

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

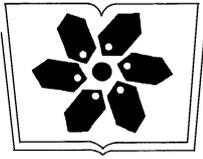
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 2012

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 32 卷 第 3 期 2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张禹, 张衡, 等 (671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘亮, 范航清, 李春千 (690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁琳, 张利权, 等 (706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	栾晓峰, 孙工棋, 曲艺, 等 (715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁 (740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘军, 鲍毅新, 张旭, 等 (758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富 (786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁华, 田昆, 等 (815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等 (833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等 (863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂艳, 于婧 (871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 活力的联合效应	王海贞, 王辉, 强俊, 等 (898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等 (915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波 (955)
专论与综述	
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁菲, 张星耀, 梁军 (964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)
研究简报	
光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占峰, 杨冬梅 (984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁鑫, 王海永, 等 (993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物的特性	陈博, 李志华, 何茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-02

封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201105190657

袁菲, 张星耀, 梁军. 基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建. 生态学报, 2012, 32(3): 964-973.

Yuan F, Zhang X Y, Liang J. Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 964-973.

基于有害干扰的森林生态系统健康 评价指标体系的构建

袁 菲, 张星耀, 梁 军*

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

摘要: 在分析国内外提出的众多森林生态系统健康评价指标的不足后, 对评价指标进行研究和筛选。最终在森林生态系统健康评价指标体系的构建上提出了一个新的思路, 即从森林火灾、林业有害生物、大气污染、人为有害干扰以及森林生态系统内部的增益干扰 5 个方面选取 20 个指标构建森林生态系统健康评价指标体系。其中森林火灾干扰包括平均降水量、平均气温、郁闭度、海拔、坡度、坡向、易燃树种的比例和林道距离 8 个指标, 林业有害生物包括有害生物等级、危害程度和寄主树的比例 3 个指标, 大气污染干扰通过叶片、土壤和污染物的分析测定, 人为有害干扰包括森林经营措施、采伐措施和林下植被管理 3 个方面, 而森林生态系统内部的增益干扰由物种多样性、群落结构和近自然度 3 个指标构成。同时对关键评价指标的意义进行了具体分析。此指标体系摒弃传统的评价观念, 结合了近年来影响全国森林健康的几个重要原因, 更能准确的反应目前森林生态系统的健康状况。研究思路和方法的提出在一定程度上可以丰富森林生态系统健康评价研究理论与方法体系。

关键词: 森林生态系统健康; 有害干扰; 增益干扰; 评价指标体系

Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance

YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun*

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

Abstract: Healthy forests are closely related to global ecological stability and sustainable development of human society. It is important to study forest ecosystem health including developing theories related to forest health and exploring various assessment methods. Reasonable methods lead to accurate assessments of forest ecosystem health. The definition of forest health is 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 to measure ecosystem health. In this paper, a healthy forest ecosystem is defined as a system having good mechanisms for self-regulation, such as beneficial mechanisms that allow an ecosystem to react to external harmful disturbances. Positive ecosystem responses to negative changes keep forest ecosystems intact, stable and sustainable. With this concept of forest ecosystem health in mind, we can discuss assessment methods which can be used to monitor forest ecosystem health. Several forest ecosystem health assessment systems already exist. For example, ecosystem health can be assessed using measures of resilience, vigor and organization. Today, most assessment systems are based on this concept. Based on the concept of forest ecosystem health presented above, a new approach is proposed, which

基金项目: 林业公益性行业科研专项(20100400201-01)

收稿日期: 2011-05-19; 修订日期: 2011-11-18

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

considers four external harmful disturbances: forest fire, forest pest species, air pollution and human-caused disturbances. This method is designed to build assessment indicator systems which can be used to monitor and evaluate forest ecosystem health. It also considers beneficial disturbances in this assessment indicator system. This method includes an analysis of forest fire disturbance, which causes severe damage to forest ecosystems, followed by eight other indicators of forest health including average precipitation, average temperature, proportion of flammable species, crown density, altitude, slope gradient, slope direction and distance between the forest and the nearest road. Disturbance caused by forest pests can also be measured. These include disturbances caused by forest animals, such as rat and rabbit damage, as well as indicators like forest diseases and forest pests, the degree of damage and rate of infection in host trees. Air pollution disturbance can be measure by studying leaf damage as well as soil and contamination analysis. The study of harmful human-caused disturbances includes measurement of forest management techniques such as timber harvest and management of undergrowth vegetation. Measurements of forest ecosystem stability include measurements of biological diversity, forest community structure and measurements documenting how closely a forest is to natural conditions, with natural conditions defined as being free of human-caused disturbances. These types of measurements have been used frequently to measure ecosystem complexity and health. Next, the content and significance of key indicators were also well-analyzed. This forest ecosystem health assessment indicator system abandons traditional assessment ideas and combines the most important factors which have been determined to be closely related to forest ecosystem health in recent years. This assessment indicator system focuses at the ecosystem level and has mostly been applied to forests both in South and North China. Information is presented for use by forest and district resource managers as well as academic experts. This assessment indicator system establishes a scientific basis for conducting forest health projects, 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 the theories and methods used in assessing the health of ecological systems.

Key Words: forest ecosystem health; harmful disturbance; beneficial disturbance; assessment indicators system

森林是地球上最大的陆地生态系统,是全球生物圈中重要的一环。它是地球上的基因库、碳贮库、蓄水库和能源库,对维系整个地球的生态平衡起着至关重要的作用,也是人类赖以生存和发展的资源和环境。森林的健康状况直接关系到全球生态安全和人类社会的可持续发展,因此,开展森林健康分析与评价有着重要的社会意义^[1]。在森林生态系统健康评价过程中,指标的选取直接关系到评价结果的准确与否。本文在前人研究的基础上,提出一种森林生态系统健康评价指标体系的新思路,在一定程度上丰富了森林生态系统健康评价的理论框架,为将来这方面的工作提供一些借鉴意义。

陆地上 80% 的生态系统都已受到了来自人类和自然的各种干扰,森林生态系统也不例外。广义上讲,森林干扰是普遍、内在和不可避免的,干扰影响到森林的各个水平^[2]。一方面,多数自然干扰和人为干扰导致森林正常结构的破坏,生态平衡的失调和生态功能的退化,这些干扰就是有害干扰;另一方面,干扰并不总是一种对森林的破坏行为,有些干扰是人类经营利用森林的正常活动,如合理采伐、修枝、人工更新和低产、低效林分改造等,它可以促进森林发育和繁衍,延续森林生态功能的发挥,这些干扰可以称为增益干扰。本文根据干扰的性质,将其分为来自外界的有害干扰和森林生态系统内部的自身增益干扰。

目前,国内外已有许多学者开展了森林生态系统健康评价的研究工作,在选取评价指标时,很多都是基于森林生态系统的系统活力、系统组织和系统恢复力三个方面,指标构成过于理论化,多年来影响森林生态系统健康的几个重要方面,如森林火灾、林业有害生物往往只作为森林生态系统抵抗力的一小部分,评价过于笼统,没有侧重点。肖风劲等^[3]通过空间相关性分析,森林生态系统健康指数与森林净第一性生产力相关性系数为 0.64,与中国森林物种多样性指数的相关性系数为 0.76,与森林生态系统抵抗力的相关性系数为 0.81。也就是说,中国森林生态系统健康受病虫害、酸雨、森林火灾等胁迫因子的影响最大,胁迫因子发生频度和强

度大的地方,健康指数就小;其次是中国森林群落的组织结构,森林群落组成物种多样、结构复杂和稳定的生态系统,其健康指数就高。因此,本文以对森林生态系统健康影响最大的3个有害干扰因子森林火灾、林业有害生物以及大气污染,再加上人为有害干扰,并结合森林生态系统内部的增益干扰选取评价指标,对整个森林生态系统进行健康诊断与评价,为以后的森林生态系统健康评价提供有价值的理论参考。

1 森林生态系统健康的概念及内涵

在评价森林生态系统健康之前,首先应该认识森林生态系统健康的概念与内涵。早期的森林健康往往指具体的人为因素(酸雨、大气污染、砍伐及森林土地开发等)造成的森林衰退现象,现代森林健康概念已经逐步发展为包括林分、森林群落、森林生态系统以及森林景观在内的一个复杂的系统概念^[3-4]。一个理想的森林,在病虫害、空气污染、气候变化、森林火灾、木材采伐等因素影响下,森林的正常生长不会受到威胁,森林的游憩、野生动物保护、木材利用和水源涵养等多种用途、价值不会受到影响。但是,赵良平^[5]在对森林健康概念的总结中指出,健康森林中并非一定没有病虫害、没有枯立木、没有濒死木,而是它们发生在一个较低的层次上,对于维护健康森林中的生物链和生物多样性、保持森林结构的稳定是有益的。也就是说一个健康的森林不会因为人类的有限活动而受到根本影响,会保持着森林自身的良好状态。

很明显,国内外对于森林健康的定义存在很多争议,不同学者从不同的角度给出了对森林健康的不同的理解和解释。对森林生态系统健康进行评价时,根据对森林生态系统健康概念理解的不同,评价的重点也不同。有人认为健康的森林生态系统以创造的经济效益为主,森林生态系统健康评价则以经济方面指标为重;有人认为健康的森林生态系统以保持良好的生态环境为主,森林生态系统健康评价则以生态环境方面指标为重^[6]。

综合前人对森林生态系统健康概念的解释,作者认为,健康的森林生态系统首先应该具备良好的自我调节能力,通过生态系统内部的增益干扰,对于来自于外界的有害干扰可以进行相应的自我调整,以保持系统的完整性、稳定性和可持续性。以这个森林生态系统健康概念为基础,对评价指标进行研究和筛选。

2 国内外森林生态系统健康评价指标的研究

森林生态系统健康评价是诊断由于人类活动和自然因素引起森林生态系统的破坏和退化所造成的森林生态系统的结构紊乱和功能失调,使森林生态系统丧失服务功能和价值的一种评估。对森林生态系统健康进行评价,指标体系的建立是首要和关键的步骤,指标体系建立的好坏直接关系到评价的科学性和准确程度^[7]。目前,国内外已有许多学者开展了森林生态系统健康评价的研究工作,并根据具体情况构建了相应的评价指标体系(表1)^[8-26]。

从表1可以看出,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,目前来看主要存在以下不足:(1)有些指标选取过于细致,没能考虑到各指标间的相关性及重复性。生态系统是个复杂的整体,评价其健康的指标存在或多或少的联系,选取的指标过多,各指标因子间的重复性加大,不仅增加了调查数据采集的难度,也加大了评价模型选取和操作的复杂性,实用性不强;(2)有些指标选取较少,不能全面概括生态系统的整体情况;(3)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;(4)对森林生态服务功能这一指标的认知程度不一样,定量或定性分析存在很大的差异,在一定程度上影响了评价的结果。

3 基于有害干扰构建森林生态系统健康评价指标体系

森林有害干扰对森林生态系统的健康有着重要的影响,在对有害干扰引起的森林生态系统进行健康评价时,健康评价标准、要素等都是不能直接测定的,需通过森林健康评价指标来衡量。众多的森林健康评价指标使森林健康综合评价非常复杂,一个指标通常只能反映森林健康的一个标准或要素的一个或部分状态,并不能反映森林健康的全貌。本文以对森林生态系统健康影响最大的3个有害干扰因子森林火灾、林业有害生物以及大气污染,再加上人为有害干扰,并结合森林生态系统内部的增益干扰选取评价指标,对整个森林生态系统进行健康诊断与评价。

表 1 森林健康评价指标
Table 1 Forest health assessment indicators system

文献 References	指标构成 Indicators components	优缺点 Advantages and disadvantages
[9]	系统活力、系统组织、系统恢复力	优点:为生态系统健康评估提供了可行性框架 缺点:一概而论,过于理论化
[8]	乔木树种生物量的估算、林下植被多样性、初级生产力、龄级分布、树冠状况、病虫害等 10 多个指标	优点:指标较全面 缺点:主要以美国的森林经济效益为主
[10]	生物多样性、生物完整性与恢复性、人类的需要与使用率 3 个方面	优点:指标选取较全面 缺点:过分强调森林生态系统提供给人类的精神、文化以及审美享受
[11]	提出指示物种指标和功能指标两大类共 21 个指标	优点:指标有代表性 缺点:指标中土壤动物因素比例过大
[12]	提出植物群落指标、凋落物指标、土壤指标和社会经济指标共 4 类 14 个指标	优点:指标有针对性 缺点:指标没有考虑抵抗力和恢复力
[13]	提出自然、经济、社会 3 个方面的 64 个指标	优点:指标考虑得全面 缺点:指标过多,应用困难
[14]	提出物种多样性、群落层次结构、林分郁闭度、灌木层盖度、枯落物层厚度、年龄结构、草本盖度、林分蓄积量和病虫害危害程度 9 个指标	优点:群落结构指标考虑得全面 缺点:其他生产力、服务功能等指标考虑的较少
[15]	森林植被、森林病虫害、森林火灾以及野生动物栖息地 4 个方面	优点:将火灾和病虫害纳入评价指标体系 缺点:森林自身结构方面指标考虑很少
[7]	提出组成、结构、NPP、生物多样性指数 4 个方面 19 个指标	优点:生态环境方面考虑得全面 缺点:没有考虑火灾因子,指标难测度
[16]	提出自然资源背景、森林生态系统和社会经济 3 个方面的 17 个指标	优点:指标考虑得全面 缺点:某些指标与森林健康的关系不好把握
[17]	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	优点:指标容易测量 缺点:指标选取相对较少
[18]	提出生产力、组织结构、抵抗力和土壤状况 4 个方面 29 个指标	优点:对功能、结构因子考虑的全面 缺点:土壤指标考虑过细,结果有局限性
[19]	从自然、社会、经济 3 个要素,共选取 22 个指标	优点:对社会经济因子考虑的全面 缺点:没有考虑到病虫害等指标
[20]	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	优点:对自然资源方面考虑的全面 缺点: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
[21]	提出根部受损度、树冠密度、树冠透光度、树冠重迭度和树冠枯梢比重等共 7 个指标	优点:对于单木健康研究具有指导意义 缺点:对林木生长的环境没有加以考虑,适用性不强
[22]	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	优点:对于林分尺度森林健康研究具有指导意义 缺点:没有考虑到森林火灾指标
[23]	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	优点:对森林群落方面考虑得全面 缺点:没有考虑抗干扰能力指标,有局限性
[24]	提出活力、结构、抗干扰 3 类 16 个指标	优点:指标选取合理 缺点:没有考虑到病虫害等指标
[25]	从林分活力、结构、土壤、服务功能、抵抗力 5 个方面,筛选出 30 项指标	优点:指标选取全面 缺点:指标过多应用困难,没有考虑到火灾因子
[26]	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,	优点:指标选取有针对性 缺点:没有考虑到火灾、服务功能等指标

3.1 评价指标体系的初步构建

森林生态系统健康评价指标体系是由若干个与森林生态系统健康问题密切相关的相互联系、相互补充的指标组成的系列。在遵循指标系统构建原则的基础上,以森林生态系统健康的内涵为依据,以维持森林生态系统的健康为最终目标,从森林火灾、林业有害生物、大气污染、人为有害干扰以及森林生态系统内部的增益干扰5个方面选取20个指标构建森林生态系统健康评价指标体系(表2)。

3.2 评价指标的意义及说明

3.2.1 森林火灾干扰指标

火灾对森林的破坏性极大,危害极深,造成的经济损失也相当严重。我国是一个少林的国家,但森林火灾相当严重,这也是目前影响森林生态系统健康的一个重要因素和林业发展的一个突出问题。随着森林火灾日益受到国内外的关注,在对森林生态系统进行健康评价时,森林火灾干扰也逐渐作为森林生态系统健康的重要评价因子之一。在前者的研究基础上,本文选取了影响森林火灾的8个重要因子,这些数据可以通过气象资料搜集和野外调查直接获得。

(1) 郁闭度

郁闭度高,林下可燃物少,不易发生火灾;郁闭度减小,林内光线加强,温度高、蒸发大、湿度小,易燃烧。因此,郁闭度越小,发生火灾的可能性越大。

(2) 易燃树种的比例

不同树种燃烧的难易程度不同,不同的树种搭配也对林火产生起着一定的作用。一般针叶林含油多,容易燃烧,阔叶林相对抗火性较强,一些抗火树种还会起到阻隔火灾的作用。

(3) 平均降水量

降水量大小直接影响林区可燃物的含水量,可燃物含水量越高,着火率越低;可燃物含水量越低,着火率越高。如果一个地区的年降水量超过1500mm,或月降、水量超过100mm,一般不发生或少发生森林火灾。

(4) 平均气温

气温往往是该地着火与否的主要指标。林火发生最多的时间,多半是白天气温出现最高的时段。因为气温升高加速可燃物自身温度升高、含水量变小,易接近燃点。所以高温天气是森林火灾的重要因素。

(5) 林道距离

人为活动也是影响森林火灾的关键。林分和林道距离的远近,反映了其受人为干扰程度的大小。距林道越近,人为活动就频繁,发生林火的可能性就越大。

(6) 海拔

随着海拔的变化,温度、湿度等气象因子也发生变化,是影响林火的重要因子之一。一般来说,林内海拔高度越高,林内温度越低,地被物含水率越大,不易燃烧。

(7) 坡度

坡度大小直接影响可燃物湿度的变化,因为坡度大或陡,水分停留时间短,可燃物易干燥。相反,坡度平缓,水分停留时间长,林内潮湿,可燃物含水量大。火的蔓延与坡度密切相关,坡度愈大,火的蔓延越快,造成

表2 森林生态系统健康评价指标体系

Table 2 Assessment index system of forest ecosystem health

目标层 Objective layer	准则层 Criteria layer	指标层 Indicators layer
森林生态系统健康	森林火灾干扰	郁闭度
		易燃树种的比例
		平均降水量
		平均气温
		林道距离
		海拔
		坡度
	林业有害生物干扰	坡向
		有害生物等级
		危害程度
	大气污染干扰	寄主树的比例
		叶片分析
		土壤分析
		污染物分析
	人为有害干扰	森林经营措施
		采伐措施
		林下植被管理
	森林生态系统内部增益干扰	物种多样性
		群落结构
		近自然度

的损失就越大;相反,坡度平缓,火蔓延缓慢,容易扑灭,造成的损失也就小。

(8)坡向

阳坡日照强,温度高,可燃物易干燥,非常易燃;而阴坡日照弱,温度低,可燃物不易燃。坡向以正北为0,顺时针旋转正东为90,正南为180,正西为270,由此坡向可以定量表示。

3.2.2 林业有害生物干扰指标

人们从经济角度出发对那些能够对林木造成损伤并造成一定经济损失的植物、动物和微生物种类称之为林业有害生物,这些生物多以直接取食林木或土壤而生存,处于森林生态系统食物链的底层,是森林生态系统动力网络中不可或缺的重要因子。林业有害生物危害程度与森林健康紧密相关,在对森林生态系统的健康评价中,越来越多的学者将林业有害生物中的森林病虫害危害程度作为评价的重要指标之一。以往有许多观察数据指出:生物多样性是抑制和降低病虫害暴发的重要因素^[27],森林的生物多样性能够减少病虫害暴发和降低病虫害的为害损失常常作为森林可持续经营的一个经典的论据^[28-31]。但也有研究表明,某些地区的天然林受到的损失特别是受杂食性昆虫为害实际上比纯林内更为严重^[32]。总之,单凭生物多样性不能决定林木的感病性和受害程度,这个指标是否能抑制病虫害的发生也没有完全得到证实。此外,还有学者在研究病虫害时,得出虫口密度与林分密度、郁闭度、树冠结构等因子有较大的关系^[33-34],但在不同的病虫害发生情况下,这些指标影响程度及性质也会发生相应的改变。因此,在选取林业有害生物干扰指标时,应根据当前的受害情况与林分本身状况来确定林业有害生物的受害等级。

(1)有害生物等级

根据有害生物入侵寄主、繁殖、传播速度以及对寄主树干的致死程度,可以确定有害生物的不同等级。有的学者将有害生物检验检疫对象作为评价指标之一,作者认为同一种病虫害在不同的地区危害程度是不一样的,如果按照有害生物检验检疫对象指标会对评价的结果造成一定的偏差。

(2)危害程度

不同的有害生物引起的灾害程度不一样。参考发表过的一些文献资料,可将森林病虫害鼠兔害按不同的危害程度分为轻、中、重3个等级(表3)。

(3)寄主树的比例

病虫害在危害森林健康时,主要是入侵寄主树并使寄主树树势衰弱甚至死亡。寄主树在林间的比例越高,说明病虫害蔓延和危害程度加大的潜力越大。如果寄主树比例小,其他树种对病虫害具有抗性,则森林生态系统通过自身调节可以抑制病虫害的暴发与成灾。

表3 林业有害生物危害程度等级分级标准(参考)

Table 3 Classification of forest harmful biology damaged degree (For reference)

有害生物类型 Forest harmful biology types	危害程度 Damage degree		
	轻 Light	中 Moderate	重 Heavy
松树(针叶树)叶部虫害 Conifer needles pests	针叶被害率 10%—20%	针叶被害率 21%—50%	针叶被害率 51% 以上
树干、树梢虫害 Trunk and branch pests	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 Broad leaf pests	树叶被害率 10%—30%	树叶被害率 31%—60%	树叶被害率 61% 以上
树木病害 Forest diseases	感病株率 1%—6%	感病株率 7%—15%	感病株率 15% 以上
鼠兔害 Rat and rabbit damage	个体数 3—7	个体数 8—17	个体数 18 以上

3.2.3 大气污染干扰指标

大气污染引起的森林受害在国内外十分普遍,近年来,酸雨、重金属等大气污染也越来越受到人们的关注。在对森林生态系统的健康评价中,大气污染引起的森林生态系统变化还很少被作为森林生态系统健康评价的重要指标之一。大气污染对森林的影响是多方面的,这些作用大致分为直接作用和间接作用:直接作用是指大气污染物直接作用于林冠而对林木带来生理上的影响,间接作用是指污染物通过对土壤环境的改变而

对森林生长带来的影响。

大气污染测定方法有很多种,包括指示植物法、地衣苔藓法、实验室分析测定法等。不同的指示植物对不同的大气污染表现出不同的危害症状,如二氧化硫污染指示植物有地衣、苔藓、芝麻、向日葵、落叶松、加拿大白杨等,氟化物污染指示植物有郁金香、杏、葡萄、梅、雪松等,二氧化氮污染指示植物有向日葵、番茄、秋海棠、烟草等,指示植物法取材方便成本低,但是不能获得精确可靠的定量数据,且污染症状和受病虫害危害症状需要较强的专业知识和长期的经验积累才能区分。另外,地衣苔藓生长速度比高等植物慢,一旦受损不易恢复,有利于掌握长时间的污染积累结果,两者为多年生长绿色植物,一年四季均可作为大气污染监测器,但是与上面情况相同,都不能获得精确的定量数据,且形体小,分类困难,不经过专门的学习不易掌握辨识方法。叶片、土壤中矿质元素的浓度与污染物分析是环境中元素状况的真实的间接反应,因此,在选取大气污染评价指标时,叶片、土壤与污染物的实验室测定法,可精确的测定各有害物质的含量,便于不同森林生态系统的健康评价与对比,此法较精确,可操作性强。

3.2.4 人为有害干扰指标

自从人类社会出现以后,森林就开始增加了人为干扰。其影响从作用力和范围来说,甚至超过了自然干扰,因为它可以彻底改变原来的森林景观,影响森林生态系统的健康。本文选取了森林经营措施、采伐措施以及林下植被管理3个因子,这些定性因子数据可以通过对不同措施的赋值获得。

(1) 森林经营措施

人类经营管理森林的目的,是为了利用森林的功能满足人类生产和生活的需要。自然环境条件不同,造成森林的生长环境不同,采取的经营措施也应不同。森林培育目标不同,采取的经营对策也不同。如公益林需要有较强的生态防护、防风固沙、水土保持等功能,要求森林具有长期的稳定性、林型结构复杂、形成生物多样性环境。森林经营措施的好坏,直接影响到森林生态系统的健康。

(2) 采伐措施

森林采伐是人类为获得木材而进行的一种森林经营活动,这种干扰不可避免地对森林生态系统产生较大的扰动。采伐强度的大小直接影响到森林生态系统的健康。小强度的采伐可以改善林分组分、有利动植物多样性的维护以及增加环境与美学效益,大强度或者无规模无组织的采伐破坏森林植被,严重影响到森林生态系统健康。

(3) 林下植被管理

林下植被的培育要做到适地适种,针对不同地区、不同林区、不同立地条件,选择适宜的经济植物,同时应以生态安全为前提,防止生物入侵,一方面促进经济发展,另一方面在于提高林地复被率。林下植被发生病虫害时要及时的防治,林下枯落物应该及时的清理,枯落物的堆积也可能构成森林火灾的可燃物。

3.2.5 森林组织结构指标

(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,群落中生物种类增多,代表群落的复杂程度增高,即群落所含的信息量愈大。Simpson 多样性指数作为分析指标,可反映群落的植物多样性。

(2) 群落结构

森林群落的林冠层吸收了大部分的太阳光辐射。随着光照强度减弱,依次发展为林冠层、乔木层、灌木层、草本层和地被层等层次。一般来说,乔灌草复层林代表完整的群落结构,其次是乔灌草单层林。复层林指主林层、次林层平均高相差20%以上且主林层郁闭度 >0.3 、次林层郁闭度达到0.2的林分,达不到复层林标准的则为单层林。该指标可以通过森林二类调查的数据获得。

(3) 近自然度

通俗来说,近自然度是对森林自然化程度的一种量化描述,表示森林接近自然状态的程度,是在现实植物

群落结构与自然群落之间的一个比较性描述。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^[35]。林分越是接近自然,各树种间的关系就越和谐,一与立地也就越适应,产量也就越大。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:

一级 顶极群落森林

二级 由顶级种和先锋种组成的过度性群落森林

三级 先锋群落森林

四级 含有非乡土树种的先锋群落森林

五级 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

该指标值可直接由二类调查数据获得。

3.3 评价指标的确定

评价指标的合理与否,需要通过在实验区进行数据采集和室内分析,才能最终确定。在实际评价过程中,有些森林生态系统易受火灾和病虫害的影响,而大气污染的影响非常小;也有些森林生态系统受大气污染特别严重,病虫害发生率很小,此时可以根据当地的实际情况对森林火灾、森林病虫害、大气污染、人为有害干扰 4 个有害干扰因子进行选择性的取舍,不会影响森林生态系统健康评价的结果。此外,如果是对同一地区的各小班林分进行评价,各小班病虫害种类一致时,森林病虫害干扰中的有害生物等级指标的结果就会一样,没有可比性,因此可以酌情去掉此评价指标。总之,不同地区所受的有害干扰是不一样的,在应用时以森林火灾、森林病虫害以及大气污染等有害干扰为出发点,有针对性的选取评价指标,才能提高森林生态系统健康评价的准确度和实用性。

在评价指标体系初步构建后,选择合适的权重方法和确定合理的评价模型也直接影响到评价的最终结果。因此,可采用的多指标综合评价方法,即通过一定的数学模型将多个评价指标“合成”为一个整体性的综合评价方法,如森林健康综合指数法:

$$U_i = \sum_{n=1}^n U_{ij} W_j$$

式中, U_i 表示各样地森林健康的评价得分; U_{ij} 表示 i 小班 j 指标的等级得分; W_j 表示 j 指标权重。

总之,由于选用不同的方法实际上是从不同的角度进行评判,每种方法都具有各自的优缺点,在应用中可以根据实际情况选择多种评价方法,将其进行科学的组合达到取长补短的效果。

4 讨论

森林生态系统是陆地生态系统的主体,其健康状况也直接关系到人类最切身的各种利益,但随着人类经济的高度发展,人类对森林的各种资源掠夺和污染日益严重,加上自然灾害的影响,目前森林生态系统的健康状况令人堪忧。我国是一个森林类型多样复杂的国家,在我国进行森林生态系统健康研究,丰富其理论体系,探索其评价手段对于森林生态系统的健康至关重要。

本文在前人研究的基础上,提出从森林火灾、森林病虫害、大气污染和人为有害干扰 4 个有害干扰因子着手,再结合生态系统内部的增益干扰,提出了一套新的森林生态系统健康评价指标体系。此指标体系主要具有以下两个优点:(1)摒弃传统的评价观念。前面研究提出的评价指标,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,本文提出的指标体系从新的关注点入手,提出了一种森林生态系统健康评价的新思路。(2)与时俱进的产物。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。这个指标体系结合了近年来影响全国森林健康的几个重要原因,更能准确的反应目前森林生态系统的健康状况。

此外,由于当前对于森林健康社会属性如生态系统服务功能与价值、森林文化与审美价值等的研究尚处于不完善的阶段,难以客观定量的描述森林健康社会属性的特征值,如果采用了这些信息将可能导致评价结果出现较大偏差,因此本文提出的评价指标体系未加入森林健康的社会属性指标。如果在以后的研究中,能

够得到统一精确的森林健康社会属性特征值,可将其纳入评价指标体系,使森林生态系统健康评价更为全面。

References:

- [1] Lorenz M, Mues V. Forest health status in Europe. *The Scientific World Journal*, 2007, 7(S1): 22-27.
- [2] Zhu J J, Liu Z G. A review on disturbance ecology of forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1703-1710.
- [3] Xiao F J, Ouyang H, Fu B J, Niu H S. Forest ecosystem health assessment indicators and application in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 803-809.
- [4] Percy K E, Ferretti M. Air Pollution and forest health: toward new monitoring concepts. *Environmental Pollution*, 2004, 130(1): 113-126.
- [5] Zhao L P. Development and application of forest ecosystem health theory in forest ecological construction of China. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2007, 31(3): 1-7.
- [6] Xin S H, Ji W Y, Guo N, Cui G F. Forest ecosystem health: its research progress. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(10): 2102-2106.
- [7] Xiao F J, Ouyang H, Sun J H, Zhang Z C. Forest ecosystem health assessment indicators and methods. *Forest Resources Management*, 2004, (1): 27-30.
- [8] Yu X X, Gan J, Li J H. *Forest Health Evaluation, Monitoring and Pre-Warning*. Beijing: Science Press, 2010.
- [9] Costanza R. *Toward an Operational Definition of Ecosystem Health*. Washington: Island Press, 1992: 239-256.
- [10] Dahms C W, Geils B W. An assessment of forest ecosystem health in the Southwest. General Technical Report RM-GTR-295. Fort Collins: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 1997: 97-97.
- [11] Kong H M. *Theory and Indicator System of Forest Ecosystem Health Assessment [D]*. Beijing: Ecology and Environment Research Institute in Chinese Academy of Sciences, 2002.
- [12] Yin H J, Liu Q. Advancement of forest ecosystem health diagnoses and pondering over health diagnoses for subalpine coniferous forests. *World Sci-Tech R & D*, 2003, 25(5): 56-61.
- [13] Chen G, Dai L M, Ji L Z, Deng H B, Hao Z Q, Wang Q L. Assessing forest ecosystem health: I. Model, method, and index system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1743-1749.
- [14] Li J L, Zheng X X. The forest health assessment indicator system for the water conservation forests in Beijing area. *Forest Resources Management*, 2004, (1): 31-34.
- [15] Neilson R. *Forest Health Assessment for the Okanogan and Wenatchee National Forests*. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Region, 2004: 105-105.
- [16] Wang Y L. *Forest Ecosystem Health Assessment of Tanjiang Area [D]*. Guangzhou: Zhongshan University, 2005.
- [17] 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.
- [18] Li X Y. *Pilot Study and Application on the Indicators for Forest Health Assessment [D]*. Beijing: Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection in Chinese Academy of Forestry, 2006.
- [19] Ruan Z Q. *Forest Ecosystem Health Assessment: A Case Study of Gudou Mountain Natural Reserve in Guangdong Province [D]*. Guangzhou: South China Normal University, 2007.
- [20] Li J R, Li Z M, Luo K. The establishment of forest ecosystem health assessment index. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(3): 173-179.
- [21] Cheng Z C, Cao Y C. Discussion on monitoring method of forest health based on forest inventory. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2008, 23(2): 142-145.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Zhang J Y. *Assessment on Forest Ecosystem Health of North Valley Forest Farm in Weichang County [D]*. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [25] Lü J X. *Study on the Forest Health Assessment of Pinus Tabulaeformis in Xiaolongshan Forest Area [D]*. Xianyang: Northwest Agricultural and Forestry University, 2010.
- [26] Zhang R, An J H, Zhang C X. Establishment and application of the assessment system of forest evaluation health in Inner Mongolia Daqingshan. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition*, 2010, 31(2): 48-52.

- [27] Pimentel D. Species diversity and insect population outbreaks. *Annals of the Entomological Society of America*, 1961, 54(1): 76-86.
- [28] Larsen J B. Ecological stability of forests and sustainable silviculture. *Forest Ecology and Management*, 1995, 73(1/3): 85-96.
- [29] Bengtsson J, Nilsson S G, Franc A, Menozzi P. Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. *Forest Ecology and Management*, 2000, 132(1): 39-50.
- [30] Hartley M J. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests. *Forest Ecology and Management*, 2002, 155 (1/3): 81-95.
- [31] Koricheva J, Vehviläinen H, Riihimäki J, Ruohomäki K, Kaitaniemi P, Ranta H. Diversification of tree stands as a means to manage pests and diseases in boreal forests: myth or reality? *Canadian Journal of Forest Research*, 2006, 36(2): 324-336.
- [32] White J A, Whitham T G. Associational susceptibility of cottonwood to a box elder herbivore. *Ecology*, 2000, 81(7): 1795-1803.
- [33] Huang F L, Jiao Y J, Ding H, Fan J F, Liang J. The relation of crown structure with poplar canker under different stand density. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2010, 34(4): 79-82.
- [34] Liang J, Sun Z Q, Zhu Y P, Zhang X Y, Yu S D, Zhang Y J, Yang X Y, Tang X J. 13-years succession dynamic of Kunyushan natural forest: change of diversity, species turn over and herbivorous insect's short-term disturbance. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2011, 31(1): 9-17.
- [35] Gan J. *Forest Health Assessment for Mountainous Area of Beijing [D]*. Beijing: Beijing Forestry University, 2007.

参考文献:

- [2] 朱教君, 刘足根. 森林干扰生态研究. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1703-1710.
- [3] 肖风劲, 欧阳华, 傅伯杰, 牛海山. 森林生态系统健康评价指标及其在中国的应用. *地理学报*, 2003, 58(6): 803-809.
- [5] 赵良平. 森林生态系统健康理论的形成与实践. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2007, 31(3): 1-7.
- [6] 刑韶华, 姬文元, 郭宁, 崔国发. 森林生态系统健康研究进展. *生态学杂志*, 2009, 28(10): 2102-2106.
- [7] 肖风劲, 欧阳华, 孙江华, 张志城. 森林生态系统健康评价指标与方法. *林业资源管理*, 2004, (1): 27-30.
- [8] 余新晓, 甘敬, 李金海. *森林健康评价、监测与预警*. 北京: 科学出版社, 2010.
- [11] 孔红梅. *森林生态系统健康理论与评价指标体系研究 [D]*. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2002.
- [12] 尹华军, 刘庆. 森林生态系统健康诊断研究进展及亚高山针叶林健康诊断的思考. *世界科技研究与发展*, 2003, 25(5): 56-61.
- [13] 陈高, 代力民, 姬兰柱, 邓红兵, 郝占庆, 王庆礼. 森林生态系统健康评估: I. 模式、计算方法和指标体系. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1743-1749.
- [14] 李金良, 郑小贤. 北京地区水源涵养林健康评价指标体系的探讨. *林业资源管理*, 2004, (1): 31-34.
- [16] 王亚玲. *潭江流域森林生态系统健康评价 [D]*. 广州: 中山大学, 2005.
- [17] 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.
- [18] 李秀英. *森林健康评价指标体系初步研究与应用 [D]*. 北京: 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 2006.
- [19] 阮作庆. *森林生态系统健康评价研究-以广东古兜山自然保护区为例 [D]*. 广州: 华南师范大学, 2007.
- [20] 李静锐, 李振明, 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.
- [21] 程志楚, 曹迎春. 国家森林资源连续清查森林健康监测方法的探讨. *河北林果研究*, 2008, 23(2): 142-145.
- [22] 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.
- [23] 姬文元, 邢韶华, 郭宁, 汪明, 薛樵, 蒋先敏, 崔国发. 川西米亚罗林区云杉林健康状况评价. *林业科学*, 2009, 45(3): 13-18.
- [24] 张佳音. *木兰围场北沟林场森林生态系统健康评价研究 [D]*. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [25] 吕婧娴. *小陇山林区油松林生态系统健康评价研究 [D]*. 咸阳: 西北农林科技大学, 2010.
- [26] 张仁, 安慧君, 张翠霞. 内蒙古大青山森林健康评价指标体系的构建与初步应用研究. *内蒙古农业大学学报: 自然科学版*, 2010, 31(2): 48-52.
- [33] 黄逢龙, 焦一杰, 丁辉, 樊军锋, 梁军. 不同林分密度下杨树树冠结构与溃疡病的关系. *南京林业大学学报*, 2010, 34(4): 79-82.
- [34] 梁军, 孙志强, 朱彦鹏, 张星耀, 于善栋, 张英军, 杨晓燕, 唐晓娟. 昆崙山天然林 13 年演替动态-生物多样性变化、物种周转与食叶害虫的短期干扰. *中南林业科技大学学报*, 2011, 31(1): 9-17.
- [35] 甘敬. *北京山区森林健康评价研究 [D]*. 北京: 北京林业大学, 2007.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)

The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)

Characteristics of algal facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)

Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)

Effects of CO₂-induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga *Corallina pilulifera* XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)

Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant *Cabomba caroliniana* ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)

Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)

Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)

Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)

Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups LI Haikui, NING Jinkui (740)

Population genetics of *Niviventer confucianus* and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)

Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)

Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)

Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh TONG Chunfu (786)

The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)

Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)

Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)

Spatial distribution of root biomass of *Pinus massoniana* plantation in Three Gorges Reservoir area, China CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)

Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in *Larix gmelinii* plantations in Northeast China WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)

Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)

Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged *Pinus massoniana* stands GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)

Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)

The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)

Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)

Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)

Combined effect of temperature and salinity on the Na⁺-K⁺-ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*) WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)

Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)

The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls CAI Miaozen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)

The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)

Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)

Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)

Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)

Review and Monograph

Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)

Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)

Scientific Note

Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in *Osmanthus fragrans* and *Metasequoia glyptostroboides* ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)

Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)

Studies of non-structural carbohydrates of *Cupressus funebris* in different landslides after Wenchuan Earthquake CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 3 2012

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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 70.00 元