

DOI: 10.5846/stxb201502220376

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): - - .

Wang J L, Yang L, Li Y Y, Zhang D H. The country forest ecological security index of china: empirical data from fifteen experimental unit countries in five provinces. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(20): - - .

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

王金龙^{1,2}, 杨 伶^{1,2}, 李亚云¹, 张大红^{1,*}

1 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083

2 中南林业科技大学涉外学院, 长沙 410004

摘要:生态安全与国防安全、经济安全、金融安全等已具有同等重要的战略地位,并成为未来社会经济安全的主要约束。森林作为陆地生态系统的主体,其安全程度将影响地球的生态平衡,并决定人类社会经济的可持续发展和未来资源的永续利用。基于森林生态系统与人类社会系统交互的内在机理,从森林生态的自身状态(生态状态指数 ECI)与人类活动产生的压力(生态压力指数 EPI)两个视角全面考量森林生态系统的安全程度,在此基础上提出森林生态安全状态—压力框架模型,最终设计了森林生态安全指数(ESI)的方法体系。为验证森林生态安全指数理论,本研究选取了 5 省 15 个县为森林生态安全评价试点县域,对其 1999—2013 年森林生态安全状况进行评价,以期对县域森林生态安全评价以及在空间和时间维度上的对比研究提供帮助。

关键词:森林生态安全;森林生态安全指数;状态-压力模型;指标体系

The country forest ecological security index of china: empirical data from fifteen experimental unit countries in five provinces

WANG Jinlong^{1,2}, YANG Ling^{1,2}, LI Yayun¹, ZHANG Dahong^{1,*}

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

2 College of Swan, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

Abstract: Ecological security is as important as national security, economic security, and financial security, and it has become the main constraint of future socio-economic security. The security of the forest, as the main part of a terrestrial ecosystem, has a significant influence on ecological balance and determines the sustainability of the social economy of humans and the availability of future resources. Based on the interaction between the forest ecosystem and human society, this paper evaluated the security of the forest ecosystem from two perspectives: the condition of forest ecology (Ecological Condition Index, ECI) and pressure from human activities (Ecological Pressure Index, EPI). We used a forest ecological security state-pressure model, and employed the forest ecological security index (ESI) methodology, to verify ESI theory from fifteen experimental unit countries in five provinces.. The annual forest ecological security index (1999—2003) was evaluated and applied to relevant studies, such as the evaluation of the Country Forest Ecological Security Index, and the comparative analysis of temporal and spatial patterns.

Key Words: forest ecological security; ecological security index; state-pressure model; index system

基金项目:国家林业局 2014 年林业重大问题调研课题(ZDWT201415);北京市园林绿化局专项基金(2013HXFWJGXY010);北京林业大学经济管理学院研究生专项基金(201307)

收稿日期:2015-02-22; 网络出版日期:2015-00-00

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

20 世纪后半叶以来,随着世界人口剧增和经济高速发展,全球变暖、臭氧层破坏、大气污染与酸雨、森林资源退化、生物多样性丧失等全球规模的环境问题越来越严重^[1]。在全球气候变化和人类活动的双重作用下,生态系统服务功能的下降和退化,将引起人类生存环境无可挽回的逆转^[2]。生态安全已经引起社会的普遍关注^[3-4],并成为生态学、环境科学、经济学和地理学等相关学科的研究热点之一。森林生态系统是陆地生态系统的主体,在调控全球气候变化和碳循环方面起着重要作用^[5],占陆地总面积 30% 的森林^[6]其土壤碳储量和森林植被分别约占陆地生态系统的 57%^[7]和 77%^[8]。由于森林生态系统相对脆弱,易受自然和人类的干扰^[9],使得森林遭破坏、资源过度利用、森林生物量锐减等现象频发,从而严重影响森林生态系统的健康发展和自然生态环境的良性循环^[10]。因此,森林生态系统的特性和森林生态问题的突显决定了森林生态安全在生态安全中处于首要和核心地位。

目前,国内外森林生态安全领域的研究主要集中于森林生态系统自身的健康性研究、生态安全与其他热点问题的相关研究及生态安全评价研究。森林生态健康研究主要源于森林衰退现象(如不正常脱叶,冠层稀疏等)、自然灾害、森林火灾和病虫害等造成的损失加剧等问题^[11-12],被寄希望于作为有效管理森林资源的方式和恢复退化森林生态系统的措施所在。但森林生态健康研究着眼于系统自身的状况^[13-14],适用于林分尺度的微观研究;而森林生态安全评价将自然、经济和社会生态安全看成一个复合生态系统的整体安全问题^[15],着眼于区域尺度的宏观研究。国内外学者在森林生态安全指标体系方面进行了大量的研究探讨,目前有代表性的主要有 PSR^[16-17]、DSR 和 DPSIR^[18-19]等框架模型,其中基于 PSR 模型的森林生态安全评价研究居多^[20-21];安全评价研究则主要是在建立指标体系的基础上,运用模型进行测度、评价和分析^[22]。已有森林生态安全评价的研究主要集中于指标体系构建,研究范围主要集中在某一特定区域^[23-24],时间维度较短,使得森林生态安全评价无法在空间和时间维度上进行对比分析。本文在研究森林生态系统与人类社会经济系统的内在机理的基础上,全面揭示森林生态安全的内涵构成,并据此设计森林生态安全指数(ESI),对我国 5 省 15 县 1999—2013 年的森林生态安全进行分析。

1 森林生态安全指数(ESI)的设计思路

迄今为止,学术界对生态安全的基本定义仍存在争议^[25],归纳相关研究成果可大体分为狭义和广义两种理解。狭义森林生态安全是指在整个生态系统内部协调发展的前提下,森林生态系统自身的安全,即森林生态系统自身的健康、完整和可持续性^[26]。广义森林生态安全是指在一定的时空范围内,森林生态系统在维持其内部结构和功能完整的前提下,森林生态系统提供的生态服务能满足人类生存和社会经济的可持续利用,使人类生存不受威胁的一种状态^[27]。

在目前的森林生态安全界定中,即使是广义森林生态安全,也只考虑了森林生态系统为人类提供生态服务的安全性,而没有考虑人类经济活动对森林生态系统构成威胁的反向安全性^[28]。同时,人类为维护生态系统安全所作出的努力也应纳入生态安全的范畴。因此,应从森林生态系统与人类社会系统交互的内在机理出发,全面考量森林生态安全的内涵。森林生态系统与人类社会系统交互的内在机理(如图 1 所示)可概括为以下三个方面:(1)森林生态系统的结构和过程(能量流动、物质循环和信息传递)决定森林生态系统的服务功能^[29],根据人类社会对森林生态系统资源的需求,森林资源以物质或非物质的形式进入人类社会系统(图 1 中 Profit 箭头所示),为人类的生存提供各种服务。(2)急速增长的社会需求和高强度的人类活动使得森林生态系统所承载的压力不断增加(图 1 中黑色 Effect 箭头所示),导致森林生态系统资源的数量或结构发生变化。(3)为缓解森林生态系统所承载的压力,政府相关部门通过政策和行动来管理和保护森林资源(图 1 中绿色 Effect 箭头所示),如治理环境、保护森林等,但其强度远远低于森林生态系统所承载的压力。

依据森林生态安全与人类社会系统交互的内在机理,构建 ESI-PS 框架模型,其构成如下:(1)森林生态安全状态子系统,从森林生态系统向社会系统提供的资源和服务功能角度出发,来评价森林生态系统的自身安全状态。(2)森林生态安全压力子系统,从人类活动对森林生态系统产生的压力角度出发,来评价森林生

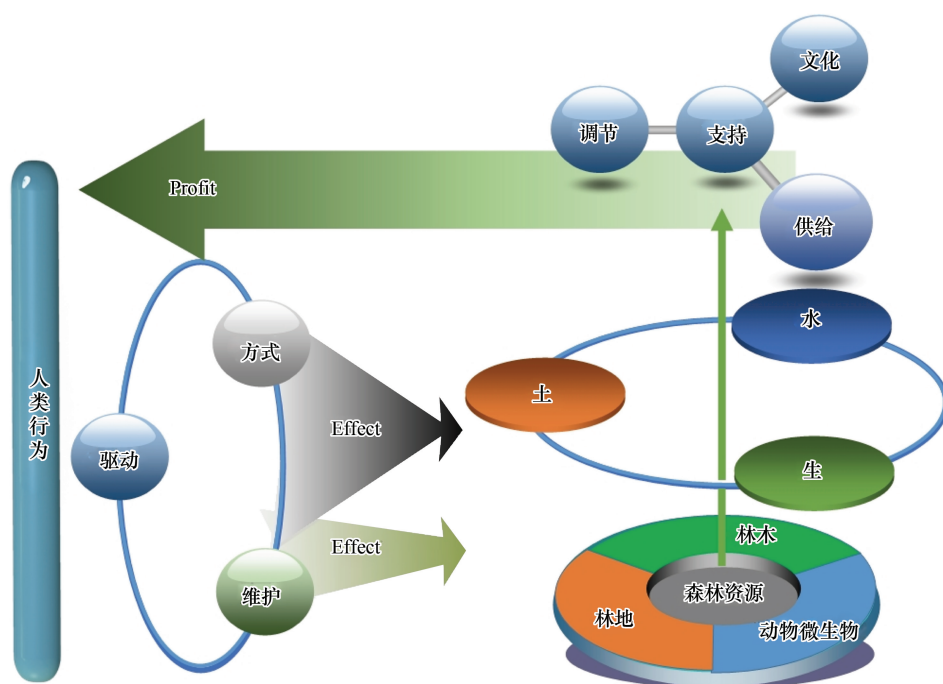


图 1 森林生态系统与人类社会系统交互的内在机理

Fig.1 The internal mechanism of interaction between forest ecosystem and human social system

态系统所承载的压力,由于人类维护森林生态系统也属于人类活动的范畴,可将人类管理和保护森林生态系统的各种行为视作压力的反向指标,纳入压力范畴。

综上所述,为全面评价中国县域森林生态安全,本研究基于 ESI-PS 框架模型,构建森林生态安全指数评价体系,其中总指数为森林生态安全指数(ESI),主要评价森林生态系统自身状况和所承载压力的综合安全表现。其内容主要包括两部分:一是森林生态安全状态指数(ESI),主要评价森林生态系统自身的安全状况;二是森林生态安全压力指数(EPI),主要评价森林生态系统所承载的压力及人类的维护行为。

2 研究方法

2.1 森林生态安全指数(ESI)的评价指标体系

本文借鉴联合国经济合作开发署与经济合作发展组织(OECD)倡导的 PSR 模型,并将响应(人类社会维护生态系统安全的活动)作为逆指标纳入压力范畴,进行森林生态安全评价指标的构建。具体步骤和方法如下:首先采取频度分析法,通过文献检索,对森林生态安全状态子系统和压力子系统相关的生态安全评价指标进行统计分析,初步选择那些在文献中出现频度较高的指标;其次采用问卷形式进行专家咨询,征询林业经济、林学、生态学等学科领域多名专家;最后综合专家意见和县域生态安全(林业)评价的特征,得到县域森林生态安全指标体系,如表 1 所示。

(1) 森林生态安全状态指标

森林资源是评价森林生态系统状态最直接的指标,森林面积、蓄积及其结构对森林生态系统中的生物多样性、种群大小和生态系统服务都有重要的意义。物种——面积关系描述的是物种数量随生境面积增加而变化的规律,是群落生态学研究的一个基本问题,被认为是生态学中少有的几个真正的定理之一^[30]。森林蓄积反映林分生产力,与林木的林龄、种类组成和其他生物学特征密切相关^[31]。生态系统复杂性研究内容涉及生态系统内不同层次上的结构和功能,是生态系统作为复杂自组织适应系统的基础和必要条件,脱离了复杂性,生态系统将成为单一的非自适应性系统^[32]。为使得各指标在各县域之间具有可比性,本研究选取森林覆盖率和森林单位面积蓄积量作为森林资源量指标,选取乡土树种比重、天然林比重和异龄林比重作为森林生态

系统复杂性指标。

生态系统服务产生于生态系统的组分、过程和功能及它们之间的相互作用^[29], 高效生态服务的产出必须具备稳定的生态系统作为基础。稳定性是生态系统安全的重要特征, 表现为对外界干扰或者系统内部扰动的抗性与自我恢复能力, 本研究主要选取森林火灾受灾率和森林病虫害受灾率等灾害指标来描述森林生态系统的稳定性。

表 1 森林生态安全指标体系

Table 1 Indicators for Forest Ecological Safety				
目标层	一级指标	二级指标	单项指标	指标性质
Target Layer	Level Indicators	Secondary Indicators	Individual Indicators	Index Properties
森林生态安全 Forest ecological safety	森林生态安全状态 A ₁	资源量 B ₁	森林覆盖率 C ₁	正指标
			森林单位面积蓄积量 C ₂	正指标
			乡土树种比重 C ₃	正指标
			天然林比重 C ₄	正指标
		灾害性 B ₃	异龄林比重 C ₆	正指标
			森林火灾受灾率 C ₆	逆指标
			森林病虫害受灾率 C ₇	逆指标
	森林生态安全压力 A ₂	压力驱动 B ₄	森林人口密度 C ₈	逆指标
			单位面积 GDP 指数 C ₉	逆指标
			森林采伐强度 C ₁₀	逆指标
		资源消耗 B ₅	森林旅游开发强度 C ₁₁	逆指标
			人类工程占用土地指数 C ₁₂	逆指标
			二氧化硫排放强度 C ₁₃	逆指标
		资源维护 B ₇	单位森林投资强度 C ₁₄	正指标

正指标为单项指标与森林生态安全呈正向关系;逆指标为单项指标与森林生态安全成反向关系

(2) 森林生态安全压力指标

生态系统是人类控制之下为人类提供生命支持的一个最有效的利用自然资源的系统, 当前人类对生态系统的利用强度是 50 年前的 3.5 倍, 超过承载力的 20%^[33]。人类活动驱动下森林生态系统格局以及对自然资源消耗强度、频度的增加, 对森林生态系统的变化产生了深远的影响, 已影响到生物圈的生命承载力。人类对自然界的活动具有较强的主动性, 其驱动机制与区域的人口水平、经济水平、自然条件等因素紧密相关^[34], 产生了一系列资源消耗和环境污染等问题, 使得森林生态系统承载的压力增大。而人类活动的维护行为体现了人类保护自然, 尊重自然的理念, 一定程度上能缓解森林生态系统承载的压力。本研究主要选取压力驱动、资源消耗、环境污染和资源维护作为森林生态安全压力指标。

2.2 指标权重的确定方法

在森林生态安全指数计算过程中, 各指标要素权重的确定是事关森林生态安全评价成效的关键。指标权重的确定有基于功能驱动的赋权法(如层次分析法)和基于差异驱动的赋权法(如熵权法)^[35]。为了得到能同时体现主客观信息的权重, 本研究首先分别采用熵权法和层次分析法确定指标初始权重, 之后用组合赋权法进行综合得到指标的最终权重。权重计算方法及步骤如下:

(1) 基于熵权法的权重确定方法

熵权法是一种客观赋权法。在信息论中, 熵是系统无序程度的度量, 它还可以度量数据所提供的有效信息量^[36]。用熵权法来确定指标的权重时, 数据序列变化较小的指标, 熵值较大, 说明该指标提供的信息量较小, 其权重较小; 反之, 数据序列变化较大的指标, 熵值较小, 说明该指标提供的信息量较大, 其权重较大。

第一步, 定义熵。设在一个评价系统中, 有 m 个评价对象和 n 项指标, Z_{ij} 为第 i 个评价对象(试点县域)在第 j 项指标上标准化后的观测值。第 j 个指标的熵定义为:

$$e_j = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}}{\ln m} \quad (1)$$

其中, $P_{ij} = Z_{ij} / \sum_{i=1}^m Z_{ij}$, 当 $P_{ij} = 0$ 时, 令 $P_{ij} \ln P_{ij} = 0$ 。

第二步, 定义熵权。第 j 个指标的熵权定义为:

$$P_j = g_j / \sum_{j=1}^n g_j \quad (2)$$

其中, $g_j = 1 - e_j$, 为第 j 项指标的差异系数; $0 \leq P_j \leq 1$, $\sum_{j=1}^m P_j = 1$ 。

(2) 基于层次分析法的权重确定方法

层次分析法是由美国数学家萨蒂 (T. L. Saaty) 于 20 世纪 70 年代提出的一种实用多目标决策分析方法。其基本思路是:

第一步, 根据 ESI 评价指标体系建立递阶层次结构模型。

第二步, 建立权重判断矩阵。为了保证权重获取的客观性, 本研究根据 Saaty 的 1—9 标度法慎重选择多位专家对本研究的各项指标进行赋值打分^[37]。在各层次指标的因子的隶属度确定后, 在各层因子中两两进行比较, 构造出比较判断矩阵:

$$B = (b_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1j} & \cdots & b_{1m} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ b_{i1} & & b_{ij} & & b_{im} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nj} & \cdots & b_{nm} \end{bmatrix}$$

式中, B_j 为当前层的评价指标, b_{ij} 为 B_j 相对于 B_i 的重要度。

第三步, 计算单准则条件下指标的权重系数。运用特征根法计算第 j 项指标的权重系数, 并将其归一化得到某一层次中相应指标对上一层某个指标的权重。其计算公式如下:

$$q_j = n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n b_{ij}} / \sum_{j=1}^n (n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n b_{ij}}) \quad (3)$$

第四步, 进行一致性检验。为保证所得权重的正确性和合理性, 在计算权重后应对每个判断矩阵进行一致性检验, 没有通过检验的矩阵应反馈给专家对指标评分进行适当修改。

(3) 组合权重的确定方法

本研究组合权重采用“乘法”集成法:

$$W_j = p_j q_j / \sum_{j=1}^m p_j q_j, j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4)$$

其中, p_j 、 q_j 分别为熵权法和层次分析法计算得到的指标 j 的权重, w_j 为组合权重。

2.3 森林生态安全评价方法

本研究采用综合评价法 (构建森林生态安全指数) 来评价 5 省 15 试点县的森林生态安全, 森林生态安全指数 (ESI) 主要由森林生态安全状态指数 (ECI) 和压力指数 (EPI) 综合而成。由此, 运用几何平均法, ESI 的计算公式如下:

$$ESI_t = \sqrt[2]{ECI_t \times (1 - EPI_t)} \quad (5)$$

其中, ESI_t 表示森林生态安全综合指数, 取值范围为 0—1, 其取值越高, 表明森林生态安全状况越好; ECI_t 为

第 t 个县的森林生态安全状态指数, 计算公式为 $ECI_t = \sum_{j=1}^s W_j Z_{ij}$ (其中, Z_{ij} 表示第 j 个状态指标的标准化数

值, W_j 表示第 j 个指标的权重); EPI_t 为第 t 个县的森林生态安全压力指数, $EPI_t = 1 - \sum_{j=s}^n W_j Z_{ij}$ (其中, Z_{ij} 表示第 j 个压力指标的标准化数值, W_j 表示第 j 个指标的权重)。

3 森林生态安全指数试点研究

3.1 数据来源及处理

3.1.1 试点县的选取与数据的来源

基于中国森林生态系统空间分布格局图和中国生态功能区划综合方案图,并结合各县(市、区)相关部门的管理协调能力与科学研究水平,本研究选取既具有重要生态服务功能,又具有较强管理能力和较高科研水平的县(市、区),作为森林生态安全指数评价的试点区域。本研究选取五个省的十五个试点县分别为:吉林省长岭县、柳河县和长白县;浙江省淳安县、遂昌县和三门县;湖北省罗田县、京山县和公安县;贵州省修文县、黎平县和安龙县;青海省乐都县、都兰县和刚察县,基本涵盖中国东北地区、东南沿海地区、中部偏南地区、云贵高原地区、西北地区,形成圈状分布。

本文依据森林生态系统与人类社会系统交互的内在机理和国内外相关的生态安全评价方法,构建的森林生态安全指数(ESI),并对所选取的试点县域进行森林生态安全评价。所有数据主要来源于《中国林业生态安全指数研究》课题组试点研究阶段,数据收集过程主要包括:

(1)通过整理指标确定原始数据指标,所需数据内容涉及林业局、统计局、环保局、气象局、国土局等多个部门,明确各个数据的来源部门,于2014年10月发给各试点县林业主管部门进行为期两周的数据收集。数据主要来源于我国历次森林资源清查、各试点县域统计年鉴及林业局、环保局、气象局和国土局等部门的工作年报等。

(2)针对前期反馈的数据情况,课题组于2014年11—12月对5省15试点县进行林业生态安全调研,走访林业局、统计局、环保局等相关部门。一方面对已有数据进行核实,确保其准确无误,另一方面针对缺失数据,进行逐一收集,如:乡土树种林分面积、异龄林林分面积、和林业投资额等原始指标数据。

3.1.2 原始指标数据矩阵

通过对5省15试点县的1999年—2013年数据资料的整理,计算出ESI评价指标体系(如表1所示)中的各项指标。设ESI评价体系有 m 个待评价对象(本文中 $m=255$),指标体系包含 n 项指标(本文中 $n=14$),由试点县域数据可以得到一个 $m \times n$ 阶的原始指标数据矩阵:

$$X = (X_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

3.1.3 指标数据标准化

对于森林的状态(压力)指标数据,为了消除指标数据量纲的影响,用功效系数对所有指标数据进行无量纲标准化处理。对于第 j 项指标的 m 个样本数据 $X_{ij}(i=1,2,\cdots,m)$,功效系数的计算公式为:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_s}{X_h - X_s} \quad (6)$$

式中, X_h 和 X_s 分别为各项指标的满意值和不允许值。本研究中,对状态指标中的正指标,满意值是最大值,不允许值是最小值;而逆指标则相反。对于压力指标中的正指标,满意值是最小值,不允许值是最大值;而逆指标则相反。这样得到的功效系数的取值范围是: $0 \leq X_{ij} \leq 1$ 。

3.2 指标权重的赋值

本研究采用组合权重赋权法对各项指标的权重进行赋值。首先,为剔除某些极端数据的影响,本研究选

取 5 省 15 试点县标准化后的指标数据的历年(1999—2013 年)平均值作为熵权法的计算数据,根据上述计算步骤分别得到各项指标的熵值及熵权(如表 2 中的 e_j 和 p_j)。其次,本研究利用层次分析法软件 yaahp0.5.3,根据森林生态安全指数的评价指标建立递阶层次结构模型,确定各层次指标的因子的隶属度,进行两两比较并构造出比较判断矩阵,并通过数学运算可计算出最低层相对于最高总目标相对优劣的排序权值,与此同时进行一致性检验。鉴于本文篇幅所限,对层次分析法的计算过程不一一罗列,其结果如表 2 中的 q_j 。最后,根据“乘法”集成法将熵权法权重和层次分析法权重进行组合,得到最终的组合权重(如表 2 中的 w_j)。

表 2 指标权重计算结果
Table 2 The calculation results of index weight

目标层 Target layer	单项指标 Individual indicators	熵权法(Entropy Method)		层次分析法(AHP)	组合权重 (w_j)
		熵值(e_j)	权重(p_j)	权重(q_j)	
森林生态安全 Forest ecological safety	森林覆盖率 C1	0.9367	0.0555	0.1547	0.1285
	森林单位面积蓄积量 C2	0.8549	0.1272	0.0516	0.0983
	乡土树种比重 C3	0.9267	0.0643	0.0655	0.0630
	天然林比重 C4	0.8448	0.1361	0.0327	0.0666
	异龄林比重 C5	0.9348	0.0572	0.0655	0.0561
	森林火灾受灾率 C6	0.9664	0.0295	0.065	0.0287
	森林病虫害受灾率 C7	0.9687	0.0274	0.065	0.0267
	森林人口密度 C8	0.8827	0.1029	0.0811	0.1249
	单位面积 GDP 指数 C9	0.9416	0.0513	0.0811	0.0623
	森林采伐强度 C10	0.8985	0.089	0.0741	0.0987
	森林旅游开发强度 C11	0.9589	0.0361	0.0588	0.0318
	人类工程占用土地指数 C12	0.9297	0.0617	0.0467	0.0431
	二氧化硫排放强度 C13	0.9536	0.0407	0.0965	0.0588
	单位森林投资强度 C14	0.8618	0.1212	0.0616	0.1118

3.3 森林生态安全评价结果及分析

3.3.1 试点县森林生态安全评价结果

各试点县历年平均的森林生态安全指数(ESI)的差异显著(如图 2 所示),介于 0.39–0.8 之间,最高水平为浙江省淳安县(ESI 均值为 0.7929),最低水平为湖北省公安县(ESI 均值为 0.4126),各试点县的综合平均为 0.5970,高于 0.5。各试点县域的森林生态安全指数平均水平由高到低的顺序依次为:淳安县>长白县>三门县>遂昌县>罗田县>柳河县>乐都县>京山县>安龙县>都兰县>黎平县>修文县>长岭县>刚察县>公安县。其中,淳安县、长白县、遂昌县和三门县四个试点县的森林生态安全指数(ESI)均值达到 0.7 以上,占试点县个数的 26.67%。罗田县、柳河县、乐都县、京山县、安龙县、都兰县、黎平县、修文县和长岭县九个试点县的森林生态安全指数(ESI)均值分布在 0.6–0.7 之间,占试点县个数的 60%。刚察县和公安县三个试点县的森林生态安全指数(ESI)均值分布在 0.5–0.6 之间,占试点县个数的 13.33%。

3.3.2 试点县生态安全等级的划分

由于森林生态安全没有统一的分类标准,本研究采用聚类法对森林生态系统的安全等级进行划分。聚类分析方法是研究“物以类聚”的一种统计分析方法,能够将一批样本数据或变量按照性质上的亲疏程度在没有先验知识的情况下自动分类,每一个类是具有相似性质的个体的集合,不同类之间有着明显的异质性。系统聚类法是目前在实际中运用最广的一种聚类方法。其基本思想是:首先将 n 个样本分成 n 类,每个样本自成一类,然后每次将具有最小距离的两类合并,合并后重新计算类与类之间的距离,这一过程一直持续直到所有的样本归为一类为止。确定类与类之间的距离有多种方法,常见的有最短距离法、最长距离法、类平均法、重心法、中间距离法和离差平方和法。

本研究通过 R 程序对 1999—2013 年 15 个试点县的森林生态安全指数(ESI)进行系统聚类。将 15 个试

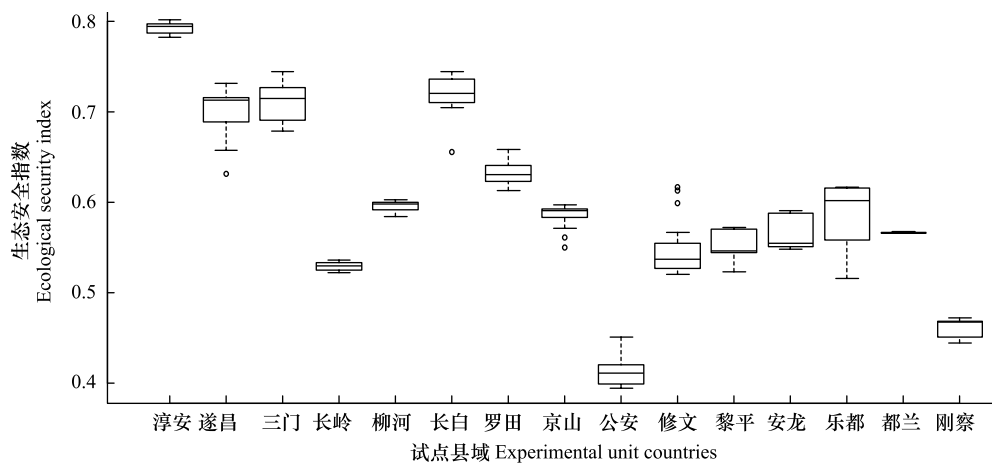


图 2 试点县域森林生态安全指数结果
Fig.2 The ESI results of experimental unit countries

试点县作为 15 个样本,历年数据作为观测值,为使同类县具有最大的相似性,不同类县具有明显的异质性,运用离差平方和法计算各样本之间的距离,并将距离最小的县合并,得到聚类结果(如图 3 所示)。结合试点县森林生态安全状况,本次研究选择域值等于 1 时为分类界限,将试点县域分为三类(如表 4 所示)。

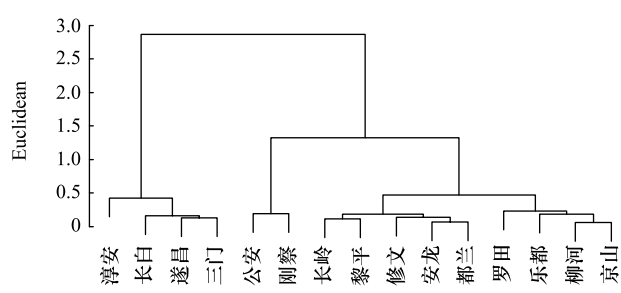


图 3 各试点县域森林生态安全综合指数聚类图
Fig.3 The dendrogram of ESI for experimental unit countries

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究基于森林生态系统和社会系统之间交互的内在机理,设计了森林生态安全指数体系,建立了县域森林生态安全指标体系,运用了组合赋权法进行指标赋权,并根据 15 个试点县的经验数据采用综合评价法对森林生态安全指数进行计算和分析。其结论如下:

表 4 聚类结果分析表
Table 4 The analysis table of dendrogram results

类别 Category	试点县 Experimental unit countries	历年均值 Means	等级 Rating	等级说明 Level description
第一类 First Class	淳安县、长白县、遂昌县、三门县	0.7343	三级	表明该县域森林生态安全状况较好
第二类 Second Class	长岭县、黎平县、修文县、安龙县、都兰县、罗田县、乐都县、柳河县、京山县	0.5731	二级	表明该县域森林生态安全状况一般
第三类 Third Class	刚察县、公安县	0.4369	一级	表明该县域森林生态安全状况较差

(1)1999 年—2013 年森林生态安全状况较好的县域是浙江淳安县、吉林长白县、浙江遂昌县和浙江三门县,森林生态安全指数历年均值为 0.7343,安全等级为三级,这与浙江省和吉林省森林资源的丰富程度密切相关。具体来看,浙江淳安县、浙江三门县、吉林长白县森林生态安全指数整体高于 0.65,淳安县 ESI 更是高于 0.78,浙江遂昌县除 2006 年 ESI 低于 0.65 之外,其他年份均高于 0.65。淳安县森林生态安全指数最高的原因在于该县已列为浙江省重点生态功能区示范区建设试点,优越的林业资源和强有力的保护措施使得其森林生态安全情况有较稳定的保障和发展趋势。

(2)森林生态安全状况一般的县域包括 9 个试点县,分别是吉林长岭县、贵州黎平县、贵州修文县、贵州

安龙县、青海都兰县、湖北罗田县、青海乐都县、吉林柳河县、湖北京山县,森林生态安全综合指数历年均值为 0.5731,安全等级为二级。具体而言,湖北罗田县和吉林柳河县 ESI 处于(0.58–0.66)区间,其中罗田县指数值高于柳河县;青海乐都县年际波动较大,2011 年以前 ESI 处于(0.60–0.62)区间,2011 年之后 ESI 开始低于 0.60;青海都兰县、贵州安龙县、贵州黎平县和湖北京山县 ESI 整体处于 0.55 水平,年际波动较小,特别是都兰县年际微小波动;吉林长岭县和贵州修文县 ESI 处于(0.52–0.54)区间,但修文县自 2010 年指数明显增高,指数值超过 0.59。青海两试点县能归为此类的原因在于都兰县和乐都县有大面积的灌木林(按中国林业统计年鉴的统计口径,森林面积含国家特别规定的灌木林面积),使得两试点县的森林资源丰富程度大幅增加。

(3)森林生态安全状况较差的县域是青海刚察县和湖北公安县,森林生态安全指数历年均值为 0.4369,安全等级为一级。青海刚察县和湖北公安县 ESI 总体处于(0.39–0.48)水平,年际有小幅波动,其中刚察县指数值高于公安县。湖北公安县森林生态安全综合指数靠后的原因在于该县森林资源相对匮乏,且所承载的压力较大。

4.2 讨论

本文利用森林生态系统与人类社会系统之间交互的内在机理,将森林生态安全指数分为状态和压力子系统,并据此来构建森林生态安全指标体系。不过,该指标体系应进一步完善,如没有考虑影响森林生态安全的“人类活动产生的压力”以外的因素(如气候变化)。生态学过程往往跨越很大的空间和时间尺度,并且不同的时间和空间尺度差异很大,同时系统与过程的性质及其对各种驱动力的敏感性在不同尺度上可能并不一致,不能假定在某一尺度上得到的结果会自然的在另一尺度上有效^[38–39]。因此,下一步的研究应进一步探讨如何全面的构建评价指标体系和充分考虑指标尺度(时间分辨率和空间分辨率)的问题,从而构建具有实际应用价值的县域森林生态安全指标体系。

在县域森林生态安全指数的计算过程中,本文采用综合评价法对 5 省 15 试点县的森林生态安全进行评价,但这并不是唯一的评价方法,还有其它方法可以考虑,如生态学模型^[40]。本次县域森林生态安全研究原始数据主要来源于各试点县的森林资源清查数据和统计年鉴等统计数据。森林生态安全需进一步森林生态系统与人类社会系统之间交互的内在机理,倚重单一的学科难以达到研究目的,因而构建跨学科或多学科的森林生态安全科学研究体系势在必行。在此过程中,兼具综合性和区域性特质且具有“3S”信息获取与空间分析方法的地理学必将发挥重要作用^[41]。下一步的研究应从地理学角度,在运用统计数据评价的基础上考虑遥感数据,以期更科学地评价县域森林生态安全,同时也使评价结果的检验得以实现。

最后,由于人类对森林生态系统的重要性缺乏充分认识,对生态系统的长期压力和破坏,导致生态系统服务能力退化^[9]。联合国千年生态系统评估发现,全球生态系统服务在评估的 24 项生态服务中,有 15 项(约占评估的 60%)正在退化,生态系统服务能力的丧失和退化将对人类福祉产生重要影响,威胁人类的安全与健康,直接威胁着区域乃至全球的生态安全^[42]。生态安全与可持续发展,乃至人类福祉有着密切的关系。所以,下一步的研究应该从人类福祉角度来分析森林生态安全的影响,以便建立一套有效的生态安全与人类福祉协同发展的策略体系。

参考文献(References):

- [1] 于贵瑞. 人类活动与生态系统变化的前沿科学问题. 北京: 高等教育出版社, 2009, 3: 1–399.
- [2] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, Melillo J M. Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277(5325): 494–499.
- [3] Soffer A. Environmental quality and national security. *Water Science & Technology*, 2000, 42(1/2): 361–366.
- [4] Farmer M C. Environmental consequences of social security reform: a second best threat to public conservation. *Ecological Economics*, 2005, 53(2): 191–209.
- [5] 贺金生. 中国森林生态系统的碳循环: 从储量、动态到模式. *中国科学: 生命科学*, 2012, 42(3): 252–254.
- [6] FAO. Global Forest Resources Assessment 2005. Rome: FAO, 2006.
- [7] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, Stangenberger A G. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 1982, 298(5870): 156–159.
- [8] Houghton R A. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2007, 35(1): 313–347.

- [9] 傅伯杰. 生态系统服务与生态安全. 北京: 高等教育出版社, 2013: 134-136.
- [10] Wang B, Lu S W, Li H J, Chang W, Yu C Q, Xue P P. Observation Methodology for Long-Term Forest Ecosystem Research. Beijing: State Forestry Administration, 2011: 1-133.
- [11] Oszlányi J. Forest health and environmental pollution in Slovakia. Environmental Pollution, 1997, 98(3): 389-392.
- [12] Fischer R, De Vries W, Seidling W. Forest Condition in Europe. Bonn: Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), 1999.
- [13] 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.
- [14] 刘晓光, 陈文君. 森林生态经济系统健康评价指标体系研究. 生态经济, 2011, (5): 164-168.
- [15] Falkenmark M. Human livelihood security versus ecological security—an ecohydrological perspective//Proceedings of SIWI Seminar, Balancing Human Security and Ecological Security Interests in a Catchment-Towards Upstream/Downstream Hydrosolidarity. Stockholm: Stockholm International Water Institute, 2002: 29-36.
- [16] Levrel H, Kerbiriou C, Couvet D, Weber J. OECD pressure-state-response indicators for managing biodiversity: a realistic perspective for a French biosphere reserve. Biodiversity and Conservation, 2009, 18(7): 1719-1732.
- [17] Ye H, Ma Y, Dong L M. Land ecological security assessment for Bai autonomous prefecture of Dali based using PSR model—with data in 2009 as case. Energy Procedia, 2011, 5: 2172-2177.
- [18] Borja Á, Galparsoro I, Solaun O, Muxika I, Tello E M, Uriarte A, Valencia V. The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, 66(1/2): 84-96.
- [19] Mangi S C, Roberts C M, Rodwell L D. Reef fisheries management in Kenya: Preliminary approach using the driver-pressure-state-impacts-response (DPSIR) scheme of indicators. Ocean & Coastal Management, 2007, 50(5/6): 463-480.
- [20] 陈宗铸, 黄国宁. 基于 PSR 模型与层次分析法的区域森林生态安全动态评价. 热带林业, 2010, 38(3): 42-45.
- [21] 唐宪. 基于 PSR 框架的森林生态系统完整性评价研究——以湖南汉寿县为例[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010: 3-7.
- [22] 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): 52-58.
- [23] 陈伟. 延平区森林生态安全评价研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009: 11-19.
- [24] 毛旭鹏, 陈彩虹, 郭霞, 周丹华, 胡焕香. 基于 PSR 模型的长株潭地区森林生态安全动态评价. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(6): 82-86.
- [25] 陈星, 周成虎. 生态安全: 国内外研究综述. 地理科学进展, 2005, 24(6): 8-20.
- [26] Kullenberg G. Regional co-development and security: a comprehensive approach. Ocean & Coastal Management, 2002, 45(11-12): 761-776.
- [27] 袁珍霞. 基于 3S 技术的县域森林生态安全评价研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010: 3-6.
- [28] 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.
- [29] 李琰, 李双成, 高阳, 王羊. 连接多层次人类福祉的生态系统服务分类框架. 地理学报, 2013, 68(8): 1038-1047.
- [30] Tang A J, Tian M H, Long C L. Environmental control of seed dormancy and germination in the short-lived *Olimarabidopsis pumila* (Brassicaceae). Journal of Arid Environments, 2009, 73(3): 385-388.
- [31] Pattison R R, Goldstein G, Ares A. Growth, biomass allocation and photosynthesis of invasive and native Hawaiian rainforest species. Oecologia, 1998, 117(4): 449-459.
- [32] 张知彬, 王祖望, 李典谟. 生态复杂性研究——综述与展望. 生态学报, 1998, 18(4): 433-441.
- [33] World Wildlife Fund. Annual Report. 2004. <http://www.worldwildlife.org>.
- [34] 李香云. 干旱区土地荒漠化中人类因素分析. 干旱区地理, 2004, 27(2): 239-244.
- [35] 张会儒, 雷相东. 典型森林类型: 健康经营技术研究. 北京: 中国林业出版社, 2014: 1-30.
- [36] 孟庆生. 信息论. 西安: 西安交通大学出版社, 1989: 19-36.
- [37] 孙霞, 文启凯, 尹林克, 孟林, 白根本, 王雷涛. 层次分析法在塔里木河中下游退耕适宜性评价中的应用. 干旱区资源与环境, 2004, 18(6): 72-75.
- [38] Kremen C, Niles J O, Dalton M G, Daily G C, Ehrlich P R, Fay J P, Grewal D, Guillery R P. Economic incentives for rain forest conservation across scales. Science, 2000, 288(5472): 1828-1832.
- [39] McConnell W J. Madagascar: Emerald isle or paradise lost? Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 2002, 44(8): 10-22.
- [40] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2006: 160-162.
- [41] 李双成. 生态系统服务地理学. 北京: 科学出版社, 2014: 1-9.
- [42] MA. Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends. Washington, D C: Island Press, 2005.