

DOI: 10.5846/stxb201804020740

白江迪, 刘俊昌, 陈文汇. 基于结构方程模型分析森林生态安全的影响因素. 生态学报, 2019, 39(8): - .

Bai J D, Liu J C, Chen W H. Influence on forest ecological security based on a structural equation model. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(8): - .

## 基于结构方程模型分析森林生态安全的影响因素

白江迪, 刘俊昌\*, 陈文汇

北京林业大学经济管理学院, 北京 100083

**摘要:** 森林生态安全是维持国家生态安全的重要基础,也是人类生存的必要环境。森林不仅为人类提供木材和其他林副产品等实物价值,还具有美化环境、固碳释氧、涵养水源、防风固沙等生态服务价值,对维持生态平衡有重要作用。生态安全的相关研究多集中在构建评价指标评价森林生态安全,研究内容相对单一,而针对林业生态-产业共生关系的研究,并没有对林业产业类型进行区分,其次,林业产业发展对森林生态安全的影响研究较少。针对上述问题,在考虑产业分类的基础上,基于 PSR 理论和狭义的森林生态安全定义,利用 31 个省(市、自治区)3 年的林业统计数据,运用 PLS 结构方程模型分析林业产业发展、森林生态保护对森林生态安全的影响及影响的大小,并分析了各地区森林生态保护的响应活动,为林业产业发展和森林生态保护的政策制定提供依据,从而促进林业的可持续发展。基于上述分析得出如下结果:(1)林业产业发展对森林生态安全无显著影响,但有部分子产业有森林生态安全有影响;(2)林业一产发展对森林生态安全有显著地直接影响,路径系数为 0.175,间接影响不显著;(3)林业二产和三产发展对森林生态安全的直接影响和间接都不显著;(4)三类产业对林业产业发展的影响均显著,影响的大小分别为林业二产(0.636)、林业一产(0.204)、林业三产(0.151);(5)森林生态保护对森林生态安全有显著地直接影响,路径系数为 0.619;(6)相对于其他地区,西部的森林生态保护活动积极性不高。由此得出如下结论:林业产业发展及林业二产、林业三产对森林生态安全未形成压力,只有林业一产发展对森林生态安全产生了正压力,需进一步加强林业产业结构的调整;加大保护响应力度对森林生态安全的影响大于合理利用的正压力;加强西部区域的森林生态保护力度,提高森林生态安全。

**关键词:** 林业产业;森林生态;生态安全;生态保护

## Influence on forest ecological security based on a structural equation model

BAI Jiangdi, LIU Junchang\*, CHEN Wenhui

School of Economic and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

**Abstract:** Forest ecological security is an important foundation for maintaining national ecological security, and is also necessary for human existence. Forests can provide humans with not only physical value, such as wood and other forest by-products, but also ecological service value, such as beautifying the environment, sinking carbon and releasing oxygen, cultivating water sources, resisting wind, and fixing sand, which is fundamental in maintaining ecological balance. Existing research regarding forest ecological security has mainly focused on the construction of an evaluation index of forest ecological safety, and its content is relatively simple. Research on forestry ecological-industrial symbiosis has not determined the influence of the type of forestry industry, and there is limited research on the influence of forestry industry development on forest ecological security. In view of the above problems and industrial classification, based on the PSR (Press-State-Response) theory and narrow definition of forest ecological security, using forestry statistics from 31 provinces (municipalities and autonomous regions) in 3 years, the present study analyzed the influence and degree of influence of forestry industry development, and forest ecological protection on forest ecological security using a PLS structural equation

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71573018)

收稿日期:2018-04-02; 网络出版日期:2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liujunchang@vip.sina.com

model, and analyzed the response activities of forest ecological protection in different areas. The results will provide a basis for the policy formulation of forestry industry development and ecological protection, to promote forestry sustainable development. The following results showed that (1) forestry industry development had no significant influence on forest ecological security, but some branch industries influenced the forest ecological security; (2) the forestry primary industry had a significant and direct impact on forest ecological security, and the path coefficient of the influence was 0.175, and the indirect effect is not significant; (3) the direct and indirect influence of the forestry secondary and tertiary development on forest ecological security were both not significant; (4) the influence of the three branch industries on forestry industry were significant, and the impact ranking is: forestry secondary industry, primary industry, and tertiary industry, and the path coefficient of the influence are 0.636, 0.204, 0.151, respectively; (5) the forest ecological protection had a significant and direct impact on forest ecological security, and the path coefficient of the influence was 0.619; (6) compared with other areas, the enthusiasm of the activities of forest ecological protection in the West is not high. Therefore, it was concluded that the forestry industry development, and forestry secondary and tertiary industry do not produce pressure on forest ecological security, and only the forestry primary industry produces positive pressure on forest ecological security, so the adjustment of the structure of the forestry industry should be further strengthened. Increasing the protection response has more impact on forest ecological security than the positive pressure of reasonable utilization; the forest ecological protection in the western region should be strengthened to improve forest ecological security.

**Key Words:** forestry industry; forest ecology; ecological security; ecological protection

为平衡经济发展和生态环境保护,生态安全成为国际社会关注的焦点。2014年中国明确将生态安全纳入国家安全体系,生态安全与政治安全、军事安全和经济安全一样是国家安全的重要组成部分。森林生态安全是维持国家生态安全的重要基础,也是人类生存的必要环境。森林不仅为人类提供木材和其他林副产品等实物价值,还具有美化环境、固碳释氧、涵养水源、防风固沙等生态服务价值,对维持生态平衡有重要作用。林业产业发展依托于森林,与森林生态安全有直接关系,林业产业发展是否危害森林生态安全,如何维持森林生态安全,如何实现林业产业与森林生态“双赢”的局面是目前亟需解决的问题。

目前学术界对森林生态安全还没有统一的定义,整理相关研究发现,广义的森林生态安全是指在维持森林生态系统自身安全的前提下,人类和经济发展不受威胁的状态,是一个自然、经济社会的复合系统。狭义的森林生态安全是仅指森林生态系统自身安全,即森林生态系统自身的健康、完整和可持续性<sup>[1]</sup>。有关森林生态安全的研究集中在森林生态安全评价、生态安全与经济的关系两方面。森林生态安全评价多基于广义的森林生态安全概念和PSR(压力-状态-响应)理论构建评价指标体系<sup>[2-9]</sup>。有关经济发展与生态安全的研究有生态足迹与人均GDP关系研究<sup>[10-11]</sup>、生态与经济协调关系研究<sup>[12]</sup>、木材需求及林地占有与经济关系研究<sup>[2]</sup>、林业产业与生态关系研究<sup>[13]</sup>。在林业产业与生态关系研究中,张智光<sup>[13]</sup>为避免“就生态论生态”的事后评价,提出了林业生态安全的概念,之后,张智光<sup>[14]</sup>又提出了林业生态安全的共生耦合测度模型。进一步学者们不但对产业-生态共生理论在理论上进行了扩展<sup>[15]</sup>,在研究方法上也补充了实证内容<sup>[16-19]</sup>。

依据可持续发展理论,林业产业发展与森林生态环境相协调才能实现“双赢”发展和可持续发展。现有研究多集中在构建评价指标评价森林生态安全,针对林业生态-产业共生关系的研究,多以定性研究为主,并集中在生态与产业共生关系的探讨上,但并没有对林业产业类型进行区分,针对林业产业发展对森林生态安全的影响研究较少。本文基于狭义的森林生态安全概念,依据PSR理论,将森林生态安全的影响因素分为林业产业发展和森林生态保护,通过构建PLS结构方程模型研究林业产业发展和森林生态保护对森林生态安全的影响及其程度,并分析了各地区森林生态保护的响应活动,为林业产业发展和森林生态保护的政策制定提供依据,从而促进林业的可持续发展。

### 1 研究方法

#### 1.1 理论框架

PSR(Press-State-Response)理论已广泛应用于土地生态安全、水流域生态安全、区域生态安全、森林生态安全等评价研究上。PSR理论在认识了环境受到人类活动施加的压力后,自然资源的质量与数量发生了变化的基础上,归纳出了3种指标:环境压力、环境状态和社会反应,3种指标分别表示人类活动对环境承载力的负重、环境系统在各种作用下呈现的状态及人类为应对环境问题实施的方针对策。结合林业产业发展、森林生态保护与森林生态安全的关系,本文将PSR理论引入到森林生态安全的影响因素分析中

森林生态系统是陆地上最大的生态系统,是自然生态系统的重要组成部分,在不受人类活动或自然灾害干扰的状态下可以进行自我修复,天然更新,并可长期维持一种平衡状态,但人类的生活、生产活动都离不开林业,不可避免要对森林生态安全形成压力。人类活动对森林生态安全形成的压力主要体现在经济行为上,可用林业产业发展表示(用产生经济收益为主的指标)。而人类活动对森林生态安全问题做出相应的响应主要体现在对森林的保护行为上,可用针对森林生态保护实施的各项政策和投资得出的成果表示(用产生生态效益为主的指标)。结合PSR理论,构建如图1所示的森林生态安全影响因素分析,即森林生态安全状态受到了林业产业发展压力和森林生态保护响应的影响。森林生态安全状态是指在支持林业产业发展的背景下,森林生态系统呈现的健康、完整和可持续的状态。林业产业发展压力是指林业发展为追求经济利益,通过利用森林生态系统中的森林资源,干扰森林资源组成结构和森林生态平衡,对森林生态安全形成压力。依据对森林资源的不同利用形式,林业产业依次分为林业一产、林业二产、林业三产。三类产业对森林生态安全的影响存在差异。森林生态保护响应是指国家、组织或个人为解决当前森林生态问题而做出的努力。

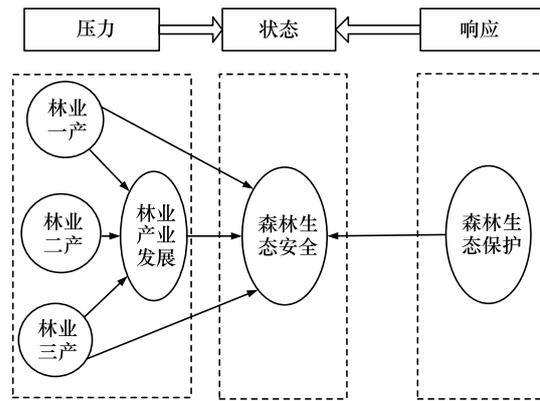


图1 基于PSR理论的森林生态安全影响因素分析  
Fig.1 The influence of forest ecological security with the PSR theory

#### 1.2 研究假设

H1:林业产业发展有利于森林生态安全

林业产业发展有利于森林生态安全的影响分为以下两方面:(1)林业产业发展从森林中获取的木材、林产品等实物原料价值和生态旅游等非实物价值,为森林生态带来了资源损耗,但也加快了森林资源的换代更新,促进了森林生态安全;(2)林业产业发展正在逐步进入注重经济、生态与社会效益协调发展的现代林业阶段,产业发展带来的压力也在促使森林生态系统的森林经营管理模式不断优化,以达到“双赢”。林业产业发展为实现可持续经营目标,需要促进森林生态安全。

H2a:林业一产发展促进林业产业发展

H2b:林业一产发展有利于森林生态安全

H3a:林业三产发展促进林业产业发展

H3b:林业三产发展有利于森林生态安全

H4:林业二产发展促进林业产业发展

林业一产包含林木培育和管理、木材与竹材采运等内容,林木培育和管理通过提高森林质量影响森林生态安全,而木材与竹材采运通过损耗森林资源影响森林生态安全。整体上,林业一产是循环经营活动,需保持林业经营的可持续性,因此,林业一产是对森林进行人为更新,有利于森林生态安全。林业三产的服务业,通

过大量消费者对森林生态系统的干扰,影响森林生态安全,但同时林业三产发展会维持健康稳定的森林生态系统,以期有长远的发展。因此,一般来讲,第三产业的发展有利于森林生态安全。

林业二产以制造业为主,通过对林木和林产品的进一步加工,增加林木和林产品的附加值和 market 价值。在林业二产生产规模既定的情况下,先进的林业加工技术可以减少对森林资源的需求,有利于森林生态安全。但在林业技术既定的情况下扩大规模会增加对森林资源的需求,不利于森林生态安全。近几年国内对生态环境建设的加强,使木材加工业规模扩大受到限制,林业二产正在由粗加工向精加工方向转变,因此林业二产通过林业产业发展间接有利于森林生态安全。

#### H5: 森林生态保护有利于森林生态安全

为提高森林资源数量和质量,政府、企业和个人在经济、社会和政策法律等方面做出了很多努力。通过投入人力和资金提高森林经营水平;通过划定生态保护区域,尊重森林自然生长规律,减少对森林生态系统的人为干扰;通过重点区域生态建设,保护局部生态安全。森林生态保护有助于保证森林生态系统的结构完整和功能稳定,有利于森林生态安全。

### 1.3 结构方程模型

结构方程模型是结合因子分析和回归分析的多元统计方法,可同时估算测量变量和潜变量(即不可观测变量)及潜变量之间的关系,该方法已广泛应用于社会学、心理学、管理学等领域。结构方程模型由测量模型和结构模型组成,分别估算测量变量和潜变量之间的关系、潜变量之间的关系。

$$\text{测量模型: } X = \Lambda_x \xi + \delta \quad Y = \Lambda_y \eta + \varepsilon$$

$$\text{结构模型: } \eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta$$

式中, $X$ 、 $Y$ 分别表示外生测量变量和内生测量变量, $\xi$ 、 $\eta$ 分别为外生潜变量和内生潜变量, $\Lambda_x$ 表示 $X$ 在 $\xi$ 上的因子载荷矩阵, $\Lambda_y$ 表示 $Y$ 在 $\eta$ 上的因子载荷矩阵, $\delta$ 、 $\varepsilon$ 表示测量误差; $B$ 表示内生潜变量之间的作用路径系数矩阵, $\Gamma$ 表示外生潜变量对内生潜变量的影响路径系数矩阵, $\zeta$ 表示随机干扰项。

由于森林生态安全、林业产业发展和森林生态保护属于不可观测的变量,故本文采用结构方程模型。结构方程模型分为基于协方差矩阵估计的CB结构方程模型(硬模型)和基于偏最小二乘法估计的PLS结构方程模型(软模型),由于PLS结构方程模型对样本量和数据正态性的要求相对宽松,样本量在30到100之间即可,故本文选择PLS结构方程模型。

### 1.4 森林生态保护响应评价

由于各省的森林资源保护对政策的响应差异较大,本文将分析各省响应的空间差异性。森林生态保护由多个观测变量组成,需要对该变量进行主成分分析。基于结构方程模型的结果,即潜变量森林生态保护与多个观测变量间的载荷系数 $\lambda$ ,计算各个测量指标的权重系数,公式如下: $\omega_{xi} = \lambda_{xi} / \sum_i \lambda_{xi}$ 。式中, $\omega_{xi}$ 为测量变量 $x_i$ 的权重系数, $\lambda_{xi}$ 为潜变量与测量变量间的载荷系数。

为通过测量指标测算潜变量森林生态安全,需对指标进行无量纲标准化。处理方法如下:

$$\text{正向指标 } \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$\text{负向指标 } \bar{x}_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

式中, $x_{ij}$ 表示第 $j$ 省的第 $i$ 个指标值, $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 分布表示指标 $x_{ij}$ 的最大值和最小值。

### 1.5 数据选取与说明

本文依据理论分析和数据的可获得性,从森林生态安全、林业产业发展和森林生态保护三个方面选取了相关的指标。(1)森林生态安全的指标选取。评价森林生态安全最直接的指标是森林资源量<sup>[13]</sup>,包括森林覆盖率、森林面积、森林蓄积。此外,依据狭义概念,深层反映森林生态安全的指标还应包括森林生态系统健康、完整和可持续,其中,反映森林健康的指标有森林病虫害未发生率;反映完整的指标有林龄结构、天然林比

重;可持续性是一种可以长久维持的过程或状态,是森林生态系统健康和完整综合体现的状态,是一个动态过程,需使用时间序列数据研究,考虑本文研究方法的局限性,不考虑该项指标。(2)林业产业发展的指标选取既要反映林业产业发展水平,又要反映对森林资源的需求和干扰程度。反映林业产业发展水平最直接的指标有林业增加值、林业劳动生产率。其次,因为林业一产发展、二产发展、三产发展对森林生态安全影响的方式不同,对林业产业发展的贡献不同,因此分别选取不同的指标,具体如表 1。(3)森林生态保护的指标选取。森林生态保护的指标选取了反映人类为保护森林资源而做出的努力及得出的成果,有封山育林、自然保护区、从业人数及重点工程投资额。本文共 6 个潜变量 29 个测量变量指标,如表 1 所示。数据选取以第六、七、八次全国森林资源清查结束年份(2003、2008、2013 年)为代表年份,对我国 31 个省(市、自治区)的森林生态安全的影响因素进行研究。数据来源于《中国统计年鉴》《全国森林资源清查》(第六、七、八次)《中国林业统计年鉴》(2003、2008、2013 年)《全国自然保护区名录》及 EPS 全球统计数据/分析平台。由于时间跨度较大,测量变量中涉及产值、投资、收入的数据均进行剔除物价影响处理。

表 1 基于 PSR 理论森林生态安全的作用机制模型指标

Table 1 The model indicator of the mechanism of forest ecological security with the PSR theory

潜变量 Latent variable	观测变量 Observed Variable	代码 Code	说明 Explain
林业一产发展 FPI Forestry primary industry	林业一产产值	FPI1	包括林木培育和管理、木材与竹材采运、经济林产品采集和种植等产生的价值(万元)
	木材产量	FPI2	包括热带木材、原木和薪材等木材产量(万 m <sup>3</sup> )
林业二产发展 FSI Forestry secondary industry	林业二产产值	FSI1	以木质林产品和非木质林产品加工处理为主的制造业产生的价值(万元)
	第二产业比重	FSI2	林业二产产值/林业总产值×100(%)
林业三产发展 FTI Forestry tertiary industry	林业三产产值	FTI1	包括林业旅游与休闲服务、林业公共管理及其他组织服务等产生的价值(万元)
	第三产业比重	FTI2	林业三产产值/林业总产值×100(%)
	森林旅游收入	FTI3	以森林公园旅游收入表示(万元)
林业产业发展 FID Forestry industry development	林业增加值	FID1	相邻两年林业总产值之差(万元)
	林业劳动生产率	FID2	林业总产值/林业从业人数(万元/人)
森林生态保护 FEP Forest ecological protection	封山育林	FEP1	年末实有封山(沙)育林面积(hm <sup>2</sup> )
	自然保护区	FEP2	林业系统自然保护区数量(个)
	林业从业人数	FEP3	基层(乡镇)林业工作站年末在岗职工总数(人)
	重点工程投资	FEP4	所有重点工程投资,包括天然林资源保护工程、退耕还林工程、京津风沙源治理工程等建设投资
森林生态安全 FES Forest ecological security	森林覆盖率	FES1	森林面积/土地总面积×100(%)
	森林面积	FES2	(万 hm <sup>2</sup> )
	森林蓄积	FES3	森林蓄积(万 m <sup>3</sup> )
	林龄结构	FES4	(1-森林中幼林抚育面积/森林面积)×100(%)
	天然林比重	FES5	天然林面积/森林面积×100(%)
	森林病虫害未发生率	FES6	(1-森林病虫害发生面积/森林面积)×100(%)

## 2 实证分析

依据上述分析,运用 SmartPLS 3.2.6 软件(该软件自动对原始数据进行标准化处理)构建结构方程模型并对测量方程和结构方程的拟合效果、模型拟合程度和各种参数依次进行检验,结果如下:

### 2.1 模型检验

#### 2.1.1 信度检验

由于测量误差的存在,需进行数据的信度进行检验。信度检验用于检测测量数据的一致性 or 稳定性,包

括内部一致性信度检验,一般采用 Cronbach's Alpha 测量,和合成信度检验(Composite Reliability, CR)。Cronbach's Alpha 越接近 1,表示信度越高,测量的误差值越低,稳定性越好;当 Cronbach's Alpha  $\geq 0.7$  时,属于高信度;当  $0.35 \leq \text{Cronbach's Alpha} < 0.7$  时,属于中信度;当 Cronbach's Alpha  $< 0.35$  属于低信度。一般认为 Cronbach's Alpha 大于 0.7 或 0.6 即可,CR 大于 0.7 即可。7 个潜变量的信度检验结果如表 2 所示,除第一产业发展(FPI)、第三产业发展(FTI)与森林生态保护(FEP)的 Cronbach's Alpha 值小于 0.7,大于 0.6 外,其余变量均大于 0.7,满足要求。CR 值均大于 0.7,均达到标准;表明各变量均通过了信度检验,具有良好的 consistency 或稳定性。

表 2 信度检验和收敛效度检验结果

Table 2 The result of reliability test and convergence validity test

潜变量 Latent variable	内部一致性信度 Cronbach's alpha	合成信度 CR Composite reliability,	平均提取方差值 AVE Average variance extracted values
FPI	0.625	0.837	0.720
FSI	0.778	0.896	0.812
FTI	0.696	0.818	0.606
FID	0.759	0.892	0.806
FEP	0.686	0.808	0.514
FES	0.864	0.898	0.598

### 2.1.2 效度检验

效度检验用于检测选取的测量变量是否是测量该潜变量的工具,及能否正确测量出该潜变量。信度是效度的必要条件,而不是充分条件,需进一步检验<sup>[20]</sup>。效度检验包括判别效度和收敛效度检验,分别用于检测排他性问题和周延性问题。判别效度通过比较 AVE 值的平方根是否大于其他潜变量之间的相关系数判断,在表 3 中表现为对角线的值是否大于当列和当行其他数的绝对值。结果显示均达到要求,表明各潜变量间具有良好的区分效度。收敛效度一般通过 AVE 值判断,AVE 值大于 0.5 即可。收敛效度检验结果如表 2 最后一列所示,均大于 0.5,表示存在内敛效度。

表 3 判别效度检验结果

Table 3 The result of discriminant validity test

	FPI	FSI	FTI	FID	FEP	FES
FPI	0.849					
FSI	0.743	0.901				
FTI	0.559	0.634	0.778			
FID	0.760	0.883	0.668	0.898		
FEP	0.370	0.119	0.321	0.027	0.717	
FES	0.293	0.138	0.236	-0.002	0.702	0.773

### 2.1.3 模型拟合结果检验

采用 Bootstrapping 算法对模型进行显著性检验,结果如表 4。假说 H1、H3b 没有达到显著性检验,不支持原假说,其余假说均达到了显著性检验。PLS 结构方程与一般回归分析一样,通过  $R^2$  结果判断方程的解释能力,图 2 显示,对森林生态安全有 50.3% 的解释程度,对林业产业发展有 81.7% 的解释程度,其中  $R^2$  的  $t$  检验结果分别为 18.648、7.381,均在 1% 的统计水平上显著。

表 4 模型拟合结果

Table 4 The fitting result of model

假说 Hypothesis	潜变量间关系 Relationship between latent variables	标准路径系数 Standard path coefficient	t 值 T value	P 值 P value	假说检验结果 Result of hypothesis test
H1	林业产业发展→森林生态安全	-0.200	1.227	0.110	不支持
H2a	林业一产发展→林业产业发展	0.204	1.580	0.057	支持
H2b	林业一产发展→森林生态安全	0.175	1.331	0.092	支持
H3a	林业三产发展→林业产业发展	0.151	1.674	0.047	支持
H3b	林业三产发展→森林生态安全	0.073	0.711	0.238	不支持
H4	林业二产发展→林业产业发展	0.636	6.183	0.000	支持
H5	森林生态保护→森林生态安全	0.619	7.949	0.000	支持

“→”代表路径方向;H1:假说 1, Hypothesis 1; H2a:假说 2a, Hypothesis 2a; H2b:假说 2b, Hypothesis2b; H3a:假说 3a, Hypothesis3a; H3b:假说 3b, Hypothesis3b; H4:假说 4, Hypothesis4; H5:假说 5, Hypothesis5

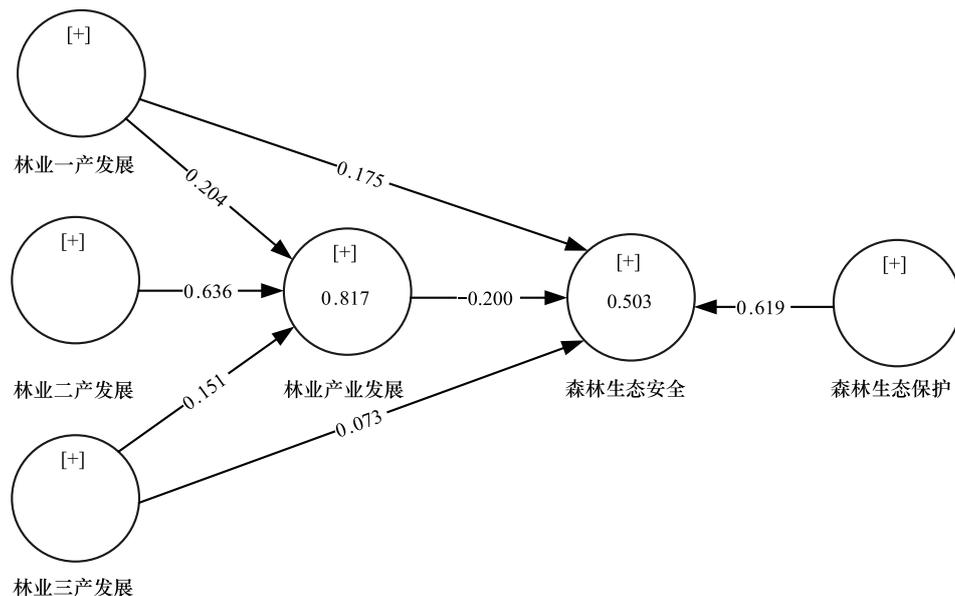


图 2 PLS 结构方程模型拟合结果

Fig.2 The fitting result of PLS structural equation model

图中“+”表示隐藏了测量变量,即未显示测量变量与潜变量的载荷系数;PLS:偏最小二乘算法,Partial least squares algorithm

## 2.2 模型结果分析

林业产业发展对森林生态安全的影响。(1)林业产业发展对森林生态安全的影响未达到显著性水平,不支持假说 H1。表明林业产业发展的模式对森林生态安全未形成压力。原因可能是一方面从人们利用森林的历史来看,林业产业发展经历了毁林开荒的原始林业、以木材利用为主的传统林业和以生态利用为主的现代林业三个阶段,对森林生态安全形成的压力程度逐步降低。另一方面林业产业发展并未实现对森林生态安全中的森林资源进行可持续利用,因为若林业产业发展已经达到了可持续经营水平,便可实现森林资源的循环利用,呈现一种平衡状态,将促进森林生态安全。林业产业发展与森林生态安全要共同实现“双赢”,还需不断调节林业的资源要素配置和产业结构,达到最优经营水平。(2)林业一产发展对林业产业发展和森林生态安全的直接影响路径系数分别为 0.204、0.175,在 10%统计水平上显著,支持假说 H2a、H2b;由于林业产业发展对森林生态安全的影响不显著,因此林业一产发展对森林生态安全的间接影响也不显著。表明林业一产的发展不仅促进林业产业发展,还直接有利于森林生态安全,形成了正向压力。原因可能是近几年国内一直加大对林业的保护政策,限制林木的采伐,基本取消了皆伐形式,不断优化森林经营模式,以实现经济效益、生态

效益和社会效益三大综合效益为目标,对森林生态安全起到了保护作用。在传统林业阶段,林业经营者注重提高森林资源数量,多种植纯种林,并采用皆伐形式采伐,造成森林生态安全不稳定。在林业现代化进程中,随着森林生态安全的不稳定性增加,林业经营者逐步注重林业的可持续经营,开始种植混交林,并采用择伐形式采伐,维护了森林生态安全的稳定。林业一产可通过对森林资源的干扰直接影响森林生态安全,但通过促进产业发展间接影响森林生态安全的作用不明显。(3)林业三产发展对林业产业发展的直接影响路径系数为 0.151,在 5%统计水平上显著,支持假说 H3a;对森林生态安全的直接影响未达到显著性水平,不支持假说 H3b;同样,由于林业产业发展对森林生态安全的影响不显著,因此林业三产发展对森林生态安全的间接影响也不显著。表明林业三产的发展有利于林业产业发展,但并不对森林生态安全产生直接和间接压力。原因可能是林业三产的发展并不以森林资源的直接利用为依托,对森林生态的干扰程度较小。(4)林业二产发展对林业产业发展的直接影响路径系数为 0.636,在 1%统计水平上显著,支持假说 H4;同样,由于林业产业发展对森林生态安全的影响不显著,因此林业二产发展对森林生态安全的间接影响也不显著。林业二产是通过对林木和林产品等森林资源的需求,间接影响森林生态安全,而结果显示间接影响不显著,表明林业二产的发展对森林生态安全没有形成一定的压力。林业二产的发展有利于林业产业发展,从结果的数值看,林业二产对林业产业发展的影响最大(0.636),其次是林业一产(0.204)、林业三产(0.151);林业二产的发展对森林生态安全不产生压力。原因可能是林业二产对森林资源的需求不但依赖国内,还有一半依赖国外,降低了林业二产发展对森林生态的干扰。

森林生态保护对森林生态安全的影响。森林生态保护对森林生态安全的直接影响路径系数为 0.619,且在 1%的统计水平上显著,支持假说 H5。表明加大森林生态的保护响应有助于提高森林生态安全。森林是一个复杂的生态系统,一旦失去平衡,很难恢复。人类对森林生态的保护行为从最初的植树造林向更先进的方向发展,如改进森林经营模式、提出更符合林木自然生长规律的经营理论、依据区域生态需求实施保护政策等,并取得了一定的成效。对森林生态安全有影响的只有林业一产发展和森林生态保护,从系数的绝对值判断,森林生态保护的影响大于林业一产发展,表明加大保护力度对森林生态安全的影响大于合理利用的影响。

### 2.3 森林生态保护响应的空间分布

在上述分析的基础上,进一步分析各地区的森林生态保护响应情况。基于结构方程模型测算的森林生态保护的载荷系数,推算各个测量指标的权重。由于森林生态保护的测量指标均为正向指标,只需依照正向指标的标准化处理公式计算即可。最后将标准化后的测量指标进行加权求和即可得出森林生态安全的评价值。为直观显示 2003、2008 和 2013 年的森林生态保护响应活动在区域的分布情况,利用 ArcGIS 软件作图,结果如图 3。结果显示,(1)东北部、西南部和部分南部地区的森林生态保护活动最活跃,这些地区都属于森林资源丰富的区域。(2)西部地区和中部地区的森林生态保护活动最不积极,也是少林或生态脆弱地区。(3)大部分地区森林生态保护力度在加强,而广西出现了下降趋势,可能的原因是近几年广西鼓励开展林下经济,开放部分保护的林区。但这并没有对广西的森林生态安全造成威胁,相反,森林资源的合理利用为广西农户带来了经济收益,促使农户对森林资源有了更强的保护意愿。对于森林生态脆弱的西部区域,应加强森林生态保护,只有森林生态得到恢复,才有林业产业发展的基础,才能够为林区附近的农民提供收益。

## 3 结论与讨论

本文基于 PSR 理论分析林业一产发展、林业二产发展、林业三产发展、林业产业发展、森林生态保护对森林生态安全的影响,利用 31 个省(市、自治区)3 年的林业统计数据 and PLS 结构方程进行了定量验证,得出如下结论:

(1)林业产业发展对森林生态安全未形成压力,且林业二产与林业三产也对森林生态安全没有压力作用,但林业一产发展对森林生态安全产生正压力。林业产业发展要与森林生态安全实现“双赢”,还需进一步加强林业产业结构的调整,实现林业的可持续经营目标。研究结果显示三类产业对林业产业的影响大小依次

是林业二产、林业一产、林业三产,从产业发展和提高森林生态安全的角度分析,林业二产已经实现“数量”上的要求,下一步应向采用高端技术方向发展;林业一产应在现有的发展模式基础上,逐步改进森林经营模式;林业三产发展应得到重点关注,提高其在产业结构中的作用。

(2) 加大保护响应力度对森林生态安全的影响大于合理利用的正压力。政府近几年对森林生态实施的保护响应措施起到了正向作用,提高了森林生态安全,林业一产的发展对森林资源的利用处于合理化阶段,有助于提高森林生态安全。林业的经济功能和生态功能同时得到了良好的发挥,但森林生态安全产生的正外部性还需继续依靠政府制定相关政策和发放相关补贴进行解决。

(3) 森林生态脆弱的西部区域需加强森林生态保护。西部的森林生态安全问题已不单单是由林业产业发展带来的压力引起的,更重要的是自然因素和历史原因导致的问题。因此对于西部的森林资源,首先要关注地是如何保护好森林生态,只有森林生态得到恢复,才有可能实现林业产业发展。

为建设良好的森林生态安全环境,提出如下的建议:应继续调整林业产业结构,重点发展林业三产;继续加强现有的森林生态保护政策,提高森林生态安全,尤其是西部地区。此外,森林生态安全是一个动态过程,虽然本文采用的是面板数据,但限于结构方程模型使用的局限性,无法进行动态分析,希望有关学者能做进一步改进。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 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.
- [ 2 ] 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.
- [ 3 ] 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.
- [ 4 ] 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中的应用. 东北林业大学学报, 2013, 41(6): 66-71, 75-75.
- [ 5 ] 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): 6636-6645.
- [ 6 ] 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.
- [ 7 ] 张颖, 苏蔚. 森林生态安全评价探析——以宁夏吴忠市为例. 环境保护, 2018, 46(S1): 35-40.
- [ 8 ] 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.
- [ 9 ] Liu X H, Lin L, Yu P. Ecological zoning for regional sustainable development using an integrated modeling approach in the Bohai Rim, China. Ecological Modelling, 2017, 353: 158-166.
- [ 10 ] Charfeddine L. The impact of energy consumption and economic development on ecological footprint and CO<sub>2</sub> emissions; evidence from a Markov switching equilibrium correction model. Energy Economics, 2017, 65: 355-374.
- [ 11 ] Charfeddine L, Mrabet Z. The impact of economic development and social-political factors on ecological footprint: a panel data analysis for 15 MENA countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 76: 138-154.
- [ 12 ] Chu X, Deng X Z, Jin G, Wang Z, Li Z H. Ecological security assessment based on ecological footprint approach in Beijing-Tianjin-Hebei Region, China. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2017, 101: 43-51.

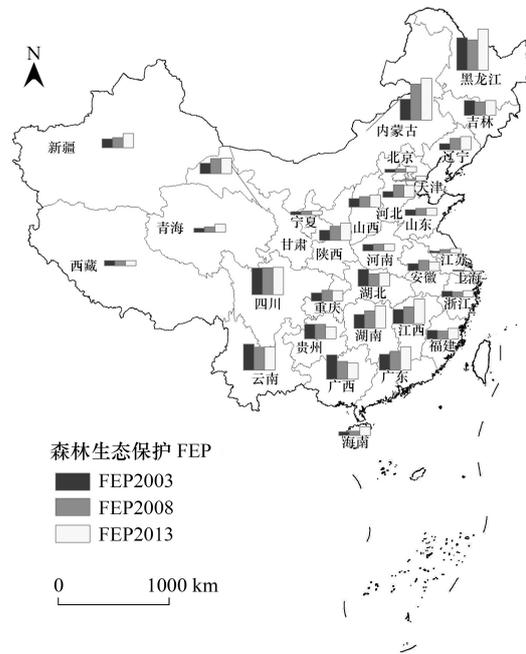


图 3 森林生态保护响应活动的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of the activities about forest ecological protection response

FEP: 森林生态保护, Forest ecological protection

- [13] 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.
- [14] 张智光. 林业生态安全的共生耦合测度模型与判据. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(8): 90-99.
- [15] 张浩, 张智光. 林业生态安全的二维研究脉络. 资源开发与市场, 2016, 32(8): 965-970.
- [16] 董沛武, 张雪舟. 林业产业与森林生态系统耦合度测度研究. 中国软科学, 2013, (11): 178-184.
- [17] 廖冰, 张智光, 刘春香, 吴远征. 引入森林资源中介变量的林业产业与生态作用机理研究. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(11): 159-168.
- [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] 陈岩, 张智光, 廖冰. 中国东北国有林区林业生态安全动态变化研究——生态与产业共生视角. 资源开发与市场, 2017, 33(4): 411-416.
- [20] 荣泰生. AMOS 与研究方法. 重庆: 重庆大学出版社, 2009.