

山东退化山地 立地分类体系构建及造林模型 研究与应用

© 张永涛 杨吉华 慕宗昭 著

 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

山东退化山地立地分类体系构建 及造林模型研究与应用

张永涛 杨吉华 慕宗昭 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

山东退化山地面积大、土层瘠薄、植被覆盖率低、生态环境脆弱,严重制约了山区经济和社会的协调发展。通过定位研究,划分了6个立地类型,配置了8个造林模型,构建了24种混交模式,对造林模式、生态功能、投资成本等进行动态监测与分析;优化出投资少、效益高、产投比大的造林模型,选出适宜退化山地的主要树种,提出了退化山地综合造林技术,并在山东省试验示范区取得了良好效果。本研究为退化山地植被恢复提供了样板,对于加快生态林业建设、改善区域生态环境具有重要意义。

本书供林业研究者和一线林业生产管理人员参考使用。

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。

图书在版编目(CIP)数据

山东退化山地立地分类体系构建及造林模型研究与应用/张永涛,杨吉华,慕宗昭著. —北京:电子工业出版社,2016.5

ISBN 978-7-121-28918-7

I. ①山… II. ①张… ②杨… ③慕… III. ①山地—土地退化—研究—山东省
②荒山造林—研究—山东省 IV. ①F323.211②S728.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第117136号

策划编辑:甄文全

责任编辑:甄文全

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:720×1 000 1/16 印张:13.25 字数:257千字 黑插:2 彩插:3

版 次:2016年5月第1版

印 次:2016年5月第1次印刷

定 价:47.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254760;QQ:112670423。

编委会

主 编 张永涛 杨吉华 慕宗昭

副 主 编 王延平 董 智 马胜国 董金伟

编写人员（按姓氏笔划排序）

于连家 王 强 尹若波 付 伟 朱 超

刘江山 杨 强 杨科家 宋智林 张继坤

张德业 赵文太 赵松宁 夏 谦 扈兴强

致 谢

感谢世界银行贷款山东生态造林项目“干旱瘠薄山地造林树种及造林模型选择研究”的资助。

本书为上述课题的部分研究内容，承蒙课题组全体成员的大力支持、无私奉献才得以完成，在此深表谢意。

本书的研究涉及山东省退化山地植被恢复区多个县市区，在外业观测和资料的收集、整理及各种工作协调中，得到了山东省林业外资与工程项目管理站、莱芜市莱城区雪野镇人民政府、乳山市林业局、新泰市林业局、莒县林业局、蒙阴县林业局、泗水县林业局的大力支持和帮助。

山东农业大学研究生杜强、张子雪、李星辰、罗明达、胡建鹏、陈志成、王志伟、张国庆、杨菲、艾钊、魏晓明、李赛、李小倩、程甜甜、张兴刚等，以及2010—2015届部分水土保持专业本科毕业生参加了部分外业调查和内业工作。

山东农业大学农业生态与环境重点实验室、山东省土壤侵蚀与生态修复重点实验室、泰山森林生态站承担了所有实验样品的测试和分析。

对以上单位和人员表示衷心的感谢！

张永涛 杨吉华 慕宗昭

2016年3月20日

前 言

山地退化是指在自然因素和人为不合理经济活动作用下，山地土壤、成土母质遭受破坏和流失，致使山地土层变薄、质地变粗、肥力下降、地表植被减少、生物多样性降低、土地生产力下降和经济生产力衰退或丧失的现象。

山东省低山丘陵由于历史上长期过度开发（农业种植、放牧和采樵），导致原始植被破坏殆尽，表层土壤侵蚀严重，使土层浅薄，土壤肥力和保水保肥能力低下，山地干旱瘠薄。山东省有大面积的干旱瘠薄山地需要绿化。据统计，山东省总面积 $157\,000\text{km}^2$ ，其中山地丘陵占全省总面积的近 40%，主要包括鲁中南低山丘陵和胶东丘陵两部分。在山区丘陵中，砂石山低山丘陵总面积 $43\,236\text{km}^2$ ，主要分布在泰沂山区及胶东丘陵区；石灰岩低山丘陵总面积 $14\,964\text{km}^2$ ，主要分布在泰沂山脉西侧，以济南、潍坊、枣庄、淄博 4 市所管辖范围内最为集中。新中国成立后，我省林业建设取得了很大成绩，林地面积已达 $33\,629\text{km}^2$ ，林木覆被率达 21.42%（截至 2008 年），主要集中在平原及部分丘陵地区等立地条件较好的地段；但山地丘陵整体上林木覆被率较低，尤其是多达 2500km^2 土层浅薄干旱贫瘠的山地丘陵需要绿化。

山东退化山地不仅植被覆被率低，而且林木生长缓慢，植物种类稀少，植被或森林健康状况较差，植物群落结构单一，生态系统脆弱，水土流失严重。水土流失面积占全省土地总面积的 41.5%，其中 70%集中在山东退化山地丘陵地区，全省的土壤侵蚀量为全国平均值的 3 倍，严重制约了山区经济和社会的协调发展。开展山东退化山地丘陵的生态造林工作迫在眉睫。为此，山东省林业外资与工程项目管理站申请世界银行贷款进行山东生态造林项目，在山东省退化山地丘陵地区进行生态造林，增加当地的森林资源，提高森林覆盖率，减少水土流失危害，改善土壤条件和生态条件，保护水土资源和植被资源，提高土地利用率和经济生产力。

据调查，山东退化山地丘陵区造林目前存在三个主要问题。一是由于低山丘陵立地条件过于严酷，在低山丘陵造林绿化中普遍存在造林模式单一、树种单一、

纯林面积大以及造林密度、整地方式和规格、种苗规格和质量、造林方法不适宜等问题，且缺少乔灌植物种类的科学构建技术、混交技术、造林技术和抚育管理技术等生态造林中的开发和利用，结果导致造林成活率和保存率低、林分生长缓慢、成林年限推迟、森林结构不良、森林生态功能低下，甚至达不到生态造林的目的。二是对山东退化山地丘陵的退化生态系统在人为积极干扰下的自然再生能力与生态修复能力缺乏研究和认识；在以往的生态造林项目中，只重视造林树种的成活和生长，忽视了立地类型、造林密度、混交林的种间关系等方面对新物种的增加以及生态稳定性的影响缺乏深入研究；片面强调人工造林的作用，忽视了生态系统自我修复能力的研究。三是缺乏科学有效的生态效益跟踪监测评价体系，在以往的生态治理项目中，主要测定了生态效益指标（并且是静态的），缺少对项目治理综合效益（生态效益、经济效益和社会效益）的动态监测和科学评价。

山东省林业外资与工程项目管理站申请世界银行贷款进行山东生态造林，计划在山东退化山地丘陵生态造林项目区造林 $36\,897\text{hm}^2$ ，其中石灰岩退化山地造林 $19\,341\text{hm}^2$ ，砂石山退化山地造林 $17\,556\text{hm}^2$ 。

首先，对退化山地丘陵生态造林项目区各小班的裸岩裸砂面积及其所占比例、灌草植被盖度、土层厚度、海拔高度、岩石种类、土壤类型、山坡坡位、坡度等进行实地调查，再进行立地分类体系构建。

其次，在立地分类体系构建的基础上确定造林模型的种类及造林面积，共设计 8 个造林模型（ S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 、 S_7 、 S_8 ），每个造林模型适用于一个特定的立地条件。对 8 个造林模型进行投资效益分析，研究不同造林模型的生态效益、直接经济效益、间接经济效益和产投比，最终在山东退化山地丘陵选择投资少、生态效益好、经济效益高、产投比大、适宜性强、宜推广的造林模型，为退化山地选择适宜的造林模型提供理论依据和技术指导。

本项目针对以上问题进行了五年多的研究，本书展现的是部分研究结果。由于作者知识水平有限，书中肯定有遗漏和不足，真诚希望广大读者提出宝贵意见和建议。

著 者

2016 年 3 月

目 录

第 1 章	研究概况	1
第 2 章	研究区概况与造林模型简介	6
2.1	山东退化山地不同造林模型研究与示范区概况	6
2.2	不同造林模型简介	13
第 3 章	研究内容与方法	17
3.1	研究内容	17
3.2	经济技术指标	18
3.3	研究方法	18
3.4	技术路线	28
第 4 章	山东退化山地立地分类体系构建	29
4.1	立地分类体系构建的原则	29
4.2	主导立地因子的确定	29
4.3	立地因子的赋值	30
4.4	立地因子权重的计算	30
4.5	判断矩阵的一致性及各因子的权重值	32
4.6	各立地单元类型的构建	33
4.7	本章小结	39
第 5 章	山东退化山地不同造林模型生态效益	41
5.1	石灰岩山地丘陵造林模型 S_1 生态效益	41
5.2	石灰岩山地丘陵造林模型 S_2 生态效益	55
5.3	石灰岩山地丘陵造林模型 S_3 生态效益	68
5.4	石灰岩山地丘陵造林模型 S_4 生态效益	84
5.5	砂石山区山地丘陵造林模型 S_5 生态效益	97
5.6	砂石山区山地丘陵造林模型 S_6 生态效益	113
5.7	砂石山区山地丘陵造林模型 S_7 生态效益	134
5.8	砂石山区山地丘陵造林模型 S_8 生态效益	145
5.9	本章小结	169

第 6 章 山东退化山地不同造林模型投资分析 172

6.1 造林模型 S₁ 投资分析 173

6.2 造林模型 S₂ 投资分析 173

6.3 造林模型 S₃ 投资分析 174

6.4 造林模型 S₄ 投资分析 174

6.5 造林模型 S₅ 投资分析 174

6.6 造林模型 S₆ 投资分析 175

6.7 造林模型 S₇ 投资分析 175

6.8 造林模型 S₈ 投资分析 176

6.9 本章小结 176

第 7 章 山东退化山地不同造林模型经济效益价值核算 177

7.1 不同造林模型直接经济效益价值核算 177

7.2 不同造林模型间接经济效益价值核算 179

7.3 本章小结 187

第 8 章 山东退化山地造林模型优化 189

8.1 山东退化山地生态造林项目实施前不同造林模型 189

8.2 山东退化山地生态造林项目实施后构建新型造林模型 191

8.3 本章小结 195

第 9 章 创新、示范与推广 197

9.1 主要创新点 197

9.2 研究与示范成果的推广应用 198

主要参考文献 200

附表

图版

第1章 研究概况

在造林与森林经营中，必须把立地条件及其生长效果相近似的地段归并成同一类型，按不同类型进行规划设计，采用不同的造林技术与不同的森林经营措施，这样的类型称立地条件类型。立地类型划分是林业重要的基础工作之一，是实现适地适树、科学造林营林的前提。到目前为止，国内外广大林业科技工作者对立地条件类型的划分进行了大量的研究，其主要方法是通过编制各种反映立地质量的数表来划分立地类型，如林型表、地位级表、立地条件类型表、立地指数表、数量化得分表等。

当前，国内外立地条件类型的划分方法有3种：①按主导环境因子的分级与组合。该法简单明了，在实际工作中应用较普遍，但较粗放、刻板。②按生活因子的分级组合，主要按林木需要的水分和养分（肥力）在不同地段的等级划分。此法反映的因子比较全面，但不易直接测定，复杂地形的小气候差异在类型中难以全面表达。为此，有学者试用主导环境因子和生活因子相结合的方法划分立地类型。③用立地指数代替立地类型。此法在北美应用较普遍。它是将树高生长与许多立地因子联系起来，通过多元回归分析编制立地指数表与划分立地类型，能综合反映立地质量的高低与森林生长的效果。但不同的树种难以套用，且方法本身只能说明效果，不能说明原因。

造林地立地条件是人工林生存的外界环境，了解造林地的环境条件及其变化规律，对于选择合适的造林树种及拟定合理的造林技术措施具有重要意义。造林地环境复杂多变，包含气候、地形、土壤、植被、水文等诸多因子，而且这些因子又处在相互联系、互相制约之中。因此，调查造林地的立地条件、划分立地类型是造林工作的第一步。

层次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP）是美国运筹学家 Thomas L. Saaty 教授于 20 世纪 70 年代初期提出的。AHP 是对定性问题进行定量分析的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法。它的特点是把复杂问题中的各种因素划分为相互联系的有序层次，使之条理化，根据对一定客观现实的主观判断结构（主要是两两比较）把专家意见和分析者的客观判断结果直接而有效地结合起来，

将一层次元素两两比较的重要性进行定量描述。而后，利用数学方法计算反映每一层次元素的相对重要性次序的权值，通过所有层次之间的总排序计算所有元素的相对权重并进行排序。该方法自 1982 年被介绍到我国以来，以其定性与定量相结合处理各种决策因素的特点，以及其系统灵活简洁的优点，迅速地得到了广泛的重视和应用。本研究项目就是运用该方法，分析山东省山地丘陵地区主导立地因子，考虑石灰岩山区和砂石山区的土层厚度、裸岩（砂）面积比例、植被盖度、坡位、坡向、坡度、土层厚度、海拔等因子，并根据各因子的变化，结合其对林木生长的影响程度，最终划分立地等级。

近年来，随着社会的发展与进步人们越来越重视水土保持植被建设，产生了多种多样的造林配置模型，人们虽然从意识上认识到山区水土保持植被具有重要作用，但是对这么多模型的好坏没有更确切、更具体的认识，对山区水土保持植被如何配置仍存在迷茫。因此，需要开展定量评价研究，使人们从数量上认识到山区水土保持植被的重要性以及筛选出生态效益、经济效益和社会效益较优的山区水土保持植被造林模型。

在山东省退化山区选择适宜区域营造了 8 种不同的造林模型，不仅能增加我省森林资源，还改善了严重的土壤侵蚀现状，将营林区的土壤和生态环境保持在适宜植物、人类生存发展的阈值范围，从而达到蓄水保土，增加土壤的生产能力，改善区域内水资源状况和土地资源情况，增加区域内的动植物数量，使营林区环境、农业、经济得到快速、高效、循环发展。

为了对山东退化山地不同造林模型的多种功能进行客观评价，参照较为成熟的生态效益价值核算体系，对山东生态造林项目 8 种不同造林模型的投资费用、蓄水保土价值、固碳制氧价值、经济价值等进行核算评估，综合分析后得出不同造林模型的生态效益价值大小，并计算出不同造林模型的产投比，建立一个适用于山东退化山地的造林评价系统，并确定效益最大的造林模型，为山东省退化山地生态造林项目造林模型优化提供依据，为国内外退化山地生态造林开发建设提供理论依据和技术支撑。在模型评价中，经济效益的价值核算一般以市场价值为准，但生态价值核算则较为复杂。

20 世纪 50 年代以来，许多国家均在开展森林生态效益定位观测和调查，并进行理论探索和技术研究。50 年代末，原苏联曾提出森林生态公益效能经济评价的公益效能系数（ K_{C_n} ）法。60 年代提出了一种关于研究市郊森林游憩价值的方

法。70年代,日本林野厅通过“森林公益效能计量调查”对全国森林进行了公益效能的计量和评价。进入90年代,森林生态效益计量评价已成为生态学界、林学界、经济学界研究的热点。国外生态效益评价方面的研究,主要分两个学派,以 Costanza 等为代表的“生态经济学派”认为生态功能价值可以计算总价值,并且提出恰当的计量方法为市场价格法和替代成本法;而以 Pearce 等为代表的“环境经济学派”认为生态功能价值难以计算总价值,并且认为恰当的计量方法为支付意愿。自生态系统服务功能概念和内涵明确后,该项工作很快成为国际生态学界和生态经济学界的研究热点。特别是国际科学联合会环境问题科学委员会(SCOPE)1991年的生物多样性间接经济价值定量研究会议召开以来,关于生态系统服务功能经济价值评估理论与实践的研究得到广泛开展。

20世纪60年代开始,我国在借鉴国外经验的基础上,根据我国实际情况,研究提出了森林生态效益的一些计量评价方法。孔繁文等第一次系统地研究了森林资源核算问题,基本形成了中国森林资源核算研究的整体框架;侯元兆等第一次比较全面地对中国森林资源价值进行了评估,对涵养水源、防风固沙、净化大气3种生态效能进行了经济核算;周冰冰、李忠魁等对北京市森林资源价值进行了评估,对涵养水源、保育土壤、固碳制氧、净化环境、防风固沙、景观游憩、生物多样性7种生态价值进行了核算。郎奎建等对10种森林生态效益做了总体初步估计,除了上述7种生态效益以外,还涉及了森林改善小气候、减轻水旱灾害、消除噪声等方面的研究;肖寒、欧阳志云等从森林生态系统服务功能的角度出发,将森林生态系统服务功能分为森林林产品生产、水源涵养、水土保持、二氧化碳固定、营养物质循环、空气净化等,并依次进行生态效能的价值核算。还有许多学者先后对森林生态效能中的某一项或几项进行了森林生态效益的定量研究。我国的生态功能及其价值评价工作源于80年代初开始的森林资源价值核算研究工作。1982年,张嘉宾等利用影子工程法和替代费用法估算云南省怒江傈僳族自治州贡山、福贡、泸水等县的森林保持土壤功能的价值为154元/(亩·年),森林涵养水源的价值为142元/(亩·年);中国林学会在1983年开展了森林综合效益的评价研究;1988年国务院发展研究中心得到美国福特基金会的资助,成立了“资源核算纳入国民经济核算体系”课题组,开展了包括水资源、土地资源、森林资源、草地资源、矿产资源等的价值核算工作;侯元兆等(1995)第一次比较全面地对中国森林资源价值进行了评估,其中包括三种生态功能——涵养水源、防风固沙、

净化大气的经济价值,并首次揭示了这三项功能是活立木价值的 1.3 倍;欧阳志云等(1996, 1999)以生态系统为例,探讨了中国生物多样性间接价值;李金昌等(1999)还出版了专著《生态价值论》,该书以森林生态系统为例,全面总结了森林生态系统服务价值计量的理论和方法。

除了上述研究以外,部分学者还对单项的生态功能价值评价进行了深入研究:森林保育土壤价值核算理论研究(金彦平, 2001);森林涵养水源价值核算理论与方法的研究(姜文来, 2001);森林固碳制氧功能的价值核算研究(刘璨, 2001);森林净化大气有毒气体的效益估算方法研究(黄艺, 2001);森林社会效益价值评价的指标体系研究(陈勇等, 2001);森林游憩价值核算(胡明形, 2001)。

作为森林生态效益重要组成部分之一的森林涵养水源功能,吸引了国内外许多研究工作者的眼光(Serafy, 1998; 薛达元等, 1999; 李忠魁等, 2001; 王玉涛等, 2007)。石培礼等(2004)对长江上游的森林蓄水功能进行研究时,以土壤层蓄水量来表征整个植被类型区的蓄水量。也有些研究人员利用土壤层蓄水量和枯落物层蓄水量之和来表征森林的蓄水功能,李红云等(2004)就利用土壤层和枯枝落叶层的蓄水量之和量化出了济南市南部山区的森林的水源涵养总量;也有学者单就土壤层的蓄水功能来估算森林的水源涵养功能,李金昌等(2004)就利用这种表征法估算出了长白山地区森林植被的水源涵养总量(约为 136×10^8 t/年)。

森林碳汇效益研究方面,大多数国家和环境组织都在利用森林的碳汇作用来缓解随温室效应而来的各种生态环境问题(李苗苗, 2011)。李友华(2008)指出,林业所讲的碳汇是指营造的人工林通过吸收大气中的 CO_2 等温室气体,并将其固定在植被中或林地土壤层内,从而将大气中的温室气体浓度降低到一定程度,即林分对大气中温室气体的固定或吸收能力。洛桑多吉(2010)指出与工业直接减少温室气体排放量相比,森林的碳汇功能虽然是通过光合作用间接减少大气中 CO_2 浓度,但森林却因其投资费用低、收获效应大,且具有可行性和可操作性等特点。毕绪岱等(1998)在河北省对碳汇经济价值进行了估算,认为在现有条件下,河北省的森林在固碳方面发挥的经济效应约为 1353.52 万 t/年, O_2 释放量为 98.47 万 t/年,采用目前国际上常用的造林成本法来计算森林固碳效应的经济价值,最终计算出河北省现有森林植被因固碳效应而产生的经济价值约为 34.05 亿元/年,再根据光合作用方程式中碳和氧的转化转系得出河北省森林通过释放氧气产生的生态经济价值为 34.76 亿元/年,最终得出河北省现有森林的固碳制氧总生态经济价值为 68.81 亿元/年。

在森林保土效益研究方面,森林保土效益主要包含减少土壤流失、保育土壤、减少泥沙淤积河道等方面,是森林有别于其他生态系统的主要价值(秦伟等,2006)。魏兴天(2010)关于森林保育土壤的研究表明,良好的植被覆盖度是森林保育土壤功能的重要前提,当林分郁闭度达到0.4时,乔木林分就能发挥较好的保土功能,当草本植物的覆盖度到0.9时就能很好地防止土壤侵蚀。林下灌草层的植被覆盖度及灌草生物量都处于合适的范围时,森林的保土效应将发挥到最大。也有研究表明,土壤流失面积会随着林草植被覆盖度的增加而增加,具体表现为:当植被覆盖度小于30%时,土壤侵蚀面积一般会大于30%;当植被覆盖度大于30%小于50%时,土壤侵蚀面积为10%~30%;当植被覆盖度大于50%时,土壤侵蚀面积则小于10%(周国逸,2000;陈志华等,2007)。植物地底下庞大的根系系统能将分散的土壤颗粒固定起来,从而增加了土壤的抗冲性,防止径流对地表土壤的冲刷作用(潘兴国等,2007)。薛丽霞等(2002)以张家沟小流域营造的水土保持林为研究对象,结果表明栽植水土保持林以后,流域内的土壤侵蚀明显减小,1993年所估算的水土保持林在减小土壤侵蚀方面发挥的经济效应与1983年的估算值相比减小了0.476万元,到2000年减小土壤侵蚀量的经济价值与1983年的估算值之差预计将达到0.694万元。

森林养分效益研究方面,麻泽龙等(2003)研究表明,森林对土壤中养分含量的调节作用是森林发挥养分效应的主要作用之一,森林类型、林木生长状况等与土壤养分息息相关;森林在生长代谢过程中,大量枯枝落叶及地表植被覆盖,经过土壤微生物的分解,逐渐转化为土壤有机质及植物营养元素,成为土壤养分的重要来源。高国雄等(2007)认为,森林中贮存养分的经济价值大小与森林数量和质量、森林土壤中各养分保存总量和当年同等肥力化肥的市场价格有关。薛丽霞等(2002)在张家沟小流域对区域内营造的水土保持林的研究表明,有水土保持林覆盖的区域,土壤中的养分能随着土壤的保留而保存起来,这一作用使得林内土壤养分状况得到改善,减少了人工化肥的施用,降低造林成本,1993年较1983年少投入1419.361万元,预计2000年将比1993年节约32.764万元。

通过上述研究可见,虽然国内外对立地类型划分、森林生态效益定量评价的研究理论和方法上取得了一些的成果,但在不同造林模型方面的应用仍有很大的不足,对山东省退化山地立地分类体系构建的研究缺乏,对生态林尤其是不同造林模型生态效益指标的定量评价较少,对生态效益、经济效益的综合定量评价尚未见报道。

第2章 研究区概况与造林模型简介

2.1 山东退化山地不同造林模型研究与示范区概况

根据世界银行的要求和山东省林业外资与工程项目管理站的安排,在山东退化山地选择具有代表性的区域营造研究与示范林。为此,对19个退化山地生态造林项目县(市、区)的立地类型进行全面调查,从中选择具有代表性的新泰市、蒙阴县、莒县、乳山市、莱城区、泗水县建立科技示范区,在世界银行贷款正常投资的基础上,另外增加科技支撑资金100万元,营造高标准示范林19片,面积1342.6hm²。

首先,选择2006年实施山东荒山造林工程和沂蒙山区绿化工程质量较好的林分进行改造和抚育,使之成为不同造林模型的示范林,为山东退化山地生态造林项目建设起到示范和样板带动作用。选择造林质量较好、树种较多、混交方式较合理,但栽植密度过大的林分,采用去小留大,去弱留强的方式移植,达到世界银行对不同造林模型要求的适宜密度;对由于个别年份降水量过少,使部分整地质量差的地块造成幼林干旱死亡,或由于机械损伤严重、食草动物啃坏树干或顶部主干等已无培养前途的树木进行清除,补植灌藤树种、花色鲜艳树种和秋冬季彩叶树种,增加树种数量和植物多样性,形成多树种的乔灌混交林、针阔混交林、针叶与彩叶树种混交林、绿叶与彩叶树种混交林,改善林分景观效果。在莒县浮来山镇宋家山村、蒙阴县云蒙湖生态区张家楼村、新泰市汶南镇柳沟村的石灰岩山地2006年营建的林分通过改造和抚育形成S₁、S₂、S₃、S₄造林模型示范林,在乳山市夏村镇阜西庄村、莱芜市雪野镇西峪河南村的砂石山地2006年营建的林分通过改造和抚育形成S₅、S₆、S₇、S₈造林模型示范林。

其次,按世界银行的要求,在山东退化山地生态造林项目区科技示范县(市、区)的乳山市海洋所镇西泓赵家村、徐家镇东峒岭村、崖子镇北地口村、海洋所镇双峰庄村,莒县龙山镇崔家官庄村、龙山镇高疃村,蒙阴县蒙阴街道办事处召子官庄村,新泰市龙廷镇苗西村北山、青云街道办事处东杏山村西杏山、汶南镇

纸坊村大海山,泗水县金庄镇中峪村红山、高峪镇尧山村望母山,莱城区雪野镇青合圈村马头崖、雪野镇石泉村平坦岭的石灰岩退化山地山坡上部营造 S_1 、 S_2 造林模型,山坡中部营造 S_3 造林模型,山坡下部营造 S_4 造林模型,砂石山退化山地山坡上部营造 S_5 造林模型,山坡中部营造 S_6 造林模型,山坡下部营造 S_7 造林模型, $pH < 6.5$ 的酸性沙壤土上种植茶树,营造 S_8 造林模型。研究不同造林模型的生态效益、投资成本、直接经济效益和间接经济效益(生态效益价值核算),选出适宜山东退化山地造林投资少、生态效益好、经济效益高的造林模型。

2.1.1 乳山市西泓赵家村研究与示范区概况

研究与示范区位于乳山市海洋所镇西泓赵家村,东经 $121^{\circ}32'16''$,北纬 $36^{\circ}46'35''$,海拔高度 $20 \sim 106\text{m}$,土壤种类为棕壤,土层厚度 $20 \sim 50\text{cm}$,坡度 $12^{\circ} \sim 23^{\circ}$,岩石为片麻岩,属鲁东低山丘陵区。该示范区属暖温带亚湿润大陆性季风气候区,多年平均气温 12.1°C ,年最低气温 -14.8°C ,年最高气温 37.5°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年有效积温为 $4072.1^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$,年平均日照时数 2499.7h ,无霜期 200d ,多年平均降水量 744.7mm 。在山坡上部营造模型 S_5 示范林,面积 6hm^2 ;山坡中部营造模型 S_6 示范林,面积 7hm^2 ;山坡下部营造模型 S_8 示范林,面积 14hm^2 。该示范区共营造示范林 27hm^2 。

2.1.2 乳山市东峒岭村研究与示范区概况

研究与示范区位于乳山市徐家镇东峒岭村,东经 $121^{\circ}39'47''$,北纬 $36^{\circ}56'10''$,海拔高度 $20 \sim 120\text{m}$,土壤种类为棕壤,土层厚度 $20 \sim 60\text{cm}$,坡度 $8^{\circ} \sim 24^{\circ}$,岩石为片麻岩,属鲁东低山丘陵区。该示范区属暖温带亚湿润大陆性季风气候区,多年平均气温 12.1°C ,年最低气温 -14.8°C ,年最高气温 37.5°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年有效积温为 $4072.1^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$,年平均日照时数 2499.7h ,无霜期 200d ,多年平均降水量 744.7mm 。在山坡上部营造模型 S_5 示范林,面积 5hm^2 ;山坡中部营造模型 S_6 示范林,面积 12hm^2 ;山坡下部营造模型 S_8 示范林,面积 36hm^2 。该示范区共营造示范林 53hm^2 。

2.1.3 乳山市北地口村研究与示范区概况

研究与示范区位于乳山市崖子镇北地口村,东经 $121^{\circ}20'30''$,北纬 $37^{\circ}03'27''$,

海拔高度 25~118m, 土壤种类为棕壤, 土层厚度 20~45cm, 坡度 15°~24°, 岩石为片麻岩, 属鲁东低山丘陵区。该示范区属暖温带亚湿润大陆性季风气候区, 多年平均气温 12.1℃, 年最低气温-14.8℃, 年最高气温 37.5℃, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年有效积温为 4072.1℃·日, 年平均日照时数 2499.7h, 无霜期 200d, 多年平均降水量 744.7mm。在山坡上部营造模型 S_5 示范林, 面积 3.5hm²; 山坡中部营造模型 S_6 示范林, 面积 5.8hm²; 山坡下部营造模型 S_7 示范林, 面积 22.7hm²。该示范区共营造示范林 32hm²。

2.1.4 乳山市阜西庄村研究与示范区概况

研究与示范区位于乳山市夏村镇阜西庄村, 东经 121°31'20", 北纬 36°59'33", 海拔高度 30~140m, 土壤种类为棕壤, 土层厚度 18~30cm, 坡度 17°~25°, 岩石为片麻岩, 属鲁东低山丘陵区。该示范区属暖温带亚湿润大陆性季风气候区, 多年平均气温 12.1℃, 年最低气温-14.8℃, 年最高气温 37.5℃, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年有效积温为 4072.1℃·日, 年平均日照时数 2499.7h, 无霜期 200d, 多年平均降水量 744.7mm。在山坡上部营造模型 S_5 示范林, 面积 12hm²; 山坡中部营造模型 S_6 示范林; 面积 35hm²。该示范区共营造示范林 47hm²。

2.1.5 乳山市双峰庄村研究与示范区概况

研究与示范区位于乳山市海洋所镇双峰庄村, 东经 121°31'58", 北纬 36°45'30", 海拔高度 20~109m, 土壤种类为棕壤, 土层厚度 18~26cm, 坡度 20°~26°, 岩石为片麻岩, 属鲁东低山丘陵区。该示范区属暖温带亚湿润大陆性季风气候区, 多年平均气温 12.1℃, 年最低气温-14.8℃, 年最高气温 37.5℃, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年有效积温为 4072.1℃·日, 年平均日照时数 2499.7h, 无霜期 200d, 多年平均降水量 744.7mm。在山坡上部营造模型 S_5 示范林, 面积 18hm²; 山坡中部营造模型 S_6 示范林, 面积 30hm²。该示范区共营造示范林 48hm²。

2.1.6 莒县崔家官庄村研究与示范区概况

研究与示范区位于莒县龙山镇崔家官庄村, 东经 118°58' 41.7", 北纬 35°28' 31.7", 海拔高度 210~349m, 土壤种类为棕壤, 土层厚度 15~40cm, 坡度 8°~27°, 岩石为片麻岩, 属鲁中南低山丘陵区。该示范区属暖温带亚湿润大陆性季风气候区, 多年平均气温 12.1℃, 年最低气温-12℃, 年最高气温 38℃, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年有效积温为