

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2024.04.012

<https://xuebao.xaut.edu.cn>

引文格式:周超凡,王毅勇,田思婷,薛翌娜,黄榕. 基于 DPSR 模型的宝鸡市水环境评价及障碍因子诊断[J]. 西安理工大学学报, 2024, 40(4):554-561.

ZHOU Chaofan, WANG Yiyong, TIAN Siting, XUE Zhaona, HUANG Rong. Evaluation of water environment and diagnosis of obstacle factors in Baoji City based on DPSR modeling[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2024, 40(4): 554-561.

基于 DPSR 模型的宝鸡市水环境评价及障碍因子诊断

周超凡¹, 王毅勇^{1,2}, 田思婷¹, 薛翌娜¹, 黄榕¹

(1. 宝鸡文理学院 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721013;

2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102)

摘要: 为了研究近年来经济发展与城市化等综合影响下的区域水环境状态, 本文基于 2012—2021 年的水环境相关数据, 选用 DPSR 评价模型, 构建水环境评价指标体系, 通过采用熵权法确立指标权重, 综合指数法计算评价结果, 结合现有的相关研究及实际水环境情况, 确定评价等级, 同时引入障碍度函数, 计算指标障碍度。结果表明, 2012—2021 年宝鸡市水环境综合指数大致呈现“V”型变化波动, 在研究的时间范围内, 水环境主体处于预警阶段, 其中 2016 年水环境最差, 评价值为 0.236 1。影响宝鸡水环境的 5 个主要的障碍因子, 分别是污水排放总量、工业总产值、供水普及率、城镇化率和总磷。依据障碍因子提出了改善水环境的举措, 以期为市级或小区域水环境评价提供参考和借鉴。

关键词: 水环境; DPSR 模型; 生态安全评价; 熵权法; 障碍度; 宝鸡市

中图分类号: X824

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2024)04-0554-08

Evaluation of water environment and diagnosis of obstacle factors in Baoji City based on DPSR modeling

ZHOU Chaofan¹, WANG Yiyong^{1,2}, TIAN Siting¹, XUE Zhaona¹, HUANG Rong¹

(1. Shaanxi Key Laboratory of Disaster Monitoring & Mechanism Simulation, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China; 2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China)

Abstract: In order to study the state of regional water environment under the comprehensive influence of economic development and urbanization in recent years, this paper selects the the DPSR evaluation model based on the water environment related data from 2012 to 2021, constructs the water environment evaluation index system, establishes the index weights by using the entropy weighting method, calculates the evaluation results by the comprehensive index method, and determines the evaluation level by combining the existing related research and the actual water environment situation. The results show that, from 2012 to 2021, the comprehensive index of water environment in Baoji City roughly presents a “V” type change fluctuation, and that the main body of the water environment is in the early warning stage within the time range of the study, of which 2016 is of the worst water environment, with the evaluation value of the water environment in the year 2016 being the highest, and the water environment in the year 2016 is

收稿日期: 2022-12-05; 网络首发日期: 2023-07-18

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20230717.1357.002.html>

基金项目: 宝鸡“三个年”专项课题资助项目(BJSKZX-2023SGN07); 宝鸡文理学院重点科研计划资助项目(ZK2017044)

第一作者: 周超凡, 硕士生, 研究方向为气象、水文减灾。E-mail: 2873439280@qq.com

通信作者: 王毅勇, 博士, 教授研究方向为湿地生态环境保护及气象、水文。E-mail: 28480016@qq.com

the worst. In 2016, the water environment is the worst, with an evaluation value of 0.236 1. The five main obstacle factors affecting the water environment in Baoji are total sewage discharge, total industrial output value, water supply penetration rate, urbanization rate and total phosphorus. Based on the obstacle factors, initiatives to improve the water environment are proposed, with a view to providing a reference for municipal or small regional water environment evaluation.

Key words: water environment; DPSR model; ecological security assessment; entropy weight method; obstacle degree; Baoji City

随着经济高速发展,生态环境保护问题越来越迫切,维持生态安全是国家安全重要组成^[1]。1972年《人类环境宣言》提出,随着发展需要以及人口压力,必须加强规划,减少人类对环境产生的不利的影 响,并为人类取得社会,经济和环境三方面的最大收益^[2]。水环境是生态环境中最重要的组成部分,水环境的状况很大程度上影响区域生态环境的质量,良好的水环境可以对区域生态改善不断提供动力。然而水环境安全形势不容乐观,水环境的生态功能丧失、水污染以及水土流失等问题频频出现。Wheater等^[3]强调当前还需考虑调解水安全相关因素的社会活动背景及其影响。Kattel^[4]、Shen等^[5]、Veetil等^[6]认为生态环境和人类活动有着复杂的相互作用。

本文选用了经济合作与发展组织(OECD)^[7]与联合国环境规划署(UNEP)提出的环境概念PSR模型^[8]改进而来的DPSR模型,对于指标区分可以达到明确但不混乱的效果。周超凡等^[9]运用DPSR模型对宝鸡市2012—2021年生态安全状况进行评价。张向宁等^[10]基于DPSR模型初选了水安全评价指标体系,采用能提高指标体系代表性与独立性的信息敏感性和相关性分析方法。此类研究中,DPSR模型与整体状况之间的联系和区别没有明确的区分,在如何进行改善治理评价的环境时缺乏依据,故本文研究在DPSR模型的应用中,分别评价准则层与整体。

陕西省宝鸡市在近几十年来,由于对区域水资源的长期过量利用和水体污染,使得区域水环境质量下降,水生态安全受到威胁。郭婵等^[11]研究了渭河宝鸡段的水质,得出了渭河宝鸡段污染状况为西高东低,受人为因素影响大。靳美娟等^[12]研究了渭河宝鸡段3个断面的监测数据,发现虢镇桥断面水质仍较差,源于工业污染。除了水质评价外,也有学者对水环境开展研究,闫建峰^[13]研究发现渭河宝鸡市区5片人工湖,对改善市区生态环境和补给地下水有良好效果。王琳娜^[14]针对宝鸡峡灌区现状,提出了建议。但目前针对研究区域整体水环境质量状

况方面的研究不多。本研究综合考量宝鸡市水质、经济、人口和水资源等状况,另外,引入了逐渐得到重视的障碍因子。创新之处是:①对DPSR模型及综合结果,区分计算,对DPSR模型结果的具体变化和相互作用进行把握;②计算了小区域的环境评价指标的障碍度,对障碍度的变化趋势和主要的障碍因子进行确定,可以较好地把握改善研究区水环境的切入点,为宝鸡市的水环境改善提供科学依据。

1 研究区概况

陕西省宝鸡市地处106°18'E~108°03'E,33°35'N~35°06'N。宝鸡地质构造复杂,以山地、丘陵为主,主城区沿渭河河道附近的平缓狭长地带展开,地形上三面环山,为河谷型城市。宝鸡市气候属于暖温带半湿润气候,年平均降水量在590~900mm之间,宝鸡市河网水系主要由三面环山的集水区和渭河干支流组成,河网排列见图1。

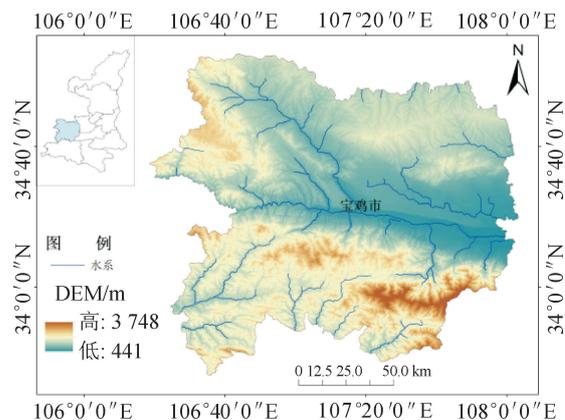


图1 宝鸡水系概况图

Fig. 1 Overview of water system in Baoji

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2022)4309的标准地图制作,底图无修改。

2 研究方法 与评价模型

2.1 数据来源

本研究的数据主要来源于市统计年鉴、水资源统计公报、省统计年鉴、网络信息等,见表1。

表 1 数据来源
Tab.1 Data sources

数据来源	原始数据名称
2012—2021 年《宝鸡市统计年鉴》	城镇化率、地区生产总值、工业总产值、农业总产值
2012—2021 年《宝鸡市水资源统计公报》	水资源总量、年降水量、地表水资源量、地下水资源量、 人均水资源拥有量、人均用水量
2012—2021 年《陕西省统计年鉴》	污水排放总量、单位 GDP 用水量、工业废水处理量、排水管道长度、 废水治理设施处理能力、水厂生产能力、供水普及率
网络资料	污水处理率
2012—2021 年《宝鸡市环境质量公报》	氟化物、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、氨氮、化学需氧量、总磷

2.2 研究方法

本研究使用综合指数法对水环境进行评价,首先需要将指标原始数据进行标准化处理,通过熵权法^[15]确定指标的权重,再通过 MMULT 函数通过对标准化数据和熵权进行矩阵计算,得出综合指数值,最后依据评价标准,判断水环境评价的综合指数所处的等级,确定水环境在不同年份所处的等级,并对准则层和整体计算了综合指数,运用障碍度公式^[16],选取主要障碍因子。

2.3 评价指标体系

本文评价指标体系建立参考了文献^[17-19],并结合水环境实际情况进行了调整。其中驱动系统的指标主要由经济指标与城市化指标构成,主要考量经济发展和城市化进程对水环境的影响。压力系统主要由水质指标与污水排放构成,可以反映水环境的

生态情况,其中由于地表水监测断面和采样点在 2012—2021 年波动范围大,因此压力系统的评价指标以宝鸡市地表水监测断面指标的整体年均值结果作为数据来源。状态系统由水资源指标构成,主要分析水资源对于水环境的影响。响应系统则由人类活动对水环境正向作用指标构成,所选取指标为相关研究普遍认可且有代表性,可以反映城市化、经济发展、水质情况、水资源情况和人类响应,为构建科学的水环境评价指标体系提供依据,见表 2。

2.4 水环境生态安全评价模型

2.4.1 数据标准化处理

指标原始数据矩阵设为 $X = \{x_{ij}\}_{n \times m}$ 。数据标准化采用归一化,若指标原始数据数值越大越安全则为正向指标,反之为负向。其中正向指标采用式(1),负向指标采用式(2)。

表 2 宝鸡市水环境评价指标体系

Tab.2 Water environment evaluation index system of Baoji city

准则层	系统权重	指标层	单位	指标性质	权重
驱动 (D)	0.186 3	城镇化率 D1	%	—	0.035 0
		地区生产总值 D2	10^8 元	—	0.033 2
		工业总产值 D3	10^8 元	—	0.026 1
		农业总产值 D4	10^8 元	—	0.033 1
		人均用水量 D5	L	—	0.036 5
		单位 GDP 用水量 D6	$t \cdot (10^4 \text{元})^{-1}$	—	0.022 4
压力 (P)	0.232 3	氟化物 P1	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	—	0.042 3
		高锰酸盐指数 P2	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	—	0.021 8
		五日生化需氧量 P3	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	—	0.036 2
		氨氮 P4	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	—	0.035 6
		化学需氧量 P5	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	—	0.031 3
		总磷 P6	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	—	0.017 9
		污水排放总量 P7	10^8 t	—	0.047 2

表 2 (续)

准测层	系统权重	指标层	单位	指标性质	权重
状态 (S)	0.270 1	水资源总量 S1	10^8 m^3	+	0.059 5
		年降水量 S2	mm	+	0.033 7
		地表水资源量 S3	10^8 m^3	+	0.057 3
		地下水资源量 S4	10^8 m^3	+	0.054 5
		人均水资源拥有量 S5	$\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$	+	0.065 0
响应 (R)	0.311 2	污水处理率 R1	%	+	0.032 4
		工业废水处理量 R2	10^4 t	+	0.073 9
		排水管道长度 R3	km	+	0.046 4
		废水治理设施处理能力 R4	$10^4 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$	+	0.068 3
		水厂生产能力 R5	$10^4 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$	+	0.069 3
		供水普及率 R6	%	+	0.020 9

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (1)$$

$$Y_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (2)$$

式中: X_{ij} 为第*i*个年第*j*个指标的原始值; Y_{ij} 为经过标准化后处于 $[0, 1]$ 之间的标准化值; $\max(X_{ij})$, $\min(X_{ij})$ 分别为第*j*评价指标的*i*年的原始数据的最大最小值。

2.4.2 评价指标权重计算

本研究在指标权重的计算方法中,选择熵权法,熵权法是一种成熟可靠且众多学者普遍认可使用的一种计算方法,可以通过该方法依据指标所蕴含信息量获得指标因子准确的权重,计算步骤见下。

首先依据标准化处理的数据进行指标信息熵 H_j 计算:

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

式中: $i = 1, 2, 3 \dots n$; $j = 1, 2, 3 \dots m$; $P_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij}$; $k = 1/\ln n$;在本研究中 $n = 10$,且须假定当 $P_{ij} = 0$ 时,令 $P_{ij} \ln P_{ij} = 0$ 。

最后通过信息熵 H_j 计算指标权重 ω_j :

$$\omega_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^m (1 - H_j)} \quad (4)$$

2.4.3 评价指数计算

在计算出各个指标因子权重后,还需对水环境综合评价指数进行计算,该指数记作 T ,通过对标准化数据和指标权重进行矩阵计算:

$$T = \sum_{j=1}^m \omega_j Y_{ij} \quad (5)$$

2.4.4 障碍度计算

考虑到宝鸡市大气环境评价中,指标权重仅代表指标数据量,不能用于评定障碍因子,因此,引入障碍度函数,见式(6)~(8)。

$$A_j = \alpha_j \omega_j \quad (6)$$

$$B_{ij} = 1 - Y_{ij} \quad (7)$$

$$C_{ij} = \frac{A_j B_{ij}}{\sum_{j=1}^m A_j B_{ij}} \times 100\% \quad (8)$$

式中: A_j 为因子贡献度,即单个指标权重与所在准则层权重的乘积; α_j 为 DPSR 模型中,第*j*个指标所在子系统的权重; ω_j 为第*j*个指标的权重; B_{ij} 表示指标偏离度,即 Y_{ij} 到数值 1 的距离; Y_{ij} 为原始数据标准化处理后的矩阵; C_{ij} 为障碍度即单项指标对水环境安全的影响程度,通过因子贡献度 A_j 和指标偏离度 B_{ij} 计算获得。

障碍度函数主要通过因子贡献度 A_j 、指标偏离度 B_{ij} 、障碍度 C_{ij} 实现,通过该公式可以计算出各个指标在研究时间区间内每一年的障碍度,判断该指标对宝鸡水环境的影响程度。指标的障碍度越小,表明宝鸡水环境水平受该项指标的阻碍作用越弱,障碍度越大则阻碍作用越强。

2.5 评价等级标准

通过数据标准化、权重计算得出了评价指数,还须确立研究区的水环境评价等级标准,本文参考了相关研究^[20-21],并依据现实实际,以及熵权法的评价结果的数值范围,制定了研究区的水环境评价标准,见表 3。

表3 宝鸡市水环境评价标准及等级
Tab.3 Water environment evaluation standard and grade of Baoji City

综合指数值	等级	评价	水环境状态
[0~0.2)	I	重警	水环境遭受严重污染,服务功能几近崩溃,生态恢复与重建很困难,经常演变成灾害
[0.2~0.4)	II	中警	水生态系统服务功能严重退化,受外界连续干扰时恢复困难,灾害较多
[0.4~0.6)	III	预警	水环境生态系统服务功能已有退化,受干扰后易恶化,水生态灾害时有发生
[0.6~0.8)	IV	较安全	水环境生态系统服务功能较为完整,一般干扰下可恢复,水生态问题不显著,灾害不太多
[0.8~1)	V	安全	水环境生态系统服务功能基本完整,再生能力强,水生态问题不显著,水生态灾害很少

注:综合评价数值为“1”时,是一种水环境安全的理想状态,故数值不会出现等于1的情况。

3 结果与分析

3.1 驱动-压力-状态-响应系统评价

通过对驱动、压力、状态、响应四层指标体系权重的计算,分别计算出 DPSR 模型中驱动、压力、状态、响应的准则层的评价值,其中 DPSR 模型的评价值变化见图 2。评价结果可以更为清晰了解宝鸡市在自然和社会因素下对水环境主要的压力、水环境的状态,以及水环境响应治理的成效和作用,可为今后明确水环境改善的方向。

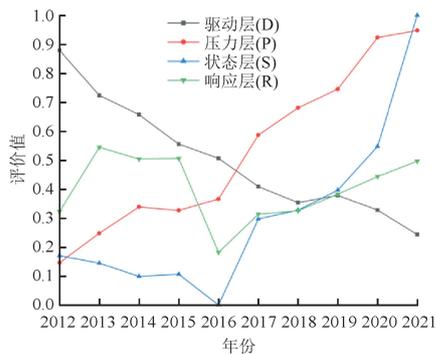


图2 宝鸡市水环境 DPSR 模型各层评价结果

Fig.2 Evaluation results by DPSR model of water environment in Baoji City

驱动系统评价结果主要处于 0.2~0.9 的范围内,且在 2012~2021 时间范围内,基本保持了下降的态势,仅在 2018 年,相较前一年略有提升,反映了宝鸡市水环境的变化受到驱动系统的影响,在 2012~2021 年时间范围内越来越大。

压力系统主要由水质指标构成,评价结果处于 0.1~1.0 的数值范围内,主体呈现上升态势。仅 2015 年评价结果,相较 2014 年略微减小,即宝鸡市水质整体不断得到提升,污水排放逐渐减少,为水环境改善提供助力。

状态系统的评价结果处于 0~1 的范围内,呈现出“V”字型,且变化幅度非常大,基本囊括了评价的五个标准等级,评价指数变化趋势由 2012 年综合指

数 0.311 到 2016 年综合指数 0,呈现波动下降,再由 2016 年高速上升至 2020 年的综合指数 1,反映了在评价年限内,宝鸡水环境由于降水差异而变化显著。

响应系统的评价结果在 0.2~0.6 之间,2012 年至 2013 年呈上升趋势。2013 至 2016 年呈波动下降趋势,2016—2020 年,呈现缓慢上升的趋势,结合响应层主要指标因子数值变化,侧面印证随着工业化城市化,人类活动响应由粗放治理向精细化治理并不断提升的现实情况。

3.2 综合评价

考虑到 DPSR 模型在综合评价上,各个子系统作用程度存在差异,数值范围波动较大,部分数据超越评价标准范围等问题。因此,本文在评价研究区水环境时,不局限于 DPSR 模型的分层评价,而对所有的正向、负向指标因子汇总,进行了权重的计算,得出了各个因子的整体权重(见表 2)以及整体的水环境评价价值(见图 3),有效验证驱动-压力-状态-响应的综合作用。

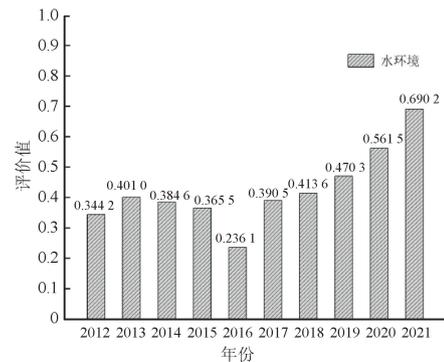


图3 宝鸡市水环境评价结果

Fig.3 Water environment evaluation results of Baoji City

由表 3 及图 3 可知,在研究区选定的 2012—2021 的时间范围内,宝鸡市的水环境变化剧烈,但主体上仍处于预警阶段,即宝鸡市水环境生态系统

服务功能已有退化,且在 2016 年处于中警阶段,即在当年,宝鸡市水环境的生态系统服务功能严重退化。在评价的年份内,大致呈现出“V”型的趋势,由水环境评价结果可知,水环境自 2012—2013 年好转,2013—2016 年,逐年下降,在 2016 年至 2020 年,水环境又有了明显的提升和改善。

3.3 障碍因子分析

通过障碍度函数的计算,得出 24 个指标在 2012—2021 年每一年的障碍度结果,其中每一个评价指标及其障碍度记作障碍因子,选择每一年指标障碍度排序前 5 名的指标,分析其系统变化,见表 4,依据障碍因子排序前五的情况绘制障碍度分布热点图,见图 4。

表 4 宝鸡市水环境指标障碍度排序
Tab. 4 Water environment index obstacle degree ranking of Baoji City

年份	指标排序及其障碍度/%				
2012	P2	D6	P5	P3	P7
	28.43	25.10	20.71	20.49	20.28
2013	P3	R5	P1	P7	D6
	22.50	18.08	17.39	15.67	15.62
2014	P3	R5	P7	D6	P5
	18.14	18.08	16.21	14.96	14.32
2015	P6	P7	P4	R5	R1
	22.54	20.02	16.75	14.39	14.37
2016	P6	R6	P4	R1	S2
	41.14	34.70	19.62	19.52	16.80
2017	R1	D5	R2	D2	R4
	16.07	15.44	14.44	13.38	12.82
2018	D5	R2	D3	R4	D2
	17.36	16.01	14.56	12.85	12.26
2019	P2	R6	D3	D1	R2
	19.54	17.88	16.61	15.59	14.94
2020	D4	R6	D1	D3	D2
	20.75	17.54	17.36	16.49	14.56
2021	D3	D1	D4	D2	R2
	24.20	19.81	19.06	18.33	16.44

依据表 4 及图 4 可知,在 2012—2021 时间内,水环境评价的主要障碍因子基本实现了压力层-状态层-响应层-驱动层的周期变化,印证了在城市化以及工业化发展的背景下对水环境造成的不利影响,随着水环境治理力度加强,得到明显改善,在治

理能力和水平趋于稳定后,障碍因子回归到驱动层,因此追求高质量高水准的清洁生产是提升水环境,改善障碍因子的重要举措。

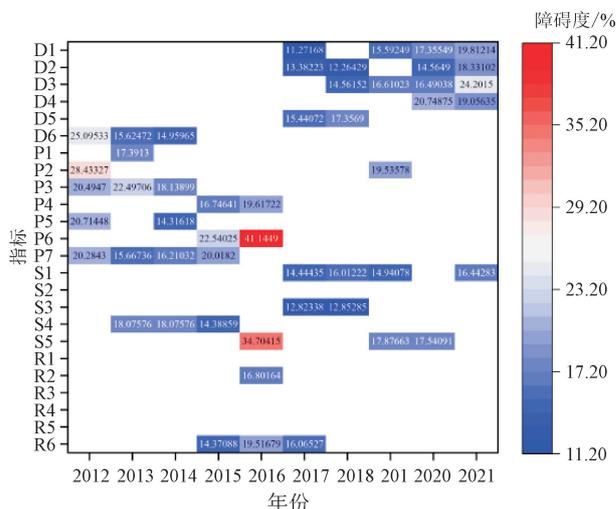


图 4 宝鸡市水环境障碍因子热点图
Fig. 4 Water environment barrier factor heat map of Baoji City

在了解评价年份内主要障碍因子的变化的基础上,依据每一年的障碍度排序前五的因子,进行累加,相同的因子对数值进行累加,最后累计得出在每一年前 5 障碍度最高的因子范围内,累加障碍度最高的 5 个指标因子及其累加的障碍度(见图 5)。

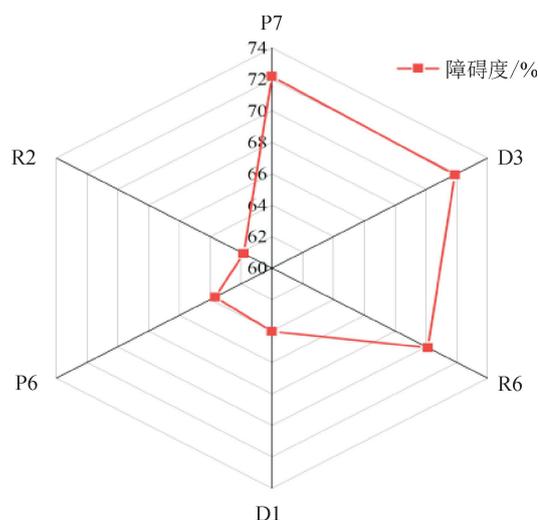


图 5 水环境评价指标总障碍度排序前五图
Fig. 5 Top five figures of the total obstacle degree of water environment assessment index

障碍度最高的 5 个指标分别为“污水排放总量”、“工业总产值”、“供水普及率”、“城镇化率”和“总磷”。由此可知宝鸡市水环境状态主要是由于经济发展而带动的工业用水的消耗、污染,农业化肥不合理施用,以及对于城镇化背景下水环境治理的响

应的,这几个主要部分影响的。如何减轻对水资源的污染,提升响应效率,展开清洁生产是提升宝鸡市水环境的主要方向。

4 讨论

本文选取的研究区的水环境评价结果,符合实际的情况,且与邵月花^[22]对渭河干流甘肃段的评价,主要的变化趋势接近,与文章中的结论,基本符合流域水环境中游不同地区整体变化趋势。研究区水环境评价可以对 DPSR 模型进行逐层分析,结果见下。

1) 驱动系统:结合权重较大的几个指标因子变化,宝鸡市的水环境的压力主要来源于经济发展与城市化对水资源、水环境造成的压力。一方面工农业生产,地区发展的需要,对水资源的需求开始提升,另一方面,城市化进程加大了对水资源的消耗。

2) 压力系统:压力系统的指标构成主要由地表水监测断面监测的水质指标构成,主要体现水体健康状况,结合原始数据及评价结果,压力系统评价结果不断上升,水质对水环境不利影响逐渐减少,各个监测断面的污染物浓度也不断降低,水环境治理与改善的效应有明显体现。

3) 状态系统:结合状态层指标因子数值变化,不难发现,宝鸡市水环境状态系统主要与降水量和水资源量呈现相关关系,也对应了因子的权重。2016年,宝鸡市降水量为 524.74 mm,是评价时间范围内的最低值,降水的缺失直接导致了水资源总量的减少,经济发展仍稳步上升,在水资源减少的情况下,使这一时期的水环境的状态系统在 2016年,达到最严重恶劣的情况,而之后降水的逐渐充沛,水资源总量得到含蓄,同时加大了对水利的投资建设,使状态层评价指数不断提升,在 2021年,达到最大值,水环境状态系统趋于理想。

4) 响应系统:主要体现了对于水环境变化的响应,而响应层的综合指数的水平整体低于 0.6,反映了对水环境的响应还十分欠缺,水厂与废水处理能力还停留一个较低的水平,在水环境压力小的情况下,尚可达到治理目标,在压力大的情况下,水处理质量和总量存在一定的矛盾。在经济稳步向强,城市、社会不断发展的背景下,提升响应系统的水平,是改善区域水环境变化人为因素的重要手段。

5 结论

1) 在 2012—2021年宝鸡市水环境呈现“V”型变化波动,评价的综合指数值处在 0.2~0.7 范围

内,主体处于预警阶段。2016年,处于中警阶段,综合评价值为 0.236 1,水环境处于评价时间范围内最低值,2021年评价值为 0.690 2,处于“较安全”阶段,是评价时间内水环境综合指数得分最高的年份。

2) 影响宝鸡水环境的 5 个主要的障碍因子,分别是污水排放总量、工业总产值、供水普及率、城镇化率和总磷。

3) 宝鸡市水环境提升可以针对 DPSR 模型各层系统及障碍因子入手,从各层系统角度,提升水环境需要追求经济高质量发展,含蓄水资源,提升污水治理水平与能力,加强开展地表水治理活动。从障碍因子角度,水环境提升改善需要控制污水排放,稳定工业生产,注意减排治污,完善用水基础设施,对化肥施用进行科学的宣讲,同时部分富营养化严重的水体,须进行工程措施进行治理。

参考文献:

- [1] 应凌霄,孔令桥,肖焱,等. 生态安全及其评价方法研究进展[J]. 生态学报,2022,42(5):1679-1692.
YING Lingxiao, KONG Lingqiao, XIAO Yi, et al. The research progress and prospect of ecological security and its assessing approaches [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022,42(5):1679-1692.
- [2] 大塚直,张震,李成玲. 日本环境法的理念、原则以及环境权[J]. 求是学刊,2017(2):1-11.
OTSUKA Tadashi, ZHANG Zhen, LI Chengling. The concepts and principles of environmental law and environmental right[J]. Seeking Truth, 2017(2):1-11.
- [3] WHEATER H S, GOBER P. Water security and the science agenda[J]. Water Resources Research, 2015, 51(7):5406-5424.
- [4] KATTEL G R. State of future water regimes in the world's river basins: balancing the water between society and nature[J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2019, 49(12):1107-1133.
- [5] SHEN Yuan, CAO Huiming, TANG Mingfang, et al. The human threat to river ecosystems at the watershed scale: an ecological security assessment of the Songhua River Basin, Northeast China [J]. Water, 2017, 9(3): 219.
- [6] VEETIL A V, MISHRA A. Water security assessment for the contiguous United States using water footprint concepts [J]. Geophysical Research Letters, 2020, 47(7): e2020GL087061.
- [7] ADRIAANSE A. Environmental policy performance indicators: a study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands [M]. 's-Gravenhage: Sdu, 1993.

- [8] 全川. 环境指标研究进展与分析[J]. 环境科学研究, 2000, 13(4): 53-55.
TONG Chuan. Review on environmental indicator research[J]. Research of Environmental Science, 2000, 13(4): 53-55.
- [9] 周超凡,王毅勇. 基于 DPSR 模型的宝鸡市生态环境安全评价及其障碍因子研究[J]. 环境科学与管理, 2023, 48(6):167-172.
ZHOU Chaofan, WANG Yiyong. Evaluation of ecological security environment in Baoji based on DPSR model and its influencing factors[J]. Environmental Science and Management, 2023, 48(6):167-173
- [10] 张向宁,王小军,齐广平,等. 基于 DPSR-信息敏感性的水安全评价指标体系构建——以庆阳市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(9):44-53.
ZHANG Xiangning, WANG Xiaojun, QI Guangping, et al. Construction of water security evaluating index system based on driving force-pressure-state-response model and information sensitivity[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(9):44-53.
- [11] 郭婵,易文利,郑浩浩. 基于 CCME WQI 模型对渭河宝鸡段水质的风险评价[J]. 河南科学, 2020, 38(9): 1488-1494.
GUO Chan, YI Wenli, ZHENG Haohao. Water quality characteristics and risk assessment in Baoji section of Weihe River[J]. Henan Science, 2020, 38(9): 1488-1494.
- [12] 靳美娟,刘引鸽. 渭河宝鸡段水质变化及分析[J]. 四川环境, 2015, 34(1):48-52.
JIN Meijuan, LIU Yingge. Analysis on water quality changes in Baoji Section of Weihe River[J]. Sichuan Environment, 2015, 34(1):48-52.
- [13] 闫建峰. 渭河宝鸡市区段蓄水工程对水环境的影响浅析[J]. 地下水, 2019, 44(4):219-220, 253.
- [14] 王琳娜. 宝鸡峡灌区水生态建设存在问题及对策[J]. 陕西水利, 2017(5):53-54.
- [15] 闻熠,肖涛,谈晟荟,等. 基于熵值-突变级数法上海市生态安全评价与对策研究[J]. 生态科学, 2022, 41(3): 124-132.
WEN Yi, XIAO Tao, TAN Shenghui, et al. Study on ecological security evaluation and countermeasure of Shanghai based on entropy and catastrophe progression method [J]. Ecological Sciences, 2022, 41(3): 124-132.
- [16] 张茵,王婷,游进军,等. 全国水-社会经济耦合协调时空演变及其障碍因子分析[J]. 水利水电技术(中英文):2023(1):64-74.
ZHANG Yin, WANG Ting, YOU Jinjun, et al. Analysis on spatio-temporal evolution of national water-socioeconomic coupling coordination and its obstacle factors[J]. Water Resources and Hydropower Technology, 2023(1): 64-74.
- [17] 王群. 关于流域水环境生态安全评价模型的探讨[J]. 水利科学与寒区工程, 2021, 4(2):175-177.
WANG Qun. Discussion on ecological security evaluation model of water environment in basin[J]. Hydro Science and Cold Zone Engineering, 2021, 4(2): 175-177.
- [18] 李若颀,辛存林,陈宁,等. 三生空间视角下大夏河流域水生态安全评价与预测[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(7):82-93.
LI Ruoyang, XIN Cunlin, CHEN Ning, et al. Evaluation and prediction of water ecological security in Daxia River Basin on the perspective of Production-Living-Ecological Space[J]. Water Resources and Hydropower Technology, 2022, 53(7):82-93.
- [19] 张丽,王腊春. 南京市水环境生态安全评价[J]. 中国农村水利水电, 2014(10):1-4.
ZHANG Li, WANG Laichun. An ecological security assessment of the water environment in Nanjing City [J]. China Rural Water and Hydropower, 2014(10):1-4.
- [20] 谢华晶,李克飞,李继清,等. 基于 DPSIR 模型的滇池流域水生态安全评价[J]. 环境保护科学, 2021, 47(6):94-99.
XIE Huajing, LI Kefei, LI Jiqing, et al. Water ecological security evaluation of Dianchi Lake Basin based on DPSIR model[J]. Environmental Protection Science, 2021, 47(6):94-99.
- [21] 左其亭,杨振龙,曹宏斌,等. 基于 SMI-P 方法的黄河流域水生态安全评价与分析[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2022, 50(3):10-19, F0002.
ZUO Qiting, YANG Zhenlong, CAO Hongbin, et al. Evaluation and analysis of water ecological security in Yellow River Basin based on SMI-P method [J]. Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition), 2022, 50(3):10-19, F0002.
- [22] 邵月花,杨调调,谈存峰. 基于 DPSIR 模型的渭河干流甘肃段生态安全评价[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 166-170.
SHAO Yuehua, YANG Diaodiao, TAN Cunfeng. Ecological security evaluation of Gansu section of Weihe River Based on DPSIR model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3):166-170.

(责任编辑 王绪迪)