被吃光，导致土沉香生长不良、枝丫干枯，严重的整株枯死现象经常发生。

黄野螟 *Heortia vitessoides*，隶属鳞翅目螟蛾科，是目前土沉香最主要的重大害虫，该虫发生普遍，具有爆发性、暴食性的特点，年年爆发成灾，可在短时间内将整株叶片全部吃光，发生严重时甚至连枝条树皮也全部啃光，对土沉香造成巨大经济损失。主要体现在以下 2 方面：一是黄野螟幼虫取食导致土沉香叶片严重受损让其无法正常进行蒸腾作用，严重降低了结香效果。二是为杀灭黄野螟，种植户大量使用有机磷等高毒高残留农药，造成严重的农药残留问题，极大

的影响了沉香产品的品质 and 安全性，制约了出口贸易。

为解决降低农药残留，提高沉香结香问题，本项目采用生物防治、物理防治与化学防治相结合的科学方法，在有效控制黄野螟种群的同时，控制农药残留在允许水平以下，既提高防治效果，又保护环境。

三、推广的主要技术、实施地点、规模及进度安排、技术熟化与集成

（一）推广的主要技术

本项目通过对土沉香重大害虫黄野螟绿色关键防控技术推广与应用示范，创新黄野螟绿色关键防控技术，集成生态绿色调控技术体系并应用示范，为整个南方地区土沉香的安全生产发挥了重大作用，减少了农药的大量使用，保护了珍贵濒危树种土沉香。主要推广技术内容如下：

1、监测技术：采用人工调查、灯光诱杀等技术监测黄野螟发生时期和数量，评估其种群动态趋势，及时发布监测预报信息，确定成灾前兆的气象和物候特征，一旦接近或者达到成灾风险，及时发布危害预警和防控时间表，为灾害预警和确定最佳防控时机提供依据。

2、防治技术：(1)粘虫胶或者药环。依据黄野螟幼虫下树化蛹的习性，在土沉香树干涂抹粘虫胶或者混有高效低毒杀虫剂的药环，阻止幼虫下树结茧化蛹或杀死下树的幼虫，控制其种群，减轻危害；(2)生物农药（真菌类）。一方面直接杀死低龄幼虫，另一方面老熟幼虫可粘附真菌孢子，待其钻入土中后，利用土壤湿度一般较大，利于孢子萌发的特性，粘有孢子的黄野螟幼虫感病死亡，阻止其结茧化蛹和繁殖下一代；(3)杀虫剂。在成虫产卵期和幼虫危害期，在树冠上喷洒

高效低毒无残留的杀虫剂防治黄野螟初孵幼虫和正在取食危害的幼虫；(4)性信息素。在林间大量释放含黄野螟性信息素主要组分或某些组分，干扰成虫交配，降低其交尾率，控制其繁殖后代。

（二）实施地点与规模

本项目实施地点选在国家首批林业和草原创新联盟“沉香产业国家创新联盟”所在地-广东省中山市，设立示范林约 5000 亩。该地具有土沉香种植面积较大、集中连片、交通便利，且山林权属清晰等优势，利于本项目的顺利开展与技术应用推广。

（三）实施进度安排

项目建设进度安排表

年度	计划任务
2022. 01-2022. 12	制定总体技术推广方案、调查示范林，确定示范林的具体区域；进行基层技术培训，培训人员 10-15 人次，在黄野螟发生高峰期进行防控技术示范，推广面积 3000 亩。
2023. 01-2023. 12	继续开展黄野螟绿色关键防控技术推广与应用，进一步优化黄野螟绿色防控技术的相关参数，并开展技术培训，培训人员 10-15 人次，优化技术培训内容，推广面积 2000 亩。
2024. 01-2024. 12	黄野螟绿色关键防控技术推广与应用示范，提出适合我省黄野螟防控的技术方法和效果评价方法，累计推广面积 5000 亩，开展防治效果评价和推广示范工作，进行技术宣传和人员培训，累计培训技术人员 20-30 人次，建设和完善示范林，并开展科技成果推广示范绩效评价工作，撰写结题报告，结题验收。

（四）技术熟化与集成

结合黄野螟幼虫的生物学特性，通过人工（采集卵、幼虫、蛹）、物理（粘虫胶环、灯光诱杀）、生物（白僵菌、绿僵菌）、化学（阿维菌素、甲维盐等高效低毒农药）等防治手段，开发出一套适合我省

黄野螟防控的以生物防治技术为核心，可持续、绿色防治技术体系，并推广，为我省土沉香产业发展提供高效、绿色、实用的病虫害防控技术支持。

四、预期达到的经济技术指标和经济效益、社会效益

（一）预期达到的经济技术指标

- 1、提供一套灯光诱杀、性信息素、粘虫胶、生物农药等防治技术，危害率控制在 5%以下；
- 2、形成黄野螟绿色防控技术体系应用示范及防治指南；
- 3、培训技术人员 30 人次以上，培养研究生 1-2 名，培养本科生 2-4 名；
- 4、发表学术论文 1-2 篇；
- 5、设立土沉香黄野螟绿色防控示范林 5000 亩。

（二）预期取得的经济效益、社会效益

黄野螟绿色关键技术与推广示范的野外应用技术是现阶段我省乃至南方地区防治土沉香病虫害的重要技术措施，不但防治效果显著，而且保护环境。同时，还提高沉香的结香产量，大大提高林农的经济收入，社会效益明显。

五、所需经费按主要项目分列开支预算

（一）资金使用计划

项 目	金额 (万元)	其 中 (万元)		备注
		国家资金	配套资金	
合 计	100.00	100.00	0.00	
林木新品种繁育费	/	/	/	
新品种新技术应用 示范费	40.00	40.00	0.00	
简易基础设施建设费	/	/	/	
专用材料及小型仪器设 备购置费	41.00	41.00	0.00	
技术培训费	12.00	12.00	0.00	
技术咨询费	7.00	7.00	0.00	

配套资金包括：地方经费、单位自筹、银行贷款等。

（二）资金分配计划及资金来源

项目总经费 100.00 万元，由承担单位广东省森林资源保育中心，主要参加单位华南农业大学、中山市林业有害生物防治检疫站严格按照国家相关法律法规和技术推广工作的需要统一协调分配使用。具体分配情况如下：

项目经费分配表

完成单位	经费分配情况 /单位：万元	备注
广东省森林资源保育中心	20.00	主要用于项目宣传、技术咨询等。
华南农业大学	76.40	主要用于项目实施所需的材料费、交通费、示范推广费用等。
中山市林业有害生物防治检疫站	3.60	主要用于药剂采购、喷雾机维护等。

参加单位 1：华南农业大学，户名：华南农业大学，开户行：广州工行五山支行，帐号：3602002609000310520

参加单位 2：中山市林业有害生物防治检疫站，户名：中山市财政局，开户行：建设银行中山分行营业部，帐号：44001780302051305139087004（汇款时备注单位：中山市林业有害生物防治检疫站）。

1. 林木新品种繁育费

无。

2. 新品种新技术应用示范费

应用示范费 40.00 万元：主要包括前往中山调研、开展试验、技术推广过程中发生差旅交通费，项目执行期间约为 10.00 万元，林间技术推广、检查、效果调查和管护及临聘人员等所需的劳务费等，共计 20 人，每次 300 元，累计调研 50 次，共计 20 人*300 元*50 次=30.00 万元。

3. 简易基础设施建设费

无。

4. 专用材料及小型仪器设备购置费

主要有太阳能诱虫灯、生物农药等。具体如下：太阳能诱虫灯 12 个，每个约 0.5 万元，共计 6 万元；生物型农药，甲维盐、阿维菌素、白僵菌、绿僵菌等约为 6 万元；害虫自动监测装置 1-2 台，约为 4 万元；性信息素标准品 1000g，每 g 约为 80 元，共计 8 万元；野外粘虫胶环约为 2 万元；室内开展验证所需的一些常用材料及耗材，正己烷、乙醇、丙酮、烧杯、烧瓶、养虫笼、一次性手套、剪刀、镊子、放大镜、眼科剪等约为 6 万元，诱捕器、诱芯、喷雾器等，约为 9 万元。

5. 技术培训费

召开培训班、现场会、技术培训等会议，预计费用 4 万元，复印、打印装订中期考核、验收报告等相关材料约为 3 万元，发表学术论文和宣传资料印刷费、宣传指示牌等费用约为 5 万元。

6. 技术咨询费

项目中期考核、项目现场查定、结题验收等，每次需要 5 名专家，每次费用 0.2 万元，共计 $0.2 \text{ 万元} \times 5 \text{ 人} \times 3 \text{ 次} = 3 \text{ 万元}$ ；项目开展过程中，新发现的危害土沉香病虫害鉴定费等约为 2 万元；聘请专家指导约为 1 万元；项目结题进行财务审计所需的费用约为 1 万元。

六、项目后续管理保障

项目承担单位承诺：

（一）保证黄野螟防治后危害率控制在 5%以下，确保土沉香林不成灾。

（二）对项目的完整性负责，保护好项目不受破坏，要充分展示项目的先进性，发挥示范样板作用。

七、推广项目负责人及主要参加人员(姓名、单位名称、职务、职称)

(注:如使用非本单位的成果,要求必须有成果主要完成人中至少1人参与项目,排名最后,作为技术指导,技术支撑单位有责任对合同书和作业设计以及实施方案进行初审)

姓名	年龄	性别	工作单位	职务职称	任务分工	签名
毛亦杨	58	男	广东省森林资源保育中心	主任/工程师	总体实施	毛亦杨
胡淑仪	40	女	广东省森林资源保育中心	副主任/高级工程师	总体实施	胡淑仪
冯莹	44	女	广东省森林资源保育中心	科长/高级工程师	总体实施	冯莹
马涛	34	男	华南农业大学	副教授	总体实施	马涛
陈志云	41	男	中山市林业有害生物防治检疫站	副站长/高级工程师	防治技术推广	陈志云
李亭璐	31	女	广东省森林资源保育中心	副科长/工程师	野外调查、技术推广	李亭璐
王忠	52	男	广东省森林资源保育中心	高级工程师	防治技术推广	王忠
王玲	42	女	中山市林业有害生物防治检疫站	高级工程师	防治技术推广	王玲
林娜	34	女	华南农业大学	讲师	技术集成	林娜
温秀军	56	男	华南农业大学	教授	技术集成	温秀军
王德	37	男	华南农业大学	副教授	技术集成	王德
李东文	50	男	中山市林业有害生物防治检疫站	高级工程师/站长	防治技术推广	李东文
徐穗青	40	男	广东省森林资源保育中心	科长/助理工程师	野外调查	徐穗青
韦美满	42	女	广东省森林资源保育中心	工程师	野外调查	韦美满
钱沉鱼	27	女	华南农业大学	博士研究生	防治调查实施	钱沉鱼
文超	28	男	华南农业大学	博士研究生	防治调查实施	文超
莫菱	45	男	中山市林业有害生物防治检疫站	工程师	防治技术推广	莫菱
孔达卿	41	女	中山市林业有害生物防治检疫站	助理工程师	防治技术推广	孔达卿



苑鹏宇	24	女	华南农业大学	硕士研究生	野外调查	苑鹏宇
朱云倩	25	女	华南农业大学	硕士研究生	野外调查	朱云倩
董 祥	24	男	华南农业大学	硕士研究生	生物农药试验调查	董 祥
谢雯其	26	女	华南农业大学	硕士研究生	野外应用技术	谢雯其
苏钟琪	23	男	华南农业大学	硕士研究生	野外应用技术	苏钟琪
胡可炎	25	男	华南农业大学	硕士研究生	野外试验调查	胡可炎
范凌华	26	男	华南农业大学	硕士研究生	野外应用技术	范凌华
张国祥	25	男	华南农业大学	硕士研究生	信息素诱捕技术调查	张国祥



共 同 条 款

签约各方，共同同意：

1、甲方负责按合同要求，负责对项目实施进行检查、监督和管理，并按项目管理的有关要求组织项目验收。

2、在项目实施过程中，乙方要建立健全技术档案，记载和积累技术资料。有合作单位的，乙方应与其签订合作协议，规定双方的权、责、利。

3、乙方必须按合同规定的内容，于每年 12 月 15 日前将本年度执行合同的情况向甲、丙方提出年度总结报告及经费决算报告。

4、项目完成后，乙方必须按合同规定的内容向甲、丙方提出项目实施总结报告及推广经费使用情况报告。

5、推广项目中央财政经费专款专用，不准挪作他用。

6、乙方因故撤消合同，或并非由于不可抗拒的客观原因，而是由于主观原因（如挪用专项经费、违法渎职、可行性研究不周等）致使合同无法进行时，应全部退还专项经费，由于主观原因致使合同规定的原定进程拖延或推广规模扩大等所发生的额外经费，由乙方自理。

7、丙方应协调合同执行过程中出现的问题，并监督保证执行合同。

8、本合同文本一式六份，分存甲方两份，乙方两份，丙方两份。在执行合同过程中，如乙方需修改合同的某些条款，应根据有关规定，经丙方逐级审核同意并签署意见后，向甲方提出变更内容及其理由的申请报告，经甲方审批同意后方可执行。

9、本合同一经签订，甲、乙、丙三方均负有合同的经济和法律责任。

10、本合同自甲、乙、丙三方签字盖章之日起生效。各方均应负合同规定的法律责任，不应受机构、人事变动而影响。

八、合同签约各方

(一) 项目管理部门 (甲方)：广东省林业局 (公章)

单位负责人 (签章)：



联系人及电话：陈泱霖，020-81830217



年 月 日

(二) 项目承担单位 (乙方)：广东省森林资源保育中心 (公章)

项目
承担
单位

单位负责人 (签章)：

联系人及电话：冯莹，13682203756



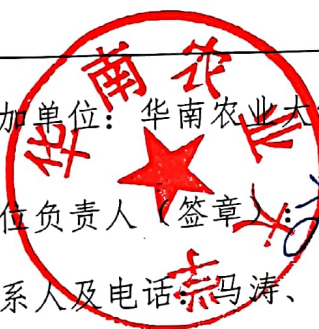
年 月 日

参加
单位 1

参加单位：华南农业大学

单位负责人 (签章)：

联系人及电话：马涛，13560428945



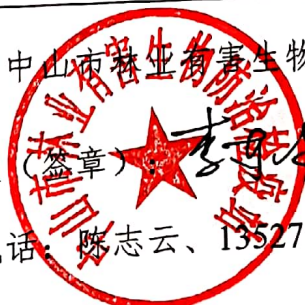
年 月 日

参加
单位 2

参加单位：中山市林业有害生物防治检疫站

单位负责人 (签章)：

联系人及电话：陈志云，13527104432



年 月 日



(三) 归口管理单位 (丙方) :	
县 (市) 级林业主管部门: 单位负责人 (签章) : 联系人及电话: 年 月 日	地级以上市林业主管部门: 单位负责人 (签章) : 联系人及电话: 年 月 日

项目承担单位开户银行及帐号: 中国农业银行广州荔景苑支行,
44045001040001468

2022 中央财政林业改革发展资金（林业科技推广示范补助）项目计划表

项目名称及编号	推广示范内容及主要指标	社会经济效益	主管部门	承担单位	起止年限	推广经费	项目负责人及联系方式
	一、推广示范内容 土沉香重大害虫黄野螟绿色关键防控技术推广与应用示范 二、主要指标 1、提供一套灯光诱杀、性信息素、粘虫胶、生物农药等防治技术，危害率控制在 5%以下； 2、形成黄野螟绿色防控技术体系应用示范及防治指南； 3、培训技术人员 30 人次以上，培养研究生 1-2 名，培养本科生 2-4 名； 4、发表学术论文 1-2 篇； 5、设立土沉香黄野螟绿色防控示范林 5000 亩。	黄野螟绿色关键技术创新与推广示范的野外应用技术是现阶段我省乃至南方地区土沉香病虫害防治技术中效果极为明显的防治措施，该项技术不仅防治效果显著、不污染环境等，且随着该技术的大面积的推广应用，可大幅减低各地黄野螟的防治费用，有助于以较低的经济和环境代价，有效降低黄野螟的危害，更为重要的是，该技术还可以提高沉香的结香产量，大大提高了林农的经济收入，它的推广应用，将产生巨大的经济、生态和社会效益。	广东省林业局	广东省森林资源保育中心	202201-202412	总经费：100.00 万元 其中中央财政经费：100.00 万元	负责人：毛亦杨 联系电话：13922226813 电子邮箱：443709442@qq.com

2022 年中央财政林业改革发展资金（林业科技推广示范补助）项目绩效目标表

专项名称		中央财政林业改革发展资金（林业科技推广示范补助）项目		
省级林业主管部门		广东省林业局	专项实施期限	2022 年 1 月-2024 年 12 月
地市级林业主管部门			地市级财务主管部门	
资金 (万元)	实施期金额:	总金额: 100.00 万元, 其中: 中央财政补贴资金 100.00 万元, 地方配套或自筹 0.00 万元。		
总体 目 标	实施期总目标		分年度目标	
	1、提供一套灯光诱杀、性信息素、粘虫胶、生物农药等防治技术, 危害率控制在 5%以下; 2、形成黄野螟绿色防控技术体系应用示范及防治指南; 3、培训技术人员 30 人次以上, 培养研究生 1-2 名, 培养本科生 2-4 名; 4、发表学术论文 1-2 篇; 5、设立土沉香黄野螟绿色防控示范林 5000 亩。		2022 年: 制定总体技术推广方案、调查示范林, 确定示范林的具体区域; 进行基层技术培训, 培训人员 10-15 人次, 在黄野螟发生高峰期进行防控技术示范, 推广面积 3000 亩。 2023 年: 继续开展黄野螟绿色关键防控技术推广与应用, 进一步优化黄野螟绿色防控技术的相关参数, 并开展技术培训, 培训人员 10-15 人次, 优化技术培训内容, 推广面积 2000 亩。 2024 年: 黄野螟绿色关键防控技术推广与应用示范, 提出适合我省黄野螟防控的技术方法和效果评价方法, 累计推广面积 5000 亩, 开展防治效果评价和推广示范工作, 进行技术宣传和人员培训, 累计培训技术人员 20-30 人次, 建设和完善示范林, 并开展科技成果推广示范绩效评价工作, 撰写结题报告, 结题验收。	

绩效指标	一级指标	二级指标	三级指标	指标值	2022. 01- 2022. 12	2023. 01- 2023. 12	2024. 01- 2024. 12	
	产出指标	数量指标	指标 1: 组装、集成推广先进、实用的林业技术（项）*	1				
			指标 2: 推广省级或国家级良种（个）					
			指标 3: 示范林建设规模（亩）	5000.00 亩	3000.00 亩	2000.00 亩	5000.00 亩	
			指标 4: 育苗圃规模（亩）					
			指标 5: 培育优质种苗（万株）					
			指标 6: 示范生产线（条）或产品数量（个/kg）					
			指标 7: 培训技术人员和林农（人次）*	20-30				
								
		质量指标	指标 1: 示范林良种应用率（%）					
			指标 2: 示范林成活率（%）					
			指标 3: 示范林保存率（%）					
			指标 4: 示范林生长量提高率（%）					
			指标 5: 林业有害生物防治成灾率（%）	0				
		时效指标	指标 1: 项目进度计划完成率（%）*	100%	100%	100%	100%	

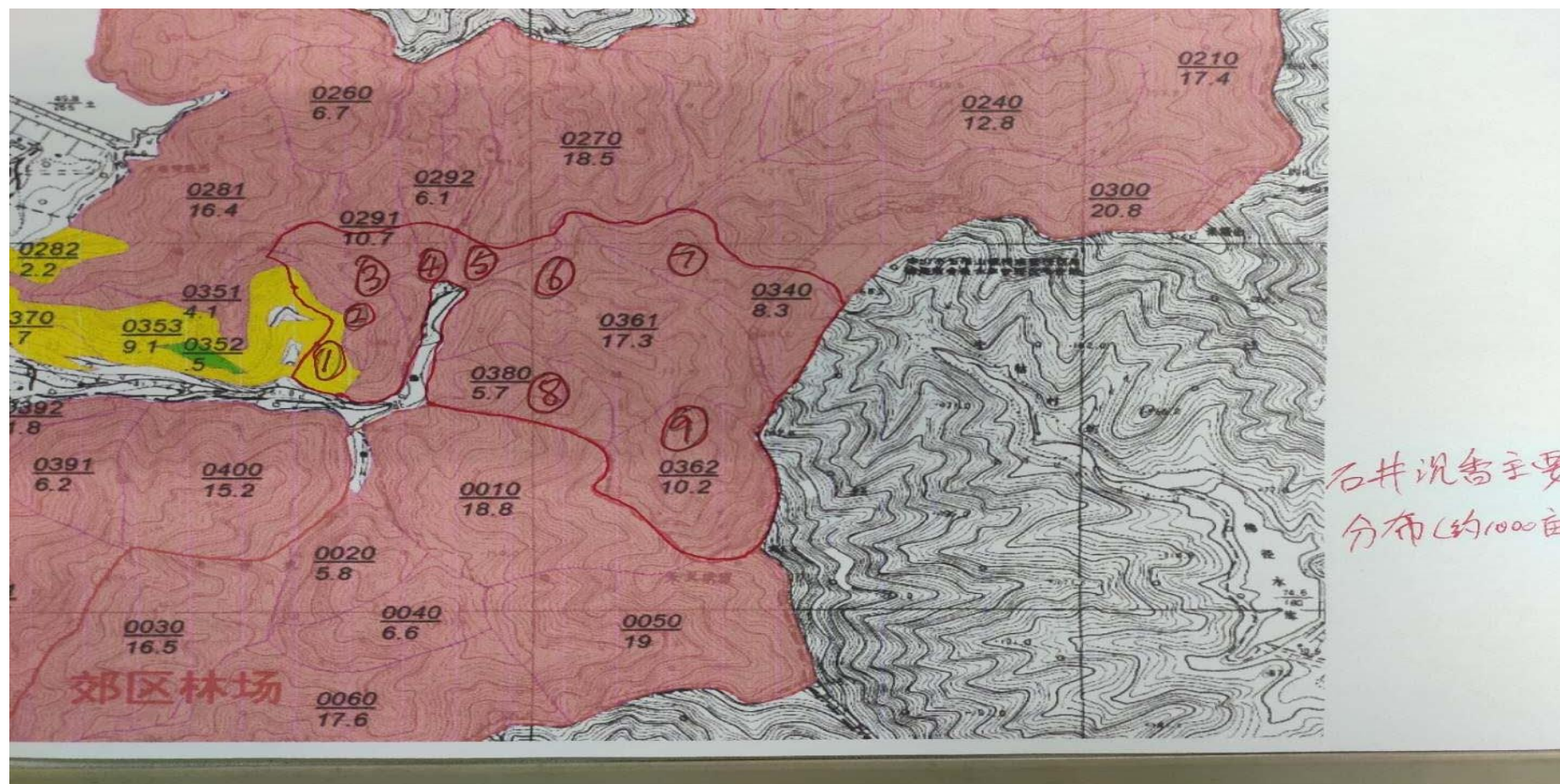
		成本指标	指标 1: 病虫害防治成本下降 (%) 或者产品生产成本下降 (%)	防治效果达到 95%以上				
			指标 2: 人员培训成本 (元/人次) *	500.00				
	效益指标	经济效益指标	指标 1: 示范林 (点、线) 产品价值增长 (仅指商品林部分) (%)					
			指标 2: 示范林林农增收率 (仅指商品林部分) (%)					
								
		社会效益指标	指标 1: 林业科技成果示范及熟化效果 (%) *	95				
			指标 2: 标准的使用率 (%) *	95				
			指标 3: 促进规模化生产经营程度					
			指标 4: 林业生产经营科技水平提高度					
			指标 5: 临时聘用防治作业人员数	10-15 人次				
		生态效益指标	指标 1: 示范林发挥保持水土、涵养水源、改善生态环境等效益 (是否显著)					
			指标 2: 林业灾害有效控制程度	提高				
			指标 3: 提高林木健康程度 (是/否)	是				
		可持续影响指标	指标 1: 科技示范推广对本行业未来的影响 (是否显著) *	是				

	满意度 指标	服务对象 满意度指标	指标 1: 林业科技推广示范项目参与人员满意度 (%) *	100%				
			指标 2: 林业科技示范技术培训满意度 (%) *	100%				

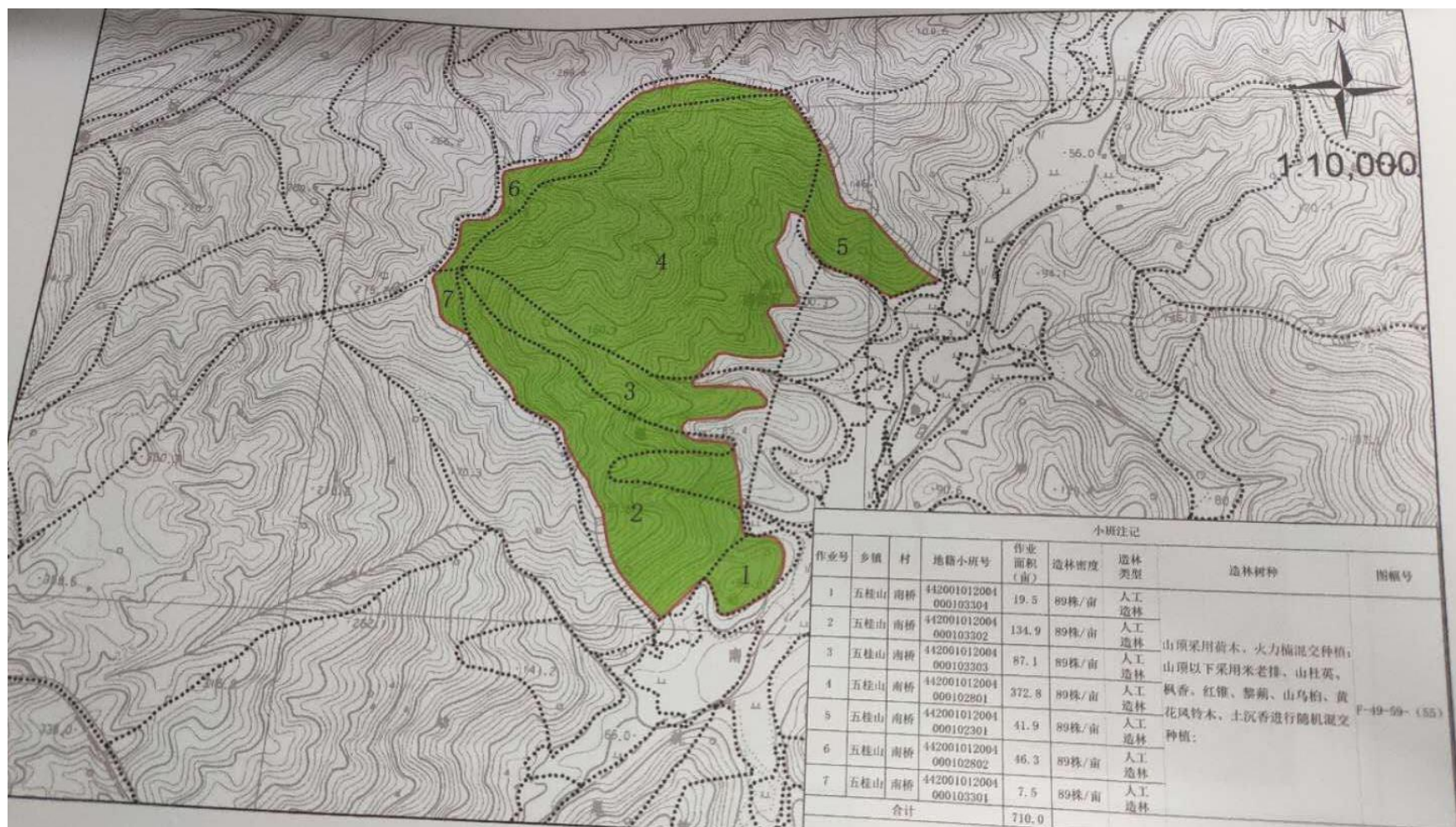
说明：1. 带“*”号的绩效指标是国家下达的强制性指标，为必填项。

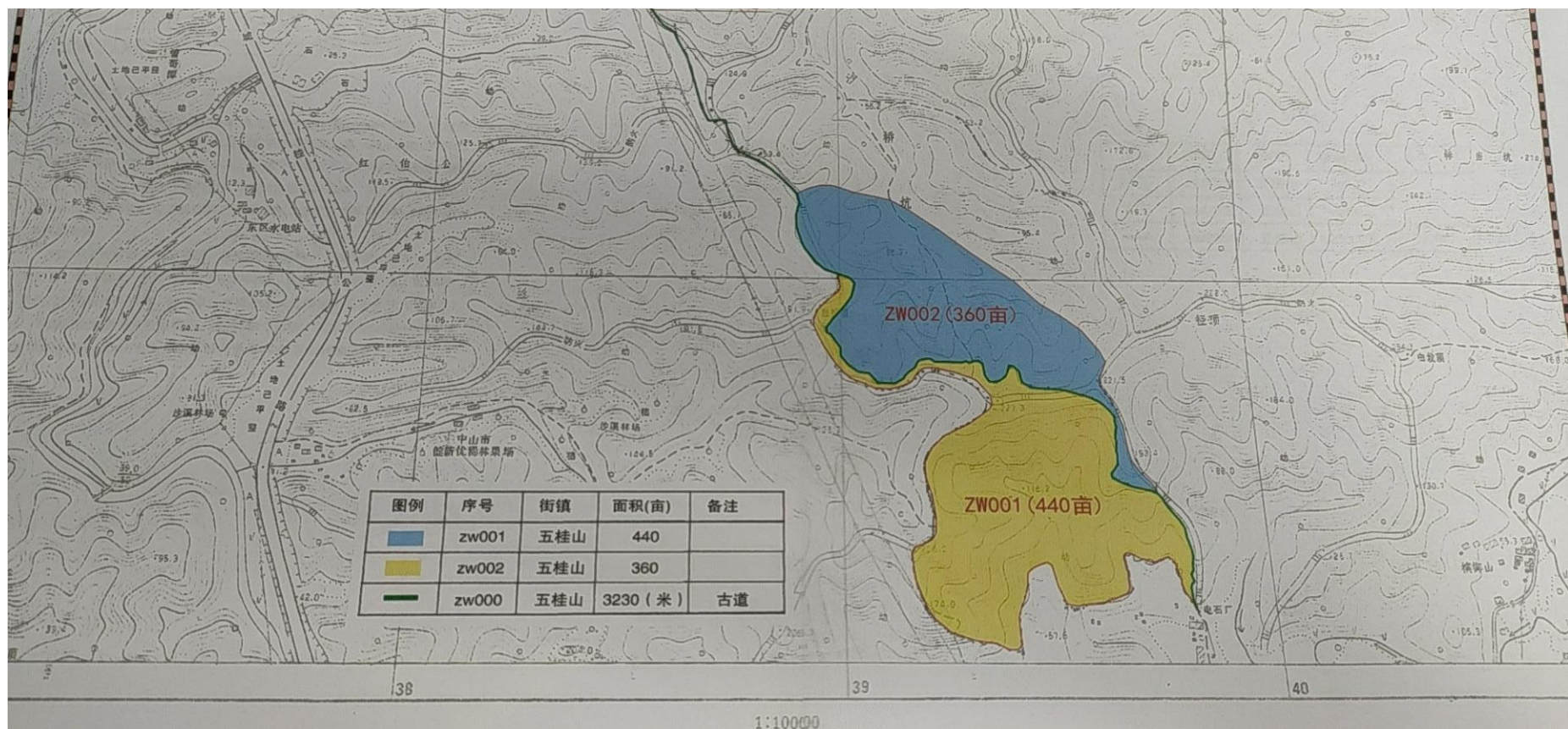
2. 其余指标结合项目实际推广内容选填，“……”代表可根据项目内容增设个性化指标。

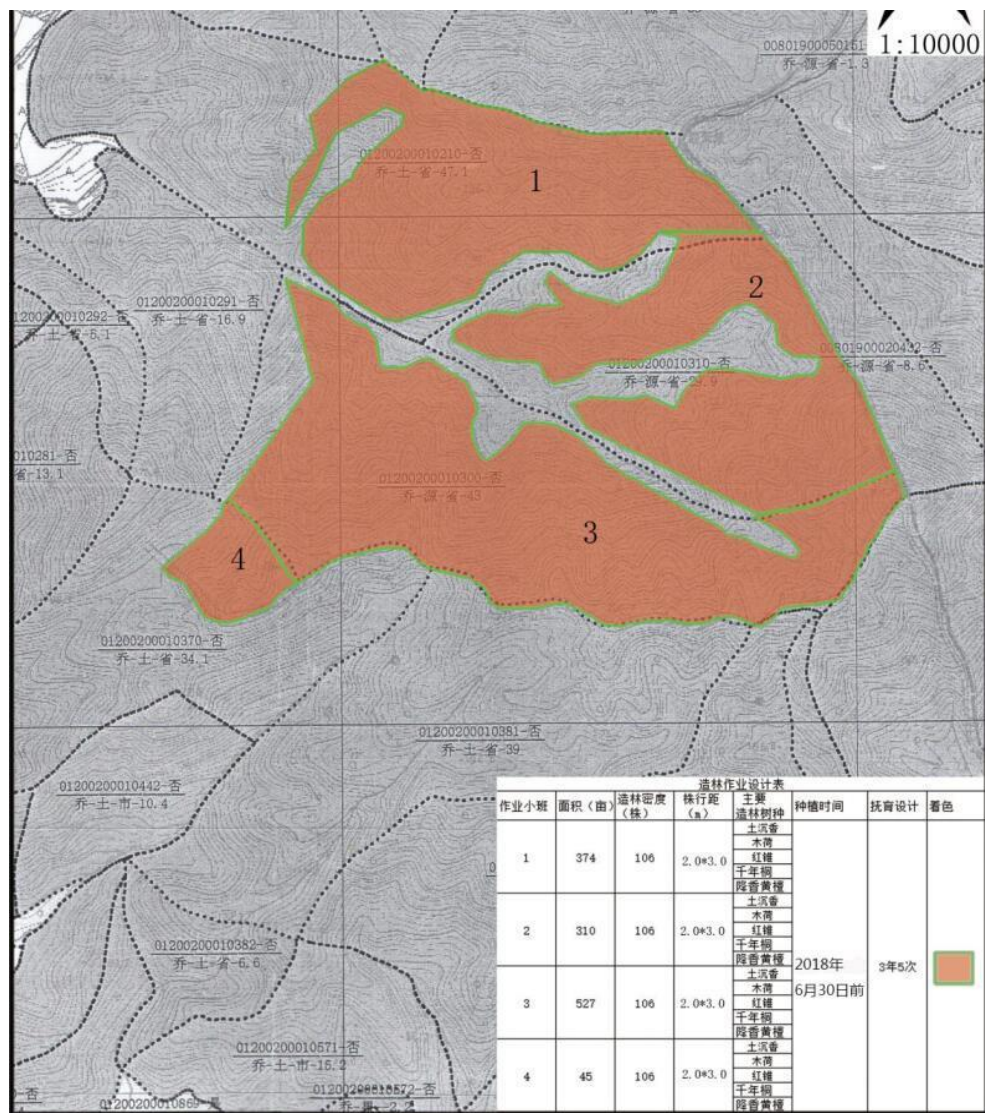
土沉香重大害虫黄野螟绿色关键防控技术推广与应用示范项目实施位置示意图











13. 主参：松墨天牛新型引诱剂及野外应用技术研究（合同）

广东省林业科技创新项目

合 同 书

项目编号： 2019KJCX016

项目名称： 松墨天牛新型引诱剂及野外应用技术研究

承担单位： 华南农业大学（公章）

项目负责人： 马 涛 联系电话： 13560428945

项目联系人： 韩雨辰 联系电话： 13808810895

项目起止年限： 2019 年 4 月 1 号至 2021 年 12 月 31 号

广东省林业局

2019 年 月

填写说明

1. 本合同书为广东省林业科技创新项目专用，合同甲方为项目管理部门——广东省林业厅科技与交流合作处，乙方为项目承担单位，丙方为项目承担单位的上级归口管理单位（市、县级林业行政主管部门，省或省林业厅直属单位，中直驻粤单位）。

2. 合同书由项目承担单位填写，省林业厅科技与交流合作处与项目承担单位及其上级归口管理单位共同签订。

3. 项目编号按省林业厅下达的计划项目编号填写。

4. 项目申报时承诺配套或自筹资金的应按比例落实，否则不予签订合同书。

5. 合同书一律用仿宋体四号字体填写，A4 纸双面打印装订（有条件的可采用 A3 纸双面打印中缝装订）。

6. 本合同书 1 式 6 份，分别保存于项目管理部门、项目承担单位和上级归口管理单位。

项目信息表

项目编号		2019KJCX016									
项目名称		松墨天牛新型引诱剂及野外应用技术研究									
项目承担单位	名称	华南农业大学									
	单位负责人	刘雅红	职务	校长	技术职称	教授					
	单位所在地	广州市天河区									
	通讯地址	广州市天河区五山路 483 号						邮编	510642		
	单位类别	☒ 大专院校 ☐ 科研院所 ☐ 企业 ☐ 其他									
	归口管理单位	广东省教育厅									
其他主要参加单位	序号	单 位 名 称									
项目负责人	姓 名	马涛			性别	☒ 男 ☐ 女		出生年月	198704		
	学 历	☒ 研究生 ☐ 大学 ☐ 大专 ☐ 中专 ☐ 其他									
	学 位	☐ 博士 ☒ 硕士 ☐ 学士									
	职 称	☐ 正高级 ☐ 副高级 ☒ 中级 ☐ 初级 ☐ 其他									
	移动电话	13560428945			E-mail			matao@scau.edu.cn			
项目组人数	13 人	高级	4 人	中级	2 人	初级	0 人	其他	7 人		
起始时间	2019 年 4 月 1 号				终止时间		2021 年 12 月 31 号				
项目类型	☒ 应用基础研究 ☐ 应用开发 ☐ 产业化开发 ☐ 成果转化 ☐ 其它										
创新类型	☒ 原始创新 ☐ 集成创新 ☐ 引进消化吸收再创新										
主要内容 (100 字以内)	松墨天牛是毁灭性外来有害生物松材线虫病的主要传播媒介,应用引诱剂防控松墨天牛是当前防控松材线虫病的主要方式,但市场上引诱剂持续时间较短,所诱天牛均一传播松材线虫病,作用不显著,本项目旨在开发新型引诱剂(引诱未传播松材线虫病的天牛),后筛选持效期更长、高效的缓释释放装置,探索引诱剂的野外应用技术,进而为当前的松墨天牛防控技术提供科学依据。										
预期成果	☒ 专利 ☐ 技术标准 ☒ 新产品(或林木新品种) ☐ 新工艺 ☐ 新材料 ☐ 计算机软件 ☒ 论文论著 ☒ 研究报告 ☐ 其他										
预期知识产权	获得国家发明专利 <u>1</u> 项,其他专利 <u>1</u> 项;植物新品种权 <u>0</u> 项。										
预期技术标准制定	☐ 国际标准 ☐ 国家标准 ☐ 行业标准 ☐ 地方标准 ☐ 企业标准										
产学研联合	☒ 是 ☐ 否										
经费预算	总预算	<u>30</u> 万元,其中省财政资金 <u>30</u> 万元,地方财政 <u> </u> 万元,其他 <u> </u> 万元。									
	专项 预算	<u> </u> 年		<u> </u> 年		<u> </u> 年		<u> </u> 年		<u> </u> 年	
		<u> </u> 万元		<u> </u> 万元		<u> </u> 万元		<u> </u> 万元		<u> </u> 万元	

一、项目目标与任务

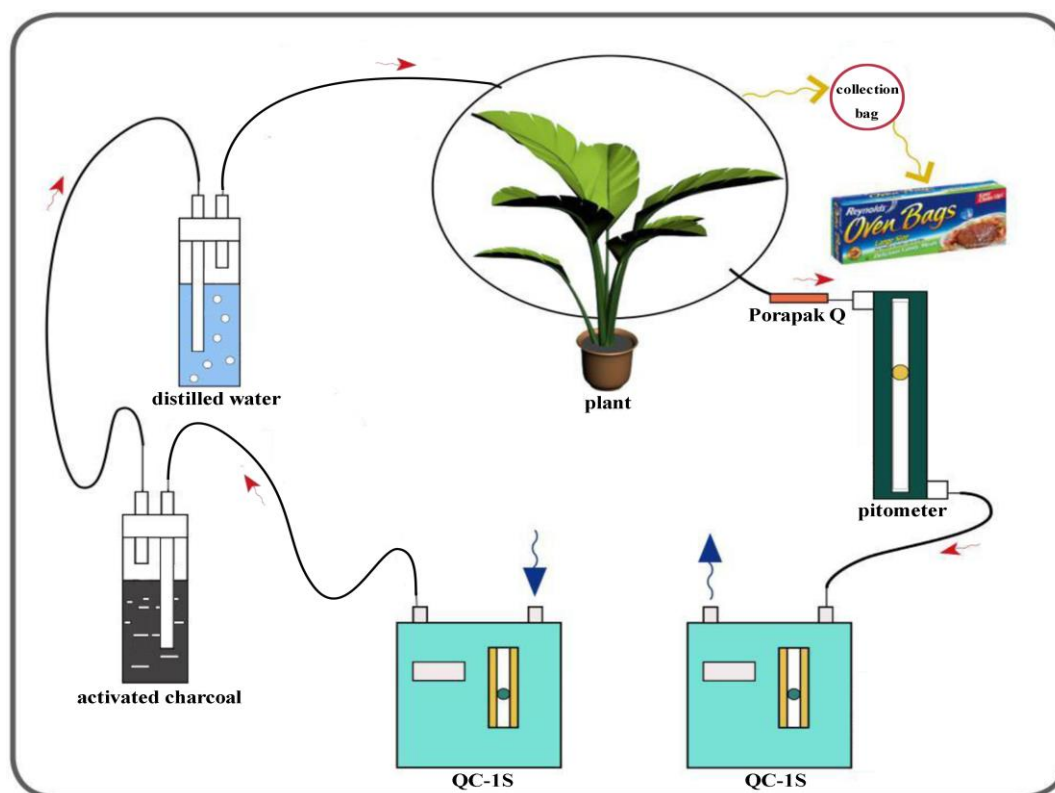
1、创新与示范目标

本项目的的主要目标是筛选出引起补充营养期松墨天牛的活性化合物，进而开发出基于“聚集信息素和植物源挥发物”的松墨天牛高效新型引诱剂，并通过气相色谱技术和称重法明确不同缓释载体的释放速率，寻求松墨天牛引诱剂的最佳缓释载体及最佳比例，找出一种高效、持效期长、稳定缓慢释放的引诱装置，详细探索诱捕器大小、形状、颜色、悬挂位置和距离对野外诱捕效果的影响，监测松墨天牛的活动习性，得出松墨天牛的野外最佳活动日期，为采用引诱剂及配套诱捕器进行松墨天牛的种群动态监测和防治提供科学的依据。

2、创新与示范内容

（1）补充营养期的松墨天牛活性化合物筛选

选取补充营养期的松墨天牛（室内饲养，未携带线虫）最爱取食的松树部位，采用 Porapak Q、大气采样仪、微波炉专用袋（Reynolds, USA）等装置动态顶空萃取松树部位的挥发物（下图）；采集后的吸附管立即密封处理，后再用 Parafilm 膜封口，带回实验室，二氯甲烷洗脱得到植物源挥发物的粗提物，-20 ℃ 保存直至使用；采用 GC-MS 及 GC-EAD 筛选植物源挥发物，得出明显具有引诱松墨天牛成虫的植物源活性组分；在筛选出活性组分的基础上，购买标准化合物，设置不同剂量及不同配比的植物源挥发物，利用 EAG 电生理反应、室内行为学反应（风洞）验证植物源挥发物的生物活性（采用 Tukey HSD 法进行各处理之间的方差分析， $P < 0.05$ ），得出效果较优的组分配比及剂量；并结合聚集信息素（2-十一烷氧基-1-乙醇），通过筛选，得出植物源挥发物和聚集信息素的最佳配比。



(2) 引诱剂缓释载体的筛选

选取不同材料的缓释释放装置（下图），其中主要包括低密度聚乙烯材料（LDPE）、高密度聚乙烯材料（HDPE）、聚乙烯（PE）和聚丙烯（PP）等，通过气相色谱法（GC）和称重法探索松墨天牛引诱剂（聚集信息素和植物源挥发物）的释放挥发速率，寻求聚集信息素和植物源挥发物的最佳配比，明确缓释装置的大小、表面积、壁厚对缓释效果的影响，寻求引诱剂组分均一、稳定释放、持效期长的缓释装置。每一处理重复 10 次（采用 Tukey HSD 法进行各处理之间的方差分析， $P < 0.05$ ）。



(3) 不同形状诱捕器的影响

松墨天牛诱捕器的不同（大小、形状、尺寸、集虫瓶差异等），严重影响着松墨天牛的诱捕效果，因此，采用同一高效引诱剂（上述筛选），比较不同诱捕器（下图）对松墨天牛野外诱捕效果的影响，进而探索出引诱松墨天牛的最佳诱捕装置；各个诱捕器随机排列，并适时更换诱捕的位置，避免悬挂位置造成诱捕效果的影响。每一处理重复 20 次（采用 Tukey HSD 法进行各处理之间的方差分析， $P < 0.05$ ）。



(4) 不同颜色诱捕器的影响

野外布置不同颜色（蓝色、黑色、黄色、白色等）的诱捕器并结合高效引诱剂（下图），明确诱捕器颜色对松墨天牛诱捕效果的影响，探索视觉因素在野外诱捕过程中的作用，各个诱捕器随机排列，并适时更换诱捕的位置，避免悬挂位置造成诱捕效果的影响。每一处理重复 20 次（采用 Tukey HSD 法进行各处理之间的方差分析， $P < 0.05$ ）。



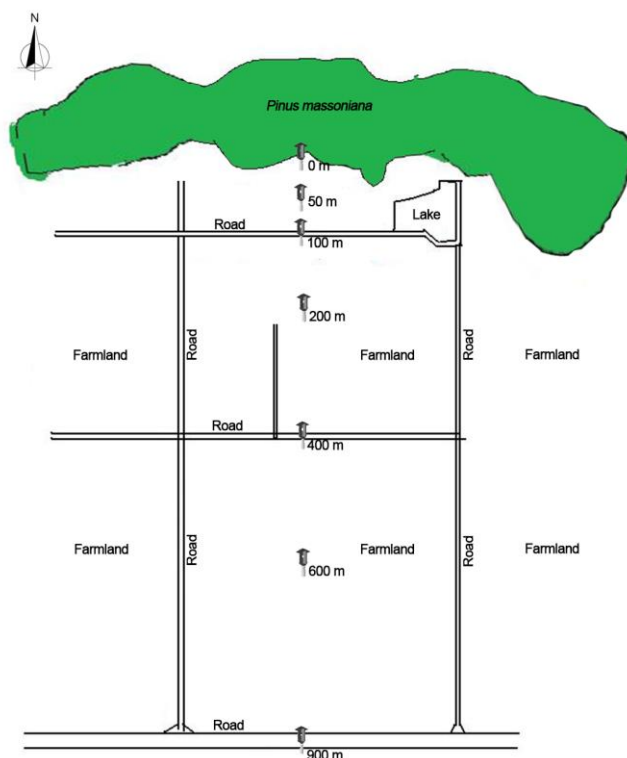
(5) 诱捕器悬挂高度的影响

松墨天牛诱捕器的高度影响野外诱捕效果，因此设置诱捕器空间位置；同一垂直面不同高度和不同垂直面不同高度，离地高度为 0 (0-0.05m)、1.5 m、3 m 3 个处理（集虫瓶底部距地面高度），处理之间随机排列，明确不同高度对松墨天牛野外诱捕效果的影响，20 空间重复（采用 Tukey HSD 法进行各处理之间的方差分析， $P < 0.05$ ）。

(6) 引诱剂释放距离的影响

林间悬挂松墨天牛诱捕器（距林间 0 m 作为标准，即林内）及分别距林间 50 m，100 m，200 m，400 m，600 m，900 m 作为试验点，进行松墨

天牛引诱剂有效引诱距离和松墨天牛扩散规律试验（下图），每一处理重复 20 次（采用 Tukey HSD 法进行各处理之间的方差分析， $P < 0.05$ ）。



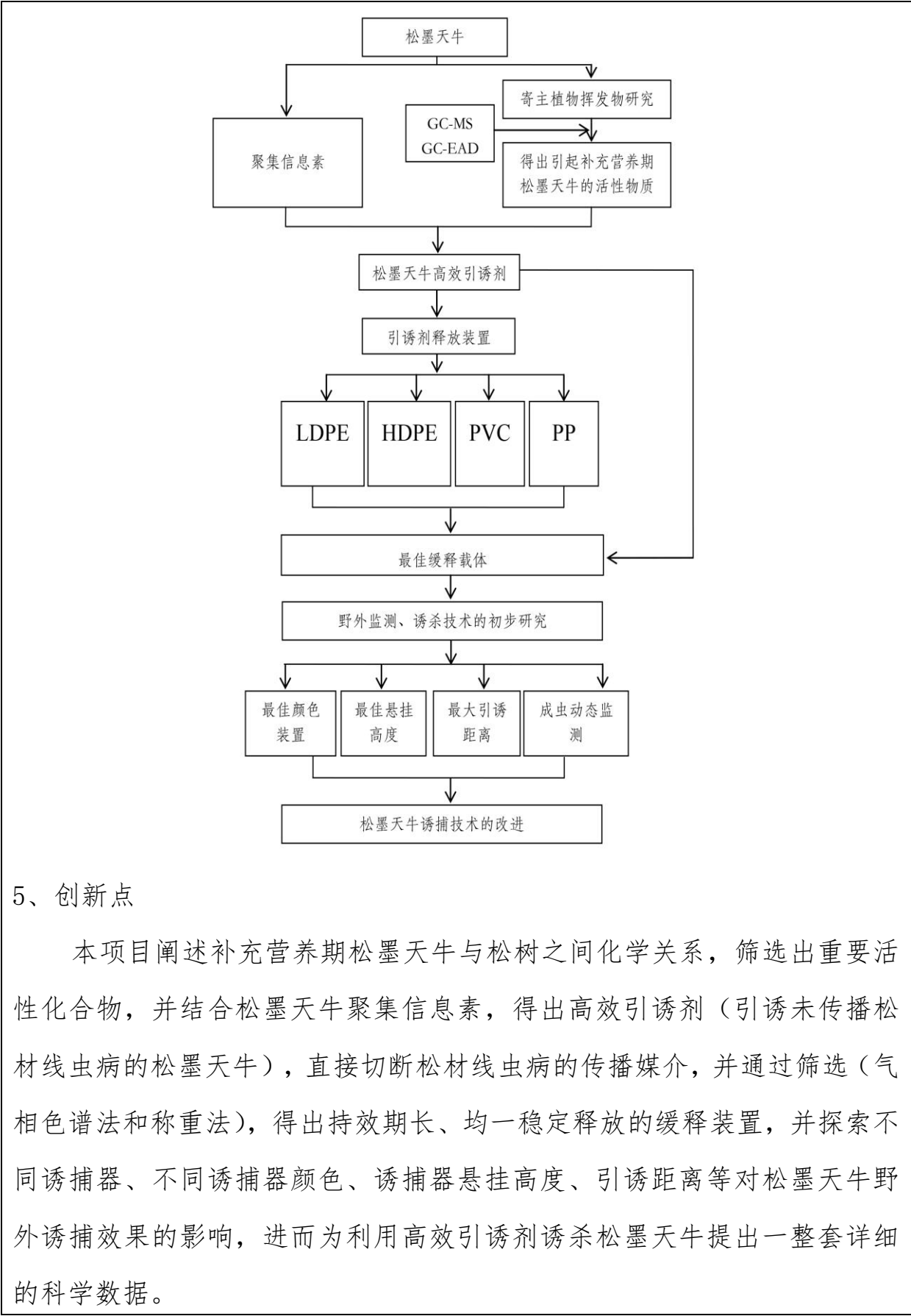
（7）松墨天牛的时活动习性

采用红外相机或人为 24 h（每隔 2 h）持续野外观察，明确松墨天牛的时活动规律，探索出松墨天牛的飞行特性（飞进诱捕器或诱捕器周边旋转在飞入），重复 30 次。

3、要解决的主要技术难点和问题

解决的主要技术难点何问题：松墨天牛取食期气味化合物的筛选和松墨天牛引诱剂的缓释释放装置严重影响野外诱捕效果，因此筛选得出引起松墨天牛活性反应的气味化合物和均一稳定释放且持效期长的释放装置，为松墨天牛的野外诱捕技术提供技术依据。

4、技术路线



5、创新点

本项目阐述补充营养期松墨天牛与松树之间化学关系，筛选出重要活性化合物，并结合松墨天牛聚集信息素，得出高效引诱剂（引诱未传播松材线虫病的松墨天牛），直接切断松材线虫病的传播媒介，并通过筛选（气相色谱法和称重法），得出持效期长、均一稳定释放的缓释装置，并探索不同诱捕器、不同诱捕器颜色、诱捕器悬挂高度、引诱距离等对松墨天牛野外诱捕效果的影响，进而为利用高效引诱剂诱杀松墨天牛提出一整套详细的科学数据。

二、预期成果及考核指标

1、主要技术经济指标（如形成的知识产权、技术标准、新技术、新产品、新装置、论文专著等数量、指标及其水平等）

筛选出补充营养期的松墨天牛气味化合物和持效时间更长的松墨天牛高效引诱剂缓释装置，寻求最佳的松墨天牛引诱装置及相应配套的野外诱捕技术，发表学术论文 2-3 篇，申请国家专利 1 项。

2、项目实施中形成的示范基地、中试线、生产线及其规模

项目完成时，利用松墨天牛高效引诱剂缓释装置及配套诱捕器，在松材线虫病发生严重区形成以引诱剂为主要措施防控松墨天牛的技术示范区，进而在广州从化温泉自然保护区、华南农业大学增城教学实践基地或者河源新丰江林场形成不少于 2000 亩的松林示范基地。

3、人才队伍建设

项目完成时，可培养硕士研究生 1-2 名，同时培养林场技术人员对松墨天牛高效引诱剂的认识，明确最佳诱捕装置，进一步增强林业技术人员的无公害绿色防虫意识。

4、其它应考核的指标

无。

三、预期主要经济、社会、生态效益（如技术及产品应用产业化前景，在项目实施期内能够形成的市场规模与效益，对保障国家安全、促进社会可持续发展及提升相关产业竞争力的作用等）

松墨天牛作为毁灭性松树病害松材线虫病的主要传播媒介，而广东省作为松材线虫病的重要发生区，每年因为此病可造成上亿元的经济损失；目前广泛采取的飞机喷洒化学农药的防治方法，不仅操作不便、人工成本高，而且污染环境，易造成3R现象。

本项目研究筛选得出的松墨天牛高效引诱剂，具有持效期长、特异性好、灵敏、高效、成本低和环境友好等优点，不仅及时监测松墨天牛的发生动态，还可以降低松墨天牛野外种群数量，而且引诱未传播松材线虫病的天牛，直接切断松材线虫病的传播媒介，对松墨天牛无公害绿色防控具有重要意义，通过项目的实施可取得良好的生态、经济和社会效益。

四、年度计划安排及目标

项目实施时间		201904—202112
年度	年度计划及年度目标	
2019年	年度计划：确定总体实施方案，室内开展筛选补充营养期松墨天牛的气味化合物、引诱剂配比实验及缓释释放装置的筛选，初步筛选出气味化合物和适合松墨天牛引诱剂的缓释释放装置（均一稳定释放、持效期长），并进行野外试验。 年度目标：初步探索出补充营养期松墨天牛的气味化合物以及松墨天牛引诱剂的最佳缓释释放装置，得出松墨天牛引诱剂在不同缓释释放装置的释放速率研究，并初步开展诱捕器不同悬挂高度对松墨天牛野外诱捕效果的影响。	

2020 年	年度计划：购买不同形状、颜色的诱捕器，进行诱捕器的筛选，并初步开展松墨天牛高效引诱剂的野外诱捕试验。 年度目标：明确诱捕器大小、位置、颜色、引诱距离对松墨天牛野外诱捕效果的影响，发表学术论文 1-2 篇，申请（授权）国家发明专利 1 项。
2021 年	年度计划：继续开展松墨天牛野外诱捕试验，并连续监测松墨天牛野外种群发生动态，得出松墨天牛的时活动规律。 年度目标：确定松墨天牛野外诱捕技术数据，进而进行松墨天牛的种群动态监测及危害控制，开发出松墨天牛引诱剂及诱捕器新产品，发表学术论文 1-2 篇，培养研究生 1-2 名；在松材线虫病发生严重区形成以引诱剂为主要措施防控松墨天牛的技术示范区，进而在广州从化温泉自然保护区、华南农业大学增城教学实践基地或者河源新丰江林场形成不少于 2000 亩的松林示范基地；并顺利结题。
年	
年	

五、经费来源与支出预算

单位：30.00万元

序	预算科目名称	合计		专项经费		配套或自筹经费	
	(1)	(2)		(3)		(4)	
1	一、直接费用	26.60		26.60			
2	1. 设备费	1.50		1.50			
3	2. 材料费	10.58		10.58			
4	3. 测试化验加工费						
5	4. 燃料动力费						
6	5. 差旅费/会议费/国际合作与交流费	3.00		3.00			
7	6. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	2.94		2.94			
8	7. 劳务费	8.10		8.10			
9	8. 专家咨询费	0.48		0.48			
10	9. 其他支出						
11	二、间接费用	3.40		3.40			
12	10. 间接费用	3.40		3.40			
13	三、经费来源						
14	(一) 申请从省级专项资金获得的补助	30		30			
15	(二) 配套或自筹经费来源						
16	1. 地级以上市财政配套						
17	2. 县及县以下财政配套						
18	3. 单位自有货币资金						
19	4. 其他资金						
20	(三) 已获得省级专项资金补助						
21	(四) 财政专项经费拨付进度申请	第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年	
22	年度资金预算	30.00					
23	年度资金比例 (%)	100					

财务部门负责人 (签字):

单位财务专用章: 2019 年 月 日

注：（1）设备费：是指在项目研究开发过程中购置或试制专用仪器设备，以及对现有仪器设备进行升级改造的费用。项目经费要严格控制设备购置支出。

（2）材料费：是指在项目研究开发过程中消耗的各种原材料、辅助材料等低值易耗品的采购及运输、装卸、整理等费用。

（3）测试化验加工费：是指在项目研究过程中支付给外单位（包括项目承担单位内部独立经济核算单位）的检验、测试、化验及加工等费用。

（4）燃料动力费：是指在项目研究开发过程中相关大型仪器设备、专用科学装置等运行发生的可以单独计量的水、电、气、燃料消耗费用等。

（5）差旅费/会议费/国际合作与交流费：差旅费是指在项目研究开发过程中开展科学实验（试验）、科学考察、业务调研、学术交流等所发生的外埠差旅费、市内交通费用等；会议费是指项目在研究开发过程中为组织开展学术研讨、咨询以及协调项目等活动而发生的会议费用；国际合作与交流费是指在项目研究开发过程中项目研究人员出国及外国专家来华工作的费用。三项支出预算合计不超过项目总预算的 10%，并且三项经费支出应严格遵守相应规定。

（6）出版/文献/信息传播/知识产权事务费：是指在项目研究开发过程中，需要支付的出版费、资料费、专用软件购买费、文献检索费、专业通信费、专利申请及其他知识产权事务等费用。

（7）劳务费：是指项目研究开发过程中参与项目的研究生、博士后、访问学者以及项目聘用的研究人员、科研辅助人员等的劳务性费用，包括项目实施中开展苗木培育、造林、抚育等的临时聘用人员的劳务性费用；项目所有参与单位的人员不得在项目中编列劳务费。

（8）专家咨询费：是指在项目研究开发过程中支付给临时聘请的咨询专家的费用，专家咨询费不得支付给参与项目管理相关工作人员。

（9）其他支出：指在项目研究开发过程中发生的其他与项目相关的直接费用，如技术引进费等。

六、实施机制

1、项目的组织管理措施

项目在广东省林业局的统一领导下，由主持单位组织实施。项目在主持人统筹指导下开展工作，团队内部分工协作，在发挥个人特长的基础上，充分调动项目参加人员的积极性，利用现有的资源和平台，按照工作计划，努力形成有分量、高质量的研究成果；严格遵守财务资金管理制度，专款专用；遵守学术规范，按时完成项目研究任务。

2、项目参与单位的任务分工及省财政专项经费分配

项目单位	任务分工	专项经费（万元）
华南农业大学	筛选出补充营养期松墨天牛的气味化合物和松墨天牛引诱剂的最佳缓释装置，明确诱捕器大小、位置、颜色、悬挂高度、引诱距离对松墨天牛野外诱捕效果的影响，为松墨天牛的绿色防控提供科学数据。	30.00

3、产学研结合模式

充分发挥产学研的优势机制，利用与林业业务主管部门、技术推广服务部门的密切关系，由项目承担单位研究团队的专家和技术力量，开展技术攻关。固定专人负责将研发的阶段技术成果和最终技术成果及时进行中试示范与推广，同时将中试示范效果及时反馈，对相关技术进行优化、改

进和完善。

4、知识产权与成果管理及权益分配

项目取得成果在保护知识产权的基础上，公开发表学术论文，社会共享；形成研究报告，涉及专利申请，专利授权后公开，发挥科研成果的作用。

七、项目承担单位、参加单位及项目负责人、主要参加人员							
项目承担单位（签章）： 华南农业大学							
主要参加单位（签章）：							
项目负责人							
姓 名	性 别	年 龄	职务/职称	从事专业	任务分工	所在单位	签名
马 涛	男	32	实验教学中心主任/实验师	森林害虫综合治理	研究方案及实施	华南农业大学	
主要参加人员							
林 娜	女	32	讲师	森林培育	松苗繁育	华南农业大学	
温秀军	男	54	教授	森林害虫综合治理	缓释技术	华南农业大学	
王 偲	男	35	教授	昆虫行为学研究	天牛行为学研究	华南农业大学	
王 军	男	55	教授	林木病理	松材线虫分离	华南农业大学	
孙朝辉	女	55	研究员	植物组培	松苗繁育	华南农业大学	
张锦坤	男	22	研究生	森林昆虫	野外调查	华南农业大学	
黄志嘉	男	23	研究生	森林保护	野外调查	华南农业大学	
朱 映	女	23	研究生	森林保护	缓释技术研究	华南农业大学	
文 超	男	24	研究生	森林昆虫	昆虫视觉行为	华南农业大学	
茅裕婷	女	22	研究生	森林昆虫	天牛饲养	华南农业大学	
蓝来娇	女	24	研究生	森林昆虫	松树气味的提取与分析	华南农业大学	
唐丽萍	女	22	研究生	森林昆虫	野外调查	华南农业大学	

八、共同条款

根据《中华人民共和国合同法》及广东省财政专项资金管理的有关要求，为顺利完成 2019 年度广东省林业科技创新项目计划任务，经协商一致，特订立本合同，各方共同遵守。

1. 甲方负责按合同要求做好经费核拨和工作协调，对项目实施、经费使用进行检查、监督和管理，并按科技计划管理的有关要求组织项目验收鉴定。

2. 乙方负责按合同要求组织项目实施，对专项资金进行单独列账，按开支范围实行专款专用；并于每年 12 月 15 日向甲方提交本年度项目实施情况、经费决算的书面报告；项目完成后的 1 个月内向甲方提交项目实施情况总结报告；项目完成后的 3 个月内向甲方申请进行验收或鉴定；项目验收后的 1 个月内向甲方提供完整的验收或鉴定材料。

3. 丙方负责按合同要求督促项目的执行并负责监督经费的使用。

4. 在履行合同过程中，一方发现可能导致项目失败或部分失败的情形时，应及时通知另一方，并采取适当措施减少损失，没有及时通知并采取适当措施，致使损失扩大的，应当就扩大的损失承担责任。

5. 合同执行过程中，乙方如需调整任务，应根据有关规定，经丙方审核同意并签署意见后，向甲方提出变更内容及其理由的申请报告，经甲方审批同意后方可执行。

6. 乙方因某种原因致使计划无法执行，而要求中止合同，应视不同情况，部分、全部退还所拨经费；如乙方没有提出中止合同的要求，甲方可根据调查核实情况有权做出停拨、缓拨项目经费或中止合同、追回所拨

经费的决定。

7. 丙方在督促项目的执行和监督经费使用的过程中，如发现乙方有违规行为，应及时向甲方汇报并负责提出调整意见。必要时，甲方有权依据乙方违规事实直接调整专项经费或撤销专项任务。

8. 乙方违反规定而造成项目工作停滞、延误或失败，在延期一年后仍不能通过验收的，应解除合同，乙方退还财政已核拨的经费，并自行承担由此引起的损失。

9. 本项目技术成果的归属、转让和实施技术成果所产生的经济利益的分享，除各方另有约定处，按国家和省的有关法规执行。

10. 根据项目具体情况，经各方协商订立的技术保密条款、附加条款等作为合同文本的一部分。

11. 本合同的争议应由各方本着协商一致的原则解决，当合同需要更改或解除时，双方应订立变更条款或协议，需要仲裁和审理应在甲方所在地进行。

12. 本合同正式文本一式六份，甲方、乙方、丙方各二份，自签字之日起生效，有效期至项目验收后一年内。各方均应负合同规定的法律责任，不应受机构、人事变动而影响。

九、合同签约各方

(一) 项目管理部门 (甲方): 广东省林业局科技与交流合作处 (公章)

单位负责人 (签章):

联系人及电话: 李永泉, 020-81721871

年 月 日

(二) 项目承担单位 (乙方): (单位名称及公章)

单位负责人 (签章):

联系人及电话:

年 月 日

(三) 归口管理单位 (丙方): (单位名称及公章)

县级林业主管部门:

单位负责人 (签章):

联系人及电话:

年 月 日

地级以上市林业主管部门 (或省及省
林业厅所属单位、中央驻粤单位):

单位负责人 (签章):

联系人及电话:

年 月 日

14. 主参：华桉3号新品种转化运用

国家林业和草原局科技发展中心

项目合同书

(林业草原知识产权转化运用项目)

项目名称：华桉 3 号新品种转化运用

委托方（甲方）：国家林业和草原局科技发展中心

受托方（乙方）：华南农业大学

归口单位（丙方）：广东省林业局

起止时间：2021 年 4 月至 2022 年 10 月

项目负责人：莫 晓 勇

国家林业和草原局科技发展中心

委托方（甲方）：国家林业和草原局科技发展中心

住 所 地：北京东城区和平里东街 18 号

法定代表人（委托代理人）：王永海

项目联系人：杨玉林

通讯地址：北京市东城区和平里东街 18 号

联系电话：010-84239111 传真：010-84238753

电子信箱：kjzx8710@126.com

社会信用代码：12100000717800902A

受托方（乙方）：华南农业大学

住 所 地：广州市天河区五山路 483 号

法定代表人（委托代理人）：刘雅红

项目联系人：莫晓勇

通讯地址：广州市天河区华南农业大学林学与风景园林学院

联系电话：13802501326 传真：02085280261

电子信箱：motree@163.com

经各方协商一致，依照《中华人民共和国合同法》及国家的有关法律、行政法规，遵循平等、自愿、公平和诚实守信的原则订立本合同，供各方共同遵守。

第一条 项目内容

华桉 3 号是华南农业大学林学与风景园林学院桉树研究团队独立研发培育的一个桉树优良无性系，已于 2016 年十二月十九日被国家林业局授予植物新品种权证书，品种权号为：20160181。

华桉 3 号是尾巨桉的一个优良无性系，经过多次台风、暴雨、病虫害的侵袭，根据子代测定挑选出的优良单株在表型性状、生长量、抗逆性、木材密度等各项指标都高于其他无性系，而且无性系组培取得成功，可为大面积营建该无性系示范林提供大量优质种苗。

应用桉树纸浆用材林高效栽培技术模式，在雷州半岛建立华桉 3 号高质量示范林。

第二条 绩效目标

- 1、在雷州半岛建立华桉 3 号高质量示范林 50 亩；
- 2、提交成果：华桉 3 号桉树新无性系示范应用技术总结报告。

第三条 项目实施进度

- 1、 2021 年 4 月至 5 月：高效栽培技术模式选择和高效栽培技术综合集成；
- 2、 2021 年 5 月至 2022 年 10 月：华桉 3 号高质量示范林营造（含整地和造林）、施肥抚育、经营管理；
- 3、 2022 年 10 月：撰写总结报告，项目验收。

第四条 项目承担单位人员名单

姓名		单位	年龄	职称 (职务/职级)	分工	电话
负责人	莫晓勇	华南农业大学林学与风景园林学院	58	教授	总负责	13802501326
	林娜	同上	32	讲师	栽培技术模式	18565503503
主要成员	邓海燕	同上	28	博士研究生	示范林测定与营建	13631352361
	杨嘉麒	同上	26	研究生	示范林测定与营建	18819258788
	宋颖	同上	25	研究生	桉树组培育苗	17818521850

	胡中洋	同上	27	研究生	示范林测定与 营建	17665106621
	张港隆	同上	24	研究生	示范林测定与 营建	13416475941
	申琳琳	同上	23	研究生	示范林测定与 营建	18738305060

第五条 实施单位基本情况

华南农业大学是广东省和农业部“九五”、“十五”共建“211工程”全国重点大学，广东省高水平大学重点建设高校，已有100余年的办学历史。学校拥有开展教学、科研和成果转化的良好条件。学科门类齐全，有98个本科专业，12个博士学位授权一级学科，1个博士专业学位类别，28个硕士学位授权一级学科，15个硕士专业学位类别，24个省、部级重点学科（含5个农业部重点学科，13个广东省一级重点学科，4个广东省二级重点学科和2个国家林业局重点学科）。师资力量雄厚，现有教职工约3374人，其中专任教师2111人（正高级473人，副高级819人）；博士生导师298人，硕士生导师1314人；院士、万人计划等国家级人才78人次，珠江学者、广东省特支计划等省级人才203人次，国家级教学名师/特支计划教学名师4人，国家级教学团队4个。学校现有120多个教学科研实验室，8个国家级科研平台，2个农业部重点开

放实验室，3 个教育部重点实验室，9 个农业农村部重点实验室，15 个广东省重点实验室，4 个广东省教学重点实验室，1 个国家级实验教学示范中心，9 个广东省高校实验教学示范中心，2 个教育部工程研究中心，2 个国家级基地，已具备开展科学研究的坚实基础。

第六条合同金额及开户信息

本合同总金额为（大写）贰拾万元人民币。

乙方开户名称：华南农业大学

开户银行：广州工行五山支行

银行帐号：**3602002609000310520**

第七条 经费预算及付款方式

本合同签订后 15 日内，甲方向乙方支付壹拾陆万元（总额的 80%）；按照合同要求，交付项目成果后，支付肆万元（总额的 20%）。

经费预算明细表

支出项目	经费（万元）	
	上级拨款	配套
1. 材料费	2.0	
2. 差旅费	7.3	
3. 会议费	/	
4. 培训费	/	
5. 咨询费	/	
6. 劳务费	8.0	
7. 邮电费	/	
8. 税费	0.7	
9. 其他支出（野外调查租车等费用）	2.0	
合计	20	

第八条 共同条款

签约各方共同按照项目管理要求和有关经费使用规定执行项目。

1. 甲方指国家林业和草原局科技发展中心，乙方指该项目承担单位，丙方指项目归口管理单位。

2. 乙方应建立健全财务管理与报告制度，按要求向甲方提供资金的使用情况、项目执行情况、成果总结等材料，并配合甲方及甲方组织的监督检查或绩效评价，如发现执行中存在问题、经费被挪用或使用不当，有权拒付或追回。

3. 乙方必须对项目经费专款专用，单独核算，严格按照合同规定范围执行。经费使用必须严格按照项目合同以及财政部、国家林业和草原局关于预算、财务管理等相关规定执行。项目结余资金按照《中央部门财政拨款结转和结余资金管理办法》有关规定执行。若经费超支，由乙方自筹解决，但不得因此影响项目的执行。

4. 在合同执行过程中,如需调整原有合同内容，必须经甲、乙、丙三方共同商定。

5. 项目执行完毕，由甲方或甲方委托的其他机构应及时对乙方执行项目进行验收。

6. 合同执行过程中如发生争议、纠纷，由各方协商解决，或由仲裁机关仲裁，或通过法律程序解决。

7. 乙方应遵守国家有关保密的法律法规和行业规定，并对甲方提供的资料负有保密义务。未经甲方同意，不得将承接政府公共服务项目获得的政府、公民个人等各种信息和资料提供给其他单位和个人。如发生以上情况，甲方有权索赔。

8. 乙方承诺根据本合同提供的服务及相关的软件和技术资料，均已取得有关知识产权的权利人的合法授权。如发生涉及到专利权、著作权、商标权、植物新品种权等争议，乙方负责处理并承担由此引起的全部法律及经济责任。

9. 本合同经各方签字、盖章后生效。

10. 本合同文本一式肆份，甲方执贰份，乙方执壹份，丙方壹份。

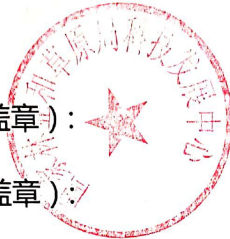
第九条 合同签约各方

甲方（盖章）：

法定代表人（签字或盖章）：

授权代理人（签字或盖章）：

日期：2021年4月1日



乙方（盖章）：

法定代表人（签字或盖章）：

授权代理人（签字或盖章）：

日期： 年 月 日



刘雅红

丙方（盖章）：

法定代表人（签字或盖章）：

授权代理人（签字或盖章）：

日期：2021年4月14日



郑永东

三、论文、著作等

1. 检索证明

检索证明

根据委托人提供的论文材料，委托人华南农业大学林学与风景园林学院 林娜 2 篇论文收录情况如下表。

序号	论文名称	发表刊物及发表的年月卷期/页码等	作者排名	论文等级	作者文中单位	收录情况	影响因子	中科院大类分区
1	Short-Term Effects of Thinning on Tree Growth and Soil Nutrients in the Middle-Aged Chinese Fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.) Hook.) Plantations	FORESTS 出版年: 2023 出版日期: JAN 卷期: 14 1 页码: - 文献号: 74 文献类型: Article	1	A 类	华南农业大学	SCI	IF2-year=2.4 IF5-year=2.7 (2023)	农林科学 2 区 Top 期刊: 否 (2023)
2	Effects of Thinning on Carbon Storage in a Mixed Broadleaved Plantation in a Subtropical Area of China	FORESTS 出版年: 2024 出版日期: APR 卷期: 15 4 页码: - 文献号: 638 文献类型: Article	1	B 类	华南农业大学	SCI	IF2-year=2.5 IF5-year=2.7 (2024)	农林科学 3 区 Top 期刊: 否 (2025)

说明：论文等级和中科院大类分区按《华南农业大学学术论文评价方案（试行）》划分。

报告免责声明:如未盖章,报告无效

检索员: 卢炳卫

华南农业大学图书馆

2025-07-14

检索证明

根据委托人提供的论文材料，委托人华南农业大学林学与风景园林学院 林娜 5 篇论文收录情况如下表。

序号	论文名称	发表刊物及发表的年月卷期/页码等	作者排名	论文等级	作者文中单位	收录情况	影响因子	中科院大类分区
1	不同密度杉木人工林林分生长和林分结构差异研究	西北林学院学报 出版年：2023 出版日期：2023-03-02 16:13 卷期：38 06 页码：162-170 文献号： 文献类型：期刊论文	通讯作者	C类	华南农业大学	北大核心	无	无
2	间伐保留密度对杉木人工林生长的影响	东北林业大学学报 出版年：2024 出版日期：2024-04-17 卷期：52 04 页码：9-16 文献号： 文献类型：期刊论文	通讯作者	C类	华南农业大学	北大核心	无	无
3	团花绢野螟成虫触角转录组及化学感受相关基因分析	昆虫学报 出版年：2024 出版日期：2024-06-13 11:55	共同通讯作者	B类	华南农业大学	北大核心	无	无

		卷期: 67 06 页码: 738-752 文献号: 文献类型: 期刊论文						
4	东莞市亚热带常绿阔叶次生林优势种生态位特征研究	热带亚热带植物学报 出版年: 2024 出版日期: 2024-04-02 16:30 卷期: 32 06 页码: 747-756 文献号: 文献类型: 期刊论文	通讯作者	C类	华南农业大学	北大核心	无	无
5	马尾松两种林型土壤养分特征及其与凋落物质量的关系	中南林业科技大学学报 出版年: 2020 出版日期: 2020-01-21 14:33 卷期: 40 02 页码: 54-63 文献号: 文献类型: 期刊论文	通讯作者	C类	华南农业大学	北大核心	无	无

说明: 论文等级和中科院大类分区按《华南农业大学学术论文评价方案(试行)》划分。

报告免责声明: 如未盖章, 报告无效

2. 以第一作者发表本专业论文情况

2.1 Short-Term Effects of Thinning on Tree Growth and Soil Nutrients in the Middle-aged Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) Plantations

Article

Short-Term Effects of Thinning on Tree Growth and Soil Nutrients in the Middle-Aged Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) Plantations

Na Lin, Ninglong Deng, Dehao Lu, Huiyan Xie, Mingchun Feng and Shiqing Chen *

College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

* Correspondence: sqc@scau.edu.cn

Abstract: Knowing the effect of thinning on forest ecosystem services is an important aspect of sustainable forest management. This study analyzed the traditional thinning on tree growth and soil nutrients in the Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook) plantations. The Chinese fir plantations were 11 years old with different initial densities in Jinji (4000 tree·ha⁻¹), and Yingde (3000 tree·ha⁻¹), Xiaolong (2000 tree·ha⁻¹) forest farms, and 20 years old in Yangmei (2000 tree·ha⁻¹) forest farm. The thinning intensity was 35% in Yangmei and Xiaolong forest farms, and 43% in Jinji and Yingde forest farms. Tree growth was measured as the increment of diameter at breast height and stand volume; soil nutrients were measured as pH, soil carbon and nitrogen contents at 0–10 cm soil. The thinning led to an increase in the diameter of trees in all study plots, with the fastest growth rate in Jinji (22.02%) forest farm. The stand volume growth rate was higher in thinning plots than in control plots, with the highest volume growth rate in Xiaolong (27.8%), due to its higher leaf area index and lower density. There was an increasing pattern of C and N contents in the higher initial density plots after thinning (Jinji and Yingde forest farms). During the extreme drought year in 2021, the thinning mitigated the changes in soil acidity and soil moisture, which indicated that thinning could also increase drought tolerance in the short term. Thinning response studies frequently focus on the long-term effect; our results demonstrate how thinning promotes tree growth in the short term.

Keywords: thinning; Chinese fir plantation; tree growth; soil condition; short-term effects

Citation: Lin, N.; Deng, N.; Lu, D.; Xie, H.; Feng, M.; Chen, S. Short-Term Effects of Thinning on Tree Growth and Soil Nutrients in the Middle-Aged Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) Plantations. *Forests* **2023**, *14*, 74. <https://doi.org/10.3390/f14010074>

Academic Editors: Jiří Novák and Dušan Kacálek

Received: 4 December 2022

Revised: 17 December 2022

Accepted: 30 December 2022

Published: 30 December 2022



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) is one of the most important coniferous species in subtropical China, and it is known for its relatively good timber quality and fast growth [1]. It has a planting area of 9.90 million ha, accounting for 17.33% of the total plantation area in China and 7.56% of the plantation area worldwide [2,3]. Due to the pure and dense forestation of Chinese fir, as well as the shortening of the rotation period [4], the ecosystem services and functions provided by forests, such as scenic beauty [5], biodiversity [6], ecosystem resilience and adaptability [7,8], productivity [9,10], microclimatic stability [11], and habitat provision [12,13], are not sustainable [14]. In order to realize the sustainable ecological, social, and economical service of pure coniferous plantations, the management of such stands became more relevant.

Thinning is an essential “silvicultural tool” to control tree competition [15], resulting in an improvement in stand quality. Forest managers and scientists have carried out numerous studies about the effects of thinning on the development of understory vegetation [16], forest structure [17], species composition [18], soil nutrient dynamics [19,20], and forest growth [18,21]. However, the main aim of this kind of research has been focused on finding the optimum thinning mode, intensity, or frequency for ensuring the maximum

benefits of the forests [22–27]. Additionally, from the very beginning, thinning research was aimed at studying growth and yield [28,29]. However, to date, relatively less research has been expended on the relationship between tree growth and forest management, instead on different forms of forest management. Furthermore, many researchers carried out the thinning effects research in the forests many years after thinning [18,30,31]. Therefore, the effects of thinning on tree growth and soil nutrients at the beginning are not well known.

Thinning resulted in lower canopy openness at the beginning, which could be attributed to growth responses of understory vegetation in lower strata due to improved light availability [32]. Thinning may increase soil moisture, and pH [27,33]. However, thinning effects on soil C storage have been controversially reported; for example, some [30,33,34] reported that thinning increased soil C contents in the short term, and others [35,36] reported that the soil C content was minimally affected by thinning after a one-year treatment. Xu et al. [20] reported that thinning decreased soil C storage after 3 year treatment. Forest soils are the basis for productive and resilient forests that, in turn, create opportunities for sustainable and successful forest management. Soils provide water and nutrients required for forest growth, buffer loading of toxins and acidification and compensate for water shortages during droughts. As carbon (C) sinks [37], forests and their soils play a key role in climate protection and compensating for greenhouse gas emissions [38]. The soil pH value affects the concentration of various ions in soil solution and the effectiveness of various elements on plants. Therefore, we took soil pH, and soil moisture, soil C and N as the belowground resources and the LAI as the aboveground resources.

Our study was carried out in the typical Chinese fir plantations in the study area, which represent high density, monoculture, short rotation, etc. The objective of this study was to test whether the thinning promotes the stand yield and increases the soil nutrient in the short term. For this purpose, thinning was applied in four Chinese fir plantations with different initial densities in 2020. In order to explore the post-effects of thinning in the short-term on: (1) tree growth dynamics and (2) soil nutrients dynamics. This paper may help to understand the importance of forest managements and related ecosystem processes in the short term.

2. Materials and Methods

2.1. Study Site

The study sites are located in Qingyuan city (E 111°55′–E 113°55′, N 23°31′–N 25°12′) in Guangdong, China. It belongs to a subtropical area, with a mean annual precipitation of 1615–1900 mm, and a mean annual temperature of 19.5–22.4 °C. Chinese fir plantations in the first 3 years after planting, understory and grass were removed manually to improve the survival rate of seedlings. We set up 24 plots in 4 forest farms, which are Yangmei forest farm (E 112°29′20″~112°35′45″, N 23°57′30″~24°10′00″), Jinji forest farm (E 112°57′~113°01′, N 24°08′~24°13′), Yingde forest farm (E 112°45′15″~113°55′38″, N 23°50′31″~24°33′11″), and Xiaolong forest farm (E 112°11′03″~112°15′49″, N 24°51′43″~24°56′05″). The soil is mostly *lateric* red soil, which is developed from sandstone, limestone, granite, and shale. The main tree species are *Cunninghamia lanceolata*, *Pinus massoniana*, *Schima superba*, etc. The main shrub species are *Rhodomyrtus tomentosa*, *Eurya chinensis*, *Rhus chinensis*, *Ilex asprella*, *Rhaphiolepis indica*, *Psychotri arubra*, *Melastomas anguineum*, *Melastoma candidum*, *Clerodendron fortunatum*, *Evodia lepta*, *Mallotus apelta*, etc. The herbaceous species are *Miscanthus sinensis*, *Ischaemum indicum*, *Thysanolaena maxima*, *Melastoma dodecandrum*, *Lophatherum gracile*, *Dicranopteris dichotoma*, *Blechnum orientale*, *Woodwardia japonica*, etc.

2.2. Experimental Design

In July 2020, 24 plots of 20 m × 20 m were established and permanently marked. We set up 6 plots in a 20-year-old Chinese fir plantation in Yangmei forest farm, 6 plots in an 11-year-old Chinese fir plantation in Jinji forest farm, 6 plots in an 11-year-old Chinese fir plantation in Yingde forest farm, and 6 plots in a 11 years old Chinese fir plantation in Xiaolong forest farm. The details of the plots are listed in Table 1. In order to investigate the effects of thinning on tree growth and soil nutrients, a thinning design with three replicates per forest farm was applied in December 2020. From October to November 2020, we numbered every tree in each plot permanently, and also marked the to-be-removed trees as well. We adopted the method of thinning from below. The thinning intensity is the percentage of the number of harvested trees in the total number of original stands.

Table 1. Basic information of the study plots.

Plots	Age (Year)	Slope (°)	Altitude (m)	Number of Tree	Reineke's SDI	Mean DBH (cm)	Mean Tree Height (m)	Canopy Openness (%)	Thinning Intensity (%)
1	20	23	645	77	2231	16.4 ± 8.0	13.1 ± 3.5	26.95	0
2	20	32	672	75	2888	14.3 ± 5.4	11.8 ± 3.1	13.21	0
3	20	30	654	85	4043	12.6 ± 4.5	10.4 ± 2.8	17.77	0
4	20	26	625	82	3316	14.1 ± 4.6	12.6 ± 2.5	17.14	35
5	20	26	635	78	3169	13.7 ± 5.5	11.7 ± 3.3	18.23	35
6	20	28	641	83	3143	14.6 ± 5.1	12.3 ± 2.6	15.82	35
7	11	30	497	155	16561	7.7 ± 2.3	6.0 ± 1.4	18.83	43
8	11	27	504	165	14232	6.4 ± 1.3	3.1 ± 0.9	19.82	0
9	11	35	520	167	17530	7.8 ± 2.4	6.5 ± 1.4	17.93	0
10	11	35	528	165	12604	9.6 ± 2.6	8.2 ± 1.5	13.78	43
11	11	42	478	154	10053	10.6 ± 2.9	7.3 ± 1.5	20.34	0
12	11	30	512	164	12509	9.6 ± 2.8	7.1 ± 1.7	10.08	43
13	11	26	106	100	4768	12.9 ± 3.6	11.4 ± 1.9	25.66	43
14	11	27	104	111	5823	12.1 ± 3.5	10.1 ± 1.7	18.52	43
15	11	28	133	128	7527	11.3 ± 3.3	9.1 ± 1.5	19.11	43
16	11	25	138	115	6539	11.6 ± 3.0	9.2 ± 1.6	13.81	0
17	11	24	140	133	8948	10.4 ± 3.0	8.1 ± 1.5	14.87	0
18	11	27	144	135	7388	11.9 ± 3.2	9.9 ± 1.7	24.68	0
19	11	34	353	90	5404	11.0 ± 3.6	8.5 ± 1.7	19.87	35
20	11	33	359	77	3690	12.7 ± 4.1	10.1 ± 1.9	17.8	35
21	11	32	354	72	3560	12.4 ± 4.1	9.7 ± 1.7	20.5	35
22	11	32	384	70	2872	14.1 ± 4.3	11.2 ± 1.9	19.86	0
23	11	33	377	83	3752	13.4 ± 3.3	10.5 ± 1.5	9.18	0
24	11	33	372	90	4523	12.6 ± 3.1	10.3 ± 1.7	11.64	0

2.3. Tree Growth Measurement

Tree diameters at breast height (d) were measured with a diameter tape to the nearest 0.1 cm, and heights (h) of trees with $d \geq 5$ cm were measured with a measuring rod with a scale in October 2020 and December 2021. The number of trees per hectare (N) was calculated for each plot. Equation (1) was used to calculate the quadratic mean diameter (DQ) of the trees in the plots. Equation (2) [39] was used to calculate individual tree volume (V_i). Stand volume (V_s) was calculated as the sum of all individual trees in Equation (3).

$$DQ = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i^2} \quad (1)$$

$$V_i = 0.0000697483 \times d^{1.81583} \times h^{0.99610} \quad (2)$$

$$V_s = N \times V_i \quad (3)$$

2.4. Stand Density Index

Reineke's stand density index (SDI) is a comprehensive index reflecting the relationship between the diameter distribution of the stand and the number of trees per unit area in the stand [40]. SDI is determined by the relationship between the number of trees per unit area and the average diameter at breast height Equation (4).

$$SDI = N \left(\frac{DQ}{D0} \right)^\beta \quad (4)$$

where N is the number of trees per hectare; DQ is the quadratic mean diameter (cm); $D0$ is the standard diameter of the stand, and the value of Chinese fir is 20 cm; and β is an exponent of Reineke's equation, often reported to equal -1.605 .

2.5. Species Richness of Understory Vegetation

In order to investigate the diversity of the understory vegetation, we set $5 \times 2 \times 2 \text{ m}^2$ subplots in the 4 corners and in the center of each plot. We recorded the species and the quantity of each species of the shrub and herbaceous plants. Species richness in shrub layer and the herbaceous layer was estimated by Shannon-Wiener index (H') Equation (4), respectively.

$$H' = - \sum_{i=1}^{S_{\text{total}}} p_i \cdot \ln(p_i) \quad (5)$$

where p_i is the proportion of species i in the plot, and S_{total} is the total species of shrub or herbaceous.

2.6. Forest Canopy Measurement

Canopy openness and leaf area index (LAI) were measured with Canon EOS 50D Mark II with Canon EF 8–15 mm f/4L USM lens. The canopy photos at 3 places, which are located at the central axis with 5 m intervals, at 9 am–10 am a day during the vegetation survey. We selected 3 photos in each plot to analyze the canopy openness and LAI using GAP LIGHT ANALYZER (GLA) (Version 2.0) [41].

2.7. Soil

The soil samples were collected using a soil corer with a diameter of 8 cm after removing the forest floor (OL (fresh litter), OF (fragmented litter), OH (humified and amorphous litter) layers) [42] in October 2020 and December 2021. The distance between sampling locations was 5 m in the plot. Nine cores were bulked at 0–10 cm depth to form three samples per plot. There were 216 cores in total in 24 study plots, forming 72 samples in total each time. After removing root particles, gravel, and dead soil animals, the soil samples were dried to constant weight at 40 °C and sieved ($< 2 \text{ mm}$) [36]. All samples were grounded before determining total C and N contents using an automated C/N analyzer (Vario EL cube, Elementar, Germany). A 5 mg sample was weighed to determine soil C/N content for each soil sample. Soil pH was determined in a dilution of soil (soil:water is 1:2.5) with a glass electrode (pH meter, single rod assembly) [43]. A soil-cutting ring (100

cm³) was used at a depth of 10 cm to determine the soil moisture content. The soil moisture content (SMC) was calculated according to Equation (6),

$$SMC = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100\% \quad (6)$$

where W_w represented the wet weight of the soil, and W_d indicated the dry weight of the soil (oven-dried at 105 to 110 °C until reaching a constant weight).

2.8. Data Analysis

Statistical analyses were performed in the software environment R, version 4.2.1 (R Development Core Team, 2022, Vienna, Austria). In order to determine differences between control and thinning within a forest farm, we tested for normal distribution using the Shapiro–Wilk test and Levene test for homogeneity of variance. We used the Kruskal–Wallis test to look for differences among the 4 forest farms of control plots or thinning plots. For post hoc analyses, we used the Wilcoxon rank-sum test. The difference level was set at $p < 0.05$ for all tests. We used linear regression models to test the relationship between SDI/canopy openness/LAI and the understory diversity, and the DQ, stand volume increment, soil C, soil N, and soil pH. A significant relationship was assumed if $p < 0.05$.

3. Results

3.1. Tree Growth Dynamics

Before thinning, the original densities (number of trees per hectare) are 4000, 3000, 2000, and 2000 trees·ha^{−1} in Jinji, Yingde, Xiaolong, and Yangmei, respectively. In 2020, before thinning, the DQ showed that the greater the density the smaller the diameter in the same-age forests (Jinji < Yingde < Xiaolong) (Figure 1, Table 2), and showed the older forest, the larger the diameter in the same density forests (Yangmei > Xiaolong). The DQ increments were significantly higher in the thinning plots than in the control plots in all study sites. In the control plots, Jinji had the highest growth rate (7.2%); however, Yingde had the lowest growth rate (4.0%). In the thinning plots, Jinji had the highest growth rate (22.0%), and Yangmei had the lowest growth rate (13.9%).

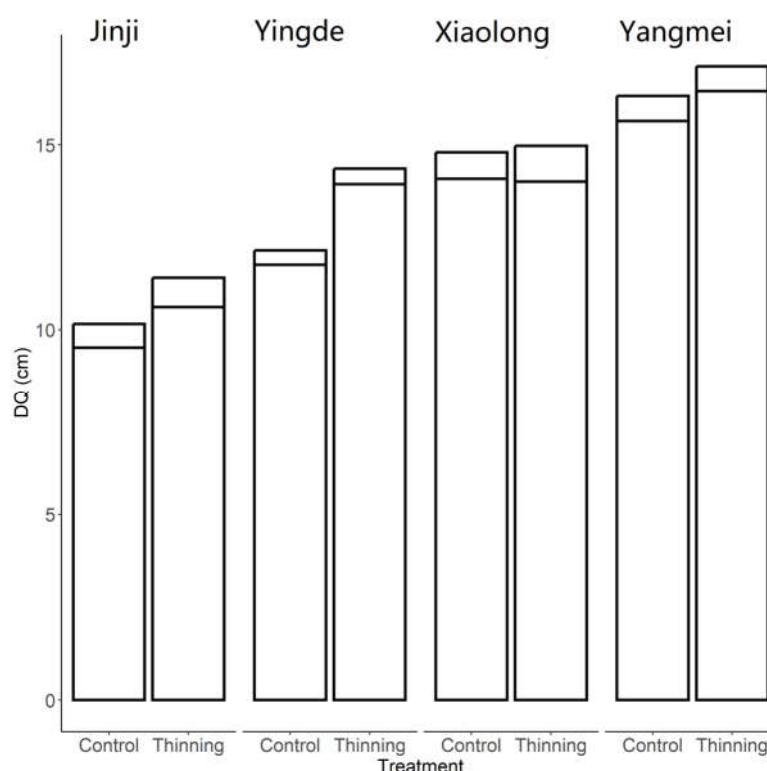


Figure 1. The DBH growth dynamics in the unmanaged plots (control), and thinning plots (thinning) in Yangmei, Jinji, Yingde, and Xiaolong forest farms. The cap of the bar is the mean DBH increment since the treatments applied.

Table 2. The quadratic mean stem diameter (DQ) ($\pm$ standard errors) of different forest managements in different study sites, in 2020 and 2021. Different lowercase letters indicate significant differences among different study sites in the same year and same treatment; different uppercase letters indicate significant differences between control and thinning in the same forest farm and the same year.

Study Site	Control Plots (cm)				Thinning Plots (cm)			
	2020	2021	Increment	Rate (%)	2020	2021	Increment	Rate (%)
Jinji	9.47 $\pm$ 0.8aA	10.16 $\pm$ 0.9aA	0.68 $\pm$ 0.1aA	7.2	9.35 $\pm$ 0.6aA	11.40 $\pm$ 0.5aA	2.06 $\pm$ 0.2aB	22.0
Yingde	11.68 $\pm$ 0.5abA	12.05 $\pm$ 0.5abA	0.37 $\pm$ 0.1aA	4.0	12.57 $\pm$ 0.5abA	14.35 $\pm$ 0.6abA	1.78 $\pm$ 0.2aB	14.2
Xiaolong	13.82 $\pm$ 0.5bA	14.78 $\pm$ 0.8bA	1.00 $\pm$ 0.3aA	6.9	12.67 $\pm$ 0.5abA	14.98 $\pm$ 1.0abA	2.31 $\pm$ 0.4aB	18.2
Yangmei	15.64 $\pm$ 1.4bA	16.32 $\pm$ 1.5bA	0.68 $\pm$ 0.1aA	4.4	15.01 $\pm$ 0.2bA	17.10 $\pm$ 0.4bA	2.08 $\pm$ 0.3aB	13.9

In the 11-year-old stands, the lowest volume was in Jinji (117.64 m³·ha⁻¹, 101.83 m³·ha⁻¹ in control and thinning plots, respectively), with the highest forest density of 4000 trees·ha⁻¹ (Table 3, Figure 2), and the highest volume was in Yingde (185 m³·ha⁻¹, 138 m³·ha⁻¹). The stand volume increments were higher in the thinning plots than in the control plots in all study sites. The highest growth rate was in the thinning plots in Xiaolong (27.8%), and the lowest was in Yangmei (1.8% in the control plots, 5.2% in the thinning plots).

Table 3. The stand volumes ($\pm$ standard errors) of different forest management in different study sites, in 2020 and 2021. Different lowercase letters indicate significant differences among different study sites in the same year and same treatment; different upper case letters indicate significant differences between different treatments in the same plots and the same year.

Study Site	Control Plots				Thinning Plots			
	2020 ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	2021 ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Increment ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Growth Rate (%)	2020 ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	2021 ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Increment ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Growth Rate (%)
Jinji	117.64 $\pm$ 4.9aA	143.37 $\pm$ 5.3aA	25.73 $\pm$ 2.7aA	21.9	101.83 $\pm$ 14.9aA	126.70 $\pm$ 15.2aA	24.87 $\pm$ 4.0aA	24.4
Yingde	185.56 $\pm$ 23.7abA	223.67 $\pm$ 29.4aA	38.11 $\pm$ 7.3aA	20.5	138.60 $\pm$ 13.1aA	171.24 $\pm$ 14.9aA	32.64 $\pm$ 1.8aA	23.5
Xiaolong	179.89 $\pm$ 6.4abA	211.52 $\pm$ 13.0aA	31.63 $\pm$ 6.7aA	17.6	108.25 $\pm$ 4.6aA	138.39 $\pm$ 8.5aA	30.14 $\pm$ 4.0aA	27.8
Yangmei	223.70 $\pm$ 16.8bA	227.74 $\pm$ 23.6aA	4.04 $\pm$ 7.1aA	1.8	166.91 $\pm$ 39.6aA	175.64 $\pm$ 46.0aA	8.73 $\pm$ 6.4aA	5.2

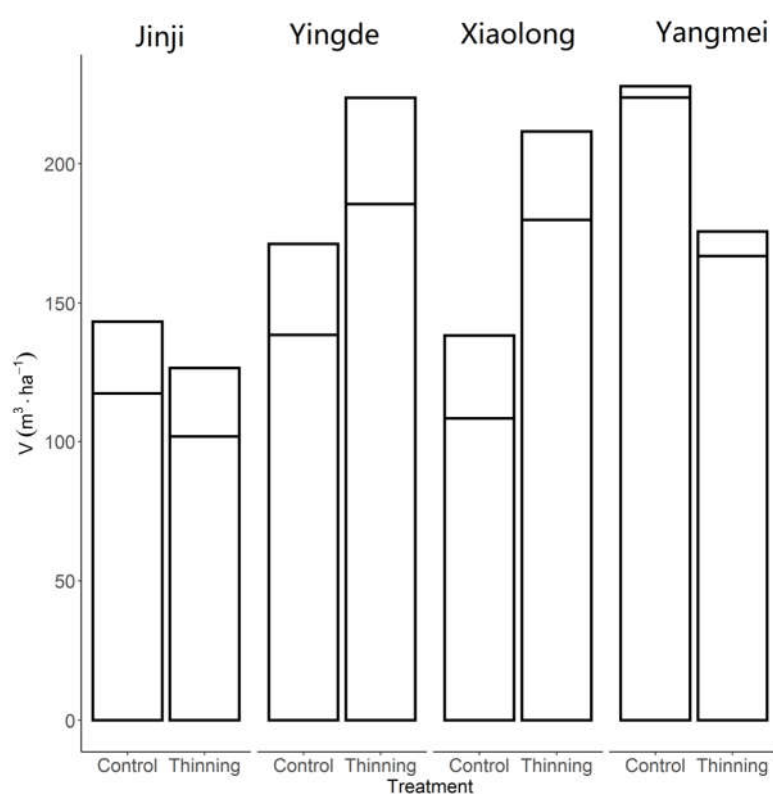


Figure 2. The volume growth dynamics in the unmanaged plots (control) and thinning plots (thinning) in Yangmei, Jinji, Yingde, and Xiaolong forest farms. The cap of the bar is the mean forest volume increment since the treatments were applied.

3.2. Top Soil Acidity and Moisture

The soil pH values were significantly higher in 2021 than in 2020, whether in the thinning plots or in the unmanaged plots (Table 4). In the Jinji forest farm the pH values varied mostly (increased by 0.89 and 0.78 in control and thinning plots, respectively) among the four study sites. The results showed that the higher the density, the lower the soil pH (Figure 3). In the thinned plots or in 2020 (Prior), the SDI and pH were significantly related; however, they were insignificantly related in the control plots. The soil moisture

decreased slightly with the increase of in density (Figure 3) in control plots or in 2020, however, in the thinned plots the situation was the opposite.

Table 4. Mineral soil pH values (means $\pm$ standard errors) of different forest managements in different study sites, in 2020 and 2021. Different letters indicate significant differences between different years, and between different treatments in 2021 ($p < 0.05$). * $n = 18$, samples taken before thinning applied; ** $n = 9$, samples taken from control plots; *** $n = 9$, samples taken from thinning plots.

	Jinji	Yingde	Xiaolong	Yangmei
Prior*	3.73 $\pm$ 0.03 a	4.15 $\pm$ 0.09 a	4.18 $\pm$ 0.07 a	3.83 $\pm$ 0.03 a
Control**	4.62 $\pm$ 0.06 b	4.77 $\pm$ 0.03 b	4.70 $\pm$ 0.02 b	4.65 $\pm$ 0.06 b
Thinning***	4.51 $\pm$ 0.06 b	4.71 $\pm$ 0.03 b	4.77 $\pm$ 0.04 b	4.56 $\pm$ 0.03 b

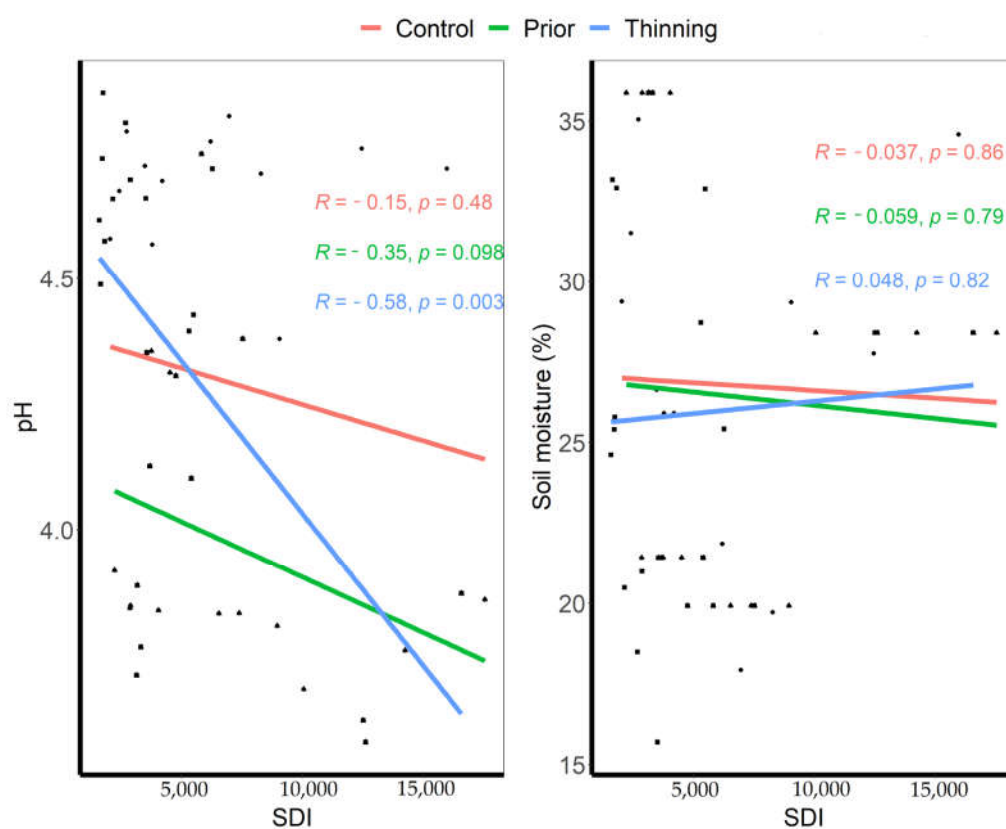


Figure 3. The relationship between SDI and soil pH (left) and soil moisture (right) of different treatments.

3.3. C and N Contents in the Mineral Soil

The C content of the mineral soil was highest in Yangmei (20.67 g·kg⁻¹) in 2020 before thinning was applied (Figure 4). The lowest C content was in Yingde for any treatments in 2020 and 2021 (2020:16.22 g·kg⁻¹; 2021: 15.82 g·kg⁻¹ in the unmanaged plots; 17.02 g·kg⁻¹ in the thinning plots). C contents in control plots increased compared to 2020, except for Yingde, where the C content decreased in the control plots in 2021. After thinning, the C contents increased in all plots, which increased most in Xiaolong (2.27 g·kg⁻¹), then in Jinji (2.09 g·kg⁻¹), Yingde (0.80 g·kg⁻¹), and Yangmei (0.75 g·kg⁻¹). The C contents changed insignificantly, whether in control or thinning plots.

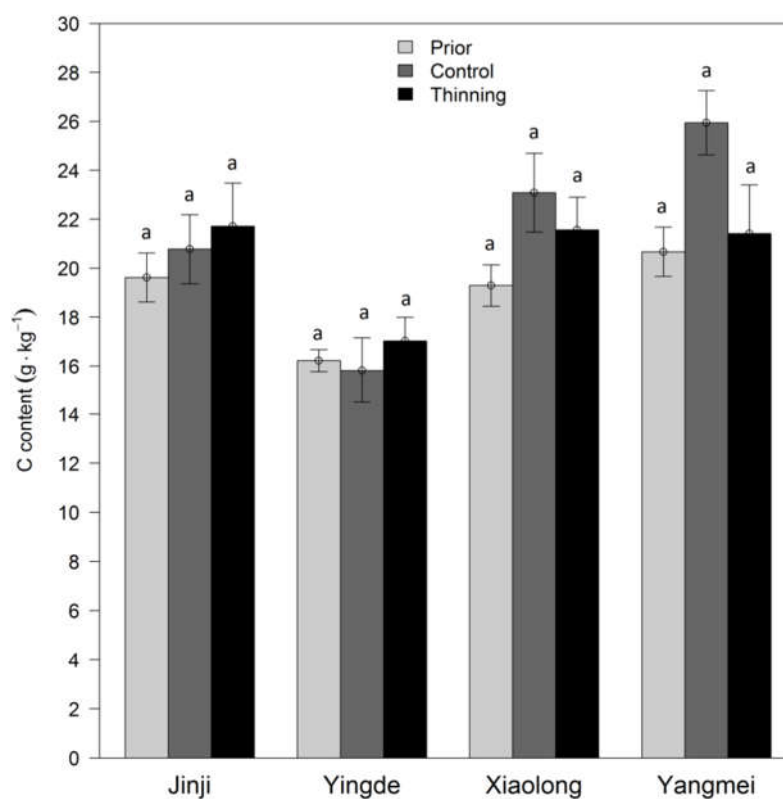


Figure 4. Carbon contents in the mineral soil (0–10 cm) in 2020 (Prior), and unmanaged plots (control), and thinning plots (thinning) in 2021. Error bars are standard errors of estimates. Significant differences between treatments in the same study site are indicated by different letters ($p < 0.05$). The same letter “a” means there are no significant differences.

The N contents in the mineral soil decreased significantly in Yangmei (Figure 5) and increased in Xiaolong. In 2020, before thinning was applied, the highest N contents in the mineral soil were found in Yangmei ($2.09 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$); however, in 2021, in control plots, the highest N contents were found in Xiaolong ($2.06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). In Jinji, Yingde, and Xiaolong, the N content of thinning plots decreased less than that of control plots.

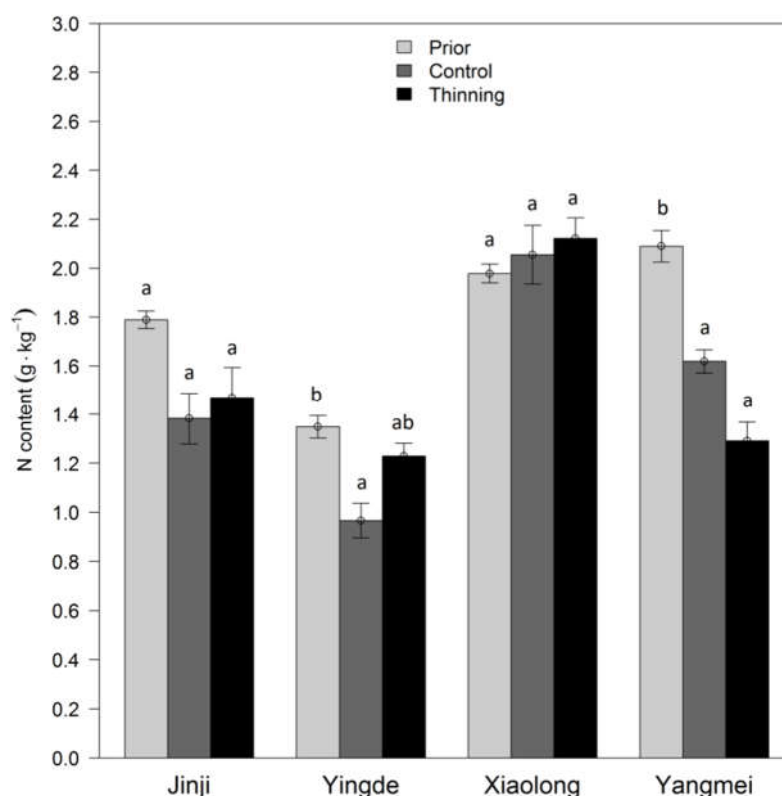


Figure 5. Nitrogen contents in the mineral soil (0–10 cm) in 2020 (Prior), and in the unmanaged plots (control), and thinning plots (thinning) in 2021. Error bars are standard errors of estimates. Significant differences between treatments in the same study site are indicated by different letters ($p < 0.05$). The same letter in the same forest farm means no significant difference among prior, control and thinning. The different letters in the same forest farm mean significant differences among prior, control and thinning.

3.4. Understory Plant Diversity

The shrub and herb Shannon-Wiener indices were higher in the thinned plots than in the unthinned plots, except the plots in Jinji (Figure 6). Our study indicated that the shrub and herbaceous diversity increased with the increase in canopy openness (Figure 7). The thinned stands had a higher canopy openness than the control sites (Figure 8).

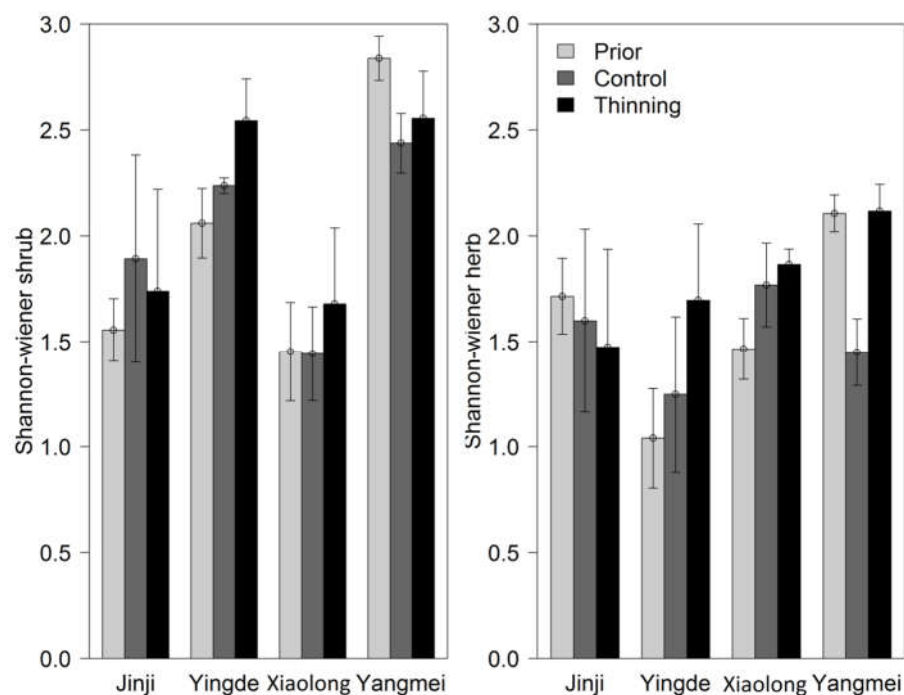


Figure 6. The shrub Shannon-Wiener index and herb Shannon-Wiener index for different management types.

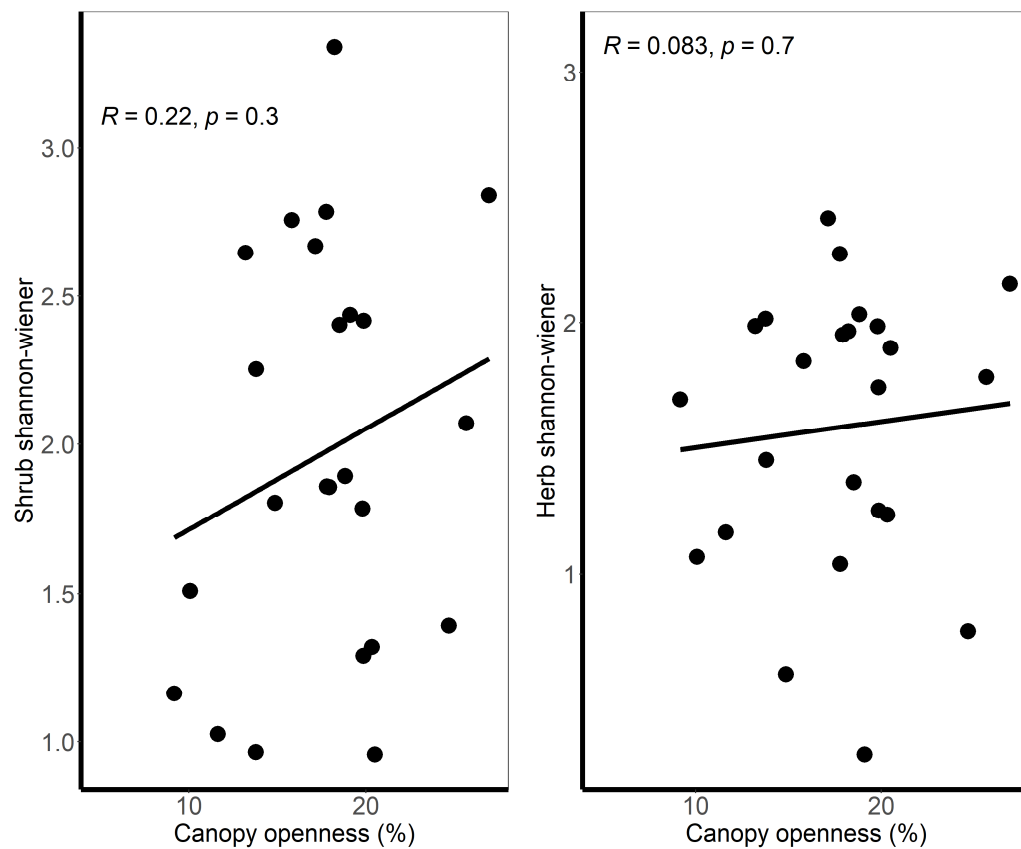


Figure 7. The relationship between canopy openness and shrub diversity, and herb diversity.

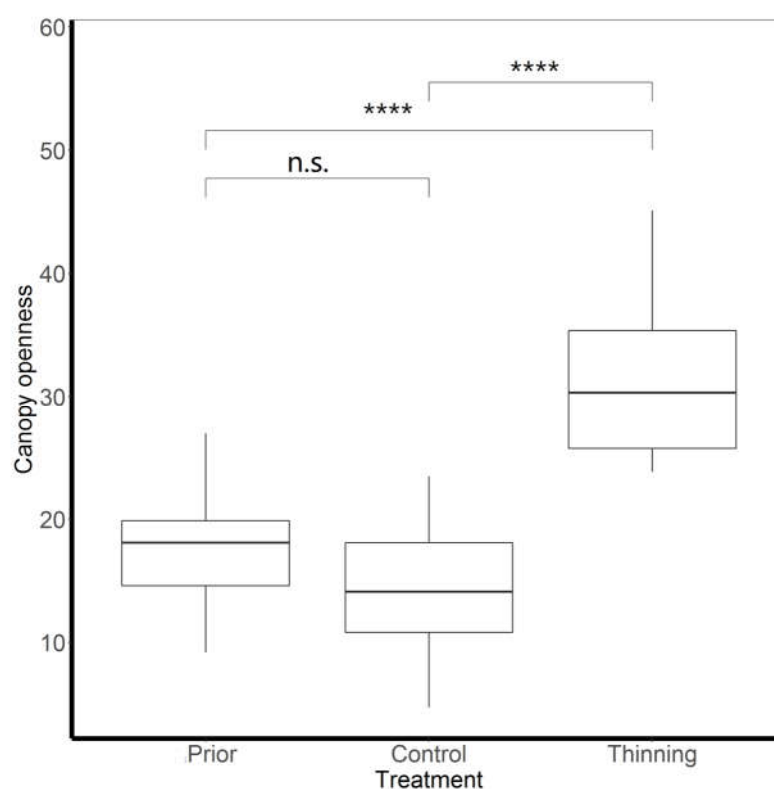


Figure 8. Canopy openness for different management types: prior (before thinning, $n = 24$), Control (the control plots, $n = 12$), and thinning (thinning plots, $n = 12$). Box plots showing canopy openness for the differences before thinning (prior) and after management (control, thinning), and for the differences of different management (control, thinning). **** indicate significant differences ($p < 0.01$), Non-significant are marked by the abbreviation “n.s.”.

4. Discussion

We present results from a study investigating the short-term dynamics of tree growth and the soil nutrients in the even-aged Chinese fir plantations. We observed that thinning enhanced the efficiency of resources use of the trees, then promoted the growth of diameter and volume.

The difference between diameter growth (DQ) on control plots and thinned plots was greatest at SDI (Reineke’s density index) site (Figure 1, Table 2). The thinned stands at higher SDI responded better to thinning than stands at lower SDI. Other research shows similar tree growth responses to thinning [44,45]. In the control sites, the DQ was significantly related to soil C and soil N in a positive way, and to SDI in a negative way (Figure 9). However, in the thinned sites, the DQ was no longer related to soil C and N significantly. The pH values increased with the increase in canopy openness significantly. This could be increased levels of extractable inorganic N other than the total N, which improves forest growth [45,46]. In Jinji and Yingde, the soil C and N contents were higher than the control plots, in which the initial density was 4000 and 3000 trees·ha⁻¹. There was no significant difference ($p > 0.05$) in soil nitrogen and carbon contents between thinning and control plots (Figures 4 and 5). This result is consistent with the research of Xu et al. [33] and Cheng et al. [47], who carried out the short-term effect of thinning in 11- and 6-year-old Chinese fir plantations, respectively. In addition, Zhou et al. [48] and Gong et al. [49] found that thinning did not show a significant effect on mineral soil carbon stock in the short term, while it significantly increased carbon stocks in planted forests in the mid- and long term. Furthermore, other experimental evidence also shows that thinning in the fast-

grown coniferous forests has no significant changes in nutrient stocking, for example, in Norway spruce [50] or in Scots pine [51,52].

Thinning influenced the competition processes by creating space and heterogeneous environmental conditions, to promote the reserved tree growth and stand accumulation [53–55]. The density was related to diameter and volume negatively, however, in the thinning plots. However, in the thinning plots, the relationship between density and LAI was positive, which could explain why Jinji had the most growth rates. The reduced tree numbers with the relatively high LAI could be the other reason for the high increments of diameter and volume in the short term. However these temporary advantages in volume growth could be cancelled out later through the disadvantage of lower growth, which is caused by the lower number and advanced stem diameter of remaining trees [56].

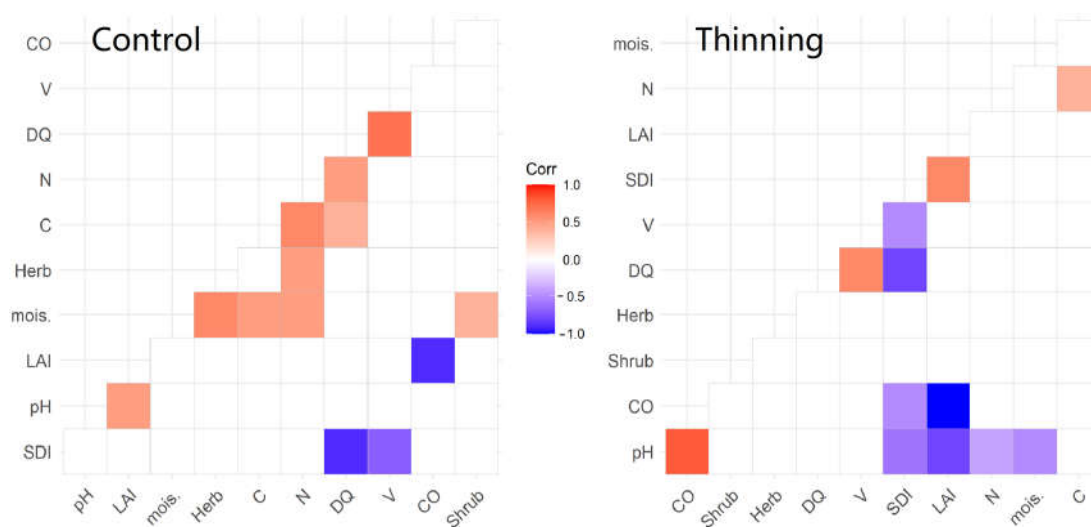


Figure 9. Correlations of all measured elements of different treatments. The blank squares are no significant coefficient. “CO”: canopy openness; “V”: volume; “Herb”: Shannon-Wiener herb; “mois.”: soil moisture; “Shrub”: Shannon-Wiener shrub.

Thinning could mitigate the drastic changes in soil pH caused by regional climate change. In this study, the pH values were significantly increased in 2021 in the control plots (Table 4). The result was contrary to drought may enhance protons release through enhancing rhizodeposition [57,58], and enhancing plant nutrient uptake under drought under the moderate drought [59]. This is due to the extreme drought in Guangdong in 2021; the mean precipitation was 1420.9 mm in 2021 which was 20.5% less than usual (Guangdong Provincial Water Resources Bulletin in 2021), and the mean temperature was 24.0 °C in 2021 which was the highest in history and 0.7 °C higher than usual (Guangzhou Climate Bulletin 2021). The result in the thinned sites could be explained by the negative relationship between soil moisture and pH. Thinning can improve soil moisture by increasing summer-time canopy moisture content for the remaining trees and increasing winter snow accumulation on the ground Sankey and Tatum [60], which indicated that thinning could mitigate the drastic changes in soil acidity. Therefore, we could say that forest thinning is a trade-off between loss of standing biomass and increasing stand stability as long as other indicators, such as soil condition, do not significantly change. The thinning effects on the resilience and elasticity of forests are due to the development of understory vegetation as well. Our study indicated that the shrub and herbaceous diversity increased with the canopy openness increasing (Figure 7). The shrub and herb Shannon-Wiener indices were higher in the thinned plots than in the unthinned plots, except the plots in Jinji (Figure 8). This is because even if the canopy openness was opened, the stand was still denser than other plots (2280 trees·ha⁻¹ in thinning plots in Jinji, the densest stand among the four forest farms).

5. Conclusions

The results of this study indicated that the thinning of Chinese fir plantations improved the growth of reserved trees, mitigated the change in soil acidity caused by drought, and promoted the diversity of understory vegetation as well, in the short term. In our study, the promoting effect of thinning on growth is mainly caused by the change in the aboveground environment and soil nutrient availability and the effect of thinning varies with initial density and forest age. These findings suggested that thinning practice should be conducted at the early stage of middle-aged Chinese fir plantations, and the thinning intensity should be different according to the initial density.

Author Contributions: Conceptualization, S.C.; methodology, S.C. and N.L.; software, N.L.; validation, N.L.; investigation, N.L, N.D, D.L., M.F., and H.X.; data curation, N.L.; writing—original draft preparation, N.L. and N.D; writing—review and editing, N.L.; supervision, S.C. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Natural Science Foundation of Guangdong Basic and Applied Basic Research, grant number “2021A1515011092” and “Qingyuan Forestry Bureau”.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: This work was supported by funding from the Natural Science Foundation of Guangdong Basic and Applied Basic Research Foundation, through the research projects 2021A1515011092, as well as the support from Qingyuan Forestry Bureau. The authors would like to thank all staff in the Yangmei, Jinji, Yingde, and Xiaolong forest farms. We also thank the editor and reviewers for their constructive comments on the manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

1. Zhao, M.F.; Xiang, W.H.; Peng, C.H.; Tian, D.L. Simulating age-related changes in carbon storage and allocation in a Chinese fir plantation growing in southern China using the 3-PG model. *For. Ecol. Manag.* **2009**, *257*, 1520–1531.
2. NFGA. *Forest Resources in China—The 9th National Forest Inventory*; National Forestry and Grassland Administration, Beijing, China: 2019.
3. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *Global Forest Resource Assessment 2020*; Food and Agricultural Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2020.
4. Wu, Z.L. *Chinese-Fir*; China Forestry Publishing House, Beijing, China: **1984**; 583p. (in Chinese)
5. Ribe, R.G. In-stand scenic beauty of variable retention harvests and mature forests in the U.S. Pacific Northwest: The effects of basal area, density, retention pattern and down wood. *J. Environ. Manag.* **2009**, *91*, 245–260.
6. Lindenmayer, D.B.; Margules, C.R.; Botkin, D.B. Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. *Conserv. Biol.* **2000**, *14*, 941–950.
7. Neill, A.R.; Puettmann, K.J. Managing for adaptive capacity: Thinning improves food availability for wildlife and insect pollinators under climate change conditions. *Can. J. For. Res.* **2013**, *43*, 428–440.
8. McElhinny, C.; Gibbons, P.; Brack, C.; Bauhus, J. Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. *For. Ecol. Manag.* **2005**, *218*, 1–24.
9. Dănescu, A.; Albrecht, A.T.; Bauhus, J. Structural diversity promotes productivity of mixed, uneven-aged forests in south western Germany. *Oecologia* **2016**, *182*, 319–333.
10. Juchheim, J.; Ammer, C.; Schall, P.; Seidel, D. Canopy space filling rather than conventional measures of structural heterogeneity explains productivity of beech stands. *Forest Ecol. Manag.* **2017**, *395*, 19–26.
11. Ehbrecht, M.; Schall, P.; Ammer, C.; Seidel, D. Quantifying stand structural complexity and its relationship with forest management, tree species diversity and microclimate. *Agric. For. Meteorol.* **2017**, *242*, 1–9.
12. Eichhorn, M.P.; Ryding, J.; Smith, M.J.; Gill, R.; Siriwardena, G.M.; Fuller, R.J. Effects of deer on woodland structure revealed through terrestrial laser scanning. *J. Appl. Ecol.* **2017**, *54*, 1615–1626.
13. MacArthur, R.H.; MacArthur, J.W. On bird species diversity. *Ecology* **1961**, *42*, 594–598.
14. Shi, S.Z.; Xiong, D.C.; Feng, J.X.; Xu, C.X.; Zhong, B.Y.; Deng, F.; Chen, Y.Y.; Chen, G.S.; Yang, Y.S. Ecophysiological effects of simulated nitrogen deposition on fine roots of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) seedlings. *Acta Ecol. Sin.* **2017**, *37*, 74–83. (in Chinese)
15. Newton, P.F.; Weetman, G.F. Stand density management diagram for managed black spruce stands. *For. Chron.* **1994**, *70*, 65–74.

16. Haughian, S.R. Short-term effects of alternative thinning treatments on the richness, abundance and composition of epixylic bryophytes, lichens, and vascular plants in conifer plantations at microhabitat and stand scales. *Forest Ecol. Manag.* **2018**, *415–416*, 106–117.
17. Zenner, E.K. Differential growth response to increasing growing stock and structural complexity in even- and uneven-sized mixed *Picea abies* stands in southern Finland. *Can. J. For. Res.* **2016**, *46*, 1195–1204.
18. Qu, Y.C.; Wang, H.C.; Dean, T.J.; Zhang, J.G.; Zhang, X.Q. Growth dominance and growth efficiency in response to thinning treatments in Chinese fir plantations with long-term spacing trials. *For. Ecol. Manag.* **2022**, *521*, 120438.
19. Zhang, D.H.; Ye, Z.F.; Fan BYWei, T.L. Influence of thinning on soil fertility in artificial forests. *Chin. J. Ecol.* **2001**, *12*, 672–676.
20. Xu, M.P.; Liu, H.Y.; Zhang, Q.; Zhang, Z.J.; Ren, C.J.; Feng, Y.Z.; Yang, G.H.; Han, X.H.; Zhang, W. Effect of forest thinning on soil organic carbon stocks from the perspective of carbon-degrading enzymes. *Catena* **2022**, *218*, 106560.
21. Baldwin, V.C.; Peterson, K.D. The effect of spacing and thinning on stand and tree characteristic of 38-year-old loblolly Pine. *For. Ecol. Manag.* **2000**, *137*, 91–102.
22. Skovsgaard, J.P. Analysing effects of thinning on stand volume growth in relation to site conditions: A case study for even-aged Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). *Forestry* **2009**, *82*, 87–104.
23. Castedo-Dorado, F.; Crecente-Campo, F.; Alvarez-Avarez, P.; Barrio-Anta, M. Development of a stand density management diagram for radiata pine stands including assessment of stand stability. *Forestry* **2009**, *82*, 1–16.
24. Schnell, S.; Kleinn, C.; Gonzalez, J.G.A. Stand density management diagrams for three exotic tree species in smallholder plantations in Vietnam. *Small-Scale For.* **2012**, *11*, 509–528.
25. Castaño-Santamaría, J.; Barrio-Anta, M.; Alvarez-Alvarez, P. Regional-scale stand density management diagrams for Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) stands in north-west Spain. *iForest Biogeosci. For.* **2013**, *6*, 113–122.
26. Tang, X.L.; Pérez-Cruzado c Vor, T.; Fehrmann, L.; Álvarez-González, G.; Kleinn, G. Development of stand density management diagrams for Chinese fir plantations. *Forestry* **2016**, *89*, 36–45.
27. Shen, Y.F.; Wang, N.; Cheng, R.M.; Xiao, W.F.; Yang, S.; Guo, Y. Short-term effects of low intensity thinning on the fine root dynamics of *Pinus massoniana* plantations in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Forests* **2017**, *8*, 428.
28. Bodner, J. Effect of thinning and fertilization on wood properties and intra-ring characteristics in young Douglas-fir. *Holzforsch. Und Holzverwert.* **1984**, *36*, 5–11.
29. Pommerening, A.; Murphy, S. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry* **2004**, *77*, 27–44.
30. Cheng, X.R.; Xing, W.L.; Yuan, H.J.; Yu, M.K. Long-term thinning does not significantly affect soil water-stable aggregates and diversity of bacteria and fungi in Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations in eastern China. *Forests* **2018**, *9*, 687.
31. Li, Y.F.; He, J.A.; Lu, L.H.; Xu, J.M.; Wang, H.X.; Ye, S.M. The long-term effects of thinning and mixing on species and structural diversity of Chinese fir plantations. *New For.* **2021**, *52*, 285–302.
32. Willim, K.; Ammer, C.; Seidel, D.; Annighöfer, P.; Schmucker, J.; Schall, P.; Ehbrecht, M. Short-term dynamics of structural complexity in differently managed and unmanaged European beech forests. *Trees For. People* **2022**, *8*, 100231.
33. Xu, X.L.; Wang, X.J.; Hu, Y.; Wang, P.; Saeed, S.; Sun, Y.J. Short-term effects of thinning on the development and communities of understory vegetation of Chinese fir plantations in Southeast China. *PeerJ* **2020**, *8*, e8536.
34. Asaye, Z.; Zewdie, S. Fine root dynamics and soil carbon accretion under thinned and un-thinned *Cupressus lusitanica* stands in Southern Ethiopia. *Plant Soil* **2013**, *366*, 261–271.
35. Kim, C.; Son, Y.; Lee, W.K.; Jeong, J.; Noh, N.J. Influences of forest tending works on carbon distribution and cycling in a *Pinus densiflora* S. et Z. stand in Korea. *For. Ecol. Manag.* **2009**, *257*, 1420–1426.
36. Akburak, S.; Makineci, E. Thinning effects on soil and microbial respiration in a coppice-originated *Carpinus betulus* L. stand in Turkey. *iForest* **2016**, *9*, 783–790.
37. Ziche, D.; Grüneberg, E.; Hilbrig, L.; Höhle, J.; Kompa, T.; Liski, J.; Repo, A.; Wellbrock, N. Comparing soil inventory with modelling: Carbon balance in central European forest soils varies among forest types. *Sci. Total Environ.* **2019**, *647*, 1573–1585.
38. Leitgeb, E.; Ghosh, S.; Dobbs, M.; Englisch, M.; Michel, K. Distribution of nutrients and trace elements in forest soils of Singapore. *Chemosphere* **2019**, *222*, 62–70.
39. Table of Common Numbers for Forest Resources Investigation in Guangdong Province, Guangdong Provincial Forestry Bureau; Guangdong Forestry Survey and Planning Institute. **2009**, P1.
40. Reineke, L.H. Perfecting a stand-density index for even-aged forest. *J. Agric. Res.* **1933**, *46*, 627–638.
41. Frazer, G.W.; Canham, C.D.; Lertzman, K.P. *Gap Light Analyzer (GLA): Imaging Software to Extract Canopy Structure and Gap Light Transmission Indices from True-Colour Fisheye Photographs, Users Manual and Program Documentation*; Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies: Millbrook, NY, USA, 1999.
42. Arbeitskreis Standortskartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung. *Forstliche Standortaufnahme*; IHW Verlag: Munich, Germany, 1996.
43. Meiwes, K.J.; Khanna, P.K.; Ulrich, B. Parameters for describing soil acidification and their relevance to stability of forest ecosystems. *For. Ecol. Manag.* **1986**, *15*, 161–179.
44. Brockley, R.P. Effects of post-thinning density and repeated fertilization on the growth and development of young lodgepole pine. *Can. J. For. Res.* **2005**, *5*, 1952–1964.
45. Chase, C.W.; Kimsey, M.J.; Shaw, T.M.; Coleman, M.D. The response of light, water, and nutrient availability to pre-commercial thinning in dry inland Douglas-fir forests. *For. Ecol. Manag.* **2016**, *363*, 98–109.

46. Forrester, D.I.; Collopy, J.J.; Beadle, C.L.; Warren, C.R.; Baker, T.G. Effect of thinning, pruning and nitrogen fertiliser application on transpiration, photosynthesis and water-use efficiency in a young *Eucalyptus nitens* plantation. *For. Ecol. Manag.* **2012**, *266*, 286–300.
47. Cheng, X.G.; Yu, M.K.; Li, Z.C. Short term effects of thinning on soil organic carbon fractions, soil properties, and forest floor in *Cunninghamia lanceolata* plantations. *J. Soil Sci. Environ. Manag.* **2018**, *9*, 21–29.
48. Zhou, D.; Zhao, S.Q.; Liu, S.; Oeding, J. A meta-analysis on the impacts of partial cutting on forest structure and carbon storage. *Biogeosciences* **2013**, *10*, 3691–3703.
49. Gong, C.; Tan, Q.Y.; Liu, G.B.; Xu, M.X. Forest thinning increases soil carbon stocks in China. *For. Ecol. Manag.* **2021**, *482*, 118812.
50. Jonard, M.; Andre, F.; Ponette, Q. Tree species mediated effects on leaf litter dynamics in pure and mixed stands of oak and beech. *Canadian J. For. Res.* **2008**, *38*, 528–538.
51. Novak, J.; Slodicak, M.; Dusek, D. Thinning effects on forest productivity and site characteristics in stands of *Pinus sylvestris* in the Czech Republic. *For. Syst.* **2011**, *20*, 464–474.
52. Bravo-Oviedo, A.; Ruiz-Peinado, R.; Modrego, P.; Modrego, P.; Alonso, R.; Montero, G. Forest thinning impact on carbon stock and soil condition in Southern European populations of *P. sylvestris* L. *For. Ecol. Manag.* **2015**, *357*, 259–267.
53. Sheng, W.T. Studies on density management and long-term productivity of *Cunninghamia lanceolata* forests. *Sci. Silvae Sin.* **2001**, *37*, 2–9.
54. Lei, P.; Scherer-Lorenzen, M.; Bauhus, J. Belowground facilitation and competition in young tree species mixtures. *For. Ecol. Manag.* **2012**, *265*, 191–200.
55. Omari, K.; MacLean, D.A.; Lavigne, M.B.; Kershaw, J.A., Jr.; Adams, G.W. Effect of local stand structure on leaf area, growth, and growth efficiency following thinning of white spruce. *For. Ecol. Manag.* **2016**, *368*, 55–62.
56. Pretzsch, H. Density and growth of forest stands revisited. Effect of the temporal scale of observation, site quality, and thinning. *For. Ecol. Manag.* **2020**, *460*, 117879.
57. Kunhikrishnan, A.; Thangarajan, R.; Bolan, N.S.; Xu, Y.; Mandal, S.; Gleeson, D.B.; Seshadri, B.; Zaman, M.; Barton, L.; Tang, C.; et al. Functional relationships of soil acidification, liming, and greenhouse gas flux. *Adv. Agron.* **2016**, *139*, 1–71.
58. Zhang, H.Z.; Shi, L.L.; Lu, H.B.; Shao, Y.H.; Liu, S.R.; Fu, S.L. Drought promotes soil phosphorus transformation and reduces phosphorus bioavailability in a temperate forest. *Sci. Total Environ.* **2020**, *732*, 139295.
59. Nilsson, L.O.; Wiklund, K. Nitrogen uptake in a Norway spruce stand following ammonium-sulfate application, fertigation, irrigation, drought, and nitrogen-free fertilization. *Plant Soil* **1994**, *164*, 221–229.
60. Sankey, T.; Tatum, J. Thinning increases forest resiliency during unprecedented drought. *Sci. Rep.* **2022**, *12*, 9041.

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

2.2 Effects of Thinning on Carbon Storage in a Mixed Broadleaved Plantation in a Subtropical Area of China

Article

Effects of Thinning on Carbon Storage in a Mixed Broadleaved Plantation in a Subtropical Area of China

Na Lin, Mingchun Feng, Huanqiang Huang, Zhanpeng Qiu, Tao Ma  and Shiqing Chen *

College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; nalin@scau.edu.cn (N.L.); mcfeng728@163.com (M.F.); 13377147085@163.com (H.H.); chiuchanpeng@163.com (Z.Q.); matao@scau.edu.cn (T.M.)

* Correspondence: sqc@scau.edu.cn

Abstract: Forest thinning is a widely used silvicultural method in forest management and has complex effects on carbon sequestration in different types of forest ecosystems. The present study examined the short-term effects of different thinning intensities on carbon storage in an 11-year-old mixed broadleaved plantation. The results partially supported that different thinning intensities have varying impacts on carbon storage in different parts of forest ecosystems. The main results were as follows: (1) The effect of thinning on promoting the growth of fast-growing tree species (*Michelia macclurei* Dandy and *Schima superba* Gardn. et Champ.) was earlier than that of slow-growing tree species (*Castanopsis hystrix* Miq.). (2) A greater thinning intensity conferred greater effects on promoting the tree biomass carbon growth, litter carbon storage, and understory plant diversity, in the order of 41%~50% > 31%~40% > 20%~30%, but these values were lower than those for the unthinned plots. (3) The soil carbon storage declined most in the 41%~50% thinned plots, due to the reduced carbon storage in the humus layer. (4) The 20%~30% thinning intensity promoted carbon sequestration in the short term in the mixed broadleaved plantation. The results suggested that a lower thinning intensity promoted carbon sequestration in the short term, a greater thinning intensity reduced carbon storage at first, but the negative effect on carbon storage exhibited trade-offs later by the growth of tree and understory plant biomass carbon and the accumulation of litter layer carbon.

Keywords: mixed broadleaved plantation; thinning; biomass carbon; soil carbon storage; litter carbon



Citation: Lin, N.; Feng, M.; Huang, H.; Qiu, Z.; Ma, T.; Chen, S. Effects of Thinning on Carbon Storage in a Mixed Broadleaved Plantation in a Subtropical Area of China. *Forests* **2024**, *15*, 638. <https://doi.org/10.3390/f15040638>

Academic Editor: Jurij Diaci

Received: 6 March 2024

Revised: 26 March 2024

Accepted: 29 March 2024

Published: 31 March 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Forest ecosystems provide multiple services, especially their ability to capture and store carbon (C). Current studies indicate that a forest ecosystem constitutes a net C sink that offsets ~25% of yearly anthropogenic C emissions, thus mitigating climate change actively [1,2]. In China, the area of plantations has expanded to 8.0×10^7 ha in 2021, which translates into an increased terrestrial carbon sink in biomass and soils [3]. Due to poor ecological stability and a decrease in carbon sequestration capacity of monocultures [4] and the higher biodiversity, resistance, and resilience to disturbances of mixed forests [5–7], mixed plantations have been proposed and implemented since the last decade. Even though forestation sequesters carbon, the scalability of this land use for meeting warming limitation targets has been questioned due to the sheer amount of land area required [8]. Furthermore, forestation of arable land results into trade-offs with local food production [9,10]. Therefore, since the Paris climate summit in 2015, forest management has been promoted as an efficient option to increase the accumulation of C by forest ecosystems [11]. Thinning is an essential silvicultural practice widely used in forest management [12], and it has been proved to promote the soil carbon storage of forest ecosystems by altering substrate characteristics [13–17] and the carbon metabolism process rate [18]. For instance, thinning induces more litterfall input, which initially alters substrate availability for microbial, soil enzymatic activity, and carbon mineralization [18]. Thinning through removing trees

to open the canopy, which causes more solar radiation to reach the forest floor, further stimulates understory vegetation diversity [19], the litter decomposition rate, and soil microbial activities [20], which further change the carbon metabolism process [21–23]. Studies have shown different effects of thinning on the carbon storage of tree layers. Thinning reduces the carbon storage of a tree layer by removing trees, even though the promoted growth of the preserved trees cannot compensate for the removed biomass carbon in a short time [24,25]. Studies have also shown that thinning enhances the tree layer's carbon storage in plantations but reduces the carbon storage of the litter layer and soil [26].

So far, studies of the effects of thinning on tree growth, understory diversity, soil carbon storage, and forest biomass carbon have mainly involved pure forests. In addition, thinning effects on forest carbon storage may be reinforced, counteracted, or offset by the thinning-induced soil respiration rate, removed tree biomass carbon, or a disturbed soil environment. Thus, it is uncertain how different thinning intensities affect the carbon structure post-thinning, and much less is known on the effect of thinning, especially the different intensities of thinning on carbon storage dynamics in mixed broadleaved plantations. We assessed the carbon dynamics in an 11-year-old mixed broadleaved plantation of *Schima superba* Gardn. et Champ. × *Castanopsis hystrix* Miq. × *Michelia macclurei* Dandy after different intensities of thinning. The main objective of this study was to find a proper thinning intensity to enhance the carbon storage of the mixed plantation. Our specific aims were (1) to evaluate the effects of different intensities of thinning on the carbon structures in the mixed plantation; (2) to estimate the influences of thinning on species-specific carbon growth; and (3) to describe the effects of varying intensities of thinning on the overall carbon storage in the mixed plantation.

2. Materials and Methods

2.1. Study Site and Experimental Design

The study site is located in Zhaoqing city in Guangdong, China (E 111°22'~E 112°06', N 23°07'~N 23°25'). It belongs to a subtropical monsoon climate, with a mean annual precipitation of 1428.5 mm~1638.3 mm and a mean annual temperature of 21.5 °C (Figure 1).

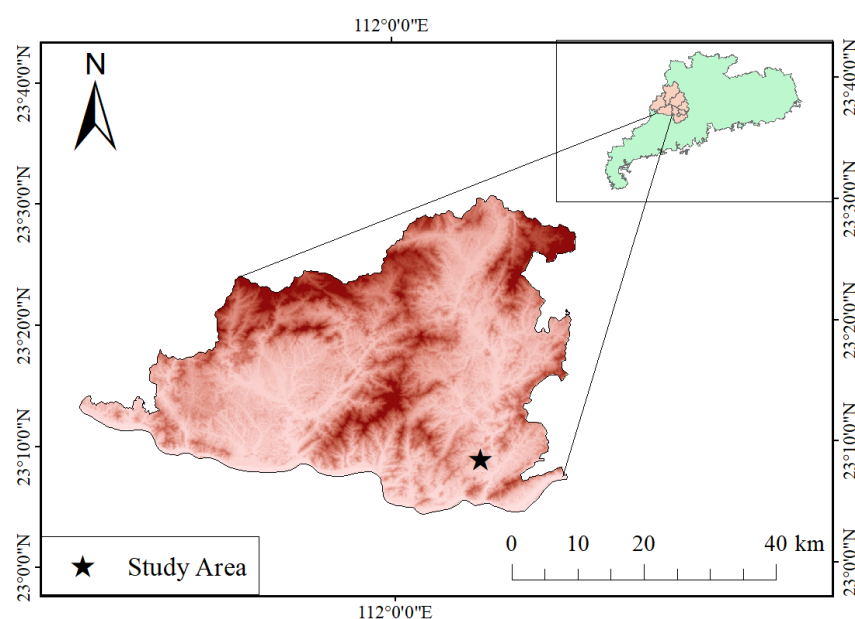


Figure 1. The location of the study area in Guangdong Province in China.

The planted density in 2010 was 856 trees·ha⁻¹, with 237 trees·ha⁻¹ *Castanopsis hystrix* Miq., 548 trees·ha⁻¹ *Schima superba* Gardn. et Champ., and 71 trees·ha⁻¹ *Michelia macclurei* Dandy. They were randomly mixed and planted regularly in the field. In the

first three years after planting, understory plants were removed manually to improve the survival rate of seedlings. In 2013, silvicultural management had ceased, and the three tree species started to sprout several seedlings. In 2021, the density was 1585 trees·ha⁻¹, with 368 trees·ha⁻¹ *Castanopsis hystrix* Miq., 1101 trees·ha⁻¹ *Schima superba* Gardn. et Champ., and 116 trees·ha⁻¹ *Michelia macclurei* Dandy. The soil type is *Latosol*, and the forest floor is a typical moder.

Twelve square plots, 625 m² each, were established in July 2021. We thinned the nine plots with 3 intensities, namely, 20%~30%, 31%~40%, and 41%~50%, in August 2021, and three other plots were untreated (control). There were three replicates for each thinning intensity. We adopted the method of thinning from below. The thinning intensity was the percentage of the basal area of the harvested trees in the total basal area of the original stands. Characteristics for each plot are presented in Table 1. A standard protocol for tree data collection (diameter, heights of trees, and crown length) was applied.

2.2. Understory Vegetation Survey and Index Calculations

In order to investigate the diversity of the understory plants, in July 2021 and August 2022, 5 subplots (2 m × 2 m per subplot) were set up, with the center and four corners of each plot located. We recorded the shrub and herbaceous species as well as the quantity of each species. The coverage (in % of the plot area) of all understory plant species was recorded. For the shrub species, numbers, ground diameter (2 cm above the soil surface) and height (vertical height) were measured in the field. For herbaceous plants, the height was only measured for species with cover values > 2%. Species diversity was estimated by the Simpson index (Equation (1)), species richness was calculated by the Margalef index (Equation (2)), the species diversity index was estimated by the Shannon–Wiener index (H') (Equation (3)), and the species evenness index was calculated by the Pielou index (Equation (4)).

$$D_s = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (1)$$

$$D_M = \frac{S - 1}{\ln N'} \quad (2)$$

$$H' = \sum_{i=1}^{S_{\text{total}}} p_i \cdot \ln(p_i) \quad (3)$$

$$E = \frac{H'}{\ln S} \quad (4)$$

where D_s is the Simpson diversity, p_i is the proportion of species i in the plot, and S is the total species of shrub or herbaceous plants; D_M is the Margalef richness index; N' represents the number of individuals within the sample plot; H' is the Shannon–Wiener index; and E is Pielou's evenness index.

2.3. Litter, Soil Sampling, and Measuring Methods

Fresh litter was collected in July 2021 and August 2022 in a quadratic, square frame of 0.0625 m². We divided the plot into four equal squares and sampled the litterfall at the centers of the squares. Once dried at 40 °C until constant, the different fractions (leaves, beech nuts, seed capsules, twigs, bud scales, etc.) were separated manually. Here, only the leaf fraction results are reported.

Soil samples were collected using a soil corer with a diameter of 8 cm in July 2021 and August 2022. Three replicates were taken for each treatment and soil depth (humus layer, 0~20 cm) in the plot. These samples were collected along four transects. The distance between sampling locations was 5 m in the plots.

Table 1. Characteristics of study plots in 2021.

Plot	General Information			Prior			After Thinning						
	Altitude (m)	Slope (°)	Soil Depth (cm)	Density (Tree/hm ²)	Canopy Density (%)	Diameter at Breast Height (cm)	Height (m)	Volume (m ³ /hm ²)	Density (Tree/hm ²)	Canopy Density (%)	Diameter at Breast Height (cm)	Height (m)	Volume (m ³ /hm ²)
1	61	24	80	1570	78	9.7	9.5	56.77	1570	78	9.7	9.5	55.77
2	46	28	70	1591	81	9.7	8.7	61.77	1591	81	9.7	8.7	62.77
3	60	21	70	1588	83	8.5	7.2	56.37	1588	83	8.5	7.2	56.37
4	49	26	60	1576	83	9.2	7.7	58.85	1016	56	9.3	8	45.29
5	44	25	70	1584	78	9.5	9.6	55.68	1196	57	9.6	9.6	46.39
6	59	16	80	1593	82	10.2	9.4	59.91	1368	57	10.3	9.3	43.79
7	72	25	60	1562	85	10.2	8.1	63.16	1044	48	10.2	8	40.22
8	46	28	80	1628	76	8.6	8.5	56.23	1012	58	8.6	8.6	38.14
9	73	22	80	1589	81	8.6	8.2	54.49	1004	55	9	8.6	38.59
10	55	35	80	1568	85	10.3	9.3	53.53	846	44	10.3	9.2	33.68
11	61	24	80	1570	78	8.7	7.4	60.86	880	43	9	8.3	34.22
12	48	20	60	1577	77	8.3	7.8	60.18	878	44	8.5	8.7	29.98

After removing root particles, litterfall, the humus layer, and mineral soil were dried at 40 °C. Mineral soil was sieved (<2 mm) thereafter. All samples were milled and sieved (<2 mm) before determining the total C and N contents using an automated C/N analyzer (Carlo Erba, NA 1500, Milan, Italy). A 5 mg sample was weighed to determine the soil C/N content for each soil sample. Fresh mineral soil samples were analyzed for pH in water using a 1:2.5 soil/water suspension. Soil pH was determined in a dilution of soil (the volume of soil:water is 1:2.5) with a glass electrode (pH meter, single rod assembly) [27].

2.4. Leaf Area INDEX Measurement

To measure the leaf area index (LAI), four hemispherical canopy photographs were taken skyward from the forest floor with a fisheye lens at 4 locations, where the litterfall was collected in each plot. We applied Gap Light Analyzer Version 2.0 (GLA) software [28] to analyze the hemispherical canopy photographs to get the LAI.

2.5. Biomass Carbon, Litter Carbon, and Soil Carbon Calculations

The tree biomass was estimated for each plot using the species-specific allometric equations presented in Table 2. The aboveground biomass of *Castanopsis hystrix* was the sum of the biomass of the trunk, bark, branches, and leaves. The aboveground biomass of *Michelia macclurei* was the sum of the biomass of the trunk with bark, branches, and leaves. The carbon storage of trees was calculated from the biomass and carbon concentration.

Soil organic carbon storage was calculated as follows:

$$C_i = \text{soc}_i \times \text{BD}_i \times i \times 10^{-1} \quad (5)$$

where C_i , SOC_i , and BD_i represent SOC stocks ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), SOC concentration ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), and soil bulk density ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) in the i soil layer (cm), respectively. The BD values were calculated as [29]:

$$\text{BD} = 0.4123 + 1.032e^{-0.0413\text{SOC}} \quad (6)$$

Carbon storage of litter was calculated from the dry weight and SOC content.

Table 2. Species-specific biomass allometric equations and C concentrations.

Species		Biomass (kg)	C Content Percentage	References
<i>Schima superba</i>	Aboveground	$W = 0.5373 \times D^{1.903}$ ($R^2 = 0.91$)	$C = 0.5077$	[30]
	Roots	$W = 0.5759 \times D^{1.4093}$ ($R^2 = 0.79$)	$C = 0.5487$	
<i>Castanopsis hystrix</i>	Trunk	$W = 0.0641 \times (D^2H)^{0.8699}$ ($R^2 = 0.99$)	$C = 0.4902$	[31,32]
	Bark	$W = 0.0105 \times (D^2H)^{0.8246}$ ($R^2 = 0.92$)	$C = 0.4491$	
	Branches	$W = 0.0001 \times (D^2H)^{1.3949}$ ($R^2 = 0.81$)	$C = 0.4912$	
	Leaves	$W = 0.0000028 \times (D^2H)^{1.6052}$ ($R^2 = 0.91$)	$C = 0.5018$	
	Roots	$W = 0.1210 \times (D^2H)^{0.6495}$ ($R^2 = 0.81$)	$C = 0.4775$	
<i>Michelia macclurei</i>	Trunk with bark	$W = 0.033232 \times (D^2H)^{0.97166}$ ($R^2 = 0.98$)	$C = 0.5059$	[33,34]
	Branches	$W = 0.022721 \times (D^2H)^{0.84435}$ ($R^2 = 0.96$)	$C = 0.5050$	
	Leaves	$W = 0.079679 \times (D^2H)^{0.59671}$ ($R^2 = 0.96$)	$C = 0.5077$	
	Roots	$W = 0.039307 \times (D^2H)^{0.86499}$ ($R^2 = 0.96$)	$C = 0.4232$	

Note: W, biomass; C, carbon; D, diameter at breast height; H, tree height.

2.6. Data Analysis

Homoscedasticity was tested using the Fligner–Killeen test, and normal distribution was tested using the Shapiro–Wilk test. After logarithmic transformation, the data for the carbon storage of trees presented a normal distribution and homoscedasticity. To test for differences in the understory aboveground biomass between treatments, an ANOVA was used. To ascertain differences within the tree, soil, litter layer, and total carbon storage, respectively, Tukey–Kramer’s HSD test was applied. All statistical tests were performed with R, version 4.2.2 (QUOTE: R Development Core Team 2022).

3. Results

3.1. Carbon Storage in the Tree Layer

The preserved total tree biomass carbon was inconsistent with the thinning intensity (Figure 2A); the highest and lowest biomass carbon was in the control plots ($21.55 \pm 1.6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) and in the 20%~30% thinned plots ($38.86 \pm 4.8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) one year after thinning. The higher thinning intensity showed the higher total carbon growth (20%~30%, 31%~40%, and 41%~50% were $2.23 \pm 0.1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, $2.90 \pm 0.7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, and $5.20 \pm 2.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectively) (Figure 2B), and the higher average growth of biomass carbon (20%~30%, 31%~40%, and 41%~50% were $3.26 \pm 0.7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, $4.52 \pm 1.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, and $11.84 \pm 3.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectively) (Figure 2C). A thinning intensity greater than 30% promoted the carbon biomass growth for each tree species compared with the biomass carbon in the control plots of each tree species, especially in the 31%~40% thinned plots (the increments for *C. hystrix*, *M. macclurei*, and *S. superba* were $1.84 \text{ t} \cdot \text{tree}^{-1}$, $0.68 \text{ t} \cdot \text{tree}^{-1}$, and $0.47 \text{ t} \cdot \text{tree}^{-1}$, respectively) (Figure 2D).

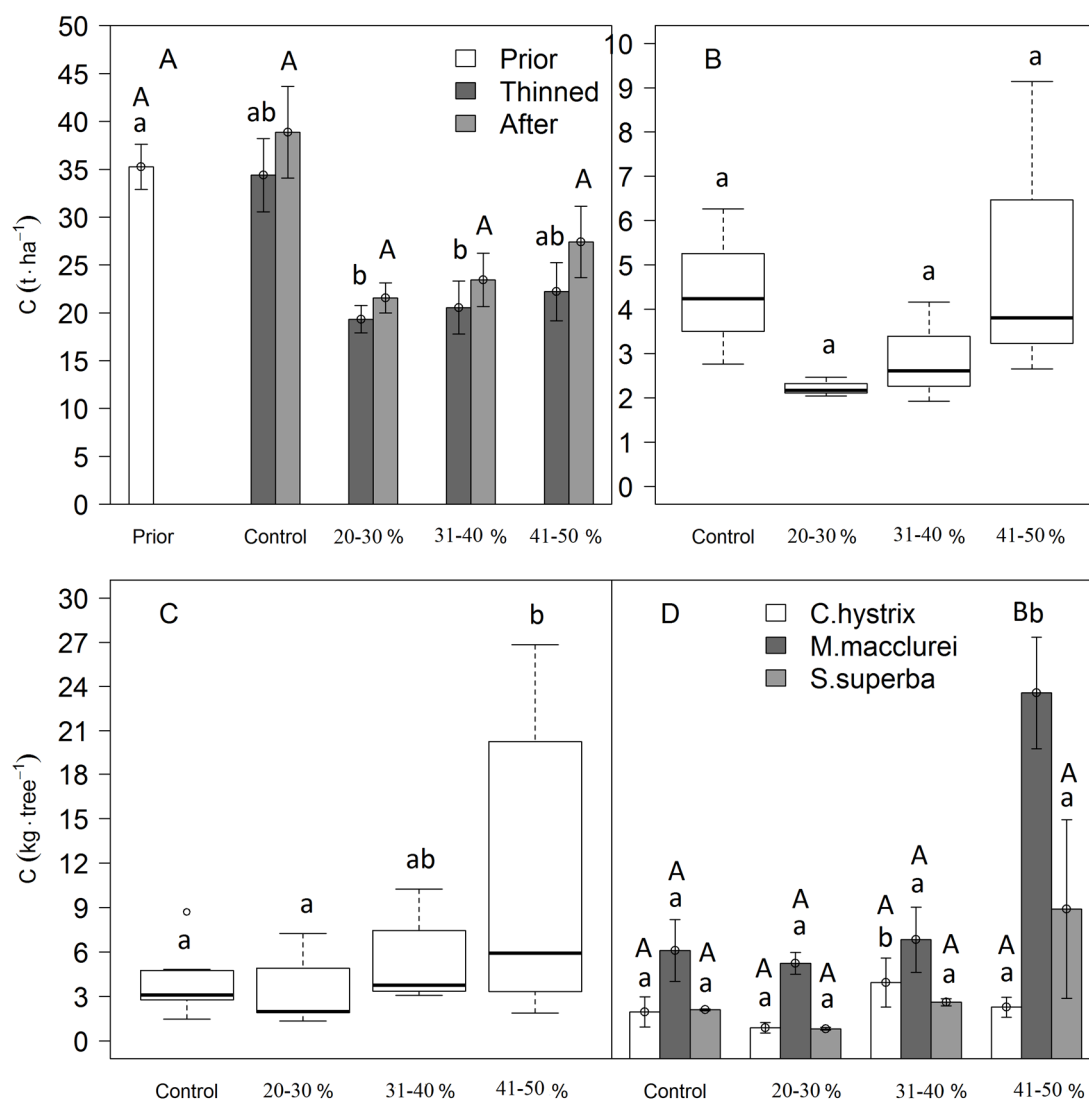


Figure 2. (A): Total tree biomass carbon of different treatments included root biomass carbon and aboveground biomass carbon; “Prior” means tree biomass carbon before thinning; “After” means tree biomass carbon after removing the thinned trees; “Thinned” means tree biomass carbon one year after thinning; the different lowercase letters mean the differences in tree biomass carbon among Prior and different thinning intensities of After; the different uppercase letters mean the differences in tree biomass carbon among Prior and different thinning intensities of Thinned. (B): Total tree biomass

carbon growth; different lowercase letters mean the differences in total carbon growth among the different treatments. (C): Average total biomass carbon growth of each tree; different lowercase letters mean the differences in tree carbon growth among different treatments. (D): Growth of biomass carbon of each tree species; different lowercase letters mean the different carbon growth of different tree species within the same treatment; different uppercase letters mean the different carbon growth of the same tree species among different treatments. Note: figures (C,D) share the same scale of the y-axis.

3.2. Carbon Storage in the Litter Layer

Compared with prior (before thinning), the carbon storage of the litter layer decreased in each thinned plot (Figure 3). As the intensity of thinning increased, the carbon storage decreased less, as the litter C values in 20%~30%, 31%~40%, and 41%~50% were $7.18 \pm 0.53 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, $8.52 \pm 0.75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, and $7.92 \pm 0.52 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectively. The lowest carbon storage ($7.18 \pm 0.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) of litter was in the 20%~30% thinned plots, which was consistent with the litter dry mass ($17.17 \pm 1.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) (Table 3). Thinning reduced the litter mass in each plot.

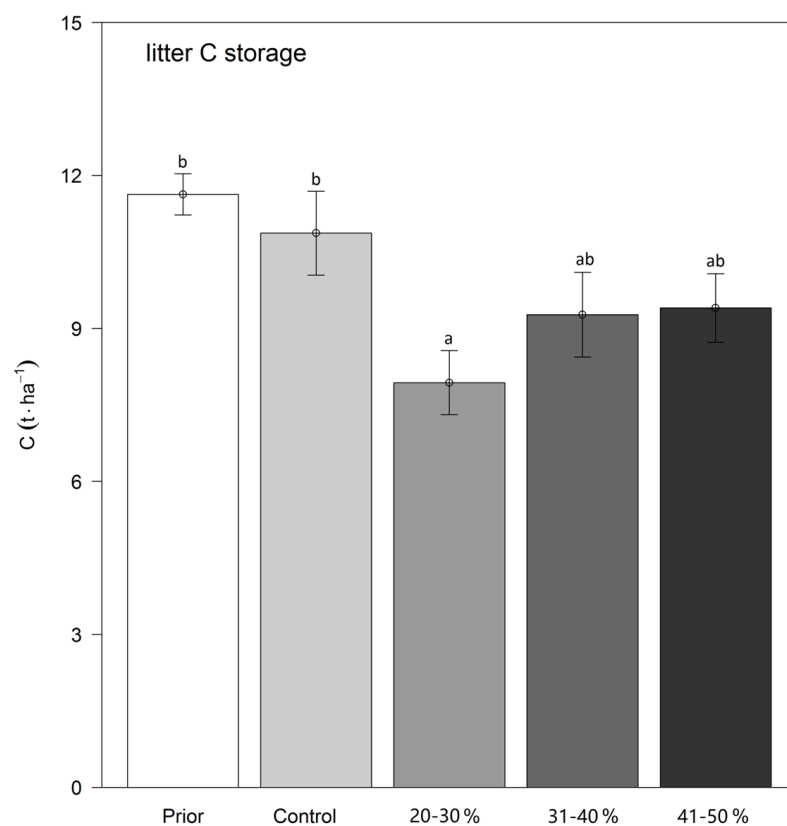


Figure 3. The litter C storage among different thinned intensities. Note: Different lowercase letters mean significant differences in the litter C among different treatments.

Table 3. The litter dry mass ($\pm$ standard error) in the mixed broadleaf plantation among different thinned intensities.

	Prior ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Thinned ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)
control	$24.87 \pm 1.7 \text{ aA}$	$24.24 \pm 1.7 \text{ bA}$
20%~30%	$23.53 \pm 0.7 \text{ aA}$	$17.17 \pm 1.4 \text{ aA}$
31%~40%	$25.96 \pm 1.4 \text{ aA}$	$20.02 \pm 1.7 \text{ abA}$
41%~50%	$27.87 \pm 1.2 \text{ aB}$	$20.69 \pm 1.9 \text{ abA}$

Note: Different lowercase letters mean significant differences among different Prior (before thinning) or Thinned (one year after thinning) treatments; different uppercase letters mean significant differences between Prior and Thinned in the same treatment plots.

As the intensity of thinning increased, the weight of the litter gradually increased as well, the litter mass in the 20%~30% thinned plots was significantly lower than in the control plots and was lower than in the 31%~40% and 41%~50% plots but nonsignificantly.

3.3. Carbon Storage in Soil

Thinning reduced the carbon storage of the humus layer to varying degrees (Figure 4A). One year after thinning, the humus layer carbon storage was increased in the 20%~30% ($45.58 \pm 6.47 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) and 31%~40% ($47.96 \pm 7.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) thinned plots but was decreased in the 41%~50% ($26.47 \pm 3.6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) thinned plots, compared to the control plots ($39.06 \pm 5.1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). And the humus layer carbon at the 31%~40% intensity was higher than that for the other three treatments, with 41%~50% exhibiting the lowest value.

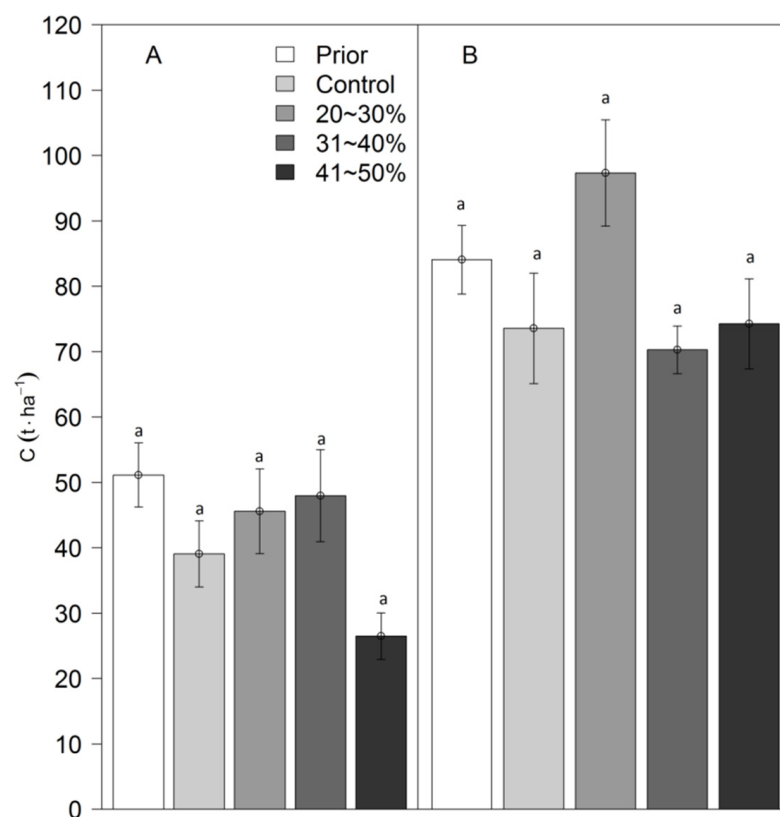


Figure 4. The carbon storage of the humus layer (A) and in 0~20 cm depth soil (B); dynamics among different thinning intensities. Note: Different lowercase letters mean significant differences in humus layer and soil carbon storage among different treatments.

The carbon storage of the 0~20 cm soil layer was increased at the 20%~30% intensity ($97.34 \pm 8.1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), compared to the prior ($84.06 \pm 5.3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) and control plots ($73.56 \pm 8.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) (Figure 4B). However, the lowest soil carbon storage was at the 31%~40% intensity ($70.27 \pm 3.7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), which had the highest humus carbon storage (Figure 4A).

3.4. The Total Carbon Storage in the Mixed Broadleaved Plantation

The responses of total C storage to thinning intensities were different (Figure 5) but were consistent with the carbon changes in soil (Figure 4B). The total carbon was highest ($171.66 \pm 5.1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) in the 20%~30% thinned plots and lowest ($137.54 \pm 8.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) in the 41%~50% thinned plots.

Compared to the prior values, the total C, soil C, tree biomass C, and litter C in the control plots increased one year later; the total C storage decreased in the 31%~40% and 41%~50% thinned intensity plots. In the 20%~30% thinned intensity plots, the highest C storage ($171.66 \pm 5.1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) among the 4 different treatments was observed (Figure 4;

Table 4). The highest total carbon storage was found in the 20%~30% thinned plots due to the highest soil carbon storage ($142.92 \pm 6.7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), even though these plots had the lowest tree biomass C ($21.55 \pm 1.6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) and litter C ($7.18 \pm 0.7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

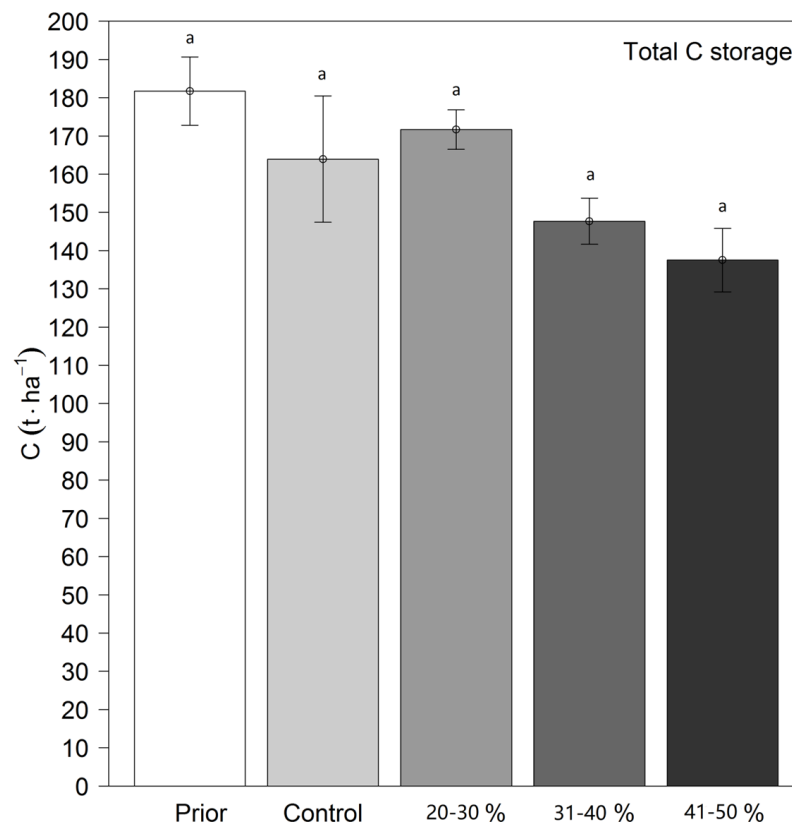


Figure 5. The total carbon storage among different thinned intensities. Note: Different lowercase letters mean significant differences in litter C in the litterfall among different treatments.

Table 4. The average carbon storage ($\pm$ standard error) in the different layers in the mixed broadleaf plantation among different thinned intensities.

Treatment	Total C(t·ha ⁻¹)		Soil C(t·ha ⁻¹)		Tree C (t·ha ⁻¹)		Litter C(t·ha ⁻¹)	
	Prior	Thinned	Prior	Thinned	Prior	Thinned	Prior	Thinned
Control	159.24 $\pm$ 10.5 aA	163.95 $\pm$ 16.5 aA	113.72 $\pm$ 12.1 aA	115.98 $\pm$ 13.6 aA	34.38 $\pm$ 3.8 aA	38.86 $\pm$ 4.8 aA	11.15 $\pm$ 1.7 aA	9.10 $\pm$ 1.3 aA
20%~30%	163.65 $\pm$ 3.8 aA	171.66 $\pm$ 5.1 aA	124.00 $\pm$ 4.2 aA	142.92 $\pm$ 6.7 aA	28.77 $\pm$ 1.5 aA	21.55 $\pm$ 1.6 aA	10.88 $\pm$ 0.7 aA	7.18 $\pm$ 0.7 aA
31%~40%	189.89 $\pm$ 21.5 aA	147.69 $\pm$ 6.0 aA	142.30 $\pm$ 13.9 aA	115.71 $\pm$ 9.8 aA	35.58 $\pm$ 6.2 aA	23.44 $\pm$ 2.8 aA	12.01 $\pm$ 1.4 aA	8.54 $\pm$ 1.3 aA
41%~50%	214.02 $\pm$ 14.3 aB	137.54 $\pm$ 8.2 aA	159.24 $\pm$ 19.1 aA	102.11 $\pm$ 6.3 aA	42.30 $\pm$ 4.5 aA	27.40 $\pm$ 3.7 aA	12.47 $\pm$ 0.8 aA	8.02 $\pm$ 0.7 aA

Note: Different lowercase letters mean significant differences between prior and thinned of the same treatment. Different uppercase letters mean significant differences among the 4 treatments of "Prior" or "Thinned".

3.5. The Development of Understory Plants

Thinning promoted the development of understory plants (Figure 6). As the intensity of thinning increased, the growth of the understory vegetation improved. A higher intensity of thinning was associated with a greater diversity of understory plants. In the 41%~50% thinned plots, the Simpson diversity, Margalef richness, Shannon–Wiener diversity index, and Pieou’s index were the highest at 0.92 ± 0.02 , 3.34 ± 0.50 , 2.45 ± 0.21 , and 1.14 ± 0.03 , respectively. The understory plant development in the control plots was contrary with the 41%~50% plots, with the lowest Simpson diversity index, Margalef richness, Shannon–Wiener diversity index, and Pieou’s index (0.73 ± 0.03 , 2.44 ± 0.15 , 1.86 ± 0.06 , and 0.82 ± 0.02).

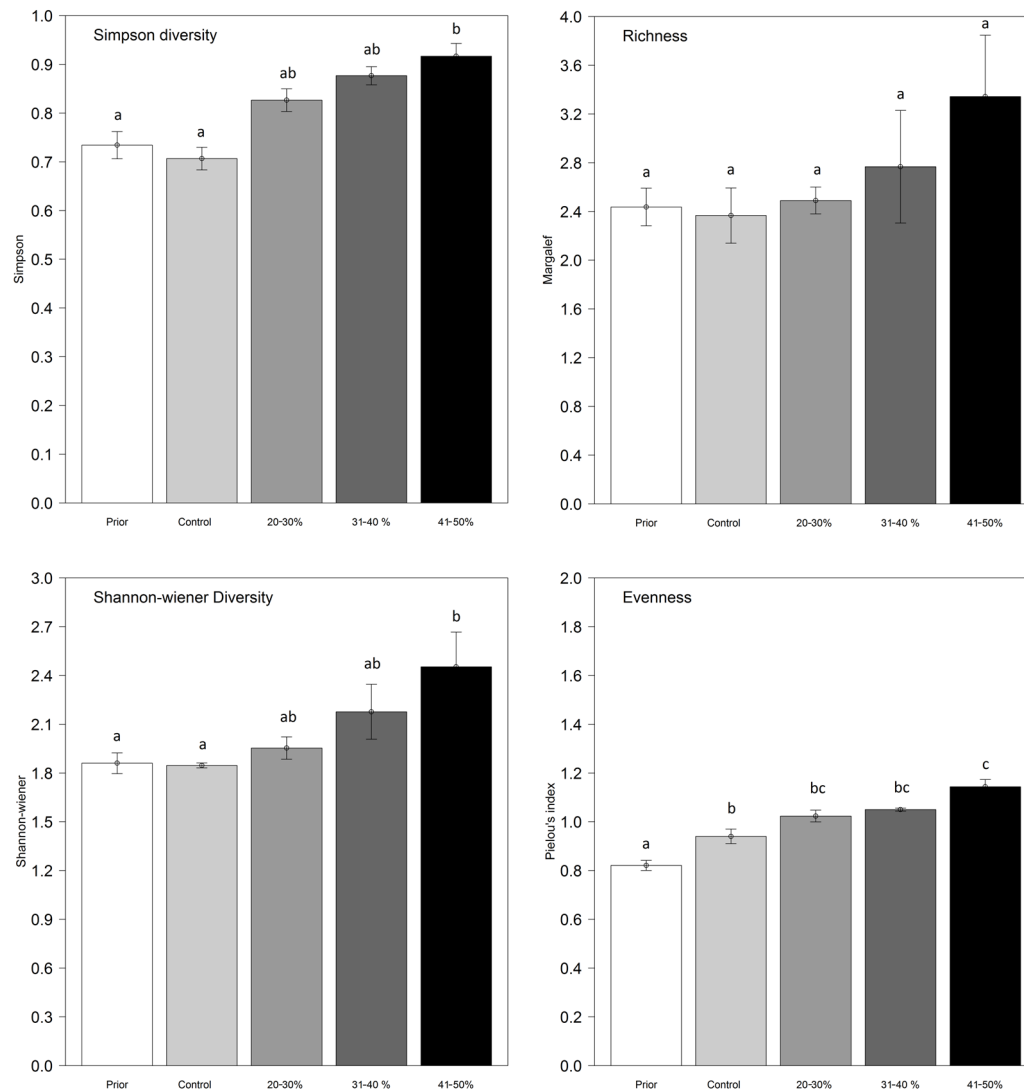


Figure 6. The changes in the understory plant values for the Simpson diversity, Margalef richness, Shannon–Wiener diversity, and Pielou’s evenness after thinning. Different lowercase letters mean significant differences between prior and thinned intensities.

4. Discussion

Forests sequester CO₂ in the form of biomass and soil carbon. Forest C pools contain about 73% of the global vegetation carbon storage, with 44.5% of forest C stock in soil in the top meter [35]. In this study, the carbon structure was around 70% in soil, 20% in tree biomass (above- and belowground biomass), and 10% in the litter (Table 5). These values indicate that carbon was mainly stored in the tree layer and soil layer [36], accounting for over 90% of the total carbon storage in the plantation. There is a fundamental difference in their carbon structures due to different compositions of tree species. This is because forest communities—assemblages of tree species in a stand vary in their capacity to capture and store carbon [36]. The C storage in plantations of fast-growing tree species is significantly higher than that in plantations of slow-growing tree species. For example, under similar habitat conditions and management measures, the C storage in 27-year plantations of *M. macclurei* (359.43 t/hm²) and *Mytilaria laosensis* Lecomte (319.80 t/hm²) were significantly higher than in *C. hystrix*, *Pinus massoniana* Lamb., and *Mesua ferrea* L. plantations (225.87 t/hm², 222.43 t/hm², and 207.81 t/hm²) in subtropical China [37]. The 11-year-old plantation was composed of 60% *S. superba*, 30% *C. hystrix*, and 10% *M. macclurei*, with a higher tree biomass carbon growth for *M. macclurei* and *S. superba* and a lower carbon growth of *C. hystrix* (Figure 2D). One year after, the total carbon storage values,

including tree layer biomass carbon, the litter layer carbon, and the soil layer carbon, were reduced in our study; however, the total carbon in the 20%~30% intensity thinned plots was less reduced in the control plots. Thinning by removing trees relieves the competition of trees, and then trees grow faster in conditions of low competition, especially fast-growing species [38]. The other possible explanations for the lower response of *C. hystrix* and *S. superba* to thinning may reside in the fact that there were more *C. hystrix* and *S. superba* trees in the plots and that thinning led to a decrease in intraspecific competition for the three tree species, whereas interspecific competition was not reduced enough for the *C. hystrix* and *S. superba* trees [12]. Our study indicates that it is necessary to combine fast- and slow-growing species when planting mixed forests and to apply a moderate intensity of thinning to prevent the loss of carbon storage.

Table 5. The carbon composition (%) in the mixed broadleaf plantation.

	Tree Biomass C	Litter C	Soil C
Prior	19.41	6.40	74.19
Control	23.70	5.55	70.75
20%~30%	12.55	4.18	83.27
21%~40%	15.87	5.78	78.35
41%~50%	19.92	5.83	74.25

Forest management, such as tree pruning, thinning, the use of lime, fertilizer application, irrigation, and site preparation intensity, has received increasing attention due to its predictable effects on ecosystems, especially on the content of soil C. Changes in forest management practices have reportedly resulted in a significant loss of SOC over the past two centuries [39]. In our study, the total C storage in the mixed broadleaved plantation decreased, due to the losses of soil C ($18.83 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) and litter C ($2.53 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$), even though the tree biomass C had a $3.60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ increment. Due to the SOC containing more than three times the amount of organic carbon as in the overlaying vegetation [40], a slight change may affect the carbon sequestration of forest ecosystems. In 41%~50% thinned plots, the proportion of soil C (Table 5, 74.25%) decreased, even though the tree biomass C and litter C increased. That means that a higher intensity of thinning causes greater disturbance to forest soil. Forest soil is the medium in which forest plants evolve, grow, and derive their nutrients and water supply [12,41]. As a result, edaphic factors play a larger role in plant diversity [42]. In our study, the understory diversity and richness increased with the increase in thinning intensity (Figure 6), which were negatively related to the litter C (Figure 7). An increase in the species richness of plants leads to an increase in the number of available micro-niches and an increase in microbial diversity [43], further promoting the decomposition of C in the litter layer, humus layer, and soil layer. The competition for nutrients between plants and microorganisms facilitates microbial decomposition of litter in forest ecosystems [44] and more microbial residues. In the topsoil, the plant residues and microbial residues regulate the SOC storage [45].

There is an advantageous growth at low density, as commonly observed in selective or future crop tree thinning systems for individual tree size growth acceleration [46]. Competition reduction enables an increase in stand density, mass production, and climate change mitigation through higher carbon storage [47–49]. Thinning reduced the tree layer C (Figure 1A) by removing the trees but promoting the tree biomass C growth by relieving the competition among trees for resources (Table 6). The tree layer biomass carbon was significantly positively related to the leaf area index (LAI) and the tree layer coverage (Figure 7). In the 41%~50% thinned plots, the tree layer biomass C was higher than in the other thinned plots, due to the highest LAI (1.68 ± 0.3) and coverage (69.19 ± 4.5). The litter C was positively related to the coverage and tree layer biomass C, with the highest litter C in the 41%~50% thinned plots as well. That may be caused by the highest diversity and richness of understory plants [50], which is induced by the opening of the forest canopy and

then causes more solar radiation to reach the forest floor, further stimulating understory vegetation diversity [18].

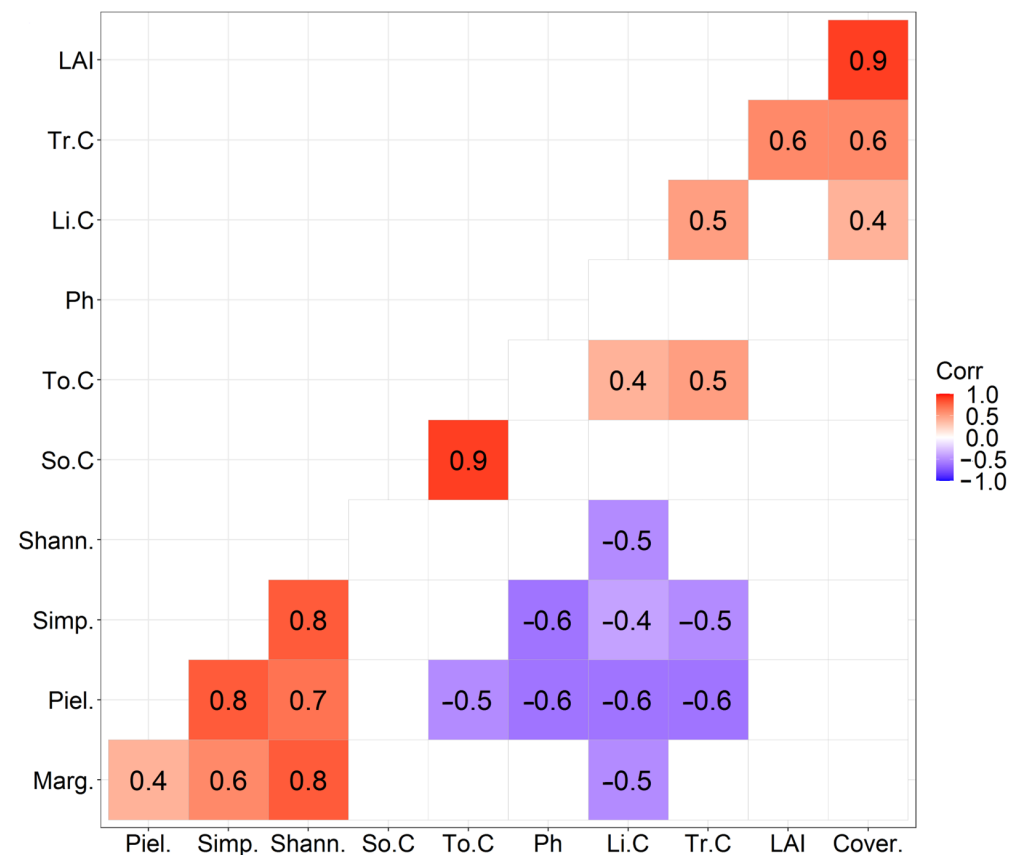


Figure 7. Correlations of all measured elements of different treatments. The blank squares are no significant coefficient. “Simp.”: Simpson index; “Marg.”: Margalef’s richness; “Shann.”: Shannon–Wiener diversity index; “Cover.”: Coverage of the tree layer; “LAI”: Leaf area index; “Li.C”: Litter layer carbon; “Ph”: pH of the soil; “Tr.C”: Tree layer carbon; “To.C”: Total carbon; “So.C”: Soil Carbon; “Piel”: Pielou’s evenness.

Table 6. The soil pH, forest coverage (%), and LAI in the mixed broadleaf plantation among different thinning intensities.

Treatment	pH	Coverage (%)	LAI
Prior	4.12 ± 0.1 b	70.61 ± 2.8 ab	1.68 ± 0.1 a
Control	3.99 ± 0.1 ab	79.19 ± 3.0 b	2.22 ± 0.2 a
20%~30%	3.84 ± 0.0 a	61.39 ± 6.4 ab	1.13 ± 0.2 a
21%~40%	3.85 ± 0.1 a	52.63 ± 10.8 a	1.13 ± 0.4 a
41%~50%	3.98 ± 0.10 ab	69.19 ± 4.5 ab	1.68 ± 0.3 a

Note: Different lowercase letters mean significant differences between prior and thinning intensities.

5. Conclusions

The results of this study indicated that to promote carbon sequestration, a mixed plantation should be composed of fast-growing and slow-growing tree species. The different intensities of thinning in a mixed broadleaved plantation improved the growth of reserved tree biomass carbon, promoted the diversity of understory vegetation, reduced the litter layer carbon, and reduced the total carbon in the short term. The 20%~30% thinning intensity promoted carbon sequestration, while the greater thinning intensity than 30% reduced the total carbon of the forest ecosystem. In our study, the promoting effect of thinning on growth was mainly caused by the change in the aboveground environment

and soil nutrient availability, and the effect of thinning varied with the intensity of thinning. According to the research, during the reforestation process, the fast-growing and slow-growing tree species should be planted with a proper ratio to enhance carbon sequestration. In the long term, in order to promote forest ecosystem carbon storage, a higher intensity of thinning should be applied.

Author Contributions: Conceptualization S.C., methodology, S.C. and N.L.; validation, N.L. and T.M.; investigation, N.L., M.F., H.H., Z.Q., and T.M.; writing—review and editing, N.L.; supervision, S.C. and T.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by Guangdong Forestry Science and Technology Innovation Project 2023KJCX001 and Natural Science Foundation of Guangdong Basic and Applied Basic Research Foundation through the research project 2021A1515011092.

Data Availability Statement: The data underlying this article will be shared upon reasonable request to the corresponding author.

Acknowledgments: The authors would like to thank all staff of the Deqing Forest Farm. We also thank the editor and reviewers for their constructive comments on the manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- Huang, Y.; Chen, Y.; Castro-Izaguirre, N.; Baruffol, M.; Brezzi, M.; Lang, A.N.; Li, Y.; Haerdtle, W.; Oheimb, G.; Yang, X.; et al. Impacts of species richness on productivity in a large-scale subtropical forest experiment. *Science* **2018**, *362*, 80–83. [CrossRef] [PubMed]
- Zhu, Z.C.; Piao, S.L.; Myneni, R.B.; Huang, M.T.; Zeng, Z.Z.; Canadell, J.G.; Ciais, P.; Sitch, S.; Friedlingstei, P.; Arneeth, A.; et al. Greening of the Earth and its drivers. *Nat. Clim. Chang.* **2016**, *6*, 791–795. [CrossRef]
- Tong, X.W.; Brandt, M.; Yue, Y.M.; Ciais, P.; Jepsen, M.R.; Penuelas, J.; Wigneron, J.-P.; Xiao, X.M.; Song, X.-P.; Horion, S.; et al. Forest management in southern China generates short term extensive carbon sequestration. *Nat. Commun.* **2020**, *11*, 129. [CrossRef] [PubMed]
- Li, X.; Wang, H.; Luan, J.W.; Chang, S.X.; Gao, B.; Wang, Y.; Liu, S.R. Functional diversity dominates positive species mixture effects on ecosystem multifunctionality in subtropical plantations. *For. Ecosyst.* **2022**, *9*, 100039. [CrossRef]
- Pretzsch, H.; Schutze, G. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. *Eur. J. For. Res.* **2016**, *135*, 1–22. [CrossRef]
- Coll, L.; Ameztegui, A.; Collet, C.; Lof, M.; Mason, B.; Pach, M.; Verheyen, K.; Abrudan, L.; Barbati, A.; Barreiro, S.; et al. Knowledge gaps about mixed forests: What do European forest managers want to know and what answers can science provide? *For. Ecol. Manag.* **2018**, *407*, 106–115. [CrossRef]
- Liu, C.L.C.; Kuchma, O.; Krutovsky, K.V. Mixed-species versus monocultures in plantation forestry: Development, benefits, ecosystem services and perspectives for the future. *Glob. Ecol. Conserv.* **2018**, *15*, 13. [CrossRef]
- Baldocchi, D.; Penuelas, J. The physics and ecology of mining carbon dioxide from the atmosphere by ecosystems. *Glob. Chang. Biol.* **2019**, *25*, 1191–1197. [CrossRef] [PubMed]
- Luyssaert, S.; Marie, G.; Valade, A.; Chen, Y.Y.; Djomo, S.N.; Ryder, J.; Otto, J.; Naudts, K.; Lansø, A.S.; Ghattas, J.; et al. Trade-offs in using European forests to meet climate objectives. *Nature* **2018**, *562*, 259. [CrossRef] [PubMed]
- Mehrabi, Z.; Ellis, E.C.; Ramankutty, N. The challenge of feeding the world while conserving half the planet. *Nat. Sustain.* **2018**, *1*, 409. [CrossRef]
- Paris Agreement, FCCC/CP/2015/10/Add.1. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015. Available online: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> (accessed on 4 November 2016).
- Aldea, J.; Bravo, F.; Bravo-Oviedo, A.; Ruiz-Peinada, R.; Rodríguez, F.; del Río, M. Thinning enhances the species-specific radial increment response to drought in Mediterranean pine-oak stands. *Agric. For. Meteorol.* **2017**, *237–238*, 371–383. [CrossRef]
- Bellassen, V.; Luyssaert, S. Carbon sequestration: Managing forests in uncertain times. *Nature* **2014**, *506*, 153–155. [CrossRef] [PubMed]
- Lavigne, M.B. Growth and net assimilation rates in thinned and unthinned stands of balsam fir. *Can. J. For. Res.* **1988**, *18*, 1205–1210. [CrossRef]
- Brix, H. Effects of thinning and nitrogen fertilization on growth of Douglasfir: Relative contribution of foliage quantity and efficiency. *Can. J. For. Res.* **1983**, *13*, 167–175. [CrossRef]
- Omari, K.; MacLean, D.A.; Lavigne, M.B.; Kershaw, J.A., Jr.; Adams, G.W. Effects of local stand structure on leaf area, growth, and growth efficiency following thinning of white spruce. *For. Ecol. Manag.* **2016**, *368*, 55–62. [CrossRef]

17. Lin, N.; Deng, N.L.; Lu, D.H.; Xie, H.Y.; Feng, M.C.; Chen, S.Q. Short-term effects of thinning on tree growth and soil nutrients in the Middle-aged Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) plantations. *Forests* **2023**, *14*, 74. [\[CrossRef\]](#)
18. Adamczyk, B.; Adamczyk, S.; Kukkola, M.; Tamminen, P.; Smolander, A. Logging residue harvest may decrease enzymatic activity of boreal forest soils. *Soil Biol. Biochem.* **2015**, *82*, 74–80. [\[CrossRef\]](#)
19. Xu, X.; Wang, X.; Hu, Y.; Wang, P.; Saeed, S.; Sun, Y. Short-term effects of thinning on the development and communities of understory vegetation of Chinese fir plantations in Southeastern China. *Peer J.* **2020**, *8*, e8536. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
20. Misson, L.; Tang, J.; Xu, M.; McKay, M.; Goldstein, A. Influence of recovery from clear-cut, climate variability, and thinning on the carbon balance of a young ponderosa pine plantation. *Agric. For. Meteorol.* **2005**, *130*, 207–222. [\[CrossRef\]](#)
21. Bai, S.H.; Dempsey, R.; Reverchon, F.; Blumfield, T.J.; Ryan, S.; Cernusak, L.A. Effects of forest thinning on soil-plant carbon and nitrogen dynamics. *Plant Soil* **2017**, *411*, 437–449. [\[CrossRef\]](#)
22. Högberg, P. Environmental science: Nitrogen impacts on forest carbon. *Nature* **2007**, *447*, 781–782. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Xu, Z.; Chen, C.; He, J.; Liu, J. Trends and challenges in soil research 2009: Linking global climate change to local long-term forest productivity. *J. Soils Sediments* **2009**, *9*, 83–88. [\[CrossRef\]](#)
24. Huang, X.M.; You, Y.M.; Lan, J.C.; Liu, S.R.; Jia, H.Y.; Zhu, H.G.; Wen, Y.G. The effects of carbon storage and its allocation in *Cunninghamia lanceolata* plantations with different thinning intensities. *Acta Ecol. Sin.* **2016**, *36*, 156–163.
25. Yin, B.; Dong, P.F.; Dang, K.L. Effects of thinning on carbon density of *Betula albo-sinensis* ecosystem. *J. Northwest Univ.* **2019**, *34*, 105–112.
26. Ming, A.G.; Zhang, Z.J.; Chen, H.H.; Zhang, X.Q.; Tao, L.; Su, Y. Effects of thinning on the biomass and carbon storage in *Pinus massoniana* plantation. *Sci. Silvae Sin.* **2013**, *49*, 1–6.
27. Meiwe, K.J.; Khanna, P.K.; Ulrich, B. Parameters for describing soil acidification and their relevance to stability of forest ecosystems. *For. Ecol. Manag.* **1986**, *15*, 161–179. [\[CrossRef\]](#)
28. Cheng, X.Q.; Han, H.R.; Kang, F.F.; Liu, K.; Song, Y.L. Short-term effects of thinning on soil respiration in a pine (*Pinus tabulaeformis*) plantation. *Biol. Fertil. Soils* **2015**, *50*, 357–367. [\[CrossRef\]](#)
29. Frazer, G.W.; Canham, C.D.; Lertzman, K.P. *Gap Light Analyzer (GLA): Imaging Software to Extract Canopy Structure and Gap Light Transmission Indices from True-Colour Fisheye Photographs, Users Manual and Program Documentation*; Simon Fraser University: Burnaby, BC, Canada; Institute of Ecosystem Studies: Millbrook, NY, USA, 1999.
30. He, X.; Lei, Y.C.; Xue, C.Q.; Xu, Q.H.; Li, H.K.; Cao, L. Carbon density uncertainty estimates for *Schima superba* in Guangdong Province. *Sci. Silvae Sin.* **2019**, *55*, 163–171. (In Chinese)
31. Qin, L.; He, Y.J.; Li, Z.Y.; Shao, M.X.; Liang, X.Y.; Tan, L. Allocation pattern of biomass and productivity for three plantations of *Catanopsis hystrix*, *Pinus massoniana* and their mixture in South subtropical area of Guangxi, China. *Sci. Silvae Sin.* **2011**, *47*, 17–21. (In Chinese)
32. Zhao, Z. Biomass and Carbon Storage of *Cunninghamia lanceolata* and *Castanopsis hystrix* Plantations in South Subtropical China. Master's Thesis, Guangxi University, Nanning, China, 2017. (In Chinese).
33. Qi, Z.Y.; Ma, J.X.; Li, S.M. Studies on the biomass and productivity of artificial *Michelia macclurei* Var. *sublancea* forest. *J. Ecol.* **1985**, *2*, 17–19. (In Chinese)
34. Liu, L.Y.; Zheng, X.Y.; Xue, L. Distribution pattern of nutrient accumulation in *Michelia macclurei* plantation. *J. Northeast. For. Univ.* **2019**, *47*, 25–29. (In Chinese)
35. Pan, Y.D.; Birdsey, R.A.; Fang, J.Y.; Houghton, R.; Kauppi, P.; Kurz, W.A.; Phillips, O.L.; Shvidenko, A.; Lewis, S.L.; Canadell, J.G.; et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* **2011**, *333*, 988–993. [\[CrossRef\]](#)
36. Knott, J.; Domke, G.; Woodall, C.; Walters, B.; Jenkins, M.; Fei, S.L. Shifting forests and carbon: Linking community composition and aboveground carbon attributes. *Ecosystems* **2023**, *26*, 412–427. [\[CrossRef\]](#)
37. Zheng, L.; Cai, D.X.; Lu, L.H.; Ming, A.G.; Li, Z.Y. Carbon pool of different species plantation ecosystems in lower subtropical area of China. *J. Cent. South Univ. For. Technol.* **2014**, *34*, 110–116. (In Chinese)
38. Canadell, J.G.; Raupach, M.R. Managing forests for climate change mitigation. *Science* **2008**, *320*, 1456–1457. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
39. Georgiou, K.; Jackson, R.B.; Vinduškova, O.; Abramoff, R.Z.; Ahlström, A.; Feng, W.T.; Harden, J.W.; Pellegrini, A.F.A.; Polley, H.W.; Soong, J.L.; et al. Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon. *Nat. Commun.* **2022**, *13*, 1797. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
40. Lal, R.; Monger, C.; Nave, L.; Smith, P. The role of soil in regulation of climate. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **2021**, *376*, 20210084. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
41. Hulshof, C.M.; Spasojevic, M.J. The edaphic control of plant diversity. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **2019**, *29*, 1634–1650. [\[CrossRef\]](#)
42. Rajakaruna, N.; Whitton, J. Trends in the evolution of edaphic specialists with an example of parallel evolution in the *Lasthenia californica* complex. In *Plant Adaptation Molecular Genetics and Ecology*; Cronk, Q.C.B., Whitton, J., Ree, R.H., Taylor, I.E.P., Eds.; NRC Research Press: Ottawa, ON, Canada, 2004; pp. 103–110.
43. Zverev, A.; Kichko, A.; Shapkin, V.; Pinaev, A.; Provorov, N.; Andronov, E. Does plant diversity determine the diversity of the rhizosphere microbial community? *bioRxiv* **2021**. [\[CrossRef\]](#)
44. Mori, A.S.; Isbell, F.; Seidl, R. β -diversity, community assembly, and ecosystem functioning. *Trends Ecol. Evol.* **2018**, *33*, 549–564. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
45. Jia, Y.F.; Zhai, G.Q.; Zhu, S.S.; Liu, X.J.; Schmid, B.; Wang, Z.H.; Ma, K.P.; Feng, X.J. Plant and microbial pathways driving plant diversity effects on soil carbon accumulation in subtropical forest. *Soil Biol. Biochem.* **2021**, *161*, 108375. [\[CrossRef\]](#)

46. Schober, R. Von der Niederdurchforstung zu Auslesedurchforstungen imHerrschenden. *AFJZ* **1988**, *159*, 208–213.
47. Zeller, L.; Caicoya, A.T.; Pretzsch, H. The effect of silvicultural management on the trade-off between stand structural heterogeneity and productivity over time. *Eur. J. For. Res.* **2021**, *140*, 615–634. [[CrossRef](#)]
48. de Prado, D.R.; San Martín, R.; Bravo, F.; de Aza, C.H. Potential climatic influence on maximum stand carrying capacity for 15 Mediterranean coniferous and broadleaf species. *For. Ecol. Manag.* **2020**, *460*, 117824. [[CrossRef](#)]
49. Pretzsch, H. Facilitation and competition reduction in tree species mixtures in Central Europe: Consequences for growth modeling and forest management. *Ecol. Model.* **2022**, *464*, 109812. [[CrossRef](#)]
50. Huang, K.; Xia, J.Y.; Wang, Y.P.; Ahlström, A.; Chen, J.Q.; Cook, R.B.; Cui, E.Q.; Fang, Y.Y.; Fisher, J.B.; Huntzinger, D.N.; et al. Enhanced peak growth of global vegetation and its key mechanisms. *Nat. Ecol. Evol.* **2018**, *2*, 1897. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

3. 以通讯作者发表本专业论文情况

3.1 不同密度杉木人工林林分生长和林分结构差异研究

不同密度杉木人工林林分生长和林分结构差异研究

卢德浩,陈世清,谢惠燕,邓宁枕,冯铭淳,林娜*

(华南农业大学 林学与风景园林学院,广东 广州 510642)

摘要:探究不同密度杉木人工林林分结构与生长的差异,为杉木人工林的可持续经营提供科学依据。以清远市 11 年生 3 个不同密度(2 100、3 100、4 100 株 $\cdot$ hm $^{-2}$)杉木人工纯林为研究对象,每个密度设置 6 个固定标准样地(20 m $\times$ 20 m),选取大小比数、角尺度、直径结构、树高结构以及树冠结构 5 个参数探究林分结构特征,选取林分平均胸径、平均树高、蓄积和林木单株材积等指标探究林分生长特征,通过方差分析探讨林分密度对杉木人工林林分结构和生长的影响。结果表明,1)林分生长指数受林分密度影响差异显著($P<0.05$),4 100 株 $\cdot$ hm $^{-2}$ 杉木人工林的平均胸径、树高、单株材积显著低于其他 2 种密度林分,3 100 株 $\cdot$ hm $^{-2}$ 杉木人工林的蓄积显著高于其他 2 个密度林分。2)林分直径结构和树高结构在较高的林分密度下,小径级的林木较多,其分布曲线呈现为截尾正态分布。3)3 100 株 $\cdot$ hm $^{-2}$ 的平均冠幅显著大于其他 2 种林分,4 100 株 $\cdot$ hm $^{-2}$ 的平均树冠表面积以及树冠体积显著小于其他 2 种林分,3 种不同密度之间的林分树冠投影比和冠长均呈现显著差异性($P<0.05$),不同密度杉木林的活冠比没有显著性差异($P>0.05$)。4)林分密度对林分角尺度的影响显著($P<0.05$),对林分大小比数的影响不显著($P>0.05$)。综合林木生长和林分结构等 2 个方面,林分密度为 3 100 株 $\cdot$ hm $^{-2}$ 的杉木人工林总体生长表现最好,具有培育速生、优质大径材的潜力,有利于形成稳定、可持续的人工林。

关键词:杉木人工林;林分密度;林分结构;林分生长

中图分类号:S791.27

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2023)06-0162-09

Differences in Stand Growth and Structure of *Cunninghamia lanceolata* Plantations With Different Densities

LU De-hao, CHEN Shi-qing, XIE Hui-yan, DENG Ning-long, FENG Ming-chun, LIN Na*

(South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: The objectives of this study were to explore the differences in stand structure and growth of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations with different densities, so as to provide scientific basis for sustainable management of Chinese fir plantation. Three 11-year-old pure Chinese fir plantations with different densities (2 100, 3 100, 4 100 plants $\cdot$ hm $^{-2}$) in Qingyuan City were selected as the research objects, and six fixed standard plots (20 m $\times$ 20 m) were set for each density. Five parameters, including neighborhood comparison, angle index, diameter structure, tree height structure and crown structure were selected to investigate the characteristics of stand structure. The average DBH, average tree height, stock and volume per tree were selected to explore the growth characteristics of the stand, and the influences of stand density on the structure and growth were analyzed by ANOVA. The results showed that 1) the growth index of each stand was significantly affected by stand density ($P<0.05$). The average DBH, tree height and volume of the stands with density 4 100 plants $\cdot$ hm $^{-2}$ were significantly lower than those of the stands

收稿日期:2022-05-29 修回日期:2022-10-31

基金项目:广东省基础与应用基础研究基金自然科学基金项目(2021A1515011092)。

第一作者:卢德浩。研究方向:森林可持续经营。E-mail:875363261@qq.com

*通信作者:林娜,博士,硕士生导师。研究方向:森林经理。E-mail:nalin@scau.edu.cn

with density 2 100 and 3 100 plants $\cdot \text{hm}^{-2}$. The stock of the stands with density 3 100 plants $\cdot \text{hm}^{-2}$ was significantly higher than those of the other two density stands. 2) For the stand diameter structure and tree height structure, more small diameter trees were found in the stands with higher stand density, and the distribution curve showed a truncated normal distribution. 3) The average crown breadth of the stands with the density 3 100 plants $\cdot \text{hm}^{-2}$ was significantly larger than those of the other two density stands, and the average crown surface area and crown volume of the stands with density 4 100 plants $\cdot \text{hm}^{-2}$ were significantly smaller than those of the other two density stands. The canopy projection ratio and crown length of the three densities were significantly different ($P < 0.05$), but there was no significant difference in the live crown ratio between different densities ($P > 0.05$). 4) Stand density had a significant effect on stand angle index ($P < 0.05$), but had no significant effect on stand neighborhood comparison ($P > 0.05$). Considering the two aspects of tree growth and stand structure, the Chinese fir plantation with a stand density of 3 100 plants $\cdot \text{hm}^{-2}$ demonstrates the best overall growth performance, and has the potential to cultivate fast-growing and high-quality large-diameter trees, which is conducive to the formation of stable and sustainable plantations.

Key words: Chinese fir plantation; stand density; stand structure; stand growth

林分密度是森林经营过程中最直接的调控因子^[1-2],在促进林分的生长发育及提高林地的生产力水平中起到重要的作用^[3]。林分密度的变化会改变林木个体的生长空间环境与林分结构,影响林木早期生长、个体竞争与分化以及林分对光照、土壤养分和水分的利用能力^[4]。目前,国内外学者在研究林分密度对不同树种、林分结构、林分结构的影响主要集中在生长特征^[5-6]、木材性质^[7-8]、树冠结构^[9-10]、空间结构^[11-12]、胸径结构和树高结构^[13-14]、土壤理化性质^[15-16]等方面。研究结论一般为林分密度越大,对光照和土壤的竞争强度越大,抑制林木树冠延伸,从而加剧林分胸径和树高的分化程度,改变林分的生长环境及林木的空间分布,而合理的林分密度可以促进林分生长和优化林分结构。因此,结合林分的生长性状与结构表现,依照经营目标确定合理林分密度十分必要^[17]。

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国南方造林面积最大的用材树种之一,不仅在木材生产中发挥着巨大的经济效益,还在生态效益等方面起着重要作用^[18]。但由于密度过大致使许多杉木林林分结构不合理,导致生长发育受阻、生产力下降^[19],对杉木人工林进行以密度调控为主的合理抚育经营势在必行。因此,本试验在清远市选取 2 100、3 100、4 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的 11 年生杉木人工林作为研究对象,对 3 种不同密度的杉木人工林林分生长和林分结构的差异性进行分析,以期对杉木人工林的可持续经营提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广东省杉木中心产区之一的清远

市,分别为清远市金鸡林场、清远市英德林场和清远市小龙林场。3 个林场地处广东省西北部(112°13'01"—113°19'01"E,24°02'16"—24°54'16"N),均属亚热带气候,夏季盛行偏南的暖湿气流,冬季盛行干冷的偏北风,年均气温 19.5℃,年降水量约为 1 900 mm;土壤多为砂页岩发育而成的山地黄壤和红壤,质地以沙壤为主,土层厚度 40 cm 左右,腐殖质层 1.5~5 cm,石砾含量 20%左右,呈酸性。试验区内森林类型多为亚热带常绿阔叶林、针阔混交林等,森林资源丰富。所调查林分为 2010 年初定植的杉木人工纯林,伴生树种主要有马尾松(*Pinus massoniana*)、白花泡桐(*Paulownia fortunei*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、华润楠(*Machilus chinensis*)、鼠刺(*Itea chinensis*)等;灌木层主要有鲫鱼胆(*Maesa perlaris*)、五指毛桃(*Ficus hirta*)、鸭脚木(*Schefflera octophylla*)、箬叶竹(*Indocalamus longiauritus*)和白花悬钩子(*Rubus leucanthus*)等;草本层以金钗凤尾蕨(*Pteris fauriei*)、乌毛蕨(*Blechnum orientale*)、半边旗(*Pteris semipinnata*)和兖州卷柏(*Selaginella involvens*)为主。

1.2 样地设置与野外调查

于 2020 年在清远市 3 个林场 11 年生杉木人工林中采用典型抽样,选取立地条件相似,林分密度分别为 2 100、3 100、4 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的小班,各设置 6 个 20 m $\times$ 20 m 的样地,共 18 个样地(表 1)。对样地中胸径 > 5 cm 的林木用皮尺测定相对位置和冠幅;用胸径尺测量胸径;测竿法测定树高和枝下高;用佳能相机(Canon 50D,日本)鱼镜头(Canon EF 8~15 mm f,日本)在每个样地随机选取 3 个点(间隔 > 5 m)距地面 50 cm 处拍照,利用 Gap Light

Analyzer (GLA) Version 2.0 (Simon Fraser University Forest Ecology and Management Labo, 加

拿大)分析照片得到林分郁闭度;并在每个密度的林分中各选取 3 株平均木做树干解析,共 9 株解析木。

表 1 样地概况

Table 1 Overview of the sample plots

林场	样地 编号	坐标	林分密度/ (株·hm ⁻²)	郁闭度	坡位	海拔	坡度	地貌类型	土壤类型	林下植被 Shannon-wiener 指数
金鸡林场	1	24°10′11″N 112°57′31″E	4 100	0.8	中	493	斜坡	山地	黄棕壤	1.898b
	2	24°10′10″N 112°57′31″E		0.8	上	504	陡坡	山地	黄棕壤	
	3	24°10′12″N 112°57′28″E		0.8	中	510	斜坡	山地	黄棕壤	
	4	24°10′11″N 112°57′27″E		0.9	中	527	斜坡	山地	黄棕壤	
	5	24°10′12″N 112°57′33″E		0.8	中	470	急坡	山地	黄棕壤	
	6	24°10′14″N 112°57′29″E		0.9	中	502	陡坡	山地	黄棕壤	
英德林场	7	24°02′26″N 113°18′57″E	3 100	0.7	中	64	陡坡	山地	黄壤	2.417a
	8	24°02′23″N 113°18′59″E		0.8	中	80	陡坡	山地	黄壤	
	9	24°02′20″N 113°19′01″E		0.8	上	129	陡坡	山地	黄壤	
	10	24°02′16″N 113°18′59″E		0.9	中	138	斜坡	山地	黄壤	
	11	24°02′17″N 113°18′58″E		0.9	上	142	斜坡	山地	黄壤	
	12	24°02′17″N 113°18′57″E		0.8	中	145	陡坡	山地	黄壤	
小龙林场	13	24°53′49″N 112°13′36″E	2 100	0.8	中	351	陡坡	山地	黄壤	2.011ab
	14	24°53′51″N 112°13′35″E		0.8	中	354	陡坡	山地	黄壤	
	15	24°53′50″N 112°13′34″E		0.8	中	348	陡坡	山地	黄壤	
	16	24°54′16″N 112°13′01″E		0.8	中	380	陡坡	山地	黄壤	
	17	24°54′17″N 112°13′02″E		0.9	中	374	陡坡	山地	黄壤	
	18	24°54′17″N 112°13′02″E		0.9	中	380	斜坡	山地	黄壤	

注:不同小写字母表示不同密度的林下植被 Shannon-wiener 指数差异显著($P<0.05$)。

1.3 林分生长指标计算

林分生长量可以反映一段时间内森林能够产出的木材量以及碳储量,是衡量森林生长数量和质量的重要指标之一,也是评估森林生产力、生态功能和衡量林分生长健康情况的重要一环^[20]。本研究用林分平均直径、树高、单株材积和蓄积生长量等来表示林分生长量。

林分平均胸径是反映林分中林木粗度的基本指标^[21],计算如式(1)所示

$$D_g = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2} \quad (1)$$

式中: D_g 为林分平均胸径; d_i 为第 i 株林木的胸径; n 为林木总株数。

林分平均高是反映林分高度平均水平的测树指标^[22],其计算如式(2)所示

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^k h_i G_i}{\sum_{i=1}^k G_i} \quad (2)$$

式中: $\bar{H}$ 为林分平均高; h_i 为林分中第 i 径阶林木的算术平均高; G_i 为林分中第 i 径阶树木的胸高断面面积; k 为林分中径阶个数。

林分平均单株材积和蓄积生长量反映了森林资

源质量以及森林生产力大小,是判断森林经营水平的重要指标^[23]。林木的单株材积采用基于平均标准木的中央断面区分求积法推算,每个密度的杉木人工林取 3 株平均木的材积均值作为该密度林分的平均单株材积,解析木具体信息如表 2 所示。

表 2 9 株杉木解析木的基本信息

Table 2 Information of 9 analytic trees of Chinese fir

密度/ (株·hm ⁻²)	标准木 编号	树高/ m	胸径/ cm	枝下高/ m	材积/ m ³
4 100	1	7.2	8.1	3.9	0.017 1
	2	7.5	8.6	2.7	0.019 4
	3	8.2	8.3	3.4	0.026 9
3 100	4	10.8	11.7	5	0.041 1
	5	11.1	11.6	4.9	0.054 8
	6	10.9	11.8	4.2	0.050 8
2 100	7	10.4	11.8	2.3	0.050 9
	8	10.1	12.7	2.4	0.056 4
	9	9.7	12.1	5.2	0.047 9

蓄积量的计算则是根据平均单株材积乘上样地内的林木株数得出样地的蓄积,再根据样地面积换算得出每公顷蓄积。具体公式见式(3)、式(4)

$$V = \sum_{i=1}^n g_{i\frac{1}{2}} l + \frac{1}{3} g_n l_1 \quad (3)$$

$$M = N \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (4)$$

式中: n 为标准木株数; M 为林分蓄积量; N 为样地内林木总株数; V_i 为第 i 株标准木的材积; $g_{i\frac{1}{2}}$ 为第 i 区分段中央断面积; l 为区分段长度; g_n 为梢头木底断面积; l_1 为梢头长度; n 为区分段个数。

1.4 林分结构参数计算

1.4.1 林分直径结构和树高结构指标计算 林分结构是影响森林生态系统演替的重要因子,也是评价森林生态效益的重要因素之一,合理的林分结构有利于发挥森林生态系统的各项功能^[24]。其中,林分直径结构表示在林分内各种大小直径林木按径阶的分配状态^[25];树高结构与材积近似为一次关系,在重要性上仅次于林分直径结构,表示林分内不同树高大小的分配状态^[26]。本研究林分直径结构和树高结构的计算方法^[24-25]如下:胸径按 2 cm 径阶,树高按 2 m 组距将每一样地的直径、树高序列划分等级,分别统计各个等级的林木出现的频数,将频数除以总样木数转换成频率,得出林分径阶和树高级的频率分布,并作分布直方图表示。

1.4.2 树冠结构指标计算 树冠是反映树木长期生长、竞争水平及健康状态的重要指标之一,其大小直接影响树木的生长和树干形状^[27],其结构决定了树木生活力、生产力及生态效益的发挥^[28]。本研究采用平均冠幅(C_W)、活冠比(C_R)、冠长(C_L)、树冠投影比(C_{PR})、树冠体积(C_{SA})、树冠表面积(C_V)来表示树冠结构。其中平均冠幅、活冠比、冠长等表示在树冠水平或垂直平面的空间大小;树冠体积、表面积、树冠投影比等表示树冠的三维空间尺度^[29]。各指标的计算^[30]分别如式(5)~式(10)所示

$$C_W = (C_{Wew} + C_{Wsn}) / 2 \quad (5)$$

$$C_R = C_L / H \quad (6)$$

$$C_L = H - H_{CB} \quad (7)$$

$$C_{PR} = C_W / D_{BH} \quad (8)$$

$$C_{SA} = \pi \times C_W / 4 \times \sqrt{C_L^2 + C_W^2} / 4 \quad (9)$$

$$C_V = \pi \times C_{Wew} \times C_{Wsn} \times C_L / 12 \quad (10)$$

式中: C_{Wew} 、 C_{Wsn} 分别为东西向和南北向冠幅, H 为树高, D_{BH} 为胸径, H_{CB} 为枝下高。

1.4.3 林分空间结构参数计算 森林空间结构决定了林木之间的竞争势和空间生态位,对林分的稳定性、发展的可能性和经营空间的大小有着重要影响。在探究林分空间结构时,多数研究以树种混交程度、林分水平分布特征以及林木个体之间的竞争关系为主^[12]。但由于本研究的对象为杉木人工纯林,不存在树种之间混交现象,因此仅选取大小比数、角尺度 2 个指标来描述林木的水平分布格局及竞争程度。

大小比数是评估林木在竞争单元中优势度的指

标^[31],计算公式如下

$$U_i = 1/n \sum_{j=1}^n K_{ij} \quad (11)$$

$$\bar{U} = 1/N \sum_{i=1}^N U_i \quad (12)$$

式中: U_i 为对象木 i 的大小比数; n 为相邻木的株数; K_{ij} 为离散变量,表示对象木 i 的胸径小于相邻木 j 时, $K_{ij} = 1$,否则 $K_{ij} = 0$; $\bar{U}$ 为林分的平均大小比数; N 为林木的总株数。

角尺度是描述林木水平空间分布格局的重要参数^[32],计算公式如下

$$W_i = 1/n \sum_{j=1}^4 Z_{ij} \quad (13)$$

$$\bar{W} = 1/N \sum_{i=1}^N W_i \quad (14)$$

式中: W_i 是对象木 i 的角尺度; Z_{ij} 为离散型的变量,表示为当标准角 α_0 大于第 j 个角时, $Z_{ij} = 1$,否则 $Z_{ij} = 0$; $\bar{W}$ 为林分平均角尺度。

1.5 数据处理与分析

数据的整理与计算在 Excel 2019 中进行,空间结构指数的计算在 Winkelmass 1.0(CAF,2008)中进行;用 Prism 8.0 画图软件做直径结构和树高结构的分布直方图及曲线图;用 SPSS 22.0 对林分生长指标和林分树冠结构、空间结构指数进行正态分布和方差齐性检验,经检验后数据满足方差分析的要求,采用单因素方差分析(ANOVA)和邓肯(Duncan)多重比较进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同密度杉木人工林林分生长差异分析

4 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的杉木人工林的平均胸径、平均树高和单株材积显著低于 2 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 和 3 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的林分($P < 0.05$),密度为 2 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的林分的平均胸径、平均树高和单株材积最高(13.3 cm、10.4 m、0.0517 m^3),3 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 林分的蓄积显著高于其他 2 种密度林分($P < 0.05$)(表 3)。

2.2 不同密度杉木人工林林分结构差异分析

2.2.1 不同密度杉木人工林直径结构和树高结构分析 2 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的径阶株数主要集中在 6~18 cm,其中在 14 cm 径阶的株数占比最高,4 cm 径阶的占比最低,呈偏右正态分布;3 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的径阶株数主要集中在 12 cm 径阶,呈近似正态分布;4 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的径阶株数主要集中在 4~16 cm,其中 10 cm 径阶占比最高,18 cm 径阶的占比最低,呈截尾正态分布(图 1a)。

3 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 和 2 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的杉木人工林树高分布集中在 10 m,呈近似正态分布;4 100 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的杉木人工林树高分布多为 6 m,呈截尾

正态分布。3 种密度杉木林树高分布曲线的总体峰度均偏大,树高分布曲线较为陡峭(图 1b)。

2.2.2 不同密度杉木人工林树冠结构分析 不同密度下杉木人工林的平均冠幅、树冠投影比、冠长、树冠表面积、树冠体积均呈现出差异显著性(表 4)。

表 3 杉木人工林林分生长各指标

Table 3 Growth indices of Chinese fir plantation

密度/(株·hm ⁻²)	平均胸径/cm	平均树高/m	单株材积/m ³	蓄积/(m ³ ·hm ⁻²)
2 100	13.3±0.4a	10.4±0.3a	0.0517±0.0020a	106.48±7.19b
3 100	12.1±0.3a	10.1±0.4a	0.0489±0.0033a	148.53±7.23a
4 100	9.4±0.4b	7.3±0.3b	0.0211±0.0024b	91.49±6.34b

注:不同小写字母表示不同密度林分生长指标差异显著($P<0.05$)。

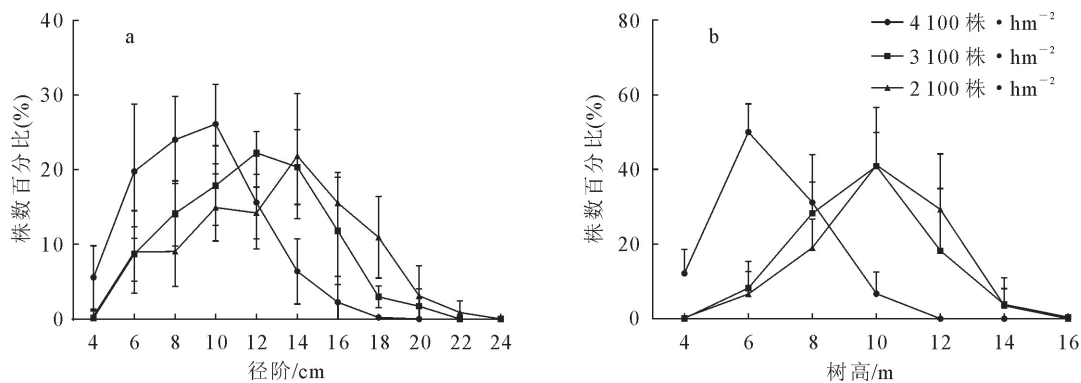


图 1 不同密度杉木人工林林木直径结构和树高结构

Fig. 1 Diameter structure and height structure of Chinese fir with different densities

表 4 杉木人工林树冠结构

Table 4 Canopy structure of Chinese fir plantation

密度/(株·hm ⁻²)	平均冠幅/m	活冠比	冠长/m	树冠投影比	树冠表面积/m ²	树冠体积/m ³
2 100	2.10±0.05ab	0.51±0.30a	5.22±0.02a	0.17±0.01c	18.80±1.42a	7.37±0.77a
3 100	2.22±0.09a	0.42±0.14a	4.14±0.03b	0.20±0.01b	15.80±0.70a	6.52±0.49a
4 100	1.89±0.04b	0.44±0.04a	3.07±0.02c	0.22±0.01a	10.29±0.81b	3.43±0.34b

注:不同小写字母表示不同密度林分之间树冠结构因子差异显著($P<0.05$)。

2.2.3 不同密度杉木人工林空间结构分析 3 种密度杉木人工林角尺度一元分布特征整体服从正态分布(图 2a),从各个密度在 5 种分布状态($W_i=0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$)的频率分布可以看出, $W_i=0$ 和 $W_i=1$ 的分布概率值都 $<10\%$,这表明在这 3 个密度中,处于绝对均匀和绝对不均匀的结构单元较少。角尺度在 0.25、0.5 和 0.75 的取值的分布较多,其中 3 个密度杉木人工林的角尺度取值为 0.5 的概率在所有分布状态中均占比最高,表明大多数的结构单元都处于随机分布状态。不同密度杉木林林分平均胸径大小比数的一元分布频率在各个等级中较为平均(图 2b),均趋近于 20%,其中密度为 2 100 株·hm⁻² 的大小比数在 0.25 的取值最大,密度为 3 100 株·hm⁻² 在 0.5 的取值最大,密度为 4 100 株·hm⁻² 在 0.00 的取值最大,占比分别为 21.53%、21.53%、21.24%。

其中 3 100 株·hm⁻² 的平均冠幅显著大于其他 2 种密度林分,3 种密度的树冠投影比和冠长均呈现显著差异($P<0.05$),4 100 株·hm⁻² 的树冠表面积和树冠体积显著小于其他 2 种密度($P<0.05$),不同密度杉木林的活冠比没有显著性差异。

不同密度下的杉木人工林的角尺度差异显著(表 5),其中 2 100 株·hm⁻² 的林分角尺度显著大于 3 100 株·hm⁻² 的林分角尺度($P<0.05$),4 100 株·hm⁻² 的林分角尺度与其他 2 种密度的林分无显著差异($P>0.05$)。3 100 株·hm⁻² 的杉木人工林角尺度为 0.501 2,说明该密度杉木人工林整体分布格局属随机分布,2 100 株·hm⁻² 和 4 100 株·hm⁻² 的角尺度在 0.52~0.55,属于聚集分布。不同密度杉木人工林的胸径大小比数无显著差异,大小排序为密度 3 100 株·hm⁻² (0.493 1) $>$ 4 100 株·hm⁻² (0.489 6) $>$ 2 100 株·hm⁻² (0.488 6)。

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究通过对清远市 3 种密度 11 a 杉木人工林林分生长特征和林分结构的差异性进行探讨,得

出:1)不同密度杉木人工林林分平均胸径、树高、单株材积、平均冠幅、树冠表面积和树冠体积的差异显著,其中低密度杉木人工林的生长状况和树冠结构更好,说明减小密度可以降低树冠间的竞争强度,促进树冠向外伸展,有利于形成饱满树冠以利用更多的空间资源,促进林分的生长发育。2)杉木人工林直径结构和树高结构在较大的林分密度下,小径级的林木居多,其分布曲线呈现为截尾正态分布;较小密度下则以大、中径级的林木为主。因此,若经营目

的为培育大、中径材林,造林密度要适当低一些,若培育短周期工业用材林则密度可相对较高。3)林分密度对林分平均角尺度的影响显著,较低密度的杉木人工林整体分布格局属随机分布,较高密度的林分属于轻度聚集分布。随着林分年龄的增长、林木内部微环境的变化,要及时对林分进行密度调整,释放生长空间,促进林分胸径生长和林下植被发育,有利于提升人工林林分稳定性。

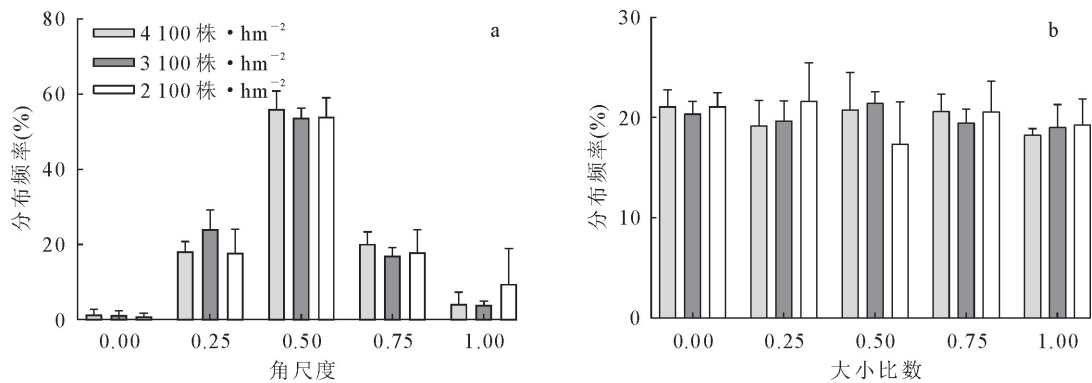


图 2 不同密度杉木人工林平均大小比数和角尺度分布

Fig. 2 Average neighborhood comparison and uniform angle index of Chinese fir plantations with different densities

表 5 不同密度杉木人工林林分空间结构指数差异

Table 5 Differences in spatial structure index of Chinese fir plantations with different densities

密度/(株·hm ⁻²)	角尺度	大小比数
2 100	0.544 0±0.020 5a	0.488 6±0.005 1a
3 100	0.501 2±0.007 2b	0.493 1±0.005 0a
4 100	0.525 8±0.000 0ab	0.489 6±0.003 7a

注:不同小写字母表示不同密度林分之间空间结构指数差异显著($P<0.05$)。

3.2 讨论

密度影响杉木人工林的林分平均胸径、树高、单株材积和平均冠幅、树冠表面积、树冠体积(表 3 和表 4),表明杉木人工林各生长指标间存在密度效应。研究结果显示,4 100 株·hm⁻² 的杉木人工林林分平均胸径、单株材积、平均冠幅、树冠表面积和树冠体积显著低于其他 2 种密度($P<0.05$)。其原因在于在密度较小的林分,林木的枝干能够获得充足的伸展空间和较好的光照条件,故可以促进胸径和树冠的生长;而在密度较大的林分中林木对土壤养分、水分以及光照等营养成分的激烈竞争,使得林木个体的生长相对减弱,这与密度竞争效应的一般规律相似^[33]。密度对单株材积的影响和对胸径的影响可认为是一致的,林分密度对林木单株材积生长的影响主要取决于其胸径^[33]。而林分平均树高对林分密度的响应机制比较复杂,以往的研究结论也并不一致。一些学者认为,林分密度对树高生长

影响较小,和林分的其他生长指标相比可认为是不受林分密度的影响^[34-35];而有些学者则认为林分平均树高随着密度的增大呈现降低的趋势^[2,36]。本研究中 4 100 株·hm⁻² 的杉木人工林林分平均树高显著低于其他 2 种密度($P<0.05$),与张健强等^[37]对华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)的研究结果一致。这可能是由于密度过大的林分树冠发育程度较低(4 100 株·hm⁻² 的林分平均冠幅为 1.89 m、树冠表面积为 10.29 m²、树冠体积为 3.43 m³,在 3 种密度林分中均最小),树木对光的利用和捕获潜力弱,导致树高增长缓慢^[38]。

林分蓄积量主要由树高、胸径和林木株数共同决定。密度的降低可以促进林木个体的生长,提高单株材积,但林分活立木株数也会减少。密度的改变导致林分蓄积的变化量取决于活立木株数损失蓄积量与单位面积蓄积量增量的相对差值^[39]。在本研究中,3 100 株·hm⁻² 的林分蓄积最大(148.53 m³/hm²),且显著大于 2 100 株·hm⁻² (106.48 m³/hm²)和 4 100 株·hm⁻² (91.49 m³/hm²)($P<0.05$),这与田新辉^[40]在 107 杨(*Populus × euramericana* ‘Neva’)的研究结论一致。此外,4 100 株·hm⁻² 的杉木人工林的直径和树高结构呈现截尾正态分布(图 1),这表明密度大的林分中,林木个体对营养空间的竞争激烈,大多数林木无法得到充分生长,导致小径级林木较多,符合人工林林分结构

分布规律,这也与以往的研究结论一致^[30,37]。

林分密度对研究区杉木人工林林分空间结构有着重要的影响,其中林分平均角尺度在 3 个密度下呈一定的差异性(表 5)。3 100 株·hm⁻² 林分的平均角尺度为 0.501 2,从均值上看该密度下的杉木林整体分布格局属随机分布,另外 2 种密度杉木林的平均角尺度均在 0.52~0.55,属于轻度聚集分布,三者间存在显著性差异。而有学者认为,在 2 500~5 200 株·hm⁻² 的密度范围内,油松飞播林的林分平均角尺度随着林分密度增大逐渐由随机分布向均匀分布发展^[41];也有学者认为,在 800~3 000 株·hm⁻² 的范围内,云杉人工林林分平均角尺度随着密度的增大而减小^[42];还有学者认为,在 1 600~3 100 株·hm⁻² 的区间内,杉木人工林林分平均角尺度先随着密度的增大而增大,但在 2 400 株·hm⁻² 时出现拐点,随着密度的增大林分平均角尺度开始减小^[13]。导致这些结论不同的原因一方面可能是不同的立地条件或不同树种对林分密度的适应性相异;另一方面可能是在不同密度区间范围内,林分平均角尺度表现的差异性不同,密度较大的人工林经过二三十年的生长、自然稀疏和经营,其水平格局大部分仍处于均匀的状态^[43]。因此,在对人工林结构进行优化经营时应优先将角尺度小的林木作为间伐对象,避免林木单侧的聚集分布,促使林分向天然林的结构特征演变^[44]。

参考文献:

- [1] 韩金,王新杰,张鹏,等.不同立地条件下杉木径生长过程研究[J].山东农业大学学报:自然科学版,2019,50(5):768-773.
HAN J, WANG X J, ZHANG P, et al. Study on the growth process of *Cunninghamia lanceolata* diameter under different site conditions[J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition, 2019, 50(5): 768-773. (in Chinese)
- [2] 童书振,盛炜彤,张建国.杉木林分密度效应研究[J].林业科学研究,2002,15(1):66-75.
TONG S Z, SHENG W T, ZANG J G. Studies on the density effects of Chinese fir stands[J]. Forestry Research, 2002, 15(1): 66-75. (in Chinese)
- [3] 吴海平,孙清琳,张彦君,等.不同密度油松人工林群落特征与物种多样性耦合关系[J].西北林学院学报,2022,37(5):1-8.
WU H P, SUN Q L, ZHANG Y J, et al. Coupling relationship between community characteristics and species diversity of *Pinus tabulaeformis* plantations with different densities[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2022, 37(5): 1-8. (in Chinese)
- [4] 欧建德.造林密度对苗木杉生长形质及林分分化的影响[J].东北林业大学学报,2018,46(1):7-11.
OU J D. Effect of planting density on growth, form quality and stand differentiation of *Cunninghamia konishii* plantation[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2018, 46(1): 7-11. (in Chinese)
- [5] 李华福,谭文玮,刘斌,等.不同抚育间伐强度对杉木林生长的影响[J].安徽农业科学,2022,50(5):105-108.
LI H F, TAN W W, LIU B, et al. Effects of different tending and thinning intensities on the growth of *Cunninghamia lanceolata* forests[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(5): 105-108. (in Chinese)
- [6] CHERNOGAEVA G M, KUZNETSOVA V V, KUKHTA A E. Precipitation effects on the growth of boreal forest stands in the volga region[J]. Russian Meteorology and Hydrology, 2020, 45(12): 851-857.
- [7] 张晓文,于青君,张卫强,等.不同树龄油松建筑材林木材性质及生长过程研究[J].中南林业科技大学学报,2020,40(6):122-131.
ZHANG X W, YU Q J, ZHANG W Q, et al. Study on wood physical properties and growth process of different tree age of *Pinus tabulaeformis* building timber forest[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2020, 40(6): 122-131. (in Chinese)
- [8] 高建亮,赵林峰.30 a 杉木萌生林和实生林木材的材性比较[J].东北林业大学学报,2020,48(4):93-97,119.
GAO J L, ZHAO L F. Wood properties comparison of *Cunninghamia lanceolata* between coppice and 30-a seedling stand[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48(4): 93-97, 119. (in Chinese)
- [9] 魏晓慧,孙玉军,黄冬辉.马尾松人工林树冠结构研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(11):125-130,138.
WEI X H, SUN Y J, HUANG D H. Study on crown structure for Masson pine plantation[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2012, 40(11): 125-130, 138. (in Chinese)
- [10] 马载阳,张怀清,李永亮,等.基于空间结构的杉木树冠生长可视化模拟[J].林业科学研究,2018,31(4):150-157.
MA Z Y, ZHANG H Q, LI Y L, et al. Visual simulation of Chinese fir crown growth based on spatial structure[J]. Forestry Research, 2018, 31(4): 150-157. (in Chinese)
- [11] WAN P, ZHANG G Q, WANG H X, et al. Impacts of different forest management methods on the stand spatial structure of a natural *Quercus aliena* var. *acuteserrata* forest in Xiaolongshan, China[J]. Ecological Informatics, 2019, 50: 86-94. (in Chinese)
- [12] 黄晓霞,尤美子,徐伟涛,等.目标树经营对杉木人工林林分空间结构的影响[J].森林与环境学报,2022,42(2):131-140.
HUANG X X, YOU M Z, XU W T, et al. Influence of target tree management on the spatial structure of *Cunninghamia lanceolata* plantation[J]. Journal of Forest and Environment, 2022, 42(2): 131-140. (in Chinese)
- [13] 冯宜明,李毅,曹秀文,等.甘肃南部不同密度云杉人工幼林的林分结构特征及土壤理化性质[J].林业科学,2018,54(10):20-30.
FENG Y M, LI Y, CAO X W, et al. Characteristics of stand structure and soil physicochemical properties of artificial young *Picea asperata* plantation with different densities in southern Gansu[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2018, 54(10): 20-

30. (in Chinese)
- [14] 张鹏,王新杰,韩金,等. 间伐对杉木人工林生长的短期影响[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(2): 6-10, 14.
ZHANG P, WANG X J, HAN J, *et al.* Short-term effect of thinning on the growth of Chinese fir plantation[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2016, 44(2): 6-10, 14. (in Chinese)
- [15] HAN C, LIU Y J, ZHANG C K, *et al.* Effects of three coniferous plantation species on plant-soil feedbacks and soil physical and chemical properties in semiarid mountain ecosystems[J]. Forest Ecosystems, 2021, 8(1): 22-34. (in Chinese)
- [16] 曹小玉,李际平. 杉木林土壤有机碳含量与土壤理化性质的相关性分析[J]. 林业资源管理, 2014(6): 104-109.
CAO X Y, LI J P. Contents of soil organic carbon and its relations with soil physicochemical properties in Chinese fir plantations[J]. Forest Resources Management, 2014(6): 104-109. (in Chinese)
- [17] 王翰琛,张雄清,张建国,等. 杉木人工林不同密度间伐林分生长优势的变化规律分析[J]. 林业科学研究, 2021, 34(5): 32-38.
WANG H S, ZHANG X Q, ZHANG J G, *et al.* Variation of growth dominance in thinned Chinese fir stands with different planting densities[J]. Forest Research, 2021, 34(5): 32-38. (in Chinese)
- [18] 沙子舟,范少辉,冯随起,等. 不同强度修枝对杉木人工林生长的影响[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(1): 131-136.
SHA Z Z, FAN S H, FENG S Q, *et al.* Effects of different pruning intensities on the growth of *Cunninghamia lanceolata* plantations[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2022, 37(1): 131-136. (in Chinese)
- [19] 夏丽丹,于姣姐,邓玲玲,等. 杉木人工林地力衰退研究进展[J]. 世界林业研究, 2018, 31(2): 37-42.
XIA L D, YU J D, DENG L L, *et al.* Research progress on fertility decline of Chinese fir plantation[J]. World Forestry Research, 2018, 31(2): 37-42. (in Chinese)
- [20] 卢婧,冯仲科. 运用随机森林模型对北京市林分蓄积生长量的预测[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(5): 7-11.
LU J, FENG Z K. Forecast of stand volume growth in Beijing by using random forest[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48(5): 7-11. (in Chinese)
- [21] 刘雨霞. 用 EXCEL 计算林分平均胸径[J]. 林业科技情报, 2013, 45(1): 32-34.
LIU Y X. Calculating stand average diameter using EXCEL[J]. Forestry Science and Technology Information, 2013, 45(1): 32-34. (in Chinese)
- [22] 周生祥. 林分平均树高的求算与分析[J]. 华东森林经理, 1989(3): 37-45.
- [23] KIMBERLEY M, WEST G, DEAN M, *et al.* The 300 index-a volume productivity index for radiata pin[J]. New Journal of Forestry, 2005, 50(2): 13-18.
- [24] 赵中华,惠刚盈. 林分结构多样性研究进展[J]. 林业科学, 2020, 56(9): 143-152.
ZHAO Z H, HUI G Y. Advances in structural diversity of stand structure[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2020, 56(9): 143-152. (in Chinese)
- [25] 张祥宇,包倪雯,刘丽婷,等. 桉树人工林林分结构特征及调控技术研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(4): 45-51.
ZHANG X Y, BAO N W, LIU L T, *et al.* Structural characteristics and control techniques of *Eucalyptus* stand[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(4): 45-51. (in Chinese)
- [26] 陈哲,魏浩亮,周庆营,等. 抚育间伐对华北落叶松人工林林分结构的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(5): 54-64.
CHEN Z, WEI H L, ZHOU Q Y, *et al.* Influence of tending and thinning on the stand structure of *Larix principis-rupprechtii* plantations[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2022, 42(5): 54-64. (in Chinese)
- [27] 苏乙奇. 人工落叶松枝下高动态研究[J]. 林业调查规划, 2008(1): 21-24.
SU Y Q. Dynamic study on under branch height of artificial *Larix gmelinii*[J]. Forest Inventory and Planning, 2008(1): 21-24. (in Chinese)
- [28] 李广德,张亚雄,付海曼,等. 三倍体毛白杨无性系 B301 幼树树冠结构特征研究[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(3): 94-101, 127.
LI G D, ZHANG Y X, FU H M, *et al.* Effects of clone and planting spacing on growth and morphological traits of poplar plantations[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(3): 94-101, 127. (in Chinese)
- [29] 包倪雯,张水花,莫晓勇. 乔木树种树冠结构研究综述[J]. 桉树科技, 2021, 38(1): 68-74.
BAO N W, ZHANG S H, MO X Y. Overview of tree crown structures[J]. Eucalypt Science & Technology, 2021, 38(1): 68-74. (in Chinese)
- [30] 张艳华,方升佐,田野,等. 无性系和株行距对杨树人工林生长和树冠结构的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(5): 13-19, 94.
ZHANG Y H, FANG S Z, TIAN Y, *et al.* Effects of clone and planting spacing on growth and morphological traits of poplar plantations[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2020, 40(5): 13-19, 94. (in Chinese)
- [31] 赵中华,惠刚盈,胡艳波,等. 基于大小比数的林分空间优势度表达方法及其应用[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(1): 78-82.
ZHAO Z H, HUI G Y, HU Y B, *et al.* Method and application of stand spatial advantage degree based on the neighborhood comparison[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36(1): 78-82. (in Chinese)
- [32] 惠刚盈. 角尺度——一个描述林木个体分布格局的结构参数[J]. 林业科学, 1999(1): 39-44.
HUI G Y. The neighbourhood pattern—a new structure parameter for describing distribution of forest tree position[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1999(1): 39-44. (in Chinese)
- [33] 徐勃,张仕清. 同仁地区青杨速生丰产林几种常用造林密度对生长的影响[J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2002, 20(2): 8-10.
XU B, ZHANG S Q. Effect of several afforestation densities of cathay coplar fast-growing and heavy bearing to their growing in Tongren region[J]. Journal of Qinghai University: Natural Science Edition, 2002, 20(2): 8-10. (in Chinese)

- [34] 张连翔,黄丽华,李杰. 林木胸径与材积的关系: Logistic 衍生模型[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(2): 99-101.
ZHANG L X, HUANG L H, LI J. Relationship between diameter at breast height and volume of forest-tree: Logistic derivation model[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2001, 29(2): 99-101. (in Chinese)
- [35] 丁贵杰,周政贤. 马尾松不同造林密度和不同利用方式经济效益分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 1996, 20(2): 24-29.
DING G J, ZHOU Z X. The economic results analysis on masson pine at various planting density and utilization ways [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 1996, 20(2): 24-29. (in Chinese)
- [36] 丁贵杰,周政贤,严仁发,等. 整地方式对杉木生长和经济效益的影响[J]. 林业科学研究, 1997, 10(2): 118-124.
DING G J, ZHOU Z X, YAN R F, *et al.* Study on the effect of soil preparation on growth and economic benefits of Chinese fir[J]. Forest Research, 1997, 10(2): 118-124. (in Chinese)
- [37] 张健强,尹振海,李学营,等. 华北落叶松人工林林分密度与生长因子的关系研究[J]. 河北林果研究, 2013, 28(2): 109-112.
ZHANG J Q, YI Z H, LI X Y, *et al.* Study on relationship of forest density and growth factor of *Larix principis-rupprechtii* plantation[J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2013, 28(2): 109-112. (in Chinese)
- [38] 王慧,郭晋平. 我国森林抚育间伐研究进展[J]. 山西林业科技, 2008(2): 29-32.
WANG H, GUO J P. China's forests thinning experiment and research progress[J]. Shanxi Forestry Science and Technology, 2008(2): 29-32. (in Chinese)
- [39] 田新辉,孙荣喜,李军,等. 107 杨人工林密度对林木生长的影响[J]. 林业科学, 2011, 47(3): 184-188.
TIAN X H, SUN R X, LI J, *et al.* Effects of stand density on growth of *Populus × euramericana* 'Neva' plantations[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(3): 184-188. (in Chinese)
- [40] 徐慧兰,颜培栋,杨章旗. 造林密度对 15 年生马尾松生长和材性的影响[J]. 森林与环境学报, 2020, 40(5): 505-511.
XU H L, YAN P D, YANG Z Q. Effects of planting density on wood growth and properties of 15-year-old *Pinus massoniana* [J]. Journal of Forest and Environment, 2020, 40(5): 505-511. (in Chinese)
- [41] 陶观护,卜元坤,薛卫鹏,等. 不同密度油松飞播林灌草多样性与林分空间结构关系[J]. 森林与环境学报, 2020, 40(2): 171-177.
TAO G H, BU Y K, XUE W P, *et al.* Relationship between understory diversity and stand spatial structure in air-drilled *Pinus tabulaeformis* forests of different densities. [J]. Journal of Forest and Environment, 2020, 40(2): 171-177. (in Chinese)
- [42] 张鹏. 不同间伐强度杉木人工林林分结构及生长分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2015: 43-44.
- [43] 赵中华,袁士云,惠刚盈,等. 经营措施对林分空间结构特征的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008(7): 135-142.
ZHAO Z H, YUAN S Y, HUI G Y, *et al.* Impacts of different management measures on spatial structure characteristics[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Sciences Edition, 2008(7): 135-142. (in Chinese)
- [44] 董灵波,刘兆刚. 樟子松人工林空间结构优化及可视化模拟[J]. 林业科学, 2012, 48(10): 77-85.
DONG L B, LIU Z G. Visual Management simulation for *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation based on optimized spatial structure[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(10): 77-85. (in Chinese)

3.2 间伐保留密度对杉木人工林生长的影响

间伐保留密度对杉木人工林生长的影响¹⁾

卢德浩 冯铭淳 黄焕强 邱展鹏 谢惠燕 陈世清 林娜
(华南农业大学,广州,510642)

摘要 以广东省清远市11年生杉木人工林为研究对象,探究了不同保留密度(1 200、1 800、2 500株·hm⁻²)杉木人工林3 a期间的动态生长规律、环境影响因子间差异、林分生长与环境因子之间的关系。结果表明:随着间伐保留密度的增加,杉木人工林的林分平均胸径、树高、冠幅、单株材积的3 a生长量及生长率均有所下降,小、中径材的出材量明显上升,其中,保留密度为1 200株·hm⁻²的林分大径材出材量最高,为22.46 m³·hm⁻²;其次是保留密度为1 800株·hm⁻²的林分,大径材出材量为15.36 m³·hm⁻²;保留密度为2 500株·hm⁻²的林分无大径材产出。保留密度为1 800株·hm⁻²林分的总出材量最大,为131.55 m³·hm⁻²。随着间伐保留密度的降低,林冠开阔度和光照均有所增加,其中,保留密度为1 200株·hm⁻²的林分光照条件优于其他2种保留密度林分。不同土层间各土壤理化性质变化趋势基本一致,较多的土壤理化性质在保留密度为1 200株·hm⁻²时表现最好。灌木层和草本层物种多样性各指数大多在保留密度为1 200株·hm⁻²时最大。林分的生长主要与林冠开阔度、叶面积指数、林下直射光、散射光、土壤pH、全氮质量分数、土壤密度、草本层Shannon-Wiener指数和Patrick指数显著相关($P<0.05$)。将低保留密度(1 200株·hm⁻²)作为林分经营密度的效果最佳,最适合大径材的培育;若仅考虑木材产出,则应选择1 800株·hm⁻²为经营密度,该保留密度下总出材量最大。

关键词 杉木人工林;间伐保留密度;林分生长;土壤理化性质;林下植被多样性

分类号 S753

Effect of Thinning Retention Density on the Growth of Chinese Fir Plantation//Lu Dehao, Feng Mingchun, Huang Huanqiang, Qiu Zhanpeng, Xie Huiyan, Chen Shiqing, Lin Na (South China Agricultural University, Guangzhou 510642, P. R. China)//Journal of Northeast Forestry University, 2024, 52(4): 9–16.

The study focused on an 11-year-old Chinese fir plantation in Qingyuan City, Guangdong Province. It investigated the dynamic growth patterns, differences in environmental impact factors, and the relationship between stand growth and environmental factors in Chinese fir plantations with different retention densities (1 200, 1 800, 2 500 trees · hm⁻²) over a period of 3 years. The results showed that, with the increase of thinning retention density, the average diameter at breast height, tree height, crown width, 3-year growth volume, and growth rate of individual tree volume in Chinese fir plantations decreased. However, the yield of small and medium diameter trees significantly increased. The stand with a retention density of 1 200 trees · hm⁻² had the highest yield of large diameter trees at 22.46 m³ · hm⁻², followed by the stand with 1 800 trees · hm⁻² at 15.36 m³ · hm⁻². No large diameter timber was produced in stands with 2 500 trees · hm⁻². The total yield was highest in stands with 1 800 trees · hm⁻² at 131.55 m³ · hm⁻². As the thinning retention density decreased, canopy openness and light intensity increased, with the best light conditions observed in the plantation with a retention density of 1 200 trees · hm⁻². The changes in soil physical and chemical properties were consistent across different soil layers, with the best properties observed at a retention density of 1 200 trees · hm⁻². The diversity indices of the shrub and herb layers were highest at a retention density of 1 200 trees · hm⁻². Stand growth was significantly correlated with canopy openness, leaf area index, understory direct and scattered light, soil pH, total nitrogen content, soil density, herb layer Shannon-Wiener index, and Patrick index ($P<0.05$). A low retention density of 1 200 trees · hm⁻² was found to be the most effective for stand management, particularly for cultivating large diameter timber. However, for maximizing timber yield, a retention density of 1 800 trees · hm⁻² was recommended as it resulted in the highest total timber yield.

Keywords Chinese fir plantation; Thinning retention density; Stand growth; Soil physicochemical properties; Understory vegetation diversity

抚育间伐是森林经营最主要的措施之一^[1],通过间伐可以减少林木间的竞争,推进林下植被的更新,改变土壤肥力,促进林木生长,提高生产力^[2]。森林生态系统中的林下植被和土壤作为其重要组成部分,对人工林生态系统中养分的循环、林地生产力的提高、物种多样性的维持等方面有着重要作

用^[3-4]。已有研究证明,抚育间伐往往是由于林内微环境(如光照和水分等)差异^[5],进而改变林下植被、土壤养分、土壤物理性质等,最终影响林木生长发育^[6-7]。如徐雪蕾^[8]在对福建将乐林场杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林进行不同强度的抚育间伐后发现,改变林分光照可以促进林下植被发育,提高土壤养分含量,间接对林木生长产生显著促进作用。Zhou et al.^[9]的研究表明,林下植被多样性与林分生长呈显著正相关关系。还有部分研究结果也显示,土壤养分是影响林木生长的重要因子,土壤养分通过直接提供植物所需的营养成分或通过影响土壤理化性质及植物多样性,进而影响林分生长

1) 广东省自然科学基金项目(2021A1515011092);广东省林业科技创新项目(2023KJCX001)。
第一作者简介:卢德浩,男,1998年7月生,华南农业大学林学与风景园林学院,硕士研究生。E-mail:875363261@qq.com。
通信作者:林娜,华南农业大学林学与风景园林学院,讲师。E-mail:nalin@scau.edu.cn。
收稿日期:2023年11月26日。
责任编辑:段柯羽。

和森林生产力^[10-11]。因此,适时适度的抚育间伐,确定合理的间伐保留密度是培育大径材的必要条件之一^[12],该措施可以有效改善林内光照、土壤理化性质、林下植被多样性等环境条件^[13],促进林分生长。

杉木在我国种植面积达 $9.90\times10^6\text{hm}^2$,蓄积量达 $7.55\times10^8\text{m}^3$,在全国人工乔木林总面积、总蓄积量中均排名第一^[14]。杉木培育在木材生产和生态功能维持方面具有重要意义^[15-16]。但由于造林密度大、轮伐期短等原因,杉木人工纯林的生产力较低,生态功能等级不高^[17],从而影响杉木人工林可持续发展。且随着我国国民生活水平的提高,主要以中、小径材为主的杉木人工林栽培方式已无法满足对杉木大径级木材的需求,供给结构失衡的问题日趋突出^[18]。因此,有必要通过抚育间伐来改善林地环境,促进林木生长,提高杉木人工林的经济及生态效益^[19-20]。目前,针对造林密度较大的杉木人工林,尚未明确如何在中龄林阶段通过抚育间伐进行合理的密度调控,以改善林下光环境和土壤理化性质,促进林下植被发育,影响林分生长,且关于不同间伐保留密度对杉木中龄林材种结构影响的研究也相对较少。因此,本研究在清远市选取造林密度为 $3\,000\sim4\,500\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的 11 年生杉木人工林为研究对象,在林分中设置 3 种间伐保留密度,调查林下光环境、林下植被群落、土壤理化性质,分析不同间伐保留密度杉木人工林分的生长规律,探讨林下光环境、植被多样性、土壤理化性质与林分生长的关系,为探寻粤北地区杉木人工林最适经营密度,完成杉木大径材的定向培育,实现杉木人工林可持续经营提供参考。

1 研究区概况

研究区位于广东省清远市($112^{\circ}13'1''\sim113^{\circ}19'1''\text{E}$, $24^{\circ}2'16''\sim24^{\circ}54'16''\text{N}$),属亚热带气候,夏季盛行暖湿气流,冬季盛行干冷的偏北风,年均气温 19.5°C ,年降水量约为 $1\,900\text{mm}$ 。本研究在清远市金鸡林场($112^{\circ}57'\sim113^{\circ}1'\text{E}$, $24^{\circ}8'\sim24^{\circ}13'\text{N}$)、英德林场($112^{\circ}45'15''\sim113^{\circ}55'38''\text{E}$, $23^{\circ}50'31''\sim24^{\circ}33'11''\text{N}$)、小龙林场($112^{\circ}11'3''\sim112^{\circ}15'49''\text{E}$, $24^{\circ}51'43''\sim24^{\circ}56'5''\text{N}$)的杉木人工纯林中开展。研究区内土壤多为砂页岩发育而成的山地黄壤和红壤,质地以沙壤为主,土层厚度 80.0cm 左右,腐殖质层 $3.5\sim5.0\text{cm}$,石砾含量 20% 左右。试验区内森林类型多为南亚热带常绿阔叶林、针阔混交林、针叶纯林等,森林资源丰富。所调查林分为 2010 年造林的杉木人工纯林,造林前 3 年均进行过割灌除草,第 4 年开始便不再开展任何抚育措施。伴生树种主要有马尾松

(*Pinus massoniana*)、白花泡桐(*Paulownia fortunei*)、盐麸木(*Rhus chinensis*)、华润楠(*Machilus chinensis*)、鼠刺(*Itea chinensis*)等;灌木层主要有鲫鱼胆(*Maesa perlarius*)、五指毛桃(*Ficus hirta*)、鸭脚木(*Schefflera octophylla*)、箬叶竹(*Indocalamus longiauritus*)、白花悬钩子(*Rubus leucanthus*)等;草本层以金钗凤尾蕨(*Pteris fauriei*)、乌毛蕨(*Blechnum orientalis*)、半边旗(*Pteris semipinnata*)、兖州卷柏(*Selaginella involvens*)为主。

2 研究方法

2.1 样地设置与野外调查

选取立地条件一致,间伐试验处理前造林密度为 $3\,000\sim4\,500\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的杉木人工林作为研究对象,设置 3 个间伐保留密度,分别为 $1\,200$ 、 $1\,800$ 、 $2\,500\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$,每个处理设置 $20\text{m}\times20\text{m}$ 的样地 3 块,共计 9 块样地。于 2020 年 10 月份进行间伐试验,在 2020—2022 年的每年 11 月份对各个样地进行间伐后的 3 次调查,在 2023 年 8 月份进行间伐后的第 4 次调查。

调查的林分因子为林木胸径、树高、枝下高、冠幅。用佳能相机(Canon EOS 50D Mark II,日本)鱼镜头(Canon EF 8—15 mm f/4L USM,日本)在每个样地随机选取 3 个点(间隔大于 5m ,距地面 50cm),获得晴朗天气下林分照片,用于林分光环境指标计算。在移除试验点的凋落物和腐殖质后,取土壤深度(h)为 $0<h\leq10\text{cm}$ 、 $10\text{cm}<h\leq20\text{cm}$ 、 $20\text{cm}<h\leq30\text{cm}$ 处的土壤用于土壤 pH、有机碳质量分数、全氮质量分数测定,同时,在每个土层采集 3 个环刀样品,用于土壤物理性质测定。在样地的 4 个角和中心位置各设置 1 个 $2\text{m}\times2\text{m}$ 的样方,对灌木、草本进行调查,记录林下灌草的种类、数量、盖度等,用于林下植被多样性指数计算。2020 年 11 月间伐后第 1 次调查的林分基本信息如表 1 所示。

表 1 样地信息

样地 编号	密度 分级	间伐保留密 度/株 $\cdot\text{hm}^{-2}$	郁闭 度	海拔/ m	坡度/ ($^{\circ}$)
1	低密度	1 150	0.81	593	29
2		1 175	0.82	604	28
3		1 250	0.81	610	27
4	中密度	1 850	0.84	564	21
5		1 825	0.85	580	22
6		1 750	0.87	629	23
7	高密度	2 575	0.89	551	25
8		2 400	0.90	580	30
9		2 550	0.87	580	25

注:低密度为平均间伐密度为 $1\,200\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的林分;中密度为平均间伐密度为 $1\,800\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的林分;高密度为平均间伐密度为 $2\,500\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的林分。

2.2 林分生长指标计算

选取林分平均胸径、林分平均树高、平均树冠体积、平均单株材积作为林分生长指标。林分平均胸径公式如下:

$$D_g = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2}$$

式中: D_g 为林分平均胸径; d_i 为第 i 株林木的胸径; n 为林木总株数。

林分平均树高公式如下:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{h}_i G_i}{\sum_{i=1}^k G_i}$$

式中: H 为林分平均树高; $\bar{h}_i$ 为林分中第 i 径阶林木的算术平均树高; G_i 为林分中第 i 径阶树木的胸高断面积; k 为林分中径阶个数。

平均树冠体积公式如下:

$$C_v = \frac{\pi}{12n} \times C_{wewi} \times C_{wsni} \times C_{li}$$

式中: C_v 为平均树干体积; C_{wewi} 为第 i 株林木东西向冠幅; C_{wsni} 为第 i 株林木南北向冠幅; C_{li} 为第 i 株林木冠长; n 为林木总株数。

平均单株材积采用沙子舟等^[21]的杉木树种二元立木材积模型来计算,公式如下:

$$V = 0.000\ 058\ 777\ 042 \times D^{1.969\ 983\ 1} \times H^{0.896\ 463\ 157}$$

式中: V 为单株材积; D 为胸径; H 为树高。

本研究中林分胸径和树高结构的计算为:胸径按 2 cm 径阶,树高按 2 m 树高级,按每一样地的胸径和树高划分等级,分别统计各个等级林木出现的频数,将频数除以总样木数转换成频率,得出林分径阶和树高的频率分布^[22]。

杉木规格材原条用材出材量计算^[18]如下。其中,杉木原条小条木径阶(d)区间为 $d < 8$ cm;小径材径阶区间为 $8\text{ cm} \leq d < 12$ cm;中径材径阶区间为 $14\text{ cm} \leq d < 18$ cm;大径材径阶区间为 $d > 20$ cm。

$$V = 0.000\ 087\ 2 \times D^{1.785\ 388\ 607} \times H^{0.931\ 392\ 369\ 7}$$

2.3 林下光环境指标计算

利用 Gap Light Analyzer Version 2.0 软件分析照片得到林下总光照、直射光、散射光、叶面积指数和林冠开阔度^[23]。

2.4 土壤理化性质测定

在室内自然风干土壤样品,去除杂质后研磨,每袋样品平均分成 2 份,1 份过 80 目(0.178 mm)网筛,称取(5.000±0.100) mg 的样品,用元素分析仪(Vario EL cube,Elementar,德国)测定土壤全氮和有机碳质量分数;另 1 份土壤样品过 16 目(1.18 mm)网筛,称取(10.0±0.1) g 样品,加入 25.0 mL 去离子水配置成土

壤稀释液,土水比例为 1.0 : 2.5,搅动 5 min 后静置 1 h,用 pH 计(P5S-2F,雷磁,中国)测定 pH 值^[24]。

本研究选取土壤密度、土壤含水量及土壤总孔隙度来代表土壤物理性质,土壤物理性质均采用环刀法^[25]进行测定。

2.5 林下植被多样性指标计算

本研究选择 4 种常用的物种多样性指数描述林下植被的物种多样性,分别为 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Patrick 指数。公式如下:

$$S_p = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

$$S_w = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$J = S_w / \ln S$$

$$P_R = S$$

式中: S 为样地内植物种类总数; P_i 为第 i 个物种的个体数占样地物种总个体数的比例; S_p 为 Simpson 多样性指数; S_w 为 Shannon-Wiener 多样性指数; J 为 Pielou 均匀度指数; P_R 为 Patrick 指数。

2.6 数据处理

用 Shapiro-Wilk 检验和 Levene 检验查看数据是否满足正态性分布和方差齐性,对不满足条件的数据进行对数转换,使所有的数据均满足方差分析的假设。用单因素方差分析(ANOVA)研究不同间伐保留密度林分生长的差异显著性,并对不同林分的生长指标、土壤理化性质和林下植被多样性进行多重比较(LSD)。用 Person 相关性分析判断林分生长与土壤理化性质、林下植被多样性的相关性是否显著。以上分析在 IBM SPSS Statistics 25.0 软件完成,所有分析的差异设定为 $P < 0.05$ 。

3 结果与分析

3.1 不同保留密度对杉木人工林生长的影响

3.1.1 不同保留密度杉木人工林林分生长特征

抚育间伐后,林分平均胸径、树高、树冠体积、单株材积的增长率均随保留密度的减少而上升(表 2)。间伐保留密度为 1 200 株·hm⁻²的林分各项生长指标基本连续 3 a 均显著高于间伐保留密度为 2 500 株·hm⁻²的林分($P < 0.05$),其中,间伐保留密度为 1 200 株·hm⁻²的林分平均胸径 3 a 生长量是间伐保留密度为 2 500 株·hm⁻²林分的 1.57 倍,林分平均树高 3 a 生长量为其的 1.65 倍。3 种不同保留密度林分间的平均树冠体积和单株材积的 3 a 增长量差异显著($P < 0.05$),其中,间伐保留密度为 1 200 株·hm⁻²林分的平均树冠体积和单株材积 3 a 增长量相比于间伐

保留密度为 1 800、2 500 株 · hm⁻²的林分分别显著增 大了 53.82%、111.60%和49.40%、162.24%。

表 2 不同保留密度杉木人工林林分生长状况

年份	胸径/cm			树高/m		
	1 200 株 · hm ⁻²	1 800 株 · hm ⁻²	2 500 株 · hm ⁻²	1 200 株 · hm ⁻²	1 800 株 · hm ⁻²	2 500 株 · hm ⁻²
2020	(12.54±0.50) a	(11.61±0.40) a	(10.11±0.50) a	(11.26±0.50) a	(10.82±0.40) a	(10.03±0.50) a
2021	(14.18±0.80) a	(13.26±0.80) ab	(10.91±0.40) b	(11.84±0.80) a	(11.18±0.80) a	(10.31±0.40) a
2022	(15.22±0.60) a	(14.33±0.40) a	(11.68±0.70) b	(12.11±0.60) a	(11.52±0.40) ab	(10.52±0.70) b
2023	(15.91±0.80) a	(14.85±0.50) a	(12.13±0.40) b	(12.55±0.20) a	(11.84±0.50) ab	(10.81±0.50) b
3a 增长量	(3.17±0.60) a	(2.64±0.80) ab	(2.02±0.20) b	(1.29±0.20) a	(1.02±0.10) ab	(0.78±0.10) b
3a 增长率/%	(27.00±2.38) a	(21.77±3.21) b	(19.98±1.52) b	(11.46±1.36) a	(9.43±1.38) ab	(7.78±0.83) b

年份	树冠体积/m ³			单株材积/m ³		
	1 200 株 · hm ⁻²	1 800 株 · hm ⁻²	2 500 株 · hm ⁻²	1 200 株 · hm ⁻²	1 800 株 · hm ⁻²	2 500 株 · hm ⁻²
2020	(11.48±1.20) a	(10.33±0.80) a	(9.41±0.60) a	(0.102 2±0.012) a	(0.091 1±0.011) a	(0.068 8±0.005) b
2021	(12.88±1.40) a	(12.24±0.80) ab	(9.96±0.50) b	(0.119 2±0.012) a	(0.101 3±0.011) a	(0.074 9±0.005) b
2022	(14.68±1.30) a	(13.13±0.70) a	(10.56±0.60) b	(0.131 7±0.012) a	(0.112 2±0.011) b	(0.080 1±0.005) c
2023	(15.31±0.50) a	(13.82±0.50) a	(11.22±2.70) b	(0.139 7±0.012) a	(0.116 2±0.011) b	(0.083 1±0.005) c
3a 增长量	(3.83±0.20) a	(2.49±0.40) b	(1.81±0.10) c	(0.037 5±0.012) a	(0.025 1±0.012) b	(0.014 3±0.012) c
3a 增长率/%	(28.48±4.22) a	(24.10±3.12) b	(19.23±1.38) c	(36.690 0±4.380) a	(27.550 0±3.110) b	(20.780 0±2.870) c

注:表中数据为“平均值±标准差”,数据后同行不同小写字母表示同一年份不同保留密度间差异显著($P<0.05$)。

3.1.2 不同保留密度杉木人工林径阶结构和树高结构

保留密度为 1 200 株 · hm⁻²的林分径阶分布峰值为 16 cm,树高分布峰值为 12 m,株数占比分别为 19.58%、47.19%。保留密度为 1 800 株 · hm⁻²的林分径阶分布和树高分布峰值也为 16 cm 和 12 m,株

数占比分别为 26.03%、45.95%。保留密度为 2 500 株 · hm⁻²的林分径阶分布和树高分布峰值相比于保留密度为 1 200、1 800 株 · hm⁻²的林分明显向左偏移,其径阶及树高分布的峰值均为 10 cm,株数占比分别为 31.28%、44.64%(表 3、表 4)。

表 3 不同保留密度杉木人工林径阶株数占比

保留密度/ 株 · hm ⁻²	株数占比/%									
	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm	14 cm	16 cm	18 cm	20 cm	22 cm
1 200	0	4.06±1.29	5.37±1.15	10.98±2.27	11.67±2.93	19.51±3.35	19.58±2.07	17.59±2.50	8.20±2.21	0.78±0.18
1 800	0	0	6.18±1.48	4.55±0.59	22.99±3.46	24.13±2.24	26.03±3.01	9.74±1.47	4.53±1.71	1.85±0.15
2 500	0.31±0.03	2.90±0.38	14.00±4.71	31.28±5.71	28.43±6.85	18.60±2.14	3.43±0.07	1.04±0.06	0	0

注:表中数据为“平均值±标准差”。

表 4 不同保留密度杉木人工林树高株数占比

保留密度/ 株 · hm ⁻²	株数占比/%							
	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m
1 200	0	2.83±0.52	10.74±1.51	30.27±3.38	47.19±5.49	7.49±1.32	1.48±0.21	0
1 800	0	0	5.66±1.06	16.30±2.61	45.95±6.94	24.36±4.11	6.08±1.34	1.66±0.24
2 500	0	0.97±0.24	14.04±2.72	44.64±5.99	33.14±5.43	7.21±2.63	0	0

注:表中数据为“平均值±标准差”。

3.1.3 不同保留密度杉木人工林材种结构

由表 5 可知,保留密度为 2 500 株 · hm⁻²时,林分主要材种产出以小径材为主,其出材量占总出材量的 55%以上,无大径材产出。保留密度为 1 800 株 · hm⁻²的林分主要材种产出以中、小径材为主,出

材量为 116.19 m³ · hm⁻²,出材量比例为 82.53%,大径材出材量仅为 15.36 m³ · hm⁻²。保留密度为1 200 m³ · hm⁻²的林分主要材种产出以大、中径材为主,其中大径材出材量为 22.46 m³ · hm⁻²,占该保留密度总出材量的 20.88%。

表 5 不同保留密度杉木人工林材种出材量及其占总株数比例

材种	保留密度为 1 200 株 · hm ⁻² 时		保留密度为 8 200 株 · hm ⁻² 时		保留密度为 2 200 株 · hm ⁻² 时	
	出材量/m ³ · hm ⁻²	出材量占比/%	出材量/m ³ · hm ⁻²	出材量占比/%	出材量/m ³ · hm ⁻²	出材量占比/%
小条木	0.45±0.03	0.42	0	0	0.51±0.04	0.52
小径材	14.68±2.25	13.65	22.98±3.45	17.47	56.15±3.84	57.75
中径材	69.94±5.96	65.05	93.21±8.95	70.85	40.58±5.30	41.73
大径材	22.46±2.38	20.88	15.36±3.22	11.68	0	0
总出材量	107.53±8.52	100.00	131.55±29.58	100.00	97.24±6.92	100.00

注:表中部分数据为“平均值±标准差”。

3.2 不同保留密度杉木人工林林分生长的影响因素

3.2.1 不同保留密度杉木人工林林下光环境特征

随着间伐保留密度的降低,林冠开阔度和光照有所增加,而叶面积指数呈下降趋势。其中,保留密度为 2 500 株·hm⁻²的林分林冠开阔度和叶面积指

数显著小于保留密度为 1 200、1 800 株·hm⁻²的林分($P<0.05$);保留密度为 1 200 株·hm⁻²的林分总光照显著大于保留密度为 1 800、2 500 株·hm⁻²的林分($P<0.05$)。3 种间伐保留密度林分的直射光和散射光之间无显著差异(表 6)。

表 6 不同保留密度杉木人工林林下光环境差异

保留密度/株·hm ⁻²	林冠开阔度/%	叶面积指数/cm ² ·m ⁻²	总光照/mol·m ⁻² ·d ⁻¹	直射光/mol·m ⁻² ·d ⁻¹	散射光/mol·m ⁻² ·d ⁻¹
1 200	(69.37±3.66) a	(1.61±0.47) a	(12.93±0.52) a	(5.41±0.42) a	(5.22±0.16) a
1 800	(68.13±9.37) a	(1.48±0.10) a	(10.52±1.97) b	(5.48±1.09) a	(5.04±0.89) a
2 500	(63.41±4.45) b	(1.17±0.11) b	(10.63±0.58) b	(6.72±0.14) a	(6.22±0.41) a

注:表中数据为“平均值±标准差”;数据后同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

3.2.2 不同保留密度杉木人工林土壤理化性质特征

不同保留密度林分的土壤有机碳、全氮质量分数均随土层的增加而降低,其中保留密度为 1 200 株·hm⁻²的林分平均土壤有机碳和全氮质量分数最大,分别为 22.56、2.12 g·kg⁻¹,均显著大于保留密度为 1 800 株·hm⁻²的林分($P<0.05$)。土壤 pH、土壤密度、土壤总孔隙度随土层的增加无明显变化,且

不同土层之间均无显著差异。土壤深度为 10 cm< $h\leq 20$ cm 时,各保留密度林分的土壤含水量均为最高,其中,保留密度为 1 200 株·hm⁻²的林分平均土壤含水量最大,为 29.01%;其次是保留密度为 2 500 株·hm⁻²的林分,为 24.06%;保留密度为 1 800 株·hm⁻²的林分平均土壤含水量最小,为 18.23%(表 7)。

表 7 不同保留密度杉木人工林土壤理化性质

保留密度/ 株·hm ⁻²	有机碳质量分数/g·kg ⁻¹			全氮质量分数/g·kg ⁻¹			土壤 pH		
	0< $h\leq 10$ cm	10 cm< $h\leq 20$ cm	20 cm< $h\leq 30$ cm	0< $h\leq 10$ cm	10 cm< $h\leq 20$ cm	20 cm< $h\leq 30$ cm	0< $h\leq 10$ cm	10 cm< $h\leq 20$ cm	20 cm< $h\leq 30$ cm
1 200	(24.58±2.47) Aa	(22.32±2.45) Aa	(17.78±0.62) Ab	(2.32±0.15) Aa	(2.19±0.16) Aab	(1.86±0.05) Ab	(4.76±0.04) Aa	(4.80±0.03) Aa	(4.75±0.06) Aa
1 800	(19.08±1.23) Ba	(16.93±1.27) Bab	(15.07±1.18) Ab	(1.34±0.07) Ba	(1.23±0.07) Ba	(1.11±0.06) Ba	(4.77±0.07) Aa	(4.71±0.02) ABa	(4.65±0.03) Aa
2 500	(24.44±2.45) Aa	(20.94±2.85) ABab	(17.74±2.23) Ab	(1.63±0.21) Ba	(1.39±0.20) Bab	(1.29±0.14) Bb	(4.48±0.10) Ba	(4.51±0.07) Ba	(4.55±0.09) Aa

保留密度/ 株·hm ⁻²	土壤含水量/%			土壤密度/g·cm ⁻³			土壤总孔隙度/%		
	0< $h\leq 10$ cm	10 cm< $h\leq 20$ cm	20 cm< $h\leq 30$ cm	0< $h\leq 10$ cm	10 cm< $h\leq 20$ cm	20 cm< $h\leq 30$ cm	0< $h\leq 10$ cm	10 cm< $h\leq 20$ cm	20 cm< $h\leq 30$ cm
1 200	(24.18±1.24) Ab	(31.52±2.34) Aa	(31.32±2.04) Aa	(1.05±0.01) Ba	(1.06±0.02) Ba	(1.04±0.02) Ba	(45.37±1.00) Aa	(45.99±0.79) Aa	(46.10±0.93) Aa
1 800	(18.50±1.09) Ba	(18.37±1.20) Ca	(17.81±1.12) Ca	(1.25±0.01) Aa	(1.28±0.03) Aa	(1.32±0.02) Aa	(34.07±2.00) Ba	(37.61±1.37) Ba	(38.39±2.32) Ba
2 500	(24.22±1.34) Aa	(24.29±1.19) Ba	(23.68±1.38) Ba	(1.16±0.02) ABa	(1.17±0.01) ABa	(1.17±0.02) ABa	(41.55±0.73) ABa	(42.31±0.25) ABa	(41.57±0.18) ABa

注:表中数据为“平均值±标准差”;数据后同行不同小写字母表示相同保留密度不同土层间差异显著($P<0.05$);同列不同大写字母表示相同土层不同保留密度间差异显著($P<0.05$); h 为土层深度。

3.2.3 不同保留密度杉木人工林林下植被多样性特征

由表 8 可知,保留密度为 2 500 株·hm⁻²的林分灌木层 Patrick 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 指数均最小,分别为 9.00、0.74、1.82、0.84,均显著小于其他 2 种保留密度林分($P<$

0.05)。保留密度为 1 200 株·hm⁻²的林分草本层 Patrick 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数均最大,相比于保留密度为 1 800、2 500 株·hm⁻²的林分分别增加了 34.78%、12.95%、22.73%和 47.62%、1.25%、15.14%。不同保留密度林分草本层 Pielou 指数无显著差异。

表 8 不同保留密度杉木人工林林下植被多样性

保留密度/ 株·hm ⁻²	草本层				灌木层			
	Patrick 指数	Simpson 指数	Shannon-Wiener 指数	Pielou 指数	Patrick 指数	Simpson 指数	Shannon-Wiener 指数	Pielou 指数
1 200	(10.33±0.27) a	(0.82±0.03) a	(2.08±0.10) a	(0.89±0.04) a	(13.67±0.54) a	(0.90±0.01) a	(2.48±0.10) a	(0.95±0.03) ab
1 800	(7.67±0.47) b	(0.73±0.04) a	(1.70±0.11) b	(0.86±0.03) a	(14.33±0.54) a	(0.90±0.02) a	(2.54±0.08) a	(0.96±0.02) a
2 500	(7.00±1.25) b	(0.81±0.01) a	(1.81±0.11) ab	(0.96±0.01) a	(9.00±0.94) b	(0.74±0.03) a	(1.82±0.16) b	(0.84±0.04) b

注:表中数据为“平均值±标准差”;数据后同列不同小写字母表示不同保留密度同一多样性指数间差异显著($P<0.05$)。

3.3 杉木人工林林分生长指标与影响因子的关系

相关性分析表明(表 9),林分平均胸径与土壤 pH、全氮质量分数、土壤密度呈显著正相关($P<0.05$);林分平均树高与土壤密度、草本层 Shannon-Wiener 指数及 Patrick 指数呈显著正相关($P<$

0.05);林分平均单株材积与林冠开阔度、土壤密度、有机碳质量分数呈显著正相关($P<0.05$);林分平均树冠体积与土壤 pH、草本层 Patrick 指数呈显著正

相关($P<0.05$)。

表 9 林分生长指标与影响因子的相关系数

相关 因素	各相关因素间的相关系数																					
	D	H	IV	CV	CO	LAI	TL	DL	SL	TN	SOC	pH	BD	MC	GSP	GSW	GJ	GPR	CSP	CSW	CJ	CPR
D	1.00																					
H	0.72 **	1.00																				
IV	0.48	0.45	1.00																			
CV	0.78 **	0.33	0.47	1.00																		
CO	-0.08	-0.40	0.67 *	-0.08	1.00																	
LAI	-0.52 *	-0.57 *	0.13	0.73 **	0.95 **	1.00																
TL	0.18	0.47	-0.20	0.15	-0.98 **	-0.98 **	1.00															
DL	0.37	0.60 *	-0.08	0.25	-0.93 **	-0.98 **	0.97 **	1.00														
SL	0.20	0.51 *	-0.17	0.20	-0.97 **	-0.97 **	0.98 **	0.93 **	1.00													
TN	0.60 *	0.28	-0.40	0.15	-0.43	-0.60 *	0.51 *	0.53 *	0.48	1.00												
SOC	0.08	0.10	0.65 *	0.02	-0.25	-0.40	0.30	0.30	0.28	0.92 **	1.00											
pH	0.57 *	0.28	-0.08	0.57 *	-0.03	-0.13	0.11	0.17	0.18	0.07	-0.25	1.00										
BD	0.67 *	0.58 *	0.67 *	0.37	0.07	-0.02	-0.03	0.15	-0.07	-0.37	-0.55 *	0.31	1.00									
MC	-0.35	-0.42	-0.37	0.02	-0.20	-0.12	0.63 *	0.00	0.15	0.47	0.58 *	-0.25	-0.80 **	1.00								
GSP	0.26	0.33	-0.03	-0.08	0.35	0.25	-0.27	-0.16	-0.24	-0.25	-0.43	0.56 *	0.48	-0.79 **	1.00							
GSW	0.27	0.30	0.01	-0.07	0.51 *	0.30	-0.32	-0.20	-0.30	-0.30	-0.67 *	0.54 *	0.52 *	-0.82 **	0.84 **	1.00						
GJ	0.03	0.26	-0.15	-0.31	0.54 *	0.31	-0.35	-0.33	-0.28	-0.03	0.01	0.18	0.02	-0.49	0.73 **	0.70 *	1.00					
GPR	0.23	0.27	-0.07	-0.15	0.27	0.21	-0.21	-0.08	-0.23	-0.27	-0.58 *	0.50	0.57 *	-0.80 **	0.94 **	0.95 **	0.52 *	1.00				
CSP	-0.02	0.40	0.22	0.05	-0.77 **	-0.64 *	0.68 *	0.61 *	0.74 **	0.11	0.01	-0.06	-0.03	0.21	-0.37	-0.42	-0.38	-0.36	1.00			
CSW	0.20	0.53 *	0.05	0.22	-0.93 **	-0.88 **	0.90 **	0.87 **	0.93 **	0.37	0.17	0.15	0.02	0.17	-0.28	-0.33	-0.38	-0.25	0.91 **	1.00		
CJ	-0.47	-0.22	-0.15	-0.41	-0.03	0.10	-0.08	-0.23	0.01	0.18	0.63 *	-0.36	-0.64 *	0.61 *	-0.42	-0.47	0.07	-0.52 *	0.40	0.13	1.00	
CPR	0.44	0.63 *	0.07	0.55 *	-0.85 **	-0.92 **	0.89 **	0.92 **	0.92 **	0.56 *	0.20	0.43	0.19	0.03	-0.14	-0.18	-0.33	-0.13	0.64 *	0.88 **	-0.21	1.00

注：* 表示显著相关($P<0.05$)，**表示极显著相关($P<0.01$)；D 为林分平均胸径；H 为林分平均树高；IV 为林分平均单株材积；CV 为林分平均树冠体积；CO 为林冠开阔度；LAI 为叶面积指数；TL 为林下总光照；DL 为直射光；SL 为散射光；TN 为土壤全氮质量分数；SOC 为土壤有机碳质量分数；pH 为土壤 pH；BD 为土壤密度；MC 为土壤含水量；GSP 为灌木层 Simpson 指数；GSW 为灌木层 Shannon-Wiener 指数为 GJ；灌木层 Pielou 指数；GPR 为灌木层 Patrick 指数；CSP 为草本层 Simpson 指数；CSW 为草本层 Shannon-Wiener 指数；CJ 为草本层 Pielou 指数；CPR 为草本层 Patrick 指数。

4 结论与讨论

密度调控是一项重要的营林措施,在人工林经营过程中被广泛应用,对树木的生长发育具有重要影响^[26]。本研究中,保留密度为 1 200 株·hm⁻²的林分平均胸径和平均树高 3 a 生长量显著高于保留密度为 2 500 株·hm⁻²的林分($P<0.05$),由此证明,低间伐保留密度能显著提高林分平均胸径和平均树高。林木的单株材积主要取决于胸径及树高的大小,与林分平均胸径及树高的规律一致,保留密度为 1 200 株·hm⁻²的林分平均单株材积的 3 a 生长量分别是保留密度为 1 800、2 500 株·hm⁻²林分的 2.62 倍、1.49 倍,且 3 种保留密度林分间林木单株材积差异显著($P<0.05$)。此外,降低间伐保留密度可以改善林分径阶及树高结构,随着间伐保留密度的减少,大径材株数比例增加,而小径级木材株数比例相应减少。保留密度为 2 500 株·hm⁻²时,材种主要以小径材为主,株数占比超过 50%;当保留密度降至 1 800 株·hm⁻²时,开始有大径材产生,但大径材出材量占比较低,仅为 11.68%,出材仍以中、小径材为主;然而当保留密度继续降至 1 200 株·hm⁻²时,大

径材的出材量大于小径材的出材量,材种主要以大、中径材为主。许冠军等^[27]对不同保留密度管理措施下杉木林生长的研究发现,低密度处理更利于胸径和树高的生长。邓伦秀等^[28]研究也表明,较低的保留密度提高了树木平均胸径及平均树高的生长,促进了大径材株数占比,更利于大径材的培育。随着林分的不断郁闭,林木对水分、光照、养分的竞争日益加剧^[29],在这种情况下,低保留密度可以显著降低人工杉木林内部对光照和土壤养分的竞争压力,促进大径材的产出比例,提升木材的整体品质^[30],本研究中林下光环境指标与林分生长指标的相关性分析能够很好地验证这一观点。林分在自然生长过程中,由于树冠扩展,林分郁闭度不断增加,使林木对光照的竞争激烈,部分林木由于光合作用减少导致生长发育不良^[31]。低保留密度可以改善林冠层的营养空间,减少林木之间的竞争,充分发挥林地生产力,促进林冠生长^[32]。保留密度较大的林分释放的营养空间有限,林木个体间对光照的竞争仍然激烈。本研究中,保留密度为 2 500 株·hm⁻²的林分林冠开阔度显著小于其他 2 种密度林分,这也是保留密度为 2 500 株·hm⁻²的林分平均树

冠体积的 3 a 生长量显著小于保留密度为 1 800、1 200 株 · hm⁻²的主要原因之一。

林分密度可以通过对乔木层透光性及树木间竞争的调控作用来对林下植物多样性及其空间分布产生影响^[33]。相关研究表明,林下光照会直接影响林下植被组成和多样性^[34-35],冠层更加开敞的地方,通常能够允许更多光照达到林下,从而促进更多种类的植物生长^[36]。本研究中,林下光环境指标与林下植被多样性的相关性显著($P<0.05$)。张健^[37]研究发现,间伐保留密度越小,杉木林下植被多样性指数则越大,且林下植被的物种多样性与保留密度密切相关,当间伐保留密度为 900 株 · hm⁻²时,杉木林下植被多样性最为丰富。本研究中,高密度林分(间伐保留密度为 2 500 株 · hm⁻²)的林下植被层植被多样性指数较低,这是因为密度较大的林分对营养空间的竞争激烈,大量土壤养分被林木消耗,同时林冠遮蔽削弱了林下水热条件,不利于林下植物生长^[38]。林分平均树高与草本层 Shannon-Wiener 指数、Patrick 指数呈显著正相关($P<0.05$),林分平均树冠体积与草本层 Patrick 指数呈显著正相关($P<0.05$),这说明,丰富的林下植被可以促进林分生长,而林分密度可以通过改变林下植物的多样性及分布间接影响林分的生长发育^[30]。许多学者在对不同类型人工林的研究中均指出,保留密度对土壤密度、含水率、全氮质量分数等土壤理化性质有重要影响^[39-41]。本研究发现,不同保留密度杉木人工林对土壤含水量、pH、全氮质量分数、土壤密度、总孔隙度的影响显著。在不同土层中,同一种土壤养分含量与林分保留密度的变化趋势基本一致。对不同保留密度杉木林下的土壤理化性质分析表明,保留密度为 1 200 株 · hm⁻²的林分土壤有机碳质量分数、全氮质量分数、土壤含水量、总孔隙度均为最高,这说明,较低的保留密度(1 200 株 · hm⁻²)有利于土壤理化性质的改善和土壤养分的积累。研究还发现,随着保留密度的增大,土壤 pH 逐渐减小,因而导致土壤酸化,这是因为密度越大的林分其凋落量越大,而杉木的凋落物中富含酸性物质,如松脂和鞣质等,这些物质在分解过程中会释放酸性化合物,如有机酸和氢离子等到土壤中,所以土壤 pH 出现下降^[42]。不仅如此,土壤全氮、有机碳质量分数与林分平均胸径、单株材积呈显著正相关,林分平均树冠体积与土壤 pH 呈显著正相关($P<0.05$),这说明,间伐保留密度可以通过影响林下植被发育及土壤养分含量间接对林木生长产生显著影响^[11,43]。

本研究通过分析间伐后 3 a 内不同保留密度的 278 杉木人工林动态生长状况,并结合林下光环境、土壤

理化性质、林下植被多样性等环境因子特征,探究了不同保留密度对林分的影响。结果表明,灌木层和草本层物种多样性各指数大多在保留密度为 1 200 株 · hm⁻²时最高,且该保留密度的林下光环境优于其他 2 种保留密度的林分。不同保留密度林分间土壤理化性质变化趋势多样,基本上也在较低保留密度时(1 200 株 · hm⁻²)达到最大。除了土壤有机碳质量分数外,其他土壤理化性质受间伐保留密度变化的影响显著。林分平均胸径、平均单株材积与土壤养分的关系更为密切,林分平均树高、树冠体积与林下光环境、林下植被物种多样性显著相关。综合林分生长情况、林下光环境、土壤理化性质、林下植被多样性等因素,将保留密度为 1 200 株 · hm⁻²作为林分经营密度的效果最佳,更利于杉木大径材的定向培育,若仅考虑木材产出,经营密度为 1 800 株 · hm⁻²时总出材量最大。

参 考 文 献

[1] 马履一,李春义,王希群,等.不同强度间伐对北京山区油松生长及其林下植物多样性的影响[J].林业科学,2007,43(5):1-9.

[2] 徐雪蕾,孙玉军,周华,等.间伐强度对杉木人工林林下植被和土壤性质的影响[J].林业科学,2019,55(3):1-12.

[3] 孟祥玉,范舒欣,董丽,等.北京城市森林林下植物多样性与土壤因子的相关性[J].东北林业大学学报,2023,51(7):102-114.

[4] 张绍聪,高禾苗,袁龙义,等.西藏不同林龄核桃林土壤理化性质及林下植被多样性特征[J].东北林业大学学报,2023,51(7):115-122.

[5] 王杰,杨梅,徐圆圆,等.间伐后不同处理对尾巨桉林分光环境及土壤理化性质的影响[J].广西林业科学,2023,52(4):411-418.

[6] 任立忠,罗菊春,李新彬.抚育采伐对山杨次生林植物多样性影响的研究[J].北京林业大学学报,2000,22(4):14-17.

[7] 龚固堂,牛牧,慕长龙,等.间伐强度对柏木人工林生长及林下植物的影响[J].林业科学,2015,51(4):8-15.

[8] 徐雪蕾.间伐对杉木人工林的生长调控作用研究[D].北京:北京林业大学,2020.

[9] ZHOU L L, CAI L P, HE Z M, et al. Thinning increases understory diversity and biomass, and improves soil properties without decreasing growth of Chinese fir in Southern China[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2016, 23: 24135-24150.

[10] ZHANG Z C, PAPAİK M J, WANG X G, et al. The effect of tree size, neighborhood competition and environment on tree growth in an old-growth temperate forest[J]. Journal of Plant Ecology, 2017, 10(6):970-980.

[11] 张勇强,李智超,厚凌宇,等.林分密度对杉木人工林下物种多样性和土壤养分的影响[J].土壤学报,2020,57(1):239-250.

[12] 王翰琛,张雄清,张建国,等.杉木人工林不同密度间伐林分生长优势的变化规律分析[J].林业科学研究,2021,34(5):32-38.

[13] 赵铭臻,刘静,邹显花,等.间伐施肥对杉木中龄林生长和材种结构的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2023,47(2):70-78.

[14] 国家林业和草原局.中国森林资源报告(2014—2018)[M].北京:中国林业出版社,2019.

[15] 卢立华,农友,李华,等.保留密度对杉木人工林生长和生物量及经济效益的影响[J].应用生态学报,2020,31(3):717-724.

[16] 范辉华,李莹,汤行昊,等.不同密度杉木林分下套种闽楠的生

长分析[J].森林与环境学报,2020,40(2):184-189.

[17] 盛炜彤.关于我国人工林长期生产力的保持[J].林业科学研究,2018,31(1):1-14.

[18] 刘静,赵铭臻,王利艳,等.间伐保留密度和套种对杉木中龄林材种结构的影响[J].森林与环境学报,2021,41(6):593-600.

[19] 宋重升,张利荣,王有良,等.抚育间伐对人工林生态系统影响的研究进展[J].亚热带农业研究,2020,16(4):279-288.

[20] 陈哲,魏浩亮,周庆营,等.抚育间伐对华北落叶松人工林林分结构的影响[J].中南林业科技大学学报,2022,42(5):54-64.

[21] 沙子舟,范少辉,冯随起,等.不同强度修枝对杉木人工林生长的影响[J].西北林学院学报,2022,37(1):131-136.

[22] 赵中华,惠刚盈.林分结构多样性研究进展[J].林业科学,2020,56(9):143-152.

[23] LIN N, DENG N L, LU D H, et al. Short-term effects of thinning on tree growth and soil nutrients in the middle-aged chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) plantations [J]. Forests, 2023, 14(74). doi: 10.3390/f14010074.

[24] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科技出版社,1978.

[25] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室.森林土壤水分-物理性质的测定:LY/T 1215—1999[S].北京:中国林业科学研究院林业研究所,1999.

[26] 张水松,陈长发,吴克选,等.杉木林间伐强度试验 20 年生长效应的研究[J].林业科学,2005,41(5):56-65.

[27] 许冠军,郑宏,林开敏,等.间伐密度管理模式对杉木大径材生长的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2019,48(6):753-759.

[28] 邓伦秀.杉木人工林林分密度效应及材种结构规律研究[D].北京:中国林业科学研究院,2010.

[29] 李杰茹,党坤良,王先初,等.抚育间伐对秦岭南坡锐齿栎天然次生林生长的影响[J].西北林学院学报,2021,36(1):62-68.

[30] 徐金良,毛玉明,郑成忠,等.抚育间伐对杉木人工林生长及出材量的影响[J].林业科学研究,2014,27(1):99-107.

[31] 张鹏,王新杰,韩金,等.间伐对杉木人工林生长的短期影响[J].东北林业大学学报,2016,44(2):6-10,14.

[32] 江上喜.造林密度对 6 年生杉木幼林生长及林下光环境的影响[J].亚热带农业研究,2022,18(4):223-228.

[33] 谷振军,刘倩,曾纪孟,等.马尾松人工林密度控制对林下植被多样性的影响[J].森林与环境学报,2021,41(5):504-509.

[34] 闫东锋,贺文,杨喜田.栓皮栎人工林灌木层植物多样性的空间分布及其与光环境的关系[J].应用生态学报,2020,31(11):3605-3613.

[35] 刘津铭,刘盛,刘庆忠,等.长白落叶松人工林下草本植物对光环境变化的响应[J].北华大学学报(自然科学版),2018,19(4):446-452.

[36] 陈波兰,吴雨茹,钟欣艺,等.林分密度对云顶山柏木人工林林下物种多样性和生物量的影响[J].四川农业大学学报,2023,41(4):665-672.

[37] 张健.抚育间伐对杉木中龄林林下植被多样性的影响[J].林业勘察设计,2022(1):78-81,84.

[38] 张柳桦,齐锦秋,李婷婷,等.林分密度对新津文峰山马尾松人工林林下物种多样性和生物量的影响[J].生态学报,2019,39(15):5709-5717.

[39] 朱万才,吴瑶,李亚洲,等.不同保留密度对落叶松水曲柳混交林的影响[J].森林工程,2021,37(2):50-56,94.

[40] 汪星星,廖文海,左晓东,等.密度调控对杉木人工林土壤理化性质的影响[J].东北林业大学学报,2023,51(1):82-87.

[41] 胡亚伟,施政乐,刘畅,等.晋西黄土区刺槐林密度对林下植物多样性及土壤理化性质的影响[J].生态学杂志,2023,42(9):2072-2080.

[42] 杨欢,尹春英,唐波,等.川西亚高山针叶林树种云杉和冷杉土壤酸碱性差异及其机制[J].生态学报,2018,38(14):5017-5026.

[43] HARMER R, KERR G, STOKES V, et al. The influence of thinning intensity and bramble control on ground flora development in a mixed broadleaved woodland[J]. Forestry: An International Journal of Forest Research, 2017, 90(2):247-257.

3.3 团花绢野螟成虫触角转录组及化学感受相关基因分析



团花绢野螟成虫触角转录组及 化学感受相关基因分析

董祥¹, 陶瑜¹, 苏钟琪¹, 邓创创¹, 谢雯其¹, 陈志云²,
温秀军¹, 林娜^{1,*}, 马涛^{1,*}

(1. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广州 510642; 2. 中山市林业有害生物防治检疫站, 中山 528043)

摘要:【目的】本研究旨在通过建立团花绢野螟 *Diaphania glauculalis* 成虫触角转录组数据库, 挖掘化学感受相关基因, 为团花绢野螟成虫触角的化学感受机制及绿色防控技术提供理论基础。【方法】使用 Illumina NovaSeq 6000 平台对团花绢野螟成虫触角转录组进行测序, 使用 Trimmomatic 和 Trinity 对测序所得的原始数据进行剪切、组装得到转录组数据; 比对 CDD, KOG, COG, NR, NT, PFAM 和 KEGG 等数据库获得基因注释信息, 筛选鉴定出化学感受相关基因; 使用 TPM (transcripts per million) 评估化学感受相关基因的表达量; 应用最大似然法构建团花绢野螟化学感受相关基因系统发育树。【结果】团花绢野螟雄成虫触角转录组测序获得 52 705 124 条 unigenes, 雌成虫触角转录组测序获得 55 391 610 条 unigenes。通过与 NR 数据库比对注释, 团花绢野螟成虫触角转录组注释 unigenes 共 24 192 条, 其中与亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 的同源序列最多, 有 10 679 条。有 14 313 条 unigenes 被注释到 204 289 条 GO 功能条目, 其中 113 387 条 unigenes 注释到生物学进程, 70 115 条 unigenes 注释到细胞组分, 20 787 条 unigenes 注释到分子功能。有 10 721 条 unigenes 注释到 KOG 数据库 25 个分类的 11 968 功能条目。有 12 892 条 unigenes 被注释到 KEGG 数据库 5 类代谢通路, 归属于 33 个通路, 其中注释到信号转导通路的 unigenes 最多, 有 1 500 条 unigenes, 进而筛选鉴定到 136 个化学感受相关基因, 包括 31 个气味结合蛋白 (odorant-binding protein, OBP) 基因、24 个化学感受蛋白 (chemosensory protein, CSP) 基因、50 个气味受体 (odorant receptor, OR) 基因、20 个离子型受体 (ionotropic receptor, IR) 基因、9 个味觉受体 (gustatory receptor, GR) 基因和 2 个感觉神经元膜蛋白 (sensory neuron membrane protein, SNMP) 基因。【结论】本研究首次构建了团花绢野螟成虫触角转录组数据库, 阐述了化学感受相关基因的种类和数量, 为团花绢野螟化学感受基因功能分析及化学感受机制奠定分子基础, 进而为基于昆虫化学感受反应机制开发新的绿色防控技术提供理论支撑。

关键词: 团花绢野螟; 触角; 转录组; 化学感受相关基因; 生物信息学

中图分类号: Q966 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2024)06-0738-15

Analysis of the adult antennal transcriptome and chemosensory-related genes of *Diaphania glauculalis* (Lepidoptera: Pyralidae)

DONG Xiang¹, TAO Yu¹, SU Zhong-Qi¹, DENG Chuang-Chuang¹, XIE Wen-Qi¹, CHEN Zhi-Yun², WEN Xiu-Jun¹, LIN Na^{1,*}, MA Tao^{1,*} (1. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Forest Disease and Insect Control and Quarantine Station of Zhongshan City, Zhongshan 528043, China)

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31600516)

作者简介: 董祥, 男, 1997 年 12 月生, 安徽宿州人, 硕士研究生, 研究方向为森林昆虫学, E-mail: dongxiang2006@163.com

* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: nalin@scau.edu.cn; matao@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-11-29; 接受日期 Accepted: 2024-04-07

Abstract: 【Aim】 This study aims to establish the adult antennal transcriptome database of *Diaphania glauculalis* and mine chemosensory-related genes, so as to provide a theoretical basis for the chemosensory mechanism of adult antenna of *D. glauculalis*, and green prevention and control technology. 【Methods】 The antennal transcriptome of *D. glauculalis* adults was sequenced using an Illumina NovaSeq 6000 platform. The raw data were edited using Trimmomatic and Trinity and assembled to obtain transcriptome data. The transcriptome data were compared to CDD, KOG, COG, NR, NT, PFAM and KEGG databases to obtain gene annotation information and identify the chemosensory-related genes. The expression levels of the chemosensory-related genes were assessed using TPM (transcripts per million). The phylogenetic tree of the chemosensory-related genes of *D. glauculalis* was constructed using the maximum likelihood method. 【Results】 A total of 52 705 124 unigenes were obtained from the male adult antennal transcriptome of *D. glauculalis* and 55 391 610 unigenes from the female adult antennal transcriptome. By comparing the annotation with NR database, 24 192 unigenes were annotated, among them, the most (10 679) homologous sequences were from *Ostrinia furnacalis*. There were 14 313 unigenes annotated to 204 289 GO functional entries, including 113 387 unigenes annotated to biological processes, 70 115 unigenes annotated to cellular components, and 20 787 unigenes annotated to molecular functions. There were 10 721 unigenes annotated to 11 968 functional entries in 25 classifications of the KOG database. There were 12 892 unigenes annotated to five categories of metabolic pathways in the KEGG database, attributed to 33 pathways, with the largest number of unigenes (1 500) annotated to signal transduction pathways. A total of 136 chemosensory-related genes were identified, including 31 odorant-binding protein (OBP) genes, 24 chemosensory protein (CSP) genes, 50 odor receptor (OR) genes, 20 ionotropic receptor (IR) genes, nine gustatory receptor (GR) genes and two sensory neuron membrane protein (SNMP) genes. 【Conclusion】 In this study, we constructed the antennal transcriptome database of *D. glauculalis* adults for the first time, and elaborated the types and number of chemosensory-related genes. This study lays the molecular foundation for the functional analysis of chemosensory genes of *D. glauculalis* and olfactory sensory mechanism, and then provides theoretical support for the development of new green control technologies based on insect olfactory sensory mechanism.

Key words: *Diaphania glauculalis*; antenna; transcriptome; chemosensory-related genes; bioinformatics

团花 *Neolamarchia cadamba*, 又名黄梁木, 是茜草科 (Rubiaceae) 高大乔木, 是亚洲热带速生型树种, 10 年左右即可成材, 很适合速成林的要求, 被誉为宝石树、奇迹树, 具有较高的开发价值和应用前景 (黄高凤等, 2021)。团花绢野螟 *Diaphania glauculalis* 隶属螟蛾科 (Pyralidae) 野螟亚科 (Pyraustinae), 分布于亚洲热带地区, 国内主要分布在华南地区, 是团花的专食性害虫, 幼虫吐丝卷曲叶片, 隐蔽其中啃食叶片的叶肉组织留下网状叶脉, 使枝叶枯黄, 在太阳光下呈烧焦状, 幼虫喜蛀食嫩梢致使团花顶梢枯死, 危害严重时常使团花幼树死亡 (马涛等, 2015)。

化学感受机制对昆虫的生存和繁殖起着至关重要的作用, 灵敏的化学感觉系统能够帮助昆虫寻找食物、配偶、选择产卵地点和避开天敌 (Field *et al.*,

2000)。触角作为昆虫用来感知和识别外界环境重要组成部分, 其上含有大量与化学感受相关的蛋白质, 这些化学感受相关蛋白质主要包括气味结合蛋白 (odorant-binding protein, OBP)、气味受体 (odorant receptor, OR)、离子型受体 (ionotropic receptor, IR)、味觉受体 (gustatory receptor, GR)、化学感受蛋白 (chemosensory protein, CSP) 以及昆虫感觉神经元膜蛋白 (sensory neuron membrane proteins, SNMPs) (Leal, 2013)。近些年, 随着高通量测序技术的发展, 通过生物信息学方法基于昆虫触角转录组数据鉴定化学感受相关蛋白的研究已广泛展开, 多种螟蛾科昆虫的化学感受蛋白相继报道, 像黄野螟 *Heortia vitessoides* 触角转录组数据中筛选定了 124 个化学感受相关基因 (李资聪等, 2021); 印度谷螟 *Plodia interpunctella* 触角转录组数据中筛选定

了 172 个潜在的化学感受相关基因 (Li *et al.*, 2023); 对大蜡螟 *Galleria mellonella* 触角进行转录组测序, 鉴定得到 226 个嗅觉相关基因, 包括 52 个 OBP 基因、36 个 CSP 基因、80 个 OR 基因、56 个 IR 基因和 2 个 SNMP 基因 (杨爽, 2022)。这些化学感受基因家族在昆虫化学感受过程中起到了至关重要的作用, 可作为害虫防治的潜在靶标。

目前, 关于团花绢野螟性信息素活性组分已有报道 (Ma *et al.*, 2015), 但是识别这些性信息素的受体基因并不清楚, 因此, 团花绢野螟触角化学感受相关基因的鉴定将有助于进一步研究化学感受机制及分子基础。通过生物技术手段沉默或过表达相关基因, 来调节团花绢野螟间的分子化学关联, 有助于推动基于化学感受反应机制开发新的绿色防控技术。为此, 本研究使用 Illumina NovaSeq 6000 平台对团花绢野螟成虫触角进行了转录组测序, 基于团花绢野螟触角的转录组数据利用生物信息学方法鉴定出 OBP, OR, CSP, IR, GR 和 SNMP 等化学感受相关蛋白家族中的具体成员, 这些结果将有助于开展团花绢野螟的化学感受机制的研究, 为进一步探索团花绢野螟的化学感受系统奠定理论支撑和分子基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

团花绢野螟供试虫源采自华南农业大学教学科研基地 (增城宁西, 23.21°N, 113.63°E), 在室内进行继代饲养, 到实验时已经饲养至 3 代。饲养条件: 将幼虫以每 50 头分装在养虫盒置于人工智能气候箱内 [温度 (25 ± 1) °C, 相对湿度 75% ± 5%, 光周期 12L:12D], 每天定时清理老叶和虫粪, 并添加新鲜的团花叶片。成虫羽化后, 收集羽化 1 日龄雌、雄成虫各 200 头, 体视镜下切取其触角放入冻存管中过 15 min 液氮后均置于 -80 °C 冰箱保存待用。

1.2 总 RNA 提取及质量检测及文库构建及测序

采用 Trizol 方法分别提取团花绢野螟雌雄成虫 (雌雄各 200 头) 触角 RNA。使用 Qubit2.0 检测 RNA 浓度和质量, 琼脂糖凝胶检测 RNA 完整性以及基因组污染情况, 以保证样品质量。

1.3 文库构建及测序

利用信使 RNA 3'端 polyA 结构及相关分子生物学技术, 分别对团花绢野螟雌雄成虫样本完整总 RNA 进行 mRNA 分离, 片段化、双链 cDNA 合成、

cDNA 片段化修饰、磁珠纯化及片段化分选、文库扩增等处理。经过检测和质控后, 通过 Illumina NovaSeq 6000 进行测序。文库构建及测序由生工生物工程 (上海) 股份有限公司协助完成。

1.4 转录组测序数据组装及评估

对测序原始数据通过 FastQC 进行质量评估。去除低质量序列, 得到相对准确的有效读段。并随机从有效读段中抽取 10 000 条序列与 NCBI NT 数据库进行 blastn 比对, 取 $e \leq 1 \times 10^{-10}$ 并且相似度 > 90%, coverage > 80% 的比对结果, 计算其物种分布, 进行污染检测。之后使用 Trinity 将样本进行混合拼接, 组装成转录本 transcript, 对 Trinity 拼装得到的 transcript 去冗余, 取每个转录本聚类中最长的转录本作为 unigene, 以此作为后续分析的参考序列。

1.5 转录组数据分析及化学感受相关基因鉴定与分析

利用 NCBI Blast + 将组装得到的 unigenes 与 CDD, KOG, COG, NR, NT 和 PFAM 等多个数据库进行比对, 得到其功能注释信息。利用 KAAS 得到转录组数据 KEGG 注释信息。通过功能注释结果筛选团花绢野螟的候选化学感受基因, 并使用 NCBI (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) Blastx 程序对注释结果进一步确认。使用 pfam (<https://www.ebi.ac.uk/interpro>) 和 NCBI-CDD (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/cdd>) 验证所推定的化学感受相关基因是否含有对应的结构域, 最终获得每个基因家族的候选基因 (Yang *et al.*, 2020; Mistry *et al.*, 2021)。使用 ORF Finder (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/orffinder>) 预测候选基因的 ORF。使用 DeepTMHMM (DTU/DeepTMHMM-BioLib) 预测化学感受相关基因的跨膜结构域。使用 Salmon 计算基因的表达量, 并使用 TPM (transcripts per million) 对 unigenes 的表达量进行归一化处理, 比较候选化学感受相关基因在团花绢野螟雌雄成虫样本中的表达量 (Patro *et al.*, 2017)。

1.6 化学感受基因家族系统进化树的构建

从 NCBI 数据库 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) 中下载不同物种的化学感受相关基因的氨基酸序列用来构建系统进化树, 包括家蚕 *Bombyx mori*、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*、桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis*、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、烟青虫 *Helicoverpa assulta* 以及黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster*。通过 MEGA.11 进行 ClustalW 进行多

序列对比分析,使用最大似然法(maximum likelihood method)进行1 000次重复构建其系统发育树,使用Figtree和Photoshop将构建的进化树可视化(Tamposis *et al.*, 2022)。使用团花绢野螟31条、家蚕22条、亚洲玉米螟23条、桃蛀螟8条、稻纵卷叶螟3条OBP的氨基酸序列参与构建OBP系统进化树,构建CSP系统进化树分别使用团花绢野螟24条、家蚕15条、亚洲玉米螟18条、桃蛀螟14条、稻纵卷叶螟32条CSP的氨基酸序列。构建IR氨基酸序列构建的系统进化树分别使用团花绢野螟20条、家蚕17条、亚洲玉米螟19条、桃蛀螟16条、稻纵卷叶螟20条以及黑腹果蝇8条IR氨基酸序列。构建OR系统进化树使用团花绢野螟50条、家蚕44条、亚洲玉米螟9条、桃蛀螟56条、稻纵卷叶螟24条OR氨基酸序列。构建GR系统进化树使用团花绢野螟9条、家蚕37条、烟青虫18条以及棉铃虫13条GR氨基酸序列。构建SNMP系统进化树分别使用了团花绢野螟、家蚕、亚洲玉米螟、桃蛀螟、稻纵卷叶螟各2条SNMP氨基酸序列。

2 结果

2.1 测序结果及质量评估

团花绢野螟成虫触角转录组雄性样本测序得到原始数据18.7 GB,雌性样本得到原始数据19.6 GB。经质控,雄成虫样本获得52 705 124条读段,雌成虫样本获得55 391 610条读段。两样本Q10碱基比例均达100%,雄雌成虫样本Q20碱基比例分别为98.47%和98.52%,Q30碱基比例分别为94.54%和94.71%,GC含量比例分别为47.41%和49.94%;共获得80 093条unigenes,总长度为49 888 890 bp,平均长度622.89 bp,长度 ≥ 500 bp有27 287条,长度 $\geq 1 000$ bp有11 483条,N50的长度为886 bp,N90的长度为260 bp,组装完整性较高,以此作为后续分析参考序列。原始数据已上传至NCBI-RSA数据库中登录号为PRJNA978985。

2.2 转录组基因功能注释

对测序组装获得的80 093条unigenes与多个数据库的比对进行功能注释,共得到92 942条注释信息,其中在NR数据库注释到unigenes最多,为24 192条,占30.2%。KEGG数据库中注释的unigenes最少,只有6 535条,占8.16%。CDD, PFAM, KOG, GO和NT数据库中分别注释了7 349条(占9.18%)、8 485条(占10.59%)、10 721条

(占13.39%)、14 313条(占17.87%)和21 347条(占26.65%)。对注释结果做比较韦恩图(图1),结果显示有4 566条unigenes同时注释到NR, KEGG和KOG三大数据库。

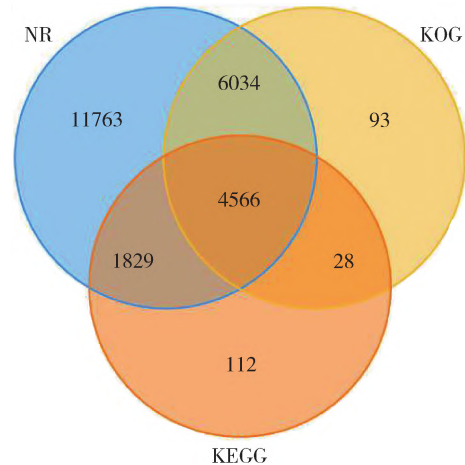


图1 团花绢野螟成虫触角转录组中基因功能数据库注释韦恩图

Fig. 1 Venn diagram of the gene function annotation of the antennal transcriptome of *Diaphania glaucalis* adults

通过与NR数据库对比注释,注释到其他物种的基因序列共24 192条,与团花绢野螟同源序列最多的物种是亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*,有10 679条同源序列注释,占44.14%。其他依次为二化螟 *Chilo suppressalis*(注释2 462条,占10.18%)、大蜡螟(注释1 084条,占4.48%)、棉铃虫(注释724条,占2.99%)、脐橙螟 *Amyelois transitella*(注释636条,占2.63%)、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*(注释593条,占2.45%)、烟草天蛾 *Manduca sexta*(注释527条,占2.18%)、粉纹夜蛾 *Trichoplusia ni*(注释505条,占2.09%)、木虎蛾 *Arctia plantaginis*(注释486条,占2.01%)、绿棉铃虫 *Heliothis virescens*(注释450条,占1.86%),与其他物种同源的注释到6 046条,占NR数据库总注释基因的25%(图2)。

基于GO数据库对团花绢野螟触角转录组进行功能分类统计(图3),有14 313条unigenes得到三大类204 289条功能注释,分别为参与生物学进程(biological process)的有113 387条unigenes,参与细胞组分(cellular component)的70 115条unigenes,参与分子功能(molecular function)的20 787条unigenes。参与分子功能的共有19个分支,其中参与结合(binding)的最多,为8 609条unigenes,其次

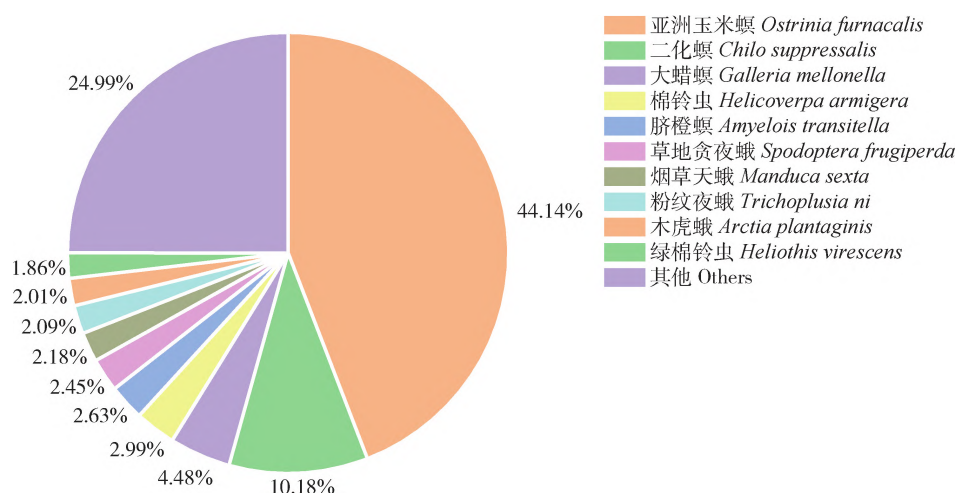


图 2 团花绢野螟成虫触角转录组 unigenes 在 NR 数据库中的物种分布

Fig. 2 Species distribution of unigenes in the antennal transcriptome of *Diaphania glauculalis* adults in the NR database

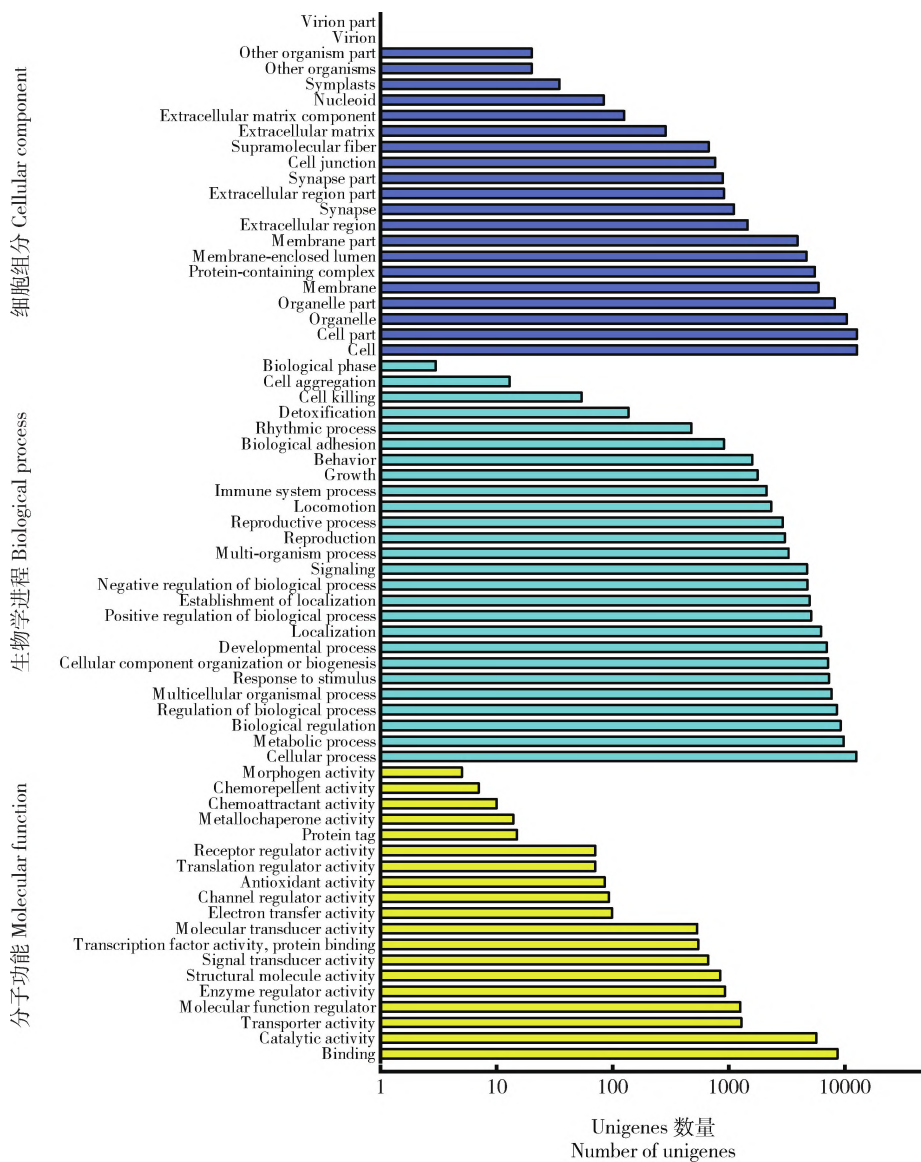


图 3 团花绢野螟成虫触角转录组 unigenes GO 功能注释

Fig. 3 GO functional annotations of unigenes in the antennal transcriptome of *Diaphania glauculalis* adults

为参与催化活性 (catalytic activity) 的 (5 658 条 unigenes)、转运体活性 (transporter activity) 的 (1 286 条 unigenes) 和分子功能调节剂 (molecular functional regulator) 的 (1 250 条 unigenes), 其余分支均低于 1 000 条。参与生物学进程的有 26 个分支, 其中参与细胞进程 (cellular process) 的有 12 502 条 unigenes, 其次为参与代谢过程 (metabolic process) 的 (9 195 条 unigenes), 参与其余分支的 unigenes 均低于 9 000 条 unigenes。参与细胞组分的有 22 个分支, 其中参与细胞 (cell) 和细胞部分 (cell part) 的 unigenes 最多 (均为 12 600 条), 其次为参与细胞器

(organelle) 的 (10 376 条 unigenes), 参与其余分支的均少于 10 000 条 unigenes。

将 unigenes 导入 KOG 进行分析, 有 10 721 条基因得到注释获得 25 个分类 11 968 条注释信息 (图 4)。其中注释基因最多的组为 T 组信号传导机制 (signal transduction mechanisms) (1 659 条), 其次为 R 组仅一般功能预测 (general function prediction only) (1 506 条)、O 组翻译后修饰、蛋白质周转、分子伴侣 (posttranslational modification, protein turnover, chaperones) (956 条)、K 组转录 (transcription) (903 条), 剩余分组所注释基因均低于 900 条。

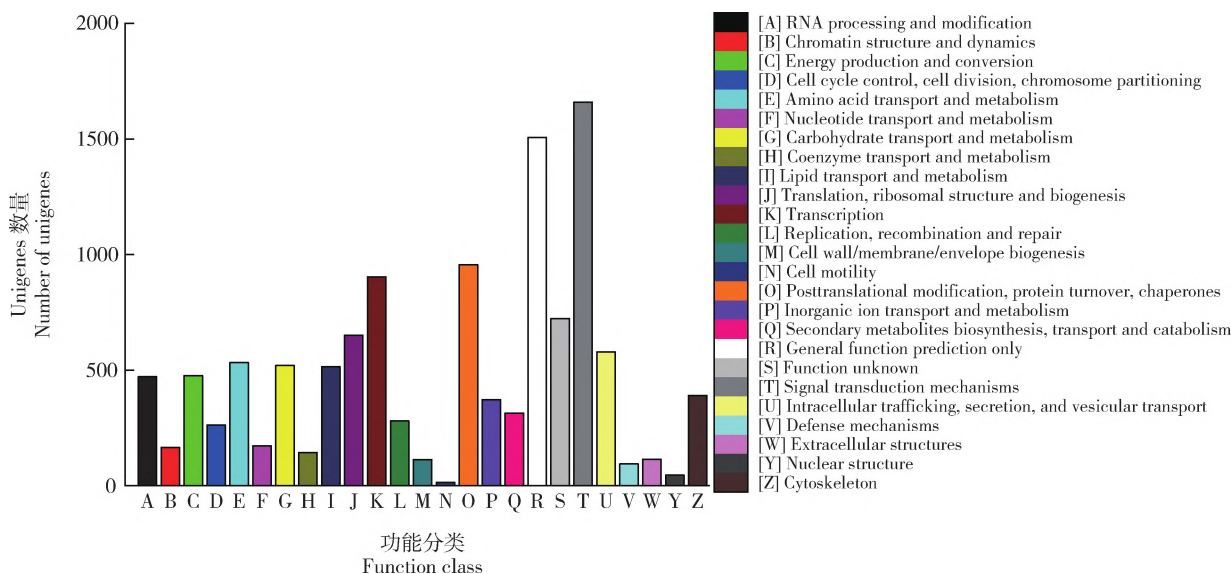


图 4 团花绢野螟成虫触角转录组 unigenes KOG 功能分类

Fig. 4 KOG functional classification of unigenes in the antennal transcriptome of *Diaphania glauculalis* adults

KEGG 代谢通路分类结果显示, 有 12 892 条基因参与了 5 类代谢通路, 归属于 33 个通路 (图 5), 分别为有机体系统 (organismal system) 3 179 条, 新陈代谢 (metabolism) 4 126 条, 遗传信息处理 (genetic information processing) 1 993 条, 环境信息处理 (environmental information processing) 1 785 条, 细胞进程 (cellular processes) 1 881 条。其中注释基因超过 1 000 条的代谢通路有一个为信号转导 (signal transduction) 1 500 条, 包含 500 ~ 1 000 条基因的代谢通路 (metabolism pathway) 有 7 个依次为: 翻译 (translation) 857 条, 内分泌系统 (endocrine system) 778 条, 运输和分解代谢 (transport and catabolism) 754 条, 碳水化合物代谢 (carbohydrate metabolism) 749 条, 折叠、分类和降解 (folding, sorting and degradation) 619 条, 脂类代谢 (lipid metabolism) 560 条, 免疫系统 (immune system) 542

条, 其余代谢通路所注释的基因均低于 500 条。

2.3 OBP 家族基因

在团花绢野螟触角转录组中一共鉴定了 31 个 OBP 基因, 包括 1 个普通气味结合蛋白 GOBP 基因和 5 个信息素结合蛋白基因, 以及其他 26 个其他 OBP 基因。分别命名为 *DglaOBP1* ~ *31* (GenBank 登录号分别为 OR797191 ~ OR797221), 其中 7 个 OBP 基因获得全长, 其 ORF 编码 109 ~ 189 个氨基酸。根据进化分析, *DglaOBP12*, *DglaOBP17*, *DglaOBP23* 和 *DglaOBP24* 属于 Plus-C 亚家族, *DglaOBP7*, *DglaOBP15*, *DglaOBP16*, *DglaOBP19* 和 *DglaOBP30* 属于 Min-C 亚家族, 其余均属于 Class-C 亚家族 (图 6)。根据 TPM 值分析, *DglaOBP5*, *DglaOBP7*, *DglaOBP13*, *DglaOBP14* 和 *DglaOBP18* 均在雌成虫中高表达, 且表达量为雄成虫中的 2 倍以上, *DglaOBP2*, *DglaOBP10*, *DglaOBP20*, *DglaOBP23*

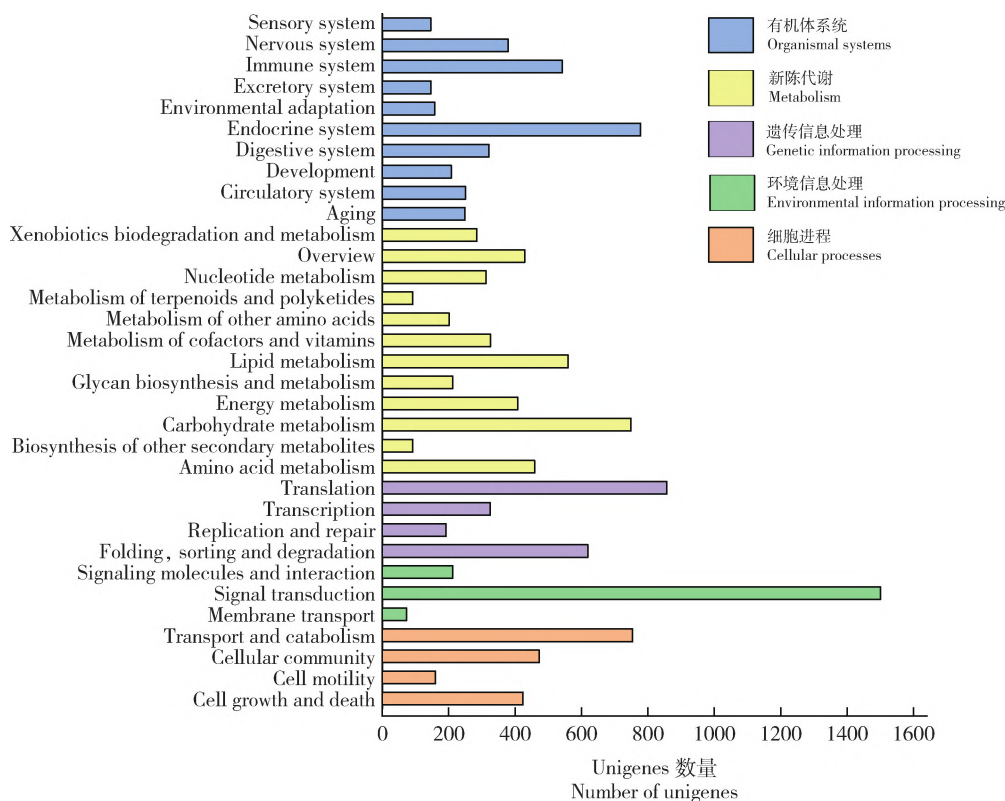


图5 团花绢野螟成虫触角转录组 unigenes 的 KEGG 代谢通路富集

Fig. 5 KEGG metabolic pathway enrichment of unigenes in the antennal transcriptome of *Diaphania glaucalis* adults

和 *DglaOBP27* 则在雄成虫中具有明显的偏向性表达。

2.4 CSP 家族基因

共计鉴定了 24 个 CSP 基因, 分别命名 *DglaCSP1* – 24 (GenBank 登录号分别为 OR751334 – OR751357), 其中共有 9 个全长序列且均具有 4 个保守的半胱氨酸结构, 其 ORF 编码 108 ~ 185 个氨基酸。系统进化分析发现, 所有的 CSP 均至少与鳞翅目的家蚕、亚洲玉米螟、桃蛀螟、稻纵卷叶螟等的 CSP 聚在同一分支上 (图 7)。根据 TPM 值分析 *DglaCSP13* 在雌雄性两样本中均显著表达且 TPM 值均大于 7 000, *DglaCSP6* 和 *DglaCSP9* 在雄成虫中高表达且 TPM 值为雌成虫中的 2 倍以上, *DglaCSP17* 和 *DglaCSP21* 则在雌成虫中具有明显的偏向性表达。

2.5 IR 家族基因

在团花绢野螟成虫触角转录组中一共鉴定了 20 个 IR 基因, 分别命名为 *DglaIR1* – 20 (GenBank 登录号分别为 PP216173 – PP216192), 其中 5 个 *DglaIR* 基因获得了全长序列, 且 ORF 编码 384 ~ 1 091 个氨基酸。跨膜结构域 (transmembrane domain, TMD) 数量为 2 ~ 3 个, *DglaIR1*, *DglaIR2*,

DglaIR3 和 *DglaIR10* 均有 3 个跨膜结构域, *DglaIR11* 有 2 个跨膜结构域。系统进化分析表明, 20 个 *DglaIR* 被归类到鳞翅目 IR 的三大分支上, 其中 *DglaIR1* 被归类到 IR8a 分支, *DglaIR8* 被归类到 IR25a 分支, *DglaIR2*, *DglaIR4*, *DglaIR5*, *DglaIR6*, *DglaIR7*, *DglaIR9*, *DglaIR12*, *DglaIR16*, *DglaIR18*, *DglaIR19* 和 *DglaIR20* 被归类到 iGluR 分支上, 其余 7 个 *DglaIR* 被分别聚类到 IR41a, IR87a, IR75q, IR75p, IR76b 以及 IR93a 分支 (图 8)。TPM 值表明, *DglaIR19* 在雄成虫样本中不表达, 而其他 *DglaIR* 基因表达量大致相同。

2.6 OR 家族基因

本研究一共鉴定了 51 个 OR 基因, 分别命名为 *DglaOR1* – 51 (GenBank 登录号分别为 OR797222 – OR797272), 其中 *DglaOR40* 由于序列过短排除, 因此在团花绢野螟成虫触角转录组最终筛选鉴定得到 50 个 OR 基因, 共有 26 个全长序列, 其中 *DglaOR25* 不含跨膜结构域, 其余全长序列均含有 1 ~ 8 个跨膜结构域, 其 ORF 编码 68 ~ 467 个氨基酸。进化分析表明, 所有的 *DglaOR* 均与鳞翅目的家蚕、亚洲玉米螟、桃蛀螟、稻纵卷叶螟等的 OR 同源蛋白聚在同一分支上, 其中 *DglaOR28* 被聚类到气味受体共受体

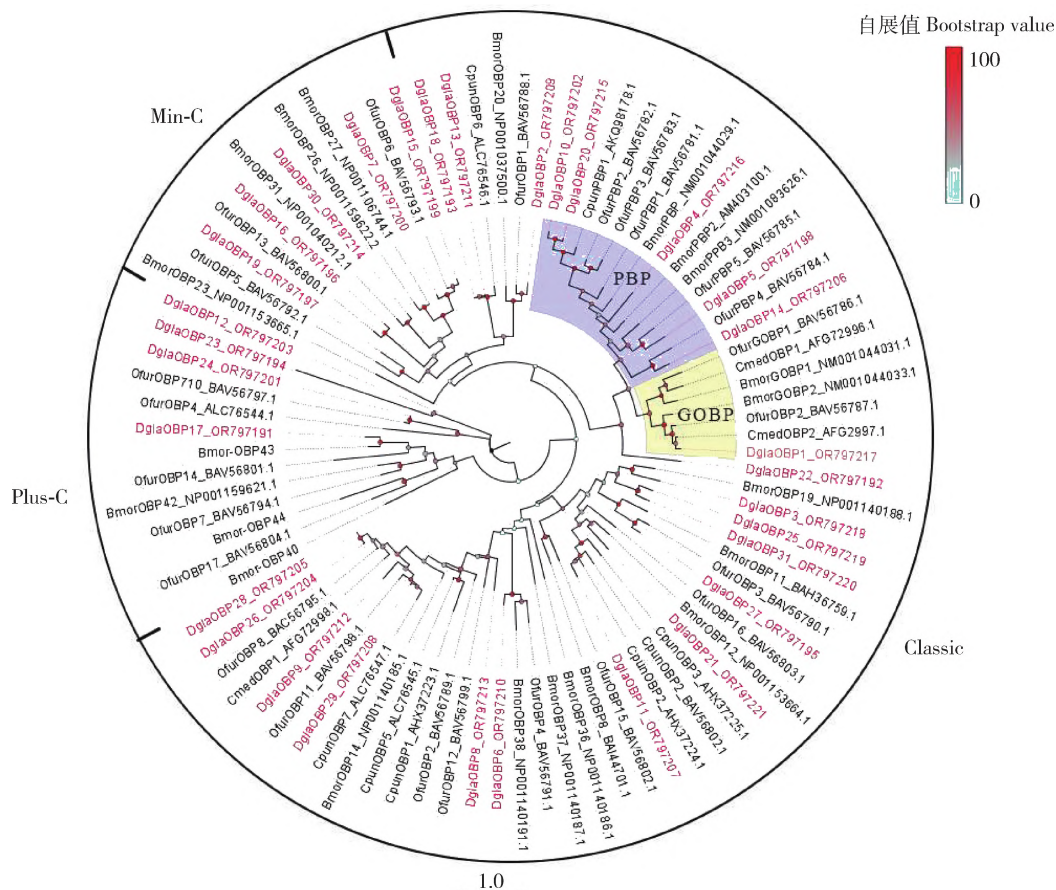


图6 基于氨基酸序列构建的团花绢野螟及其他鳞翅目昆虫气味结合蛋白(OBP)系统进化树(最大似然法)

Fig. 6 Phylogenetic tree of odorant-binding proteins (OBPs) from *Diaphania glaucalis* and other lepidopteran insects constructed based on amino acid sequence (maximum likelihood method)

OBP 来源物种 Origin species of OBPs: DglaOBP: 团花绢野螟 *D. glaucalis*; BmorOBP: 家蚕 *Bombyx mori*; OfurOBP: 亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*; CpunOBP: 桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis*; CmedOBP: 稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*. 标尺示遗传距离。下同。The scale bar indicates the genetic distance. The same below.

分支(odorant receptor co-receptor, Orco), DglaOR1, DglaOR13, DglaOR19, DglaOR27, DglaOR36 和 DglaOR37 被聚集到性信息素受体分支(phomone receptor, PR)(图9)。根据 TPM 值分析, DglaOR19 和 DglaOR37 在雌成虫中不表达, DglaOR1 和 DglaOR27 在雄成虫中高表达,其表达量显著高于雌成虫样本中的。

2.7 GR 家族基因

本研究共鉴定了 9 个 GR 基因,分别命名为 DglaGR1 - 9 (GenBank 登录号分别为 PP255799 - PP255807),其中 DglaGR1 - 4 为全长序列,其 ORF 编码 357 ~ 507 个氨基酸。根据系统发育进化树分析表明 9 个 GR 蛋白被聚集到 GR 的 4 个分支中,其中 DglaGR3, DglaGR8 和 DglaGR9 具有同源性并聚集到苦味受体(biter receptors)分支中,DglaGR1 被聚集到果糖受体(fructose receptors)分支中, DglaGR2, DglaGR4, DglaGR6 以及 DglaGR7 具有同

源性聚集到 CO₂ 受体(CO₂ receptors)分支中, DglaGR5 聚集到糖受体(sugar receptors)分支中(图 10)。根据 TPM 值分析, GR 基因的表达量均较低,其中 DglaGR2 在雄成虫中较雌成虫中高表达, DglaGR8 在雌成虫中较雄性样本中高表达。

2.8 SNMP 家族基因

共鉴定了 2 个 SNMP 基因,分别命名 DglaSNMP1 和 DglaSNMP2 (GenBank 登录号分别为 OR819868 和 OR819868),其 ORF 分别编码 271 和 241 个氨基酸。从系统进化分析表明 DglaSNMP1 和 DglaSNMP2 分别归属于 SNMP 的两个亚族(图 11)。从 TPM 值可知团花绢野螟雌雄成虫中 DglaSNMP2 的表达量均显著高于 DglaSNMP1 的表达量。

3 讨论

本研究通过 Illumina NovaSeq 6000 平台对团花

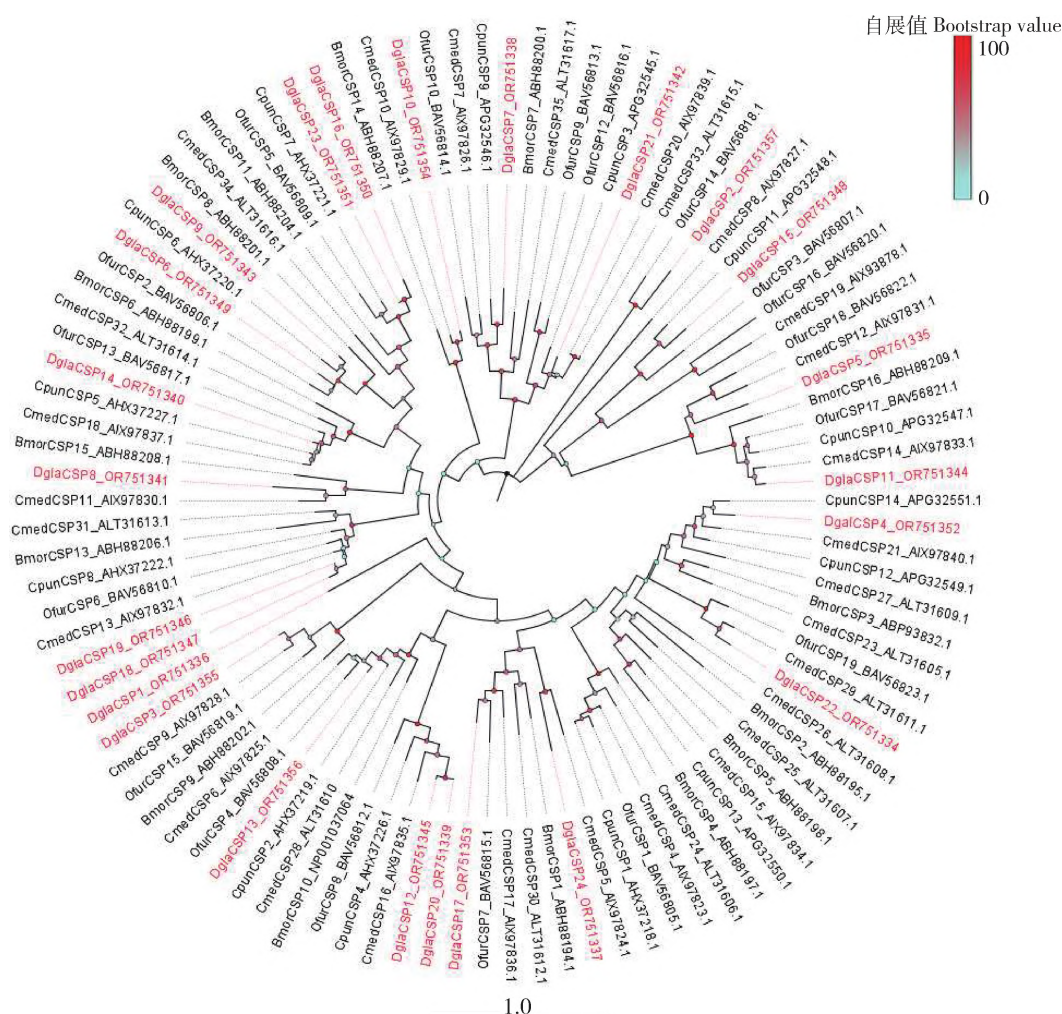


图7 基于氨基酸序列构建的团花绢野螟及其他鳞翅目昆虫化学感受蛋白(CSP)系统进化树(最大似然法)

Fig. 7 Phylogenetic tree of chemosensory proteins (CSPs) from *Diaphania glaucalis* and other lepidopteran insects constructed based on amino acid sequence (maximum likelihood method)

CSP来源物种 Origin species of CSPs: DglaCSP: 团花绢野螟 *D. glaucalis*; BmorCSP: 家蚕 *Bombyx mori*; OfurCSP: 亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*; CpunCSP: 桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis*; CmedCSP: 稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*.

绢野螟成虫触角转录组进行测序,经过组装与分析得到 80 093 条 unigenes, N50 的长度为 886 bp, Q30 碱基比例分别为 94.54% (雄) 和 94.71% (雌), GC 含量比例分别为 47.41% (雄) 和 49.94% (雌), 数据质量较好保证了团花绢野螟成虫触角转录组数据分析和化学感受相关基因发掘的准确性 (Yandell and Ence, 2012)。

将获得转录组数据在各大数据库进行数据对比, 80 093 条 unigenes 共得到 92 942 条注释信息。基于 NR 数据库的注释结果, 团花绢野螟与同属螟蛾科的亚洲玉米螟同源序列最多 (图 2), 对比到 10 679 条同源序列, 占所注释基因的 44.14%。与前人研究结果一致即物种亲缘关系相近, 其相似蛋白序列较多 (杨雪娇等, 2020)。基于 GO 数据库进

行基因功能注释, 按功能可分为三大类, 分别参与生物学进程、细胞组分和分子功能 (图 3)。除细胞组分和细胞进程外, 参与代谢过程和生物调节的 unigenes 最多, 同时基于 KOG 数据库功能分类的结果中信号传导机制所注释基因最多 (图 4), KEGG 数据库注释参与最多的代谢通路为信号转导 (图 5), 因此推测团花绢野螟触角中含有大量通过化学信号转导调控昆虫行为的蛋白。

本研究共从团花绢野螟成虫触角转录组中鉴定出 137 个化学感受相关基因, 包括 31 个 OBP 基因、24 个 CSP 基因、50 个 OR 基因、20 个 IR 基因、9 个 GR 基因以及 2 个 SNMP 基因。OBP 可以结合、溶解和运输气味信息素、植物挥发物, 穿过水性触角淋巴液, 是昆虫化学感受反应体系中发生的第一步

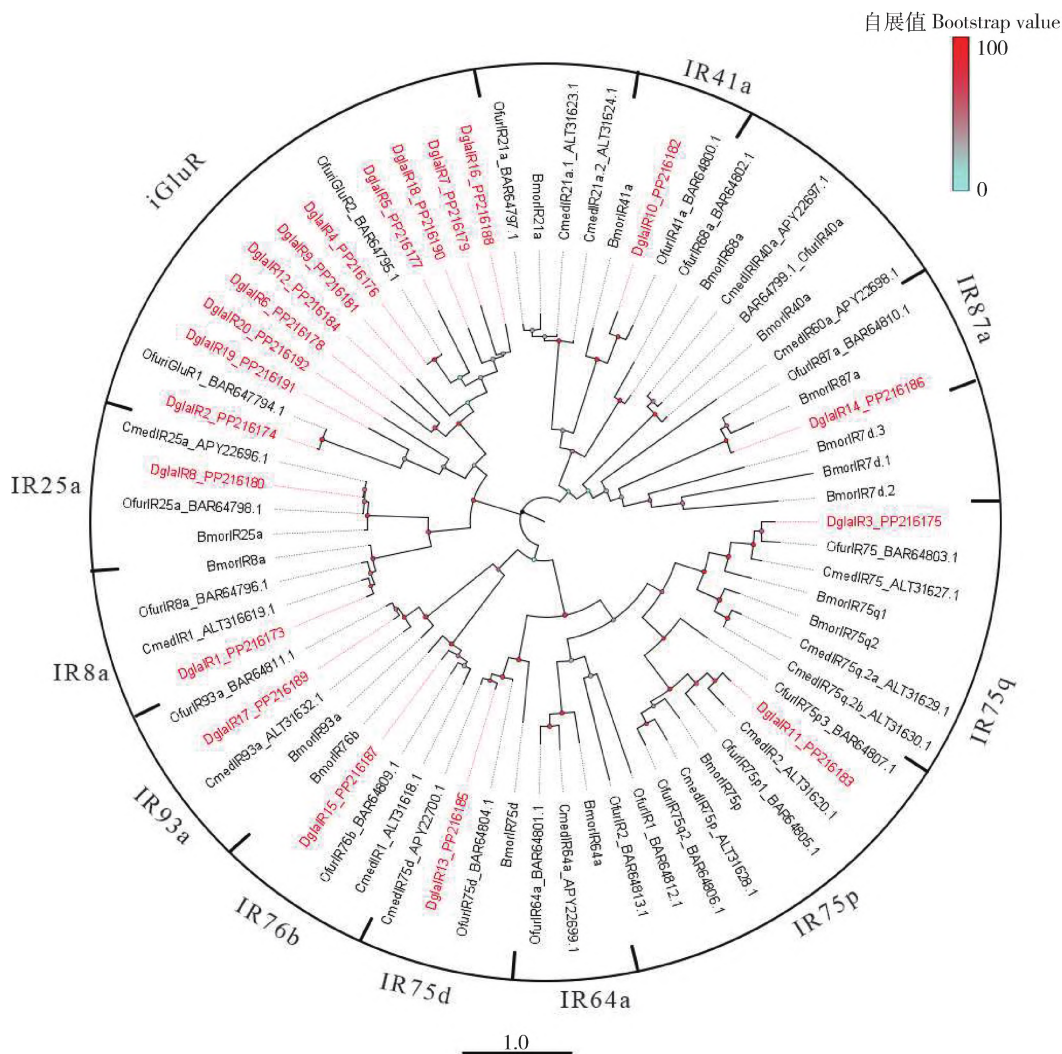


图 8 基于氨基酸序列构建的团花绢野螟及其他鳞翅目昆虫离子型受体 (IR) 系统进化树 (最大似然法)
Fig. 8 Phylogenetic tree of ionotropic receptors (IRs) from *Diaphania glaucalis* and other lepidopteran insects constructed based on amino acid sequence (maximum likelihood method)

IR 来源物种 Origin species of IRs: DglaIR: 团花绢野螟 *D. glaucalis*; BmorIR: 家蚕 *Bombyx mori*; OfurIR: 亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*; CpunIR: 桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis*; CmedIR: 稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*; DmelIR: 黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster*.

生化反应(Rihani *et al.*, 2021; 吴帆等, 2021)。鳞翅目昆虫的 OBP 根据序列特征的不同可被分为 3 类: 一般气味结合蛋白 (general odorant-binding proteins, GOBPs), 信息素结合蛋白 (pheromone binding proteins, PBP) 和其他 OBP。其中, PBP 在许多物种中被广泛证明用于信息素结合 (Du and Prestwich, 1995; Yasukochi *et al.*, 2018); GOBP 被认为用于结合广泛的一般气味, 如植物挥发物, 但对信息素的特异性低于 PBP (Zhang *et al.*, 2014; Zhu *et al.*, 2022)。在团花绢野螟成虫触角转录组数据中鉴定出的 31 个 OBP 基因分别命名为 *DglaOBP1*–*31*, 其中 5 个 PBP 基因分别为 *DglaOBP4*, *DglaOBP5*, *DglaOBP10*, *DglaOBP14* 和 *DglaOBP20*, 1 个 GOBP

基因(*DglaOBP1*), 其中 PBP 在雄成虫中具有明显的偏向性表达。在不同的鳞翅目昆虫中 OBP 存在的数量并不相同, 本研究鉴定出的团花绢野螟 OBP 基因数量略少于家蚕中的 (44 个), 斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 的 38 个 OBP 基因及棉铃虫的 34 个 OBP 基因 (Gong *et al.*, 2009; Gu *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015), 其数量偏少原因可能是因为 OBP 基因存在于团花绢野螟的其他部位, 而不仅仅存在于触角上 (郑海霞等, 2018; Wu *et al.*, 2021)。

CSP 与 OBP 同是可溶性蛋白家族, 但与 OBP 相比, CSP 更适合结合和运输大分子物质 (Zhu *et al.*, 2016), 两者存在功能互补或代偿功能 (陈俊龙, 2019)。本研究共鉴定 24 个 CSP, 聚类到各个分支

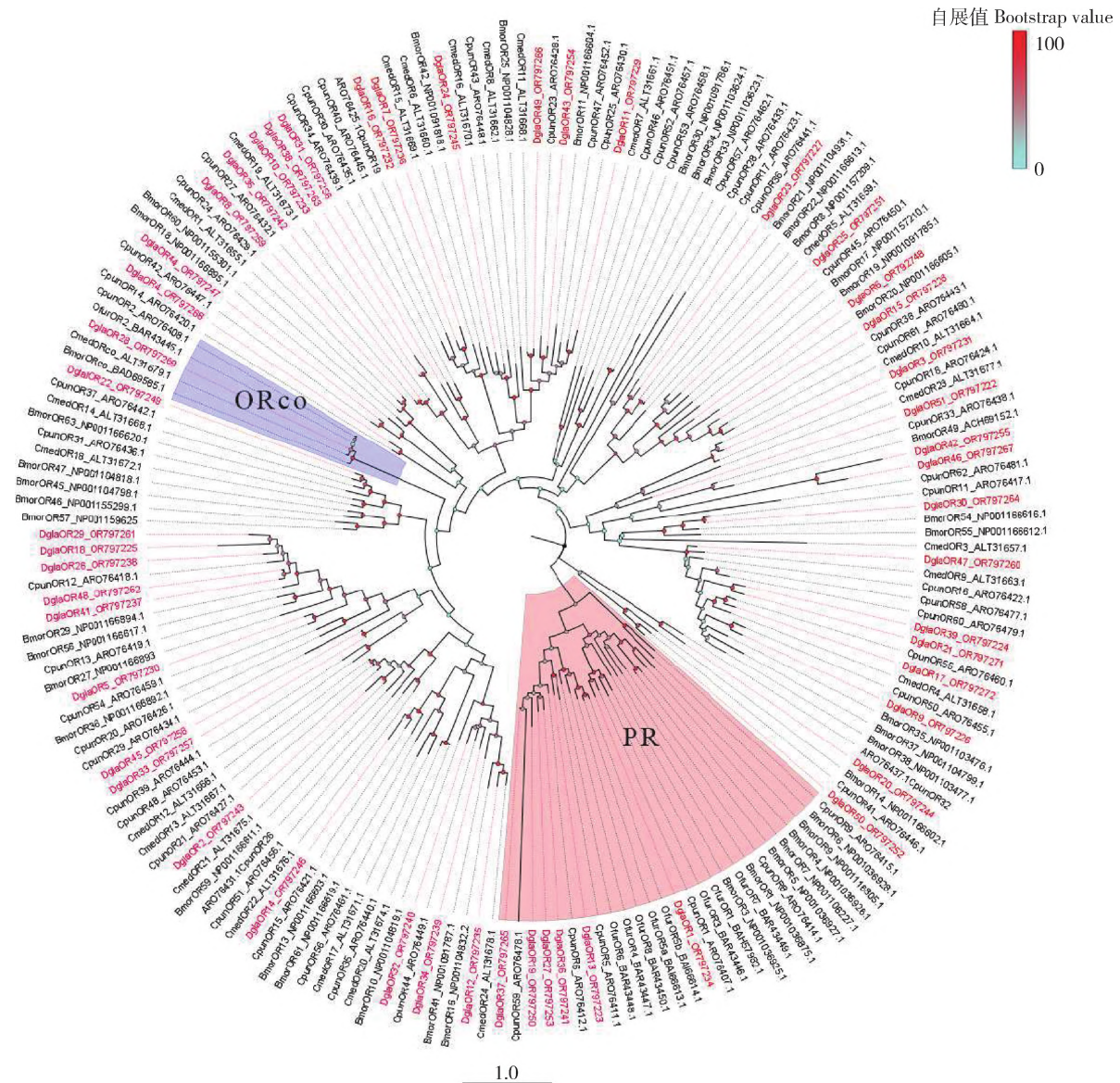


图9 基于氨基酸序列构建的团花绢野螟及其他鳞翅目昆虫气味受体(OR)系统进化树(最大似然法)

Fig. 9 Phylogenetic tree of odorant receptors (ORs) from *Diaphania glaucalis* and other lepidopteran insects constructed based on amino acid sequence (maximum likelihood method)

OR 来源物种 Origin species of ORs; DglaOR: 团花绢野螟 *D. glaucalis*; BmorOR: 家蚕 *Bombyx mori*; OfurOR: 亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*; CpunOR: 桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis*; CmedOR: 稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*.

中(图7),这一发现与前人研究 CSP 在化学通讯中具有广泛功能的假设(Hu *et al.*, 2022)一致。

来自 OBP 和 CSPs 化学信号激活 ORs 后,转变为电信号,传送至中枢神经系统,从而使昆虫产生相应的行为反应(白鹏华等, 2022)。ORs 是嗅觉系统的重要组成部分,可以检测环境中的化学物质及性信息素。在本研究所鉴定的化学感受相关基因中,OR 基因数量最多,为 50 个,与同为鳞翅目的杨小舟蛾 *Micromelalopha troglodyta*、思茅松毛虫 *Dendrolimus kikuchii* 和云南松毛虫 *Dendrolimus houi* 相同,均为化学感受相关基因中数量最多的基因家族(Zhang S *et*

al., 2014; Zhang Y *et al.*, 2022)。系统发育树显示 DglaOR28 聚类于保守的 Orco 分支(图9),因此推测 DglaOR28 为团花绢野螟的 Orco,有 6 个 DglaOR (DglaOR1, DglaOR13, DglaOR19, DglaOR27, DglaOR36 和 DglaOR37)聚类到 PR 分支上,这一数量略高于黄野螟中的 3 个,与亚洲玉米螟中的数量(8 个)(Yang *et al.*, 2015; 李资聪等, 2021)大致相同。

IR 是 iGluRs 中新发现的一类蛋白,有研究表明 IR 参与调控昆虫的嗅觉、味觉和产卵行为等,在序列和表达模式上都比 ORs 更保守(Gao *et al.*, 2015; 王婷婷等, 2017; Liu *et al.*, 2018)。本研究一共鉴

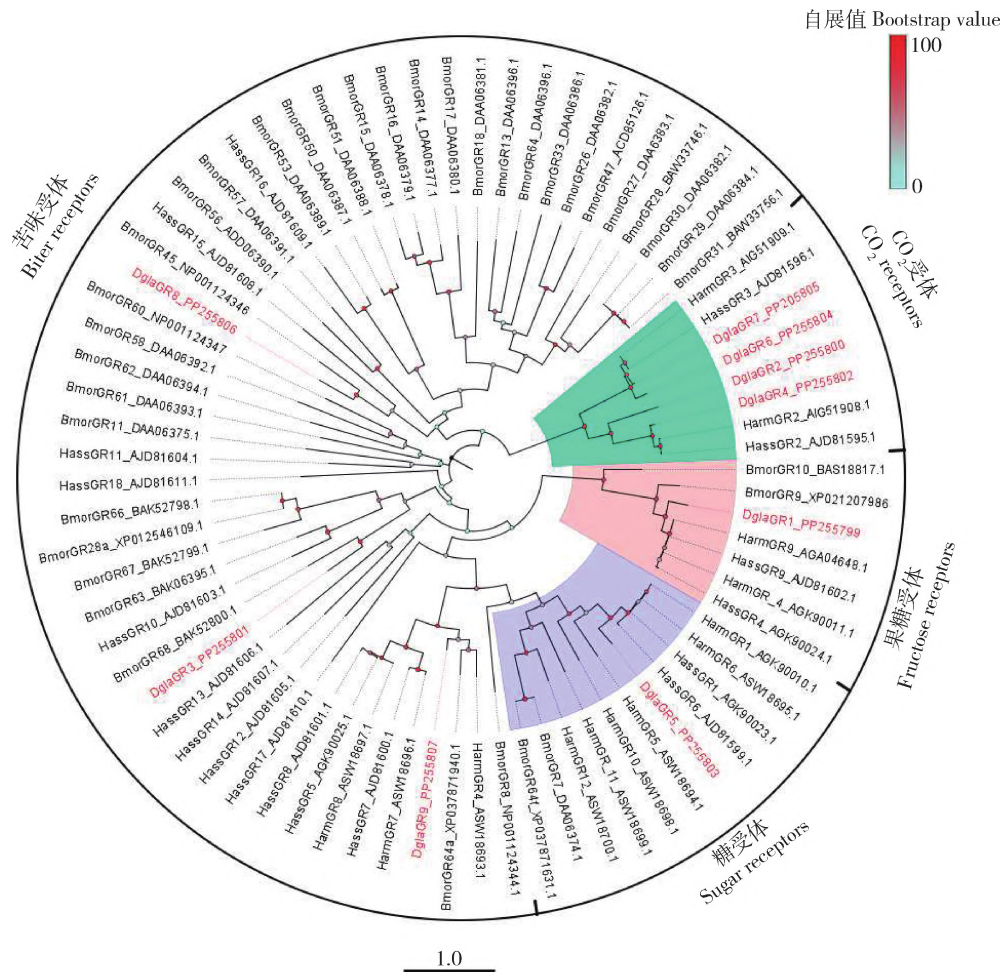


图 10 基于氨基酸序列构建的团花绢野螟及其他鳞翅目昆虫味觉受体 (GR) 系统进化树 (最大似然法)
Fig. 10 Phylogenetic tree of gustatory receptors (GRs) from *Diaphania glaucalis* and other lepidopteran insects constructed based on amino acid sequence (maximum likelihood method)

GR 来源物种 Origin species of GRs: DglaGR: 团花绢野螟 *D. glaucalis*; BmorGR: 家蚕 *Bombyx mori*; HarmGR: 棉铃虫 *Helicoverpa armigera*; HassGR: 烟青虫 *Helicoverpa assulta*.

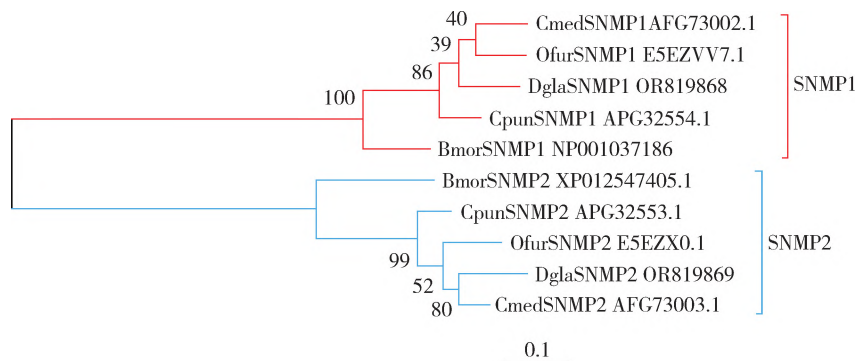


图 11 基于氨基酸序列构建的团花绢野螟及其他鳞翅目昆虫感觉神经膜蛋白 (SNMP) 系统进化树 (最大似然法)
Fig. 11 Phylogenetic tree of sensory neuron membrane proteins (SNMPs) from *Diaphania glaucalis* and other lepidopteran insects constructed based on amino acid sequence (maximum likelihood method)

SNMP 来源物种 Origin species of SNMPs: DglaSNMP: 团花绢野螟 *D. glaucalis*; BmorSNMP: 家蚕 *Bombyx mori*; OfurSNMP: 亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*; CpunSNMP: 桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis*; CmedSNMP: 稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*.

定出 20 个 IR 基因,进化分析表明 20 个 DglaIR 被归类到鳞翅目 IR 的三大分支上(图 8),其中, DglaIR1 被归类到 IR8a 分支, DglaIR8 被归类到 IR25a 分支, IR8a 和 IR25a 在以前的研究中已经被描述为共受体(Abuin *et al.*, 2011),这表明 DglaIR1 和 DglaIR8 可能是共受体,并且在团花绢野螟中具有相似的功能,这一结论仍需要进一步研究验证。DglaIR15 和 DglaIR10 分别聚类到 IR76b 和 R41a 分支上,有研究表明 IR41a 和 IR76b 共表达能够识别如精胺、腐胺和 1,4-丁二胺等多胺气味化合物推测 DglaIR15 和 DglaIR10 编码蛋白具有相似功能物(Hussain *et al.*, 2016)。DglaIR13 编码蛋白聚集到 IR75d,推测可以和 DglaIR8 编码蛋白共表达识别胺类物质(Silbering *et al.*, 2011)。

昆虫的味觉系统主要识别甜味、苦味等化合物进而区分营养物质或躲避有害物质,而 GR 通常在味觉器官的味觉受体神经元中表达,进而传输味觉信号,属于 G 蛋白偶联受体家族,结构上具有 7 个跨膜结构域;根据序列聚类分析和配体选择性经常被分为 4 类:CO₂ 受体、苦味受体、糖受体和其他受体(Agnihotri *et al.*, 2016)。GR 主要分布在昆虫的触角和口器中,在前足、产卵器和翅缘等部位也有分布。本研究共筛选鉴定了 9 个 GR 基因,少于在其他螟蛾科昆虫触角转录组中鉴定 GR 基因的数量,例如黄野螟中 17 个(李资聪等, 2021)、印度谷螟中 13 个(Li *et al.*, 2023),这种差异可能是由于某些 GR 基因不具有触角表达特异性所导致。根据系统发育进化树分析表明 9 个 GR 被聚集到 GR 的分支中(图 10),其中 DglaGR5 聚集到糖受体分支中, DglaGR1 被聚集到果糖受体分支中,因此,推测 DglaGR1 和 DglaGR5 可以影响团花绢野螟的觅食和产卵行为;DglaGR3, DglaGR8 和 DglaGR9 具有同源性并聚集到苦味受体分支中,表明它们可能参与识别和区分植物中的有毒次生代谢物;DglaGR2, DglaGR4, DglaGR6 以及 DglaGR7 具有同源性聚集到 CO₂ 受体分支(Wanner and Robertson, 2008)。

SNMP 属于 CD36 蛋白家族,对识别信息素分子至关重要。在鳞翅目中 SNMP 通常分为 3 类:SNMP1, SNMP2 和 SNMP3。其中,SNMP1 分布在信息素反应性神经元细胞中,可能参与信息素检测;SNMP2 在各种感器广泛表达,具体功能尚不明确;SNMP3 仅在幼虫中肠中特异性表达(Tanaka *et al.*, 2022)。

团花绢野螟化学感受相关基因的鉴定为进一步

研究该虫的化学感受机制提供了基础,同时一些化学感受基因可用作防控害虫的靶标基因,进而有助于反向化学生态在团花绢野螟绿色防控技术中得到发展与应用(Zhang *et al.*, 2014; 蒋秀云, 2021)。例如,嗅觉共受体 Orco 可以破坏害虫的寻找寄主植物的行为,通过沉默 Orco 基因的表达可显著降低雌性棉铃虫对性信息素的逆风飞行行为,雌性棉铃虫对寄主植物(青椒)的产卵选择性完全消失,棉铃虫幼虫对青椒的趋化性也丧失了(Fan *et al.*, 2022);沉默 *LstrOrco* 表达后,发现灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 若虫对水稻幼苗的化学感受和寻找行为受到显著抑制(Li *et al.*, 2019);使用 RNA 干扰技术敲除棉铃虫信息素结合蛋白基因 *HarmPBP1* 和 *HarmPBP2* 发现雄性棉铃虫对性信息素敏感性降低(Dong *et al.*, 2017)。

本研究首次构建了团花绢野螟成虫触角转录组数据库,注释了其基因信息,鉴定阐述了化学感受相关基因的种类和类型,为团花绢野螟化学感受相关基因功能分析及化学感受机制奠定分子基础,进而为基于昆虫化学感受反应机制开发新的绿色防控技术提供理论支撑。

参考文献 (References)

- Abuin L, Bargeton B, Ulbrich MH, Isacoff EY, Kellenberger S, Benton R, 2011. Functional architecture of olfactory ionotropic glutamate receptors. *Neuron*, 69(1): 44–60.
- Agnihotri AR, Roy AA, Joshi RS, 2016. Gustatory receptors in Lepidoptera: Chemosensation and beyond. *Insect Mol. Biol.*, 25(5): 519–529.
- Bai PH, Wang B, Zhang XH, Wang GR, 2022. Research methods and advances of odorant receptors in insects. *Acta Entomol. Sin.*, 65(3): 364–385. [白鹏华, 王冰, 张仙红, 王桂荣, 2022. 昆虫气味受体的研究方法进展. 昆虫学报, 65(3): 364–385]
- Chen JL, 2019. The Functional Analysis of Odor-binding Proteins and Chemosensory Proteins in *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). MSc Thesis, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou. [陈俊龙, 2019. 柑橘木虱气味结合蛋白和化学感受蛋白功能. 广州: 仲恺农业工程学院硕士学位论文]
- Dong K, Sun L, Liu JT, Gu SH, Zhou JJ, Yang RN, Dhillon KH, Gao XW, Guo YY, Zhang YJ, 2017. RNAi-induced electrophysiological and behavioral changes reveal two pheromone binding proteins of *Helicoverpa armigera* involved in the perception of the main sex pheromone component Z11-16: Ald. *J. Chem. Ecol.*, 43(2): 207–214.
- Du G, Prestwich GD, 1995. Protein structure encodes the ligand binding specificity in pheromone binding proteins. *Biochemistry*, 34(27): 8726–8732.

- Fan XB, Mo BT, Li GC, Huang LQ, Guo H, Gong XL, Wang CZ, 2022. Mutagenesis of the odorant receptor co-receptor (*Orco*) reveals severe olfactory defects in the crop pest moth *Helicoverpa armigera*. *BMC Biol.*, 20: 214.
- Field LM, Pickett JA, Wadhams LJ, 2000. Molecular studies in insect olfaction. *Insect Mol. Biol.*, 9(6): 545–551.
- Gao XJ, Clandinin TR, Luo LQ, 2015. Extremely sparse olfactory inputs are sufficient to mediate innate aversion in *Drosophila*. *PLoS ONE*, 10(4): e0125986.
- Gong DP, Zhang HJ, Zhao P, Xia QY, Xiang ZH, 2009. The odorant binding protein gene family from the genome of silkworm, *Bombyx mori*. *BMC Genom.*, 10(1): 332.
- Gu SH, Zhou JJ, Gao S, Wang DH, Li XC, Guo YY, Zhang YJ, 2015. Identification and comparative expression analysis of odorant binding protein genes in the tobacco cutworm *Spodoptera litura*. *Sci. Rep.*, 5: 13800.
- Hu J, Wang XY, Tan LS, Lu W, Zheng XL, 2022. Identification of chemosensory genes, including candidate pheromone receptors, in *Phaouda flammans* (Walker) (Lepidoptera: Phaoudidae) through transcriptomic analyses. *Front. Physiol.*, 13: 907694.
- Huang GF, Wei Y, Huang H, Bai LH, Zhang ZJ, Ouyang KX, Chen XY, 2021. Research progress of fast-growing native tree *Neolamarckia cadamba* in South China. *Chin. J. Trop. Agric.*, 41(9): 37–43. [黄高凤, 韦莹, 黄浩, 白隆华, 张占江, 欧阳昆唏, 陈晓阳, 2021. 华南速生乡土树种黄梁木研究进展. 热带农业科学, 41(9): 37–43]
- Hussain A, Zhang M, Üçpınar HK, Svensson T, Quillery E, Gompel N, Ignell R, Grunwald Kadow IC, 2016. Ionotropic chemosensory receptors mediate the taste and smell of polyamines. *PLoS Biol.*, 14(5): e1002454.
- Jiang XY, 2021. Identification, Sequence Characteristics, and Expression Pattern Analysis of Olfactory-related Genes from *Galleria mellonella*. MSc Thesis, Anhui Agricultural University, Hefei. [蒋秀云, 2021. 大蜡螟嗅觉相关基因鉴定、序列特征与表达模式分析. 合肥: 安徽农业大学硕士学位论文]
- Leal WS, 2013. Odorant reception in insects: Roles of receptors, binding proteins, and degrading enzymes. *Annu. Rev. Entomol.*, 58: 373–391.
- Li H, Hong XW, Zeng FF, Bai CQ, 2023. Identification and expression profiles of olfactory-related genes based on transcriptome analysis in *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Arch. Insect Biochem. Physiol.*, 114(4): e22061.
- Li S, Zhou CW, Zhou YJ, 2019. Olfactory co-receptor *Orco* stimulated by rice stripe virus is essential for host seeking behavior in small brown planthopper. *Pest Manag. Sci.*, 75(1): 187–194.
- Li ZC, Liu L, Yang B, Yan SC, Wang GR, 2021. Identification and analysis of chemosensory genes in *Heortia vitessoides*. *Plant Prot.*, 47(6): 34–48. [李资聪, 刘磊, 杨斌, 严善春, 王桂荣, 2021. 黄野螟化学感受基因的鉴定与分析. 植物保护, 47(6): 34–48]
- Liu NY, Xu W, Dong SL, Zhu JY, Xu YX, Anderson A, 2018. Genome-wide analysis of ionotropic receptor gene repertoire in Lepidoptera with an emphasis on its functions of *Helicoverpa armigera*. *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 99: 37–53.
- Ma T, Liu ZT, Sun CH, Li YZ, Chen XY, Wen XJ, 2015. Morphology and bionomics of *Diaphania glaucalis* Guenée. *For. Pest Dis.*, 34(1): 5–8. [马涛, 刘志韬, 孙朝辉, 李奕震, 陈晓阳, 温秀军, 2015. 团花绢野螟形态特征及生物学特性初步观察. 中国森林病虫, 34(1): 5–8]
- Ma T, Liu ZT, Zhang YY, Sun ZH, Li YZ, Wen XJ, Chen XY, 2015. Electrophysiological and behavioral responses of *Diaphania glaucalis* males to female sex pheromone. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 22(19): 15046–15054.
- Mistry J, Chuguransky S, Williams L, Qureshi M, Salazar GA, Sonnhammer ELL, Tosatto SCE, Paladin L, Raj S, Richardson LJ, Finn RD, Bateman A, 2021. Pfam: The protein families database in 2021. *Nucleic Acids Res.*, 49(D1): D412–D419.
- Patro R, Duggal G, Love MI, Irizarry RA, Kingsford C, 2017. Salmon provides fast and bias-aware quantification of transcript expression. *Nat. Methods*, 14(4): 417–419.
- Rihani K, Ferveur JF, Briand L, 2021. The 40-year mystery of insect odorant-binding proteins. *Biomolecules*, 11(4): 509.
- Silbering AF, Rytz R, Grosjean Y, Abuin L, Ramdya P, Jefferis GS, Benton R, 2011. Complementary function and integrated wiring of the evolutionarily distinct *Drosophila* olfactory subsystems. *J. Neurosci.*, 31(38): 13357–13375.
- Tamposis IA, Manios GA, Charitou T, Vennou KE, Kontou PI, Bagos PG, 2022. MAGE: An open-source tool for meta-analysis of gene expression studies. *Biology*, 11(6): 895.
- Tanaka K, Shimomura K, Hosoi A, Sato Y, Oikawa Y, Seino Y, Kuribara T, Yajima S, Tomizawa M, 2022. Antennal transcriptome analysis of chemosensory genes in the cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.). *PLoS ONE*, 17(1): e0262817.
- Wang TT, Hao YJ, He ZB, Mei T, Chen B, 2017. Characteristics and classification position of the ionotropic receptor genes *IR8a* and *IR25a* in four vector mosquito species of medical importance. *Acta Entomol. Sin.*, 60(4): 379–388. [王婷婷, 郝友进, 何正波, 梅婷, 陈斌, 2017. 四种重要医学媒介蚊虫离子受体基因 *IR8a* 和 *IR25a* 的特征及分类地位. 昆虫学报, 60(4): 379–388]
- Wanner KW, Robertson HM, 2008. The gustatory receptor family in the silkworm moth *Bombyx mori* is characterized by a large expansion of a single lineage of putative bitter receptors. *Insect Mol. Biol.*, 17(6): 621–629.
- Wu F, Zhang L, Qiu YL, Li HL, 2021. Research progress of olfactory binding proteins in insects. *Acta Entomol. Sin.*, 64(4): 523–535. [吴帆, 张莉, 邱一蕾, 李红亮, 2021. 昆虫嗅觉结合蛋白研究进展. 昆虫学报, 64(4): 523–535]
- Wu LX, Zhai X, Li LB, Li Q, Liu F, Zhao HX, 2021. Identification and expression profile of chemosensory genes in the small hive beetle *Aethina tumida*. *Insects*, 12(8): 661.
- Yandell M, Ence D, 2012. A beginner's guide to eukaryotic genome annotation. *Nat. Rev. Genet.*, 13(5): 329–342.
- Yang B, Ozaki K, Ishikawa Y, Matsuo T, 2015. Identification of candidate odorant receptors in Asian corn borer *Ostrinia furnacalis*.

- PLoS ONE*, 10(3): e0121261.
- Yang MZ, Derbyshire MK, Yamashita RA, Marchler-Bauer A, 2020. NCBI's conserved domain database and tools for protein domain analysis. *Curr. Protoc. Bioinform.*, 69(1): e90.
- Yang S, 2022. Identification of Olfactory Related Genes and Ligand Binding Properties of Pheromone Binding Proteins from Greater Waxmoth *Galleria mellonella* L. PhD Dissertation, Shanxi Agricultural University, Jinzhong. [杨爽, 2022. 大蜡螟嗅觉相关基因的鉴定及性信息素结合蛋白的配体结合特性研究. 晋中: 山西农业大学博士学位论文]
- Yang XJ, Zhang M, Jiang YH, Tang QH, Zhang QL, Lin LB, Chen JY, 2020. Analysis of the antennal transcriptome and olfaction-related genes of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Acta Entomol. Sin.*, 63(6): 717–726. [杨雪娇, 张蔓, 江宇航, 唐启河, 张麒麟, 林连兵, 陈均远, 2020. 七星瓢虫触角转录组及嗅觉相关基因分析. 昆虫学报, 63(6): 717–726]
- Yasukochi Y, Yang B, Fujimoto T, Sahara K, Matsuo T, Ishikawa Y, 2018. Conservation and lineage-specific rearrangements in the GOBP/PBP gene complex of distantly related ditrysian Lepidoptera. *PLoS ONE*, 13(2): e0192762.
- Zhang J, Wang B, Dong SL, Cao DP, Dong JF, Walker WB, Liu Y, Wang GR, 2015. Antennal transcriptome analysis and comparison of chemosensory gene families in two closely related Noctuidae moths, *Helicoverpa armigera* and *H. assulta*. *PLoS ONE*, 10(2): e0117054.
- Zhang S, Zhang Z, Wang H, Kong X, 2014. Antennal transcriptome analysis and comparison of olfactory genes in two sympatric defoliators, *Dendrolimus houi* and *Dendrolimus kikuchii* (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 52: 69–81.
- Zhang Y, Feng K, Mei RL, Li W, Tang F, 2022. Analysis of the antennal transcriptome and identification of tissue-specific expression of olfactory-related genes in *Micromelalopha troglodyta* (Lepidoptera: Notodontidae). *J. Insect Sci.*, 22(5): 8.
- Zheng HX, Zhang YW, Zhang XH, Yang MH, 2018. Analysis of the antennal transcriptome and olfaction-related genes of *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae). *Acta Entomol. Sin.*, 61(2): 168–177. [郑海霞, 张耀文, 张仙红, 杨美红, 2018. 绿豆象触角转录组及嗅觉相关基因的分析. 昆虫学报, 61(2): 168–177]
- Zhu J, Iovinella I, Dani FR, Liu YL, Huang LQ, Liu Y, Wang CZ, Pelosi P, Wang GR, 2016. Conserved chemosensory proteins in the proboscis and eyes of Lepidoptera. *Int. J. Biol. Sci.*, 12(11): 1394–1404.
- Zhu XY, Li JB, Liu J, Dewar Y, Zhang H, Zhang HR, Zhang D, Zhang XY, Wan ZW, Yin MZ, Li XM, Zhang YN, 2022. Binding properties of odorant-binding protein 4 from bean bug *Riptortus pedestris* to soybean volatiles. *Insect Mol. Biol.*, 31(6): 760–771.

(责任编辑: 马丽萍)

3.4 东莞市亚热带常绿阔叶次生林优势种生态位特征研究



热带亚热带植物学报
Journal of Tropical and Subtropical Botany
ISSN 1005-3395, CN 44-1374/Q

《热带亚热带植物学报》网络首发论文

题目: 东莞市亚热带常绿阔叶次生林优势种生态位特征研究
作者: 冯铭淳, 谢惠燕, 邓宁桢, 李嘉诚, 罗贞, 卢德浩, 林娜
收稿日期: 2023-08-29
网络首发日期: 2024-04-02
引用格式: 冯铭淳, 谢惠燕, 邓宁桢, 李嘉诚, 罗贞, 卢德浩, 林娜. 东莞市亚热带常绿阔叶次生林优势种生态位特征研究[J/OL]. 热带亚热带植物学报. <https://link.cnki.net/urlid/44.1374.Q.20240401.1003.002>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

东莞市亚热带常绿阔叶次生林优势种生态位特征研究

冯铭淳, 谢惠燕, 邓宁枕, 李嘉诚, 罗贞, 卢德浩, 林娜*

(华南农业大学林学与风景园林学院, 广州 510642)

摘要: 为了解广东省东莞市亚热带常绿阔叶次生林群落的生态位特征和演替现状, 设置 3 个 1 hm² 样地, 采用 Levins 生态位宽度和 Pianka 生态位重叠法, 对东莞市马山和银瓶山市级自然保护区的亚热带常绿阔叶次生林群落优势种进行生态位特征分析。结果表明, 马山和银瓶山亚热带常绿阔叶次生林群落主要由樟科、芸香科、山茶科、鼠刺科、茜草科等树种组成。群落中山油柑(*Acronychia pedunculata*)、木荷(*Shichima superb*)、华润楠(*Machilus chinensis*)、黄樟(*Cinnamomum parthenoxylon*)、鼠刺(*Itea chinensis*)的生态位宽度较大, 生态位宽度与频数关系密切。优势种生态位重叠值介于 0~0.53, 生态位重叠程度低, 竞争关系较弱。3 个样地所处演替阶段不同, 银瓶山样地阳生树种与其他树种的生态位重叠值较大, 马山样地中生性树种与其他树种的生态位重叠值更大, 体现出常绿阔叶林从阳生树种建群到中生性树种建群的更替过程, 为该区次生林的保护和管理提供科学依据。

关键词: 亚热带常绿阔叶林; 次生林; 优势种; 生态位特征

doi: 10.11926/jtsb.4836

Niche Characteristics of Dominant Tree Species of Subtropical Evergreen Broad-leaved Secondary Forest in Dongguan City, Guangdong Province, China

FENG Mingchun, XIE Huiyan, DENG Ninglong, LI Jiacheng, LUO Zhen, LU Dehao, LIN Na*

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: To understand the niche characteristics and succession status of subtropical evergreen broad-leaved secondary forest community in Dongguan, Guangdong Province, three 1 hm² plots were set up. Levins niche width and Pianka niche overlap are used to analyze the niche characteristics of the dominant tree species of the evergreen broad-leaved secondary forest community in Mashan and Yinpingshan Nature Reserves in Dongguan. The results showed that the secondary forest communities in Mashan and Yinpingshan were mainly composed of Lauraceae, Rutaceae, Theaceae, Iteaceae, Rubiaceae. The niche width of *Acronychia pedunculata*, *Shichima superb*, *Machilus chinensis*, *Cinnamomum parthenoxylon*, *Itea chinensis* in communities was large, and the niche width was closely related to the frequency, the niche overlap of dominant tree species ranged from 0 to 0.53, indicating that the competition of dominant tree species was weak. The succession stages of the three plots are different. The niche width and the niche overlap of heliophytes were large in Yinpingshan communities, while those of mesophytes in Mashan community were relatively larger, reflecting the replacement process of evergreen broad-leaved forest from heliophytes to mesophytes, these would provide scientific basis for the protection and management of secondary forest in this area.

Key words: Subtropical evergreen broad-leaved forest; Secondary forest; Dominant tree species; Niche characteristic

生态位理论在种间关系、群落结构、物种多样性及种群进化研究中广泛应用, 被普遍认为是生态学的
收稿日期: 2023-08-29 接受日期: 2023-11-03
基金项目: 广东省基础与应用研究基金项目(2021A1515011092)资助
This work was supported by the Project for Basic and Applied Research in Guangdong (Gant No. 2021A1515011092).
作者简介: 冯铭淳(1999 年生), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为森林生态系统管理。E-mail: 1070109672@qq.com
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nalin@scau.edu.cn

核心思想,植物间生态位分化是植物物种共存的基本机制之一,也是群落演替和物种组成变化的主要驱动力^[1-4]。生态位宽度和生态位重叠是描述生态位特征的主要指标,可以量化物种对环境资源的利用能力和物种间竞争关系,反映物种间的共存机制^[5-9]。生态位宽度反映了物种对于环境资源的利用状况,生态位宽度较大的物种表明对资源利用更加充分,因而对环境具有更强的适应力;生态位重叠则反映物种之间对于环境资源利用发生重叠的情况,在一定程度上能够反映物种联结关系及空间配置关系^[10-14]。

次生林是我国森林资源的重要组成部分,其既保持了原始森林的物种组成成分与生境,又与原始森林在结构组成、林木生长、生产力、林分环境和生态功能等方面存在显著的不同,次生林面积扩大将引起森林生态系统中生物多样性的下降^[15-16]。我国亚热带地区分布着大量的天然次生林,关于亚热带地区次生林生态位的研究较多,叶铎等^[17]对广西大明山常绿阔叶次生林中不同演替序列种群的生态位特征进行研究,表明了常绿阔叶次生林群落在演替过程中生态位特征的变化;周洋等^[18]利用改进的生态位宽度与生态位重叠测度,测定了福建三明栲类次生林主要树种的更新生态位,并给出了人工促进幼苗更新的建议;高洁杰等^[19]对舟山群岛次生林优势种群进行生态位与种间联结研究,分析得出舟山群岛次生林群落尚未成熟,还处于动态演替的不稳定阶段;杨新东等^[13]利用生态位宽度、生态位重叠和生态位相似性,探讨了广东翁源青山次生林的生存现状,为青山自然保护区的森林资源管理提供了依据;李婷婷等^[20]对黔中喀斯特次生林主要物种的生态位及种间联结进行了动态变化研究,表明黔中次生林群落种间竞争在自然演替过程中稳定朝着正向演替的方向发展。研究常绿阔叶的生态位特征,对了解常绿阔叶次生林的群落稳定性以及演替趋势具有非常重要的意义,有利于次生林群落管理与保护措施制定。

东莞市位于广东省中南部,属亚热带季风性气候,地带性植被为南亚热带季风常绿阔叶,随着经济的快速发展和城市化进程的加剧,东莞市森林资源受到严重干扰和破坏,环境承受着巨大的生态压力,原生性森林消失殆尽,仅城郊存在少量的常绿阔叶次生林^[21-22],其中大岭山、银瓶山等植被保留最为完整,银瓶山植物种类分布在东莞最具代表性^[23]。近年来对东莞市常绿阔叶林次生林的研究多集中在群落组成^[24-25]、林冠结构^[26-27]、土壤养分^[22,27]、土壤微生物^[28]等方面,对于生态位特征方面的研究还十分缺乏。本研究以位于大岭山及银瓶山的亚热带常绿阔叶次生林为研究对象,分析群落组成结构与群落优势种的生态位特征,以增强对该区常绿阔叶次生林群落生态位特征的认识,为该区亚热带常绿阔叶次生林群落的恢复、改造以及抚育经营提供理论依据,更好地发挥森林的生态效益与社会效益。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于广东省东莞市大岭山的马山市级自然保护区及银瓶山的银瓶山市级自然保护区(图 1),其中马山市级自然保护区(113°40'42.18"~113°48'6.57" E, 22°50'48.76"~22°54'52.85" N)总面积 2 457.46 hm²;银瓶山市级自然保护区(114°9'55.47"~114°15'15.93" E, 22°52'31.98"~22°56'11.90" N)总面积约 2 518.30 hm²。属亚热带季风气候,年平均气温 23.1 °C,年平均降水量 1 802.5 mm,热量丰富,雨量充沛,干湿季明显。研究区地带性植被类型为南亚热带季风常绿阔叶林,组成种类多样而富有热带性,表现出从热带到亚热带过渡的特点,优势种主要由壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、山茶科(Theaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)、桃金娘科(Myrtaceae)、杜英科(Elaeocarpaceae)、山矾科(Symplocaceae)、梧桐科(Sterculiaceae)等的树种组成。

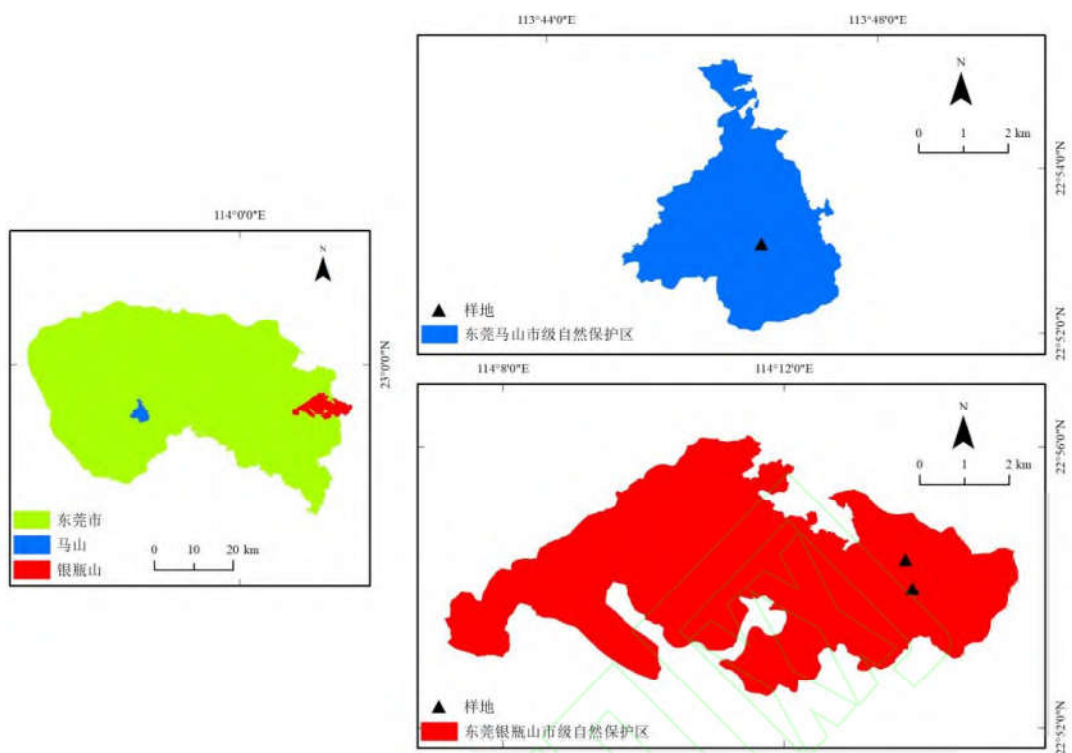


图1 样地分布示意图

Fig. 1 Distribution of sample plots

1.2 样地设置和调查

参考 BCI 大样地建设方法^[29], 设置 3 个 1 hm² (100 m×100 m) 的方形样地, 其中 1 个位于马山市级自然保护区的亚热带常绿阔叶次生林, 2 个位于银瓶山市级自然保护区的亚热带常绿阔叶次生林。马山样地设置时间为 2021 年 7 月, 银瓶山样地设置时间为 2022 年 7 月—8 月, 使用全站仪将每个样地分成 100 个 10 m×10 m 的样方。植被调查参考方精云等^[30]的方法, 对样地内的胸径(DBH)≥3 cm 的全部乔木种进行调查, 测量并记录种名、胸径、树高、冠幅和相对坐标等, 同时调查样地的郁闭度、地形、土壤等环境因子。样地基本信息见表 1。

表1 样地基本信息

Table 1 Basic information of sample plots

样地 Plot	经度 (E) Longitude	纬度 (N) Latitude	海拔 (m) Altitude	坡向 Slope aspect	坡度 (°) Slope	株数 Number	平均胸径 (cm) Mean DBH	平均树高 (m) Average height
马山 Mashan	113°46'36"	22°53'5"	456	东南 Southeast	11	2 176	6.9±0.09	5.0±0.04
银瓶山 1 Yinpingshan 1	114°13'44"	22°54'24"	280	东南 Southeast	22	1 401	9.5±0.15	8.1±0.10
银瓶山 2 Yinpingshan 2	114°13'50"	22°53'59"	260	东南 Southeast	26	2 058	8.9±0.11	7.3±0.06

1.3 数据统计和分析

1.3.1 重要值计算

采用重要值(importance value, IV)表示树种在样地中的优势度^[30–32]。物种重要值(IV)=(相对多度+相对频度+相对优势度)/3; 科的重要值(FIV)=(相对多样性+相对密度+相对优势度)/3。

1.3.2 生态位宽度计算

以样方作为资源位, 以重要值代表树种的资源利用状态, 采用 Levins 指数(B_L)计算各树种生态位宽度^[5,33]: $B_L = 1/\sum_{j=1}^r P_{ij}^2$, $P_{ij} = n_{ij}/\sum n_{ij}$, 式中, P_{ij} 为树种 i 在 j 样方中重要值与树种 i 在所有样方中重要值总和之比, n_{ij} 为树种 i 在第 j 样方上的重要值, r 为样方数。

1.3.3 生态位重叠计算

生态位重叠反映树种之间利用资源或对环境适应能力的相似程度，能反映生态位相似的树种对资源与空间的分享或竞争。采用 Pianka 指数反映树种间生态位重叠程度^[34]：

$O_{ik} = \sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj} / \sqrt{(\sum_{j=1}^r P_{ij})^2 (\sum_{j=1}^r P_{kj})^2}$ ，式中， O_{ik} 为树种*i*和树种*k*的生态位重叠指数，取值范围为[0, 1]，其值越大表示生态位重叠程度越高。 P_{ij} 与 P_{kj} 分别是树种*i*和*k*在*j*样方中的重要值占有所有样方重要值总和的比例，*r*为样方数。

数据整理及重要值计算在 Excel 2019 中完成；生态位特征分析在 R 4.2.2 中完成，其中生态位宽度使用 spaa 包中的 niche.width()函数计算，生态位重叠使用 spaa 包中的 niche.overlap()函数计算。

2 结果和分析

2.1 物种组成及重要值

马山样地共有植物 42 种，隶属 22 科 37 属，共 2 176 株，银瓶山 1 样地有植物 43 种，隶属 23 科 36 属，1 401 株，银瓶山 2 样地有植物 41 种，隶属 27 科 39 属，2 058 株。从表 2 可见，3 个样地重要值最大的科均为樟科，重要值约为 20%，优势度明显，共有树种为华润楠(*Machilus chinensis*)和豺皮樟(*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*)。芸香科、山茶科和茜草科重要值也较大，均超过 5%。山油柑(*Acronychia pedunculata*)、簕欌花椒(*Zanthoxylum avicennae*)、木荷(*Schima superba*)、细齿叶柃(*Eurya nitida*)、狗骨柴(*Diplospora dubia*)、梔子(*Gardenia jasminoides*)、鸭脚木(*Schefflera heptaphylla*)在 3 个样地均有出现。马山样地中，冬青科在多度和重要值上优势较大，银瓶山 1 和 2 样地中鼠刺科优势度较大，其在银瓶山 1 样地中多度排第 2，重要值排名第 3；在银瓶山 2 样地中多度占较大优势，排名第 1，重要值排名第 2。

表 2 重要值前 5 的科

Table 2 Top 5 family of importance value

样地 Plot	科 Family	属数 Number of genus	种数 Number of species	多度 Abundance	重要值 /% Importance value
马山 Mashan	樟科 Lauraceae	3	3	537	17.29
	芸香科 Rutaceae	4	4	416	14.59
	山茶科 Theaceae	5	5	316	12.37
	冬青科 Aquifoliaceae	1	3	270	10.46
	茜草科 Rubiaceae	3	3	157	8.03
银瓶山 1 Yinpingshan 1	樟科 Lauraceae	4	4	380	20.43
	鼠刺科 Iteaceae	1	1	301	11.71
	山茶科 Theaceae	3	3	197	11.38
	芸香科 Rutaceae	4	4	97	8.64
	茜草科 Rubiaceae	3	3	76	6.39
银瓶山 2 Yinpingshan 2	樟科 Lauraceae	4	4	471	18.82
	鼠刺科 Iteaceae	1	1	791	17.59
	芸香科 Rutaceae	3	3	143	8.83
	山茶科 Theaceae	3	3	80	6.19
	壳斗科 Fagaceae	2	2	70	4.73

2.2 优势种生态位宽度

生态位宽度可以度量各物种对资源利用的情况，物种生态位宽度大，表明对环境具有较强的适应能力。选取各样地重要值前 15 的树种作为优势种计算生态位宽度。3 个样地中生态位宽度与重要值排名前 3 的树种相同，其余大部分树种的重要值与生态位宽度排名不一致(表 3)。如马山样地的木荷，银瓶山 1 样地的黄樟(*Cinnamomum parthenoxylon*)、南酸枣(*Choerospondias axillaris*)、马尾松(*Pinus massoniana*)，银瓶山 2 样地的红花荷(*Rhodoleia championii*)等，这些树种重要值较大，但频数较小，生态位宽度较小。将优势种生态位宽度分别与重要值和频数进行线性回归分析，结果表明生态位宽度与重要值和频数呈显著正相关关系(图

2)。表明树种重要值、频数越大，生态位宽度也越大，但生态位宽度与频数的关系更加密切。如马山样地的变叶榕(*Ficus variolosa*)、豺皮樟、狗骨柴，银瓶山 1 样地的九节(*Psychotria asiatica*)、银柴(*Aporosa dioica*)，银瓶山 2 样地的五列木(*Pentaphylax euryoides*)等。

表 3 各样地优势树种重要值及生态位宽度排名

Table 3 Importance value and Niche width ranking of dominant tree species in plot

样地 Plot	排名 Rank	植物 Species	重要值 /% Importance value	频数 Frequency	生态位宽度 Niche width (B_L)
马山 Mashan	1	山油柑 <i>Acronychia pedunculata</i>	20.33	82	60.48
	2	华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	14.62	82	52.81
	3	三花冬青 <i>Ilex triflora</i>	8.64	77	46.02
	4	杨桐 <i>Adinandra millettii</i>	6.08	67	43.59
	5	木荷 <i>Schima superba</i>	5.89	17	12.91
	6	鸭脚木 <i>Schefflera heptaphylla</i>	5.42	48	28.34
	7	山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	3.95	39	25.07
	8	密花树 <i>Myrsine seguinii</i>	3.76	42	27.68
	9	变叶榕 <i>Ficus variolosa</i>	3.66	49	31.84
	10	豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	3.57	50	31.66
	11	狗骨柴 <i>Diplospora dubia</i>	3.55	44	33.96
	12	罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	3.33	18	8.94
	13	九节 <i>Psychotria asiatica</i>	2.22	29	21.38
	14	三桠苦 <i>Melicope pteleifolia</i>	2.11	29	17.73
	15	疏花卫矛 <i>Euonymus laxiflorus</i>	2.05	26	13.88
银瓶山 1 Yinpingshan 1	1	木荷 <i>Schima superba</i>	21.11	86	66.57
	2	鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	12.71	77	49.55
	3	豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	9.41	69	44.27
	4	黄樟 <i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	9.02	46	31.26
	5	鸭脚木 <i>Schefflera heptaphylla</i>	8.58	51	31.87
	6	华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	7.25	50	36.11
	7	山油柑 <i>Acronychia pedunculata</i>	4.80	37	22.96
	8	南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	3.39	20	16.17
	9	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	3.31	22	17.29
	10	九节 <i>Psychotria asiatica</i>	3.26	35	24.92
	11	银柴 <i>Aporosa dioica</i>	3.03	32	24.26
	12	箭欖花椒 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	1.76	21	11.02
	13	小叶青冈 <i>Quercus myrsinifolia</i>	1.55	10	7.09
	14	黄牛木 <i>Cratoxylum cochinchinense</i>	1.22	12	6.53
	15	亮叶猴耳环 <i>Archidendron lucidum</i>	1.08	11	5.94
银瓶山 2 Yinpingshan 2	1	鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	22.14	84	61.87
	2	黄樟 <i>Cinnamomum parthenoxylon</i>	15.49	87	59.73
	3	华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	7.56	61	38.42
	4	山油柑 <i>Acronychia pedunculata</i>	6.38	54	35.67
	5	红花荷 <i>Rhodoleia championii</i>	4.86	28	13.39
	6	木荷 <i>Schima superba</i>	4.64	29	24.20
	7	五列木 <i>Cratoxylum cochinchinense</i>	4.61	40	24.43
	8	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	3.63	19	15.96
	9	黄牛木 <i>Cratoxylum cochinchinense</i>	3.05	39	16.72
	10	罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	3.01	28	17.28
	11	小叶青冈 <i>Quercus myrsinifolia</i>	2.97	27	17.57
	12	鸭脚木 <i>Schefflera heptaphylla</i>	2.48	28	19.13
	13	红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>	2.41	17	9.07
	14	杨桐 <i>Adinandra millettii</i>	2.11	24	17.34
	15	箭欖花椒 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	2.05	27	14.49

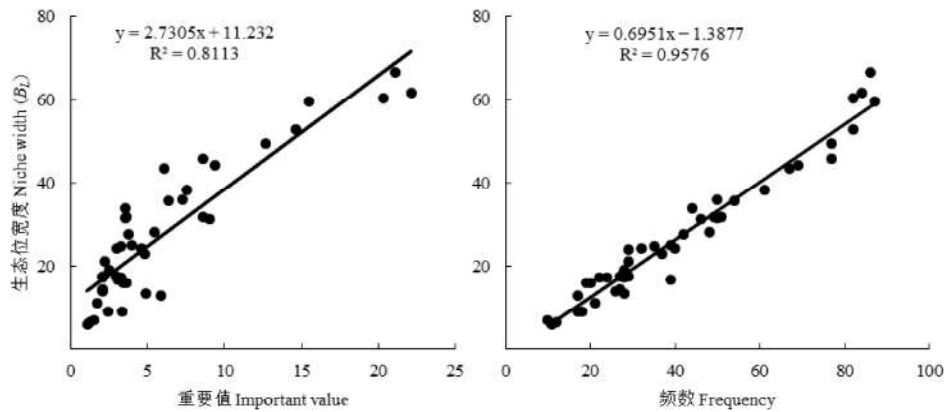


图2 生态位宽度与重要值、频数的相关性

Fig. 2 Correlation of niche width with importance value and frequency

2.3 优势种生态位重叠

从表4可见,马山样地优势种生态位重叠值最大的是山油柑与狗骨柴(0.53),其次是三花冬青(*Ilex triflora*)与杨桐(*Adinandra millettii*)(0.52)、三花冬青与变叶榕(0.50),木荷与罗浮柿(*Diospyros morrisiana*)最小(0.01)。银瓶山1样地中木荷与豺皮樟(0.52)的生态位重叠值最大,此外还有鼠刺(*Itea chinensis*)与马尾松(0.50)的生态位重叠值大于0.5,有4个种对的生态位重叠值为0,分别为南酸枣与亮叶猴耳环(*Archidendron lucidum*)、马尾松与小叶青冈(*Quercus myrsinifolia*)、小叶青冈与黄牛木(*Cratoxylum cochinchinense*)、小叶青冈与亮叶猴耳环。银瓶山2样地全部种对的生态位重叠值均小于0.5,最大的是鼠刺与山油柑(0.45),最小的是红花荷与红锥(*Castanopsis hystrix*)(0.01)。

3个样地优势种的生态位重叠值 O_{ik} 为0~0.53,均值为0.22。315个种对中 $O_{ik} \leq 0.5$ 的有311对,仅有4个种对 $O_{ik} > 0.5$ 。 $O_{ik} \leq 0.2$ 的种对有152对,占总对数48.25%,其中有4个种对 $O_{ik} = 0$ 。3个样地优势种生态位重叠程度均较低,对资源的利用差异较大,较小的生态位重叠值表明各优势种种间竞争程度较小。

表4 优势树种的生态位重叠

Table 4 Niche overlap of dominant tree species

样地 Plot	物种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
马山 Mashan	2	0.46													
	3	0.37	0.48												
	4	0.42	0.46	0.52											
	5	0.14	0.06	0.09	0.16										
	6	0.33	0.29	0.35	0.30	0.19									
	7	0.23	0.28	0.30	0.37	0.47	0.17								
	8	0.36	0.32	0.42	0.44	0.06	0.32	0.24							
	9	0.43	0.25	0.50	0.33	0.18	0.33	0.22	0.35						
	10	0.43	0.36	0.40	0.45	0.13	0.29	0.26	0.26	0.21					
	11	0.53	0.38	0.37	0.29	0.12	0.36	0.21	0.23	0.46	0.34				
	12	0.13	0.24	0.07	0.09	0.01	0.05	0.10	0.07	0.07	0.09	0.06			
	13	0.37	0.28	0.30	0.29	0.07	0.28	0.17	0.22	0.19	0.18	0.23	0.37		
	14	0.26	0.25	0.25	0.31	0.15	0.16	0.23	0.26	0.32	0.26	0.14	0.17	0.14	
	15	0.20	0.27	0.23	0.36	0.04	0.24	0.15	0.28	0.21	0.14	0.19	0.10	0.18	0.22
银瓶山1 Yinpingshan 1	2	0.45													
	3	0.52	0.48												
	4	0.38	0.37	0.37											
	5	0.37	0.28	0.32	0.28										
	6	0.45	0.43	0.30	0.30	0.20									
	7	0.25	0.29	0.18	0.09	0.19	0.17								
	8	0.27	0.16	0.28	0.14	0.23	0.34	0.12							

样地 Plot	物种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
银瓶山 2 Yinpingshan 2	9	0.22	0.50	0.38	0.21	0.15	0.13	0.18	0.01						
	10	0.28	0.21	0.22	0.16	0.42	0.29	0.34	0.39	0.05					
	11	0.40	0.15	0.24	0.22	0.45	0.23	0.27	0.11	0.09	0.42				
	12	0.16	0.08	0.15	0.14	0.17	0.14	0.42	0.05	0.16	0.34	0.35			
	13	0.17	0.18	0.07	0.29	0.09	0.12	0.14	0.08	0.00	0.01	0.01	0.10		
	14	0.12	0.06	0.14	0.08	0.13	0.10	0.26	0.02	0.15	0.10	0.13	0.29	0.00	
	15	0.17	0.09	0.09	0.05	0.27	0.09	0.11	0.00	0.03	0.43	0.19	0.12	0.00	0.03
	2	0.44													
	3	0.42	0.47												
	4	0.45	0.37	0.41											
	5	0.20	0.18	0.13	0.18										
	6	0.38	0.34	0.30	0.14	0.20									
	7	0.37	0.34	0.34	0.26	0.05	0.18								
	8	0.31	0.20	0.17	0.16	0.23	0.18	0.07							
	9	0.20	0.40	0.10	0.19	0.04	0.11	0.32	0.10						
	10	0.31	0.29	0.13	0.24	0.16	0.08	0.10	0.20	0.20					
	11	0.13	0.44	0.26	0.16	0.08	0.20	0.17	0.24	0.17	0.10				
	12	0.23	0.33	0.33	0.40	0.02	0.09	0.23	0.11	0.20	0.06	0.28			
	13	0.12	0.19	0.19	0.15	0.01	0.14	0.13	0.33	0.07	0.04	0.08	0.15		
	14	0.26	0.30	0.24	0.12	0.27	0.10	0.14	0.27	0.07	0.14	0.30	0.18	0.29	
	15	0.24	0.27	0.12	0.37	0.08	0.16	0.06	0.15	0.24	0.43	0.12	0.27	0.09	0.10

各样地物种同表 3。

The species of each plot see Table 3.

3 讨论和结论

从物种组成和重要值上看，马山群落山油柑和华润楠在样地内优势度明显，是群落主要建群种，主要阳生树种有华润楠、木荷、豺皮樟、罗浮柿等，主要中生性树种有山油柑、鸭脚木、变叶榕、九节等，阳生树种和中生性树种的重要值相当，并未发现针叶树种，处于以阳生性树为优势种向以中生性树种为优势种的常绿阔叶林演替阶段^[35-37]；银瓶山 2 个样地均存在马尾松，这可能是原始林遭到破坏后，在恢复早期先锋树种在群落中生长形成的。银瓶山 1 样地中阳生树种如木荷、豺皮樟、华润楠等的重要值，与中生性树种如鼠刺、黄樟、鸭脚木等的重要值相当，但木荷的重要值远大于其他树种，在群落中优势明显，表明处于以阳生树种为主的针阔叶混交林阶段^[35-37]。银瓶山 2 样地鼠刺和黄樟的重要值较大，鼠刺的株数远多于其他树种，但高度不高，多为灌木或小乔木形式，群落演替处于以灌丛为主的阶段^[35-37]，可能是因为样地接近观光步道，受到人为干扰较多，导致群落演替进程缓慢。因此可以把 3 个样地分成不同的演替序列，演替阶段从初级到高级分别为银瓶山 2 样地、银瓶山 1 样地、马山样地。

生态位宽度可反映物种在森林群落中的地位与作用以及物种对资源的利用能力和对环境的适应性等^[10,13-14]。生态位宽度不仅由重要值决定，还与其在资源位中分布的均匀程度有关，物种在各资源位分布越均匀，生态位宽度越大，即频数也是影响生态位宽度大小的重要因素，频数越大则生态位宽度越大^[38-39]。如 3 个样地重要值前 3 的树种的频数较大，生态位宽度大；马山样地中的木荷重要值排名第 5，其频数仅有 14，生态位宽度则较小，重要值比木荷小的鸭脚木、山鸡椒(*Litsea cubeba*)、密花树(*Myrsine seguinii*)、变叶榕等树种的频数更大，生态位宽度也更大。本研究以 10 m×10 m 的样方作为资源位，树种的频数越大即出现的样方数越多，在样地内分布更广，占据更多的资源位，因此生态位宽度越大^[39-41]。彭逸生等^[42]分析了珠海次生林的生态位，认为山油柑等生态位宽度较大的优势种可用于华南地区次生林的修复或人工改造。本研究中山油柑、华润楠、木荷、鸭脚木等树种在 3 个样地中均表现出较大的生态位宽度，表明这些树种对环境的适应能力较强。这些树种是华南地区常见的乡土树种，华润楠、山油柑幼树耐荫，林下幼苗较多，更新能力较好^[43]；木荷萌芽力强，生长较快^[43]；鸭脚木对土壤要求不高，能耐瘠薄^[43]。因此可考虑将这些树种用以该区次生林的植被恢复。

生态位重叠是两个或多个物种对一个或多个资源共同利用的量化表达，通常生态位宽度大的物种分布

均匀, 资源利用能力强, 与其他物种重叠概率高、重叠程度大^[44-45]。生态特性相近的树种, 或是对生境有相近需求的树种, 一般有高的生态位重叠^[10,44]。3 个样地优势树种的生态位重叠值较小, 总共 315 个种对中, 仅有 5 个种对 $O_{ik} \geq 0.5$, $O_{ik} \leq 0.2$ 的种对有 152 对, 约占总对数 48.25%。较小的生态位重叠值表明 3 个样地中优势种在群落中的竞争程度较小^[13,44-46]。不同演替序列中各树种间生态位重叠值存在差别, 马山样地中生性树种(山油柑、杨桐、变叶榕等)与其他树种的生态位重叠值较大, 而银瓶山样地生态位重叠值较大的树种对则发生在阳生树种(木荷、豺皮樟、华润楠等)与其他树种之间。这与鼎湖山^[47]、广西大明山^[17]、贵州茂兰喀斯特森林^[48]的常绿阔叶林在演替过程中生态位重叠值变化的研究结果一致, 体现出常绿阔叶林群落从阳生树种建群到中生性树种建群的更替过程^[17,35,47], 同时也表明生态位宽度大的树种之间更容易发生高的生态位重叠。

综上, 通过分析东莞市马山及银瓶山自然保护区亚热带常绿阔叶次生林群落优势种的生态位特征, 能较好地解释群落演替过程中的种间关系及物种对环境适应的演变规律, 可以利用生态位特征的计测, 加强植物在群落中地位、作用的认识, 加速植被向稳定性群落的演替与恢复, 更好地保护该区的森林资源。

参考文献

- [1] TILMAN D. Causes, consequences and ethics of biodiversity [J]. *Nature*, 2000, 405(6783): 208–211. doi: 10.1038/35012217.
- [2] LEVINE J M, HILLERISLAMBERS J. The importance of niches for the maintenance of species diversity [J]. *Nature*, 2009, 461(7261): 254–257. doi: 10.1038/nature08251.
- [3] CHU C J, WANG Y S, LIU Y, et al. Advances in species coexistence theory [J]. *Biodiv Sci*, 2017, 25(4): 345–354. [储诚进, 王西石, 刘宇, 等. 物种共存理论研究进展 [J]. *生物多样性*, 2017, 25(4): 345–354. doi: 10.17520/biods.2017034.]
- [4] LI T X, XU L, WANG F, et al. Novel evidence from *Taxus fuana* forests for niche-neutral process assembling community [J]. *For Ecosyst*, 2022, 9: 100035. doi: 10.1016/j.fecs.2022.100035.
- [5] COLWELL R K, FUTUYMA D J. On the measurement of niche breadth and overlap [J]. *Ecology*, 1971, 52(4): 567–576. doi: 10.2307/1934144.
- [6] NIU K C, LIU Y N, SHEN Z H, et al. Community assembly: The relative importance of neutral theory and niche theory [J]. *Biodiv Sci*, 2009, 17(6): 579–593. [牛克昌, 刘泽宁, 沈泽昊, 等. 群落构建的中性理论和生态位理论 [J]. *生物多样性*, 2009, 17(6): 579–593. doi: 10.3724/SPJ.1003.2009.09142.]
- [7] LETTEN A D, KE P J, FUKAMI T. Linking modern coexistence theory and contemporary niche theory [J]. *Ecol Monogr*, 2017, 87(2): 161–177. doi: 10.1002/ecm.1242.
- [8] BADALI M, ZILMAN A. Effects of niche overlap on coexistence, fixation and invasion in a population of two interacting species [J]. *R Soc Open Sci*, 2020, 7(2): 192181. doi: 10.1098/rsos.192181.
- [9] CHEN L, MI X C, MA K P. Niche differentiation and its consequence on biodiversity maintenance in forest communities [J]. *Chin Bull Life Sci*, 2014, 26(2): 112–117. [陈磊, 米湘成, 马克平. 生态位分化与森林群落物种多样性维持研究展望 [J]. *生命科学*, 2014, 26(2): 112–117. doi: 10.13376/j.cbls/2014018.]
- [10] ZHAO J H, YE Y Q, CHEN B, et al. Niche characteristics of dominant plants of coniferous (*Tsuga chinensis* var. *tchekingensis*) and broad-leaf mixed forest in Jiangxi Wuyishan, China [J]. *Sci Sil Sin*, 2021, 57(1): 191–199. [赵家豪, 叶钰倩, 陈斌, 等. 江西武夷山南方铁杉针阔混交林主要植物生态位特征 [J]. *林业科学*, 2021, 57(1): 191–199. doi: 10.11707/j.1001-7488.20210120.]
- [11] WINEMILLER K O, FITZGERALD D B, BOWER L M, et al. Functional traits, convergent evolution, and periodic tables of niches [J]. *Ecol Lett*, 2015, 18(8): 737–751. doi: 10.1111/ele.12462.
- [12] SOTO D P, PUETTMANN K J, FUENTES C, et al. Regeneration niches in *Nothofagus*-dominated old-growth forests after partial disturbance: Insights to overcome arrested succession [J]. *For Ecol Manag*, 2019, 445: 26–36. doi: 10.1016/j.foreco.2019.05.004.
- [13] YANG X D, CHEN L B, ZENG X X, et al. Niche characteristics of dominant species of forest community in Qingyunshan Natural Reserve, Wengyuan, Guangdong Province [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2020, 28(6): 565–573. [杨新东, 陈流保, 曾献兴, 等. 广东翁源青山自然保护区森林群落优势树种的生态位特征 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2020, 28(6): 565–573. doi: 10.11926/jtsb.4214.]
- [14] LI Y F, LIU M Y, GAN X H, et al. Niche characteristics of the dominant species of the *Heritiera littoralis* community in Baguang Wetland Park, Shenzhen [J]. *Ecol Environ Sci*, 2020, 29(11): 2171–2178. [李一凡, 刘梦芸, 甘先华, 等. 深圳市坝光湿地园银树群落优势种生态位特征 [J]. *生态环境学报*,

2020, 29(11): 2171–2178. doi: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2020.11.004.]

- [15] ZHANG T T, WANG X, REN H B, et al. A comparative study on the community characteristics of secondary and old-growth evergreen broad-leaved forests in Gutianshan, Zhejiang Province [J]. Biodiv Sci, 2019, 27(10): 1069–1080. [张田田, 王璇, 任海保, 等. 浙江古田山次生与老龄常绿阔叶林群落特征比较 [J]. 生物多样性, 2019, 27(10): 1069–1080. doi: 10.17520/biods.2019059.]
- [16] ZHAN X H, WANG X H, YE N N, et al. Spatial distribution patterns and interspecific relationship of dominant tree species in the tree layer of typical natural secondary forest communities in Jiande, Zhejiang Province [J]. J Zhejiang A&F Univ, 2021, 38(4): 659–670. [詹小豪, 王旭航, 叶诺楠, 等. 浙江建德典型天然次生林群落主要乔木树种空间分布格局及种间关系 [J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38(4): 659–670. doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.20200586.]
- [17] YE D, WEN Y G, DENG R Y, et al. Dynamic changes of plant population niche in succession series of evergreen broad-leaved forest in Daming Mountain of Guanxi [J]. Chin J Ecol, 2009, 28(3): 417–423. [叶铎, 温远光, 邓荣艳, 等. 大明山常绿阔叶林演替序列种群生态位动态特征 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 417–423.]
- [18] ZHOU Y, ZHENG X X, WANG Q, et al. Regeneration niche of *Castanopsis* secondary Forest in Jiangle, Fujian [J]. J NW For Univ, 2015, 30(4): 84–88. [周洋, 郑小贤, 王琦, 等. 福建三明栲类次生林主要树种更新生态位研究 [J]. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 84–88. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2015.04.14.]
- [19] GAO H J, YUAN J, GAO P S. Niche and interspecific association of dominant species in secondary forest of Zhoushan Islands [J]. J Trop Subtrop Bot, 2017, 25(1): 73–80. [高浩杰, 袁佳, 高平仕. 舟山群岛次生林优势种群的生态位与种间联结 [J]. 热带亚热带植物学报, 2017, 25(1): 73–80. doi: 10.11926/jtsb.3620.]
- [20] LI T T, RONG L, WANG M J, et al. Dynamic changes in niche and interspecific association of major species of karst secondary forest in central Guizhou [J]. J Trop Subtrop Bot, 2021, 29(1): 9–19. [李婷婷, 容丽, 王梦洁, 等. 黔中喀斯特次生林主要物种的生态位及种间联结性动态变化 [J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(1): 9–19. doi: 10.11926/jtsb.4252.]
- [21] XU Q H, YANG J L, HUANG L Z, et al. Influence of canopy structure on understory vegetation of secondary evergreen broadleaf forest communities [J]. J Zhejiang A&F Univ, 2019, 36(6): 1151–1157. [徐庆华, 杨进良, 黄练忠, 等. 次生常绿阔叶林群落林冠结构对林下植被的影响 [J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(6): 1151–1157. doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.2019.06.012.]
- [22] OU Z Y, SU Z Y, ZHU J Y. Basic soil properties and comprehensive evaluation in forest communities in Dongguan, south China [J]. J CS Univ For Technol, 2013, 33(8): 96–102. [欧芷阳, 苏志尧, 朱剑云. 东莞主要森林群落的土壤基本性质和综合评价 [J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(8): 96–102. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2013.08.007.]
- [23] XING F W, LIU S S, FU L, et al. Flora and Vegetation of Dongguan [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2019: 1–3. [邢福武, 刘颂颂, 付琳, 等. 东莞植物区系与植被 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2019: 1–3.]
- [24] LI G H, ZHANG S K, YE Y X, et al. Species diversity and dominate population dynamics of three *Schefflera heptaphylla* communities in Dongguan, Guangdong [J]. For Environ Sci, 2018, 34(3): 65–72. [李果惠, 张尚坤, 叶耀雄, 等. 东莞银瓶山森林公园鹅掌柴群落物种多样性和优势种群动态 [J]. 林业与环境科学, 2018, 34(3): 65–72. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2018.03.011.]
- [25] LIANG Y F, GU W Q, YAN D M, et al. Study on the community characteristics of the *Machilus* plant in Yinpingshan Forest Park [J]. For Environ Sci, 2022, 38(1): 132–139. [梁燕飞, 古文强, 闫东明, 等. 东莞市银瓶山森林公园润楠属植物群落特征研究 [J]. 林业与环境科学, 2022, 38(1): 132–139. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2022.01.018.]
- [26] HUANG L Z, YANG J L, XU Q H, et al. Relationship between canopy structures and understory light availability in urban forest communities [J]. J CS Univ For Technol, 2019, 39(9): 53–58. [黄练忠, 杨进良, 徐庆华, 等. 城市森林群落林冠结构与林下光环境的关系 [J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(9): 53–58. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2019.09.009.]
- [27] XU D S, XIONG J L, HUANG Z C, et al. Study on soil nutrient changes of different site types in Yinpingshan Forest Park, Dongguan City [J]. For Environ Sci, 2021, 37(6): 169–175. [许冬山, 熊基舜, 黄振超, 等. 东莞市银瓶山森林公园不同立地类型土壤养分变化研究 [J]. 林业与环境科学, 2021, 37(6): 169–175. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2021.06.025.]
- [28] TAN X L, KAN L, ZHANG L, et al. Seasonal dynamics of soil microbial community structure in urban forest [J]. Chin J Ecol, 2019, 38(11): 3306–3312. [谭雪莲, 阚蕾, 张璐, 等. 城市森林土壤微生物群落结构的季节变化 [J]. 生态学杂志, 2019, 38(11): 3306–3312. doi: 10.13292/j.1000-4890.201911.017.]
- [29] CONDIT R. Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison with Other Plots [M]. Berlin,

- Heidelberg: Springer, 1998: 1–173. doi: 10.1007/978-3-662-03664-8.
- [30] FANG J Y, WANG X P, SHEN Z H, et al. Methods and protocols for plant community inventory [J]. Biodiv Sci, 2009, 17(6): 533–548. [方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范 [J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533–548. doi: 10.3724/SP.I.1003.2009.09253.]
- [31] CURTIS J T, MCINTOSH R P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin [J]. Ecology, 1951, 32(3): 476–496. doi: 10.2307/1931725.
- [32] ZHANG Z H, HU G, LIU L B, et al. Species composition and community structure of a north subtropical karst secondary forest in central Guizhou Province, China [J]. Acta Ecol Sin, 2022, 42(2): 742–754. [张忠华, 胡刚, 刘立斌, 等. 黔中北亚热带喀斯特次生林动态监测样地: 物种组成与群落结构 [J]. 生态学报, 2022, 42(2): 742–754. doi: 10.5846/stxb202012143173.]
- [33] LEVINS R. Evolution in Changing Environments: Some Theoretical Explorations [M]. Princeton: Princeton University Press, 1968.
- [34] PIANKA E R. The structure of lizard communities [J]. Annu Rev Ecol Syst, 1973, 4: 53–74. doi: 10.1146/annurev.es.04.110173.000413.
- [35] SONG Y C. Evergreen Broad-Leaved Forest in China [M]. Beijing: Science Press, 2013: 3–6, 581–586. [宋永昌. 中国常绿阔叶林 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 3–6, 581–586.]
- [36] WANG D B, JI S Y, CHEN F P, et al. A study on the species diversity and succession situation of natural forest communities in Nanshan District, Shenzhen City [J]. Acta Ecol Sin, 2003, 23(7): 1415–1422. [汪殿蓓, 暨淑仪, 陈飞鹏, 等. 深圳南山区天然森林群落多样性及演替现状 [J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1415–1422. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2003.07.021.]
- [37] WANG D P, JI S Y, CHEN F P, et al. Diversity and relationship with succession of naturally regenerated southern subtropical forests in Shenzhen, China and its comparison with the zonal climax of Hong Kong [J]. For Ecol Manag, 2006, 222(1–3): 384–390. doi: 10.1016/j.foreco.2005.10.053.
- [38] LIN K M, GUO Y S. The research advances on niche theory and its application [J]. J Fujian Coll For, 2001, 21(3): 283–287. [林开敏, 郭玉硕. 生态位理论及其应用研究进展 [J]. 福建林学院学报, 2001, 21(3): 283–287. doi: 10.3969/j.issn.1001-389X.2001.03.023.]
- [39] QIAN Y F, YI L T, HU J F, et al. Niche characteristics of main plant species in Putuo Mountain, Zhejiang Province of East China [J]. Chin J Ecol, 2012, 31(3): 561–568. [钱逸凡, 伊力塔, 胡军飞, 等. 普陀山主要植物种生态位特征 [J]. 生态学杂志, 2012, 31(3): 562–568. doi: 10.13292/j.1000-4890.2012.0122.]
- [40] PAN G, ZHANG H P, PAN D. Niche characteristics of dominant populations within mixed broadleaf-conifer forest in Qingyanghu National Park [J]. J CS Univ For Technol, 2017, 37(2): 69–75. [潘高, 张合平, 潘登. 湖南青羊湖国家森林公园针阔混交林主要种群生态位特征 [J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(2): 69–75. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2017.02.012.]
- [41] PANNEK A, MANTHEY M, DIEKMANN M. Comparing resource-based and co-occurrence-based methods for estimating species niche breadth [J]. J Veg Sci, 2016, 27(3): 596–605. doi: 10.1111/jvs.12374.
- [42] PENG Y S, ZHENG M X, MO L J, et al. Niches of dominant plant species of natural secondary forests in Zhuhai City, Guangdong Province [J]. Chin J Ecol, 2007, 26(4): 483–488. [彭逸生, 郑明轩, 莫罗坚, 等. 珠海市陆生天然次生林优势种的生态位 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(4): 483–488.]
- [43] HUANG Y F, ZHUANG X Y. Seedling-Raising Technology of Native Tree Species in South China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007. [黄永芳, 庄雪影. 华南乡土树种育苗技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.]
- [44] XIAO Y M, XIE J Y, YAO Y P, et al. Niche of dominant species in arbor layer of evergreen deciduous broad-leaved mixed forest in karst hills of Guilin, southwestern China [J]. Acta Ecol Sin, 2021, 41(20): 8159–8170. [肖艳梅, 解婧媛, 姚义鹏, 等. 桂林岩溶石山常绿落叶阔叶混交林乔木层优势物种生态位研究 [J]. 生态学报, 2021, 41(20): 8159–8170. doi: 10.5846/stxb202010142614.]
- [45] SUN C, QIN F C, LI L, et al. Environmental interpretation of ecological niche characteristics of herbaceous populations under different site types of *Pinus tabulaeformis* forest in feldspathic sandstone region [J]. Acta Ecol Sin, 2022, 42(9): 3613–3623. [孙成, 秦富仓, 李龙, 等. 砭砂岩区不同立地类型人工油松林下草本种群生态位特征及其环境解释 [J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3613–3623. doi: 10.5846/stxb202104120937.]
- [46] TIAN Q L, ZHANG X P, XU X M, et al. Knowledge about plant coexistence during vegetation succession for forest management on the Loess Plateau, China [J]. Forests, 2022, 13(9): 1456. doi: 10.3390/f13091456.
- [47] PENG S L. Dynamics of South Subtropical Forest Community [M]. Beijing: Science Press, 1996: 180–187. [彭少麟. 南亚热带森林群落动态学 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 180–187.]
- [48] QIN X, LONG C L, LI J. Analysis of ecological niches of dominant arbor populations in different succession stages in the Karst Forest in Maolan Nature Reserve [J]. J SW Univ (Nat Sci), 2017, 39(6): 42–49. [覃弦, 龙翠玲, 李娟. 茂兰喀斯特森林不同演替阶段优势乔木种群生态位研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(6): 42–49. doi: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.06.007.]

3.5 马尾松两种林型土壤养分特征及其与凋落物质量的关系

马尾松两种林型土壤养分特征及其与凋落物质量的关系

潘嘉雯, 李吉跃, 何茜, 苏艳, 刘效东, 邱权, 林娜

(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

摘要: 【目的】研究土壤养分和地被层凋落物养分含量的差异, 为马尾松人工林营林措施及地力维持提供科学依据。【方法】以鼎湖山两种典型林型(马尾松纯林和马尾松-鹧鸪混交林)为研究对象, 对比分析0~60 cm土层的土壤养分含量及地被层凋落物养分含量的差异, 探索凋落物质量如何影响土壤养分。【结果】1) 林型对土壤有机质、全氮和硫酸根含量有显著影响($P < 0.05$), 对土壤全磷、交换性 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 有极显著影响($P < 0.01$), 混交林土壤养分含量(除硝态氮含量和交换性 H^+ 含量以外)均高于纯林。2) 相同林型不同土层间土壤养分含量差异极显著($P < 0.01$), 其中, 土壤有机质和全氮含量随土层的加深而递减, 且主要聚集在0~10 cm土层, 表聚效应十分明显。3) 纯林凋落物有机碳、全氮、C/N和全磷等含量高于混交林; 相同林型不同分解层凋落物有机碳、全钙和全镁含量有显著差异($P < 0.05$), 均表现为未分解层>半分解层>腐殖质层。4) 土壤养分与地被层凋落物质量的RDA分析表明, 0~10 cm土层土壤养分与腐殖质层有机碳呈极显著负相关($P < 0.01$), 与腐殖质层C/N呈显著负相关($P < 0.05$); 在10~20 cm土层, 土壤养分与腐殖质层有机碳呈极显著负相关($P < 0.05$)。【结论】纯林的土壤养分低于混交林的主要原因是纯林凋落物具有较高的C/N和有机碳含量。

关键词: 马尾松; 人工林; 土壤养分; 凋落物质量; 鼎湖山

中图分类号: S714.8

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2020)02-0054-10

Study on the soil nutrient characteristics and their relationship with litter quality in two forest types of *Pinus massoniana*

PAN Jiawen, LI Jiyue, HE Qian, SU Yan, LIU Xiaodong, QIU Quan, LIN Na

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: 【Objective】Studying the differences in soil nutrient and ground cover litter nutrient content can provide a scientific basis for the forestry measures and soil fertility maintenance of *Pinus massoniana* plantations. 【Method】Taking two typical forest types (*Pinus massoniana* and mixed forest of *Pinus massoniana* and *Castanopsis fissa*) in Dinghushan as the research object, the differences of soil nutrient content and litter nutrient content in 0-60 cm soil were compared and analyzed, and how the litter quality was affected soil nutrients. 【Result】1) Forest type has significant effect on soil organic matter, total nitrogen and sulfate content ($P < 0.05$), and on soil total phosphorus, exchangeable K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} ($P < 0.01$), the soil nutrient content of mixed forest (except nitrate nitrogen and exchangeable H^+ content) is higher than that of pure forest. 2) The difference of soil nutrient content between different soil layers of the same forest type is very significant ($P < 0.01$), among which, the content of soil organic matter and total nitrogen decrease with the deepening of soil layer, and mainly concentrated in the 0-10 cm soil layer, the surface accumulation effect is very obvious. 3) The content of organic carbon, total nitrogen, C/N and total phosphorus in pure forest litter are higher than that in mixed forests; there are significant differences in litter organic carbon, total calcium and total magnesium in different decomposition layers ($P < 0.05$), all appear as fresh litter > fragmented litter > humified and amorphous litter. 4) RDA analysis of soil nutrients and litter quality of ground cover show that soil nutrients in 0-10 cm soil layer are significantly negatively correlated with organic carbon in humified and amorphous litter ($P < 0.01$), and negatively correlated with C/N in humified and amorphous litter ($P < 0.05$); in 10-20 cm soil layer soil nutrients are significantly negatively correlated with organic carbon in humified and amorphous litter ($P < 0.05$). 【Conclusion】The main reason for the low soil nutrient content of pure forests is that the pure forest litter has higher C/N and organic carbon content.

Keywords: *Pinus massoniana*; plantation; soil nutrient; litter quality; Dinghushan

收稿日期: 2019-02-25

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0600201, 2016YFD060020102); 国家自然科学基金(31600353)。

第一作者: 潘嘉雯, 硕士研究生。

通信作者: 林娜, 讲师, 博士。E-mail: nalin@scau.edu.cn

引文格式: 潘嘉雯, 李吉跃, 何茜, 等. 马尾松两种林型土壤养分特征及其与凋落物质量的关系[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(2):54-63.

PAN J W, LI J Y, HE Q, et al. Study on the soil nutrient characteristics and their relationship with litter quality in two forest types of *Pinus massoniana*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2020, 40(2):54-63.

森林土壤是森林生态系统的重要结构和功能组成部分之一,为植被的生长发育提供了必要的环境和营养物质^[1]。森林植被从土壤中吸收的养分,最终以凋落物的形式归还给土壤^[2]。凋落物在微生物的作用下分解释放可被植物吸收利用的养分元素,是土壤营养的重要来源^[3,4]。因此,凋落物作为森林生态系统植物体和土壤的一个联结点,参与了生态系统能量和养分转移的过程,在平衡与维持系统结构稳定和长期生产力中发挥着重要作用^[5]。

马尾松 *Pinus massoniana* 是我国特有的速生丰产树种,也是我国亚热带湿润地区分布最广、资源最丰富的针叶树种^[6]。近年来,随着马尾松造林面积的迅速扩大,单一针叶纯林的缺点逐渐暴露出来,马尾松纯林中凋落物积累与分解不协调,养分循环速率减慢,导致地力衰退日益明显,森林生产力下降,严重制约着林业的可持续发展^[7,8]。为了更好地发挥森林的多功能效益,提高林分的抗逆性和稳定性,提倡多造混交林是当前国内外人工造林的共同趋势,许多学者研究认为合适的混交经营模式,能够促进凋落物分解和养分循环,有效改善土壤肥力状况,提高针叶林生态系统稳定性和维持较高的生产力^[9-11]。秦娟等^[12]研究表明3种林型土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾含量均表现为:马尾松-枫香混交林>马尾松-麻栎混交林>马尾松纯林。黄笑等^[13]研究结果显示闽楠-木荷混交林土壤养分水平较生闽楠纯林高,杉木林下补植闽楠混交林分土壤速效元素含量比闽楠纯林多。樊后保等^[11]在马尾松林下分别套种拉氏栲、青栲、闽粤栲、格氏栲和苦槠,形成针阔混交林,这5种混交林凋落物的矿质养分总量在174.22~367.00 kg·hm⁻²之间,而马尾松纯林为130.05 kg·hm⁻²。路翔等^[14]研究结果显示森林地表凋落物总碳贮量和总氮贮量均以马尾松-石栎针混交林最高,杉木人工纯林最低,说明营造混交林可明显提高林地养分存储量,改善地表凋落物养分状况。目前,纯林和混交林土壤养分以及凋落物养分含量差异已有许多报道,而凋落物对土壤养分的影响机制尚待进一步研究。

因此,本研究以鼎湖山典型林型马尾松人工纯林和马尾松-黧蒴 *Castanopsis fissa* 混交林为研究对象,通过测定两种林型0~60 cm土层的土壤养分含量以及地被层凋落物养分含量,比较分析两种林型土壤养分与凋落物养分元素含量的差异,探讨两者之间的关系,有助于了解森林与土壤之间的关系和维持土壤肥力,以期为指导马尾松人工林可持续经营提供一定的参考价值。

1 研究区概况

鼎湖山国家级自然保护区地处我国亚热带,位于广东省肇庆地区境内,地理坐标为23°09'21"~23°11'30"N,112°30'39"~112°33'41"E。本区大部分为丘陵和低山,海拔在100~700 m。气候属亚热带季风湿润型气候,年平均气温21.4℃,最冷月(1月)和最热月(7月)的平均气温分别为12.6℃和28.0℃。多年平均年降水量为1678 mm,4—9月为湿季,10月至翌年3月为旱季,其中80%的降水分布在湿季,干湿季分明。年平均蒸发量为1115 mm,年平均相对湿度为82%,灾害性天气主要是寒潮和台风。土壤类型主要为赤红壤和黄壤,平均土层厚度约50~80 cm^[15,16]。鼎湖山森林覆盖率为78%,主要植被类型为马尾松林、针阔叶混交林和季风常绿阔叶林。马尾松林为人工种植,在自然条件下发展,是演替的初期阶段。针阔叶混交林属于演替阶段的过渡期,原为人工栽植的马尾松林,后因一些阔叶树种逐渐入侵而自然形成针阔叶混交林^[17]。

本研究主要在鼎湖山马尾松纯林(*Pinus massoniana* forest, PF)和马尾松-黧蒴混交林(Mixed forest of *Pinus massoniana* and *Castanopsis fissa*, MF)中进行。2017年1月对这两种典型林型进行充分踏查,每种林型设置3个20 m×20 m固定样方。马尾松纯林乔木层是马尾松 *Pinus massoniana*;灌木层优势种有白楸 *Mallotus paniculatus*、红背山麻杆 *Alchornea trewioides*、三叉苦 *Melicope pteleifolia* 等;草本层优势种有芒萁 *Dicranopteris pedata*、玉叶金花 *Mussaenda pubescens*、鬼灯笼 *Clerodendrum fortunatum* 等。马尾松-黧蒴混交林结构较马尾松林复杂,乔木层主要有马尾松、黧蒴 *Castanopsis fissa*、白楸等;灌木层优势种有黧蒴、九节 *Psychotria asiatica*、龙船花 *Ixora chinensis* 等;草本层优势种有芒萁、玉叶金花、乌毛蕨 *Blechnum orientale* 等,样地概况见表1。

2 材料与方法

2.1 土壤样品的采集与测定

2017年1月,去除表土上覆盖的枯枝落叶,用内径为8 cm的土钻在每个样地取5层土壤:0~5 cm、5~10 cm、10~20 cm、20~40 cm和40~60 cm,随机取24个土柱,每6个土柱的同一层组成一个土壤混合样,剔除土壤中的细根与动物^[18]。土壤样品采集后带回实验室,自然风干后,用滚轴磨碎风干土,过2 mm筛,测定土

壤的有机质、全氮、全磷、交换性阳离子(K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+})、硫酸根、铵态氮、硝态氮、交换性酸(H^+ 和 Al^{3+})的含量。

表 1 两种林型基本情况[†]
Table 1 Basic situation of two forest types

因子 Factor	PF	MF
林龄 Stand age /a	50 ~ 60	70 ~ 80
海拔 Altitude /m	58	51
坡度 Slope /(°)	22	23
坡向 Slope aspect	东南	东南
平均密度 Average density / 株·hm ⁻²	475.00±25.00	712.50±12.5
平均胸径 Average DBH /cm	24.86±1.21	17.54±1.38
平均树高 Average tree height /m	10.09±0.18	8.81±0.23
郁闭度 Canopy density /%	0.77	0.91
土壤类型 Soil type	赤红壤	赤红壤
土壤 pH Soil pH	3.15	3.02
土壤容重 Soil bulk density /(g·cm ⁻³)	1.48±0.03	1.42±0.03
土壤自然含水量 Soil natural water content /%	26.13±1.07	26.77±1.03

[†] PF 为马尾松纯林, MF 为马尾松- 鹧鸪混交林, 下同。
PF is pure forest of *Pinus massoniana*, and MF is mixed forest of *Pinus massoniana* and *Castanopsis fissa*, the same below.

土壤有机质采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法; 土壤全氮采用开氏-蒸馏滴定法; 土壤全磷用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法(分光光度计, 型号: UV-754); 交换性阳离子(K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+})用乙酸铵提取-火焰原子吸收分光光度法; 硫酸根用磷酸盐-醋酸提取-硫酸钡比浊法; 铵态氮和硝态氮用氯化钾提取-氧化镁-代氏合净金蒸馏法; 交换性酸(H^+ 和 Al^{3+})采用氯化钾交换-中和滴定法^[19]。

2.2 凋落物样品的采集与测定

2018 年 1 月, 用金属框架(24 cm × 24 cm)在每种林型取地被层凋落物, 分为未分解层 OL(凋落物叶、枝等保持原状, 颜色变化不明显, 外表无分解的痕迹)、半分解层 OF(叶无完整外观轮廓, 多数凋落物已粉碎, 但仍能辨别其种类, 颜色为黑褐色)和腐殖质层 OH(多数凋落物已被分解成碎屑, 质地细腻)3 层, 随机取 12 个点, 每 3 个点组成一个混合样, 每个样方 12 个样品, 共计 72 个样品。样品采集后带回实验室 40 °C 烘干至恒质量, 用粉碎机磨碎通过 0.2 mm 筛后装入自封袋, 测定有机碳、全氮、全磷、全钾、全钙、全镁含量。凋落物有机碳采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法; 全氮用硫酸-双氧水消煮-蒸馏滴定法; 全磷用硫酸-双氧水消煮-钒钼黄比色法(分光光度计, 型号: UV-754); 全钾用硫酸-双氧水消煮-火焰原子吸收分光光度法(火焰原子吸收分光光度计, 型号: Z-2300, 日本日立公司); 全钙和全镁用干

灰化-稀盐酸溶解-火焰原子吸收分光光度法^[19]。

2.3 数据分析

运用 Microsoft Office Excel 2007、SPSS 19.0 和 Origin 8.1 进行数据整理、分析和作图, 文中的数值均用均值 ± 标准误差来表示。采用双因素方差分析(Two-way ANOVA)比较两种林型土壤养分及地被层凋落物养分含量的差异性, 显著性水平设定为 $\alpha=0.05$; 通过 Canoco 4.5 的冗余分析(RDA)对土壤养分与凋落物质量之间的关系进行分析。

3 结果与分析

3.1 两种林型土壤养分含量差异

对两种林型不同土层间的土壤养分含量进行双因素分析, 结果见表 2。林型对土壤有机质、全氮和硫酸根含量有显著影响($P < 0.05$), 对土壤全磷、交换性 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 有极显著影响($P < 0.01$)。如图 1 和 2 所示, 马尾松- 鹧鸪混交林土壤养分含量(除硝态氮含量和交换性 H^+ 含量以外)均高于马尾松纯林, 其中, 混交林土壤有机质、全氮、全磷、铵态氮、硫酸根、交换性 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和交换性酸、交换性 Al^{3+} 含量分别是纯林的 1.31、1.25、1.22、1.23、1.33、1.63、1.98、1.75、1.05 和 1.06 倍; 混交林土壤硝态氮和交换性 H^+ 含量低于纯林, 分别是纯林的 0.85 和 0.95 倍。

同一林型不同土层之间土壤养分含量差异极显著($P < 0.01$)。其中, 土壤有机质和全氮含量随土层深度的增加而降低(图 1、图 2), 且主要聚集在 0-20 cm 土层中, 表聚效应明显, 土壤交换性 K^+ 、交换性 Ca^{2+} 、交换性酸(H^+ 和 Al^{3+})含量变化总体上随土层深度的增加而降低, 而土壤硫酸根含量总体上随土层深度的增加而增加。

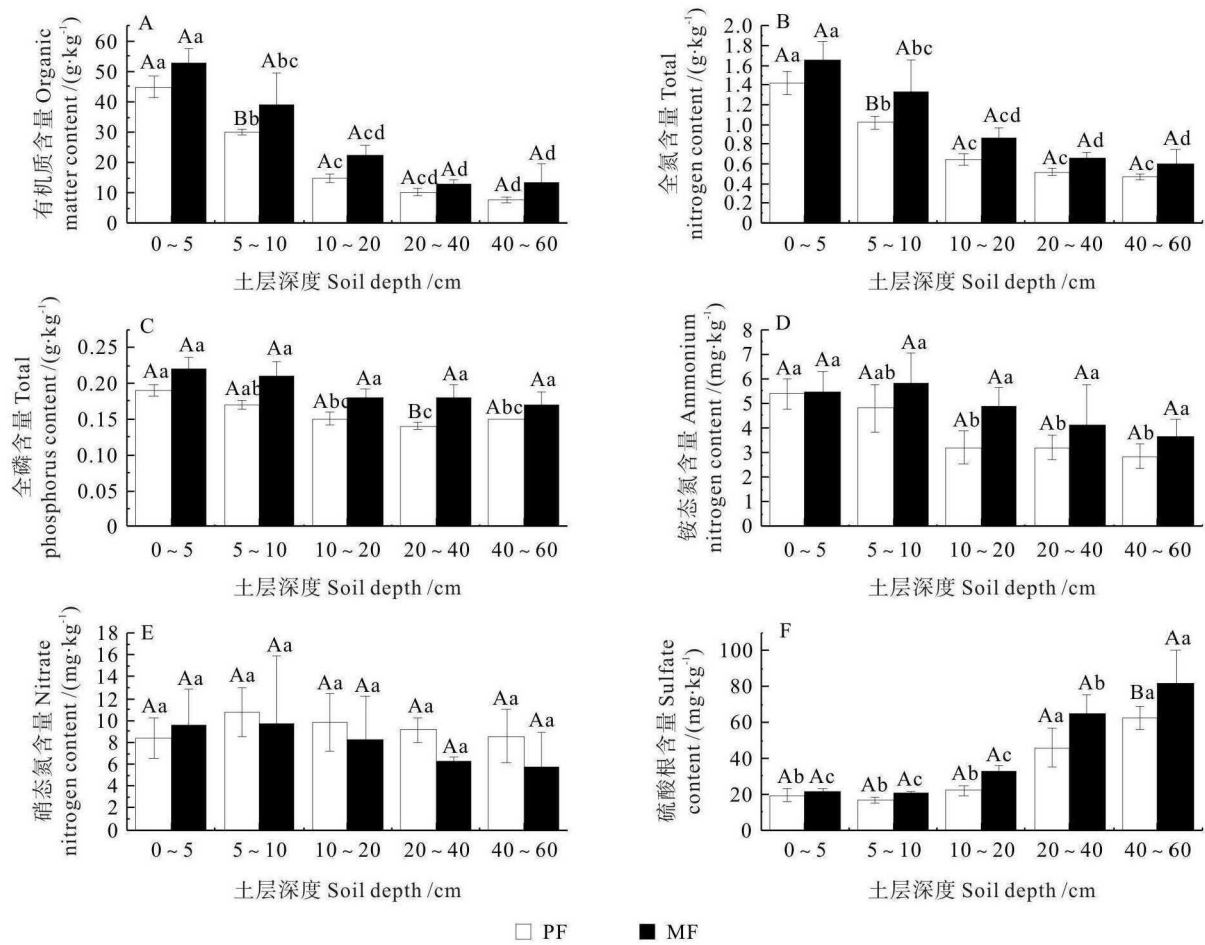
3.2 地被层凋落物养分元素含量

马尾松纯林和马尾松- 鹧鸪混交林凋落物全磷和全钙含量有显著($P < 0.05$)或极显著差异($P < 0.01$), 而有机碳、全氮、全钾和全镁含量差异不显著(表 3、图 3)。其中, 纯林凋落物有机碳、全氮、全磷、全钙和全镁含量高于混交林, 分别增加了 4.67%、2.45%、12.89%、27.08% 和 20.28%, 全钾含量表现为混交林高于纯林, 分别为 3.18 g·kg⁻¹ 和 1.59 g·kg⁻¹。同一林型不同分解层凋落物有机碳、全钙和全镁含量有显著差异($P < 0.05$), 均表现为未分解层>半分解层>腐殖质层, 即凋落物分解程度越高含量逐渐降低, 凋落物全氮和全磷含量随分解层变化规律不一致, 全钾含量随凋落物分解程度的加深而逐渐累积。

表 2 林型和土层深度对土壤养分含量影响的方差分析[†]
Table 2 Analysis of variance of forest type and soil depth on soil nutrient content

土壤养分 Soil nutrient	林分 Forest type			土层深度 Soil depth			林分 × 土层深度 Forest type × Soil depth		
	自由度 <i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	自由度 <i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	自由度 <i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
有机质 Organic matter	1	7.087	0.013*	4	35.913	0.000**	4	0.213	0.929
全氮 Total nitrogen	1	6.658	0.016*	4	23.596	0.000**	4	0.194	0.939
全磷 Total phosphorus	1	21.214	0.000**	4	4.314	0.009**	4	0.244	0.911
铵态氮 Ammonium nitrogen	1	2.805	0.106	4	2.659	0.056	4	0.215	0.927
硝态氮 Nitrate nitrogen	1	0.595	0.448	4	0.355	0.838	4	0.173	0.950
硫酸根 Sulfate radical	1	4.821	0.038*	4	18.435	0.000**	4	0.534	0.712
交换性 K ⁺ Exchangeable K ⁺	1	52.909	0.000**	4	2.670	0.056	4	0.197	0.938
交换性 Ca ²⁺ Exchangeable Ca ²⁺	1	10.268	0.000**	4	8.976	0.000**	4	0.722	0.585
交换性 Mg ²⁺ Exchangeable Mg ²⁺	1	13.811	0.004**	4	2.747	0.051	4	0.702	0.598
交换性酸 Exchangeable acid	1	1.822	0.189	4	50.310	0.000**	4	1.896	0.142
交换性 H ⁺ Exchangeable H ⁺	1	1.036	0.318	4	102.282	0.000**	4	0.577	0.682
交换性 Al ³⁺ Exchangeable Al ³⁺	1	2.631	0.117	4	33.464	0.000**	4	2.330	0.084

[†] ** 表示在 $P < 0.01$ 水平下差异显著, * 表示在 $P < 0.05$ 水平下差异显著。
** indicates that the difference is significant at the $P < 0.01$ level, and * indicates that the difference is significant at the $P < 0.05$ level.



不同大写字母表示不同林型相同土层在 $P < 0.05$ 水平下差异显著。不同小写字母表示同一林型不同土层在 $P < 0.05$ 水平下差异显著, 下同。
Different lowercase letters indicate that the different soil layers of the same forest type have significant differences at $P < 0.05$ level, the same below.

图 1 两种林型土壤有机质、氮、磷、钾和硫酸根含量
Fig. 1 Soil organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium and sulfate content of two forest types

由表 4 可知, 马尾松纯林 C/N 和 C/P 分别为 40.54 和 1 328.94。纯林各分解层的 C/N 大于混交林, 未分解层和半分解层的 C/P 小于混交林,

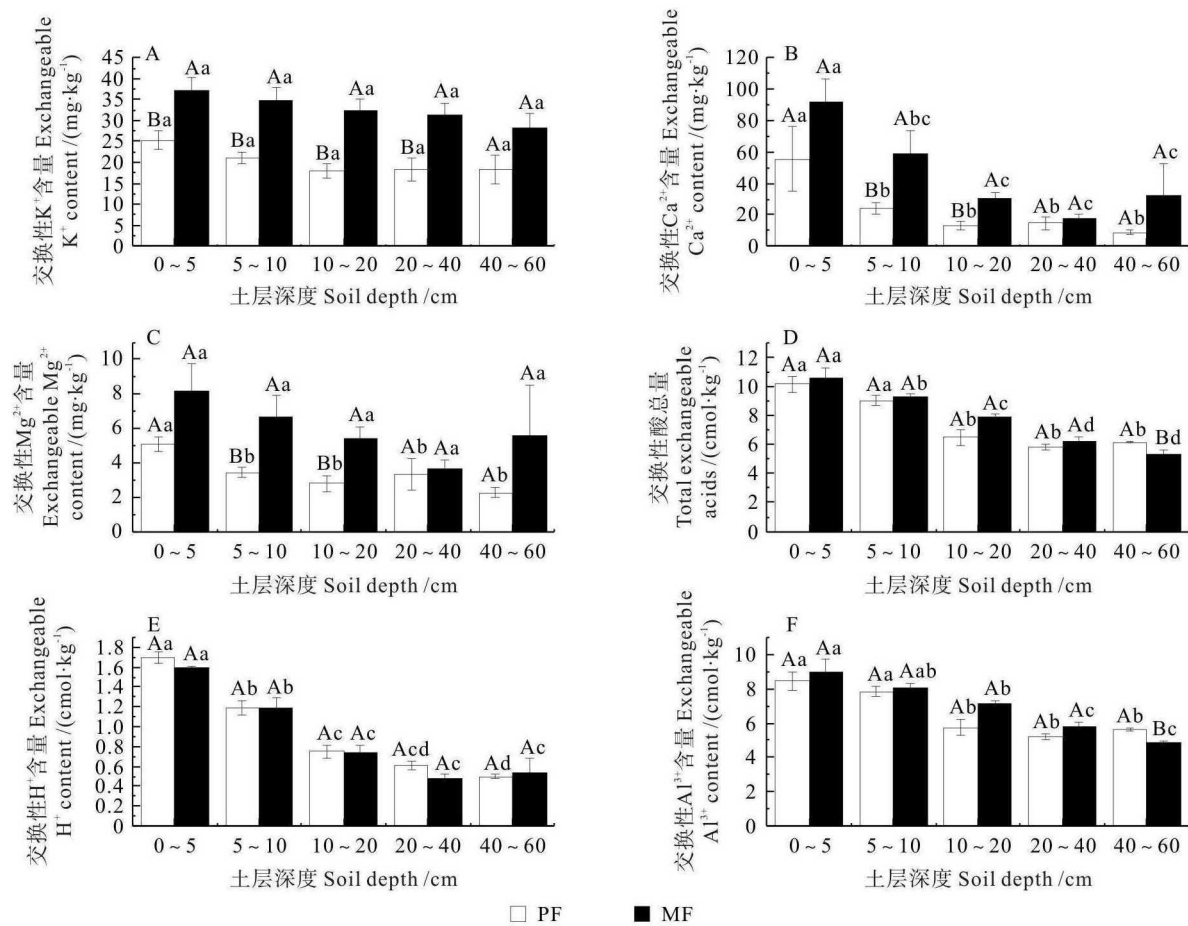


图 2 两种林型土壤交换性阳离子和交换性酸含量
Fig.2 Exchange cations and exchangeable acid content of two forest types

表 3 林型和凋落物分解层对养分元素含量影响的方差分析 Table 3 Analysis of variance of the influence of forest type and litter decomposition layer on nutrient element content													
因子 Factor	自由度 df	有机碳 Organic carbon		全氮 Total nitrogen		全磷 Total phosphorus		全钾 Total potassium		全钙 Total calcium		全镁 Total magnesium	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
林型 Forest type	1	1.553	0.236	0.255	0.623	20.434	0.001**	3.080	0.105	9.326	0.010*	4.464	0.056
凋落物层 Litter layer	2	11.549	0.002**	1.456	0.271	5.403	0.021**	2.597	0.116	31.569	0.000**	28.332	0.000**
林型 × 凋落物层 Forest type × Litter layer	2	1.214	0.331	1.254	0.320	0.057	0.945	0.256	0.778	0.593	0.568	0.386	0.688

而腐殖质层的 C/P 大于混交林。同一林型下各分解层 C/N 和 C/P 均表现为半分解层>未分解层>腐殖质层, 且各分解层之间差异显著 ($P < 0.05$)。

3.3 土壤养分与地被层凋落物质量的关系

RDA 排序图从整体上反映了两种林型 0 ~ 20 cm 土层的土壤养分和地被层凋落物质量关系显著 (图 4 和图 5)。RDA 分析显示, 在 0 ~ 10 cm 土层中, 腐殖质层有机碳、腐殖质层 C/N 和半分解层有机碳是影响土壤养分变化的关键因子。如图 4 所示, RDA 第 1 轴和第 2 轴分别解释了变量的 66.0% 和 22.4%。腐殖质层有机碳对土壤养分

的影响最大, 呈极显著负相关, 其解释了土壤养分变化的 58.0% ($P=0.002$), 其次为腐殖质层 C/N, 与土壤养分呈显著负相关, 解释了土壤养分变化的 24.0% ($P=0.042$)。

RDA 分析显示, 在 10 ~ 20 cm 土层中, 腐殖质层有机碳、半分解层有机碳和半分解层 C/N 是影响土壤养分变化的关键因子。如图 5 所示, RDA 第 1 轴和第 2 轴分别解释了变量的 62.9% 和 21.0%。腐殖质层有机碳对土壤养分的影响最大, 呈极显著负相关, 其解释了土壤养分变化的 51.0% ($P=0.002$), 其次为半分解层有机碳和半分解层 C/N。

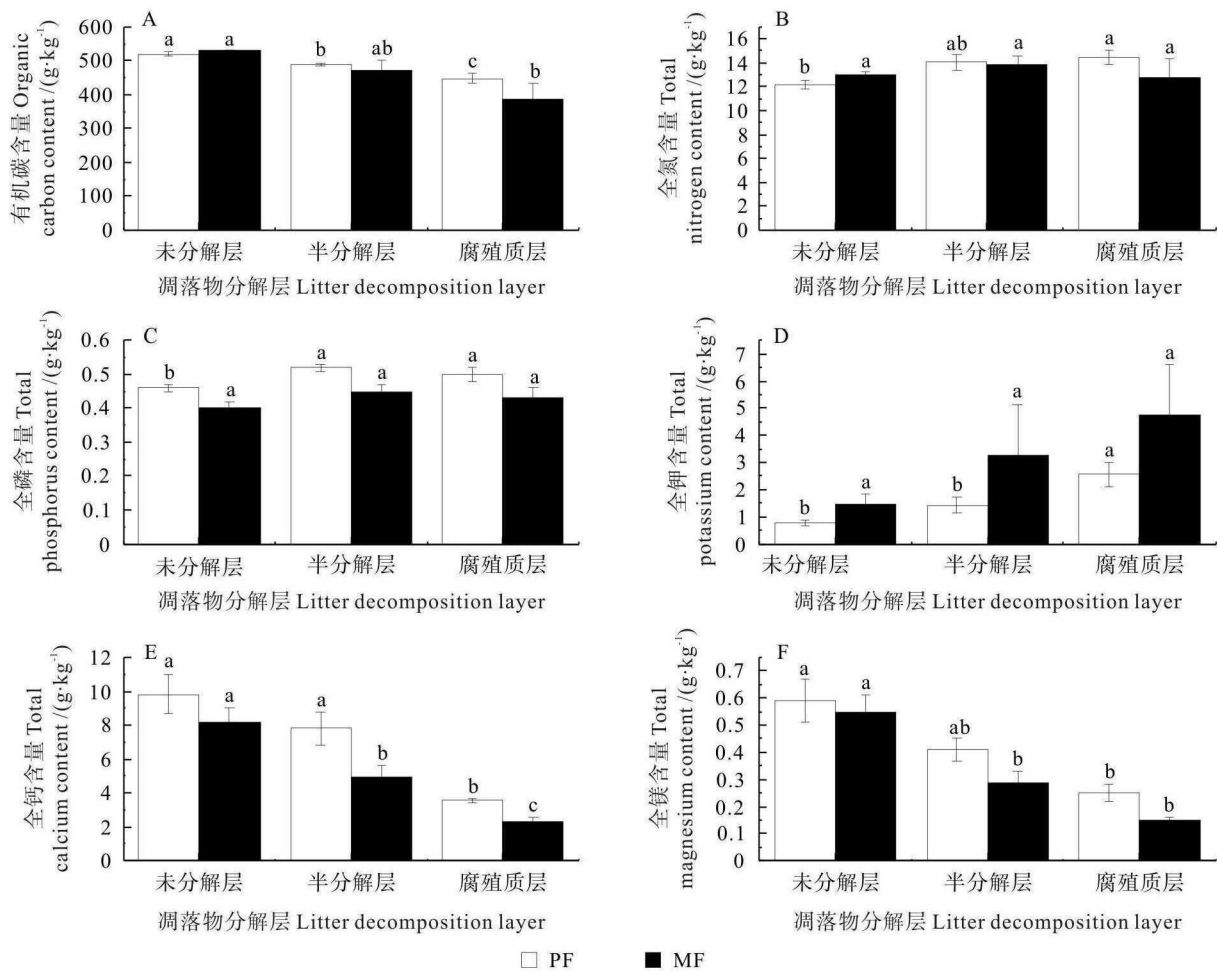


图 3 两种林型各分解层凋落物养分元素含量
Fig. 3 Nutrient content of litter in each decomposition layer of two forest types

表 4 两种林型不同分解层 C/N 和 C/P[†]
Table 4 Different decomposition layers C/N and C/P of two forest types

分解层 Decomposition layer	PF		MF	
	C/N	C/P	C/N	C/P
未分解层 Fresh litter	42.82±1.18 a	1137.10±19.58 a	40.54±0.68 a	1328.94±60.34 a
半分解层 Fragmented litter	34.91±1.59 b	942.74±13.51 b	34.11±0.73 b	1050.61±43.82 b
腐殖质层 Humified and amorphous litter	31.12±0.51 b	895.92±23.30 b	30.53±1.13 c	891.97±65.88 b

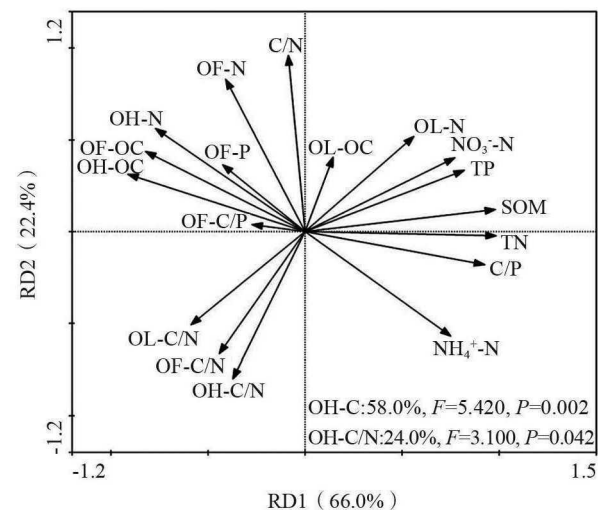
[†] 不同字母表示同一林型不同分解层 C/N 和 C/P 含量在 $P < 0.05$ 下差异显著。
Values are represented different letters indicated significant differences of C/N and C/P contents of the same forest type between different decomposed layers ($P < 0.05$).

4 结论与讨论

4.1 林型和土层深度对土壤养分的影响

植被类型对土壤养分的影响十分显著^[20], 且大量研究表明, 混交林土壤养分含量较纯林高, 在改善土壤养分状况方面具有明显的优势。莫江明等^[21] 研究结果显示马尾松针阔叶混交林土壤硝态氮和铵态氮的量高于同一地区的马尾松纯林。欧阳学军等^[22] 比较研究了鼎湖山马尾松林、针阔混交林和季风常绿阔叶林土壤表层 (0~20 cm) 有机质、全氮、速效钾等营养元素的含量, 发现

随着群落的进展演替, 养分在土壤中的累积 (钙除外) 呈不断增加的趋势, 即马尾松林<针阔叶混交林<季风常绿阔叶林。江远清等^[23] 发现阔叶林土壤所有的交换性阳离子含量均明显高于马尾松林和混交林。本研究中, 混交林土壤有机质、全氮、全磷、交换性阳离子 (K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 和硫酸根含量均高于或显著高于纯林, 一方面可能是由于混交林植被茂密, 郁闭度高, 产生了大量的凋落物, 更有利于土壤养分的积累^[24]; 另一方面可能是由于马尾松针叶中含有许多较难分解的物质, 使得马尾松凋落物中的养分释放率比混交



SOM: 土壤有机质 Soil organic matter; TN: 土壤全氮 Soil total nitrogen;
TP: 土壤全磷 Soil total phosphorus; C/N: 土壤碳氮比 Soil carbon to
nitrogen ratio; C/P: 土壤碳磷比 Soil carbon to phosphorus ratio; $\text{NH}_4^+\text{-N}$:
土壤铵态氮 Soil ammonium nitrogen; $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 土壤硝态氮 soil nitrate State
nitrogen; OL-OC: 未分解层有机碳 organic carbon of fresh litter; OF-OC:
半分解层有机碳 Organic carbon of fragmented litter; OH-OC: 腐殖质层
有机碳 Organic carbon of humified and amorphous litter; OL-N: 未分解层
氮 Nitrogen of fresh litter; OF-N 半分解层氮 Nitrogen of fragmented litter;
OH-N: 腐殖质层氮 Nitrogen of humified and amorphous litter; OL-P: 未分
解层磷 Phosphorus fresh litter; OF-P: 半分解层磷 phosphorus fragmented
litter; OH-P: 腐殖质层磷 Phosphorus humified and amorphous litter; OL-C/
N: 未分解层碳氮比 Carbon to nitrogen ratio fresh litter; OF-C/N: 半分解层
碳氮比 Carbon to nitrogen ratio fragmented litter; OH-C/N: 腐殖质层碳氮比
Carbon to nitrogen ratio humified and amorphous litter; OL-C/P: 未分解层碳
磷比 Carbon to phosphorus ratio fresh litter; OF-C/P: 半分解层碳磷比 Carbon
to phosphorus ratio fragmented litter; OH-C/P: 腐殖质层碳磷比 Carbon to
phosphorus ratio humified and amorphous litter.

图 4 0 ~ 10 cm 土层各土壤养分与地被层凋落物质量的
RDA 排序图
Fig. 4 RDA ranking of soil nutrients and existing litter
nutrients in 0-10 cm soil layer

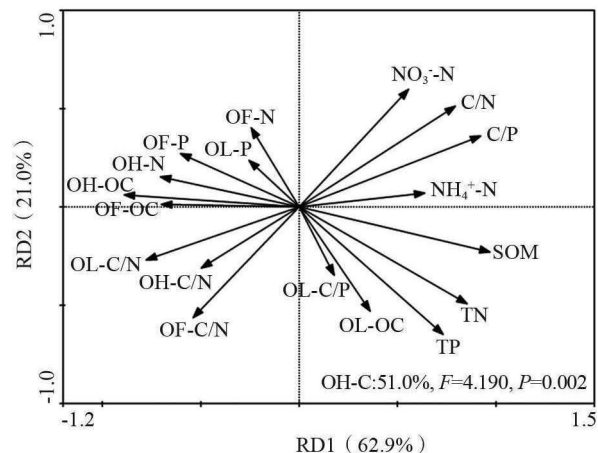


图 5 10 ~ 20 cm 土层各土壤养分与地被层凋落物质量的
RDA 排序图
Fig. 5 RDA ranking of soil nutrients and existing litter
nutrients in 10-20 cm soil layer

林的慢, 而阔叶树种凋落物分解较快, 能不断补充土壤养分。而土壤交换性 H^+ 含量表现为纯林高于混交林, 说明马尾松和鹧鸪混交能缓解纯林导致的土壤酸化效应。在两种林型中, 土壤硝态氮的含量高于铵态氮的含量, 这可能是因为两种林

型中土壤微生物活性较高, 有利于土壤的硝化作用, 导致土壤中更多的铵态氮转化为硝态氮^[25], 但纯林的土壤硝态氮含量高于混交林, 这与前人的马尾松林土壤以铵态氮为主的研究结果不一致, 这有可能是因为混交林的土壤交换性 Al^{3+} 含量高, 抑制了硝化细菌的生长, 从而使得硝态氮含量比较低。两种林型的土壤全磷含量均较低, 有研究表明鼎湖山森林土壤磷的有效性相对低, 说明鼎湖山森林有可能存在磷限制的问题^[25], 而刘兴诏等^[26]研究得出磷已经成为亚热带森林生态系统生物生长和重要生态过程的限制因子。

土壤养分含量在不同土层间差异显著, 主要集中在 0 ~ 20 cm 土层, 表现出明显的表聚性和垂直分布特征^[27]。本研究中, 两种林型 0 ~ 10 cm 土层中的土壤有机质和全氮含量表聚效应十分显著 ($P < 0.05$), 其他养分含量也呈现这种表聚现象, 这与刘兴诏等^[26]、冯天骄等^[28]的研究结果一致。这是因为植物的根系主要分布于土壤表层, 且森林凋落物分解释放的养分也首先进入土壤表层, 导致土壤表层养分含量较多, 随着土层深度的增加, 植物根系分布减少, 养分来源减少, 故而呈现出大多数土壤养分含量在土壤表层呈现出聚集效应, 随土层深度的增加而递减的趋势^[12]。土壤全磷、交换性 K^+ 、交换性 Ca^{2+} 和交换性酸 (H^+ 和 Al^{3+}) 含量总体上呈现随土层深度的增加而减少的趋势, 但土壤硫酸根含量表现出相反的趋势, 即随土层深度的增加而增加, 可能是因为硫酸根易从土壤表层被淋洗掉, 因此土壤底层富集了大量的硫酸根。

4.2 林型和分解层对凋落物养分的影响

本研究表明, 地被层凋落物养分元素的含量以有机碳最高, 其次为全氮和全钙, 这与郑路等^[29]研究结果一致。马尾松纯林凋落物有机碳、全氮、全磷、全钙和全镁含量和 C/N 高于马尾松 - 鹧鸪混交林, 全钾含量低于混交林, 纯林的有机碳和 C/N 高表明了其凋落物分解较混交林慢, 养分释放速率慢, 影响了土壤养分含量, 这也解释了纯林中土壤养分低于混交林的现象。相同林型下, 不同分解层凋落物有机碳、全钙和全镁含量有显著差异 ($P < 0.05$), 均表现为未分解层 > 半分解层 > 腐殖质层, 这与张德强等^[30]的研究结果类似, 有机碳、全钙和全镁含量随着凋落物分解而逐渐减少, 即随凋落物的分解和雨水的淋溶进入土壤, 为林木所利用。凋落物全钾含量随凋落物分解程度的加深含量逐渐累积, 而全氮和全磷含量随分

解层呈先增后减的趋势,这与赵畅等^[31]研究结果不一致,即全钾含量随分解加剧而逐渐降低,全氮、全磷含量则随凋落物的分解而累积,这可能存在其他因素如环境条件、生物条件等的影响而导致研究结果不同。

4.3 土壤养分与地被层凋落物质量的关系

凋落物是森林土壤养分的主要来源之一,是土壤养分循环的重要组成部分,凋落物的分解和养分释放的快慢影响着土壤养分元素归还以及腐殖质的形成,间接影响着森林生产力^[32]。当外界环境条件一致时,以含碳化合物(木质素、纤维素和单宁等)、各养分元素(N、P和K等)的含量、C/N、C/P、木质素/N和酚类物质等来表示的凋落物基质质量对凋落物分解起着关键作用,从而影响土壤养分含量^[33]。本研究表明,在0~10 cm土层中,土壤养分与腐殖质层有机碳呈极显著负相关($P < 0.01$),与腐殖质层C/N呈显著负相关($P < 0.05$);而在10~20 cm土层中,土壤养分与腐殖质层有机碳产生极显著负相关($P < 0.05$)。这与其他研究结果一致,如葛晓改等^[34]研究表明,马尾松凋落物基质质量和土壤养分之间关系紧密,凋落物中C/N与土壤有机质呈显著负相关,其含量越高越不利于土壤有机质的形成,土壤养分积累的越慢。肖欣等^[35]以马尾松人工林为研究对象探讨土壤有机碳与凋落物质量的相关关系,结果显示凋落物未分解层C含量及C/N值与土壤有机碳密度呈负相关,即凋落物未分解层C含量及C/N值越小,分解速率越快时,土壤有机碳密度增加也越快。潘萍等^[36]通过研究马尾松林两种林下植被土壤碳氮与凋落物质量的关系,发现在0~10 cm土层,两种类型凋落物的半分解层C/N值、C含量及未分解层C含量均与土壤碳氮各指标呈极显著负相关($P < 0.01$),未分解层C/N值与土壤碳氮各指标呈显著负相关($P < 0.05$)。因此,地被层凋落物C/N和有机碳的值越高,越不利于土壤养分积累。

4.4 结论与展望

土壤养分与地被层凋落物质量关系密切,其中,凋落物C/N和有机碳的值越高,越不利于土壤养分的积累;马尾松纯林地地被层凋落物有机碳和C/N高于马尾松-鵝蕨混交林,说明凋落物分解速率及养分释放率低于混交林,导致了土壤养分含量不如混交林高。因此,在马尾松人工林经营中,混交林比纯林更有利于土壤养分的积累,

能更好地满足植物生长的养分需求。今后在鼎湖山马尾松人工纯林的经营管理过程中,适当补植恰当的阔叶树种,可促进马尾松凋落物分解,加快土壤养分的周转,从而提高马尾松生态系统养分循环效率及林分生产力。本研究只分析了地被层凋落物养分与土壤养分之间关系,然而土壤微生物、温度和湿度等都会通过影响地被层凋落物的分解过程而间接影响土壤养分含量,因此,下一步研究可从土壤微生物数量及土壤环境因子对凋落物分解过程的影响等方面进行。

参考文献:

- [1] SCHOENHOLTZ S H, MIEGROET H V, BURGER J A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: Challenges and opportunities[J]. *Forest Ecology & Management*, 2000,138(1):335-356.
- [2] 莫江明,孔国辉,SANDRA B等.鼎湖山马尾松林凋落物及其对人类干扰的响应研究[J].*植物生态学报*,2001,25(6):656-664.
MO J M, KONG G H, SANDRA B, et al. Litterfall response to human impacts in a Dinghushan pine forest[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001,25(6):656-664.
- [3] KEENAN R J, PRESCOTT C E, KIMMINS J P, et al. Litter decomposition in western red cedar and western hemlock forests[J]. *Revue Canadienne De Botanique*, 1996,74(10):1626-1634.
- [4] GARTNER T B, CARDON Z G. Site of leaf origin affects how mixed litter decomposes[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006,38(8):2307-2317.
- [5] 葛晓改,肖文发,曾立雄,等.三峡库区马尾松林土壤-凋落物层酶活性对凋落物分解的影响[J].*生态学报*,2014,34(9):2228-2237.
GE X G, XIAO W F, ZENG L X, et al. Effect of soil-litter layer enzyme activities on litter decomposition in *Pinus massoniana* plantation in three gorges reservoir area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014,34(9):2228-2237.
- [6] 莫江明,彭少麟,SANDRA B,等.鼎湖山马尾松林群落生物量生产对人为干扰的响应[J].*生态学报*,2004,24(2):193-200.
MO J M, PENG S L, SANDRA B, et al. Response of biomass production to human impacts in a pine forest in subtropical China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004,24(2):193-200.
- [7] FELTON A, LINDBLADH M, BRUNET J, et al. Replacing coniferous monocultures with mixed-species production stands: An assessment of the potential benefits for forest biodiversity in northern Europe[J]. *Forest Ecology & Management*, 2010,260(6):939-947.
- [8] 洪宜聪.马尾松闽粤栲异龄复层混交林的林分特征及涵养水

- 源能力[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(4): 53-59.
- HONG Y C. Stand characteristics and water conservation capacity of *Pinus massoniana* and *Castanopsis fissa* mixed plantation[J]. Journal of northeast forestry university, 2017, 45(4): 53-59.
- [9] MENG J, LU Y, ZENG J. Transformation of a degraded *Pinus massoniana* plantation into a mixed-species irregular forest: Impacts on stand structure and growth in Southern China[J]. Forests, 2014, 5(12): 3199-3221.
- [10] SANTOS F M, CHAER G M, DINIZ A R, *et al.* Nutrient cycling over five years of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a sandy tropical soil[J]. Forest Ecology and Management, 2017, 384: 110-121.
- [11] 樊后保, 苏素霞, 卢小兰, 等. 林下套种阔叶树的马尾松林凋落物生态学研究Ⅲ. 凋落物现存量及其养分含量[J]. 福建林学院学报, 2003, 23(3): 193-197.
- FAN H B, SU S X, LU X L, *et al.* Forest litter ecology in masson's pine stand and its mixed forests formed by inter-planting with hardwood tree species[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2003, 23(3): 193-197.
- [12] 秦娟, 唐心红, 杨雪梅. 马尾松不同林型对土壤理化性质的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(4): 598-604.
- QIN J, TANG X H, YANG X M, *et al.* Effects of soil physical and chemical properties on different forest types of *Pinus massoniana*[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(4): 598-604.
- [13] 黄笑, 李际平, 赵春燕, 等. 不同林分类型闽楠人工林土壤养分对比分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(7): 36-42.
- HUANG X, LI J P, ZHAO C Y, *et al.* Contrastive analysis of soil nutrients of *Phoebe bournei* plantation with different forest types[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2017, 37(7): 36-42.
- [14] 路翔, 项文化, 任辉, 等. 中亚热带四种森林凋落物及碳氮贮量比较[J]. 生态学杂志, 2012, 31(9): 2234-2240.
- LU X, XIANG W H, REN H, *et al.* Litter biomass and its carbon and nitrogen storage in four subtropical forests in central Southern China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(9): 2234-2240.
- [15] 刘效东, 乔玉娜, 周国逸, 等. 鼎湖山3种不同演替阶段森林凋落物的持水特性[J]. 林业科学, 2013, 49(9): 8-15.
- LIU X D, QIAO Y N, ZHOU G Y, *et al.* Water-holding characteristics of litters in three forests at different successional stages in Dinghushan[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(9): 8-15.
- [16] 闫俊华, 周国逸, 唐旭利, 等. 鼎湖山3种演替群落凋落物及其水分特征对比研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 509-512.
- YAN J H, ZHOU G Y, TANG X L, *et al.* Characteristics of litter and its contained water in three succession communities in Dinghushan Mountain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(4): 509-512.
- [17] 关共凑, 魏兴琥. 鼎湖山三种森林类型土壤养分特征及其相关性分析研究[J]. 环境科学与管理, 2017, 42(3): 139-144.
- GUAN G C, WEI X H. Analysis on soil nutrient characteristics and their correlation in three kinds of forest in Dinghushan[J]. Environmental Science and Management, 2017, 42(3): 139-144.
- [18] LIN N, BARTSCH N, ANNIGHÖFER P, *et al.* Long-term effects of canopy opening and liming on soil nutrient dynamics in a European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest[J]. Soil Science, 2014, 179(9): 409-416.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- LU R K. Analytical method of soil agrochemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House, 2000.
- [20] RUTIGLIANO F A, D' ASCOLI R, VIRZO DE SANTO A. Soil microbial metabolism and nutrient status in a Mediterranean area as affected by plant cover[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(11): 1719-1729.
- [21] 莫江明, 彭少麟, 方运霆, 等. 鼎湖山马尾松针阔叶混交林土壤有效氮动态的初步研究[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 492-497.
- MO J M, PENG S L, FANG Y T, *et al.* A preliminary study on the dynamics of bio-available nitrogen in soils of pine-broadleaf mixed forest in Dinghuashan Biosphere Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(3): 492-497.
- [22] 欧阳学军, 黄忠良, 周国逸, 等. 鼎湖山南亚热带森林群落演替对土壤化学性质影响的累积效应研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 51-54.
- OUYANG X J, HUANG Z L, ZHOU G Y, *et al.* Accumulative effects of forest community succession on soil chemical properties in Dinghushan of tropical China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(4): 51-54.
- [23] 江远清, 莫江明, 方运霆, 等. 鼎湖山主要森林类型土壤交换性阳离子含量及其季节动态特征[J]. 广西植物, 2007, 27(1): 106-113.
- JIANG Y Q, MO J M, FANG Y T, *et al.* Concentrations of exchangeable cations of soil and their seasonal dynamics in three representative forests of Dinghushan Biosphere Reserve[J]. Guihaia, 2007, 27(1): 106-113.
- [24] 常超, 谢宗强, 熊高明, 等. 三峡库区不同植被类型土壤养分特征[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 5978-5985.
- CHANG C, XIE Z Q, XIONG G M, *et al.* Characteristics of soil nutrients of different vegetation types in the Three Gorges reservoir area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 5978-5985.
- [25] 黄文娟, 刘菊秀, 唐旭利, 等. 鼎湖山5种森林土壤的无机氮

- 和有效磷含量[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(4): 441-447.
- HUANG W J, LIU J X, TANG X L, *et al.* Inorganic nitrogen and available phosphorus concentrations in the soils of five forests at Dinghushan, China[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2009, 15(4): 441-447.
- [26] 刘兴诏, 周国逸, 张德强, 等. 南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中 N、P 的化学计量特征[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 64-71.
- LIU X Z, ZHOU G Y, ZHANG D Q, *et al.* N and P stoichiometry of plant and soil in lower subtropical forest successional series in southern China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 64-71.
- [27] 郑姗姗, 吴鹏飞, 马祥庆. 森林土壤养分空间异质性研究进展[J]. 世界林业研究, 2014, 27(4): 13-17.
- ZHENG S S, WU P F, MA X Q, *et al.* Research progress in nutrient heterogeneity in forest soil[J]. World Forestry Research, 2014, 27(4): 13-17.
- [28] 冯天骄, 卫伟, 陈利顶, 等. 陇中黄土区坡面整地和植被类型对土壤化学性状的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(11): 3216-3225.
- FENG T J, WEI W, CHEN L D, *et al.* Effects of land preparations and vegetation types on soil chemical features in a loess hilly region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(11): 3216-3225.
- [29] 郑路, 卢立华. 我国森林地表凋落物现存量及养分特征[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(1): 63-69.
- ZHENG L, LU L H. Standing crop and nutrient characteristics of forest floor litter in China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(1): 63-69.
- [30] 张德强, 余清发, 孔国辉, 等. 鼎湖山季风常绿阔叶林凋落物层化学性质的研究[J]. 生态学报, 1998, 18(1): 98-102.
- ZHANG D Q, YU Q F, KONG G H, *et al.* Chemical properties of forest floor litter in Dinghushan monsoon evergreen broadleaved forest[J]. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(1): 98-102.
- [31] 赵畅, 龙健, 李娟, 等. 茂兰喀斯特原生林不同坡向及分解层的凋落物现存量和养分特征[J]. 生态学杂志, 2018, 37(2): 295-303.
- ZHAO C, LONG J, LI J, *et al.* Litter stock and nutrient characteristics of decomposing litter layers in Maolan Karst primary forest in different slope directions[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(2): 295-303.
- [32] 倪惠菁, 苏文会, 范少辉, 等. 养分输入方式对森林生态系统土壤养分循环的影响研究进展[J]. 生态学杂志, 2019, 38(3): 863-872.
- NI H J, SU W H, FAN S H, *et al.* Advances in research for responses of soil nutrient cycling to the changes of soil nutrient input processes in forest ecosystems[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(3): 863-872.
- [33] HOBBIIE S E, CHAPIN F S. The response of tundra plant biomass, aboveground production, nitrogen, and CO₂ flux to experimental warming[J]. Ecology, 1998, 79(5): 1526-1544.
- [34] 葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等. 不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(3): 852-862.
- GE X G, XIAO W F, ZENG L X, *et al.* Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged *Pinus massoniana* stands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 852-862.
- [35] 肖欣, 王雄涛, 欧阳勋志. 马尾松人工林土壤有机碳特征及其与凋落物质量的关系[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(6): 105-111.
- XIAO X, WANG X T, OUYANG X Z. The characteristic of soil organic carbon and relationship with litter quality in *Pinus massoniana* plantation[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2015, 39(6): 105-111.
- [36] 潘萍, 赵芳, 欧阳勋志, 等. 马尾松林两种林下植被土壤碳氮特征及其与凋落物质量的关系[J]. 生态学报, 2018, 38(11): 3988-3997.
- PAN P, ZHAO F, OUYANG X Z, *et al.* Characteristics of soil carbon and nitrogen and relationship with litter quality under different understory vegetation in *Pinus massoniana* plantations[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(11): 3988-3997.

[本文编校: 吴 彬]

4. 学术专著：广东省森林、草地、实地资源资产系统研发与应用

广东省

森林、草地、湿地资源 资产清查系统研发与应用

主编 ○ 冯新富 鲁好君 陈世清 郑楚茜



中国林业出版社
China Forestry Publishing House

《广东省森林、草地、湿地资源资产清查系统研发与应用》

编委会

主 编 冯新富 鲁好君 陈世清 郑楚茜

副主编 汪求来 贺炬成 林 娜 杜谦泰

编 委(按姓氏笔画排序)

丁 胜 马延军 王武敏 许培容 苏晨辉 邱展鹏

何开伦 余松柏 沈 康 陈少彬 陈锦红 罗 勇

周健培 郑文松 郑梓林 钟 凯 钟玉玲 钟海智

贾荣荣 黄宁辉 梁思明 彭 达 薛亚东 魏安世



目 录

前 言

1 研究开发背景

- 1.1 开发技术背景 1
- 1.2 资源清查概述 7
- 1.3 广东省森林、草地、湿地资源资产清查建库系统概况 19

2 系统体系结构

- 2.1 技术流程 23
- 2.2 系统体系设计 28
- 2.3 主要技术指标及功能模块 30
- 2.4 数据的连接 34

3 系统主要实现技术

- 3.1 详细设计 36
- 3.2 数据库设计 44
- 3.3 总体设计思路和处理流程 71
- 3.4 接口设计 73
- 3.5 系统安全设计 74

4 系统特点

- 4.1 总体界面 76
- 4.2 总体特点 83
- 4.3 森林资源清查 84

4.4 草地资源清查	85
4.5 湿地资源清查	86
4.6 成果管理	86
4.7 建库工具箱	86

5 系统应用

5.1 系统需求	95
5.2 工程管理	95
5.3 森林资源清查	107
5.4 草地资源清查	113
5.5 湿地资源清查	118
5.6 成果管理	120

6 数据成果汇交规范

6.1 范 围	127
6.2 汇交内容	127
6.3 汇交成果数据规格要求	127
6.4 汇交流程	131

附录 A 技术要求	134
附录 B 全民所有自然资源资产清查汇总表	162
附录 C 全民所有自然资源资产清查数据成果文件组织结构	178
附录 D 清查成果资料文件组织结构、命名	181
附录 E 成果资料汇交清单	182

图书在版编目(CIP)数据

广东省森林、草地、湿地资源资产清查系统研发与应用/冯新富等主编. —北京:
中国林业出版社, 2023. 12

ISBN 978-7-5219-2447-3

I. ①广… II. ①冯… III. ①国土资源调查-系统开发-研究-广东
IV. ①F129.965

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 230537 号

责任编辑:于晓文 于界芬

出版发行 中国林业出版社(100009,北京市西城区刘海胡同7号,电话 83143549)

电子邮箱 cfphzbs@163.com

网 址 <http://www.forestry.gov.cn/lycb.html>

印 刷 北京中科印刷有限公司

版 次 2023年12月第1版

印 次 2023年12月第1次印刷

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12

字 数 270千字

定 价 88.00元

四、科研成果

1. 科技奖励证书

1.1. 梁希林业科学技术奖三等奖（排名 4）



梁希林业科学技术奖 科技进步奖 证书

为表彰梁希林业科学技术奖获得者，特
颁发此证书。

项目名称：基于化学信息物质的麻楝蛀斑螟等重要害虫
绿色防控技术研发与应用

奖励等级：三等

获奖者：林娜



2021年9月18日

证书号：2021-KJJ-3-02-R04

1.2. 广东省农业技术推广奖二等奖（排名 4）



广东省农业技术推广奖

获奖证书

为表彰在农业技术推广工作中做出贡献的单位和个人，特颁发此证书，以资鼓励。

获奖项目：土沉香重大害虫黄野螟绿色防控技术应用与推广示范

奖励等级：二等奖

获奖者：林娜

奖励日期：2021年12月8日

证书号：2020-2-L04-R04

广东省农业技术推广奖
评审委员会



1.3. 中国商业联合会科学技术奖三等奖（排名 3）

中国商业联合会科学技术奖

全国商业科技进步奖

获奖证书

表彰在全国商业服务业
科学研究、技术创新、成果
推广、高新技术产业化中做
出突出贡献者。

证书编号：2020-3-14-R03

获奖项目：粤港澳大湾区林业重要害虫
监测预警及生态调控技术

获奖等级：三等奖

获奖者：林娜



1. 4. 广东省农业技术推广奖三等奖（排名 7）



广东省农业技术推广奖

获奖证书

为表彰在农业技术推广工作中做出贡献的单位和个人，特颁发此证书，以资鼓励。

获奖项目：松树重大病害—松材线虫病及其传播媒介松墨天牛防控技术应用与推广

奖励等级：三等奖

获奖者：林娜

奖励日期：2020年12月17日

证书号：2019-3-L12-R07



2. 知识产权

2.1. 专利授权证书：土壤渗透管

证书号第8147276号



外观设计专利证书

外观设计名称：土壤渗透管

设计人：李嘉诚;罗贞;黄家燕;何辰辰;和展梅;康俊杰;林娜

专利号：ZL 2023 3 0187587.1

专利申请日：2023年04月09日

专利权人：华南农业大学

地址：510000 广东省广州市天河区五山

授权公告日：2023年07月14日

授权公告号：CN 308125178 S

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法经过初步审查，决定授予专利权，颁发外观设计专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为十五年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



证书号第8147276号

专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年04月09日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

申请日时本专利记载的申请人、设计人信息如下：

申请人：

华南农业大学

设计人：

李嘉诚;罗贞;黄家燕;何辰辰;和展梅;康骏杰;林娜

五、其他业绩

1. 指导省级大学生创新创业训练项目

2021年华南农业大学大学生创新创业训练计划项目

结题证书

项目编号： S202110564102

项目级别： 省级

项目类型： 创新训练项目

项目名称： 林木结构复杂度的测定及其对结构效益率的作用机制

项目主持人： 罗贞

指导老师： 林娜、陆永超

项目组成员： 李嘉诚、黄家燕、何辰辰、和展梅、康骏杰

该项目已完成，经专家组评审准予结题，验收结果为__，特发此证。

华南农业大学创新创业学院
〇年〇月

