

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.016

基于 DPSIR 模型的黄河流域兰考县生态安全评价

彭梦威, 薛国宇, 卫红

(河南农业大学 风景园林与艺术学院, 河南 郑州 450002)

摘要:为探究黄河流域兰考县的生态安全变化,对其生态安全进行定量评价,明确限制区域生态安全的因素,以 DPSIR 模型为框架,建立 5 个准则层,选取 29 个指标构建生态安全评价指标体系,利用熵值法和综合指数法得到生态安全综合指数与生态安全等级。结果表明,兰考县生态安全指数呈现由低到高、逐渐上升的趋势,生态安全等级由“较不安全”向“较安全”转变,警情由“重警”转变为“中警”;从子系统上来看,对区域生态安全贡献最大的是状态、影响和驱动力,响应和压力贡献偏低。研究表明,区域生态系统结构和功能处于稳定状态,区域内生态安全受经济发展水平、人类活动干扰和工业污染物的排放等因素的影响。

关键词:生态安全评价;DPSIR 模型;黄河流域;兰考县

中图分类号:Q142.9;S711 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0082-07

引文格式:彭梦威,薛国宇,卫红.基于 DPSIR 模型的黄河流域兰考县生态安全评价[J].林业调查规划,2024,49(1):82-88. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.016

PENG Mengwei, XUE Guoyu, WEI Hong. Ecological Security Evaluation of Lankao County in the Yellow River Basin Based on DPSIR Model[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 82-88. doi: 10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.016

Ecological Security Evaluation of Lankao County in the Yellow River Basin Based on DPSIR Model

PENG Mengwei, XUE Guoyu, WEI Hong

(College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To explore the ecological security changes of Lankao County in the Yellow River Basin, the quantitative evaluation of ecological security was conducted, and the factors limiting regional ecological security were identified. Using the DPSIR model as the framework, 5 criteria layers were established, and 29 indicators were selected to construct an ecological security evaluation index system. The entropy method and comprehensive index method were used to obtain the comprehensive index and level of ecological security. The results showed that the ecological security index of Lankao County showed a trend of gradually increasing from low to high, with the ecological security level shifting from “less safe” to “safer”, and the police situation shifting from “serious police” to “moderate police”; from the perspective of subsystems, the state, impact, and driving force contributed the most to regional ecological security, while the response and pressure contributions were relatively low. The structure and function of the regional ecosystem were in a stable state, and the ecological security in the region was affected by factors

收稿日期:2022-06-14.

基金项目:河南沿黄河流域文化景观高质量发展适应性研究(212400410023).

第一作者:彭梦威(1997-),女,河南开封人,硕士研究生.研究方向为风景园林规划设计. Email:464713014@qq.com

责任作者:卫红(1972-),女,河南泌阳人,副教授,研究生导师.从事城乡规划设计等工作. Email:614285065@qq.com

such as the level of economic development, human activity disturbance and industrial pollutant emissions.

Key words: ecological security evaluation; DPSIR model; Yellow River Basin; Lankao County

生态安全是国家安全和社会稳定的重要基础,是社会经济可持续发展的重要保障^[1]。生态安全最早在 1989 年由国际应用系统分析研究所(IASA)提出,指人类生活、健康、基本权利、生存安全和适应环境改变的能力不受到威胁的状态^[2]。生态安全包含两方面的含义:一是生态系统自身的安全,即自身结构未受破坏,二是生态系统功能未受损害,可以为人类的生存和发展需要提供服务^[3]。生态安全评价是对生态系统整体和影响生态环境的因子进行定性或定量评估。随着研究的进展,许多学者相继提出生态安全的理论和方法,评价体系不断得到完善,从单因子指标评价体系发展到多指标综合评价体系^[4-7]。

20 世纪 80—90 年代,国际经济合作与发展组织(OECD)与联合国环境规划署(UNEP)创新性地提出了研究环境问题的框架体系,即“压力—状态—响应”(PSR)模型,该模型在生态安全评价中得到广泛运用^[8]。1996 年,联合国可持续发展委员会(UNCSD)在 P—S—R 模型地基础上建立“驱动力—状态—响应”(D—S—R)模型。该模型更加重视驱动力在生态安全评价中的作用,可操作性强,可用于生态安全水平的监测并为决策者提供决策依据和指导。1999 年,欧洲环境署(EEA)在 PSR 模型的基础上研究社会—生态复杂系统,添加了驱动力指标和影响指标,构成了“驱动力—压力—状态—影响—响应”(DPSIR)框架模型^[9]。改进后的模型关注驱动力和状态变化与环境之间的相互关系。DPSIR 模型 5 类指标可以系统地展现流域生态安全的综合状况。潜在的社会经济“驱动力”给生态安全造成的“压力”引起流域生态、资源环境“状态”改变,进而“影响”人类活动,最终促使一系列“响应”措施的产生。这一完整的因果链为生态安全评价提供了较好的研究思路^[10]。

黄河流域是我国重要的生态屏障,在国家的生态安全和社会经济发展中具有重要的地位。由于黄河流域生态环境的脆弱性和人类干扰的加剧,流域水土流失、生态系统功能弱化等问题频发^[11]。2020 年 8 月,中央发布《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》,明确提出“黄河是中华民族的母亲河,要把黄河流域生态保护和高质量发展作为事关中华民族伟大复兴的千秋大业”^[12],黄河流域高质量发展上升为国家战略。为此,选取位于九曲黄河最后一弯

的兰考县作为研究对象,以 DPSIR 模型为框架构建生态安全评价体系,采取熵值法和综合指数法计算区域生态安全指数,探讨生态安全变化的影响因素,为黄河流域高质量发展战略提供参考和依据。

1 研究区概况

兰考县,位于河南省开封市东部,西通古城开封和省会郑州,与封丘、长垣隔黄河相望,北部及东北方向与山东省东明县、曹县接壤。兰考县地势西高东低,全县总面积 1 116 km²,地处九曲黄河入海前的最后一道大弯,也是黄河最脆弱的位置。黄河发源于青藏高原,流经黄土高原,挟裹大量泥沙流经下游地区,所携带的泥沙沉积,河床不断被抬高,形成“地上悬河”。黄河在兰考境内是一段典型的“地上悬河”,呈倒“U”形,素有“豆腐腰”之称。虽然兰考境内河道长仅有 25 km,但自宋代以来,黄河在本县境内决口泛滥达 124 次。受黄河泛滥影响,常年受风沙、盐碱、内涝“三害”危害,自然条件较为恶劣。在国家的政策扶持和规划下,治理“三害”,改善环境问题,发展社会经济,近年来黄河几乎没有决口现象发生,但仍然存在生态环境脆弱、水土流失、环境污染等问题。

2 数据来源与模型构建

2.1 数据来源

本研究选取 2015—2020 年的统计数据,涉及人口、经济、资源、环境、社会等方面的数据,主要来源于政府部门官方统计数据,有《河南省统计年鉴》《开封统计年鉴》《城市建设统计年鉴》《中国县城建设统计年鉴》《兰考县统计公报》等。其中环境数据来源于地方环境状况公报和水资源公报。

2.2 DPSIR 模型构建

2.2.1 DPSIR 模型

DPSIR 模型,即“驱动力—压力—状态—影响—响应”模型,将社会经济与资源环境之间相互作用的因子联系起来,描述人类活动、社会经济和环境之间的因果关系,对区域生态安全现状进行科学而全面的评估。该模型将兰考县生态安全评价体系自上而下逐层建立,分别为目标层、准则层、指标层 3 个层次。根据黄河流域经济社会发展与资源环境,选

取了具有代表性的 29 个指标建立兰考县生态安全评价指标体系^[13],如表 1 所示。

表 1 兰考县生态安全评价指标体系
Tab. 1 Ecological security evaluation index system of Lankao County

目标层	准则层	指标层	趋向性
生态安全评价 (ESI)	驱动力	经济密度/(万元·km ⁻²)	正
		GDP 增长率/%	正
		人均 GDP/(万元·人 ⁻¹)	正
		农业机械总动力/kW	正
	压力	农林牧渔业总产值/亿元	正
		人口自然增长率/%	负
		人口密度/(人·km ⁻²)	负
		土地开发利用强度/%	负
		人均综合用水量/(L·人 ⁻¹)	负
		农用化肥施用量/t	负
状态	城镇用地比例/%	负	
	农作物总播种面积/hm ²	正	
	粮食作物播种面积/hm ²	正	
	人均耕地面积/(667 ¹ ·m ² ·人 ⁻¹)	正	
	森林覆盖率/%	正	
	年均气温/℃	正	
	年总降水量/mm	正	
影响	水土流失率/%	负	
	年均空气质量指数	负	
	人均公园绿地面积/(人·m ⁻²)	正	
	建成区绿化覆盖率/%	正	
	农村家庭可支配收入/(元·人 ⁻¹)	正	
响应	地均财政收入/(万元·km ⁻²)	正	
	当年造林面积/hm ²	正	
	工业固体废物综合利用率/%	正	
	污水集中处理率/%	正	
	第三产业产值比重/%	正	
	节能环保支出占公共支出比重/%	正	
	农林水支出占公共支出比重/%	正	

2.2.2 评价指标体系构建

目标层是生态安全评价的结果,用于评价生态安全状况和生态安全等级。准则层包括驱动力、压力、状态、影响、响应等 5 个要素。驱动力子系统的指标选取主要考虑人类活动对该区域生态安全的作用,包括社会发展驱动力和经济发展驱动力;生态安全压力子系统的指标选取考虑人口增长对目标区域的压力、生态环境脆弱和资源方面的问题对生态安

全造成压力;生态安全状态子系统的指标是在驱动力和压力的共同作用下,能够反应当前生态环境变化和社会发展的现状;生态安全影响子系统的指标选取包括生态环境和社会两个方面;生态环境响应子系统的指标选取人类对生态安全变化采取的一系列措施,包括社会经济响应、生态恢复和污染控制等。指标的选取遵循可操作性、科学性、系统性的原则。

3 研究方法

3.1 熵值法

熵值法是一种客观的赋权法,最早由申农引入信息论。在信息论中,熵值代表信息无序化程度,熵值越小系统无序值则越小,所以信息熵可以用来评价系统信息的有效性。通过熵来确定权重,就是根据各项指标数值所提供的信息大小,即差异程度来获得指标权重^[14]。该方法可以客观准确地赋予各个指标权重。

3.1.1 极差标准化

为消除指标数据量纲影响,采取极差标准化方法对数据进行处理^[15]。同时,为消除负数和零的影响,对数据进行平移。将原始数据指标对生态安全的影响分为正、负效应。正效应指标是指其值越大,生态安全贡献越大;相反,负效应指标是指其值越小,对生态安全贡献越大。

正效应指标标准化公式:

$$R_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} + 0.0001 \quad (1)$$

负效应指标标准化公式:

$$R_{ij} = \frac{\max x_i - x_{ij}}{\max x_i - \min x_i} + 0.0001 \quad (2)$$

式中: X_{ij} 为第 i 行 j 列指标的原始数值; R_{ij} 为标准值; $\max x_i$ 和 $\min x_i$ 为 i 行指标的最大值和最小值。

3.1.2 指标赋权

通过熵值法对指标和准则层进行客观赋权。第 i 项指标的熵值的计算公式为:

$$e_i = - \frac{1}{\ln(n)} \sum_{j=1}^n \frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^n R_{ij}} \ln \frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^n R_{ij}} \quad (3)$$

第 i 项指标的差异性系数 g_i :

$$g_i = 1 - e_i \quad (4)$$

第 i 项指标的权重 W_i :

$$W_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^n (1 - e_i)} \quad (5)$$

准则层的权重 W_k 计算公式为:

$$W_k = \frac{G_k}{\sum_{K=1}^N G_k} \quad (6)$$

式中: G_k 为各准则层指标的变异系数之和。
经过计算,各指标权重见表 2 所示。

表 2 生态安全评价指标体系及权重
Tab. 2 Ecological security evaluation index system and weight

目标层	准则层	权重	指标层	权重	
生态安全指数	驱动力	0.207	经济密度	0.169	
			GDP 增长率	0.086	
			人均 GDP	0.163	
			农业机械总动力	0.306	
			农林牧渔业总产值	0.276	
	压力	0.177	人口自然增长率	0.112	
			人口密度	0.099	
			土地开发利用强度	0.148	
			人均综合用水量	0.376	
			农用化肥施用量	0.125	
状态	0.147	城镇用地比例	0.140		
		农作物总播种面积	0.143		
		粮食作物播种面积	0.230		
		人均耕地面积	0.119		
		森林覆盖率	0.209		
		年均气温	0.149		
		年总降水量	0.150		
		影响	0.265	水土流失率	0.165
				年均空气质量指数	0.124
				人均公园绿地面积	0.377
建成区绿化覆盖率	0.088				
农村家庭可支配收入	0.114				
响应	0.204	地均财政收入	0.132		
		当年造林面积	0.184		
		工业固体废物综合利用率	0.245		
		污水集中处理率	0.085		
		第三产业产值比重	0.192		
			节能环保支出占公共支出比重	0.178	
			农林水支出占公共支出比重	0.116	

3.2 生态安全综合指数及分级

研究区域生态安全指数采用乘加复合综合指数模型,来评价生态安全总体安全程度。生态安全指

数介于 0~1 之间。

各个指标生态安全指数计算公式为:

$$ESI_i = W_i R_{ij} \quad (7)$$

准则层生态安全指数计算公式为:

$$ESI_{kj} = \sum_{i=1}^n ESI_i \quad (8)$$

系统生态安全指数计算公式为:

$$ESI = \sum_{k=1}^n ESI_{kj} \quad (9)$$

根据生态安全指数 ESI 确定生态安全等级,分级标准见表 3。

表 3 生态安全等级划分标准

Tab. 3 Ecological security classification standard

生态安全指数	安全等级	警度	指示灯
[0,0.2)	不安全	巨警	红灯
[0.2,0.4)	较不安全	重警	橙灯
[0.4,0.6)	一般安全	中警	黄灯
[0.6,0.8)	较安全	轻警	蓝灯
[0.8,1.0)	安全	无警	绿灯

4 兰考县生态安全评价结果与分析

经过计算,兰考县生态安全总体评价结果如表 4,图 1 所示。

表 4 生态安全总体评价结果

Tab. 4 Overall evaluation results of ecological security

年份	综合安全指数	安全等级	警度
2015	0.374	较不安全	重警
2016	0.351	较不安全	重警
2017	0.436	一般	中警
2018	0.568	一般	中警
2019	0.565	一般	中警
2020	0.563	一般	中警

从表 4、图 1 可以看出,研究区域 2015—2020 年生态安全综合指数由 0.37 提高到 0.56,整体呈逐年上升的变化趋势。兰考县生态安全等级 2015—2017 年处于较不安全水平,2018 年得到很大的提升,转变为一般安全水平,而后至 2020 年一直处于一般安全水平。对于研究区域生态安全影响主要的因素依次为“影响”“驱动力”和“响应”,主要原因是人们对绿

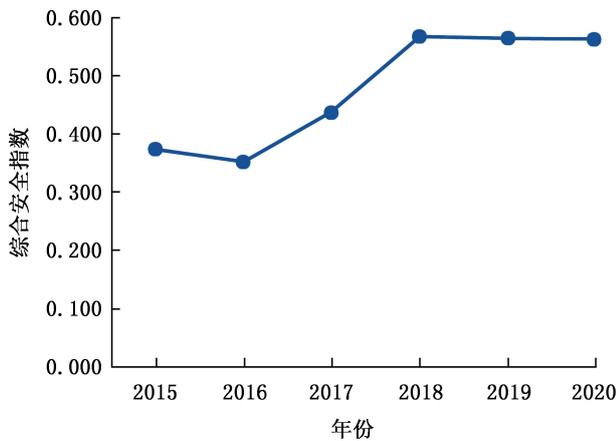


图 1 生态安全总体评价结果

Fig. 1 Overall evaluation results of ecological security

化和环境的重视程度提高、过度增长的人口、高速发展的经济、政府对于环境保护和生态修复的力度(表 5)。由此可见,对于生态资源的保护、环境治理、提高资源利用率等措施对于生态安全状态的提升起到了积极作用。虽然该区域环境污染问题得到了初步治理,问题得到改善,资源消耗减缓,但是经济快速发展、人口过度增长、城镇化发展等因素对于生态安全状态仍然有消极作用。总体来说,兰考县生态安全系统受干扰后容易恶化,生态问题和灾害也容易发生,生态安全状态还有很大的提升空间。

4.1 驱动力分析

“驱动力”是对生态安全产生威胁的潜在因素(图 2,表 6)。2015—2020 年,驱动力指数变化幅度较大,主要分为两个阶段,前期不断上升,后期呈下降趋势。2015—2017 年处于“较不安全”状态;2016 达到最差;2017 年开始上升;2018 年达到最高值 0.758,安全等级由“较不安全”转为“较安全”;2018 年到 2020 年开始呈现下降趋势;2020 年驱动力指数

表 5 兰考县 2015—2020 年生态安全准则层评价结果
Tab. 5 Evaluation results of ecological security criteria layer in Lankao County from 2015 to 2020

年份	驱动力	压力	状态	影响	响应
2015	0.261	0.791	0.354	0.083	0.519
2016	0.161	0.726	0.379	0.237	0.347
2017	0.178	0.662	0.507	0.340	0.575
2018	0.758	0.342	0.833	0.371	0.636
2019	0.704	0.285	0.686	0.778	0.303
2020	0.464	0.277	0.689	0.911	0.369
均值	0.421	0.514	0.575	0.453	0.458

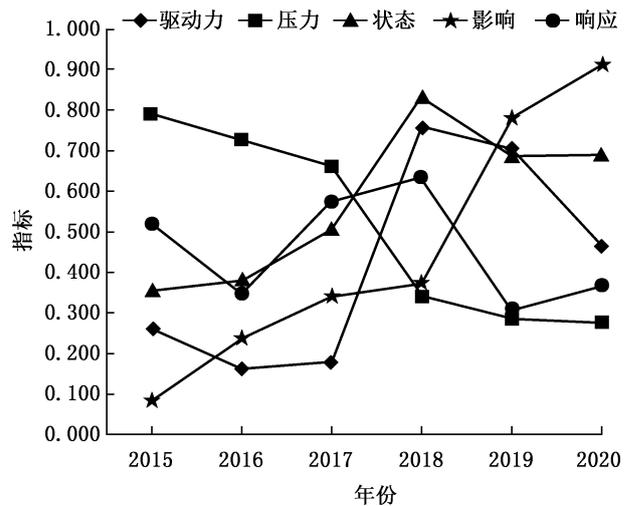


图 2 兰考县 2015—2020 年生态安全准则层变化趋势

Fig. 2 Change trend of ecological security criteria layer in Lankao County from 2015 to 2020

下降至 0.464,安全等级转变为“一般安全”。驱动力的平均值为 0.421,处于“一般安全”状态。经济密度、GDP 增长率、人口自然增长率是影响驱动力指

表 6 兰考县生态安全评价警度及指示灯

Tab. 6 Ecological security evaluation police level and indicator lights in Lankao County

年份	总体生态安全		驱动力		压力		状态		影响		响应	
	警度	指示灯	警度	指示灯	警度	指示灯	警度	指示灯	警度	指示灯	警度	指示灯
2015	重警	橙灯	巨警	红灯	轻警	蓝灯	重警	橙灯	巨警	红灯	中警	黄灯
2016	重警	橙灯	巨警	红灯	轻警	蓝灯	重警	橙灯	重警	橙灯	重警	橙灯
2017	中警	黄灯	巨警	红灯	轻警	蓝灯	中警	黄灯	重警	橙灯	中警	黄灯
2018	中警	黄灯	轻警	蓝灯	重警	橙灯	无警	绿灯	重警	橙灯	轻警	蓝灯
2019	中警	黄灯	轻警	蓝灯	重警	橙灯	轻警	蓝灯	轻警	蓝灯	重警	橙灯
2020	中警	黄灯	中警	黄灯	重警	橙灯	轻警	蓝灯	无警	绿灯	重警	橙灯

数的主要因素。根据统计原始数据发现,GDP 增长率有所下降,但是人均 GDP 和经济密度处于变好的趋势。总体来看,驱动力处于变好的趋势,但仍然处于一般安全状态,需要引起重视。

4.2 压力分析

如图 2 和表 6 所示,“压力”子系统指数整体呈现下降趋势:2015 年得分为 0.791,安全等级为“较安全”;2018 年急速下降至 0.342;2018—2020 年三年间下降速度减缓;2020 年压力指数下降至 0.277,安全等级为“较不安全”。人口持续增长、人均用水量居高不下、城镇用地比例增加,是影响压力子系统变差的主要因素。

4.3 状态分析

“状态”子系统权重为 0.265,是对区域生态安全影响最大的子系统(图 2,表 6)。2015 年“状态”子系统指数最差,分值为 0.354,安全等级为“较不安全”,警度为重警,指示灯为橙灯。2015—2020 年“状态”子系统整体呈上升趋势,2018 年警度为无警,指示灯显示绿灯。生态安全“状态”子系统指数上升主要原因在于森林覆盖率和粮食作物播种面积的增加。地方政府和居民生态环保意识的增强也在区域生态安全中起到了重要作用。

4.4 影响分析

生态安全“影响”子系统权重为 0.265,是对区域生态安全影响贡献率最大的因素。如图 2 和表 6 所示,2015 年“影响”子系统指数为 0.083,安全等级为“不安全”,警度为巨警,指示灯为红灯。2015—2020 年“影响”子系统指数不断上升,2020 年达到了最好的状态,安全等级为“安全”,警度为“无警”,指示灯为“绿灯”。“影响”子系统指数的上升主要因素为人们对于绿化和环境的重视程度提高,家庭收入和人均财政收入增加,水土流失得到控制,人均公园绿地面积增加,空气质量提高,使得影响子系统状况数值持续变好。

4.5 响应分析

如图 2 和表 6 所示,生态安全“响应”子系统指数呈现下降—上升—下降的状态:2015 年处于“一般安全”状态;2016 年下降至“较不安全”状态,随后开始上升;2018 年到达最高值,安全等级转变为“较安全”;2019 年下降至最低值 0.303,安全等级为“较不安全”;2020 年虽有提升,安全等级仍处于“较不安全”。警度经历了由中警转变为重警,指示灯由黄灯变为橘灯。“响应”子系统整体均值为 0.458,处于“一般安全”,说明该区域对于生态环保的重视程度和投入相对较高。但是,工业废水缺乏

处理,耗能高和排放高的产业有待改造,对于工业固体废物综合利用率、污水集中处理率和节能环保的投入仍需要提高。

5 结论与建议

本文结合 DPSIR 模型对兰考县进行了生态安全评价,在分析评价中结合熵值法和综合指数法对该区域生态安全的主要影响因素进行了分析。主要结论有:

1) 2015—2020 年,研究区域生态安全呈逐年上升的趋势,生态安全状态不断提高,生态等级由“较不安全”上升为“一般安全”,综合指数分别为 0.374、0.351、0.436、0.568、0.565、0.563。

2) 该研究区域生态安全状态受多种因素的影响。2015—2017 年,“压力”“状态”对生态安全影响最大(图 3)。其中“影响”“驱动力”和“响应”子系

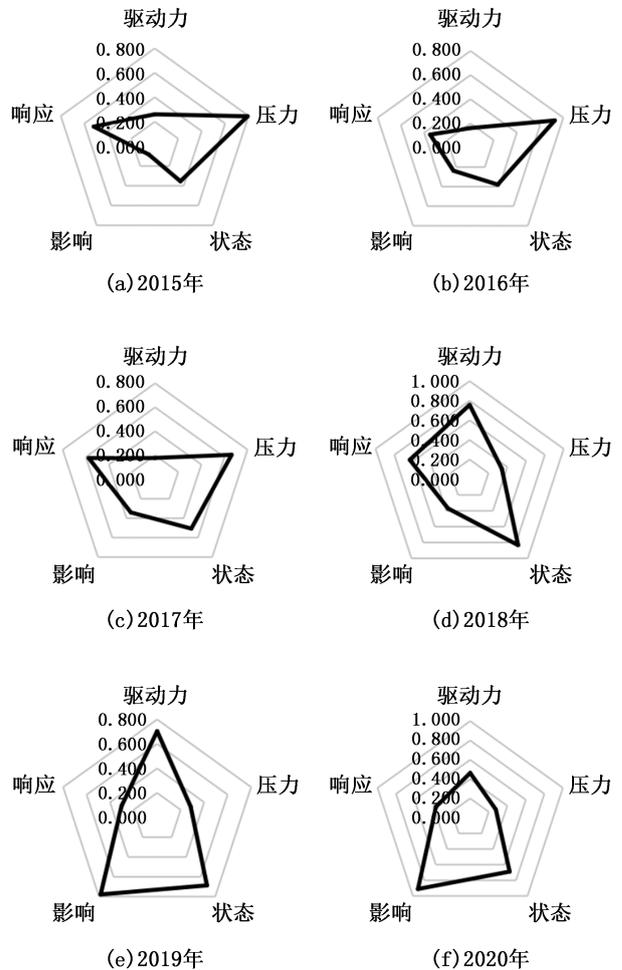


图 3 兰考县 2015—2020 年生态安全评价准则层雷达图
Fig. 3 Radar map of ecological security evaluation criteria layer in Lankao County from 2015 to 2020

统对于生态安全状态的贡献最大,但是“压力”子系统指数持续走低,数值偏低。因此,社会经济发展带来的人口压力、土地开发利用强度以及环境污染与生态安全的状态密切相关。

3)提升该区域生态安全水平,应贯彻高质量绿色发展理念,提高资源利用率、环保投入和生态环保意识,如:严格管控废水排放,促进生态环境健康发展;明确生态用地类型,构建科学合理的生态安全格局;积极引导生态环保意识,探索生态产品价值实现机制与途径。结合《黄河流域高质量发展纲要》的内容,在调洪功能区、滩区治理区、湿地修复区等多级生态功能区划的基础上,尊重自然法则,遵循可持续发展原则,分区分类治理,促进黄河流域生态高质量发展。

参考文献:

- [1] 吴晓. 三峡库区重庆东段生态安全评价研究[D]. 武汉:华中师范大学,2014.
- [2] SHI X Q,ZHAO J Z,OUYANG Z Y. Assessment of eco-security in the Knowledge Grid e-science environment[J]. The Journal of Systems & Software,2005,79(2).
- [3] 郭中伟. 建设国家生态安全预警系统与维护体系——面对严重的生态危机的对策[J]. 科技导报,2001(1): 54-56.
- [4] HACHOL J,BONDAR-NOWAKOWSKA E. Aquatic plantsbased risk model for assessment of ecological safety of rivers[J]. Human and Ecological Risk Assessment,2016, 22(4).
- [5] DOS SANTOS F B,ESTEVEES K E. A fish-based index of biotic integrity for the assessment of streams located in a sugarcane-dominated landscape in southeastern Brazil[J]. Environmental management,2015,56(2).
- [6] 凌红波,徐海量,史薇,等. 新疆玛纳斯河流域绿洲生态安全评价[J]. 应用生态学报,2009,20(9):2219-2224.
- [7] BARBARA SOWIŃSKA-ŚWIERKOSZ. Application of surrogate measures of ecological quality assessment: The introduction of the indicator of ecological landscape quality (IELQ)[J]. Ecological Indicators,2017,73.
- [8] WALZ. Development of environmental indicator systems: experiences from Germany[J]. Environmental Management, 2000,25(6).
- [9] 李玉照,刘永,颜小品. 基于 DPSIR 模型的流域生态安全评价指标体系研究[J]. 北京大学学报(自然科学版),2012,48(6):971-981.
- [10] 陈广,刘广龙,朱端卫,等. DPSIR 模型在流域生态安全评估中的研究[J]. 环境科学与技术,2014,37(S1): 464-470.
- [11] 刘晶晶,王静,戴建旺,等. 黄河流域县域尺度生态系统服务供给和需求核算及时空变异[J]. 自然资源学报,2021,36(1):148-161.
- [12] 黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要[N]. 人民日报,2021-10-09(001).
- [13] 崔馨月,方雷,王祥荣,等. 基于 DPSIR 模型的长三角城市群生态安全评价研究[J]. 生态学报,2021,41(1):302-319.
- [14] 陈广. 基于 DPSIR 模型的三峡库区水生态安全评价[D]. 武汉:华中农业大学,2015.
- [15] 秦寿康. 综合评价原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003:9-23.

责任编辑:刘平书