

北京西山残次林改造工程生态评价指标体系构建

周建勤^{1,2}, 贾宏涛², 朱金兆¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 新疆农业大学 草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052)

摘 要:结合北京西山残次林改造工程的实践经验,初步构建了残次林改造生态评价指标体系,将该体系划分为 5 个层次:残次林改造工程植物个体的评价、残次林改造工程植物种群水平的评价、残次林改造工程植物群落水平的评价、残次林改造工程生态系统功能与服务的评价,以及残次林改造工程景观尺度的评价,通过贡献权重将这些指标进行整合得出残次林改造工程生态评价得分。该评价体系有易操作、针对性强、综合性高、时空跨度广等特点,能弥补当前我国残次林改造工程效果评价中生态评价标准的欠缺。该评价指标体系的建立和完善,对推进华北残次林改造工程的顺利开展会有所裨益。

关键词:残次林改造; 植被; 生态评价; 指标体系

中图分类号:S718.52

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0248-06

Establishment of Ecological Assessment Indexes System for Reconstruction Project for Deteriorated Forest in Western Hills of Beijing

ZHOU Jian-qin^{1,2}, JIA Hong-tao², ZHU Jin-zhao¹

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. College of Grassland and Environmental Sciences, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In this paper, we established an ecological assessment indexes system for reconstruction project for deteriorated forest, of which consists five levels including: individual, population, community, ecosystem and landscape indexes. These indexes are integrated with their contribution weights to deduce the ecological assessment score of reconstruction project for deteriorated forest. This evaluation system is easy to manipulate, spreading expansive spatio-temporal scale with robust pertinency and integration. The establishment of this system would remedy the deficiency of ecological assessment criterion in current reconstruction project for deteriorated forest and also would be advantageous to the development of reconstruction project for deteriorated forest in north China.

Key words: reconstruction project for deteriorated forest; vegetation; ecological assessment; index system

关于残次林的认识,目前研究的成果很少,2007 年颁布的中华人民共和国林业行业标准《低效林改造技术规程》将残次林划归为低效次生林,其特点表现为受干扰破坏,林相残败,结构失调,郁闭度及植被覆盖度低,林地土壤侵蚀较严重,经济价值及生态功能低下的林分。2008 年潘树林发表的《论残次林的形成原因及其改造方向》中残次林的定义是指历史上已计入森林面积的天然林和人工林地,由于自然枯死和人为破坏等原因,致使树木减少,盖度下降,形成了大小“天窗”和病虫老化残株组合的疏林地或“无林”地^[1-4]。

随着我国和社会发展的加快,我国造林工程也从数量上的要求过渡到质量上的要求,伴随 20 世纪 60 年代开始的造林工程,后期树木老龄、枯梢和断顶等现象的出现,导致北京西山区域树木减少,盖度下降,形成了大小“天窗”和病虫老化残株组合的疏林地或“无林”地,容易导致水土流失,甚至滑坡、塌方、泥石流等灾害事件的发生^[5-6]。因此,必须对各类残次林进行治理。

关于森林健康指标的构建和低效林评价指标的构建前期已经做了一定的工作,尽管评价体系已经做

收稿日期:2010-07-05

修回日期:2010-08-19

资助项目:国家科技支撑项目(2007BAC03A06);国家自然科学基金(40901155);新疆土壤学重点学科;北京市教育委员会学科建设与教育建设项目(CXYBL2008-2010)

作者简介:周建勤(1975—),在读博士,讲师,主要从事水土保持、生态环境演变的教学与研究工作。E-mail:machine1229@163.com

通信作者:贾宏涛(1975—),男,博士,副教授,研究方向为土壤生态。E-mail:hongtaojia@126.com

了大量的改进和完善,但指标的建立缺乏针对性,如高标准的残次林改造工程的评价指标体系的建立与量化目前都处在探索阶段。残次林改造工程是一门新兴造林改植工程,专门针对残次林改造效果、特别是生态学效益的评价指标体系发展缓慢,大多仍停留在笼统含糊的定性水平,这使得北京市残次林改造工程的规划、设计、验收等过程缺乏定量指标和可操作的手段。目前,国内外生态评价的研究报道多以较大尺度上的目标为主,如河岸、自然保护区、国家公园等^[7]。

鉴于这种情况,有必要从残次林改造工程(下文简称“工程”)的实际特点出发,以生态学和工程学的双重价值为衡量标准,参考并借鉴已有其它生态评价的做法,建立一套适用于残次林改造工程的评价指标体系^[8]。本文结合北京西山残次林改造实践经验,应用生态学和景观学原理,重点研究残次林改造工程半自然生态系统的结构、过程和功能,来完善对于此类区域的生态评价,建立一套适用于北京市、乃至整个华北地区的残次林改造工程生态评价体系^[9]。以期作为残次林改造工程规划、设计、施工、监理和养护的生态学参考^[10]。

1 工程应有特征及生态评价的目标

1.1 残次林改造工程应有植被特征

所谓生态评价,指的是以自然生产力的合理布局为核心,按资源的可持续利用和优良生态环境的标准而建立评价的指标体系^[11]。针对区域的生态环境特点和空间分布规律,定量分析各区域中生态系统类型的空间布局、开发利用状况及其合理程度,对评价得出的总体得分做出分析,给出进一步改进的意见。因此,残次林生态评价的具体区域就是林相残败,不能完成群落顶级演替,风景区视觉感官效果可进一步改进的区域。伴随着工程的实施,将产生了以人工重建植被为主的生态集群。作为特殊生态系统的一种形式,工程生态系统包括这一类由人工建植、管理的半自然生态系统,它应具有以下几个主要特征:

(1)人为干预性。不经过人为干预性自然界中的土石坡面往往要经过漫长的地质和生物作用,才能逐渐产生演替进化的植被群落,或者由于立地条件的限制不能演化为植被顶级群落。残次林改造工程则通过人为施加的工艺使这一过程缩短,重建绿色景观^[12]。因此,残次林重建植被从规划、设计、建植,到建成后的养护管理,都离不开人类的影响。

(2)植被先锋性。缺乏植物生长必需的固着条件和营养供给是残次林改造的首要限制因素,因此残次林改造采用的大多是生长迅速、覆盖率高、耐旱耐贫

瘠能力强的先锋植物种类,或者景观价值高的乔木,如侧柏、栓皮栎、油松、加拿大红枫、五角枫、日本红枫、胡枝子、刺槐等。

(3)结构稳定性。残次林改造植被的构建最主要目的是为了稳定坡面、固着土壤、截留降水,防止水土流失,在风景区还有一个重要的目的是美化景观。这些基础效用是通过所有个体植株形成的整体植物群落来实现的。因此残次林改造区植被群落结构稳定性和风景区美化效果是残次林改造效果的重要考查点。

(4)生态健康性。残次林改造植被的种类组成和分布格局决定了其生物多样性的 高低,进而影响生态系统抵抗环境干扰的能力强弱。同时,在残次林改造中引入或带入的植物种类也可能包含对本地物种产生负面影响的外来入侵种,造成对区域内生态安全的威胁^[13-14]。

(5)景观协调性。在景观尺度下,残次林改造后作为廊道和斑块镶嵌于更大的绿色植被背景之上。残次林改造应当尽可能使其融入到周围的自然生态环境中,逐渐从人工建植的群落向野生的、乡土的植被群落演替,使残次林改造景观既满足生物防护的功用,又具有景观美学价值,与周边环境和谐相融。

1.2 残次林改造植被生态评价的目标

基于以上各种基本性质,残次林改造工程生态评价指标体系的目标是为了能够通过对这些属性的基础信息的收集汇总,借助植被调查、确定权重、模糊评判等量化手段,给出残次林改造植被质量的相对评价结果。

2 工程生态评价的标准、对象和方法

2.1 残次林改造生态评价的标准

任何一种评价体系都要依照一定的价值标准,残次林改造工程的生态评价指标体系也是如此。残次林改造生态评价体系应当符合整合性、可操作性和客观评判性三方面的标准。

(1)整合性。残次林改造生态系统有其自身的结构和功能,系统内、外部同时存在着物质、能量和信息的流动和传递。各个生态因子之间存在着相互制约、相互影响的网络关系,共同维持残次林改造生态系统的稳定和功能的行使。所以其生态评价指标体系必须涵盖残次林改造后植被的各方面,并充分考虑各指标之间的联系,以保证结论的全面、系统。

(2)可操作性。残次林改造工程生态评价体系是在现场考测数据的基础上,经过层级分析和统合处理,最后给出评价结论。原始资料的测量内容、层次和方法都影响着残次林改造工程生态评价的准确和客观,必须选择简单、快捷、多量、易于重复考测的指标。这

也是将残次林改造工程植被生态评价从定性转为定量、再从量化结论中获得定性指导结论的关键。

(3)客观评判性。由于残次林改造工程植被与自然的植被群落相比,有着较大的人为因素影响,因此构建残次林改造工程生态评价体系时更应当将人的主观偏好尽可能降低,保证所得到的评价结果尽可能客观真实,具有实际的指导价值。

2.2 残次林改造工程生态评价的对象

残次林改造工程生态评价的对象是其生态效果,即改造后的残次林改造工程生态系统对于环境的改善作用。例如残次林改造后对降水有明显的截流作用,因而能够保持水土,这种效果与具体的植被配置有关,具有良好层次结构(草灌结合、有效利用空间)的植被,对降水的截流保持作用就越好。如在气温较高、光照强烈的夏季,残次林改造工程植被不但可以逐层吸收利用和重复反射光照,还可以结合蒸腾作用将环境温度变化控制在较小的幅度内。跟残次林改造后植被发育生长有关的生态因子包括许多类型,如地理因子、生物因子以及人类活动的影响等。通常生态系统服务的主要内容是通过生态系统的过程而生产产品,以及提供良好的环境支持。但在北京西山上一概不存在生产工农业动植物产品的需求,因此,提供稳定健康的环境就成了判断残次林改造工程生态系统服务性能的主要指标。这些都是选择残次林改造工程生态评价指标时的依据。

2.3 残次林改造工程生态评价的方法

本残次林改造工程生态评价指标体系包括 5 个层次:植物个体与环境因子的互动、植物种群水平的评价、植物群落水平的评价、生态系统功能与服务的评价,以及景观尺度的评价。这 5 个层次的指标分别编号记为 A、B、C、D、E。每个指标都包括其名称、内涵、权重,内涵是该指标具体的操作内容和考测对象,按照计分标准记为 0~1 分。通过现场考测获得了每个层次的指标分数后,根据专家经验获得各个指标的权重,进行各层次指标的整合,得出残次林改造工程评价总分,将残次林改造工程质量分为优、良、中、合格以及不合格 5 个等级。

3 工程生态评价指标体系建立

残次林改造工程生态系统是一种复杂的人工系统,是残败林相与列队风景林等与周围健康森林的交界,因而容易受到周边环境的影响。在空间尺度上,残次林改造工程跨越不同区域之间复杂多变的地理环境;在时间尺度上,也要经历季节的变化所带来的气候交替。我们可以将同一残次林改造效果在不同

年份、不同季节的生态特性进行纵向比较;也可将不同区域、不同残次林改造效果在同一时间进行横向比较。要建立合理的生态评价体系,必须从生态系统的各个层次细致考虑有可能的影响因素。这包括以下 5 个水平的评价。

3.1 个体水平

由于残次林的各种理化条件直接作用于每一植株个体,因而考察植株与环境因子间的作用应为残次林改造工程评价的首要内容(表 1)。具体来说,残次林改造区的高度、坡度、朝向、岩性、土壤条件、水分条件,以及改造时区域的气候因素(降雨、气温、日照等),都会影响到残次林改造之后的成活质量^[15]。其中又以岩质边坡的土壤(客土、基质)条件较为关键^[16]。根据限制因子定律,环境资源中最为匮乏的一项即成为制约生物生长繁殖的关键因子。残次林改造限制新植被生长的关键因子是坡面土壤缺失。这些坡面几乎完全丧失了能提供植物正常萌发生长的土壤,或者只有非常瘠薄的少量土层,立地条件极为苛刻。目前主流的建植工艺(如客土栽培、基盘法等)都是从这一问题出发,借助人工创造的土壤基质环境(如大穴挖坑,客土栽培),营造立地边坡植被赖以生长的着生基盘。而人工营造的基质是否牢固,能够经受雨水冲刷、冰雪冻融、热胀冷缩的考验,也是评价的主要内容之一。从植物的角度看,首先要求改造后达到一定的存活率,能够正常生长改变林分结构;而改造植被又通过其根系的生长和发育进一步加强对土壤的固着能力;另外,能够适应不利生长条件下的耐受性也是残次林改造工程植被个体应当具有的属性^[17]。

3.2 种群水平

无论是单一的边坡群落还是种类较为丰富的组合,考察植被的种群特征都对残次林改造工程生态评价有帮助。通过观察优势种的数量(密度)变化,可以了解残次林改造之后不同季节、不同年份的健康状况;研究种内分布格局、年龄结构(衰老、稳定、增长型)和生长势,能帮助我们确定残次林改造时应如何调整种植的密度,以提高成活率,减少自疏作用造成的损失和种苗浪费;进一步地利用和加强改造引进植物种间的互动关系将有利于提高物种多样性和改造引进植被群落的稳定性。借助这些指标确定某些跟改造区坡面稳定和水土保持关系特别密切的种类,作为特别考虑种进行研究。这些特别考虑种是生态作用和残次林改造贡献较大的植物种(表 2)。另外,加强对北京西山风景区残次林改造区域引进的风景树种(如日本红枫,加拿大红枫等)的存活状况,生长状况等的观测研究。

表 1 残次林改造工程植被个体水平生态评价指标

编号	指标	指标内涵	记分标准	指标权重
A1	护坡性能	结合残次林改造地区坡面坡度、高度、朝向、岩质、节理等因素,分析残次林改造工程水土保持作用以及对坡面稳定性的贡献	完全消除浅层坍塌、表面落石等现象为 1;否则为 0;其余在之间 0~1 间取值	0.03
A2	基质理化状况	基质理化条件,土壤砾石含量、土层厚度、硬度、孔隙率、透水系数、养分等是否充足合理,适合植物生长	基质配比合理、厚度达标、营养充足的为 1;致使植物无法生长的为 0	0.04
A3	抗冲刷、抗倒伏能力	残次林改造植被对于降水的截留能力、基质抗冲刷能力的强弱,尤其是暴雨等恶劣气候条件下的基质流失程度	几乎没有冲刷损失、完全抗倒伏为 1;植被大片斑秃、基盘剥离则为 0	0.06
A4	植物长势	植株的茁壮程度和生长潜力	改造植株成活率高、生长旺盛为 1;几乎完全枯死为 0	0.03
A5	根系发育程度	根系长度、数量以及根系活力等,并配合测定土壤剪力、根系抗拉强度	根系深、侧根发达,能有效固着土壤为 1;根系极浅或完全坏死为 0	0.05
A6	植物耐性	植物的耐旱、耐热、耐寒、耐贫瘠性	抗逆性强、存活率高为 1;枯死或无法越冬为 0	0.04

表 2 残次林改造工程植被种群水平生态评价指标

编号	指标	指标内涵	记分标准	指标权重
B ₁	种群密度	单位面积上特定种的株数,从不同时间尺度上种群密度的变化,判断植被长势和潜能、植物覆盖的速度和持久性	生长不良或枯死、建植植被过密或过疏为 0;茂盛茁壮、存在大量建群种并能持久保持的为 1	0.05
B ₂	种内分布格局	随机型(random),均匀型(uniform),集群型(clumped);以及是否具有高低、远近的层次感	自上而下、由远及近的乔灌木层次搭配合理,景观自然协调为 1;既无景观层次感,又不适应残次林不同立地类型改造要求的分布格局为 0	0.02
B ₃	竞争与互惠	观测改造早期草本对后期灌木和乔木等萌发生长的郁闭影响	乔冠可以正常生长并逐渐占据优势为 1;草本完全郁闭、乔灌木无法生长为 0	0.03

3.3 群落水平

群落调查是认识植被不可或缺的一环。残次林改造区域的植被群落指标涉及常见的植被调查、科属统计、群落基本数量特征(多度、密度、盖度、频度),并在此基础上计算优势度、重要值;通过群落的聚类分析和排序确定不同残次林类型改造后群落之间的相似性和差异程度^[18],以期能从中阐明造成这些异同的原因,分析不同改造方法和设计规划会带来怎样的改造效果;通过对残次林改造后植被群落物种多样性和最小面积的调查,可以为残次林改造工程生态系统的稳定性提供优劣指标(表 3)。

3.4 生态系统水平

残次林改造区域生态系统中体现的生产价值不明显,或者说并非直接的;主要通过植物生物量的累积和分布,来达到固土护坡、美化景观的间接效果。在这一层次考查改造之后西山残次林生态系统的健康程度、稳定性和服务功能(表 4)。其中服务功能包括绿化防护这一基础功能和其它间接衍生的服务功能。同时将经济指标和社会指标也放在这一层次考查。

3.5 景观水平

根据景观生态学的“基底”-“斑块”-“廊道”理论,将北京西山数量众多、分布范围广阔的各种残次林在景观水平的生态评价纳入体系(表 5)。使用 3S 技术,结合残次林地形图、卫星影像、航片,绘制景观图,分析其改造修复破损景观的情况。另外,生物廊道对于残次林改造植被向自然植物群落的演替、保持当地生物多样性有重要的作用,有必要参考国内外经验,评价生物廊道设计在丰富残次林改造后生物多样性方面的贡献^[19]。

3.6 残次林改造工程生态评价指标体系的计分

5 个层次共有 22 个指标,将每种指标的得分乘以其权重,求和后换算为百分制,即为该地区残次林改造工程植被的生态评价总分 P。根据已划分的等级将其评价为优、良、中、合格或不合格(表 6)。

4 工程生态评价结果的表述和意义

残次林改造工程借助上述指标体系的评价,根据其得分高低和具体情况的记录描述,来分析其改造效果的优劣和原因。得分较高的优良残次林改造工程,

说明该处改造的规划设计、使用的方法、植物种类、基质配比、施工的组织安排、后期的抚育管理等工作都是卓有成效、值得肯定的;中等得分的残次林改造工程在保持优点的基础上,要改进不足,追求进一步的提升;对于得分较低、甚至残次林越改越差的,则应当及时总结,找出问题所在,对症下药,整改返修。

表 3 残次林改造工程植被群落水平生态评价指标

编号	指标	指标内涵	记分标准	指标权重
C ₁	盖度	乔木群落整体在改造区的投影面积	完全覆盖坡面为 1;没有覆盖为 0	0.07
C ₂	物种多样性	改造区植物物种的丰富度和均匀度,采用 Shannon—Wiener 指数 $H, H=-\sum(P_i \cdot \ln P_i)$;式中: P_i ——第 i 种改造植物物种占改造区所有种类个体数的比例	多样性最大、比例均匀、物种组成接近周边优良林分群落的为 1;完全单一的林分为 0	0.07
C ₃	最小面积	用巢式样方法确定包含该改造区所有植被种类,的最小面积,是多样性和分布均匀程度的反应	所需面积最小的为 1,其余改造区取倒数;最小面积为整个改造区的为 0	0.04
C ₄	群落外貌和季相	植被整体外观,通常即建群种的物候期	绿期长,花期景观优美的为 1;全部枯死为 0	0.04
C ₅	群落的聚类分析	残次林改造工程后群落之间、以及与周围自然优良林分之间的相似程度	完全等同于周边自然优良林分群落为 1;截然不同甚至发现恶性入侵种或者生长与当地自然气候完全不适应的则为 0	0.08

表 4 残次林改造工程生态系统水平评价指标

编号	指标	指标内涵	记分标准	权重
D ₁	生态系统稳定性和健康性	受到外来不良干扰时的抵抗和恢复能力;具有顶级群落,层次结构明显,满足正常演替、能量、物质和信息传递流动	具有良好的结构,能逐步与周边自然生态系统融合,能抵御灾害事件和突发的恶劣天气,病虫害少的为 1;否则为 0	0.04
D ₂	绿化防护服务功能	改造工程长期植被覆盖和结构稳定,减少水土流失;	改造效果完全符合设计的为 1;没有植被作用、只能依靠工程防护手段的为 0	0.07
D ₃	其它服务功能	四季色彩变化;林木散发出香味;林相体态丰满;视觉美感;林果采摘;缓解疲劳;开阔胸襟;	残次林改造能有效改善局部残败风景,在不同季节给人以视觉、听觉和味觉的不同享受,降低观赏疲劳感,提高风景区游览率的为 1;否则为 0	0.04
D ₄	经济节约效果	降低工程的施工和管理维护成本,为后期工程维护奠定基础。延长管护年限	有效节约资源、节省成本、降低改造工程造价和环境代价的为 1;否则为 0	0.03
D ₅	社会示范效果	对未来残次林改造的影响和指导	产生良好社会示范效果的为 1;效果不佳影响甚微的为 0	0.02

表 5 残次林改造工程景观水平评价指标

编号	指标	指标内涵	记分标准	权重
E ₁	景观破碎化程度	残次林改造对西山林相和风景区景观碎片的修复程度	完全融合能缓慢协调过度的为 1,景观异质性明显且严重缺乏美感的为 0	0.04
E ₂	生物廊道	斑块之间的野生动、植物传播扩散的通道	设计合理,有助于生物多样性和改造区物种朝向临近周边野生生物组合演替为 1;否则为 0	0.06
E ₃	景观美感	残次林改造后景观道路两侧关键位置和生态敏感点的景观美学效果	自然融合、既符合生态原理又具观赏性的为 1;残次林改造效果与周边背景明显不搭配、过于生硬的为 0	0.05

表 6 残次林改造工程生态评价等级

等级	优秀	良好	中	合格	差
P 值范围	>75	75~55	54~40	39~20	<20

5 应用展望

北京西山残次林改造是 2010—2020 年北京林业规划中是不可忽视的一环。同其它生态评价一样,残次林改造工程的生态评价很难有绝对的量化标准,评

价结果反映的是重建植被的相对优劣,为进一步的工作找出方向和重点。为了更全面地实现生态化的残次林植被改造,有必要从源头抓起,在残次林改造规划初期将北京西山整体的残次林改造工程环境影响评价引入残次林改造和生态环境治理规划等过程中^[20]。不断完善的残次林改造工程生态评价体系将有助于衡量北京西山残次林改造质量,提高政府、社会和公众对残次林改造工程生态评价必要性的认识,

促进相关可持续发展政策的制定和完善。

残次林改造工程的根本出发点是利用植物的生物学作用,达到抵抗冲蚀、保持水土、增强残败林相区域坡面的稳定性和美观性,因而生态价值是衡量北京西山残次林改造效果的首要标准,是产生其社会价值和经济价值的基础和前提。只有借助科学合理的评价来验证说明残次林改造工程成果的好坏优劣,才能够将更多的经济投入和社会关注引入到残次林改造工程中。从经济效益的角度考虑,残次林改造工程则是为了更好地发挥北京西山风景林和水保林的功用,另外,在防止水土流失、减少浅层滑塌的基础上,又能起到提高水土保持林和风景林品质,并进一步带来审美、旅游、文化宣传、自然保护等社会效应。不可忽视的是,作为间接效果的经济和社会效益不只是作为生态改善的结果,更应当反过来促进残次林改造工程生态建设和残次林改造相关生态产业的发展^[21]。今后在不断完善残次林改造工程生态评价指标体系的同时,还要结合国内外的相关经验,不断摸索,充实残次林改造工程评价的经济和社会评价指标,达到经济、社会和环境收益的最佳组合和协调发展。

6 应用评价

本指标体系初步建立了残次林改造工程生态评价的理论框架,方法简单易行,评价要素明确,层次分明,所构建的残次林改造工程评价指标可作为残次林改造发展规划的生态评价参考。在今后的实践过程中,要根据具体残次林改造过程中的情况充实指标内容,进一步细化和调整评价体系结构。该指标体系的完善和应用将有助于北京市乃至华北的残次林改造工程更加科学地展开,对于改进和调整不同立地条件,不同区域生态环境治理的方向和模式,合理配置利用资源,优化林业抚育管理模式,提高残次林生态环境治理效益和效率具有重要意义。

参考文献:

- [1] Rentch J S, Fortney R H, Stephenson S L, et al. Vegetation-site relationships of roadside plant communities in West Virginia, USA[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2005, 42: 129-138.
- [2] 潘树林,王丽,辜彬. 论边坡的生态恢复[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(2): 217-221.
- [3] 孙凡,袁红叶,李天云,等. 重庆雪宝山自然保护区 AHP 生态评价[J]. *西南农业大学学报:自然科学版*, 2006, 28(4): 569-572.
- [4] Pastorok R A, MacDonald A, Sampson J R, et al. An ecological decision framework for environmental restoration projects[J]. *Ecological Engineering*, 1997, 9: 89-107.
- [5] Li Xiaoping, Zhang Liquan, Zhang Zheng. Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China[J]. *Ecological Engineering*, 2006, 26: 304-314.
- [6] Fielder C E, Keegan C E, Wichman D P, et al. Product and economic implications of ecological restoration[J]. *Forest Products Journal*, 1999, 49(2): 19-24.
- [7] Hodacova D, Prach K. Spoil heaps from brown coalmining: Technical reclamation versus spontaneous vegetation[J]. *Restoration Ecology*, 2003, 11: 385-391.
- [8] 白史且,胥晓刚. 高速公路绿化工程与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [9] 穆彬,谢阳,江楠,等. 道路生态影响评价方法研究:以兰海高速公路为例[J]. *环境科学*, 2007, 28(12): 2889-2895.
- [10] 李庆旭,刘光瑗,邵麟惠. 层析分析法在高速公路生态环境影响评价中的应用[J]. *冰川冻土*, 2007, 29(4): 653-658.
- [11] 姜汉侨,段昌群,杨树华. 植物生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [12] 付荣烈,刘林德. 生态学实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [13] Olander L P, Scatena F N, Silver W L. Impacts of disturbance initiated by road construction in a subtropical cloud forest in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico[J]. *Forest Ecology and Management*, 1998, 109: 33-49.
- [14] Dutta R K, Agrawal M. Restoration of open cast coalmine spoil by planting exotic tree species: a case study in dry tropical region[J]. *Ecological Engineering*, 2003, 21: 143-151.
- [15] 徐宪立,耿红,张科利,等. 西部地区高速公路发展规划生态环境影响评价: 指标体系构建及评价方法探讨[J]. *公路交通科技*, 2006, 23(7): 154-158.
- [16] Grant C D, Campbell C J, Charnock N R. Selection of species suitable for derelict mine site rehabilitation in New South Wales, Australia[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2002, 139: 215-235.
- [17] Simms P H, Yanful E K. Some insights into the performance of an experimental soil cover near London, Ontario[J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 1999, 36: 846-860.
- [18] Khater C, Martin A, Maillet J. Spontaneous vegetation dynamics and restoration prospects for limestone in Lebanon[J]. *Applied Vegetation Science*, 2003, 6: 199-204.
- [19] 董清福,洪丽娟,唐建军,等. 高速公路建设对路域生态系统中生物的影响及生物廊道设计的意义[J]. *科技通报*, 2007, 23(2): 289-293.
- [20] 王玉霞. 大青沟自然保护区生态评价[J]. *内蒙古农业大学学报*, 2005, 26(3): 50-53.
- [21] 董方帅,徐礼根,岩质边坡植被重建后的生态评价指标体系构建[J]. *科技通报*, 2009, 25(4): 503-509.