

基于多元统计法的农村河道水环境污染特征研究

翟浩杰¹, 韩少强¹, 易晓娟¹, 马楠², 张昊², 苑辉^{1*}

¹天津市生态环境监测中心, 天津

²天津天滨瑞成环境技术工程有限公司, 天津

收稿日期: 2022年11月25日; 录用日期: 2022年12月22日; 发布日期: 2022年12月29日

摘要

农村河道水环境污染源是水环境的基本单元, 也是目前水环境保护和管理的重点。本文采用改进的内梅罗综合污染指数法和多元统计方法, 综合分析了两条农村河道的水质及底泥的污染情况。研究区域内的水质主要污染因子为化学需氧量、总磷和高锰酸盐指数, 底泥受到有机氮污染水平较为严重, 且底泥环境中总磷、有机质和全氮呈正相关性, 充分说明研究所在的区域受到农业面源污染的影响较大。

关键词

多元统计法, 内梅罗综合污染指数法, 农村河道水环境, 污染特征研究

Study on Pollution Characteristics of Rural Natural Water Environment Based on Multivariate Statistical Method

Haojie Zhai¹, Shaoqiang Han¹, Xiaojuan Yi¹, Nan Ma², Hao Zhang², Hui Yuan^{1*}

¹Tianjin Ecological Environment Monitoring Center, Tianjin

²Tianjin Tianbin Ruicheng Environmental Technology Engineering Co., Ltd., Tianjin

Received: Nov. 25th, 2022; accepted: Dec. 22nd, 2022; published: Dec. 29th, 2022

Abstract

Rural natural water pollution source is the basic unit of water environment. It is the focus of water

*通讯作者。

文章引用: 翟浩杰, 韩少强, 易晓娟, 马楠, 张昊, 苑辉. 基于多元统计法的农村河道水环境污染特征研究[J]. 环境保护前沿, 2022, 12(6): 1310-1317. DOI: 10.12677/aep.2022.126163

environment protection and management at present. This paper adopts the Improved Nemerow Index Method and Multivariate Statistical Method to analyze the water quality and sediment pollution for two rural rivers. The main pollution factors of water quality in the study area are chemical oxygen demand, total phosphorus and permanganate index. The sediment is seriously polluted by organic nitrogen and a positive correlation of the total phosphorus, organic matter and total nitrogen. It indicated that the study area is greatly affected by agricultural non-point source pollution.

Keywords

Multivariate Statistical Method, Nemerow Index Method, Rural Natural Water, Pollution Characteristics

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

农村河道水环境污染源是水环境的基本单元，其水质状况直接影响了水环境质量的优劣，也是目前水环境保护和管理的重点[1] [2]。为了能够综合反映农村河道水环境对环境的影响，找出主要污染影响因素，客观说明各污染因素之间内在关系，本文采用改进的内梅罗综合污染指数法和多元统计方法，综合分析了两条农村河道的水质、底泥的污染特征，对于进一步研究北方地区农村河道水环境污染特征和富营养化具有重要的意义。

2. 研究区域概况

研究选择的两条农村河道均位于天津市滨海新区茶淀街，该区域以葡萄种植为主[3]，东靠蓟运河，南接中新生态城，西邻清河农场，北至宁河区七里海镇，其中河道 1 位于桥沽村，河道两岸葡萄种植面积达 3305 亩，河道 2 位于崔兴沽村，河道两岸葡萄种植面积达 1200 亩，两条农村河道均经相应的入河排水口门进入蓟运河，采样点位如图 1 所示。



Figure 1. Study area and monitoring points sketch map

图 1. 研究区域及监测点位示意图

3. 材料与方法

3.1. 样品采样及分析方法

根据《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91-2002)和土壤环境监测技术规范(HJ/T 166 -2004)进行入河排水口水质和底泥样品的采集和运输。其中水质监测指标选取 pH、电导、溶解氧、透明度、化学需氧量(COD)、凯氏氮、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})，底泥监测指标选取氨氮、总磷、有机质、总氮、干物质和水分。

各项监测指标分别依照《水质 pH 值的测定电极法》(HJ 1147-2020)、《水和废水监测分析方法(第四版)》电导率的测定、《化学需氧量的测定(重铬酸盐法)》(GB11914-89)、《透明度的测定(透明度计法、圆盘法)》(SL87-1994)、《水质凯氏氮的测定》(GB 11891-89)、《水质高锰酸盐指数的测定》(GB 11892-89)、《水质总磷的测定钼酸铵分光光度法》(GB 11893-89)、《便携式溶解氧测定仪技术要求及检测方法》(HJ 925-2017)、《水质氨氮的测定纳氏试剂分光光度法》(HJ 535-2009)、《土壤质量干物质和水分的测定(重量法)》(HJ 613-2011)、《土壤总磷的测定碱熔-钼锑抗分光光度法》(HJ 632-2011)、《土壤氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的测定氯化钾溶液提取-分光光度计》(HJ 634-2012)、《土壤检测第 6 部分：土壤有机质的测定》(NY/T 1121.6-2006)、《土壤质量全氮的测定凯氏氮》(HJ 717-2014)进行样品分析测定。

3.2. 水环境污染特征分析及评价方法

3.2.1. 改进的内梅罗综合污染指数法

河道水质指标评价采用改进的内梅罗综合污染指数法[4] [5]，该方法是当前国内外进行综合污染指数计算的最常用方法之一。该方法主要是根据各监测项目的污染指数，计算综合污染指数，但是由于调查过程中还涉及溶解氧和透明度这种越大越优的指标，为了以消除各指标量纲，缩小变量的范围，提高评价结果的准确性，需要对各项指标进行正向化处理。改进的内梅罗综合污染指数法根据监测指标特性共分为 2 类，溶解氧和透明度属于极大型指标，其余监测因子属于极小型监测指标，对极大型指标进行正向化处理，将其转化为极小型指标，极大型指标正向化方法如下：

$$P_i = \frac{1}{x_i} \quad (1)$$

式中： P_i 为指标正向化后的指标值， x_i 为指标监测结果。

再通过内梅罗综合污染指数进行评价，评价指标按照按式(2)计算

$$I = \sqrt{(P^2 + P_{i,\max}^2)}/2 \quad (2)$$

式中： I 为内梅罗综合污染指数； P 为均值综合污染指数； $P_{i,\max}$ 为 n 项监测项目中单因子污染指数最大值。内梅罗综合污染指数的污染程度划分为： $I < 1$ ，水质清洁； $1 \leq I \leq 2$ ，轻度污染； $2 < I \leq 3$ ，污染； $3 < I \leq 5$ ，重污染； $I > 5$ ，严重污染。

3.2.2. 有机物污染水平用有机指数(OI)

河道底泥中的有机物污染水平用有机指数(OI)来评价[6]，采用有机氮大小来衡量底泥受氮污染的程度，评价标准如表 1 所示。

3.2.3. 多元统计分析法

为了进一步分析研究区各污染指标的特征及相关性，研究采用主成分分析法[7] [8] (Principal Component Analysis, PCA)和 Spearman 秩相关系数法[9]对河道水体及底泥进行分析。其中主成分分析法的基本原理是以降维的思想，通过计算变量方差和协方差矩阵的特征量，将多个变量通过降维转化为少数几

个综合变量,该方法主要用于识别主要水质污染因子,确定主要污染物,进而分析水环境的主要污染特征。Spearman 秩相关系数法[9]的原理是将两因子的样本值从小到大按顺序排列位次,以各因子样本值的位次代替实际数据加以计算,主要用于分析研究区域污泥各项参数之间的关系。

Table 1. Evaluation criteria for organic index and organic nitrogen of surface sediment

表 1. 表层底泥有机指数、有机氮评价标准

评价标准	清洁(I级)	较清洁(II级)	尚清洁(III级)	有污染(IV级)
有机指数(OI)	<0.05	≥0.05~<0.20	≥0.20~<0.50	≥0.50
有机氮(DTN)%	<0.0033	≥0.0033~<0.066	≥0.066~<0.133	≥0.133

其中:有机指数(OI) = 有机碳(OC) % × 有机氮(DTN) %; 有机碳(OC) % = 有机质 TOM (%) / 1.724; 有机氮(DTN) % = 0.95 × 总氮(TN) %。

4. 结果与分析

4.1. 污染特性分析

根据图 2 监测结果,基于改进的内梅罗综合污染指数评价结果可以看出,监测点位水质清洁率为 0%,轻度污染率 75.0%,污染率为 16.7%,重污染率为 8.3%,绝大部分点位都属于轻度污染,重度污染点位 1-3 距离蓟运河入河排水口 1500 m,其内梅罗综合污染指数为 3.09,该点位总磷浓度为 1.65 mg/L,污染指数为 4.13。图 3 是研究河道主要污染物污染指数情况,根据图 3 的结果可以看出,两条河道主要受到了总磷的污染,其污染指数范围为 1.30~4.13,平均污染指数高达 2.25,明显高于其他污染指标。

图 4 是两条河道表层底泥有机指数评价结果,可以看出监测点位有机指数(OI)在 0.05~0.50 之间,说明底泥清洁程度为 II 级~III 级之间,存在污染的风险;除监测点位 1-6 外,有机氮(DTN)% 指数均大于 0.066,其污染级别分别位于 III 级~IV 级之间,其中监测点位 1-3、2-3、2-6 均 ≥ 0.133,说明此处底泥有机氮污染水平较为严重。

通过上述分析我们不难看出,河道 1、河道 2 水质主要受到了总磷的污染,而部分监测点位的底泥有机氮污染水平较为严重。这与葡萄种植过程中氮、磷的施用有着明显的关系,有文献研究表明,氮、磷流失量与种植过程施肥习惯、施肥种类、降雨情况、灌溉、翻耕等多种因素有关。

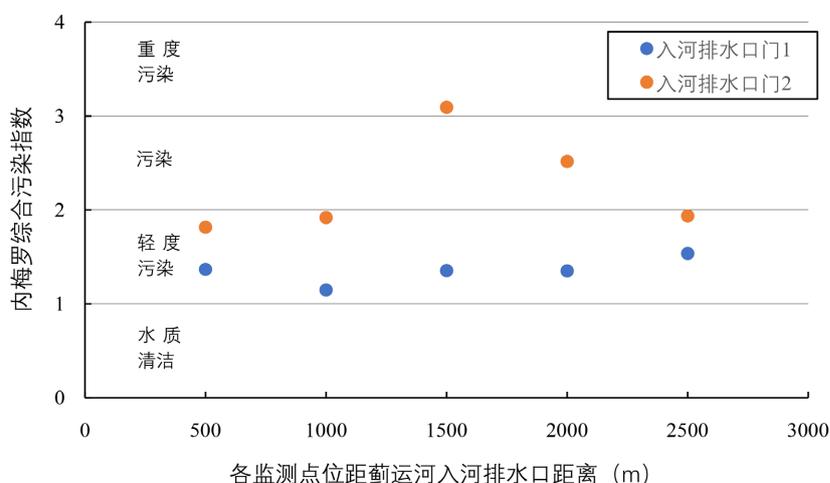


Figure 2. Evaluation results of Improved Nemerow Index Method

图 2. 改进的内梅罗综合污染指数评价结果

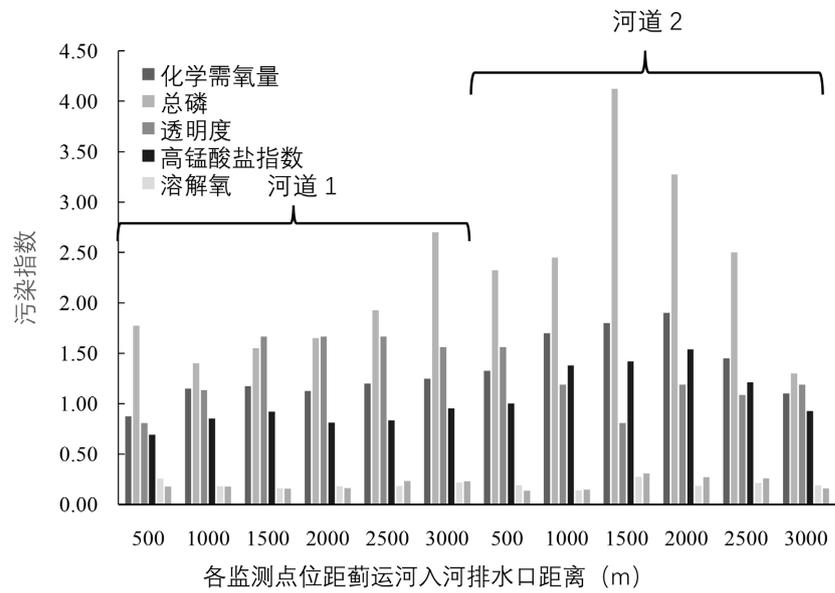


Figure 3. Distribution of pollution index of main pollutants
图 3. 主要污染物污染指数分布情况

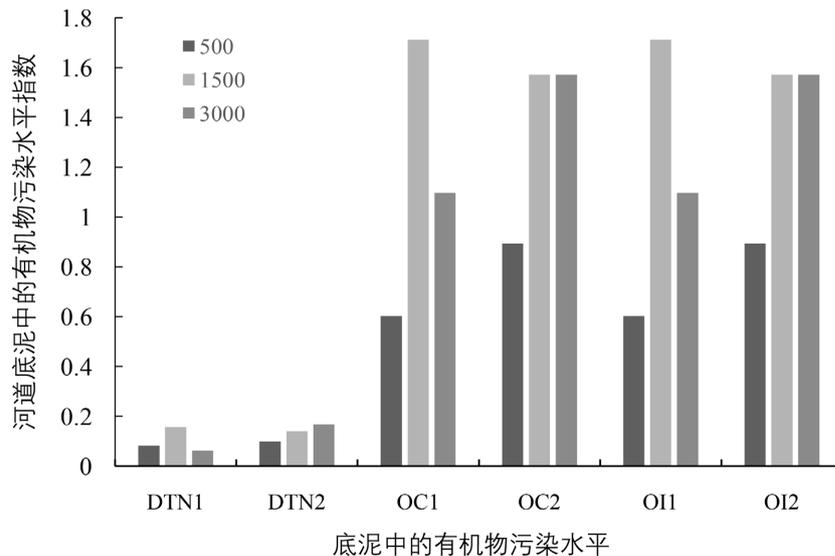


Figure 4. Organic index of surface sediment of study area
图 4. 研究河道表层底泥有机指数

4.2. 水环境中主要污染特征分析

采用主成分分析[10]对 2 条河 12 个监测点位 9 类水质参数因子进行了分析, 确定了研究区域主要的水质污染因子, 计算结果如表 2 所示, 共提取 3 个主成分, 方差贡献率分别为 53.14%, 25.66%和 9.72%, 累积贡献率为 88.52%。其中, 第 1 主成分中化学需氧量、总磷和高锰酸盐指数的荷载较大, 说明第一主成分主这三类污染为河道水环境质量的主要影响因子, 其载荷值变化在 0.4191~0.4380 之间。在第 2 主成分中, 溶解氧的载荷较大, 为 0.6098; 第三主成分中 pH 荷载最大, 为-0.6601。因此, 对于水质监测点位而言, 化学需氧量、总磷、高锰酸盐指数、溶解氧以及 pH 为主要的影 响因子。

Table 2. Principal component load matrix, eigenvalue and principal component contribution rate of study area
表 2. 研究区域水环境主成分载荷矩阵、特征值及主成分贡献率

项目	主成分		
	PCA1	PCA2	PCA3
化学需氧量	0.4358	0.1844	-0.0360
总磷	0.4191	-0.1031	-0.3425
透明度	0.1875	-0.4050	0.1046
高锰酸盐指数	0.4380	0.1619	0.0923
电导率	0.3756	-0.1514	0.4280
凯氏氮	0.3350	0.3078	0.3982
溶解氧	-0.0768	0.6098	0.2631
氨氮	0.3269	-0.3436	-0.1237
pH	0.2035	0.3968	-0.6601
特征值	4.783	2.309	0.874
总方差贡献率/%	53.14%	25.66%	9.72%
累计方差贡献率/%	53.14%	78.80%	88.52%

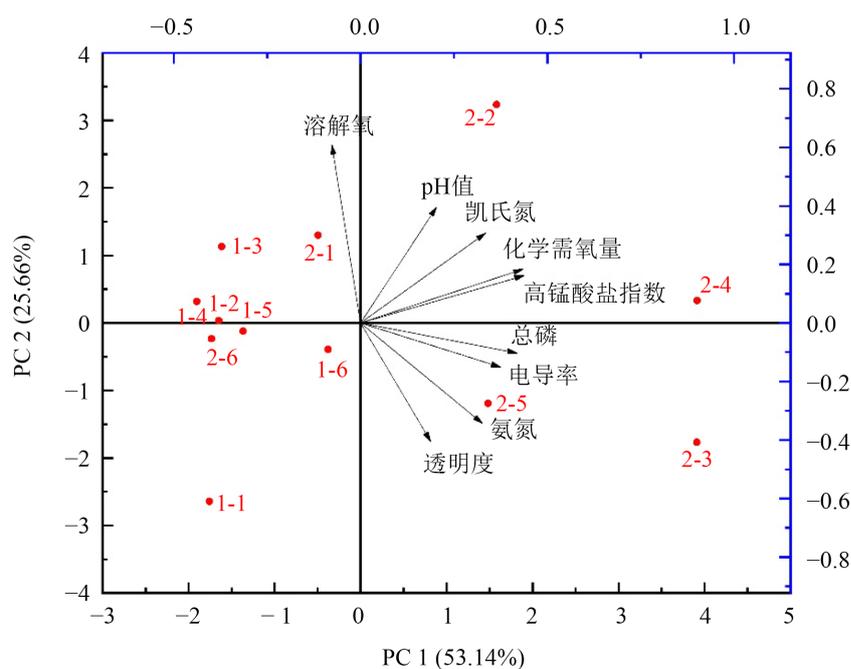


Figure 5. Two-dimensional ranking of study area water environment
图 5. 研究区域水环境质量二维排序

研究区内监测各个点位水质参数及第 1、2 主成分的空间分布如图 5 所示。沿横轴即第 1 主成分排序轴从左向右凯氏氮、化学需氧量、氨氮、高锰酸盐含量含量逐渐升高；沿纵轴即第 2 主成分排序轴从下向上总磷、氨氮含量逐渐减少，凯氏氮逐渐增大。从图中可以看出，2-2~2-5 号监测点位的凯氏氮、氨氮、总磷等氮、磷营养盐含量水平较高，而河道 1 的监测点位氮、磷含量水平相对较低。

4.3. 底泥环境中主要污染特征分析

采用主成分分析[10]对6个监测点位6个污泥参数采用 Spearman 秩相关系数法进行了分析, 主要分析了研究区域污泥各项参数之间的关系。根据表3的结果可以看出, 研究区域内底泥中有机质和总磷、全氮和水分呈显著正相关性($P < 0.01$), 相关系数分别达到了 0.9258 和 0.8987; 氨氮和总磷、有机质和全氮呈负相关, 但负相关程度不显著, 而总磷与有机质和全氮呈正相关性。

Table 3. Correlation matrix of sediment indicators in the study area

表 3. 研究区域底泥指标相关系数矩阵

污泥参数	氨氮	总磷	有机质	全氮	干物质	水分
氨氮	1.0000	-0.1427	-0.2319	-0.5427	0.3714	-0.3395
总磷	-0.1430	1.0000	0.8987	0.6000	-0.6000	0.5555
有机质	-0.2320	0.8987	1.0000	0.7247	-0.46382	0.6106
全氮	-0.5430	0.6000	0.7247	1.0000	-0.2000	0.9258
干物质	0.3714	-0.6000	-0.4638	-0.2000	1.0000	-0.2469
水分	-0.3390	0.5555	0.6106	0.9258	-0.2469	1.0000

5. 结论及建议

本文采用改进的内梅罗综合污染指数法, 河道底泥中的有机物污染水平用有机指数、主成分分析和 Spearman 秩相关系数法等多元统计方法, 对两条农村河道的水质及底泥的污染情况进行综合分析, 结果表明:

1) 研究通过对各项指标进行正向化处理, 将传统的内梅罗综合污染指数法进行了改进, 进一步消除各指标量纲, 缩小变量的范围, 提高评价结果的准确性。

2) 化学需氧量、总磷和高锰酸盐指数为这两条河道水质的主要污染因子, 而河道底泥中部分点位受到有机氮污染水平较为严重, 另外底泥环境中总磷与有机质和全氮呈正相关性, 氨氮和总磷、有机质和全氮呈负相关, 说明农村河道水环境受到区域主要农业面源污染的影响。

通过上述研究结论得出, 对于浓度自然水环境, 建议全面掌握区域种植特征、氮、磷等养分的流失规律, 这对于控制周边水体氮、磷等污染物的浓度, 减少氮、磷等的径流流失、防治区域农业面源污染和治理农村水体富营养化具有重要意义。

参考文献

- [1] 孟悦, 苗长春, 李垒, 等. 北运河干流入河排水口调查与评价[J]. 给水排水, 2016(S1): 17-19.
- [2] 郭丽峰, 张辉, 刘明喆, 等. 农村河道综合整治生态环境效益评估体系研究[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(5): 474-480.
- [3] 张彬. 论“茶淀”玫瑰香葡萄绿色产业链[C]//中国环境科学学会, 河北省环境科学学会. 华北五省市环境科学学会第十六届学术年会论文集. 2009: 199-201.
- [4] 杨磊磊, 卢文喜, 黄鹤, 等. 改进内梅罗污染指数法和模糊综合法在水质评价中的应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(6): 41-44.
- [5] 吴喜军, 董颖, 张亚宁. 改进的内梅罗污染指数法在黄河干流水质评价中的应用[J]. 节水灌溉, 2018(10): 51-53, 58.
- [6] 冯艳红, 林玉锁, 张孝飞, 等. 苏南地区部分河道底泥中的有机物污染状况及分布特征[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1240-1244.
- [7] 张广帅, 闫吉顺, 张全军, 等. 基于主成分分析法近岸海水环境质量与空间异质性研究——以庄河港近岸海域

-
- 为例[J]. 海洋环境科学, 2020, 39(2): 244-252.
- [8] Wang, X.M., *et al.* (2012) Categorical Principal Component Analysis on Hydrochemical Characteristics of Groundwater in Xieqiao Mine. *Environmental Technology and Knowledge Transfer: 4th International Conference on Environmental Technology and Knowledge Transfer (ICET 2012)*, Hefei, 24-25 May 2012, 260-263.
- [9] Headrick, T.C. (2016) A Note on the Relationship between the Pearson Product-Moment and the Spearman Rank-Based Coefficients of Correlation. *Open Journal of Statistics*, **6**, 1025-1027. <http://dx.doi.org/10.4236/ojs.2016.66082>
- [10] Kamran, Z. and Elnaz, R. (2017) Determining Spatial and Temporal Changes of Surface Water Quality Using Principal Component Analysis. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **13**, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.002>