

国省考断面水质时空变异特征及污染源解析

韦叶

苏州环职安环境技术有限公司

DOI:10.32629/eep.v8i11.2979

[摘要] 为提升平原河网区国省考断面水环境精细化管理水平,本文以苏州市国省考断面核心汇水区为研究对象,通过分析其7月、8月汛期,及10月、11月非汛期的系统水质监测,结合Pearson相关性分析、Ward聚类分析、因子分析及APCS-MLR受体模型,探究水质时空变异规律与主要污染源。结果表明:核心汇水区的高锰酸盐指数、氨氮、总氮、总磷、硝态氮、磷酸盐项等水质指标,均存在显著时空差异,其中总磷与磷酸盐汛期浓度高于非汛期,总氮与硝态氮非汛期浓度更高;同时相关性分析指出总磷与磷酸盐、总氮与硝态氮呈极显著正相关,且在污染源解析中,生活源与农业源是氮磷污染物的主要来源;进而研究结果可为核心汇水区的污染管控精准化,提供数据支持。

[关键词] 国省考断面; 水质; 时空变异特征; 污染源

中图分类号: TU991.21 文献标识码: A

Spatiotemporal Variation Characteristics and Pollution Source Identification of Water Quality in National and Provincial Assessment Sections

Ye Wei

Suzhou Huanzhan Environmental Technology Co., Ltd.,

[Abstract] To improve the refined water environment management level of national and provincial assessment sections in plain river networks, this study took the core catchment area of national and provincial assessment sections in Suzhou City as the research object. Through systematic water quality monitoring during the flood season (July and August) and non-flood season (October and November), combined with Pearson correlation analysis, Ward hierarchical clustering analysis, factor analysis, and the APCS-MLR receptor model, the spatiotemporal variation patterns and main pollution sources were explored. The results showed that significant spatiotemporal differences existed in water quality indicators such as permanganate index, ammonia nitrogen, total nitrogen, total phosphorus, nitrate nitrogen, and phosphate in the core catchment area. Specifically, total phosphorus and phosphate concentrations were higher during the flood season than in the non-flood season, while total nitrogen and nitrate nitrogen concentrations were higher in the non-flood season. Correlation analysis indicated extremely significant positive correlations between total phosphorus and phosphate, as well as between total nitrogen and nitrate nitrogen. In pollution source identification, living sources and agricultural sources were the main contributors of nitrogen and phosphorus pollutants. The findings can provide data support for the precision management and control of the core catchment area.

[Key words] National and provincial assessment sections; Water quality; Spatiotemporal variation characteristics; Pollution sources

前言

水环境质量作为生态文明建设的核心评价指标,国省考断面是水环境质量考核与管理的重要环节,其水质状况直接关系到区域治理成效与生态安全^[1]。苏州市地处长江三角洲平原河网区,河道纵横交错、闸坝圩堤密布,水系无自然分水岭、集水区边界模糊,产汇流受人工干扰强烈,污染物迁移转化规律复杂,

给国省考断面水质溯源与精准管控带来较为显著的影响。因此,本文以苏州市某核心汇水区为对象,通过应用多种方法,联用开展系统性的研究,从而为该区域污染管控提供技术支持,以及为同类区域的国省考断面管理,提供实践参考与理论指导。

1 资料与方法

1.1 核心汇水区划分

核心汇水区的划分严格遵循三大原则,一是问题导向、应纳尽纳原则,综合水文水系、闸坝设置、污染物迁移特征,将断面上下游重点污染源所在陆域全部纳入;二是水质优先、动态调整原则,依据断面水质现状及演变趋势优化汇水区范围;三是边界清晰、标记明确原则,以道路、行政区边界、标志性河流等为分界,便于污染排查与管理落地。再者,在划分方式上,河流型断面以上游5km、两岸1km为缓冲区,往复流断面上下游均设缓冲区,湖库型断面则以岸线外扩1km为缓冲区,叠加遥感影像、土地利用、污染源分布等数据图层,最终形成矢量面状管理图层,从而为后续的水域监测与管控提供数据基础。

1.2 区域概况

选取苏州市某国考断面核心汇水区,流域面积约52km²,涉及3个镇(街道)12个行政村,总人口8.6万人。区域河道密集,总长63km,平均水深1.8-2.5m,流速0.1-0.3m/s,受闸坝调控显著,部分河道存在往复流。土地利用以耕地(42.3%)、建设用地(38.7%)、水域(15.6%)为主,耕地主要种植水稻、小麦等,化肥施用量约350kg/公顷;部分自然村生活污水管网未全覆盖,污染类型以氮磷污染为主。

1.3 监测方案

断面监测方面,通过布设29个监测断面(编号W1-W29),涵盖汇水区上下游、支流汇入处,兼顾河流型与湖库型断面,确保代表性与覆盖性。监测时间设定在每年7月、8月的汛期和10月、11月的非汛期,分别监测2次,共4次监测数据,且全面覆盖不同的水文期。样品采集与分析方面,按《地表水和污水监测技术规范》标准采集混合水样,监测指标包括高锰酸盐指数(CODMn)、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、硝态氮(NO₃-N)、磷酸盐(P₀₄₃-P),采用国家标准方法测定,通过空白样、平行样、标准样品控制数据质量。

1.4 分析方法

相关性分析:采用Pearson法分析指标间相关关系,借助SPSS 25.0计算相关系数及显著性水平^[2]。

空间聚类分析:采用Ward算法与欧氏距离平方(SED),将水质特征相似的断面聚类分组,识别空间差异格局。

因子分析:通过KMO检验和Bartlett检验验证适用性,提取公因子并正交旋转,依据因子载荷识别潜在污染源。

APCS-MLR模型:经数据标准化、主成分提取、APCS计算、多元线性回归,量化污染源贡献率,通过预测值与实测值拟合度R²验证模型可靠性。

2 结果

2.1 水质指标相关性分析

通过对6项水质指标的Pearson相关性分析结果可知,各指标间存在不同程度的相关性;其中CODMn与TP呈极显著正相关($r=0.501, p<0.01$),与TN呈显著中度负相关($r=-0.413, p<0.05$),与硝态氮呈极显著负相关($r=-0.619, p<0.01$);TP则与磷酸盐呈极显著正相关($r=0.675, p<0.01$),TN与硝态氮呈极显著正相关($r=0.654, p<0.01$),说明上述高度相关的指标之间,

可能具有同源性或存在转化关系;再者,CODMn与NH₃-N之间无明显相关性($r=0.320$),说明两者之间的污染来源,可能不相同;见表1。

表1 不同水体污染物相关性分析

指标	CODMn	NH ₃ -N	TP	TN	硝态氮	磷酸盐
CODMn	1	-	-	-	-	-
NH ₃ -N	0.32	1	-	-	-	-
TP	0.501**	0.237	1	-	-	-
TN	-0.413*	0.114	0.281	1	-	-
硝态氮	-0.619**	-0.202	0.03	0.654**	1	-
磷酸盐	0.379*	0.292	0.675**	0.305	-0.044	1

注:“**”为 $P<0.01$ ，“*”为 $P<0.05$,均为相关性显著。

2.2 水质时空变异特征

首先在时间方面,其变异特征表现为,不同指标呈现明显的季节差异;以月为单位可知,其中CODMn浓度表现为 $10>8>7>11$;NH₃-N浓度则为 $11>7>8>10$;总氮与硝态氮变化趋势一致,均为 $11>10>7>8$,非汛期浓度显著高于汛期;总磷与磷酸盐变化趋势相同,为 $7>8>10>11$,汛期浓度高于非汛期。其次在水质等级方面,CODMn、NH₃-N除个别断面的7月、8月、10月为IV类外,其余均达到III类水质标准。最后在空间变异方面,通过空间聚类分析将29个监测断面划分为3组,其中W2、W8、W10等11个断面为I组,表现为总氮与硝态氮浓度最高;W3、W4、W5等10个断面为II组,集中于区域东面南北向汇水河道,表现为各常规水质指标整体偏高;W1、W6、W7等8个断面为III组,表现为CODMn、TP浓度仅次于II组。由此可见,CODMn、TP浓度上,III组>II组>I组,而在NH₃-N、磷酸盐浓度上,II组>III组>I组,总氮与硝态氮浓度上I组>II组>III组。

2.3 污染源解析

时间维度上,7月提取2个主成分,对应生活源与农业源、农业源;8月提取2个主成分,为生活源、农业源;10月提取2个主成分,对应生活源与农业源、农业源;11月提取2个主成分,为农业源、生活源。空间维度上,I组提取2个主成分,均与农业源、生活源相关;II组提取3个主成分,对应农业源、农业源与生活源、生活源;III组提取2个主成分,为农业源与生活源、农业源。

APCS-MLR模型解析结果表示,模型拟合度R²在0.56-0.93之间,预测值与实测值一致性良好,可靠性较高。定量分析表示:生活源/农业源对CODMn、NH₃-N、TP、磷酸盐的贡献率,以及农业源对TN、硝态氮的贡献率,综合起来看,其中生活源与农业源是区域氮磷污染物的主要来源,对TN、TP的累计贡献率分别达到59.3%和68.7%;而可能来源于上游来水及工业源的未知源,其对各指标贡献率在18.7-60.1%范围内,是不可忽视的污染源之一。

3 讨论

核心汇水区水质时空变异特征与区域自然条件、人类活动密切相关,这与长江流域重点断面水质研究得出的“水质时空分异是自然因素与人类活动共同作用的核心结论”相一致^[3]。而在时间上,汛期降雨强度大,对地表土壤的冲刷作用显著,导致农田地表累积的磷素等污染物大量进入水体,使得总磷、磷酸盐浓度升高,这一现象与北京“237”特大洪水复盘分析中揭示的“强降雨引发面源污染负荷激增”的规律相符^[4]。再者非汛期降雨减少,地表径流补给不足,生活污水排放占比相对上升,且闸坝调控导致水体流动性减弱,污染物扩散能力下降,总氮、硝态氮易在水中累积,浓度高于汛期,这与不同时空尺度下水质变异特征研究中“水文条件与人类活动排放节奏共同驱动水质季节波动”的结论一致^[5]。

空间上,本研究II组断面集中于东面南北向汇水河道,受生活污水排放和农业面源污染叠加影响,各指标浓度偏高;I组的断面总氮、硝态氮突出,可能与周边农田化肥施用强度较高相关,进而与华北典型超采区浅层地下水“三氮”时空变异研究中发现的“农田化肥施用是氮素污染的主要驱动因素”类似^[6],均为化肥中氨态氮经硝化作用转化为硝态氮,从而导致总氮浓度升高;III组中的断面COD_{Mn}、TP污染较重,预测其可能与局部生活污染源排放存在关系,进一步印证了“污染源分布格局决定水质空间差异”的学术观点。

本研究的污染源解析结果表明,生活源与农业源是核心汇水区的主要污染来源,符合当前苏州市平原河网区农业种植集中、部分自然村生活污水管网尚未完善的现状。同时,生活源作为污染源之一的体现,主要在氨氮、磷酸盐等指标上,农业源则体现在总氮、硝态氮方面,两种污染源共同影响了水体的总磷浓度,直接反映出平原河网区农业种植与农村生活污染并存的普遍问题。而未知源的存在表明,应当重视上游来水传输的污染物及潜在工业污染源,才能保证在后续污染源管控当中,为其提供

精准的管控方向与依据,促使相关措施可为同类流域的污染源排查,提供技术参考与方向指导。

4 结论

通过解析上述国省考断面水质时空变异特征及污染源可知,核心汇水区水质指标存在显著时空上的差异性,同时汛期的总磷、磷酸盐大于非汛期,并且不同检测断面的分类与水质特征与地理位置、污染源分布存在直接关系;再者,生活源与农业源是区域氮磷污染物的主要来源。因此,在后续水环境质量检测及管控过程中,可针对生活源采取完善污水收集处理系统、农业源实施优化化肥农药施用方式,以及加强上游来水监测与工业污染源排查等,进一步为国省考断面核心汇水区的精细化污染管控,提供数据支持与方向指导。

[参考文献]

[1]朱沈鸣,史英标,程文龙.钱塘江河口段含沙量变化特征模拟分析[J].水电能源科学,2024,42(1):69-73.

[2]豪杰,严星,赵娣,等.基于“水文频率-水质”拟合曲线的河流水质变异与等级特征值分析方法[J].湖泊科学,2023,35(3):863-873.

[3]黄燊,阙思思,罗晗郁,等.长江流域重点断面水质时空变异特征及污染源解析[J].环境工程学报,2023,17(8):2468-2483.

[4]麦合木提·图达吉,童瑞,徐宝宁,等.北京“237”特大洪水复盘分析[J].水力发电学报,2024,43(4):12-22.

[5]张宇菁,黄以程,王建,等.不同时空尺度下港口渡流域的水质变异特征及影响因素[J].亚热带资源与环境学报,2025(3).

[6]丛鑫,张珊珊,徐征和,等.华北典型超采区浅层地下水“三氮”时空变异及驱动因素分析[J].地球与环境,2021,49(6):12.

作者简介:

韦叶(1997--),女,汉族,江苏人,本科,助理工程师,研究方向:环境管理、监测等。