

DOI: 10.5846/stxb201710271929

徐会勇, 赵学娇, 张大红. 我国省域森林生态安全评价及差异化——基于生态文明建设背景. 生态学报, 2018, 38(17): - .

Xu H Y, Zhao X J, Zhang D H. Evaluation and difference analysis of provincial forest ecological security in China based on the background of ecological civilization construction. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(17): - .

我国省域森林生态安全评价及差异化 ——基于生态文明建设背景

徐会勇¹, 赵学娇², 张大红^{1,*}

¹ 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083

² 中国社会科学院研究生院, 北京 102488

摘要: 生态文明是我国“五位一体”总体布局的重要内容, 将直接引领我国生态环境保护与建设的大略方针, 而森林作为生态文明建设中最本质和最重要的物质基础, 其生态安全状况显得尤为重要。基于生态文明建设背景, 从省域层面分析森林生态安全状况, 沿用 PSR 模型构建森林生态安全评价指标体系, 对 2007 年、2011 年和 2014 年各省级行政区森林生态安全状况进行评价和对比。结果表明: 森林资源状况是各省(市、自治区)森林生态安全状况存在差异的最主要原因; 森林生态状态对森林生态安全评价影响最主要, 森林生态压力影响次之; 生态文明建设前期, 我国各省级行政区的森林生态安全状况均呈上升趋势, 生态文明建设后期, 大部分省(市、自治区)森林生态安全状况出现下降趋势。同时, 针对各地区森林资源的不同状况, 提出了提高森林生态系统安全性的建议。

关键词: 生态文明建设; 省域; 森林生态安全; 评价; 差异化

Evaluation and difference analysis of provincial forest ecological security in China based on the background of ecological civilization construction

XU Huiyong¹, ZHAO XueJiao², ZHANG Dahong^{1,*}

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

² Graduate school of Chinese academy of social sciences, Beijing 102488, China

Abstract: Ecological civilization is an important concept, based on “all-round economic, political, cultural, social, and ecological progress” in China. It will directly lead the future policies of environmental protection and construction in China. As forests are the most essential and important material base for the construction of an ecological civilization, their ecological security is especially important. Based on the background of ecological civilization construction, this study evaluated and compared the ecological security of forests in Chinese provincial districts in 2007, 2011, and 2014, and used a pressure-state-response (PSR) model to establish the Evaluation Index System of Forest Ecological Security. The results showed that the status of forest resources is the most important reason for the differences in the ecological security among the provinces (municipalities and autonomous regions); the forest ecological status is the most important influence on the evaluation of forest ecological security, and the ecological pressure on forests is the second major factor. In the early stages of the construction of an ecological civilization, the ecological security of forests in Chinese provincial districts is on the rise. However, in the later periods of ecological civilization construction, the ecological security trends downward in most provinces (cities and autonomous regions). At the same time, this paper offers advice for improving the safety of forest

基金项目: 国家林业局 2014 年林业重大问题调研课题(ZDWT201415)

收稿日期: 2017-10-27; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangdahong591120@163.com

ecosystems in response to the different situations of forest resources in different regions.

Key Words: ecological civilization construction; provincial area; forest ecological security; evaluation; differentiation

2007 年党的十七大报告将“建设生态文明”列入实现全面建设小康社会奋斗目标的新要求,2012 年党的十八大报告首次专辟一章对生态文明建设进行论述,并将生态文明建设纳入中国特色社会主义现代化建设事业五位一体的总布局^[1]。生态文明建设将直接引领我国生态环境保护与建设的大略方针,而森林作为生态文明建设中本质和最重要的物质基础,其生态安全状况显得尤为重要,对森林生态安全状况进行评价也就有了一定的意义。

目前,国内外对森林生态安全研究逐渐增多,其中森林生态安全评价是众多学者研究的主要内容之一。国外大多数学者认为,通过对森林生态系统健康的监测和评价可以很大程度上反映森林生态安全状况,如澳大利亚^[2]、加拿大^[3]、美国^[4]、新西兰^[5]、墨西哥^[6]等。国内对森林(林业)生态安全评价主要从研究方法、研究对象上进行评价,如张智光^[7]、张频^[8]、李中才^[9]等学者分别运用林业 L-V 共生模型、物元分析法、PSR 模型等方法。米锋^[10]、刘心竹^[11]、袁菲^[12]、王金龙^[13]等分别从国家、省域、区域、县域层面对森林生态安全状况展开评价。综上所述,大多数专家学者们对森林生态安全评价进行了有益探讨,为本研究提供了良好的研究思路,也为本研究奠定了坚实基础,但均有一个局限性:只是单纯的从方法和对象上创新,并没有结合国家对生态环境保护的政策背景。本文创新性的立足生态文明建设背景,为充分反映出人类活动与森林生态系统之间相互作用机理,本研究借用 PSR 模型,构建森林生态安全评价指标体系,运用熵权法对我国 31 个省级行政区(不包括港澳台地区)展开森林生态安全评价,为国家和地区在生态文明建设、生态环境保护与治理等方面提供理论依据。

1 森林生态安全评价指标体系构建

本文创造性将 PSR 模型中响应部分(人类社会维护森林生态系统安全的活动)融入到压力指标体系子系统中,进行森林生态安全评价指标体系构建。通过检索生态文明建设指标(李平星^[14]、杨志华^[15]、刘某承^[16]、刘思明^[17]等)、森林生态安全指标(廖冰^[18]、冯彦^[19]、汤旭^[20]、刘婷婷^[21]等)文献,结合林学、生态学、环境哲学等学科领域的专家意见,筛选出 18 个生态文明建设与森林生态安全有交集的指标,构建森林生态安全评价指标体系,如表 1 所示。

表 1 森林生态安全评价指标体系

Table 1 Forest ecological security evaluation index system

目标层 Target layer	项目层 Project layer	因素层 Factor layer	指标层 Index layer	公式及释义 Formulas and definitions	指标性质 Index properties
森林生态安全评价指标体系 Forest ecological security evaluation index system	森林生态状态指标	资源类 指标	森林覆盖率	森林面积/国土面积;反映森林资源丰富程度的重要指标	正向指标
			林地面积占比	林地面积/国土面积;反映林业发展状况的重要指标	正向指标
			森林单位面积蓄积量	森林蓄积量/森林面积;是森林资源质量评价的重要指标,森林资源质量越好,森林生态系统越安全	正向指标
			单位面积森林蓄积量	森林蓄积量/国土面积;反映森林资源总规模 and 水平	正向指标
			天然林比重	天然林面积/森林面积;能直接反映森林生态安全稳定情况,因为天然林环境适应能力强,有较强的抵御外来风险和自我恢复能力	正向指标

续表					
目标层 Target layer	项目层 Project layer	因素层 Factor layer	指标层 Index layer	公式及释义 Formulas and definitions	指标性质 Index properties
	森林生态压力指标	灾害性指标	森林火灾受灾率	森林火灾受灾面积/森林面积;反映受火灾干扰的森林面积损失程度	逆向指标
			森林病虫害发生率	森林病虫害发生面积/森林面积;森林受病虫害干扰越严重,森林生态系统安全性越差	逆向指标
		综合压力指标	人口密度	年末总人数/国土面积;表示人口密集程度的指标,同等面积人口密度越大,人类活动对森林产生的压力、影响越重,森林生态系统越不安全	逆向指标
			单位 GDP 能耗	能源消耗总量/国土面积;反映能源消费水平和节能降耗状况的主要指标,能源消耗越高,对森林生态系统的干扰越大,森林生态系统越不安全	逆向指标
			城镇化率	年末城镇人口数/年末总人口数;反映城镇人口密集程度指标,城镇化率越高,对林地等资源的需求更大,森林生态系统越不安全	逆向指标
			人类工程占用土地强度	建筑用地面积/国土面积;能较好的反映人类开发利用自然资源对自然生态环境造成的压力及造成的影响	逆向指标的
		人类破坏森林资源压力及强度指标	二氧化硫排放强度	二氧化硫排放总量/国土面积;二氧化硫会产生酸雨,严重影响自然环境、人类生存生活和经济发展,二氧化硫排放强度越大,森林生态系统压力越大,森林生态系统安全性越低	逆向指标
			工业废水排放强度	工业废水排放总量/国土面积;反映工业污染严重的重要指标,工业污染越重,对森林生态系统施加的压力越大,森林生态系统越不安全	逆向指标
			工业固体废弃物排放强度	工业固体废弃物排放总量/国土面积;固体废弃物的排放对土壤造成直接性的破坏,继而影响森林生态安全	逆向指标
		人类维护森林资源压力及强度指标	自然保护区面积占比	自然保护区面积/国土面积;反映人类维护生物多样性强度指标,自然保护区建设面积越大,森林生态系统越安全	正向指标
			新增造林比例	造林总面积/森林面积;反映人类保护生态环境行动的直接指标,间接反映森林质量	正向指标
			单位 GDP 工业污染治理投资强度	工业污染治理投资额/GDP;反映了人类为减轻其破坏环境的行为所作的努力,该指数越大,表示治理污染完成情况越好,对森林生态系统的治理恢复工作越到位	正向指标
			政府林业投资强度	林业投资完成额/森林面积;政府对林业的资金投入反映该地区对林业经营建设的重视程度。投入越大,森林生态系统越安全	正向指标

1.正向指标为指标与森林生态安全呈正向关系;逆向指标为指标与森林生态安全成反向关系; 2.林业投资完成额包括生态建设与保护、林业支撑与保障、林业产业发展、其他投资

2 研究方法

2.1 数据来源及说明

由于本研究基于生态文明建设背景,2007 年是生态文明的提出年(生态文明建设初期),2011 年是生态文明建设被确定为五位一体总体布局前期,2014 年是生态文明建设被确定为五位一体总体布局后期。因此,本研究选取来源于《中国统计年鉴》《中国林业统计年鉴》及《中国环境统计年报》的 2007 年、2011 年与 2014 年 3 年统计数据。

2.2 森林生态安全评价方法

在计算森林生态安全指数的过程中,各指标的权重计算最关键,可以客观的反映 31 个省(市、自治区)森林生态安全状况。具体有以下步骤:

第一,指标数据标准化。由于各指标的计量单位存在差异,需要对指标做无量纲化处理,常用方法有标准差方法、极值差方法和功效系数方法^[22]。本研究采用功效系数法对指标数据作标准化处理,具体公式如下:

$$\text{正向指标的计算公式: } r_{ijt} = \frac{x_{ijt} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$\text{逆向指标的计算公式: } r_{ijt} = \frac{x_{\max} - x_{ijt}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

式中, r_{ijt} 、 x_{ijt} 为第 i 个省第 t 年在第 y 个指标下的标准化值与原始值, $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 分别为第 i 个省的第 y 个指标下的最大值和最小值。

第二,指标权重的计算。一般指标权重的计算方法是主观赋权法与客观赋权法。主观赋权法如层次分析法、最小平方和法等,但赋有人的主观因素,为了避免赋权法中出现人的主观因素,使用客观赋权法中的熵权法。熵值法通过信息熵测算指标的离散程度进行多指标综合评价,有 4 个步骤:

$$\text{①在 } t \text{ 年中计算指标 } j \text{ 下第 } i \text{ 个省指标的比重: } p_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij}; \text{②计算指标 } j \text{ 的熵值: } e_j = - \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij};$$

③计算指标的信息效用价值: $d_j = 1 - e_j$; ④计算得出第 t 年指标 j 的权重: $w_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j$ ^[23], 且满足 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。其中 m 为省级行政区个数, n 为指标个数。通过对各年份中由熵值法计算的权重进行简单的平均,得到指标权重(见表 2)。

第三,森林生态安全指数(I_{Ft})的计算。森林生态安全指数由森林生态状态指数和森林生态压力指数构成。森林生态安全指数(I_{Ft}) = $\sqrt{(1 - Y_{Ft})Z_{Ft}}$, 其中, $Z_{Ft} = \sum_{i=1}^m w_j \cdot z_{ij}$; $Y_{Ft} = \sum_{i=1}^m w_j \cdot y_{ij}$ 。式中, Z_{Ft} 为森林生态状态指数, Y_{Ft} 为森林生态压力指数, I_{Ft} 取值范围为(0,1), 其取值越高,表明森林生态安全状况越好。

2.3 指标权重评价与各省级行政区森林生态安全评价结果

2.3.1 指标权重评价

采用“熵权法”确定的各指标权重如表 2 所示。指标权重越大,表明其对评价结果的影响越大,反之越小。从表 2 可以看出,在森林生态状态指标中,资源类指标所占的权重大于灾害性指标,说明森林资源状况是各省(市、自治区)森林生态安全状况存在差异最主要原因。在森林生态压力指标中,正向指标的权重远大于逆向指标权重,说明人类对森林资源保护活动的正面影响大于人类对森林资源的负面影响。其中,正向指标中,政府林业投资强度、新增造林比例及自然保护区面积占比所占权重较大,表明通过加大对林业发展投资力度,加大造林及自然保护区力度,是人类保护森林资源,提高森林生态安全状况的主要措施。逆向指标中,城镇化率、单位 GDP 能耗指标所占权重较高,说明城镇人口增加及能源消耗增加是森林生态安全压力主要来源。

2.3.2 各省级行政区森林生态状态评价结果

图 1 为各省级行政区的 2007,2011 和 2014 年森林生态状态评价值。从图 1 可知,整体上看,我国几个林业大省,如吉林、福建、云南的森林生态状态评价值较高,天津、上海、山东地区的森林生态状态评价值较低。从生态文明建设背景来看,2007 年与 2011 年相比,我国 31 个省(市、自治区)的森林生态状态整体呈现上升趋势。2011 年与 2014 年比,有 21 个省(市、自治区)森林生态状态呈现下降趋势,只有 10 个省(市、自治区)的森林生态状态呈现逐年上升。结合表 2 中森林状态指标权重结果,出现这种趋势主要是由于森林蓄积量下降导致森林资源质量总体水平有所下降所导致。因此,各地区在生态文明建设后期应注重提高森林资源质量,采取加大造林、管护等力度,注重天然林的保护,有效防止森林火灾、病虫害等对森林资源造成的破坏。

表 2 森林生态安全评价指标权重
Table 2 Forest ecological security evaluation index weight

目标层 Target layer	项目层 Project layer	因素层 Factor layer	指标层 Index layer	权重 Weight
森林生态安全评价指标体系 Forest ecological security evaluation index system	森林生态状态指标	资源类指标	森林覆盖率	0.065
			林地面积占比	0.050
			森林单位面积蓄积量	0.068
			单位面积森林蓄积量	0.095
			天然林比重	0.040
		灾害性指标	森林火灾受灾率	0.015
			森林病虫害发生率	0.015
	森林生态压力指标	综合压力指标	人口密度	0.009
			单位 GDP 能耗	0.024
			城镇化率	0.036
			人类工程占用土地强度	0.015
		人类破坏森林资源	二氧化硫排放强度	0.010
			压力及强度指标	工业废水排放强度
		工业固体废弃物排放强度		0.011
		人类维护森林资源	自然保护区面积占比	0.105
			压力及强度指标	新增造林比例
		单位 GDP 工业污染治理投资强度		0.077
		政府林业投资强度	0.243	
总计			18 个	1

2.3.3 各省级行政区域森林生态压力评价结果

图 2 为各省级行政区的 2007,2011 和 2014 年森林生态压力评价值。由图 2 可知,从各地区的森林生态压力评价值均值来看,北京(0.299)、宁夏(0.298)、上海(0.283)、山西(0.255)、天津(0.236)地区的森林生态压力评价值均值较高,浙江(0.099)、广东(0.110)、安徽(0.126)、福建(0.127)、江西(0.128)地区的森林生态压力评价值均值较低。因此,在这以长江流域为界限,长江流域以北地区森林生态压力评价值均值较高,说明人类活动对森林生态安全状况影响较大;长江流域以南地区的森林生态压力评价值均值较低,说明人类活动对森林生态安全状况影响较小。此外,由图 2 还可以看出,我国大部分省(市、自治区)森林生态压力呈现的是生态文明建设前期上升,后期下降的趋势,说明前期人类活动对森林生态安全状况的影响大于后期。

2.3.4 各省级行政区域森林生态安全总体评价结果

图 3 为各省级行政区森林生态安全评价值。从各省级行政区森林生态安全评价值均值来看,林业大省如吉林(0.484)、福建(0.486)、云南(0.469)、黑龙江(0.451)、四川(0.433)地区的森林生态安全评价值均值较高,江苏(0.222)、山东(0.219)、宁夏(0.216)、上海(0.171)、天津(0.170)地区的森林生态安全评价值均值较低。说明前者的森林生态安全状况较好,应继续保持,后者森林生态安全状况较差,应加强对森林资源重视,

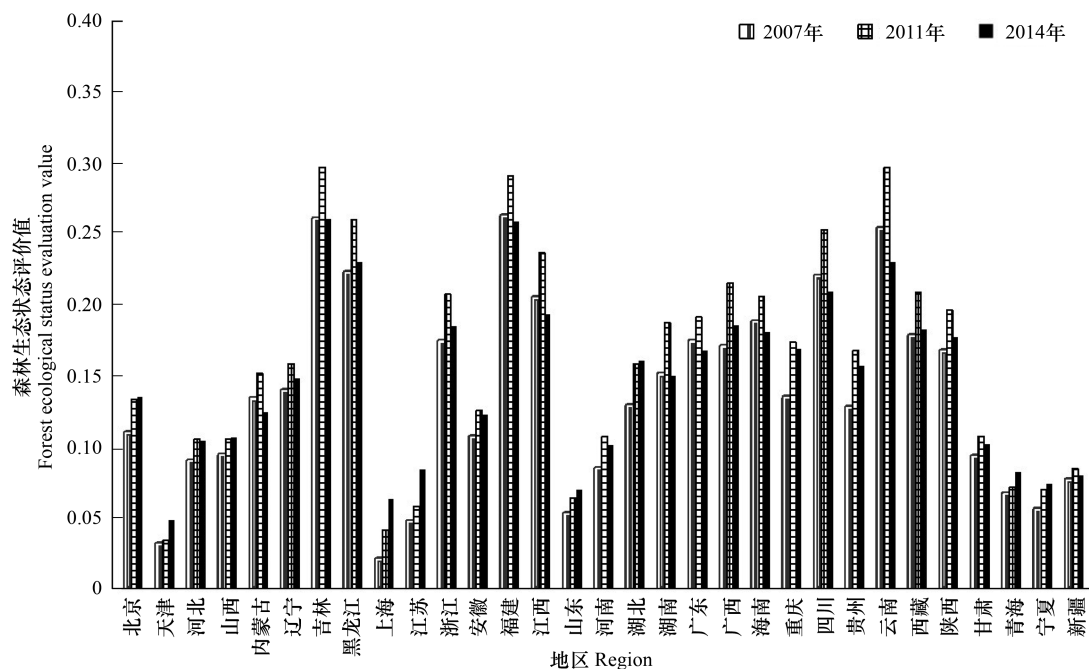


图1 2007,2011 和 2014 年各省(市、自治区)森林生态状态评价价值

Fig.1 Forest ecological status evaluation value of 31 provinces (municipalities and autonomous regions) in 2007,2011and 2014

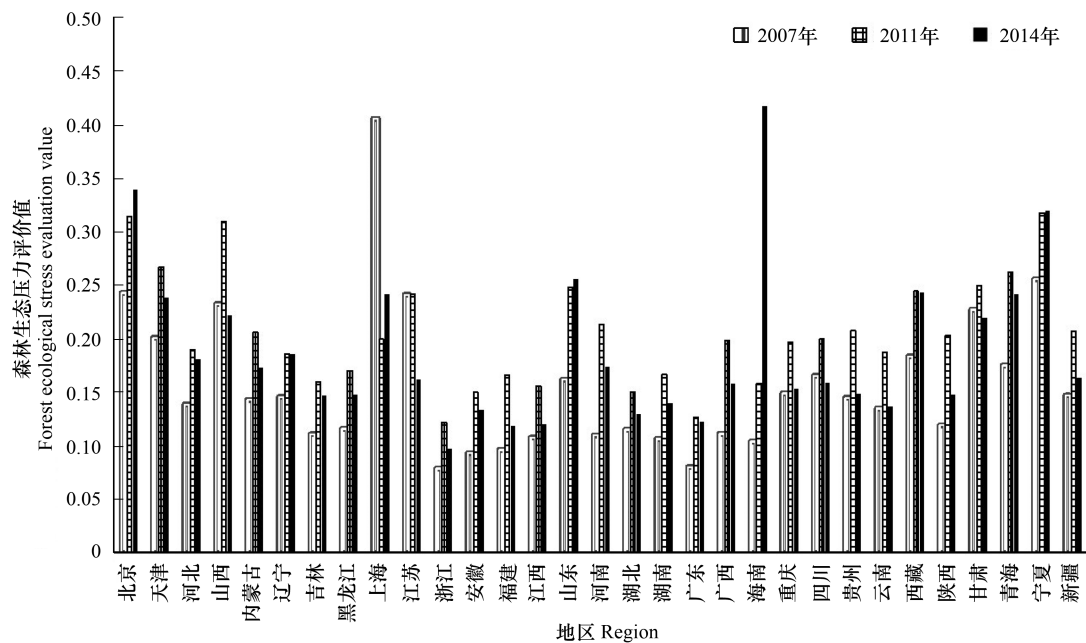


图2 2007,2011 和 2014 年各省(市、自治区)森林生态压力评价价值

Fig.2 Forest ecological stress evaluation value of 31 provinces (municipalities and autonomous regions) in 2007,2011and 2014

强化森林资源保护措施。从生态文明建设背景来看,生态文明建设前期,我国各省级行政区的森林生态安全状况整体呈现上升趋势,在生态文明建设后期,大部分省(市、自治区)森林生态安全状况出现下降趋势。结合图1与图2看,森林生态安全状况总体走势与森林生态状态走势基本吻合,说明评价各省级行政区森林生态安全状况时,森林生态状态占主要,森林生态压力即人类活动次之。因此,森林资源自身健康是保障森林生态安全的基础条件,同时,人类活动给森林生态安全带来的压力也不容忽视。

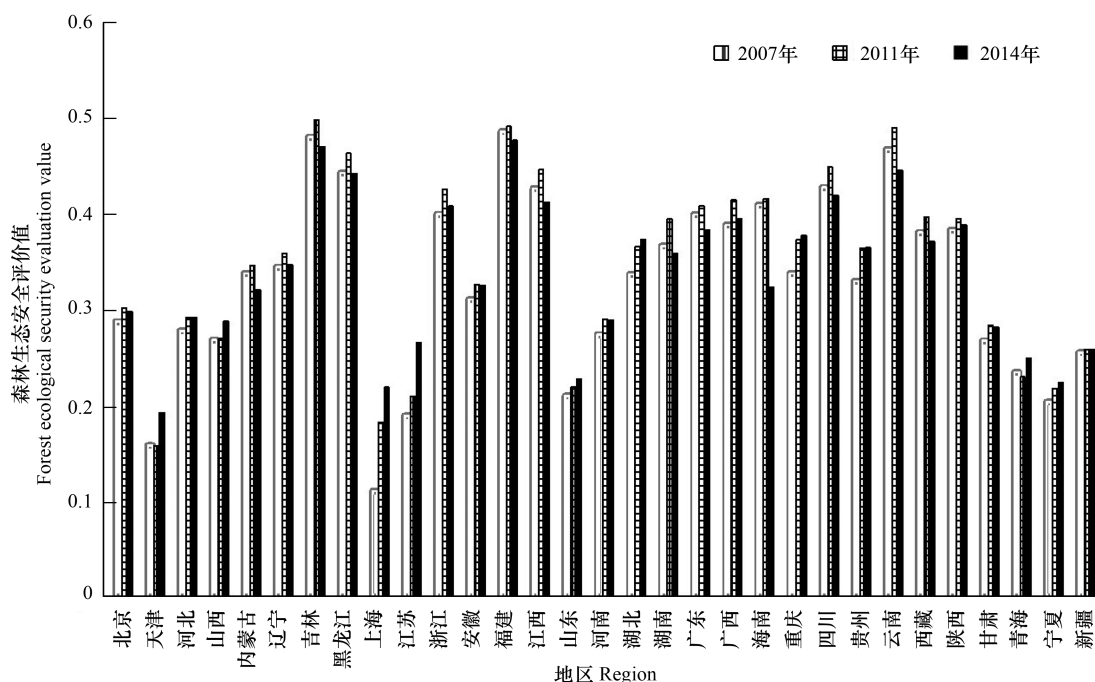


图3 2007,2011 和 2014 年各省(市、自治区)森林生态安全评价价值

Fig.3 Evaluation of forest ecological security of 31 provinces (municipalities and autonomous regions) in 2007,2011and 2014

3 结论与建议

本研究基于生态文明建设背景,构建森林生态安全评价指标体系,借用 PSR 模型,运用熵权法对指标进行客观赋权,通过对我国 31 个省(市、自治区)的森林生态状态、压力及总体评价,并分析了生态文明建设前、后期森林生态安全状况走势与各省级行政区森林生态安全差异状况,得出以下结论:

第一,结合指标权重结果,在森林生态状态指标中,资源类指标权重大于灾害类指标,说明了森林资源状况是各省级行政区的森林生态安全状况存在差异的最主要原因;在森林生态压力指标中,正向指标权重远大于逆向指标权重,表明人类活动对森林生态安全的正面影响大于负面影响。

第二,从各省级行政区的森林生态状态、压力、总体评价结果看,森林生态安全总体评价走势与森林生态状态评价走势基本吻合,表明了评价森林生态安全状况时,森林生态状态的影响最主要,森林生态压力的影响次之。

第三,从各省级行政区的森林生态安全状况走势来看,林业大省如吉林、福建、云南的森林资源丰富,森林资源质量较高,其森林生态状况相对较好。天津、上海、山东等地区由于社会经济发展水平较高、人口增长快等原因,给森林生态系统带来一定的压力;宁夏、青海等地区由于生态条件比较脆弱、森林资源匮乏、森林资源质量不高,其森林生态状况相对较差。

第四,从生态文明建设前、后期来看,我国大部分省(市、自治区)的森林生态安全状况在生态文明建设前期呈上升趋势,生态文明建设后期出现下降趋势。虽然我国各省(市、自治区)的森林生态安全状况较生态文明建设初期均得到良好改善,森林生态系统安全性显著提高,但是在生态文明建设后期出现下降趋势,需引起各省(市、自治区)政府的高度重视,要进一步加大对林业发展的投资力度,强化造林、管护等措施,注重提高森林资源质量,不能在社会经济发展的同时,忽略了森林生态系统的安全问题。

综合以上分析,本研究提出进一步提高森林生态系统安全性的建议供各地区参考:对于本身森林资源丰富、森林质量好的地区,要继续保持,要进一步提高对森林资源保护的重视,建立森林生态安全预警长效机制,有效预防森林生态安全风险,防止生态环境出现恶化。对于森林资源匮乏、森林质量不高的地区,要加大造林

力度,全面提升森林资源质量,进一步加强自然保护区建设,扩大自然保护区面积比例,加大对工业等废弃物排放的治理力度,积极开发、推广清洁生产,推行清洁能源使用,有效控制城镇人口数增长,减轻森林生态系统压力。

参考文献 (References):

- [1] 严耕, 林震, 吴明红. 中国省域生态文明建设的进展与评价. 中国行政管理, 2013, (10): 7-12.
- [2] Stone C, Old K, Kite G, Coopst N. Forest health monitoring in Australia: national and regional commitments and operational realities. *Ecosystem Health*, 2001, 7(1): 48-58.
- [3] Allen E. Forest health assessment in Canada. *Ecosystem Health*, 2001, 7(1): 28-34.
- [4] Woodall C W, Morin R S, Steinman J R, Perry C H. Comparing evaluations of forest health based on aerial surveys and field inventories: oak forests in the northern United States. *Ecological Indicators*, 2010, 10(3): 713-718.
- [5] Bentley T A, Parker R J, Ashby L, Moore D J, Tappin D C. The role of the New Zealand forest industry injury surveillance system in a strategic ergonomics, safety and health research programme. *Applied Ergonomics*, 2002, 33(5): 395-403.
- [6] Tkacz B, Moody B, Castillo J V, Fenn M E. Forest health conditions in North America. *Environmental Pollution*, 2008, 155(3): 409-425.
- [7] 张智光. 基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想. 生态学报, 2013, 33(4): 1326-1336.
- [8] 张频, 张邦文, 蔡海生, 金苏蓉, 韩天一. 江西省林业生态安全物元分析评价. 江西农业大学学报, 2013, 35(4): 791-797.
- [9] 李中才, 刘林德, 孙玉峰, 崔金荣. 基于 PSR 方法的区域生态安全评价. 生态学报, 2010, 30(23): 6495-6503.
- [10] 米锋, 谭曾豪迪, 顾艳红, 鲁莎莎, 张大红. 我国森林生态安全评价及其差异化分析. 林业科学, 2015, 51(7): 107-115.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 王金龙, 杨伶, 李亚云, 张大红. 中国县域森林生态安全指数——基于 5 省 15 个试点县的经验数据. 生态学报, 2016, 36(20): 1-10.
- [14] 李平星, 陈雯, 高金龙. 江苏省生态文明建设水平指标体系构建与评估. 生态学杂志, 2015, 34(1): 295-302.
- [15] 杨志华, 严耕. 中国当前生态文明建设关键影响因素及建设策略. 南京林业大学学报: 人文社会科学版, 2012, 12(4): 60-66.
- [16] 刘某承, 苏宁, 伦飞, 曹智, 李文华, 闵庆文. 区域生态文明建设水平综合评估指标. 生态学报, 2014, 34(1): 97-104.
- [17] 刘思明, 侯鹏. 生态文明建设国际比较研究: 2008-2012. 经济问题探索, 2016, (3): 42-50.
- [18] 廖冰, 张智光. 林业生态安全指标-指数的耦合实证测度研究. 资源科学, 2017, 39(9): 1777-1791.
- [19] 冯彦, 郑洁, 祝凌云, 辛姝玉, 孙博, 张大红. 基于 PSR 模型的湖北省县域森林生态安全评价及时空演变. 经济地理, 2017, 37(2): 171-178.
- [20] 汤旭, 冯彦, 鲁莎莎, 张大红. 基于生态区位系数的湖北省森林生态安全评价及重心演变分析. 生态学报, 2018, 38(3): 886-899.
- [21] 刘婷婷, 孔越, 吴叶, 祝凌云, 张大红. 我国省域森林生态安全研究——基于熵权模糊物元模型. 生态学报, 2017, 37(15): 4946-4955.
- [22] 祝凌云, 张大红. 吉林省长白县森林生态承载力评价. 生态科学, 2016, 35(5): 176-182.
- [23] 梁伟, 朱孔来. 生态环境可持续发展能力研究——以长江流域为例. 经济问题探索, 2011, (8): 159-165.