

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **2014**

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 34 卷 第 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)

基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)

西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)

青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)

黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)

三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)

三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)

流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)

江西省自然保护区发展布局空缺分析 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)

鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 黄和平,彭小琳 ,孔凡斌,等 (3107)

基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 35 * 2014-06



封面图说：三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

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/stxb201310132462

刘心竹, 米锋, 张爽, 苏立娟, 顾艳红, 张大红. 基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价. 生态学报, 2014, 34(11): 3115-3127.

Liu X Z, Mi F, Zhang S, Su L J, Gu Y H, Zhang D H. Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 3115-3127.

基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价

刘心竹¹, 米 锋^{1,*}, 张 爽², 苏立娟², 顾艳红³, 张大红¹

(1. 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院林业科技信息研究所, 北京 100091

3. 北京林业大学理学院, 北京 100083)

摘要:近年来随着经济社会不断发展,森林生态系统受到各种有害干扰越来越多,在以可持续发展为目标和“建设生态城市,推进城市森林建设,保障城市生态安全”的背景下,研究我国各省森林生态安全状况,成为关乎我国各省城市健康发展的重要课题。在对森林生态安全与森林健康概念辨析的基础上,基于有害干扰角度,运用宏观数据,应用 SPSS、Stata、Matlab 等软件,采用理论分析与实证分析、定性分析与定量分析相结合的研究方法。通过主成分分析、聚类分析、模糊评价等手段对 2011 年我国 31 个省级行政区域的森林生态安全水平进行实证分析和评价。评价结果表明:在 2011 年研究所涉及的 31 个省份中,16 个省级行政区域的森林生态安全水平较高,森林生态系统受有害干扰较小,整体水平较为乐观,但仍有近一半的省份森林生态系统处于不安全状态。在深入探讨评价结果和影响我国各省森林生态安全主要干扰因子的基础上,为如何维护我国森林生态安全提出了对策建议。

关键词:森林生态安全;有害干扰;分析评价;指标体系

Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences

LIU Xinzhu¹, MI Feng^{1,*}, ZHANG Shuang², SU Lijuan², GU Yanhong³, ZHANG Dahong¹

1 Economics and Management Institute of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Research Institute of Forestry Science and Technology Information, the Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

3 Faculty of Science Institute of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Due to the rapid development of economy and society, the forest ecosystem has been threatened by various harmful interferences in recent years. With the aim of "Sustainable Development" and the background of "Construction of Ecological City, Promotion of Urban Forest Construction, and Assurance of Urban Ecological Security", researches on the conditions of forest ecological security has become an urgent issue, which concerns the healthy development of cities in all provinces (provincial-level administrative regions), China. In this contribution, based on the analyses of the concepts of "forest ecosystem security" and "forest health", a novel forest ecological security assessment index system including 16 specific three-level indicators has been proposed from the perspective of detrimental disturbances. This new index system is comparatively integrated, comprehensive, objective and highly applicable. The research was performed by combining the theoretical and empirical analysis, and by combining qualitative and quantitative analysis, and the macro data were investigated with the help of data processing software such as SPSS, Stata, and Matlab etc. And the forest ecological security standards of 31 provinces in China are empirically analyzed and evaluated based on the data in 2011, by using principal component analysis, cluster analysis, indistinct assessment methods and so on. The results indicated that among

基金项目:教育部人文社会科学研究项目青年基金项目(13YJCZH131);中央高校基本科研业务费专项资金(JGTD2014-03)资助

收稿日期:2013-10-13; **网络出版日期:**2014-02-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mifengsun@163.com

the 31 involved provinces, the forest ecological security standard of 16 provinces was in good condition with less detrimental interferences. Therefore, the overall forest ecological security standards are optimistic for the following 16 provinces; Hainan and Tibet have the highest security level of forest ecosystem nationwide and fall into the supreme safety category, with 6 provinces (Inner Mongolia, Jilin, Heilongjiang, Guangxi, Yunnan and Qinghai) being general security level, other 8 provinces (Beijing, Jiangxi, Zhejiang, Guangdong, Sichuan, Chongqing, Shaanxi, and Gansu) being relatively security state. Whereas, there are still nearly half of the 31 provinces have insecure forest ecosystem. Among them, 12 provinces including Hebei, Shanxi, Liaoning, Shanghai, Jiangsu, Anhui, Fujian, Hubei, Hunan, Guizhou, Ningxia, Xinjiang were in relative less severe insecure state; Henan was in medium unsafe state; and Tianjin and Shandong were in extremely insecure state. Based on a thorough discussion of the obtained results and a careful investigation of the main disturbing factors of forest ecological security in China, some targeted recommendations on how to maintain the forest ecological security in China was suggested in this work. For instance, the work for preventing forest disease and pest hazard should be strengthened in Tianjin, Shandong, and Henan provinces; the work for preventing forest fire should be strictly enforced in Fujian, Shanxi, Hunan, Hebei, and Guizhou provinces; a comprehensive prevention and control to deal with harmful interferences should be enhanced in Hebei, Liaoning, Shanghai, Jiangsu, Anhui, Hubei, Ningxia, and Xinjiang provinces. To sum up, each province should take corresponding measures according to its own practical situation and principal interference factors. In addition, the prevention work for other detrimental interference factors should be performed as well in order to avoid these ones evolving to be principal factors in the near future, especially for those provinces who were interfered by various detrimental factors.

Key Words: forest ecological security; detrimental interferences; analysis and appraisal; index system

森林作为陆地上最大的生态系统,在维护生态安全上具有根本性和不可替代性的作用^[1]。近年,随着经济的高速增长,我国的森林状况和生态环境问题日益突出,森林生态系统受到各种有害干扰越来越多^[2]。这些问题的显现,引起了政府的高度重视,森林生态安全问题也随之成为重点攻关的研究课题^[3]。就目前国内外的研究情况而言,有关森林生态安全问题的研究尚处于探索阶段,暂无成熟的理论体系和评价方法^[4],且多数学者将研究侧重点放在区域森林生态安全评价方面,针对全国角度的森林生态安全评价的研究尚未见公开报道,而从有害干扰角度对森林生态安全进行评价研究更是处于起步阶段。因此,对全国森林生态安全评价理论方法以及应用等问题开展研究,显得尤为重要。

本文在对森林生态安全和森林健康概念辨析的基础上,从对森林生态系统威胁最大的有害干扰角度出发,探索构建我国森林生态安全评价指标体系,并综合运用主成分分析和模糊数学相关思想,对我国省域森林生态安全状况进行全方位评价。研究结果有利于补充和丰富我国森林生态安全评价的研究理论,为我国森林生态安全的理论和方法体系的形

成提供支持,使全面了解、掌握和及时跟踪我国森林生态安全状态成为可能,为我国的林业战略规划和林业管理、生态管理提供科学依据^[4]。

1 概念辨析与研究方法

1.1 森林生态安全的概念及内涵

截止到 2013 年 8 月底,在中国知网高级检索中,冠名以“森林生态安全”为标题进行研究的论文有 14 篇,其中:2003 年 1 篇,2005 年 2 篇,2008 年 1 篇,2009 年 3 篇,2010 年 4 篇,2011—2013 年各 1 篇;切换成森林生态安全“主题”显示出共有文章 39 篇;切换成森林生态安全“关键词”显示文章 4 篇;而文中含有森林生态安全思想的文章则共有 367 篇。

关于森林生态安全的定义,至今尚未形成完整、统一的认识。一些学者将森林生态安全同森林生态系统健康等同。洪伟,闫淑君等人认为,森林生态系统的健康和完整就是森林生态安全的全部内容^[5],邓鉴锋,战国强等人也提到,森林生态安全是指森林生态系统的完整性和健康的整体水平,是区域生态安全的主体和基础,是社会、经济、环境可持续发展不可缺少的前提条件,是人与自然和谐的具体表

征^[6]。还有学者从某一侧面对森林生态安全进行定义,牛利民,沈文星认为森林资源安全是森林生态安全得到保证的基本条件^[6]。但多数学者都是从广义和狭义两个角度对森林生态安全的内涵进行诠释,广义的森林生态安全包括森林生态系统建设、开发、生产、维护和管理等多个方面,即维持由自然生态、经济生态和社会生态组成的复合人工生态安全系统处于不受威胁的状态^[7];狭义的森林生态安全是指在与其它相关生态系统协调发展的前提下,森林生态系统的自身安全^[8]。相比于森林生态安全定义的模糊不清,森林生态系统健康的定义更为成熟,森林生态系统健康是指森林生态系统在维持其多样性和稳定性的同时,又能持续满足人类对森林的自然、社会和经济需求的一种状态,是实现人与自然和谐相处的必要途径^[9-10]。

综上所述,森林生态安全同森林生态系统健康的概念在本质上是一致的,都是实现森林生态系统可持续发展的重要基础。但是,二者又有较大的区别,森林健康更多是从森林自身角度考虑,重点关注森林生长、繁育以及抵抗外界干扰的能力等;而森林生态安全不仅要关注森林自身健康发展的问題,同时还需要考虑到森林生态系统与其周围环境的关系。具体来说,森林生态安全的概念要大于森林生态系统健康的概念,或者说森林生态安全是森林生态系统健康内涵基础上的外延。因此,森林生态安全是指森林自身能够提供有效的生态、社会和经济等功能,同时在外界干扰条件下能够实现自我调控和自我修复,维护森林生态系统的可持续性、复杂性、恢复性、服务性的状态。以这个森林生态安全概念为基础,对森林生态安全评价指标进行研究和筛选。

1.2 研究方法

1.2.1 指标体系的确定方法

关于森林生态系统健康的评价指标无论是传统观点还是新观点,都过于片面,指标构建不够完整、精炼,且不具有较强的实用性,不能全面客观的反应森林生态系统健康的整体水平;而森林生态安全评价的指标体系过于单一,传统的压力-状态-响应模型(P-S-R模型)制约着指标构建角度难以创新,同时难以形成一个科学合理的评价指标体系。

因此,采取将森林生态安全评价同森林生态系

统健康评价相结合的指标构建方法,充分考虑到森林健康的内涵,综合森林生态安全和森林生态系统健康两套评价指标体系,全面考虑到森林自身及其生态环境的整体安全,重点考虑到森林有害干扰对森林生态系统的健康有着重要影响这一因素,构建一套相对较为完整、全面、客观、具有较强可操作性的基于有害干扰的森林生态安全评价指标体系。其中,在所构建的指标体系中,人为有害干扰、环境污染干扰等指标是重点区分森林生态安全与森林健康两者差别的关键因子。

1.2.2 指标权重的确定方法

森林生态安全评价的过程中,指标权重的确定最为关键。权重是用来表示各指标变量或要素对于上一等级要素的相对重要程度^[10]。主成分分析法在权重量化和指标筛选方面显示出了其独特的优势,不仅在权重的量化计算方面尽可能的避免了主观性,也在指标筛选方面剔除了线性相关的指标,从而给出较为可信的计算结果。因此,选用主成分分析法确定权重,筛选指标。

1.2.3 数据规范化处理方法

所用数据主要来自学术论文、统计年鉴、统计网站等。统计年鉴主要包括:2011年《中国统计年鉴》和《中国林业统计年鉴》等。统计网站主要包括:国家统计局、中国知网、中国社会经济发展统计数据库等。

在进行数据计算与分析前,对所需原始数据进行了描述性统计、相关性分析以及标准化处理等。由描述结果得知,研究所需数据均为有效数据,各项统计指标不存在异常值,因此可以进行后续数据分析和实证研究;相关性分析结果显示,经主成分分析法筛选后的指标之间相关系数较低,即所选主成分指标可以将大部分信息包含在内,增加了后续计算的真实性和可靠性;对原始数据进行无量纲化处理的方法原理为:

$$y_{ij} = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

式中, y_{ij} 为第*i*个指标值第*j*省的指标转换值; x_i 为第*i*个指标的该省数值; $x_{\min}$ 为第*i*个指标各省的最小值; $x_{\max}$ 为第*i*个指标各省的最大值^[10]。具体通过SPSS18.0软件中的zscore法将原始数据进行了标准化无量纲处理,以减少后续数据分析可能存在的

问题,提高研究的科学性、准确性。

2 基于有害干扰的森林生态安全评价指标体系构建

2.1 指标体系的确立

在对森林生态安全与森林生态系统健康概念进行对比分析的基础上,最终在森林生态安全评价指标体系的构建上提出了一个新的思路,即从有害干扰角度深入,选取 5 项有害干扰因子作为该指标体

系中的二级指标,经主成分分析筛选后,最终确定 16 个具体三级指标,构成基于有害干扰的总体评价指标体系。该指标体系中各项指标均为表现类指标,且指标方向均为负向,即从森林生态系统受害现状反映我国各省森林生态系统所受有害干扰的胁迫强度,森林所受有害干扰胁迫度越高,森林生态系统安全水平越低,具体指标体系及权重计算结果如(表 1)所示。

表 1 基于有害干扰的森林生态安全评价指标体系

一级指标 First-level Index A	二级指标 Second-level Index B	三级指标 Third-level Index C	单位 Unit	指标权重 Index Weight
有害干扰 Detrimental Interferences A1	森林火灾干扰 B1	森林火灾受灾率 C1	%	0.1159
		森林火灾发生次数 C2	次	0.1039
		森林火灾损失林木成林蓄积 C3	m ³	0.0732
		森林火灾损失林木幼林株数 C4	万株	0.0548
	有害生物干扰 B2	森林病害受灾率 C5	%	0.1455
		森林虫害受灾率 C6	%	0.1725
		森林鼠害受灾率 C7	%	0.0480
		森林病虫鼠害发生率 C8	%	0.1734
	人为有害干扰 B3	人口密度 C9	人/hm ²	0.0983
		人类干扰指数 C10	%	0.1087
	环境污染干扰 B4	可吸入颗粒物年日均值 C11	mg/m ³	0.1197
		二氧化硫年日均值 C12	mg/m ³	0.0926
		废水排放总量 C13	万 t	0.1266
	气象灾害干扰 B5	旱灾受灾率 C14	%	0.1479
		风雹灾害受灾率 C15	%	0.0993
		低温冷冻和雪灾受灾率 C16	%	0.0227

2.2 评价指标解释说明

森林有害干扰对森林生态系统的安全有着重要的影响,肖风劲等通过空间相关性分析得出,森林生态系统安全指数与森林净第一生产力相关系数为 0.64,与森林物种多样性指数的相关系数为 0.76,与森林生态系统恢复力的相关系数为 0.81^[11],也就是说,我国森林生态系统安全受病虫害、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,森林生态系统安全指数就小^[11]。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。多数自然干扰和人为干扰导致森林正常结构的破坏,森林生态系统平衡的失调和生态功能的退化,这些干扰就是有害干扰^[11]。综

合考虑各有害指标对森林干扰影响强度的大小等因素,在指标体系中将森林所受的有害干扰分为森林火灾干扰、有害生物干扰、人为有害干扰、环境污染干扰、气象灾害干扰五大类,笔者初步认为,森林火灾干扰和有害生物干扰是对森林生态系统安全威胁最大的两个方面。

2.2.1 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。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安全评价时,森林火灾干扰也逐渐作为森林生态系统安全的重要评价因子之一^[11]。选取了反映森林火灾的 4 个重要因子,相关数据可以通过统计年鉴或林业统计年鉴获得。

(1)森林火灾受灾率 指森林火灾受灾面积与森林面积的比,反映受火灾干扰的森林面积损失程度,是鉴定森林火灾干扰对森林生态系统威胁程度的首要指标。该指标数值越大,森林生态系统安全度越低:

$$\text{森林火灾受灾率} = \text{森林火灾受灾面积} / \text{森林面积} \times 100\%$$

(2)森林火灾发生次数 是指发生在城市市区外的一切森林、林木和林地的火灾次数。按照受害森林面积和伤亡人数,森林火灾分为一般森林火灾、较大森林火灾、重大森林火灾和特别重大森林火灾。森林火灾发生次数越多,表明森林生态系统安全程度越差。

(3)森林火灾损失林木成林蓄积 是指森林火灾受害森林中成林蓄积量,表示森林火灾对已成林树种的影响程度,该指标数值越大,森林生态系统越不安全。

(4)森林火灾损失林木幼林株数 是指森林火灾受害森林中幼林的数量,表示森林火灾对幼林树种的影响程度,幼林损失比成林损失对森林生态系统的影响程度更大,幼林损失株数越多,森林生态系统安全度越差。

2.2.2 有害生物干扰指标

林业有害生物危害程度与森林生态安全紧密相关,在对森林生态系统的安全评价中,越来越多的学者将林业有害生物中的森林病虫害受害程度作为评价的重要指标^[11]。因此,选取了反映有害生物干扰的4个重要因子,计算这些指标所需数据可以通过统计年鉴或林业统计年鉴获得。

(1)森林病害是指林木机体遭受真菌、细菌、病毒、寄生性种子植物和线虫等的危害,而使林木在生理机能、细胞和组织结构以及外部形态等方面发生的病理性变化^[12]。森林病害受灾率:用森林病害受灾面积与森林面积的比重来表示,该指数能清楚的反映森林受病害影响的程度,森林病害受灾率越大,森林生态系统安全度越低:

$$\text{森林病害受灾率} = \text{森林病害受灾面积} / \text{森林面积} \times 100\%$$

(2)森林虫害是指林木机体遭受松毛虫、金花虫、竹蝗、金龟子、蝼蛄等各种昆虫的危害,而造成一定面积森林的生长衰弱或死亡^[12]。森林虫害受灾

率:是指森林虫害受灾面积与森林面积比,该指数是反映森林受虫害影响程度的重要指标,森林虫害受灾率越大,森林生态系统受有害生物干扰越严重,森林生态系统越危险:

$$\text{森林虫害受灾率} = \text{森林虫害受灾面积} / \text{森林面积} \times 100\%$$

(3)森林鼠害是指森林、林木、林木种苗遭受各种鼠类的危害,而造成一定程度的损失或死亡。森林鼠害受灾率:用森林鼠害受灾面积与森林面积的比值来表示,该指数清楚的反映了森林受鼠害破坏的程度,森林鼠害受灾率越大,森林生态系统受有害生物干扰越严重,森林生态系统越不安全:

$$\text{森林鼠害受灾率} = \text{森林鼠害受灾面积} / \text{森林面积} \times 100\%$$

(4)森林病虫鼠害是指对森林、林木、林木种苗及木材、竹材形成的病害、虫害和鼠害^[12]。森林病虫鼠害发生率,是反映森林受病、虫、鼠危害的综合性指标,森林病虫鼠害发生率越高,森林生态系统安全度越差。

2.2.3 人为有害干扰指标

人为有害干扰从作用力和范围来说,甚至超过自然干扰,因为它可以彻底改变原来的森林生态系统状态,影响森林生态系统安全^[11]。选取了反映人为有害干扰的两个重要因子,计算所需数据可以通过统计年鉴或林业统计年鉴获得。

(1)人口密度 是指单位面积土地上居住的人口数。它是表示人口的密集程度的指标,单位面积人口密度越大,资源生态环境的压力越大^[12]。通常以每平方千米或每公顷内的常住人口为计算单位。人口密度与森林生态安全状况成反比,人口密度越高,森林资源生态环境的压力越大,森林生态系统安全度越低。

$$\text{人口密度} = \text{年末人口总数} / \text{行政区域总面积}$$

(2)人类干扰指数 指人类活动时耕地和建设用地对林业用地的侵占和影响程度^[13]。该指标反映的是人类为了生存对生态环境系统进行改造而造成的影响。该指标数值越高,表示人类对森林生态系统的干扰越强,森林生态安全水平越低。

$$\text{人类干扰指数} = (\text{耕地面积} + \text{建设用地面积}) / \text{城市行政区域面积}$$

2.2.4 环境污染干扰指标

在对森林生态系统的安全评价中,环境污染引

起的森林生态系统变化被作为森林生态系统安全评价的重要指标之一。环境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:直接作用是指环境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^[11]。选取反映环境污染干扰的 3 个重要因子,这些数据可以通过统计年鉴或林业统计年鉴直接获得。

(1)可吸入颗粒物年日均值 可吸入颗粒物来源广泛,包括燃煤、机动车、施工扬尘、土壤尘等,其本身及携带的污染物可能对人体健康造成危害。该指标数值越大,森林生态系统的环境压力越大^[14]。

(2)二氧化硫年日均值 作为酸雨的替代指标,该指标的数值越大,说明对环境的压力越大,森林生态安全的状态则可能相应越差^[14]。

(3)废水排放总量 该数值越高,排出废水对森林生态系统造成的压力就越大,森林生态系统的安全级别就越低^[14]。

2.2.5 气象灾害干扰指标

气象灾害是与人类社会相存相伴的自然现象,将其作为对森林生态系统产生有害干扰的一个方面,构建了旱灾受灾率、风雹灾害受灾率、低温冷冻和雪灾受灾率 3 项干扰指标,旨在能较为全面地反映森林生态系统受到的各种有害干扰。

(1)旱灾受灾率 是指旱灾受灾面积占行政区域总面积的比重,该指标是反映旱灾发生情况的重要指标,是衡量旱灾对森林干扰强度的主要指标,该指标数值越大,森林生态安全的程度越低;

旱灾受灾面积/行政区域面积 $\times 100\%$

(2)风雹灾害受灾率 是指风雹灾害受灾面积占行政区域总面积的比重,该指标是反映风雹灾害发生情况的重要指标,是衡量风雹灾害对森林干扰强度的主要指标,该指标数值越大,森林生态安全的程度越低;

风雹灾害受灾面积/行政区域面积 $\times 100\%$

(3)低温冷冻和雪灾受灾率 是指低温冷冻和雪灾受灾面积占行政区域总面积的比重,该指标是反映低温冷冻和雪灾发生情况的重要指标,是衡量低温冷冻和雪灾对森林干扰强度的主要指标,该指标数值越大,森林生态安全的程度越低;

低温冷冻和雪灾受灾面积/行政区域面积 $\times 100\%$

3 基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价实证分析

3.1 主要影响因子分析

通过 EXCEL 软件 SUM 公式,计算求得各项二级指标的权重值(表 2)。由表 2 可知,有害生物干扰指标所占权重最大,达到 0.5 以上;森林火灾干扰指标权重位居其次;环境污染干扰、气象灾害干扰指标权重分别排在第三、第四位,人为有害干扰指标权重最低。说明对森林生态安全威胁最大的干扰因素为有害生物和森林火灾,而环境污染对森林生态安全的威胁也相对较为严重,基本同森林火灾的威胁程度持平。人类的有害干扰对森林生态系统的安全程度影响相对较小,这与我国经济社会的不断发展,人们环保意识的不断增强密切相关。

表 2 二级指标权重计算结果

Table 2 The Secondary Index Weight Calculation Results

指标 Index	森林火灾干扰 Forest fire interference	有害生物干扰 Detrimental biological interference	人为有害干扰 Man-made detrimental interference	环境污染干扰 Environmental pollution interference	气象灾害干扰 Meteorological disaster interference
权重 Weight	0.34781	0.53935	0.20699	0.33887	0.26991

根据主成分分析法确定相关指标权重后,对各干扰层的指标权重进行排序,得到(表 3)排序结果。根据排序结果,可以得到各层的主要影响因子:火灾干扰层,C1 森林火灾受灾率为主要干扰因子;有害生物干扰层,C8 森林病虫鼠害发生率是主要干扰因子;人

为有害干扰层的主要干扰因子为 C14 人均国内生产总值;C19 废水排放总量是环境污染干扰层的主要影响因子;C20 旱灾受灾率是气象灾害干扰层的主要干扰因素。综合整体排序结果,C8 森林病虫鼠害发生率是对森林生态系统安全威胁最大的影响因素。

表 3 各层影响因子的权重排序
Table 3 The weight of each influence factor

指标权重在各层内的排名 Index weight rank in each layer	指标名称 Index	指标方向 Direct	单项指标权重值 Single index weight value	指标权重总排序结果 Overall results of index weight sequence
火灾干扰层排序结果 Forest fire layer results				
1	C1 森林火灾受灾率	(-)	0.1159	7
2	C2 森林火灾次数	(-)	0.1039	9
3	C3 森林火灾损失林木成林蓄积	(-)	0.0732	13
4	C4 森林火灾损失林木幼林株数	(-)	0.0548	14
有害生物干扰层排序结果 Detrimental biological interference layer results				
1	C8 森林病虫害发生率	(-)	0.1734	1
2	C6 森林虫害受灾率	(-)	0.1725	2
3	C5 森林病害受灾率	(-)	0.1455	4
4	C7 森林鼠害受灾率	(-)	0.0480	15
人为有害干扰层排序结果 Man-made detrimental interference results				
1	C10 人类干扰指数	(-)	0.1087	8
2	C9 人口密度	(-)	0.0983	11
环境污染干扰层排序结果 Environmental pollution interference layer results				
1	C13 废水排放总量	(-)	0.1266	5
2	C11 可吸入颗粒物年日均值	(-)	0.1197	6
3	C12 二氧化硫年日均值	(-)	0.0926	12
气象灾害干扰层排序结果 Meteorological disaster interference layer results				
1	C14 旱灾受灾率	(-)	0.1479	3
2	C15 风雹灾害受灾率	(-)	0.0993	10
3	C16 低温冷冻和雪灾受灾率	(-)	0.0227	16

3.2 综合干扰指数分析

借助模糊数学、层次分析和模糊综合评价的有关原理^[14],计算全国 31 个省市、自治区和直辖市的综合干扰指数,并对各地区综合干扰得分情况进行实证分析。

3.2.1 综合干扰指数计算原理

结合指标权重和无量纲标准化的指标值计算森林生态安全综合评价指数:

$$U_j = \sum_{i=1}^{16} w_i y_{ij} \tag{2}$$

式中,式中的 U_j 表示第 j 省森林生态安全综合评价指数; y_{ij} 表示无量纲化的指标值; w_i 表示对应指标的权重。

3.2.2 综合干扰指数计算结果

应用 Matlab 软件计算该评价体系的总体矩阵和各单项矩阵,计算结果如下(表 4)。

3.2.3 综合干扰指数计算结果分析

标准化综合干扰指数计算结果(图 1)所示,根据正态分布相关原理,假定全国森林生态安全平均干扰水平为 0,正值表示有害干扰高于全国平均水平,且绝对值越大,受有害干扰越严重,森林生态安全水平越低;负值表示有害干扰低于全国平均水平,且绝对值越大,有害干扰程度越低,森林生态系统安全程度越高(后续各单项干扰指数评价原理与此相同)。由图 1 可知,天津、山东、河南三省的森林生态安全水平较全国其它省份相比较低,且三省的综合干扰指数均大于 1,森林生态系统所受威胁较为严重。西藏的森林生态系统受有害干扰程度最低,海南次之,且二省的综合干扰指数均小于-1,森林生态安全水平较高。除此之外,其余各省的综合干扰指数均处于(-1,1)之间,没有异常变动,森林生态安全在中等水平上下浮动。

表 4 各项干扰指数计算结果
Table 4 Interference Index Calculation Results

省市 Provinces and municipalities	综合干扰指数 Comprehensive interference index	森林火灾 干扰指数 Forest fire interference index	有害生物干扰指数 Detrimental biological interference index	人为有害 干扰指数 Man-made detrimental interference index	环境污染 干扰指数 Environmental pollution interference index	气象灾害 干扰指数 Meteorological disaster interference index
北京	-0.040	-0.192	-0.117	0.342	0.009	-0.080
天津	1.656	-0.157	1.746	0.364	-0.079	-0.217
河北	0.541	-0.102	0.264	-0.041	0.167	0.253
山西	0.664	0.632	-0.108	-0.076	0.037	0.179
内蒙古	-0.550	-0.150	-0.235	0.052	-0.079	-0.138
辽宁	0.285	-0.155	0.434	0.045	0.157	-0.195
吉林	-0.690	-0.158	-0.306	-0.045	-0.143	-0.039
黑龙江	-0.549	-0.173	-0.349	-0.088	0.011	0.050
上海	0.180	-0.195	0.018	0.731	-0.120	-0.254
江苏	0.625	-0.149	-0.083	0.179	0.279	0.399
浙江	-0.086	0.246	-0.398	0.129	0.160	-0.222
安徽	0.264	-0.040	0.158	-0.079	0.046	0.179
福建	0.205	0.973	-0.350	0.027	-0.218	-0.227
江西	-0.371	-0.034	-0.247	-0.101	0.072	-0.062
山东	1.558	-0.044	0.891	0.070	0.303	0.337
河南	1.159	0.206	0.482	-0.044	0.257	0.258
湖北	0.321	0.098	-0.146	-0.049	0.107	0.311
湖南	0.264	0.463	-0.266	-0.075	0.008	0.135
广东	-0.122	0.054	-0.277	0.084	0.227	-0.210
广西	-0.671	0.051	-0.320	-0.117	-0.170	-0.115
海南	-1.464	-0.149	-0.452	-0.088	-0.589	-0.185
重庆	-0.057	-0.061	0.013	-0.043	-0.056	0.091
四川	-0.416	0.011	-0.221	-0.116	0.048	-0.139
贵州	0.101	0.112	-0.210	-0.168	-0.110	0.477
云南	-0.788	-0.072	-0.365	-0.163	-0.205	0.017
西藏	-1.583	-0.193	-0.349	-0.174	-0.611	-0.256
陕西	-0.378	-0.115	-0.239	-0.068	0.096	-0.052
甘肃	-0.284	-0.187	-0.093	-0.167	0.196	-0.032
青海	-0.641	-0.182	-0.074	-0.118	-0.043	-0.225
宁夏	0.753	-0.187	0.941	-0.085	-0.114	0.198
新疆	0.123	-0.152	0.261	-0.113	0.361	-0.235

表中数据为标准化数据计算结果

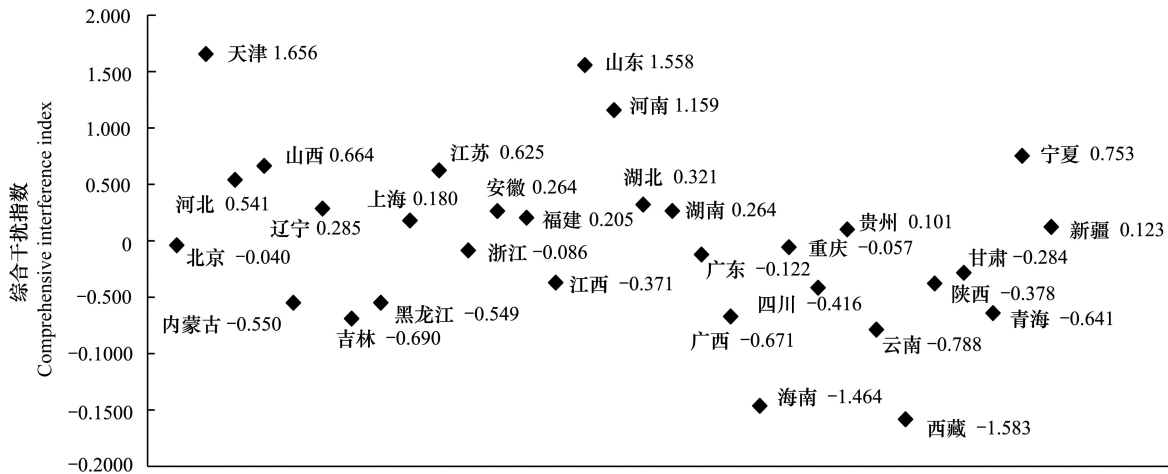


图 1 综合干扰指数散点图
Fig.1 Comprehensive Interference Index Scatter Diagram
<http://www.ecologica.cn>

3.3 各单项干扰因子分析

旨在得出对各省森林生态安全影响较大的主要干扰因子,以及为综合干扰指数的评价结果做进一步的解释。

3.3.1 火灾干扰因子分析

由图 2 可知,福建省火灾干扰指数最高,逼近 1;山西次之;湖南位居第三。以上三省 2011 年森林火灾受灾率分别为 8.48%、15.36% 和 3.8%,是导致 3 省森林火灾干扰指数位居全国前三位的主要原因。

由此可见,福建、山西、湖南三省森林生态安全的主要威胁因素为森林火灾干扰。除此之外,浙江、河南、贵州三省的森林火灾干扰指数也相对较高,超过 0.1。其余各省份的森林火灾干扰指数均在 0.1 以下且相对较为集中,处于全国中等水平。原本森林火灾多发的东北地区,2011 年的森林火灾干扰指数却相对较低,且黑、吉、辽三省的森林火灾干扰指数均为负值,可见,东北地区近年来森林防火工作取得了较为显著的成效。

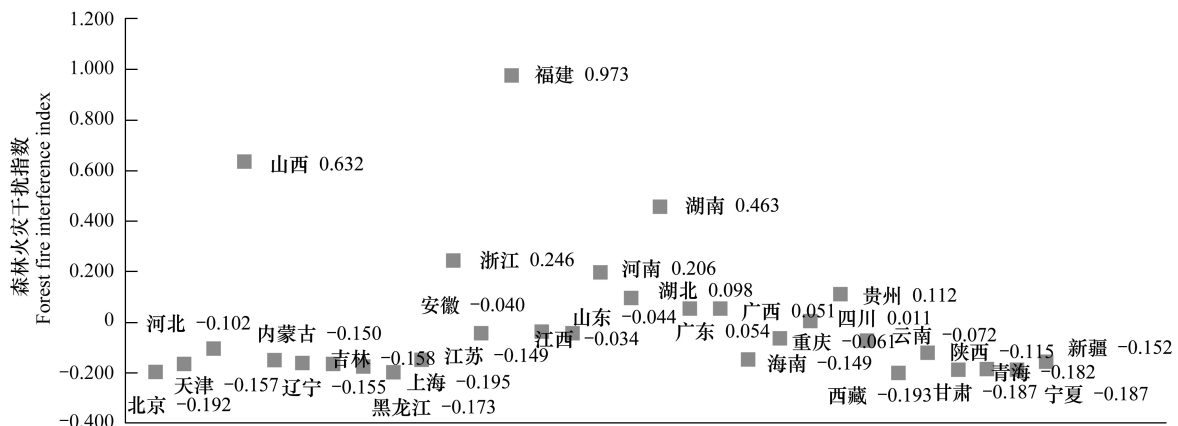


图 2 森林火灾干扰指数散点图

Fig.2 Forest Fire Interference Index Scatter Diagram

3.3.2 有害生物干扰因子分析

观察图 3 统计结果,天津、宁夏、山东三省的有害生物干扰指数在全国处于较高水平,其中天津异军突起,有害生物干扰指数高达 1.746,分析具体三级评价指标发现,天津市 2011 年森林病害受灾率为 6.41%,森林虫害受灾率为 41.94%,森林病虫鼠害发生率为 22.37%,各单项指标均排名全国第一,由此可见,天津市 2011 年森林生态系统受有害生物干扰

较为严重,这也是导致其综合干扰指数在全国排名最高的首要原因。除以上三省有害生物干扰指数较高外,其余大部分省份的有害生物干扰指数均处于-0.5 到+0.5 之间,且分布较为集中,受有害生物干扰程度相似性较高。海南省的有害生物干扰指数最低,受有害生物干扰最小,这与海南地处热带、亚热带,气候湿润,降雨量较高,森林物种丰富多样有较大关系。

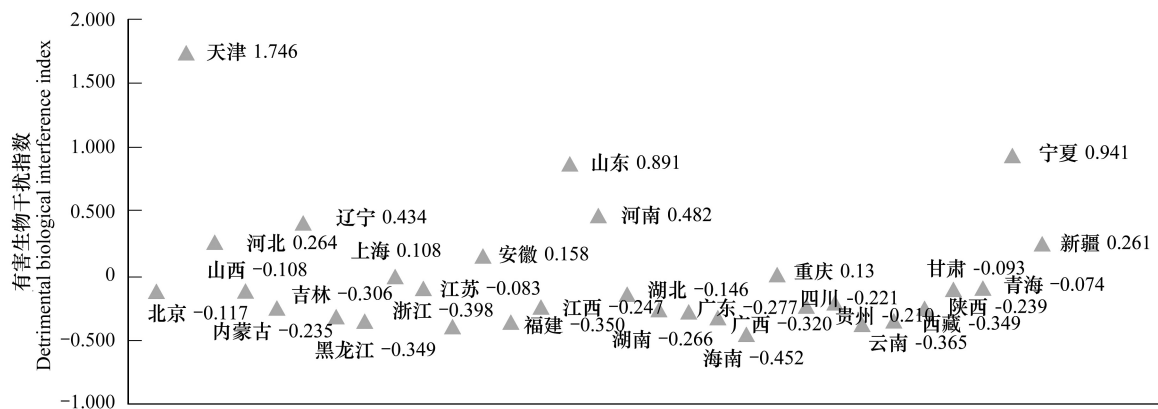


图 3 有害生物干扰指数散点图

Fig.3 Detrimental Biological Interference Index Scatter Diagram

3.3.3 人为有害干扰因子分析

观察图 4 可知,上海、天津、北京三大直辖市的人为有害干扰指数位居全国前三位;江苏、浙江、山东、广东等沿海城市的人为有害干扰指数也相对较高,对森林生态系统人为干扰、迫害程度较大。相比

东部沿海城市,西部内陆地区诸如西藏、贵州、甘肃等地的人为有害干扰指数较低,森林生态系统受人为有害干扰较小,森林生态系统自然状态较好,可恢复性较高,森林生态系统安全程度较高。

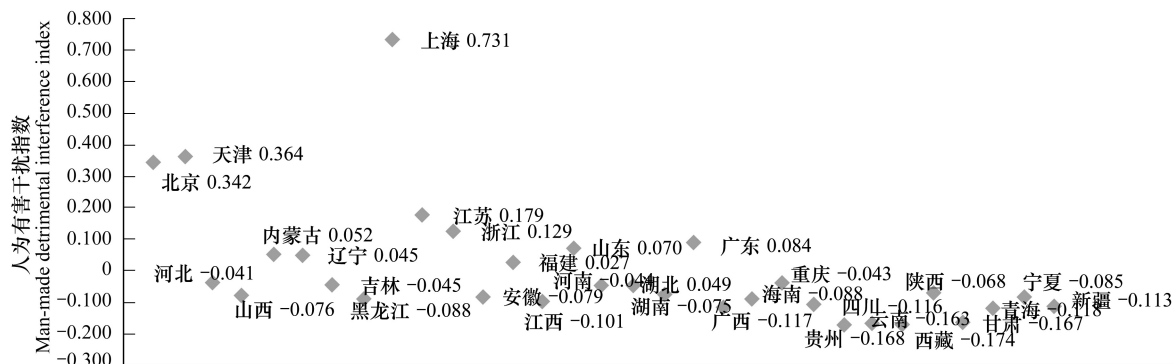


图 4 人为有害干扰指数散点图

Fig.4 Man-made Detrimental Interference Index Scatter Diagram

3.3.4 环境污染干扰因子分析

对比图 4 和图 5,发现环境污染干扰指数分布情况同人为有害干扰指数分布情况大体类似,总体上

均呈现出东部沿海地区干扰指数较高,西部内陆地区相对较低的特点。

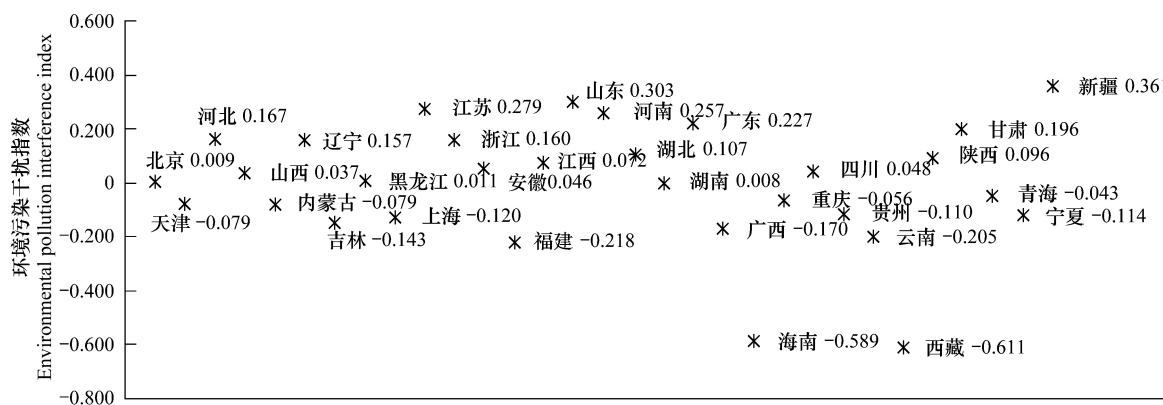


图 5 环境污染干扰指数散点图

Fig.5 Environmental Pollution Interference Index Scatter Diagram

3.3.5 气象灾害干扰因子分析

由图 6 可以看到,贵州、江苏两省的气象灾害受灾指数最大,具体分析三级指标可以发现,2011 年两省旱灾、风雹、低温冷冻和雪灾的受灾率均较高,发生气象灾害的频率也较高,森林生态系统受气象灾害干扰强度较大。其次,山东、湖北、河北、河南等地的干扰指数也较高,均在 0.2 以上。相比之下,上海、广东、西藏等地的气象灾害干扰指数相对较低,近年来,该地区发生气象灾害的次数较少,森林生态系统受气象灾害威胁较小。

3.4 聚类分析

通过 SPSS13.0 软件对 2011 年我国 31 个省级行政区域(含直辖市)的综合干扰指数进行聚类。在距离运算中,为使分类后组内距离最小、同组地区具有最大的相似性,采用组内距离最小法(Within-groups linkage);从组内与组间方差的角度考虑,采用离差平方和法(Ward's method)。数据标准化中,由于所选变量中存在个别样本的突出值,而且信息重要,需要保留,因此极值化一类的方法不可取;经数据考察所选变量数据并不全为正态分布,因此标准化方法

也不可取;而均值化方法可以保留各个变量的变异程度,使区域聚类效果更为理想,因此最终选择均值化法。

聚类结果(图 7)。为更好地比较全国 31 个省级行政区域的综合干扰指数情况,将聚类结果分为六类进行讨论(表 5)。

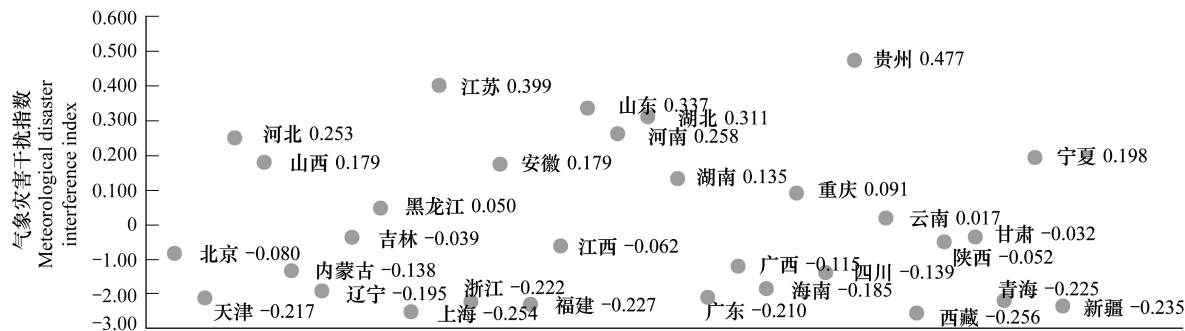


图 6 气象灾害干扰指数散点图
Fig.6 Meteorological Disaster Interference Index Scatter Diagram

Case	Cluster Membership				
	6 Clusters	5 Clusters	4 Clusters	3 Clusters	2 Clusters
1 北京	1	1	1	1	1
2 天津	2	2	2	2	2
3 河北	3	3	3	1	1
4 山西	3	3	3	1	1
5 内蒙古	4	4	1	1	1
6 辽宁	3	3	3	1	1
7 吉林	4	4	1	1	1
8 黑龙江	4	4	1	1	1
9 上海	3	3	3	1	1
10 江苏	3	3	3	1	1
11 浙江	1	1	1	1	1
12 安徽	3	3	3	1	1
13 福建	3	3	3	1	1
14 江西	1	1	1	1	1
15 山东	2	2	2	2	2
16 河南	5	2	2	2	2
17 湖北	3	3	3	1	1
18 湖南	3	3	3	1	1
19 广东	1	1	1	1	1
20 广西	4	4	1	1	1
21 海南	6	5	4	3	1
22 重庆	1	1	1	1	1
23 四川	1	1	1	1	1
24 贵州	3	3	3	1	1
25 云南	4	4	1	1	1
26 西藏	6	5	4	3	1
27 陕西	1	1	1	1	1
28 甘肃	1	1	1	1	1
29 青海	4	4	1	1	1
30 宁夏	3	3	3	1	1
31 新疆	3	3	3	1	1

图 7 聚类结果图
Fig.7 Clustering results

聚类结果表明:天津、山东两省均在第一或第二步被单独归为一类,经计算,该类综合干扰指数的平均值为 1.6071,在 6 类中最高,说明天津和山东两省的森林生态安全水平最低,是我国森林生态系统极不安全省份的代表。

河南在本次聚类分析中被单独归为一类,其综合干扰指数为 1.1586,仅次于第 1 类。因此河南省森林生态系统安全程度在全国范围内排名也相对靠后,属于不安全水平。

河北、山西、辽宁、上海、江苏、安徽、福建、湖北、湖南、贵州、宁夏、新疆 12 省属于第 3 类,该类综合干扰指数平均值为 0.3603,处于较不安全级别。

北京、浙江、江西、广东、重庆、四川、陕西、甘肃 8 省属于第 4 类,该类综合干扰指数均值为-0.2192,低于全国平均水平,森林生态系统受干扰程度相对较小,较为安全。

第 5 类主要包括内蒙古、吉林、黑龙江、广西、云南、青海 6 省,其均值为-0.6482,森林生态系统安全

程度处于第 4 类与第 6 类之间,安全级别较高。
海南、西藏两省被归为第六类,两省综合干扰指

数均值为-1.5235,全国排名最低,森林生态系统在全国范围内安全级别最高。

表 5 聚类分析评价表

Table 5 Clustering Analysis Evaluation

分类 Category	省市 Provinces and municipalities	均值 Mean value	安全级别 Security level
第 1 类 The first category	天津、山东	1.6071	极不安全
第 2 类 The second category	河南	1.1586	不安全
第 3 类 The third category	河北、山西、辽宁、上海、江苏、安徽、福建、湖北、湖南、贵州、宁夏、新疆	0.3603	较不安全
第 4 类 The fourth category	北京、浙江、江西、广东、重庆、四川、陕西、甘肃	-0.2192	较安全
第 5 类 The fifth category	内蒙古、吉林、黑龙江、广西、云南、青海	-0.6482	安全
第 6 类 The sixth category	海南、西藏	-1.5235	极安全

4 结论与讨论

4.1 研究结论

本研究综合运用林学、生态学、生物学、经济学相关理论,结合森林健康和森林生态系统研究成果,基于有害干扰角度构建一套综合评价我国各省级行政区域森林生态系统安全程度的指标体系,应用主成分分析方法进行指标筛选和客观赋权,对我国森林生态安全主要影响因子分析结果如下。

(1)影响我国森林生态安全的主要干扰因子为有害生物与森林火灾,其次为环境污染与气象灾害因子,人为破坏对森林生态安全的影响相对较低,这与我国经济社会的不断发展,人们环保意识的不断增强密切相关。

(2)从全国角度看,我国森林生态安全整体水平喜忧参半。在研究所涉及的 31 个省份中,16 个省级行政区域的森林生态安全水平较高,森林生态系统受有害干扰较小,整体水平较为乐观。但仍然有接近一半的省份森林生态系统处于不安全状态。其中,河北、山西、辽宁、上海、江苏、安徽、福建、湖北、湖南、贵州、宁夏、新疆 12 省处于基本不安全状态;河南属于中等不安全状态;天津、山东两省处于极不安全状态。

(3)在森林生态系统不安全省份中,天津、山东、河南三省森林生态安全水平较低主要由于三省森林生态系统受有害生物干扰较为严重,尤其是受森林病害、虫害的干扰极为严重;而天津,除受有害生物影响较大外,受人为有害干扰程度也较高,导致天津森林生态安全水平位于全国最低;福建、山西、湖南、河北、贵州等省份的森林生态系统受火灾威胁较大,

导致其森林生态安全水平不高;河北、辽宁、上海、江苏、安徽、湖北、宁夏、新疆等地的森林生态系统不安全受制于多种影响因素,在各单项统计指标中没有较为突出的影响因素,但是五类干扰因子得分均较高,说明以上各地区森林生态安全水平较低是多种因素综合干扰所致。

(4)作为全国经济、政治、文化中心的首都北京,其各项干扰指数,除人为有害干扰和环境污染干扰高于全国平均水平外,其它各单项指标均比全国平均水平低。因此,总体来看,北京的森林生态系统安全状况较好,这与北京近年来对森林生态系统的保护重视程度有较大关系。

4.2 政策启示

(1)从全国整体来看,我国森林生态系统安全水平较高,但是不排除局部地区森林生态系统受有害威胁较为严重的情况。根据因地制宜、对症下药的原则,不同地区要结合自身所受的主要干扰因素采取相应的解决对策。

(2)天津、山东、河南三省受有害生物干扰较为严重,因此,以上三省应注重对有害生物的防治,尤其要注重对森林病害和虫害的防治工作。定期、定点监察森林病虫害情况,严格监管,积极防御,对未受病虫害损害的森林加强保护;同时,对已发生病虫害的森林,要查明受害原因,并对症下药,最大限度的减少可能发生的损失。

(3)福建、山西、湖南、河北、贵州等省份的森林生态系统受火灾威胁较大,因此,加强森林防火是以上各省应做的首要工作。森林防火,最主要工作就是要做好监测和预警,通过卫星定位等高科技手段对森林生态系统进行严格监管,同时要做好森林防

火宣传工作,避免人为原因森林火灾的发生。在森林火灾多发季节,尤其要做好森林管护,避免自然原因所致的森林火灾的发生。

综上所述,各省要结合自身实际情况,针对自身主要干扰因素采取相应措施。除此之外,还应同时做好其他有害干扰因素的防治工作,避免其日后发展成为主要影响因子,尤其受多种有害因子干扰的省份更需如此。相信,只要积极应对,因地制宜,通力合作,我国整体的森林生态安全水平将会取得显著提高。

References:

- [1] Shan Y H. Study on Ecological Security in Regional Urbanization [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2002.
- [2] Fang Y, Wang S J. Establishment of ecological security assessment system: a case study of forest ecosystems in Shandong Province. Journal of Northeast Forestry University: Natural Science Edition, 2007, 35(11): 77-82.
- [3] Jiang X F. Challenge of entering WTO to China's ecological security and strategic countermeasures. Ecology and Natural Conservation, 2000, (10): 23-25.
- [4] Huang L L, Mi F, Sun F J. Preliminary study on the evaluation of forest ecosystem ecological security. Forestry Economics, 2009, (12): 64-68.
- [5] Hong W, Yan S J, Wu C Z. Ecological security and ecological effect of forest ecosystem in Fujian Province. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2003, 32(1): 79-83.
- [6] Deng J F, Zhan G Q, Jiang J. Study on building stable forest ecosystem of Pearl River Delta Zone. Guangdong Forestry Science and Technology, 2010, 26(5): 83-87.
- [7] Allen E. Forest health assessment in Canada. Ecosystem Health, 2001, 7(1): 28-34.
- [8] Gao C B. Quantitative Evaluation of Ecological Security Status and Trends — A Case Study on Guangzhou Province [D]. Guangzhou: Zhong Shan University, 2006.
- [9] Li X Y. Pilot Study and Application on the Indicators for Forest Health Assessment [D]. Beijing: Research Institute of Forest Ecological Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, 2006.
- [10] 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.

- [11] <http://www.baike.com> [EB/OL]. 2009-08-07/2013-09-21.
- [12] Xiao F J, Ouyang H, Zhang Q, Bojie F, Zhang Z C. Firest ecosystem health assessment and analysis in China. Journal of Geographical Sciences (English Edition), 2004, 14(1): 18-24.
- [13] Mi F, Huang L L, Sun F J. Evaluation of ecological security for the Jiufeng National Forest Park in Beijing. Scientia Silvae Science, 2010, 46(11): 70-76.
- [14] Mi F, Pan W J, Zhu N, Li H J. Application of fuzzy comprehensive evaluation in fire ecological security warning. Journal of Northeast Forestry University: Natural Science Edition, 2013, 41(6): 66-71, 75-75.

参考文献:

- [1] 单宜虎. 区域城镇化进程中的生态安全研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2002.
- [2] 房用, 王淑军. 生态安全评价指标体系的建立——以山东省森林生态系统为例. 东北林业大学学报: 自然科学版, 2007, 35(11): 77-82.
- [3] 蒋信福. 入世对我国生态安全的挑战与战略对策. 环境保护, 2000, (10): 23-25.
- [4] 黄莉莉, 米锋, 孙丰军. 森林生态安全评价初探. 林业经济, 2009, (12): 64-68.
- [5] 洪伟, 闫淑君, 吴承祯. 福建森林生态系统安全和生态响应. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2003, 32(1): 79-83.
- [6] 邓鉴锋, 战国强, 姜杰. 构建珠江三角洲地区稳定森林生态安全体系的探讨. 广东林业科技, 2010, 26(5): 83-87.
- [8] 高长波. 区域生态安全状态及发展趋势研究——以广东省为例 [D]. 广州: 中山大学, 2006.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] <http://www.baike.com> [EB/OL]. (2009-08-07) [2013-09-21].
- [12] 肖风劲, 欧阳华, 张强, Bojie F, Zhang Z C. 森林生态系统健康评价指标在中国的应用. 地理学报 (英文版), 2004, 14(1): 18-24.
- [13] 米锋, 黄莉莉, 孙丰军. 北京鹫峰国家森林公园生态安全评价. 林业科学, 2010, 46(11): 70-76.
- [14] 米锋, 潘文婧, 朱宁, 李华晶. 模糊综合评价法在森林生态安全预警研究中的应用. 东北林业大学学报: 自然科学版, 2013, 41(6): 66-71, 75-75.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Review on macropore flow in soil GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

Ecological Restoration

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol
League, Inner Mongolia WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia: a case study of Heidaigou
open pit coal mining KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

Autecology & Fundamentals

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus*
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus*
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck
 YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles
 LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area
 HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*)
 cultural ponds YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology
 LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years
 YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed
 LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ...
 WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area
 PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir
 ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis
 TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province
 HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone
 HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences
 LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

《生态学报》2014 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,280 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

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 34 卷 第 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 11 (June, 2014)

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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元