



Spatiotemporal Pattern and Influencing Factors of Ecological Degradation Risk in Dongliao River Basin Based on DPSIRM model

Walian Du¹, Zhijun Tong^{1,*}, Su Rina¹, Dao Riao¹, Xingpeng Liu¹, Jiquan Zhang¹

¹ School of Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

*Corresponding author. Email: gis@nenu.edu.cn

ABSTRACT

Under natural factors and human disturbance, the watershed ecosystem loses its original equilibrium state and is in a reverse succession process. As a tributary of the Liaohe River Basin, one of the seven major river basins, the Dongliao River Basin has caused environmental pollution and ecological system degradation due to the aggravation of resource and environmental constraints. However, the research on the spatial-temporal pattern and driving mechanism of ecological degradation risk in river basins needs to be further clarified. Therefore, this study took the Dongliao River Basin as the research object, combined with DPSIRM model, entropy weight method, grid GIS and comprehensive evaluation method, studied the temporal and spatial pattern of the Dongliaohe River Basin from 2000s to 2020s, and discussed the influence and interaction mechanism of various factors on the ecological degradation risk of the Dongliao River Basin by using the geographic detector model. The results show that: (1) From 2000s to 2020s, the risk of ecological degradation in the Dongliao River Basin shows a trend of "rising-declining-rising", and the proportion of Class III, Class IV and Class V grids is increasing, indicating that the risk of ecological degradation in the Dongliao River Basin has improved. (2) The results of the geodetector indicate that the human disturbance index is the main driver of the risk of ecological degradation in the Dongliao River Basin, while the ecological quality and the level of education of the inhabitants can also explain the ecological degradation of the Dongliao River Basin very well. (3) The interaction between most of the two drivers in the conceptual framework of DPSIRM is a two-factor enhancement. The results of these studies can provide a scientific basis for rapid improvement of regional ecological quality deterioration.

Keywords: Ecological degradation risk, DPSIRM, Spatial-temporal patterns, Influence mechanism, Dongliao River

基于 DPSIRM 模型的东辽河流域生态退化风险时空格局及影响因素分析

都瓦莲¹, 佟志军^{1,*}, 苏日娜¹, 阿如汗¹, 道日敖¹, 刘兴朋¹, 张继权¹

¹ 东北师范大学环境学院, 东北师范大学自然灾害研究所, 长春 130024, 中国

* 通讯作者. 电子邮箱: gis@nenu.edu.cn

摘要

在自然因素和人为干扰下流域生态系统失去原有的平衡状态处于一种逆向演替过程。东辽河流域作为七大流域之一的辽河流域的支流, 由于资源环境约束加剧, 引起流域环境污染和生态系统退化问题。但关于流域生态退化风险的时空格局及驱动机制研究的探索还有待进一步厘清。因此, 本研究以东辽河流域为例, 结合 DPSIRM 模型、熵权法、格网 GIS、综合评价法, 研究东辽河流域 2000 年至 2020 年的时空格局, 并利用地理探测器模型探讨了各因素对东辽河流域生态退化风险的影响及其相互作用机制。结果发现: ①2000-2020 年东辽河流域生态退化风险呈“上升-下降-上升”趋势, 且 III 级、IV 级和 V 级格网所占比例在增加, 说明东辽河流域生态退化风险有所改善; ②地理探测器结果显示人类干扰指数是发生东辽河流域生态退化风险的主要驱动因子, 同时, 生态环境质量、居民受教育水平也可以很好的解释东辽河流域的生态退化状况; ③DPSIRM 概念框架中大部分 2 个驱动因子之间的交互作用为双因子增强。研究结果可为快速的改善区域生态环境质量恶化状况提供科学依据。

关键字: 生态退化风险, DPSIRM, 时空格局, 影响机制, 东辽河.

1. 引言

随着全球气温变暖、自然因素限制和社会经济快速发展,世界上很多国家和地区都出现生态环境退化现象,资源环境容量下降、湿地和森林面积萎缩、水土流失严重、生物多样性减少和环境污染等问题日益明显。生态退化已经成为全球共同面临的急需解决的问题之一。生态退化是指由于人类对自然资源过度以及不合理利用而造成的生态系统结构破坏、功能衰退、生物多样性减少、生物生产力下降以及土地生产潜力衰退、土地资源丧失等一系列生态环境恶化的现象^[1],此状况将会直接或者间接加剧区域生态系统退化风险。自然-人类双重驱动力的生态退化对生态环境产生有范围广、持续时间长等影响^[2]。由于退化风险是动态的而非静态的,因此,很有必要对生态退化风险时空格局进行评价,掌握主要生态退化风险分布区,为开展生态保护和修复工作提供基础。

生态退化风险是指与严重的外部干扰相关,可能导致一系列事故、损害或损失事件的不安全状态^[3]。目前,针对生态退化风险,已经有很多学者进行了相关研究,一是将生态服务价值纳入生态风险评价框架或者用生态服务价值退化表征生态风险,比如张^[4,5]等通过开展面向多重生态保护目标的生态系统服务退化风险评价,揭示了未来不同发展情景下的生态系统服务退化风险;liao^[6]等根据生态服务价值地区引起的土地利用变化构建了城市综合生态风险评估框架^[3]。二是针对土地、水等单一生态要素的退化风险评价,但实际上生态系统是由多种影响因素共同影响。三是通过建立评价指标来进行生态退化风险评估,如吴^[7]等考虑到生态系统的恢复力是生态退化控制与保护的关键钥匙,因此选择影响生态系统恢复力的地形、土壤、植被和水文等环境要素,构建生态系统恢复力评价指标体系识别了生态系统退化风险区域。综合来看,构建涵盖资源、环境、生态、社会经济等多因素,能表征生态系统复杂因果关系的框架模型,并应用到生态退化风险中,分析生态退化风险空间区划、揭示生态退化风险的主导因素及其交互作用是流域生态恢复实践的普遍需求。因此,本研究选择了能全面分析流域生态系统变化前因后果和影响,并增加了系统协调管理的DPSIRM模型进行生态退化风险评价。DPSIRM与改进前的模型相比较,不仅可以选择覆盖面积更广的因子,提高评价标准,还加强了对影响流域生态系统可持续发展因素的综合管理(M)。

东辽河流域是中国最大的商品粮生产基地之一,面临着社会经济发展与生态保护的巨大挑战。近年来,流域存在水质污染严重、土地利用不协调、生态系统退化等问题。因此,需要评估流域生态退化风险,为改善区域生态环境状况和未来的政策规划

提供科学依据。本研究目的是在自然和人为耦合干扰下,细化评价尺度,结合资源、环境、生态和社会经济等因素,借助DPSIRM模型和地理探测器构建综合指数、评估东辽河流域生态退化风险时空分异特征和地理机制,为东辽河流域生态系统保护提供决策依据。

2. 研究区概况

东辽河流域位于吉林省中西部(42°53′–43°25′N, 123°43′–125°08′E),地势平坦,属温带季风气候区,年均气温5.8–6.8℃,年均降水量为623–738mm,面积约为11306km²,如图1所示。东辽河发源于吉林省辽源市东辽县萨哈陵五座庙福安屯,流经辽源、伊通、公主岭、双辽等市县,最后流至辽宁省境内汇入辽河,河长360公里,平均流量为18.2m³/s。东辽河流域肩负着粮食生产、支撑当地经济发展以及生态安全等重大责任,是吉林省乃至全国重点流域生态修复工作的重中之重。

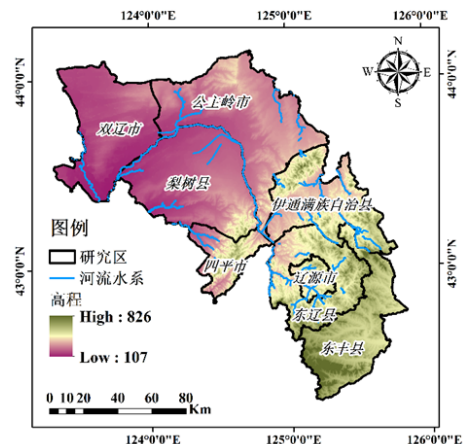


图1 研究区地理位置

3. 数据来源与研究方法

3.1. 数据来源

本研究中使用的数据有(1)资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/>)所提供的2000年、2005年、2010年、2015年和2020年的土地利用现状遥感监测数据、年降水量、年平均气温、年度归一化植被指数等,其中土地利用数据集包含耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地等一级类型,此外,还获取了研究区行政区地图、水系和数字高程模型(DEM)等基本地理数据;(2)来自《四平统计年鉴》《辽源市统计年鉴》、《吉林统计年鉴》、《吉林省水资源公报》、《吉林省环境质量报告》、《吉林省水利厅》、《中国县域统计年鉴》的社会经济和生态环境数据。

3.2. 生态退化风险评价指标体系的构建

3.2.1. DPSIRM 模型

DPSIRM模型是由PSR(状态-压力-响应)和DSR(驱动力-状态-响应)模型逐渐改进而来的一种时兴的概念模型,该模型包含驱动力、压力、状态、影响、响应和管理六类因子;应用领域广泛,如生态环境质量和生态系统健康评价中,其强调评价包含社会、经济、生态、环境、资源和政策等要素之间的因果关系。框架内六个子系统的含义为①“驱动力”是研究区生态退化风险变化的根本原因和初始驱动力,主要受气候变化、社会经济和地形地貌因素变化的影响。驱动力越大,东辽河流域生态退化风险增加;②“压力”是源于加剧研究区生态退化风险的驱动力,主要是人类活动对生态退化系统的需求和作用,表现为人口增加而导致人口密度的增加,工业废气、废水、固废的排放量等;压力越大,流域生态退化风险加剧;③“状态”即流域生态退化系统在压力作用下所发生的最直接变化,是间接反映东辽河流域生态系统风险分布特征的环境状况指标;状态越差,研究区发生生态退化风险概率更大;④“影响”为流域生态系统退化状态发生变化之后对人类生态环境产生的影响;⑤“响应”人类为减轻研究区生态系统退化面临的负面影响采取的补救措施;响应越及时,研究区生态退化风险减少;⑥“管理”代表人类从源头和根源上采取相应措施进行控制,包括制定相关法规政策进行控制。为减少流域生态退化,应加大财政对污染治理的投入,提高生态系统的稳定性,提高人类社会生态保护意识。六个子系统之间作用关系如Chai^[7]描述(图2)。

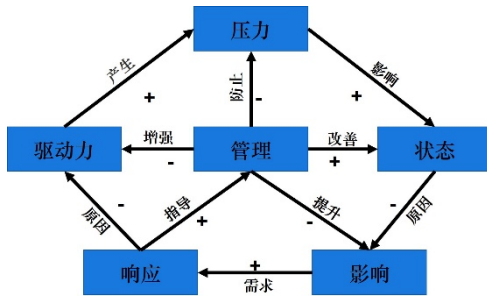


图2 评估生态退化风险的DPSIRM模型框架

3.2.2. 评价指标体系的构建

本研究根据东辽河流域生态环境实际状况,借助DPSIRM概念模型,结合之前的相关研究,遵循指标数据的代表性、独立性、易获得性、可操作性和系统性原则,从驱动力、压力、状态、影响、响应和管理6个方面选取33个指标构建东辽河流域生态退化风险评价指标体系(表1)。

3.2.3. 建立生态退化风险评价模型

流域生态退化风险值计算的主要步骤如下:(1)对所有指数进行归一化;(2)各指标加权、汇总获得综合生态退化风险指数,最后参考前人对生态退化风险的评价标准和结合研究区的实际情况,对其进行分类。

本研究中为减少以行政区域为统计数据单位的局限性,细化了生态退化风险评价尺度,具体是采用格网GIS技术将研究区域划分为 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 的网格,对不同类型的指标进行重构,建立网格东辽河流域生态退化风险指数数据。借助ArcGIS软件的Create Fishnet工具创建 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 的格网及网点,最后对指标数据进行空间化表达。

(1)评价指标的标准化。为避免各指标量纲对流域生态退化风险不同的影响,生态退化风险评价指标分为正向指标(如生态退化风险随人口自然增长增加而增加)和负向指标(如随着建成区绿化率的增加生态退化风险减少),本研究采用极值法进行标准化处理,计算公式如下:

$$\text{正向指标: } X_i' = \frac{X_i - X_{i(\min)}}{X_{i(\max)} - X_{i(\min)}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } X_i' = \frac{X_{i(\max)} - X_i}{X_{i(\max)} - X_{i(\min)}} \quad (2)$$

式中: $i=1, \dots, m, j=1, \dots, n, X_{ij}$ 为指标的实际值, $X_{i(\min)}$ 和 $X_{i(\max)}$ 为指标最小和最大值的实际差。

(2)指标权重确定。熵权法是一种综合考虑多个变量对研究对象影响的定量方法,本研究采用Bao^[8]等人所述的权重计算方法,计算公式如下:

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}), (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n) \quad (3)$$

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (4)$$

式(3)和式(4)中, E_j 表示指标 j 的熵值, m 和 n 分别表示研究区域内网格单元数和指标个数。 P_{ij} 表示指标 j 中网格或样本 i 的比例,当 $P_{ij}=0$ 时, $P_{ij} \ln(P_{ij})=0$ 。

各指标的权重可以估计为:

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

式(5)中, w_j 为指标 j 的权重($0 \leq W_j \leq 1$)。

(3)生态退化风险指数(EDR)的计算公式如下:

$$\text{EDR} = \sum_{i=1}^n W_i \times X_{ij} \quad (6)$$

式(6)中EDR为生态退化风险值(值越小,生态系统不安全,生态系统结构和功能不稳定)为 X_{ij} 为归一化指标, W_j 为相应指标的权重;本研究中将研究区生态退化风险等级划为5级(I、II、III、IV、V),

表1 东辽河流域生态退化风险评价指标体系

目标层	准则层	指标层	正负性	综合权重
生态退化风险	驱动力	人均 GDP	+	0.0133
		年降水量	+	0.0322
		年平均气温	-	0.0133
		年蒸发量	-	0.0014
		人口自然增长率	-	0.0131
		坡度	+	0.1281
	压力	人口密度	-	0.0002
		工业废水排放量	-	0.0213
		工业废气排放量	-	0.0086
		化肥施用强度	-	0.0113
		工业固体废物排放量	-	0.0429
		景观均匀度	-	0.0148
		人类干扰度指数	-	0.1398
	状态	植被覆盖度	+	0.0008
		水网密度	+	0.0407
		干燥指数	-	0.0203
		生物丰富度	+	0.0086
		水土流失面积	-	0.0106
		人均水资源量	+	0.0027
	影响	生态环境质量	+	0.1144
		景观破碎度	-	0.0197
		景观分维	-	0.0421
		人均耕地面积	+	0.0272
		水环境质量	-	0.0268
	响应	工业废水达标率	+	0.0021
		第三产业占 GDP 比例	+	0.0217
污水处理率		+	0.0083	
工业固体废物综合利用率		+	0.0061	
退耕还林还草率		+	0.0716	
生态用地转非生态用地率		-	0.0071	
管理	环保投资比例	+	0.0072	
	居民受教育水平	+	0.0116	
	建成区绿化率	+	0.1101	

按顺序高退化风险 ($EDR < 0.25$)、较高退化风险 ($0.25 < EDR \leq 0.35$)、中退化风险 ($0.35 < EDR \leq 0.45$)、较低退化风险 ($0.45 < EDR \leq 0.55$)和低退化风险 ($0.55 < EDR$)。

3.3. 地理探测器模型

本文采用 GeoDetector 工具 (<http://www.geodetector.cn/>) 对生态退化风险地理机制进行检测^[9]。一般来说, 地理检测器主要分析单个因子的方差与每个因子层内的总方差之间的关系。它通过空间分层异质性检测每个因素对因变量的驱动力。地理探测

器包括因子探测器、交互探测器、风险探测器以及生态探测器, 本研究中因子探测用于探测各因子对生态退化风险空间分布的解释力, 用 q 值表示, 随 q 值的增加各因子对生态退化风险的影响力更大。自变量 X 为各指标 X_s ($s=1,2,3,4,5,6,7,\dots,32,33$), 见表 1, 因变量 Y 为生态退化风险; 交互探测用于探测各指标间的交互作用。

4. 结果与分析

4.1. 生态退化风险时空格局分析

东辽河流域 2000、2005、2010、2015 和 2020 年的生态退化风险指数平均值分别为 0.3426、0.3524、0.3839、0.3201 和 0.3781，流域生态退化风险指数呈“上升-下降-上升”趋势，研究期间生态退化风险值稳步上升，说明东辽河流域在 2000 - 2010 年期间生态退化状况有缓解。研究期间东辽河流域低高生态退化风险值的分布区域基本一致（图 3）。高生态退化风险值区域位于东辽河流域的双辽、公主岭、梨树和四平等地区，这些地区人类活动强度大、水网密度和生物丰富度低、植被覆盖程度低。低生态退化风险指数值分布在东丰、东辽、辽源和伊通，相比较这些地方生态环境条件好，人类活动干扰较小，对生态系统压力较小。

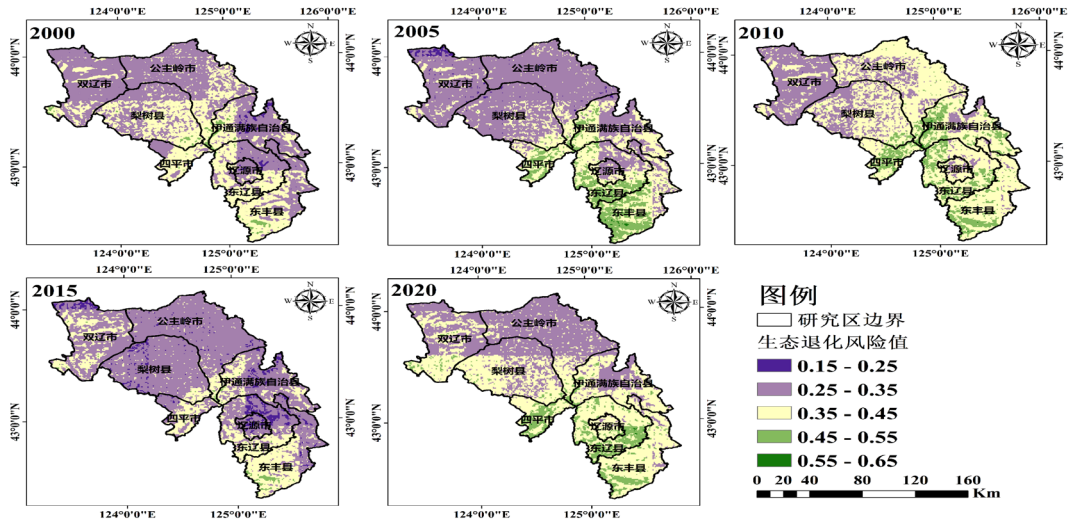


图 3 东辽河流域 2000、2005、2010、2015 和 2020 年生态退化风险时空格局

如图 4 所示，2000 - 2020 年东辽河流域生态退化风险等级变化很明显，该图是通过统计渔网工具创建的研究区 18787 个格网所得每个生态退化风险等级变化特征。研究期间 III 级、IV 级和 V 级格网所占比例在增加，I 级和 II 级格网所占比例在减少，说明东辽河流域生态退化风险有所改善，这有可能是因为 2000 年开始吉林省进行退耕还林试点，2002 年开始全面启动退耕还林建设工程，实施退耕还林，有效改善了生态环境，减少了生态环境退化风险。

4.2. 生态退化风险空间分异的地理探测

4.2.1. 因素解释力分析

我们利用因子检测器分析了 2000 - 2020 年六个子系统里每个影响因素影响生态退化风险空间分异的贡献率。如表 2 所示，研究区生态退化风险的空间分化受社会经济和自然因素的综合影响。

(1) 驱动力子系统中影响大小为： $X_2 (0.4149) > X_5 (0.2925) > X_6 (0.2563) > X_1 (0.1788) > X_3 (0.1826) > X_4 (0.1122)$;

(2) 压力子系统： $X_{13} (0.5138) > X_{12} (0.2734) > X_{11} (0.2638) > X_9 (0.1842) > X_8 (0.1738) > X_{10} (0.1356) > X_7 (0.0004)$;

(3) 状态子系统： $X_{17} (0.3851) > X_{18} (0.3815) > X_{16} (0.2379) > X_{14} (0.1562) > X_{15} (0.1506) > X_{19} (0.1014)$;

(4) 影响子系统： $X_{20} (0.4447) > X_{21} (0.3440) > X_{23} (0.3136) > X_{22} (0.2790) > X_{24} (0.00028)$;

(5) 响应子系统： $X_{29} (0.2877) > X_{30} (0.2739) > X_{28} (0.1818) > X_{27} (0.1481) > X_{26} (0.0843) > X_{25} (0.0732)$;

(6) 管理子系统： $X_{32} (0.0116) > X_{33} (0.4425) > X_{31} (0.1443)$ 。

压力指数组的人类干扰指数是影响东辽河流域生态退化风险的主导因子，其 q 值最大，解释力约在 51%；驱动力指数组的年降水量、状态指数组的生态环境质量及管理组指标的居民受教育水平的解释力在 41% 以上，是次要驱动因子；人口密度、水

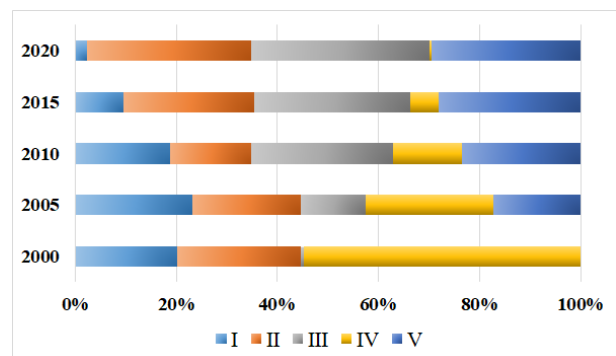


图 4 2000-2020 年东辽河流域生态退化风险等级变化的可视化图

表 2 生态退化风险影响因子的解释力 (q) 和 Spearman 相关系数 (ρ)

DPSIRM	指标层	探测因子	q 值	ρ 值
驱动力	人均 GDP	X ₁	0.1788	0
	年降水量	X ₂	0.4149	0
	年平均气温	X ₃	0.1826	0
	年蒸发量	X ₄	0.1122	0
	人口自然增长率	X ₅	0.2925	0
	坡度	X ₆	0.2563	0
压力	人口密度	X ₇	0.0004	0
	工业废水排放量	X ₈	0.1738	0
	工业废气排放量	X ₉	0.1842	0
	化肥施用强度	X ₁₀	0.1356	0
	工业固体废物排放量	X ₁₁	0.2638	0
	景观均匀度	X ₁₂	0.2734	0
状态	人类干扰度指数	X ₁₃	0.5138	0
	植被覆盖度	X ₁₄	0.1562	0
	水网密度	X ₁₅	0.1506	0
	干燥指数	X ₁₆	0.2379	0
	生物丰富度	X ₁₇	0.3851	0
	水土流失面积	X ₁₈	0.3815	0
影响	人均水资源量	X ₁₉	0.1014	0
	生态环境质量	X ₂₀	0.4447	0
	景观破碎度	X ₂₁	0.344	0
	景观分维度	X ₂₂	0.279	0
	人均耕地面积	X ₂₃	0.3136	0
	水环境质量	X ₂₄	0.00028	1
响应	工业废水达标率	X ₂₅	0.0732	0
	第三产业占 GDP 比例	X ₂₆	0.0843	0
	污水处理率	X ₂₇	0.1481	0
	工业固体废物综合利用效率	X ₂₈	0.1818	0
	退耕还林还草率	X ₂₉	0.2877	0
	生态用地转非生态用地率	X ₃₀	0.2739	0
管理	环保投资比例	X ₃₁	0.1443	0
	居民受教育水平	X ₃₂	0.4425	0
	建成区绿化率	X ₃₃	0.3394	0

环境质量、工业废水达标率和第三产业占 GDP 比例的解释力虽然不足 10%，但是在生态退化风险分异中也发挥了一定作用。

4.2.2. 因素互相作用分析

交互探测器是用于识别不同驱动因素之间的相互作用对生态退化风险的解释力增强还是减少。结果显示任意两个因素之间的相互作用产生的影响都比单一因素的影响大，这意味着研究区内生态退化风险的空间分化是由不同因素的综合影响造成的，其中人类干扰指数和工业废水排放量是交互作用最强烈的两因子，解释力约为 71%，说明这 2 因子相互作用对区域生态退化风险的影响最强。交互作用最弱的有两组因子，分别是人口密度和化肥施用强度、人口密度和景观均匀度，q 值仅为 0.14，说明人

口密度和化肥施用强度与景观破碎度的交互作用对生态退化风险空间分异的影响程度最小。此外，水土流失面积和生物丰富度之间的交互值都较高，说明这 2 个影响因素也是影响生态退化风险增加的主要驱动因素 (q 为 0.70)。综上所述，东辽河流域生态退化风险空间分异并非单一因素驱动，相比较单因子，因子之间的交互作用的影响力较大。

5. 结论

2000 年-2020 年，东辽河流域生态退化风险评价指数由 0.3426 增加至 0.3781，其呈明显的峰型演变趋势。每个时期生态退化高低风险值空间分异特征明显，高生态退化风险区域主要分布在研究区西部的双辽、公主岭、梨树和四平；低生态退化风险分布

在研究区东部的东丰、东辽、辽源和伊通等植被覆盖高、生态环境质量好、人类干扰程度小的生态安全指数高的地区。依据地理探测器的结果分析得出,人类干扰指数是影响东辽河流域生态退化风险的主要影响因素,且大部分驱动因子间交互作用类型为双因子增强,说明任意两个驱动因子对流域生态退化风险的影响都是正向促进的;其中交互作用最强烈的驱动因子为人类干扰指数和化肥施用强度。因此,在未来的东辽河流域生态环境保护管理工作中,应注重加强对流域面临的人类干扰压力因素的调节,降低经济发展对流域的影响,关注生态退化风险较高的区域,着力提升防范生态风险的能力。

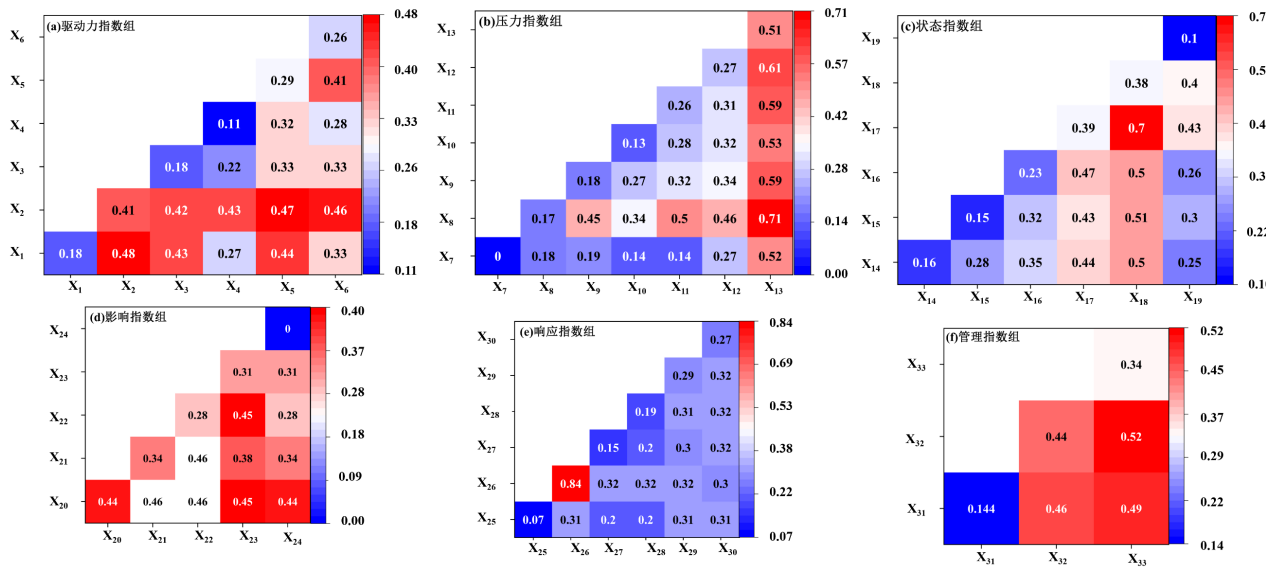


图 5 DPSIRM 模型 33 个因子之间的相互作用对东辽河流域生态退化风险的解释力

致谢

本研究得到了吉林省重大科技专项“吉林省辽河流域污染防控与生态修复重大科技专项”项目(20200503002SF)资助。

参考文献

- [1] 张云芝,胡云锋,韩月琪,战胜.全球主要生态退化区和研究热点区的空间分布与演变[J].生态学报,2021,41(19):7599-7613.
- [2] 陈兵.陕西省沿黄生态城镇带生态红线识别与生态要素退化风险评价研究[D].西安理工大学,2020.DOI:10.27398/d.cnki.gxalu.2020.000585.
- [3] Peng J , Pan Y , Liu Y , et al. Linking ecological degradation risk to identify ecological security patterns in a rapidly urbanizing landscape[J]. Habitat International, 2018, 71:110-124.

[4] 张子墨,姜虹,徐子涵,丹宇卓,叶玉瑶,彭建.面向多重生态保护目标的广东省生态系统服务退化风险情景模拟[J].生态学报,2022,42(03):1180-1191.

[5] Burkhard B , Kroll F , Nedkov S , et al. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets[J]. Ecological Indicators, 2012, 21(none):17-29.

[6] Liao J , Jia Y , Tang L , et al. Assessment of urbanization-induced ecological risks in an area with significant ecosystem services based on land use/cover change scenarios[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2017:1-10.

[7]吴秦豫,张绍良,杨永均,侯湖平,陈东兴.基于恢复力的半干旱矿区生态系统退化风险空间评估[J].煤炭学报,2021,46(05):1587-1598.DOI:10.13225/j.cnki.jccs.st21.0217.

[8] Bao, Y.B, et al. "Effect of drought on outbreaks of major forest pests, pine caterpillars (*Dendrolimus* spp.), in Shandong Province, China." Forests 10.3 (2019): 264.

[9] Cla B , Cwd B , Ylc B , et al. Spatiotemporal differentiation and geographic detection mechanism of ecological security in Chongqing, China. 2022.

Open Access This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

