

Spatiotemporal Assessment of Water Quality in the Source Region (Shiyan) of the South-to-North Water Diversion Project's Middle Route

Xiuning Dang Xinyue Dai Dongmei Huang Xian Du Xiaolong Zhang*

Yejin Geological team of Hubei Geological Bureau, Shiyan, Hubei, 442000, China

Abstract

Based on the monthly measured data of 26 state-controlled sections in Shiyan City in 2024, this paper analyzes six water quality indicators by using single-factor evaluation method and comprehensive pollution index method. The results show that the TP and COD_{Mn} of the river section increase simultaneously in July, and there is a risk of eutrophication. The changes of TN and TP in the reservoir section reveal the nitrogen and phosphorus cycle pattern of exogenous input, biological factors and endogenous release. Spatially, Hejiawan and Jiangbei Bridge are the main sections of the reservoir, and the water quality is indirectly affected by the inflow of tributaries. The Shending Estuary and the Sihe Estuary, as tributary inlets, are affected by coastal industrial and urban sewage overflow and historical wastewater discharge, respectively.

Keywords

state-controlled sections; water quality evaluation; space-time characteristics

南水北调中线水源区（十堰段）水质评价与时空特征

党秀宁 代馨悦 黄冬梅 杜先 章小龙*

湖北省地质局冶金地质勘探大队，中国·湖北 十堰 442000

摘 要

本文基于十堰市2024年26个国控断面逐月实测数据，采用单因子评价法与综合污染指数法对6项水质指标进行分析。从而得出结果表明：时间上，河流断面TP与COD_{Mn}在7月同步升高，存在富营养化风险；水库断面TN、TP变化揭示外源输入、生物因素与内源释放共同作用的氮磷循环模式。空间上，何家湾与江北大桥作为水库本体断面，水质受支流汇入间接影响；神定河口与泗河口作为支流汇入口，分别受沿岸工业与城市污水溢流、历史废水偷排的影响。

关键词

国控断面；水质评价；时空特征

1 引言

在快速城市化与经济增长的驱动下，高强度的人类活动与土地开发利用致使各类废水排放量持续上升，由此引发的水体质量退化直接威胁到区域水资源的安全与可持续利用^[1,2]。因此，开展城市河流水质的综合评估，是确保水环境安全、优化水资源配置的关键环节。目前，水质评价的方法主要包括单因子指数法、综合污染指数法、模糊数学评价法以及主成分分析法等^[3]，单因子指数法和综合污染指数法是应用最为广泛的评价方法。

【作者简介】党秀宁（2001-），女，中国河南南阳人，硕士，从事环境保护与水质监测研究。

【通讯作者】章小龙（1987-），男，中国湖北武汉人，硕士，从事工程地质，环境地质，水文地质研究。

十堰市位于秦巴山区腹地，是“南水北调”中线工程的核心水源区与丹江口水库坝区所在地，其水质直接关乎“一泓清水永续北送”的国家水安全战略。为保障水质安全，国家已实施多项重大规划，对该区域环境保护提出了极高要求。然而，现有研究多集中于丹江口水库本身^[4]，对十堰全域水体的综合评估则较为缺乏且年代久远^[5]。鉴于境内多条入库河流的水质直接影响水库安全与公众用水，系统开展十堰市全域水体的水质综合评价，对识别污染、履行水源区责任及保障流域水安全具有关键意义。

2 材料与方法

2.1 研究区概况

十堰市地跨北纬31°30′~33°16′，东经109°29′~111°16′，位于湖北省西北部丘陵地带，是长江流域与汉江流域的交汇地带。承担着向京津冀豫等华北地区提供优质生活、生产用

水的重任，也是中国重要的生态功能区与秦巴生物多样性生态功能区，生态地位极其敏感和关键。境内 2489 条河流除房县马栏河汇入南河后流入丹江口水库下游外，其余均流入丹江库区。其主要河流除汉江外，还有堵河、丹江、金钱河、天河、滔河、马栏河、官山河等。为此，对十堰全域河流开展水质综合评估，是保障清水北送国家战略和区域可持续发展的科学基础。

2.2 数据来源与处理

研究数据来源于 2024 年位于十堰市的 26 个国控断面的月尺度水质监测数据。本文选取 pH、溶解氧（DO）、高锰酸盐指数（COD_{Mn}）、氨氮、总氮（TN）、总磷（TP）6 个指标进行分析。

本文使用 Excel 软件进行原始数据的整理，使用 Origin2025 进行绘图。

2.3 研究方法

研究采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中规定的单因子污染指数法对 26 个国控断面的水质进行评价，采用综合污染指数法将多个水质指标转化为单一指标描述水质的整体情况，计算公式如下：

$$P_i = C_i / S_i \tag{1}$$

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \tag{2}$$

式（1）中， C_i 为第 i 种评价指标的监测浓度； S_i 为第 i 种评价指标的标准限值。式（2）中， n 为水质参数的总数； P_i 为变量 i 的污染指数。DO 指标较为特殊，计算需反过来。

本研究以《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类标准为评价依据。鉴于标准中 TN、TP 指标区分湖库与河流，评价时对水库断面（丹江口 3 个、黄龙滩 2 个、潘口 1 个）进行单独分析；TN 因无河流标准，仅评价湖库断面。

3 结果与讨论

3.1 水质总体特征

表 1 为所有断面 2024 年监测数据的统计结果，断面水质情况良好，所有指标的平均值均满足 III 类标准（除 TN）。DO 最小值为 4.70mg/L，属于 IV 类水；COD_{Mn} 最大值为 6.20mg/L，属于 IV 类水；TP 最大值为 0.24mg/L，属于

IV 类水。DO、COD_{Mn} 和 TP 超过 III 类标准的断面均位于神定河口。6 个水库监测断面 TN 范围为 0.59-1.42mg/L，超过 III 类标准的断面位于丹江口水库和黄龙滩水库。各项指标中，氨氮、TN 和 TP 的变异系数超过 100%，时空变化较为明显；COD_{Mn} 的变异系数为 52.49%，pH 和 DO 的变异系数低于 30%，受时空影响较小。

表 1 水质指标统计结果

水质指标	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数
pH	7.00	9.00	7.99	0.47	5.85%
DO	4.70	16.40	9.12	1.91	20.92%
COD _{Mn}	0.30	6.20	2.00	1.05	52.49%
氨氮	0.02	0.77	0.11	0.12	107.93%
TN	0.33	11.51	1.81	1.99	110.20%
TP	0.01	0.24	0.04	0.04	109.62%

注：pH 无量纲，其他指标单位为 mg/L。

3.2 水质时间变化特征

十堰市国控断面 2024 年综合污染指数逐月变化图见图 2。如图 1a 所示，河流断面综合污染指数在 7-8 月出现峰值，其特征为 COD_{Mn} 与 TP 同步升高，指示富营养化风险，主要源于高温促发的藻类繁殖与施肥期的农业面源污染；氨氮整体偏低但夏季波动大。结果表明，该市河流水质总体良好，但季节性显著。

由图 1（b）可知，氨氮和 COD_{Mn} 的综合污染指数相对稳定。三个水库内断面明显受氮磷营养盐影响，并且与以往夏季污染加重不同，这些断面在冬季污染程度加剧。TN 和 TP 综合污染指数趋势的相似性与差异性揭示了典型的受外源输入、生物因素、内源释放三大机制影响的水库氮磷循环模式。

TN 和 TP 综合污染指数于 1 月达全年峰值，主要受枯水期稀释能力弱、生活与工业废水浓度偏高及沉积物磷释放共同影响。2-7 月下降趋势则是由于春季藻类和水生植物生长消耗水体大量的氮磷作为营养，10 月起随藻类死亡分解与内源释放增强而回升。TP 在 8 月由于汛期强降雨磷易吸附在土壤颗粒上被径流带入水体而出现单独峰，TN 在外源输入和内源释放双重因素下趋势仍保持稳定的原因可能是由于反硝化作用被消耗。

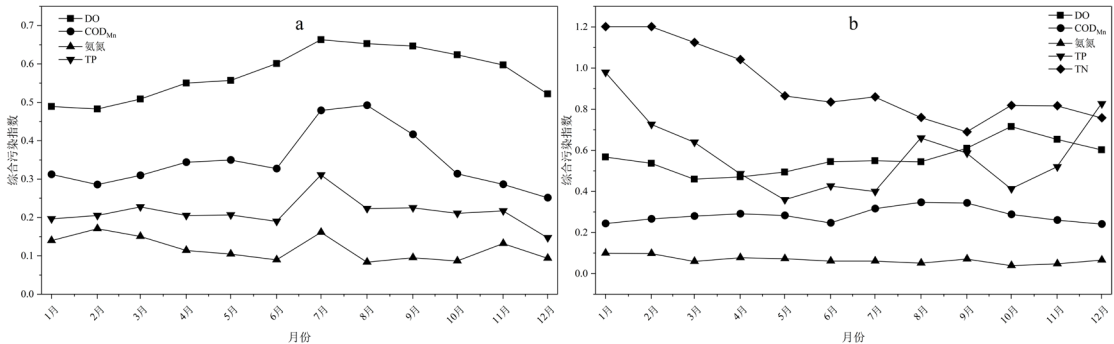


图 1 2024 年综合污染指数逐月变化图（a：河流；b：水库）

3.3 水质空间变化特征

十堰市 26 个断面 COD_{Mn} 、氨氮、DO、TP 污染指数值及综合污染指数变化情况见图 2。由图 2 可知,不同指标的污染指数在不同监测点存在空间分布差异,相对于其他监测断面,夹河口、黄龙 1 呈现较好的水质状况,与地方监管及周边的生态环境有关。从 DO 来看,何家湾、东湾桥的污染指数较高;从 COD_{Mn} 、TP 来看,何家湾、江北大桥、神

定河口、泗河口污染指数较高;从氨氮来看,泗河口、天河口污染指数较高。综合来看,何家湾、江北大桥、神定河口、泗河口水质综合污染指数相对较高。其中,何家湾与江北大桥作为水库本体监测断面,其水质可能受到支流汇入的间接影响;而神定河口与泗河口作为支流汇入监测点,分别直接受到沿岸工厂与城市污水溢流、以及早期生产废水偷排的影响。

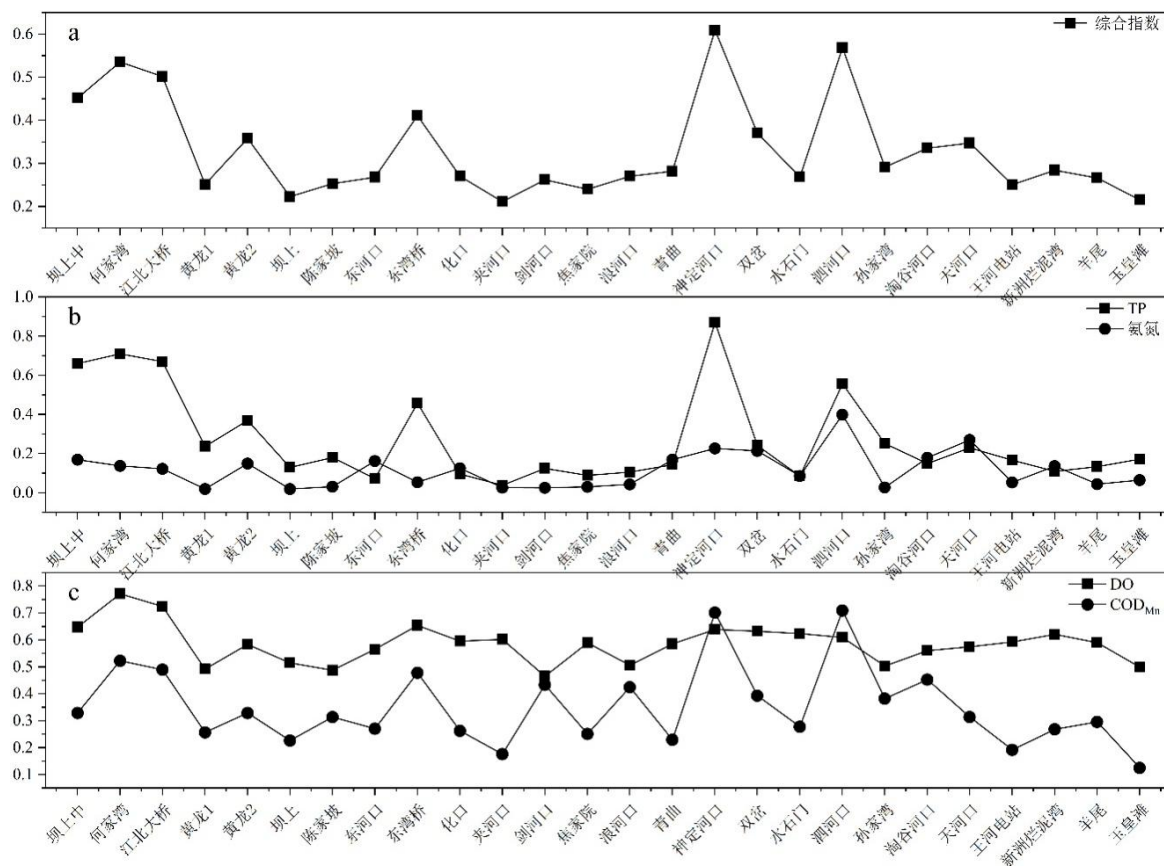


图 2 2024 年综合污染指数空间特征与监测断面示意图
(坝上中为丹江口水库坝上中;坝上为潘口水库坝上)

4 结语

十堰市 2024 年国控断面(河流)水质除神定河口(DO、TP、 COD_{Mn})均达到了《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)Ⅲ类标准;丹江口水库和黄龙滩水库 TN 超过Ⅲ类标准。

时间上,河流断面中 TP 与 COD_{Mn} 在 7 月同步增高,存在富营养化的风险。氨氮综合污染指数整体较好,夏季波动较大;水库断面中 TN 和 TP 综合污染指数趋势的相似性与差异性则显示典型的受外源输入、生物因素、内源释放三大机制影响的水库氮磷循环模式。

空间上,何家湾、江北大桥、神定河口、泗河口水质的综合污染指数相对较高。何家湾与江北大桥作为水库本体监测断面,水质可能受支流汇入的间接影响;神定河口与泗河口作为支流汇入监测点,分别直接受到沿岸工厂与城市污水溢流、以及早期生产废水偷排的影响。

参考文献

- [1] Wang M R, Bodirsky B L, Rijneveld R, et al. A triple increase in global river basins with water scarcity due to future pollution[J]. Nature Communications, 2024, 15(1): 880.
- [2] Feng F, Wu S Q, Feng Q, et al. Evaluation of water quality characteristics, spatiotemporal variations, and pollution sources apportionment in the beijing-hangzhou grand canal, eastern China[J]. Ecological Indicators, 2025, 180: 114329.
- [3] 张胜楠, 李发永, 刘松江, 等. 塔里木河上游水质评价多元统计方法比较研究[J]. 环境科学与技术, 2025(11): 118-132.
- [4] 李佳昊, 张鹏. 2021—2023 年丹江口水库水质变化趋势研究[J]. 绿色科技, 2025, 27(10): 126-133.
- [5] 赵桂芳, 胡展, 王建虹, 等. 十堰市内河水水质评价与污染防治[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2016, 26(5): 90-93.