

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

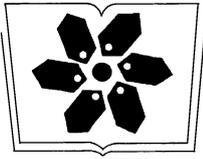
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第4期 Vol.33 No.4 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 4 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 王晓学,沈会涛,李叙勇,等 (1019)
- 植物叶片水稳定同位素研究进展 罗 伦,余武生,万诗敏,等 (1031)
- 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 陈利顶,孙然好,刘海莲 (1042)
- 城市生物多样性分布格局研究进展 毛齐正,马克明,邬建国,等 (1051)
- 基于福祉视角的生态补偿研究 李惠梅,张安录 (1065)

个体与基础生态

- 土著菌根真菌和混生植物对羊草生长和磷营养的影响 雷 垚,郝志鹏,陈保冬 (1071)
- 干旱条件下 AM 真菌对植物生长和土壤水稳定性团聚体的影响 叶佳舒,李 涛,胡亚军,等 (1080)
- 转 *mapk* 双链 RNA 干扰表达载体黄瓜对根际土壤细菌多样性的影响 ... 陈国华,弭宝彬,李 莹,等 (1091)
- 北京远郊区臭氧污染及其对敏感植物叶片的伤害 万五星,夏亚军,张红星,等 (1098)
- 茅苍术叶片可培养内生细菌多样性及其促生潜力 周佳宇,贾 永,王宏伟,等 (1106)
- 低温对蝶蛹金小蜂卵成熟及其数量动态的影响 夏诗洋,孟玲,李保平 (1118)
- 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律 刘金龙,荆小院,杨美红,等 (1126)
- 氟化物对家蚕血液羧酸酯酶及全酯酶活性的影响 米 智,阮成龙,李姣蓉,等 (1134)
- 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响 梁俊平,李 健,李吉涛,等 (1142)

种群、群落和生态系统

- 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估 吕一河,马志敏,傅伯杰,等 (1153)
- 不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例
..... 崔天翔,官兆宁,赵文吉,等 (1160)
- 基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例
..... 林 川,官兆宁,赵文吉,等 (1172)
- 浮游植物群落对海南小水电建设的响应 林彰文,林 生,顾继光,等 (1186)
- 苻草种群内外水质日变化 王锦旗,郑有飞,王国祥 (1195)
- 南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响 王 芸,欧阳志云,郑 华,等 (1204)
- 人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征 胡会峰,刘国华 (1212)
- 不同区域森林火灾对生态因子的响应及其概率模型 李晓炜,赵 刚,于秀波,等 (1219)

景观、区域和全球生态

- 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例 杨青生,乔纪纲,艾 彬 (1230)
- 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例
..... 唐得昊,邹欣庆,刘兴健 (1240)
- 干湿交替频率对不同土壤 CO₂ 和 N₂O 释放的影响 欧阳扬,李叙勇 (1251)

西部地区低碳竞争力评价..... 金小琴,杜受祜 (1260)

基于 HEC-HMS 模型的八一水库流域洪水重现期研究 郑 鹏,林 韵,潘文斌,等 (1268)

基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程 柴汝杉,蔡体久,满秀玲,等 (1276)

长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系..... 陈 列,高露双,张 贇,等 (1285)

资源与产业生态

河西走廊绿洲灌区循环模式“农田-食用菌”生产系统氮素流动特征 李瑞琴,于安芬,赵有彪,等 (1292)

施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响..... 王才斌,郑亚萍,梁晓艳,等 (1300)

耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响..... 庞 绪,何文清,严昌荣,等 (1308)

基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1317)

学术争鸣

基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想 张智光 (1326)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿须知 (I)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-02



封面图说: 石羊河——石羊河流域属大陆性温带干旱气候,气候特点是:日照充足、温差大、降水少、蒸发强、空气干燥。石羊河源出祁连山东段,河系以雨水补给为主,兼有冰雪融水成分。上游的祁连山区降水丰富,有雪山冰川和残留林木,是河流的水源补给地。中游流经河西走廊平地,形成武威和永昌等绿洲,下游是民勤,石羊河最后消失在腾格里沙漠中。随着石羊河流域人水矛盾的不断加剧,水资源开发利用严重过度,荒漠化日趋严重,民勤县的生态环境已经相当恶化,继续下去将有可能变成第二个“罗布泊”。

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/stxb201208131137

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.

Zhang Z G. Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1326-1336.

基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想

张智光^{1,2,*}

(1. 南京林业大学环境与发展系统工程研究所, 南京 210037; 2. 南京林业大学经济管理学院, 南京 210037)

摘要:通过对林业生态安全内涵构成的研究和对现有测度方法的比较分析,发现国内外林业生态安全测度研究中存在“就生态论生态”的预警滞后性、评价指标体系及权重设定的主观性、指标体系和特征指数难以优势互补、生态安全性判断缺乏客观依据等问题。为解决这些问题,需要基于生态与产业系统的共生关系研究林业生态安全测度的新方法。首先,研究林业生态安全的压力-状态-影响-响应结构模型和结构方程模型(SEM)的构建方法,从而为评价指标体系的构建和权重的确定提供了理论依据和结构化、定量化方法。然后,通过寻求指标体系和特征指数的有机结合,得出描述林业生态安全演变趋势的性质和程度的特征指数——生态-产业共生度和成熟度。由此提出确定林业生态安全阈值和底线的定量化方法,并建立林业生态安全双特征判断矩阵,从而将林业生态安全度分为3个安全区间、6个安全等级和4个预警级别。最后,综合以上成果,构建了基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法的整体框架:目标-手段树和技术路线。根据新方法的构建机理,所得出的林业生态安全测度和预警信息具有主观性弱、预测性强、特征指数值的生态经济意义明确、便于追溯问题的原因等技术优势,有利于林业生态安全的监控和管理。

关键词:林业生态安全;共生关系;测度;预警;研究框架

Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework

ZHANG Zhiguang^{1,2,*}

1 System Engineering Institute for Environment and Development, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu 210037, China

2 College of Economics and Management, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

Abstract: Some weaknesses of researches on measuring forestry ecological security (FES) are found both in China and abroad, such as pre-warning lag owing to confining the visual field to ecology only, subjectivity in establishing evaluation indicators system and in weighting, difficulty in complementing each other's advantages between indicators system and characteristic indexes, lack of objective criterion for FES, and so on, by studying the connotational constitution of FES and comparing the existing measuring methods. To overcome these weaknesses, a new methodology for measuring FES need to be researched based on ecology-industry symbiosis. Firstly, methods for building FES pressure-state-impact-response structural model and structural equation model (SEM) are researched, in order to provide theoretical basis as well as structured and quantificational methods for establishing evaluation indicators system and for weighting. Then, the two characteristic indexes that are ecology-industry symbiotic degree and mature level which indicate respectively the nature and extent of FES changing trend are derived from exploring the organic link between indicators system and characteristic indexes. Thereby the quantificational methods for ascertaining FES threshold and bottom-line are presented, so that FES degree can be divided into 3 security intervals, 6 security levels and 4 pre-warning levels in accordance with the

基金项目:国家自然科学基金项目(71173107);教育部高等学校博士学科点专项科研基金博导类课题(20113204110005)

收稿日期:2012-08-13; **修订日期:**2012-12-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zzg@njfu.com.cn

bicharacteristic judgment matrix. Finally, the overall framework of the methodology for measuring FES based on ecology-industry symbiosis is established according to the above researches, which includes means-ends tree and technology roadmap. There are following technological advantages of FES measure and pre-warning information provided through the methodology according to its building-up mechanism: weak subjectivity, good predictability, explicit eco-economy meaning of characteristic indexes, convenient cause tracing, etc, which are helpful to FES supervisory control.

Key Words: forestry ecological security; symbiosis; measure; pre-warning; research framework

生态安全是国家乃至人类安全的重要内容,它是支持社会、经济、自然发展的生态与环境的安全状态,包括土地、森林、湿地、水、大气和生物物种等方面的生态安全。当一个国家或地区所处的自然生态环境状况能够支撑其经济与社会的可持续发展时,其生态就是安全的;反之,则是不安全的。在上述生态安全问题中,大部分都与森林生态有关。其原因在于,森林是陆地生态环境的主体,森林生态系统是陆地上最大、结构最复杂、生物多样性最丰富、功能最强大的自然生态系统,它具有固碳制氧、防风固沙、涵养水源、调节气候、净化空气、吸收有毒气体、影响大气环流、增加降水、提供国家重要战略资源(木材是四大原材料中唯一的可再生资源)、维护生物多样性、保护地球物种等多种功能。森林生态的特征决定了林业生态安全在维持国家或地区生态安全中处于首要的和基础性的独特地位。

对林业生态安全的研究,首当其冲的、也是最为关键的问题是对生态安全进行测度(包括监测、核算、评价、分析、判定和预警等)。在生态环境状况不断恶化的压力下,包括我国在内的许多国家都意识到生态安全测度的必要性和紧迫性^[1],其中林业生态安全测度研究已成为人们新的关注焦点^[2]。目前,国内外对森林生态安全的研究比较深入,而对林业生态安全,尤其是对林业生态安全测度问题的研究,还是一个新课题。现有研究存在“就生态论生态”的预警滞后性、评价指标体系及权重设定的主观性、指标体系和特征指数难以优势互补、生态安全性判断缺乏客观依据等问题。为解决这些问题,本文基于生态与产业系统的共生关系研究林业生态安全测度的新方法。

1 林业生态安全内涵的构成分析

生态安全的内涵是对其进行测度的基础。目前,国内外学者对生态安全内涵的界定尚有分歧,归纳起来大体可分为狭义和广义两类。“狭义生态安全”是指自然和半自然生态系统的安全,强调生态系统自身的健康、完整和可持续性^[3]。“广义生态安全”进一步强调生态系统对人类提供完善的生态服务或人类的生存安全,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加以研究^[4]。森林生态安全属于狭义的生态安全,而林业生态安全则属于广义的生态安全。

经分析不难看出,在目前的生态安全界定中,即使是广义生态安全,也只考虑了生态系统为人类提供生态服务的安全性,而没有同时考虑人类经济活动对生态系统构成威胁的反向安全性。实际上,生态系统与产业系统相互作用的共生关系模式^[5]对于生态安全的测度和预警更为重要。因此,应当把林业系统看作林业生态系统(即森林生态系统)和林业产业系统的有机整体,称为林业生态-产业复合系统;并从该复合系统中生态与产业的共生机理去考察林业生态安全。也就是说,林业生态安全的内涵应当包括以下3个方面:①森林生态安全,是指森林生态系统自身的健康性、完整性和可持续性;②林业产业生态安全,是站在林业产业系统的角度来看森林生态系统的安全性对林业产业系统的威胁或保障的安全程度;③林业生态-产业共生关系安全,是指森林生态系统与林业产业系统相互作用关系的安全性,若两者是良性互动关系则是安全的,若是恶性循环关系则是不安全的。由于森林生态安全的威胁除了纯自然因素外,主要来自人类的林业产业活动,因此EIS安全是森林生态安全的动因,进而也是林业产业生态安全的动因。

根据以上分析,本文提出的林业生态安全是站在林业生态-产业复合系统的角度,从林业生态-产业共生关系的安全性出发,来审视森林生态安全和林业产业生态安全的整体水平。其内涵可以用图1明确地表示出

来。图 1 中,括号内的术语表示与括号前的林业系统中的概念(如森林生态系统)对应的一般系统中的概念(如自然生态系统)。根据图 1 的原理,本文将从 EIS 的视角来研究林业生态安全的测度方法。

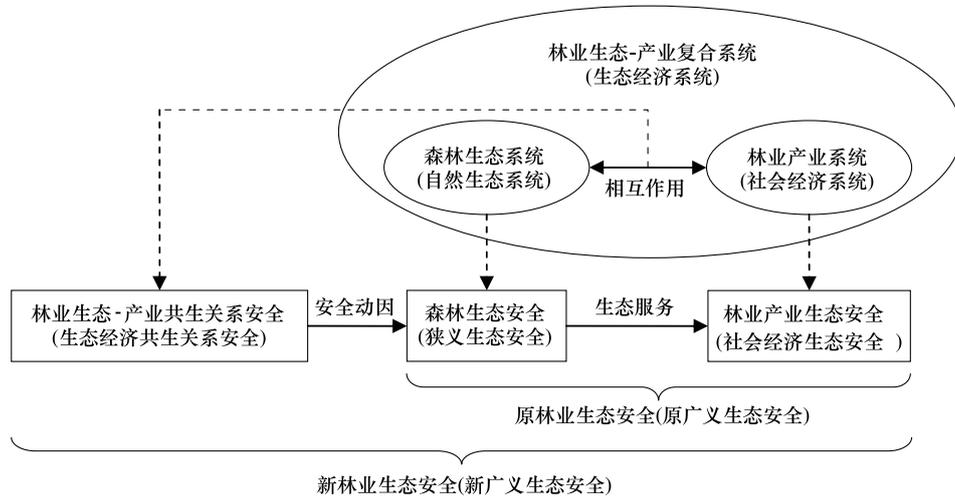


图 1 林业生态安全的内涵构成

Fig. 1 The connotational constitution of forestry ecological security

2 林业生态安全测度现有方法的比较分析

2.1 林业生态安全测度的方法体系

从现有文献上看,国外学者对林业或森林生态安全的研究主要局限于森林生态系统健康方面^[6-10]。20 世纪 70 年代末期,德国针对本国森林出现的活力缺失问题,率先提出了森林健康状态的概念,并对其进行测度研究,随后迅速影响到其它国家。例如,澳大利亚^[6]、加拿大^[7]、美国^[8]、新西兰^[9]和墨西哥^[10]等国学者先后进行了森林生态系统健康测度的研究。我国学者对林业和森林生态安全的研究起始于 21 世纪初^[11];而对林业和森林生态安全测度的研究只是近 5 年的事情^[12],不管是从成果数量(只有约 10 篇论文)还是从深度上看,都处于“初探”阶段^[1-2]。

根据以上文献,林业生态安全测度研究的核心问题主要有两个方面:生态安全测度指标及其测度方法、生态安全测度标准(安全性判据)。通过对这两方面已有的相关成果进行系统梳理和深入分析,总结出图 2 所示的林业生态安全测度的方法体系。

2.2 指标体系法和特征指数法的比较分析

生态安全测度的“指标体系法”通过多层次指标体系对林业生态安全问题进行全面评价。由于其中各单项指标具有明确的生态经济意义,因此便于分析导致生态安全问题的原因。但为了得到综合评价值,该方法需要对各指标进行无量纲化处理,因而导致其综合指标失去生态经济意义,不便于理解和运用。而且,在确定指标权重时,通常主观性较大。若采用主成分分析法或因子分析法,虽然可以客观地求取综合指标,但是其综合评价价值同样失去了生态经济意义,而且评价模型中的系数也偏离了指标权重的本意。

“特征指数法”则相反,它具有总体的生态经济意义(如生态足迹和能值等),其评价价值便于理解。但是,在将单项指标转化成特征指数时,误差较大,且失去了指标本身的生态经济意义,不便于原因分析。此外,目前提出的特征指数种类繁多(图 2),每一种指数只能从某一个侧面反映生态安全的状态,缺乏综合性,而且不能反映生态与产业相互作用的良性或恶性演变的趋势。因此,需要重新构建新的特征指数。

目前,还没有找到一种能够兼顾这两类方法优点并克服其缺陷的生态安全测度方法。

2.3 指标体系法的比较分析

在指标体系法中,用“直观筛选法”构建指标体系简便易行,能够充分发挥研究者和专家的能力,在我国的应用比较普遍^[12]。但由于缺乏理论与实证支撑,因而其科学性和准确性较差。近年来,国内外学者开始运

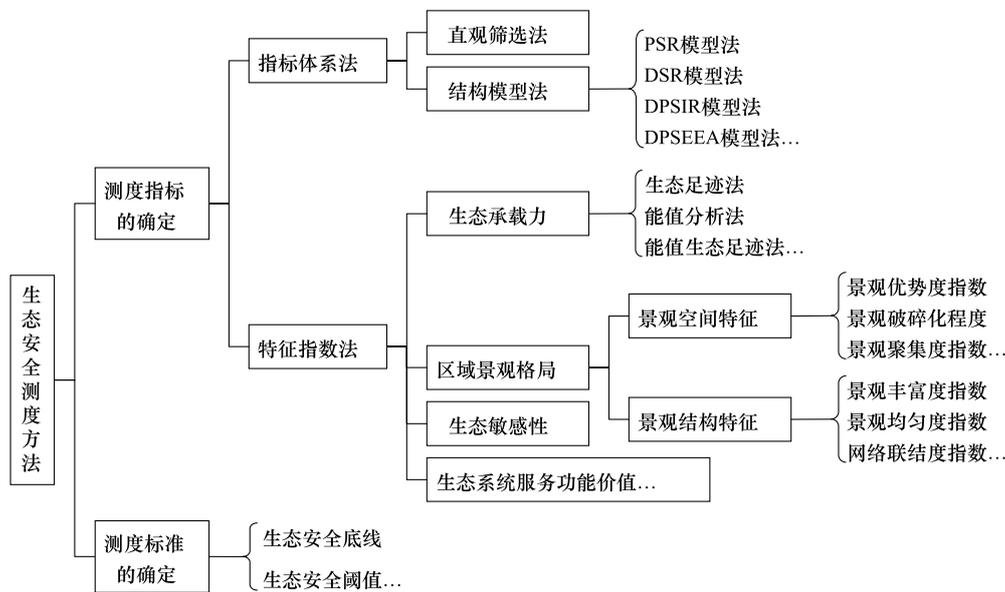


图2 林业生态安全测度的方法体系

Fig.2 The methods system of forestry ecological security measure

用“结构模型法”构建生态安全评价指标体系。这类结构模型是用来描述生态-产业复合系统各要素之间作用机理的结构化定性模型(又称为框架模型、理论模型)。其中,具有代表性的结构模型有:①联合国经济合作开发署与经济合作发展组织推出的压力-状态-响应 PSR 结构模型^[13];②联合国可持续发展委员会提出的驱动力-状态-响应 DSR 模型;③欧洲环境委员会将以上两个模型结合并进行改进,提出了驱动力-压力-状态-影响-响应 DPSIR 模型^[14];④Corvalan 等人把 DPSIR 模型进一步拓展,提出了驱动力-压力-状态-暴露-影响-响应 DPSEEA 模型^[15]。

其中,PSR 模型应用最为广泛,为一般生态安全^[16]和林业生态安全^[17]的测度提供了理论依据。但是,PSR 模型过于简单,一些对生态安全测度比较重要的因素(如生态影响因素)没有考虑进来。另外,DSR 模型也是一种比较简洁的结构模型,但是其中的驱动力因子与状态因子是间接因果关系,缺少中间环节。而 DPSIR 模型和 DPSEEA 模型虽然弥补了 PSR 模型和 DSR 模型的缺陷,但又把系统的因果关系搞得过于复杂,有些因子偏离了生态安全测度研究的核心问题。因此,在进行林业生态安全测度时,需要根据林业生态-产业复合系统的特点,结合 PSR、DSR、DPSIR、DPSEEA 等模型的长处,构建或改进相应的结构模型。

2.4 特征指数法的比较分析

在特征指数法中,“生态承载力法”(如生态足迹和能值方法)与其他方法相比更适合生态安全的评价。其中,“生态足迹法”是将某区域的资源和能源消费转化为提供这些物质流所需生物生产性土地面积(即生态足迹),并同该区域能够提供的生物生产性土地面积(即生态承载力)进行比较,从而定量判断区域生态状况是否安全^[18]。该方法主要存在以下缺陷:①未考虑土地生产力降低的变化;②土地功能的多重性造成了计算误差;③土地利用类型难以划分;④未包括生物多样性指标;⑤不能全面反映区域环境压力;⑥对管理决策的指导作用有限^[19]。“能值分析法”把生态-产业复合系统中不同种类和不可比较的能量统一转换成以太阳能为基准的能值,进而定量分析系统的生态安全^[20]。其主要缺陷有:①能值转换率计算难度大、误差大;②有些生态流难以评估,造成测度误差^[19]。一些学者将这两种方法进行结合,提出“能值生态足迹法”,通过能值间接计算生态足迹所需土地面积^[21]。但是该方法增加了变量转换环节,累积误差更大。由于上述问题,目前生态承载力法还难以用于林业生态安全测度,国内外尚未见正式发表的研究成果。

此外,也有学者将生态功能区划分和生态规划中的生态评价和分析方法用于区域生态安全的研究,例如区域景观格局分析^[22-24]、生态敏感性评价、生态服务功能评价等。但由于这类方法更适合测定森林生态环境

的质量或选择最优生态规划方案,并不能很好地回答林业或森林生态状况是否安全的问题,因此还没有取得令人满意的研究结果。

2.5 测度标准确定方法的比较分析

关于生态安全测度标准的确定,目前还没有普遍认可的定量方法或判据。多数学者根据不同区域或不同时期生态安全测度结果的对比,主观地确立一种“安全与否”的划分标准,这种做法缺乏科学依据。有的学者提出了确立生态底线^[25]或生态阈值^[26]的思路,也有学者提出了更加细化的安全等级^[27]。但是,就如何客观和定量地确定这些测度标准,目前还没有找到合适的解决方案。

3 基于 EIS 的林业生态安全测度方法的基本构想

通过以上分析可见,无论从科学意义上还是从应用前景上看,林业生态安全测度研究已显现出以下发展趋势。与此相对应,提出了基于生态-产业共生关系(EIS)的林业生态安全测度新方法的下述基本构想。

3.1 针对理论基础的薄弱性,研究林业生态安全的内涵与机理

生态安全的内涵和机理是生态安全测度的基础,这方面的研究尚不成熟,尤其是林业生态安全内涵和机理的研究更为缺乏。因此,需要根据图 1 提出的林业生态安全的内涵构成,运用共生理论和系统分析方法,在 PSR、DSR、DPSIR、DPSEEA 等结构模型的基础上,对林业生态安全的系统原理,尤其是对生态与产业相互作用的机理进行研究。

3.2 针对测度预警的滞后性,研究林业生态和产业的共生关系

国内外关于林业生态安全测度的研究主要侧重于森林生态安全方面,这种直接对生态安全的“结果”进行评价的做法是一种“就生态论生态”的静态思维方式,具有较大的滞后性,难以对生态安全提出预警。为此,需要将造成生态安全问题的“原因”——林业产业纳入生态安全测度体系中去,从森林生态安全拓展到林业生态安全,从单纯自然生态系统问题拓展到生态与产业复合系统共生发展的领域。

3.3 针对两类方法的欠缺性,研究特征指数与指标体系的衔接

生态安全测度的指标体系法和特征指数法各有利弊,目前缺乏一种既能够反映生态安全的生态经济内涵,又能够层层展开出具体的综合测度方法。为此,可以从以下 3 个方面来解决这一问题:①建立科学的林业生态安全测度指标体系;②研究能够反映生态经济内涵以及生态-产业共生关系的综合性特征指数;③建立指标体系与特征指数之间的衔接关系,通过两类方法的综合与集成,克服各自的欠缺性,并实现优势互补。这样,使管理者既容易理解林业生态安全测度结果的生态经济意义,又便于找出导致生态不安全的原因,进而采取有效的生态监管和控制措施。

3.4 针对测度结果的灵敏性,研究结构化指标体系及权重设定

目前生态安全评价指标体系的构建及指标权重的确定主要以定性方法为主,缺乏客观依据和科学方法,导致测度结果的随意性较大和灵敏性较高(指标及其权重的微小扰动都可能导致测度结果的较大波动)。为此,需要在上述林业生态安全结构模型和系统机理研究的基础上,运用结构化数量分析方法(如结构方程模型等方法)构建与优化评价指标体系,并定量计算出指标权重。

3.5 针对预警判定的主观性,研究林业生态安全度的客观标准

现有生态安全的测度方法,要么难以确定生态安全标准(例如指标体系法、区域景观格局分析、生态敏感性评价、生态服务功能评价等),要么测度误差较大(例如用误差较大的生态足迹、能值或能值生态足迹的测度值与生态承载力直接比较)。为此,需要找到一种有助于客观地确定林业生态安全阈值和底线,并有助于判定安全度等级和预警级别的科学方法,以克服生态安全预警判定中的主观性,使林业生态安全的实际监控和预警成为可能。

4 基于 EIS 的林业生态安全测度方法的技术路线

为了实现上述基于 EIS 的林业生态安全测度方法的基本构想,通过原理设计,找到了攻克该测度方法主要关键技术的具体技术。

4.1 林业生态安全的 FES-PSIR 结构模型的建立

运用系统分析方法,对林业生态安全所涉及的生态-产业复合系统进行结构分析,并与国内外学者关于 PSR、DSR、DPSIR、DPSEEA 模型的研究成果进行对比分析。以上分析表明,针对林业生态安全(FES)问题,构建压力-状态-影响-响应(PSIR)结构模型(简称 FES-PSIR 结构模型)比较合适。FES-PSIR 结构模型中各子系统的构成如下:① 社会经济压力(FES-P)子系统,包含社会经济和林业产业发展对森林资源需求和对生态环境破坏等压力;② 资源与环境状态(FES-S)子系统,包含森林资源总量、质量、覆盖率、分布、类型结构以及温室气体浓度等状态;③ 生态影响(FES-I)子系统,包含森林生态系统健康与活力、生态系统生产力、森林调节力、森林灾害发生率、生物多样性、水土流失、空气质量、气候变暖等影响;④ 人类响应(FES-R)子系统,包含人类改善生态状态的投入、人工造林、林工一体化、循环经济、科技支撑、法律政策保障、生态文明意识、应对危机机制等响应。

4.2 林业生态安全评价指标体系的建立

为避免评价指标体系构建的主观性和随意性,根据 FES-PSIR 结构模型等理论依据,结构化指标体系构建方法的具体步骤和方法如下:① 通过文献检索,收集和整理国内外关于 FES-P、FES-S、FES-I、FES-R 各子系统所采用过的评价指标,通过聚类分析等方法筛选出与林业生态安全测度问题关联度较大的指标;② 通过实际调研、理论分析和专家咨询等方法,形成初步评价指标体系;③ 根据下述结构方程模型方法(简称 SEM 方法)对指标体系进行定量检验和修正。

4.3 林业生态安全测度的结构方程模型的建立

收集我国林业生态安全相关数据,依据上述 FES-PSIR 结构模型和初步评价指标体系,可以建立林业生态安全测度的结构方程模型(SEM)。具体步骤和方法如下:① 根据上述 FES-PSIR 结构模型的内生和外生隐变量的因果关系,以及这些隐变量与评价指标体系中的显变量的关联,构建林业生态安全的 SEM 理论模型;② 建立描述显变量与隐变量之间关系的 SEM 测量模型;③ 建立描述隐变量之间关系的 SEM 结构模型;④ 收集数据,对 SEM 理论模型及其测量模型和结构模型进行参数估计和模型检验;⑤ 通过修正 SEM 理论模型的路径和指标来达到最优拟合,得到更加贴近现实的 SEM;⑥ 根据 SEM,反过来修正 FES-PSIR 结构模型和评价指标体系,同时 SEM 还将给出各指标的权重系数。

4.4 林业生态-产业共生关系的动态系统模型的建立

共生是两个或多个不同种类的有机体存在紧密和长期相互作用和相互依存关系的共同生存现象。林业生态和产业构成了典型的共生系统,它们之间的共生关系可以分为共生(互利共生和偏利共生)与非共生(弱单害、偏害、竞争、寄生、捕食)两类^[5]。这些关系不仅反映了林业生态系统安全与否的现状,还预示着未来的演变趋势。也就是说,即使某区域林业生态系统的现状还没有恶化,但如果生态与产业之间的关系属于非共生的恶性循环关系,那么其生态系统也是不安全的。因此,考察林业生态系统的安全性不能仅看生态系统本身,而且更要关注林业生态和产业系统之间的共生关系。为此,首先要运用共生理论建立林业生态-产业共生关系的动态系统模型。

20 世纪 40 年代, Lotka 和 Volterra 对逻辑斯蒂模型进行拓展,构建了两物种种群的种间共生关系的微分方程动态系统模型(称为 Lotka-Volterra 模型),该模型对现代生态学理论与共生理论的发展产生了重大的影响。根据林业生态-产业复合系统和生态安全问题的特点,对一般 Lotka-Volterra 模型进行改进,可以构建描述林业生态-产业复合系统共生关系的动态系统模型(以下简称林业 Lotka-Volterra 模型)^[28]:

$$\frac{dI(t)}{dt} = r_1 I(t) \frac{pC(t) - I(t) - \alpha(t)E(t)}{pC(t)}; \quad \frac{dE(t)}{dt} = r_2 E(t) \frac{qC(t) - E(t) - \beta(t)I(t)}{qC(t)} \quad (1)$$

式中, $I(t)$ 为产业水平指数,对应于社会经济可持续发展子系统(包含社会经济压力子系统和人类响应子系统),由 FES-P 压力和 FES-R 响应指标体系通过模糊综合评判方法计算得到,反映林业产业的可持续发展水平; $C(t)$ 为环境容量指数,对应于资源环境状态子系统,由 FES-S 状态指标体系计算得到,反映林业产业的发

展空间和森林生态的改善基础; $E(t)$ 为生态水平指数,对应于生态影响子系统,由 FES-I 影响指标体系计算得到,反映森林生态系统受到影响的程度; $\alpha(t)$ 为林业生态对产业竞争系数; $\beta(t)$ 为林业产业对生态竞争系数; r_1 为林业产业水平增长率; r_2 为森林生态水平增长率; p 为环境容量全部用于林业产业发展的环境贡献系数; q 为环境容量全部用于森林生态发展的环境贡献系数。

4.5 林业生态安全特征指数的计算

运用控制理论求解林业 Lotka-Volterra 模型的稳定性条件,可以得到生态对产业竞争系数 $a(t)$,以及产业对生态竞争系数 $b(t)$ 。由此,可以构造生态-产业共生度指数 $S(t)$ ^[28]:

$$S(t) = - \frac{\alpha(t) + \beta(t)}{\sqrt{\alpha^2(t) + \beta^2(t)}} \quad \alpha(t) \text{ 和 } \beta(t) \text{ 不同时为 } 0 \quad (2)$$

共生度 $S(t)$ 的值域为 $[-\sqrt{2}, \sqrt{2}]$,数值越大越共生状态越好,趋于互利共生(又称为绿色共生^[51]);越小越共生状态越差,趋于互害(竞争)。基于文献^[28],生态安全状态总体上可分为 2 个区间:当 $S(t)$ 在 $(1, \sqrt{2}]$ 内,为互利共生状态,林业生态-产业复合系统进入生态安全区;当 $S(t)$ 在 $[-\sqrt{2}, 1)$ 内,为非生态安全区。两个区间的交界处为 $S(t) = 1$,属于偏利共生状态,即进入生态安全区的门槛,称为生态安全阈值。非生态安全区 $[-\sqrt{2}, 1)$ 又可进一步分为 2 个区间: $[-\sqrt{2}, 0)$ 为竞争、偏害、寄生和捕食状态,即生态不安全区; $(0, 1)$ 为弱单害状态,即生态安全转折区。两个区间的交界处为 $S(t) = 0$,即进入生态不安全区的门槛,称为生态安全底线。由此,可以科学地确定林业生态安全阈值和底线的测度标准。

可见,共生度是能够有效测度生态安全并具有明确生态经济意义的特征指数,它通过生态与产业系统的共生关系反映了生态安全演变趋势的性质。但是仅仅靠共生度一个特征指数是不够的,因为它不能反映生态与产业系统的发展水平,即不能反映这种生态安全性处于较低的水平还是较高的水平。为此,根据产业水平指数 $I(t)$ 和生态水平指数 $E(t)$,运用聚类分析方法可以得出另一个反映生态安全发展程度的辅助性特征指数——生态-产业成熟度 $M(t)$,并将成熟度划分为成熟和不成熟两类。

4.6 林业生态安全度的划分

根据以上 2 个特征指数,可以构建图 3 所示的林业生态安全度的双特征判断矩阵。图 3 中,横坐标为共生度 S ,属于生态安全的性质指数;纵坐标为成熟度 M ,属于生态安全的程度指数。在横坐标上,根据生态安全阈值和底线,可将生态安全度划分为 3 个区间:安全区(互利共生状态,生态安全趋于健康)、不安全区(竞争、偏害、寄生、捕食状态,生态安全趋于恶化)和转折区(弱单害状态,生态安全存在风险)。在纵坐标上,可将上述 3 个生态安全区进一步划分成 6 个安全度等级(健康、亚健康、风险、高风险、退化和恶化)和 4 个预警级别。

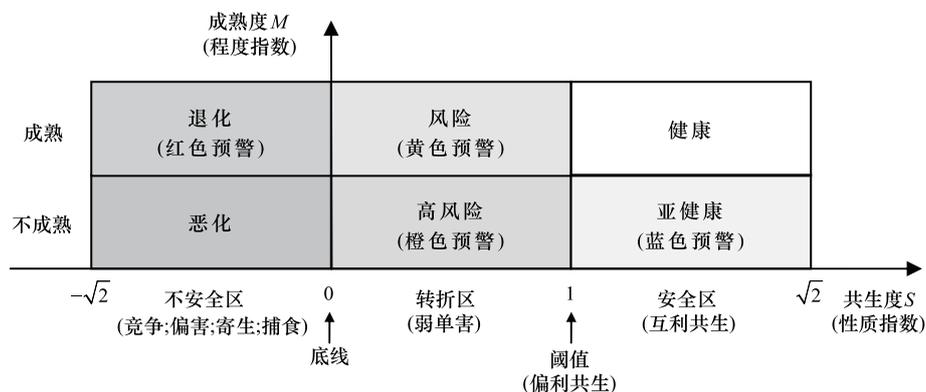


图 3 林业生态安全度的双特征判断矩阵

Fig. 3 The bicharacteristic judgment matrix of forestry ecological security degree

5 基于 EIS 的林业生态安全测度方法的整体框架

为使基于 EIS 的林业生态安全测度方法成为可操作的实用测度方法,还需要在上述研究的基础上构建其整体的运作框架,包括该方法整体的目标-手段树和技术路线。

5.1 目标-手段树

根据以上的基本构想和关键技术,运用目标-手段链工具得出图 4 所示的目标-手段树。图 4 的最高层是该测度方法的总体目标,第二层是实现总体目标的两个方面的手段,第三层是将第二层的手段作为目标而应采取的进一步的手段……如此下去,最后一层是实现总体目标的可操作的具体手段。

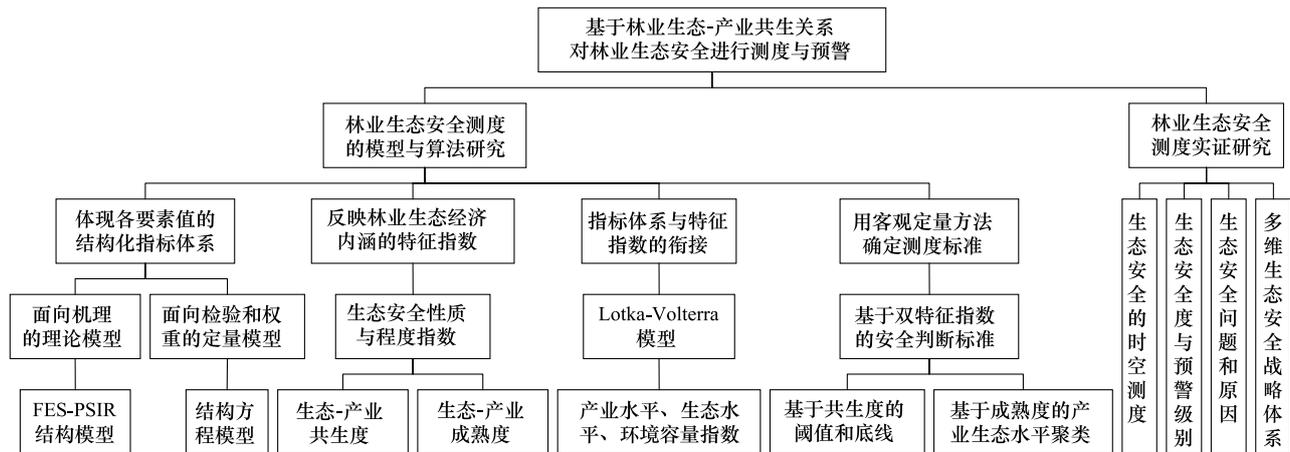


图 4 基于 EIS 的林业生态安全测度方法的目标-手段树

Fig. 4 The means-ends tree of measure methodology for forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis

5.2 技术路线

图 4 从目标与手段的层层递进关系上构建了基于 EIS 的林业生态安全测度方法完整的逻辑思路。在此基础上,还需要描述各项手段之间的“操作流程”。根据该测度方法的基本原理,设计出图 5 所示的技术路线。由图 5 可见,林业生态安全测度研究的主要步骤如下:首先进行林业生态安全测度的理论与模型研究;据此构建社会经济可持续发展子系统、资源环境状态子系统和生态影响子系统的压力、状态、影响、响应指标体系;为实现指标体系和特征指数的衔接,通过计算各子系统所对应的产业水平指数、环境容量指数和生态水平指数,构建林业 Lotka-Volterra 模型;通过生态-产业共生度和成熟度特征指数,建立林业生态安全度的双特征判断矩阵;对我国林业生态安全的时间演化和空间格局进行实证测度研究,判定各种情况下的生态安全度和预警级别(若出现不合理结果,需反馈修正);分析我国林业生态安全的问题,并通过追溯单项指标的方法,分析其原因;依此构建多维林业生态安全战略体系。

其中,多维林业生态安全战略体系由以下几个维度构成:①林业生态安全的营建体系,包括生态公益林和防护林体系、绿色共生型林业产业体系等;②林业生态安全的测度与决策体系,包括林业生态安全的监测体系、评价与分析体系、预警与决策体系等;③林业生态安全的防控体系,包括林业生态安全的行政监管体系、维护与控制体系、应急处理体系等;④林业生态安全的支撑体系,包括林业生态安全的技术支持体系、信息系统、政策法律保障体系、林业生态文明支撑体系(包括公众参与、媒体宣传和监督等)、林业生态补偿体系等。

6 结语

(1) FES-PSIR 结构模型、SEM 和指标体系的集成优势

林业生态安全测度的指标体系法虽能克服特征指数法的一些缺点,但存在理论依据不足、指标权重主观性大等问题。在本文的测度方法中,通过对一般生态经济系统的结构模型进行改进,构建林业生态安全的压力-状态-影响-响应 FES-PSIR 结构模型,并与结构方程模型 SEM 和评价指标体系进行综合与集成,能够取得以下成效:①FES-PSIR 结构模型为指标体系和 SEM 的构建提供了理论依据和逻辑框架;②SEM 反过来又为

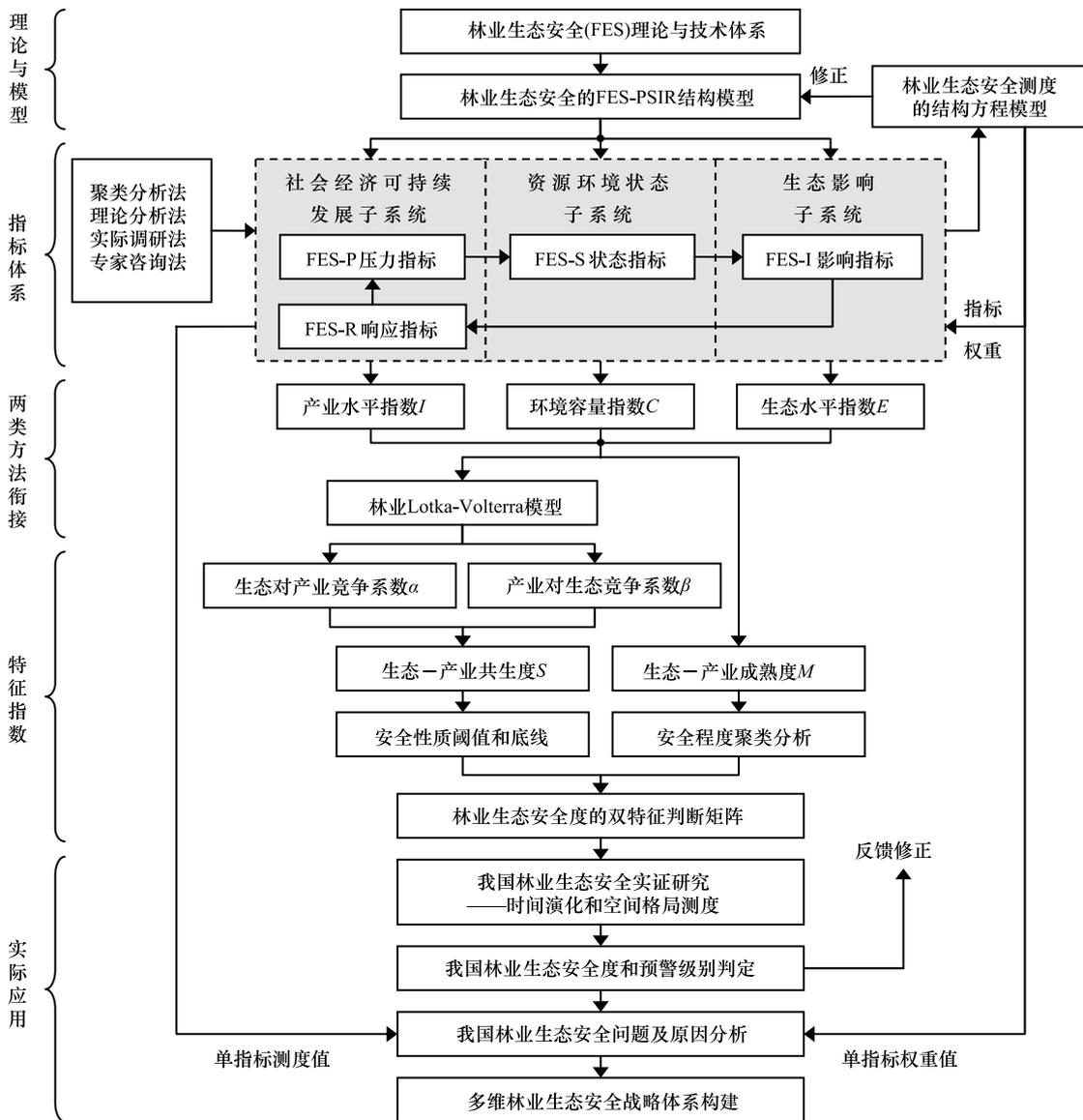


图5 基于EIS的林业生态安全测度方法的技术路线

Fig. 5 The technology roadmap of measure methodology for forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis

FES-PSIR 结构模型和指标体系的检验和完善,以及指标权重的确定,提供客观的定量分析方法;③以上方法再与聚类分析、理论分析、实际调研和专家咨询等方法相结合,形成了结构化的指标体系构建方法,最大限度地降低了主观随意性。

(2) 结构化指标体系和特征指数的集成优势

特征指数法虽能克服指标体系法的一些缺点,但是它以测度难度大、误差大、丧失原始指标涵义,来换取指标值的可加性,可谓“得不偿失”。为保留这两类方法的优点,克服其缺陷,本文方法对指标体系和特征指数进行综合与集成,能够取得以下成效:①林业 Lotka-Volterra 模型的 3 个基本指数(产业水平指数 I 、环境容量指数 C 、生态水平指数 E)能够与结构化指标体系实现合理对接,从而为指标体系与特征指数的衔接与集成,扫清了关键障碍;②测度数据直接来自各指标实际值,无需换算成面积、货币或能量等量值,使测度结果比较准确;③一方面共生度和成熟度特征指数的综合性较强且具有明确的生态经济意义,另一方面又便于追溯到各单项指标的原始值,有利于分析产生生态安全问题的原因,便于制定具体有效的管理措施。

(3) 共生度和成熟度双特征判断矩阵的集成优势

林业生态安全测度需要克服“就生态论生态”、特征指标种类繁多而片面等缺陷。本文方法从林业生态与产业共生关系的视角,通过评价指标体系得到生态-产业共生度和成熟度 2 个综合性较强的特征指数,并由此构建林业生态安全度的双特征判断矩阵,能够取得以下成效:①共生度和成熟度 2 个特征指数分别通过生态-产业的共生关系和可持续发展水平,体现林业生态安全变化趋势的性质及其程度,便于管理者和公众更加完整地理解和运用林业生态安全的测度结果;②经过成熟度细化的共生度指数能够更好地反映林业生态安全状态的动因,有利于克服测度的滞后性,达到预警的目的;③根据林业生态安全动态系统模型的稳定性条件和共生理论,可以科学地确定林业生态安全的阈值和底线;④再参照成熟度,可将林业生态安全度分为 3 个安全区间、6 个安全等级和 4 个预警级别,便于林业生态安全的监控和管理。

References:

- [1] Huang L L, Mi F, Sun F J. Preliminary study on the evaluation of forest ecosystem ecological security. *Forestry Economics*, 2009, (12): 64-68.
- [2] Li S Z, Yu Y L. Preliminary study on forestry ecological security. *Energy Saving and Environmental Protection in Traffic*, 2008, (1): 1-3.
- [3] Kullenberg G. Regional co-development and security: a comprehensive approach. *Ocean and Coastal Management*, 2002, 45(11/12): 761-776.
- [4] 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.
- [5] Zhang Z G. Research on the mode of forestry green supply chain for mutualism between industry and ecology. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2012, 36(2): 3-10.
- [6] 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): 48-57.
- [7] Allen E. Forest health assessment in Canada. *Ecosystem Health*, 2001, 7(1): 28-34.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Tkacz B, Moody B, Castillo J V, Fenn M E. Forest health conditions in North America. *Environmental Pollution*, 2008, 155(3): 409-425.
- [11] Hong W, Yan S J, Wu C Z. Ecological security and ecological effect of forest ecosystem in Fujian Province. *Journal of Fujian Agricultural and Forestry University: Natural Science Edition*, 2003, 32(1): 79-83.
- [12] 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*, 2007, 35(11): 77-82.
- [13] Wolfslehner B, Vacik H. Evaluating sustainable forest management strategies with the analytic network process in a pressure-state-response framework. *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(1): 1-10.
- [14] Spangenberg J H, Martinez-Alier J, Omann I, Omann Ines, Monterroso I, Binimelis R. The DPSIR scheme for analysing biodiversity loss and developing preservation strategies. *Ecological Economics*, 2009, 69(1): 9-11.
- [15] Waheed B, Khan F, Veitch B. Linkage-based frameworks for sustainability assessment: making a case for driving force-pressure-state-exposure-effect-action (DPSEEA) Frameworks. *Sustainability*, 2009, 1(3): 441-463.
- [16] Bai X R, Tang J C. Ecological security assessment of Tianjin by PSR model. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2: 881-887.
- [17] Chen Z Z, Huang G N. A dynamic assessment of forest ecological security on region-scale in application of PSR model and analytic hierarchy process. *Tropical Forestry*, 2010, 38(3): 42-45.
- [18] Huang Q, Wang R, Ren Z, Li J, Zhang H Z. Regional ecological security assessment based on long periods of ecological footprint analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 2007, 51(1): 24-41.
- [19] Ouyang Z Y, Huang B R, Zheng H. Evaluation methods of regional ecological environment quality. [2006-05-11]. <http://wenku.baidu.com/view/d48e9f40be1e650e52ea9988.html>.
- [20] Jiang M M, Zhou J B, Chen B, Yang Z F, Ji X, Zhang L X, Chen G Q. Ecological evaluation of Beijing economy based on emergy indices. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009, 14(5): 2482-2494.
- [21] Siche R, Pereira L, Agostinho F, Ortega E. Convergence of ecological footprint and emergy analysis as a sustainability indicator of countries: Peru as case study. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2010, 15(10): 3182-3192.

- [22] Styers D M, Chappelka A H, Marzen L J, Somers G L. Developing a land-cover classification to select indicators of forest ecosystem health in a rapidly urbanizing landscape. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 94(3/4): 158-165.
- [23] Zhang Z L, Liu S L, Dong S K. Ecological security assessment of Yuan River watershed based on landscape pattern and soil erosion. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2: 613-618.
- [24] Li Z X, Xu L Y. Evaluation indicators for urban ecological security based on ecological network analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2: 1393-1399.
- [25] Falkenmark M. Human security versus ecological security—Compatible or non-compatible goals? // *Proceedings of SIWI Seminar, Balancing Human Security and Ecological Security Interests in a Catchment-Towards Upstream/Downstream Hydrosolidarity*. Stockholm: Stockholm International Water Institute, 2002: 6-13, 11-11.
- [26] Schaeffer D J, Cox D K. Establishing ecosystem threshold criteria // Costanza R, Norton B G, Haskell B D, eds. *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Washington DC: Island Press, 1992: 157-169.
- [27] Zou C M, Hu X D, Zhang Y L, Xue L L, Anjum S A, Wang L C. Study on ecological safety under high temperature and summer drought based on energy ecological footprint model — A case study in Jiangjin District of Chongqing. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(6): 201-205, 216-216.
- [28] Zhang Z G. *Green China (II): Mode of Green Symbiosis Supply Chain*. Beijing: China Environmental Science Press, 2011.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李双作, 于亚玲. 林业生态安全评价初探. *交通节能与环保*, 2008, (1): 1-3.
- [5] 张智光. 实现产业与生态互利共生的林业绿色供应链模式研究. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2012, 36(2): 3-10.
- [11] 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.
- [12] 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*, 2007, 35(11): 77-82.
- [17] 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.
- [19] 欧阳志云, 黄宝荣, 郑华. 区域生态环境质量评价方法. [2006-05-11]. <http://wenku.baidu.com/view/d48e9f40be1e650e52ea9988.html>.
- [27] 邹聪明, 胡小东, 张云兰, 薛兰兰, Anjum S A, 王龙昌. 基于能值生态足迹模型的高温伏旱区生态安全研究——以重庆市江津区为例. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(6): 201-205, 216-216.
- [28] 张智光. *绿色中国 (第二卷): 绿色共生型供应链模式*. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 4 February, 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales
..... WANG Xiaoxue, SHEN Huitao, LI Xuyong, et al (1019)
- Advances in the study of stable isotope composition of leaf water in plants LUO Lun, YU Wusheng, WAN Shimin, et al (1031)
- Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: progresses, problems, and perspectives
..... CHEN Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian (1042)
- An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity MAO Qizheng, MA Keming, WU Jianguo, et al (1051)
- Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement LI Huimei, ZHANG Anlu (1065)

Autecology & Fundamentals

- Effects of indigenous AM fungi and neighboring plants on the growth and phosphorus nutrition of *Leymus chinensis*
..... LEI Yao, HAO Zhipeng, CHEN Baodong (1071)
- Influences of AM fungi on plant growth and water-stable soil aggregates under drought stresses
..... YE Jiashu, LI Tao, HU Yajun, et al (1080)
- The effect of transgenic cucumber with double strands RNA of *mapk* on diversity of rhizosphere bacteria
..... CHEN Guohua, MI Baobin, LI Ying, et al (1091)
- The ambient ozone pollution and foliar injury of the sensitive woody plants in Beijing exurban region
..... WAN Wuxing, XIA Yajun, ZHANG Hongxing, et al (1098)
- Diversity and plant growth-promoting potential of culturable endophytic bacteria isolated from the leaves of *Atractylodes lancea*
..... ZHOU Jiayu, JIA Yong, WANG Hongwei, et al (1106)
- Effects of the low temperature treatment on egg maturation and its numerical dynamics in the parasitoid *Pteromalus puparum*
(Hymenoptera: Pteromalidae) XIA Shiyang, MENG Ling, LI Baoping (1118)
- Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler
(Lepidoptera: Cossidae) LIU Jinlong, JING Xiaoyuan, YANG Meihong, et al (1126)
- Influence of fluoride on activity of carboxylesterase and esterase in hemolymph of *Bombyx mori*
..... MI Zhi, RUAN Chenglong, LI Jiaorong, et al (1134)
- Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn
(*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory LIANG Junping, LI Jian, LI Jitao, et al (1142)

Population, Community and Ecosystem

- Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment
..... LÜ Yihe, MA Zhimin, FU Bojie, et al (1153)
- Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different endmember model: a case
study in Wild Duck Lake wetland, Beijing CUI Tianxiang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1160)
- Identifying typical plant ecological types based on spectral characteristic variables: a case study in Wild Duck Lake wetland,
Beijing LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1172)
- Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province
..... LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al (1186)
- Diurnal variation of water quality around *Potamogeton crispus* population WANG Jinqi, ZHENG Youfei, WANG Guoxiang (1195)
- Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China
..... WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1204)
- Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis*
plantations HU Huifeng, LIU Guohua (1212)
- Probability models of forest fire risk based on ecology factors in different vegetation regions over China
..... LI Xiaowei, ZHAO Gang, YU Xiubo, et al (1219)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City YANG Qingsheng, QIAO Jigang, AI Bin (1230)
- The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone TANG Dehao, ZOU Xinqing, LIU Xingjian (1240)
- Impacts of drying-wetting cycles on CO₂ and N₂O emissions from soils in different ecosystems OUYANG Yang, LI Xuyong (1251)
- Evaluation of low-carbon competitiveness in Western China JIN Xiaoqin, DU Shouhu (1260)
- Flood return period analysis of the Bayi Reservoir Watershed based on HEC-HMS Model ZHENG Peng, LIN Yun, PAN Wenbin, et al (1268)
- Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model CHAI Rushan, CAI Tiju, MAN Xiuling, et al (1276)
- Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, et al (1285)

Resource and Industrial Ecology

- Nitrogen flows in "crop -edible mushroom" production systems in Hexi Corridor Oasis Irrigation Area LI Ruiqin, YU Anfen, ZHAO Youbiao, et al (1292)
- Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut WANG Caibin, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, et al (1300)
- Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon PANG Xu, HE Wenqing, YAN Changrong, et al (1308)
- Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1317)

Opinions

- Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework ZHANG Zhiguang (1326)

《生态学报》2013 年征订启事

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

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

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

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段靖

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

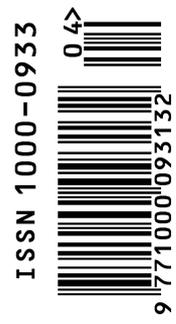
第33卷 第4期 (2013年2月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 4 (February, 2013)

编辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发行	科学出版社 地址:东黄城根北街16号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@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	京海工商广字第8013号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元