

阿什河哈尔滨段水质评价

许鑫, 肖海丰* (哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江哈尔滨 150025)

摘要 以阿什河哈尔滨段河水为研究对象, 2020年10月赴阿什河采集水样并对pH、总氮(TN)、总磷(TP)、电导率(EC)、溶解性固体(TDS)等13项指标进行测试分析。在此基础上, 对TN、TP、 PO_4^{3-} 、DTP、PP、DOP、 COD_{Mn} 的空间分布特征和来源进行分析, 并采用综合污染指数法进行水质评价。结果表明, TP、 PO_4^{3-} 、DTP、PP、DOP在空间分布上具有一定的相似性, 高值区与附近的农业面源污染和污水排放有关; TN的含量严重超标, 是引起水质污染的首要原因。综合污染评价分析表明, 研究区域的水质为IV类、V类, 水质类别较差。

关键词 水质评价; 空间分布特征; 来源; 综合污染指数法; 阿什河哈尔滨段

中图分类号 X824 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)09-0078-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.09.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Water Quality Evaluation of the Ash River in Harbin Section

XU Xin, XIAO Hai-feng (School of Geographical Sciences, Harbin Normal University, Harbin, Heilongjiang 150025)

Abstract Taking Harbin section of the Ashe River as the research object, water samples were collected in the Ashe River in October 2020 and 13 indexes such as pH, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), electrical conductivity (EC) and dissolved solids (TDS) were tested and analyzed. On this basis, the spatial distribution characteristics and sources of TN, TP, PO_4^{3-} , DTP, PP, DOP and COD_{Mn} were analyzed, and the comprehensive pollution index method was used to evaluate the water quality. The results showed that the spatial distribution of TP, PO_4^{3-} , DTP, PP and DOP was similar to some extent, and the high value area was related to the agricultural non-point source pollution and sewage discharge nearby. The content of TN seriously exceeded the standard, which was the primary cause of water pollution. The comprehensive pollution evaluation analysis showed that the water quality in the study area was classified as IV class and V class, and the water quality category was poor.

Key words Water quality evaluation; Spatial distribution characteristics; Source; Comprehensive pollution index method; Harbin section of Ash River

阿什河位于黑龙江省, 是松花江的一级支流, 沿岸城镇、乡村众多。阿什河流域是主要的商品粮生产基地, 多年来两岸农业农药化肥的施用对阿什河的水环境影响较大, 是引起阿什河水质污染的重要因素之一; 同时, 阿什河流域内存在多处排放废水的排污口, 也对阿什河的水质造成重要影响, 以上因素的共同作用, 导致阿什河的水质长期为劣V类^[1]。阿什河作为松花江的一级支流, 水环境的质量尤为重要。

在已有的研究中发现, 河流水体的氮磷污染有50%以上是源于农业面源污染^[2]; 河流中氮、磷的含量过高还会引起水体的富营养化^[3], 当今水环境的安全是环境问题中所关注的焦点。目前, 对阿什河水质方面的研究多集中于河流的总氮、总磷方面, 缺少对阿什河水体中不同形态磷的研究, 而这方面的研究有助于磷污染来源的分析。笔者以阿什河哈尔滨段为研究区域, 在对河水总氮(TN)、总磷(TP)、正磷酸盐(PO_4^{3-})、溶解性总磷(DTP)、颗粒态磷(PP)、溶解性有机磷(DOP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、pH、盐度、浊度、电导率(EC)等指标的测试分析的基础上, 对比各项指标的空间变化及相关性, 从而探讨阿什河哈尔滨段的水质类别及污染因素, 进而对阿什河哈尔滨段的水质进行评价, 以期后续的污染治理提供有效数据和理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究区域概况

阿什河位于黑龙江省(126°40' ~

127°42'E, 45°05' ~ 45°49'N), 流域面积3 545 km²^[4]; 温带大陆性季风气候, 四季分明, 夏季暖热多雨, 冬季寒冷干燥, 年平均降雨量为547.5 mm^[5], 上游两岸多为农田、森林, 城镇集中在河流下游。阿什河流域是重要的粮食生产基地, 随着粮食产量的增长, 农业化肥造成的面源污染严重, 导致阿什河水质污染严重; 而且阿什河沿岸集中排污口有8个, 在此次采样区域中包含5个, 排污口排出的污染物也会使得阿什河的水质发生污染; 目前, 阿什河已经被列为是哈尔滨市污染最严重的河流^[4]。

1.2 样品采集与测定 该研究选取阿什河哈尔滨段为研究对象, 共选取21个采样点, 采样点的详细位置如图1所示。于2020年10月赴阿什河采集水样, 对水样进行多指标的测试分析。运用pH计测量pH和氧化还原电位(ORP), 用电导率测定仪测量EC、溶解性总固体(TDS)和盐度, 用浊度测定仪测量浊度。采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测量TN, 采用酸性高锰酸钾指数法测量 COD_{Mn} , 采用钼酸铵分光光度法测定 PO_4^{3-} 、DTP、TP, PP由TP减去DTP获得, DOP由DTP减去 PO_4^{3-} 获得。

1.3 数据分析与评价方法 参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[6], 选取评价指标, 进行水质等级评价(表1), 并采用综合水质标识指数法对阿什河哈尔滨段综合水质状况进行评价, 计算方法详见参考文献[7]。

2 结果与分析

2.1 阿什河哈尔滨段水质指标统计 表2为阿什河各项水质指标的统计值, 其中, 变异系数的大小反映数据的离散程度, 当变异系数小于0.1时, 差异较小; 变异系数在0.1~0.3

基金项目 国家自然科学基金项目(40972115)。

作者简介 许鑫(1996—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 研究方向: 湖泊沉积演化。* 通信作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事湖泊沉积演化研究。

收稿日期 2021-11-23

时,差异较大;变异系数大于 0.3 时,差异极大^[8]。

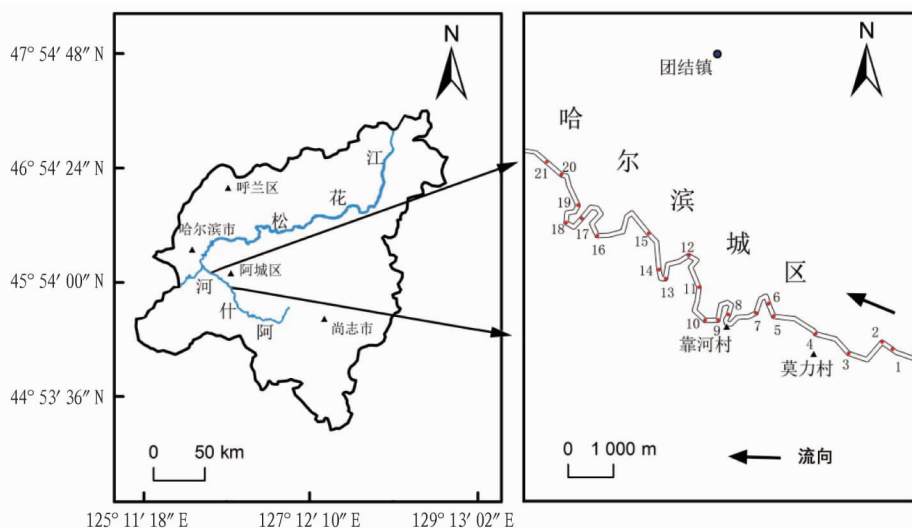


图 1 采样点地理位置

Fig.1 Location of sampling sites

表 1 地表水环境治理标准基本项目标准限值^[6]

Table 1 Standard limits for basic items of surface water environmental treatment standards

| 等级 Grade | pH | TN mg/L | COD _{Mn} mg/L | TP mg/L |
|-------------|-----|------------|---------------------------|------------|
| I | 6~9 | ≤0.2 | ≤2 | ≤0.02 |
| II | 6~9 | >0.2~0.5 | >2~4 | >0.02~0.10 |
| III | 6~9 | >0.5~1.0 | >4~6 | >0.10~0.20 |
| IV | 6~9 | >1.0~1.5 | >6~10 | >0.20~0.30 |
| V | 6~9 | >1.5~2.0 | >10~15 | >0.30~0.40 |

从表 2 可以看出,阿什河哈尔滨段的 pH 平均值为 7.32,呈弱碱性水,pH 的变异系数为 0.01,表明阿什河哈尔滨段 pH 变化小。电导率(EC)表示水中所含离子的数量;一般天然水体的电导率在 50~1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ^[9]。阿什河哈尔滨段水质的电导率在 176.00~326.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$,且变异系数为 0.09,说明阿什河哈尔滨段电导率波动不大且符合天然水体的标准。溶解性总固体(TDS)反映水中的溶解性固体^[9],生活饮用水的 TDS 的含量应低于 1 000 mg/L^[10]。阿什河哈尔滨段 TDS 的均值为 146.93 mg/L,所以阿什河哈尔滨段 TDS 含量并没有引起水质变差,而且变异系数为 0.04,说明阿什河哈尔滨段 TDS 的变化比较稳定。氧化还原电位(ORP)可以反映出氧化还原的程度,阿什河哈尔滨段的河水 ORP 的均值为 -16.34 mV,为还原性,变异系数较大,为 0.35,说明 ORP 的波动大。阿什河哈尔滨段的盐度均为 0.2‰,变异系数为 0,说明阿什河哈尔滨段盐度稳定。浊度是反映溶液中悬浮

物质和胶态物质对光线透过时所发生的阻碍程度^[11],当水体浊度大于 5 NTU 时,说明水体浊度偏高;浊度越高,水体越浑浊^[12]。阿什河哈尔滨段的水体浊度远大于 5 NTU,说明阿什河哈尔滨段的水体很浑浊;而且浊度的变异系数为 0.32,波动较大。

TN、TP 是反映河流水质的重要指标,当氮、磷的含量过多时就会引起水体的富营养化,阿什河哈尔滨段的 TN 平均值为 6.02 mg/L(表 2),参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[6],阿什河哈尔滨段的 TN 含量为劣 V 类水,TN 的变异系数小(0.07),表明阿什河哈尔滨段整体 TN 含量过高,氮污染严重。天然水体中 TP 含量超过 0.02 mg/L 时,就会明显增加水体富营养化的程度^[13];阿什河哈尔滨段水中 TP 的平均值为 0.17 mg/L,远高于 0.02 mg/L,所以 TN、TP 的含量对阿什河哈尔滨段的水质影响很大,参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[6],TP 的水质类别集中在 III、IV 类水质;PO₄³⁻、DTP、PP、DOP、TP 的变异系数均大,说明阿什河哈尔滨段水体中各形态磷含量波动程度大,其中 DTP、TP 的变异系数较大,PO₄³⁻、PP、DOP 的变异程度极强,说明这 5 种形态磷的空间变化差异性大。

COD_{Mn} 反映水中有机物的污染程度,阿什河哈尔滨段 COD_{Mn} 浓度最高的点位达 10.75 mg/L,最低时为 0.65 mg/L,变异系数大(0.44),表明阿什河哈尔滨段中存在个别点位 COD_{Mn} 污染严重,导致空间变化大;污染严重的点位水质类别达到了 V 类水质的标准。

表 2 阿什河哈尔滨段水质指标描述统计

Table 2 Description statistics of water quality index in Harbin section of Ash River

| 项目 Item | pH | EC $\mu\text{S}/\text{cm}$ | TDS mg/L | ORP mV | 盐度 Salinity ‰ | 浊度 Turbidity NTU | TN mg/L | PO ₄ ³⁻ mg/L | DTP mg/L | PP mg/L | DOP mg/L | TP mg/L | COD _{Mn} mg/L |
|------------|------|-------------------------------|-------------|-----------|---------------------|------------------------|------------|---------------------------------------|-------------|------------|-------------|------------|---------------------------|
| 平均值 Mean | 7.32 | 289.27 | 146.93 | -16.34 | 0.2 | 39.01 | 6.02 | 0.06 | 0.08 | 0.09 | 0.010 0 | 0.17 | 5.75 |
| 最大值 Max. | 7.48 | 326.00 | 162.90 | -7.80 | 0.2 | 68.00 | 6.82 | 0.09 | 0.11 | 0.17 | 0.080 0 | 0.24 | 10.75 |
| 最小值 Min. | 7.19 | 176.00 | 138.30 | -29.70 | 0.2 | 12.19 | 5.24 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.000 5 | 0.10 | 0.65 |
| 变异系数 CV | 0.01 | 0.09 | 0.04 | 0.35 | 0.00 | 0.32 | 0.07 | 0.31 | 0.21 | 0.33 | 1.33 | 0.22 | 0.44 |

2.2 阿什河哈尔滨段水质指标的空间变化

2.2.1 TN的空间变化特征。该研究采用 ArcGIS 对采样点进行克里金空间插值分析,生成空间分布图,以便直观显示各指标的空间变化。由图 1~2 可知,TN 含量变化有一定的空间差异性,采样点 TN 的含量在 5.24~6.82 mg/L,在进入哈尔滨城区之前的河段 1~4 号点位处,TN 含量较高,此段区域存在大面积的农田,由于农业化肥的大量使用,未被充分

利用的化肥随径流进入阿什河,导致此段水体的 TN 含量较高,进入哈尔滨城区之后,农田的面积相对减少,使得 TN 含量有不同程度的下降趋势,但整体的 TN 含量仍旧较高,且具有一定的波动,升高的区域靠近排污口 13 号点位处和居民生活区 18~21 号点位处;生活垃圾的堆积或是附近排污口的存在都会造成一定程度的氮污染,使得上述几处 TN 含量明显高于附近区域,出现明显的空间差异性。所以农业面源

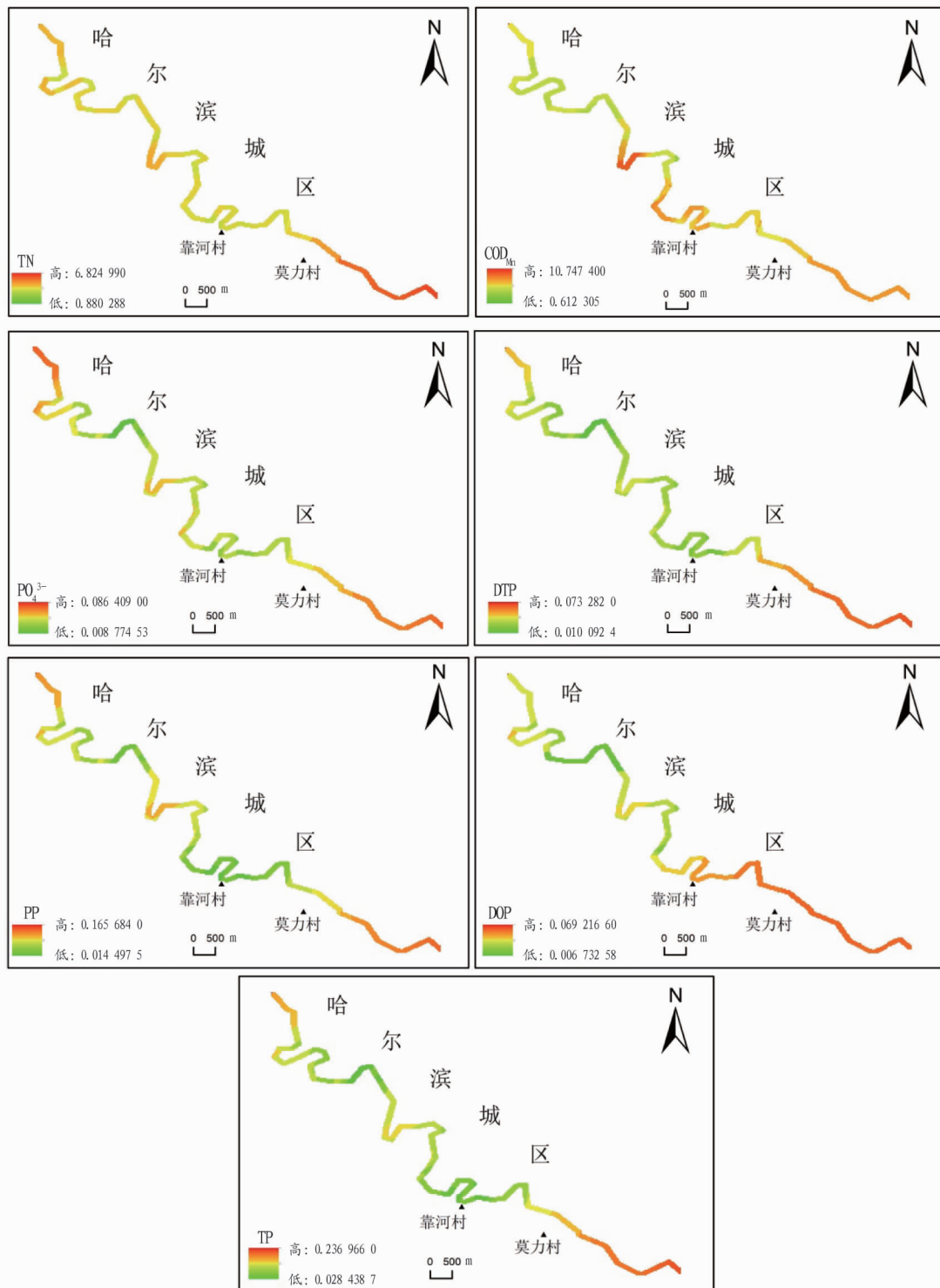


图 2 TN、COD_{Mn} 和各形态磷的空间分布(单位:mg/L)

Fig. 2 Spatial distribution of TN, COD_{Mn} and various forms of phosphorus

污染、生活污水和生活垃圾是导致阿什河哈尔滨段水体的氮含量不同程度升高的因素。

2.2.2 COD_{Mn} 的空间变化特征。从图 1~2 可以看出, COD_{Mn} 含量在空间上具有明显的差异, 进入哈尔滨市之前有一处排污口在 2 号点位处, 此处的 COD_{Mn} 含量为 9.13 mg/L, 存在 COD_{Mn} 含量超标的风险, 属于 IV 类水质; 进入哈尔滨市之后, COD_{Mn} 含量最高值为 10.75 mg/L, 出现在第 13 号点位, 属于 V 类水质, 11 号点位 COD_{Mn} 含量达到 8.32 mg/L, 明显高于附近的位置, 除 13 号点位外, 其余位置的 COD_{Mn} 含量有一定波动, 但含量均小于 10.00 mg/L, 符合 III 类水质的标准。在整段区域中 COD_{Mn} 含量有明显升高的位置附近均有排污口以及大量的生活垃圾囤积, 导致个别位置的 COD_{Mn} 含量高; 所以排污口的污水排放以及生活垃圾的囤积是导致阿什河哈尔滨段的 COD_{Mn} 含量出现空间差异的因素。

2.2.3 PO₄³⁻、DTP、PP、DOP、TP 的空间变化特征。PO₄³⁻ 易被水中浮游生物吸收利用, 用于衡量水中磷的可利用性; DOP 为溶解在水体中磷的各种有机物之和; DTP 容易被生物利用, DTP 的含量越高水体富营养化的程度就越严重^[14]。PP 以颗粒的形态存在, 难以被利用^[14]; 阿什河哈尔滨段 PO₄³⁻、DTP、PP、DOP、TP 这 5 种磷形态的空间变化具有一定的相似性, 在进入哈尔滨市之前的河段各形态磷含量均高, 由于此处河段沿岸农业用地面积较大, 农业化肥的使用量较大, 未被利用的化肥随径流进入阿什河, 使得阿什河

进入哈尔滨市之前各形态磷含量升高, 并且入城前 2 号点位处有一排污口, 入城前 1~4 号点位处 5 种形态磷含量都明显高于其他位置, 所以进入哈尔滨城区之前磷的高度富集主要是因为农业面源污染和污水的排放共同导致的, 使阿什河在入城前的磷含量明显高于入城之后, 进入哈尔滨城区后, 磷含量明显降低, 并出现波动, 在 19~21 号点位处 5 种形态磷含量都明显高于其他位置, 这是因为此处是生活居民区且有排污口的存在, 污水的排放导致此处的磷含量明显升高。因此, 导致阿什河哈尔滨段磷含量出现空间差异性变化的原因是沿岸分布面积不等的农田以及排污口所排放的污水。

2.3 阿什河哈尔滨段水质指标的相关性分析 通过皮尔森相关分析对阿什河哈尔滨段的水质指标进行相关性分析, 结果发现(表 3), 5 种形态的磷之间存在不同程度的相关性, PO₄³⁻ 与 DTP、PP 呈显著正相关($P < 0.05$), 与 DOP、TP 呈极显著正相关($P < 0.01$), PO₄³⁻ 占 DTP 的 82%, DOP 占 DTP 的 18%, PO₄³⁻ 是 DTP 的主要来源, 所以 DTP 受 PO₄³⁻ 的影响大; DTP 与 TP 呈极显著正相关($P < 0.01$), PP 与 TP 呈极显著正相关($P < 0.01$), DTP 占 TP 的 43.5%, PP 占 TP 的 56.5%, 表明 TP 受 DTP 和 PP 的共同影响, PP 的影响稍大一些。通过以上对阿什河哈尔滨河段不同形态的磷分析, 反映出阿什河哈尔滨段磷污染的来源具有一定的同源性, 来自农业面源污染以及污水的排放。

表 3 阿什河哈尔滨段水质指标的相关分析

Table 3 Correlation analysis of water quality index in Harbin section of Ash River

| 指标 Index | TN | PO ₄ ³⁻ | DTP | PP | DOP | TP | COD _{Mn} |
|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|---------|--------|--------|-------------------|
| TN | 1 | | | | | | |
| PO ₄ ³⁻ | -0.064 | 1 | | | | | |
| DTP | 0.260 | 0.472* | 1 | | | | |
| PP | 0.128 | 0.463* | 0.171 | 1 | | | |
| DOP | 0.284 | 0.651** | 0.362 | -0.350 | 1 | | |
| TP | 0.215 | 0.586** | 0.560** | 0.912** | -0.144 | 1 | |
| COD _{Mn} | -0.104 | 0.115 | -0.049 | -0.209 | -0.168 | -0.196 | 1 |

注: * 表示显著相关($P < 0.05$); ** 表示极显著相关($P < 0.01$)

Note: * indicates significant correlation($P < 0.05$); ** indicates extremely significant correlation($P < 0.01$)

2.4 阿什河哈尔滨段水质评价 从表 4 可以看出, TN 的单因子标识指数为 7.63~8.44, 达到劣 V 类且黑臭水体标准, 远高于 COD_{Mn} 和 TP 的单因子标识指数, 说明 TN 是导致阿什河哈尔滨段水质较差的主要因素。COD_{Mn} 的单因子标识指数在采样点 13 号处较高(5.12), 达到了 V 类水标准, 其余点位以 III、IV 类水质居多; TP 的单因子标识指数采样点 4 号、16 号属于 IV 类, 其余均符合 III 类水的标准。从单因子角度分析, COD_{Mn} 和 TP 会一定程度影响阿什河的水质, 但不是主要的影响因素, 导致阿什河哈尔滨段水体污染的主要原因是 TN 含量偏高。

综合标识指数评价结果显示(表 4), 除 7 号、12 号、19 号采样点为 III 类水, 其余均为 IV、V 类水; 阿什河哈尔滨段沿岸 5

个排污口分布位置在 1、11、18、20、21 号采样点附近, 农业面源污染、生活污水的排放以及河面漂浮生活垃圾是引起氮、磷、高锰酸盐指数在阿什河哈尔滨段不同程度污染的因素。

3 结论

从此次对阿什河哈尔滨段水质分析的结果来看, 阿什河哈尔滨段的水质较差, 水质类别多为 IV、V 类水, 阿什河哈尔滨段的水质污染源较多, 污水口排放的污水和生活垃圾污染、农业面源污染对河流整体造成不同程度的污染, 其中农业面源污染是造成此次研究区域水质污染的主要原因, 作为松花江的一级支流, 阿什河的水质状况直接影响松花江, 应更加重视, 更要加强控制对农业化肥的使用以及对污水处理。

表 4 阿什河哈尔滨段水质评价结果

Table 4 Evaluation results of water quality in Harbin section of Ash River

| 采样点 Sampling site | 单因子标识指数 One-factor identification index | | | 综合标识指数法 Comprehensive identification index method | |
|----------------------|---|-------------------|------|---|--------------------------------|
| | TN | COD _{Mn} | TP | 综合标识指数 Comprehensive identification index | 水质类别 Water quality category |
| 1 | 8.24 | 4.51 | 3.40 | 5.632 | V |
| 2 | 7.93 | 4.41 | 3.70 | 4.311 | IV |
| 3 | 7.83 | 3.10 | 3.10 | 4.411 | IV |
| 4 | 7.93 | 4.41 | 4.51 | 5.412 | V |
| 5 | 8.14 | 4.21 | 3.10 | 5.013 | IV |
| 6 | 8.14 | 2.50 | 3.30 | 5.013 | IV |
| 7 | 8.05 | 1.10 | 3.60 | 3.720 | III |
| 8 | 8.24 | 3.30 | 3.30 | 5.222 | V |
| 9 | 8.14 | 2.60 | 3.70 | 4.721 | IV |
| 10 | 8.05 | 3.30 | 3.30 | 5.023 | V |
| 11 | 8.14 | 3.40 | 3.30 | 5.122 | V |
| 12 | 7.93 | 4.11 | 3.30 | 3.830 | III |
| 13 | 7.63 | 5.12 | 3.10 | 4.711 | IV |
| 14 | 8.34 | 4.61 | 3.60 | 4.421 | IV |
| 15 | 8.14 | 4.61 | 3.60 | 4.921 | IV |
| 16 | 8.05 | 4.11 | 4.61 | 5.023 | IV |
| 17 | 8.05 | 1.10 | 3.40 | 5.912 | V |
| 18 | 7.93 | 4.41 | 3.50 | 5.522 | V |
| 19 | 7.63 | 1.20 | 3.60 | 3.310 | III |
| 20 | 7.73 | 4.61 | 3.50 | 5.522 | V |
| 21 | 8.44 | 3.40 | 3.50 | 5.013 | V |

参考文献

- [1] 胡钰,王业耀,滕彦国,等.阿什河流域非点源氮污染的 $\delta^{15}\text{N}$ 源解析研究[J].农业环境科学学报,2015,34(12):2327-2335.
- [2] 夏小江,胡清宇,朱利群,等.太湖地区稻田田面水氮磷动态特征及径流失研究[J].水土保持学报,2011,25(4):21-25.
- [3] 沈江超,周思聪,赵宇,等.洪泽湖湖西湿地根区氮磷与水体富营养化特征探究[J].安徽农业科学,2020,48(24):75-80.
- [4] 马放,姜晓峰,王立,等.基于 SWAT 模型的阿什河流域非点源污染控制措施[J].中国环境科学,2016,36(2):610-618.
- [5] 马广文,王业耀,香宝,等.阿什河水系枯水期氮污染特征与同位素源解析[J].环境污染与防治,2014,36(11):6-11.
- [6] 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.
- [7] 徐祖信.我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J].同济大学学报(自然科学版),2005,33(4):482-488.
- [8] 刘奕.九里湖上覆水与沉积物中磷形态及富营养化研究[D].徐州:中国矿业大学,2019.
- [9] 畅一萌.地下水电导率与溶解性总固体相关关系讨论:以河北省廊坊地区地下水为例[J].地下水,2019,41(1):41-42.
- [10] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.生活饮用水卫生标准:GB 5749—2006[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [11] 伍培.水油度的现代定义、表达和测定[J].重庆石油高等专科学校学报,1995(1):51-53.
- [12] 黄诚,黄廷林,李扬,等.金盆水库暴雨径流时空演变过程及水质评价[J].环境科学,2021,42(3):1380-1390.
- [13] 金相灿,王圣瑞,赵海超,等.磷形态对磷在水-沉水植物-底质中分配的影响[J].生态环境,2005,14(5):631-635.
- [14] 杨凡,王丽婧,纪道斌,等.三峡水库典型支流磷素赋存形态特征及其成因[J].环境科学,2021,42(2):688-698.