

目次

气候变化对中国夏季臭氧影响	胡安琪, 谢晓栋, 龚康佳, 侯宇晖, 胡建林 (1801)
基于 EOF 分解和 KZ 滤波的 2019~2021 年中国臭氧时空变化及驱动因素分析	王浩琪, 张裕芬, 罗忠伟, 王艳阳, 戴启立, 毕晓辉, 吴建会, 冯银厂 (1811)
华北工业城市夏季大气臭氧生成机制及减排策略	郑镇森, 姜建平, 张国涛, 李丽明, 徐勃, 杨文, 白志鹏 (1821)
2015~2020 年中国城市 $PM_{2.5}$ - O_3 复合污染时空演变特征	牛笑笑, 钟艳梅, 杨璐, 易嘉慧, 慕航, 吴倩, 洪松, 何超 (1830)
2015~2021 年京津冀及周边地区 $PM_{2.5}$ 和臭氧复合污染时空特征分析	宋小涵, 燕丽, 刘伟, 贺晋瑜, 王亚晨, 黄同林, 李园园, 陈敏, 孟静静, 侯战方 (1841)
2000~2020 年中国典型经济区 $PM_{2.5}$ 时空变化及其与植被景观格局的关系	徐勇, 李欣怡, 黄雯婷, 郭振东, 盘钰春, 郑志威, 戴强玉 (1852)
北京市核心区冬春季大气离子沉降量特征及来源解析	赵宇, 李贝贝, 黄玉虎, 梁静, 杨洪玲, 秦建平, 朱玲 (1865)
南京近郊农田大气颗粒物及金属干沉降输入特征	刘翠英, 靳浩, 樊建凌 (1873)
西安冬季 $PM_{2.5}$ 中不同极性水溶性有机物的污染特征及氧化潜势	罗玉, 黄沙沙, 张甜, 孙健, 沈振兴 (1882)
机动车源和民用燃料源颗粒物中有机碳和元素碳的排放特征	王红磊, 刘思略, 孙杰娟, 刘煥武, 赵天良, 裴宇僊, 可玥, 武自豪, 刘诗云 (1890)
伊犁河谷核心区春季 $PM_{2.5}$ 组分特征及来源解析	谷超, 徐涛, 马超, 伊布提哈尔·加帕尔, 郭丽瑶, 李新琪, 杨文 (1899)
基于高分辨率网格的郑州市城镇居民 $PM_{2.5}$ 暴露浓度与健康风险变化评估	李媛, 徐艺斐, 袁明浩, 苏方成, 王申博, 王克, 张瑞芹 (1911)
基于多源数据融合的河南省建材行业排放清单	刘晓, 胡京南, 王红梅, 杨丽, 张皓 (1924)
开封市城区冬季大气挥发性有机物污染特征及来源解析	施雨其, 郑凯允, 丁玮婷, 刘金平, 陈洪光, 高光, 王玲玲, 王楠, 马双良, 郑瑶, 谢绍东 (1933)
2020 年和 2021 年南京城区臭氧生成敏感性和 VOCs 来源变化分析	陆晓波, 王鸣, 丁峰, 喻义勇, 张哲海, 胡崑 (1943)
北京市城区夏季大气 VOCs 变化特征及臭氧生成潜势	张蕊, 孙雪松, 王裕, 王飞, 罗志云 (1954)
青岛市臭氧污染与非污染期间 VOCs 化学特征及来源解析	贾智海, 顾瑶, 孔翠丽, 宋江邦, 孟赫, 石来元, 吴建会, 刘保双 (1962)
基于总过氧自由基观测研究合肥市西郊夏季 O_3 生成特征	俞辉, 韦娜娜, 徐学哲, 刘芊芊, 姚易辰, 赵卫雄, 张为俊 (1974)
“大气十条”政策的节能降碳效果评估与创新中介效应	李少林, 王齐齐 (1985)
北京市减污降碳协同控制情景模拟和效应评估	俞珊, 张双, 张增杰, 翟艳芝, 刘桐坤 (1998)
基于不同排放清单的长三角人为 CO_2 排放模拟	马心怡, 黄文晶, 胡凝, 肖薇, 胡诚, 张弥, 曹畅, 赵佳玉 (2009)
武汉汉江水源水质变化趋势及风险分析	卓海华, 姜保峰, 徐杰, 陈洁, 陈杰, 兰秀薇, 范文重, 欧阳雪姣, 兰静 (2022)
长江武汉段水源地典型抗生素及抗性基因污染特征与生态风险评价	李柏林, 张贺, 王俊, 沙雪妮, 陈晓飞, 卓海华 (2032)
陕北矿区典型河流多环芳烃的赋存特征、来源及毒性风险分析	吴喜军, 董颖, 赵健, 刘静, 张亚宁 (2040)
典型湖泊有机聚集体时空特征及驱动因子	谢贵娟, 龚伊, 朱富成, 刘昌利, 卢宝伟, 邓辉, 汤祥明 (2052)
桂林市不同功能型公园水体微塑料的分布特征及风险评估	李沛钊, 吴莉, 黄菲菲, 林才霞, 舒小华, 张倩 (2062)
长江流域浮游植物群落的环境驱动及生态评价	张静, 胡愈圻, 胡圣, 黄杰 (2072)
环境异质性对三峡库区支流香溪河附石硅藻群落的影响及驱动作用	纪璐璐, 赵璐, 欧阳添, 杨宋琪, 郑保海, 杜雨欣, 李玉鑫, 李佳欣, 施军琼, 吴忠兴 (2083)
武汉市 3 种类型湖泊浮游植物群落特点及关键影响因素	张浩坤, 闵奋力, 崔慧荣, 彭雪, 张心怡, 张淑烟, 李竹栖, 葛芳杰, 张璐, 吴振斌, 刘碧云 (2093)
重金属污染对不同生境中微生物群落结构的影响	何一凡, 肖新宗, 王佳文 (2103)
亳清河水体细菌群落的结构和分布特征	王森, 陈建文, 张红, 李君剑 (2113)
微塑料暴露对小棒指软珊瑚 (<i>Sinularia microclavata</i>) 共生细菌群落结构和功能的影响	刘敏, 车文学, 曾映旭, 边伟杰, 吕淑果, 穆军 (2122)
上海市从源头到龙头的饮用水新型污染物分布特征及健康风险评价	严棋 (2136)
铝改性生物炭对水体低浓度氟的吸附特性	刘艳芳, 高玮, 刘蕊, 尹思婕, 张妙雨, 刘晓帅, 李再兴 (2147)
典型雌激素在微塑料上的吸附特征及位点能量分布	刘姜艳, 郑密密, 胡嘉梧, 柳玉荣, 贺德春, 潘杰 (2158)
面向工业园区废水臭氧氧化深度处理性能评价的模型污染物选择与评估	辛勃, 单超, 吕路 (2168)
基于地理探测器和多源数据的耕地土壤重金属来源驱动因子及其交互作用识别	张宏泽, 崔文刚, 刘绥华, 崔瀚文, 黄月美 (2177)
基于 APCS-MLR 和 PMF 模型的煤矸山周边耕地土壤重金属污染特征及源解析	马杰, 沈智杰, 张萍萍, 刘萍, 刘今朝, 孙静, 王玲灵 (2192)
基于蒙特卡罗模拟的铅锌冶炼厂周边农田土壤重金属健康风险评估	黄剑波, 姜登登, 温冰, 王磊, 石佳奇, 周艳 (2204)
基于 BP 神经网络预测北京市加油站周边土壤多环芳烃含量	马赛炎, 魏海英, 马瑾, 刘奇缘, 吴颐杭, 屈雅静, 田雨欣, 赵文浩 (2215)
石家庄市土壤中喹诺酮类抗生素时空分布及其风险评估	赵鑫宇, 陈慧, 赵波, 宋圆梦, 卢梦淇, 崔建升, 张璐璐, 李双江 (2223)
典型黑色岩系地质高背景区土壤和农产品重金属富集特征与污染风险	邓帅, 段佳辉, 宁墨兔, 谭林, 蒲刚, 陈际行, 齐小兵, 蒋尚智, 谢桃园, 刘意章 (2234)
岩溶区不同母质土壤 Cd 地球化学特征及玉米籽实 Cd 含量预测	戴亮亮, 徐宏根, 巩浩, 彭志刚, 肖凯琦, 吴欢欢, 许青阳, 郭军, 汤媛媛, 张俊 (2243)
龙岩市不同利用类型土壤及农作物 Pb、Cd 和 As 污染风险与贡献分析	王蕊, 陈楠, 张二喜 (2252)
小麦籽粒镉含量影响因素 Meta 分析和决策树分析	刘娜, 张少斌, 郭欣宇, 宁瑞艳 (2265)
黄土高原次生林演替过程土壤有机碳库及其化学组成响应特征	刘涵宇, 刘颖异, 张琦, 封伦, 高起乾, 任成杰, 韩新辉 (2275)
短期氮磷添加对祁连山亚高山草地土壤呼吸组分的影响	江原, 甘小玲, 曹丰丰, 赵传燕, 李伟斌 (2283)
黄河源区斑块退化高寒草甸土壤微生物多样性对长期封育的响应	杨鹏年, 李希来, 李成一, 段成伟 (2293)
不同海拔箭筈锦鸡儿根际和非根际土壤细菌群落多样性及 PICRUSt 功能预测	李媛媛, 徐婷婷, 艾喆, 魏庐璐, 马飞 (2304)
模拟酸雨及氮沉降对马尾松林土壤细菌群落结构及其多样性的影响	王楠, 钱少郁, 潘小承, 陈一磊, 白尚斌, 徐飞 (2315)
磷石膏和碱渣对盐渍化土壤水盐及细菌群落结构的影响	刘月, 杨树青, 张万峰, 姜帅 (2325)
菌渣与化肥配施对稻田土壤微生物群落组成及多样性的影响	耿和田, 王旭东, 石思博, 叶正钱, 周文晶 (2338)
增氧对不同秸秆还田稻田田面水养分动态及温室气体排放的影响	胡锦涛, 薛利红, 钱聪, 魏利祥, 曹帅 (2348)
外源褪黑素对胁迫下水稻幼苗生长和抗氧化系统的影响	储玉檀, 李颜, 黄益宗, 保琼莉, 孙红羽, 黄永春 (2356)
面向 2035 的节能与新能源汽车全生命周期碳排放预测评价	付佩, 兰利波, 陈颖, 郝卓, 邢云翔, 蔡旭, 张春梅, 陈轶嵩 (2365)
农田土壤微塑料分布、来源和行为特征	薄录吉, 李冰, 张凯, 马荣辉, 李彦, 王艳芹, 孙斌, 刘月岩 (2375)
农田土壤除草剂污染的修复技术研究进展	胡芳雨, 安婧, 王宝玉, 徐明恺, 张惠文, 魏树和 (2384)
我国黑土地农田土壤除草剂残留特征研究及展望	李睿, 吴秋梅, 赵归梅, 胡文友, 田康, 黄标, 吴祥为, 刘峰, 赵永存 (2395)
《环境科学》征订启事(1910)	
《环境科学》征稿简则(1984)	
信息	(2167, 2191, 2324)

武汉汉江水源水质变化趋势及风险分析

卓海华¹, 娄保锋¹, 徐杰¹, 陈洁¹, 陈杰¹, 兰秀薇², 范文重¹, 欧阳雪姣¹, 兰静^{1*}

(1. 生态环境部长江流域生态环境监督管理局生态环境监测与科学研究中心, 武汉 430010; 2. 长江水利委员会, 武汉 430010)

摘要: 武汉汉江水源是全国重要饮用水水源地之一, 其水质好坏关系到武汉市数百万居民生活及生产用水安全。在引汉济渭、南水北调中线和鄂北调水等大型水利工程建设运行背景下, 利用 2004 ~ 2021 年水质监测成果, 对武汉市汉江水源水质变化趋势及风险进行研究。结果表明, 武汉汉江水源水体中总磷、高锰酸盐指数和氨氮等污染物浓度与武汉市城市集中式地表水饮用水水源保护区管理要求存在一定差异, 尤其是总磷存在较大超标风险。水源水体中藻类生长基本不受氮、磷和硅浓度限制, 若不考虑其他因素, 水温适宜时 (6 ~ 12℃) 暴发硅藻“水华”的风险较高; 来水水质对水源影响较大, 西湖水厂至宗关水厂取水口间可能存在污染物汇入; 高锰酸盐指数、总氮、总磷和氨氮等水质参数浓度时空变化趋势不一致, 尤其是氮、磷元素, 2016 年以来其比值呈快速上升趋势, 水体 N/P 的显著变化可能会引起浮游藻类种群结构及数量改变, 从而影响供水安全。水源水体总体处于中营养至轻度富营养状态, 极个别时段可能会出现中度富营养的状况, 当前水体营养状态有好转趋势。有必要对水源污染物来源、数量 and 变化趋势深入调查以化解潜在供水风险。

关键词: 水源; 水质; 变化趋势; 风险; 分析

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2023)04-2022-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.202205035

Water Quality Change Trend and Risk Analysis of Wuhan Hanjiang River Water Source

ZHUO Hai-hua¹, LOU Bao-feng¹, XU Jie¹, CHEN Jie¹, CHEN Jie¹, LAN Xiu-wei², FAN Wen-zhong¹, OUYANG Xue-jiao¹, LAN Jing^{1*}

(1. Yangtze River Basin Ecological Environment Monitoring and Scientific Research Center, Yangtze River Basin Ecological Environment Supervision and Administration Bureau, Ministry of Ecology and Environment, Wuhan 430010, China; 2. Changjiang River Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: Hanjiang River is closely related to the middle route of the South-to-North Water Diversion Project, the Water Diversion Project from the Hanjiang River to the Wei River, and the Water Diversion Project in Northern Hubei. The Wuhan Hanjiang River water source is one of the important drinking water sources in China; its water quality safety is significant to living and production for millions of residents in Wuhan. Based on data from 2004 to 2021, the water quality variation trend and risk of Wuhan Hanjiang River water source were studied. The results showed that a certain gap existed between the concentrations of some pollutants such as total phosphorus, permanganate index, ammonia nitrogen, and correspondent water quality target, especially for the total phosphorus. The growth of algae in the water source was marginally limited by the concentrations of nitrogen, phosphorus, and silicon. When other factors remained unchanged, diatoms tended to grow rapidly when the water temperature was appropriate (6-12℃). The quality of water upstream had a great impact on the water quality of the Hanjiang water source. There may have been pollutants entering into the reach during the West Lake Water Plant and Zongguan Water Plant. There were differences in the temporal and spatial variation trend of concentrations between permanganate index, total nitrogen, total phosphorus, and ammonia nitrogen. Significant changes in the ratio of nitrogen and phosphorus in the water body will affect the population structure and quantity of planktonic algae and ultimately affect the safety of water quality. The water body in the water source area was generally in the state of medium nutrition to mild eutrophication, and middle eutrophication may have occurred in a few periods. In recent years, the nutritional level of the water source has been on the decline. It is necessary to make an in-depth investigation on the source, quantity, and change trend of pollutants in water sources in order to eliminate potential risks.

Key words: water source; water quality; change trend; risk; analysis

汉江是长江中游主要支流, 发源于陕西南宁强县秦岭南麓, 干流流经陕西和湖北两省^[1], 其在蔡甸新沟进入武汉境内, 在武汉市中心龙王庙汇入长江, 武汉境内流程约 62 km。汉江武汉段河道弯曲, 江面丰水期宽度约 400 m, 枯水期仅 100 m 左右。汉江干流武汉段主要被划分为汉江武汉保留区和汉江武汉蔡甸、东西湖区农业、工业用水区及汉江武汉城区、蔡甸、东西湖区饮用水源、工业用水区, 这 3 个重要水功能区水质管理目标均为《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) III 类^[2]。为加强城市饮用水水源地保护工作, 武汉汉江水源作为一个整体被纳入全国重要饮用水水源地名录^[3], 其包括了武汉

城区以汉江为水源的西湖、蔡甸、白鹤嘴、余氏墩、琴断口和宗关等水厂水源地。据统计, 这些水厂年总供水量总计在 4 亿 t^[4] 以上。按武汉市城市集中式地表水饮用水水源保护要求^[5], 上述水厂水源地一级保护区水域范围为取水口上游 1 ~ 2 km, 至下游均为 100 m, 横向为整个河道宽度; 一级保护区水质要求为不得低于《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) 中 II 类标准。

收稿日期: 2022-05-05; 修订日期: 2022-07-01

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFB2102905)

作者简介: 卓海华 (1978 ~), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为流域水环境监测评价, E-mail: zhuohaihua@cjjg.mee.gov.cn

* 通信作者, E-mail: 22630948@qq.com

汉江水环境质量的优劣直接关系到沿江居民安居乐业和社会经济发展等重大问题. 汉江中下游水体水质、水污染状况及其变化已有一些分析^[6~11]. 自1992年2月在汉江中下游首次观测到“水华”以来,因“水华”频发,该水域水环境问题引起了广泛关注^[12~18];随着引汉济渭、南水北调中线工程和鄂北调水等大型水利工程的建成运行,因调水对汉江中下游水环境带来的影响受到更进一步关注^[19~24]. 但汉江作为武汉市城市主要供水水源地,其水质变化趋势及风险分析鲜见报道. 长期持续监测结果显示,除“水华”现象外,宗关、琴断口和白鹤嘴等水厂水源地一级保护区内水体部分月份存在水质评价结果超Ⅲ类^[4]的情况. 因此,聚焦水源地属性,本文以武汉汉江水源地为研究对象,应用MK (Mann-Kendall) 趋势分析等手段对其变化进行分析,综合评估水源地水环境现状、污染物时空分布特征和潜在风险,旨在为水源地保护管理、水质改善和城市供水安全等提供技术支持.

1 材料与方法

1.1 研究范围

武汉汉江水源地是一系列水厂水源地概称. 目前武汉市以汉江为水源的水厂主要有西湖水

厂、蔡甸水厂、白鹤嘴水厂、余氏墩水厂、琴断口水厂、宗关水厂和国棉水厂(2017年停止运行),其中白鹤嘴水厂、琴断口水厂和宗关水厂这3个水厂供水量约占上述水厂总供水量的90%,占到全市总供水量的近30%. 各水厂取水口通常设置在河道较靠近河岸部分. 为更好研究武汉汉江水源水质状况,综合考虑河道特征和水厂取水因素,参照《水环境监测规范》(SL 219)在每个水厂取水口上游约1 km处设置监测断面(位于水源地一级保护区范围),并在每个断面距岸约5 m、10 m和50 m的位置设置采样垂线,采集水面以下0.5 m水样开展检测. 各水厂和采样断面位置示意图1.

1.2 研究时段及方法

选取2004~2021年系列监测成果进行分析. 水质指标选取水温、pH、透明度、高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮、浮游植物定性及定量和叶绿素a等. 另外,2022年初对可溶性二氧化硅进行了补充监测. 其中,水温和pH等参数使用便携式多参数分析仪器、透明度采用塞式圆盘法现场测定,高锰酸盐指数、总氮、总磷、氨氮、可溶性二氧化硅和浮游植物定性及定量等参数的检测均参照国家或行业标准方法进行.

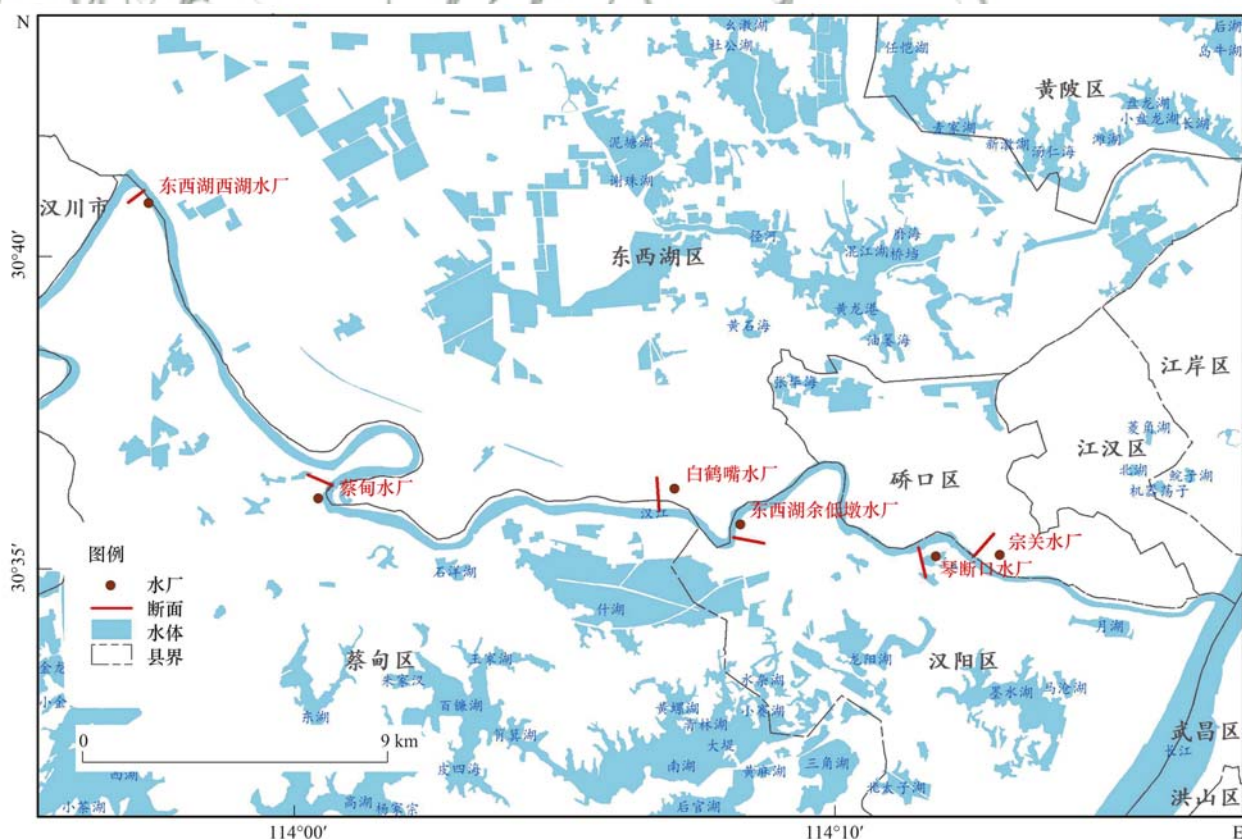


图1 武汉汉江水源相关水厂及监测断面位置示意

Fig. 1 Location of water plants and monitoring sections in Wuhan Hanjiang River water source

1.3 数据处理及评价

数据经过检查、剔除异常值等处理后,采用 Microsoft Office Excel 2019 进行整理和分析.水质因子间相关性采用 SPSS 19 进行分析.水质变化趋势及富营养化评价分别采用季节性 Kendall 检验方法和中国环境监测总站规定方法进行,具体如下:

(1)水质变化趋势评价 季节性 Kendall 检验方法,水质变化趋势根据显著性水平 α 值确定.水质参数呈上升趋势(透明度呈下降、浊度呈上升),表示趋于恶化;反之趋于改善^[25].具体评价方法采用中国水利水电科学研究院水环境研究所开发的季节性 Kendall 趋势检验法评价软件进行.评价标准见表 1.

表 1 水质变化趋势分析评价表

Table 1 Analysis and evaluation of water quality change trend		
序号	显著性水平(α)	显著性
1	$\alpha \leq 0.01$	高度显著
2	$0.01 < \alpha \leq 0.1$	显著
3	$\alpha > 0.1$	无趋势

(2)水体富营养化评价 水体富营养化是水环境中普遍存在的水质污染现象,目前已有许多水质富营养化数学模型用来模拟各种水体的富营养化进程^[26];因适用于不同水域、气候环境等条件,有些模型涉及参数也很多(可多达四五十种)^[27].为简化分析,基于所研究水源地处于汉江河口段,水体会受到长江顶托,具有类似狭长湖泊的一些水文特征.因此,本文参照中国环境监测总站富营养化评价及分级规定^[28]计算水源地水体富营养化指数 $\left[\text{TLI} \left(\sum \right) \right]$ 并开展评价和分析.水体营养状态分级见表 2.

表 2 水体营养状态分级

Table 2 Classification of water nutritional status	
$\text{TLI} \left(\sum \right)$	营养状态
$\text{TLI} \left(\sum \right) \leq 30$	贫营养(oligotropher)
$30 < \text{TLI} \left(\sum \right) \leq 50$	中营养(mesotropher)
$\text{TLI} \left(\sum \right) > 50$	富营养(eutropher)
$50 < \text{TLI} \left(\sum \right) \leq 60$	轻度富营养(lighteutropher)
$60 < \text{TLI} \left(\sum \right) \leq 70$	中度富营养(middleeutropher)
$\text{TLI} \left(\sum \right) > 70$	重度富营养(hypereutropher)

2 结果与讨论

2.1 监测结果

统计结果见表 3.汉江干流水温随气温变化而变化,1 月汉江干流平均水温最低,最低水温低于 2℃;平均水温最高出现在 8 月,可接近 30℃.水温

与藻类生长关系密切(后文将详细讨论).pH 平均值及中位值均在 8.0 附近小幅变动,总体呈弱碱性;1~3 月和 8 月 pH 最高值均达到 8.7 以上,在 3 月甚至出现 >9.0 的现象;除 8 月外,其他月份最高值均 <8.6.天然地表水 pH 值一般为 6~9 之间.按照水源地保护相关要求,水源地保护区内不允许设置排污口,相关水厂水源地水体 pH 值升高可以排除点源影响.出现 pH 值升高,基本可以判定其与藻类生长密切相关.水体中藻类生长时由于光合作用消耗二氧化碳,破坏了碳酸平衡,会造成表层 pH 值升高^[29~30],藻类种群密度的增大会使酸碱度逐渐增加^[31].因此,在监管中也可通过观测 pH 值变化初步研判汉江各水厂水源地藻类种群密度及变化趋势.各水厂水源地水体各月透明度中位值在 40~60 cm 之间,汛期(5~10 月)相对较高,非汛期相对较低,且月内变化较大,最低仅约 10 cm,最高可达 150 cm,这可能与来水、监测垂线设置、水体营养(藻类生长)、光照和气象等条件有关.

高锰酸盐指数测值在 1.32~6.90 mg·L⁻¹ 之间变动,波动较大;各月度中位值与平均值均在 2.7 mg·L⁻¹ 附近小幅波动,波幅 <0.3 mg·L⁻¹;统计结果显示各月均有一定比例的高锰酸盐指数测值 >4.0 mg·L⁻¹,2、7 和 8 月这 3 个月比例相对较高,尤其是 2 月这一比例接近 10%;8 月还存在 0.79% 的测值 >6.0 mg·L⁻¹.2 月汉江上游来水量相对较小,7 月和 8 月处于汉江主汛期,来水量较大,高锰酸盐指数测值的这种变化可能与来水有密切关联.氨氮测值范围在 <0.025~1.08 mg·L⁻¹ 之间,中位值和平均值范围分别为 0.06~0.18 mg·L⁻¹ 和 0.09~0.20 mg·L⁻¹.除 3 月和 10 月外,其他月份均存在测值高于 0.5 mg·L⁻¹ 的现象,其中 6 月比例最高,达到 2.2%,1、5、7 和 11 月在 1%~2% 之间,其余月份均低于 1%;5 月有 0.38% 测值 >1 mg·L⁻¹.根据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002),高锰酸盐指数为 4.0 mg·L⁻¹ 和 6.0 mg·L⁻¹、氨氮为 0.5 mg·L⁻¹ 和 1.0 mg·L⁻¹ 是该两参数地表水Ⅱ类和Ⅲ类标准限值.这表明各水厂水源地高锰酸盐指数、氨氮两参数评价结果以优于(含)Ⅱ类为主,但偶尔会出现Ⅲ类和Ⅳ类的时段.

总磷测值范围在 0.01~0.33 mg·L⁻¹ 之间,中位值和平均值分别在 0.08~0.10 mg·L⁻¹ 和 0.09~0.11 mg·L⁻¹ 之间.所监测的 2~4 月和 9~10 月这 5 个月测值 >0.1 mg·L⁻¹ 的比例最低为 4 月的 20.03%,其次为 2 月的 33.60%,其余月份则接近 50%;除 4 月外,各月测值 >0.2 mg·L⁻¹ 的占比分别为 0.14%、1.36%、1.94% 和 2.51%.按照《地表水环

表 3 武汉汉江各水厂水源地下水水质监测结果统计
Table 3 Statistical table of water quality data of Wuhan Hanjiang River water source

项目	特征值	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
水温 /℃	范围	1.8~15.0	3.0~16.4	4.0~17.5	10.0~25.0	18.0~28.1	15.5~31.0	23.0~32.0	22.0~33.2	18.0~32.1	17.7~27.2	8.0~21.0	3.0~16.5
	中位值	8.0	8.6	12.9	17.5	22.0	26.0	28.2	29.2	26.3	22.0	17.0	11.4
	平均值	8.16	8.81	12.34	17.43	21.83	25.87	28.09	29.10	26.41	21.91	16.67	11.57
pH	范围	7.59~8.71	7.56~8.90	7.70~9.10	7.70~8.40	7.73~8.50	7.37~8.60	7.14~8.40	7.34~8.80	7.48~8.30	7.40~8.21	7.60~8.20	7.67~8.30
	中位值	8.07	8.10	8.10	8.04	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	7.90	8.00	8.00
	平均值	8.05	8.13	8.11	8.05	8.03	7.91	7.88	7.92	7.91	7.88	7.97	8.01
透明度 /cm	>9.0 占比/%	—	—	0.67	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	范围	10~95	10~80	15~150	15~110	15~130	15~130	5~140	10~85	5~110	10~85	10~85	10~100
	中位值	40	40	45	55	60	60	60	50	45	45	40	40
高锰酸盐指数 /mg·L ⁻¹	平均值	41.0	42.6	44.2	54.3	59.8	60.5	55.2	47.0	45.3	43.5	42.3	43.3
	范围	1.44~4.26	1.73~5.51	1.70~5.68	1.50~4.20	1.56~5.60	1.58~4.80	1.53~5.42	1.45~6.90	1.62~4.89	1.68~4.90	1.32~4.48	1.40~5.73
	中位值	2.68	2.78	2.66	2.48	2.38	2.49	2.78	2.72	2.64	2.68	2.60	2.57
氨氮 /mg·L ⁻¹	平均值	2.76	2.92	2.80	2.58	2.44	2.62	2.86	2.88	2.70	2.71	2.67	2.63
	>4.0 mg·L ⁻¹ 占比/%	1.40	9.10	4.02	1.02	0.77	2.33	5.73	5.51	3.14	1.06	0.39	1.94
	>6.0 mg·L ⁻¹ 占比/%	—	—	—	—	—	—	—	0.79	—	—	—	—
总磷 /mg·L ⁻¹	范围	<0.025~0.89	<0.025~0.74	<0.025~0.48	<0.025~0.83	<0.025~1.08	<0.025~0.94	<0.025~0.67	<0.025~0.63	<0.025~0.80	<0.025~0.54	<0.025~0.71	<0.025~0.59
	中位值	0.18	0.15	0.16	0.10	0.11	0.13	0.09	0.06	0.08	0.08	0.09	0.12
	平均值	0.20	0.18	0.17	0.14	0.14	0.17	0.12	0.09	0.09	0.11	0.14	0.16
总氮 /mg·L ⁻¹	>0.50 mg·L ⁻¹ 占比/%	2.81	0.80	—	0.77	1.53	2.20	1.43	0.39	0.39	—	1.42	0.52
	>1.0 mg·L ⁻¹ 占比/%	—	—	—	0.77	0.38	—	—	—	—	—	—	—
总磷 /mg·L ⁻¹	范围	0.03~0.25	0.04~0.33	0.05~0.17	—	—	—	—	—	0.03~0.28	0.01~0.27	—	—
	中位值	0.10	0.10	0.10	0.08	—	—	—	—	0.10	0.10	—	—
	平均值	0.10	0.10	0.10	0.09	—	—	—	—	0.11	0.11	—	—
总氮 /mg·L ⁻¹	>0.1 mg·L ⁻¹ 占比/%	33.60	47.15	20.03	—	—	—	—	—	48.84	45.24	—	—
	>0.2 mg·L ⁻¹ 占比/%	0.14	1.36	—	—	—	—	—	—	1.94	2.51	—	—
N/P	范围	1.34~2.52	1.06~2.96	1.02~2.75	—	—	—	—	—	0.50~2.58	0.73~2.88	—	—
	中位值	1.89	1.87	1.87	1.87	—	—	—	—	1.63	1.77	—	—
	平均值	1.92	1.92	1.92	1.91	—	—	—	—	1.62	1.76	—	—
浊度 /NTU	>1.0 mg·L ⁻¹ 占比/%	100	100	100	100	—	—	—	—	98.84	99.60	—	—
	范围	11.0~39.1	8.7~39.1	13.3~44.5	8.0~32.9	—	—	—	—	9.2~29.6	13.5~28.5	—	—
	中位值	19.7	19.1	23.6	16.5	—	—	—	—	17.6	19.3	—	—
叶绿素 a /μg·L ⁻¹	平均值	9~151	2~137	6~114	—	—	—	—	—	1.5~277	2~227	—	—
	范围	30.3	29.0	25.0	—	—	—	—	—	41.5	49.5	—	—
	中位值	36.2	32.7	28.5	—	—	—	—	—	59.1	61.3	—	—
藻类密度 ×10 ⁴ /cell·L ⁻¹	平均值	0.2~130.8	1~143.9	0.3~28.4	—	—	—	—	—	0.5~42.7	0.5~18.8	—	—
	范围	9.4	7.2	4.6	—	—	—	—	—	3.0	2.2	—	—
	中位值	19.2	14.4	5.9	—	—	—	—	—	4.5	2.8	—	—
可溶性二氧化硅 ¹⁾ /mg·L ⁻¹	平均值	4.2~4200	3.9~5300	4.9~1291	—	—	—	—	—	1.0~1582	1.4~450	—	—
	范围	268	200	127	—	—	—	—	—	91.5	30.0	—	—
	中位值	552	468	190	—	—	—	—	—	159	80.1	—	—
可溶性二氧化硅 ¹⁾ /mg·L ⁻¹	范围	8.60~9.24	6.71~9.27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	中位值	9.02	7.97	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	平均值	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1) 2022 年初补充测定结果

境质量标准》(GB 3838-2002)进行评价,武汉市各水源地总磷虽主要以优于(含)Ⅱ类为主,但符合Ⅲ类乃至达到Ⅳ类的情况仍占一定比例.由此可见,尽管水源地评价结果可以满足所在重要水功能区水质管理要求,但难以全面达到饮用水水源地一级保护区水质保护目标^[5].虽然在实际工作中一般以断面各测点测定值的平均值进行水质评价,这样处理后评价结果劣于Ⅱ类水质的比例会有所降低,但统计结果表明武汉汉江水源地水质总磷、氨氮和有机污染物与管理要求仍会存在一定差距,尤其是总磷.

总氮测值范围为 0.50 ~ 2.96 mg·L⁻¹,中位值和平均值范围分别为 1.63 ~ 1.89 mg·L⁻¹和 1.62 ~ 1.92 mg·L⁻¹;浊度测值范围为 1.5 ~ 277NTU,中位值和平均值范围分别为 25.0 ~ 49.5NTU 和 28.5 ~ 61.3NTU;叶绿素 a 测值范围为 0.2 ~ 143.9 μg·L⁻¹,中位值和平均值范围分别为 2.2 ~ 9.4 μg·L⁻¹和 2.8 ~ 19.2 μg·L⁻¹;藻类密度测值范围为 1.0 × 10⁴ ~ 5 300 × 10⁴ cell·L⁻¹,中位值和平均值范

围分别为 30 × 10⁴ ~ 268 × 10⁴ cell·L⁻¹和 80.1 × 10⁴ ~ 552 × 10⁴ cell·L⁻¹.值得注意的是,2 ~ 4 月测值与 9 ~ 10 月相比较,总氮、叶绿素 a 和藻类密度这 3 个参数,前者明显高于后者,而浊度正好相反;与其他参数测值中位值与平均值基本接近不同,叶绿素 a 和藻类密度等两参数测值两者差异较为明显.另外,2 ~ 4 月和 9 月藻类密度最大值均达到 10⁷ cell·L⁻¹级别.参照相关标准^[32],各水厂水源地 2 ~ 4 月和 9 月藻类密度最高值均高于 10⁷ cell·L⁻¹,可以判定这些月份均可能发生过轻度“水华”.

采用 SPSS 19 对各水源地水质参数相关性进行分析,结果见表 4.结果显示,在显著水平 α = 0.01(双尾)水平下,各水源地监测断面水质监测参数间相关性良好,相关系数均在 0.93 以上.这说明,沿程各水厂水源地水体水质参数浓度间具有较好的一致性,各污染物有着相近的来源,即可以初步判定影响武汉汉江水源地水质的污染物来源为上游来水.

表 4 武汉汉江各水厂水源地水质监测参数间相关性¹⁾

Table 4 Correlation between water quality parameters at different sites of Wuhan Hanjiang River water source

水源地	蔡甸	白鹤嘴	余氏墩	琴断口	宗关
西湖	0.958	0.987	0.982	0.976	0.970
蔡甸		0.953	0.948	0.944	0.936
白鹤嘴			0.987	0.984	0.956
余氏墩				0.970	0.965
琴断口					0.973

1) 显著水平 α = 0.01(双尾)

国际上一般认为,水体中总磷和总氮测值分别达到 0.02 mg·L⁻¹和 0.2 mg·L⁻¹时就可能发生“水华”现象^[33].单从营养盐考虑,各水厂水源地总磷和总氮测值远高于临界值.有研究表明氮磷比(N/P)与藻类大量增殖有密切关系,一般 N/P 高(如 > 30)意味着磷限制,N/P 低(如 < 5)意味着氮限制^[12];研究水域“水华”优势种为硅藻^[12].硅是硅藻生长所必需元素,水体硅元素浓度与冠盘藻密度之间有着极显著的正相关关系^[34].统计结果显示,汉江上各水厂水源地水体中 N/P 平均值在 16.5 ~ 23.6 之间,可溶性二氧化硅含量达 6.71 mg·L⁻¹以上,意味着研究水域氮、磷和硅等营养盐充足,藻类生长基本不受氮、磷和硅元素浓度限制.

在硅藻水华形成过程中,温度、光照、流速和营养盐等均有着重要作用.一般而言,春季水温会随着气温升高而上升,光照充足,适于硅藻繁殖.当前,通过技术手段,可以明确近年来汉江“水华”优势种为汉斯冠盘藻(*Stephanodiscus hantzschii*)而非小环藻^[12,16].当温度和光照强度超过硅藻生长的最适温度范围时,硅藻的生长会明显受到抑制;不同种类

对最适水温要求也不同,如冠盘藻是 5 ~ 10℃,小环藻是 ≥ 23℃^[35].为分析 2004 ~ 2021 年间水温与藻类密度(形成“水华”,对供水构成风险)的关系,以两者测值作图,具体见图 2.前文已经说明,各水厂水源地水质参数间具有较好的一致性,为简化分析,仅以宗关水厂水源地为例.

由图 2 可见,在不考虑其他因素的情况下:①当水温从较低温度持续升高时,宗关水厂水源地水体藻类密度快速升高,其极有可能在较短时间内达到 10⁷ cell·L⁻¹以上,形成“水华”;但当水温达到 12℃ 以上,藻类密度会急剧降低,如图中位置 A 阴影所示;②当水温在一段时间内持续低于 6℃,藻类密度可能也存在升高现象,但基本不会出现“水华”,如图中位置 B 阴影所示;③当水温持续在较高水平(> 12℃)时,藻类密度基本会处于较低水平,如图中位置 C 阴影所示.水温与藻类密度相关性统计分析结果显示,水温是武汉汉江水源地藻类生长重要控制因素;武汉段各水厂水源地藻类生长规律与冠盘藻一致性良好,表明近 20 年研究水域“水华”优势种大概率均为冠盘藻,而非小环藻.同时,通过上

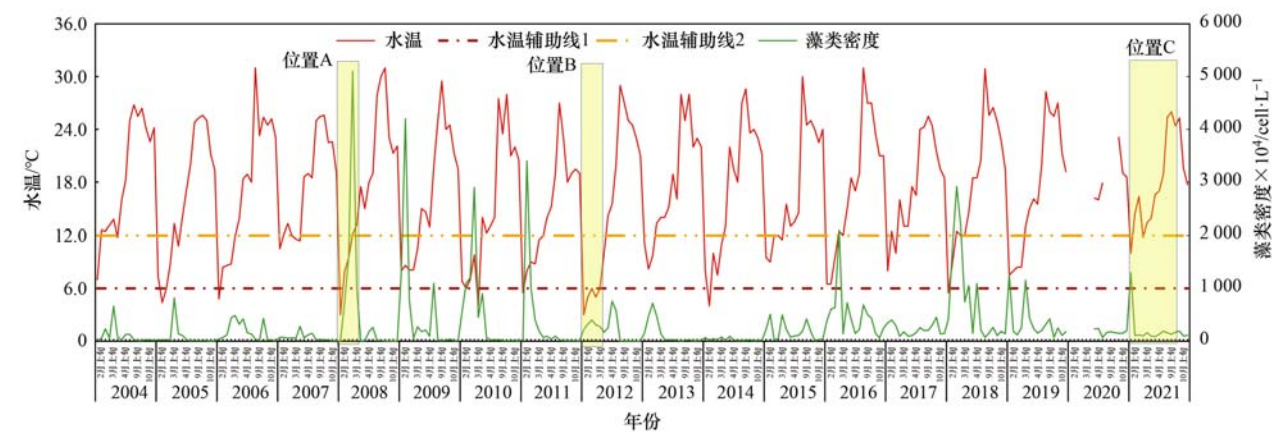


图2 武汉汉江宗关水厂水源水体藻类密度与水温相关性

Fig. 2 Correlation between algae density and water temperature and variation trend of nitrogen and phosphorus ratio at Zongguan Water Plant site in Wuhan Hanjiang River water source

述分析,为精准防范“水华”对各水厂处理工艺造成不利影响,可以通过水温观测进行预判风险并采取必要措施化解。

2.2 富营养化

一般而言,因河流流动性相对较好,其富营养化不如湖泊明显,但部分河流近年来频发的“水华”现象使河流富营养化问题凸显出来.基于所研究水域具有类似狭长湖泊的一些水文特征.为了更好反映水体营养状态,仍以宗关水厂水源监测断面为例,TLI(∑)计算结果及变化趋势见图3.从中可见,宗关水厂水源水体总体处于中营养至轻度富营养状态,极个别时段可能会出现中度富营养的状况,未出现重度富营养情况.其TLI(∑)中位值在中营养评价上限值(50)附近波动,具体为2010年前在

50上下小幅波动但总体微升;2011~2012年达到最高值53.4,然后小幅波动下降,至2019年后该值明显低于50.这说明近年来武汉汉江水源水体营养状态有好转趋势。

尽管如此,因武汉汉江水源处于汉江河口段,该河段水流流速较为缓慢,水体自净能力减弱,且常受长江江水顶托,营养元素易于富集,研究水域营养指数虽有下降趋势,但近年来“水华”频次并未明显降低.富营养化机制复杂,除氮、磷外,流态、流速、流量、气温、水温、透明度、照度和辐射量等物理指标及溶解氧、二氧化碳和可溶性硅酸盐等化学指标等均可成为其影响因子,而最直接的影响因子应为流速.对于汉江武汉各水源而言,在上游营养盐输入浓度无显著变化且光照、气温等物理指标基本不变的情况下,要进一步抑制“水华”可通过改变水体流速流量,即加大上游来水量并结合工程调度使

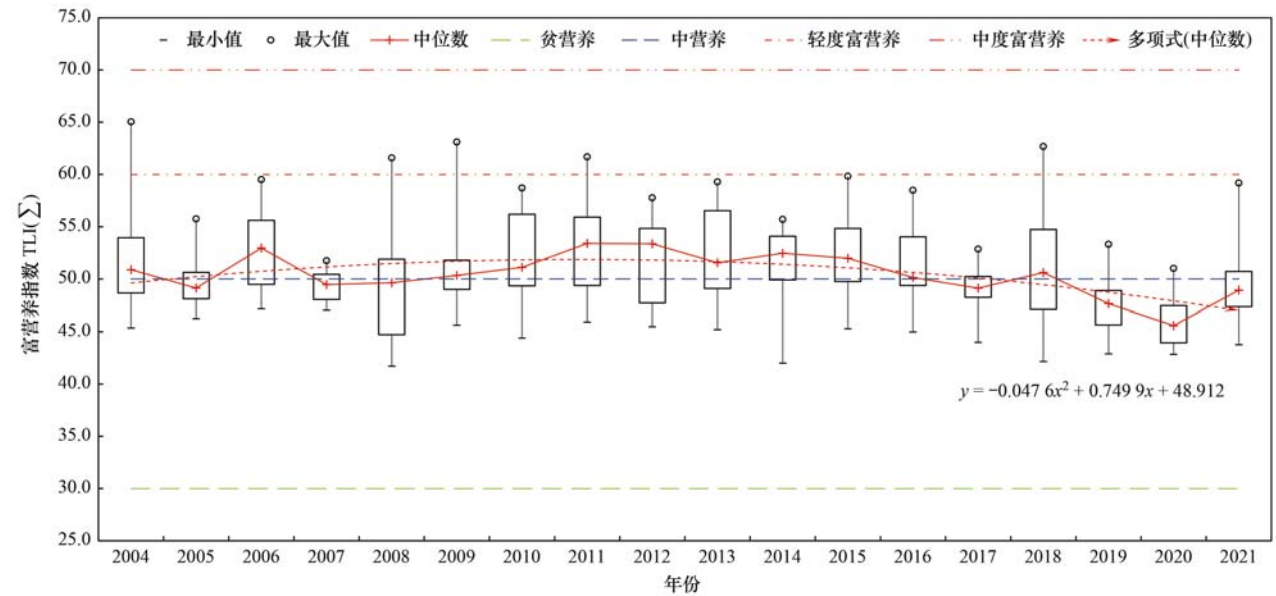


图3 武汉汉江宗关水厂水源水体营养状态变化趋势

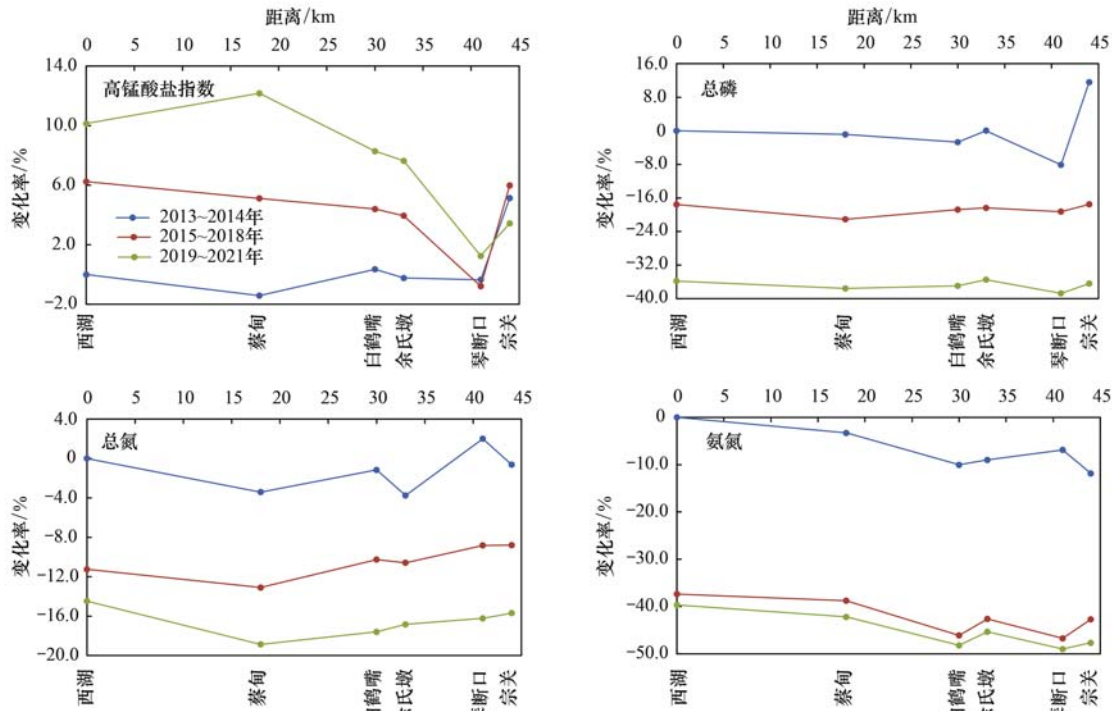
Fig. 3 Change trend of water nutritional status at Zongguan Water Plant site in Wuhan Hanjiang River water source

水体流速改变(波动),使水体交换速度加快.这在南水北调工程、引江补汉及汉江中下游系列水库建成运行的大背景下通过联合调度应具有现实可操作性.

2.3 沿程变化

为了简化分析,仅选取高锰酸盐指数、总磷、总氮和氨氮这4个相对较独立参数进行研究.南水

北调中线工程2019~2020年度实际供水首次达到设计供水规模^[36].因此,为了分析南水北调中线工程调水对武汉汉江水源水质是否产生了影响,分成调水前(2013~2014年,阶段Ⅰ)、未满足负荷调水期(2015~2018年,阶段Ⅱ)和满足负荷调水期(2019~2021年,阶段Ⅲ)3个时段进行研究.变化过程详见图4.



纵坐标:以西湖水厂水源地各参数阶段Ⅰ浓度平均值为参照值,其他测值与之相比,变化率正值为增加,负值为降低;

横坐标:下游水厂水源地监测断面距西湖水厂水源地监测断面距离, km

图4 武汉汉江各水厂水源地水体水质参数沿程变化趋势

Fig. 4 Spatial variation trend of water quality parameters of Wuhan Hanjiang River water source

由图4可见,高锰酸盐指数、总磷、总氮和氨氮这4个参数变化趋势不尽相同.高锰酸盐指数在阶段Ⅰ西湖至琴断口水源地统计值基本保持稳定,各水源地无显著差异;余氏墩水厂水源地之前,阶段Ⅱ各水源地较阶段Ⅰ升高约4.0%~6.5%,阶段Ⅲ较阶段Ⅱ再升高约3.7%~7.1%;阶段Ⅱ和阶段Ⅲ西湖至琴断口水源地统计值整体呈下降趋势,至琴断口水源地3个阶段则差异不显著,但琴断口至宗关出现较大幅度的升高.西湖至余氏墩水源地总磷在阶段Ⅰ基本稳定,余氏墩至琴断口出现较大幅度下降,但琴断口至宗关出现大幅升高;阶段Ⅱ和阶段Ⅲ西湖至宗关水源地总磷总体稳定,但阶段Ⅱ较阶段Ⅰ总体下降约18%,阶段Ⅲ较阶段Ⅱ又下降约18%.总氮各阶段在西湖至蔡甸段呈下降趋势,其后均呈现波动上升趋势,但变幅均不太显著;阶段Ⅱ较阶段Ⅰ、阶段Ⅲ较阶段Ⅱ分别下降9%和6%左右.氨氮在3个阶段均呈现波动下降趋势,每阶段下

降约7%;阶段Ⅱ和阶段Ⅲ较阶段Ⅰ整体下降显著,测值下降30%以上,且各水源地阶段Ⅲ较阶段Ⅱ下降幅度大3%左右.

沿程的这种时空变化说明,在南水北调输水各阶段各水厂水源地水体高锰酸盐指数、总磷、总氮和氨氮等参数发生了不同程度的变化,且沿程变化不尽相同,尽管本研究无法直接证明这种变化与调水工程建设有显著联系.同时,西湖水厂水源地至宗关水厂水源地间沿程不同参数的变化趋势不一致,说明在某些河段可能存在一定的污染物的输入,如有机物和总磷.因研究河段基本无水体汇入,若无污染物质的输入或输入量较低,考虑水体自净因素等后,理论上污染物浓度沿程应基本稳定或趋于降低.另外,相对汉江流域多年平均水资源总量^[37]而言,武汉汉江水源地各水厂不到5亿 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 的取水量对河道水文条件不会带来显著改变,即使是2014年在南水北调中线开始调水以后取水量与观测到的最小

年径流量^[38]（仙桃站）相比也仅占约 1/40。但是，大规模调水肯定会减少/降低河道水量、流速和水位，进而影响到污染物在水体的自净和扩散等过程，间接影响水源地水质。

2.4 时间变化

根据季节性 Kendall 检验方法，研究 2004 ~ 2021 年流武汉汉江水源地水质指标变化趋势。具体见表5。所研究参数中，所有水源地水温无显著变化

表 5 武汉汉江各水厂水源地水体水质参数随时间变化趋势¹⁾

Table 5 Temporal variation trend of water quality of Wuhan Hanjiang River water source											
序号	测站名称	水温		pH		透明度		高锰酸盐指数		总磷	
		α	趋势	α	趋势	α	趋势	α	趋势	α	趋势
1	西湖	0.432 9	—	0.488 0	—	0.131 3	—	0.028 0	↗	0.001 3	↓
2	蔡甸	0.488 0	—	0.364 5	—	0.074 7	↗	0.017 4	↗	0.000 0	↓
3	白鹤嘴	0.303 6	—	0.000 3	↓	0.000 0	↑	0.000 0	↓	0.002 4	↓
4	余氏墩	0.694 8	—	0.903 9	—	0.137 8	—	0.195 6	—	0.000 1	↓
5	琴断口	0.701 7	—	0.000 0	↓	0.000 0	↑	0.000 0	↓	0.000 4	↓
6	宗关	0.434 1	—	0.000 7	↓	0.000 0	↑	0.000 0	↓	0.016 1	↘

序号	测站名称	总氮		藻类密度		叶绿素 a		氨氮		浊度	
		α	趋势	α	趋势	α	趋势	α	趋势	α	趋势
1	西湖	0.055 9	↘	0.002 4	↑	0.575 4	—	0.000 1	↓	0.639 2	—
2	蔡甸	0.069 0	↘	0.010 3	↗	0.744 1	—	0.000 0	↓	1.000 0	—
3	白鹤嘴	0.235 7	—	0.001 0	↑	0.013 3	↗	0.607 3	—	0.004 1	↓
4	余氏墩	0.102 0	—	0.003 3	↑	0.962 8	—	0.000 4	↓	0.049 0	↘
5	琴断口	0.397 0	—	0.002 2	↑	0.028 9	↗	0.861 1	—	0.004 4	↓
6	宗关	0.476 7	—	0.010 0	↗	0.107 5	—	0.402 9	—	0.038 6	↘

1) “ α ”表示显著性水平；“—”表示无明显升降趋势；“↗”表示显著上升；“↘”表示显著下降；“↑”表示高度显著上升；“↓”表示高度显著下降

趋势。pH 值在白鹤嘴、琴断口和宗关等靠近河口水厂水源地存在高度显著下降。透明度在除西湖和余氏墩这两个水厂水源地外高度显著或显著升高，而水体浊度仅在西湖和蔡甸水厂水源地无显著变化外，其余水厂水源地为高度显著下降或显著下降。高锰酸盐指数在上游段的西湖和蔡甸水厂水源地显著上升，在余氏墩水厂水源地无显著变化，在靠近河口段的白鹤嘴、琴断口和宗关这 3 个水厂水源地则高度显著下降。营养盐指标中，总磷总体呈高度显著下降，总氮在西湖和蔡甸这两个水厂水源地呈显著下降，在其余水厂水源地无显著变化趋势；氨氮在靠近上游来水的西湖、蔡甸和余氏墩等水厂水源地存在高度显著下降，在其余水厂水源地无显著变化。藻

类密度在各水厂水源地均呈显著或高度显著上升趋势，而叶绿素 a 仅在白鹤嘴和琴断口这两个水厂水源地呈显著升高，其余无显著变化趋势。这表明各水厂水源地有机污染趋势分化明显，上游趋于加重，而下游趋好；总磷、总氮和氨氮总体稳定趋好但变化程度不一。

有研究认为，氮、磷和硅等营养盐比率甚至可以对浮游藻类的组成和数量产生影响^[39~43]，如从以硅藻为主向鞭毛藻类（主要是甲藻）演化^[44]。自 1992 年汉江武汉段发生“水华”以来，其藻类优势种以硅藻为主^[12,16]。硅藻的过量繁殖（暴发）虽然会给供水带来损害，但其在淡水中即使发生水华也很少产生毒素^[16,45]，危害总体可控。武汉汉江水源地营养盐浓度随时间的演变趋势表明，水源地中氮和磷等营养盐浓度及 N/P 正发生变化；实测结果也证明了这种变化（图 5），2004 ~ 2016 年 N/P 稳中趋降，但自 2016 年以来该值又快速波动上升趋势，年均值从约 16 上升至 27.2。这种变化非常值得关注，尤其是在河口这种敏感水域，其可能会导致水体中藻类优势种群及密度的重大改变。如何防范藻类优势种向对供水危害更大的方向演化应引起重视。

3 展望

近年来，武汉汉江水源地水体中部分污染因子呈现出积极变化，但所在水域“水华”发生频次并无

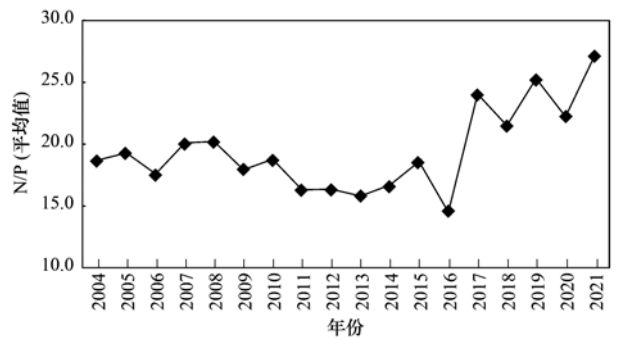


图 5 武汉汉江宗关水厂水源地水体 N/P 变化趋势

Fig. 5 Variation trend of N/P at Zongguan Water Plant site in Wuhan Hanjiang River water source

明显降低,影响程度还有所增强,尤其是2018年“水华”,其持续时间和影响范围远超过往,最终通过丹江口及下游相关水库持续联合调度得以化解。结合本文分析,未来要化解武汉汉江水源地存在的风险,一是需要协调丹江口水库以下汉江沿线相关城市开展入河污染物溯源调查,并大力开展截污减排工作,减少污染物汇入;二是积极通过新技术应用(如遥感)强化武汉汉江水源地富营养化监测并开展相关水域“水华”发生机制及预测和处置措施研究;三是在上游大规模调水的背景下,通过调度或工程措施确保河道具有足够的流量(使水体具有一定流速)。

4 结论

(1)武汉汉江水源地水体水质基本可满足国家设立的重要水功能区水质管理要求,但与武汉市城市集中式地表水饮用水水源一级保护区管理要求存在一定差距,尤其是总磷存在较大超标风险;各水厂水源地水体中污染因子间具有较好的同源性,且水质参数随时空变化趋势存在一定差异,说明水源地水质主要取决于上游来水,研究河段内个别污染物也可能存在一定输入。

(2)武汉汉江水源地水体总体处于中营养至轻度富营养状态,极个别时段可能会出现中度富营养的状况,未出现重度富营养情况。2004年至今,营养指数呈先升后降趋势,当前水体营养状态趋好趋势。各水厂水源地水体中藻类生长基本不受氮、磷和硅浓度限制,在不考虑其他因素的情况下,水温适宜时暴发硅藻“水华”的风险较高;水体中N/P在2016年前变化不大,2016年后升高明显,其可能会导致水体中藻类优势种群及密度的重大改变,给供水造成风险,应引起重点关注。

参考文献:

- [1] 《中国河湖大典》编纂委员会. 中国河湖大典[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [2] 水利部水资源司, 水利部水利水电规划设计总院. 全国重要江河湖泊水功能区划手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [3] 中华人民共和国水利部. 全国重要饮用水水源地名录(2016年)[R]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2016.
- [4] 长江流域水环境监测中心. 武汉市饮用水水源地水质状况年度报告(2004~2021年)[R]. 武汉: 武汉市水务局, 2004-2021.
- [5] 武汉市人民政府. 武汉市城市集中式地表水饮用水水源保护区划分规定[R]. 2009.
- [6] 张思慧, 朱重宁. 汉江水污染现状分析[J]. 环境科学与技术, 2000, (4): 30-31, 37.
Zhang S H, Zhu C N. Pollution current situation analysis of Han River[J]. Environmental Science & Technology, 2000, (4): 30-31, 37.
- [7] 程兵芬, 张远, 夏瑞, 等. 汉江中下游水质时空变异与驱动因素识别[J]. 环境科学, 2021, 42(9): 4211-4221.
Cheng B F, Zhang Y, Xia R, et al. Temporal and spatial variations in water quality of Hanjiang River and its influencing factors in recent years[J]. Environmental Science, 2021, 42(9): 4211-4221.
- [8] 张胜, 林莉, 王珍, 等. 汉江中下游丰枯水期水质时空变化特征[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(8): 47-53.
Zhang S, Lin L, Wang Z, et al. Spatio-temporal variation of water quality in middle-lower Hanjiang River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2021, 38(8): 47-53.
- [9] 刘成建, 夏军, 宋进喜, 等. 汉江中下游水质时空特征与土地利用类型响应识别研究[J]. 环境科学研究, 2021, 34(4): 910-919.
Liu C J, Xia J, Song J X, et al. Spatial and temporal characteristics of water quality and response identification of land use patterns in middle and downstream of Hanjiang River[J]. Research of Environmental Sciences, 2021, 34(4): 910-919.
- [10] 景朝霞, 夏军, 张翔, 等. 汉江中下游干流水质状况时空分布特征及变化规律[J]. 环境科学研究, 2019, 32(1): 104-115.
Jing Z X, Xia J, Zhang X, et al. Spatial and temporal distribution and variation of water quality in the middle and downstream of Hanjiang River[J]. Research of Environmental Sciences, 2019, 32(1): 104-115.
- [11] 卢金友, 林莉. 汉江生态经济带水生态环境问题及对策[J]. 环境科学研究, 2020, 33(5): 1179-1186.
Lu J Y, Lin L. Problems and countermeasures on water eco-environment in Hanjiang River ecological economic belt[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(5): 1179-1186.
- [12] 李建, 尹炜, 贾海燕, 等. 汉江中下游硅藻水华研究进展与展望[J]. 水生态学杂志, 2020, 41(5): 136-144.
Li J, Yin W, Jia H Y, et al. Research progress on diatom blooms in the middle and lower Hanjiang River: review and advances[J]. Journal of Hydroecology, 2020, 41(5): 136-144.
- [13] 夏瑞, 张远, 王璐, 等. 汉江下游河流水华暴发的多影响要素特征识别[J]. 环境科学研究, 2020, 33(4): 911-920.
Xia R, Zhang Y, Wang L, et al. Characteristics identification of multiple influencing factors on Hanjiang River algal bloom[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(4): 911-920.
- [14] Rui X, Zhi C, Yun Z. Impact assessment of climate change on algal blooms by a parametric modeling study in Han River[J]. Journal of Resources and Ecology, 2012, 3(3): 209-219.
- [15] 刘清香, 王婷, 许旭明, 等. 汉江中下游硅藻群落时空分布及其影响因素研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(4): 848-856.
Liu Q X, Wang T, Xu X M, et al. Spatiotemporal distribution and its influence factors of diatoms in the middle and lower reaches of Hanjiang River[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2018, 54(4): 848-856.
- [16] 殷大聪, 郑凌凌, 宋立荣. 汉江中下游早春冠盘藻(*Stephanodiscus hantzschii*)水华暴发过程及其成因初探[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(4): 451-458.
Yin D C, Zheng L L, Song L R. *Stephanodiscus hantzschii* bloom in the Hanjiang River: spatio-temporal distribution and possible driving forces[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(4): 451-458.
- [17] 胡威. 基于水华控制的汉江中下游水动力特性及生态流量研究[D]. 宜昌: 三峡大学, 2021.
Hu W. Study on hydrodynamic characteristics and ecological flow in the middle and lower reaches of Hanjiang River based on bloom control[D]. Yichang: China Three Gorges University,

- 2021.
- [18] 李昱燃, 李欣悦, 林莉. 2018 年汉江中下游水华现象的思考与建议[J]. 人民长江, 2020, **51**(8): 62-66.
- Li Y R, Li X Y, Lin L. Thoughts and suggestions on water blooms phenomenon in middle and lower reaches of Hanjiang River in 2018[J]. Yangtze River, 2020, **51**(8): 62-66.
- [19] 谢平, 窦明, 夏军. 南水北调中线不同调水方案下的汉江水华发生概率分析[J]. 环境科学学报, 2005, **25**(10): 1343-1348.
- Xie P, Dou M, Xia J. Analysis to occurrence probability of water bloom in Hanjiang River under different water transfer schemes of the middle route of China's South-to-North Water Transfer Project [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, **25**(10): 1343-1348.
- [20] 黄绳, 农翥智, 梁建奎, 等. 南水北调中线工程运行的环境问题及风险分析[J]. 人民长江, 2019, **50**(8): 46-51.
- Huang S, Nong X Z, Liang J K, et al. Environmental problems and risk analysis for operation of middle route project of South to North Water Diversion[J]. Yangtze River, 2019, **50**(8): 46-51.
- [21] 曹圣洁, 夏瑞, 张远, 等. 南水北调中线工程调水前后汉江下游水生态环境特征与响应规律识别[J]. 环境科学研究, 2020, **33**(6): 1431-1439.
- Cao S J, Xia R, Zhang Y, et al. Characteristics and response of ecological environment in downstream of Hanjiang River before and after running of middle route of South-to-North Water Diversion Project [J]. Research of Environmental Sciences, 2020, **33**(6): 1431-1439.
- [22] 刘文文. 中线工程运行下汉江中下游水质时空变异性研究及污染等级推估[D]. 武汉: 中国地质大学, 2019.
- Liu W W. The spatial-temporal variation of water quality in Han River under the operation of the middle route of South-to-North Water Transfer Project [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2019.
- [23] 柏慕琛, 班璇, Diplas P, 等. 丹江口水库蓄水后汉江中下游水文时空变化的定量评估及其生态影响[J]. 长江流域资源与环境, 2017, **26**(9): 1476-1487.
- Bai M S, Ban X, Diplas P, et al. Quantifying the spatio-temporal variation of flow and its ecological impacts in the middle-section of Hanjiang River following the Danjiangkou Reservoir impoundment[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, **26**(9): 1476-1487.
- [24] 白亮, 许全喜, 董炳江. 丹江口水库蓄水以来汉江中下游河床冲淤变化研究[J]. 人民长江, 2021, **52**(12): 15-20.
- Bai L, Xu Q X, Dong B J. Study on riverbed erosion and deposition change in middle and lower reaches of Hanjiang River since impoundment operation of Danjiangkou Reservoir [J]. Yangtze River, 2021, **52**(12): 15-20.
- [25] SL 395-2007, 地表水环境质量评价技术规程[S].
- [26] 窦明. 汉江武汉段水体富营养化——模拟分析与研究[D]. 武汉: 武汉水利电力大学, 2000.
- [27] 王维, 苏文利, 高兴. 水体富营养化评价方法及其应用[J]. 海河水利, 2012, (3): 6-10.
- Wang W, Su W L, Gao X. Evaluation method and applied of water eutrophication evaluation [J]. Haihe Water Resources, 2012, (3): 6-10.
- [28] 中华人民共和国生态环境部. 湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定[EB/OL]. https://www.mee.gov.cn/lsm/cont/gongwen/200408/t20040811_72279.shtml, 2004-08-11.
- [29] 游亮, 崔莉凤, 刘载文, 等. 藻类生长过程中 DO、pH 与叶绿素相关性分析[J]. 环境科学与技术, 2007, **30**(9): 42-44.
- You L, Cui L F, Liu Z W, et al. Correlation analysis of parameters in algal growth [J]. Environmental Science & Technology, 2007, **30**(9): 42-44.
- [30] 刘春光, 金相灿, 孙凌, 等. pH 值对淡水藻类生长和种类变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, **24**(2): 294-298.
- Liu C G, Jin X C, Sun L, et al. Effects of pH on growth and species changes of algae in freshwater [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2005, **24**(2): 294-298.
- [31] 刘春光, 金相灿, 孙凌, 等. 水体 pH 和曝气方式对藻类生长的影响[J]. 环境污染与防治, 2006, **28**(3): 161-163.
- Liu C G, Jin X C, Sun L, et al. Responses of algae to the variation of pH level and aeration mode [J]. Environmental Pollution and Control, 2006, **28**(3): 161-163.
- [31] DB44/T 2261-2020, 水华程度分级与监测技术规程[S].
- [33] Thomann R V, Mueller J A. Principles of surface water quality modeling and control[M]. New York: Harper & Row, 1987.
- [34] 殷大聪, 黄薇, 吴兴华, 等. 汉江水华硅藻生物学特性初步研究[J]. 长江科学院院报, 2012, **29**(2): 6-10.
- Yin D C, Huang W, Wu X H, et al. Preliminary study on biological characteristics of spring diatom bloom in the Hanjiang River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, **29**(2): 6-10.
- [35] 石彭灵. 淡水硅藻的光适应策略研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- Shi P L. Studies on the light adaptation strategies in freshwater diatoms[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [36] 魏永静. 南水北调中线一期工程 2019~2020 供水年度调水总量超额完成水量调度计划[EB/OL]. http://www.mwr.gov.cn/xw/sjzs/202011/t20201103_1461936.html, 2020-11-03.
- [37] 李斐, 邓志民, 邓瑞, 等. 汉江干流生态流量保障措施研究[J]. 人民长江, 2021, **52**(2): 50-53.
- Li F, Deng Z M, Deng R, et al. Study on guarantee measures of ecological flow in main stream of Hanjiang River[J]. Yangtze River, 2021, **52**(2): 50-53.
- [38] 李雨, 陈金凤, 刘秀林. 南水北调中线工程运用以来汉江中下游水文情势演变分析[A]. 见: 2021 中国水资源高效利用与节水技术论坛论文集[C]. 阿拉善: 北京沃特咨询有限公司, 2021.
- [39] 孙凌, 金相灿, 钟远, 等. 不同氮磷比条件下浮游藻类群落变化[J]. 应用生态学报, 2006, **17**(7): 1218-1223.
- Sun L, Jin X C, Zhong Y, et al. Changes of algal communities in water body with different proportions of nitrogen and phosphorus[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, **17**(7): 1218-1223.
- [40] Zeng H, Song L R, Yu Z G, et al. Distribution of phytoplankton in the Three-Gorge Reservoir during rainy and dry seasons [J]. Science of the Total Environment, 2006, **367**(2-3): 999-1009.
- [41] Shen Z L. Historical changes in nutrient structure and its influences on phytoplankton composition in Jiaozhou Bay [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2001, **52**(2): 211-224.
- [42] Leblanc K, Quéguiner B, Garcia N, et al. Silicon cycle in the NW Mediterranean Sea: seasonal study of a coastal oligotrophic site[J]. Oceanologica Acta, 2003, **26**(4): 339-355.
- [43] 吴文莉. 氮磷营养盐对汉江四种藻类种间竞争的影响[D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- Wu W L. Effectsof nitrogen and phosphorus nutrients on interspecific competition of four algae in Hanjiang River [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2019.
- [44] Schelske C L, Conley D J, Stoermer E F, et al. Biogenic silica and phosphorus accumulation in sediments as indices of eutrophication in the Laurentian Great Lakes[J]. Hydrobiologia, 1986, **143**: 79-86.
- [45] 曾卓, 邱璇, 陈凯, 等. 汉江水华硅藻急性毒性和致突变性试验[J]. 给水排水, 2004, **30**(2): 5-6.

CONTENTS

Impact of Climate Change on Summer Ozone in China	HU An-qi, XIE Xiao-dong, GONG Kang-jia, <i>et al.</i> (1801)
Spatial-temporal Variation and Driving Factors of Ozone in China from 2019 to 2021 Based on EOF Technique and KZ Filter	WANG Hao-qì, ZHANG Yu-fen, LUO Zhong-wei, <i>et al.</i> (1811)
Photochemical Mechanism and Control Strategy Optimization for Summertime Ozone Pollution in an Industrial City in the North China Plain	ZHENG Zhen-sen, DOU Jian-ping, ZHANG Guo-tao, <i>et al.</i> (1821)
Spatiotemporal Evolution Characteristics of PM _{2.5} -O ₃ Compound Pollution in Chinese Cities from 2015 to 2020	NIU Xiao-xiao, ZHONG Yan-mei, YANG Lu, <i>et al.</i> (1830)
Spatiotemporal Distribution Characteristics of Co-pollution of PM _{2.5} and Ozone over BTH with Surrounding Area from 2015 to 2021	SONG Xiao-han, YAN Li, LIU Wei, <i>et al.</i> (1841)
Spatio-temporal Variation in PM _{2.5} Concentration and Its Relationship with Vegetation Landscape Patterns in Typical Economic Zones in China from 2000 to 2020	XU Yong, LI Xin-yi, HUANG Wen-ting, <i>et al.</i> (1852)
Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric Ion Deposition During Winter and Spring in the Core Area of Beijing	ZHAO Yu, LI Bei-bei, HUANG Yu-hu, <i>et al.</i> (1865)
Input Characteristics of Dry Deposition of Atmospheric Particulates and Metals in Farmland in the Suburb of Nanjing	LIU Cui-ying, JIN Hao, FAN Jian-ling (1873)
Pollution Characterizations and Oxidative Potentials of Water-Soluble Organic Matters at Different Polarity Levels in Winter PM _{2.5} Over Xi'an	LUO Yu, HUANG Sha-sha, ZHANG Tian, <i>et al.</i> (1882)
Emission Characteristics of Organic Carbon and Elemental Carbon in PM ₁₀ and PM _{2.5} from Vehicle Exhaust and Civil Combustion Fuels	WANG Hong-lei, LIU Si-han, SUN Jie-juan, <i>et al.</i> (1890)
Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} in the Core Area of Ili River Valley in Spring	GU Chao, XU Tao, MA Chao, <i>et al.</i> (1899)
Evaluation of Changes in PM _{2.5} Exposure Concentration and Health Risk for Urban Resident in Zhengzhou Based on High Spatial Resolution Grids	LI Yuan, XU Yi-fei, YUAN Ming-hao, <i>et al.</i> (1911)
Emission Inventory of Building Material Industry in Henan Province Based on Multi-source Data Integration	LIU Xiao, HU Jing-nan, WANG Hong-mei, <i>et al.</i> (1924)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Winter in Kaifeng City	SHI Yu-qi, ZHENG Kai-yun, DING Wei-ting, <i>et al.</i> (1933)
Changes in O ₃ -VOCs-NO ₃ Sensitivity and VOCs Sources at an Urban Site of Nanjing Between 2020 and 2021	LU Xiao-bo, WANG Ming, DING Feng, <i>et al.</i> (1943)
Variation Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Urban Beijing in Summer	ZHANG Rui, SUN Xue-song, WANG Yu, <i>et al.</i> (1954)
Chemical Characteristics and Source Apportionment for VOCs During the Ozone Pollution Episodes and Non-ozone Pollution Periods in Qingdao	JIA Zhi-hai, GU Yao, KONG Cui-li, <i>et al.</i> (1962)
Characteristics of O ₃ Production in the Western Suburb of Hefei in Summer Based on the Observation of Total Peroxy Radical	YU Hui, WEI Na-na, XU Xue-zhe, <i>et al.</i> (1974)
Evaluation of Energy Saving and Carbon Reduction Effect of Air Pollution Prevention and Control Action Plan and Innovation Intermediary Effect	LI Shao-lin, WANG Qi-qi (1985)
Scenario Simulation and Effects Assessment of Co-control on Pollution and Carbon Emission Reduction in Beijing	YU Shan, ZHANG Shuang, ZHANG Zeng-jie, <i>et al.</i> (1998)
Simulation of Anthropogenic CO ₂ Emissions in the Yangtze River Delta Based on Different Emission Inventories	MA Xin-yi, HUANG Wen-jing, HU Ning, <i>et al.</i> (2009)
Water Quality Change Trend and Risk Analysis of Wuhan Hanjiang River Water Source	ZHUO Hai-hua, LOU Bao-feng, XU Jie, <i>et al.</i> (2022)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics and Resistance Genes in Different Water Sources in the Wuhan Section of the Yangtze River	LI Bo-lin, ZHANG He, WANG Jun, <i>et al.</i> (2032)
Occurrence Characteristics, Sources, and Toxicity Risk Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Typical Rivers of Northern Shaanxi Mining Area, China	WU Xi-jun, DONG Ying, ZHAO Jian, <i>et al.</i> (2040)
Spatio-temporal Characteristics of Organic Aggregates and the Driving Factors in Typical Lakes	XIE Gui-juan, GONG Yi, ZHU Fu-cheng, <i>et al.</i> (2052)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Microplastics in Water of Different Functional Parks in Guilin	LI Pei-zhao, WU Li, HUANG Fei-fei, <i>et al.</i> (2062)
Environmental Driving Factors and Assessment on the Aquatic Ecosystem of Periphytic Algae of Six Inflow Rivers in Yangtze River Basin	ZHANG Jing, HU Yu-xin, HU Sheng, <i>et al.</i> (2072)
Influence and Driving of Environmental Heterogeneity on the Epilithic Diatom Community in Xiangxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir Area	JI Lu-lu, ZHAO Lu, OUYANG Tian, <i>et al.</i> (2083)
Characteristics of Phytoplankton Communities and Key Impact Factors in Three Types of Lakes in Wuhan	ZHANG Hao-kun, MIN Fen-li, CUI Hui-rong, <i>et al.</i> (2093)
Effects of Heavy Metal Pollution on the Structure of Microbial Communities in Different Habitats	HE Yi-fan, XIAO Xin-zong, WANG Jia-wen (2103)
Structure and Distribution Characteristics of Bacterial Community in Boqing River Water	WANG Sen, CHEN Jian-wen, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (2113)
Effects of Microplastic Exposure on the Community Structure and Function of Symbiotic Bacteria in <i>Sinularia microclavata</i>	LIU Min, CHE Wen-xue, ZENG Ying-xu, <i>et al.</i> (2122)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Emerging Contaminants from Raw Water to Drinking Water in Shanghai	YAN Qi (2136)
Adsorption Characteristics of Fluoride in Low-Concentration Water by Aluminum and Zirconium-Modified Biochar	LIU Yan-fang, GAO Wei, LIU Rui, <i>et al.</i> (2147)
Sorption Characteristics and Site Energy Distribution Theory of Typical Estrogens on Microplastics	LIU Jiang-yan, ZHENG Mi-mi, HU Jia-wu, <i>et al.</i> (2158)
Selection and Evaluation of Model Pollutants for Performance Assessment of Advanced Treatment of Industrial Park Wastewater by Ozonation	XIN Bo, SHAN Chao, LÜ Lu (2168)
Identifying Driving Factors and Their Interacting Effects on Sources of Heavy Metal in Farmland Soils with Geodetector and Multi-source Data	ZHANG Hong-ze, CUI Wen-gang, LIU Sui-hua, <i>et al.</i> (2177)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Heavy Metals in Farmland Soils Around the Gangue Heap of Coal Mine Based on APCS-MLR and PMF Receptor Model	MA Jie, SHEN Zhi-jie, ZHANG Ping-ping, <i>et al.</i> (2192)
Contamination and Probabilistic Health Risk Assessment of Heavy Metals in Agricultural Soils Around a Lead-Zinc Smelter	HUANG Jian-bo, JIANG Deng-deng, WEN Bing, <i>et al.</i> (2204)
Prediction of PAHs Content in Soil Around Gas Stations in Beijing Based on BP Neural Network	MA Sai-yan, WEI Hai-ying, MA Jin, <i>et al.</i> (2215)
Spatial-temporal Distribution and Risk Assessment of Quinolones Antibiotics in Soil of Shijiazhuang City	ZHAO Xin-yu, CHEN Hui, ZHAO Bo, <i>et al.</i> (2223)
Accumulation and Pollution Risks of Heavy Metals in Soils and Agricultural Products from a Typical Black Shale Region with High Geological Background	DENG Shuai, DUAN Jia-hui, NING Mo-huan, <i>et al.</i> (2234)
Geochemical Characteristics of Cd in Different Parent Soils in Karst Area and Prediction of Cd Content in Maize	DAI Liang-liang, XU Hong-gen, GONG Hao, <i>et al.</i> (2243)
Pollution Risk and Contribution Analysis of Pb, Cd, and As in Soils and Crops Under Different Land Use Types in Longyan City	WANG Rui, CHEN Nan, ZHANG Er-xi (2252)
Influencing Factors of Cadmium Content in Wheat Grain: A Meta-analysis and Decision Tree Analysis	LIU Na, ZHANG Shao-bin, GUO Xin-yu, <i>et al.</i> (2265)
Response Characteristics of Soil Organic Carbon Pool and Its Chemical Composition During Secondary Forest Succession in the Loess Plateau	LIU Han-yu, LIU Ying-yi, ZHANG Qi, <i>et al.</i> (2275)
Effects of Short-Term Nitrogen and Phosphorus Addition on Soil Respiration Components in a Subalpine Grassland of Qilian Mountains	JIANG Yuan, GAN Xiao-ling, CAO Feng-feng, <i>et al.</i> (2283)
Response of Soil Microbial Diversity to Long-term Enclosure in Degraded Patches of Alpine Meadow in the Source Zone of the Yellow River	YANG Peng-nian, LI Xi-lai, LI Cheng-yi, <i>et al.</i> (2293)
Diversity and Predictive Functional of <i>Caragana jubata</i> Bacterial Community in Rhizosphere and Non-rhizosphere Soil at Different Altitudes	LI Yuan-yuan, XU Ting-ting, AI Zhe, <i>et al.</i> (2304)
Effects of Simulated Acid Rain and Nitrogen Deposition on Soil Bacterial Community Structure and Diversity in the Masson Pine Forest	WANG Nan, QIAN Shao-yu, PAN Xiao-cheng, <i>et al.</i> (2315)
Effects of Phosphogypsum and <i>Suaeda salsa</i> on the Soil Moisture, Salt, and Bacterial Community Structure of Salinized Soil	LIU Yue, YANG Shu-qing, ZHANG Wan-feng, <i>et al.</i> (2325)
Effects of Combined Application of Fungal Residue and Chemical Fertilizer on Soil Microbial Community Composition and Diversity in Paddy Soil	GENG He-tian, WANG Xu-dong, SHI Si-bo, <i>et al.</i> (2338)
Effects of Aeration on Surface Water Nutrient Dynamics and Greenhouse Gas Emission in Different Straw Returning Paddy Fields	HU Jin-hui, XUE Li-hong, QIAN Cong, <i>et al.</i> (2348)
Effects of Exogenous Melatonin Treatment on the Growth and Antioxidant System of Rice Seedlings Under Antimony Stress	CHU Yu-tan, LI Yan, HUANG Yi-zong, <i>et al.</i> (2356)
Life Cycle Prediction Assessment of Energy Saving and New Energy Vehicles for 2035	FU Pei, LAN Li-bo, CHEN Ying, <i>et al.</i> (2365)
Distribution, Sources, and Behavioral Characteristics of Microplastics in Farmland Soil	BO Lu-ji, LI Bing, ZHANG Kai, <i>et al.</i> (2375)
Research Progress on the Remediation Technology of Herbicide Contamination in Agricultural Soils	HU Fang-yu, AN Jing, WANG Bao-yu, <i>et al.</i> (2384)
Research Progress and Prospect of Herbicide Residue Characteristics in Black Soil Region of China	LI Rui, WU Qiu-mei, ZHAO Gui-mei, <i>et al.</i> (2395)