

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

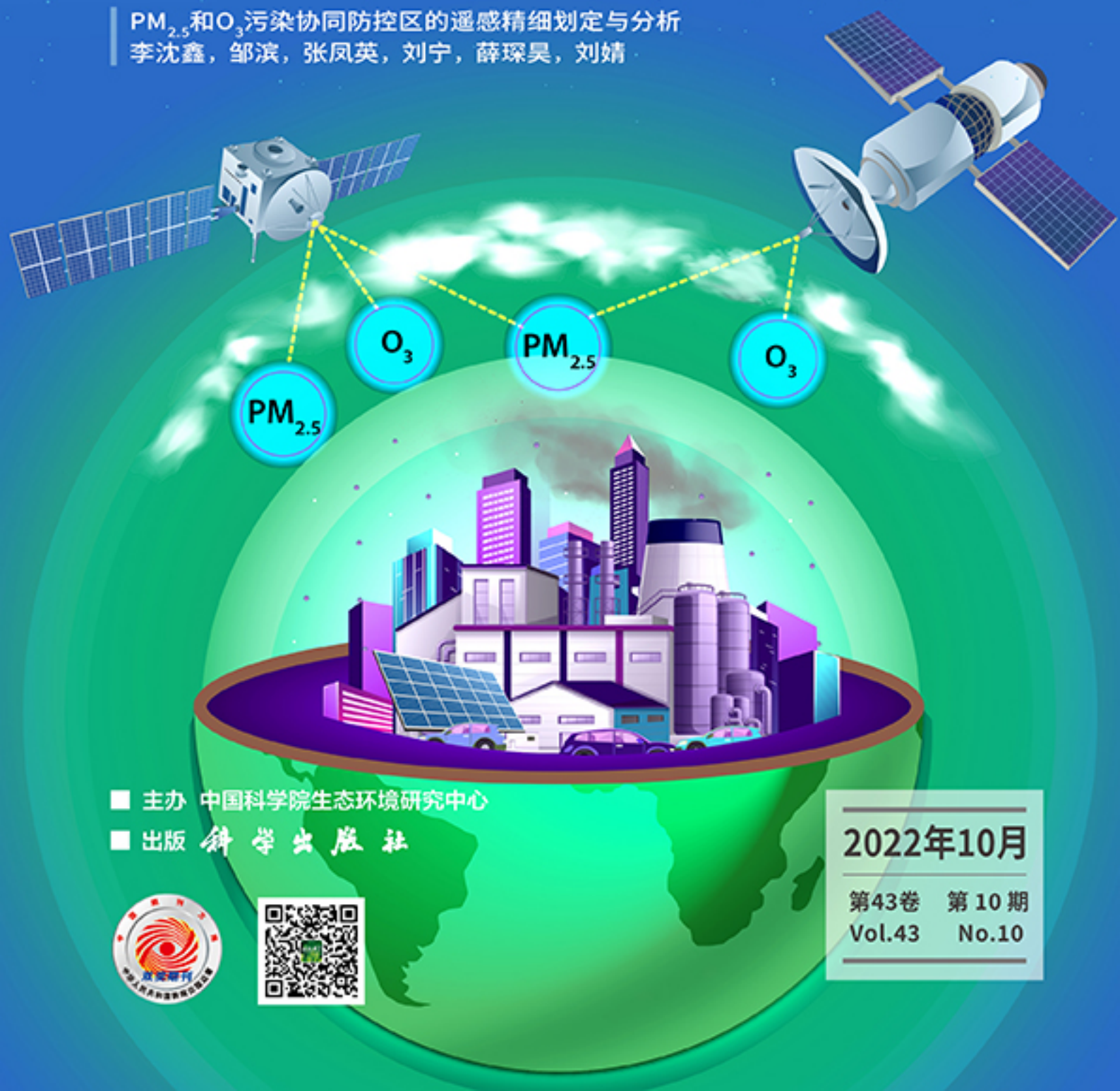
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

PM_{2.5}和O₃污染协同防控区的遥感精细划定与分析
李沈鑫, 邹滨, 张凤英, 刘宁, 薛琛昊, 刘婧



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年10月

第43卷 第10期
Vol.43 No.10

目次

PM _{2.5} 和O ₃ 污染协同防控区的遥感精细划定与分析	李沈鑫, 邹滨, 张凤英, 刘宁, 薛琛昊, 刘婧 (4293)
广州市冬季一次典型臭氧污染过程分析	裴成磊, 谢雨彤, 陈希, 张涛, 邱晓暖, 王瑜, 王在华, 李梅 (4305)
佛山臭氧浓度预报方程的建立与应用	陈辰, 洪莹莹, 谭浩波, 司徒淑婷, 程银琳, 步巧利, 吴蒙, 潘巧英 (4316)
乌海市高分辨率大气污染源排放清单构建及其在臭氧污染成因探究中的应用	张瑞欣, 楚波, 尚春林, 曹喜萍, 李光耀, 朱玉凡, 刘晓, 夏佳琦, 陈强 (4327)
结合在线监测和自动识别系统分析东海沿岸船舶排放特征	邱浩, 刘丹彤, 吴杨周, 李思远, 丁朔, 胡康, 张家乐, 陈梅汀 (4338)
机动车制动磨损颗粒物及挥发性有机物的组分特征	门正宇, 刘笃优, 郭全有, 张静, 彭剑飞, 吴琳, 毛洪钧 (4348)
笼养鸡舍冬季挥发性有机物排放特征	曹甜甜, 郑云昊, 张羽, 王悦, 丛群欣, 王源昊, 董红敏 (4357)
上海市生活垃圾房气溶胶中可培养细菌污染状况及种群特征	卢冰洁, 张翔, 王川, 邱俊, 李丹 (4367)
浙江省2008~2018年人为源氨排放清单及分布特征	方利江, 杨一群, 叶观琼 (4380)
“双碳”目标下钢铁行业控煤降碳路线图	薛英岚, 张静, 刘宇, 陈瑜, 孙健, 蒋洪强, 张伟, 曹东 (4392)
空间关联网络结构特征的减排效应: 基于城市群视角	郑航, 叶阿忠 (4401)
中国对外直接投资的减污降碳效应及其实现机制	白梓函, 吕连宏, 赵明轩, 张楠, 罗宏 (4408)
近年全国地表水水质变化特征	嵇晓燕, 侯欢欢, 王姗姗, 杨凯 (4419)
湟水河流域地表水体微塑料分布、风险及影响因素	范梦苑, 黄懿梅, 张海鑫, 李好好, 黄倩 (4430)
汾河流域地表水化学同位素特征及其影响因素	赵春红, 申豪勇, 王志恒, 梁永平, 赵一, 谢浩, 唐春雷 (4440)
城镇化进程中珠江三角洲高锰地下水赋存特征及成因	吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 朱亮, 李海军 (4449)
喀什噶尔河下游平原区地下水咸化特征及成因分析	鲁涵, 曾妍妍, 周金龙, 孙英 (4459)
重庆市老龙洞地下河流域硝酸盐来源和生物地球化学过程的识别	王雨畅, 杨平恒, 张洁茹 (4470)
蓝藻水华过程中优势种群演替模式、效应及驱动因子分析	欧阳添, 赵璐, 纪璐璐, 杨宋琪, 郑保海, 杜雨欣, 李佳欣, 李玉鑫, 施军琼, 吴忠兴 (4480)
珠海市磨刀门水道输水水源水库群浮游植物群落特征及其环境驱动因子	张茉莉, 王思瑞, 昌盛, 王山军, 金德才, 樊月婷, 张坤峰, 谢琼, 付青 (4489)
营养物质对铜绿微囊藻生长和藻际细菌的影响	吕萍, 李慧莉, 徐勇, 郑效旭, 黄振华, 王聪, 徐圣君, 庄绪亮 (4502)
老化作用对微塑料吸附四环素的影响及其机制	王林, 王姝歆, 曾祥英, 何杨, 黄雯, 郑世界, 张建强 (4511)
沉积物和土壤中胶体对氯霉素吸附行为的影响	晏彩霞, 罗燕清, 聂明华, 周旋, 丁明军 (4522)
历史抗生素胁迫改变磺胺甲噁唑和甲氧苄啶对活性污泥的影响: ARGs及其潜在宿主	张忠兴, 樊晓燕, 李星, 高玉玺, 赵君如 (4536)
阳朔典型铅锌矿区流域土壤重金属空间分布特征及来源解析	陈盟, 潘泳兴, 黄奕翔, 王耀耀, 张睿东 (4545)
白洋淀及周边土壤重金属的分布特征及生态风险评估	郑飞, 郭欣, 汤名扬, 朱冬, 董四君, 康乐, 陈兵 (4556)
基于地理探测器的镇域尺度土壤重金属含量空间分异及其影响因素分析	龚仓, 王亮, 王顺祥, 张志翔, 董航, 刘玖芬, 王德伟, 严步青, 陈映 (4566)
燃煤电厂重金属排放与周边土壤中重金属污染特征及健康风险	车凯, 陈崇明, 郑庆宇, 范辉, 魏明磊, 罗蓬, 郁金星 (4578)
海南岛半干旱区农用地土壤重金属富集因素、健康风险及来源识别	杨剑洲, 龚晶晶, 王振亮, 高健翁, 杨建坤, 胡树起, 唐世新 (4590)
九龙江口红树林表层沉积物重金属赋存形态及污染评价	张华兰, 于瑞莲, 万瑞安, 胡恭任, 黄华斌, 吴雅清 (4601)
我国茶叶主产区有机肥重金属含量现状	伊晓云, 方丽, 杨向德, 马立峰, 刘美雅, 张群峰, 倪康, 石元值 (4613)
甘肃省农业土壤邻苯二甲酸酯累积特征及来源分析	陈玉玉, 张光全, 张杨, 李明凯, 郝佳欣, 熊有才, 李崇霄, 曹靖 (4622)
三峡库区澎溪河不同高程消落带土壤磷形态及磷酸酶活性分布特征	高艺伦, 方芳, 唐子超, 张蕊, 蒋艳雪, 郭劲松 (4630)
塔里木盆地北缘绿洲不同连作年限棉田土壤有机碳组分特征及其与理化因子的相关性	李昕竹, 贡璐, 唐军虎, 罗艳, 丁肇龙, 朱海强, 张涵, 李蕊希 (4639)
黄土丘陵区柠条人工林不同深度土壤呼吸速率对土壤湿度的响应	孙亚荣, 王亚娟, 赵敏, 薛文艳, 梁思琦, 刘乐, 刘超, 陈云明 (4648)
基于Meta-analysis的生物炭对土壤硝态氮淋失和磷酸盐固持影响	姜志翔, 崔爽, 张鑫, 郝敏, 孙德茂 (4658)
低分子有机酸强化植物修复重金属污染土壤的作用与机制	方治国, 谢俊婷, 杨青, 卢烨桢, 黄海, 朱芸娟, 尹思敏, 吴鑫涛, 都韶婷 (4669)
无机钝化剂对镉污染酸性水稻土的修复效果及其机制	张剑, 孔繁艺, 卢升高 (4679)
改良铅锌矿渣对栎树幼苗铅锌富集与耐性机制	谢天志, 陈永华, 苏荣葵, 刘慧, 姚海松 (4687)
CaO ₂ /FA复合材料富集磷效能及其回收物对土壤改良作用	岳薇, 李大鹏, 吴玲予, 王璐, 汤尧禹, 朱企, 黄勇 (4697)
早稻秸秆还田和减钾对晚稻产量和土壤肥力的影响	黄巧义, 黄建凤, 黄旭, 吴永沛, 李苹, 付弘婷, 唐拴虎, 刘一峰, 徐培智 (4706)
秸秆连续还田配施化肥对稻-油轮作土壤碳库及作物产量的影响	蔡影, 付思伟, 张博睿, 胡宏祥, 刘文雯, 俞金涛, 贾临东, 刘运峰 (4716)
化肥减量配施秸秆对双季稻田固氮微生物群落的影响	陈凯鹏, 韦菊娟, 陈丹, 王聪, 沈健林, 李勇, 吴金水 (4725)
化肥减量与有机物料添加对华北潮土微生物氮循环功能基因丰度和氮转化遗传潜力的影响	李胜君, 胡荷, 李刚, 王蕊, 赵建宁, 张贵龙, 修伟明 (4735)
长期覆膜条件下农田土壤微生物群落的响应特征	胡志娥, 肖谋良, 丁济娜, 李剑虹, 陈剑平, 葛体达, 鲁顺保 (4745)
长期秸秆还田对潮土真菌群落、酶活性和小麦产量的影响	马垒, 李燕, 魏建林, 李子双, 周晓琳, 郑福丽, 吴小宾, 王利, 刘兆辉, 谭德水 (4755)
土壤改良剂对再生水滴灌根际土壤菌群多样性及病原菌和抗生素抗性基因丰度的影响	崔丙健, 崔二革, 刘春成, 胡超, 樊向阳, 李中阳, 高峰 (4765)
氮素对苜蓿植物修复垃圾堆场镉-多环芳烃复合污染土壤及土壤细菌群落结构的影响	李怡佳, 马俊伟, 李玉倩, 肖琛, 沈心怡, 牛云, 陈家军 (4779)
抗生素降解剂对猪粪堆肥腐熟和细菌群落演替的影响	李琳琳, 张昕, 马军伟, 孙万春, 成琪璐, 林辉 (4789)
《环境科学》征订启事 (4337) 《环境科学》征稿简则 (4407) 信息 (4521, 4705, 4800)	

近年全国地表水水质变化特征

嵇晓燕¹, 侯欢欢², 王姗姗^{3*}, 杨凯¹

(1. 中国环境监测总站, 北京 100012; 2. 科邦检测集团有限公司, 北京 100084; 3. 江苏省环境监测中心, 南京 210019)

摘要: 采用2012~2020年国家地表水环境质量监测网839个可比断面(点位)数据分析了9年间地表水环境质量变化特征。结果表明, 全国地表水环境质量持续改善, I~III类水质断面比例稳步上升, 劣V类比例持续下降; 主要污染指标氨氮、总磷和高锰酸盐指数的年均值均呈逐年下降趋势, 2020年比2012年分别下降75.9%、48.2%和17.5%。广西、海南和宁夏I~III类水质断面比例保持100%, 湖北和江西呈逐年下降趋势, 其余省份均呈逐年上升趋势; 广西、海南、宁夏、湖南和福建劣V类水质断面比例保持为0, 其余省份均呈逐年下降趋势; 广西、江西的总磷和湖北、海南、辽宁的高锰酸盐指数呈逐年上升趋势, 其余省份主要污染指标年均值均呈不同程度下降。十大流域主要江河I~III类水质断面比例均呈波动上升趋势; 劣V类比例除浙闽片河流一直为0以外, 其余流域均呈波动下降趋势; 主要污染指标年均值均呈不同程度下降。2020年, 32个重要湖泊中53%处于富营养状态, 与2012年相比增加了12个百分点。总体来看, 9年间全国地表水水质普遍好转, 尤其是“十三五”以来, 水污染防治工作取得显著成效, 但各省、各流域之间具有差异性, 水资源分布不均, 水质改善存在不平衡性和不协调性, 湖库富营养化趋势不容乐观。未来应统筹水资源、水环境和水生态, 在地表水的精准治污和生态修复上着重发力。

关键词: 地表水; 水质评价; 十大流域; Spearman秩相关系数法; 富营养状态

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)10-4419-11 DOI: 10.13227/j.hjxx.202111299

Variation Characteristics of Surface Water Quality in China in Recent Years

Ji Xiao-yan¹, HOU Huan-huan², WANG Shan-shan^{3*}, YANG Kai¹

(1. China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China; 2. Kebang Testing Group Co., Ltd., Beijing 100084, China; 3. Jiangsu Provincial Environmental Monitoring Center, Nanjing 210019, China)

Abstract: Based on data from 839 comparable sections (sites) of the national surface water environmental quality monitoring network from 2012 to 2020, the variation tendency of surface water environmental quality over the past nine years was analyzed. The results showed that the environmental quality of surface water in China has continuously improved, the proportion of Grade I-III water quality increased steadily, and the proportion of inferior Grade V water quality decreased in succession. The annual average concentration of ammonia nitrogen, total phosphorus, and permanganate index all showed a decreasing trend annually; compared with those in 2012, the three indicator concentrations respectively declined 75.9%, 48.2%, and 17.5% by 2020. In Guangxi, Hainan, and Ningxia, the proportion of Grade I-III water quality sections was maintained at 100%, whereas Hubei and Jiangxi showed a consecutive decreasing trend, and the other provinces showed a consecutive increasing trend. In Guangxi, Hainan, Ningxia, Hunan, and Fujian, the proportion of inferior Grade V water quality sections remained at 0, and the other provinces showed a decreasing trend yearly. The annual average concentration of total phosphorus in Guangxi and Jiangxi and the permanganate index in Hubei, Hainan, and Liaoning increased annually, whereas that in the other provinces decreased to varying degrees. The proportion of Grade I-III water quality sections in Ten Major basins showed a fluctuating upward trend. The proportion of inferior Grade V water quality in the Zhejiang and Fujian Slice Rivers was maintained at 0, and the other river basins showed a fluctuating and declining trend. The annual average of the main pollution indicators all decreased to varying degrees. In 2020, 53% of 32 important lakes were eutrophic, which increased 12% compared to that in 2012. On the whole, surface water quality has generally improved in China during the past nine years; especially since the 13th Five-Year Plan period, remarkable achievements have been made in the prevention and control of water pollution. However, there are differences among various provinces and basins, the improvement in water environmental quality is unbalanced and uncoordinated, water resources are distributed unevenly, and the eutrophication trend of lakes and reservoirs is not optimistic. In the future, water resources, water environment, and water ecology should be overall managed, and great attention should be focused on precise pollution control and ecological restoration of surface water.

Key words: surface water; water quality evaluation; Ten Major Basins; Spearman rank correlation coefficient method; eutrophic state

随着人口增长和社会经济发展, 水资源需求量急剧增加^[1], 同时大量未经处理的工业废水和生活污水直接排入地表水, 给水体带来严重负担^[2]。近年来, 国家开展水污染防治攻坚战, 加大水污染防治力度, 地表水水质明显改善。分析地表水水质的变化特征, 一方面可以反映水污染防治成效, 另一方面可以针对存在的问题为地表水环境保护和治理提供支撑^[3]。然而目前国内外学者针对地表水质变化特征的研究大多集中在部分流域或区域的水体, 如就辽河、珠江、黄河、小清河、巢湖和白洋淀等流

域^[4~11]的水质变化开展研究, 就长江成都段、黄河甘肃段和太湖江苏段^[12~19]等部分省市河段的水质变化开展研究, 还有就红枫湖、小兴凯湖、三峡水库和密云水库^[20~23]等部分湖库的水质开展研究。对全国地表水环境质量多年的变化趋势分析研究几乎

收稿日期: 2021-11-29; 修订日期: 2022-02-11

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07302002); 长江生态环境保护修复联合研究项目(2019-LHYJ-01-0301)

作者简介: 嵇晓燕(1981~), 女, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为水环境质量监测和评价, E-mail: jxy@cnemc.cn

* 通信作者, E-mail: 1213867660@qq.com

为空白. 因此, 本文采用 2012 ~ 2020 年国家地表水环境质量监测网每年均开展监测的可比断面(点位), 初步分析了我国地表水水质演变趋势, 讨论了各省份、流域和重要湖库的水质变化特征.

1 材料与方法

1.1 数据来源

研究范围基本涵盖全国 31 个省(市、自治区),

中国香港、澳门和台湾资料暂缺, 数据来源于国家地表水环境质量监测网. 从数据连续性的角度考虑, 选取 2012 ~ 2020 年每年均开展监测的 839 个可比断面(点位). 共包含 386 条河流的 667 个断面、32 个湖泊的 130 个点位和 26 座水库的 42 个点位. 断面(点位)分布示意如图 1 所示, 各省份可比监测断面(点位)分布如表 1 所示, 十大流域可比监测断面(点位)分布如表 2 所示.



图 1 2012 ~ 2020 年全国地表水可比监测断面(点位)分布示意

Fig. 1 Distribution diagram of comparable surface water monitoring sections(sites) in China from 2012 to 2020

表 1 2012 ~ 2020 年各省份可比监测断面(点位)分布

Table 1 Distribution of comparable monitoring sections(sites) in each province from 2012 to 2020

省份	河流断面数	湖库点位数	省份	河流断面数	湖库点位数
北京	6	1	天津	9	1
山西	11	0	内蒙古	27	4
吉林	25	4	黑龙江	45	13
江苏	35	27	浙江	33	4
福建	17	0	江西	23	17
河南	35	4	湖北	25	24
广东	8	1	广西	12	0
重庆	9	0	四川	21	0
云南	42	15	西藏	10	1
甘肃	11	0	青海	9	0
新疆	31	20	湖南	21	2
辽宁	30	3	陕西	24	2
上海	2	1	宁夏	5	0
安徽	56	17	海南	10	2
山东	38	9	河北	26	0
贵州	11	0			

表 2 2012 ~ 2020 年十大流域可比监测断面(点位)分布

Table 2 Distribution of comparable monitoring sections(sites) in Ten Major Basins from 2012 to 2020

流域	河流断面数	湖库点位数	流域	河流断面数	湖库点位数
长江	151	59	黄河	57	4
珠江	42	5	松花江	74	21
淮河	84	17	海河	58	2
辽河	46	3	浙闽片	43	4
西北	36	21	西南	27	1

1.2 研究方法

按照文献[24 ~ 26],断面水质评价指标为:pH、溶解氧、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、氨氮、石油类、挥发酚、汞、铅、总磷、化学需氧量、铜、锌、氟化物、硒、砷、镉、铬(六价)、氰化物、阴离子表面活性剂和硫化物共 21 项,评价数据均采用年均值,对照《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)^[27],分为 I 类 ~ 劣 V 类共 6 个类别.根据文献[28],I ~ III 类水质比例 ≥ 90% 为优;75% ≤ I ~ III 类水质比例 < 90% 为良好;I ~ III 类水质比例 < 75%,且劣 V 类比例 < 20% 为轻度污染.湖泊、水库营养状态评价指标为:叶绿素 a、总磷、总氮、透明度和高锰酸盐指数共 5 项,采用综合营养状态指数法 $[TLI(\sum)]$,评价结果分为贫营养 ~ 重度富营养共 5 个级别^[29,30].

水质变化趋势采用 Spearman 秩相关系数法,是衡量环境污染变化趋势在统计上无显著性差异的常用方法^[31,32].Spearman 秩相关检验使用 SPSS 软件.对给出的时间周期($Y_1, \dots, Y_N$)和它们的相应值 X (即年均值 $C_1, \dots, C_N$),将从大到小排列好.秩相关系数的计算公式如下:

$$r_s = 1 - \left[6 \sum_{i=1}^n d_i^2 \right] / [N^3 - N] \quad (1)$$

$$d_i = X_i - Y_i \quad (2)$$

式中, r_s 为秩相关系数, N 为时间周期, d_i 为变量 X_i 和变量 Y_i 的差值; X_i 为周期 1 到周期 N 按浓度值从小到大排列的序号; Y_i 为按时间排列的序号.

将秩相关系数 r_s 的绝对值与 Spearman 秩相关系数统计表中的临界值 W_p 进行比较(表 3),当 $r_s > W_p$ 则表明变化趋势有显著意义;如果 r_s 是负值,则表明在评价时段内有关统计量指标变化呈下降趋势

或好转趋势;如果 r_s 为正值,则表明在评价时段内有关统计量指标变化呈上升趋势或加重趋势;当 $r_s \leq W_p$ 则表明变化趋势没有显著意义;说明在评价时段内水质变化稳定或平稳^[33].

表 3 秩相关系数 r_s 的临界值(W_p)⁽¹⁾

Table 3 Critical values(W_p) of rank correlation coefficient r_s

N	W_p	
	0.05	0.01
5	0.900	1.000
6	0.829	0.943
7	0.714	0.893
8	0.643	0.833
9	0.600	0.783
10	0.564	0.746

1) 0.05 表示 $W_p = 0.600^*$,为显著水平(单侧检验);0.01 表示 $W_p = 0.783^*$,为显著水平(单侧检验)

2 结果与讨论

2.1 全国地表水水质变化特征

从 2012 ~ 2020 年全国 839 个可比断面(点位)水质类别比例年际变化情况可知(图 2),I ~ III 类水质断面比例稳步上升,由 2012 年的 62.6% 升至 2020 年的 79.0%,上升 16.4 个百分点;劣 V 类水质断面比例持续下降,由 2012 年的 10.4% 降至 2020 年的 0.7%,下降 9.7 个百分点.可以看出水污染防治工作特别是“十三五”以来“水十条”的实施有效促进了地表水环境质量的改善.

从 2012 ~ 2020 年全国地表水可比断面(点位)主要污染指标年均值变化情况可知(表 4),氨氮、总磷和高锰酸盐指数的年均值均呈逐年下降趋势,2020 年全国地表水中氨氮、总磷和高锰酸盐指数的年均值分别为 0.20、0.072 和 3.3 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,比 2012 年分别下降 75.9%、48.2% 和 17.5%.

表 4 2012 ~ 2020 年全国地表水可比断面(点位)主要污染指标年均值/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 4 Annual average values of surface water major pollution indicators of comparable sections(sites) in China from 2012 to 2020/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
氨氮	0.83	0.80	0.73	0.68	0.59	0.49	0.44	0.31	0.20
总磷	0.139	0.127	0.126	0.124	0.118	0.110	0.098	0.082	0.072
高锰酸盐指数	4.0	4.0	3.9	3.8	3.7	3.5	3.4	3.4	3.3

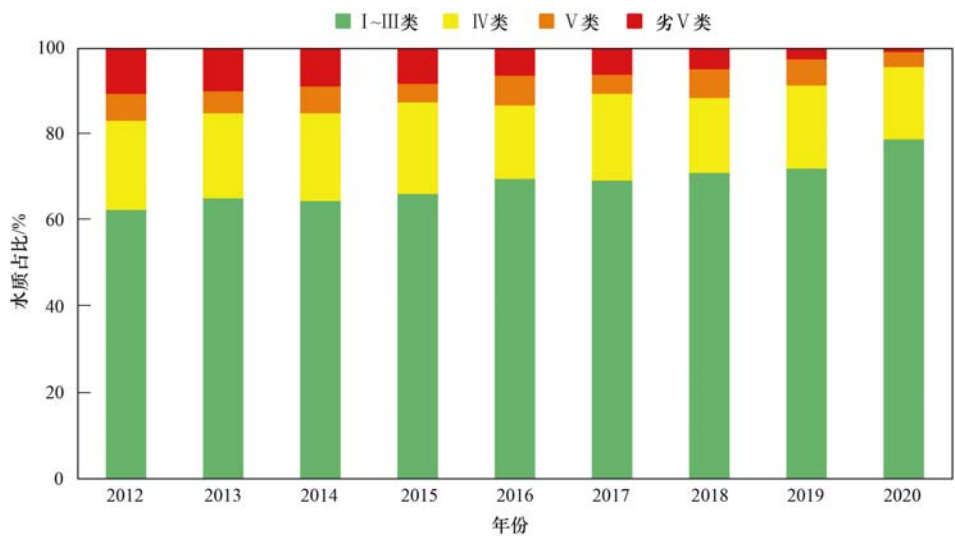


图2 2012~2020年全国地表水可比断面(点位)水质类别比例年际变化

Fig. 2 Interannual variation in the surface water quality proportion of comparable sections(sites) in China from 2012 to 2020

2.2 各省份水质变化特征

2.2.1 各省份水质年际变化

2020年,全国各省I~III类水质比例范围在56.5%~100%,除内蒙古、云南和新疆以外,其余省份的劣V类比例均为0(图3)。其中,广西、海南、宁夏、湖南、重庆、甘肃、西藏、青海、广东、贵州、北京、浙江、陕西、四川和福建等15省水质为优,湖北、吉林、河南、安徽、云南和江西等6省水质良好,山东、山西、天津、河北、黑龙江、辽宁、上海、内蒙古、新疆和江苏等10省水质处于轻度污染。各省水环境质量存在较大差异,与地区经济发展水平、污染治理能力、环境保护投入和自然环境天然禀赋等因素息息相关^[34]。经济发达和人口密度高的地区,污染物排放量大,但污染

治理水平高。此外,各地区污染类型不同,治理难度有所差异,降雨、干旱和各类地理水文气候条件都对水质产生影响。

2012~2020年期间广西、海南和宁夏的I~III类比例保持100%,广西、海南、宁夏、福建和湖南的劣V类比例保持为0,这些省份水质一直保持为优。采用Spearman秩相关系数法,对其余省份I~III类和劣V类水质比例与年份时间序列进行相关性分析,检验相关系数和斜率的显著性意义。从表5可以看出:26个省份水质处于好转状态,I~III类水质比例提高了3.9~66.7个百分点,改善最明显的上海、山东和浙江3省(市)均为东部沿海经济发达地区,各省不同程度的水质改善趋势体现了各地水污染防治工作的不同成效,尤其是“十三五”以来

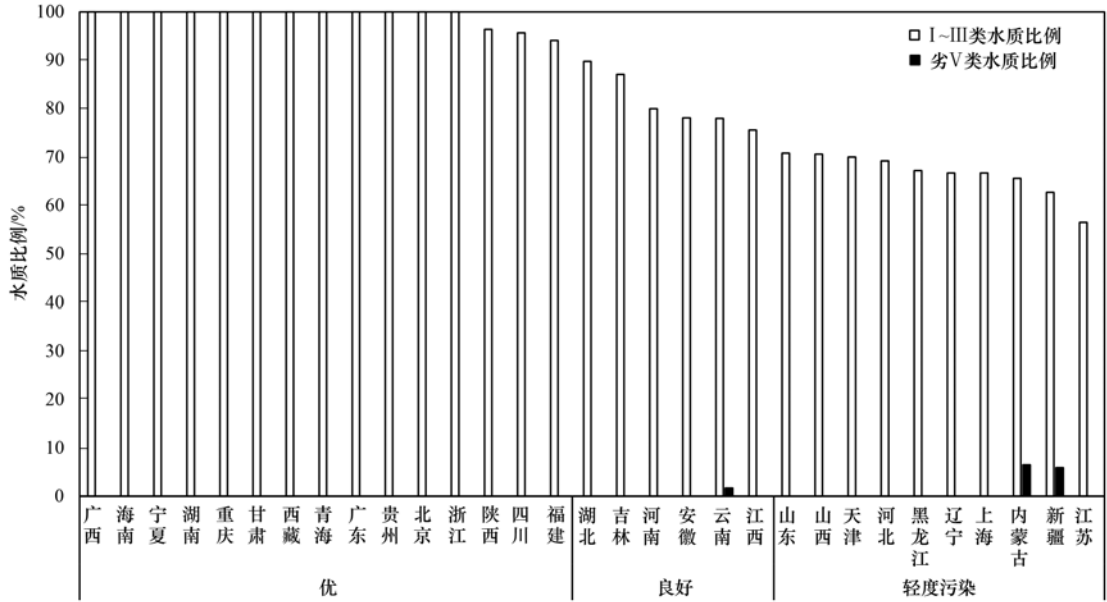


图3 2020年各省份可比断面(点位)水质比例

Fig. 3 Water quality proportion of comparable sections(sites) in each province in 2020

“水十条”及“碧水保卫战”等不断推进,以水环境质量改善为核心的水污染防治工作成效显著;湖北和江西两省水资源较丰富且水体质量相对较好,但近年优良水体比例下降需引起重视.

表 5 2012 ~ 2020 年各省份可比断面(点位)水质比例变化趋势显著性检验¹⁾

Table 5 Significance test of water quality proportion tendency of comparable sections(sites) in each province from 2012 to 2020

省份	I ~ III类水质比例			劣 V 类水质比例		
	r_s 值	趋势	显著性 W_p	r_s 值	趋势	显著性 W_p
云南	0.983	上升	有显著意义(0.01)	-0.867	下降	有显著意义(0.01)
浙江	0.941	上升	有显著意义(0.01)	-0.837	下降	有显著意义(0.01)
安徽	0.895	上升	有显著意义(0.01)	-0.933	下降	有显著意义(0.01)
北京	0.894	上升	有显著意义(0.01)	-0.866	下降	有显著意义(0.01)
江苏	0.879	上升	有显著意义(0.01)	-0.808	下降	有显著意义(0.01)
陕西	0.864	上升	有显著意义(0.01)	-0.842	下降	有显著意义(0.01)
四川	0.731	上升	有显著意义(0.05)	-0.855	下降	有显著意义(0.01)
新疆	0.685	上升	有显著意义(0.05)	-0.822	下降	有显著意义(0.01)
河南	0.684	上升	有显著意义(0.05)	-0.962	下降	有显著意义(0.01)
山东	0.628	上升	有显著意义(0.05)	-0.983	下降	有显著意义(0.01)
上海	0.894	上升	有显著意义(0.01)	-0.725	下降	有显著意义(0.05)
山西	0.886	上升	有显著意义(0.01)	-0.730	下降	有显著意义(0.05)
贵州	0.843	上升	有显著意义(0.01)	-0.725	下降	有显著意义(0.05)
青海	0.935	上升	有显著意义(0.01)	-0.104	下降	无显著意义
甘肃	0.904	上升	有显著意义(0.01)	-0.411	下降	无显著意义
河北	0.891	上升	有显著意义(0.01)	-0.527	下降	无显著意义
辽宁	0.883	上升	有显著意义(0.01)	-0.059	下降	无显著意义
重庆	0.725	上升	有显著意义(0.05)	-0.548	下降	无显著意义
黑龙江	0.435	上升	无显著意义	-0.822	下降	有显著意义(0.01)
广东	0.183	上升	无显著意义	-0.725	下降	有显著意义(0.05)
内蒙古	0.409	上升	无显著意义	-0.122	下降	无显著意义
吉林	0.338	上升	无显著意义	-0.366	下降	无显著意义
西藏	0.320	上升	无显著意义	-0.274	下降	无显著意义
天津	0.104	上升	无显著意义	-0.581	下降	无显著意义
湖北	-0.732	下降	有显著意义(0.05)	-0.866	下降	有显著意义(0.01)
江西	-0.594	下降	无显著意义	-0.411	下降	无显著意义
福建	0.866	上升	有显著意义(0.01)	— ²⁾	—	—
湖南	0.548	上升	无显著意义	—	—	—

1) $N=9$, 0.05 表示 $W_p=0.600^*$, 为显著水平(单侧检验), 0.01 表示 $W_p=0.783^*$, 为显著水平(单侧检验); 2) “—”表示文章中没有相关数据

2.2.2 各省份主要污染指标年均值变化

2012 ~ 2020 年各省份可比断面(点位)主要污染指标 9 a 均值如表 6. 高锰酸盐指数 9 a 均值范围在 1.4 ~ 5.8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 各省均达到或优于 III 类, 高锰酸盐指数高值(大于 5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 主要分布在天津、河北、山西、黑龙江、内蒙古和山东等北方地区; $\rho(\text{氨氮})$ 9 a 均值范围在 0.13 ~ 3.09 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 山西、河北、天津和吉林这 4 省(市) $\rho(\text{氨氮})$ 分别为 3.09、2.62、1.16 和 1.08 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 超地表水 III 类标准; $\rho(\text{总磷})$ 9 a 均值范围在 0.027 ~ 0.336 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 山西、河北和天津 3 省(市) $\rho(\text{总磷})$ 分别为 0.336、0.297 和 0.203 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 超地表水 III 类标准. 3 项指标浓度较高的省份相对集中, 主要分布在北方地区, 一方面这些地区水资源量相对匮乏, 水环境容量较低, 另一方面这些地区人类活动对环境质量具有较大影响. 如: 氨氮与生活污染源排放、城镇基础设施等情况有较强的相关性, 总磷通常与涉磷企业、农

业面源等情况有关.

采用 Spearman 秩相关系数法对各省份主要污染指标年均值与年份时间序列进行相关性分析, 检验相关系数和斜率的显著性意义. 从表 7 可以看出: 各省不同指标呈现出不同的变化趋势, 反映了各地水污染防治工作的不同成效, 绝大部分省份的主要污染指标浓度均呈不同程度地下降趋势, 总磷、氨氮和高锰酸盐指数降幅范围分别在 0.6% ~ 81.1%、43.0% ~ 91.9% 和 0.2% ~ 47.1%, 总磷和氨氮浓度 9 a 降幅达 50% 以上的省份分别有 13 个和 30 个, 高锰酸盐指数降幅相对较小, 降幅达 30% 以上的省份有 6 个, 污染指标浓度削减主要受益于近年来的减排控污、污染治理、生态修复等举措; 少数省份主要污染指标有反弹迹象, 广西和江西的总磷浓度, 湖北、海南和辽宁的高锰酸盐指数均呈上升趋势, 与区域的产业分布情况和污染防治工作均有密切关系, 需引起重视.

表 6 2012 ~ 2020 年各省份可比断面(点位) 主要污染指标 9 a 均值(标准差)¹⁾/mg·L⁻¹

Table 6 The 9-year mean values(standard deviation) of major pollution indicators of comparable sections(sites) in each province from 2012 to 2020/mg·L⁻¹

省份	高锰酸盐指数	氨氮	总磷	省份	高锰酸盐指数	氨氮	总磷
山西	5.5(1.1)	3.09(1.56)	0.336(0.126)	云南	3.4(0.7)	0.40(0.24)	0.111(0.034)
河北	5.5(1.1)	2.62(1.62)	0.297(0.159)	浙江	2.9(0.2)	0.37(0.17)	0.099(0.016)
天津	5.8(0.9)	1.16(0.75)	0.203(0.098)	内蒙古	5.3(0.7)	0.37(0.11)	0.111(0.029)
吉林	4.5(0.3)	1.08(0.42)	0.137(0.040)	青海	1.9(0.2)	0.37(0.15)	0.066(0.029)
辽宁	4.5(0.2)	0.82(0.28)	0.146(0.031)	江西	2.5(0.1)	0.32(0.10)	0.072(0.010)
广东	2.4(0.1)	0.79(0.38)	0.117(0.041)	甘肃	2.1(0.4)	0.32(0.16)	0.062(0.015)
安徽	4.0(0.3)	0.65(0.30)	0.133(0.034)	湖北	2.8(0.1)	0.27(0.08)	0.060(0.003)
河南	3.8(0.4)	0.62(0.28)	0.120(0.029)	宁夏	2.4(0.2)	0.26(0.12)	0.077(0.014)
上海	3.6(0.3)	0.60(0.29)	0.153(0.048)	贵州	1.8(0.2)	0.25(0.08)	0.087(0.031)
山东	5.3(0.1)	0.59(0.23)	0.128(0.029)	湖南	1.9(0.2)	0.19(0.04)	0.054(0.006)
四川	2.4(0.3)	0.49(0.27)	0.155(0.058)	新疆	2.9(0.4)	0.19(0.06)	0.027(0.005)
陕西	3.0(0.4)	0.49(0.18)	0.089(0.019)	海南	2.3(0.1)	0.15(0.03)	0.060(0.006)
北京	3.1(0.2)	0.47(0.35)	0.082(0.042)	重庆	2.0(0.1)	0.15(0.05)	0.106(0.035)
黑龙江	5.4(0.2)	0.46(0.10)	0.096(0.008)	西藏	1.4(0.3)	0.14(0.05)	0.053(0.042)
江苏	4.1(0.2)	0.44(0.12)	0.114(0.006)	广西	1.5(0.1)	0.13(0.04)	0.047(0.006)
福建	2.9(0.4)	0.42(0.11)	0.113(0.008)				

1) 括号外数值为均值, 括号内数值为标准差

表 7 2012 ~ 2020 年各省份主要污染指标年均值变化趋势显著性检验¹⁾

Table 7 Significance test of the annual average tendency of major pollution indicators in each province from 2012 to 2020

省份	高锰酸盐指数			氨氮			总磷		
	r_s 值	趋势	显著性 W_p	r_s 值	趋势	显著性 W_p	r_s 值	趋势	显著性 W_p
四川	-0.950	下降	有显著意义(0.01)	-0.983	下降	有显著意义(0.01)	-0.933	下降	有显著意义(0.01)
浙江	-0.962	下降	有显著意义(0.01)	-0.983	下降	有显著意义(0.01)	-0.950	下降	有显著意义(0.01)
重庆	-0.970	下降	有显著意义(0.01)	-0.941	下降	有显著意义(0.01)	-0.983	下降	有显著意义(0.01)
福建	-0.954	下降	有显著意义(0.01)	-0.883	下降	有显著意义(0.01)	-0.840	下降	有显著意义(0.01)
甘肃	-0.941	下降	有显著意义(0.01)	-0.933	下降	有显著意义(0.01)	-0.845	下降	有显著意义(0.01)
河北	-0.967	下降	有显著意义(0.01)	-0.850	下降	有显著意义(0.01)	-0.917	下降	有显著意义(0.01)
上海	-0.899	下降	有显著意义(0.01)	-1.000	下降	有显著意义(0.01)	-1.000	下降	有显著意义(0.01)
河南	-0.854	下降	有显著意义(0.01)	-0.883	下降	有显著意义(0.01)	-0.850	下降	有显著意义(0.01)
安徽	-0.826	下降	有显著意义(0.01)	-1.000	下降	有显著意义(0.01)	-1.000	下降	有显著意义(0.01)
湖南	-0.726	下降	有显著意义(0.05)	-0.941	下降	有显著意义(0.01)	-0.857	下降	有显著意义(0.01)
西藏	-0.627	下降	有显著意义(0.05)	-0.787	下降	有显著意义(0.01)	-0.862	下降	有显著意义(0.01)
贵州	-0.966	下降	有显著意义(0.01)	-0.778	下降	有显著意义(0.05)	-1.000	下降	有显著意义(0.01)
天津	-0.895	下降	有显著意义(0.01)	-0.817	下降	有显著意义(0.01)	-0.750	下降	有显著意义(0.05)
云南	-0.887	下降	有显著意义(0.01)	-0.883	下降	有显著意义(0.01)	-0.728	下降	有显著意义(0.05)
江苏	-0.821	下降	有显著意义(0.01)	-0.949	下降	有显著意义(0.01)	-0.711	下降	有显著意义(0.05)
宁夏	-0.760	下降	有显著意义(0.05)	-0.950	下降	有显著意义(0.01)	-0.700	下降	有显著意义(0.05)
广东	-0.503	下降	无显著意义	-0.933	下降	有显著意义(0.01)	-0.917	下降	有显著意义(0.01)
山东	-0.581	下降	无显著意义	-0.983	下降	有显著意义(0.01)	-0.983	下降	有显著意义(0.01)
青海	-0.262	下降	无显著意义	-0.783	下降	有显著意义(0.05)	-0.900	下降	有显著意义(0.01)
陕西	-0.962	下降	有显著意义(0.01)	-0.996	下降	有显著意义(0.01)	-0.467	下降	无显著意义
新疆	-0.870	下降	有显著意义(0.01)	-0.954	下降	有显著意义(0.01)	-0.483	下降	无显著意义
内蒙古	-0.867	下降	有显著意义(0.01)	-0.833	下降	有显著意义(0.01)	-0.305	下降	无显著意义
山西	-0.628	下降	有显著意义(0.05)	-0.983	下降	有显著意义(0.01)	-0.250	下降	无显著意义
黑龙江	-0.272	下降	无显著意义	-0.983	下降	有显著意义(0.01)	-0.469	下降	无显著意义
吉林	-0.720	下降	有显著意义(0.05)	-0.350	下降	无显著意义	-0.183	下降	无显著意义
北京	0.145	上升	无显著意义	-1.000	下降	有显著意义(0.01)	-0.783	下降	有显著意义(0.05)
广西	-0.975	下降	有显著意义(0.01)	-0.971	下降	有显著意义(0.01)	0.008	上升	无显著意义
江西	-0.678	下降	有显著意义(0.05)	-0.862	下降	有显著意义(0.01)	0.209	上升	无显著意义
湖北	0.425	上升	无显著意义	-0.983	下降	有显著意义(0.01)	-0.533	下降	无显著意义
海南	0.352	上升	无显著意义	-0.622	下降	有显著意义(0.05)	-0.136	下降	无显著意义
辽宁	0.407	上升	无显著意义	-0.218	下降	无显著意义	-0.067	下降	无显著意义

1) $N=9$, 0.05 表示 $W_p=0.600^*$, 为显著水平(单侧检验), 0.01 表示 $W_p=0.783^*$, 为显著水平(单侧检验)

2.3 主要江河水质变化特征

2.3.1 十大流域水质年际变化

2020 年,十大流域 I ~ III 类水质比例范围在 63.8%~100%,劣 V 类比例均为 0. 西南诸河、西北诸河、长江流域、浙闽片河流和珠江流域这 5 个流域水质为优,黄河流域和松花江流域这 2 个流域水质良好,淮河流域、辽河流域和海河流域这 3 个流域水质处于轻度污染. 各流域间水质的差异主要缘于各流域自然因素和人类活动强度的不同,长江和黄河流域虽然人口密度高,但近年来水质明显改善得益于“长江大保护”和黄河“清废行动”等生态环境协同治理措施的大力推进^[35~38],珠江流域、西北诸河和西南诸河水水质基础相对较好^[39],淮河、辽河和海河流域水质较差,除了缘于历史经济发展导致

的水质“基础差”,还受流域内水资源差异大和点源面源复合型污染治理难度高等因素影响.

采用 Spearman 秩相关系数法,对各省份 I ~ III 类和劣 V 类水质比例与年份时间序列进行相关性分析,检验相关系数和斜率的显著性意义,结果见表 8. 2012 ~ 2020 年,十大流域的 I ~ III 类水质比例均呈不同程度的上升趋势,升幅范围在 2.8 ~ 28.6 个百分点,其中淮河流域升幅最大;劣 V 类比例除浙闽片河流持续为 0 外其他流域均呈不同程度的下降趋势,降幅范围在 2.4 ~ 29.3 个百分点,其中海河流域降幅最大. 水质改善最为明显的均为 2012 年水质基础较差的流域,珠江流域、西北诸河和西南诸河等流域因水质基础较好,所以改善空间较小.

表 8 2012 ~ 2020 年十大流域可比断面(点位)水质比例变化趋势显著性检验¹⁾

Table 8 Significance test of water quality proportion tendency of comparable sections(sites) in Ten Major Basins from 2012 to 2020

省份	I ~ III 类水质比例			劣 V 类水质比例		
	r_s 值	趋势	显著性 W_p	r_s 值	趋势	显著性 W_p
长江	0.954	上升	有显著意义(0.01)	-0.979	下降	有显著意义(0.01)
黄河	0.912	上升	有显著意义(0.01)	-0.983	下降	有显著意义(0.01)
淮河	0.833	上升	有显著意义(0.01)	-0.979	下降	有显著意义(0.01)
海河	0.899	上升	有显著意义(0.01)	-0.778	下降	有显著意义(0.05)
松花江	0.633	上升	有显著意义(0.05)	-0.853	下降	有显著意义(0.01)
西北	0.627	上升	有显著意义(0.05)	-0.822	下降	有显著意义(0.01)
辽河	0.698	上升	有显著意义(0.05)	-0.017	下降	无显著意义
珠江	0.037	上升	无显著意义	-0.767	下降	有显著意义(0.05)
西南	0.584	上升	无显著意义	-0.274	下降	无显著意义
浙闽片	0.919	上升	有显著意义(0.01)	— ²⁾	—	—

1) $N=9$, 0.05 表示 $W_p=0.600^*$, 为显著水平(单侧检验); 0.01 表示 $W_p=0.783^*$, 为显著水平(单侧检验); 2) “—”表示文章中没有相关数据

2.3.2 十大流域主要污染指标年均值变化

2012 ~ 2020 年十大流域可比断面(点位)主要污染指标 9 a 均值如表 9. 高锰酸盐指数 9 a 均值范围在 1.7 ~ 5.4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 各流域均达到或优于 III 类, 高锰酸盐指数高值(大于 5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)分布在海河、松花江和淮河流域; ρ (氨氮) 9 a 均值范围在 0.13 ~ 1.80 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 海河、辽河和黄河流域 ρ (氨氮)分别为

1.80、1.06 和 1.03 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 超地表水 III 类标准; ρ (总磷) 9 a 均值范围在 0.037 ~ 0.230 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 海河流域 ρ (总磷) 9 a 均值为 0.230 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 超地表水 III 类标准. 海河、松花江、辽河、淮河和黄河流域的 3 项指标浓度相对于其他流域较高, 与流域内相应省份的结果趋于一致. 如: 十大流域中仅海河流域总磷超 III 类, 流域中的河北和山西等省水质影响较大.

表 9 2012 ~ 2020 年十大流域可比断面(点位)主要污染指标 9 a 均值及标准差¹⁾/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 9 The 9-year mean values and standard deviation of major pollution indicators of comparable

sections(sites) in Ten Major Basins from 2012 to 2020/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

流域	高锰酸盐指数	氨氮	总磷	流域	高锰酸盐指数	氨氮	总磷
海河	5.4(0.7)	1.80(1.08)	0.230(0.106)	淮河	5.1(0.3)	0.61(0.20)	0.164(0.034)
辽河	4.6(0.3)	1.06(0.38)	0.164(0.049)	松花江	5.3(0.4)	0.52(0.13)	0.099(0.011)
黄河	3.6(0.5)	1.03(0.47)	0.154(0.051)	长江	2.3(0.2)	0.30(0.11)	0.094(0.020)
浙闽片	2.4(0.2)	0.32(0.10)	0.092(0.006)	珠江	2.1(0.1)	0.31(0.12)	0.073(0.010)
西北	1.7(0.2)	0.18(0.06)	0.037(0.008)	西南	1.8(0.2)	0.13(0.03)	0.061(0.022)

1) 括号外数值为均值, 括号内数值为标准差

采用 Spearman 秩相关系数法对十大流域的主要污染指标年均值与年份时间序列进行相关性分析. 从表 10 可以看出: 长江、海河、浙闽片、西南诸河、松花江、淮河和西北诸河的高锰酸盐指数、氨氮和总磷年均值均呈下降趋势, 7 个流域高锰酸盐指数从 2012 年的 $2.0 \sim 6.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 2020 年的 $1.3 \sim 4.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, ρ (氨氮) 从 2012 年的 $0.16 \sim 2.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 2020 年的 $0.08 \sim 0.31 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, ρ (总磷) 从 2012 年的 $0.035 \sim 0.305 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 2020 年的 $0.019 \sim 0.112$

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 其中, 海河流域下降最为明显, 高锰酸盐指数、氨氮和总磷在 9 a 分别下降 36.4%、87.5% 和 72.5%; 黄河和珠江流域的高锰酸盐指数和氨氮年均值均呈下降趋势且变化明显, 高锰酸盐指数从 2012 年的 $2.1 \sim 4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 2020 年的 $1.9 \sim 3.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, ρ (氨氮) 从 2012 年的 $0.42 \sim 1.64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至 2020 年的 $0.10 \sim 0.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 但总磷下降趋势并不显著; 辽河流域的高锰酸盐指数、氨氮和总磷年均值均呈下降趋势, 但变化并不显著.

表 10 2012 ~ 2020 年十大流域主要污染指标年均值变化趋势显著性检验¹⁾

Table 10 Significance test of the annual average tendency of major pollution indicators in Ten Major Basins from 2012 to 2020

流域	高锰酸盐指数			氨氮			总磷		
	r_s 值	趋势	显著性 W_p	r_s 值	趋势	显著性 W_p	r_s 值	趋势	显著性 W_p
长江	-0.962	下降	有显著意义(0.01)	-0.992	下降	有显著意义(0.01)	-0.983	下降	有显著意义(0.01)
海河	-0.983	下降	有显著意义(0.01)	-0.883	下降	有显著意义(0.01)	-0.850	下降	有显著意义(0.01)
浙闽片	-0.962	下降	有显著意义(0.01)	-0.946	下降	有显著意义(0.01)	-0.883	下降	有显著意义(0.01)
西南	-0.987	下降	有显著意义(0.01)	-0.921	下降	有显著意义(0.01)	-0.950	下降	有显著意义(0.01)
松花江	-0.720	下降	有显著意义(0.05)	-0.954	下降	有显著意义(0.01)	-0.950	下降	有显著意义(0.01)
淮河	-0.726	下降	有显著意义(0.05)	-1.000	下降	有显著意义(0.01)	-0.895	下降	有显著意义(0.01)
西北	-0.877	下降	有显著意义(0.01)	-0.953	下降	有显著意义(0.01)	-0.711	下降	有显著意义(0.05)
黄河	-0.797	下降	有显著意义(0.01)	-0.983	下降	有显著意义(0.01)	-0.483	下降	无显著意义
珠江	-0.894	下降	有显著意义(0.01)	-0.950	下降	有显著意义(0.01)	-0.008	下降	无显著意义
辽河	-0.100	下降	无显著意义	-0.217	下降	无显著意义	-0.083	下降	无显著意义

1) $N=9$, 0.05 表示 $W_p=0.600^*$, 为显著水平(单侧检验); 0.01 表示 $W_p=0.783^*$, 为显著水平(单侧检验)

2.4 重要湖库富营养状态变化

2012 ~ 2020 年连续监测的 58 个重点湖泊水库(32 个湖泊和 26 座水库)中, 富营养化(轻度和中度富营养化)湖泊水库比例有上升趋势, 由 2012 年的 27.1% 上升至 2020 年的 34.5%. 2020 年, 32 个重要湖泊中 53% 处于富营养状态, 与 2012 年相比增加了 12 个百分点; 其中 15 个为轻度富营养, 2 个为中度富营养, 分别是云南昆明的滇池和湖北荆州的洪湖. 2020 年, 26 座重要水库中 3 个为轻度富营养, 分别是天津的于桥水库、山东潍坊的峡山水库和黑龙江牡丹江的莲花水库, 与 2012 年相比增加了 2 个.

按照自然地理特征和气候差异可将我国的湖泊划分为 5 大湖区^[40~42], 即东部平原湖区、云贵高原湖区^[43]、蒙新高原湖区、东北湖区和青藏高原湖区. 本文运用 2012 ~ 2020 年全国 32 个湖泊监测数据, 采用综合营养状态指数法 $\left[\text{TLI} \left(\sum \right) \right]$ 进行 2012 年至 2020 年 32 个湖泊 9 年均值的营养状态指数及营养状态分级评价. 从表 11 可知, 云贵高原湖区湖泊在贫营养与中度富营养状态之间, 东部平原湖区湖泊在中营养和中度富营养状态之间, 东北湖

区湖泊在中营养和轻度富营养状态之间, 青藏高原湖区湖泊在贫营养与中营养状态之间, 蒙新高原湖区湖泊均在中营养与中度富营养状态之间. 处于中度富营养状态的湖泊为蒙新高原湖区内蒙古呼伦贝尔的呼伦湖(达赉湖)和云贵高原湖区云南昆明的滇池. 处于轻度富营养状态的湖泊有东部平原湖区的 8 个, 分别是江苏淮安的洪泽湖、扬州的高邮湖、苏州的太湖和阳澄湖, 安徽安庆的龙感湖、合肥的巢湖和宣城的南漪湖, 上海的淀山湖; 东北湖区的 2 个, 分别是黑龙江鸡西的兴凯湖和小兴凯湖. 处于贫营养状态的湖泊为云贵高原湖区云南丽江的泸沽湖和玉溪的抚仙湖. 其余 18 个湖泊处于中营养状态.

富营养化湖库主要分布在经济发达、人口密度高的长江中下游地区, 其中, 长期处于富营养化状态的湖库有: 太湖、巢湖、滇池、洪泽湖、高邮湖、阳澄湖、淀山湖、呼伦湖、龙感湖、南漪湖、小兴凯湖、兴凯湖和于桥水库; 富营养化程度加重的湖库有: 东平湖、斧头湖、洪湖、莲花水库、骆马湖、升金湖、瓦埠湖和峡山水库. 湖库富营养化主要驱动因素是人类活动输入的氮、磷等营养物质, 如太湖和巢湖等; 也有受自然因素影响的, 如呼伦湖.

表 11 2012 ~ 2020 年全国 32 个湖泊营养状态指数

Table 11 Nutrient status index of 32 lakes in China from 2012 to 2020

序号	湖区	湖泊名称	所属省份	所在城市	营养状态指数范围	最小值年份	最大值年份	均值
1	云贵高原湖区	泸沽湖	云南	丽江	11.2 ~ 36.8	2015	2012	16.4
2		程海	云南	丽江	39.1 ~ 45.9	2012	2017	43.1
3		抚仙湖	云南	玉溪	19.0 ~ 26.3	2013	2018	21.6
4		阳宗海	云南	昆明	40.0 ~ 43.8	2016	2013	41.8
5		洱海	云南	大理	36.9 ~ 41.8	2014	2017	40.1
6		滇池	云南	昆明	57.6 ~ 69.2	2018	2012	63.7
7	东部平原湖区	梁子湖	湖北	鄂州	39.1 ~ 49.7	2012	2019	43.7
8		斧头湖	湖北	武汉	43.0 ~ 54.0	2012	2019	47.5
9		洪湖	湖北	荆州	37.5 ~ 63.7	2012	2019	47.8
10		鄱阳湖	江西	南昌	45.8 ~ 53.4	2014	2013	48.7
11		升金湖	安徽	池州	43.0 ~ 50.4	2014	2017	47.8
12		武昌湖	安徽	安庆	40.6 ~ 49.5	2014	2020	44.8
13		菜子湖	安徽	安庆	43.4 ~ 52.7	2016	2018	48.0
14		龙感湖	安徽	安庆	43.9 ~ 61.7	2012	2018	52.5
15		南漪湖	安徽	宣城	48.2 ~ 53.0	2014	2019	51.3
16		淀山湖	上海	上海	56.8 ~ 60.4	2014	2012	58.0
17		阳澄湖	江苏	苏州	51.5 ~ 56.3	2012	2019	54.2
18		东平湖	山东	泰安	46.5 ~ 50.6	2012	2020	48.2
19		南四湖	山东	济宁	47.3 ~ 53.6	2018	2012	49.1
20		瓦埠湖	安徽	淮南	47.0 ~ 51.5	2019	2020	49.1
21		骆马湖	江苏	宿迁	40.4 ~ 52.6	2014	2020	46.8
22		高邮湖	江苏	扬州	50.5 ~ 57.3	2012	2018	53.8
23		洪泽湖	江苏	淮安	54.9 ~ 59.5	2017	2013	57.2
24		太湖	江苏	苏州	54.8 ~ 57.5	2016	2013	56.2
25		巢湖	安徽	合肥	54.8 ~ 57.4	2016	2012	56.0
26		镜泊湖	黑龙江	牡丹江	37.8 ~ 49.7	2012	2018	43.5
27		小兴凯湖	黑龙江	鸡西	48.3 ~ 55.9	2018	2012	52.0
28		兴凯湖	黑龙江	鸡西	46.6 ~ 53.6	2020	2012	50.4
29	青藏高原湖区	班公错	西藏	阿里地区	20.0 ~ 37.5	2017	2016	31.1
30	蒙新高原湖区	博斯腾湖	新疆	巴音郭楞蒙古	31.0 ~ 38.6	2020	2014	34.7
31		乌伦古湖	新疆	阿勒泰	36.3 ~ 48.6	2018	2020	43.1
32		呼伦湖(达赉湖)	内蒙古	呼伦贝尔	59.4 ~ 68.0	2013	2014	63.9

3 结论

(1)2012 ~ 2020 年,随着水污染防治力度的提升,全国地表水环境质量持续改善.采用 839 个可比断面(点位)分析,2020 年比 2012 年 I ~ III 类水质比例上升 16.4 个百分点,劣 V 类水质比例下降 9.7 个百分点;全国地表水氨氮、总磷和高锰酸盐指数年均值均呈逐年下降趋势,降幅分别达 75.9%、48.2% 和 17.5%.

(2)2020 年,全国各省 I ~ III 类水质比例范围在 56.5% ~ 100%,除内蒙古、云南和新疆以外,其余省份的劣 V 类比例均为 0.9 年间改善最明显的为上海、山东和浙江等东部沿海地区,污染指标浓度较高的主要分布在山西、河北和天津等北方地区.各省水环境质量存在较大差异,受各省经济发展水平、污染治理能力、环境保护投入、自然环境禀赋等因素影响.

(3)十大流域中,高锰酸盐指数 9 a 均值范围在

1.7 ~ 5.4 mg·L⁻¹,各流域均达到或优于 III 类;ρ(氨氮)9 a 均值范围在 0.13 ~ 1.80 mg·L⁻¹,海河、辽河和黄河流域超 III 类标准;ρ(总磷)9 a 均值范围在 0.037 ~ 0.230 mg·L⁻¹,海河流域超 III 类标准.海河、松花江、辽河、淮河和黄河流域主要指标浓度相对于其他流域较高,与流域内相应省份的结果一致.

(4)2012 ~ 2020 年连续监测的 58 个重点湖库中,富营养化湖库比例有上升趋势,由 2012 年的 27.1% 上升至 2020 年的 34.5%.富营养化湖库主要分布在经济发达、人口密度高的长江中下游地区,其中,长期处于富营养化状态的湖库有 13 个,富营养化程度加重的湖库有 8 个.湖库富营养化主要源于氮、磷等营养物质的输入,如太湖和巢湖等;也有受自然因素影响的,如呼伦湖.

参考文献:

[1] 马少俊,高蓓蕾.地表水水质监测现状与对策分析[J].江苏科技信息,2017,(11):38-39,43.
Ma S J, Gao B L. Analysis on current status and countermeasures of water quality monitoring[J]. Jiangsu Science and Technology

- Information, 2017, (11): 38-39, 43.
- [2] 唐克旺. 中国治水已进入大保护的新时代[J]. 水资源保护, 2018, **34**(1): 16-17.
- [3] 王乐扬, 李清洲, 杜付然, 等. 20 年来中国河流水质变化特征及原因[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019, **40**(3): 84-88.
- Wang Y Y, Li Q Z, Du F R, *et al.* Characteristics and causes of water quality change in Chinese rivers during the recent 20 years [J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2019, **40**(3): 84-88.
- [4] 汪杰. 辽河流域十年丰水期水环境质量变化趋势分析及评价[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2020.
- Wang J. Analysis of water environmental quality trends and evaluation in the decade of the Liao River Basin[D]. Shenyang: Liaoning University, 2020.
- [5] 单凤霞, 刘珩. 珠江干流(2008-2015 年)水质变化趋势与驱动力分析[J]. 广东水利水电, 2017, (6): 7-10.
- Shan F X, Liu H. Analysis on trend and driving force for water quality change of the Pearl River (2008-2015) [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2017, (6): 7-10.
- [6] 刘彦龙, 郑易安. 黄河干流水质评价与时空变化分析[J]. 环境科学, 2022, **43**(3): 1332-1345.
- Liu Y L, Zheng Y A. Water quality assessment and spatial-temporal variation analysis in Yellow River Basin [J]. Environmental Science, 2022, **43**(3): 1332-1345.
- [7] Pan W Y, Wang F, Jiao Z. Temporal variation and water quality assessment of Xiaoqing River catchment [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, **791**, doi: 10.1088/1755-1315/791/1/012172.
- [8] Wang B B, Wang Y Y, Wang S L. Improved water pollution index for determining spatiotemporal water quality dynamics: case study in the Erdao Songhua River Basin, China [J]. Ecological Indicators, 2021, **129**, doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107931.
- [9] Wu Z S, Lai X J, Li K Y. Water quality assessment of rivers in Lake Chaohu Basin (China) using water quality index [J]. Ecological Indicators, 2021, **121**, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107021.
- [10] 林卉, 蓝月存, 许园园, 等. 南流江水质时空变化特征及影响因素研究[J]. 绿色科技, 2020, (10): 10-14, 24.
- Lin H, Lan Y C, Xu Y Y, *et al.* Spatio-temporal variation characteristics and influencing factors of water quality in Nanliu River [J]. Journal of Green Science and Technology, 2020, (10): 10-14, 24.
- [11] 王欢欢, 白洁, 刘世存, 等. 白洋淀近 30 年水质时空变化特征[J]. 农业环境科学学报, 2020, **39**(5): 1051-1059.
- Wang H H, Bai J, Liu S C, *et al.* Spatial and temporal variations in the water quality of Baiyangdian Lake in the recent 30 years [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2020, **39**(5): 1051-1059.
- [12] 赵凯歌, 张正煜, 赵玉龙. 黄河甘肃段“十二五”期间水质变化趋势分析[J]. 甘肃科技纵横, 2018, **47**(12): 16-18, 67.
- [13] Qiao X, Schmidt A H, Xu Y, *et al.* Surface water quality in the upstream-most megacity of the Yangtze River Basin (Chengdu): 2000-2019 trends, the COVID-19 lockdown effects, and water governance implications [J]. Environmental and Sustainability Indicators, 2021, **10**, doi: 10.1016/j.indic.2021.100118.
- [14] 陆隼, 孔繁璠, 张鸽, 等. 2009-2018 年江苏省太湖西岸主要入湖河道水质变化趋势[J]. 江苏水利, 2020, (3): 5-9.
- Lu J, Kong F F, Zhang G, *et al.* Water quality tendency of main inflow rivers entering the west bank of Taihu Lake in Jiangsu Province from 2009 to 2018 [J]. Jiangsu Water Resources, 2020, (3): 5-9.
- [15] 张彩丽, 林琳, 江懿, 等. 淮河流域(阜阳段)2009-2018 年水质变化特征及影响因素研究[J]. 安徽农业科学, 2020, **48**(23): 95-100, 107.
- Zhang C L, Lin L, Jiang Y, *et al.* Study on water quality changes of Fuyang section of Huaihe River during 2009-2018 and related driving factors [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, **48**(23): 95-100, 107.
- [16] 张明锦, 陈昌华, 郭光贵. 沱江流域(自贡市)2013~2018 年水质时空变化特征分析及评价[J]. 四川环境, 2020, **39**(2): 128-132.
- Zhang M J, Chen C H, Guo G G. Spatial and temporal variation characteristics of water quality in Tuojiang River Basin (Zigong City) from 2013 to 2018 [J]. Sichuan Environment, 2020, **39**(2): 128-132.
- [17] 王淑丽, 李志萍, 赵贵章, 等. 2005~2018 年涡河玄武河段水质演变趋势分析[J]. 人民长江, 2021, **52**(5): 13-17.
- Wang S L, Li Z P, Zhao G Z, *et al.* Analysis of water quality evolution trend of Xuanwu section of Guohe river from 2005 to 2018 [J]. Yangtze River, 2021, **52**(5): 13-17.
- [18] 吕胜国, 孟令杰. 菏泽市主要河道水质现状评价及变化趋势分析[J]. 人民黄河, 2019, **41**(S2): 37-39, 50.
- [19] 丁刚益, 毛小云, 陈柯瑾, 等. 昭通市地表水水质评价与变化趋势分析[J]. 水利水电快报, 2021, **42**(4): 75-78, 82.
- Ding G Y, Mao X Y, Chen K J, *et al.* Evaluation and trend analysis of surface water quality in Zhaotong City [J]. EWRHI, 2021, **42**(4): 75-78, 82.
- [20] 曾华献, 王敬富, 李玉麟, 等. 贵州红枫湖近 10 年来(2009-2018 年)水质变化及影响因素[J]. 湖泊科学, 2020, **32**(3): 676-687.
- Zeng H X, Wang J F, Li Y L, *et al.* Water quality change and influencing factors in Lake Hongfeng (Guizhou Province), 2009-2018 [J]. Journal of Lake Sciences, 2020, **32**(3): 676-687.
- [21] Yu S L, Li X Y, Wen B L, *et al.* Characterization of water quality in Xiao Xingkai Lake: implications for trophic status and management [J]. Chinese Geographical Science, 2021, **31**(3): 558-570.
- [22] 王顺天, 雷俊山, 贾海燕, 等. 三峡水库 2003~2017 年水质变化特征及成因分析[J]. 人民长江, 2020, **51**(10): 47-53, 127.
- Wang S T, Lei J S, Jia H Y, *et al.* Water quality characteristics and causes analysis of Three Gorges Reservoir from 2003 to 2017 [J]. Yangtze River, 2020, **51**(10): 47-53, 127.
- [23] Guo C F, Zhi D, Guo X Y. Spatial and temporal analysis of water quality from 1991 to 2011 in Miyun Reservoir [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2021, **43**(11): 4395-4413.
- [24] 康晓风, 林兰钰, 李茜. 地表水环境质量评价方法实证及适用性分析[J]. 中国环境监测, 2014, **30**(6): 102-107.
- Kang X F, Lin L Y, Li Q. The Demonstration and approximation research on surface water quality evaluation method [J]. Environmental Monitoring in China, 2014, **30**(6): 102-107.
- [25] 张彪. 常用水环境质量评价方法分析与比较[J]. 求知导刊, 2016, (4): 48.
- [26] 张凤英, 周密, 李一龙, 等. “十三五”期间中国生态环境质量变化特征[J]. 中国环境监测, 2021, **37**(3): 1-8.
- Zhang F Y, Zhou M, Li Y L, *et al.* Characteristics of eco-environmental quality changes in China during the 13th Five-Year plan period [J]. Environmental Monitoring in China, 2021, **37**

- (3): 1-8.
- [27] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S].
- [28] 生态环境部. 关于印发《地表水环境质量评价办法(试行)》的通知[R]. 北京: 环境保护部办公厅, 2011.
- [29] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, **18**(5): 47-49.
Wang M C, Liu X Q, Zhang J H. Evaluate method and classification standard on lake eutrophication[J]. Environmental Monitoring in China, 2002, **18**(5): 47-49.
- [30] 舒凤月, 刘玉配, 赵颖, 等. 南四湖水体氮、磷营养盐时空分布特征及营养状态评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(11): 3748-3752.
Shu F Y, Li Y P, Zhao Y, *et al.* Spatio-temporal distribution of TN and TP in water and evaluation of eutrophic state of Lake Nansi [J]. Environmental Science, 2012, **33**(11): 3748-3752.
- [31] Wang J H, Li C, Xu Y P, *et al.* Identifying major contributors to algal blooms in Lake Dianchi by analyzing river-lake water quality correlations in the watershed[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, **345**, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128144.
- [32] 陈昊. 基于 Spearman 秩相关系数法的上海市水体水质变化特征分析[J]. 环境科技, 2020, **33**(3): 28-33.
Chen H. Analysis of water quality characteristics in Shanghai based on Spearman correlation coefficient method [J]. Environmental Science and Technology, 2020, **33**(3): 28-33.
- [33] 杨盼, 卢路, 王继保, 等. 基于主成分分析的 spearman 秩相关系数法在长江干流水质分析中的应用[J]. 环境工程, 2019, **37**(8): 76-80.
Yang P, Lu L, Wang J B, *et al.* Analysis of water quality trend in the main stream of the Yangtze River based on principal component analysis[J]. Environmental Engineering, 2019, **37**(8): 76-80.
- [34] 谢京, 齐凌艳, 刘倩倩, 等. 全国污水处理厂水质时空分布及驱动机制研究[A]. 见: 中国环境科学学会2021年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集(四)[C]. 天津:《环境工程》编辑部, 2021. 291-298, 285.
- [35] 韩建民, 牟杨. 黄河流域生态环境协同治理研究--以甘肃段为例[J]. 甘肃行政学院学报, 2021, (2): 112-123.
Han J M, Mou Y. Research on synergistic control of ecological environment in the Yellow River Basin-taking Gansu section as an example[J]. Journal of Gansu Administration Institute, 2021, (2): 112-123.
- [36] 林永然, 张万里. 协同治理: 黄河流域生态保护的实践路径[J]. 区域经济评论, 2021, (2): 154-160.
Lin Y R, Zhang W L. Collaborative governance: practical path of ecological protection in the Yellow River Basin [J]. Regional Economic Review, 2021, (2): 154-160.
- [37] 黎元生, 胡熠. 流域系统协同共生发展机制构建--以长江流域为例[J]. 中国特色社会主义研究, 2019, (5): 76-82.
- [38] 甘黎黎, 帅清华. 全流域、跨区域水环境协同治理的困境及出路[J]. 大众标准化, 2021, (22): 37-39.
- [39] Huang J C, Zhang Y J, Bing H J, *et al.* Characterizing the river water quality in China: recent progress and on-going challenges [J]. Water Research, 2021, **201**, doi: 10.1016/j.watres.2021.117309.
- [40] 赵永宏, 邓祥征, 战金艳, 等. 我国湖泊富营养化防治与控制策略研究进展[J]. 环境科学与技术, 2010, **33**(3): 92-98.
Zhao Y H, Deng X Z, Zhan J Y, *et al.* Progress on preventing and controlling strategies of lake eutrophication in China [J]. Environmental Science & Technology, 2010, **33**(3): 92-98.
- [41] 陈小锋, 揣小明, 杨柳燕. 中国典型湖区湖泊富营养化现状、历史演变趋势及成因分析[J]. 生态与农村环境学报, 2014, **30**(4): 438-443.
Chen X F, Chuai X M, Yang L Y. Status quo, historical evolution and causes of eutrophication in lakes in typical lake regions of China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2014, **30**(4): 438-443.
- [42] 刘震, 赵钟楠, 张越, 等. 中国主要湖泊演变趋势及成因分析[J/OL]. 长江科学院院报, 1-5. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1171.TV.20220113.1204.014.html>, 2022-01-13.
Liu Z, Zhao Z N, Zhang Y, *et al.* Investigation on the evolution trend and cause of main lakes in China [J/OL]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1-5. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1171.TV.20220113.1204.014.html>, 2022-01-13.
- [43] 杨恒, 李桂芳, 叶远行, 等. 高原湖泊周边浅层地下水: 磷素时空分布及驱动因素[J]. 环境科学, 2022, **43**(7): 3532-3542.
Yang H, Li G F, Ye Y H, *et al.* Shallow groundwater around plateau lakes: spatiotemporal distribution of phosphorus and its driving factors [J]. Environmental Science, 2022, **43**(7): 3532-3542.

CONTENTS

Regionalization and Analysis of PM _{2.5} and O ₃ Synergetic Prevention and Control Areas Based on Remote Sensing Data	LI Shen-xin, ZOU Bin, ZHANG Feng-ying, <i>et al.</i>	(4293)
Analysis of a Typical Ozone Pollution Process in Guangzhou in Winter	PEI Cheng-lei, XIE Yu-tong, CHEN Xi, <i>et al.</i>	(4305)
Establishment and Application of Foshan Ozone Concentration Forecast Equation	CHEN Chen, HONG Ying-ying, TAN Hao-bo, <i>et al.</i>	(4316)
Establishment of High-Resolution Emissions Inventory in Wuhai and Its Application in Exploring the Causes of Ozone Pollution	ZHANG Rui-xin, CHU Bo, SHANG Chun-lin, <i>et al.</i>	(4327)
Investigating the Pollutants of Marine Shipping Emissions Along the East China Sea by Combining in-situ Measurements and Automatic Identification System	QIU Hao, LIU Dan-long, WU Yang-zhou, <i>et al.</i>	(4338)
Chemical Component of Particulate Matters and VOCs Characteristics During Vehicle Brake Processes	MEN Zheng-yu, LIU Du-you, GUO Quan-you, <i>et al.</i>	(4348)
Characterization of VOCs Emissions from Caged Broiler House in Winter	CAO Tian-tian, ZHENG Yun-hao, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(4357)
Concentrations and Community Structures of Culturable Bacteria in Aerosols of Household Garbage Stations in Shanghai	LU Bing-jie, ZHANG Xiang, WANG Chuan, <i>et al.</i>	(4367)
Inventory and Distribution Characteristics of Anthropogenic Ammonia Emissions in Zhejiang Province from 2008 to 2018	FANG Li-jiang, YANG Yi-qun, YE Guan-qiong	(4380)
Roadmap of Coal Control and Carbon Reduction in the Steel Industry Under the Carbon Peak and Neutralization Target	XUE Ying-lan, ZHANG Jing, LIU Yu, <i>et al.</i>	(4392)
Carbon Emission Reduction Effect of Spatial Correlation Network Structure Characteristics: From the Perspective of Urban Agglomeration	ZHENG Hang, YE A-zhong	(4401)
Pollution and Carbon Reduction Effect of OFDI in China and Its Mechanism	BAI Zi-han, LÜ Lian-hong, ZHAO Ming-xuan, <i>et al.</i>	(4408)
Variation Characteristics of Surface Water Quality in China in Recent Years	JI Xiao-yan, HOU Huan-huan, WANG Shan-shan, <i>et al.</i>	(4419)
Distribution, Risk, and Influencing Factors of Microplastics in Surface Water of Huangshui River Basin	FAN Meng-yuan, HUANG Yi-mei, ZHANG Hai-xin, <i>et al.</i>	(4430)
Hydrochemical and Isotopic Characteristics in the Surface Water of the Fenhe River Basin and Influence Factors	ZHAO Chun-hong, SHEN Hao-yong, WANG Zhi-heng, <i>et al.</i>	(4440)
Characteristics and Causes of High-manganese Groundwater in Pearl River Delta During Urbanization	LÜ Xiao-li, LIU Jing-tao, HAN Zhan-tao, <i>et al.</i>	(4449)
Characteristics and Causes of Groundwater Salinization in the Plain Area of the Lower Kashgar River	LU Han, ZENG Yan-yan, ZHOU Jin-long, <i>et al.</i>	(4459)
Sources and Biogeochemical Processes of Nitrate in the Laolongdong Karst Underground River Basin, Chongqing	WANG Yu-yang, YANG Ping-heng, ZHANG Jie-ru	(4470)
Succession Pattern and Consequences of the Dominant Species During Cyanobacterial Bloom and Its Influencing Factors	OUYANG Tian, ZHAO Lu, JI Lu-lu, <i>et al.</i>	(4480)
Structural Characteristics of Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in a Group of Drinking Water Reservoirs by Water Transmission from Modaomen Waterway in Zhuhai	ZHANG Mo-li, WANG En-rui, CHANG Sheng, <i>et al.</i>	(4489)
Effects of Nutrients on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i> and Bacteria in the Phycosphere	LÜ Ping, LI Hui-li, XU Yong, <i>et al.</i>	(4502)
Effect of Aging on Adsorption of Tetracycline by Microplastics and the Mechanisms	WANG Lin, WANG Shu-xin, ZENG Xiang-ying, <i>et al.</i>	(4511)
Effect of Colloids in Sediment and Soil on Their Sorption Behavior of Chloramphenicol	YAN Cai-xia, LUO Yan-qing, NIE Ming-hua, <i>et al.</i>	(4522)
Historical Antibiotic Stress Changed the Effects of Sulfamethoxazole and Trimethoprim on Activated Sludge: ARGs and Potential Hosts	ZHANG Zhong-xing, FAN Xiao-yan, LI Xing, <i>et al.</i>	(4536)
Spatial Distribution and Sources of Heavy Metals in Soil of a Typical Lead-Zinc Mining Area, Yangshuo	CHEN Meng, PAN Yong-xing, HUANG Yi-xiang, <i>et al.</i>	(4545)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Baiyangdian Lake	ZHENG Fei, GUO Xin, TANG Ming-yang, <i>et al.</i>	(4556)
Spatial Differentiation and Influencing Factor Analysis of Soil Heavy Metal Content at Town Level Based on Geographic Detector	GONG Cang, WANG Liang, WANG Shun-xiang, <i>et al.</i>	(4566)
Heavy Metal Emissions from Coal-fired Power Plants and Heavy Metal Pollution Characteristics and Health Risks in Surrounding Soils	CHE Kai, CHEN Chong-ming, ZHENG Qing-yu, <i>et al.</i>	(4578)
Enrichment Factors, Health Risk, and Source Identification of Heavy Metals in Agricultural Soils in Semi-arid Region of Hainan Island	YANG Jian-zhou, GONG Jing-jing, WANG Zhen-liang, <i>et al.</i>	(4590)
Speciation and Pollution Assessment of Heavy Metals in Mangrove Surface Sediments in Jiulong River Estuary	ZHANG Hua-lan, YU Rui-lian, WAN Rui-an, <i>et al.</i>	(4601)
Status of Heavy Metal in Organic Fertilizers in Main Tea Growing Regions of China	YI Xiao-yun, FANG Li, YANG Xiang-de, <i>et al.</i>	(4613)
Accumulation Characteristics and Sources of PAEs in Agricultural Soils in Gansu Province	CHEN Yu-yu, ZHANG Guang-quan, ZHANG Yang, <i>et al.</i>	(4622)
Distribution Characteristics of Soil Phosphorus Forms and Phosphatase Activity at Different Altitudes in the Soil of Water-Level-Fluctuation Zone in Pengxi River, Three Gorges Reservoir	GAO Yi-lun, FANG Fang, TANG Zi-chao, <i>et al.</i>	(4630)
Characteristics of Soil Organic Carbon Components and Their Correlation with Other Soil Physical and Chemical Factors in Cotton Fields with Different Continuous Cropping Years in the Oasis on the Northern Edge of Tarim Basin	LI Xin-zhu, GONG Lu, TANG Jun-hu, <i>et al.</i>	(4639)
Response of Soil Respiration Rates to Soil Temperature and Moisture at Different Soil Depths of <i>Caragana korshinskii</i> Plantation in the Loess-Hilly Region	SUN Ya-rong, WANG Ya-juan, ZHAO Min, <i>et al.</i>	(4648)
Influence of Biochar Application on Soil Nitrate Leaching and Phosphate Retention: A Synthetic Meta-analysis	JIANG Zhi-xiang, CUI Shuang, ZHANG Xin, <i>et al.</i>	(4658)
Role and Mechanism of Low Molecular-Weight-Organic Acids in Enhanced Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil	FANG Zhi-guo, XIE Jun-ting, YANG Qing, <i>et al.</i>	(4669)
Remediation Effect and Mechanism of Inorganic Passivators on Cadmium Contaminated Acidic Paddy Soil	ZHANG Jian, KONG Fan-yi, LU Sheng-gao	(4679)
Mechanism of Lead-zinc Enrichment and Resistance of Spent Mushroom Compost to Lead-Zinc Slag in <i>Koeleria paniculata</i>	XIE Tian-zhi, CHEN Yong-hua, SU Rong-kui, <i>et al.</i>	(4687)
Phosphorus Enrichment Efficiency of CaO ₂ @FA Composites and the Effect of Its Recovered Material on Soil Improvement	YUE Wei, LI Da-peng, WU Ling-yu, <i>et al.</i>	(4697)
Effects of Early Rice Straw Returning with Reducing Potassium Fertilizer on Late Rice Yield and Soil Fertility	HUANG Qiao-yi, HUANG Jian-feng, HUANG Xu, <i>et al.</i>	(4706)
Effects of Continuous Straw Returning with Chemical Fertilizer on the Carbon Pool and Crop Yield of Rice-Rape Rotation Soils	CAI Ying, FU Si-wei, ZHANG Bo-rui, <i>et al.</i>	(4716)
Effects of Chemical Fertilizer Reduction Combined with Straw Application on Diazotrophic Communities in a Double Rice Cropping System	CHEN Kai-peng, WEI Ju-xian, CHEN Dan, <i>et al.</i>	(4725)
Impacts of Co-application of Chemical Fertilizer Reduction and Organic Material Amendment on Fluvio-aquic Soil Microbial N-cycling Functional Gene Abundances and N-converting Genetic Potentials in Northern China	LI Sheng-jun, HU He, LI Gang, <i>et al.</i>	(4735)
Response Characteristics of Soil Microbial Community Under Long-term Film Mulching	HU Zhi-e, XIAO Mou-liang, DING Ji-na, <i>et al.</i>	(4745)
Effects of Long-term Straw Returning on Fungal Community, Enzyme Activity and Wheat Yield in Fluvio-aquic Soil	MA Lei, LI Yan, WEI Jian-lin, <i>et al.</i>	(4755)
Effects of Soil Amendments on the Bacterial Diversity and Abundances of Pathogens and Antibiotic Resistance Genes in Rhizosphere Soil Under Drip Irrigation with Reclaimed Water	CUI Bing-jian, CUI Er-ping, LIU Chun-cheng, <i>et al.</i>	(4765)
Effect of Nitrogen on the Phytoremediation of Cd-PAHs Co-contaminated Dumpsite Soil by Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) and on the Soil Bacterial Community Structure	LI Yi-jia, MA Jun-wei, LI Yu-qian, <i>et al.</i>	(4779)
Effect of Antibiotic-Degrading Bacteria on Maturity and Bacterial Community Succession During Pig Manure Composting	LI Wei-lin, ZHANG Xin, MA Jun-wei, <i>et al.</i>	(4789)