



林业文苑

第 22 辑

半干旱黄土丘陵沟壑区 人工林密度效应评价

高艳鹏 赵廷宁 著



中国林业出版社

林业文苑

第22辑

半干旱黄土丘陵沟壑区 人工林密度效应评价

高艳鹏 赵廷宁 著

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

半干旱黄土丘陵沟壑区人工林密度效应评价 / 高艳鹏, 赵廷宁著. —北京: 中国林业出版社, 2012. 4

(林业文苑·第22辑)

ISBN 978-7-5038-6517-6

I. ①半… II. ①高… ②赵… III. ①黄土高原—半干旱—丘陵地—沟壑—人工林—林分密度—研究 IV. ①S753.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 044506 号

出版 中国林业出版社 (100009 北京市西城区刘海胡同 7 号)

网址 <http://lycb.forestry.gov.cn>

E-mail forestbook@163.com 电话 010-83222880

发行 中国林业出版社

印刷 北京北林印刷厂

版次 2012 年 4 月第 1 版

印次 2012 年 4 月第 1 次

开本 880mm × 1230mm 1/32

印张 7.5

字数 231 千字

印数 1 ~ 1000 册

定价 40.00 元

“林业文苑”系列著作介绍

“林业文苑”是由林业行业从事科研、教学、管理等第一线的学术带头人和致力于林业建设的专家们编写的系列著作，自出版以来，受到了广大林业工作者的关注和好评。

“林业文苑”中收录的著作，或是系统论述林业发展的历史进程，现代林业的科学内涵、组成、科学评价体系和发展趋势，从经营利用制度和社会资源动员方式与组织形式提出生态林业和社会林业的论点等；或是围绕国家攻关课题、国家 863 计划、国家林业重大工程等科研项目研究成果，经系统归纳整理后形成的有关现代林业建设、精准林业、生态文明建设、绿色经济研究等现代林业发展中的热点问题等。

“林业文苑”系列著作的出版发行，不仅将在实施林业重点工程、开展林业生态建设工作中发挥其重要作用，而且作为精品图书将进入到各图书馆资料室被永久保存，成为文化积累的一个重要组成部分。

“林业文苑”已分辑出版的著作有：

序号	书 名	著者	估价
第 1 辑	社会林业论	张建国	33.00
	现代林业论	张建国 吴静和	33.00
	生态林业论	张建国	33.00
第 2 辑	精准林业	冯仲科 赵春江等	48.00
第 3 辑	中国东北红豆杉研究	柏广新 吴榜华	45.00
第 4 辑	绿色经济发展研究（第 2 版）	张春霞	45.00
	生态文明建设理论与实践（第 2 版）	廖福霖	45.00
第 5 辑	木材过坝工程	祁济棠 张正雄	40.00
第 6 辑	闽江流域森林生态与经济社会协调发展研究	张春霞 杨玉盛 廖福霖	35.00
第 7 辑	可持续发展的管理与政策研究	朱永杰	45.00

序号	书 名	著者	估价
第 8 辑	山西北部荒漠化防治配套技术研究	郭学斌 郑智礼 梁守伦	38.00
第 9 辑	中国林区绿色经济概论	王志山	42.00
第 10 辑	浙江省国有林场财务状况及改制研究	石道金等	30.00
第 11 辑	山西植物种质资源研究	李林英	28.00
第 12 辑	林地资源资产化管理研究	汤肇元 韩国康	30.00
第 13 辑	中国南方红豆杉研究	高兆蔚	38.00
第 14 辑	森林资源评价理论与方法研究	高 岚 王富炜 李道和	35.00
第 15 辑	河南省珍稀树种引种与栽培	孟庆法 田朝阳	45.00
第 16 辑	闽台农业产业链整合研究	宋建晓 郑 晶	40.00
第 17 辑	辩证思维与风沙运动理论体系的创建与应用	孙显科	40.00
第 18 辑	生态文明经济研究	廖福霖等	45.00
第 19 辑	若干生态参数数字图像测量方法研究	祁有祥 赵廷宁 杨建英	30.00
第 20 辑	21 世纪荒漠开发对策及有关技术	李滨生等	38.00
第 21 辑	杨树栽培与逆境生理	李 洁	48.00
第 22 辑	半干旱黄土丘陵沟壑区人工林密度效应评价	高艳鹏 赵廷宁	40.00

联系我们: 010 - 83222880; E - mail: forestbook@163.com

“十一五”国家科技支撑计划——黄土高原丘陵
沟壑区半干旱区水土保持抗旱造林及径流林业技术
试验示范(2006BAD03A1201) 项目成果

前 言

黄土高原地区是我国水土流失最严重、生态环境恶劣、经济发展滞后的地区，严重的水土流失不仅制约着当地社会经济的可持续发展，而且极大地威胁着黄河下游的安全，成为困扰中华民族的心腹之患。植被是陆地生态系统的重要组成部分，是生态系统中物质循环与能量流动的中枢，在植被与周围环境进行的物质循环与能量流动过程中，植被对环境因子诸如水、土、气、生等会产生重要影响。因此，在水土流失严重的黄土高原，植被恢复是黄土高原水土流失治理与生态环境建设的根本性措施。

从新中国成立以来的植被恢复历程看，人工恢复途径一直是植被与重建的主体。人工林是在人为控制下形成的生物群落，与土壤相互作用形成了一种特殊的森林生态系统，许多研究表明，相对于无林地，森林植被明显改善了土壤的物理性状，人工林在改善土壤有机质、根系、根际分泌物以及菌丝等方面作用明显。在水土保持效益方面，土壤水稳定性团聚体的数量和质量得到提高，土壤的抗蚀性得到加强，地表径流和产沙量大幅度下降，因此，人工林可作为一般的水土保持林。在养分积累方面，人工林具有吸收、存储、积累和再分配养分的功能，对于合理的利用有着明显的指示作用。然而，人工林的种植也导致了土壤质量的减退、生产力降低、生物多样性的减少以及严重的土壤干化。许多学者对黄土高原的自然植被恢复过程中的植被演替、物种多样性、土壤理化性质、土壤水分以及土壤的生物学性质研究较多，但对黄土高原人工林密度配置方式及密度效应研究较少，且只局限于某个特殊问题，对于人工林林分特征、林下物种多样性、枯落物的水文生态效应以及土壤理化性质综合研究更少，如何使不同密度的人工林生态结构和功能达到平衡，使土壤质量正向演替，使生态环境持续发展，这是值得我们深入研

究的课题。

本项专题被列为“十一五”国家科技支撑计划项目“林业生态建设关键技术与示范”中“黄土高原丘陵沟壑区半干旱区水土保持抗旱造林及径流林业技术试验示范”专题，为此，国家在“十一五”科技攻关项目中，设立重点专题“黄土高原丘陵沟壑区半干旱区水土保持抗旱造林及径流林业技术试验示范”，以黄土高原丘陵沟壑半干旱区水土保持林为研究对象，选择山西省方山县峪口镇土桥沟流域不同密度的人工油松林、刺槐林、白榆林、侧柏林、油松—刺槐混交林等林分为研究对象，建立了多处定位监测与监测系统，对该区的水土保持林主要乔木和灌木树种的生长量与生物量、生物多样性、植被水文效应、土壤理化性质、降雨等生态系统的诸多方面，进行了为期5年的定位计量研究。通过对其林分结构特征、林下植被类型、物种多样性、枯落物的水文特征、土壤恢复生态效应等进行全面研究，并对其密度效应作综合评价，为黄土高原选择高效的人工林密度配置方式和低效、低质残次林改造提供理论依据。

参加本项研究工作的教师、科研工作人员共计20多人，此外还有博士生4名，硕士生12名，本科生20名。本课题研究编写过程中，得到国家林业局科技司、北京林业大学、甘肃省林业科学研究院、甘肃省方山县林业局等单位的大力支持和协助。

作 者

2012年3月

目 录

前 言

第一章 概 论	(1)
第一节 林分结构研究	(1)
第二节 物种多样性研究	(3)
第三节 森林植被枯落物层水文效益研究	(7)
第四节 森林土壤恢复效应研究	(12)
一、不同的土地利用方式对土壤理化性质的影响	(12)
二、不同的森林植被类型对土壤理化性质的影响	(17)
三、植被恢复演替对土壤理化性质的影响	(20)
四、土壤颗粒组成研究	(22)
第五节 存在的问题	(24)
第二章 研究地区概况	(26)
第一节 自然概况	(26)
一、地理位置	(26)
二、地形地貌	(27)
三、气 候	(27)
四、土 壤	(28)
五、水文状况	(29)
六、植 被	(30)
第二节 社会经济条件	(30)
第三节 试验区概况	(31)
第三章 研究内容与方法	(32)
第一节 研究内容	(32)
第二节 研究方法	(33)

一、标准地设置	(33)
二、地形因子调查	(35)
三、植被调查	(35)
四、生物量的测定	(35)
五、多样性指数计算	(36)
六、枯落物调查	(37)
七、土壤调查	(38)
八、数据处理	(39)
第三节 技术路线	(40)
第四章 不同林分结构特征分析	(41)
第一节 不同林分直径分布	(42)
一、直径结构分布	(43)
二、林木直径 Weibull 分布	(48)
第二节 不同林分树高分布	(54)
一、刺槐林树高分布	(55)
二、白榆林树高分布	(56)
三、油松林树高分布	(57)
四、侧柏林树高分布	(58)
五、油松—刺槐混交林树高分布	(59)
六、林分密度对树高的影响	(60)
第三节 林分树高与直径的关系	(61)
一、树高与胸径的相关性	(61)
二、树高曲线方程	(62)
第四节 密度对林分蓄积生长量的影响	(63)
第五节 林分因子相关性分析	(65)
第六节 小 结	(66)
第五章 林下植物多样性研究	(68)
第一节 植物种数量组成及重要值分析	(69)
一、灌木层	(69)
二、草木层	(70)
第二节 不同群落植物多样性	(72)

一、林下植被物种组成及其差异	(72)
二、林下植被群落结构特征	(78)
三、植物多样性	(81)
第三节 小 结	(87)
第六章 不同林分枯落物水文特性研究	(89)
第一节 不同林分的枯落物蓄积量	(90)
第二节 枯落物持水性能	(92)
一、最大持水量和最大持水率	(92)
二、枯落物持水过程	(95)
三、枯落物持水速度	(98)
第三节 枯落物对降水的拦蓄作用	(102)
第四节 林分因子与枯落物涵蓄水分功能相关性分析	(104)
第五节 小 结	(105)
第七章 不同林分土壤机械组成的分形规律	(107)
第一节 分形模型	(108)
第二节 刺槐林分	(109)
第三节 白榆林分	(114)
第四节 油松林分	(118)
第五节 侧柏林分	(121)
第六节 油松—刺槐混交林	(125)
第七节 密度相同树种不同林分的分形维数	(128)
第八节 小 结	(129)
第八章 不同林分土壤物理性质研究	(130)
第一节 不同林分土壤容重的变化	(130)
第二节 不同林分类型对土壤孔隙度的影响	(133)
一、刺槐林分	(134)
二、白榆林分	(137)
三、油松林分	(138)
四、侧柏林分	(139)
五、油松—刺槐混交林	(141)
六、密度相同树种不同的林分	(143)

第三节	不同林分类型对土壤持水量的影响	(144)
第四节	不同林分林地土壤蓄水能力	(151)
第五节	相关性分析	(155)
第六节	小 结	(156)
第九章	不同林分土壤化学性质研究	(158)
第一节	土壤有机质	(158)
第二节	土壤全氮	(162)
第三节	土壤速效氮	(165)
第四节	土壤速效磷	(168)
第五节	土壤速效钾	(172)
第六节	土壤 pH 值	(175)
第七节	相关性分析	(178)
第八节	土壤质量评价	(179)
第九节	小 结	(181)
第十章	林分结构质量与生态效应综合评价	(183)
第一节	评价方法	(183)
一、	主成分分析方法的原理	(184)
二、	评价指标体系	(185)
三、	评价步骤	(185)
第二节	结果与分析	(186)
第三节	小 结	(192)
第十一章	抗旱造林技术模式	(194)
第一节	抗旱集水造林技术模式	(194)
第二节	油松 + 刺槐针阔混交林模式	(197)
第三节	刺槐 + 侧柏阔叶混交林建设模式	(198)
第四节	集流高效灌木经济林模式	(200)
第五节	陡坡坡面和沟坡林草带模式	(201)
第六节	刺槐混交林建设模式	(203)
第七节	低效灌木林改造模式	(204)
附录	植物拉丁名一览表	(211)
参考文献		(212)

第一章

概 论

第一节 林分结构研究

林分结构是林分功能的基础和表现,林分结构包括树种、直径、年龄、树高、空间等结构。人们对林分结构的概念有不同的看法,姚爱静等(2005)认为林分结构是指一个林分的树种组成、个体数、直径分布、年龄分布、树高分布和空间配置;胡文力(2003)认为林分结构是指一个林分的树种、年龄、密度、径阶及林层等多个因素构成的类型;陈东来等(1994)指出林分结构是指林分内的树种以及它们的大小值分布而言;李毅等(1994)认为林分结构是指林分中树种组成、林木株数、树高、径阶等因子的分布状态;孟宪宇(1996)在《测树学》中指出,不论是天然林还是人工林,在没有遭受严重干扰的情况下,林分内的多个特征因子,都具有一定的分布状态,并且表现出较为稳定的结构规律性,称它为林分结构规律。

树木结构组成对森林的类型具有决定性意义,同时影响林分生物多样性(Sari, 2000)。国外研究者对水土保持林的树种混交方式,品种选择,乔灌木相结合的营造林技术等进行了较深入的研究,普遍重视混交林种植方式,一般采用乔灌木搭配、针阔混交的造林形式,从单一的林业种植方式向农林牧综合应用和生态环境治理方向发展(中野秀章, 1983; 只木良也等, 1992; 高成德, 2001; 罗晶, 2001),不再是单一的定性描述,逐步向定性定量相结合的方向发展,高效能的集约化经营方式逐步代替低效能的粗放型经营方式,由单层同龄林经营逐渐被复层异龄林经营所代替。国外大量研究表明,水土保持林要始终具有高效的水源涵养功能,应根据不同立地条件选择适应性广、抗逆性强、寿命

长的速生乡土树种为主,而且防护效益和经济效益也要高,实行乔灌草互相搭配,阔叶树和针叶树混交合理,总之,针阔混交林比单一树种的纯林、复层林比单层林具有更好的防护效益。前苏联营造的多数是2~3层的乔灌混交的防护林,大多以橡树为主,搭配槭树、白蜡;还有就是以桦、杨、落叶松为主的针阔混交林。日本学者认为非皆伐复层林是水源涵养最理想的林分结构(中野秀章,1983)。保加利亚通常在松、橡树等林分内,种植椴树、云杉等耐阴树种。荷兰在日德兰半岛中部营造了以山榆、椴树、山楂和灌木树种为主的防护林,充分利用了林地肥力和林分空间,增强抵抗外界不良环境的能力,防护效能和稳定性显著提高。德国把云杉纯林逐步改造为近自然的复层混交异龄林结构(惠刚盈,2001),在集水区的农用地尽量选用适应该地的阔叶树种进行混交造林,同时保持较高的混交比例。不合理的树种组成、单一的林层结构和植物组成、严重的森林病虫害和大量的野生有蹄类动物是造成欧洲Alpine山区森林不稳定的主要因素,要增强该地区林分的稳定性,可在挪威杉林中配置落叶松,逐渐建立复层的小林分结构(Tian Changcheng et al., 2007; Xin Zhang et al., 2007)。

近年来,国内也开展了对水土保持林林分结构的大量研究。在造林方面,由单一的乔木树种造林趋向于乔灌草混交造林发展;从单一的乔木纯林向多树种混交复层林方向发展;由高密度造林向合理低密度方向发展。王永安(1989)在20世纪80年代末就提出水土保持林林分的结构模式:第一层为阳性树种,造林树种为阔叶树,郁闭度一般为0.6~0.7,第二层为阴性树种,采取针阔混交方式,郁闭度为0.5~0.6,第三层为灌木林,主要为阔叶灌木,覆盖度在40%左右,第四层为草本层,覆盖度在60%以上,第五层为死地被物,通常为枯落物层。这种林分结构模式,对许多结构单一,稳定性较差的水土保持林分结构的改造,具有很好的指导意义,但是此模式只是从树种选择、林层结构和植被覆盖度进行构建,在实际应用时存在一定的困难,需要进一步加以完善。胡贵泉等(1991)对我国长江上游地区水土保持林、水源林的树种构成、林分郁闭度、植被覆盖度、林分垂直结构与森林蓄水保土功能进行了研究,筛选出合理的林分结构模式,采取密度效应原理,得出优化密度模型,同时绘制了水保林和水源林林分密度图,对该区水土保持林

营造具有科学的指导意义。刘兴聪(1992)对祁连山青海云杉林的树高和直径结构、林分密度、郁闭度等进行了研究,对该区青海云杉林的经营管理具有一定的指导价值。周立江等(1993)通过对大头茶、马尾松常绿针阔混交林的种群结构、森林特征、林分结构、生物量及生态功能的研究表明,混交林即使在干扰状态下也保持了相对的稳定性,主要特征是复层异龄。白星(1996)用 Weibull 分布函数研究了祁连山水源林的林分结构,认为通过合理的抚育间伐可以改善林分结构。张建军等(2007)以黄土区刺槐和油松水土保持林为研究对象,提出了黄土区适宜的刺槐和油松水土保持林的管理密度。

总之,合理的多树种混交方式是林分结构稳定性的基础,林分树种的多样性已经成为检验林分的重要指标。在选用乔木、灌木和草本时一定要考虑不同物种的种类搭配、配置比例,实现复层林分结构。

第二节 物种多样性研究

物种多样性是指一个地区内生物种类的丰富程度,是评价一个地区多样性状况最常用、最重要的指标。近年来,对生物多样性的研究与保护问题,已成为生态学界的一个研究热点,物种多样性也是群落结构和功能复杂性的一种度量。同时,植被演替过程中的物种多样性的变化也反映了植被的恢复程度,因此,对群落物种多样性的研究可以很好的认识植被演替过程群落的组成、结构、功能、发展和变化(王凯博等, 2007; Kvalseth, 1991; Mcnaughton, 1978; Odum, 1969)。

我国作为《生物多样性公约》的缔约国,对生物多样性的研究开展了一定的工作(陈灵芝等, 1997; 高贤明等, 1997; 郝占庆等, 1994; 贺金生等, 1998; 刘灿然等, 1997),尤其是近年来开展的对植被恢复的生物多样性变化的研究,对于正确认识植被恢复的过程提供了很好的基础。杨华斌等(2009)采用空间序列替代时间序列的方法,对贵州省黔中地区共 23 块样地进行常规群落学调查,分析了黔中喀斯特退化森林植被不同演替阶段的物种组成及多样性变化。田涛等(2009)采取路线考察和典型样地调查方法对内蒙古自治区杭锦旗穿沙公路段周边区域的植被群落进行了研究,分析了不同植被群落特征和物种多样性。苏东

凯等(2009)分析了高速公路建成后不同恢复年限边坡植物群落特征,认为随着恢复年限的增加,植物群落物种组成逐渐丰富,物种丰富度指数、Shannon - Wiener 多样性指数及 Simpson 多样性指数增加显著,群落层次向多层方向发展,群落向进展演替方向发展。张丽霞等(2008)采用丰富度指数、物种多样性指数和均匀度指数对山西芦芽山植物群落的多样性进行了研究,并用相关分析研究了多样性指数间的关系。欧祖兰等(2005)采用时空替代法研究广西阳朔岩溶植被在演替过程中的种群变化和物种多样性。

许多学者对黄土高原植被恢复也做了大量的研究。张健等(2008)对黄土丘陵区 2 个不同沟向沟谷地植被群落特征进行样方调查,统计分析沟谷地植物物种频度和植物种群相似系数。杨海龙等(2008)探讨了黄土高原地区植被自然恢复演替过程中植物多样性的变化规律。卜耀军等(2008)通过对榆林风沙草滩区的主要物种进行考察,根据植被、立地条件及土壤水分等因素,选取 5 个典型样地,应用物种丰富度指数、Shannon—Weiner 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数综合分析了主要物种的丰富度、多样性和均匀度,并对其重要值和土壤水分与物种多样性的关系进行了研究。卜耀军等(2005)选取 4 个物种多样性指数对黄土丘陵区(安塞)主要的天然及人工群落物种多样性进行了研究,试图讨论植被恢复重建途径与物种多样性的关系。温仲明等(2005)以黄土高原典型沟壑区——吴旗县为例,对退耕或封禁后植被自然恢复过程及其物种多样性进行了调查分析。李裕元等(2004)以时空互代的方法初步研究了黄土高原子午岭弃耕地植被自然恢复演替过程中植物多样性的变化。

群落演替动态与物种多样性关系密切。一般地,原生演替过程中物种多样性的增加比较明显。但在次生演替中,物种多样性的变化比较复杂,在演替初期,生境的空间异质性增加,群落的生物量也增加,从而生境进一步分化,植物种数随之增加,当演替进行到一定阶段时,生物量也增加到相当大的程度,空间异质性不再增加或减少,物种数目会因此停止增加或减少,除非有进一步的干扰发生(郭勤峰,1995)。不同学者研究的结论不同。有的认为随着群落的演替,物种多样性逐渐增大,例如 Margelef (1957; 1975)认为物种多样性最大的是顶级群落。有

的则认为在演替后期物种多样性反而下降了,例如 Goff 和 Acculair (1969)认为演替顶级群落的物种多样性介于群落演替初期和中期阶段之间;Odum(1969)也赞同此观点,可见群落物种多样性指数并不是一直随演替的进展而增大,在群落演替的初期和中期阶段,物种多样性指数随森林生态系统发展方向而增加,但在随后的演替阶段又有下降趋势(王树森等,2006)。韩玉萍等(2000)对缙云山常绿阔叶林次生演替序列群落物种多样性动态进行研究,发现在群落演替过程中,木本层的物种多样性按乔木层向灌木层顺序增加的现象逐渐降低,物种多样性指数高的群落稳定性并不是最高,群落演替初期和中期阶段物种多样性指数随演替的进行逐渐增加,在中期阶段达到最高,而在演替后期随时间的推移物种多样性趋向于降低。王树森等(2006)通过对乔木、灌木和乔灌木物种多样性的研究表明,由于在演替初期灌木树种以平榛为主,优势树种比较多,其他乔灌木少,随着演替过程的进行,乔灌木种类与数量呈明显增加的趋势,除优势种外,其他乔灌木比例加大,物种多样性提高,演替进入较高的阶段之后,优势种总种数和数量呈降低趋势,因而物种多样性指数也呈下降趋势。

林下植被是森林生态系统的一个重要组成部分,在森林生态系统的物质循环(Chapin, 1983; 杨承栋, 1995; Chastain et al., 2006)、维持森林的生物多样性(林开敏等, 2001; 褚建民等, 2007)以及森林的演替、发展等方面具有十分重要的生理生态作用(Fabia et al., 2002; Kume et al., 2003; Taylor et al., 2006)。此外,林下植被的生长发育还能提高森林,尤其是人工林的水土保持功能(袁正科等, 2002),以及对立地条件起到指示作用(姚茂和等, 1992)。人工林的建设不仅直接改变了林下草层植物的物种组成和生物量,也通过环境变化影响了生物多样性的变化(Chapin et al., 1998; Thompson, 1994)。人工林林下生物量的增加、生物多样性的恢复已经成为人工林经营管理广为接受的目标之一(Spellerberg et al., 1996),揭示人工林林下物种组成与群落结构,不仅是评估人工林生态功能的一个重要途径,也是判断人工林生态功能恢复效果的一个必要手段,可以为人工林合理管理与林分结构优化调控、完善人工林恢复重建方法提供依据(胡相明等, 2006)。

对人工林林下物种多样性,国内外的许多学者也做了一些研究。有