



云岭学者系列研究丛书

人工林的生态环境 效应与景观生态安全格局

——以云南桉树引种区为例

赵筱青 易 琦 著



非外借



科学出版社

云岭学者系列研究丛书

人工林的生态环境效应与景观生态安全格局 ——以云南桉树引种区为例

赵筱青 易 琦 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从桉树人工林引种这一角度,以云南省 21 世纪以来,桉树人工林引种面积最多最集中的普洱市澜沧县、西盟县和孟连县作为研究对象,综合运用地理学、环境学、景观生态学等多学科理论和方法,以遥感和 GIS 技术为支撑,分析土壤质量、植物多样性、植被覆盖度、植被净初级生产力等四个单因子方面的生态环境效应,揭示桉树对林下植物多样性、植被覆盖度和植被净初级生产力的影响,以及对土壤水分和地力的消耗水平;从生态系统服务价值、生态足迹、土壤侵蚀、生态环境综合效应等四个多因子方面研究桉树的生态环境效应;从景观生态安全的角度,以保护生物多样性为目标,设计桉树引种的景观生态安全格局,并对现有桉树林空间分布的合理性进行评价。

本书适合于从事地球科学、生态学、资源环境学、农学和林学等领域研究人员及高校师生阅读参考。

审图号:云 S (2018) 033 号

图书在版编目 (CIP) 数据

人工林的生态环境效应与景观生态安全格局:以云南桉树引种区为例/
赵筱青,易琦著. —北京:科学出版社,2018.8
(云岭学者系列研究丛书)

ISBN 978-7-03-055783-4

I. ①人… II. ①赵… ②易… III. ①桉树属—人工林—生态环境—研究—云南 ②桉树属—人工林—生态安全—研究—云南 IV. ①S725.7
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 298740 号

责任编辑:郑述方/责任校对:韩雨舟

责任印制:罗科/封面设计:墨创文化

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 8 月第一次印刷 印张:14.75

字数:340 千字

定价:110.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《云岭学者系列研究丛书》编委会名单

主 编：杨 林

副主编：李 伟 周 杰 郑洪波 刘 稚

编 委：杨 林 李 伟 周 杰 郑洪波

刘 稚 杨先明 谈树成 梁双陆

段昌群 胡兴东 赵志芳 李 炎

高 巍 骆华松 吕昭河 何 明

赵筱青 胡仕林 马翀伟 吴 磊

周 琼 岳 昆 胡金连 史 雷

丛书序

《云岭学者系列研究丛书》是我主持的云岭学者培养计划“中国西南地缘环境与边疆发展”的阶段成果。云岭学者是2014年云南省委组织部开始实施的一项人才项目。我自2015年被确定为“云岭学者”人选后，组建了涵盖经济学、民族学、生态学、历史学等学科的高水平科研团队。团队成员层次分明、结构合理，有在其研究领域有一定影响力的专家，也有在其研究领域崭露头角的青年学者。该项目旨在通过人才梯队打造、合作研究、协同创新，为云南省主动融入和服务国家发展战略，培育沿边开放新优势，开拓经济社会发展新空间，形成跨越式发展新路子，为我国西南边疆生态安全、民族团结、社会稳定提供学术成果和决策咨询建议。此次出版的《云岭学者系列研究丛书》（以下简称《丛书》）是部分团队成员潜心研究的高水平著作，都是围绕国家重大战略以及当前最受关注的现实问题完成的研究成果。

著作《云南利用CAFTA培育沿边开放新优势》围绕习近平总书记视察云南省时提出的云南省要建设成为面向南亚、东南亚辐射中心这一目标定位。探讨了我国内陆边疆地区通过培育沿边开放优势，提高对外开放水平的机制和路径问题。这些探讨对拓展符合我国国情的沿边开放路径是有益的。

著作《贸易便利化、产业集聚与企业绩效》则从产业集聚的视角，构建了贸易便利化对企业生产率和出口绩效影响的分析框架，是对中国各地区贸易便利化进行了综合测算，对企业成长和出口绩效的影响进行了检验。该成果有助于了解中国各地区的贸易便利程度，对企业转变经营和发展方式有借鉴意义。

著作《中国少数民族法律运作机制研究：一种法律历史社会学的进路》围绕习近平总书记对云南省的要求即努力成为民族团结进步示范区，从长时段考察了西南地区少数民族历史上的法律问题，具体包括了西南地区少数民族法律中固有的法律制度、历史上国家对西南地区少数民族的法律治理、少数民族的纠纷解决机制及当前西南地区民族区域自治州县的法律规范体系的构建、运行等问题。

著作《群体性事件发生学研究》是团队成员长期以来关注群体性事件的研究集成成果，该成果将发生学方法引入到群体性事件分析过程中，分析了群体性事件最初产生的矛盾过程以及应对方法，既有实证研究又有理论架构，是一部高水准的学术著作。

围绕着习总书记要求云南省建设成为全国生态文明排头兵的目标定位，团队成员完成了多项成果，《丛书》精选了《人工林的生态环境效应与景观生态安全格局——以云南桉树引种区为例》和《边疆视角：中国西南环境史研究》两部著作汇编出版。《人工林的生态环境效应与景观生态安全格局——以云南桉树引种区为例》是团队成员长期关注桉树引种对云南的景观生态安全格局影响的最新成果，该成果以自然栖息地和生物多样性整体保护为目标，利用最小累积阻力模型开展了桉树引种的景观生态安全格局的定量研究。《边疆视角：中国西南环境史研究》则从边疆视角，长时段解读中国西南环境史，对云南

省建设成为生态文明排头兵具有很强的启示和参考价值。

总之，以上著作是团队成员潜心研究的最新成果，这些成果紧密结合习近平总书记考察云南时的讲话精神，具有很强的社会责任感。当然，由于时间紧和跨学科等原因，《丛书》中错误在所难免，欢迎读者提出批评意见建议。

杨 林

2018年3月

前 言

人类活动对地球干扰变化与生态环境安全研究是目前人们十分关注的热点问题。地球科学从人—地关系的角度研究环境的变化及其对资源的影响,为人类社会与自然协调发展提出科学原理和方法。地理学以“形态—格局—结构—过程—机理”的研究思路贯穿始终,揭示地球表层地理过程,探讨地理空间环境要素相互作用的机理是现阶段地理学研究的核心目标。

世界范围的生态环境问题越来越突出,严重威胁着人类社会的可持续发展,保障生态安全已经成为迫切的社会需求。人工林的引种在给国家提供大量木材和林产品、创造物质财富、为国民经济的快速发展提供资源保障的同时,却给引种区环境和生物多样性带来了危机,保护和恢复生态环境是实现区域生态安全的必由途径。云南省十几年来桉树、橡胶等人工经济林的种植面积不断扩大,在解决当地经济问题的同时,由于引种的随意性和盲目性,对云南省天然林的发展空间造成了威胁,改变了区域土地覆被特征,给当地的生态系统造成了很大压力。特别是外来树种桉树的引种,引起了学者、媒体等各方面的争议。争议的焦点是在云南生物多样性丰富的地方大规模引种桉树,桉树成林后会对生态环境产生负面影响;另外人们担忧以桉树人工林代替天然林,使天然林种植面积大规模减少,从而改变云南省的生物多样性,而生物多样性的改变将会影响到作为国家战略资源的物种和遗传基因,进而危及国家的生态安全。但是目前无论是支持桉树发展还是对桉树发展持保留意见的观点,以及桉树人工林引种对生态环境到底有什么影响,引种区景观生态安全格局应该如何设计等问题,均缺乏系统的、基础性的科学数据和依据,尤其缺乏从生态安全的角度对桉树引种区景观生态安全格局的研究。

基于以上问题,笔者在近十几年选定云南省生物多样性丰富、桉树种植面积快速扩大的典型区域,从不同尺度对桉树人工林引种区的土壤质量、植物多样性、植被覆盖度、植被净初级生产力、生态系统服务价值、生态足迹、土壤侵蚀、环境综合效应、景观格局及景观生态安全格局设计进行研究,在国家自然科学基金项目“云南尾叶桉类林引种的环境影响与生态安全格局研究”(项目号:40961031)及“云南大规模桉树引种区土地生态安全时空分异及其优化配置研究”(项目号:41361020)和“2015年第二批云岭学者培养”等项目资助下,进行了系列研究和实践。本书是在以上研究的基础上撰写而成的,希望能对我国外来树种引种的环境效应、生态安全格局设计的研究发展和深化起到有益的推动作用。

全书共分三篇(七章)。第一篇主要论述了桉树人工林引种的生态环境效应与景观生态安全格局研究的理论与方法;第二篇论述了云南省桉树人工林主要引种区生态环境效应的研究与实践;第三篇对桉树引种区的景观生态安全格局特征、景观生态安全格局进行了案例分析和设计。

本书由赵筱青教授制定编写大纲,分工执笔撰写。全书由赵筱青教授负责整编统稿、

定稿，易琦副教授负责文稿校核。各章撰写人员如下：前言由赵筱青撰写；第一章由赵筱青撰写；第二章由赵筱青、张龙飞撰写；第三章由赵筱青、顾泽贤撰写；第四章由赵筱青、易琦、丁宁、谢鹏飞、杜虹蓉、高翔宇、王喆、马玉、许莉肫撰写；第五章由易琦、顾泽贤、高翔宇、赵筱青撰写；第六章由张龙飞、赵筱青、和春兰撰写；第七章由赵筱青、和春兰撰写。几年来参加此项研究工作的老师除本书作者外还有：方波助理研究员、朱光辉副研究员、邓福英副教授；参加此项工作的研究生先后有：饶辉、和春兰、许莉肫、丁宁、杜虹蓉、王兴友、张龙飞、谢鹏飞、顾泽贤、高翔宇、马玉、王喆。在此我们对上述师生对本书的完成所做的贡献表示衷心的感谢。

本书在研究和撰写过程中得到杨树华教授、谈树成教授等的支持和关心，得到了云南大学领导和科技处的大力支持，得到了有关部门和公司企业的积极协助，在此一并表示诚挚的感谢。

赵筱青

2017年11月于云南大学

目 录

第一篇 桉树人工林引种的生态环境效应与景观生态安全格局研究的理论与方法	1
第一章 人工林引种研究的背景及意义	3
1.1 研究背景	3
1.1.1 人工林的引种与发展	3
1.1.2 桉树人工林引种的争议	3
1.2 研究意义	5
第二章 桉树人工林引种的生态环境效应研究理论与方法	6
2.1 桉树人工林引种的单因子生态环境效应的研究进展	6
2.1.1 桉树引种与生物多样性研究	6
2.1.2 桉树引种与土壤质量的研究	7
2.1.3 桉树引种与植被覆盖度的研究	9
2.1.4 桉树引种与植被净初级生产力的研究	10
2.2 桉树人工林引种的多因子生态环境综合效应研究进展	12
2.2.1 桉树引种与生态系统服务价值研究	12
2.2.2 桉树引种与生态足迹的研究	12
2.2.3 桉树引种与土壤侵蚀的研究	13
2.2.4 桉树引种与生态环境综合效应评价的研究	14
第三章 桉树人工林引种的景观生态安全格局研究理论与方法	16
3.1 景观生态安全概念	16
3.2 景观生态安全格局概念	16
3.3 景观生态安全格局研究现状	17
3.3.1 景观生态安全格局的理论研究	17
3.3.2 景观生态安全格局实践应用	18

3.4 桉树引种的景观生态安全格局研究现状	19
第二篇 桉树人工林引种的生态环境效应研究	21
第四章 桉树人工林引种的单因子生态环境效应研究	23
4.1 澜沧县、西盟县和孟连县桉树人工林引种对土壤质量的影响	23
4.1.1 研究区概况	23
4.1.2 土壤采样点概况	24
4.1.3 土壤理化性质和土壤综合质量测定方法	26
4.1.4 澜沧县桉树引种前后土壤理化性质及综合质量的变化	29
4.1.5 西盟县和孟连县桉树与其他用地类型下土壤理化性质及综合质量差异 ...	46
4.1.6 小结	50
4.2 澜沧县桉树人工林引种对林下植物多样性的影响	51
4.2.1 样地设置调查及研究方法	51
4.2.2 各林地植物物种多样性现状分析	54
4.2.3 桉树引种对林下植物物种多样性影响分析	62
4.2.4 桉树引种对林下植物物种多样性生态安全影响分析	81
4.2.5 小结	82
4.3 西盟县、孟连县、澜沧县桉树人工林引种对植被覆盖度的影响	83
4.3.1 数据来源及研究方法	83
4.3.2 研究区植被覆盖变化特征	86
4.3.3 植被覆盖变化原因简析	88
4.3.4 小结	89
4.4 西盟县、孟连县、澜沧县桉树引种对植被净初级生产力的影响	89
4.4.1 数据来源及研究方法	89
4.4.2 桉树人工林引种区植被净初级生产力变化特征	91
4.4.3 小结	94
第五章 桉树人工林引种的多因子生态环境综合效应研究	96
5.1 澜沧县桉树人工林引种区生态系统服务价值变化分析	96
5.1.1 数据处理及研究方法	96

5.1.2 桉树人工林引种区生态系统服务价值动态变化分析	99
5.1.3 小结	103
5.2 西盟县桉树人工林引种区生态足迹变化分析	103
5.2.1 数据处理及研究方法	104
5.2.2 桉树人工林引种区生态足迹动态变化分析	107
5.2.3 生态足迹变化驱动因子分析	112
5.2.4 小结	114
5.3 西盟县、孟连县和澜沧县桉树人工林引种区土壤侵蚀变化分析	115
5.3.1 数据来源及研究方法	115
5.3.2 桉树人工林引种区土壤侵蚀特征分析	119
5.3.3 小结	124
5.4 西盟县、孟连县和澜沧县桉树引种的生态环境综合效应测评	125
5.4.1 土地利用变化下的生态效应价值量测评	125
5.4.2 生态效应总价值的变化特征	128
5.4.3 小结	132
第三篇 桉树人工林引种的景观生态安全格局研究	135
第六章 桉树人工林引种区景观生态安全格局特征分析	137
6.1 数据收集处理及研究方法	137
6.1.1 数据收集处理	137
6.1.2 研究方法	138
6.2 西盟县、孟连县、澜沧县景观生态安全格局分析	139
6.2.1 景观基本特征分析	139
6.2.2 景观异质性分析	144
6.3 小结	149
第七章 西盟县、孟连县、澜沧县桉树人工林引种的景观生态安全格局设计	151
7.1 研究目的	151
7.2 数据来源及研究方法	152
7.2.1 数据来源及处理	152

7.2.2 技术路线及研究方法	152
7.3 桉树人工林引种的景观生态安全格局设计原则	157
7.3.1 维护和恢复研究区整体生态功能的原则	157
7.3.2 维护景观稳定性的原则	157
7.3.3 维护生物多样性的原则	158
7.3.4 维护景观异质性的原则	158
7.4 景观生态安全格局组分识别	158
7.4.1 “源”的确定	158
7.4.2 阻力面的建立	159
7.4.3 廊道的识别	162
7.4.4 辐射道的识别	162
7.4.5 战略点的识别	162
7.4.6 景观功能区的确定	162
7.4.7 桉树可种植区的确定	165
7.5 景观生态安全格局设计	168
7.5.1 桉树引种的景观生态中级安全格局	168
7.5.2 桉树林引种的景观生态高级安全格局	168
7.6 景观生态安全格局方案评价	168
7.7 现有桉树林空间分布合理性评价	170
7.7.1 基于中级安全格局的现有桉树林空间分布合理性评价	170
7.7.2 基于高级安全格局的现有桉树林空间分布合理性评价	170
7.8 小结	171
参考文献	173
附录	187
附录 I 各林地林下植物物种重要值	187
附录 II 其他林地与桉树林地林下植物物种重要值及频度	197
附图	203
后记	223

第一篇 桉树人工林引种的 生态环境效应与景观生态 安全格局研究的理论与方法

第一章 人工林引种研究的背景及意义

1.1 研究背景

1.1.1 人工林的引种与发展

面对人口快速增长,木材需求量的迅速增加与全球天然林资源大幅减少,森林资源总量急剧下降的严峻现实,世界各国都在大力发展工业人工林,以缓解木材和林产品的供需矛盾,保持经济和社会的持续发展。据 Kemp 等(1993)估测,1900 年全球木材年消耗量为 $3.5 \times 10^9 \text{ m}^3$,2010 年将增至 $5.1 \times 10^9 \text{ m}^3$,并且指出,只有营建人工林才能满足日益增长的木材需求,因此人工林特别是外来树种的引种就成为全球解决人类对木材需求的一个重要途径。新西兰(辐射松)、巴西(桉树)、南非(桉树和墨西哥松)、澳大利亚(辐射松和其他热带松)等国家都是通过营建外来树种工业人工林来实现木材自给或出口的。在热带地区 85% 以上工业人工林是用外来树种营建的,其中桉树(*Eucalyptus*)占热带人工林面积的 30%,以加勒比松(*Pinus caribaea*)为主的热带松树占 10.5%,相思树(*Acacia* spp.)占 12.0%,柚木(*Tectona grandis*)占 7%(王豁然,2000)。

目前中国已成为全球第二大木材消耗国和第一大木材进口国,年消耗量近 5 亿 m^3 ,人工林面积从原来的 6169 万 hm^2 增加到 6933 万 hm^2 ,我国也从国外引种了大量的外来树种,如松属树种(*Pinus*)、桉属树种(*Eucalyptus*)、杨属树种(*Populus*)等,使木材生产量大大提高,这些树种成为目前用材人工林的主要树种,集中在热带和亚热带地区(潘志刚等,1994)。其中桉树已成为我国林业史上引种最为成功的树种,引种面积居世界桉树人工林面积的第二位,获得了巨大的经济效益和社会效益(张荣贵等,2007)。

1.1.2 桉树人工林引种的争议

桉树是桃金娘科(Myrtaceae)桉树属(*Eucalyptus*)树种的统称,共有 945 个种、亚种和变种。桉树天然分布在修正的华莱士线以东,7°N 至 43°39'S 之间。除剥桉分布在巴布亚新几内亚、印度尼西亚和菲律宾,尾叶桉、山地尾叶桉和维塔尾叶桉分布于印度尼西亚帝汶岛及东部岛屿外,其余全都自然分布于澳大利亚(祁述雄,2002)。全球现有桉树天然林 $0.4 \times 10^8 \sim 1.0 \times 10^8 \text{ hm}^2$,澳大利亚的森林资源几乎百分之九十是桉树林。桉树是世界上著名的三大速生树种之一,光合作用强、生长速度快、轮伐期短、环境适应性强是其主要特征,并具有很高的经济效能,例如桉叶中提取的桉叶油是医药、化工、美容行业的原料,枝干可作为制纸浆、纤维板、大径木材的原料,也可作为防护树种和观赏绿化树种。因此从 20 世纪初开始,桉树被许多国家大规模引种,现在已经发展到全世

界 100 多个国家和地区,面积已超过 $5 \times 10^7 \text{ hm}^2$,其中在世界热带亚热带地区引种栽培的桉树人工林面积接近 $1.4 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (FAO, 1976; Peter, 1997; Flynn and Shield, 1999)。印度的桉树工业人工林面积最大,为 $4.8 \times 10^6 \text{ hm}^2$,巴西为 $3.6 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (孙长忠和沈国航, 2001)。

我国桉树引种始于 1890 年,开始只是作为庭院观赏树木栽植,从 20 世纪 50 年代才开始大面积引种,并逐步把它作为主要栽培树种,在南方 10 多个省、市、自治区加以繁殖推广(祁述雄, 2002),栽培面积现已发展到 $4.5 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占世界人工林面积的 12% (杨民胜和李天会, 2005)。金光集团(Asia Pulp & Paper Co., Ltd.)自 1995 年开始在我国广东、广西、海南和云南等地营造速生桉树林,截止到 2009 年,已营造约 32 万 hm^2 的速生丰产原材料林(蒋国深等, 2009)。桉树引种在我国的分布,南起海南三亚市($18^\circ 20' \text{ N}$),北到陕西平阳县($33^\circ 10' \text{ N}$),东自台湾(122° E),西至云南保山($98^\circ 44' \text{ E}$);垂直分布从东南沿海海拔 4m 到中西部丘陵,直至云贵高原的川滇山地海拔 2400m 处(李志辉等, 2000; 祁述雄, 2002)。

云南于 1894 年引入桉树,是我国桉树人工林引种较早的省份之一。截至 2005 年底,云南 129 个县市区中有 109 个县市区种植桉树,桉树种植面积达 23.60 万 hm^2 ,仅次于广东、广西、海南,居全国第 4 位(张锐, 2006)。云南省引种桉树的经济用途以生产桉油和纸浆为主,其中蓝桉和史密斯桉等为代表的桉树以生产桉油为主,分布在昆明、楚雄、玉溪、保山等地区;尾叶桉、尾巨桉、巨尾桉、巨桉等为代表的桉树以生产纸浆为主,主要分布在普洱、临沧、文山等地。

桉树人工林种植面积的日益扩大存在颇多争议(Shiva and Bandyopadhyay, 1983; Poore and Fries, 1985),有关桉树人工林的争论主要集中在生态环境效应方面:①桉树工业人工林的稳定性问题;②减少生物多样性问题;③过度消耗养分和水分问题;④病虫害问题;⑤引起土地的沙漠化问题等等(Bahuguna, 1991; 赵廷香和麦昌金, 1997)。另外一些研究者则认为,这些问题不是桉树本身造成,而是在桉树引种、经营管理等过程中造成的,主要体现在:①大面积连片单一种植;②造林过密;③人为刮走地表枯枝落叶;④炼山整地(于福科等, 2009)。同时,他们还认为桉树具有固碳释氧、净化环境、森林防护、调节气候等生态功能(谢彩文, 2012)。

在云南这样的争议也是存在的,特别是 2002 年金光集团与云南省政府合作,于 2003 年签下 153 万 hm^2 的林浆纸基地,自从普洱市的澜沧县、孟连县和西盟县三县集中引种尾叶桉、巨桉和尾叶桉杂交品种开始,质疑的声音也随之而来。2003 年至 2008 年三县共引种桉树约 5.7 万 hm^2 ,引种面积占三县总面积的 4.6%。桉树的引种再次引发了争议,争议的焦点是在云南普洱市澜沧县、孟连县和西盟县这样生物多样性丰富的地方大规模引种桉树,人们担心可能会带来生态环境负面影响(马晓等, 2012),如人工桉树纯林容易导致水土流失、病虫害加剧、生物多样性消失和森林火灾增多等一系列问题,而生态系统的改变将会影响到作为国家战略资源的物种和遗传基因,进而危及国家的生态安全。毕竟桉树在普洱市三县的引种取代了常绿阔叶林、思茅松林、荒草地及灌木林等,原有的森林生态系统、灌木林生态系统、草地生态系统,甚至农田生态系统发生了改变,景观格局也在桉树引种后发生了很大变化。

目前,无论是支持桉树发展还是对桉树发展持保留意见的观点,均缺乏系统的、基础性的科学数据和依据。鉴于桉树人工林引种争议,不少人试图采取一些经营管理方面的措施,来预防桉树人工林带来的生态负面影响,但由于着眼点不同,得出的初步结果是零散而不系统的。因此分析云南省桉树人工林引种的生态环境效应,从区域生态安全的角度研究桉树引种的景观生态安全格局势在必行。

1.2 研究意义

桉树的大规模引种,出现了一系列的争议和环境问题,其根源之一是缺少对桉树引种造成当地生态环境的影响研究,引种经营存在较大的随意性和盲目性,缺乏生态安全格局的考虑。因此,本书以云南省普洱市桉树重点引种区——澜沧县、西盟县和孟连县为例,研究桉树引种的生态环境效应及景观生态安全格局的设计模式与方法,为桉树引种的进一步研究提供理论依据和参考,为其他外来树种的引种提供借鉴意义。研究桉树与原生林之间,桉树与其他用地类型之间的空间配置关系,避免或减少外来树种引种对区域生态环境的影响,减缓天然林所承受的生产功能压力,合理利用和布局土地,促进区域的可持续发展。