文章编号：1674－2869(2026)02－0186－07

2014–2024年间长江中下游水质变化及影响因素分析

王俊贤，陆星宇，李光颖，李　杏*
武汉工程大学环境生态与生物工程学院，湖北 武汉 430205

摘　要：为掌握长江中下游干流近十年水质变化趋势，选取COD_{Mn}、NH_3-N和总磷（TP）作为评价因子，采用单因子评价法，分析2014–2024年间长江中下游干流21个监测断面的水质时空变化特征。结果表明：（1）近十年来，COD_{Mn}、NH_3-N和TP含量总体呈现下降趋势。其中，COD_{Mn}和NH_3-N达到地表水Ⅰ类水质标准的比例较前五年分别提高了20.1%和20.6%，大多数断面的TP稳定达到地表水Ⅱ类水质标准。（2）COD_{Mn}和TP的年均值在长江中游的降幅显著高于下游，而NH_3-N的下降趋势则相反。（3）统计分析显示水质改善与污水处理能力提升密切相关，但农村污水处理能力仍显不足。因此，加强乡村污水治理体系建设，有效控制农业面源及渔业污染，是巩固和扩大水质改善成效的关键。在制定水污染防治政策时，应统筹区域经济发展和环境保护，推动实施更具针对性的治理措施。

关键词：长江中下游；水质；时空变化；水污染防治
中图分类号：X824　　**文献标志码**：A　　**DOI**：10.19843/j.cnki.CN42-1779/TQ.202501007

Water quality changes and influencing factors in the middle and lower reaches of the Yangtze River（2014–2024）

WANG Junxian, *LU Xingyu*, *LI Guangying*, *LI Xing**
School of Environmental Ecology and Biological Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China

Abstract: To investigate water quality trends in the mainstream of the middle and lower reaches of the Yangtze River over the past decade, COD_{Mn}, NH_3-N, and total phospate (TP) were selected as evaluation indicators. The single-factor assessment method was used to analyze the spatiotemporal variations in water quality at 21 monitoring sites along the mainstream from 2014 to 2024. Results revealed that: (1) Over the decade, the concentrations of COD_{Mn}, NH_3-N, and TP exhibited an overall decreasing trend. Specifically, the proportion of monitoring sections meeting the Class I surface water quality standard for COD_{Mn} and NH_3-N increased by 20.1% and 20.6%, respectively, compared to the previous five-year period. Moreover, most sections consistently achieved the Class II standard for TP. (2) The annual mean concentrations of COD_{Mn} and TP decreased more significantly in the middle reaches than in the lower reaches, whereas NH_3-N exhibited the opposite trend. (3) Statistical analysis indicated that the improvement in water quality was closely associated with enhanced wastewater treatment capacity; however, rural sewage treatment remained inadequate. Therefore, strengthening rural sewage treatment systems and effectively controlling agricultural non-point source and fishery pollution are key to consolidating and expanding the achievements in water environment governance. When formulating water pollution control policies, it is imperative to balance regional economic development with environmental protection and adopt more targeted management measures.

Keywords: middle and lower reaches of the Yangtze River; water quality; spatial and temporal variation; water pollution control

收稿日期：2025-01-20
基金项目：中华人民共和国科学技术部重点研发计划（2022YFC3203404）
作者简介：王俊贤，硕士研究生。Email：1907371814@qq.com
***通信作者**：李　杏，博士，副教授。Email：18079102@wit.edu.cn
引文格式：王俊贤，陆星宇，李光颖. 2014–2024长江中下游水质变化及影响因素分析[J]. 武汉工程大学学报，2026，48（2）：186–192，200.

近年来，长江经济带发展迅猛，是我国经济增长的重要引擎。截至2021年，长江经济带人口占总人口的46.4%，地区生产总值占比43.0%，进出口总额占比54.7%[1]。这一区域的发展为国家经济高速增长作出了重要贡献。然而，当经济快速发展，城市化水平越高时，河流生态环境承受的压力也日益加剧[2]。大量污水导致营养盐的过量输入，污染物进入长江，致使长江水质逐步恶化，影响了流域水体的正常生态功能[3]。为应对长江经济带发展与环境保护的矛盾，2016年，习近平总书记在长江经济带发展座谈会上明确提出“坚持生态优先、绿色发展”的战略定位，强调长江流域在连接丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路中的重要纽带作用。各级政府部门积极响应，特别是在“十三五”期间，有序推进长江流域水环境治理工作，启动水环境综合治理与可持续发展试点，取得了阶段性成效，为长江流域生态文明建设奠定了基础。但流域生态环境治理仍面临挑战，与建设优美生态环境的目标尚有差距。据统计，2020年长江沿江污水排放量占全国总量的44.4%[4]。对长江水质治理成效的巩固仍然任重道远。

长江生态治理以来，已有大量研究聚焦长江水质的长期变化[5-6]、长江流域政策实施对水质的影响[7]、污染物通量的时空变化[8]、干流特定河段的水质时空特征[9-11]，以及三峡水库对水质的影响[12-13]等；然而，对近十年长江中下游干流水质的时空特征分析仍较为稀缺。因此，全面分析近十年以来长江干流水质的改善情况，对保护长江生态环境及推动经济带高质量发展具有重要意义。

本研究基于中华人民共和国生态环境部月报水质数据，结合长江中下游干流水文特征、沿江城市经济发展水平及污染物排放等数据，选取高锰酸钾指数（COD_{Mn}）、氨氮（NH_3-N）和总磷（tatal phosphate，TP）3项主要污染因子作为研究指标，探讨其时空分布特征，并从水文特征、社会经济发展及污染防治等多方面分析水质变化的原因。研究旨在为长江水生态环境治理成效提供科学依据与理论借鉴。

1　实验部分

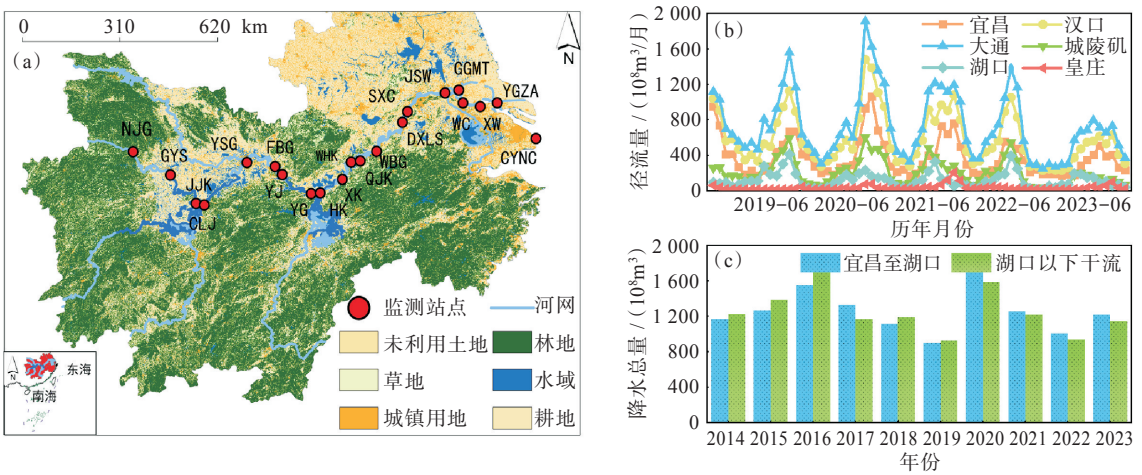
1.1　研究区及水文特征

选择长江中下游干流为研究对象，研究时段为2014年1月–2024年10月。选取长江中下游干流21个国控断面，其中以江西省湖口（HK）断面为长江中游和下游的分界点，站点分布示意见图1（a）。

图1（b）展示了长江中下游干流及主要支流逐月径流量变化，图1（c）展示了长江中下游降水总量的变化。由图可知，在2016年以前，中下游降水总量呈上升趋势，2016–2019年间逐步下降，随后于2020年回升并达到次高峰，之后又呈现逐年减少的趋势。长江中下游干流径流量沿程增加，各水文站的径流量峰值主要出现在6–7月。2020年较高的降水量导致了该年份较高的径流量。

1.2　水质评价方法

在本研究中，采用单因子评价法，使用《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）作为评价标准，以COD_{Mn}、NH_3-N和TP 3项水质参数作为水质评价指标，即水质类别由评价时段内某断面参与



注：湖北省：南津关（NJG）；观音寺（GYS）；杨泗港（YSG）；风波港（FBG）；燕矶（YJ），湖南省：荆江口（JJK）；城陵矶（CLJ），江西省：姚港（YG）；湖口（HK），安徽省：香口（XK）；皖河口（WHK）；前江口（QJK）；五步沟（WBG）；东西梁山（DXLS）；三兴村（SXC），江苏省：焦山尾（JSW）；高港码头（GGMT）；魏村（WC）；小湾（XW）；姚港（左岸）（YGZA），上海市：朝阳农场（CYNC）。

图1　长江中下游土地利用和水质监测断面分布（a）、**径流量**（b）和**降水总量**（c）

Fig. 1　Distribution of land-use types and water quality monitoring sections in the middle and lower reaches of the Yangtze River (a), runoff (b) and total precipitation (c)

水质评价的指标中类别最高的一项来确定，并由此将长江干流中下游水质划分为Ⅰ类-劣Ⅴ类6个类别。

1.3 数据来源和处理

（1）水质数据来自中华人民共和国生态环境部；（2）降雨量及水文站径流量数据来自长江水利网；（3）土地利用数据来自资源环境科学与数据平台；（4）工业增加值累计增长、农林牧渔产值及城镇乡村人口数据来自国家统计局官网。断面分布图通过ArcgisPro3.0.1绘制，热图由Python3.11生成，其余图表均由Origin2021绘制；（5）使用SPSS软件进行统计和spearman相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 污染物时空分布特征

近十年COD_{Mn}、NH_3-N和TP含量的变化分别如图（2-4）所示，中游COD_{Mn}的均值为1.9 mg/L，下游均值为2.0 mg/L。中游NH_3-N的均值为0.12 mg/L，下游均值为0.10 mg/L。图4（b-e）显示，与陈善荣等[14]研究中的各监测站点2016-2019年TP年均值比较，在2019年后监测站点TP年含量普遍下降。通过统计2020年前后5年的断面逐月水质类别，在2020年前，COD_{Mn}达到Ⅰ类水标准的占50.6%，Ⅱ类占48.1%，Ⅲ类占0.7%；NH_3-N达到Ⅰ类水标准的占67.1%，Ⅱ类为31.3%，Ⅲ类为1.5%。2020年之后，COD_{Mn}达到Ⅰ类水标准的占70.7%，Ⅱ类占28.9%，Ⅲ占0.4%，Ⅰ类水标准的占比增加了20.1%；NH_3-N达到Ⅰ类水标准的占87.8%，Ⅱ类为11.5%，Ⅲ类降至0.7%，Ⅰ类水标准的比例增加了20.6%；TP达到Ⅰ类水标准的比例为1.4%，Ⅱ类为92.3%，Ⅲ类为5.9%，Ⅳ类为0.4%，大部分断面TP的月度考核水平达到了Ⅱ类水标准，污染物浓度整体呈下降趋势。

根据图2、图3和图4（b-e）发现，COD_{Mn}和TP的年均值在长江中游的下降幅度显著高于下游，而NH_3-N则表现为长江下游的下降幅度要高于中游。

2.2 长江中下游城市社会经济发展水平

图5展示了长江中下游各省市的农林牧渔业产值和工业增加值累计增长百分比变化以及城镇与乡村人口的变化。如图5（a，b）所示，在人口方面，2014-2022年，除上海市其他省份的乡村人口数量总体下降，而城镇人口则逐年增加，城乡人口结构正逐渐朝城镇化方向转变。由图5（c）可知除

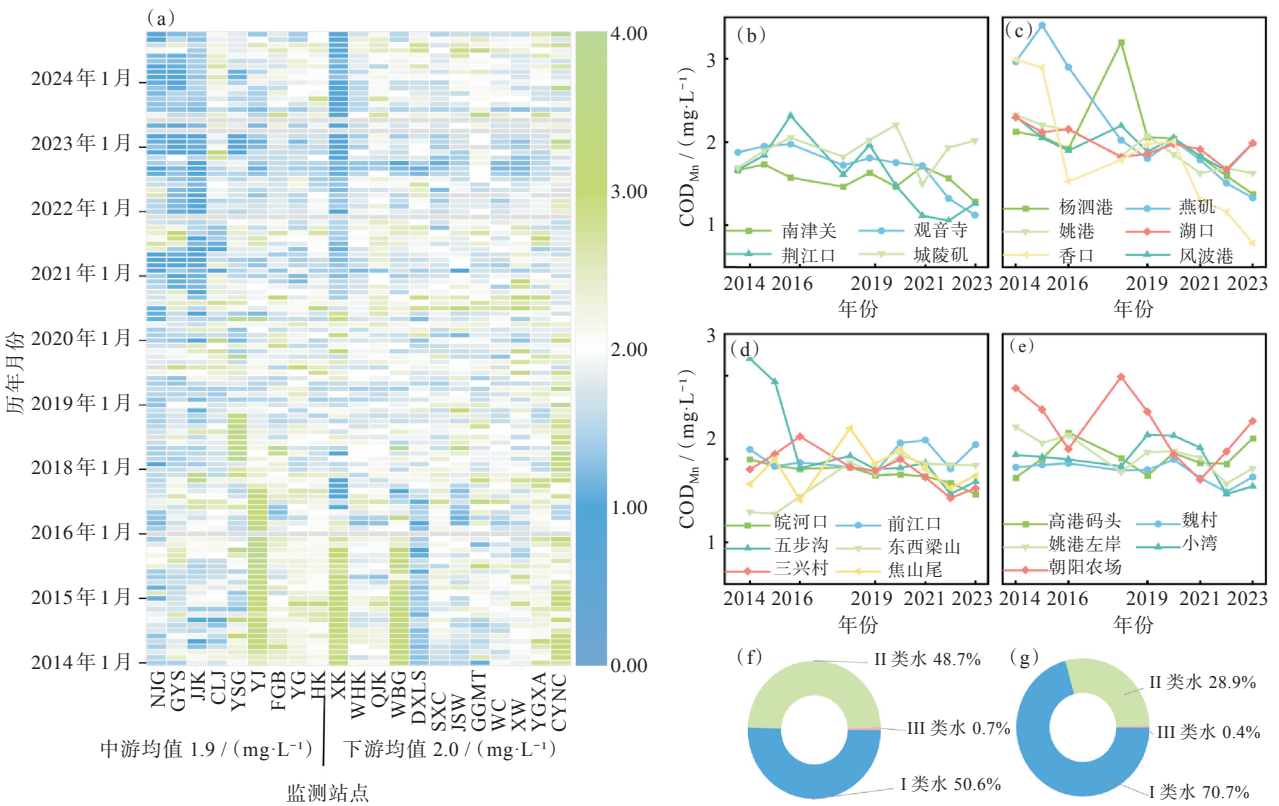


图2 逐月COD_{Mn}含量变化（a）、各断面水质年均值变化（b，c，d，e）、2014-2019年断面水质类别比例（f）和2020-2024年断面水质类别比例（g）

Fig.2 Monthly variation in COD_{Mn} concentration (a), interannual variations in mean water quality at monitoring sections (b-e), and proportions of water quality categories from 2014-2019 (f) and 2020-2024 (g)

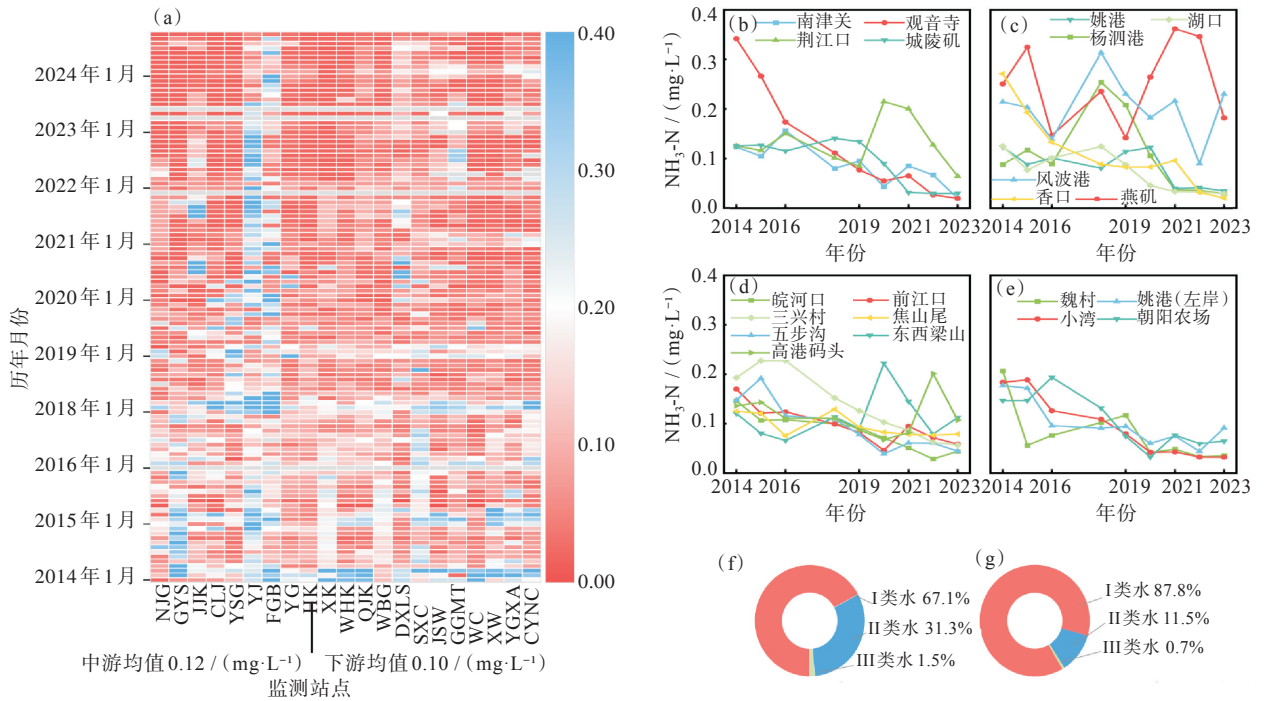


图3　逐月NH_3-N含量变化（a）、各断面水质年均值变化（b，c，d，e）、2014–2019年断面水质类别比例（f）和2020–2024年断面水质类别比例（g）

Fig. 3　Monthly variations in NH_3-N concentration (a), interannual variations in mean water quality at monitoring sections (b–e), and proportions of water quality categories from 2014–2019 (f) and 2020–2024 (g)

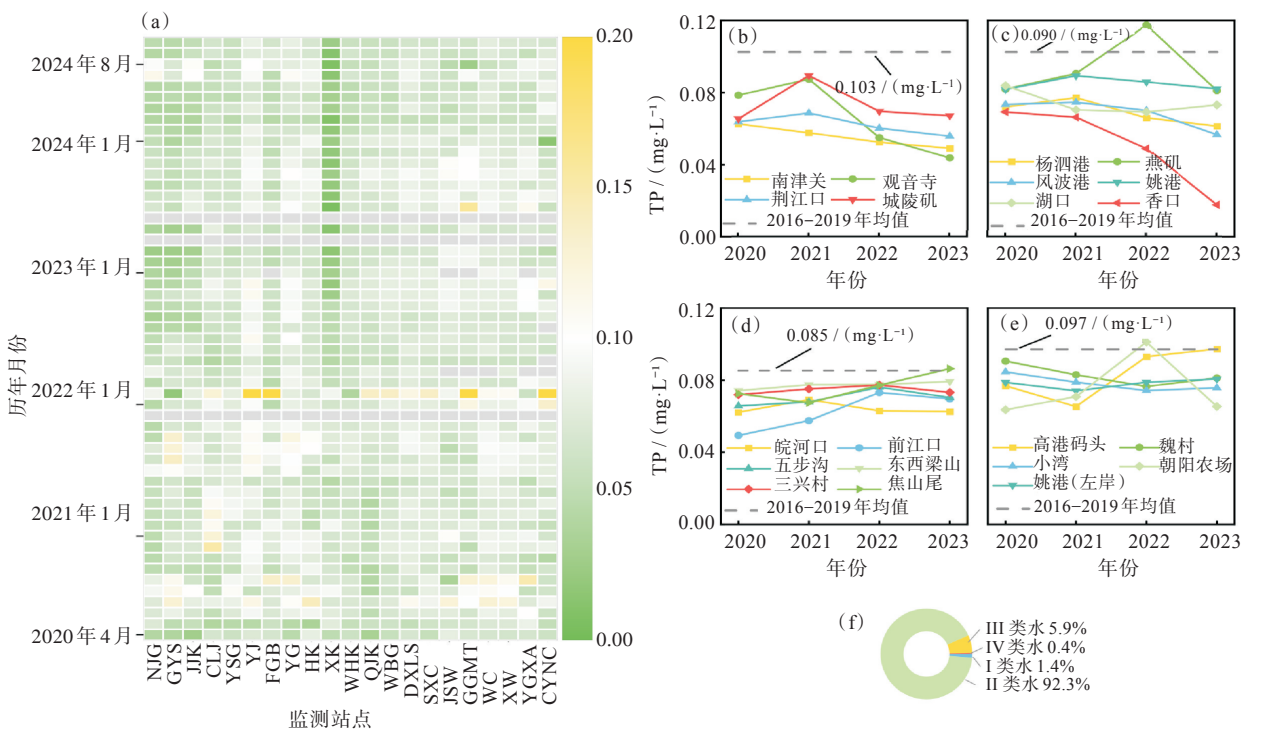


图4　逐月TP含量变化（a）、断面水质年均值变化（b，c，d，e）、2020–2024年断面水质类别比例（f）

Fig. 4　Monthly variations in TP concentration (a), interannual variations in mean water quality at monitoring sections (b–e), and proportions of water quality categories from 2020–2024 (f)

上海市其余各省份的农林牧渔产值逐年上升，农业在各省市的农林牧渔业生产总值中占据主导地位，其增幅尤为显著。在工业方面除2020年受新冠疫情影响多个省份出现负增长的状况外，在2014–2023年期间工业增加值均处于增长状况。

如图6（a，b，c）所示，在“十三五”规划启动后，COD_{Mn}、NH_3-N和TP排放量迅速下降，2016年–2019年期间维持在较低水平。然而自2019年起，

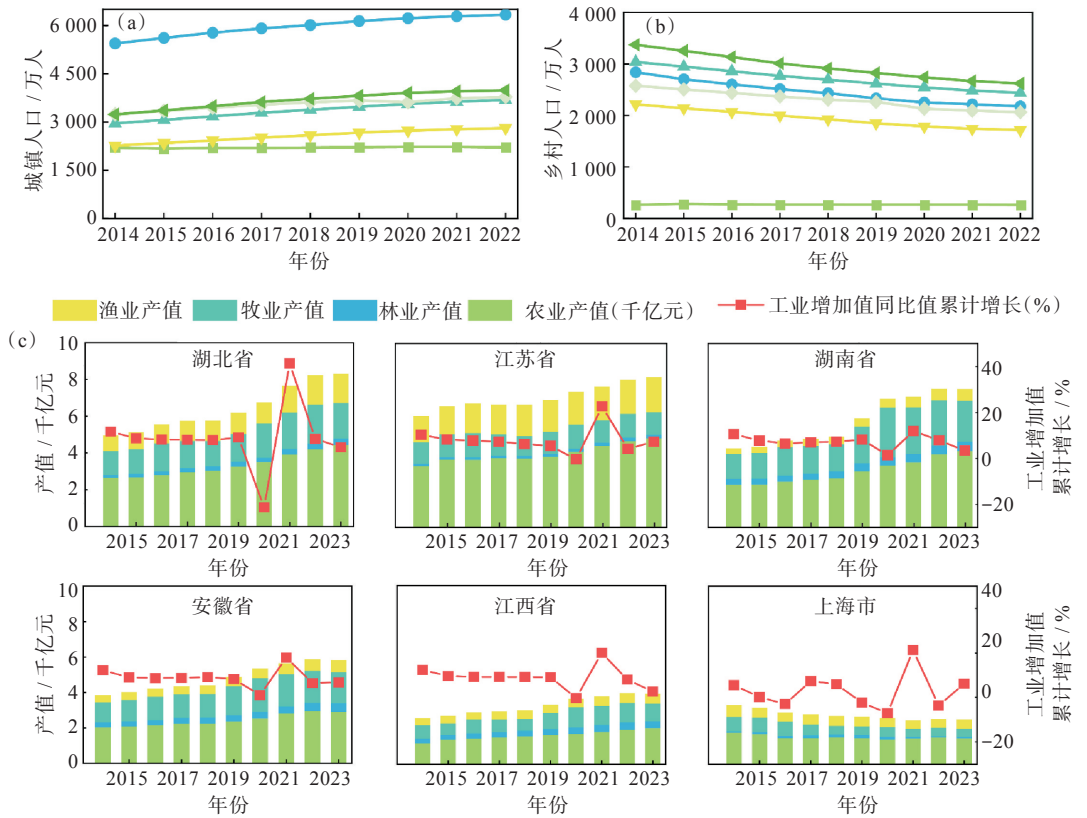


图5 2014–2022各省市城镇人口年际变化(a)、2014–2022各省市乡村人口年际变化(b)和2014–2023年各省市农林牧渔产值和工业增加值累计增长(c)

Fig. 5 Interannual variations in urban population (a) and rural population (b) by province from 2014 to 2022, and cumulative growth of agricultural, forestry, animal husbandry, fishery output value and industrial added value by province from 2014 to 2023 (c)

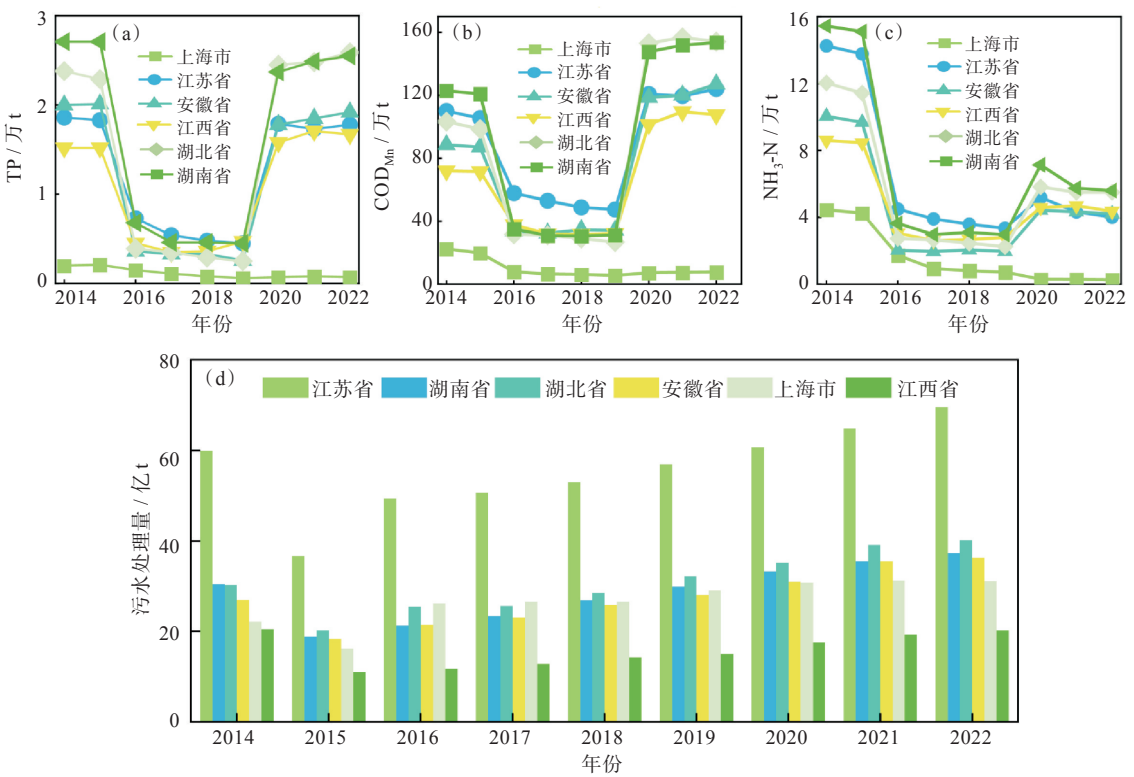


图6 2014–2022年各省市废水中污染物排放量(a–c)和2014–2022年污水处理量的年际变化(d)

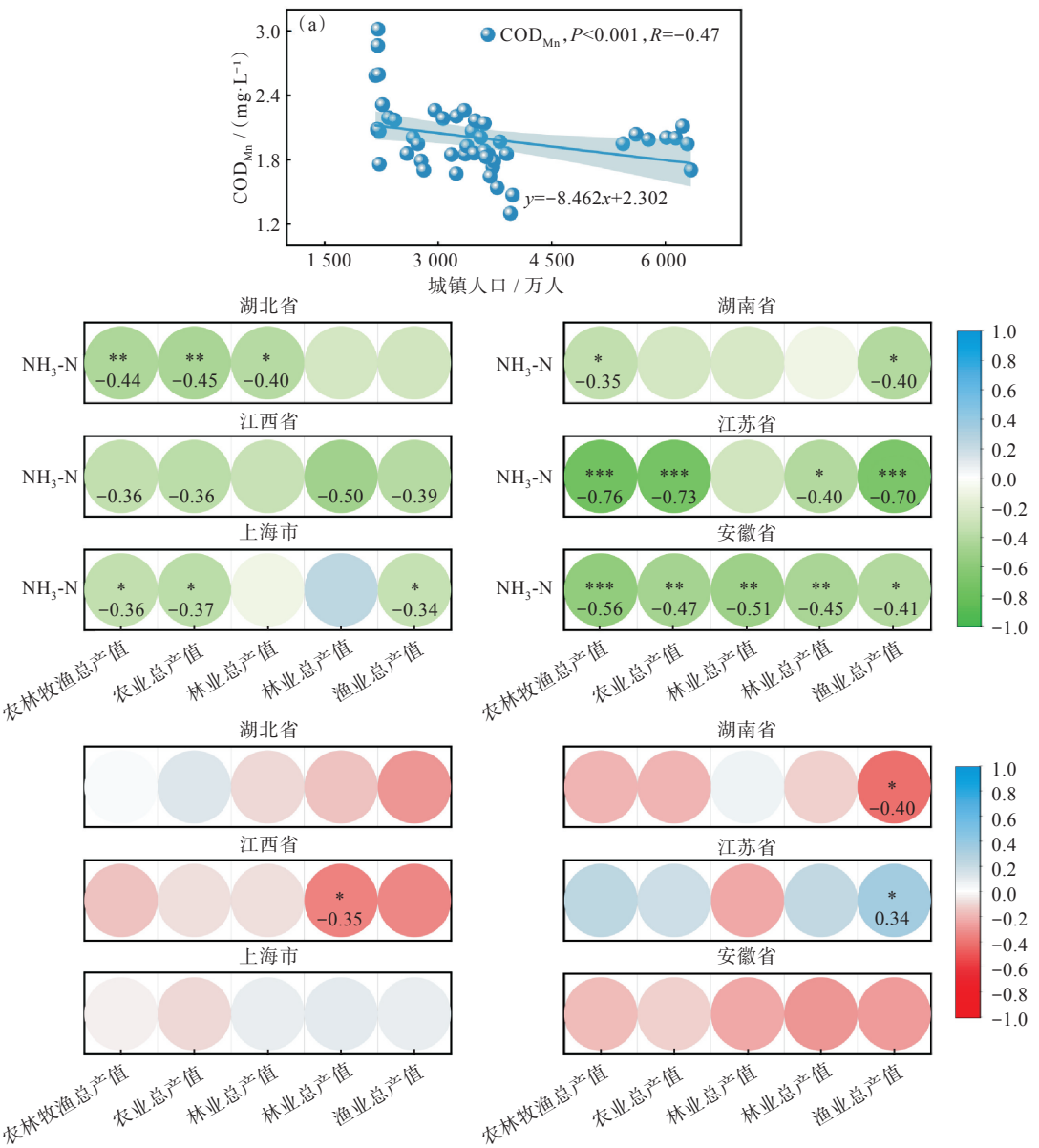
Fig. 6 Pollutant emissions in wastewater by province from 2014 to 2022 (a–c) and interannual trends in wastewater treatment volume by province from 2014 to 2022 (d)

污染物排放量显著回升，并在2020–2022年期间趋于稳定，污染物排放处于较高水平。同时如图6(d)所示，自2015–2022年，各省市污水处理量逐年增加。

2.3　影响长江中下游水质的因素

污水处理厂数量和污水处理能力的提升有助于水污染治理[15-16]。根据图6长江中下游六省市的污染物排放和污水处理量变化趋势发现，在2020年后污染物排放量虽然已增长至较高的水平，但是相应的沿江城市污水处理量也在逐年增加，并且长江干流水质出现较大的改善，说明城市污染处理能力的提升是长江中下游水质改善的重要原因。由于2020年后降水量和径流量逐渐降低，使得降雨冲刷减少可能也是造成水质持续改善的原因之一。

有研究表明治理政策、区域水文特征、污染源分布及社会经济发展等多重因素的综合影响水质状况[17]。COD_{Mn}浓度较高的断面更多集中在中游，而湖北省作为长江中下游地区“三磷”行业主要集中地，其治理对水质改善具有关键意义[18]。在“十四五”时期，国家针对中游地区开展工业园区污染治理、“三磷”行业整治和城镇面源污染控制等专项行动，这些措施相较下游更集中于TP污染治理，并且长江中游TP入江量高于下游，该区域在面源污染治理方面更为积极。相比之下，长江水体中的NH_3-N污染主要以点源污染为主，城



注：* p<=0.05，** p<=0.01，***p<=0.001。

图7　城镇人口与COD_{Mn}的相关性分析(a)和农林牧渔产值与COD_{Mn}和NH_3-N的相关性分析(b)

Fig. 7　Correlation between urban population and COD_{Mn} concentration (a), and correlation between the output value of agriculture, forestry, animal husbandry, and fishery and the concentrations of COD_{Mn} and NH_3-N (b)

市污水是其主要来源[19]，长三角地区作为长江下游的核心区域，其生态保护重点更倾向于针对NH_3-N的污染治理，因此在长江干流水体NH_3-N污染的治理上，下游表现出更为显著的成效。

长江中游与下游在水文特征上的差异是导致水质改善幅度不同的重要原因之一。营养盐浓度较低的湖泊和支流，通过径流产生稀释作用，从而改善干流水质[20]。长江中游分布有洞庭湖、汉江和鄱阳湖流域等面积广阔的湿地，而长江下游的湿地面积较小、分布零碎，因此在湖泊和支流的生态功能及水质调节方面，中游地区相较于下游具有更显著的作用，对COD_{Mn}和TP污染的调节能力更强。

社会经济发展对水质的影响也是不可忽视的因素，经济水平发展越高，污水排放量越高，会进一步导致水质恶化[21-22]。而根据图7(a)可知长江中下游城市城镇人口与长江水体COD_{Mn}含量呈显著负相关性，这可能是因为城镇有着更加完善的污水处理。而工业增加值累计增长与水质无显著相关性，在近十年间工业生产活动成果的增加并没有恶化水质状况，说明长江水污染治理的成果斐然。农林牧渔产业作为国民经济的重要基础部门，对于社会经济发展有着不可替代的作用，由图7(b)农林牧渔产值和COD_{Mn}和NH_3-N的相关性分析可知长江中下游各省市水质与农业产值基本呈负相关关系，可见水质并未因为农业的发展而恶化，而COD_{Mn}和江苏省渔业产值呈正相关，江苏省发达的渔业对水质的影响十分突出，因此需要加强尾水处理，并推广生态养殖模式，减轻渔业对环境的影响，实现可持续发展。

3 结 论

本文通过近十年监测断面水质数据，结合长江中下游干流水文特征和城市经济发展水平，得出以下结论：(1)长江中下游干流COD_{Mn}、TP和NH_3-N含量近十年显著下降。COD_{Mn}和NH_3-N达到Ⅰ类水质水平的比例后五年相比前五年分别提高了20.1%和20.6%，大多数断面TP达到Ⅱ类水质水平。(2)长江中游和下游对污染治理的侧重和水文条件的不同导致COD_{Mn}和TP的改善幅度在长江中游显著高于下游，而NH_3-N则与之相反。(3)农村地区的污水处理能力仍是水污染防治的薄弱环节，进一步提升乡村污水处理率，对于巩固和扩大水质改善尤为关键。此外，渔业生产活动对水体氮、磷含量影响较大。在制定水污染防治政策时，应统筹区域经济发展和环境保护，采取更具针对性的治理措施。

参考文献

[1] 孙煜. 近代以来长江流域的经济开发与生态环境问题述论[J]. 江苏第二师范学院学报, 2023, 39(5): 110-117.

[2] SALERNO F, GAETANO V, GIANNI T. Urbanization and climate change impacts on surface water quality: enhancing the resilience by reducing impervious surfaces [J]. Water Research, 2018, 144: 491-502.

[3] XUE L H, HOU P F, ZHANG Z Y, et al. Application of systematic strategy for agricultural non-point source pollution control in Yangtze River basin, China [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2020, 304: 107148.

[4] 黄燏, 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.

[5] 陈善荣, 何立环, 林兰钰, 等. 近40年来长江干流水质变化研究[J]. 环境科学研究, 2020, 33(5): 1119-1128.

[6] LIU Y B, SONG C L, YANG X, et al. Hydrological regimes and water quality variations in the Yangtze River basin from 1998 to 2018 [J]. Water Research, 2024, 249: 120910.

[7] WANG J, SONG Y F. Effect of water pollution control on provincial boundaries of River-Director System: based on the study of the Yangtze River valley in China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(28): 35217-35227.

[8] 郭朝臣, 雷坤, 李晓光, 等. 2017—2020年长江流域水体污染物通量时空变化特征分析[J]. 环境科学, 2023, 44(8): 4279-4291.

[9] 安堃达, 张帅, 程继雄, 等. 长江干流湖北段沿江城市水质状况及变化趋势研究[J]. 环境科学与管理, 2020, 45(7): 156-160.

[10] 冯家成, 曹学康, 陶理, 等. 长江安徽段水质时空变化特征及影响因素[J]. 长江科学院院报, 2025, 42(7):69-76.

[11] 姚家芬, 姚青梅, 王俊. 长江荆州段水质变化趋势分析[J]. 水生态学杂志, 2015, 36(4): 50-56.

[12] LI K F, ZHU C, WU L, et al. Problems caused by the Three Gorges Dam construction in the Yangtze River basin: a review [J]. Environmental Reviews, 2013, 21(3): 127-135.

(下转第200页)