

doi: 10.12029/gc20220810001

田福金, 马青山, 张明, 唐志敏. 2023. 基于主成分分析和熵权法的新安江流域水质评价[J]. 中国地质, 50(2): 495–505.

Tian Fujin, Ma Qingshan, Zhang Ming, Tang Zhimin. 2023. Evaluation of water quality in Xin'anjiang River Basin based on principal component analysis and entropy weight method[J]. Geology in China, 50(2): 495–505(in Chinese with English abstract).

## 基于主成分分析和熵权法的新安江流域水质评价

田福金, 马青山, 张明, 唐志敏

(中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏南京 210016)

**摘要:**【研究目的】新安江流域是华东地区重要的生态安全屏障,其治理具有长期性、艰巨性、复杂性和反复性。科学评价流域水环境质量状况,识别重点污染区域和主要污染因子,可为流域生态环境整治提供重要依据。【研究方法】以新安江流域 88 个监测点水质数据为基础,采用主成分分析法对水质评价指标体系进行优化,再运用熵权法计算各指标权重及各个监测点的水质综合指数,并结合 GIS 空间分析功能绘制了水质综合指数图。【研究结果】88 个监测点的水质综合指数范围为 0.02~1.313,流域地表水环境质量总体较好,以Ⅲ类水为主,且浙江段水质好于安徽段。重点污染区域分布在休宁—歙县—徽州区一带,形成了潜口镇、岩寺镇—三村镇两个污染中心。TN、TP 和 NH<sub>3</sub>-N 为流域主要污染指标,其中 TN 为全局型污染物,TP 和 NH<sub>3</sub>-N 为区域型污染物。【结论】主成分分析和熵权法结合的水质评价模型避免了评价指标的重复性以及权重赋值的主观性,能够有效评估复杂的水环境指标体系,具有较好的可行性和实用性。

**关键词:**水质评价;主成分分析;熵权法;污染因子;水文地质调查工程;新安江流域;安徽省;浙江省

**创 新 点:**主成分分析和熵权法相结合的水质评价模型,实现了评价指标体系的简化,减少了权重赋值的主观影响,有效识别了重点污染区域和污染因子,评价结果更加符合实际。

中图分类号: X824 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2023)02-0495-11

## Evaluation of water quality in Xin'anjiang River Basin based on principal component analysis and entropy weight method

TIAN Fujin, MA Qingshan, ZHANG Ming, TANG Zhimin

(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

**Abstract:** This paper is the result of hydrogeological survey engineering.

**[Objective]** The Xin'anjiang River Basin is an important ecological security barrier in East China, and its governance is long-term, arduous, complex, and repetitive. Scientifically evaluating the water environment quality of the basin and identifying the key polluted areas and major pollution factors could provide an important basis for promoting the improvement of the ecological

收稿日期: 2022-08-10; 改回日期: 2022-10-18

基金项目: 中国地质调查项目(DD20230103、DD20211390)。

作者简介: 田福金, 男, 1981 年生, 高级工程师, 主要从事水文地质与城市地质调查研究工作; E-mail: tfj250207@163.com。

通讯作者: 马青山, 男, 1988 年生, 博士, 副研究员, 主要从事水文地质调查研究工作; E-mail: ssqm2007@163.com。

environment of the river basin. **[Methods]** Based on the water quality data of 88 monitoring points of Xin'anjiang River basin, the principal component analysis method was used to optimize the evaluation index system of water quality, and then the entropy weight method was adopted to calculate the weight of each index and the comprehensive water quality index of each monitoring point. Moreover, the comprehensive index map of water quality was drawn by the spatial analysis function of GIS. **[Results]** The results show that the comprehensive index of 88 monitoring points ranged from 0.02–1.313, and the environmental quality of surface water in the basin was generally good, mainly for class III. The water quality of Zhejiang section was better than that of the Anhui section. The key pollution area was distributed in the Xiuning–Shexian–Huizhou district, forming two pollution centers in Qiankou Town, Yansi Town–Sancun Town. Moreover, TN, TP and  $\text{NH}_3\text{-N}$  were the main pollution indicators of the basin, where TN was a global pollutant, TP and  $\text{NH}_3\text{-N}$  were regional pollutants. **[Conclusions]** The water quality evaluation model composed of principal component analysis and entropy weighting method avoids the repeated selection and the subjectivity of weight assignment for evaluation index, which could efficiently evaluate the complex index system of water environment and better reflect the actual spatial distribution of water quality. It is feasible and practical in water quality evaluation.

**Key words:** water quality evaluation; principal component analysis; entropy weight method; pollution factors; hydrogeological survey engineering; Xin'anjiang River Basin; Anhui Province; Zhejiang Province

**Highlights:** The water quality evaluation model composed of principal component analysis and entropy weighting method could simplify the evaluation indexes, and effectively identifies the key pollution areas and pollution factors. The evaluation results are more realistic.

**About the first author:** TIAN Fujin, male, born in 1981, senior engineer, mainly engaged in the investigation and research of hydrogeology and urban geology; E-mail: tfj250207@163.com.

**About the corresponding author:** MA Qingshan, male, born in 1988, doctor, associate researcher, mainly engaged in the investigation and research of hydrogeology; E-mail: ssqm2007@163.com.

**Fund support:** Supported by the projects of China Geological Survey (No.DD20230103, No.DD20211390).

## 1 引 言

新安江为钱塘江正源,属于典型的山区性河流,发源于黄山市休宁县,流经皖浙两省,是连接黄山市与杭州市的重要水上通道,干流总长 359 km,流域总面积 11674 km<sup>2</sup>。新安江水系发达,支流众多,流域内水资源和水能资源丰富,流域内水体水质整体较好,是全国为数不多的健康河流之一,也是华东地区最坚实的生态安全屏障(柯来章和阎伍玖,2007;饶秀娟等,2014;胡婧,2016;聂伟平和陈东风,2017)。新安江作为全国首个跨省流域生态补偿机制试点,以跨省界断面水质联合网监测数据为依据,通过实施下游对上流的合理补偿,推进全流域生态环境综合整治,自2012年正式实施以来,试点工作取得了较好的成效,基本实现了保护和改善新安江水质的目的(许家宏,2014;聂伟平和陈东风,2017;吴效东,2017;陈方舟和王瑞芳,2021)。但是与全国其他大江大河一样,新安江的治理具有长期性、艰巨性、复杂性和反复性(周权平等,2021)。前人研究表明,流域生态补偿机制试点以

来新安江水质总体上有所改善,但也存在局部的水质污染、过境断面水质不稳定的状况,随着上游工业化和城镇化进程的加快,各种污染物增加的可能性较大,新安江部分河段水质呈现下降趋势,尤其是农业面源污染导致多处河流断面总氮、总磷等指标超标(柯来章和阎伍玖,2007;许家宏,2014;胡婧,2016;吴效东,2017;陈方舟和王瑞芳,2021)。为统筹推进流域生态环境整治,亟需摸清新安江流域水环境质量状况,识别重点污染区域和主要污染因子,并提出相应的治理措施。

河流水质评价是水环境治理的重要基础性工作,采用科学合理的水质评价方法,才能准确地反映当前水体的水质状况和污染情况,从而为水污染治理及水环境管理等提供依据(尹海龙和徐祖信,2008)。目前在河流水质评价方面尚无统一的、公认的评价模式。常用的水质评价方法主要包括单因子评价法、内梅罗污染指数法、综合污染指数法、模糊数学综合评价、灰色系统评价等。其中,单因子评价法可判断水质类别或严重的超标污染物,简单易行但较片面,不能体现同级别水质的差异。内

梅罗污染指数法操作简单,但划分水质等级的界限具有一定主观性,适用于直观快捷地判断水质超标状况。综合污染指数法计算简单,能反映河流水质的整体污染状况,但不能分析水质与评价标准的关系。模糊数学法综合考虑了水环境中多种因素,但无法识别污染因子(崔雪梅等,2015;胡雅杰等,2015;周长松等,2015;张亚丽等,2015;王竹等,2019;宁忠瑞和李虹彬,2020)。综上所述,不同的评价方法有各自的优缺点,相互结合才能优势互补。主成分分析法通过降维的手段将众多原始变量归纳为少数几个综合变量,可以精准、可靠地确定需要评价指标,从而减少不必要指标的计算,减轻水质等级评价过程中的工作量(汤梦玲等,2005;刘潇等,2015;刘萌和陈世俭,2016;杨芳等,2019;林秀珠等,2020),被广泛应用于水环境质量评价工作中。熵权法是一种客观的赋权方法,引入熵的概念进行参数标准化、权重分配及综合指数计算,是较为常用的水质综合指数法之一,可以有效识别主要污染因子并划分重点污染区域(朱春燕等,2015;宋影等,2015;傅国圣等,2021)。

本文以新安江流域主要干支流88个断面水质监

测资料为原始数据,采用主成分分析法和熵权法相结合的方法,对流域水质状况进行评价。首先运用主成分分析法对水质评价指标进行降维处理,确定其主要评价指标。在此基础上采用熵权法计算各指标权重及各个监测点的水质综合指数,进而分析整个流域水质状况,识别重点污染区域及主要污染因子。研究成果可为流域水环境保护和治理提供科学依据。

## 2 数据来源与方法

### 2.1 样品采集与分析

为准确分析新安江流域水质现状,本次工作在考虑新安江流域水系分布和人类活动特征基础上,结合《水质采样技术规程》(SL187-96)采样点布设原则要求,于2021年8—9月在流域干流和主要支流处布设了88个地表水采样断面,编号依次为1~88号,并按《水质采样技术规程》采集要求进行了取样。采样点位置分布如图1所示。

样品水温、电导率、pH和溶解氧等参数由Smart-spectro型多参数水质分析仪现场采样测定。其他水质指标测试由自然资源部华东矿产资源监督检测中心测试完成,包括重金属、主要阴

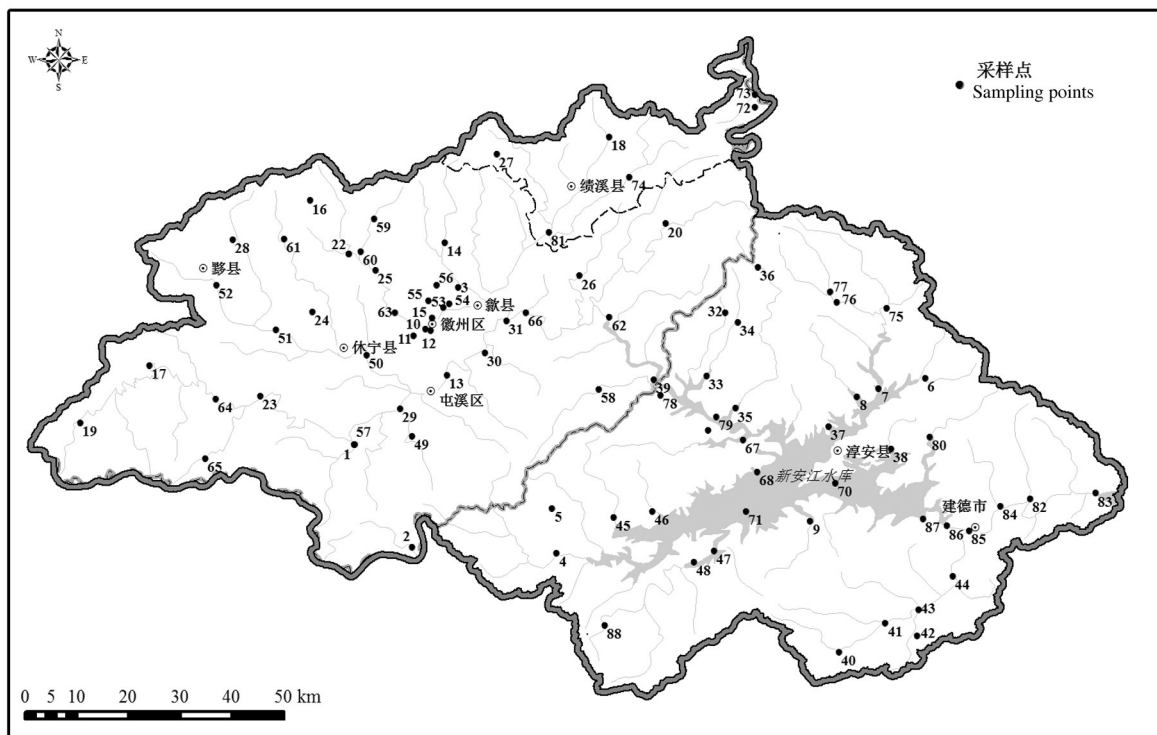


图1 新安江流域采样点分布图

Fig.1 Distribution map of sampling points in Xin'anjiang River Basin



离子和生化指标等,共计43项。其中:锂、锶、锌、铜、镉、铬、钡、铅、钴、钒、钼、锰、镍、银、总磷、偏硼酸、溴、碘等指标通过电感耦合等离子体质谱法(仪器型号为ICAP6300Duo)测定。 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 由离子色谱法(IC940)测定。 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 由用盐酸标准溶液滴定测定。具体检测方法依据《地表水环境质量标准》(GB3828-2002)和《生活饮用水标准检验方法》(GB/T5750-2006)的要求进行。所有样品均通过电荷平衡检验( $\leq 5\%$ ),各项指标的准确度符合质量要求。

## 2.2 研究方法

影响新安江流域水环境质量的的水质指标众多,且分布不均匀,水中多个污染因子之间关系复杂,运用单一评价方法难以解释污染因子与水质之间的关系,因此采用主成分分析法和熵权法结合的方法开展水质评价,可以有效消除评价指标间的重叠信息和传递依赖,所赋权重更加客观,而且考虑了指标数据的离散特征,具有较好的可靠性和实用性(马建琴等,2012;王晴晴等,2015;刘萌和陈世俭,2016)。首先通过主成分分析筛选出水质主导因子构成评价指标体系,然后运用熵权法对评价指标进行赋权,开展水质评价并确定重点污染区域。

### 2.2.1 主成分分析法

运用SPSS 22.0软件进行主成分分析,将多维变量进行降维,筛选出影响新安江流域水质的主要影响因子,其具体步骤如下(张海平等,2015;李兆华等,2018;王睿等,2020):(1)进行数据标准化,消除数据量纲及数据量级的影响;(2)计算相关系数矩阵R,根据标准化后的数据计算相关系数矩阵;(3)计算相关矩阵的特征根和特征向量,一般选取特征根大于1的主成分进行分析;(4)计算主成分贡献率和方差的累计贡献率,确定主成分;(5)计算主成分荷载值,进而确定影响水质的主要指标。

### 2.2.2 熵权法

熵权法的计算过程与其他综合指数法类似,计算步骤如下(傅国圣等,2021):

(1)计算分指数。此处采用超标倍数法计算各监测值的分指数(公式1)。新安江流域是重要的水源地,因此水质状况按照集中式生活饮用水地表水源地水质标准进行评价,根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),集中式生活饮用水地表水源

地水质评价的项目包括地表水环境质量标准基本项目和集中式生活饮用水地表水源地补充项目,因此氯离子、硫酸根、硝酸盐的标准值采用集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值,其他指标的标准值采用Ⅲ类水标准限值。

$$P_{ij} = C_{ij}/S_i \quad (1)$$

式中, $P_{ij}$ 为第*i*项指标第*j*个监测点的分指数; $C_{ij}$ 为第*i*项指标第*j*个监测点的实测值; $S_i$ 为指标的标准值。

(2)确定权重。首先利用熵值概念将各指标监测值进行标准化,然后计算各项水质指标的熵值,归一化后得到各项水质指标的最终权重。

$$Q_{ij} = C_{ij}/\sum_{j=1}^m C_{ij} \quad (2)$$

$$e_i = -\sum_{j=1}^m \left[ \frac{Q_{ij} \ln Q_{ij}}{\ln m} \right] \quad (3)$$

$$\omega_i = (1 - e_i) / \sum_{i=1}^n (1 - e_i) \quad (4)$$

式中, $Q_{ij}$ 为第*i*项水质指标在第*i*个监测点标准化结果, $m$ 为监测点数量, $e_i$ 为第*i*项水质指标的熵值; $n$ 为参评指标数; $\omega_i$ 为第*i*项指标归一化后的权重。

(3)计算综合指数。将各水质指标归一化权重与分指数相乘并求和,得到综合指数 $P_i$ 。

$$P_i = \sum_{j=1}^m (\omega_i P_{ij}) \quad (5)$$

## 3 新安江流域水质评价

### 3.1 流域水质概况

基于水质检测数据情况,结合《地表水环境质量标准》(GB3828-2002),去除在水质标准中无法直接进行评判的监测指标,在此基础上,忽略检出率小于50%且检出数据均低于Ⅱ级标准限值的指标,最终选择Zn、As、Se、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ -N、COD(溶解氧)、TP(总磷)、Mn、TN(总氮)、 $\text{NH}_3$ -N等11项指标,对新安江流域水质进行分析。

新安江流域水质状况总体良好,但也存在局部的污染。从单指标分析来看,11项指标中TN、 $\text{NH}_3$ -N、TP和Cl<sup>-</sup>存在部分监测点超过Ⅲ类水标准的情况,其中TN平均浓度达到了Ⅳ类水标准,超过Ⅲ类水标准的监测点达29个,11项指标中仅有TN和TP

表1 水质指标描述性统计表  
Table 1 Descriptive statistics of water quality indicators

	Zn	As	Se	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	COD	TP	Mn	TN	NH <sub>3</sub> -N
最大值/(mg/L)	0.00524	0.0053	0.47	263.00	40.40	11.40	6.09	0.477	0.0138	4.85	1.30
最小值/(mg/L)	0.0001	0.0002	0.10	0.04	1.01	0.02	0.08	0.005	0.0001	0.19	0.02
平均值/(mg/L)	0.90	0.0015	0.15	6.53	8.93	3.25	1.18	0.0282	0.00075	1.02	0.07
标准差	0.00116	0.00095	0.08	28.35	8.64	2.06	0.78	0.061	0.00163	0.63	0.19
变异系数/%	128.89	65.49	54.97	434.12	96.70	63.51	66.05	216.32	218.34	61.48	265.34
超Ⅲ类水比例/%	0	0	0	/	/	/	0	2.27	0	34.09	2.27
超Ⅴ类水比例/%	0	0	0	/	/	/	0	1.14	0	5.68	0

超过Ⅴ类水标准。从变异系数看,Cl<sup>-</sup>、NH<sub>3</sub>-N、TP和Mn变异系数较大,空间分布较不均匀,Se和TN变异系数最小,分布最均匀(表1)。单指标污染指数法评价结果显示,流域地表水质量以Ⅲ类水为主,Ⅲ类水以下的监测点为30个,占34.09%,劣Ⅴ类水有5组,占5.68%,Ⅴ类水有7组,占7.95%,Ⅳ类水18组,占比20.45%,主要的影响因素是TN,其次是NH<sub>3</sub>-N和TP。

### 3.2 主要评价指标的选取

采用主成分分析法对Zn、As、Se、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等11项主要水质指标进行降维处理。借助SPSS 22.0软

件将原始数据矩阵标准化后,求其相关系数矩阵、特征值、主成分累计贡献率。评价过程如下(崔邢涛等,2016; Yang et al., 2020; 邢洁等, 2021; Liu et al., 2022):

#### 3.2.1 数据标准化

利用SPSS 22.0对原始检测数据进行标准化,并得到相关系数矩阵(图2),从图中可以看出不少变量之间的相关系数大于0.5,TP和TN相关系数达到了0.82,这表明多个水质指标之间的相关性较强,水质信息存在一定程度的重叠,适合利用主成分分析进行降维。



图2 标准化数据的相关系数矩阵图  
Fig.2 Correlation coefficient matrix of standardized data

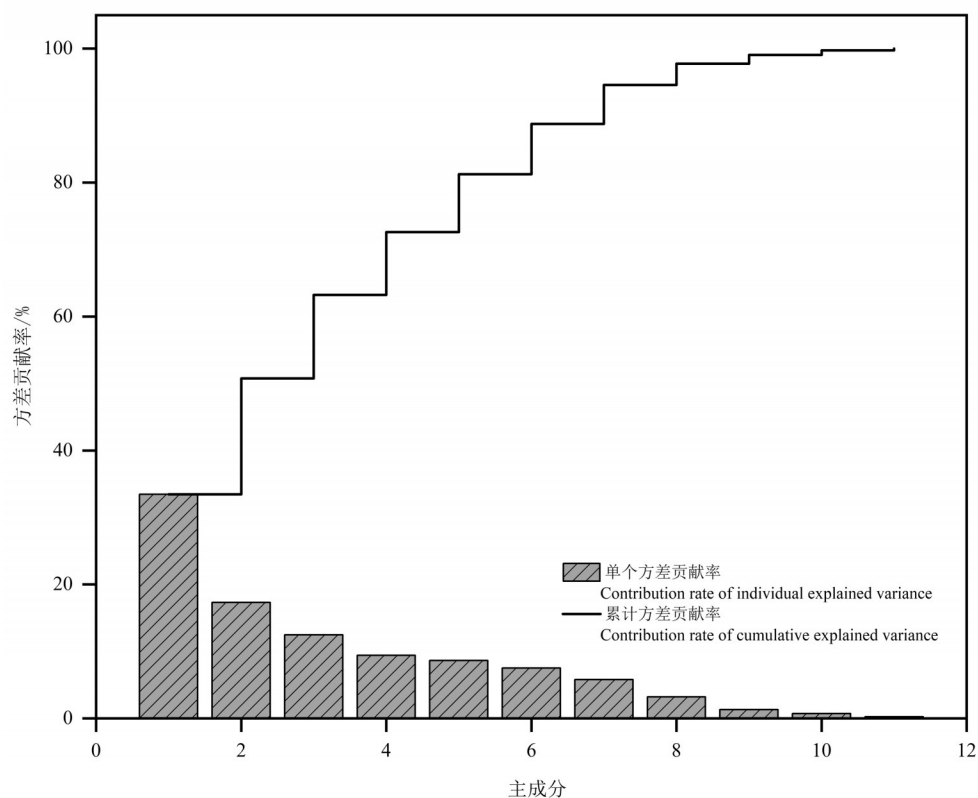


图3 特征值、主成分贡献率及累计贡献率

Fig.3 The eigenvalues, contribution rate and cumulative contribution rate of the principal components

### 3.2.2 计算特征值和主成分方差贡献率

根据主成分分析法中主成分选取原则,特征值大于1.0取得的因子个数定为主成分数。从图3可见特征值 $\lambda > 1$ 时有4个成分: $\lambda_1=3.681$ , $\lambda_2=1.903$ , $\lambda_3=1.371$ , $\lambda_4=1.034$ ,此时累计方差贡献率为72.619%。考虑到本次研究参与评价的样本数(88个)和指标(11个)都比较多,提取公因子的难度也比较大,72.619%的累计贡献率视为可接受的范围,基本包含了原始指标的主要信息。

### 3.2.3 初始因子荷载值计算与评价指标的确定

从表2可以看出,第一主成分中TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和第二主成分中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 具有较高的因子荷载,TN、TP的荷载值达0.911和0.866,第三主成分中的 $\text{SO}_4^{2-}$ 荷载值较大,第四主成分中的Se荷载值较大。从主成分贡献率及荷载情况可以看出TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和Se这6项指标是影响新安江流域水质主要指标。

## 3.3 基于主成分分析-熵权组合法的水质评价

### 3.3.1 重点污染区域划分

基于主成分分析法确定的6项主要评价指标,按

上述公式(2)~(4)计算各评价指标的熵权。从表3可以看出, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP的权重较大,分别为0.38和0.34,从表1中也可以看出, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP的变异系数也比其他指标要高,这两者均表明在新安江流域中的空间分布不均匀程度较高,有利于比较区域之间污染程度的差异,在重点污染区域的划分时可提供的信息也更多。TN、Se的权重较小,分别为0.05和0.04,分布较为均匀,其中TN实际超标情况严重,且离散程度也较低,说明TN为全局型污染物。

熵权法计算的综合污染指数结果如表4所示。从表中可以看出,综合污染指数在0.022~1.313,平均值为0.09,空间分布差异大。其中55号监测点综合污染指数最大,污染也最为严重,该点超标情况最严重的是TP,监测值为477 mg/L,而TP在该点综合指数中所占的比例也最大,为60.8%,使其成为该点首要污染因子。30、12、56号监测点污染也相对较严重,综合指数分别为0.67、0.58、0.26,这三个点主要污染因子亦是TP。

考虑到新安江流域水系发育,本次研究采用反距离权重(IDW)插值法对综合指数进行插值,区域

表2 主成分中因子载荷

Table 2 Various factors loading in principle components

指标	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
Zn	0.530	0.492	-0.478	0.109
As	0.449	0.142	0.301	-0.061
Se	-0.045	0.025	0.002	0.889
Cl <sup>-</sup>	0.204	0.199	0.383	0.440
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.266	0.126	0.816	-0.132
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.494	0.743	0.059	-0.101
COD	0.582	-0.640	0.358	0.044
TP	0.866	0.099	-0.120	-0.047
Mn	0.582	-0.530	-0.146	0.056
TN	0.911	0.249	-0.023	-0.011
NH <sub>3</sub> -N	0.763	-0.519	-0.268	-0.004

表3 评价指标熵权

Table 3 Entropy weight of evaluation index

指标	Se	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	TP	TN	NH <sub>3</sub> -N
熵权 ω <sub>i</sub>	0.04	0.12	0.07	0.34	0.05	0.38

内每个插值点的数值由距它最近的4个监测点确定,插值点周边监测点的数值越大,两者距离越近,插值点上的数值就越大。最终将综合指数划分为5个等级,如图4所示,数值范围在0.022~1.313。分析

结果(图4)显示,综合指数较大的区域分布在休宁—徽州区—歙县平原岗地一带,形成了徽州区潜口镇、岩寺镇—三村镇两个综合指数较高的中心区,两个高值点分别为55号和30号,该地区人口密集、工农业生产强度较高,存在生活污水以及农业种植养殖等面源污染,该区域需大力推动城乡生活污染治理并减少农药化肥的使用。

此外,从图4中可以看出,新安江流域下游浙江段的水质状况较中上游安徽段明显变好,原因之一是中下游人类活动减弱,其次是随着各支流的不断汇入,稀释作用明显,同时也与污染物本身的迁移、转化和降解作用有关,省界附近街口39号监测点水质为Ⅲ类水,符合新安江生态补偿机制对跨省过水断面的水质要求。

### 3.3.2 主要污染因子识别

在综合指数评价体系中,一个指标在综合指数中所占的比重受本身的超标情况以及权重的双重影响,单是超标严重或浓度分布不均匀的指标不一定是区域的重点污染因子(朱春燕等,2015)。综合污染指数计算结果(表4)显示,TP的分指数占综合指数比重最大的点有64.77%,其次是NH<sub>3</sub>-N,占比25%,综合

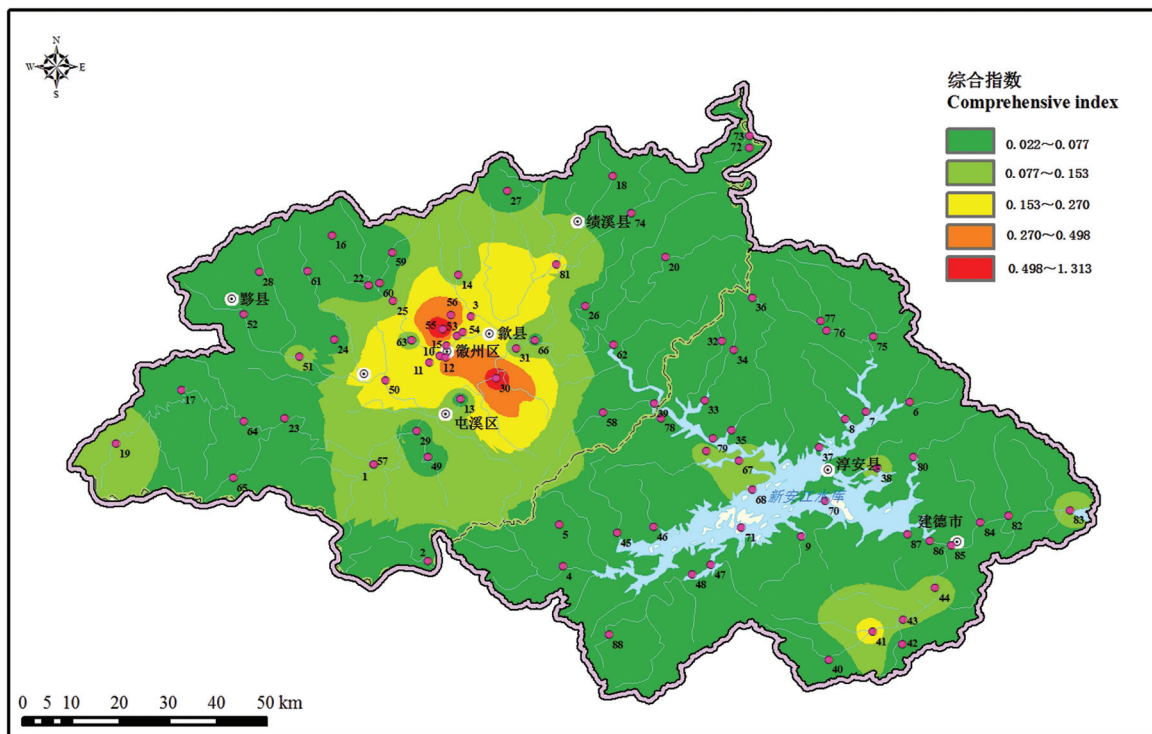


图4 新安江流域水质综合指数图

Fig.4 Comprehensive index of water quality in Xin'anjiang River Basin



表4 综合指数P<sub>i</sub>及各评价指标所占比重Table 4 Comprehensive index P<sub>i</sub> and proportion of each evaluating indicator

序号	Se/%	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /%	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/%	TP/%	TN/%	NH <sub>3</sub> -N/%	综合指数	序号	Se/%	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /%	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/%	TP/%	TN/%	NH <sub>3</sub> -N/%	综合指数
1	1.66	4.81	15.75	34.27	12.51	31.00	0.025	45	0.78	15.17	13.34	43.47	12.57	14.67	0.052
2	1.73	4.16	14.69	35.88	11.08	32.45	0.023	46	1.47	25.21	13.07	33.99	9.08	17.19	0.044
3	0.19	1.74	5.25	85.48	3.69	3.65	0.208	47	1.88	12.21	4.81	38.91	6.99	35.20	0.022
4	1.48	24.34	28.19	12.81	21.58	11.59	0.066	48	1.39	8.48	4.05	28.75	5.33	52.01	0.029
5	1.91	3.62	2.95	12.73	3.93	74.86	0.066	49	0.88	3.78	17.54	30.06	14.75	32.99	0.046
6	0.85	8.03	9.32	56.34	9.63	15.83	0.048	50	0.21	10.21	4.59	76.82	4.32	3.86	0.197
7	1.29	6.98	4.87	17.61	5.83	63.42	0.060	51	0.88	10.45	4.15	27.44	5.01	52.07	0.088
8	0.96	10.11	5.83	30.97	7.25	44.89	0.042	52	0.83	9.47	15.55	45.57	13.09	15.50	0.049
9	2.63	11.52	10.00	34.09	10.91	30.83	0.025	53	0.76	5.47	14.07	54.65	10.85	14.20	0.053
10	2.69	4.71	24.08	27.84	15.48	25.19	0.030	54	0.21	1.69	3.81	87.90	2.49	3.90	0.195
11	0.35	4.00	3.87	85.39	3.10	3.30	0.230	55	0.03	0.29	0.82	60.80	1.74	36.32	1.313
12	0.08	1.70	1.36	65.91	2.19	28.76	0.581	56	0.43	0.78	5.35	86.68	3.86	2.90	0.262
13	1.31	5.56	24.41	27.13	17.07	24.54	0.031	57	0.24	1.06	5.18	85.66	3.42	4.44	0.171
14	0.83	10.81	12.67	50.09	10.00	15.59	0.073	58	1.34	5.21	15.80	27.84	12.04	37.77	0.030
15	0.70	2.60	5.83	81.76	3.63	5.47	0.139	59	1.28	4.19	26.54	26.48	17.55	23.96	0.032
16	4.94	3.44	17.46	33.00	11.31	29.85	0.025	60	1.45	3.87	25.51	27.36	17.06	24.75	0.031
17	1.45	7.86	23.55	27.22	15.29	24.62	0.031	61	1.24	4.18	27.18	25.69	18.47	23.24	0.033
18	1.54	4.58	20.12	31.87	13.07	28.82	0.026	62	1.18	5.15	20.71	24.48	15.27	33.22	0.034
19	0.65	0.98	8.60	78.53	5.44	5.80	0.131	63	2.30	4.62	23.29	27.98	16.50	25.31	0.030
20	1.49	4.80	21.61	30.92	13.20	27.97	0.027	64	1.86	4.11	12.07	38.59	8.45	34.91	0.022
21	2.69	4.02	24.58	27.80	15.77	25.15	0.030	65	1.66	6.36	12.30	40.02	8.51	31.15	0.024
22	2.22	3.75	27.21	25.58	18.10	23.13	0.033	66	0.75	11.83	11.19	54.22	8.01	14.01	0.054
23	1.46	4.46	22.46	30.14	14.22	27.26	0.028	67	0.46	5.32	2.59	24.08	4.41	63.13	0.096
24	1.63	4.53	25.01	28.16	15.19	25.47	0.030	68	0.37	2.98	0.03	29.87	1.62	65.14	0.111
25	0.50	1.54	3.65	10.37	4.20	79.75	0.081	69	0.64	4.21	3.68	43.27	5.09	43.11	0.088
26	2.45	4.68	23.87	28.23	15.22	25.54	0.030	70	1.45	6.23	2.85	35.29	4.69	49.49	0.061
27	3.17	4.12	22.69	28.52	15.70	25.80	0.029	71	2.30	7.14	4.59	27.90	6.17	51.90	0.051
28	1.21	4.04	2.17	42.36	5.05	45.18	0.034	72	1.07	36.82	11.45	22.21	8.36	20.09	0.038
29	1.69	5.36	14.70	35.08	11.43	31.73	0.024	73	1.15	12.30	24.78	23.90	16.25	21.62	0.035
30	0.06	0.31	0.00	24.75	1.52	73.35	0.673	74	1.36	10.96	15.09	47.62	9.02	15.95	0.048
31	0.46	6.55	6.10	72.65	5.69	8.56	0.089	75	1.14	12.08	14.89	37.56	13.07	21.26	0.036
32	0.61	4.97	1.69	32.15	3.34	57.24	0.066	76	1.18	26.71	13.75	25.07	11.23	22.06	0.034
33	0.60	7.00	4.16	31.86	5.73	50.65	0.068	77	1.00	19.80	10.93	39.15	10.44	18.68	0.041
34	1.03	1.25	0.32	22.67	7.84	66.88	0.051	78	4.38	1.23	0.40	64.78	10.55	18.66	0.041
35	0.59	5.13	3.12	19.95	4.68	66.52	0.069	79	2.25	6.68	5.76	47.36	7.00	30.95	0.061
36	0.71	5.87	6.80	33.04	7.31	46.28	0.057	80	1.91	1.13	0.28	27.59	3.98	65.11	0.070
37	3.84	1.54	0.45	42.09	9.73	42.35	0.036	81	0.89	7.02	4.58	77.85	4.92	4.75	0.160
38	2.09	4.40	1.90	16.85	4.13	70.64	0.091	82	1.23	14.70	17.99	25.46	17.59	23.03	0.033
39	1.37	8.06	7.62	60.46	6.39	16.09	0.047	83	0.47	15.01	8.03	62.31	5.43	8.75	0.087
40	1.48	30.30	5.34	39.31	5.06	18.52	0.041	84	1.35	13.65	17.09	27.92	14.74	25.25	0.030
41	0.25	9.22	4.22	79.14	3.53	3.64	0.209	85	1.41	14.19	14.77	29.09	14.22	26.32	0.029
42	1.72	9.86	9.71	35.65	10.81	32.25	0.024	86	1.38	12.34	17.47	28.55	14.43	25.82	0.029
43	0.64	17.60	4.45	62.90	5.24	9.18	0.083	87	1.54	13.12	12.59	31.97	11.85	28.92	0.026
44	0.86	13.19	5.42	67.81	4.62	8.09	0.094	88	1.80	3.11	3.38	37.23	3.97	50.51	0.023



污染指数排名前10的采样点中,除30号点 $\text{NH}_3\text{-N}$ 所占比重最大外,其余的9个点的比重最大的均为TP,由此可获取新安江流域主要的污染因子为TP,其次是 $\text{NH}_3\text{-N}$ ;88个采样点中,Se和 $\text{SO}_4^{2-}$ 均未超过标准限值,所以综合指数的比重也较小;由于TN的权重较小,虽然污染超标率最高,在综合指数中发挥的作用也不明显,为全局型污染物。

## 4 结 论

本文以新安江流域88个断面水质监测数据为基础,借助SPSS 22.0分析软件,采用主成分分析和熵权法相结合的方法,对新安江流域的水质状况进行了评价,评价结果表明该方法能够高效、准确评估复杂的水环境指标体系,较好反映实际水质情况的空间分布。

(1)运用主成分分析法通过降维的手段,将11个具有相互关系的指标转化为4个主成分,4个主成分累计方差贡献率达72.62%,能够基本反映原指标信息,通过计算因子荷载值,比较各指标浓度与主成分之间的相关关系,筛选出TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 和Se六项指标为主要因子。

(2)新安江流域地表水环境质量总体较好,以Ⅲ类水为主,且浙江段水质好于安徽段。重点污染区域分布在休宁—歙县—徽州区一带,形成了潜口镇、岩寺镇—三村镇两个染中心。TN、TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为流域主要污染指标,其中TN为全局型污染物,TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为区域型污染物。

(3)主成分分析和熵权法相结合的水质评价模型,有效避免了评价指标的重复性、权重赋值的主观性,充分考虑评价指标离散程度,识别了重点污染区域和污染因子,评价结果更加符合实际,可为流域水污染防治提供针对性的指导。

## References

Chen Fangzhou, Wang Ruifang. 2021. Study on long-acting effect of ecological compensation mechanism in Xin'an River Basin[J]. Yangtze River, 52(2): 44-49(in Chinese with English abstract).

Cui Xingtao, Luan Wenlou, Song Zefeng, Ma Yunchao. 2016. A study of the spatial distribution and source of heavy metals in urban soil in Shijiazhuang City[J]. Geology in China, 43(2): 683-690(in Chinese with English abstract).

Cui Xuemei, Zhao Panpan, Zhang Aiqun. 2015. Comparative analysis of four methods for water quality assessment[J]. Water Saving

Irrigation, (5): 46-48, 51(in Chinese with English abstract).

Fu Guosheng, Zhou Jianan, Li Yunzhong, Jiang Chenjuan. 2021. Comprehensive water quality evaluation in typical Lixiahe Abdominal Area based on entropy-weight method[J]. Water Resources and Power, 39(5): 79-82(in Chinese with English abstract).

Hu Jing. 2016. Discussion on Xin'an River Basin water resources protection countermeasures in Huangshan[J]. Water Resources Development and Management, (3): 12-14, 3(in Chinese with English abstract).

Hu Yajie, Ma Jing, Huang Guoqing. 2015. Comprehensive evaluation of water quality in Taihu Lake based on various methods[J]. Hydro-Science and Engineering, (5): 67-74(in Chinese with English abstract).

Ke Laizhang, Yan Wujiu. 2017. Assessment and management measures of water environment quality in Xin'an River Basin, Huangshan City[J]. Resource Development & Market, (1): 7-9, 52(in Chinese with English abstract).

Li Zhaohua, Mo Caifen, Ke Jie, Chen Hongbing, Chen Shuai. 2018. Evaluation on the water quality of Wangjiaba reservoir based on principal component analysis[J]. Journal of Hubei University (Natural Science), 40(6): 586-592(in Chinese with English abstract).

Lin Xiuzhu, Rao Qinghua, Chen Qi, Lin Maozi, Lin Yunshan. 2020. Assessment of the Minjiang River estuary and its coastal waters quality using principal component analysis[J]. Marine Sciences, 44(11): 78-86(in Chinese with English abstract).

Liu Meng, Chen Shijian. 2016. Groundwater quality assessment of Honghu Area based on the Nemerow Index and principal component analysis method[J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences), 50(4): 633-640(in Chinese with English abstract).

Liu Xiao, Xue Ying, Ji Yupeng, Xu Binduo, Ren Yiping. 2015. An assessment of water quality in the Yellow River estuary and its adjacent waters based on principal component analysis[J]. China Environmental Science, 35(10): 3187-3192(in Chinese with English abstract).

Liu Yaci, Wu Lin, Shi Guowei, Cao Shengwei, Li Yasong. 2022. Characteristics and sources of microplastic pollution in the water and sediments of the Jinjiang River Basin, Fujian Province, China[J]. China Geology, 5(3): 429-438.

Ma Jianqin, Guo Jingjing, Zhao Peng. 2012. Evaluation of landscape water quality based on principal component analysis and information entropy[J]. Yellow River, 34(3): 36-38(in Chinese with English abstract).

Nie Weiping, Chen Dongfeng. 2017. The progress and mechanism improvement of the second round eco-compensation implementation in Xin'an River Basin[J]. Environmental Protection, 45(7): 19-23(in Chinese with English abstract).

- Ning Zhongrui, Li Hongbin. 2020. Assessment and analysis of water quality in Ningxia Section of the Yellow River based on comprehensive water quality identification index[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 39(S1): 56–61(in Chinese with English abstract).
- Rao Xiujuan, Jiang Mengyun, Dai Zhi, Wang Dachuan, Ling Xuefeng, Qian Liping. 2014. Research on the characteristics of nitrogen and phosphorus pollution of Xin'an River Basin (Huangshan Section)[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 42(15): 4733–4735(in Chinese with English abstract).
- Song Ying, Wang Guoli, Li Wei. 2015. Application of factor analysis based on entropy weight verification in water quality[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 13(6): 1080–1083(in Chinese with English abstract).
- Tang Mengling, Xie Kexiang, Li Zhijian. 2005. Integrated analysis and discussion of the model of water quality evaluation[J]. Resources Survey & Environment, (3): 221–227(in Chinese with English abstract).
- Wang Qingqing, Chen Xing, Chang Jing. 2015. Application of principal component analysis in combination with entropy method in water quality evaluation[J]. Yangtze River, 46(8): 10–13, 18(in Chinese with English abstract).
- Wang Rui, Zuo Jian'e, Zhang Yu, Ren Haiteng, Yu Zhonghan, Chen Lei. 2020. Monitoring and comprehensive assessment of water quality of the main rivers in Tongzhou District in Beijing[J]. Water & Wastewater Engineering, 56(S1): 724–728, 736(in Chinese with English abstract).
- Wang Zhu, Zhu Shijiang, Liu Yang, Wang Fang. 2019. Comparative application of different water quality evaluation methods in the Downstream Section of Luanhe River[J]. Water Saving Irrigation, (10): 68–72, 77(in Chinese with English abstract).
- Wu Xiaodong. 2017. Water environment protection and river water quality ranking of Xin'an River Basin in Huangshan City[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 35(6): 79–81(in Chinese with English abstract).
- Xing Jie, Song Nanzhe, Chen Xiangwei, Ni Hongwei, Han Xu. 2021. Water quality assessment of Heilongjiang control section in Songhua River Basin based on principal component analysis[J]. China Water & Wastewater, 37(1): 89–94(in Chinese with English abstract).
- Xu Jiahong. 2014. Study on agricultural non-point source pollution of tea garden in Xin'an River Basin[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 20(9): 107–108(in Chinese with English abstract).
- Yang Fang, Yang Pan, Lu Lu, Li Jian. 2019. Water quality assessment of Dongting Lake based on Principal Component Analysis[J]. Yangtze River, 50(S2): 42–45, 58(in Chinese with English abstract).
- Yang Wenjie, Zhao Yue, Wang Dong, Wu Huihui, Lin Aijun, He Li. 2020. Using principal components analysis and IDW interpolation to determine spatial and temporal changes of surface water quality of Xin'anjiang river in Huangshan, China[J]. International Journal of Environmental Research And Public Health, 17(8): 2942.
- Yin Hailong, Xu Zuxin. 2008. Comparative study on typical river comprehensive water quality assessment methods[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, (5):729–733(in Chinese with English abstract).
- Zhang Haiping, Hao Caixia, Hao Minxia, Ma Lishan, Ma Dongmei. 2015. On the application of principal component analysis in river water quality evaluation[J]. Journal of Hebei Institute of Architecture and Civil Engineering, 33(3): 52–55, 60(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yali, Zhou Yang, Chen Zhen, Yao Zhipeng, Shen Jian, Wang Xiaolei. 2015. Comparison and analysis of different evaluation methods for water quality in the Danjiangkou Valles [J]. Environmental Monitoring in China, 31(3): 58–61(in Chinese with English abstract).
- Zhou Changsong, Zou Shengzhang, Li Lujuan, Xia Riyuan. 2015. A comparative analysis of several evaluation methods for groundwater quality assessment[J]. China Rural Water and Hydropower, (8): 87–90, 93(in Chinese with English abstract).
- Zhou Quanping, Zhang Pengbin, Xue Tengfei, Jiang Yuehua, Guo Lin, Yang Ranran. 2021. Ecological environment changes in Yangtze River Economic Zone in recent 20 years[J]. Geology in China, 48(4): 1127–1141(in Chinese with English abstract).
- Zhu Chunyan, Liang Xinqiang, Zhou Kejin, Guo Ru, Yuan Junli, Jin Yi, Ru Qinkai. 2015. Key polluted area division and main pollution factors identification using entropy method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 35(2): 213–218(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 陈方舟, 王瑞芳. 2021. 新安江流域生态补偿机制长效化研究[J]. 人民长江, 52(2): 44–49.
- 崔邢涛, 栾文楼, 宋泽峰, 马云超. 2016. 石家庄城市土壤重金属空间分布特征及源解析[J]. 中国地质, 43(2): 683–690.
- 崔雪梅, 赵盼盼, 章爱群. 2015. 4种河流水质评价方法的比较研究——以槐荫河为例[J]. 节水灌溉, (5): 46–48, 51.
- 傅国圣, 周佳楠, 李云中, 蒋陈娟. 2021. 基于熵权法的里下河腹部典型区综合水质评价[J]. 水电能源科学, 39(5): 79–82.
- 胡婧. 2016. 黄山市新安江流域水资源保护对策探讨[J]. 水资源开发与管理, (3): 12–14, 3.
- 胡雅杰, 马静, 黄国情. 2015. 基于多种方法的太湖综合水质评价比较[J]. 水利水电工程学报, (5): 67–74.
- 柯来章, 阎伍玖. 2007. 黄山市新安江流域水环境质量评价与管理措施[J]. 资源开发与市场, (1): 7–9, 52.
- 李兆华, 莫彩芬, 柯杰, 陈红兵, 陈帅. 2018. 基于主成分分析法的水库水质评价[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 40(6): 586–592.
- 林秀珠, 饶清华, 陈琪, 林茂兹, 林云杉. 2020. 基于主成分分析法的

- 闽江口及其近岸水域水质评价[J]. 海洋科学, 44(11): 78-86.
- 刘萌, 陈世俭. 2016. 基于内梅罗指数与主成分分析的洪湖地区地下水水质评价[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 50(4): 633-640.
- 刘潇, 薛莹, 纪毓鹏, 徐宾铎, 任一平. 2015. 基于主成分分析法的黄河河口及其邻近水域水质评价[J]. 中国环境科学, 35(10): 3187-3192.
- 马建琴, 郭晶晶, 赵鹏. 2012. 基于主成分分析和熵值法的景观水水质评价[J]. 人民黄河, 34(3): 36-38.
- 聂伟平, 陈东风. 2017. 新安江流域(第二轮)生态补偿试点进展及机制完善探索[J]. 环境保护, 45(7): 19-23.
- 宁忠瑞, 李虹彬. 2020. 基于水质标识指数的黄河宁夏段水质评价与分析[J]. 灌溉排水学报, 39(S1): 56-61.
- 饶秀娟, 蒋梦云, 戴志, 王大川, 凌雪峰, 钱丽萍. 2014. 新安江流域(黄山段)氮磷污染特征的研究[J]. 安徽农业科学, 42(15): 4733-4735.
- 宋影, 王国利, 李伟. 2015. 基于熵权决策法验证的因子分析法在水质评价中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 13(6): 1080-1083.
- 汤梦玲, 谢可翔, 李志建. 2005. 水质评价模型选择综合分析与探讨[J]. 资源调查与环境, (3): 221-227.
- 王晴晴, 陈星, 常进. 2015. 主成分分析法与熵值法结合在水质评价中的应用[J]. 人民长江, 46(8): 10-13, 18.
- 王睿, 左剑恶, 张宇, 任海腾, 于中汉, 陈磊. 2020. 北京通州区主要河道水质分析及综合评价[J]. 给水排水, 56(S1): 724-728, 736.
- 王竹, 朱士江, 刘扬, 王芳. 2019. 不同水质评价方法在滦河下游段的比较应用[J]. 节水灌溉, (10): 68-72, 77.
- 吴效东. 2017. 黄山市新安江流域水环境保护及河流水质排名[J]. 中国资源综合利用, 35(6): 79-81.
- 邢洁, 宋男哲, 陈祥伟, 倪红伟, 韩旭. 2021. 基于主成分分析的松花江流域黑龙江段水质评价[J]. 中国给水排水, 37(1): 89-94.
- 许家宏. 2014. 新安江流域茶园农业面源污染研究[J]. 安徽农学通报, 20(9): 107-108.
- 杨芳, 杨盼, 卢路, 李建. 2019. 基于主成分分析法的洞庭湖水质评价[J]. 人民长江, 50(S2): 42-45, 58.
- 尹海龙, 徐祖信. 2008. 河流综合水质评价方法比较研究[J]. 长江流域资源与环境, (5): 729-733.
- 张海平, 郝彩侠, 郝敏霞, 马立山, 马冬梅. 2015. 主成分分析法在河流水质评价中的应用[J]. 河北建筑工程学院学报, 33(3): 52-55, 60.
- 张亚丽, 周扬, 程真, 姚志鹏, 申剑, 王潇磊. 2015. 不同水质评价方法在丹江口流域水质评价中应用比较[J]. 中国环境监测, 31(3): 58-61.
- 周权平, 张澎彬, 薛腾飞, 姜月华, 郭琳, 杨冉冉. 2021. 近20年来长江经济带生态环境变化[J]. 中国地质, 48(4): 1127-1141.
- 周长松, 邹胜章, 李录娟, 夏日元. 2015. 几种地下水水质评价方法的对比研究[J]. 中国农村水利水电, (8): 87-90, 93.
- 朱春燕, 梁新强, 周柯锦, 郭茹, 苑俊丽, 金熠, 茹秋凯. 2015. 使用熵权法划分污染重点区域及识别主要污染因子[J]. 水土保持通报, 35(2): 213-218.