

# 基于 GPCA 和 CCME-WQI 方法的保山市东河水质分析

王学泽<sup>1</sup>, 朱长军<sup>1,2</sup>, 张普<sup>1</sup>, 苗璐<sup>1</sup>, 李博勤<sup>1</sup>

(1.河北工程大学 能源与环境工程学院,河北 邯郸 056038;

2.河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,南京 210098)

**摘要:**水质评价是保护和开发利用水资源的一项基本工作。为了系统评价保山市东河污染情况,明确主要污染物和污染来源,基于 2020 年新东河流域水质监测数据,采用时序全局主成分分析(GPCA)和加拿大环境部长理事会水质指数(CCME-WQI),分析东河干流水质参数的时空变化,发现东河主要污染物为总氮、五日生化需氧量和总磷,主成分综合得分结果显示 6、7 月污染水平高,8、9 月污染水平低。CCME-WQI 得分显示新东河流域整体水质较差,污染程度由重到轻为中部、东南部、北部,主要污染来源于城镇、农村生活源、化肥、工业源和分散式禽畜养殖污染源,此研究可为保山市东河水环境污染治理和改善提供理论依据。

**关键词:**东河;时序全局主成分分析;CCME-WQI;时空变化

**中图分类号:**X824

**文献标志码:**A

云南省保山市位于长江经济带上游区域,境内的东河是怒江的一级支流,具有重要的经济开发价值。近年来,保山市城镇化建设快速发展,但资源环境承载能力较弱,城镇、乡村污水处理体系不完善,存在大量污水直排现象,东河水质自 2018 年以来持续恶化为劣 V 类,东河水体的重度污染严重影响保山市居民的生产生活,也对国际河流怒江水质构成潜在威胁<sup>[1]</sup>。因此为了切实消除保山市东河的水体污染问题、实现东河水质达标,基于保山市隆阳区境内东河水质监测数据,即新东河流域水质监测数据,对东河干流水质质量进行精准评价,阐释其时空变化规律,确定污染严重河段,找出关键污染指标。

水质指数是用来反映水质的一种环境质量指数,其以数值方法为基础,用简单清晰的数值反映水体的整体质量<sup>[2]</sup>。1965 年 Horton 首次提出用水质指数对水体水质进行分类的概念,这种概念在全世界得到广泛应用,并有许多研究人员对其进行修改,如 1970 年 Brown 等人提出布朗水质指数,选用了 9 项水质参数并进行赋权<sup>[3]</sup>;1974 年 Nemerow 提出内梅罗水质指数,根据水体用途计算水质指数<sup>[4]</sup>;中国地表水水质评价标准以《地表水环境质量标准(GB 3838—2002)》<sup>[5]</sup>为依据,采用单因子水质评价法,其中河流型地表水综合评价中总氮不参与评价,该方法能够清晰体现规定指标的污染程度,但其水质评价结果是以最差指标类别为依据,不能反映水质的整体状况<sup>[6]</sup>。20 世纪 90 年代中期,加拿大环境部长理事会将水质指数法引入加拿大<sup>[7]</sup>,加拿大环境部长理事会水质指数(Canadian Conference of Ministers of the Environment Water Quality Index,CCME-WQI)利用超标范围、超标频次、超标幅度 3 个元素对水体水质的整体状况进行评价,其结果更为全面,评价指标选取更加灵活,现在 CCME-WQI 方法因其灵活的适用性已被广泛应用于许多国家,用以评价河流、湖泊、水库、地表水和饮用水水质<sup>[8-9]</sup>。

本研究基于 2020 年 6 月到 9 月云南省保山市新东河流域主要干支流的水质监测数据,对东河干流水质

**收稿日期:**2022-12-26;**修回日期:**2023-02-11.

**基金项目:**国家重点研发计划项目(2016YFC0401701);河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室“一带一路”水与可持续发展基金(2019490911)。

**作者简介:**王学泽(1998—),男,河北石家庄人,河北工程大学硕士研究生,研究方向为水环境模拟与规划和环境系统模拟与信息技术,E-mail:wxyzml@foxmail.com.

**通信作者:**朱长军(1976—),男,山东高唐人,河北工程大学教授,博士,研究方向为水环境模拟与规划和环境系统模拟与信息技术,E-mail:christorf@126.com.

状况进行单因子评价,通过主成分分析筛选出新东河流域主要环境因子,分析其时间变化规律,利用 CCME-WQI 指数法对流域内水体质量进行综合评价,分析并阐释主要污染物的空间变化规律.本研究使用时序全局主成分分析和 CCME-WQI 结合的方法,通过理论方法提取主要环境因子,排除水质指标选择的人为干扰<sup>[10]</sup>,在规定水质指标要求上细分优秀、良好、一般、边缘和较差五类水质,评价更准确,计算过程无须考虑各指标权重,通过超标范围、频次、幅度 3 个因素降低单一指标对结果的影响,使评价结果更具有综合性、全面性.本研究首次对保山市新东河流域水质时空变化及水质指标的相关性进行分析,以期为保山市乃至我国河流水质和水环境保护及科学管理调度提供参考.

## 1 数据来源

### 1.1 研究区概况

东河又名勐波罗河,是怒江流域下游左岸的最大一级支流,因其位于保山市东部而被称为东河.东河发源于云南省保山市隆阳区王家箐山梁北麓(99°16′23″E,25°10′97″N),主河道自北向南流经保山坝(99°25′51″E,24°59′56″N),隆阳区境内河长 95.4 km,流域面积 1 431 km<sup>2</sup>,平均坡降 1.21‰,河源分水岭海拔约 2 920 m,多年平均流量约为 12.4 m<sup>3</sup>/s,最大流量约为 83 m<sup>3</sup>/s,最小流量约为 0.02 m<sup>3</sup>/s.一级干流先由西北流向东南,途经老营、傅家山等地,到小河口后转为由北向南流,途经北庙水库、板桥镇、河图街道、青华街道、汉庄镇、永盛街道、辛街乡的众多村寨,在象山峡谷流出保山坝,然后流向转为由西向东,途经西邑乡清水沟、石龙坪、石花洞、补麻,丙麻乡、桥头寨、落水洞等地后进入昌宁县境内,见图 1.

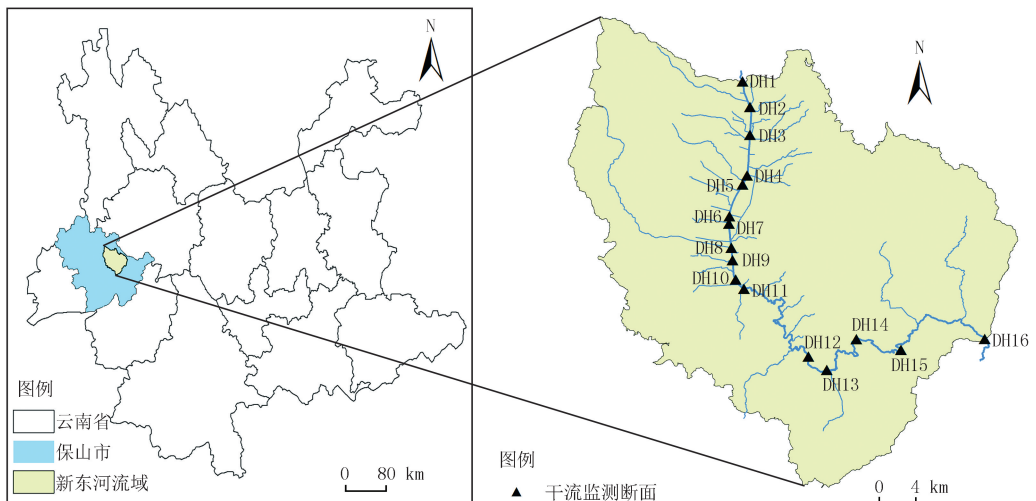


图1 研究区域

Fig.1 Study area

### 1.2 数据来源

本研究共收集 2020 年 6 月至 9 月(丰水期)新东河流域 16 个干流和 30 个支流共计 46 个断面的水质监测数据,包括水温(Water Temperature, WT)、pH、溶解氧(Dissolved Oxygen, DO)、高锰酸盐指数(Permanganate Index, COD<sub>Mn</sub>)、五日生化需氧量(Five-day Biochemical Oxygen Demand, BOD<sub>5</sub>)、化学需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)、总氮(Total Nitrogen, TN)、总磷(Total Phosphorus, TP)、氨氮(Ammonia Nitrogen, NH<sub>3</sub>-N)、阴离子表面活性剂(Linear Alkylbenzene Sulfonates, LAS)和粪大肠菌群(Fecal coliform, *F.coli*)共 11 个指标.按照东河流向,干流断面分别为:东河源头(DH1)、沙坝(DH2)、侯家庄(DH3)、板桥镇与河图街道交界(DH4)、河图街道与青华街道交界点(DH5)、青华街道与汉庄镇交界点(DH6)、汉庄镇与永盛街道交界点(DH7)、双桥(DH8)、永盛街道与辛街乡交界点(DH9)、辛街乡与永盛街道交界点(DH10)、青华闸(DH11)、永盛街道与西邑乡交界点(DH12)、石龙坪(DH13)、西邑乡与丙麻乡交界点(DH14)、叠水河桥(DH15)、浪坝塘出境断面(DH16),其中沙坝和石龙坪断面为国控断面,其他为常规监测断面,水质数据、污染源普查数据均来自保山市生态环境局.

## 2 研究方法

### 2.1 时序全局主成分分析方法

时序全局主成分分析(GPCA)以经典主成分分析为基础,结合时间序列,适用于短面板数据处理<sup>[11]</sup>,是在充分保留原始数据信息的情况下对多个因子进行降维分析,提取出少数几个综合指标的多元统计方法<sup>[12]</sup>.首先将截面数据按照时间顺序纵向排列成全局表后再进行水质指标的降维分析,提取特征值大于 1 的主成分因子,并进行各因子得分和综合得分计算,其公式如下<sup>[11-12]</sup>:  $F'_i = \omega_{i1}X_1 + \omega_{i2}X_2 + \dots + \omega_{im}X_m$ , 式中,  $F'_i$  为第  $i$  个主成分得分 ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ );  $X$  为指标数据的标准化值;  $\omega_{ij}$  表示主成分中各个变量的权重 ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ),  $\omega_{ij} = \theta_j / \sqrt{\lambda_i}$ , 其中  $\theta_j$  为成分矩阵中每个变量对应的系数 ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ),  $\lambda_i$  为各主成分的特征值 ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ).  $F' = \alpha_1 F'_1 + \alpha_2 F'_2 + \dots + \alpha_n F'_n$ , 式中,  $F'$  为综合得分,  $\alpha_i$  为第  $i$  个主成分的方差百分比 ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

### 2.2 CCME-WQI 方法

CCME-WQI 方法以范围 ( $F_1$ )、频率 ( $F_2$ ) 和振幅 ( $F_3$ ) 3 个元素进行水质评价,其计算公式如下<sup>[13-16]</sup>:  $F_1 = 100 \times (m/M)$ , 式中,  $F_1$  为超标的水质指标范围,  $m$  为存在超标的监测指标数,  $M$  为列入评价的指标数.  $F_2 = 100 \times (n/N)$ , 式中,  $F_2$  为水质参数超标的频率,  $n$  为各指标超标次数之和,  $N$  为总监测次数.  $F_3$  表示水质监测指标值超过标准值的幅度,  $F_3 = n / (0.01n + 0.01)$ , 其中  $n$  是标准化的指标偏移,计算公式为  $n = \sum e_i / N$ , 检出浓度大于(如果标准为下限,则小于评价标准值时)评价标准值的次数称为“ $e$ ”,当评价标准值是上限时,  $e_i = C_i / C_{si} - 1$ , 当评价标准值是下限时,  $e_i = C_{si} / C_i - 1$ ,  $C_{si}$  为评价标准,  $C_i$  为指标超标值.  $F = 100 - \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2} / 1.732$ ,  $F$  是 CCME-WQI 方法得到的水质评分,其范围介于 0~100 之间,数值越接近 0 表明水质越差,接近 100 则表示水质优良,具体水质等级划分如下,优秀:(95,100];良好:(80,95];一般:(65,80];边缘:(45,65];较差:[0,45].

## 3 结果与讨论

### 3.1 新东河流域基本水质情况

保山市新东河流域水体污染主要有点源和面源污染,其中面源污染受降水影响,在丰水期污染严重<sup>[17]</sup>,本文选择 2020 年丰水期水质数据,评价结果更能反映水质和污染物浓度变化情况.根据《保山市地表水环境功能区划(2010—2020 年)》及《地表水环境质量标准(GB 3838—2002)》,新东河流域内除水库外,“东河源头-入怒江口”段水环境功能为“农业用水、工业用水、一般景观用水”,水环境功能区类别为 IV 类.由于河流型地表水综合评价中不考虑水温、总氮和粪大肠菌群,于是选择 pH、DO、COD<sub>Mn</sub>、BOD<sub>5</sub>、COD、TP、NH<sub>3</sub>-N 和阴离子表面活性剂对东河干流丰水期水质进行评价,发现东河干流多段河道水质恶化为 V 类和劣 V 类,占比 62.5%,主要超标污染物为 BOD<sub>5</sub> 和 TP(表 1).

表 1 2020 年丰水期东河干流监测点水质等级和主要超标污染物

Tab.1 Grade of water quality and main pollutants exceeding standard in monitoring points of Donghe River main stream during the 2020 flood period

监测点	水质等级	主要超标污染物	监测点	水质等级	主要超标污染物
DH1	II	/	DH9	劣 V	BOD <sub>5</sub> , TP, LAS
DH2	II	/	DH10	V	BOD <sub>5</sub> , TP, DO
DH3	III	/	DH11	V	TP, DO
DH4	IV	DO	DH12	V	BOD <sub>5</sub> , TP
DH5	IV	/	DH13	V	BOD <sub>5</sub> , TP, NH <sub>3</sub> -N
DH6	V	DO, BOD <sub>5</sub> , TP	DH14	劣 V	BOD <sub>5</sub> , COD, NH <sub>3</sub> -N
DH7	V	TP, NH <sub>3</sub> -N, BOD <sub>5</sub>	DH15	劣 V	BOD <sub>5</sub> , TP, NH <sub>3</sub> -N
DH8	劣 V	BOD <sub>5</sub> , TP, NH <sub>3</sub> -N	DH16	IV	TP

### 3.2 时序全局主成分分析结果

#### 3.2.1 新东河流域水质指标相关性分析

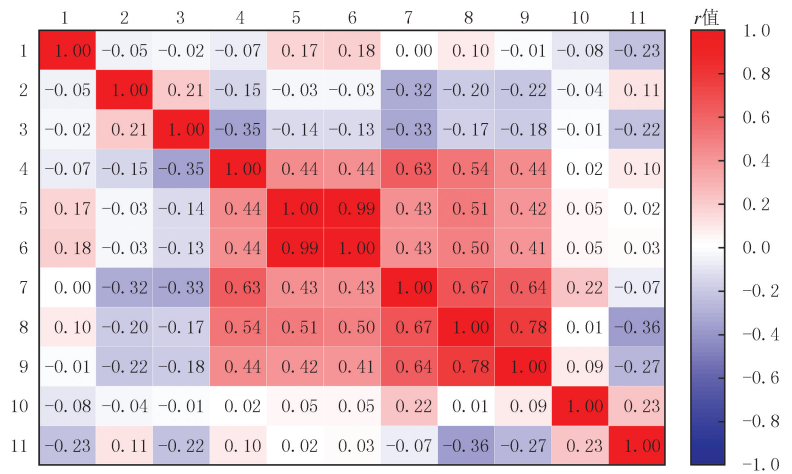
为探究新东河流域内各水质指标之间的相互影响,本研究首先对新东河流域 46 个监测点所检测的 11 种水质指标 WT、pH 值、COD<sub>Mn</sub>、DO、TN、TP、NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub>、COD、阴离子表面活性剂和 *F.coli* 进行正态分布检验,发现 NH<sub>3</sub>-N 和 *F.coli* 不符合正态分布,因此采用 Spearman 相关性分析。

由图 2 可知,在丰水期(6 至 9 月),BOD<sub>5</sub> 和 COD 呈现强烈的相关性,相关系数均为 0.99( $P < 0.05$ ),说明 BOD<sub>5</sub> 和 COD 具有同源性,可能与部分城镇生活源和农村生活源污水直排入河以及分散式禽畜养殖污染源有关<sup>[18]</sup>;新东河流域的主要污染指标中 TN 与 TP 均有显著正相关性( $r = 0.67, P < 0.05$ ),可能与新东河流域氮肥、磷肥和复合肥的施用有关.TN 与 NH<sub>3</sub>-N 也具有显著相关性( $r = 0.78, P < 0.05$ ),NH<sub>3</sub>-N 主要来源于禽畜粪便<sup>[19]</sup>,可能与部分监测点的 TN 主要由于禽畜粪便中产生的 NH<sub>3</sub>-N 组成有关,TP 还与 NH<sub>3</sub>-N 和 COD<sub>Mn</sub> 具有显著相关性( $r = 0.64, P < 0.05; r = 0.63, P < 0.05$ ),可能是由于 TP 含量超标导致水体富营养化,进而导致水体溶解氧降低水生生物死亡加剧,产生大量有机物并在厌氧细菌作用下分解<sup>[20]</sup>。

#### 3.2.2 主成分得分情况和主要污染物时间分布差异

从图 2 可知,水温、pH、DO 和粪大肠菌群与其他水质指标相关性较低,因此选取 COD<sub>Mn</sub>、BOD<sub>5</sub>、COD、TP、TN、NH<sub>3</sub>-N、阴离子表面活性剂 7 项水质指标进行时序全局主成分分析,满足 KMO 检验和 Bartlett 检验,并提取出 3 个主成分 FAC<sub>1</sub>、FAC<sub>2</sub>、FAC<sub>3</sub>;第一、第二、第三主成分的特征值分别为 3.156、1.430 和 10.520,3 个主成分的方差贡献率分别为 45.079%、20.432%和 15.027%。第一主成分的主要载荷为 TN、TP、BOD<sub>5</sub> 和 COD,反映了原始变量 45.079%的信息,是关键污染因子;第二主成分的主要载荷为 COD<sub>Mn</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N;阴离子表面活性剂是第三主成分的主要载荷。

根据主成分综合得分结果和 DH3~DH13 段干支流监测点的污染物质量浓度变化情况,制作东河干流水质得分情况时间序列图(图 3)和污染物质量浓度分布图(图 4)。主成分得分越高水质越差,东河源头处水质较好(DH1 和 DH2),水质受人为活动影响小,水质波动小.东河干流 DH3~DH5 和 DH7 区域(图 3(b)),主成分综合得分随时间呈现先上升后下降再上升的趋势,水质质量变化趋势则相反,该区域主要污染物为 TN、TP 和 BOD<sub>5</sub>(图 4(a, b, c)),其中 TN、TP 污染最严重,TN 污染水平在 6、7 月高, $\rho$ (TN)范围为 1.72~20.20 mg/L,平均值为 8.29 mg/L,在 8 和 9 月  $\rho$ (TN)范围为 0.98~12.90 mg/L,平均值为 3.63 mg/L;TP 质量浓度在 6 月最高,平均值为 0.54 mg/L,在 8 月最低,平均值为 0.19 mg/L.在 6 至 8 月监测点 DH8(图 3(c))和 DH9(图 3(d))水质明显改善,在 8 至 9 月,DH8 监测点水质出现恶化情况,DH6 水质则继续提高.在 DH3~DH8 段,影响水质趋势的主要指标在 6 至 7 月为 TP,在 7 至 9 月为 TN 和 TP(图 4(a, b, c)).与 DH3~DH8 段相比,DH9~DH13 段主成分综合得分更高,水质更差,主要污染物为 TN、BOD<sub>5</sub> 和 TP(图 4(d, e, f)),其中 TN 和 TP 质量浓度较 DH3~DH8 河段明显降低,BOD<sub>5</sub> 质量浓度显著上升.TN 和 TP 质量浓度随时间变化情况与前段相同,TN 质量浓度呈现 6、7 月高,8、9 月低的水平,在 6 月和 7 月, $\rho$ (TN)范围为 2.95~8.37 mg/L,平均值为 6.92 mg/L,在 8 和 9 月  $\rho$ (TN)范围为 2.29~4.61 mg/L,平均值为 3.35 mg/L,TP 质量浓度在 6 月最高,平均值为 0.43 mg/L,在 8 月最低,平均值为 0.22 mg/L.BOD<sub>5</sub> 呈现 6、7 月污染加



1-水温, 2-pH, 3-DO, 4-COD<sub>Mn</sub>, 5-BOD<sub>5</sub>, 6-COD, 7-TP, 8-TN, 9-NH<sub>3</sub>-N, 10-阴离子表面活性剂, 11-粪大肠菌群. 热图中值越大相关性越高, 红色表示, 反之用蓝色表示。

图2 新东河流域水质相关性热图

Fig.2 Heatmap of correlation of the water quality in the New Donghe River basin



重之后降低的趋势,在 7 月污染质量浓度最高, $\rho(\text{BOD}_5)$  范围为 7.4~24.6 mg/L,平均值为 14.7 mg/L.在 DH14~DH16 段,主成分综合得分随时间整体呈下降趋势(图 3(d)),水质逐渐改善.TN 质量浓度在 6 月最高,平均值为 6.91 mg/L,在 8 月最低,平均值为 2.08 mg/L,TP 质量浓度在 6 月最高,为 0.76 mg/L,到 7 月降低为 0.24 mg/L,在 8、9 月质量浓度基本不变. $\text{BOD}_5$  污染情况在 7 月略有上升,之后下降,在 7 月平均质量浓度最高,为 10.00 mg/L,到 9 月降低为 4.40 mg/L.根据主成分分析结果,主要污染物为 TN、 $\text{BOD}_5$  和 TP,整体污染情况呈现 6、7 月污染程度高于 8 月和 9 月.

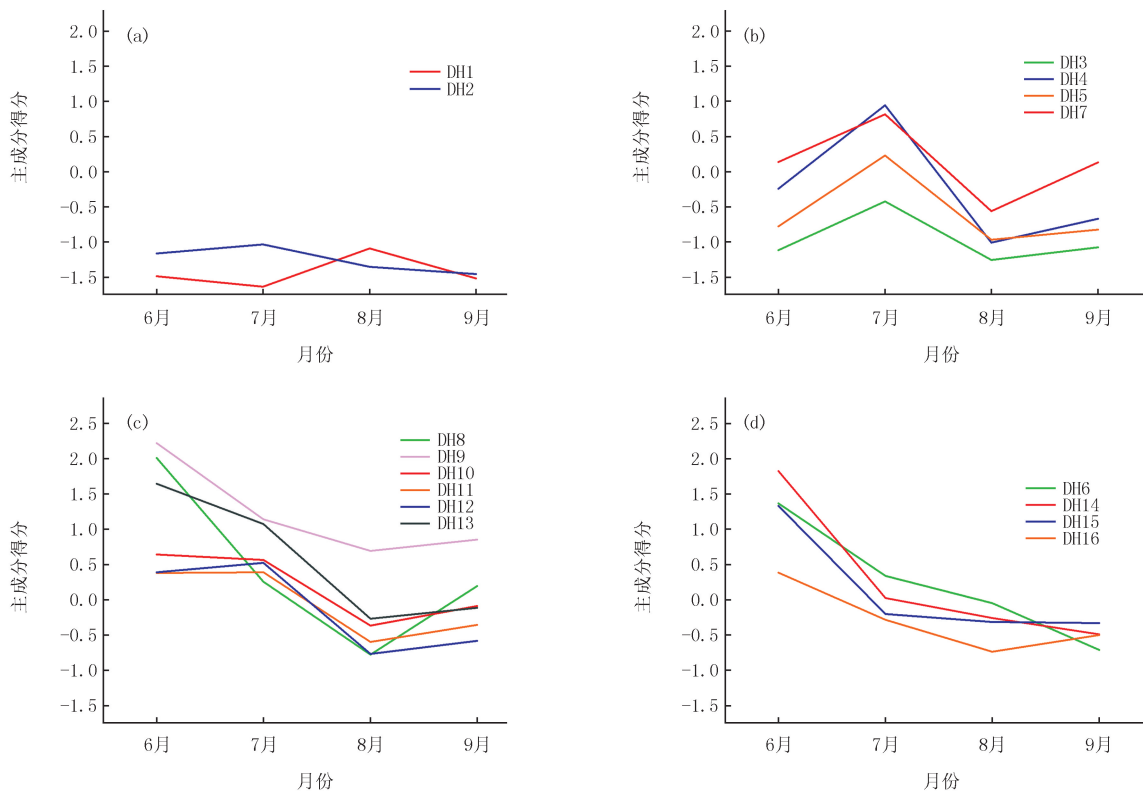


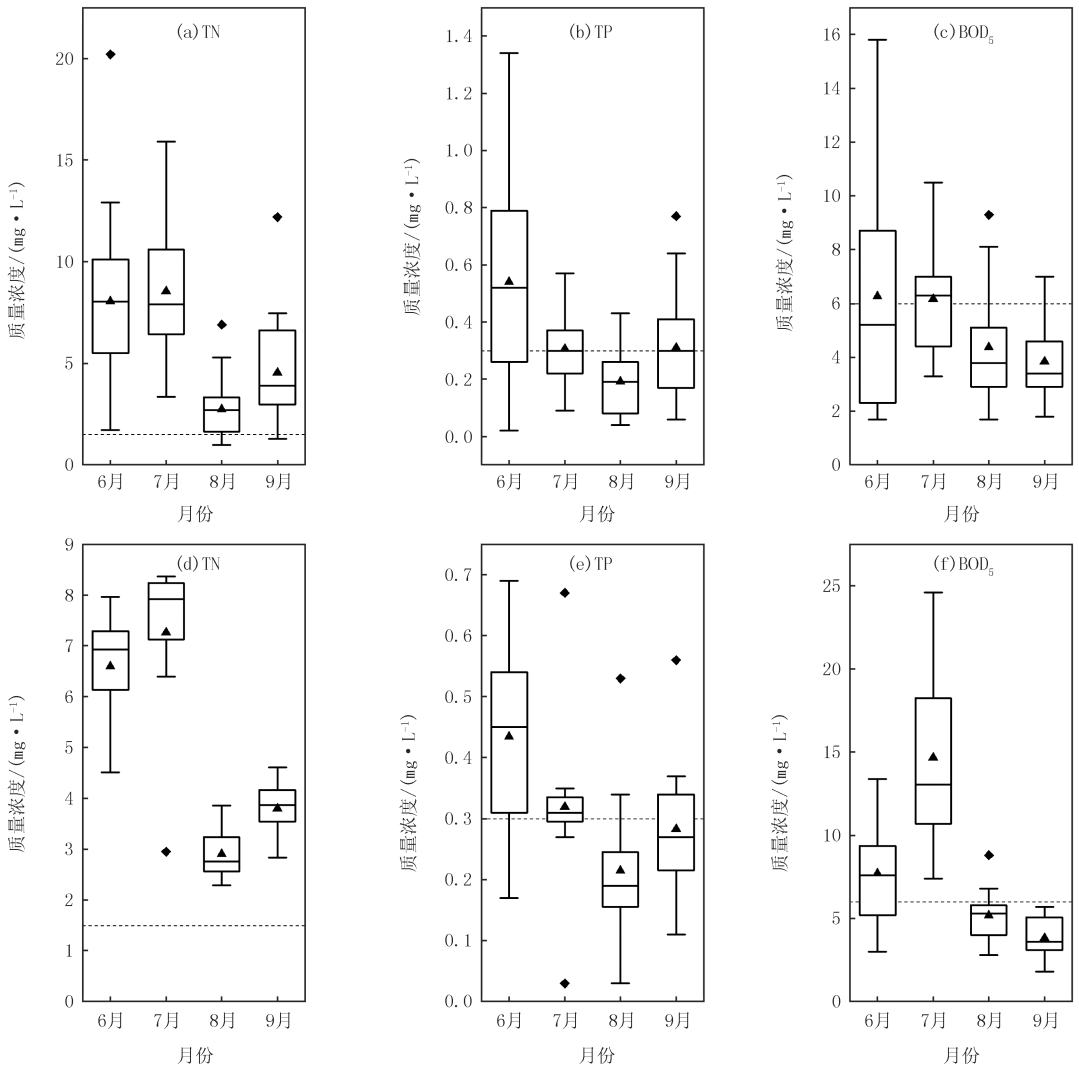
图3 东河干流水质得分情况时间序列图

Fig.3 Time series diagram of water quality scores of the Donghe River main stream

### 3.3 CCME 水质分析结果与主要污染物空间分布差异

根据 3.1 部分,新东河流域水质应达到 GB 3838—2002 规定的 IV 类水标准.CCME-WQI 方法选择主成分分析得到的 7 项水质指标,以 GB 3838—2002 规定的 IV 类水质为标准,对新东河流域 46 个干支流监测点进行超标范围、超标频率和超标幅度的计算,得到新东河流域 CCME-WQI 水质评价空间分布图(图 5)和水质得分图(图 6).

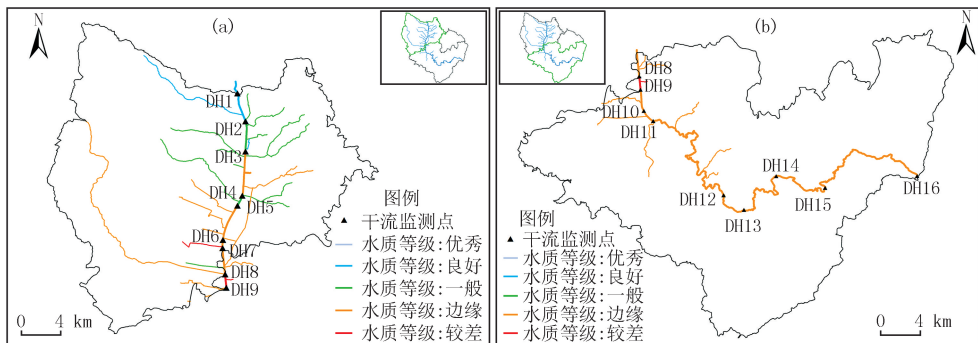
结果显示(图 5),东河源头来水水质较好,在保定市主城区段水体污染严重,之后水质有所改善,在 46 个干支流监测点中,水质质量为良的监测点占总监测点的 17.39%,19.56%监测点水质质量为一般,54.35%监测点水质质量处于边缘和 8.70%监测点水质质量较差,没有水质质量达到优秀的监测点,表明新东河流域内干流水质质量较差,未达到《保定市地表水环境功能区划(2010—2020 年)》要求的水质.根据 CCME-WQI 和主成分综合得分情况(图 6)看,由两种方法得到的水质空间分布情况基本一致,而与单因子评价结果(表 1)相比,主成分分析和 CCME-WQI 方法得到的水质得分减少了水质突变点,清楚反映了水质变化的趋势.靠近东河源头的水体质量更好(DH1 和 DH2),其 CCME-WQI 得分更高,分别为 90.57 和 88.25,各水质参数达标情况较好,可能与此处污水收集管道完善(图 7(a)),水体受人为活动的影响小有关,水质较为健康.从 DH3 到 DH4 监测点处,水质得分迅速降低,DH3 监测点处为 85.43,DH4 为 69.64,主要污染物为 TN,两个监测点的 TN 质量浓度平均值分别为 3.37 mg/L 和 4.82 mg/L,可能与此处干流附近排污企业和畜禽养殖户聚集(图 7(b)),存在大量的点源污染有关.



(a), (b), (c) 为DH3~DH8段污染物质量浓度随时间变化情况, (d), (e), (f) 为DH9~DH13段污染物质量浓度随时间变化情况. 图中三角形为平均值, 菱形为异常值, 虚线为IV类水质限值.

图4 2020年6至9月TN, BOD<sub>5</sub>和TP质量浓度箱线图

Fig. 4 Boxplots of TN, BOD<sub>5</sub> and TP concentrations from June to September 2020



图(a)为东河源头(DH1)至双桥(DH8)段, 图(b)为双桥(DH8)至浪坝塘出境断面(DH16)段. 插图为新东河流域图.

图5 CCME-WQI水质评价空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution map of CCME-WQI water quality assessment

从DH4到DH9监测点,水质得分先有升高,又迅速降低,主要污染物为TN、BOD<sub>5</sub>和TP, TN、TP和BOD<sub>5</sub>质量浓度整体呈上升趋势,其中TN和TP在DH8监测点质量浓度达到最高,平均质量浓度分别为

6.70 mg/L 和 0.42 mg/L, BOD<sub>5</sub> 在 DH9 监测点质量浓度最高, 平均质量浓度为 8.25 mg/L. 污染情况可能与此处排污企业减少, 主要点源污染从农村生活源和排污企业变成城镇生活源, 化肥施用强度高(图 7(c)), 导致面源污染增加有关, 保山市新东河流域 2020 年施用化肥主要为氮肥、磷肥和复合肥, 与分析结果一致.

在 DH9 监测点之后, 河流离开保山市主城区, 城镇生活源污染减少, 化肥施用强度降低, 从 DH10 到 DH14 监测点化肥施用强度为中, 之后化肥施用强度为低, 从水质得分看, 除 DH9 监测点水质为较差外, 其他监测点水质均为边缘, 水质得分持续回升, TN 和 BOD<sub>5</sub> 质量浓度整体呈下降趋势, TP 质量浓度在 0.29 和 0.41 mg/L 之间波动, 在 DH14 监测点质量浓度最高, 可能与磷肥施用增加、污水收集管道不健全禽畜养殖户和农村生活源直排入河有关. 浪坝塘出境断面(DH16)监测点 CCME-WQI 水质得分最高为 61.37, 处于边缘和一般水质的临界区域, 主要污染物为 TN.

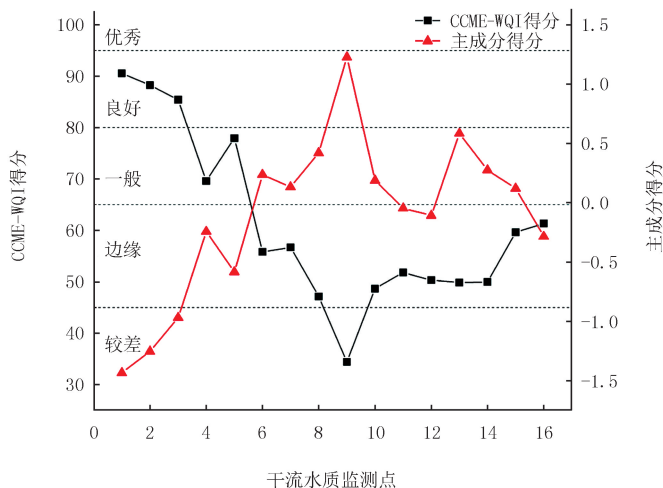


图6 CCME-WQI与主成分得分情况

Fig.6 CCME-WQI and principal component scores

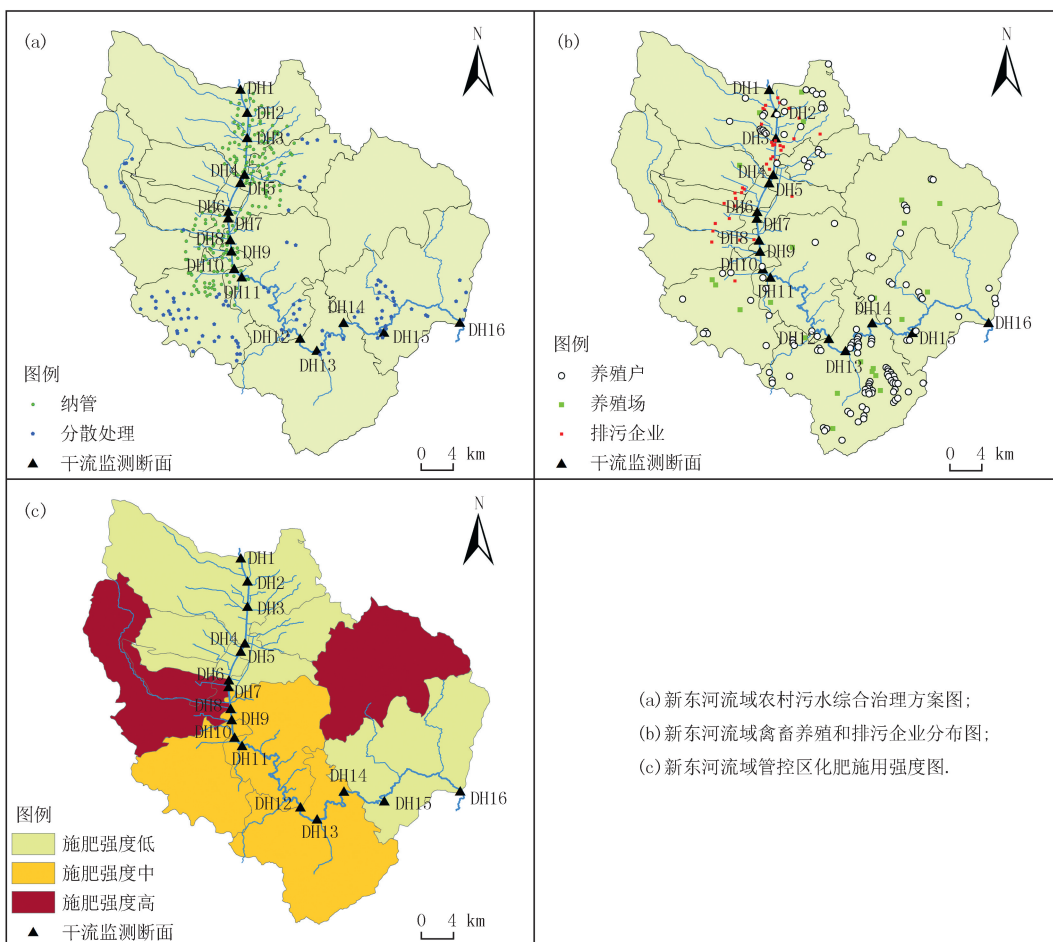


图7 新东河流域污水管道及污染分布图

Fig.7 Distribution map of sewage pipelines and pollution in the New Donghe River basin

整体来看,主要超标污染物来源于城镇生活源、农村生活源、化肥、工业源和分散式禽畜养殖污染源。在DH4监测点前,主要污染来源为农村生活源、分散式禽畜养殖污染源和工业源,在DH5~DH9监测点,主要受施肥强度和城镇污染源影响,在DH9监测点之后,施肥强度影响降低,主要与分散式禽畜养殖污染源和农村生活源直排有关。

## 4 结 论

(1)云南省保山市东河污染严重,单因子评价结果显示,存在62.5%的干流监测点,其水质不满足GB 3838—2002中要求的Ⅳ类水质。

(2)时序全局主成分和CCME-WQI分析结果与单因子评价结果基本一致,但与单因子评价相比,GPCA和CCME-WQI分析结果能更清楚反映水质变化趋势,降低了单个指标对结果的影响,评价结果更全面,同时CCME-WQI可以更好地判断新东河流域水体对Ⅳ类水质的符合情况。

(3)根据时序全局主成分和CCME-WQI分析结果,新东河流域主要污染物为TN、BOD<sub>5</sub>和TP,且其质量浓度具有显著的时空分布差异。时间上,6、7月污染程度高,8、9月污染程度低;空间上,污染程度总体分布由重到轻为中部、东南部、北部,东河源头处来水水质较好。

## 参 考 文 献

- [1] 张宁,冯春红,段尚彪.云南东河流域水功能区环境容量分析及污染控制[J].人民长江,2015,46(13):13-16.  
ZHANG N,FENG C H,DUAN S B.Water environment capacity analysis and pollution control of Donghe River Basin in Yunnan Province [J].Yangtze River,2015,46(13):13-16.
- [2] CHAUDHARY J K.A comparative study of fuzzy logic and WQI for groundwater quality assessment[J].Procedia Computer Science, 2020,171:1194-1203.
- [3] 曹阳.嫩江齐齐哈尔段水环境质量及时空变化特征分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.  
CAO Y.Research on temporal and spatial variation of water environmental quality in Qiqihar section of the Nenjiang[D].Harbin:Harbin Institute of Technology,2018.
- [4] 宁阳明,尹发能.水污染指数法和模糊综合评价法在水质评价中的应用[J].河南师范大学学报(自然科学版),2020,48(6):57-63.  
NING Y M,YIN F N.Application of water pollution index method and fuzzy comprehensive evaluation method in water quality evaluation [J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2020,48(6):57-63.
- [5] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [6] 刘宇,吉正元,刘淑娟,等.三种方法在高原湖泊水质评价中的应用与比较[J].海洋湖沼通报,2020(2):166-174.  
LIU Y,JI Z Y,LIU S J,et al.Application and comparison of three methods in water quality evaluation of plateau lakes[J].Transactions of Oceanology and Limnology,2020(2):166-174.
- [7] 张飞,王维维,辛红云,等.新疆艾比湖流域河湖水水质变化(2005—2020年)[J].湖泊科学,2022,34(2):478-495.  
ZHANG F,WANG W W,XIN H Y,et al.Changes of rivers and lakes water quality in Lake Ebinur Basin,Xinjiang(2005-2020)[J].Journal of Lake Sciences,2022,34(2):478-495.
- [8] GIKAS G D,SYLAIOS G K,TSIHRINTZIS V A,et al.Comparative evaluation of river chemical status based on WFD methodology and CCME water quality index[J].Science of the Total Environment,2020,745:140849.
- [9] 高福,冯棣,孙池涛,等.农业面源污染指标与地表水质量的相关性研究[J].灌溉排水学报,2021,40(6):119-124.  
GAO F,FENG D,SUN C T,et al.The relationship between nonpoint agricultural pollutants and surface water quality in China[J].Journal of Irrigation and Drainage,2021,40(6):119-124.
- [10] 韩晓刚,黄廷林,陈秀珍.基于主成分分析的原水水质模糊综合评价[J].人民黄河,2010,32(9):62-63.  
HAN X G,HUANG T L,CHEN X Z.Fuzzy comprehensive evaluation of raw water quality based on principal component analysis[J].Yellow River,2010,32(9):62-63.
- [11] 傅莉媛,刘相正,许海洋,等.辽宁省大气环境脆弱性研究及影响因素分析[J].环境科学与技术,2021,44(12):60-68.  
FU L Y,LIU X Z,XU H P,et al.Study on the vulnerability of atmospheric environment and analysis of influencing factors in Liaoning Province[J].Environmental Science & Technology,2021,44(12):60-68.
- [12] 蒋正云,胡艳.中部地区新型城镇化与农业现代化耦合协调机制及优化路径[J].自然资源学报,2021,36(3):702-721.  
JIANG Z Y,HU Y.Coupling and coordination between new urbanization and agricultural modernization in Central China[J].Journal of Natural Resources,2021,36(3):702-721.
- [13] 史俊南.黄家湖水环境质量评价及趋势分析[D].武汉:华中科技大学,2015.



- SHI J N. Water environmental quality evaluation and trend analysis of Huangjiahu Lake[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2015.
- [14] 张扬威. 备用饮用水源主要污染因子解析及水质安全评价[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.  
ZHANG Y W. The main pollution factor analysis and water security evaluation in the backup water source[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [15] 赵艳民, 温泉, 秦延文, 等. 基于超标风险改进的加拿大水质指数及其应用[J]. 中国环境监测, 2021, 37(4): 143-149.  
ZHAO Y M, WEN Q, QIN Y W, et al. Improved Canadian council of ministers of the environment water quality index based on risk of exceeding standards and its application[J]. Environmental Monitoring in China, 2021, 37(4): 143-149.
- [16] 张坤锋, 昌盛, 张琦, 等. 磨刀门水道输水水库群饮用水源水质的时空变化[J]. 环境科学, 2022, 43(12): 5509-5521.  
ZHANG K F, CHANG S, ZHANG Q, et al. Spatiotemporal variation in water quality of modaomen waterway conveyance reservoir drinking water sources[J]. Environmental Science, 2022, 43(12): 5509-5521.
- [17] 段茂庆, 许雍, 苑飞燕, 等. 白洋淀近5年水生态环境质量变化趋势与营养状态分析[J]. 环境化学, 2022, 41(6): 1988-2000.  
DUAN M Q, XU W, YUAN F Y, et al. Analysis on the trend and nutritional status of water environment quality in Baiyangdian Lake in recent 5 years[J]. Environmental Chemistry, 2022, 41(6): 1988-2000.
- [18] 翁巧然, 吕旭波, 孙明东, 等. 基于控制单元划分的大辽河流域污染物空间分布及来源解析[J]. 环境工程技术学报, 2023, 13(1): 171-179.  
WENG Q R, LYU X B, SUN M D, et al. Spatial distribution and source analysis of pollutants in Daliao River Basin based on control unit division[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2023, 13(1): 171-179.
- [19] 张雪丹. 额尔古纳河流域农业面源污染现状分析及控制对策研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.  
ZHANG X D. Current agricultural non-point source pollution status of erguna basin and pollution controlling measures[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019.
- [20] 李丹丹. 基于水质自动监测中的重要指标关联性分析[J]. 广州化工, 2022, 50(15): 149-152.  
LI D D. Correlation analysis of important indexes in automatic water quality monitoring[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2022, 50(15): 149-152.

## Analysis of water quality of Donghe River in Baoshan City based on GPCA and CCME-WQI methods

Wang Xueze<sup>1</sup>, Zhu Changjun<sup>1,2</sup>, Zhang Pu<sup>1</sup>, Miao Lu<sup>1</sup>, Li Boqin<sup>1</sup>

(1. College of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Water quality assessment is a basic work for the protection, development and utilization of water resources. In order to systematically evaluate the pollution of the Donghe River in Baoshan City and identify the main pollutants and pollution sources, this study analyzed the temporal and spatial variation of the water quality parameters of the main stream in Donghe River by using time series global principal component analysis(GPCA) and Canadian Conference of Ministers of the Environment Water Quality Index(CCME-WQI) based on the water quality monitoring data of the New Donghe River basin in 2020. The results show that the main pollutants in the Donghe River were total nitrogen, five-day biochemical oxygen demand and total phosphorus. The results of principal component comprehensive score show that the pollution level was high in June and July and low in August and September. The CCME-WQI results show that the overall water quality in the New Donghe River basin was poor, and the degree of pollution ranged from heavy to light in the order of central, southeastern and northern. The pollutants mainly come from urban and rural living sources, chemical fertilizers, industrial sources, and distributed livestock breeding pollution sources. This study can provide a theoretical basis for the treatment and improvement of water environment pollution of Donghe River in Baoshan City.

**Keywords:** Donghe River; time series global principal component analysis; CCME-WQI; temporal and spatial variation