

基于主成分分析法的黄河流域水环境评价

宣炳旭, 金建平, 杨玉洁, 赵永杰*

河北师范大学汇华学院, 河北 石家庄

收稿日期: 2023年5月6日; 录用日期: 2023年6月5日; 发布日期: 2023年6月30日

摘要

本研究的主要目的是找出黄河流域水污染时空状况变化。首先, 选择化学需氧量、氨氮、总氮、总磷、石油类排放量、废水治理设施处理能力作为评价指标, 综合2011~2021年的数据, 基于主成分分析法, 对黄河十一年水环境质量进行排名, 得到2021年是黄河流域水环境的最优年份。然后, 结合黄河流域断面监测站数据, 选取5个水质指标, 建立2021年黄河流域各断面监测站的水环境模型。最后, 利用各断面监测站的水环境模型, 得到影响各断面水质的主要污染物。通过对黄河流域污染的研究, 可以得出以下结论: 十年间, 黄河流域水环境稳中向好; 2021年, 磴口、砾口断面水环境较差。

关键词

主成分分析, 环境评价, 黄河流域

Water Environment Assessment of the Yellow River Basin Based on Principal Component Analysis

Bingxu Xuan, Jianping Jin, Yujie Yang, Yongjie Zhao*

Huihua College of Hebei Normal University, Shijiazhuang Hebei

Received: May 6th, 2023; accepted: Jun. 5th, 2023; published: Jun. 30th, 2023

Abstract

The main objective of this study is to find out the changes of spatial and temporal conditions of water pollution in the Yellow River basin. Firstly, the total chemical oxygen demand, total ammonia nitrogen,

作者简介: 宣炳旭(2001-), 男, 河北廊坊人, 河北师范大学汇华学院本科在读, 研究方向为水资源污染, Email: 2774881132@qq.com

*通讯作者 Email: 270081358@qq.com

文章引用: 宣炳旭, 金建平, 杨玉洁, 赵永杰. 基于主成分分析法的黄河流域水环境评价[J]. 水资源研究, 2023, 12(3): 256-266.

DOI: 10.12677/jwrr.2023.123029

total nitrogen, total phosphorus, petroleum discharge, and treatment capacity of wastewater treatment facilities were selected as evaluation indexes. Data from 2011~2021 were integrated and ranked based on principal component analysis to obtain the decadal water environment quality of the Yellow River basin, and water environment in 2021 is the best. Secondly, five water quality indicators were selected combining the data from the Yellow River basin cross-sectional monitoring stations, and the water environment model of each cross-sectional monitoring station in the Yellow River basin in 2021 was established. Finally, the main pollutants affecting the water quality of each section were obtained using the water environment model of each section monitoring station. Through the study of pollution in the Yellow River basin, we can draw the following conclusions: the water environment in the Yellow River basin is steadily improving during the decade, while the water environment at Dengkou and Luokou cross-sections is poor in 2021.

Keywords

Principal Component Analysis, Environmental Assessment, Yellow River Basin

Copyright © 2023 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

黄河流经七个省份、两个自治区。由于人类活动的影响,黄河的污染情况也越来越严重。上世纪 80 年代以来,黄河的污染程度越发严重,水质明显下降,甚至出现了断流现象。经过多年治理,黄河水质得到了明显改善。但黄河流域的污染治理仍是一个综合性工程[1]。2000 年以来,经过多年治理,黄河水质得到了明显改善。但黄河流域地理空间跨度大,河流内部物理生物以及化学影响因素变化很大,不同区域有不同的理化性质。流域内部每年向水中排放大量有机物质,为水生生物提供丰富的营养。然而,这也导致部分地区的水体出现营养富集,从而造成污染。

目前,我国常用评测方法有综合指数法、模糊综合评价法、污染指数法、因子分析法、灰色关联分析法等[2]。由于黄河流域面积较广,影响因素较为复杂,使用上述方法对评价河流主要污染物时局限性较大。而主成分分析法是一种常用的多变量分析方法,克服了传统做法的缺点,并根据实验数据确定每个输出的权重分数,能够处理高维数据,可以用于降维、特征提取、数据可视化等方面。主成分分析法(PCA)通过将原始数据转化为一组线性不相关的变量,可以更全面地分析问题[3]。

邢静等(2013) [4]选取了黄河流域 9 个国控断面,对黄河水质进行了分析,得出河津大桥、潼关吊桥、海勃湾断面污染较严重,刘潇等(2015) [5]对黄河河口水质进行主成分分析,得出时间上 2013 年 10 月、6 月、7 月水质污染逐渐降低,空间上呈现出以黄河入海口为中心,向邻近海域递减的分布状况,主要污染物为黄河径流污染物。吕欣格等(2016) [6]利用主成分分析法对黄河呼和浩特段进行分析,结论为生化需氧量、氨氮、总磷为影响水质的主成分因子,头道拐断面为污染最严重的区域。李国华等(2018) [7]在黄河托克托段水质研究中发现,托克托段主要污染物为 TN, TP, COD。刘彦龙、郑易安(2021) [8]对黄河干流水质和时空变化进行评价,使用多种方法,找到黄河主要污染物及其空间分布情况,并结合时间维度对黄河进行分析。

本文通过主成分分析法对近 10 年黄河流域污染排放情况评分,得出环境质量最好的一个年份,参考邢静、刘潇、吕欣格等人的前期研究,选取黄河流域 8 个国控断面水质监测数据对该年进行分析,找到影响黄河流域水环境的指标和污染物分布规律,为保护和改善黄河流域水环境质量提供指导。

2. 区域概况

黄河，是中国的第二长河，全长约 5464 km，发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓的约古宗列盆地，最后在山东省东营市流入渤海，流域面积约 752,443 km²。黄河流域经青藏高原区、黄土高原区、海岸平原区。黄河是中国重要的水资源和水环境的发源地之一。由于人类活动和自然因素的影响，黄河流域的水环境面临着许多挑战和问题。据统计，黄河流域每年排放的工业废水、城市污水和农业面源污染等总量约为 1600 万 t。其中，工业废水排放量占比较大，主要来自于化工、电力、纺织等行业。此外，黄河流域还存在着土地沙漠化、水资源过度开发等问题，这些问题都对黄河流域的水环境造成了一定的影响。

3. 研究方法

3.1. 主成分分析法

主成分分析是将原始变量按照一定的方法转化为少数几个综合变量的过程。通常情况下，这些综合变量具有较高的相关性，可以更好地代表原始变量的信息[9]。主成分分析可以表示为以下公式：

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k) = \frac{\sum_{i=1}^k x_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i} \quad (1)$$

式中： $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ 是原始变量， $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$ 是对应主成分函数， \bar{x}_i 是原始变量在第 i 个主成分下的取值， $\sum_{i=1}^k \bar{x}_i$ 是第 i 个主成分的权重。

主成分分析法中，通常使用方差贡献率来计算主成分得分。其计算公式为：

$$PC_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_i (Y_{ij} - \bar{Y}_{ij})}{n} \quad (2)$$

式中： PC_j 表示第 j 个主成分的得分， n 是数据矩阵的维度， Y_{ij} 是第 i 个变量在第 j 个时间点的取值， \bar{Y}_{ij} 是对应的观测值的均值。

3.2. Z-Score 标准化

Z-Score 标准化是数据处理的一种常用方法，通过它能够不同量级的数据转化为统一量度的 Z-Score 分值进行比较。

$$x_{z-score} = \frac{x_a - \bar{x}_a}{\sigma_a} \quad (3)$$

式中： $x_{z-score}$ 为标准分数， x_a 为原始数据， \bar{x}_a 为原始数据的平均值， σ_a 为原始数据的标准差。

4. 黄河流域十年间环境得分评价

4.1. 指标选取

根据国家统计局和生态环境部共同发布的《环境统计年鉴》中关于水环境的部分[10]，选取化学需氧量排放总量(吨)、氨氮排放总量(吨)、总氮排放量(吨)、总磷排放量(吨)、石油类排放量(吨)、废水治理设施处理能力(万吨/日)作为评价指标，其中废水治理设施处理能力(万吨/日)为逆指标，将其预处理为正指标后进行计算。

4.2. 黄河流域十年间环境得分评价

选取 2011~2021 年的数据进行分析。由于 2020 年黄河部分断面监测站维修升级，数据缺失，故去除 2020 年的数据后，对其余数据进行标准化，原始数据见表 1，标准化后数据见表 2。表 2 中，标准化后的化学需氧量

排放总量为 x_1 ，氨氮排放总量为 x_2 ，总氮排放量为 x_3 ，总磷排放量为 x_4 ，石油类排放量为 x_5 ，废水治理设施处理能力为 x_6 (表 2)。

Table 1. Main pollutant index data of the Yellow River basin during the past ten years

表 1. 黄河流域十年间主要污染物指标数据

年份	化学需氧量(万吨)	氨氮(万吨)	总氮(万吨)	总磷(万吨)	石油类排放(万吨)	废水治理设施处理能力(万吨)
2011	7,421,143	716,981	1,644,603	186,800	6496	2,378,340
2012	7,201,543	698,815	1,721,375	177,150	6158	2,340,745
2013	6,980,128	674,794	1,684,615	176,475	5790	2,237,450
2014	6,807,337	654,604	1,697,314	191,593	5716	2,229,420
2015	6,642,006	633,991	1,801,823	210,342	5562	2,104,590
2016	1,554,970	138,042	328,153	19,847	2332	2060461.5
2017	1,412,047	124,589	312,951	15,456	1381	1,994,579
2018	1,351,209	119,743	312,826	13,737	1361	1928696.5
2019	7,003,922	250,531	791,629	71,078	784	1796931.5
2021	1,292,684	112,704	308,678	12,149	1015	1,862,814

Table 2. The standardized data of major pollutants over the past ten years in the Yellow River Basin

表 2. 黄河流域十年间主要污染物指标标准化数据

年份	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
2011	0.91428	1.08322	0.83418	0.90669	1.15613	-0.58111
2012	0.83864	1.0186	0.9438	0.7964	1.01836	-0.53428
2013	0.76238	0.93315	0.89131	0.78869	0.86837	-0.86699
2014	0.70286	0.86132	0.90944	0.96146	0.83821	-0.45486
2015	0.64592	0.788	1.05867	1.17573	0.77544	-0.65633
2016	-1.10623	-0.97627	-1.04556	-1.00129	-0.54107	-0.41663
2017	-1.15546	-1.02413	-1.06727	-1.05147	-0.92869	-0.14125
2018	-1.17641	-1.04137	-1.06744	-1.07112	-0.93684	0.28071
2019	-1.77058	-0.57611	-0.38377	-0.41581	-1.17202	2.40448
2021	-1.19657	-1.06641	-1.07337	-1.08927	-1.07787	0.96625

对上述数据进行 KMO 检验，KMO 值(Kolmogorov-Maruyama Normalized Variance)是一个统计量，用于衡量数据集的独立性。它表示数据集中每个观测值与总变量之间的方差是否相等，KMO 值为 0.726 > 0.6，说明指标选取合理。巴特利特球形度方面，近似卡方得分为 117.246，显著性水平 P 为 0.001 < 0.05。因此，所选取的数据比较适合采用主成分分析法进行研究。

将上述数据进行相关性分析(图 1)，采用皮尔逊积差相关分析方法评估采样点水质参数之间的相关性。相关系数值非常接近于 0 表示变量之间没有线性关系，如果该值接近于-1 和 1，则表示 PCA 的两个变量之间存在很强的负相关和正相关关系[11]。通过对图 1 相关性矩阵进行求解特征值，得出主成分贡献率及累计贡献率(表 3)。

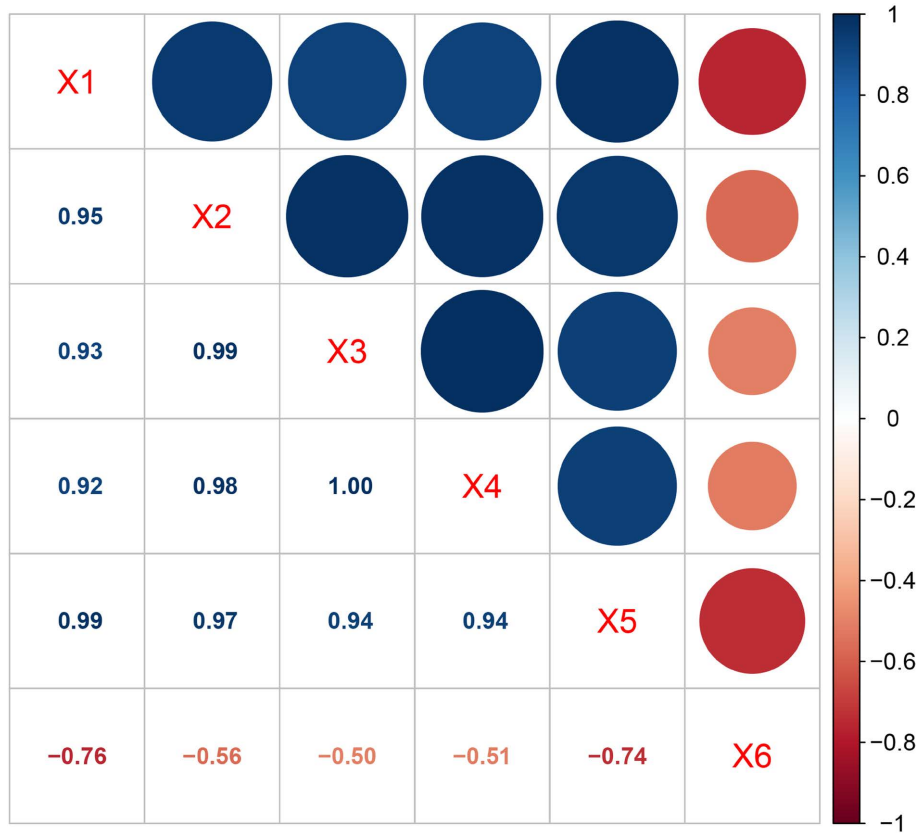


Figure 1. Correlation matrix of major pollutant indicators

图 1. 主要污染物指标相关性矩阵

Table 3. The eigenvalues and contribution rates of the pollution index matrix characteristics in the Yellow River

表 3. 黄河污染物指标矩阵特征值与主成分贡献率

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	贡献率%	累积%	总计	贡献率%	累积 %
1	5.286	88.096	88.096	5.286	88.096	88.096
2	0.667	11.113	99.210			
3	0.031	0.524	99.734			
4	0.010	0.171	99.905			
5	0.005	0.077	99.983			
6	0.001	0.017	100.000			

根据提取主成分的要求(特征值 > 1, 累计贡献率 > 80%), 第一个分量的贡献率为 88.096%, 累计提取一个主成分, 即主成分 1, 其累计贡献率为 88.096%, 初始特征值为 5.286。主成分 1 可以提供主要污染物中的绝大部分信息。

将上述数据进行线性方程构建后, 得到黄河流域水环境评价方程:

$$F = 0.4302x_1 + 0.4268x_2 + 0.4198x_3 + 0.4198x_4 + 0.4321x_5 - 0.3060x_6 \quad (4)$$

根据上述线性方程, 将 10 年黄河流域污染物指标数据带入方程计算, 由此可对 10 年污染情况进行量化排

名。其中，得分越低，代表该年份污染越轻微(表 4)。

Table 4. Ranking of pollution in the Yellow River basin

表 4. 黄河流域污染情况排名

年份	综合得分(<i>F</i>)	排名	年份	综合得分(<i>F</i>)	排名
2011	2.263842	1	2016	-1.85815	6
2012	2.12958	2	2017	-2.18169	7
2015	2.088099	3	2018	-2.33902	8
2013	2.07203	4	2019	-2.58545	9
2014	1.956763	5	2021	-2.6392	10

结果显示，十年中，黄河流域水环境总体趋势变好，污染程度逐年降低。2011~2014 年间，污染物得分稳中有降，但总体改善较慢，2014~2015 年间，污染情况得到较大改善。2016~2021 年，环境改善速度明显加快。2021 年，黄河综合得分-2.6392，为十年最低值。黄河经过多年的治理，环境最终得到了明显改善。

5. 黄河流域 2021 年水质污染空间分布评价

5.1. 2021 年污染物空间分布情况

虽然 2021 年黄河流域水环境是近十年最低值，但部分地区水质问题仍不容乐观。根据《环境统计年鉴》和国家地表水水质自动监测实时数据发布系统，选取黄河流域具有代表性的 8 个断面监测站(什川桥、中卫下河沿、海勃湾、磴口、万家寨水库、风陵渡大桥、小浪底水库(小浪底)、涑口)，以《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)为标准，确定主要污染物指标为 pH、高锰酸盐、溶解氧、氨氮、浊度。数据选择 2021 年 4~11 月断面监测数据进行分析。表 5 展示了 4~10 月断面监测站主要污染物平均值。

Table 5. The average values of major pollutants at the cross-section monitoring stations from April to October

表 5. 4~10 月断面监测站主要污染物平均值

断面	pH	高锰酸盐(mg/L)	氨氮(mg/L)	溶解氧(mg/L)	浊度(mg/L)
什川桥	7.613805	1.748621	0.205466	7.633841	210.1434
中卫下河沿	7.911845	2.450171	0.269587	8.425651	237.0031
海勃湾	7.956609	2.044661	0.198869	8.310427	60.04444
磴口	8.096393	3.64957	0.046788	8.398193	746.8981
万家寨水库	8.194109	1.971282	0.204919	8.367145	17.86808
风陵渡大桥	8.001917	3.656262	0.321866	6.806277	534.3458
小浪底水库	7.930298	1.9485	0.178332	7.962214	15.34398
涑口	8.424093	2.779926	0.218625	7.328015	673.7566

总体分析，除磴口断面外，其他断面污染物指标均在正常的范围内。磴口断面的高锰酸盐、溶解氧和浊度数值较高，可能是由于断面位于黄土高原区，水裹挟着大量泥沙进入黄河干流导致。涑口断面的浊度较高，是由于小浪底水库调沙工程的开展，导致下游水体含沙量增加(图 2)。

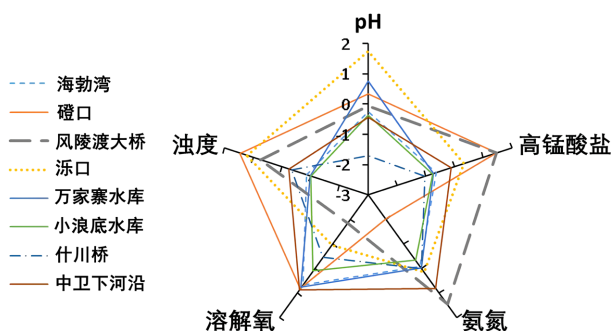


Figure 2. Regional standardized values for major pollutant indicators
图 2. 主要污染物指标的区域标准化值

5.2. 2021 年各断面主要污染物分析

1) 磴口断面：磴口断面位于内蒙古巴彦淖尔市。将磴口断面监测数据通过 Z-Score 标准化后，进行主成分分析。其中，溶解氧指标为逆指标，将其预处理为正指标后进行计算。标准化结果见表 6。根据表 6 中的数据得出 KMO 值为 0.675，显著性为 $0.001 < 0.05$ 。将上述数据进行相关性分析，结果见图 3。求解图 3 的特征值，得出表 6 的特征值与主成分贡献率，相关结果见表 7。

根据提取主成分的要求(累计贡献率 $\geq 80\%$ ，特征值 > 1)，累计提取两个主成分，即主成分 1 与主成分 2，其累计贡献率达到 96.019%。主成分 1 和主成分 2 共同提供主要污染物中的绝大部分信息。

Table 6. Standardized data on major pollutants in Dengkou section

表 6. 磴口断面主要污染物标准化数据

磴口	pH	高锰酸盐	氨氮	溶解氧	浊度
4 月	-1.59932	-2.26542	-2.16090	2.22232	2.26779
5 月	-0.65888	0.34519	-0.05141	-0.58356	-0.37808
6 月	-0.26265	0.36353	0.21654	-0.30364	-0.37802
7 月	0.04006	0.32733	0.22302	-0.25760	-0.37793
8 月	0.19029	0.36226	0.28928	-0.20572	-0.37790
9 月	0.77240	0.39995	0.58810	-0.17147	-0.37791
10 月	1.51810	0.46715	0.89537	-0.70034	-0.37795
11 月	1.43114	2.01208	-1.86410	-1.69207	0.03954

Table 7. Dengkou section characteristic values and principal component contribution rate

表 7. 磴口断面特征值与主成分贡献率

成分	初始特征值 总计	提取载荷平方和		
		方差百分比	累积%	总计
1	3.251	65.018	65.018	3.251
2	1.550	31.001	96.019	1.550
3	0.096	1.913	97.933	
4	0.062	1.248	99.181	
5	0.041	0.819	100.000	

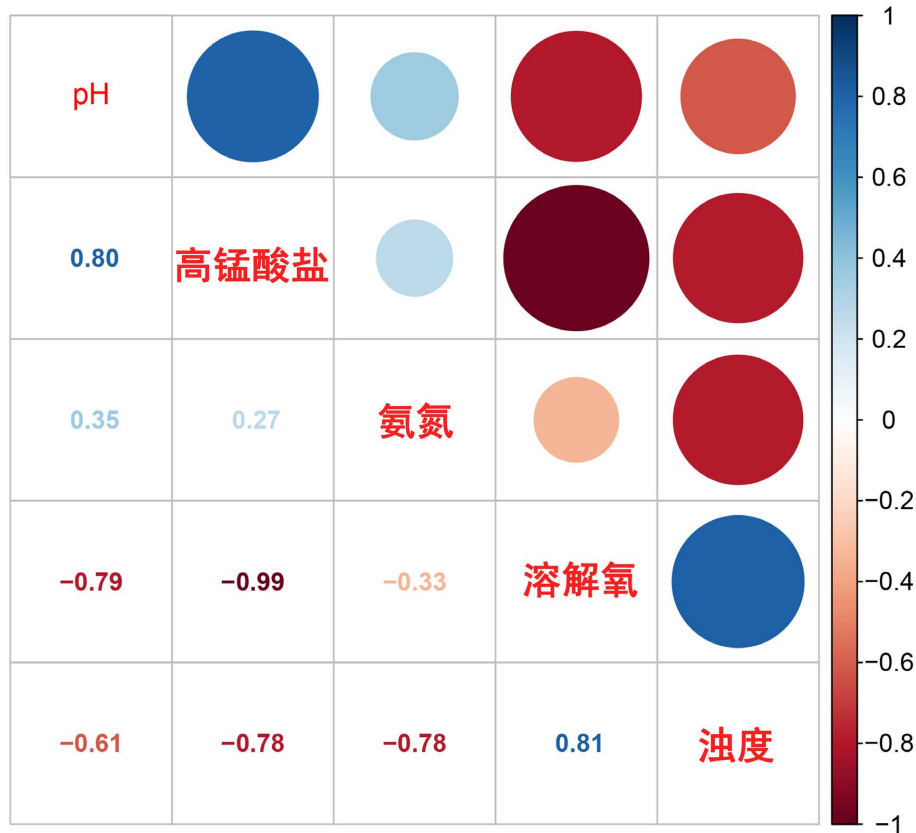


Figure 3. Correlation coefficient of standardized indicators for major pollutants in Dengkou section
图 3. 磴口断面主要污染物标准化指标相关性

将上述信息进行线性方程构建，可得到主成分 1 与主成分 2 的表达方程 F_1 与 F_2

$$F_1 = 0.5085x_1 + 0.4974x_2 - 0.5389x_3 - 0.4501x_4 + 0.0324x_5 \quad (5)$$

$$F_2 = 0.2519x_1 + 0.3127x_2 + 0.1901x_3 + 0.4423x_4 - 0.7945x_5 \quad (6)$$

将 F_1 与 F_2 依照方差百分比进行综合，可得出磴口断面 2021 年的水质综合评价方程。

$$F_{\text{磴口}} = 0.4086x_1 + 0.4202x_2 - 0.3165x_3 - 0.1554x_4 - 0.2252x_5 \quad (7)$$

2) 什川桥断面：什川桥断面计算方式同磴口断面相同，其 KMO 值为 0.728，显著性为 0.000。主成分 1 的贡献率为 92.109%，提取一个主成分进行分析。什川桥断面线性表达式为：

$$F_{\text{什川桥}} = -0.4612x_1 + 0.4628x_2 + 0.4296x_3 + 0.4320x_4 + 0.4494x_5 \quad (8)$$

3) 中卫下河沿断面：提取三个主成分进行分析。中卫下河沿断面线性表达式为：

$$F_{\text{中卫下河沿}} = 0.3792x_1 - 0.1597x_2 + 0.4202x_3 + 0.2926x_4 - 0.0982x_5 \quad (9)$$

4) 海勃湾断面：提取两个主成分进行分析。中卫下河沿断面线性表达式为：

$$F_{\text{海勃湾断面}} = 0.4155x_1 + 0.0899x_2 + 0.3035x_3 - 0.2563x_4 + 0.3537x_5 \quad (10)$$

5) 万家寨水库断面：提取两个主成分进行分析。万家寨水库断面线性表达式为：

$$F_{\text{万家寨水库}} = 0.3953x_1 + 0.0354x_2 + 0.4101x_3 - 0.3493x_4 + 0.1538x_5 \quad (11)$$

6) 风陵渡大桥断面：提取两个主成分进行分析。风陵渡大桥断面线性表达式为：

$$F_{\text{风陵渡大桥}} = 0.3305x_1 + 0.4554x_2 + 0.4537x_3 - 0.4895x_4 + 0.4877x_5 \tag{12}$$

7) 小浪底水库(小浪底): 提取两个主成分进行分析。小浪底水库断面线性表达式为:

$$F_{\text{浪底水库(小浪底)}} = 0.3906x_1 - 0.0742x_2 + 0.3859x_3 - 0.2118x_4 + 0.3813x_5 \tag{13}$$

8) 冻口: 提取一个主成分进行分析。冻口断面线性表达式为:

$$F_{\text{冻口}} = 0.4363x_1 + 0.4468x_2 + 0.4628x_3 + 0.4284x_4 + 0.4606x_5 \tag{14}$$

6. 讨论

黄河流域十年间水污染分析表明, 2011~2021 年, 黄河流域在 2011 年、2012 年环境最差, 而 2013、2014 年环境有小幅波动, 但总体环境稳中向好, 表明黄河流域的综合治理能力在不断增强, 治理力度不断提高。污染指标在 2021 年达到最低值。通过对 2021 年 4~11 月水环境的分析得出, 2021 年, 什川桥断面、磴口断面、风陵渡大桥断面的高锰酸盐较高, 需要引起注意。中卫下河沿断面、万家寨水库断面、风陵渡大桥断面的氨氮含量需要进一步优化治理; 小浪底水库断面和冻口断面需要重点关注浊度指标。

高锰酸盐指数是反映水体污染程度的一个重要指标。一般来说, 高锰酸盐指数越高, 水中有机物含量越高, 水质越差。此外, 有研究指出, 高锰酸盐指数与水中有机物、氨氮、总磷等指标的关系密切, 可以用于这些指标的综合评价。磴口断面位于河套平原地区地属大范围引黄灌溉地区, 所以该地区的高锰酸盐指数较高很有可能是因为灌溉后退水使得土壤中大量有机质流入河中导致的。虽然该地区的高锰酸盐指数较高, 但是与近几年相比较而言, 水中的高锰酸盐指数已经有了较大改观, 特别是磴口地区, 仅 2020 年磴口县就通过与高校合作, 开展增加肥效、降低水消耗、控制地膜使用、减少农药使用, 大力推动农业绿色高质量发展[12], 特别是在控肥方面, 磴口县大量推进新型有机肥料的使用, 减少了传统化肥用量, 促进绿色农业[13]。

什川桥断面和风铃大渡桥断面上游地区紧邻城市地区, 很可能是因为城市中的废水排入河流导致该河段的高锰酸盐指数升高, 风陵渡大桥紧邻兰州市中心, 受兰州市污水排放的影响较大, 其中, 工业污水虽然数量巨大, 但经过污水处理厂处理的数量也同样很大, 所以真正排放的污水数量并不多, 而农业因为占地面积小, 所以排放量同样不多, 生活污水是排放的主题, 特别是在氨氮、总氮、和总磷方面都占比较大。下表 8 为 2020 年兰州市总污水排放对比:

Table 8. Comparison of total sewage discharge in Lanzhou City [14]

表 8. 兰州市总污水排放对比[14]

	化学需氧量(万吨)	氨氮(万吨)	总氮(万吨)	总磷(万吨)
农业	1.75	0.016	0.09	0.02
工业	0.313	0.01	0.07	0.0029
生活源	1.14	981.43	0.32	119.82

风陵大渡桥断面位于渭河与黄河交汇处, 该地区基本情况与什川桥相似, 在都是紧邻市区地区, 受城市污水影响较大, 特别是受西安地区影响, 污水通过渭河流入黄河, 所以高锰酸盐指数较高。

小浪底水库断面地区浊度的贡献率较高, 但实际数值却很小, 是因为在计算的过程中小浪底地区的其他数值, 相较于其他地区更低, 所以使得计算结果中的浊度指标较为突出。同样, 风陵渡大桥断面和磴口断面浊度十分高, 但是其他数值相较于其他地区更大, 所以使得其贡献率并不明显。磴口断面的浊度较高很可能是因为当地的引黄灌溉之后退水, 使得大量的泥沙进入河流。

冻口断面浊度较高很可能与小浪底水库放水冲沙有关, 黄河小浪底 2021 年 6 月 19 日开始放水冲沙, 历时 20 天[15], 在放水冲沙过程当中, 该地区河水的浊度明显提升, 并且在结束冲砂后又明显回落[16], 与冻口的数

据基本一致。

7. 结论

本文主要通过主成分分析(PCA)研究黄河流域的水资源质量状况。通过构建黄河流域水环境评价指标,得出黄河流域环境质量排名。结果显示,2011~2021年,黄河流域在2011年、2012年环境最差,而2013、2014年环境有小幅波动,但总体环境稳中向好,污染指标在2021年达到最低值。2021年,什川桥断面、磴口断面、风陵渡大桥断面的高锰酸盐较高,需要引起注意;中卫下河沿断面、万家寨水库断面、风陵渡大桥断面的氨氮含量需要进一步优化治理;砾口断面需要重点关注浊度指标。

参考文献

- [1] 王志敏. 黄河水质污染现状及评价[J]. 人民黄河, 1980(5): 63-67.
WANG Zhimin. Status and evaluation of water pollution in the Yellow River. *Yellow River*, 1980(5): 63-67. (in Chinese)
- [2] 郭新强. 基于主成分分析法的福建某滨海场地地下水水质评价[J]. 地下水, 2022, 44(6): 17-19.
GUO Xinqiang. Assessment of quality of groundwater in a coastal area of Fujian Province based on principle component analysis. *Groundwater*, 2022, 44(6): 17-19. (in Chinese)
- [3] AYDIN, H., USTAOGU, F., TEPE, Y. and SOYLU, E. N. Assessment of water quality of streams in northeast Turkey by water quality index and multiple statistical methods. *Environmental Forensics*, 2020, 22: 270-287.
<https://doi.org/10.1080/15275922.2020.1836074>
- [4] 邢静, 张越, 陈彦磊, 徐波, 蒋浩, 李睿. 基于主成分分析法的黄河流域国控断面水质评价[J]. 节水灌溉, 2013(10): 31-34.
XING Jing, ZHANG Yue, CHEN Yanlei, XU Bo, JIANG Hao and LI Rui. Water quality assessment of state-controlled section in the Yellow River Basin based on principle component analysis. *Water Saving Irrigation*, 2013(10): 31-34. (in Chinese)
- [5] 刘潇, 薛莹, 纪毓鹏, 徐宾锋, 任一平. 基于主成分分析法的黄河口及其邻近水域水质评价[J]. 中国环境科学, 2015, 35(10): 3187-3192.
LIU Xiao, XUE Ying, JI Yupeng, XU Binduo and REN Yiping. Water quality assessment of the Yellow River estuary and its adjacent waters based on principle component analysis. *China Environmental Science*, 2015, 35(10): 3187-3192. (in Chinese)
- [6] 吕欣格, 田剑南, 王超, 张琨. 基于主成分分析法的黄河呼和浩特段水环境质量评价[J]. 环境与发展, 2016, 28(5): 15-20+35.
LV Xinge, TIAN Jiannan, WANG Chao and ZHANG Kun. Water environment quality assessment of the Hohhot Section of the Yellow River based on principal component analysis. *Environment and Development*, 2016, 28(5): 15-20+35. (in Chinese)
- [7] 李国华, 李畅游, 史小红, 赵胜男, 全栋. 基于主成分分析及水质标识指数法的黄河托克托段水质评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 310-314+321. <https://doi.org/10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.047>
LI Guohua, LI Changyou, SHI Xiaohong, ZHAO Shengnan and QUAN Dong. Water quality evaluation of the Tuoketuo section of the Yellow River based on principal component analysis and water quality identification index method. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018, 38(6): 310-314+321. <https://doi.org/10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.047> (in Chinese)
- [8] 刘彦龙, 郑易安. 黄河干流水质评价与时空变化分析[J]. 环境科学, 2022, 43(3): 1332-1345.
LIU Yanlong, ZHENG Yian. Water quality evaluation and spatio-temporal variation analysis of the main stream of the Yellow River. *Environmental Science*, 2022, 43(3): 1332-1345. (in Chinese)
- [9] MAHLKNECHT, J., STEINICH, B. and DE LEÓN, I. N. Groundwater chemistry and mass transfers in the independence aquifer, central Mexico, by using multivariate statistics and mass-balance models. *Environmental Geology*, 2004, 45: 781-795.
<https://doi.org/10.1007/s00254-003-0938-3>
- [10] 胡汉舟, 孙守亮. 中国环境统计年鉴 2021 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2021: 4-5.
HU Hanzhou, SUN Shouliang. *China statistical yearbook on environment in 2021*. Beijing: China Statistics Press, 2021: 4-5. (in Chinese)
- [11] KUMAR, M., RAMANATHAN, A., RAO, M. S. and KUMAR, B. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the ground-water environment of Delhi, India. *Environmental Geology*, 2006, 50: 1025-1039.
<https://doi.org/10.1007/s00254-006-0275-4>
- [12] 巴彦淖尔农牧. “四控”行动推动磴口县农业绿色高效发展[EB/OL].
https://www.sohu.com/a/406004605_765815, 2020-07-06.
Bayannur Agriculture and Animal Husbandry. The “four control” action promotes the green and efficient development of agriculture in Dengkou County. https://www.sohu.com/a/406004605_765815, 2020-07-06. (in Chinese)

- [13] 王紫丁. 坚持改革创新发挥农垦优势引领示范河套灌区现代农业发展[N]. 巴彦淖尔日报(汉), 2020-06-18(001).
WANG Ziding. Adhere to reform and innovation, leverage the advantages of agricultural reclamation, lead the development of modern agriculture in demonstration Hetao Irrigation District. Bayannur Daily (Han), 2020-06-18(001). (in Chinese)
- [14] 市生态环境局规划科. 关于发布《兰州市第二次全国污染源普查公报》的公告[EB/OL].
http://sthjj.lanzhou.gov.cn/art/2020/12/30/art_6035_959969.html, 2022-10-12.
Planning Department of the Municipal Ecological Environment Bureau. Announcement on the announcement of the second national pollution source census in Lanzhou City.
http://sthjj.lanzhou.gov.cn/art/2020/12/30/art_6035_959969.html, 2022-10-12. (in Chinese)
- [15] 崔珍妮. 2021年汛前黄河调水调沙开始[EB/OL].
https://m.gmw.cn/2021-06/19/content_1302367265.htm, 2021-06-19.
CUI Zhenni. Starting of Yellow River water and sediment diversion before 2021 flood.
https://m.gmw.cn/2021-06/19/content_1302367265.htm, 2021-06-19. (in Chinese)
- [16] 侯传莹, 易雨君, 宋劫, 杨雨风. 小浪底水库水沙调控对下游河道水质的影响[J]. 人民黄河, 2019, 41(8): 32-37.
HOU Chuanying, YI Yujun, SONG Jie and YANG Yufeng. The impact of water and sediment regulation in Xiaolangdi Reservoir on downstream river water quality. Yellow River, 2019, 41(8): 32-37. (in Chinese)