

# 基于PSR模型的松花江流域吉林市段生态安全评价

吕静 李想  
吉林建筑大学

DOI:10.32629/eep.v8i11.2944

**[摘要]** 为科学评估松花江流域内重点区段生态安全状况、揭示其空间差异格局,识别关键生态环境问题及驱动因素,从而为松花江流域人居环境可持续发展和生态屏障建设提供决策依据,本研究基于压力(P)-状态(S)-响应(R)模型框架,构建了涵盖资源环境与社会经济等维度的综合评价指标体系。计算研究区内2000-2020年的生态安全指数(ESI),并探讨其空间格局演变特征。结果表明研究期内吉林市生态安全指数呈现波动式上升态势,整体安全等级由“临界安全”提升至“较安全”;空间分布呈现“中部城区及工矿集中区较低,东部森林覆盖区及西部农业区较高”的显著格局。本研究证实了PSR模型能有效解析松花江流域吉林市段生态安全的内在机制,并指出未来需协调经济增长与生态保护,重点加强中部核心区污染治理与生态修复,优化东部生态屏障功能,提升西部农业可持续性。

**[关键词]** 生态安全评价; PSR模型; 时空演变; 空间格局; 松花江流域  
**中图分类号:** Q148 **文献标识码:** A

## Ecological Security Evaluation of Jilin City Section in Songhua River Basin Based on PSR Model

Jing Lv Xiang Li  
Jilin Jianzhu University

**[Abstract]** In order to scientifically evaluate the ecological security status of key sections in the Songhua River Basin, reveal their spatial differences patterns, identify key ecological and environmental issues and driving factors, and provide decision-making basis for the sustainable development of the living environment and the construction of ecological barriers in the Songhua River Basin, this study constructs a comprehensive evaluation index system covering dimensions such as resource environment and social economy based on the pressure (P) - state (S) - response (R) model framework. Calculate the Ecological Security Index (ESI) of the research area from 2000 to 2020 and explore its spatial pattern evolution characteristics. The results showed that during the research period, the ecological security index of Jilin City showed a fluctuating upward trend, and the overall security level increased from "critical safety" to "relatively safe"; The spatial distribution shows a significant pattern of "lower in central urban areas and industrial and mining concentration areas, higher in eastern forest coverage areas and western agricultural areas". This study confirms that the PSR model can effectively analyze the intrinsic mechanism of ecological security in the Jilin section of the Songhua River Basin, and points out the need to coordinate economic growth and ecological protection in the future, with a focus on strengthening pollution control and ecological restoration in the central core area, optimizing the ecological barrier function in the east, and enhancing the sustainability of agriculture in the west.

**[Key words]** ecological security assessment; PSR model; Spatiotemporal evolution; Spatial pattern; Songhua River Basin

### 引言

生态安全作为区域可持续发展的基础,关乎国家生态安全与民生福祉。吉林市作为东北老工业基地核心节点及长白山生态屏障重要组成部分,正面临资源型城市转型与生态环境保护的多重挑战<sup>[1]</sup>。PSR(压力-状态-响应)模型因其清晰的逻辑框架,被广泛用于区域及城市尺度的生态安全研究中,但以流域为视

角进行区域生态安全评估的研究相对缺乏。

本研究以松花江流域吉林市段为对象,构建基于PSR模型的评价指标体系,定量刻画其生态安全空间分异格局,旨在精准识别关键制约因素,为制定差异化生态管控策略、促进人与自然和谐共生提供科学支撑。

### 1 研究区域与数据处理

## 1.1 研究区域概况

吉林市位于吉林省中东部,地处长白山向松嫩平原过渡地带<sup>[2]</sup>。松花江穿城而过,形成“一江三湖”的水系格局。全市总面积27120平方公里。地貌以山地丘陵为主,森林覆盖率约54%,是重要的水源涵养地与生物多样性富集区。资源丰富,形成以化工、冶金为主的工业体系<sup>[3]</sup>。本研究范围涵盖吉林市全域,重点关注中心城区(船营、昌邑、龙潭、丰满)及重要生态功能区(松花湖水源地、蛟河红叶岭等)。

## 1.2 数据来源

本文主要研究数据及来源:

《吉林市统计年鉴》(2000-2024); 吉林市生态环境局环境状况公报; 林业部门森林资源清查数据、水利部门水土保持监测数据等; 吉林市行政区划矢量图、高程及遥感影像等。

## 2 研究方法

## 2.1 PSR模型框架

PSR模型由经济合作与发展组织(OECD)提出,核心在于阐释人类活动对环境的“压力”、环境自身的“状态”以及社会为改善环境所采取的“响应”之间的相互作用关系。

本研究中:

压力(P)表现为人类活动对自然资源和环境的胁迫程度。

状态(S)表现为特定时空区域生态环境系统的质量与功能状况。

响应(R)表现为社会为减轻环境压力、改善生态状态所采取的对策与行动。

## 2.2 评价体系构建与指标选取

遵循科学性、系统性和地域性原则,结合吉林市生态本底特征与主要环境问题,构建包含3个准则层(P, S, R)、11个要素层、21项具体指标的生态安全评价体系(见表1)。

表1 流域生态安全评价指标体系

目标层	准则层	要素层	具体指标 (单位)	指标性质
生态安全	压力(P)	人口压力	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	-
		资源消耗压力	单位GDP能耗 (吨标煤/万元)	-
			人均水资源量 (m <sup>3</sup> /人)	+
			单位工业产值废水排放量 (吨/万元)	-
		环境污染压力	单位工业产值SO <sub>2</sub> 排放量 (吨/万元)	-
			单位耕地面积化肥施用量 (kg/hm <sup>2</sup> )	-
	环境质量		地表水水质达标率 (%)	+
			空气质量优良天数比例 (%)	+
	状态(S)	资源禀赋	森林覆盖率 (%)	+
			人均耕地面积 (hm <sup>2</sup> /人)	+
		生态系统结构与功能	湿地面积占比 (%)	+
			生物丰度指数 (无量纲) (引文)	+
		生态胁迫	水土流失面积比例 (%)	-
	响应(R)	环境治理投入	环境污染治理投资占GDP比重 (%)	+
		污染控制效率	工业废水达标排放率 (%)	+
			城市生活污水处理率 (%)	+
		资源保护与生态建设	自然保护区覆盖率 (%)	+
			建成区绿化覆盖率 (%)	+
			水土流失治理率 (%)	+
		科技与管理	环保研发投入占比 (%)	+
			环境信访办结率 (%)	+

(注: +表示正向指标,数值越大越安全; -表示负向指标,数值越小越安全)

## 2.3 确定指标权重

采用熵权法确定指标权重。该方法基于指标数据本身的离散程度客观赋权,有效避免主观因素干扰<sup>[4]</sup>。计算步骤如下:

(1) 数据标准化:

对原始数据进行极差标准化处理,消除量纲影响。

正向指标标准化:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)}$$

负向指标标准化:

$$X'_{ij} = \frac{\max(X_j) - X_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)}$$

(2) 计算指标比重:

$$P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}}$$

(3) 计算信息熵:

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}), k = \frac{1}{\ln(m)}$$

m: 样本数量, k: 标准化常数(确保 $0 \leq e_j \leq 1$ ), 当 $P_{ij}=0$ 时, 定义 $P_{ij} \ln P_{ij}=0$ 。

(4) 计算差异系数:

$$g_j = 1 - e_j$$

(5) 确定权重:

$$W_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}$$

## 2.4 测算生态安全指数(ESI)

采用线性加权综合模型计算生态安全指数:

$$ESI = \sum_{j=1}^n (W_j * X'_{ij})$$

其中:

ESI: 生态安全指数, 值为[0, 1], 值越大表示生态安全状况越好。

$W_j$ : 第j项指标的权重,  $X'_{ij}$ : 第i个样本第j项指标标准化后的值。

分别计算准则层指数(PSI, SSI, RSI)和总目标层指数(ESI)。

## 2.5 确定生态安全等级

参考国内外相关研究,并结合吉林市实际,将生态安全指数划分为5个等级(见表2),以直观反映安全状况。

表2 吉林市生态安全等级划分标准

生态安全指数	安全等级	状态描述
[0.75, 1.00]	安全 (I)	生态系统稳定,恢复力强,环境承载力富裕。
[0.60, 0.75]	较安全 (II)	生态系统较稳定,略有压力,总体可控。
[0.45, 0.60]	临界安全 (III)	生态系统敏感,压力显著,接近阈值。
[0.30, 0.45]	较不安全 (IV)	生态系统退化,压力过大,恢复困难。
[0.00, 0.30]	不安全 (V)	生态系统严重恶化,功能丧失,危机状态。

### 3 结果与分析

#### 3.1 松花江流域吉林市段生态安全等级总体特征

2000-2020年松花江流域吉林市段整体生态安全指数(ESI)从0.42提升至0.72,实现从临界安全(III)向较安全(II)的跨越。时间上呈现“先波动下降后稳步上升”的趋势。2000-2005年(ESI≈0.42-0.48):处于临界安全(III)低位。快速工业化、城镇化带来巨大环境压力(PSI低),资源消耗与污染排放强度大,而环保响应能力(RSI)相对滞后。2006-2010年(ESI≈0.48-0.52):缓慢提升至临界安全(III)中高位。节能减排政策初显成效(RSI开始上升)。2011-2020年(ESI≈0.55-0.68):进入快速提升期,2015年后稳定在较安全(II)水平。得益于产业转型及松花江流域综合治理,响应指数(RSI)显著提高,压力指数(PSI)得到有效遏制,状态指数(SSI)稳步改善。

表3 吉林市生态安全指数动态变化(2000-2020)

年份	PSI- 压力	SSI- 状态	RSI- 响应	ESI- 综合	安全等级	主要驱动因素
2000	0.38	0.42	0.30	0.42	临界安全 (III)	工业能耗(0.15)*、废水排放 (0.13)、化肥施用(0.11)
2005	0.32	0.41	0.35	0.48	临界安全 (III)	水资源压力(0.18)、SO <sub>2</sub> 排放 (0.16)、人口密度(0.12)
2010	0.45	0.52	0.58	0.52	临界安全 (III)	环保投资(0.22)、污水处理率 (0.19)、工业能耗(-0.17)
2015	0.58	0.63	0.72	0.64	较安全 (II)	森林覆盖率(0.25)、水质达标率 (0.21)、自然保护区(0.18)
2020	0.65	0.71	0.82	0.72	较安全 (II)	空气质量(0.28)、水土治理率 (0.23)、工业废水达标率(0.20)

#### 3.2 松花江流域吉林市段生态安全时空演变分析

##### (1) 准则层演变:

压力层:先升后降趋势。受能源消耗、工业污染驱动,2005年前后达到峰值,其后在结构调整和技术进步推动下持续下降,但水资源压力和局部农业面源污染问题仍较突出。

状态层:总体呈现波动上升趋势。森林覆盖率提升、松花江水质改善(由III-IV类提升至II-III类)、空气质量改善是主要贡献因子,但局部地区水土流失问题不容忽视。

响应层:增长最显著且持续。环保投资力度加大、污染治理设施普及率提高、生态保护区网络完善是主要驱动因素。

##### (2) 区域差异演变:

中心城区:起点最低(多为III级),改善幅度最大,2020年普遍达到II级。早期工业污染、人口密集带来的压力巨大,后期通过产业外迁、企业关停并转等措施显著改善。

东部山区县市:起点较高(多为II级),并长期保持最优水平(接近I级)。丰富的森林资源和较低人口产业压力是基础,生态保护政策效果显著。

西部平原县市:起点多为III级,提升至II级。农业活动是主要压力源,近年来高标准农田建设、水土保持工程和生态农业发

展促进了安全水平提升。

### 4 结论与展望

#### 4.1 结论

2000-2020年间,吉林市生态安全状况总体呈现波动上升态势,安全等级由“临界安全”提升至“较安全”,表明其生态治理和产业转型政策取得了积极成效。研究区域内生态安全水平空间分布呈“东高中低”的格局<sup>[5]</sup>。东部森林生态区是核心安全屏障,中部城区是主要压力承载区和治理重点区,西部农业区面临着面源污染与生态脆弱的双重挑战。

分析表明,城镇化初期的资源消耗与污染排放是早期安全水平较低的主因;中后期环保投入加大、污染治理能力提升等社会响应措施的强化是推动安全水平提升的关键动力;森林、水质、空气质量等环境状态的改善是响应措施效果的直观体现。但是,局部区域的环境风险、农业面源污染及气候变化问题,仍是未来维持和提升生态安全水平的制约因素。

#### 4.2 展望

研究证实PSR模型能体现流域尺度的“人类活动-环境状态-社会响应”的互动关系,但指标选取存在主观性;对生态系统内部复杂机制的刻画深度有限;未来可尝试耦合DPSIR模型或引入生态系统服务流评估进行深化。

#### [基金项目]

吉林省科技厅社会发展关键技术重点研发项目《长白山区域城镇生态安全格局构建的关键技术及实施应用研究(20240304139SF)》。

#### [参考文献]

[1]黄美菱.基于RS、GIS的都江堰市生态安全评价与生态熵研究[D].长安大学,2018.

[2]李凯,侯鹰,Hans Skov-Petersen,等.景观规划导向的绿色基础设施研究进展——基于“格局—过程—服务—可持续性”研究范式[J].自然资源学报,2021,36(02):435-448.

[3]张永贺,陈文惠,罗丽娟.吉林省西部农业生态安全评估及空间格局变化研究[J].土壤与作物,2013,2(01):7-17.

[4]万慧琳,王赛鸽,陈彬,等.三江平原湿地生态风险评价及空间阈值分析[J].生态学报,2022,42(16):6595-6606.

[5]吕静,吕辰旭.松花江流域吉林省段农业生产空间时空演变分析[J].福建建材,2024,(03):35-38.

#### 作者简介:

吕静(1969—),女,汉族,天津市人,硕士生导师,教授,吉林建筑大学,研究方向:国土空间背景下的城镇建设发展。

李想(1999—),男,汉族,吉林白城人,硕士研究生在读,吉林建筑大学建筑与规划学院建筑学专业,研究方向:城市设计及其理论。