

DOI: 10.5846/stxb202105241352

冯彦,董超,包庆丰.中国城镇化对森林生态安全的影响.生态学报,2022,42(7):2984-2994.

Feng Y, Dong C, Bao Q F. Impact of urbanization on forest ecological security in China. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(7): 2984-2994.

中国城镇化对森林生态安全的影响

冯彦¹, 董超², 包庆丰^{3,*}

1 中国社会科学院生态文明研究所, 北京 100710

2 国家信息中心公共技术服务部, 北京 100045

3 内蒙古农业大学经济管理学院, 呼和浩特 010010

摘要:森林关系国家生态安全,城镇化已经成为中国的一个重要发展战略规划。既要推进城镇化,也要提高森林生态系统的安全性。中国城镇化是提高森林生态系统安全性还是恶化森林生态环境,存在争议。借鉴 PSR 模型、EKC 曲线,采用 1999—2018 年中国省际面板数据,分析森林生态安全指数时空变化,建立固定效应模型研究中国不同时期、不同区域城镇化对森林生态安全的影响,得出以下结论:①1999—2018 年,中国森林生态安全指数均值从 0.4683 上升至 0.5038,森林生态安全水平整体上得到了提升。②总体样本上,城镇化与森林生态安全指数之间存在倒“U”型。城镇化水平较低时,能够提高森林生态安全水平,反之,降低森林生态安全系统的安全性。③城镇化对森林生态安全的影响存在时间差异性,1999—2010 年,城镇化与森林生态安全显著正相关,而 2010—2018 年,二者负相关。④城镇化对森林生态安全的影响存在区域差异性。东部地区城镇化与森林生态安全显著负相关,而中西部地区二者正相关。此外,三二产业占比与森林生态安全指数正相关,产业结构升级带来森林生态安全的改善。基于以上分析,本文建议:①城镇化水平较低的地区,加快农村劳动力向城市转移,促进农村人口向城市集聚,而城镇化水平较高的地区,加强森林生态安全红线控制,降低能源总量消耗和污染总量排放。②用生态文明理念引领产业结构实现绿色转型,推进循环经济。

关键词:城镇化;森林生态安全;时间效应;区域差异性

Impact of urbanization on forest ecological security in China

FENG Yan¹, DONG Chao², BAO Qingfeng^{3,*}

1 Research Institute for Eco-civilization, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100710, China

2 Public Technology Service Department, State Information Center, Beijing 100045, China

3 College of Economics and Management, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China

Abstract: Forests play an important role in maintaining national ecological security, and urbanization has been an importantly strategic development plan in China. We should not only promote urbanization, but also improve the security of forest ecosystems. It is controversial whether urbanization in China will improve the security of forest ecosystem or worsen the forest ecological environment. The paper applies the PSR (Pressure-State-Response) model and EKC (Environment Kuznets Curve), uses the panel data of China's provinces from 1999 to 2018 to analyze the spatial and temporal variation of forest ecological security index. We establish a fixed effect model to study the impacts of urbanization in different periods and regions on forest ecological security in China. The conclusions are as follows. Firstly, from 1999 to 2018, the average forest ecological security index in China increased from 0.4683 to 0.5038, indicating that the forest ecological security level has been improved. Secondly, in the overall sample, there is an inverted U-shaped relationship between urbanization and forest ecological security index. When the level of urbanization is low, urbanization can improve the level of forest ecological

基金项目:国家社会科学“欠发达沿海城市发展的制约因素与突破路径研究”(20BJY067)

收稿日期:2021-05-24; **网络出版日期:**2021-12-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bqf1183@163.com

security. On the contrary, urbanization can reduce the security of forest ecological security system. In addition, the impacts of urbanization on forest ecological security are temporal differences. From 1999 to 2010, there was a significantly positive correlation between urbanization and forest ecological security index, while from 2010 to 2018, there was a negative correlation between urbanization and forest ecological security index. Finally, there are regional differences in the impact of urbanization on forest ecological security. There is a significantly negative correlation between urbanization and forest ecological security index in eastern China, while there is a positive correlation between urbanization and forest ecological security index in central and western China. In addition, the ratio of tertiary and secondary industry is positively correlated with forest ecological security index, which indicates that the upgrading of industrial structure brings the improvement of forest ecological security. Based on the above analysis, the following suggestions are proposed: ① we should accelerate the transfer of rural labor force to cities and encourage rural population to migrate to cities in areas with low urbanization level. We should strengthen the control of forest ecological security red line in areas with high urbanization level, and reduce total energy consumption and total pollution discharge. ② Green transformation of the industry and circular economy should be promoted under the guidance of the concept of ecological civilization.

Key Words: urbanization; forest ecological security; time effect; regional difference

城镇化是中国的一个重要发展战略,取得举世瞩目的成就,城镇化率由 1999 年的 34.78% 增加到 2019 年的 60.6%。森林关系国家安全,是陆地上最重要和生物总量最丰富的生态系统,对陆地生态环境有决定性的影响,在维护陆地生态平衡有着非常积极的作用。但长期以来中国城镇化主要以政府为主导,城镇空间扩展及其伴随的高强度人类活动和不合理土地利用,对森林生态安全造成多方面负面影响,包括生态系统的功能衰退、生物多样性的降低与动植物生存源地的破坏^[1]。同时,城市建成区周边多分布郁闭度较大的林地,森林生态环境保护作用显著;农村劳动力转移,加速退耕还林进度,减少对农村森林资源的依赖,降低对林业用地的有害干扰,森林资源得到了有效的保护。中国城镇化是提高森林生态系统安全性还是恶化森林生态环境,存在争议。同时,《国家新型城镇化规划(2014—2020)》,提出推动城镇化绿色循环低碳发展的体制机制,实行最严格的生态环境保护制度。中国既要推进城镇化,也要提高森林生态系统的安全性,城镇化的发展不能以牺牲森林生态系统作为代价。揭示城镇化对森林生态安全的内在影响机制,才能有的放矢地制定政策方案。为此,本文基于中国 1999—2018 年省际面板数据,以城镇化为出发点,研究其对森林生态安全的影响程度,具有一定的现实意义。

城镇化有三个重要的表现,第一、人口转移,农村人口向城市转移。第二、产业转型,农业活动向非农业活动转型。第三、土地利用变化,农村用地变为城镇用地。城镇化涉及到农村和城市两个层面。城镇化对森林生态安全的影响从城市、农村两个层面,人口转移、产业转型和土地利用变化三个方面分析。人口转移方面,城市视角:人口向城市聚集,带来产业向城市集中,产生交通拥堵、住房紧张和环境恶化等问题,增加森林生态系统压力。农村视角:农村人口的减少,使得毁林开荒、薪柴砍伐、牲畜养殖等开发利用农村森林资源的活动减少,降低对森林生态环境的干扰,减轻了农村森林生态压力,促使森林恢复和生态环境的改善^[2]。Izquierdo 利用阿根廷国家尺度的人口和土地利用变化的模型模拟,也发现了农村人口转移可以促进森林的恢复^[3]。产业转型方面,在经济发展初期,农业活动向以制造业、建筑业等为主的第二产业发生转变,这一过程能源持续投入导致污染排放量只增不减,增大森林生态系统压力;随着经济的不断发展,下一阶段经济结构将向低污染的服务业和知识密集型产业转型,之前受损的生态环境由于森林生态系统自我调控功能得以改善。土地利用方面,城市视角:城市建设用地占据了更多的林业用地,导致野生生物减少甚至灭绝,水土流失加重,加剧洪涝灾害的频频发生。农村视角:农户外出打工,将闲置的耕地转为林地,对森林生态系统产生积极作用。城镇化对森林生态安全的影响并非简单地促进或阻碍作用,需要从多角度、多阶段分析。

近年来,城镇化与森林生态系统协调发展的问题受到学术界广泛关注。国内学者对城镇化过程中的森林

生态安全问题研究日渐增多,而对于二者的关系众说纷纭。其一:城镇化能够降低森林生态系统的安全性。Lu 以长江经济带为例,采用空间计量模型,研究森林生态承载力的驱动因素,发现城镇化率与森林生态承载力显著负相关^[4]。王家庭分析快速城镇化的主要表征——城市扩张对生态环境产生负面影响,包括环境污染、资源利用效率低下、吞噬绿色开敞空间等^[5]。Verhoef 证实了城镇化导致的工业集聚是产生各种污染的重要原因^[6]。其二:城镇化能够改善森林生态环境。Qin 认为农村劳动力转移降低对当地自然资源的依赖,有助于植被更新、森林恢复^[7]。城镇人口的增加导致了人们对生态系统服务的需求增加,从而促进自然保护区的保护和建设。这两个趋势促使在整体区域上森林恢复和生态环境的改善^[8]。刘焱序认为城镇化导致的人口和资金集聚能够有效推动周边生态环境的改善,以满足人们居住的要求^[9]。随着家庭外出劳动力个数的增加,薪柴使用量减少 7.3%,农村劳动力转移能够减缓对森林生态环境的压力^[2]。城镇化带来产业集聚,刘习平以 STIRPAT 模型为基本框架,提出产业集聚能有效地改善城市环境状况^[10]。其三:城镇化与森林生态安全并非单一的线性关系。Ehrhardt 基于跨国数据考察城镇化与森林毁林之间的关系,发现二者存在倒“U”型关系^[11]。Robson 研究表明,农村劳动力向城市转移导致土地弃耕尽管促进了森林恢复,但也导致森林-农业镶嵌的景观减少,造成景观同质化和生物多样性下降^[12]。De 基于西欧国家的历史数据,认为森林覆盖率会随着城镇化进度而呈现出倒“U”型变化^[13]。研究方法方面,在森林生态安全评价方面,文献大多采用 PSR 模型构建森林生态安全指标体系。冯彦采用 PSR 模型评价湖北省县域森林生态系统的安全状况^[14]。姜钰运用 PSR 模型对 2005—2015 年全国及各省市自治区的森林生态安全及空间收敛性进行测度分析^[15]。在城镇化与生态环境的关系方面,学者大多基于 EKC 曲线模型,实证研究二者的关系。比如, Ferlaino 和章泉发现在全球范围内存在环境城市曲线(EUC),证实了城镇化与环境污染之间存在倒“U”型关系,随着城镇化水平的提高,对生态环境先恶化后改善^[16-17]。

目前国内外文献对城镇化与森林生态系统之间的关系存在争议,缺少城镇化对森林生态安全内在影响机理的深入研究。究其原因,城镇化的发展存在阶段性,现有文献缺少长时间大尺度实证研究,对二者关系的研究停留在识别与验证层面。国内外学者大多借鉴 EKC 曲线研究城镇化与生态环境之间的关系。据此,本文采用 PSR 模型构建森林生态安全评价指标体系,计算森林生态安全指数,在 EKC 曲线基础上采用全国省际面板数据建立固定(或随机)效应模型,研究城镇化对森林生态安全的影响,通过外商直接投资、经济发展水平和产业结构等变量的控制,分析中国不同时期、不同区域城镇化对森林生态安全的影响,以期为森林生态安全水平的提升提供一定的理论参考和政策建议。

1 中国森林生态安全时空特征分析

Pressure-State-Response (PSR) 最初由 David (1979) 提出用于构建生态系统健康评价体系,后由经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)于 1989 年举办针对环境问题的会议上得到七国集团首脑获得认可。目前被国内外学者广泛用于流域系统、湿地系统、耕地系统和森林系统等。本文借鉴 PSR 模型“压力-状态-响应”的分析框架^[18],构建森林生态安全指标框架,森林生态安全状态类指标是指目前森林生态系统的资源状况,压力类指标用来反映人类的生活、生产活动对森林生态系统进行的破坏性干扰;响应类指标是指人类活动对森林生态系统进行的有益干扰。对森林生态安全系统指标进行加权计算可得森林生态安全指数。

1.1 指数构建

森林生态安全可以被定义为:在一定的时空范围内,一个国家或地区的森林生态系统在遭受外界环境的影响和人类社会经济活动后,可以实现自我调控、自我修复和维护森林生态系统的可持续性、复杂性、可恢复性和可服务性的状态^[19]。森林生态安全指标体系的建立采用 PSR 模型和参考 Tang^[20]、Zhang^[21]、Lu^[19]、李岩^[22]、徐会勇^[23]、冯彦^[24]等人文献,选取土壤有机质、水土流失强度、森林覆盖率、林地面积占比、林地占有量、森林物种丰度指数、森林单位面积蓄积量、天然林比重、异龄林比例、乡土树种比例作为森林状态类指标,

人口密度、单位面积能源消耗、二氧化硫排放强度、病虫害受灾率、森林火灾受灾率作为森林压力类指标,自然保护区占比、国家林业投入强度、年度造林比例作为森林响应类指标。采用专家会议法,于北京林业大学、国际竹藤中心、鹭峰森林公园等地举行森林生态安全指标咨询会议,根据对来自中国科学院、中国社会科学院、中国林业科学院、中国农业科学院、北京大学、国家发展和改革委员会、国家林业和草原局、中国人民大学、北京林业大学、南京林业大学、国际竹藤中心及中国林业经济学会等 31 位林学、生态学、林业经济等方面专家的咨询,提出建议:土壤有机质、水土流失强度、森林物种丰度指数、森林林龄组成、异龄林比例、乡土树种比例等指标数据不易获得;林地占有量与林地面积占比存在重叠;压力类指标主要反映人类的生活、生产活动对森林生态系统进行的破坏性干扰,侧重点为人类的经济社会活动对森林生态系统的压力,建议删除病虫害受灾率、森林火灾受灾率指标;林业投入强度改为政府投入强度。对选择的指标进行了剔除和调整,最终确定了 10 个指标来构建森林生态安全指数,如表 1 所示。

表 1 森林生态安全指标体系

Table 1 Indicator system of forest ecological security

结构 Structure	亚结构 Substructure	指标名称(性质) Index name(nature)	公式 Formula
森林状态指标 Forest status indicator	数量指标	森林覆盖率(+)	森林面积/国土面积×100%
		林地面积占比(+)	林地面积/国土面积×100%
		森林单位面积蓄积量(+)	森林蓄积量/森林面积
森林压力指标 Forest pressure indicator	质量指标 一般压力	天然林比重(+)	天然林面积/森林面积×100%
		人口密度(-)	年末人口数/国土面积
		单位面积能源消耗(-)	能源消耗量/国土面积
		二氧化硫排放强度(-)	二氧化硫排放量/国土面积
森林响应指标 Forest response indicator	维护指标	自然保护区占比(+)	自然保护区面积/国土面积×100%
		政府林业投入强度(+)	政府林业投资额/GDP
		年度造林比例(+)	每年造林面积/森林面积×100%

+为正向指标,-为逆向指标

本文根据熵权法计算森林生态安全指数^[25-28]。熵权法是根据信息论基本原理,将系统的有序程度分为有序和无序两种状态,其中有序程度用信息来表示,而无序程度则用熵来度量,熵值越小的指标提供的信息量越大。熵权法具有赋权客观的优点,能有效避免权重设置的主观影响。

(1) 熵权法权重

①假设有 m 个样本和 n 个指标,则构建判断矩阵:

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

②将判断矩阵指标数据进行标准化处理:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中, y_{ij} 为指标标准化后的数据, $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 分别为第 j 个指标的最大值与最小值。

③计算指标 j 的信息熵:

$$H_j = - \frac{\sum_{i=1}^n Y_{ij} \ln Y_{ij}}{\ln n} \quad (3)$$

$$Y_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^n y_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中, H_j 为指标 j 的信息熵

④计算指标 j 的权重:

$$w_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^n (1 - H_j)} \quad (5)$$

式中, w_j 为指标 j 的权重。

(2) 计算森林生态安全状态指数、森林生态安全压力指数及森林生态安全响应指数
森林生态安全状态指数反映森林系统本身的健康程度, 计算公式为:

$$Z = \sum_{j=1}^n w_j y_{ij} \quad (6)$$

Z 为森林生态安全状态指数, y_{ij} 为状态指标标准化后的数据, w_j 为指标 j 的权重。

森林生态安全压力指数反映人类活动对森林生态系统的破坏性, 计算公式为:

$$Y = \sum_{j=1}^n w_j y_{ij} \quad (7)$$

Y 为森林生态安全压力指数, y_{ij} 为压力指标标准化后的数据, w_j 为指标 j 的权重。

森林生态安全响应指数反映人类活动对森林生态系统的维护, 计算公式为:

$$X = \sum_{j=1}^n w_j y_{ij} \quad (8)$$

X 为森林生态安全响应指数, y_{ij} 为响应指标标准化后的数据, w_j 为指标 j 的权重。

(3) 森林生态安全指数

将森林生态安全状态指数、森林生态安全压力指数、森林生态响应指数进行平均, 可得森林生态安全综合指数, 公式为:

$$ESI = \frac{Z}{3} + \frac{1 - Y}{3} + \frac{X}{3} \quad (9)$$

式中, ESI 为森林生态安全指数, Z 为森林生态安全状态指数, Y 为森林生态安全压力指数, X 为森林生态安全响应指数。

1.2 时空特征分析

依据 PSR 模型, 构建森林生态安全指标体系, 应用熵权法对中国 30 省际(港澳台藏除外) 1999—2018 年森林生态安全进行评价, 计算森林生态安全指数, 并分析 1999 年、2010 年和 2018 年中国省际森林生态安全指数时空变化, 如图 1 所示。

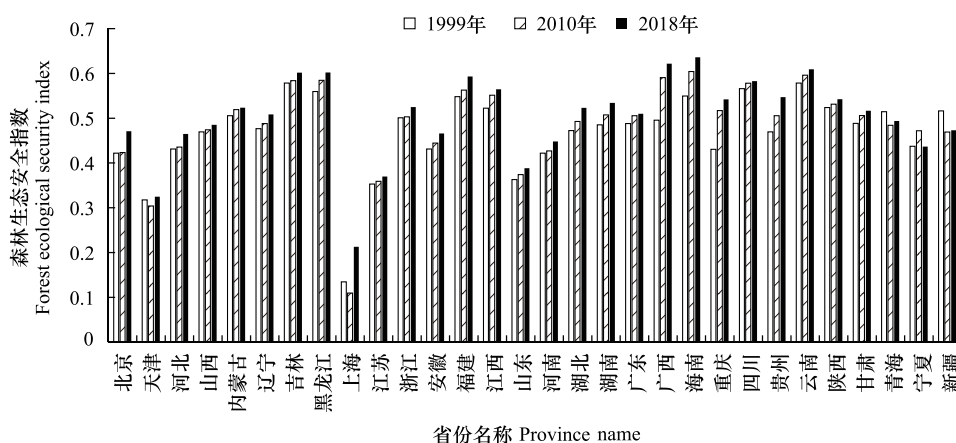


图 1 1999 年、2010 年、2018 年森林生态安全指数时空变化

Fig.1 Spatial and temporal changes of forest ecological security index in 1999, 2010, 2018

森林生态安全状况较好的地区主要分布在南方林区、西南林区和东北林区。其中, 1999 年吉林森林生态

安全水平最高(0.5786),这是因为吉林森林资源丰富,人类行为对森林生态系统负面影响小,森林生态维护投入大。到了2010年和2018年,最高省份位于海南,最主要原因是与其他省份相比森林生态维护投入大。1999年,森林生态安全指数低于0.5的省市自治区位于华北平原地区和中部地区。2010年,低于0.5的地区主要分布在华北地区。2018年,华北平原地区和西北地区的森林生态安全指数均在0.5以下,低于均值水平。说明中部地区森林生态安全水平得到了提升,而对于华北地区和西北地区,尤其华北平原地区,亟需加强森林生态建设力度,提升森林生态安全水平^[29]。1999—2018年,中国森林生态安全指数均值从0.4683上升至0.5038,提升了7.58%,除新疆、青海和宁夏等省、自治区外,中国大多数省市自治区的指数逐年上升,说明1999—2018年中国森林生态安全水平整体上得到了提升。

2 中国城镇化影响森林生态安全实证研究

2.1 变量的选择与数据来源

本文为研究城镇化对森林生态安全的影响,森林生态安全水平作为被解释变量,采用森林生态安全指数来表征,选择城镇化率作为解释变量,采用城镇人口占地区总常住人口的比重来表征。参照韩依洋^[30]、郑雅婷^[31]、Lu^[4]、蔡秀亭^[32]等人的研究选择不变价人均GDP、外商直接投资和产业结构比作为控制变量。本文以1999年为基期,按照国内生产总值指数,计算不变价人均GDP^[33];外商直接投资采用外商直接投资额;产业结构采用第三产业与第二产业的比值来表征。

本文研究对象为省(市、自治区),共计30个研究单元(鉴于数据可得性,研究区未包括港澳台和西藏地区)。各项指标数据来源于1999—2018年的《中国统计年鉴》^[34]、《中国能源统计年鉴》^[35]、《中国林业统计年鉴》^[36]、《中国环境统计年鉴》^[37]和国家统计局等。森林资源每五年清查一次,有关森林资源的数据其他年份采用插值法进行补充。

2.2 计量模型

2.2.1 EKC 曲线

国内外学者大多借鉴EKC曲线研究城镇化与生态环境之间的关系^[38]。本文将其引用至城镇化与森林生态安全之间的关系上。即森林生态安全开始随着一个国家或地区城镇化水平增加而增加,当城镇化增加到某个“拐点”,随着城镇化水平增加而变差,即城镇化与森林生态安全呈现倒“U”型。但是产业结构、FDI等各种因素都可能会影响森林生态安全库兹涅茨曲线的形状、拐点等。

2.2.2 模型构建

除城镇化外,人均GDP、外商直接投资和产业结构等也影响森林生态安全。因此,为了研究城镇化对森林生态安全的影响,必须要考虑人均GDP、外商直接投资和产业结构等变量,将计量模型设定如下形式:

$$esi_{it} = a_0 + a_1 urb_{it}^2 + a_2 urb_{it} + a_3 pg_{it} + a_4 fdi_{it} + a_5 is_{it} + e_{it} \quad (10)$$

式中, i 表示省市自治区, t 表示年份, urb 表示城镇化率, pg 表示人均生产总值, fdi 表示外商直接投资额, is 表示产业结构, e 为修正项。

2.3 实证结果分析

2.3.1 样本的总体效应分析

首先利用面板数据选择随机效应模型、固定效应模型和混合效应模型进行分析,通过Hausman检验,随机效应模型假设被拒绝,采用固定效应模型进行分析城镇化对森林生态安全的影响,如表2所示。

城镇化、城镇化平方对森林生态安全指数的影响均在1%的水平下显著,森林生态安全指数结合回归系数可以发现,城镇化与森林生态安全指数之间存在倒“U”型关系。城镇化水平每增加1%,森林生态安全指数“增加” $-0.0002914 \times urb + 0.0122675$,指数“增加”多少取决于城镇化水平。在城市化中期初始阶段,城乡利益差异促使农村劳动力不断向城市转移,农村能源结构持续调整,同时伴随着退耕还林等林业生态工程的实施,降低农民对森林资源的依赖,增加了森林数量与质量,提高了森林生态系统的安全。尽管人口、产业在城市集

聚,由于森林生态系统自身的自我调控的功能,对其胁迫性较小。因而在该阶段,城镇化水平越高,森林生态安全指数越大^[39]。而随着城镇化水平的进一步提高,伴随着国家基础设施建设、房地产业迅速发展,导致林业生态保护用地被占用,同时人口、产业在城市高密度集聚,产生集聚不经济效应,导致“城市病”。农业劳动力代际衔接不畅导致农村劳动力转移所能增加森林数量、质量的作用减少。因而在该阶段,城镇化水平越高,森林生态安全指数越小。

表 2 1999—2018 年中国城镇化对森林生态安全影响的回归结果

Table 2 The regression result of the effect of urbanization on forest ecological security in 1999—2018

变量 Variable	总体效应 Total effect	变量 Variable	总体效应 Total effect
城镇化平方 Urbanization square(urb ²)	-0.0001457 *** (-11.87)	外商直接投资 Foreign direct investment(fdi)	-0.00000182(-0.78)
城镇化 Urbanization(urb)	0.0122675 *** (10.28)	人均 GDP per capita GDP(pg)	-0.0092017(-1.54)
产业结构 Industrial structure(is)	0.0796459 *** (11.31)	常量 Constant(constant)	0.2124549 *** (6.14)

1.urb 为城镇化率, is 为三二产业结构比, fdi 为外商直接投资额, pg 为人均生产总值; 2. 括号内为 *t* 值; 3. *、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平下显著; 3. 未包括港澳台藏数据; 4. 注释下同

产业结构对森林生态安全的影响在 1% 的水平下显著正相关。说明提高第三产业占比能够提升森林生态安全状况。高污染、高排放、高能源消耗的第二产业增加森林生态系统压力, 而低污染、低排放、低能耗的第三产业则对森林生态系统的改善具有明显的效果。提高以服务业为主第三产业的比重可降低森林生态系统压力, 对森林生态环境具有改善作用^[40]。

外商直接投资和人均 GDP 对森林生态安全的影响不显著, 人均 GDP 的回归系数为负, 说明经济发展与生态保护二者还是存在着矛盾。经济的发展不能以牺牲生态作为代价, 必须走可持续发展道路。外商直接投资对森林生态安全的影响需要分阶段、分地区分析, 将 1999—2018 年作为一个整体分析二者的关系不显著。

采用城镇化对森林生态安全影响的时间差异与区域差异来验证城镇化水平与森林生态安全指数呈倒“U”型, 即城镇化水平较低时, 提高森林生态安全状况, 反之, 降低森林生态安全系统的安全性。

2.3.2 城镇化对森林生态安全影响的时间差异

根据国家统计局统计数据, 2010 年城镇化率达 50%, 为城镇化中期拐点, 城镇化速度开始放缓。为了探讨城镇化阶段对森林生态安全影响的差异, 将研究时段以 2010 年为时间节点分为 2 个研究时间段: 1999—2010 年和 2010—2018 年, 对 2 个时间样本进行估计, 对比时间效应对森林生态安全的影响, 实证结果如表 3 所示:

表 3 1999—2010 年和 2010—2018 年城镇化对森林生态安全影响的回归结果

Table 3 The regression result of the effect of urbanization on forest ecological security in 1999—2010 and 2010—2018

变量 Variable	1999—2010	2010—2018
城镇化 Urbanization(urb)	0.0015834 *** (3.14)	-0.0029119 *** (-3.27)
产业结构 Industrial structure(is)	0.0764679 *** (7.09)	0.0323417 *** (3.46)
外商直接投资 Foreign direct investment(fdi)	0.0000206 *** (3.37)	-0.00000102(-0.36)
人均 GDP per capita GDP(pg)	-0.1180623 *** (-11.7)	-0.0220365 *** (-2.76)
常量 Constant(constant)	0.4909841 *** (32.82)	0.6935806 *** (22.7)

1999—2010 年, 城镇化对森林生态安全的影响在 1% 的水平下显著正相关。1999—2010 年, 城镇化水平不高于 50%, 该阶段城镇化速度较快, 城镇化有利于提高森林生态安全状况。1999 年, 国家逐渐重视森林的生态效益, 开始实施退耕还林工程。而与此同时, 城乡收入差距驱动农村劳动人口向城市转移, 减少了对森林资源的依赖, 降低了林农经营林地的积极性, 促进退耕还林工程的实施。与此同时, 由于处于城镇化初期, 城市人口、产业集聚在一定范围内, 森林生态系统自我调控的生态弹性较强, 人类与森林生态系统能够和谐相处, 对森林生态系统的胁迫性较小^[41]。因而, 在这一阶段, 城镇化能够提高森林生态安全水平。

2010—2018 年,城镇化对森林生态安全的影响在 1%的水平下显著负相关。2010—2018 年,城镇化水平高于 50%,该阶段城镇化速度放缓,城镇化水平越高,森林生态安全状况越差。随着经济的发展,农民收入增加,农村能源结构已经发生调整。与 1999—2010 年相比,转移前的农村劳动力从事农业的较少,对森林资源依赖较低。此时,农村劳动力转移对森林资源增加的作用与城镇化中期前半段相比,有所降低。2010 年开始的 4 万亿基础设施建设以及房地产行业的蓬勃发展,占据了更多的生态用地。人口、产业数量超过区域限制,人类活动超过森林生态系统的承载能力,那么必然会增加资源消耗和废弃物的排放,给森林生态系统的自我调控带来更大的压力^[42]。因而,在这一阶段,城镇化可能降低森林生态安全水平。

除此之外,产业结构对森林生态安全的影响在 1%的水平下显著正相关,说明产业结构升级能够改善森林生态环境^[43]。1999—2010 年外商直接投资在 1%的水平下与森林生态安全显著正相关,说明“污染天堂”假说不成立。一方面,可能外商直接投资较小,对森林生态环境的影响较小,另一方面,外商投资企业带来先进的技术,利于环境的治理。而 2010—2018 年不显著,二者负相关。地方竞争可能降低了对外商投资企业的监管力度,使外商直接对森林生态产生负向影响。1999—2010 年和 2010—2018 年人均 GDP 对森林生态安全的影响在 1%的水平下显著负相关。

2.3.3 城镇化对森林生态安全影响的区域差异

2018 年,东部地区城镇化水平高达 67.76%,而西部地区仅为 53.90%,中部地区多数省份城镇化水平不足 60%,中西部地区城镇化水平与东部地区相比仍有较大距离,存在较大的潜力和空间。为了探讨城镇化对森林生态安全影响的区域差异,将中国省份单元分为东部和中西部两大区域,对比区域差异对森林生态安全的影响,如表 4 所示:

表 4 区域城镇化对森林生态安全影响的回归结果

Table 4 Regression results of urbanization effect on forest ecological security in two regions

变量 Variable	东部 East	中西部 Midwest
城镇化 Urbanization(urb)	-0.0027478 *** (-3.71)	0.0019064 *** (4.09)
产业结构 Industrial structure(is)	0.0632308 *** (6.22)	0.0642564 *** (4.37)
外商直接投资 Foreign direct investment(fdi)	0.00000459 (1.30)	0.0000448 *** (3.23)
人均 GDP per capita GDP(pg)	-0.0510573 *** (-5.56)	-0.0214099 *** (-2.74)
常量 Constant(constant)	0.6773878 *** (23.93)	0.3985547 *** (17.53)

东部地区城镇化对森林生态安全的影响在 1%的水平下显著负相关。东部地区城镇化水平较高,人口与产业不断向城市集聚,城市蔓延现象日趋严重,增加城市森林生态压力,降低森林生态系统安全性。中西部地区城镇化对森林生态安全的影响在 1%的水平下显著正相关。中西部地区城镇化水平普遍较低,农村人口减少,增加山区的森林数量与质量,城市人口集聚,规模效应凸显,资源利用率提升,双边作用共同提升森林生态安全水平。产业结构对森林生态安全的影响在 1%的水平下显著正相关,说明产业结构调整有利于森林生态环境的保护。中西部地区外商直接投资在 1%的水平下与森林生态安全显著正相关,这些地区产能落后,外商投资企业带来先进的技术,有利于改善森林生态环境。而东部地区外商直接投资对森林生态安全的影响不显著,作用方向为正,这些地区产业结构较为高级化,倾向于引入具有较为先进的生产技术和污染排放系统的外商投资企业,帮助区域产业结构优化与升级。东部和中西部的人均 GDP 对森林生态安全的影响在 1%的水平下显著负相关。

通过城镇化对森林生态安全影响的时间差异与区域差异分析,可以证明城镇化水平与森林生态安全指数呈倒“U”型,即随着城镇化水平的不断提高,森林生态安全呈先上升后下降的趋势。

2.4 稳健性检验

对于固定效应模型稳健性检验,本文采用更换计量方法,如果实证结果依然是倒“U”型,说明固定模型的结果是稳健的,如表 5 所示。

表 5 FEM 与 OLS 的回归结果

Table 5 Regression results of FEM and OLS

变量 Variable	FEM	OLS
城镇化平方 Urbanization square(urb ²)	-0.0001457 *** (-11.87)	-0.0001752 *** (-17.91)
城镇化 Urbanization(urb)	0.0122675 *** (10.28)	0.0146514 *** (13.8)
产业结构 Industrial structure(is)	0.0796459 *** (11.31)	0.0834811 *** (17.09)
外商直接投资 Foreign direct investment(fdi)	-0.00000182 (-0.78)	-0.00000533 (-1.36)
人均 GDP per capita GDP(pg)	-0.0092017 (-1.54)	0.0084612 (1.54)
常量 Constant(constant)	0.2124549 *** (6.14)	0.1359004 *** (4.78)

FEM:固定效应模型 Fixed Effects Model;普通最小二乘法 Ordinary Least Squares。

FEM 与 OLS 回归结果城镇化率二次项指标(urb²)依然为负,且在 1%水平下显著为负,表明采用 OLS 模型后城镇化与森林生态安全所呈倒“U”型曲线关系依然成立,且城镇化一次项(urb)系数与产业结构(is)依然在 1%水平下显著为正,可以认为本文构建的模型是稳健的。人均 GDP 对森林生态安全的影响在 FEM 与 OLS 模型中均不显著,而回归系数方向相反。二者的理论原理不同,面板数据更多采用 FEM,本文主要应用 OLS 模型用来检验固定效应模型稳健性。

固定效应模型稳健性检验还可以通过将城镇化率从城镇化与森林生态安全倒“U”型的拐点处分成两组,如果城镇化低于拐点值对森林生态安全显著为正,而高于拐点值显著为负,则说明选择固定效应模型结果是稳健的,如表 6 所示。

表 6 城镇化分组回归结果

Table 6 Regression results of urbanization group

变量 Variable	低于拐点 Below the inflection point	高于拐点 Above the inflection point
城镇化 Urbanization(urb)	0.0010308 *** (2.96)	-0.0004784 * (-1.85)
产业结构 Industrial structure(is)	-0.0037562 (-0.36)	0.0076776 *** (2.85)
外商直接投资 Foreign direct investment(fdi)	0.0000114 (0.57)	-0.00000129 ** (-1.98)
人均 GDP per capita GDP(pg)	-0.003022 (-0.41)	0.0075343 *** (4.74)
常量 Constant(constant)	0.4563864 *** (27.25)	0.4787334 *** (38.58)

对城镇化率按照固定效应模型倒“U”型拐点进行分组后,发现城镇化率低于拐点时,urb 对森林生态安全的影响在 1%水平下显著为正,而高于拐点时,urb 对森林生态安全的影响在 1%水平下显著为负,说明城镇化与森林生态安全呈倒“U”型。可以认为构建的固定效应模型是稳健的。

低于拐点和高于拐点样本包括 1999—2018 年城镇化低于和高于拐点的全部省市自治区,不具有抽样性特征,模型未将城镇化率平方包含在内,重点考察拐点两侧城镇化的回归系数来检验模型的稳健性,对产业结构、外商直接投和人均 GDP 对森林生态安全的影响不做具体分析。

3 结论及启示

3.1 结论

本文在 EKC 曲线基础上采用 1999—2018 年中国省际面板数据建立固定效应模型,研究中国不同时期、不同区域城镇化对森林生态安全的影响,得出以下结论:①1999—2018 年,中国森林生态安全指数均值从 0.4683 上升至 0.5038,提升了 7.58%,除新疆、青海和宁夏等省自治区外,中国大多数省市自治区的指数均得到了提升,中国森林生态安全状况整体上得到了改善。②总体样本上,城镇化与森林生态安全指数之间存在倒“U”型关系,说明城镇化对森林生态安全的影响具有先改善,后胁迫的倒“U”型规律。③城镇化对森林生态安全的影响存在时间差异性,1999—2010 年,城镇化对森林生态安全的影响在 1%的水平下显著正相关,而

2010—2018 年,二者存在负相关,说明在城镇化中期前半段,城镇化能够促进森林生态安全的提升,在城镇化中期后半段,城镇化导致森林生态环境恶化。④城镇化对森林生态安全的影响具有区域差异性。东部地区城镇化对森林生态安全的影响在 1%的水平下显著负相关,而中西部地区二者正相关,说明促进中西部地区城镇化发展,能够改善森林生态环境,而东部地区反之。此外,三二产业占比与森林生态安全指数正相关,产业结构升级带来森林生态安全的改善。

3.2 讨论

本文采用理论与实证相结合的方法,考察中国城镇化进程对森林生态安全影响的作用机制与作用规律。本文得到的结论对推进中国城镇化与森林生态安全的协调发展及相关政策制定有一定的指导意义。1999—2018 年为中国城镇化的中期阶段,这一阶段的特点是城镇化快速发展,城镇化对森林生态安全的影响是一个长期、动态的过程,并非简单地促进或阻碍作用,需要从多角度、多阶段分析。对中国而言,1999 年,国家逐渐重视生态环境的保护,开始实施退耕还林工程。而与此同时,城镇化发展战略的推进以及城乡收入差距驱动加快农村劳动人口向城市转移。这对森林生态环境保护的效果明显,一方面降低了农户生计对森林资源的依赖;另一方面,城镇化发展阶段处于初期,城市人口、产业集聚在一定范围内,森林生态系统自我调控的生态弹性较强。因而,在这一阶段,城镇化能够提高森林生态安全水平。随着经济的发展,农民收入增加,农村能源结构已经完成了调整。转移前的农村劳动力从事林业的较少,对森林资源依赖本身较低。农村劳动力转移对森林生态环境保护的边际作用有所降低。2009 年开始的 4 万亿基础设施建设的实施、房地产行业的蓬勃发展以及城市蔓延的加快,增加资源消耗和废弃物的排放,占据更多的林业用地,降低森林生态安全水平。本文采用长时间尺度研究城镇化不同阶段、不同地区对森林生态安全的影响,得到更为全面、客观的认识,要依据地区城镇化的发展水平制定森林生态环境保护针对性的政策。

本文仅在省级层面分析了城镇化对森林生态安全的影响,没能拓展到市级层面,甚至县级层面,未来研究在数据可获得的基础上,将研究对象进一步细化,得到更具一般性的研究结论;再次,在森林生态安全指标体系的建立上,增加专家学术背景、人数和专业考察,通过比较、取舍,提高指标建立的科学性和系统性。对于上述问题,笔者将在今后研究中弥补不足,继续深入研究。

3.3 建议

城镇化总体水平较低的省份,比如甘肃、广西、贵州等,加快农村人口向城市转移,促进农村人口向城市集聚。农村人口转移促进山区退耕还林,降低对森林资源的依赖,利于森林生态恢复。通过建立城乡统一的户籍管理制度、推进城乡均等公共服务制度、规范农村土地流转市场、提供进城农民工城镇保障型住房等政策方案推进以人为核心的新型城镇化建设。而城镇化水平较高的地区,如江苏、山东、天津等,城镇化的发展不能以牺牲森林生态安全作为代价,应加强森林生态安全红线控制,降低能源总量消耗和污染总量排放,在森林生态环境承载能力内实现森林可持续性发展。通过推进绿色生态治理建设项目、提升能源消耗及排放规范等准入门槛、控制大城市在空间上的进一步扩张、提高城镇建设用地集约化程度和健全森林休养生息制度等措施提高森林生态安全水平。用生态文明理念引领产业结构实现低碳转型,推动经济循环发展。通过淘汰高能耗、低效率产业、发展节能环保产业、推进传统制造业绿色化改造等政策调整产业结构。

参考文献 (References):

- [1] 杨清可,段学军,金志丰,王磊.南通市建设用地扩张情景模拟与景观生态效应.地理科学,2017,37(4):528-536.
- [2] 段伟,温亚利,王昌海.劳动力转移对朱鹮保护区周边环境的影响分析.资源科学,2013,35(6):1310-1317.
- [3] Izquierdo A E, Grau H R, Aide T M. Implications of rural-urban migration for conservation of the Atlantic forest and urban growth in Misiones, Argentina (1970-2030). AMBIO, 2011, 40(3): 298-309.
- [4] Lu S S, Tang X, Guan X L, Qin F, Liu X, Zhang D H. The assessment of forest ecological security and its determining indicators: a case study of the Yangtze River Economic Belt in China. Journal of Environmental Management, 2020, 258: 110048.
- [5] 王家庭,赵丽,冯树,赵运杰.城市蔓延的表现及其对生态环境的影响.城市问题,2014,33(5):22-27.
- [6] Verhoef E T, Nijkamp P. Externalities in urban sustainability: Environmental versus localization-type agglomeration externalities in a general spatial

- equilibrium model of a single-sector monocentric industrial city. *Ecological Economics*, 2002, 40(2): 157-179.
- [7] Qin H. Rural-to-urban labor migration, household livelihoods, and the rural environment in Chongqing municipality, Southwest China. *Human Ecology*, 2010, 38(5): 675-690.
- [8] Chen R S, Ye C, Cai Y L, Xing X S, Chen Q. The impact of rural out-migration on land use transition in China: past, present and trend. *Land Use Policy*, 2014, 40: 101-110.
- [9] 刘焱序, 吴文恒, 温晓金, 张东海. 晋陕蒙能源区城镇化过程及其对生态环境的影响. *地理研究*, 2013, 32(11): 2009-2020.
- [10] 刘习平, 宋德勇. 城市产业集聚对城市环境的影响. *城市问题*, 2013, 32(3): 9-15.
- [11] Ehrhardt-Martinez K, Crenshaw E M, Jenkins J C. Deforestation and the environmental kuznets curve: a cross-national investigation of intervening mechanisms. *Social Science Quarterly*, 2002, 83(1): 226-243.
- [12] Robson J P, Berkes F. Exploring some of the myths of land use change: can rural to urban migration drive declines in biodiversity? *Global Environmental Change*, 2011, 21(3): 844-854.
- [13] De Haen H. Systems models to simulate structural change in agriculture. *European Review of Agricultural Economics*, 1973, 1(4): 367-389.
- [14] 冯彦, 郑洁, 祝凌云, 辛妹玉, 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.
- [15] 姜钰, 蔡秀亭. 中国森林生态安全动态测度及空间收敛性分析. *统计与决策*, 2019, 35(2): 91-95.
- [16] Ferlaino F. *Urban Development and Global Sustainability*. Torino: EDP Sciences, 2014.
- [17] 章泉. 中国城市化进程对环境质量的影响——基于中国地级城市数据的实证检验. *教学与研究*, 2009, 43(3): 32-38.
- [18] 郭文月. 基于 PSR 模型的西北五省森林生态安全评价. *中国林业经济*, 2019, 27(6): 107-110.
- [19] Lu S S, Qin F, Chen N, Yu Z Y, Xiao Y M, Cheng X Q, Guan X L. Spatiotemporal differences in forest ecological security warning values in Beijing: using an integrated evaluation index system and system dynamics model. *Ecological Indicators*, 2019, 104: 549-558.
- [20] Tang X, Guan X L, Lu S S, Qin F, Liu X, Zhang D H. Examining the spatiotemporal change of forest resource carrying capacity of the Yangtze River Economic Belt in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(17): 21213-21230.
- [21] Zhang Q, Wang G Y, Mi F, Zhang X C, Xu L Z, Zhang Y F, Jiang X L. Evaluation and scenario simulation for forest ecological security in China. *Journal of Forestry Research*, 2019, 30(5): 1651-1666.
- [22] 李岩, 王珂, 刘巍, 李燕坤, 王时军, 张大红. 江苏省县域森林生态安全评价及空间计量分析. *生态学报*, 2019, 39(1): 202-215.
- [23] 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): 6235-6242.
- [24] 冯彦, 祝凌云, 郑洁, 辛妹玉, 张大红. 基于 PSR 模型和 GIS 的吉林省县域森林生态安全评价及时空分布. *农林经济管理学报*, 2016, 15(5): 546-556.
- [25] 顾艳红, 张大红. 省域森林生态安全评价——基于 5 省的经验数据. *生态学报*, 2017, 37(18): 6229-6239.
- [26] 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.
- [27] 杨伶, 张大红, 王金龙, 李亚云. 中国县域森林生态安全评价研究——以 5 省 15 县为例. *生态经济*, 2015, 31(12): 120-124.
- [28] 王怡然, 张大红, 吴宇伦. 基于 DPSIR 模型的森林生态安全时空变化研究——以浙江省 79 个县为例. *生态学报*, 2020, 40(8): 2793-2801.
- [29] 吕洁华, 孙喆, 张滨. 森林管护对森林生态安全的响应成效与影响路径分析. *林业经济问题*, 2019, 39(4): 355-362.
- [30] 韩依洋, 钱存华. 新型城镇化背景下人口流动对环境污染的影响研究. *生态经济*, 2021, 37(3): 207-210, 216-216.
- [31] 郑雅婷. 环境规制视角下 FDI 对林业生态环境的影响研究. *老区建设*, 2019, 34(16): 26-37.
- [32] 蔡秀亭, 姜钰. 基于森林生态安全的林业产业结构优化战略仿真分析. *生态经济*, 2020, 36(7): 90-94, 104-104.
- [33] 贾帅帅, 徐滇庆. 我国 GNI 核算与数据质量评估. *统计研究*, 2017, 34(2): 10-22.
- [34] 国家统计局. *中国统计年鉴—2018*. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [35] 国家统计局能源统计司. *中国能源统计年鉴—2018*. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [36] 国家林业和草原局. *中国林业统计年鉴—2017*. 北京: 中国林业出版社, 2018.
- [37] 国家统计局, 环境保护部. *中国环境统计年鉴—2017*. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [38] Grossman G M, Krueger A B. *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*. Cambridge: National Bureau of Economic Research, 1991.
- [39] 丁翠翠. 中国城镇化、居民消费对环境污染的影响效应——基于省际面板数据的实证研究. *河北经贸大学学报*, 2014, 35(3): 47-50, 61-61.
- [40] 穆怀忠, 范洪敏. 城市化对环境质量的影响——基于 27 个国家面板数据的分析. *城市问题*, 2016, 35(9): 73-79.
- [41] 罗丽英, 魏真兰. 城镇化对生态环境的影响路径及其效应分析. *工业技术经济*, 2015, 34(6): 59-66.
- [42] 程承坪, 陈志. 中国城镇化对环境质量的影响及其机理检验——基于中国 2005—2015 年省际面板数据的实证研究. *湘潭大学学报: 哲学社会科学版*, 2018, 42(6): 24-28.
- [43] 刘世斌. *资源和环境约束下山东省城镇化发展的道路选择[D]*. 北京: 中央民族大学, 2012.