

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

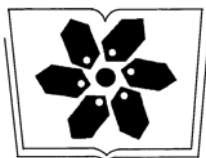
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 12 期 Vol.33 No.12 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 12 期 2013 年 6 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 森林低温霜冻灾害干扰研究综述 李秀芬, 朱教君, 王庆礼, 等 (3563)
- 碱蓬属植物耐盐机理研究进展 张爱琴, 庞秋颖, 阎秀峰 (3575)

个体与基础生态

- 中国东部暖温带刺槐花期空间格局的模拟与预测 徐琳, 陈效速, 杜星 (3584)
- 长白山林线树种岳桦幼树叶功能型性状随海拔梯度的变化 胡启鹏, 郭志华, 孙玲玲, 等 (3594)
- 油松天然次生林居群遗传多样性及与产地地理气候因子的关联分析 李明, 王树香, 高宝嘉 (3602)
- 施氮对木荷 3 个种源幼苗根系发育和氮磷效率的影响 张蕊, 王艺, 金国庆, 等 (3611)
- 围封对内蒙古大针茅草地土壤碳矿化及其激发效应的影响 王若梦, 董宽虎, 何念鹏, 等 (3622)
- 干热河谷主要造林树种气体交换特性的坡位效应 段爱国, 张建国, 何彩云, 等 (3630)
- 生物降解对黑碳及土壤上苯酚脱附行为的影响 黄杰勋, 莫建民, 李非里, 等 (3639)
- 3 个树种对不同程度土壤干旱的生理生化响应 吴芹, 张光灿, 裴斌, 等 (3648)
- 冬小麦节水栽培群体“穗叶比”及其与产量和水分利用的关系 张永平, 张英华, 黄琴, 等 (3657)
- 不同秧苗素质和移栽密度条件下臭氧胁迫对水稻光合作用、物质生产和产量的影响 彭斌, 李潘林, 周楠, 等 (3668)
- 根域限制下水氮供应对膜下滴灌棉花叶片光合生理特性的影响 陶先萍, 罗宏海, 张亚黎, 等 (3676)
- 光照和生长阶段对菖蒲根系泌氧的影响 王文林, 王国祥, 万寅婧, 等 (3688)
- 植物病原菌拮抗性野生艾蒿内生菌的分离、筛选和鉴定 徐亚军, 赵龙飞, 陈普, 等 (3697)
- 不同生物型棉蚜对夏寄主葫芦科作物的选择 肖云丽, 印象初, 刘同先 (3706)
- 性别和温度对中华秋沙鸭越冬行为的影响 曾宾宾, 邵明勤, 赖宏清, 等 (3712)

种群、群落和生态系统

- 基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价 袁菲, 张星耀, 梁军 (3722)
- 洞庭湖森林生态系统空间结构均质性评价 李建军, 刘帅, 张会儒, 等 (3732)

景观、区域和全球生态

- 川西米亚罗林区不同海拔岷江冷杉生长对气候变化的响应 徐宁, 王晓春, 张远东, 等 (3742)
- 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系 穆少杰, 李建龙, 周伟, 等 (3752)
- 地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵, 等 (3765)
- 毛乌素沙地南缘植被景观格局演变与空间分布特征 周淑琴, 荆耀栋, 张青峰, 等 (3774)
- 贵州白鹇湖沉积物中孢粉记录的 5.5 kaB. P. 以来的气候变化 杜荣荣, 陈敬安, 曾艳, 等 (3783)

典型河谷型城市春季温湿场特征及其生态环境效应..... 李国栋,张俊华,王乃昂,等 (3792)

秦岭南北近地面水汽时空变化特征..... 蒋 冲,王 飞,喻小勇,等 (3805)

露天矿区景观生态风险空间分异..... 吴健生,乔 娜,彭 建,等 (3816)

基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较 孔 艳,江 洪,张秀英,等 (3825)

资源与产业生态

中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析 潘 丹,应瑞瑶 (3837)

舟山市东极大黄鱼养殖系统能值评估..... 宋 科,赵 晟,蔡慧文,等 (3846)

不同基因型玉米间混作优势带型配置..... 赵亚丽,康 杰,刘天学,等 (3855)

气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响..... 陈 伟,熊 晶,陈 懿,等 (3865)

城乡与社会生态

成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益 张艳丽,费世民,李智勇,等 (3878)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 长白山南坡的岳桦林——长白山岳桦林位于海拔约 1700—2000m 之间的山坡。这种阔叶林分布在针叶林带的上面,成为山地森林的上缘种类,在世界山地森林中实属罕见。岳桦能够顽强地抗御长白山潮湿、寒冷、强风等恶劣气候因素,在严酷的环境条件下形成纯林,是与其独特的生长发育机理密切相关的。岳桦的枝干颇具韧性,在迎风处,由于风吹雪压,树干成片地向背风侧倾斜,这种特性使它能不畏风雪,顽强生存。随着海拔的升高,岳桦林也逐渐矮化,这是岳桦林保护自身生存,适应大自然的结果。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201205100690

袁菲, 张星耀, 梁军. 基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价. 生态学报, 2013, 33(12): 3722-3731.

Yuan F, Zhang X Y, Liang J. Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3722-3731.

基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价

袁 菲^{1,2}, 张星耀¹, 梁 军^{1,*}

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 森林保护学国家林业局重点实验室, 北京 100091;

2. 北京市林业保护站, 北京 100029)

摘要:以汪清林区 60 个林班为研究对象, 提出基于干扰的森林生态系统健康评价模型 $H = \sum B_2 W_2 - \sum B_1 W_1$, 构建了基于干扰理论的汪清林区森林生态系统健康评价体系。其中, 有害干扰指标层选取 4 个指标: 森林病害、森林虫害、森林火险以及人为干扰, 生态系统内部的增益指标层选取 4 个指标: 树种多样性、群落层次结构、林分更新状况以及近自然度。利用层次分析法和变异系数结合的主客观赋权法计算得到各指标的权重, 提出基于干扰的健康评价模型和等级划分标准。最终评价结果显示: 汪清林区 60 个样地中, 处于优质状态的样地有 6 块, 占总样地数的 10%, 健康指数均大于 0.2; 处于健康状态的林分 13 块, 占总样地数的 21.67%, 健康指数在 0.1—0.2 之间; 处于亚健康状态的林分 23 块, 占总样地数的 38.33%, 健康指数在 0—0.1 之间; 处于不健康的林分 18 块, 占总样地数的 30%, 健康指数小于 0。结果表明, 在天然林中, 无论是针叶纯林还是针阔混交林、阔叶混交林, 大多处于亚健康和健康的状况, 这与他们近自然度高, 物种多样性丰富、具有良好的自我调节能力有关。而在落叶松人工林分中, 由于林分物种多样性低, 群落结构简单, 近自然度最小, 林分的增益能力弱, 因此不健康的占有绝大多数。该评价结果可为该林场展开相关的健康经营措施提供参考。

关键词:汪清林区; 生态系统健康评价; 干扰; 评价指标; 评价方法

Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry

YUAN Fei^{1,2}, ZHANG Xingyao¹, LIANG Jun^{1,*}

1 Key Laboratory of Forest Protection of State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Beijing forestry protection station, Beijing, 100029, China

Abstract: Currently, the study of forest ecosystem health, a new and controversial research field within forestry and forest ecology, provides a scientific basis for forest protection. The study of forest ecosystem health also provides a significant practical service by suggesting ways to increase the level of sustainability in forest management although the definition of forest health remains controversial. The concept of health is well understood as applied to humans but the human concept of health may not be appropriate for ecosystems. The difficulties of defining the optimal conditions for ecosystem health have led to a lack of universally accepted indicators used to measure ecosystem health. Several forest ecosystem health assessment systems have already been developed. For example, ecosystem health can be assessed using measures of resilience, vigor and organization and most of today's assessment systems are based on these concepts. In this research, the forest ecosystem health of 60 sample plots in Wangqing Forest was investigated. A new assessment model of forest ecosystem health based on

基金项目: 林业公益性行业科研专项(20100400201-01)

收稿日期: 2012-05-10; 修订日期: 2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liangjun@caf.ac.cn

the disturbance, $H = \sum B_2 W_2 - \sum B_1 W_1$, is proposed and used in this study, where H represents a measure of ecosystem health and B_1 , B_2 , W_1 and W_2 represent harmful sources of disturbance, forest ecosystem stability, the weights of B_1 and B_2 , respectively. Based on qualitative analysis of existing data, eight indices which were divided into two categories were selected as assessment indices of forest ecosystem health in Wangqing Forest. Several harmful sources of disturbance were considered including forest diseases, forest pest species, wildfires and human-caused disturbances. Measurements of forest ecosystem stability include measurements of biological diversity, forest community structure and measurements documenting how closely a forest study plot resembles expected natural forest conditions. These types of data have frequently been used to measure ecosystem complexity and health. Additionally, two types of analysis, the Analytic Hierarchy Process and coefficient of variation analysis, were used in combination with weighted evaluation indicators to objectively evaluate the forest health of the study plots. We propose a new forest ecosystem healthy assessment model and classification system. The 60 sample plots of Wangqing Forest were divided into four health risk categories: very healthy, healthy, fairly healthy and unhealthy. By calculating a composite value for forest health, the status of forest ecosystem health of individual Wangqing Forest plots was determined. As the results showed, 6, 13, 23 and 18 (or 10%, 21.67%, 38.33%, and 30% of all plots) plots were categorized as very healthy, healthy, fairly healthy, and unhealthy, respectively; the health indices for these four groups of plots were measured as $0.5 \geq 0.2$, $0.2 \geq 0.1$, $0 \geq 0.1$, $-0.5 < 0$, respectively. Most of the forest plots with conditions resembling natural forest conditions, high levels of biodiversity and a strong ability to adjust to environmental change, such as pure natural forest, natural mixed needleleaf/broadleaf forest and mixed broadleaf forest, were categorized as healthy or fairly-healthy, while nearly all plantation forests plots which did not have conditions resembling natural forest conditions, but had low levels of biodiversity and a weak ability to adjust to environmental change were classified as unhealthy. This forest health assessment/indicator system establishes a scientific basis for conducting forest health analysis, provides a context for planning ecosystem restoration, and contributes to the understanding of the physical, biological, and human dimensions of these ecosystems. This research may enrich current theories and methods used in assessing the health of ecological systems.

Key Words: Wangqing forestry; ecosystem health assessment; disturbance; assessment indicator; assessment method

森林健康评价是当前热门的研究方向之一,可用来判断一个地区森林健康状况和森林经营趋势,是进行森林健康经营的重要基础^[1]。不同的专家学者根据其学术侧重点不同,选取的评价指标也大不一样。鲁绍伟等^[2]提出物种多样性、群落层次结构、郁闭度、灌木层盖度、年龄结构、林分蓄积量、病虫害危害程度、土壤侵蚀程度 8 项指标,指标容易测量便于野外操作;李静锐等^[3]选取了生长状况、有机质含量、地类、土层厚度、灌木丰富度、草本丰富度共 6 个指标,指标选取没有考虑抗干扰能力指标和外界环境指标,指标涵盖面较小;高志亮等^[4]提出结构性指标、功能性指标和适应性指标 3 大类包括物种多样性、平均生物量、叶面积指数、土壤有机质和森林病虫害程度等 8 个指标,对于林分尺度森林健康研究具有指导意义;姬文元等^[5]从森林群落方面入手提出郁闭度、下木总盖度、地被物总盖度、幼树中建群种数量比例、更新等级、幼树幼苗生长情况、单位面积活立木蓄积量、建群种的平均胸径、建群种的平均树高共 9 个指标,未考虑抗干扰能力指标;张仁等^[6]提出单位面积蓄积量、林龄结构、土层厚度、群落结构、乔木郁闭度、灌木盖度、草本盖度、腐殖质厚度、天然更新状况及病虫害危害程度 10 个评价指标,指标选取合理,但未考虑到森林火险等指标。

从上述可以看出,目前很多研究者提出的评价指标,实际上很多都是从 Costanza 提出的系统活力、系统组织、系统恢复力 3 个方面演化而来,指标构成过于理论化。有些指标选取时因为所学专业的限制,没有考虑到森林火灾、森林病虫害或者大气污染等目前对森林生态系统健康影响较大的有害干扰因子。而近几年来,我国森林受到的有害干扰越来越重,方式也越来越多样化,严重影响了森林生态系统的健康。针对于此,本文根据对汪清林区的实地调查,采取一种全新的评价模式,即提出基于干扰理论的森林生态系统健康评价体系 and

评价模型,在一定程度上丰富了森林生态系统健康评价的研究理论和方法体系,对将来的生态系统健康评价工作有一定的借鉴意义。

1 试验地概况

本文选择处于寒温带森林生态系统的吉林省汪清林业局经营区为研究区。林区位于吉林省延边朝鲜族自治州的东北部,长白山系的中低山区($43^{\circ}05'—43^{\circ}40'N$, $129^{\circ}56'—131^{\circ}04'E$),东、北部与黑龙江省宁安市、穆陵县、东宁县接壤,东南部与珲春市、图们市毗邻,西南部与敦化市、龙井市相接。总面积 30.4 万 hm^2 。汪清林区属于中温带湿润温凉季风气候区。春季温度变化剧烈,冷暖干湿无常;夏季短暂,温凉而潮湿;秋季凉爽,昼夜温差大;冬季漫长而寒冷。年平均气温 3.9°C ,最高年份 4.9°C ,最低年份 2.9°C 。年平均降水量为 547 mm ,集中在 6—8 月,占全年降水量的 65%。年平均无霜期 135 d,无霜期最长的年份 157 d,终霜期一般在 5 月 9 日左右,初霜期在 9 月 24 日左右出现。年平均日照时数 $2\,358 \text{ h}$ 。林区地面高程为 $360—1\,477 \text{ m}$,坡度变化范围为 $0—45^{\circ}$ 。该区域植物种类繁多,结构复杂。深山区林相以针阔混交林为主,呈带状分布在海拔 $500—1\,100 \text{ m}$ 之间。针叶树主要有落叶松 *Larix* spp.、红松 *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.、云杉 *Picea meyeri* Rehd. et Wils.,阔叶树多为蒙古栎 *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. var. *mongolicodentata*、枫桦 *Betula costata* Trautv.、色木槭 *Acer mono* Maxim 和白桦 *Betula platyphylla* Suk 等,平均树高为 26 m 。主要土壤类型为暗棕色森林土,其间穿插有少量的沼泽土和草甸土。

2 研究方法

2.1 调查方法

2.1.1 样地设置

综合考虑海拔、坡向、龄组、经营历史、森林健康状况等因素,将林区分为 4 种类型:天然落叶松林(针叶树比例 91%—100%)15 块、人工落叶松林(针叶树比例 100%)15 块、针阔混交林(针叶树比例 11%—90%)14 块和阔叶混交林(针叶树比例 0—10%)16 块,共选取临时样地 60 块。样地为圆形,半径为 8.92 m ,面积为 250 m^2 。确定样地中心点后,用皮尺实测半径 8.92 m 之内的树木。同时记载样地号、森林类型、样地面积、优势树种、林分起源、林种、样地位置(林场、林班、小班)、GPS 坐标、坡向、坡度、坡位、海拔、调查者、设置日期等内容。

2.1.2 样地调查

调查样地基本状况包括:海拔、坡度、坡向、坡位、林龄结构、林分郁闭度、灌木总盖度、草本总盖度、群落层次结构、近自然等级、火源管控力度等。植被调查,对胸径 $>4 \text{ cm}$ 的乔木进行每木检尺,记载其树种、胸径、树高、发病率、有虫株率及病虫害的发生程度。沿样地坡面设置 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的草本样方 2 个,并以此扩大成 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的灌木样方 2 个。记录 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 样方内所有草本植物种类、数量、高度、盖度,记录 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的灌木样方内所有灌木的种类、数量、高度、盖度,在样地中心附近设 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的乔木更新调查样方,分别记载 2 径阶以下苗木的各树种名称和株数。样地中随机选取 10 个点,调查枯枝落叶层的厚度。此外,样地所属林班森林病虫害发生历史、火灾频度数据、经营管理、抚育间伐措施亦可通过向有关部门搜集获取。

2.2 基于干扰理论的森林健康评价体系构建及指标说明

2.2.1 评价指标体系的构建

根据汪清林区的实地情况最终确定有害干扰指标层:森林病害、森林虫害、森林火险以及人为干扰,生态系统内部的增益指标层:树种多样性、群落层次结构、林分更新状况、近自然度,即一个目标层 A,两个约束层 B,8 个指标层 C 以及 12 个分项指标 D(表 1)。

2.2.2 评价指标的测定

2.2.2.1 有害干扰指标

(1) 森林病害

森林病害指标由发病率和病情指数来决定。

$$D_1 = \text{感病株数} / \text{林木总株数}$$

表 1 基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价指标体系

Table 1 Forest ecosystem health indicator system based on disturbance of WangQing forestry			
目标层 A Target layer A	约束层 B Restraint layer B	评价指标 C Assessment indicator C	分项指标 D Individual index D
森林生态系统健康 A Forest ecosystem healthy A	有害干扰 B ₁	森林病害 C ₁	发病率 D ₁
			病情指数 D ₂
		森林虫害 C ₂	有虫株率 D ₃
			危害程度 D ₄
		森林火险 C ₃	乔木树种易燃等级 D ₅
			灌木植物盖度 D ₆
			草本植物盖度 D ₇
			枯枝落叶层厚度 D ₈
			火源管控力度 D ₉
	增益指标 B ₂	人为干扰 C ₄	
		物种多样性 C ₅	乔木多样性 D ₁₀
			灌木多样性 D ₁₁
			草本多样性 D ₁₂
		群落层次结构 C ₆	
		林分更新状况 C ₇	
		近自然度 C ₈	

病情指数(D_2)是根据一定数目的植株各病级(把植株感染病害的轻重程度划分为等级成为病级)来核计其发病株数所得平均发病程度的数值。计算公式为:

$$D_2 = \sum (\text{病级代表值} \times \text{株树}) / (\text{总株数} \times \text{发病最重级的代表值}) \times 100$$

计算病情指数时,首先应该清楚林分的主要森林病害,然后根据病害的不同类型查出不同的病级分类标准,最后依据公式计算出病情指数。发病率与病情指数属于负向指标,值越大说明森林病害程度越严重,即生态系统越不健康。森林病害计算公式为:

$$C_1 = w_1 D_1 + w_2 D_2$$

式中, w_1 、 w_2 分别为 D_1 和 D_2 的权重。

(2)森林虫害

森林虫害指标由有虫株率和虫害危害程度来决定:

$$D_3 = \text{有虫株树} / \text{林木总株数}$$

不同的有害生物引起的灾害程度不一样。本文将森林虫害按不同的危害程度分为轻、中、重 3 个等级(表 2)。根据样地内虫害的 3 个等级轻、中、重分别赋值 1、2、3,无危害赋值为 0,如果样地内同时有几种虫害,以危害程度最重的一种进行分级和赋值。有虫株率与虫害程度属于负向指标,值越大说明森林虫害越严重,即生态系统越不健康。

表 2 森林虫害危害程度等级分级标准

Table 2 Classification of forest pests damage degree			
虫害类型 Pest type	危害程度 Damage degree		
	轻 Light	中 Miderate	重 Heavy
松树(针叶树)叶部虫害 Leaf pests of pine trees(conifer trees)	针叶被害率 10%—20%	针叶被害率 21%—50%	针叶被害率 51% 以上
树干、枝梢虫害 Pests in trunk or branches	被害率 10%—20%	被害率 21%—40%	被害率 41% 以上
蛀干害虫 Insect borers	被害株率 1%—5%	被害株率 6%—15%	被害株率 16% 以上
杨树(阔叶树)叶部虫害 Leaf pests of poplar trees(broadleaf trees)	树叶被害率 10%—30%	树叶被害率 31%—60%	树叶被害率 61% 以上

森林虫害计算公式为

$$C_2 = w_3D_3 + w_4D_4$$

式中, w_3 、 w_4 分别为 D_3 和 D_4 的权重。

(3) 森林火险

构成森林火灾的主要要素是火源、可燃物、适合的气象条件,一定 的地形条件则加快火灾的蔓延速度。从历年我国森林火灾发生统计资料来看,我国每年发生的森林火灾大部分都是由人为火源引发的,人为火源不仅与聚居人口多少、人口分布状况等相对稳定人口因素有关,而且还与交通、旅游等动态人口因素有关,这方面数据调查受随机概率的影响很大,直接获得数据资料比较困难,因此本研究中应用火源管控力度来反映火源对森林火险等级的影响。另外,在目前全国的森林气象条件等级中,不同的气象条件形成不同的森林火险,适用于一定区域内的森林火险气象等级。但是气象条件每天都有不同,在本文中不考虑气象条件。

因此,本研究主要从火源管控力度和可燃物两个方面来对森林火险进行分级。

火源一般包括野外生产用火、生活用火、上坟烧纸等现象,根据这些现象以及人为旅游、砍伐等活动出现的频率来划分火源管控力度,并对其进行赋值(表 3)。

表 3 不同火源管控力度赋值及依据
Table 3 Fire source control grade and valuation

赋值 Evaluation	火源管控力度 Fire source control grade
0	火源管控严格,无野外生产用火、生活用火或上坟烧纸等现象,人为旅游、放牧、砍伐或采集药材等活动非常少
1	火源管控力度一般,偶见野外生产用火、生活用火或上坟烧纸等现象,人为旅游、放牧、砍伐或采集药材等活动较少
2	火源管控力度很小,常野外生产用火、生活用火或上坟烧纸等现象,人为旅游、放牧、砍伐或采集药材等活动较频繁
3	林区无火源管控措施,野外生产用火、生活用火或上坟烧纸等现象经常发生,人为旅游、放牧、砍伐或采集药材等活动非常频繁

森林可燃物主要由枯枝落叶层、草本植物和林木可燃树种组成,因此用枯枝落叶层厚度、草本植物盖度以及乔木树种的易燃等级来决定可燃物的等级。其中,草本植物盖度、枯枝落叶层厚度可由调查获得。根据李艳梅等^[7]可得,中国森林主要树种的燃烧等级可以分为 3 类,分级情况与赋值见表 4。

表 4 中国森林主要树种燃烧等级划分^[7]
Table 4 Classification of combustibility of major trees inChina^[7]

分类 Grade	主要树种(组) Main tree species	等级 Class	赋值 Scores
难燃类 Difficult to be burning	阔叶混交、槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)、榆(<i>Ulmus</i> spp.)	一级	1
可燃类 Could to be burning	针阔混交、杉(<i>Picea</i>)类、桦(<i>Betulla</i> spp.)、杨(<i>Populus</i> spp.)、柳(<i>Salix</i> spp.)、椴(<i>Tilia</i> spp.)、	二级	2
易燃类 Easy to be burning	松(<i>Pinus</i>)、柏(<i>Cupressus funebris</i>)类、栎(<i>Quercus</i> spp.)、针叶混、矮木	三级	3

森林火险包括火源和可燃物,不同指标内容的权重比例不一样,也决定了森林火险的最后数值的不同。森林火险指标属于负向指标,值越大说明森林火险等级越高,即生态系统越不健康。森林火险公式为:

$$C_3 = w_5D_5 + w_6D_6 + w_7D_7 + w_8D_8 + w_9D_9$$

式中, w_5 、 w_6 、 w_7 、 w_8 、 w_9 分别为 D_5 、 D_6 、 D_7 、 D_8 、 D_9 的权重。

(4) 人为干扰

由于人为干扰方式较多,很多人为干扰无法定量表示,因此,参考艾儒训^[8]人为干扰的分级标准,本研究对不同程度的抚育采伐强度、采伐后林分郁闭度大小、灌木和草本层结构、林相结构等人为干扰进行划分(表 5),达到其中一项即按照表 5 情况赋值。

2.2.2.2 增益指标

(1) 物种多样性

物种多样性指数反映了群落的物种多样性的空间分布和变化特征的分析,群落中生物种类(乔木、灌木

和草本)增多,代表群落的复杂程度增高,即群落所含的信息量愈大。本文采用 Simpson 指数分别计算林区乔木、灌木和草本的多样性。Simpson 指数公式为:

$$C_s = 1 - \sum_{i=1}^s (p_i)^2$$

式中, $P_i = N_i / N$,是种 i 的个体数占有所有种的个体数的比率, N 是样地的总个体数, N_i 是第 i 种的个体数, S 为种 i 所在样方的物种数。分别计算乔木层、灌木层、草本层的多样性指数,群落多样性指数公式为

$$C_s = w_{10}D_{10} + w_{11}D_{11} + w_{12}D_{12}$$

式中, w_{10} 、 w_{11} 、 w_{12} 分别为 D_{10} 、 D_{11} 、 D_{12} 的权重。物种多样性属于正向指标,值越大说明森林生态系统越健康。

表 5 不同人为干扰程度的分级标准和赋值
Table 5 Human-caused disturbances grade and valuation

干扰级 Disturbance grade	赋值 Scores	基本特征 Basic characteristics
未干扰 Without disturbance	0	样地内无乔木树种被伐现象;灌木层和草本层保存完好;林相完整,垂直结构分层现象明显的天然林;20 年生以上的人工林
轻度干扰 With light disturbance	1	择伐和抚育采伐强度<20%,伐后林分郁闭度>0.7;灌木层和草本层基本保存完好,盖度>60%;林相较完整,有垂直结构分层现象;或 15—20 年生的人工林
中度干扰 With moderate disturbance	2	择伐和抚育采伐强度 20%—30%,伐后林分郁闭度 0.6—0.7;灌木层和草本层有破坏现象,盖度 40%—60%;林相基本完整,有垂直结构分层现象;或 10—15 年生人工林
重度干扰 With heavy disturbance	3	择伐和抚育采伐强度 31%—50%,伐后林分郁闭度 0.4—0.6;灌木层和草本层破坏严重,盖度 20%—40%;林相残缺不全,垂直结构较单一;或 5—10 年生人工林
严重干扰 With serious disturbance	4	择伐和抚育采伐强度>50%,伐后林分郁闭度应<0.4;灌木层和草本层破坏十分严重,盖度<20%;林相破坏,垂直结构单一;或 5 年生以内的人工林

(2)群落层次结构

林分层次结构完备、合理是森林生态系统完整性的重要体现。根据北京市“十五”森林资源二类调查技术规程,层次结构依据植被层次确定记载,森林群落结构具体可分为完整结构、复杂结构、简单结构 3 种。

完整结构 具有乔木层、下木层、草本层和地被层 4 个植被层的森林;

复杂结构 具有乔木层和其它 1—2 个植被层的森林;

简单结构 只有乔木 1 个植被层的森林。

该指标值直接由二类调查数据获得。其中,完整结构赋值 3,复杂结构赋值 2,简单结构赋值 1。群落层次结构属于正向指标,值越大说明森林生态系统越健康。

(3)林分更新状况

林分更新状况主要根据林分中乔木树种的更新数量来确定,该指标可以通过森林二类调查的数据获得。林分更新数量属于正向指标,值越大说明森林生态系统越健康。

(4)近自然度

近自然度是根据外业调查中对具体地段上的不同植物群落的空间位置、物种组成、立地条件、演替阶段等因素的综合评定。近自然度属于正向指标,值越大说明森林生态系统越健康。调查时可根据北京市“十五”森林资源二类调查技术规程将近自然度分为如下 5 个等级,等级分级和赋值详见表 6。

表 6 近自然度等级及赋值
Table 6 Nature closeness grade and valuation

等级 Grade	赋值 Scores	森林群落组成 Forest community composition
I	5	顶极群落森林
II	4	由顶极种和先锋种组成的过度性群落森林
III	3	先锋群落森林
IV	2	含有非乡土树种的先锋群落森林
V	1	引进树种或者由乡土树种组成但在不适合的立地上造林形成的森林群落

2.2.3 指标权重的确定

本文采用主客观相结合的权重赋值法,即运用层次分析法^[9-12]计算评价指标相对重要性的大小,用变异系数法^[13]来确定相对离散程度大小,根据二者的算数平均数^[13]来确定最后的权重值。这样,既考虑了相对重要性的大小又考虑了相对离散程度大小,得到较为理想且实际的权重值。

各指标的变异系数^[13]。

$$V_i = \frac{\sigma_i}{\bar{x}_i} (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中, σ_i 是第 i 项指标的标准差, \bar{x}_i 是第 i 项指标的均值。各指标的权重^[13]：

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^{10} V_i} (i = 1, 2, \dots, n)$$

主观客观相结合赋权法的公式为^[13]：

$$\delta_i = (W_{\text{主}} + W_{\text{客}})/2 (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中, $W_{\text{主}}$ 表示第 i 个指标的主观权重即层次分析法求得的权重; $W_{\text{客}}$ 表示第 i 个指标的客观权重即变异系数法求得的权重; δ_i 表示第 i 个指标的综合指标权重; n 为指标数目。这也意味着综合指标权重是客观权重和主观权重的算术平均,即为算术均数组合赋权法。

2.2.4 评价指标的标准化

由于评价指标体系的参评因子来自不同的方面,直接利用它们去评价是困难的,因为各系数间的量纲不统一,所以没有对比性。即使对于同一个参数,尽管可以根据它们的实测值的大小来判断他们对健康影响程度,但也缺乏一个可以比较的环境标准而无法确切的反映其对健康的贡献。因此,应该对参评因子进行量化处理,用标准化方法来解决参数间不可比性的难题。标准化方法如式：

$$S_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

式中, S_i 为参评因子标准化值, x_i 为参评因子实测值, x_{\max} 为实测最大值, x_{\min} 为实测最小值。参评因子原始数据和标准化数据在 SPSS 中处理。

2.2.5 评价模型

本研究是基于干扰的森林生态系统健康评价,根据评价指标体系,将评价指标分为了两个方面即有害干扰与增益指标。其中有害干扰为负向指标,增益指标为正向指标,即有害干扰越严重,增益指标越小,森林生态系统越不健康,反之亦然。因此,根据研究指标体系构建原则与意义,作者首次提出基于干扰的森林生态系统健康评价模型：

$$H = \sum B_2 W_2 - \sum B_1 W_1$$

式中, H 为森林健康综合指数,系量纲数值; B_1 、 B_2 分别为有害干扰和增益指标值, W_1 和 W_2 分别为有害干扰和增益指标的权重值。

2.2.6 评价等级划分

根据基于干扰的森林生态系统健康综合评价模型,可以将其森林生态系统健康等级可划分为优质、健康、亚健康和不健康 4 个等级(表 7)。

表 7 汪清林区林分健康等级划分范围

Table 7 Grade division of Wangqing forest health

健康等级 Healthy grade	优质 Very healthy	健康 Healthy	亚健康 Fairly healthy	不健康 Unhealthy
综合分值 Comprehensive score	[0.5, 0.2]	(0.2, 0.1]	(0.1, 0]	(0, -0.5]

3 结果与分析

3.1 评价指标权重

运用层次分析法和变异系数法对汪清林区的森林生态系统健康评价指标权重进行赋值。本研究认为约束层有害干扰、增益指标两个方面对森林健康的意义相同,因此权重均为 0.5。通过主客观赋权法对 C 层的 8 个评价指标和 D 层的 12 个分项指标的权重值进行归纳(表 8)。

表 8 基于干扰的森林生态系统健康评价各指标的最终权重值

Table 8 Final weight of forest ecosystem health assessment indicators based on disturbances					
目标层 A Target layer A	约束层 B Restraint layer B	评价指标 C Assessment indicator C	分项指标 D Individual index D	权重 Scores	
森林生态系统健康 A Forest ecosystem healthy A	有害干扰 B ₁ 0.5	森林病害 C ₁ 0.3315	发病率 D ₁	0.621	
			病情指数 D ₂	0.379	
			有虫株率 D ₃	0.720	
		森林虫害 C ₂ 0.3518	危害程度 D ₄	0.280	
			乔木树种易燃等级 D ₅	0.303	
			灌木植物盖度 D ₆	0.164	
		森林火险 C ₃ 0.1261	草本植物盖度 D ₇	0.132	
			枯枝落叶层厚度 D ₈	0.167	
			火源管控力度 D ₉	0.235	
	增益指标 B ₂ 0.5	人为干扰 C ₄ 0.1907			
		物种多样性 C ₅ 0.1699	乔木多样性 D ₁₀	0.599	
			灌木多样性 D ₁₁	0.243	
			草本多样性 D ₁₂	0.158	
		群落层次结构 C ₆ 0.1520			
		林分更新状况 C ₇ 0.3099			
		近自然度 C ₈ 0.3683			

3.2 不同林分样地的健康评价结果

由各样地健康指数分析可知,汪清林区 60 块样地中,处于优质状态的样地有 6 块(6、7、11、36、43、58),占总样地数的 10%,健康指数均大于 0.2;处于健康状态的林分 13 块(1、2、8、12、13、14、37、38、39、41、46、59、60),占总样地数的 21.67%,健康指数在 0.1-0.2 之间;处于亚健康状态的林分 23 块(3、4、5、9、10、15、28、31、32、33、34、35、40、42、44、45、47、48、51、53、55、56、57),占总样地数的 38.33%,健康指数在 0-0.1 之间;处于不健康的林分 18 块(16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、26、27、29、30、49、50、52、54),占总样地数的 30%,健康指数小于 0。

从图 1 可知,在落叶松天然林、针阔混交林和阔叶混交林中,亚健康林分所占的比例均最高,分别是 6 块、8 块和 8 块;其次是健康林分,分别为 6 块、4 块和 3 块;而优质林分分别为 3 块、2 块和 1 块。这说明在天然林中,无论是针叶纯林还是针阔混交林、阔叶混交林,大多处于亚健康和健康的状况,林分具有较好的自我调节能力,一旦爆发有病虫害灾害,能够通过自身的能力进行调节并将病虫害控制在不造成大面积危害的限度内,即维持林分生态系统的稳定性。而在阔叶混交林中有 4 块不健康的林分,这四块不健康林分中,主要为白桦、青杨、五角枫、椴树等阔叶树,受食叶害虫危害很大,受害率达到 100%,且食叶害虫的危害程度严重,林分中一

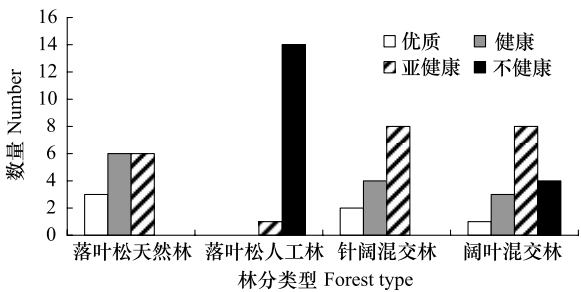


图 1 汪清林区四种不同林分抽样样地健康状况

Fig.1 Health situation of four different types in Wangqing forest sample plots

些蒙古栎被蛀干害虫蛀食,树木已经枯死,林分中伐桩多,林下枯枝落叶层很厚,且折断的树枝枯枝堆积未清理,因此与其他的天然林分相比,这四块林分森林病害、森林虫害、森林火险和人为干扰都很严重,如果不及时控制食叶害虫的危害,这些受食叶害虫危害的树木衰弱后,很容易遭受到蛀干害虫的入侵,加速树木死亡。同时,林下的枯枝落叶层应该及时清理,已减少在大风干燥的天气中出现森林火情。

在落叶松人工林分中,不健康的占有绝大多数,14块,而亚健康的只有1块。落叶松人工林为纯林,林分自我调节能力差,一旦遭受到森林病虫害的入侵,将造成灾难性的后果,且病虫害在纯林中的传播蔓延速度非常快,加快树木的死亡。落叶松纯林属于易燃树种,尤其要注意在高火险天气下的森林火情。同时,由于落叶松人工纯林物种多样性低,群落结构简单,近自然度最小,林下几乎未见有自然更新的树种,因此人工林分的增益能力弱,而有害干扰强,因此呈现出不健康的状态。

4 结论与讨论

(1) 本文摒弃传统的评价观念提出基于干扰理论的森林生态系统健康评价。基于干扰的森林生态系统健康评价指标通过定性筛选出2个约束层,8个指标,包括森林病害、森林虫害、森林火险等级、人为干扰、物种多样性、群落层次结构、林木更新状况和近自然度,这些都是在综合和分析了以往研究者的评价指标体系,筛选出最能代表生态系统健康的指标,且指标容易测量,调查时不需要携带大量大型的实验仪器,适合于对林分进行简单、快速合理的生态系统健康评价。

(2) 本文采用了层次分析法和变异系数法相结合的主客观赋权法计算指标的权重值。层次分析法计算出来的结果受主观因素干扰较大,主观成分太多;而单纯的客观赋值法通过对评价统计数据本身所包含的客观信息进行提取分析,从中找出规律,以确定权重系数的大小,该方法过分依赖客观数据,而忽视了专家在确定权重中应有的重要性,计算出的结果往往不尽人意或差别甚远。因此,主客观相结合的赋权法克服了层次分析法和变异系数法的缺点,保留了二者的优点,是确定权重一个不错的方法。

(3) 根据本文基于干扰的森林生态系统健康评价体系,首次提出森林生态系统健康评价的模型,即增益干指标减去有害干扰的综合健康指数。此模型的提出是建立在基于干扰的森林生态系统健康评价体系的基础之上的,其中有害干扰包括了人们熟知的“森林三害”:森林火灾、林业有害生物和滥砍滥伐,增益指标包括物种多样性、群落层次结构、林木更新状况和近自然度,基于干扰的森林生态系统健康模型能够全面的反映森林生态系统的健康程度。这个模型保留了传统的前者关于生态系统组织结构、系统活力最有代表性的指标,同时有将有害干扰指标单提出来,第一是在指标选取上是一种创新,第二也保留了最能代表森林生态系统健康的指标,第三是指标的赋值和测量都比较简单,有利于野外基层工作人员的掌握和应用。

(4) 基于干扰的森林生态系统健康评价体系有一定的局限性。因为在不同时期,影响森林生态系统健康的因子也是不一样的,人们关注的热点也在不停的变化。比如某些地区可能大气污染比较严重,某些地区可能森林鼠兔害严重,因此对于基于干扰的森林生态系统健康评价模型,应该根据所选择区域和时期的不同,有针对性的对指标进行筛选,特别是有害干扰层的指标,这样才能更准确的反应目前森林生态系统的健康状况。

References:

- [1] Gan J, Zhang Z M, Yu X X, Lu S W, Chen J Q, Yao Y G. Study on monitoring and assessment of forest health. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(3): 177-180.
- [2] Lu S W, Liu F Q, Yu X X, Fan J Z, Zhang Z M, Chen J Q, Zhao G L. Health assessment of forest ecosystem in Badaling forest center. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3): 79-82, 105.
- [3] Li J R, Zhang Z M, Luo K. The establishment of forest ecosystem health assessment index. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(3): 173-179.
- [4] Gao Z L, Yu X X, Chen G L, Yue Y J, Fan D X, Cao B. Forest Health Assessment in Badaling Forest Farm of Beijing. *Forest Resources Management*, 2008, (4): 77-82.
- [5] Liu J A, Liu H J. Forest health assessment methods and application. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2009, 29(6): 197-200.

- [6] Ji W Y, Xin S H, Guo N, Wang M, Xue Q, Jiang X M, Cui G F. Health evaluation on spruce and fir forests in Miyaluo of the western Sichuan. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(3): 13-18.
- [7] Li Y M, Wang J A, Lei Y H, Zhou H J, Xia M Y. Risk assessment of forest fire based on hazard bearing body (forest tree composition) in China. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2005, 41(1): 92-96.
- [8] Ai X R. Effects of anthropogenic disturbance on forest community and biodiversity. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2006, 33(3): 5-9.
- [9] Zhang M, Huang G S, Wang X J. Discussion on forest naturalness evaluation by using analytical hierarchy process. *Forest Resources Management*, 2004, (3): 25-28.
- [10] Wang L. Application of AHP. *Science and Technology Information*, 2007, (25): 193-194.
- [11] Chang J E, Jiang T L. Research on the weight of coefficient through analytic hierarchy process. *Journal of Wuhan University of Technology (Information and Management Engineering)*, 2007, 29(1): 153-156.
- [12] Zhao Z H, Hui G Y. Forest naturalness evaluation method based on stand state characters: a case study of Gansu Xiaolongshan forests. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(12): 9-16.
- [13] Zha Q F, Dong J, Chen Z G. Application of sci-tech achievements transformation based on the objective and subjective combination weighting method. *Statistics and Decision*, 2009, (16): 152-154.

参考文献:

- [1] 甘敬,张振明,余新晓,鲁绍伟,陈峻崎,姚永刚. 森林健康监测与评价研究. *水土保持研究*, 2006, 13(3): 177-180.
- [2] 鲁绍伟,刘凤芹,余新晓,樊金栓,张振明,陈峻崎,赵广亮. 北京市八达岭林场森林生态系统健康性评价. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 79-82, 105.
- [3] 李静锐,张振明,罗凯. 森林生态系统健康评价指标体系的建立. *水土保持研究*, 2007, 14(3): 173-179.
- [4] 高志亮,余新晓,陈国亮,岳永杰,樊登星,曹波. 北京市八达岭林场森林健康评价研究. *林业资源管理*, 2008, (4): 77-82.
- [5] 刘君昂,刘红娟. 森林健康评价方法与应用. *中南林业科技大学学报*, 2009, 29(6): 197-200.
- [6] 姬文元,邢韶华,郭宁,汪明,薛樵,蒋先敏,崔国发. 川西米亚罗林区云冷杉林健康状况评价. *林业科学*, 2009, 45(3): 13-18.
- [7] 李艳梅,王静爱,雷勇鸿,周洪建,夏梦莹. 基于承灾体的中国森林火灾危险性评价. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2005, 41(1): 92-96.
- [8] 艾训儒. 人为干扰对森林群落及生物多样性的影响. *福建林业科技*, 2006, 33(3): 5-9.
- [9] 张敏,黄国胜,王雪军. 应用层次分析方法进行森林自然性评价的探讨. *林业资源管理*, 2004, (3): 25-28.
- [10] 王磊. 层次分析法的应用. *科技信息*, 2007, (25): 193-194.
- [11] 常建娥,蒋太立. 层次分析法确定权重的研究. *武汉理工大学学报:信息与管理工程版*, 2007, 29(1): 153-156.
- [12] 赵中华,惠刚盈. 基于林分状态特征的森林自然度评——以甘肃小陇山林区为例. *林业科学*, 2011, 47(12): 9-16.
- [13] 查奇芬,董洁,陈祖功. 主客观组合赋权法在科技成果转化评价分析中的应用. *统计与决策*, 2009, (16): 152-154.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 12 Jun. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research on the disturbance of frost damage to forests LI Xiufen, ZHU Jiaojun, WANG Qingli, et al (3563)
- Advances in salt-tolerance mechanisms of *Suaeda* plants ZHANG Aiqin, PANG Qiuying, YAN Xiufeng (3575)

Autecology & Fundamentals

- Simulation and prediction of spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates in eastern China's warm temperate zone
..... XU Lin, CHEN Xiaoqiu, DU Xing (3584)
- Response of leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings to the altitudinal Variation
..... HU Qipeng, GUO Zhihua, SUN Lingling, et al (3594)
- Analysis of genetic diversity of chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) natural secondary forest populations and correlation with theirs
habitat ecological factors LI Ming, WANG Shuxiang, GAO Baojia (3602)
- Nitrogen addition affects root growth, phosphorus and nitrogen efficiency of three provenances of *Schima superba* in barren soil
..... ZHANG Rui, WANG Yi, JIN Guoqing, et al (3611)
- Effect of enclosure on soil C mineralization and priming effect in *Stipa grandis* grassland of Inner Mongolia
..... WANG Ruomeng, DONG Kuanhu, HE Nianpeng, et al (3622)
- Effects of slope position on gas exchange characteristics of main tree species for vegetation restoration in dry-hot valley of Jingsha
River DUAN Aiguo, ZHANG Jianguo, HE Caiyun, et al (3630)
- Impacts of biodegradation on desorption of phenol adsorbed on black carbon and soil
..... HUANG Jiexun, MO Jianmin, LI Feili, et al (3639)
- Physiological and biochemical responses to different soil drought stress in three tree species
..... WU Qin, ZHANG Guangcan, PEI Bin, et al (3648)
- The ear-leaf ratio of population is related to yield and water use efficiency in the water-saving cultivation system of winter wheat
..... ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, HUANG Qin, et al (3657)
- Effects of ozone stress on photosynthesis, dry matter production and yield of rice under different seedling quality and plant density ...
..... PENG Bin, LI Panlin, ZHOU Nan, et al (3668)
- Effects of water and nitrogen under root restriction on photosynthetic characters of cotton plants grown with under-mulch drip
irrigation TAO Xianping, LUO Honghai, ZHANG Yali, et al (3676)
- The influence of light and growth stage on oxygen diffusion capacity of *Acorus calamus* roots
..... WANG Wenlin, WANG Guoxiang, WAN Yinjing, et al (3688)
- Isolation, screening and characterization of phytopathogen antagonistic endophytes from wild *Artemisia argyi*
..... XU Yajun, ZHAO Longfei, CHEN Pu, et al (3697)
- Performance of the two host-biotypes of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on different cucurbitaceous host plants
..... XIAO Yunli, YIN Xiangchu, LIU Tongxian (3706)
- The effects of gender and temperature on the wintering behavior of Chinese merganser
..... ZENG Binbin, SHAO Mingqin, LAI Hongqing, et al (3712)

Population, Community and Ecosystem

- Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry
..... YUAN Fei, ZHANG Xingyao, LIANG Jun (3722)
- Heterogeneity evaluation of forest ecological system spatial structure in Dongting Lake
..... LI Jianjun, LIU Shuai, ZHANG Huiru, et al (3732)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate-growth relationships of *Abies faxoniana* from different elevations at Miyaluo, western Sichuan, China
..... XU Ning, WANG Xiaochun, ZHANG Yuandong, et al (3742)

- Spatial-temporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010 MU Shaojie, LI Jianlong, ZHOU Wei, et al (3752)
- Influences of topographic features on the distribution and evolution of landscape in the coastal wetland of Yancheng
..... HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing, et al (3765)
- Vegetation landscape pattern change and characteristics of spatial distribution in south edge of Mu Us Sandy Land
..... ZHOU Shuqin, JING Yaodong, ZHANG Qingfeng, et al (3774)
- Climate change recorded mainly by pollen from baixian lake during the last 5.5kaB. P.
..... DU Rongrong, CHEN Jing'an, ZENG Yan, et al (3783)
- Characteristics of temperature field, humidity field and their eco-environmental effects in spring in the typical valley-city
..... LI Guodong, ZHANG Junhua, WANG Naiang, et al (3792)
- Spatial and temporal variation of surface water vapor over northern and southern regions of Qinling Mountains
..... JIANG Chong, WANG Fei, YU Xiaoyong, et al (3805)
- Spatial variation of landscape eco-risk in open mine area WU Jiansheng, QIAO Na, PENG Jian, et al (3816)
- The comparison of ecological geographica regionlization in China based on Holdridge and CCA analysis
..... KONG Yan, JIANG Hong, ZHANG Xiuying, et al (3825)
- Resource and Industrial Ecology**
- Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model PAN Dan, YING Ruiyao (3837)
- The emergy analysis of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) aquaculture system around Dongji island in Zhoushan
..... SONG Ke, ZHAO Sheng, CAI Huiwen, et al (3846)
- Optimum stripe arrangement for inter-cropping and mixed-cropping of different maize (*Zea mays* L.) genotypes
..... ZHAO Yali, KANG Jie, LIU Tianxue, et al (3855)
- Effects of climate and soil on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves
..... CHEN Wei, XIONG Jing, CHEN Yi, et al (3865)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Carbon sequestration and oxygen release as well as cooling and humidification efficiency of the main greening tree species of
Sha River, Chengdu ZHANG Yanli, FEI Shimin, LI Zhiyong, et al (3878)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 吴文良

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 12 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 12 (June, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元