

南京建邺区城市黑臭水体特征及其影响评价

王 凯¹, 王延华², 朱国伟¹, 屈森虎³

(1.南京师范大学环境学院,江苏 南京 210023)

(2.南京师范大学地理科学学院,江苏 南京 210023)

(3.南京市建邺区环境监测站,江苏 南京 210019)

[摘要] 城市黑臭水体直接影响人民生活,为研究南京市建邺区水体黑臭状况及其时空差异特征,比较了 2017 年和 2018 年建邺区 30 条河流和 2 个湖泊的水质数据.运用单因子评价法和综合污染指数法对城市黑臭水体进行分析.单因子评价法结果表明,氨氮浓度和总磷浓度是建邺区河湖水质的限制性因子.综合污染指数法结果表明,2017 年建邺区 72% 的水体属于重度污染和轻度污染.2018 年由于采用控源截污、内源治理和生态修复等技术措施,水质评价结果显示 69% 的河道为清洁和较清洁.区域差异研究发现建邺区南部河流水质较好,中部次之,北部较差,原因可能是北部和中部城市化水平较高,人为活动对河湖水质影响较大.该时空差异研究结果可为建邺区黑臭水体的治理提供支撑.

[关键词] 建邺区,水质评价,单因子评价法,综合污染指数法,时空差异

[中图分类号] X824 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2020)03-0071-10

Characteristics and Evaluation of Urban Malodorous River in Jianye District, Nanjing

Wang Kai¹, Wang Yanhua², Zhu Guowei¹, Qu Senhu³

(1.School of Environment, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2.School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(3.Jianye District Environmental Monitoring Station of Nanjing, Nanjing 210019, China)

Abstract: Urban malodorous river directly affects people's production and life. In order to study the water health status and its spatial and temporal differences in Jianye District of Nanjing, the water quality monitoring data of 30 rivers and 2 lakes in Jianye District in 2017 and 2018 were compared. Single factor assessment method and comprehensive pollution index method were applied to evaluate the water quality of urban malodorous river. The single factor assessment indicated that the first restrictive factors of water quality were $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and TP. In 2017, 72% of river courses in Jianye District were mildly polluted and heavily polluted. Through the use of technical measures such as source control, endogenous management and ecological restoration, water quality assessment results in 2018 showed that 69% of the river was clean and relatively clean. According to regional differences, the water quality of the river in Jianye District is the best in the south, the second in the middle and the worst in the north. The regional difference study found that the water quality in the southern part of Jianye District was the best, followed by the middle rivers and then the northern rivers, probably because of the higher levels of urbanization and human activities in the north and middle of Jianye District. The results can provide a support for the treatment of malodorous river in Jianye District.

Key words: Jianye District, water quality assessment, single factor assessment method, comprehensive pollution index method, spatial-temporal differences

随着经济发展和城市化进程加快,城市内河受人类活动的影响,河道污染日益严重.在 2015 年国务院印发的《水污染防治行动计划》中明确指出,到 2020 年,地级及以上城市建成区黑臭水体均控制在 10% 以

收稿日期:2019-12-30.

基金项目:国家自然科学基金项目(41673107).

通讯作者:朱国伟,副教授,研究方向:资源环境经济学与可持续发展. E-mail: gwzhu@njnu.edu.cn

内. 南京市政府投入大量人力财力,采用增氧曝气、引水冲污、河底淤泥疏浚、源头拦截等物理方法和生态浮床、生态修复等生物生态方法,对南京市的黑臭河道进行治理. 目前,南京市黑臭河道的水质逐渐好转.

本文对南京市建邺区的黑臭河道的水质状况进行科学评价. 建邺区水系丰富,主流支流较多,但河道多为断头河,河流连通性较差,导致黑臭水体达到 25% 以上. 在对黑臭水体进行治理前,需进行水质评价. 常见的评价方法主要有:单因子评价法^[1-3]、综合污染指数法^[4-6]、主成分分析法^[7-11]、模糊综合评判法^[12-14]、灰色关联系数法^[15-16]、人工神经网络法^[17-18]等. 由于适用条件不一,侧重点不同,本文将联合运用多种评价方法对南京市建邺区 2017—2018 年的水质状况进行评价,以期为南京市城市河道黑臭水体的治理提供基础资料.

1 研究区概况

建邺区位于江苏省南京市西南部,东面和南面紧邻外秦淮河、南河和秦淮新河,西临长江,北止汉中门大街. 属北亚热带湿润气候,四季分明,年均温度 15.5 ℃,年均降水量 1 025.6 mm. 水资源丰富,河流众多,西有南京主要饮用水源的长江夹江,东北有南京“母亲河”秦淮河,南有 1980 年竣工的人工河秦淮新河等. 辖区内两大湖泊:莫愁湖和南湖.

本研究以建邺区 30 条河流和南湖、莫愁湖 2 个湖泊为研究对象,设置 32 个采样点,具体分布如图 1 所示. 实验数据为建邺区环境监测站 2017—2018 年监测数据,主要涉及 pH 值、氧化还原电位、透明度、溶解氧含量 DO、化学需氧量 COD、NH₄⁺-N 浓度、总磷含量 TP 和石油类 8 个指标. 其中, pH 值采用玻璃电极法(GB/T 6920—1986)测定; DO 采用碘量法(GB 7489—1987)测定; COD 采用重铬酸钾法(GB 11914—1989)测定; NH₄⁺-N 浓度采用纳氏试剂分光光度法(HJ 535—2009)测定; TP 采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—1989)测定;石油类采用红外分光光度法(HJ 637—2012)测定.

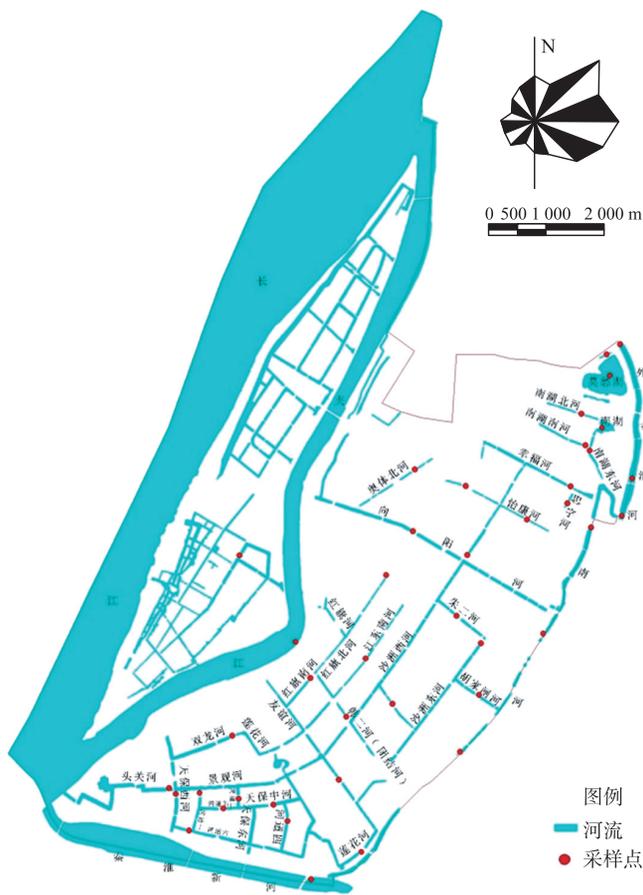


图 1 南京建邺区河流及采样点分布图
Fig. 1 Rivers distribution and sampling sites in Jianye District in Nanjing

2 研究方法

2.1 单因子评价法

单因子评价法是通过将水体健康评价因子的实测值与该地区地表水环境质量目标的标准值进行对比,从而确定各评价因子的水质类别,并从所有评价因子中选取最差水质类别作为该水体的水质类别^[19]. 单因子评价法易于操作,但存在一定的局限性. 该方法只考虑污染最严重的评价因子,忽略了其他污染相对较小的评价因子^[20].

2.2 综合污染指数法

综合污染指数法根据计算方法的不同可分为多种类型,常见的有加权平均型综合污染指数、代数叠加型综合污染指数、幂指数型综合污染指数和向量模法综合污染指数^[21]. 本研究采用加权平均型综合污染指数. 目前,赋权方法较多,如污染物浓度超标法、主成分分析法、等权重法、专家打分法、熵值法等^[22],本研究采用污染物浓度超标法,计算公式为:

$$P_j = \sum_{i=1}^n \omega_i P_{ij}, \tag{1}$$

$$\omega_i = \frac{\frac{C_i}{S_i}}{\sum_1^n \frac{C_i}{S_i}}, \quad (2)$$

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{S_i}, \quad (3)$$

式中, P_j 为 j 采样点综合污染指数; n 为参与评价的指标项数; ω_i 为第 i 项指标的权重; P_{ij} 为 j 采样点 i 项指标的污染指数; C_i 为 i 项指标在水中的实测值; S_i 为 i 项指标评价标准值(本文取Ⅲ类标准限值, 计算湖泊水样时 S_i 选取湖泊所对应的标准值); C_{ij} 为 j 采样点 i 项指标的年平均值. 其中, DO、氧化还原电位、透明度的污染指数 P_{ij} 取其倒数.

2.3 相关性分析

相关分析是度量两个或多个变量之间相关程度的统计分析方法, 常见的相关系数有 Pearson、Spearman 和 Kendall 等^[23]. 本文采用 Pearson 相关系数. Pearson 相关系数又称积差相关系数, 最终计算结果为-1 到 1 之间, 对应的分析结果为正相关、负相关和不相关, 计算结果绝对值越大, 说明两者之间的相关性越强.

3 结果与讨论

3.1 2017—2018 年南京建邺区黑臭水体时空变化特征

根据建邺区的水文节律, 6—9 月为丰水期; 4—5 月和 10—11 月为平水期; 1—3 月和 12 月为枯水期. 取各采样点平水期、丰水期和枯水期水质指标监测均值, 结果如图 2~图 5 所示.

3.1.1 pH 值、DO 和 COD 的变化

由图 2 和图 3 可知, 南京建邺区水体 2017—2018 年 pH 值范围为 7.10~8.48, 呈弱碱性, 总体表现为枯水期>丰水期>平水期. 各采样点 DO 平均值范围为 1.16~9.82 mg/L, 除中部的怡康河和北部的南湖南河、进水渠, 其余河湖均高于 2 mg/L(Ⅴ类水质标准限值), 总体表现为枯水期>丰水期>平水期, 空间上南部>中部>北部. 2017 年 COD 平均值范围为 14~86 mg/L, 除南部的莲花河、中部的奥体北河和北部的进水渠, 其余河湖均低于 40 mg/L(Ⅴ类水质标准限值), 总体表现为枯水期>丰水期>平水期, 空间上北部>中部>南部. 2018 年 COD 平均值范围为 8~47 mg/L, 相比 2017 年 COD 明显降低, 除北部的进水渠外均低于 40 mg/L(Ⅴ类水质标准限值), 总体表现为枯水期>平水期>丰水期, 空间上北部>中部>南部.

3.1.2 营养盐浓度分布特征

由图 4 和图 5 可知, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度 2017 年全年平均值范围为 0.08~18.22 mg/L, 除南部的双龙河、景观河、河道一、河道六和北部的莫愁湖, 其他的河湖均高于 2 mg/L(Ⅴ类水质标准限值), 总体表现为枯水期>丰水期>平水期. 2018 年 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度较 2017 年有明显降低, 全年平均值范围为 0.28~12.01 mg/L, 其中南部的河流中除景观河外, 其他河流均低于 2 mg/L(Ⅴ类水质标准限值). 中部和北部河流 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度都有不同程度降低, 空间上表现为北部>中部>南部. 2017 年 TP 全年平均值范围为 0.10~2.00 mg/L, 南部除友谊河和莲花河外, 其他河流均低于 0.4 mg/L(Ⅴ类水质标准限值), 总体表现为丰水期>平水期>枯水期. 2018 年 TP 较 2017 年有所降低, 全年平均值范围为 0.08~1.27 mg/L, 除中部的胡家闸河、奥体北河、立志河和北部的忠字河、进水渠外, 其他河流均低于 0.4 mg/L(Ⅴ类水质标准限值), 空间上表现为北部>中部>南部. 南湖和莫愁湖 2018 年 TP 全年平均值分别为 0.15 和 0.24 mg/L, 莫愁湖 TP 略高于 0.2 mg/L(Ⅴ类水质标准限值).

可见, 南京建邺区水体呈弱碱性, 部分河流 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 超标严重. 2017 年 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度达标的采样点仅占比为 15.63%, TP 达标的采样点占比为 62.5%. 2018 年建邺区水质较 2017 年有明显好转, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 达标的采样点占比分别上升为 56.25% 和 84.38%. 空间上, 建邺区南部水质明显优于建邺区中部和北部地区. 2017 年南部黑臭河道数仅占总数的 7%, 而中部和北部分别达到了 27% 和 57%.

采用单因子评价法对各采样点的水质类别进行评价. 当 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度不参与评价、定类项目为 TP 时,

2017 年 V 类和劣 V 类采样点的占比分别为 62.5% 和 37.5%, 2018 年 V 类和劣 V 类采样点的占比分别为 81.25% 和 18.75%。当 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度参与评价、定类项目为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度时, 2017 年 V 类水质采样点的占比仅为 15.63%, 劣 V 类水质采样点的占比达到了 84.37%; 2018 年 V 类水质采样点的占比达到 56.25%, 劣 V 类水质采样点的占比为 43.75%。

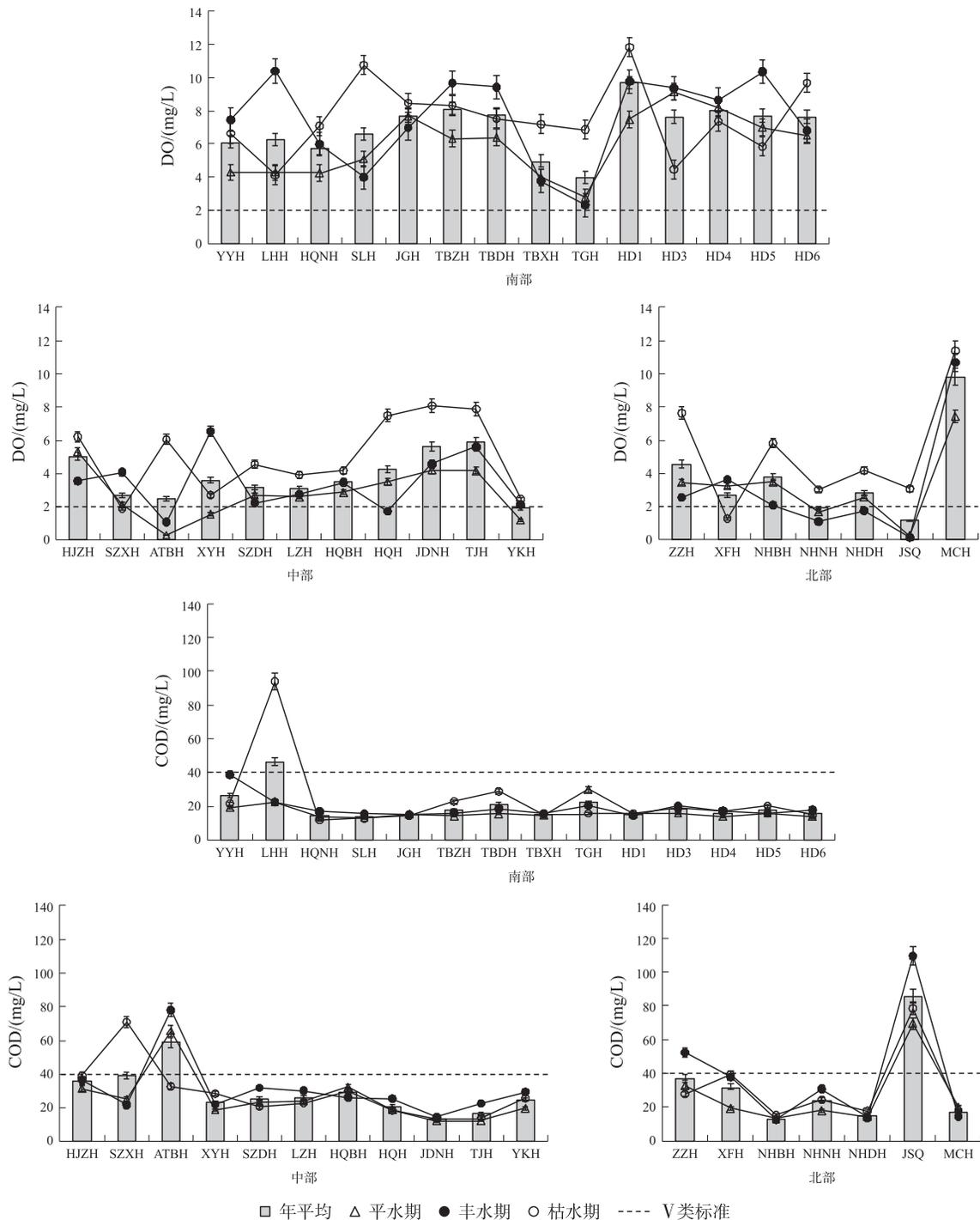


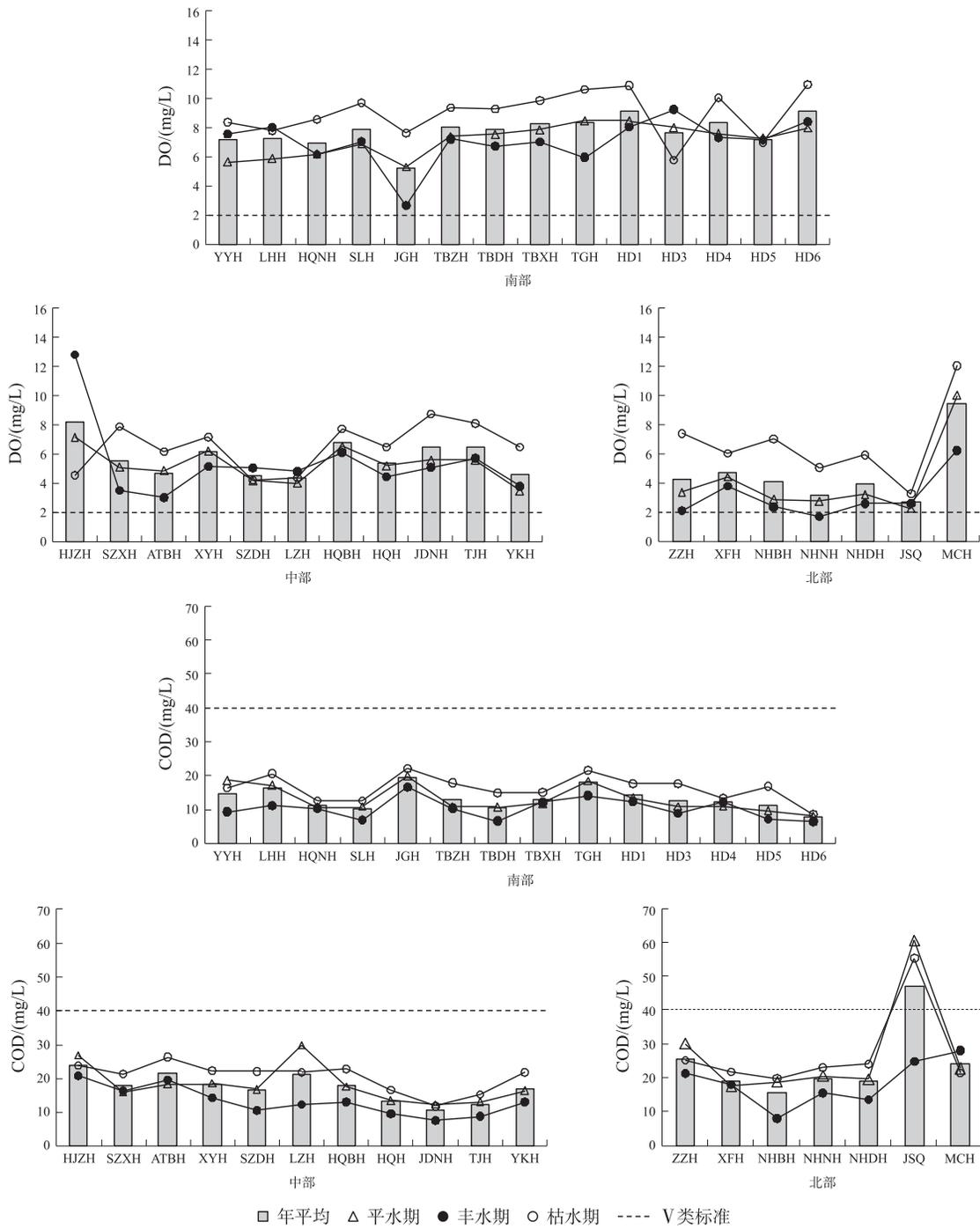
图 2 2017 年建邺区各监测点测得的 DO 和 COD 数据

南部: YYH-友谊河; LHH-莲花河; HQNH-红旗南河; SLH-双龙河; JGH-景观河; TBZH-天保中河; TBDH-天保东河; TBXH-天保西河; TGH-头关河; HD1-河道一; HD3-河道三; HD4-河道四; HD5-河道五; HD6-河道六;

中部: HJZH-胡家闸河; SZXH-沙洲西河; ATBH-奥体北河; XYH-向阳河; SZDH-沙洲东河; LZH-立志河; HQBH-红旗北河; HQH-红旗河; JDNH-江东南河; TJH-团结河; YKH-怡康河;

北部: ZZH-忠字河; XFH-幸福河; NHHB-南湖北河; NHHN-南湖南河; NHDH-南湖东河; JSQ-进水渠; MCH-莫愁湖。

图 2 Average contents of DO and COD in Jianye District in 2017



南部:YYH-友谊河;LHH-莲花河;HQNH-红旗南河;SLH-双龙河;JGH-景观河;TBZH-天保中河;TBDH-天保东河;TBXH-天保西河;TGH-头关河;HD1-河道一;HD3-河道三;HD4-河道四;HD5-河道五;HD6-河道六;

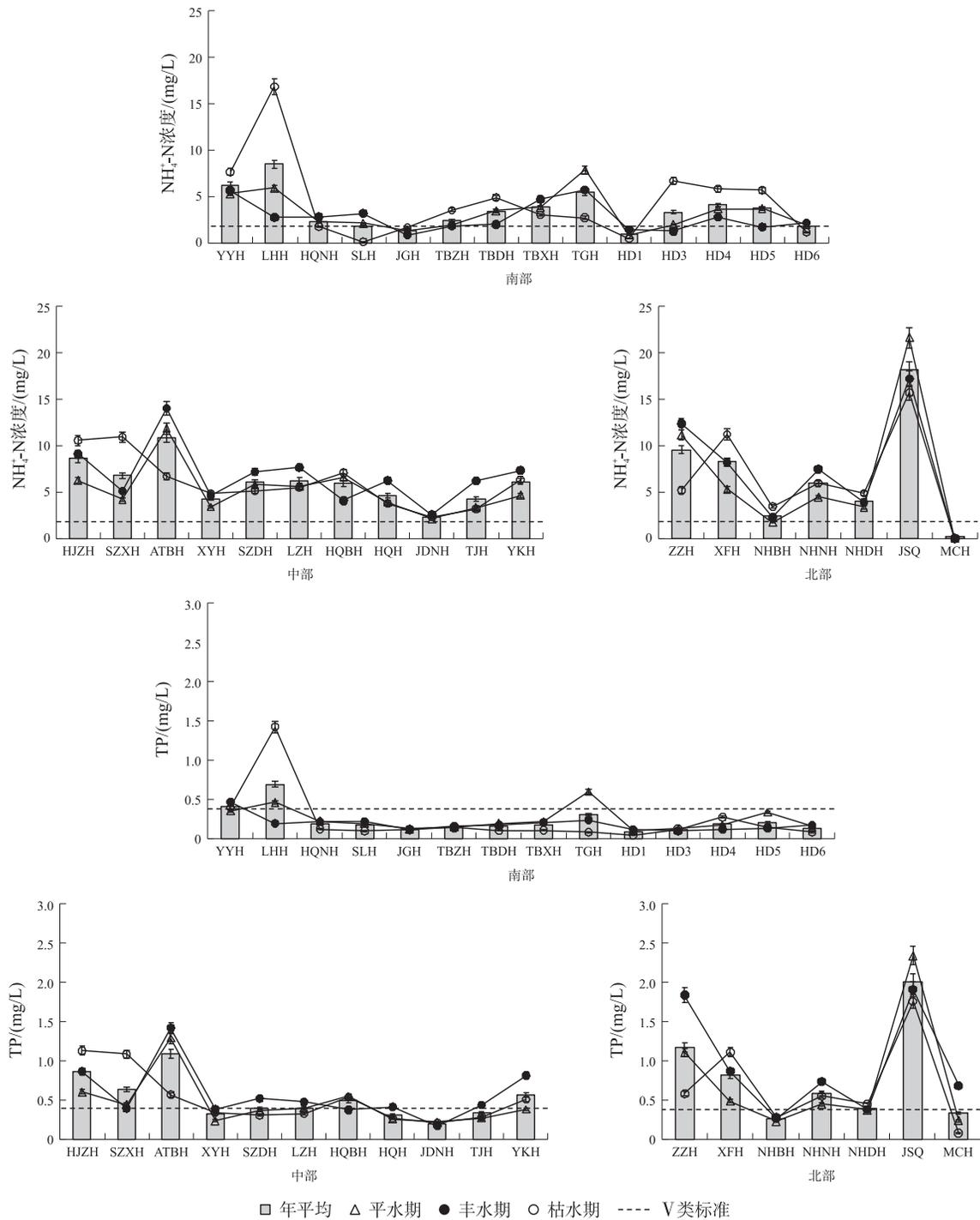
中部:HJZH-胡家闸河;SZXH-沙洲西河;ATBH-奥体北河;XYH-向阳河;SZDH-沙洲东河;LZH-立志河;HQBH-红旗北河;HQH-红旗河;JDNH-江东南河;TJH-团结河;YKH-怡康河;

北部:ZZH-忠字河;XFH-幸福河;NHBH-南湖北河;NHNH-南湖南河;NHDH-南湖东河;JSQ-进水渠;MCH-莫愁湖。

图3 2018年建邺区各监测点测得的DO和COD数据

Fig. 3 Average contents of DO and COD in Jianye District in 2018

从不同水期的水质评价结果来看,当 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度不参与评价、定类项目为 TP 时,平水期水质略好于丰水期和枯水期。当 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度参与评价时,2017 年各水期的劣 V 类采样点占比均在 80% 以上,无明显差异;2018 年枯水期水质明显差于平水期和丰水期,其中枯水期劣 V 类采样点占比为 62.5%,平水期和丰水期劣 V 类采样点占比均为 40.63%。由此可见, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 是南京建邺区水质的限制性因子,在各个水期对建邺区水质都有重要的影响。



南部:YYH-友谊河;LHH-莲花河;HQNH-红旗南河;SLH-双龙河;JGH-景观河;TBZH-天保中河;TBDH-天保东河;TBXH-天保西河;TGH-头关河;HD1-河道一;HD3-河道三;HD4-河道四;HD5-河道五;HD6-河道六;

中部:HJZH-胡家闸河;SZXH-沙洲西河;ATBH-奥体北河;XYH-向阳河;SZDH-沙洲东河;LZH-立志河;HQBH-红旗北河;HQH-红旗河;JDNH-江东南河;TJH-团结河;YKH-怡康河;

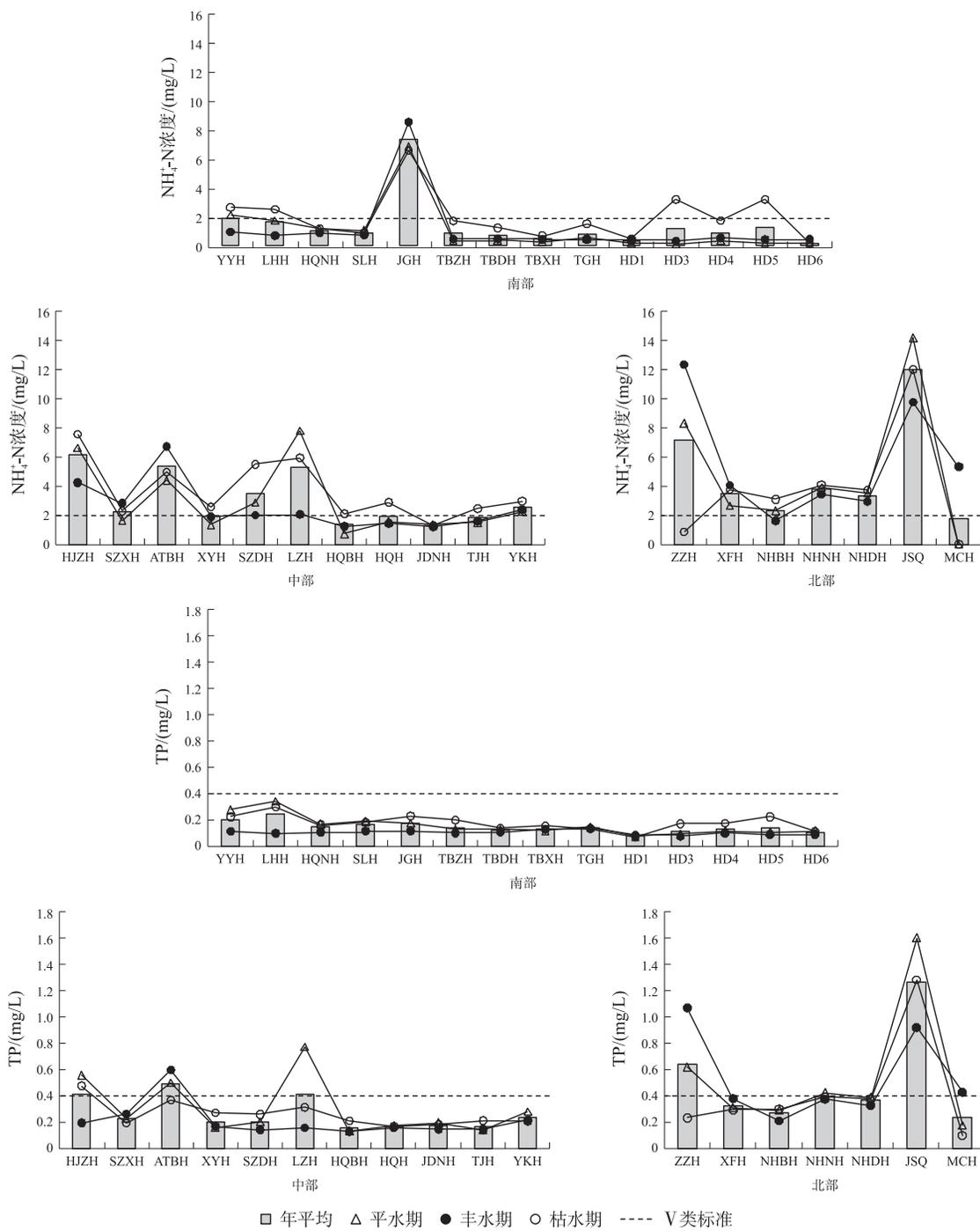
北部:ZZH-忠字河;XFH-幸福河;NHBH-南湖北河;NHNH-南湖南河;NHDH-南湖东河;JSQ-进水渠;MCH-莫愁湖。

图 4 2017 年建邺区各监测点测得的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 数据

Fig. 4 Average contents of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and TP in Jianye District in 2017

3.2 南京建邺区黑臭水体形成的环境因素分析

本文根据《城市黑臭水体整治工作指南》中对城市黑臭水体污染程度的分级标准,以 2017 年和 2018 年建邺区逐月水质数据为依据,把河道划分为非黑臭、轻度黑臭和重度黑臭.将 pH 值、氧化还原电位、透明度、DO、COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度、TP 和石油类 8 个指标,分别与黑臭状况进行相关性分析,结果如表 1 所示。



南部:YYH-友谊河;LHH-莲花河;HQNH-红旗南河;SLH-双龙河;JGH-景观河;TBZH-天保中河;TBDH-天保东河;TBXH-天保西河;TGH-头关河;HD1-河道一;HD3-河道三;HD4-河道四;HD5-河道五;HD6-河道六;
 中部:HJZH-胡家闸河;SZXH-沙洲西河;ATBH-奥体北河;XYH-向阳河;SZDH-沙洲东河;LZH-立志河;HQBH-红旗北河;HQH-红旗河;JDNH-江东南河;TJH-团结河;YKH-怡康河;
 北部:ZZH-忠字河;XFH-幸福河;NHBH-南湖北河;NHNH-南湖南河;NHDH-南湖东河;JSQ-进水渠;MCH-莫愁湖。

图 5 2018 年建邺区各监测点测得的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 数据

Fig. 5 Average contents of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and TP in Jianye District in 2018

表 1 各指标与黑臭状况的相关性系数

Table 1 Correlation coefficient between each indicator and malodorous status

项目	pH	氧化还原电位	透明度	DO	COD	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度	TP	石油类
皮尔森相关系数	-0.24	-0.61	-0.22	-0.57	0.58	0.76	0.73	0.20

数据通过 SPSS 软件计算得来。

当皮尔森相关系数为正数时,指标与黑臭状况为正相关关系;反之,两者为负相关关系.皮尔森相关系数绝对值越大,表明两者之间的相关关系越强.当皮尔森相关系数绝对值大于 0.8 时,表示两者之间具有较强的线性相关性;小于 0.3 时,表示两者之间的线性关系较弱.

由计算结果可知,pH 值、透明度、石油类与黑臭状况的皮尔森相关系数的绝对值小于 0.3,即 pH 值、透明度、石油类与河道黑臭的相关关系较弱.氧化还原电位、DO、COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 与河道黑臭状况均有较高的相关关系.其中,DO 和氧化还原电位与河道黑臭为负相关,即 DO 和氧化还原电位越低,河道黑臭越严重.COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 与河道黑臭为正相关,即随着 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 的增长,河道黑臭越严重. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 与黑臭状况的皮尔森相关系数最高,分别达到 0.76 和 0.73,说明 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 对河道黑臭状况的影响最大.在消除黑臭河道时,应注重降低氮磷营养盐浓度,需采取更多的生态修复措施.

3.3 南京建邺区黑臭水体评价及其发展趋势

分别根据 2017 年和 2018 年南京市建邺区各监测点所监测到的各项指标,用污染物浓度超标法计算 2017 年和 2018 年各指标权重,结果如表 2 所示. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 超标较严重,相对应的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 的权重也高.2018 年相较于 2017 年,水质因治理有所好转, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 都有较大降低, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP 对应的权重有所下降,但仍为权重最大的两项指标.

表 2 2017 年、2018 年各污染指标权重

Table 2 Index weight of comprehensive pollution index in 2017 and 2018

年份	pH	氧化还原电位	透明度	DO	COD	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度	TP	石油类
2017 年	0.08	0.04	0.04	0.08	0.11	0.43	0.18	0.04
2018 年	0.13	0.05	0.07	0.10	0.11	0.34	0.16	0.04

根据地表水环境质量标准(GB 3838—2002)和城市黑臭水体污染程度分级标准,计算出Ⅲ类地表水对于综合污染指数为 1,Ⅳ类地表水对于综合污染指数为 1.77(2017 年)和 1.73(2018 年),Ⅴ类地表水对于综合污染指数为 2.66(2017 年)和 2.63(2018 年).根据综合污染指数将水质划分为 4 个等级:2017 年清洁(0~1)、较清洁(1~1.77)、轻度污染(1.77~2.66)、重度污染(>2.66);2018 年清洁(0~1)、较清洁(1~1.73)、轻度污染(1.77~2.63)、重度污染(>2.63).

用计算所得的 2017 年和 2018 年的指标权重,分别计算南京市建邺区 32 个水质采样点 2017 年、2018 年全年及不同水期的综合污染指数,结果如表 3 所示.2017 年南京市建邺区全年的综合污染指数在 0.61~10.66 之间,平水期、丰水期和枯水期的综合污染指数范围分别为 0.55~13.51、0.80~12.69、0.35~9.30.其中水质最好的为莫愁湖(0.61),水质最差的为进水渠(10.66).2018 年综合污染指数较 2017 年有明显降低,全年的综合污染指数在 0.48~5.78 之间,平水期、丰水期和枯水期的综合污染指数范围分别为 0.44~6.96、0.50~5.63、0.43~5.79,其中水质最好的为南部的河流六(0.48),水质最差的仍为北部的进水渠(5.78).

2018 年综合污染指数最高的两条河流为建邺区北部的忠字河(3.41)和进水渠(5.78).忠字河和进水渠道长度较短,分别为 300 m 和 335 m.两条河流与其他水域无连通点,属于断头河,河流无流通性,没有与其他河流物质交换的渠道,从而导致 DO 低,污染物质难以自净.为缓解忠字河和进水渠的黑臭状况,建邺区政府采用曝气装置,增加水体内 DO;同时使用生态浮床,吸收水体中的氮磷营养盐,从而降低水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和 TP.

总体而言,建邺区南部河流水质明显好于中部和北部,主要原因可能是建邺区南部主要为待建区或正在建设的区域,而建邺区中部和北部为城市建成区.建邺区南部的很多河都保留了自然状况,河岸类型以自然土质岸为主,河流周围植被覆盖率高,生态环境较好.同时南部河流相互之间连接,河流流通性好,物质交换频繁,从而水体中 DO 高,各种污染物浓度也相对较低.而建邺区中部和北部河道位于城市建成区,河道渠化现象严重,河岸类型主要为直立式钢筋混凝土,河流两侧主要为交通道路,河岸植被覆盖率较低.建邺区北部河流多为断头河,部分原先连通的河道被人为闸坝隔断,河流流通性较差,降低了河流自身的自净能力.

表 3 建邺区各采样点综合污染指数
Table 3 Comprehensive pollution index in sampling distributions of Jianye District

采样点	2017 年				2018 年					
	平水期	丰水期	枯水期	年平均	平水期	丰水期	枯水期	年平均		
南部	友谊河	2.96	3.31	3.99	3.41	1.35	0.75	1.44	1.18	
	莲花河	3.36	1.71	9.30	4.78	1.30	0.69	1.49	1.16	
	红旗南河	1.52	1.74	1.15	1.47	0.88	0.74	0.86	0.83	
	双龙河	1.40	1.93	0.41	1.23	0.86	0.67	0.78	0.77	
	景观河	0.99	0.80	1.10	0.96	2.89	3.50	2.81	3.05	
	天保中河	1.27	1.24	1.97	1.49	0.55	0.58	1.09	0.74	
	天保东河	1.99	1.34	2.58	1.97	0.58	0.58	0.87	0.67	
	天保西河	2.19	2.58	1.71	2.15	0.54	0.60	0.69	0.61	
	头关河	4.43	3.13	1.55	3.01	0.70	0.64	0.99	0.78	
	河道一	0.75	1.03	0.53	0.77	0.48	0.55	0.57	0.53	
	河道三	1.26	0.96	3.34	1.85	0.44	0.50	1.60	0.84	
	河道四	2.03	1.62	3.08	2.24	0.54	0.63	1.06	0.74	
	河道五	2.23	1.16	2.91	2.10	0.50	0.54	1.64	0.89	
	河道六	1.29	1.43	0.87	1.19	0.46	0.55	0.43	0.48	
	中部	胡家闸河	3.66	5.17	6.03	4.95	3.14	1.99	3.40	2.83
		沙洲西河	2.70	2.93	6.44	4.00	1.16	1.63	1.32	1.36
奥体北河		8.12	8.30	3.80	6.33	2.36	3.26	2.42	2.67	
向阳河		2.20	2.69	2.86	2.54	0.98	1.18	1.50	1.22	
沙洲东河		3.28	4.08	2.84	3.39	1.57	1.19	2.52	1.76	
立志河		3.24	4.19	3.05	3.48	3.80	1.23	2.70	2.58	
红旗北河		3.81	2.54	3.95	3.43	0.75	0.91	1.29	0.98	
红旗河		2.29	3.60	2.17	2.65	1.07	1.01	1.49	1.19	
江东南河		1.44	1.59	1.46	1.49	0.99	0.90	0.92	0.94	
团结河		1.99	3.43	1.91	2.44	1.02	1.02	1.36	1.13	
怡康河		2.95	4.42	3.65	3.66	1.46	1.41	1.60	1.48	
忠字河		6.24	7.60	3.13	5.63	3.84	5.63	0.87	3.41	
幸福河		3.12	4.79	6.53	4.78	1.58	2.13	1.92	1.87	
北部		南湖北河	1.31	1.66	2.06	1.66	1.51	1.20	1.68	1.43
		南湖南河	2.82	4.58	3.49	3.60	2.17	2.06	2.13	2.09
		南湖东河	2.18	2.49	2.86	2.49	1.99	1.77	1.99	1.90
	进水渠	13.51	12.69	9.16	10.66	6.96	4.61	5.79	5.78	
	莫愁湖	0.55	0.92	0.35	0.61	0.55	2.61	0.45	1.20	

按照该水质分级标准,将 2017 年、2018 年南京市建邺区河流划分为清洁、较清洁、轻度污染和重度污染 4 个级别. 2017 年,南京市建邺区重度污染的河流占比达到 40% 以上,其中枯水期最严重,重度黑臭河道占比高达 56%,总体上水质状况丰水期>平水期>枯水期,空间上建邺区南部(2.04)<中部(3.49)<北部(4.20),建邺区南部河流总体上处于轻度污染状况,建邺区中部和北部河流总体上处于重度污染状况. 2018 年相较于 2017 年,南京市建邺区水质有明显改善,重度污染的河流占比由 44% 下降到 16%,清洁河流占比由 9% 上升至 41%,其中清洁和较清洁的河流占总数的 70%,总体上水质状况丰水期>平水期>枯水期,空间上建邺区南部(0.95)<中部(1.65)<北部(2.53),建邺区南部水质状况总体上达到清洁级别,建邺区中部水质状况达到较清洁级别;而北部较 2017 年水质有改善,但仍处于轻度污染状况. 在未来城市河道治理中,应重点关注建邺区北部河流.

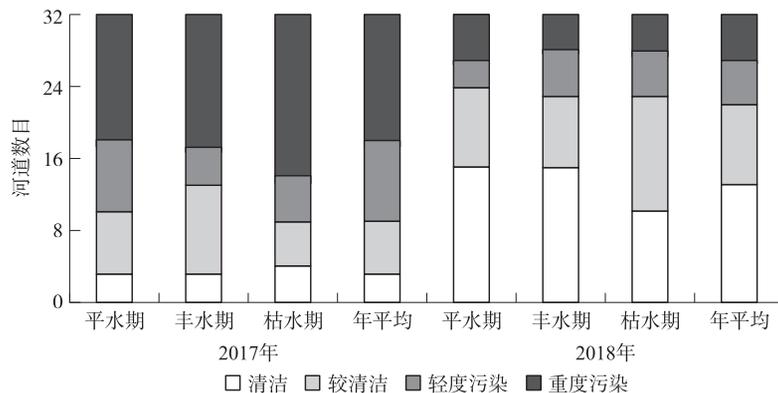


图 6 建邺区不同水期水质状况占比图
Fig. 6 The proportion of water quality in different water periods in Jianye District

单因子评级法通过某因子对水质进行定性划分,判断各采样点的水质等级.综合污染指数法计算方法相对复杂.本研究采取污染物浓度超标法计算指标权重,污染浓度超标越严重所占指标权重越大,通过计算综合污染指数对采样点水质进行定量分析.本文通过单因子评价法得出 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和TP是建邺区水质的限制性因子;通过相关性分析得出 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和TP与黑臭状况的相关性最高;通过综合污染指数法计算出 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和TP所占的指标权重最大.3种方法从不同角度反映了建邺区水质的状况,综合采用多种评价方法能够更客观全面地反应该区域的水质状况和污染特征.

4 结论

(1)建邺区水体呈弱碱性,DO、COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度、TP以及氧化还原电位与河道黑臭状况均有较高的相关性.其中, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和TP与黑臭状况的皮尔森相关系数最高,分别达到了0.76和0.73. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度和TP是建邺区河湖水质的限制性因子.因此,在消除黑臭河道时,应注重降低氮磷营养盐浓度,采取更多的生态修复措施.

(2)2017年和2018年所有采样点中劣V类水质占比分别为84.37%和43.75%,可见2018年比2017年的V类水质减少了40.62%,丰水期水质优于平水期水质优于枯水期水质,空间上南部水质优于中部水质优于北部水质.

(3)2017年研究区河湖综合污染指数在0.61~10.66之间,而2018年在0.48~5.78之间,水体综合污染指数明显降低,河流健康状况整体变好,但仍有重度污染的河湖.南部93%的水质为清洁和较清洁级别,而北部70%河湖仍然处于污染状态.在未来河道治理中,应重视建邺区北部河道的治理.

[参考文献](References)

- [1] 尹海龙,徐祖信.我国单因子水质评价方法改进探讨[J].净水技术,2008,27(2):1-3.
- [2] 解莹,李叙勇,王慧亮,等.滦河流域上游地区主要河流水污染特征及评价[J].环境科学学报,2012,32(3):645-653.
- [3] 罗芳,伍国荣,王冲,等.内梅罗污染指数法和单因子评价法在水质评价中的应用[J].环境与可持续发展,2016,41(5):87-89.
- [4] 潘萃,黄晓荣,魏晓玥,等.三种常用水质评价方法的对比分析研究[J].中国农村水利水电,2019,61(6):51-55.
- [5] 赖建平,周文斌,王毛兰.综合水质标识指数法在鄱阳湖水质评价中的应用[J].人民长江,2013,44(9):84-87.
- [6] 孙涛,张妙仙,李苗苗,等.基于对应分析法和综合污染指数法的水质评价[J].环境科学与技术,2014,37(4):192-197.
- [7] 伊元荣,海米提·依米提,王涛,等.主成分分析法在城市河流水质评价中的应用[J].干旱区研究,2008,25(4):497-501.
- [8] 李俊,卢文喜,曹明哲,等.主成分分析法在长春市石头口门水库水环境质量评价中的应用[J].节水灌溉,2009,34(1):15-17.
- [9] 秦天玲,侯佑泽,郝彩莲,等.基于主成分分析法的武烈河流域水质评价研究[J].环境保护科学,2011,37(6):102-105.
- [10] 刘臣辉,吕信红,范海燕.主成分分析法用于环境质量评价的探讨[J].环境科学与管理,2011,37(3):183-186.
- [11] 刘琰,郑丙辉,付青,等.水污染指数法在河流水质评价中的应用研究[J].中国环境监测,2013,29(3):49-55.
- [12] 杨浩,张国珍,杨晓妮,等.基于模糊综合评判法的洮河水环境质量评价[J].环境科学与技术,2016,39(增刊1):380-386.
- [13] 梁媛,许健,麻林.利用模糊综合评判法分析由太湖引水后黄浦江水质的变化[J].甘肃农业大学学报,2014,56(1):116-120.
- [14] 潘峰,付强,梁川.模糊综合评价在水环境质量综合评价中的应用研究[J].环境工程,2002,21(2):58-60.
- [15] 王小焕,邵景安,王金亮,等.三峡库区长江干流入库水质评价及其变化趋势[J].环境科学学报,2017,37(2):554-565.
- [16] 秦昌波,郑丙辉,秦延文,等.渤海湾天津段海岸带水环境质量灰色关联度评价[J].环境科学研究,2006,19(6):94-99.
- [17] 宋国浩.人工神经网络在水质模拟与水质评价中的应用研究[D].重庆:重庆大学,2008.
- [18] 杨芳,原松.基于BP神经网络的水环境质量评价模型的研建[J].人民长江,2008,54(23):46-48.
- [19] 宋日文.单因子评价法和改进的灰色关联度在水质评价中的应用[J].陕西水利,2018,87(3):109-113.
- [20] 李茜,张建辉,林兰钰,等.水环境质量评价方法综述[J].现代农业科技,2011,40(19):285-287.
- [21] 郭晶,王丑明,黄代中,等.洞庭湖水污染特征及水质评价[J].环境化学,2019,38(1):156-164.
- [22] 花瑞祥,张永勇,刘威,等.不同评价方法对水库水质评价的适应性[J].南水北调与水利科技,2016,40(4):183-189.
- [23] 杨娅楠,王金亮,陈光杰,等.抚仙湖流域土地利用格局与水质变化关系[J].国土资源遥感,2016,28(1):159-165.

[责任编辑:严海琳]