

北京城区PM_{2.5}各组分污染特征及来源分析

安欣欣, 曹阳, 王琴, 富佳明, 王陈婧, 景宽, 刘保献

PM_{2.5} 化学组成

SO₄²⁻ NH₄⁺ NO₃⁻
元素碳 Cl⁻ 有机物 地壳元素

源解析

二次
颗粒物
机动车
扬尘
工业
燃煤
生物质
燃烧



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年5月

第43卷 第5期
Vol.43 No.5

目次

北京城区 PM _{2.5} 各组分污染特征及来源分析	安欣欣, 曹阳, 王琴, 富佳明, 王陈婧, 景宽, 刘保献 (2251)
基于时空混合效应模型的京津冀 PM _{2.5} 浓度变化模拟	范丽行, 杨晓辉, 宋春杰, 李梦诗, 段继福, 王卫, 李夫星, 李伟妙 (2262)
2000~2018 年京津冀城市群 PM _{2.5} 时空演变及其与城市扩张的关联	赵安周, 相恺政, 刘宪锋, 张向蕊 (2274)
海-陆大气交汇作用下青岛冬季大气 PM _{2.5} 污染特征与来源解析	虞雄, 杨凌霄, 张婉, 齐安安, 王滢铭, 王鹏程, 黄琦, 赵彤, 张雄飞, 徐鹏, 张天琪, 王文兴 (2284)
硫酸盐非均相机制对颗粒物污染的影响: 上海典型污染事件的 WRF-Chem 模拟	张茹涵, 张皓然, 冯伟航, 汤克勤, 马亚平, 王红丽, 黄成, 胡建林, 张宏亮, 李楠 (2294)
省会城市不同功能区大气 PM _{2.5} 化学组分季节变化及来源分析	孙友敏, 范晶, 徐标, 李彦, 韩红, 张桂芹 (2304)
太原市冬季不同污染程度下 PM _{2.5} 的化学组成、消光特征及氧化潜势	任娇, 赵荣荣, 王铭, 张欢欢, 尹诗杰, 薛永刚 (2317)
郑州市冬季大气 PM _{2.5} 金属元素来源及健康风险评价	姚森, 王乾恒, 薛妍, 史来文, 张俊美, 杨书申 (2329)
淄博市冬季 PM _{2.5} 载体金属元素污染特征、生态风险评价及来源分析	白雯宇, 徐勃, 郭丽瑶, 殷宝辉, 马银红, 李丽明, 杨文, 赵雪艳 (2336)
承德市 PM _{2.5} 中多环芳烃的季节分布特征、来源解析及健康风险评价	贺博文, 聂赛赛, 李仪琳, 郭睿瑶, 姚波, 崔建升, 冯亚平, 王帅, 侯晓松 (2343)
珠三角大气中二噁英污染水平与区域迁移	付建平, 谢丹平, 黄锦琼, 杨艳艳, 冯桂贤, 周长风, 廖海婷, 青亮, 张漫雯, 吴明亮, 张素坤 (2355)
华北平原南部农村地区黑碳气溶胶浓度及来源	张玲, 孔少飞, 郑煌, 胡尧, 曾昕, 程溢, 祁士华 (2363)
基于模式过程分析技术天津地区 PM _{2.5} 污染气象成因分析	郝团, 蔡子颖, 韩素芹, 杨旭, 樊文雁, 姚青, 邱晓滨 (2373)
基于排放量和大气反应活性的 VOCs 污染源分级控制	陈鹏, 张月, 邢敏, 李珊珊 (2383)
基于复杂网络的中国臭氧拓扑特征	菅娜, 陈建华, 李冬, 王迪, 薛志钢 (2395)
基于前体物多情景排放的兰州市 2030 年夏季臭氧预测	陈天雷, 吴敏, 潘成珂, 常莉敏, 李洪, 刘鹏, 高宏, 黄韬, 马建民 (2403)
基于源反演和气溶胶同化方法天津空气质量模式预报能力改进	蔡子颖, 唐邈, 肖致美, 杨旭, 朱玉强, 韩素芹, 徐虹, 邱晓滨 (2415)
基于空气质量监测数据的钢铁行业污染源识别方法	石耀耀, 胡京南, 褚咏昕, 段青春, 胡丙鑫, 殷丽娜, 吕玲玲 (2427)
重污染天气应对“绩效分级、差异化管控”措施首次实践效果后评估	曾景海, 王灿 (2436)
黄河流域水污染风险分区	周夏飞, 曹国志, 於方, 杨威杉, 徐泽升 (2448)
黄河流域甘肃段工业行业水污染物空间排放特征	李雪迎, 杨曦, 乔琦, 刘丹丹, 张玥, 赵若楠, 白璐 (2459)
黄河沉积物重金属时空分布与污染评价	王韬轶, 潘保柱, 韩语, 王雨竹, 李晨辉, 杜蕾 (2467)
APCS-MLR 结合 PMF 模型解析厦门杏林湾近郊流域沉积物金属来源	沈宸宇, 闫钰, 于瑞莲, 胡恭任, 崔建勇, 颜妍, 黄华斌 (2476)
河流底泥 DOM、营养盐与重金属空间分异特征及响应关系	肖艳春, 于会彬, 宋永会 (2489)
太原市汾河河岸带土壤重金属分布特征、评价与来源解析	胡杰, 赵心语, 王婷婷, 苟奎贤, 王春玲 (2500)
洪泽湖溶解态有机质与重金属汞的结合特性	胡斌, 王沛芳, 张楠楠, 包天力, 金秋彤 (2510)
富营养化驱动下西凉湖百年生态演化轨迹	郑佳楠, 徐敏, 郑文秀, 朱可欣, 王荣, 张恩楼 (2518)
基于 DGT 技术的黄河上游典型水库沉积物氮磷释放与污染源解析	马玉坤, 朱翔, 庞晴晴, 孔明, 韩天伦, 彭福全, 谢磊, 汪龙眠, 徐斌, 何斐 (2527)
暴雨前后河南北部河流水质分异特征及其污染源解析	张彦, 邹磊, 梁志杰, 姜明, 李平, 黄仲冬, 齐学斌 (2537)
鄱阳湖流域水葫芦 (<i>Eichhornia crassipes</i>) 对水体微塑料的吸附截留效应	李文刚, 吴希恩, 简敏菲, 刘淑丽, 刘海球, 丁惠君 (2548)
太湖塑料添加剂时空分布和生态风险评价	刘舒娇, 丁剑楠, 石波哲, 张军毅, 庄严, 邹华 (2557)
骆马湖表层沉积物微塑料的分布、来源及储量	姚明轩, 白雪, 徐振佳, 李凤杰, 陆滢, 李畅, 华祖林 (2566)
太湖不同介质中磷的污染特征及其治理启示	蔡梅, 陆志华, 王元元, 钱旭 (2575)
辽河四平段流域河流沉积物微生物群落多样性和结构分析	李鹏洋, 安启睿, 王新皓, 孙思宇, 李青乾, 郑娜 (2586)
面源污染诱导嘉陵江沉积物中细菌群落结构与功能异变	薛玉琴, 徐飞, 刘坤和, 王佳颖, 竹兰萍, 朱志豪, 张拓 (2595)
微塑料对沉积物细菌群落组成和多样性的影响	李汶璐, 王志超, 杨文煊, 张博文, 李卫平 (2606)
白洋淀冬季沉积物好氧反硝化菌垂直分布特征及群落构建	张甜娜, 陈召莹, 张紫薇, 周石磊, 孟佳靖, 陈哲, 张一凡, 董宛佳, 崔建升 (2614)
人工诱导水库分层水体提前混合对细菌群落结构和代谢活性的影响	高悦, 黄廷林, 李楠, 齐允之, 司凡, 杨斌 (2624)
鄱阳湖典型区铜锈环螺体内微塑料分布特征	江为群, 胡启武, 简敏菲, 邹龙, 刘淑丽 (2633)
负载多壁碳纳米管的多孔 Ti/SnO ₂ -Sb-Ni 电极电催化氧化双酚 A	符远航, 刘安迪, 黄伟斌, 唐彬彬, 张进忠 (2640)
磁性 Mn _{0.6} Zn _{0.4} Fe ₂ O ₄ 催化 H ₂ O ₂ 降解亚甲基蓝效能及机制	徐冬莹, 余静, 郝旗, 杨迎春, 方淑红 (2650)
两种纳米颗粒对沸石吸附环丙沙星的影响	蒋兰翠, 孟昭福, 刘贤, 刘欣, 王新欣, 曹雪雯 (2662)
AMD 污泥复合材料吸附 As(V) 的机制及其影响因素	张亚辉, 张瑞雪, 吴攀, 陈世万, 杨艳, 安丽, 傅渝然, 张子豪 (2673)
三氯生及其降解中间产物对活性污泥中微生物群落变化和硝化反硝化功能基因的影响	卢英源, 董小琦, 彭星星, 贾晓珊 (2685)
污染场地风险管控可持续评价指标体系构建及关键影响因素分析	李笑诺, 易诗懿, 陈卫平 (2699)
基于生态功能的滨海湿地土壤质量综合评价方法构建及实证分析	张雪, 孔范龙, 姜志翔 (2709)
铜山矿区周边农田土壤重金属来源解析及污染评价	陈航, 王颖, 王澍 (2719)
典型铁、锰矿物对稻田土壤砷形态与酶活性的影响	周一敏, 黄雅媛, 刘凯, 赵儒乐, 李冰玉, 雷鸣 (2732)
两种油菜施肥水溶性壳聚糖修复典型铅污染农田土壤	孟晓飞, 郑国砥, 陈同斌, 杨俊兴, 郭俊梅, 刘杰 (2741)
基于贝叶斯理论的小麦籽粒镉超标风险预测	王天齐, 李艳玲, 杨阳, 牛硕, 王美娥, 陈卫平 (2751)
紫色土旱坡地油菜/玉米轮作下氮流失的年度变化特征	徐曼, 高明, 余添, 朱浩宇, 邓华, 王子芳 (2758)
不同原料生物炭的理化特性及其作炭基肥缓释载体的潜力评价	邢莉彬, 成洁, 耿增超, 张宏伟, 梁宏旭, 王强, 孙倩倩, 李艳 (2770)
木醋液酸化生物炭与氮素配施对盐渍土壤活性氮及氨挥发的影响	申书伟, 张丹丹, 王敏鸽, 王旭东 (2779)
生物可降解地膜覆盖对关中地区小麦-玉米农田温室气体排放的影响	郭怡婷, 罗晓琦, 王锐, 陈海心, 冯浩 (2788)
戴云山南坡不同海拔森林土壤微生物群落结构特征和影响因素	何中声, 王紫薇, 朱静, 陈佳嘉, 谷新光, 江蓝, 陈博, 吴则焰, 刘金福, 陈文伟 (2802)
模拟增温和降雨增加对撂荒草地土壤胞外酶活性及计量特征的影响	王兴, 钟泽坤, 简俊楠, 张硕宏, 杨改河, 任成杰, 冯永忠, 任广鑫, 王晓娇, 韩新辉 (2812)
中国主要城市的城市化对局地增温的贡献	李宇, 周德成, 闫章美, 张良侠 (2822)
《环境科学》征订启事 (2293)	
《环境科学》征稿简则 (2426)	
信息 (2585, 2672, 2708)	

黄河流域水污染风险分区

周夏飞^{1,2}, 曹国志^{2*}, 於方², 杨威杉², 徐泽升²

(1. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072; 2. 生态环境部环境规划院生态环境风险损害鉴定评估研究中心, 北京 100012)

摘要: 黄河流域生态环境保护和高质量发展已上升为国家战略, 对黄河流域开展水污染风险分区评估具有重要的理论和现实意义。现有研究多集中于突发性水污染风险分区, 累积性水污染风险分区鲜有案例。本研究以 2019 年为基准年, 基于环境统计数据、DEM 数据、水质监测断面数据和基础地理数据, 以 1 km × 1 km 网格为基本单元, 采用环境风险场评估法对黄河流域开展突发性和累积性水污染风险分区评估。结果表明: ① 黄河流域突发性高风险区面积为 1 349 km², 占比 0.2%, 突发性较高风险区面积为 3 864 km², 占比 0.5%; 累积性高风险区面积为 5 834 km², 占比 0.7%; 累积性较高风险区面积为 25 382 km², 占比 3.1%; ② 兰州市、乌海市、巴彦淖尔市、包头市、宝鸡市、济南市和东营市等部分地区突发性、累积性环境风险均较高; ③ 从黄河干流两岸分布来看, 黄河干流兰州段、白银段、中卫段、乌海段、巴彦淖尔段、郑州段、德州段和东营段等突发性、累积性环境风险均较高。

关键词: 黄河流域; 突发性污染风险; 累积性污染风险; 风险分区; 网格

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)05-2448-11 DOI: 10.13227/j.hj.kx.202108315

Risk Zoning of Water Pollution in the Yellow River Basin

ZHOU Xia-fei^{1,2}, CAO Guo-zhi^{2*}, YU Fang², YANG Wei-shan², XU Ze-sheng²

(1. College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Center for Ecological and Environmental Risk and Damage Assessment, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China)

Abstract: Ecological environment protection and high-quality development in the Yellow River basin has been upgraded as a national strategy and is very significant for carrying out water pollution risk zoning assessment in the Yellow River basin. Most of the existing studies focus on the risk zoning of emergency water pollution, and there are few cases of cumulative water pollution risk zoning assessment. Emergency and cumulative water pollution risk zoning of the Yellow River basin in 2019 was identified and assessed based on environmental statistical data, DEM data, water quality monitoring data, and basic geographic data, with a 1 km × 1 km grid as the basic unit. The results showed that: ① the area of emergency high-risk area in the Yellow River basin was 1 349 km², accounting for 0.2% of total area, and the area with relatively high risk was 3 864 km², accounting for 0.5%. The cumulative high-risk area was 5 834 km², accounting for 0.7%, and the relatively high-risk area was 25 382 km², accounting for 3.1%. ② Some areas such as Lanzhou, Wuhai, Bayannur, Baotou, Baoji, Jinan, and Dongying had both high emergency and cumulative environmental risks. ③ From the distribution of the main stream perspective, the Lanzhou section, Baiyin section, Zhongwei section, Wuhai section, Bayannur section, Zhengzhou section, Dezhou section, and Dongying section had high emergency and cumulative environmental risks.

Key words: Yellow River basin; emergency pollution risk; cumulative pollution risk; risk zoning; grid

黄河流域横跨我国东中西九省,在我国经济社会发展和国土空间格局中具有战略性和全局性地位^[1,2]。2019年9月,习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上提出“治理黄河,重在保护,要在治理”^[3]。改革开放以来,随着经济的快速发展与人口的大规模集聚,黄河流域出现了一系列生态环境问题,其中,水污染风险尤为突出^[4],大量高环境风险企业沿河而建,中上游地区以煤化工行业为主,下游地区以石油化工业为主,涉水环境风险物质使用、存储和转运量大,同时,取水量和排水量大,易由生产安全事故或非法排污等引发突发水污染事件^[5,6],结构性布局性风险较高且局部污染突出^[7]。

区域水污染风险评估是环境风险管理的基础和有效工具,通过评估分区可系统识别水污染高风险的“热点”区域和重点问题,进而提出更具针对性的

环境风险管理措施^[5,6,8]。近年来,有学者在区域水污染风险分区评估等领域做了探索性研究^[5,6,8~11],应用较广泛的方法有指数法^[12~15]和网格环境风险场评价法^[5,6,8]等。指数法主要是通过建立指标体系进行综合的定性或半定量评价,能较好地表征区域环境风险总体水平,但难以精细化反映流域多源、多途径、多受体的风险形成机制过程^[16];网格环境风险场评价法基于环境风险场理论对区域进行网格化,充分考虑多源-多途径-多受体的系统关系,利用GIS空间分析精细化、可视化表征环境风险程度和分布,该方法既适用于区域也适用于流域,如Cao

收稿日期: 2021-08-28; 修订日期: 2021-10-14

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2017ZX07301005)

作者简介: 周夏飞(1991~),男,硕士研究生,助理研究员,主要研究方向为流域环境风险评估与应急管理, E-mail: zhouxf@caep.org.cn

* 通信作者, E-mail: caogz@caep.org.cn

等^[8]的研究利用环境风险场评价方法,首次对全国开展突发性环境风险评估,识别出了全国高风险热点区域;周夏飞等^[5,6]基于环境风险场评估方法,开展了东江流域^[5]和长江经济带^[6]突发水污染风险分区研究.总的来看,区域环境风险分区是识别水污染高风险热点区域的重要工具,但现有研究大多针对突发性环境风险,累积性风险评估鲜有案例,突发性和累积性风险联合评估案例更少.然而,突发性和累积性水污染风险在源、途径和受体方面具有很强的耦合性,环境风险管理既要关注突发性排放产生的急性环境效应也要关注污染物长期排放的累积环境效应^[17-19].

基于此,本研究以2019年为基准年,利用环境统计数据、DEM数据以及水质监测断面等多源数据,以1 km×1 km网格为基本单元,对黄河流域开

展突发性和累积性水污染分区评估,分析其流域环境风险分布特征,以为黄河流域生态环境风险管控提供决策参考.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

黄河是我国第二大河,自西向东分别流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南和山东这9个省区,干流全长5 464 km,流域总面积约79.5×10⁴ km²,占全国总面积的8%^[20](图1).流域内水系复杂,主要的河流有黄河、洮河、湟水河、渭河、无定河、大黑河、汾河、洛河和沁河等.黄河流域资源丰富且人口众多,但是受区位条件、自然地理环境等因素制约以及产业布局和结构的影响,流域面临的生态环境风险不容忽视^[21].



图1 研究区范围示意
Fig. 1 Boundary of study area

1.2 研究方法

1.2.1 突发性水污染风险分区

本研究主要参考Cao等^[8]和周夏飞等^[5]构建的突发性水污染风险分区研究方法,开展突发性水污染风险分区评估.

1.2.2 累积性水污染风险分区

累积性水污染风险具有风险源种类繁多、空间分布广泛以及上下游传输过程和累积性影响复杂等特点.本研究主要借鉴文献^[5,6,8,11]提出的网格化水污染风险分区方法的基本思路,结合累积性水污染风险特点和数据的可获得性,构建累积性水污染风险分区评估方法,主要做了两个方面的改进:

① 风险场强计算综合考虑了工业企业、集中式生活污水处理厂、农业点源(规模以上畜禽养殖场)和农业面源等4类风险源的影响;② 风险受体敏感性引入了受体水环境质量的累积性影响.

1.3 模型构建

1.3.1 概念模型

根据风险系统理论,环境风险系统包括风险源、迁移途径和风险受体这3个基本要素,风险源危害的释放和对受体影响的方式、大小可以通过风险场即迁移范围进行表征,风险受体对来自风险源危害的承受能力可以通过受体易损性进行表征^[11,22].因此,空间中某一点(x,y)的风险与该处可能出现的

风险场强度和风险受体易损性共同决定. (x, y) 处的风险可简化表示为:

$$R_{x,y} = f(E_{x,y}, V_{x,y}) \quad (1)$$

式中, $R_{x,y}$ 为 (x, y) 处的风险; $E_{x,y}$ 为 (x, y) 处的风险场强; $V_{x,y}$ 为 (x, y) 风险受体易损性.

1.3.2 数学模型

(1) 网格划分

本研究基于黄河流域空间范围数据, 利用 ArcGIS 的 create fishnet 功能将黄河流域划分为 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 的网格, 共划分了 814768 个网格.

(2) 网格水污染风险场强计算

水污染源包括工业企业、集中式生活污水处理厂、农业点源(规模以上畜禽养殖场)和农业面源这 4 类, 水污染风险主要通过水系(或流域)扩散, 本方法采用线性递减函数构建水污染风险场强度计算模型, 为简化计算, 假设最大影响范围为 10 km [5,6,8,23]. 流域内某一个网格的水污染风险场强度可表示为:

$$EW_{x,y} = GW_{x,y} + JW_{x,y} + NWG_{x,y} + NWZ_{x,y} \quad (2)$$

$$GW_{x,y} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n Q_i, & 0 \leq l_i \leq 1, \\ \sum_{i=1}^n \left(Q_i - \frac{Q_i l_i}{10} \right), & 1 < l_i \leq 10, \\ 0, & 10 < l_i. \end{cases} \quad (3)$$

$$JW_{x,y} = \begin{cases} \sum_{j=1}^o Q_j, & 0 \leq l_j \leq 1, \\ \sum_{j=1}^o \left(Q_j - \frac{Q_j l_j}{10} \right), & 1 < l_j \leq 10, \\ 0, & 10 < l_j. \end{cases} \quad (4)$$

$$NWG_{x,y} = \begin{cases} \sum_{k=1}^p Q_k, & 0 \leq l_k \leq 1, \\ \sum_{k=1}^p \left(Q_k - \frac{Q_k l_k}{10} \right), & 1 < l_k \leq 10, \\ 0, & 10 < l_k. \end{cases} \quad (5)$$

$$NWZ_{x,y} = \begin{cases} \sum_{m=1}^q Q_m, & 0 \leq l_m \leq 1, \\ \sum_{m=1}^q \left(Q_m - \frac{Q_m l_m}{10} \right), & 1 < l_m \leq 10, \\ 0, & 10 < l_m. \end{cases} \quad (6)$$

式中, $EW_{x,y}$ 为网格 (x, y) 的累积性水污染风险场强; $GW_{x,y}$ 为网格 (x, y) 工业企业水污染风险场强; $JW_{x,y}$ 为网格 (x, y) 集中式生活污水处理厂水污染风险场强; $NWG_{x,y}$ 为网格 (x, y) 农业点源水污染风险场强; $NWZ_{x,y}$ 为网格 (x, y) 农业面源水污染风险场强. Q_i 、

Q_j 和 Q_k 分别为第 i 个工业企业、第 j 个集中式生活污水处理厂和第 k 个农业点源污染物排放当量, 污染当量是指根据各种污染物或污染排放活动对环境的有害程度、生物体的毒性以及处理的技术经济型而规定的有关污染物或污染排放活动的一种相对数量关系 [24], 可用各污染物质与临界量的比值之和进行表征, 各污染物临界量参考文献 [25, 26] 中各风险物质的污染当量值, Q_m 为网格 (x, y) 农业面源水污染排放当量, 根据网格内农用地面积占地市(县域)农用地面积的比例与地市(县域)农业源某种水污染物排放量的乘积所得; l 为风险源与网格中心点的距离.

由于水的流动性特征, 一般会从高处往低处流, 使得风险源的高程需高于周边网格的高程时, 才能对周边的网格造成影响, 因此, 为明确每个风险源真实的影响范围, 本文引入区域生长法 [5,6,8], 通过搜索高程得到每个风险源的影响范围, 具体计算过程如下.

(1) 假设每个风险源的最大影响范围为 10 km , 将每个风险源作为种子点进行计算, 以该种子点作为生长起点, 将种子点周围 8 邻域的网格与种子点进行比较, 选择高程小于等于该种子点的网格进行合并;

(2) 将(1)中挑选出的网格作为下个种子点继续向外生长计算, 搜索周围 8 邻域的网格, 选择满足条件的网格重复计算;

(3) 直到没有小于等于上个种子点的情况出现或达到了 10 km 之外的范围时, 停止计算, 确定最终的风险源影响范围.

图 2 展示了某个风险源影响范围确定示例, 其中方格表示流域某个网格, 方格的数字表示网格的高程.

(3) 网格水环境风险受体易损性计算

水环境风险受体易损性指数 $VW_{x,y}$ 主要参考文献 [8] 相关研究成果, 根据不同河流的级别及一级水体功能区涉及的不同区域的敏感性确定, 具体方法见表 1 所示.

(4) 网格水污染风险值计算

网格水污染风险值计算主要参考文献 [8], 计算公式如下:

$$RW_{x,y} = \sqrt{EW_{x,y} \times VW_{x,y}} \quad (7)$$

式中, $RW_{x,y}$ 为 (x, y) 处的风险值; $EW_{x,y}$ 为 (x, y) 处的累积性水污染风险场强; $VW_{x,y}$ 为 (x, y) 处的风险受体易损性指数.

(5) 网格水污染风险分区

本研究基于文献 [23] 的成果, 根据网格水污染风险值的大小, 将风险划分为 4 个等级: 高风险

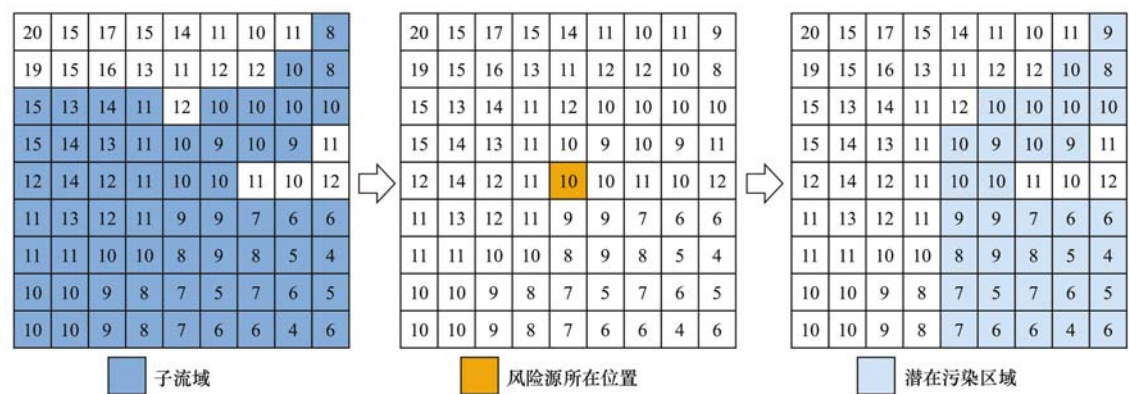


图2 风险源真实影响范围确定

Fig. 2 Determination of real impact scope of risk source

表1 $VW_{x,y}$ 确定方法

Table 1 Determination method of $VW_{x,y}$

目标	指标	描述	权重	分值
	河流、湖泊和水库级别	一级河流、湖泊和水库等通过的网格	1/3	100
		二级河流、湖泊和水库等通过的网格		80
		三级河流、湖泊和水库等通过的网格		60
		四级河流、湖泊和水库等通过的网格		40
		五级河流、湖泊和水库等通过的网格		20
水环境风险受体 易损性指数	水体功能区	I类水河流、湖泊和水库等通过的网格	1/3	100
		II类水河流、湖泊和水库等通过的网格		80
		III类水河流、湖泊和水库等通过的网格		60
		IV类水河流、湖泊和水库等通过的网格		40
		V类水及劣V类水河流、湖泊和水库等通过的网格		20
	河流、湖泊和水库缓冲区	河流、湖泊和水库等 1 km 缓冲区通过的网格	1/3	100
		河流、湖泊和水库等 3 km 缓冲区通过的网格		75
		河流、湖泊和水库等 5 km 缓冲区通过的网格		50
		河流、湖泊和水库等 10 km 缓冲区通过的网格		25

($RW > 80$)、较高风险($60 < RW \leq 80$)、中风险($30 < RW \leq 60$)和低风险($RW \leq 30$)。

1.4 数据来源

黄河流域空间范围和土地利用类型等基础地理数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<https://www.resdc.cn/>)；中国 1:100 万河流分布数据和湖泊水库分布数据来源于国家基础地理信息中心 (<http://www.webmap.cn/main.do?method=index>)；2019 年国家水质监测断面数据来源于中国环境监测总站 (<http://www.cnemc.cn/>)；2019 年环境风险企业数据来源于生态环境部企业备案数据；2019 年环境统计数据来源于各省生态环境部门。

2 结果与分析

2.1 突发性水污染风险分区结果

通过突发性水污染风险分区评估方法计算,得到黄河流域突发性水污染风险分区结果(图 3)。高风险区面积为 1 349 km²,占比 0.2%；较高风险区面积为 3 864 km²,占比 0.5%；中风险区面积为

8 429 km²,占比 1.0%。从全流域各地市高风险区分布来看,高风险区主要集中分布在兰州市西部、中卫市北部、乌海市中部、巴彦淖尔市南部、包头市南部、鄂尔多斯市东北部、宝鸡市中部、焦作市西南部、洛阳市西南部、济南市西部和东营市西部这 11 个区域；从沿黄河干流两岸分布来看,高风险区主要分布在黄河干流兰州段、白银段、中卫段、乌海段、巴彦淖尔段、鄂尔多斯段、郑州段、德州段和东营段这 9 个河段。

2.2 累积性水污染风险分区结果

通过累积性水污染风险分区评估方法计算,得到黄河流域累积性水污染风险分区结果(图 4)。高风险区面积为 5 837 km²,占比 0.7%；较高风险区面积为 25 382 km²,占比 3.1%；中风险区面积为 37 660 km²,占比 4.7%。从全流域各地市高风险区分布来看,高风险区主要集中分布在兰州市东部、白银市中南部、银川市中部、乌海市中部、巴彦淖尔市中南部、包头市西南部、呼和浩特市西南部、晋城市中部、运城市南部、宝鸡市中部、洛阳市东部、郑州市西北部、泰安市中部、济



图3 黄河流域突发性水污染风险分区
Fig. 3 Zoning map of emergency water pollution risk in the Yellow River basin

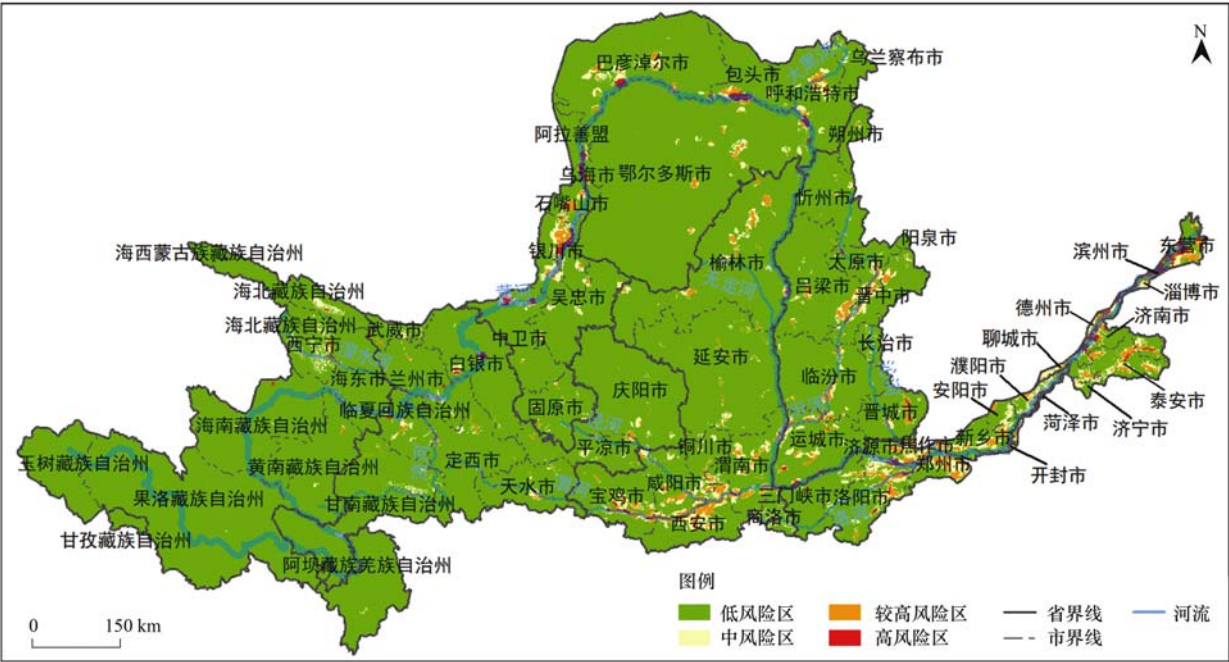


图4 黄河流域累积性水污染风险分区
Fig. 4 Zoning map of cumulative water pollution risk in the Yellow River basin

南市西南部、滨州市南部和东营市中西部这16个区域；从沿黄河干流两岸分布来看，高风险区主要分布在黄河干流兰州段、白银段、中卫段、银川段、乌海段、巴彦淖尔段、包头段、呼和浩特段、运城段、三门峡段、洛阳段、郑州段、德州段、滨州段和东营段这15个河段；从沿黄河干流一级支流两岸分布来看，高风险区主要分布在渭河宝鸡段、西安段，汾河太原段、晋中段和洛河洛阳段这5个河段。

3 讨论

3.1 结果可靠性检验

已发生的突发环境事件是一个区域内突发性环境风险后果的集中体现^[5,6,8,27]。根据2006~2019年黄河流域突发水污染事件统计，约78.2%的事件发生在中风险以上网格区域，表明突发性水污染风险分区结果具有一定的可靠性。

污染物的排放与周边居民息息相关，公众举报

能在一定程度上反映流域水环境风险^[28~30]。根据 2009 ~ 2019 年涉水环境信访举报数据统计,约 71.4% 环境举报发生在中风险以上网格区域,表明累积性水污染风险分区结果具有一定的可靠性。

然而,本研究还存在两个方面的局限:① 为反映流域水污染风险分布特征,主要基于风险源和受体两个因素(包括途径因素)进行评估分析,未考虑控制机制对风险的抑制和消减;② 限于数据可获得性原因,未考虑危化品运输可能造成的突发性水污染风险和特征污染物排放造成的累积性水污染风险。后续研究中将进一步优化评估方法、完善基础

数据,以获得更为全面和精确的分区评估结果。

3.2 突发性、累积性水污染高风险“热点”区域原因分析

3.2.1 突发性水污染高风险“热点”区域原因分析

突发性水污染高风险“热点”区域主要有兰州市西部、中卫市北部和乌海市中部等 11 个区域(图 3),从突发性水污染风险场强及风险受体易损性空间分布来看(图 5),中卫市、乌海市、巴彦淖尔市、包头市、鄂尔多斯市、焦作市和东营市等部分区域风险高,主要是由于其风险场强较大且受体较为敏感所致;兰州市、宝鸡市、洛阳市和济南市等部分

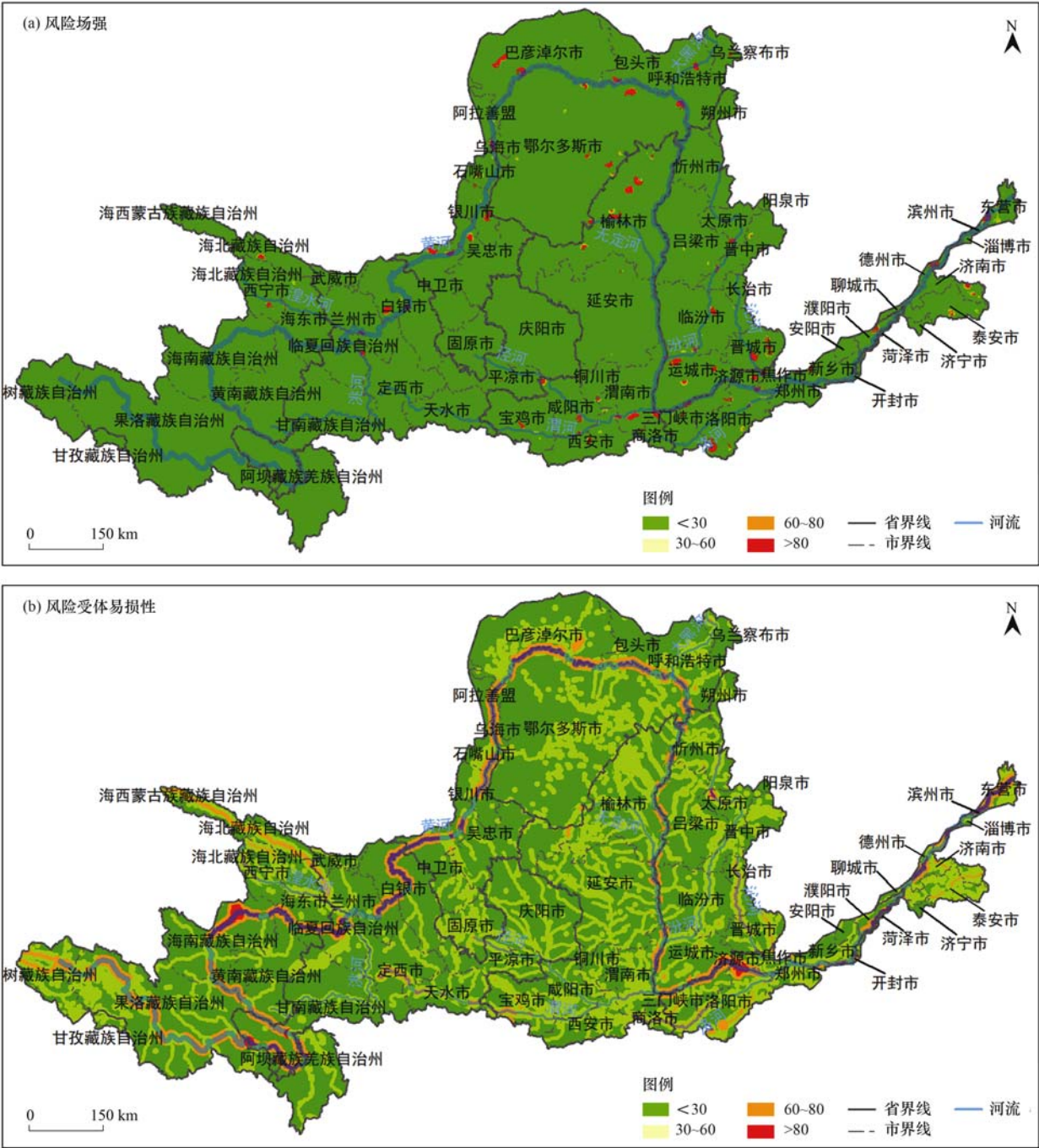


图5 黄河流域突发性水污染风险场强及风险受体易损性分布

Fig. 5 Risk strength and receptor vulnerability distribution of water pollution in the Yellow River basin

区域风险高,主要是由于其风险场强较大所致.

为探索突发性水污染高风险区域的深层原因,进一步统计流域高风险地市平均风险与其所有风险企业工业总产值之和比值,其中,焦作市、乌海市和中卫市比值较高,表明这些区域在产生相同的工业总产值的情况下,具有较高的突发性水污染风险,这可能是由于焦作市、乌海市和中卫市等地产业结构及产业布局存在较大的问题,区域环境风险物质储量较大且距离受体较近;2013 年,相关规划中将焦作市和乌海市划分成衰退型的能源型资源型城

市^[31],根据风险企业行业统计,焦作市和乌海市主要以化学原料和化学制品制造业和石油、煤炭及其他燃料加工业等高风险行业为主,大量企业沿河而建,其中,黄河干流及一级支流乌海段、焦作段周边 5 km 风险企业均超过 100 家.

3.2.2 累积性水污染高风险“热点”区域原因分析
累积性水污染高风险“热点”区域主要有兰州市东部、白银市中南部和银川市中部等 16 个区域(图 4),从各地市水污染物排放当量及受体敏感性分布来看[图 6(d)和图 5(b)],银川市、包头市、

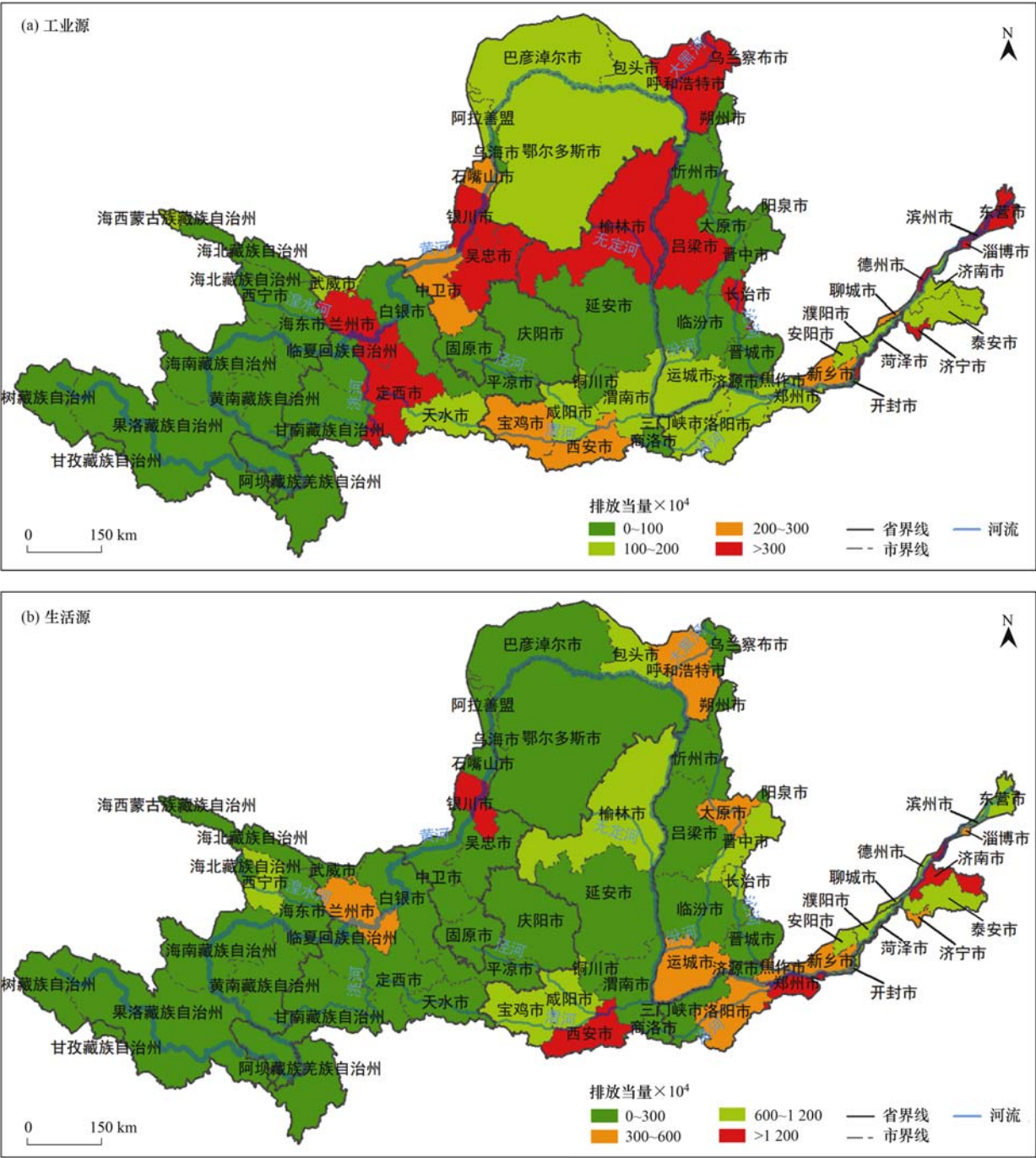
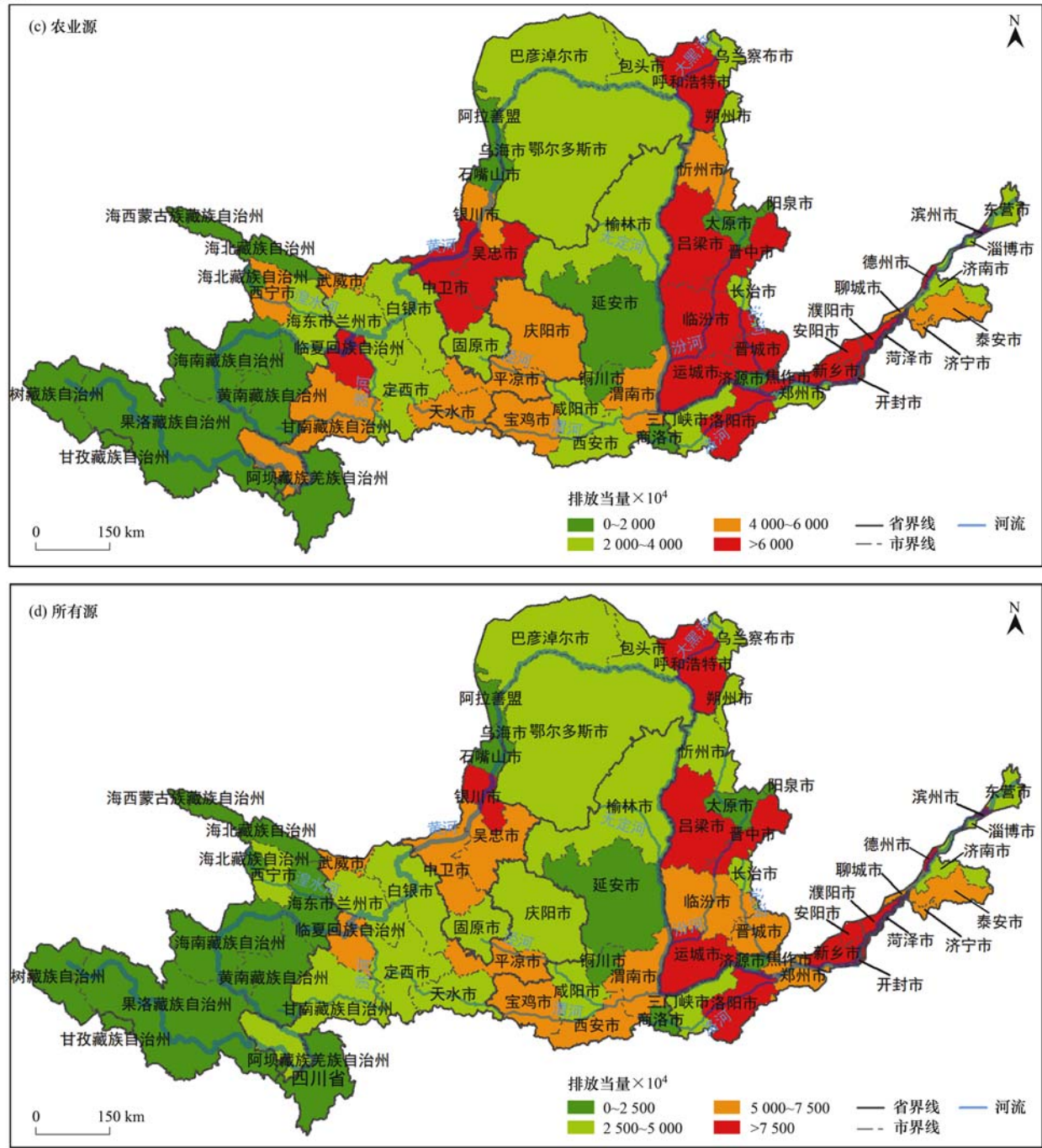


图 6 黄河流域各地市水污染物排放当量空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of water pollutant emission equivalent in cities in the Yellow River basin

续图6



呼和浩特市、晋城市、运城市、宝鸡市、洛阳市、郑州市、泰安市和滨州市等地部分区域风险高,主要是由于其水污染排放量大且受体较为敏感所致.兰州市、白银市、乌海市、巴彦淖尔市、济南市和东营市等地部分区域风险高,主要是由于受体较为敏感所致.

从各类风险源常规污染物统计来看,农业源为流域排放最大的风险源,占比 86.6%,其次为生活源,占比 9.4%,工业源最少,占比 3.9%;从各类风险源常规污染物空间分布来看(图 6),工业源排放较大的区域主要分布在兰州市、定西市、吴忠市、银川市、呼和浩特市、榆林市、吕梁市、长治市、济

宁市、德州市和滨州市等地[图 6(a)];生活源排放较大的区域主要分布在银川市、西安市、郑州市和济南市等地[图 6(b)];农业源排放较大的区域主要分布在临夏回族自治州、中卫市、吴忠市、呼和浩特市、吕梁市、晋中市、临汾市、晋城市、运城市、洛阳市、新乡市、濮阳市和德州市等地[图 6(c)].

为探索农业源对各地市高风险热点区域影响的深层原因,本研究进一步统计分析高风险热点区域所在各地市网格平均风险与其农业总产值比值,其中,乌海市、银川市、东营市、滨州市、郑州市和晋城市比值较大,表明这些区域在产生相同的农业总

产值的情况下,具有较高的累积性水污染风险,这可能是由于这些区域畜禽养殖业、种植业结构和方式相对粗放、废水污染物排放强度较大以及迁移扩散条件不利等原因导致。这些重点区域可从以下3个方面加强管控:①优化生产方式,减少粮食作物和蔬菜瓜果的化肥施用量^[32~34];②提升农业管理水平,提高化肥利用率,增加农田退水的处理能力,增设人工布设的机制,在污染汇流阻断上做好处理^[32];③加强畜禽养殖的监管,加快分散经营向规模化养殖模式的转变,推进畜禽养殖制度化和规范化^[35]。

3.3 突发性和累积性水污染高风险热点区域对比分析

从黄河流域各地市突发性水污染高风险区与累积性水污染高风险区对比分析来看,兰州市、乌海市、巴彦淖尔市、包头市、宝鸡市、济南市和东营市等地部分区域突发性、累积性水污染风险均较高,这与杨泽康等^[36]和刘鸿志等^[37]的研究结果基本一致,其主要原因是这些区域涉突发性风险物质企业集聚、水污染物排放量大且距离水体环境敏感目标较近所致。应着重加强这些区域的环境风险综合管控。

3.4 政策建议

针对分区评估获得的流域水污染风险总体分布分散、沿河区域相对集中以及突发性和累积性风险耦合性强等特征,为支撑流域水污染风险防控与管理,从以下3个方面提出政策建议:①针对突发性高风险“热点”区域,调整优化产业结构布局,严格环境风险源头防控,加强环境应急协调联动,做好监控预警和应急准备,提高应急响应的及时性和有效性,防范化解重大环境风险^[38]。②针对累积性高风险“热点”区域,健全累积性水环境风险管理体系,完善从污染产排污到环境质量的“正向模拟预警”和“反向溯源管控”技术方法和管理制度机制,加强对常规污染物和特征污染物的协同防治,对高排放和高敏感性受体网格实施重点管控。③建立突发性和累积性“双高”风险区域网格化预警和综合管控机制,对“热点”网格实施差异化提示性预警、动态跟踪以及综合应对。

4 结论

(1)黄河流域突发性高风险区面积为1 349 km²,占比0.2%,较高风险区面积为3 864 km²,占比0.5%;累积性高风险区面积为5 834 km²,占比0.7%;较高风险区面积为25 382 km²,占比3.1%。

(2)从城市区域来看,兰州市、乌海市、巴彦淖

尔市、包头市、宝鸡市、济南市和东营市等部分地区突发性、累积性环境风险均相对较高,是环境风险防控的重中之重,应着重加强各行政区域的全过程环境风险综合管控。

(3)从黄河干流来看,黄河干流兰州段、白银段、中卫段、乌海段、巴彦淖尔段、郑州段、德州段和东营段等突发性和累积性环境风险均较高,应重点加强这些河段的水环境质量监测、预警及溯源管理,建立健全联防联控和应急体系。

参考文献:

- [1] 胡志强,苗长虹,熊雪蕾,等. 产业集聚对黄河流域工业韧性的影响研究[J]. 地理科学, 2021, 41(5): 824-831.
Hu Z Q, Miao C H, Xiong X L, et al. Influence of industrial agglomeration on the industrial resilience of the Yellow River basin[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(5): 824-831.
- [2] 白璐,孙园园,赵学涛,等. 黄河流域水污染排放特征及污染集聚格局分析[J]. 环境科学研究, 2020, 33(12): 2683-2694.
Bai L, Sun Y Y, Zhao X T, et al. Discharge characteristics and pollution aggregation pattern of water pollution in Yellow River basin[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(12): 2683-2694.
- [3] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J]. 求是, 2019, (20): 4-11.
- [4] 王金南. 黄河流域生态保护和高质量发展战略思考[J]. 环境保护, 2020, 48(S1): 18-21.
Wang J N. A primary framework on protection of ecological environment and realization of high-quality development for the Yellow River basin[J]. Environmental Protection, 2020, 48(S1): 18-21.
- [5] 周夏飞,於方,刘琦,等. 东江流域突发水污染风险分区研究[J]. 生态学报, 2020, 40(14): 4813-4822.
Zhou X F, Yu F, Liu Q, et al. Risk zoning of sudden water pollution in Dongjiang River basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(14): 4813-4822.
- [6] 周夏飞,曹国志,於方,等. 长江经济带突发水污染风险分区研究[J]. 环境科学学报, 2020, 40(1): 334-342.
Zhou X F, Cao G Z, Yu F, et al. Risk zoning of acute water pollution in the Yangtze River Economic Belt[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, 40(1): 334-342.
- [7] 王东. 黄河流域水污染防治问题与对策[J]. 民主与科学, 2018, (6): 24-25.
- [8] Cao G Z, Gao Y, Wang J N, et al. Spatially resolved risk assessment of environmental incidents in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 219: 856-864.
- [9] Albanese S, De Vivo B, Lima A, et al. Prioritising environmental risk at the regional scale by a GIS aided technique: the Zambian Copperbelt Province case study[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2014, 144: 433-442.
- [10] Zabeo A, Pizzol L, Agostini P, et al. Regional risk assessment for contaminated sites part 1: vulnerability assessment by multicriteria decision analysis[J]. Environment International, 2011, 37(8): 1295-1306.
- [11] 邢永健,王旭,可欣,等. 基于风险场的区域突发性环境风险评估方法研究[J]. 中国环境科学, 2016, 36(4): 1268-1274.
Xing Y J, Wang X, Ke X, et al. Method of regional acute

- environmental risk assessment based on risk field [J]. *China Environmental Science*, 2016, **36**(4): 1268-1274.
- [12] 薛鹏丽, 曾维华. 上海市突发环境污染事故风险区划[J]. *中国环境科学*, 2011, **31**(10): 1743-1750.
- Xue P L, Zeng W H. Shanghai environmental accidents risk regionalization [J]. *China Environmental Science*, 2011, **31**(10): 1743-1750.
- [13] 黄蕾, 黄雨佳, 刘朋辉, 等. 区域综合环境风险评价方法体系研究[J]. *中国环境科学*, 2020, **40**(12): 5468-5474.
- Huang L, Huang Y J, Liu P H, *et al.* Research on regional comprehensive environmental risk assessment method system [J]. *China Environmental Science*, 2020, **40**(12): 5468-5474.
- [14] 张晓娇, 柏杨巍, 张远, 等. 辽河流域地表水中典型抗生素污染特征及生态风险评估[J]. *环境科学*, 2017, **38**(11): 4553-4561.
- Zhang X J, Bai Y W, Zhang Y, *et al.* Occurrence, distribution, and ecological risk of antibiotics in surface water in the Liaohe River basin, China [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(11): 4553-4561.
- [15] 齐鹏, 余树全, 张超, 等. 城市地表水表层沉积物重金属污染特征与潜在生态风险评估: 以永康市为例[J]. *环境科学*, 2015, **36**(12): 4486-4493.
- Qi P, Yu S Q, Zhang C, *et al.* Pollution characteristics and potential ecological risk of heavy metals in urban surface water sediments from Yongkang [J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(12): 4486-4493.
- [16] 刘仁志, 董蕾, 刘静, 等. 滨海地区突发性水污染事故风险评估[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2015, **23**(S1): 41-49.
- Liu R Z, Dong L, Liu J, *et al.* An environmental risk assessment method of abrupt water pollution accidents in coastal areas [J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2015, **23**(S1): 41-49.
- [17] EPA. Guidance on cumulative risk assessment of pesticide chemicals that have a common mechanism of toxicity [R]. Washington DC: Office of Pesticide Programs, 2002.
- [18] 袁鹏, 李文秀, 彭剑峰, 等. 国内外累积性环境风险评估研究进展[J]. *环境工程技术学报*, 2015, **5**(5): 393-400.
- Yuan P, Li W X, Peng J F, *et al.* Research progress of cumulative environmental risk assessment at home and abroad [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2015, **5**(5): 393-400.
- [19] 胡二邦. 环境风险评价实用技术、方法和案例[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [20] 黄锦辉, 史晓新, 张蕾, 等. 黄河生态系统特征及生态保护目标识别[J]. *中国水土保持*, 2006, (12): 14-17.
- Huang J H, Shi X X, Zhang Q, *et al.* Characteristics of ecological system and target identification of ecological protection of the Yellow River [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2006, (12): 14-17.
- [21] 金凤君. 黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略[J]. *改革*, 2019, (11): 33-39.
- Jin F J. Coordinated promotion strategy of ecological protection and high-quality development in the Yellow River basin [J]. *Reform*, 2019, (11): 33-39.
- [22] 邢永健, 王旭, 杜航. 集对分析在区域大气环境风险评价中的应用研究[J]. *中国环境科学*, 2016, **36**(2): 634-640.
- Xing Y J, Wang X, Du H. Set pair analysis for regional atmospheric environmental risk assessment [J]. *China Environmental Science*, 2016, **36**(2): 634-640.
- [23] 环境保护部. 《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法》(环办应急〔2018〕9号)[EB/OL]. 北京: 环境保护部, <http://www.szguanxia.cn/article/356>, 2020-03-22.
- [24] 陈新学, 王万宾, 陈海涛, 等. 污染当量数在区域现状污染源评价中的应用[J]. *环境监测管理与技术*, 2005, **17**(3): 41-43.
- Chen X X, Wang W B, Chen H T, *et al.* Application of pollution equivalent in regional pollution source evaluation [J]. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 2005, **17**(3): 41-43.
- [25] 曹宝, 杨占红, 罗宏, 等. 基于 PEI 的我国环境与经济绩效评价[J]. *环境科学研究*, 2018, **31**(4): 609-615.
- Cao B, Yang Z H, Luo H, *et al.* Environment and economy performance evaluation of China based on PEI [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018, **31**(4): 609-615.
- [26] 陆丛蕊, 刘鸿志, 袁涛, 等. 涂装工业大气污染物排放毒性当量核算模型的研究[J]. *安全与环境工程*, 2018, **25**(5): 110-114.
- Lu C R, Liu H Z, Yuan T, *et al.* Toxicity equivalent accounting model of atmospheric pollutant discharged in coating industry [J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2018, **25**(5): 110-114.
- [27] Cao G Z, Yang L, Liu L X, *et al.* Environmental incidents in China: lessons from 2006 to 2015 [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **633**: 1165-1172.
- [28] Yang T, Zhang X H. Public participation in environmental enforcement... with Chinese characteristics?: A comparative assessment of China's environmental complaint mechanism [R]. South Royalton: Vermont Law School, 2012. 325-366.
- [29] 李兵华, 朱德米. 环境保护公共参与的影响因素研究——基于环保举报热线相关数据的分析[J]. *上海大学学报(社会科学版)*, 2020, **37**(1): 118-128.
- Li B H, Zhu D M. Influencing factors of public participation in environmental protection: a case study of environmental tip-off hotlines [J]. *Journal of Shanghai University (Social Sciences)*, 2020, **37**(1): 118-128.
- [30] 王辰成. 环境投诉与地方政府回应——基于新浪微博大数据的实证研究[D]. 南京: 南京大学, 2018.
- Wang C C. Environmental complaints and local government responses——an empirical study based on the big data from Sina Weibo [D]. Nanjing: Nanjing University, 2018.
- [31] 国务院. 《全国资源型城市可持续发展规划(2013-2020年)》(国发〔2013〕45号)[R]. 北京: 国务院, 2013.
- [32] 陶园, 徐静, 任贺靖, 等. 黄河流域农业面源污染时空变化及因素分析[J]. *农业工程学报*, 2021, **37**(4): 257-264.
- Tao Y, Xu J, Ren H J, *et al.* Spatiotemporal evolution of agricultural non-point source pollution and its influencing factors in the Yellow River basin [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, **37**(4): 257-264.
- [33] 黄绍文, 唐继伟, 李春花, 等. 我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, **23**(6): 1480-1493.
- Huang S W, Tang J W, Li C H, *et al.* Reducing potential of chemical fertilizers and scientific fertilization countermeasure in vegetable production in China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, **23**(6): 1480-1493.
- [34] 刘钦普. 中国化肥施用强度及环境安全阈值时空变化[J]. *农业工程学报*, 2017, **33**(6): 214-221.
- Liu Q P. Spatio-temporal changes of fertilization intensity and environmental safety threshold in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, **33**(6): 214-221.
- [35] 隋斌, 孟海波, 沈玉君, 等. 丹麦畜禽粪肥利用对中国种养

- 结合循环农业发展的启示[J]. 农业工程学报, 2018, **34**(12): 1-7.
- Sui B, Meng H B, Shen Y J, *et al.* Utilization of livestock manure in Denmark and its inspiration for planting-breeding combined circular agricultural development in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, **34**(12): 1-7.
- [36] 杨泽康, 田佳, 李万源, 等. 黄河流域生态环境质量时空格局与演变趋势[J]. 生态学报, 2021, **41**(19): 7627-7636.
- Yang Z K, Tian J, Li W Y, *et al.* Spatio-temporal pattern and evolution trend of ecological environment quality in the Yellow River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, **41**(19): 7627-7636.
- [37] 刘鸿志, 王光镇, 马军, 等. 黄河流域水质和工业污染源研究[J]. 中国环境监测, 2021, **37**(3): 18-27.
- Liu H Z, Wang G Z, Ma J, *et al.* Water quality status and industrial pollution sources in the Yellow River basin [J]. Environmental Monitoring in China, 2021, **37**(3): 18-27.
- [38] 曹国志, 於方, 王金南, 等. 长江经济带突发环境事件风险防控现状、问题与对策[J]. 中国环境管理, 2018, **10**(1): 81-85.
- Cao G Z, Yu F, Wang J N, *et al.* Situation, Problems and countermeasures of risk prevention and control of environmental emergencies in the Yangtze River Economic Belt [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2018, **10**(1): 81-85.

环 境 科 学

CONTENTS

Chemical Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} in Urban Area of Beijing	AN Xin-xin, CAO Yang, WANG Qin, <i>et al.</i> (2251)
Modeling of PM _{2.5} Concentrations in the Beijing-Tianjin-Hebei Region Using a Space-time Linear Mixed Effects Model	FAN Li-hang, YANG Xiao-hui, SONG Chun-jie, <i>et al.</i> (2262)
Spatio-temporal Evolution Patterns of PM _{2.5} and Relationship with Urban Expansion in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration from 2000 to 2018	ZHAO An-zhou, XIANG Kai-zheng, LIU Xian-feng, <i>et al.</i> (2274)
Characteristics and Source Analysis of PM _{2.5} in Qingdao in Winter Under the Action of Sea-Land-Atmosphere Convergence	TUO Xiong, YANG Ling-xiao, ZHANG Wan, <i>et al.</i> (2284)
Impacts of Heterogeneous Uptake Pathway on Sulfate Formation: A Case Study in Shanghai Based on WRF-Chem	ZHANG Ru-han, ZHANG Hao-ran, FENG Wei-hang, <i>et al.</i> (2294)
Source Apportionment and Seasonal Changes in PM _{2.5} Chemical Components from Different Functional Areas of a Provincial Capital City	SUN You-min, FAN Jing, XU Biao, <i>et al.</i> (2304)
Chemical Compositions, Light Extinction Effect, and Oxidative Potential of PM _{2.5} Under Different Pollution Levels During Winter in Taiyuan	REN Jiao, ZHAO Rong-rong, WANG Ming, <i>et al.</i> (2317)
Source Apportionment and Health Risk Assessment of Metal Elements in Ambient PM _{2.5} in the Winter of Zhengzhou	YAO Sen, WANG Qian-heng, XUE Yan, <i>et al.</i> (2329)
Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Sources of the Polluted Metallic Elements in PM _{2.5} During Winter in Zibo City	BAI Wen-yu, XU Bo, GUO Li-yao, <i>et al.</i> (2336)
Seasonal Distribution Characteristics, Source Analysis, and Health Risk Evaluation of PAHs in PM _{2.5} in Chengde	HE Bo-wen, NIE Sai-sai, LI Yi-lin, <i>et al.</i> (2343)
Pollution Level and Regional Migration of PCDD/Fs in Ambient Air from Pearl River Delta, China	FU Jian-ping, XIE Dan-ping, HUANG Jin-qiong, <i>et al.</i> (2355)
Concentrations and Sources of Black Carbon Aerosols in Rural Areas of Southern North China Plain	ZHANG Ling, KONG Shao-fei, ZHENG Huang, <i>et al.</i> (2363)
Research on Causes of Severely Polluted Weather in Tianjin Based on Process Analytical Technology	HAO Jian, CAI Zi-ying, HAN Su-qin, <i>et al.</i> (2373)
Classification Control of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Pollution Sources Based on Emission Amounts and Atmospheric Reactivity	CHEN Peng, ZHANG Yue, XING Min, <i>et al.</i> (2383)
Complex Networks Reveal the Characteristics of Ozone in China	YING Na, CHEN Jian-hua, LI Dong, <i>et al.</i> (2395)
Ozone Simulation of Lanzhou City Based on Multi-scenario Emission Forecast of Ozone Precursors in the Summer of 2030	CHEN Tian-lei, WU Min, PAN Cheng-ke, <i>et al.</i> (2403)
Improvement of Environmental Model Prediction Based on Inversion and Aerosol Assimilation	CAI Zi-ying, TANG Miao, XIAO Zhi-mei, <i>et al.</i> (2415)
Method of Identifying Air Pollution from Iron and Steel Industry Based on Ambient Air Quality Monitoring Data Analysis	SHI Yao-peng, HU Jing-nan, CHU Yang-xi, <i>et al.</i> (2427)
Assessment of "Differentiated Response Requirement Based on Performance Grading" Policy During Heavy Air Pollution Alert	ZENG Jing-hai, WANG Can (2436)
Risk Zoning of Water Pollution in the Yellow River Basin	ZHOU Xia-fei, CAO Guo-zhi, YU Fang, <i>et al.</i> (2448)
Emission Characteristics of Industrial Water Pollutants in Gansu Section of the Yellow River Basin	LI Xue-ying, YANG Xi, QIAO Qi, <i>et al.</i> (2459)
Spatial-temporal Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Yellow River	WANG Tao-yi, PAN Bao-zhu, HAN Xu, <i>et al.</i> (2467)
APCS-MLR Combined with PMF Model to Analyze the Source of Metals in Sediment of Xinglin Bay Suburban Watershed, Xiamen	SHEN Chen-yu, YAN Yu, YU Rui-lian, <i>et al.</i> (2476)
Spatial Differentiation Characteristics and Response Relationship of DOM, Nutrients, and Heavy Metals in River Sediments	XIAO Yan-chun, YU Hui-bin, SONG Yong-hui (2489)
Distribution Characteristics, Evaluation, and Source Analysis of Heavy Metals in Soils of Fenhe Riparian Zone in Taiyuan City	HU Jie, ZHAO Xin-yu, WANG Ting-ting, <i>et al.</i> (2500)
Binding Affinity Between Heavy Metal Hg and Dissolved Organic Matter in Hongze Lake	HU Bin, WANG Pei-fang, ZHANG Nan-nan, <i>et al.</i> (2510)
Ecosystem Evolutionary Trajectory of Lake Xiliang over the Past Century Driven by Eutrophication	ZHENG Jia-nan, XU Min, ZHENG Wen-xiu, <i>et al.</i> (2518)
Sediment Release and Pollution Source Analysis of Typical Reservoirs in the Upper Reaches of the Yellow River Based on DGT Technology	MA Yu-shen, ZHU Xiang, PANG Qing-qing, <i>et al.</i> (2527)
Differential Characteristics and Source Identification of Water Quality of the Rivers in Northern Henan Before and After Rainstorm	ZHANG Yan, ZOU Lei, LIANG Zhi-jie, <i>et al.</i> (2537)
Adsorption and Interception Effects of <i>Eichhornia crassipes</i> on Microplastics in Water of the Poyang Lake Basin	LI Wen-gang, WU Xi-en, JIAN Min-fei, <i>et al.</i> (2548)
Spatiotemporal Distribution and Ecological Risk Assessment of Plastic Additives in Taihu Lake	LIU Shu-jiao, DING Jian-nan, SHI Jun-zhe, <i>et al.</i> (2557)
Distribution Characteristics, Sources, and Storage of Microplastics in Surface Sediments of Luoma Lake	YAO Ming-xuan, BAI Xue, XU Zhen-jia, <i>et al.</i> (2566)
Pollution Characteristics of Phosphorus in Different Media in Taihu Lake and Its Treatment Enlightenment	CAI Mei, LU Zhi-hua, WANG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (2575)
Analysis on Diversity and Structure of Microbial Community in River Sediment of Siping Section of Liaohe River	LI Peng-yang, AN Qi-rui, WANG Xin-hao, <i>et al.</i> (2586)
Non-point Source Pollution (NPSP) Induces Structural and Functional Variation in Bacterial Communities in Sediments of Jialing River	XUE Yu-qin, XU Fei, LIU Kun-he, <i>et al.</i> (2595)
Effects of Microplastics on Bacterial Community Composition and Diversity in Sediments	LI Wen-lu, WANG Zhi-chao, YANG Wen-huan, <i>et al.</i> (2606)
Vertical Distribution Characteristics and Community Construction of Aerobic Denitrification Bacteria from the Sediments of Baiyangdian Lake During the Winter Freezing Period	ZHANG Tian-na, CHEN Zhao-ying, ZHANG Zi-wei, <i>et al.</i> (2614)
Effect of Induced Mixing on Bacterial Community Structure and Metabolic Activity in Reservoir	GAO Yue, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i> (2624)
Distribution Characteristics of Microplastics in <i>Bellamyia aeruginosa</i> in Typical Area of Poyang Lake	JIANG Wei-qun, HU Qi-wu, JIAN Min-fei, <i>et al.</i> (2633)
Electrocatalytic Oxidation of Bisphenol A by Porous Ti/SnO ₂ -Sb-Ni Electrode Loaded with Multi-wall Carbon Nanotubes	FU Yuan-hang, LIU An-di, HUANG Wei-bin, <i>et al.</i> (2640)
Efficiency and Mechanism of Degradation of Methylene Blue with H ₂ O ₂ Catalyzed by Magnetic Mn _{0.4} Zn _{0.4} Fe ₂ O ₄ @SiO ₂	XU Dong-ying, YU Jing, HAO Qi, <i>et al.</i> (2650)
Effect of Two Types of Nanoparticles on the Adsorption of Ciprofloxacin on Zeolite	JIANG Lan-cui, MENG Zhao-fu, LIU Xian, <i>et al.</i> (2662)
Adsorption Mechanisms and Effect Factors of As(V) by AMD Sludge Composite Material	ZHANG Ya-hui, ZHANG Rui-xue, WU Pan, <i>et al.</i> (2673)
Shifts in Microbial Community and Variation in Functional Genes for Nitrification and Denitrification in Activated Sludge Affected by Triclosan and Its Transformed Intermediates	LU Ying-yuan, DONG Xiao-qi, PENG Xing-xing, <i>et al.</i> (2685)
Construction of Sustainability Evaluation Index System for Contaminated Site Risk Management and Analysis on Key Influential Factors	LI Xiao-nuo, YI Shi-yi, CHEN Wei-ping (2699)
Construction and Empirical Analysis of a Comprehensive Evaluation Method of Coastal Wetland Soil Quality Based on Ecological Functions	ZHANG Xue, KONG Fan-long, JIANG Zhi-xiang (2709)
Source Analysis and Pollution Assessment of Heavy Metals in Farmland Soil Around Tongshan Mining Area	CHEN Hang, WANG Ying, WANG Shu (2719)
Effects of Typical Iron and Manganese Minerals on Arsenic Speciation and Enzyme Activities in Paddy Soil	ZHOU Yi-min, HUANG Ya-yuan, LIU Kai, <i>et al.</i> (2732)
Phytoremediation Efficiency of Two Cultivars of <i>Brassica napus</i> L. Under Water-soluble Chitosan Treatment in Typical Pb-contaminated Farmland Soils	MENG Xiao-fei, ZHENG Guo-di, CHEN Tong-bin, <i>et al.</i> (2741)
Risk Prediction of Cadmium and Lead in Wheat Grains Based on Bayes Theorem	WANG Tian-qi, LI Yan-ling, YANG Yang, <i>et al.</i> (2751)
Interannual Variation Characteristics of Nitrogen Loss Under Rapeseed/Maize Rotation in Purple Soil Sloping Field	XU Man, GAO Ming, YU Luo, <i>et al.</i> (2758)
Physicochemical Properties of Biochars Prepared from Different Feedstocks and Evaluation of Its Potential as A Slow-release Carriers for Biochar-based Fertilizers	XING Li-bin, CHENG Jie, GENG Zeng-chao, <i>et al.</i> (2770)
Effects of Combined Application of Wood Vinegar-Acidified Biochar and Nitrogen on Active Nitrogen and Ammonia Volatilization in Saline Soil	SHEN Shu-wei, ZHANG Dan-dan, WANG Min-ge, <i>et al.</i> (2779)
Effects of Biodegradable Plastic Film Mulching on Greenhouse Gas Emissions Under Wheat-Maize Rotation System in the Guanzhong Plain	GUO Yi-ting, LUO Xiao-qi, WANG Rui, <i>et al.</i> (2788)
Forest Soil Microbial Community Structure Characteristics and Its Influencing Factors at Different Elevations on the Southern Slope of Daiyun Mountain	HE Zhong-sheng, WANG Zi-wei, ZHU Jing, <i>et al.</i> (2802)
Effects of Simulated Warming and Increased Precipitation on Soil Extracellular Enzyme Activity and Enzymatic Stoichiometry of Abandoned Grassland	WANG Xing, ZHONG Ze-kun, JIAN Jun-nan, <i>et al.</i> (2812)
Contribution of Urbanization to Local Warming in Major Cities of China	LI Yu, ZHOU De-cheng, YAN Zhang-mei, <i>et al.</i> (2822)