

目 次

基于时间序列分解的京津冀区域PM _{2.5} 和O ₃ 空间分布特征	姚青, 丁净, 杨旭, 蔡子颖, 韩素芹	(2487)
基于随机森林的北京城区臭氧敏感性分析	周红, 王鸣, 柴文轩, 赵昕	(2497)
基于随机森林模型的四川盆地臭氧污染预测	杨晓彤, 康平, 王安怡, 臧增亮, 刘浪	(2507)
海口市臭氧浓度统计预报模型的构建与效果评估	符传博, 林建兴, 唐家翔, 丹利	(2516)
京津冀地区2015~2020年臭氧浓度时空分布特征及其健康效益评估	高冉, 李琴, 车飞, 张艳平, 祖永刚, 刘芬	(2525)
2022年北京市城区PM _{2.5} 水溶性离子含量及其变化特征	陈圆圆, 崔迪, 赵泽熙, 常森, 景宽, 沈秀娥, 刘保献	(2537)
郑州市冬春季PM _{2.5} 中金属元素污染特征、来源及健康风险评估	陶杰, 闫慧姣, 徐艺斐, 荆海涛	(2548)
淄博市供暖前后PM _{2.5} 中多环芳烃及其衍生物污染特征、来源及健康风险	孙港立, 吴丽萍, 徐勃, 高玉宗, 赵雪艳, 姬亚芹, 杨文	(2558)
西安市采暖季过渡期高时间分辨率细颗粒物组分特征及来源解析	李萌津, 张勇, 张倩, 田杰, 李丽, 刘卉昆, 冉伟康, 王启元	(2571)
天津冬季两个典型污染过程高浓度无机气溶胶成因及来源分析	卢苗苗, 韩素芹, 刘可欣, 唐晓, 孔磊, 丁净, 樊文雁, 王自发	(2581)
基于空间尺度效应的山东省PM _{2.5} 浓度时空变化及空间分异地理探测	徐勇, 韦梦新, 邹滨, 郭振东, 李沈鑫	(2596)
我国典型化工行业VOCs排放特征及其对臭氧生成潜势	武婷, 崔焱文, 肖威德, 翟增秀, 韩萌	(2613)
廊坊秋季大气污染过程中VOCs二次气溶胶生成潜势及来源分析	张敬巧, 刘铮, 丁文文, 朱瑶, 曹婷, 凌德印, 王淑兰, 王宏亮	(2622)
景观格局对河流水质影响的尺度效应 Meta 分析	王玉仓, 杜晶晶, 张禹, 吴昊, 胡敏敏, 陈丁江	(2631)
白洋淀夏季汛期入淀河流水体溶解性有机物的光谱特征及来源	孟佳靖, 宴红, 陈哲, 周石磊, 底怡玲, 武辰彬, 王晨光, 张家丰, 崔建升	(2640)
北京市丰台区永定河以东浅层地下水水化学演变规律及成因分析	胡昱欣, 周瑞静, 宋炜, 杨全合, 王鑫茹	(2651)
庐庐断裂带(安徽段)浅层地下水水化学特征、控制因素及水质评价	刘海, 魏伟, 宋阳, 徐洁, 管政亭, 黄健敏, 赵国红	(2665)
农药施用对兴凯湖水中农药残留的影响及其风险评价	王蔚青, 徐雄, 刘权震, 林利华, 吕婧, 王东红	(2678)
黄河兰州段河岸带土壤中微生物与耐药基因的赋存特征	韦程宸, 魏枫沂, 夏慧, 黄魁	(2686)
基于多源数据的巢湖蓝藻水华时空分布及驱动因素分析	金晓龙, 邓学良, 戴睿, 徐倩倩, 吴月, 范裕祥	(2694)
再生水构建水环境中沉水植物附着细菌群落特征	贺赞, 李雪梅, 李宏权, 魏琳琳, 姜春晖, 姜大伟, 李魁晚	(2707)
水位波动和植被恢复对三峡水库消落带土壤原核微生物群落结构的交互影响	梅渝, 黄平, 王鹏, 朱凯	(2715)
银川市典型湖泊沉积物细菌群落结构及其对重金属的响应关系	蒙俊杰, 刘双羽, 邱小琼, 周娟娟	(2727)
热水解时间对污泥厌氧消化系统微生物群落结构影响分析	张含, 张涵, 王佳伟, 高金华, 文洋, 李相昆, 任征然	(2741)
市政污水中吗啡来源辨析	邵雪婷, 赵悦彤, 蒋冰, 裴伟, 李彦莹, 谭冬芹, 王德高	(2748)
滦河流域生态环境动态遥感评价	李艳翠, 袁金国, 刘博涵, 郭豪	(2757)
黄河流域生态系统服务价值时空演化及影响因素	王奕洪, 孙学堂	(2767)
基于贝叶斯网络的生态系统服务权衡协同关系强度及其空间格局优化:以汾河流域为例	蔡进, 危小建, 江平, 梁玉琦	(2780)
贵州高原典型喀斯特县域生境质量时空演变及定量归因	李月, 冯霞, 吴路华, 罗光杰, 罗红芬	(2793)
2000~2021年黄土高原生态分区NEP时空变化及其驱动因子	周怡婷, 严俊霞, 刘菊, 王瑛	(2806)
基于SSP-RCP情景的黄土高原土地变化模拟及草原碳储量	崔伟, 董燕, 张露尹, 王荣臻	(2817)
京津冀城市群建设用地扩张多情景模拟及其对生态系统碳储量的影响	武爱彬, 陈辅国, 赵艳霞, 秦彦杰, 刘欣, 郭小平	(2828)
西南岩溶区土地利用变化对团聚体稳定性及其有机碳的影响	江可, 贾亚男, 杨琰, 陈坚淇, 禹朴家	(2840)
不同土地利用方式下土壤有机质分子组成变化的整合分析	黄世威, 赵一锴, 朱馨雨, 刘贺雷, 刘姣姣, 陈稍, 陈佳永, 张阿凤	(2848)
基于改进麻雀搜索算法优化BP神经网络的土壤有机质空间分布预测	胡志瑞, 赵万伏, 宋根先, 王芳, 林妍敏	(2859)
不同有机物料施用对菜地磷累积和转化的影响	孙凯, 崔玉涛, 李顺晋, 魏冰丽, 王媛, 杨宏博, 王孝忠, 张伟	(2871)
集约化柑橘种植抑制土壤磷循环微生物活性	周连吴, 曾全超, 梅唐英泽, 汪明霞, 谭文峰	(2881)
控释掺混肥对麦玉米轮作体系作物产量和温室气体排放的影响	高玮, 王学霞, 谢建治, 陈延华, 倪小会, 王甲辰, 董艳芳, 李子双, 曹兵	(2891)
生物炭对黄绵土中NO ₃ -N运移过程影响及模拟	白一茹, 刘旭, 张钰涵, 张睿媛, 马艳, 王幼奇	(2905)
中国农田土壤重金属污染分析与评价	杨雳, 白宗旭, 薄文浩, 林静, 杨俱佳, 陈涛	(2913)
城市土壤和地表灰尘重金属污染研究进展与展望	王晓雨, 刘恩峰, 杨祥梦, 王碧莲, 林锦阔, 颜梦霞, 毕世杰	(2926)
场地重金属污染土壤固化及MICP技术研究进展	陈玥如, 高文艳, 陈虹任, 薛生国, 吴川	(2939)
黄河流域山东段近河道煤矿区土壤重金属污染特征及源解析	戴文婷, 张晖, 吴霞, 钟鸣, 段桂兰, 董霁红, 张培培, 樊洪明	(2952)
拒马河流域河流沉积物与土壤重金属含量及风险评价	韩双宝, 袁磊, 张秋霞, 郑焰, 李甫成	(2962)
银川市黄河滩区土壤重金属污染特征、生态风险评估及来源解析	于路加, 马海军, 王翠平	(2971)
基于源导向和蒙特卡罗模型的广东省某城市土壤重金属健康风险评估	陈莲, 邹子航, 张培珍, 王雨茜, 王振江, 林森, 唐翠明, 罗国庆, 钟建武, 李智毅, 王圆	(2983)
西南典型碳酸盐岩高地背景区农田重金属化学形态、影响因素及回归模型	唐瑞玲, 徐进力, 刘彬, 杜雪苗, 顾雪, 于林松, 毕婧	(2995)
贵州省水田土壤-水稻Hg含量特征与安全种植区划	韦美溜, 周浪, 黄燕玲, 庞瑞, 王佛鹏, 宋波	(3005)
柠檬酸辅助甜高粱对南方典型母质土壤的镉修复效应	刘梦宇, 罗绪锋, 辜娇峰, 易轩韬, 周航, 曾鹏, 廖柏寒	(3016)
改性酒糟生物炭对紫色土壤镉形态及水稻吸收镉的影响	肖乃川, 王子芳, 杨文娜, 谢永红, 代文才, 高明	(3027)
生物炭对四环素和铜复合污染土壤生菜生长及污染物累积的影响	郑晨格, 裴欢欢, 张亚珊, 李嘉欣, 刘奋武, 乔星星, 秦俊梅	(3037)
基于Meta分析的蚯蚓堆肥对堆肥质量和重金属的影响效应	姜继韶, 侯睿, 崔慧林, 闫广轩, 刘栋	(3047)
微塑料对土壤N ₂ O排放及氮素转化的影响研究进展	刘一戈, 杨安琪, 陈舒欣, 牛英奕, 卢瑛, 李博	(3059)
土地利用对洱海罗时江小流域土壤微塑料污染的影响	戴柳云, 侯磊, 王化, 符立松, 王艳霞, 李晓琳, 王万宾, 梁启斌	(3069)
养殖海湾淤泥质海岸沉积物微塑料污染特征	宋可心, 贺金成, 李昌文, 解思琦, 刘宝堃, 黄伟, 冯志华	(3078)
聚乙烯微塑料对盐渍化土壤微生物群落的影响	李志超, 李哲, 李嘉晨, 屈忠义, 杨文煊, 李卫平	(3088)
鄱阳湖候鸟栖息地微塑料表面细菌群落结构特征与生态风险预测	俞锦丽, 赵俊凯, 罗思琦, 朱颖婷, 张文慧, 胡启武, 刘淑丽	(3098)
粤闽浙沿海重点城市道路交通节能减排路径	徐艺诺, 翁大维, 王硕, 胡喜生, 王占永, 张园园, 张兰怡	(3107)
电动重卡替代柴油重卡的全生命周期碳减排效益分析	徐圆圆, 龚德鸿, 黄正光, 杨浪	(3119)

滹沱河流域生态环境动态遥感评价

李艳翠^{1,2,3}, 袁金国^{1,2,3*}, 刘博涵^{1,2,3}, 郭豪^{1,2,3}

(1. 河北师范大学地理科学学院, 石家庄 050024; 2. 河北省环境变化遥感识别技术创新中心, 石家庄 050024; 3. 河北省环境演变与生态建设省级重点实验室, 石家庄 050024)

摘要: 滹沱河流域横跨山西和河北两省, 自2000年以来由于经济发展, 城市扩建, 滹沱河一度断流, 但随着国家对生态文明建设的重视和南水北调工程的实施, 滹沱河流域生态保护成效显著。基于GEE平台选取MODIS数据、Landsat数据和夜光遥感数据等, 利用生态环境指数(EI)中的生物丰富度指数、植被覆盖指数、土地胁迫指数和污染负荷指数以及遥感生态指数(RSEI)中的湿度指数相结合生成新的评价指标体系, 利用变异系数法和熵权法对指标赋权并构建生态环境评价模型, 对2000~2020年滹沱河流域进行生态环境质量评价和分级, 并运用地理探测器对其驱动因子进行解释。结果表明: ①时间尺度上, 2000~2015年滹沱河流域的生态环境处于“衰退期”, 2015~2020年滹沱河处于“恢复期”。从格网尺度上看, 流域内中部地区生态环境质量呈现逐年提高的状态; 流域内西部和东部地区, “衰退期”生态环境质量逐年降低, “恢复期”生态环境质量有所提高。②热点分析表明, 滹沱河流域的生态环境质量呈现“中间高两侧低”的空间分布状态。冷点区域集中分布于东部和南部的城市乡镇地区, 零星分布于西侧河谷地区。③地理探测分析表明, 单因子探测驱动因子主要为人口密度、植被净初级生产力(NPP)、植被覆盖度(FVC)和地貌类型。交互探测的主导因子为“地貌类型+FVC”。随着生态文明建设不断深入和《滹沱河保护条例》的颁布实施, 结合流域内不同的自然环境和社会特征等因子, 滹沱河流域生态环境评价研究可为因地制宜地改善生态环境政策提供数据支持。

关键词: 滹沱河流域; 生态环境指数(EI); 遥感生态指数(RSEI); 谷歌地球引擎(GEE); 地理探测器

中图分类号: X171.1; X826 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)05-2757-10 DOI: 10.13227/j.hj.kx.202305251

Ecological Environment Dynamical Evaluation of Hutuo River Basin Using Remote Sensing

LI Yan-cui^{1,2,3}, YUAN Jin-guo^{1,2,3*}, LIU Bo-han^{1,2,3}, GUO Hao^{1,2,3}

(1. School of Geographical Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China; 2. Hebei Technology Innovation Center for Remote Sensing Identification of Environmental Change, Shijiazhuang 050024, China; 3. Key Laboratory of Environmental Evolution and Ecological Construction in Hebei Province, Shijiazhuang 050024, China)

Abstract: Hutuo River Basin straddles Shanxi and Hebei provinces, and Hutuo River was once cut off due to economic development and urban expansion after 2000; however, with the national emphasis on ecological civilization and the implementation of the South-North Water Diversion Project, the ecological protection of Hutuo River Basin has been significantly improved. MODIS data, Landsat data, and night light remote sensing data were selected based on the google earth engine (GEE) platform, and a new evaluation index system was generated by combining the biological richness index, vegetation cover index, land stress index, and pollution load index in the ecological environment index (EI) and the humidity index in the remote sensing ecological index (RSEI), using the variation coefficient method and entropy weighting method to assign weights to these indices. An ecological environment evaluation model was constructed to evaluate and classify the ecological environment quality of Hutuo River Basin from 2000 to 2020, and the driving factors were interpreted by using geographic probes. The results showed that: ① on a time scale, the ecological environment of Hutuo River Basin was in a decline period from 2000 to 2015 and a recovery period from 2015 to 2020. From a grid scale, the ecological environment quality in the central part of the basin showed a state of improvement year by year, and in the western and eastern parts of the basin, the ecological environment quality in the decline period decreased year by year, whereas the ecological environment quality in the recovery period improved. ② Hot spot analysis showed that the spatial distribution of the ecological environment quality in Hutuo River Basin was high in the middle and low on both sides. Cold spot regions were mainly located in major cities and towns in the eastern and southern parts and scattered in the river valley area on the west side. ③ Geodetection analysis showed that the single factor detection drivers were mainly population density, vegetation net primary productivity (NPP), fractional vegetation cover (FVC), and geomorphological type. The dominant factor of cross-detection was “geomorphological type + FVC.” With the deepening of ecological civilization construction and the implementation of Hutuo River Protection Regulations, in combination with different factors such as the natural environment and social characteristics in this basin, the research on ecological environment evaluation in Hutuo River Basin can provide data support for proposing localized policies to improve the ecological environment.

Key words: Hutuo River Basin; ecological environment index (EI); remote sensing ecological index (RSEI); Google earth engine(GEE); geographical detector

生态环境是指由生物群落和非生物自然因素组成的各种生态系统所构成的整体, 主要由自然因素形成, 并间接、潜在和长远地对人类的生存和发展产生影响^[1,2]; 同时生态环境又为人类的生存和发展提供了良好的自然条件^[3], 因此对生态环境进行客观准确的评价与分析, 可以为“生态文明建设”和环境治理政策的制定提供科学依据和决策支撑。

滹沱河是石家庄的母亲河, 是河北平原的缔造者之一, 位于燕山、太行山生态涵养区和低平原生

收稿日期: 2023-05-29; 修订日期: 2023-08-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0801005); 国家自然科学基金项目(42101382)

作者简介: 李艳翠(1995-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为遥感信息处理及生态遥感应用, E-mail: cuicui0420@163.com

* 通信作者, E-mail: yuanjinguo8@163.com

态修复区,是京津冀生态安全屏障的重要组成部分.李镇等^[4]和孙雷刚等^[5]对滦河流域进行植被覆盖度(fractional vegetation cover, FVC)和降水蒸散发指数(standardized precipitation evapotranspiration index, SPEI)相关性研究.王慧玮等^[6]则是对流域内地下水水质进行评价.但前人未对滦河流域进行自然和人文的综合性生态环境质量评价.

生态环境质量评价过程中,不仅需要对生态环境进行客观评价还需评估对人类社会的影响,因此众多学者从不同角度对生态环境进行质量评价,以便为生态保护政策提供数据支撑^[7].在指标体系内容层面,发展了各种专项评价,其中包括生态健康评价^[8]、生态脆弱性评估^[9]和生态风险评估^[10]等.在评价的方法层面也从定性描述发展为定量分析,常见的方法有层次分析法^[11]、生态足迹法^[12]、人工神经网络评价方法^[13]和综合指数评价法^[14]等.综合指数评价法适合多元指标,能较好地对复杂环境进行生态评价,例如联合国和经济合作与发展组织针对生态评价分别提出“驱动力-状态-响应模型”和“压力-状态-响应模型”^[15].Meng等^[8]从资源利用、生态发展、生态文化推广、政策执行和经济发展这5个方面,选取了35个指标,构建了生态发展综合指数.Das等^[16]运用组织弹性框架,对加尔各答等大城市构建了城市生态系统健康指数(ecosystem health index, EHI).我国环保部门也开展了对生态环境状况评价的研究和实践,2015年颁布了《生态环境状况评价技术规范》(HJ/T192-2015)(简称《规范》),由生物丰富度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地胁迫指数和污染负荷指数构成生态指数(ecological index, EI)^[17].欧阳玲等^[18]利用《规范》对科尔沁沙地进行生态环境状况评价.由于上述生态环境质量评价方法的数据来源多为统计年鉴,格网化评价难以实现,但遥感技术具有高时效性、宏观性和动态监测等优势,为生态环境评价提供技术和数据支持,因此利用遥感技术进行生态环境监测和评价已成为主要手段^[19].谷歌地球引擎(Google earth engine, GEE)开发平台提供了强大的数据运算功能,提高了生态环境质量监测的效率.例如,归一化差值植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)、叶面积指数(leaf area index, LAI)和植被净初级生产力(net primary productivity, NPP)等广泛用于评估植被生长状况^[20].地表温度(land surface temperature, LST)已被用于评估城市的热岛效应和干热风等气象灾害^[21].Hu等^[22]以耦合绿度指数、湿度指数、干燥度指数和热度指数构成遥感生态指数(remote sensing ecological index, RSEI),由于

RSEI缺少社会经济因素引起的生态压力,不能全面反映生态环境质量,而EI的多因子指标可以较好地反映研究区的综合生态环境质量,但其中的水网密度指数和污染负荷指数,难以达到综合性格网化评价,故本文将RSEI中的湿度指数和基于夜间灯光数据反演的污染负荷指数与EI指标中的生物丰富度指数、植被覆盖指数和土地胁迫指数相结合构成新的指标体系.用熵权法和变异系数计算各指标权重,构建新的生态环境评价模型.利用2000~2020年每隔5 a的数据,计算生成空间分辨率为250 m的生态环境质量等级以及聚类分布,并运用地理探测器对其驱动因子进行解释分析.滦河流域生态环境评价研究可为相关部门制定生态环境改善的政策提供数据支持.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

滦河是华北地区的重要河流,也是山西省和河北省的主要河流之一,如图1所示.滦河流域范围为:37°22'~39°25'N, 112°16'~116°06'E^[23].流域内海拔9~3 059 m,流域面积大约为26 630 km²,其中山西省为18 690 km²,占全流域面积的70%;河北省为7 940 km²,占全流域面积的30%^[24].平山县境内岗南水库和黄壁庄水库截留了滦河猴列村到岗黄水库段的所有来水,成为石家庄重要的饮用水源地,同时也是北京市重要的应急水源地.滦河主要流经4种典型地貌类型:山间盆地、山地、丘陵和平原,分别占流域总面积的20%、50%、10%和20%^[25].

1.2 数据来源及处理

将以下数据统一为阿尔伯斯等积圆锥投影,重采样生成空间分辨率为250 m的2000、2005、2010、2015和2020年的5期数据.

1.2.1 生物丰富度指数

基于GEE平台,利用Landsat TM/OLI数据,生成林地、草地、耕地、水域湿地、建设用地和未利用地这6大类土地利用数据,对研究区内选取700个样本点,再调用随机森林分类模型,精度为Kappa系数均在0.77以上,生成空间分辨率为30 m的土地利用分类结果,根据表1中的公式,得到生物丰富度指数.

1.2.2 植被覆盖指数

基于GEE平台,选取MOD13Q1数据,计算5~9月NDVI最大值的均值,生成空间分辨率为250 m的植被覆盖指数.

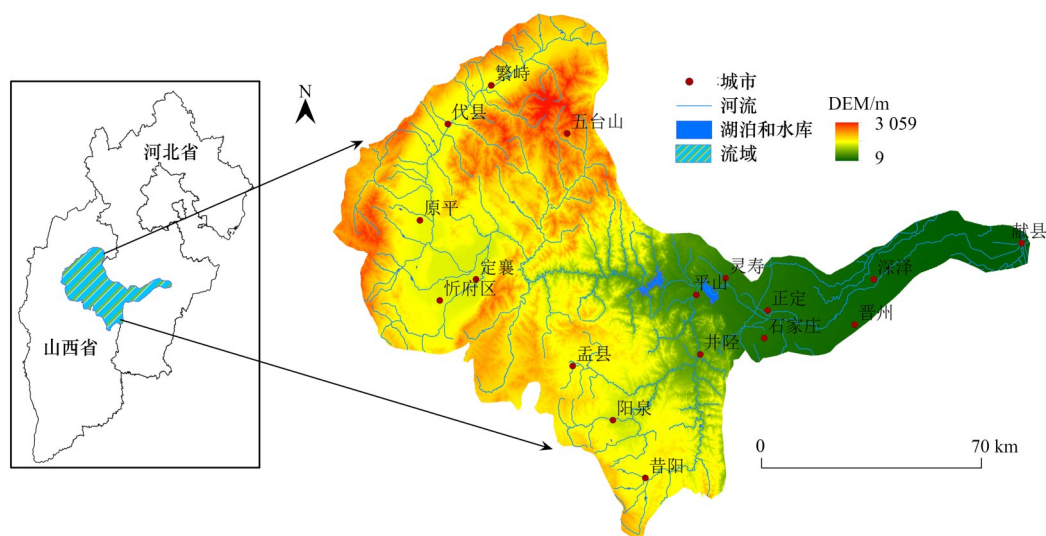


图1 滹沱河流域地理位置示意

Fig. 1 Location of Hutuo River Basin

1.2.3 土地胁迫指数

DEM 高程数据来源于美国国家航空航天局 (<https://search.earthdata.nasa.gov>), 空间分辨率为 90 m 的 ASTER GDEM(global digital elevation model) 数据产品, 生成坡度和坡长因子. 基于地面台站获取研究区降水数据 (<http://data.cma.cn/>), 进行空间化、插值分析、裁剪以及栅格计算, 生成降水侵蚀力因子数据^[26]. 土壤类型数据由世界土壤数据库(HWSD)提供, 生成土壤侵蚀因子^[27]. 基于 GEE 平台, 利用 Landsat TM (B3 和 B4) 或 OLI (B4 和 B5) 的波段数据进行计算生成空间分辨率为 250 m 的植被覆盖度数据 (FVC), 得到植被覆盖因子. 将以上数据代入通用土壤流失方程 (RUSLE) 模型^[28], 计算土地侵蚀模数, 得到土地侵蚀程度等级, 根据表 1 的公式, 得到土地胁迫指数.

1.2.4 污染负荷指数

根据《规范》中污染负荷指数的标准, 需要 6 种污染物数据, 分别是化学需氧量、氨氮、二氧化硫、烟(粉)尘、氮氧化物和固体废物, 均来自于统计年鉴. 利用 DMSP-OLS (defense meteorological satellite program-operational linescan system, 2000~2010 年) 和 NPP-VIIRS (national polar orbiting partnership-visible infrared imaging radiometer suite, 2015~2020 年) 的夜间灯光数据 (<https://dataverse.harvard.edu/>) 反演格网化污染负荷指数, DMSP-OLS 和 NPP-VIIRS 的 DN 值范围为 0~63, 空间分辨率为 1 000 m^[29]. 将以上数据代入污染负荷指数排放模拟模型中, 见公式(1)~(3), 生成格网化滹沱河流域污染负荷指数.

1.2.5 湿度指数

基于 GEE 平台, 利用 Landsat TM 数据的 1、2、3、4、5 和 7 波段反射率和 Landsat OLI 数据的 2、3、4、5、6 和 7 波段反射率, 根据表 1 中公式计算生成空间分辨率为 30 m 的湿度指数.

1.2.6 其他数据

水系数据来源于全国地理信息资源目录服务系统 (<https://www.webmap.cn>) 中 1: 25 万水系矢量数据, 利用 ArcGIS 对水系矢量数据以及 DEM 数据进行填洼、流量计算和河网分级, 并与水系数据确定泄洪点, 再通过 ArcGIS 中分水岭工具导入流向和泄洪点, 得到滹沱河流域矢量边界.

利用水系矢量数据生成水网密度. 道路数据来源于 (<https://www.openstreetmap.org/>), 生成道路密度指数. 基于 GEE 开发平台, 选取空间分辨率为 500 m 的 MOD17A3 数据, 生成 NPP 值. 以下数据空间分辨率均为 1 km, 人口密度数据来源于世界人口官网 (<http://www.worldpop.org>), PM₁₀ 和 PM_{2.5} 由 Zenodo 官网 (<http://zenodo.org/>) 下载获取, GDP 公里格网数据和地形地势数据均来自中国科学院资源环境科学与数据中心 (<http://www.resdc.cn/>) 下载获取. 以上数据用于因子探测.

1.3 研究方法

1.3.1 新生态环境指数 (NEI) 指标体系

(1) 本文选取《规范》中生物丰富度指数、植被覆盖指数、土地胁迫指数和污染负荷指数, 以及 RSEI 中湿度指数构成新生态环境指数 (NEI), 该指数由 5 个指标构成, 并赋予相对应的指标性质, 具体信息如表 1 所示.

(2) 污染负荷指数排放模拟模型 本文以校正

表 1 新生态环境指数(NEI)一级指标体系计算公式及性质¹⁾

Table 1 Calculation formula and properties of new ecological environment index (NEI) level 1 index system

指数	公式	指标性质
生物丰富度指数	$A_{\text{bio}} \times (0.35 \times l + 0.21 \times c + 0.28 \times o + 0.11 \times g + 0.04 \times j + 0.01 \times t) / S$	正向
植被覆盖指数	$A_{\text{veg}} \times \text{NDVI}_{\text{区域均值}}$	正向
土地胁迫指数	$A_{\text{ero}} \times (0.4 \times z + 0.2 \times x + 0.2 \times j + 0.2 \times q) / S$	负向
污染负荷指数	$0.2 \times A_{\text{COD}} \times C / W + 0.2 \times A_{\text{NH}_3} \times N / W + 0.2 \times A_{\text{SO}_2} \times D / S + 0.1 \times A_{\text{YFC}} \times F / S + 0.2 \times A_{\text{NO}_x} \times O / S + 0.1 \times A_{\text{SOL}} \times G / S$	负向
湿度指数	$W_{\text{wet(TM)}} = 0.0315 \times B_1 + 0.2021 \times B_2 + 0.3102 \times B_3 + 0.1594 \times B_4 - 0.6806 \times B_5 - 0.1609 \times B_7$ $W_{\text{wet(OLI)}} = 0.1511 \times B_1 + 0.1973 \times B_2 + 0.3283 \times B_3 + 0.3407 \times B_4 - 0.7117 \times B_5 - 0.4559 \times B_7$	正向

1) A_{bio} 为生物丰富度指数的归一化系数, A_{veg} 为植被覆盖指数归一化系数, A_{ero} 为土地胁迫指数的归一化系数, A_{COD} 为 COD 的归一化系数, A_{NH_3} 为氨氮的归一化系数, A_{SO_2} 为 SO_2 的归一化系数, A_{YFC} 为烟(粉)尘的归一化系数, A_{NO_x} 为氮氧化合物的归一化系数, A_{SOL} 为固体废物的归一化系数. l 为林地, c 为草地, o 为水域湿地, g 为耕地, j 为建设用地, t 为未利用地, z 为重度侵蚀面积, x 为中度侵蚀面积, q 为其他土地胁迫, C 为 COD 排放量, N 为 NH_3 排放量, D 为 SO_2 排放量, F 为烟粉尘排放量, O 为氮氧化物排放量, G 为固体废物丢弃量, W 为区域年降水量, S 为区域面积, B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 和 B_7 为 TM 数据的 1、2、3、4、5 和 7 波段反射率和 OLI 数据的 2、3、4、5、6 和 7 波段反射率(2) 污染负荷指数排放模拟模型

后的 2000~2020 年夜间灯光数据为基础, 对研究区的夜间灯光总值(x)和污染负荷排放总量(y)进行统计并拟合分析, 构建滹沱河流域污染负荷指数排放量的模型, 模拟单位像元污染负荷指数排放值. 2000~2020 年滹沱河流域污染负荷指数排放量模拟方程如公式(1)所示, R^2 为 0.871 5.

$$y = -0.000\ 876\ 2x^2 + 233.688\ 0x - 1\ 115\ 821.715\ 7 \quad (1)$$

式中, y 为污染负荷排放总量的模拟值, x 为夜间灯光数据像元 DN 值总和.

修正模拟单位像元污染负荷指数排放值, 利用污染负荷指数排放估算拟合方程, 计算得到以夜间灯光数据所反映的每个栅格污染负荷指数排放值, 最终得出滹沱河流域污染负荷排放总量的模拟值. 由于回归函数存在误差, 第 n 年拟合污染负荷指数排放值与实际统计污染负荷指数排放值不一致. 因此, 构建了滹沱河流域第 n 年夜间灯光数据反演的污染负荷指数排放格网模型比例关系式, 计算如公式(2)所示. 然后将第 n 年夜间灯光数据拟合污染负荷指数排放值乘以相对应的比例关系式, 计算如公式(3)所示, 得到第 n 年污染负荷指数拟合排放量与统计数据相等的空间化数据.

$$m_n = C / C_i \quad (2)$$

$$C_{x(n)k} = C_{l(n)k} \times m_n \quad (3)$$

式中, m_n 为第 n 年污染负荷指数统计值与拟合值的比例关系系数; C 为当年污染负荷指数排放量统计值; C_i 为当年污染负荷排放总量的模拟值; $C_{x(n)k}$ 为当年第 k 个栅格污染负荷指数排放量; $C_{l(n)k}$ 为当年第 k 个栅格污染负荷指数排放量模拟值.

(3) RUSLE 模型 利用通用土壤流失方程(RUSLE)模型, 计算土地侵蚀模数, 得到土地侵蚀程度等级, 用于计算土地胁迫指数. RUSLE 模型如公式(4)所示^[30,31].

$$A = R \times K \times C \times L \times S \times P \quad (4)$$

式中, A 为土壤侵蚀模数, R 为降水侵蚀力因子, K 为土壤可蚀性因子, C 为植被覆盖因子, P 为水土保持因子, L 为坡长因子, S 为坡度因子.

1.3.2 新生态环境指数(NEI)模型构建

(1) 指标归一化 为统一各指标的单位 and 范围, 增强各指标的对比性, 采用极差变化法对各指标进行归一化处理, 结果为 0~100, 计算如公式(5)和公式(6)所示.

正向指标:

$$y_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \times 100 \quad (5)$$

负向指标:

$$y_i = (x_{\max} - x_i) / (x_{\max} - x_{\min}) \times 100 \quad (6)$$

式中, y_i 为图像像元的标准化数值; x_i 为图像像元的原始像元值; $x_{\max}$ 为图像像元的最大值; $x_{\min}$ 为图像像元的最小值.

(2) 熵权法 熵权法是根据指标的离散程度确定客观权重的方法, 其信息熵值越小, 指标权重越大, 反之权重越小^[32,33]. 计算如公式(7)~(9)所示.

$$H_i = -K \sum_{j=1}^n Y_{ij} \times \ln(Y_{ij}) \quad (7)$$

$$Y_{ij} = T_{ij} / \sum_{j=1}^n T_{ij} \quad (8)$$

$$W_i = (1 - H_i) / \left(m - \sum_{i=1}^m H_i \right) \quad (9)$$

式中, H_i 为熵值, m 为评价指标的数目, n 为被评价对象的数目, $K=1/\ln m$, T_{ij} 为第 i 个指标的第 j 个数, 当 $Y_{ij}=0$ 时, $Y_{ij}(\ln Y_{ij})=0$, W_i 为第 i 个指标的权重.

(3) 变异系数法(CV) CV 是一种客观赋权的方法. 将数据的标准差与平均值进行求比得出^[34], 变异系数越大表明该指标在评价对象的分布差异越大, 故在评价体系中赋予较大的权重; 反之, 赋予较小的权重, 计算如公式(10)~(13)所示.

$$A_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j}$$

(10)

$$V_j = \frac{S_j}{P_j}$$

(11)

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - P_j)^2}$$

(12)

$$P_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}$$

(13)

式中， A_j 为指标权重； V_j 为第 j 个指标的变异系数； S_j 为每个指标的标准差； P_j 为每个指标的平均值， n 为被评价对象的数目， X_{ij} 为第 j 个指标的第 i 个数值。

(4) 组合赋权法 选取熵权法和变异系数法，利用组合赋权法对权重进行修正^[35, 36]，计算如公式(14)所示。

$$\varepsilon = \gamma \times \alpha_i + (1 - \gamma) \times \beta_i$$

(14)

式中， ε 为组合权重， α_i 为变异系数法权重， β_i 为熵权法权重。为保证计算结果的客观性， γ 取 0.5 系数参与计算。

依据公式(14)计算各指标的综合权重，如表 2 所示。

表 2 各指标权重

Table 2 Weights of each indicator

指数	变异系数法权重	熵权法权重	综合权重
生物丰富度指数	0.438	0.642	0.540
植被覆盖指数	0.122	0.060	0.091
土地胁迫指数	0.213	0.182	0.197
污染负荷指数	0.132	0.089	0.111
湿度指数	0.095	0.026	0.061

(5) 新生态环境指数(NEI)计算如公式(15)所示。NEI 越高，表明生态环境质量越好。

$$NEI = 0.540 \times B + 0.091 \times V + 0.061 \times W + 0.197 \times D + 0.111 \times P$$

(15)

式中，NEI 为新生态环境指数， B 为生物丰富度指数， V 为植被覆盖指数， W 为湿度指数， D 为土地胁迫指数， P 为污染负荷指数。

表 3 生态环境质量分级

Table 3 Levels of eco-environment quality

级别	差	较差	一般	良	优
范围	$0 \leq NEI < 20$	$20 \leq NEI < 35$	$35 \leq NEI < 55$	$55 \leq NEI < 75$	$75 \leq NEI \leq 100$

对研究区内生态环境质量分级计算(表 4)，2000~2020 年溱沔河流域内整体生态环境质量有所提高，没有生态环境差的区域，各年处于“一般”的占比均在 10% 左右，处于“良”的占比均在 57.4% 以上，处于“优”的占比均在 25.09% 以上。2000~2015 年，溱沔河流域内整体环境质量呈现降低的趋势，“较差”和“一般”等级的占比有所增加；“良”等级占比有所降低；“优”等级前期变化

迫指数， P 为污染负荷指数。

1.3.3 新生态环境指数(NEI)聚类分析

热点分析(Getis-Ord G_i^*)是识别具有统计显著性的热点和冷点，进而得出数据高值(热点)和低值(冷点)的空间聚类方法，计算如公式(16)所示。热点分析可以突出溱沔河流域生态环境质量聚类程度的时空分布。

$$G_i^* = \sum_{i=1}^n W_{ij} x_i / \sum_{j=1}^n x_j$$

(16)

式中， x_i 和 x_j 分别为 i 和 j 栅格单元生态环境质量等级值； W_{ij} 为空间权重矩阵；并对 G_i^* 进行 Z 检验，若 $Z(G_i^*)$ 显著为正，表明该单元生态环境质量等级高度聚集，为热点区。反之，则为冷点区。

1.3.4 地理探测器

地理探测器是用于计算地理事物的影响因子空间分异性及因子驱动作用的统计学模型。核心思想为自变量与因变量具有关系时，那么这两个变量具有相似的空间分异特征^[37]。本研究利用地理探测器中的因子探测和交互作用探测模块，揭示不同因子和交互作用下对溱沔河流域生态环境质量的影响。因子探测用 q 值为度量值，计算如公式(17)所示。

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2}$$

(17)

式中， L 为变量分类； N_h 和 N 分别为层 h 和研究区的单元数； σ^2 和 σ_h^2 分别为研究区的 NEI 数值与层 h 的方差。 q 为研究区内生态环境质量的解释程度，范围是 $[0, 1]$ ， q 值越大，表示该因子对生态环境质量解释能力越强，反之，解释能力越小。

2 结果与分析

2.1 溱沔河流域生态环境质量时空演变特征

根据《规范》，将生态环境分为 5 级，即优、良、一般、较差和差(表 3)。

不大，2015 年有所增加。2020 年较 2015 年，溱沔河流域环境状况逐步恢复，“较差”等级占比大幅度降低；“一般”和“优”等级占比均有小幅上涨。

溱沔河流域生态环境质量分级分布，如图 2 所示。溱沔河流域生态环境质量大致呈现“中间高两侧低”的分布规律，中部地区大部分处于“优”和“良”等级，局部地区处于“一般”和“较差”，东部地区的生态环境质量以“一般”和“较差”

表 4 2000~2020 年滹沱河流域生态环境质量等级面积占比/%

Table 4 Area percentage of different eco-environment quality grades in Hutuo River Basin from 2000 to 2020/%

级别	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
较差	1.30	1.63	2.45	2.69	0.16
一般	12.55	9.49	11.99	12.15	14.42
良	60.79	63.12	60.47	57.94	57.43
优	25.36	25.76	25.09	27.22	27.99

为主，西部地区以“良”等级为主，局部分布“一般”和“较差”等级。中部地区多为山地丘陵，植被覆盖度高以及人烟稀少，受人为因素较少，故生态环境较好。流域内东部地区，城市数量多且分布较为集中，人口密度高，人类活动对生态环境压力大，破坏强。流域内西南部(阳泉市)和西部地区(忻州市)的城市及周围地区生态环境质量有所降低，主要是建设用地的扩大以及植被覆盖度降低。流域内西侧河谷地区，由于坡度

以及降水侵蚀力强度大，加之不合理过度开垦导致土壤侵蚀程度进一步增加。2000~2015 年，滹沱河流域内西部河谷地区和东部的城镇及周围地区的生态环境质量有不同程度地降低，但中部地区由“良”转“优”等级的区域面积有所增加。2020 年，“较差”等级区域呈现零星分布的状态，大部分地区处于“良”和“优”的等级，由于环保政策的颁布和实施，进而滹沱河流域整体生态环境质量有较大提高。

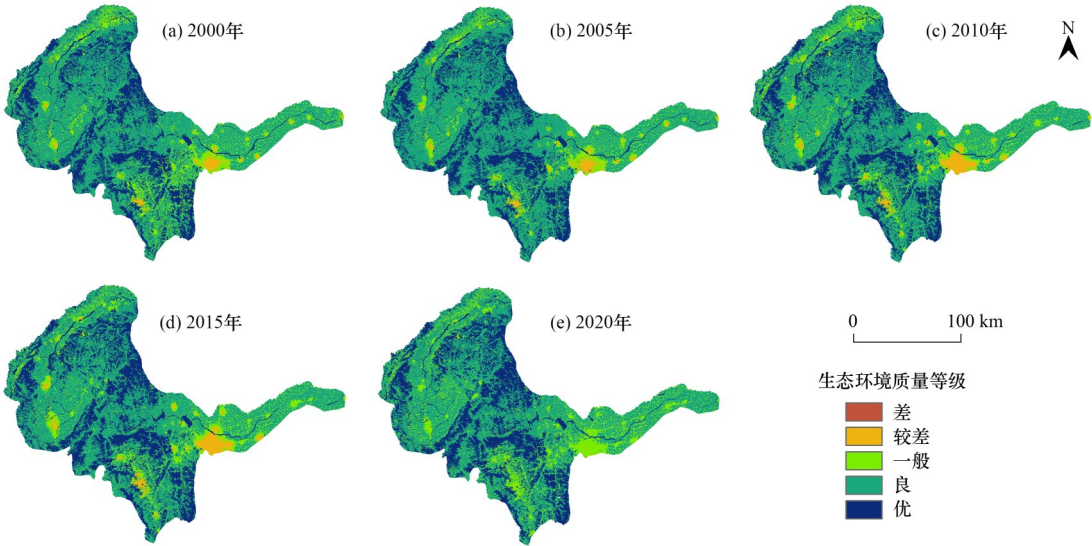


图 2 2000~2020 年滹沱河流域生态环境质量分级分布

Fig. 2 Distribution of eco-environment quality grades in Hutuo River Basin from 2000 to 2020

2.2 滹沱河流域生态环境质量聚类分布特征

冷点区域表示生态环境质量差，热点区域表示生态环境质量良好。生态环境质量的冷点区域多分布于主要城市及其周围地区和西部的河谷地区，热点区域主要集中于流域内中部地区(图 3)。原因为城市地区受人类活动影响大，西部的河谷地区侵蚀力强，中部地区植被覆盖度高受人类活动影响小。2000~2015 年，滹沱河流域冷点区域数量增加，区域面积不断扩大，趋于集中分布，中部地区热点面积有所减少，原因是建设用地面积扩大和污染物排放量增加。2020 年，流域内下游地区以及忻州市东部，除较大城市外，冷点区域面积缩小呈零星分布；中部地区热点区域面积小，范围扩大，是由于

《滹沱河保护条例》的颁布以及各项环保政策的实施，2020 年南部地区生态环境质量较 2015 年有所改善。

2.3 驱动因子以及因子交互作用分析

2.3.1 单因子探测结果

本文根据以往学者的研究和格网数据的可获取性^[38]，着重考虑并且深入分析以下 9 个驱动因子，包括：NPP、人口密度、PM_{2.5}、PM₁₀、FVC、人均 GDP、道路密度指数、水体密度指数和地貌类型数据。利用自然分位法将连续变量数据分为 4~8 类。利用地理探测器对流域内生态环境质量空间分布分异的驱动因子进行探测，各因子对生态环境质量空间分布的影响程度和交互作用结果见表 5 和图 4。

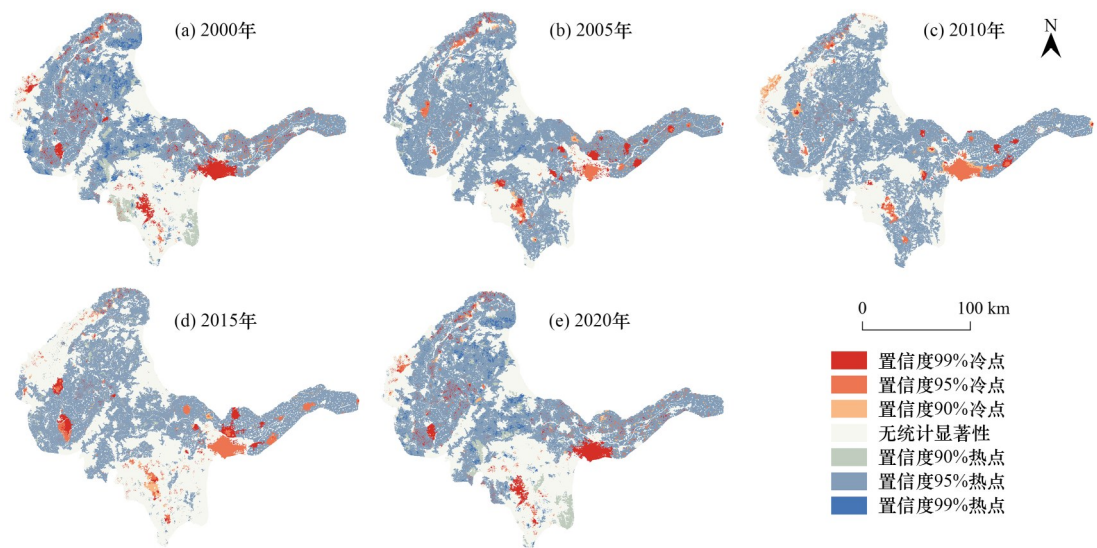


图 3 2000~2020 年滹沱河流域生态环境质量聚类分布特征

Fig. 3 Clustering distribution characteristics of eco-environment quality in Hutuo River Basin from 2000 to 2020

人口密度、NPP、PM_{2.5}、PM₁₀、FVC、水体密度指数和地貌类型因子，大致呈现出 2000~2015 年波动性增长，2020 年下降趋势。人口密度、NPP、FVC 和地貌类型为前 4 的主要因子。流域内中西部多山地丘陵，以林地和草地为主，人口稀少。东部为冲积平原，以耕地和建设用地为主，人口密度较高。东部地区工业生产和汽车尾气等污染物排放量较大，PM_{2.5} 和 PM₁₀ 呈现东多西少的空间分布。2019 年我国实行国六汽车尾气排放标准，以及各

项生产环保政策的实施，2020 年 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 驱动因子减小。

2000~2020 年人均 GDP 和道路密度指数呈现逐年增加的趋势，我国经济高速发展，人均 GDP 也逐年提高，路网基础设施不断完善。滹沱河流域流经河北山西两省，作为北方的重要经济中心、主要的人口迁入省份和经济重点发展区，河北和山西作为重工业大省，仍以粗放型产业为主，对生态环境恢复和改善产生负面影响。

表 5 滹沱河流域生态环境质量驱动因子探测结果¹⁾

Table 5 Results of the detection of ecological and environmental conditions driver in Hutuo River Basin										
影响因子	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年		2020 年	
	q	p	q	p	q	p	q	p	q	p
X1	0.211	0.000	0.179	0.000	0.215	0.000	0.237	0.000	0.212	0.000
X2	0.185	0.000	0.208	0.000	0.201	0.000	0.215	0.000	0.227	0.000
X2	0.234	0.000	0.245	0.000	0.168	0.000	0.270	0.000	0.246	0.000
X4	0.203	0.000	0.221	0.000	0.206	0.000	0.225	0.000	0.194	0.000
X5	0.221	0.000	0.242	0.000	0.216	0.000	0.240	0.000	0.235	0.000
X6	0.195	0.000	0.261	0.000	0.270	0.000	0.276	0.000	0.250	0.000
X7	0.007	0.000	0.008	0.000	0.009	0.000	0.009	0.000	0.007	0.000
X8	0.007	0.000	0.008	0.000	0.008	0.000	0.063	0.000	0.113	0.000
X9	0.208	0.000	0.257	0.000	0.237	0.000	0.248	0.000	0.235	0.000

1) X1 表示 FVC, X2 表示人均 GDP, X3 表示 NPP, X4 表示 PM_{2.5}, X5 表示 PM₁₀, X6 表示人口密度, X7 表示水体密度指数, X8 表示道路密度指数, X9 表示地貌类型

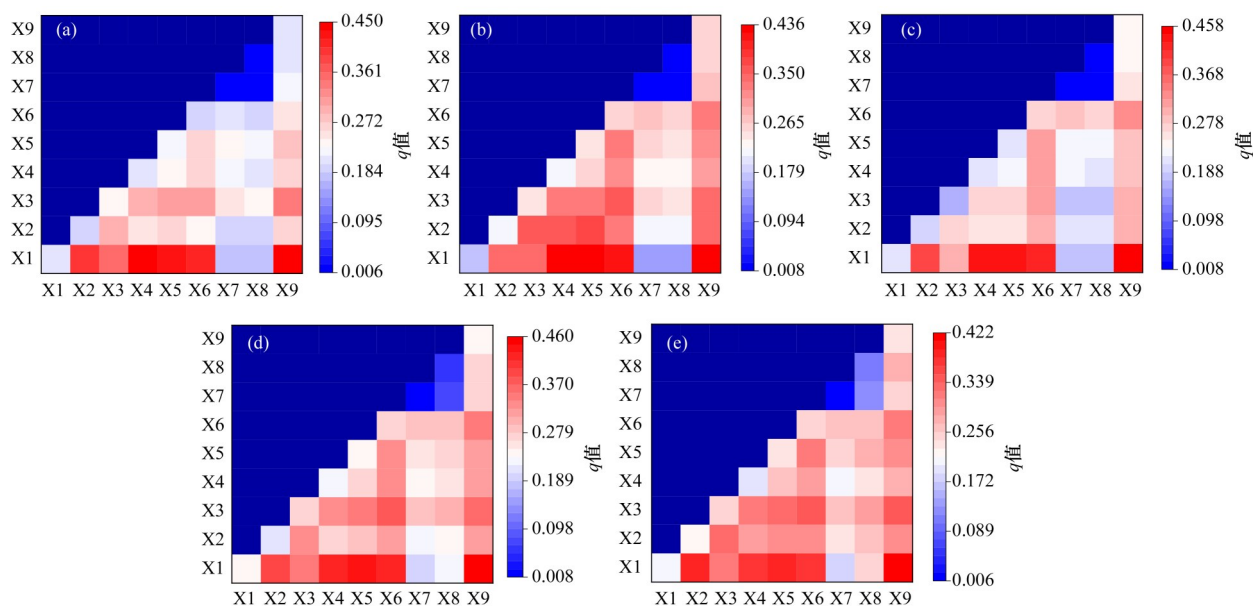
2.3.2 因子交互作用探测结果

各因子在交互作用下对滹沱河流域生态环境质量的影响力比单因子均显著增强(图 4)。2000~2020 年，地貌类型和 FVC 与其他因子组合仍是主要作用，其中“地貌类型+FVC”为主导作用。2000~2015 年河北省和山西省工业化不断推进以及重工业生产基地不断发展，“FVC+PM 污染物”对生态环境质量影响较大。由于产业转型升级以及各项减排降尘的政策实施，2020 年 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 污染物解释力大幅度

下降，但对生态环境仍有重要影响。

3 讨论

滹沱河流域生态环境质量 2000~2015 年处于衰退期，2015~2020 年处于恢复期，这与王伟^[39]的研究结果一致。滹沱河流域生态环境质量整体处于“良”等级，这与刘晓东等^[24]和崔婧等^[40]的结论相矛盾，主要原因为选取的研究范围不一致和指标体系不一致。王伟的研究选取的是滹沱河部分流域；刘晓东的指



(a)2000年,(b)2005年,(c)2010年,(d)2015年,(e)2020年;X1表示FVC,X2表示人均GDP,X3表示NPP,X4表示 $PM_{2.5}$,X5表示 PM_{10} ,X6表示人口密度,X7表示水体密度指数,X8表示道路密度指数,X9表示地貌类型

图4 滹沱河流域生态环境质量驱动因子交互作用探测结果

Fig. 4 Detection results of eco-environment quality driver interactions in Hutuo River Basin

标主要集中于河流的水量、水质和生物等指标;崔婧选取的主要为人文因素指标,导致评价结果具有一定出入.生态环境质量评价所涉及的指标覆盖范围广,包含自然指标和人文指标,能揭示滹沱河流域生态环境的重要性.2000~2015年,流域内生态环境的衰退,是由于工业化的发展和人口过度集中导致污染物排放量的不断增加以及草地和林地面积不断减少,导致流域内长期遭受植被破坏、雾-霾污染和土壤流失等影响.2015年,将加强生态文明建设写入国家五年发展规划当中,2017年和2019年分别颁布了国五汽车尾气排放标准和国六汽车尾气排放标准^[41],2016年《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)等各项环保条例的颁布以及有关部门落实政策^[42],2020年滹沱河流域生态环境逐步恢复.

滹沱河流域生态环境质量因子分析方面,流域内生态环境受多种自然因素和人为因素影响.有些学者认为流域内以人为因素为主导作用^[38],但由于指标体系构建不一致,可能导致主要因子不一致.单因子探测中,地貌类型、FVC、NPP和人口密度始终为主要影响因子.2020年 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 解释力有较大幅度减弱.交互因子探测中,“地貌类型+FVC”起主导作用.

《滹沱河保护条例》政策的颁布和不断推进,需要上下游地区协同发展和统筹规划.根据上述滹沱河生态环境质量的特征,应当进一步制定因地制宜的生态环境保护政策以及措施,加快实现“生态文明建设”的目标^[43].根据流域内生态环境质量的

空间分布以及集聚结果,得出主要城市及乡镇地区仍然是生态环境保护的重点关注的区域^[44],尤其是河北省和山西省以重工业为主的产业结构^[45],应当加快产业转型升级的步伐,大力扶持绿色创新型企业引领高质量发展,提高生态环境水平.

4 结论

(1)时间上,滹沱河流域生态环境质量整体处于“良”水平.流域内生态环境质量变化大致分为衰退期(2000~2015年)和恢复期(2015~2020年).空间上,流域内的主要城市乡镇及周围地区2000~2015年生态环境质量指数呈现降低趋势,但在2020年城市乡镇中心地区生态环境有所改善.

(2)滹沱河流域空间集聚效应明显,生态环境质量差(冷点区域)的区域主要集中在主要城市乡镇地区,以及西部的河谷地区,生态环境质量好(热点区域)的区域主要分布于流域内多山地丘陵的中部地区.

(3)单因子探测结果表明,2000~2015年NPP、人口密度、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、FVC、水体密度指数和地貌类型因子呈现波动性增长,2015~2020年呈下降趋势.人均GDP和道路密度指数对环境状况的影响逐年升高.因子交互作用探测结果表明,地貌类型和FVC与其他因子组合仍是主要作用,其中“地貌类型+FVC”始终是主导驱动因子;衰退期 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染物解释力逐年提高,恢复期解释力大幅度下降.

(4)近年来,滹沱河保护政策的颁布以及南水

北调工程的实施, 使滹沱河下游地区水量增加和生态环境质量有所提高, 南水北调输水量呈现季节性明显变化(夏多冬少), 所以对局部生态环境改善有待探究. 滹沱河虽是海河流域的主要支流, 但属于四级河流, 故没有明确的流域矢量边界线, 研究区范围存在一定偏差. 污染物数据由于种类多, 时间序列较长, 所以以 2003 年污染物数据代替 2000 年数据, 因此在后期研究当中应当采用最新数据. 《水生生态监测技术指南河流水生生物监测与评价(试行)》已经发布, 后期应当将水生生物以及水质指标纳入生态环境评价体系当中.

参考文献:

- [1] Jiang L G, Liu Y, Wu S, *et al.* Analyzing ecological environment change and associated driving factors in China based on NDVI time series data[J]. *Ecological Indicators*, 2021, **129**, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2021.107933.
- [2] Martire S, Castellani V, Sala S. Carrying capacity assessment of forest resources: enhancing environmental sustainability in energy production at local scale [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2015, **94**: 11-20.
- [3] 田智慧, 尹传鑫, 王晓蕾. 鄱阳湖流域生态环境动态评估及驱动因子分析[J]. *环境科学*, 2023, **44**(2): 816-827.
Tian Z H, Yin C X, Wang X L. Dynamic monitoring and driving factors analysis of ecological environment quality in Poyang Lake Basin[J]. *Environmental Science*, 2023, **44**(2): 816-827.
- [4] 李镇, 齐菲, 尚国珩, 等. 滹沱河流域植被覆盖时空演变及其与 SPEI 的相关关系[J]. *南水北调与水利科技*, 2018, **16**(1): 135-143.
Li Z, Qi F, Shang G F, *et al.* Spatial-temporal change of vegetation cover and its relationship with SPEI in Hutuo River Basin [J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2018, **16**(1): 135-143.
- [5] 孙雷刚, 郑振华. 基于 RS 的近 30 年滹沱河流域植被覆盖度动态变化研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2014, **30**(6): 36-40, 45.
Sun L G, Zheng Z H. RS-based study on dynamic change of vegetation coverage in Hutuo River watershed in the past 30 years [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2014, **30**(6): 36-40, 45.
- [6] 王慧玮, 郭小娇, 张千千, 等. 滹沱河流域地下水水化学特征演化及成因分析[J]. *环境化学*, 2021, **40**(12): 3838-3845.
Wang H W, Guo X J, Zhang Q Q, *et al.* Evolution of groundwater hydrochemical characteristics and origin analysis in Hutuo River Basin[J]. *Environmental Chemistry*, 2021, **40**(12): 3838-3845.
- [7] Long Y, Jiang F G, Deng M L, *et al.* Spatial-temporal changes and driving factors of eco-environmental quality in the Three-North region of China[J]. *Journal of Arid Land*, 2023, **15**(3): 231-252.
- [8] Meng L R, Huang J, Dong J H. Assessment of rural ecosystem health and type classification in Jiangsu province, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **615**: 1218-1228.
- [9] Li W L, Liu C L, Su W L, *et al.* Spatiotemporal evaluation of alpine pastoral ecosystem health by using the Basic-Pressure-State-Response Framework: a case study of the Gannan region, northwest China[J]. *Ecological Indicators*, 2021, **129**, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2021.108000.
- [10] Baas J, Augustine S, Marques G M, *et al.* Dynamic energy budget models in ecological risk assessment: from principles to applications [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **628-629**: 249-260.
- [11] Fattahi R, Khalilzadeh M. Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment [J]. *Safety Science*, 2018, **102**: 290-300.
- [12] Yang W C, Xu K, Lian J J, *et al.* Multiple flood vulnerability assessment approach based on fuzzy comprehensive evaluation method and coordinated development degree model [J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, **213**: 440-450.
- [13] Adams M D, Kanaroglou P S. Mapping real-time air pollution health risk for environmental management: combining mobile and stationary air pollution monitoring with neural network models [J]. *Journal of Environmental Management*, 2016, **168**: 133-141.
- [14] Guo Q, Wang J Y, Yin H L, *et al.* A comprehensive evaluation model of regional atmospheric environment carrying capacity: model development and a case study in China [J]. *Ecological Indicators*, 2018, **91**: 259-267.
- [15] Berger A R, Hodge R A. Natural change in the environment: a challenge to the pressure-state-response concept [J]. *Social Indicators Research*, 1998, **44**(2): 255-265.
- [16] Das M, Das A, Mandal A. Research note: ecosystem Health (EH) assessment of a rapidly urbanizing metropolitan city region of eastern India - A study on Kolkata Metropolitan Area [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, **204**, doi: 10.1016/j.landurbplan.2020.103938.
- [17] HJ 192-2015, 生态环境状况评价技术规范[S].
- [18] 欧阳玲, 马会瑶, 王宗明, 等. 基于遥感与地理信息数据的科尔沁沙地生态环境状况动态评价[J]. *生态学报*, 2022, **42**(14): 5906-5921.
Ouyang L, Ma H Y, Wang Z M, *et al.* Dynamic evaluation of ecological environment in Horqin sandy land based on remote sensing and geographic information data [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(14): 5906-5921.
- [19] Ding Q, Wang L, Fu M C, *et al.* An integrated system for rapid assessment of ecological quality based on remote sensing data [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**(26): 32779-32795.
- [20] Erasmi S, Klinge M, Dulamsuren C, *et al.* Modelling the productivity of Siberian larch forests from Landsat NDVI time series in fragmented forest stands of the Mongolian forest-steppe [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, **193**(4), doi: 10.1007/S10661-021-08996-1.
- [21] Lee P S H, Park J. An effect of urban forest on urban thermal environment in Seoul, South Korea, based on Landsat imagery analysis [J]. *Forests*, 2020, **11**(6), doi: 10.3390/f11060630.
- [22] Hu X S, Xu H Q. A new remote sensing index for assessing the spatial heterogeneity in urban ecological quality: a case from Fuzhou City, China [J]. *Ecological Indicators*, 2018, **89**: 11-21.
- [23] 席梅竹, 赵中秋, 吴攀升, 等. 基于改进 CA-Markov 模型的滹沱河流域山区段土地利用变化模拟及预测[J]. *西北林学院学报*, 2021, **36**(4): 150-158.
Xi M Z, Zhao Z Q, Wu P S, *et al.* Changes and predictions of land use in mountain section of the Hutuo River Basin based on improved CA-Markov model [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2021, **36**(4): 150-158.
- [24] 刘晓东, 郭劲松, 赵鹏宇. 忻州市滹沱河主要支流生态系统健康评价[J]. *环境监测管理与技术*, 2016, **28**(2): 33-36, 68.
Liu X D, Guo J S, Zhao P Y. Ecosystem health assessment of main tributaries of Hutuo River in Xinzhou City [J]. *The Administration*

- and Technique of Environmental Monitoring, 2016, **28**(2): 33-36, 68.
- [25] 丁永康, 叶婷, 陈康. 基于地理探测器的淳沱河流域植被覆盖时空变化与驱动力分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, **30**(11): 1737-1749.
- Ding Y K, Ye T, Chen K, *et al.* Analysis of spatio-temporal dynamics and driving forces of vegetation cover in the Hutuo River Basin based on the geographic detector[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2022, **30**(11): 1737-1749.
- [26] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学, 2003, (1): 35-41.
- Zhang W B, Fu J S. Rainfall erosivity estimation under different rainfall amount[J]. Resources Science, 2003, (1): 35-41.
- [27] Huang X F, Lin L R, Ding S W, *et al.* Characteristics of soil erodibility K value and its influencing factors in the Changyan Watershed, Southwest Hubei, China[J]. Land, 2022, **11**(1), doi: 10.3390/LAND11010134.
- [28] 陈朝良, 赵广举, 穆兴民, 等. 基于RUSLE模型的涅水流域土壤侵蚀时空变化[J]. 水土保持学报, 2021, **35**(4): 73-79.
- Chen C L, Zhao G J, Mu X M, *et al.* Spatial-temporal change of soil erosion in Huangshui Watershed based on RUSLE model[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, **35**(4): 73-79.
- [29] Wu Y Z, Shi K F, Chen Z Q, *et al.* Developing improved time-series DMSP-OLS-Like data (1992-2019) in China by integrating DMSP-OLS and SNPP-VIIRS [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2022, **60**, doi: 10.1109/TGRS.2021.3135333.
- [30] 张素, 熊东红, 吴汉, 等. 基于RUSLE模型的孙水河流域土壤侵蚀空间分异特征[J]. 水土保持学报, 2021, **35**(5): 24-30.
- Zhang S, Xiong D H, Wu H, *et al.* Research on spatial variation of soil erosion in Sunshui River Basin based on RUSLE model[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, **35**(5): 24-30.
- [31] 马悦, 何洪鸣, 赵宏飞. 基于GIS和RUSLE的甘南州土壤侵蚀时空演变[J]. 水土保持研究, 2023, **30**(3): 37-46.
- Ma Y, He H M, Zhao H F. Spatiotemporal change of soil erosion in Gannan Tibetan Autonomous Prefecture based on GIS and RUSLE [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, **30**(3): 37-46.
- [32] 刘海龙, 谢亚林, 贾文毓, 等. 山西省生态安全综合评价及时空演化[J]. 经济地理, 2018, **38**(5): 161-169.
- Liu H L, Xie Y L, Jia W Y, *et al.* Ecological security assessment and spatial-temporal evolution of Shanxi Province [J]. Economic Geography, 2018, **38**(5): 161-169.
- [33] 王芳, 李文慧, 林妍敏, 等. 1990~2020年黄河流域典型生态区生态环境质量时空格局及驱动力分析[J]. 环境科学, 2023, **44**(5): 2518-2527.
- Wang F, Li W H, Lin Y M, *et al.* Spatiotemporal pattern and driving force analysis of ecological environmental quality in typical ecological areas of the Yellow River Basin from 1990 to 2020 [J]. Environmental Science, 2023, **44**(5): 2518-2527.
- [34] 刘轩, 岳德鹏, 马梦超. 基于变异系数法的北京市山区小流域生态环境质量评价[J]. 西北林学院学报, 2016, **31**(2): 66-71, 294.
- Liu X, Yue D P, Ma M C. Small watershed eco-environmental quality appraisal of Beijing mountain area based on coefficient variation [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, **31**(2): 66-71, 294.
- [35] 李华林, 张建军, 张耀方, 等. 基于不同赋权方法的北运河上游潜在非点源污染风险时空变化特征分析[J]. 环境科学, 2021, **42**(6): 2796-2809.
- Li H L, Zhang J J, Zhang Y F, *et al.* Analysis of spatial-temporal variation characteristics of potential non-point source pollution risks in the upper Beiyun River Basin using different weighting methods [J]. Environmental Science, 2021, **42**(6): 2796-2809.
- [36] 刘翔宇, 张延飞, 丁木华, 等. 长三角中心区生态环境质量评价与空间格局分析[J]. 人民长江, 2021, **52**(5): 30-36.
- Liu X Y, Zhang Y F, Ding M H, *et al.* Eco-environmental quality evaluation and spatial distribution patterns analysis on central area of Yangtze River Delta [J]. Yangtze River, 2021, **52**(5): 30-36.
- [37] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, **72**(1): 116-134.
- Wang J F, Xu C D. Geodetector: principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(1): 116-134.
- [38] 王盛, 李文静, 王金凤. 淳沱河上游径流演变及其影响因素分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, **55**(3): 162-169.
- Wang S, Li W J, Wang J F. Analysis on runoff variation characteristics and its influence factors in the upper reaches of Hutuo River Basin [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2020, **55**(3): 162-169.
- [39] 王伟. 基于多源遥感数据的海河流域植被生态用水时空变化规律研究及生态脆弱性评价[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2020.
- Wang W. Research of spatio-temporal variation of vegetation ecological water use and ecological vulnerability evaluation based on multi-source remote sensing data in Haihe River Basin [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2020.
- [40] 崔端, 赵鹏宇, 冯文勇, 等. 山西淳沱河山区湿地生态系统健康评价[J]. 湿地科学与管理, 2015, **11**(3): 16-19.
- Cui Q, Zhao P Y, Feng W Y, *et al.* Wetland ecosystem health assessment in mountain area of Hutuo River of Shanxi [J]. Wetland Science & Management, 2015, **11**(3): 16-19.
- [41] 崔亮, 倪红, 戴春蓓, 等. 国五国六汽车尾气颗粒物的生态毒性分析[J]. 环境科学学报, 2020, **40**(4): 1483-1490.
- Cui L, Ni H, Dai C B, *et al.* Ecological toxicity analysis of particulate matter from automobile exhaust in China V and China VI [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, **40**(4): 1483-1490.
- [42] 宋小涵, 燕丽, 刘伟, 等. 2015~2021年京津冀及周边地区PM_{2.5}和臭氧复合污染时空特征分析[J]. 环境科学, 2023, **44**(4): 1841-1851.
- Song X H, Yan L, Liu W, *et al.* Spatiotemporal distribution characteristics of co-pollution of PM_{2.5} and ozone over BTH with surrounding area from 2015 to 2021 [J]. Environmental Science, 2023, **44**(4): 1841-1851.
- [43] 冯俊华, 张路路. 陕西省新型城镇化与生态环境协调度研究[J]. 生态学报, 2022, **42**(11): 4617-4629.
- Feng J H, Zhang L L. Coordination degree between new urbanization and ecological environment in Shaanxi Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, **42**(11): 4617-4629.
- [44] Zheng Z H, Wu Z F, Chen Y B, *et al.* Exploration of eco-environment and urbanization changes in coastal zones: a case study in China over the past 20 years [J]. Ecological Indicators, 2020, **119**, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106847.
- [45] 朱婷婷, 侯立安, 童银栋, 等. 面向2035年的海河流域水安全保障战略研究[J]. 中国工程科学, 2022, **24**(5): 26-33.
- Zhu T T, Hou L A, Tong Y D, *et al.* Strategy for assuring water security in the Haihe River Basin by 2035 [J]. Strategic Study of CAE, 2022, **24**(5): 26-33.

CONTENTS

Spatial Distribution Characteristics of PM _{2.5} and O ₃ in Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Time Series Decomposition	YAO Qing, DING Jing, YANG Xu, <i>et al.</i>	(2487)
Ozone Sensitivity Analysis in Urban Beijing Based on Random Forest	ZHOU Hong, WANG Ming, CHAI Wen-xuan, <i>et al.</i>	(2497)
Prediction of Ozone Pollution in Sichuan Basin Based on Random Forest Model	YANG Xiao-tong, KANG Ping, WANG An-yi, <i>et al.</i>	(2507)
Establishment and Effective Evaluation of Haikou Ozone Concentration Statistical Prediction Model	FU Chuan-bo, LIN Jian-xing, TANG Jia-xiang, <i>et al.</i>	(2516)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Ozone Concentration and Health Benefit Assessment in the Beijing-Tianjin-Hebei Region from 2015 to 2020	GAO Ran, LI Qin, CHE Fei, <i>et al.</i>	(2525)
Water-soluble Inorganic Ion Content of PM _{2.5} and Its Change Characteristics in Urban Area of Beijing in 2022	CHEN Yuan-yuan, CUI Di, ZHAO Ze-xi, <i>et al.</i>	(2537)
Pollution Characteristics, Source, and Health Risk Assessment of Metal Elements in PM _{2.5} Between Winter and Spring in Zhengzhou	TAO Jie, YAN Hui-jiao, XU Yi-fei, <i>et al.</i>	(2548)
Characteristics, Sources Apportionment, and Health Risks of PM _{2.5} -bound PAHs and Their Derivatives Before and After Heating in Zibo City	SUN Gang-li, WU Li-ping, XU Bo, <i>et al.</i>	(2558)
Components Characteristic and Source Apportionment of Fine Particulate Matter in Transition Period of Heating Season in Xi'an with High Time Resolution	LI Meng-jin, ZHANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i>	(2571)
Source and Cause Analysis of High Concentration of Inorganic Aerosol During Two Typical Pollution Processes in Winter over Tianjin	LU Miao-miao, HAN Su-qin, LIU Ke-xin, <i>et al.</i>	(2581)
Spatial-temporal Variation and Spatial Differentiation Geographic Detection of PM _{2.5} Concentration in the Shandong Province Based on Spatial Scale Effect	XU Yong, WEI Meng-xin, ZOU Bin, <i>et al.</i>	(2596)
Characteristics of VOCs Emissions and Ozone Formation Potential for Typical Chemicals Industry Sources in China	WU Ting, CUI Huan-wen, XIAO Xian-de, <i>et al.</i>	(2613)
Formation Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources of Volatile Organic Compounds During an Air Pollution Episode in Autumn, Langfang	ZHANG Jing-qiao, LIU Zheng, DING Wen-wen, <i>et al.</i>	(2622)
Scale Effects of Landscape Pattern on Impacts of River Water Quality: A Meta-analysis	WANG Yu-cang, DU Jing-jing, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(2631)
Spectral Characteristics and Sources of Dissolved Organic Matter in Inflow Rivers of Baiyangdian Lake Water in Summer Flood Season	MENG Jia-jing, DOU Hong, CHEN Zhe, <i>et al.</i>	(2640)
Analysis on Hydrochemical Evolution of Shallow Groundwater East of Yongding River in Fengtai District, Beijing	HU Yu-xin, ZHOU Rui-jing, SONG Wei, <i>et al.</i>	(2651)
Hydrochemical Characteristics, Controlling Factors and Water Quality Evaluation of Shallow Groundwater in Tan-Lu Fault Zone (Anhui Section)	LIU Hai, WEI Wei, SONG Yang, <i>et al.</i>	(2665)
Effects of Pesticides Use on Pesticides Residues and Its Environmental Risk Assessment in Xingkai Lake (China)	WANG Wei-qing, XU Xiong, LIU Quan-zhen, <i>et al.</i>	(2678)
Characteristics of Microorganisms and Antibiotic Resistance Genes of the Riparian Soil in the Lanzhou Section of the Yellow River	WEI Cheng-chen, WEI Feng-yi, XIA Hui, <i>et al.</i>	(2686)
Analysis of the Spatiotemporal Distribution of Algal Blooms and Its Driving Factors in Chaohu Lake Based on Multi-source Datasets	JIN Xiao-long, DENG Xue-liang, DAI Rui, <i>et al.</i>	(2694)
Characteristics of Epiphytic Bacterial Community on Submerged Macrophytes in Water Environment Supplemented with Reclaimed Water	HE Yun, LI Xue-mei, LI Hong-quan, <i>et al.</i>	(2707)
Effects of Water Level Fluctuations and Vegetation Restoration on Soil Prokaryotic Microbial Community Structure in the Riparian Zone of the Three Gorges Reservoir	MEI Yu, HUANG Ping, WANG Peng, <i>et al.</i>	(2715)
Bacterial Community Structure of Typical Lake Sediments in Yinchuan City and Its Response to Heavy Metals	MENG Jun-jie, LIU Shuang-yu, QIU Xiao-cong, <i>et al.</i>	(2727)
Effect of Thermal Hydrolysis Pretreatment Time on Microbial Community Structure in Sludge Anaerobic Digestion System	ZHANG Han, ZHANG Han, WANG Jia-wei, <i>et al.</i>	(2741)
Source Apportionment of Morphine in Wastewater	SHAO Xue-ting, ZHAO Yue-tong, JIANG Bing, <i>et al.</i>	(2748)
Ecological Environment Dynamical Evaluation of Hutuo River Basin Using Remote Sensing	LI Yan-cui, YUAN Jin-guo, LIU Bo-han, <i>et al.</i>	(2757)
Spatiotemporal Evolution and Influencing Factors of Ecosystem Service Value in the Yellow River Basin	WANG Yi-qi, SUN Xue-ying	(2767)
Ecosystem Service Trade-off Synergy Strength and Spatial Pattern Optimization Based on Bayesian Network: A Case Study of the Fenhe River Basin	CAI Jin, WEI Xiao-jian, JIANG Ping, <i>et al.</i>	(2780)
Spatial-temporal Evolution and Quantitative Attribution of Habitat Quality in Typical Karst Counties of Guizhou Plateau	LI Yue, FENG Xia, WU Lu-hua, <i>et al.</i>	(2793)
Spatio-temporal Variation in NEP in Ecological Zoning on the Loess Plateau and Its Driving Factors from 2000 to 2021	ZHOU Yi-ting, YAN Jun-xia, LIU Ju, <i>et al.</i>	(2806)
Land Change Simulation and Grassland Carbon Storage in the Loess Plateau Based on SSP-RCP Scenarios	CUI Xie, DONG Yan, ZHANG Lu-yin, <i>et al.</i>	(2817)
Multi-scenario Simulation of Construction Land Expansion and Its Impact on Ecosystem Carbon Storage in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration	WU Ai-bin, CHEN Fu-guo, ZHAO Yan-xia, <i>et al.</i>	(2828)
Effects of Land Use Change on Soil Aggregate Stability and Soil Aggregate Organic Carbon in Karst Area of Southwest China	JIANG Ke, JIA Ya-nan, YANG Yan, <i>et al.</i>	(2840)
Integrated Analysis of Soil Organic Matter Molecular Composition Changes Under Different Land Uses	HUANG Shi-wei, ZHAO Yi-kai, ZHU Xin-yu, <i>et al.</i>	(2848)
Prediction Spatial Distribution of Soil Organic Matter Based on Improved BP Neural Network with Optimized Sparrow Search Algorithm	HU Zhi-rui, ZHAO Wan-fu, SONG Yin-xian, <i>et al.</i>	(2859)
Effects of Application of Different Organic Materials on Phosphorus Accumulation and Transformation in Vegetable Fields	SUN Kai, CUI Yu-tao, LI Shun-jin, <i>et al.</i>	(2871)
Intensive Citrus Cultivation Suppresses Soil Phosphorus Cycling Microbial Activity	ZHOU Lian-hao, ZENG Quan-chao, MEI Tang-ying-ze, <i>et al.</i>	(2881)
Effects of Controlled-release Blended Fertilizer on Crop Yield and Greenhouse Gas Emissions in Wheat-maize Rotation System	GAO Wei, WANG Xue-xia, XIE Jian-zhi, <i>et al.</i>	(2891)
Effect of Biochar on NO ₃ ⁻ -N Transport in Loessial Soil and Its Simulation	BAI Yi-ru, LIU Xu, ZHANG Yu-han, <i>et al.</i>	(2905)
Analysis and Evaluation of Heavy Metal Pollution in Farmland Soil in China: A Meta-analysis	YANG Li, BAI Zong-xu, BO Wen-hao, <i>et al.</i>	(2913)
Critical Review on Heavy Metal Contamination in Urban Soil and Surface Dust	WANG Xiao-yu, LIU En-feng, YANG Xiang-meng, <i>et al.</i>	(2926)
Research Progress on Solidification and MICP Remediation of Soils in Heavy Metal Contaminated Site	CHEN Yue-ru, GAO Wen-yan, CHEN Hong-ren, <i>et al.</i>	(2939)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Soil Heavy Metal in Coal Mine Area near the Yellow River in Shandong	DAI Wen-ting, ZHANG Hui, WU Xia, <i>et al.</i>	(2952)
Heavy Metal Content and Risk Assessment of Sediments and Soils in the Juma River Basin	HAN Shuang-bao, YUAN Lei, ZHANG Qiu-xia, <i>et al.</i>	(2962)
Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Source Apportionment of Soil Heavy Metals in the Yellow River Floodplain of Yinchuan City	YU Lu-jia, MA Hai-jun, WANG Cui-ping	(2971)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soils of a City in Guangdong Province Based on Source Oriented and Monte Carlo Models	CHEN Lian, ZOU Zi-hang, ZHANG Pei-zhen, <i>et al.</i>	(2983)
Chemical Speciation, Influencing Factors, and Regression Model of Heavy Metals in Farmland of Typical Carbonate Area with High Geological Background, Southwest China	TANG Rui-ling, XU Jin-li, LIU Bin, <i>et al.</i>	(2995)
Hg Content Characteristics and Safe Planting Zoning of Paddy Soil and Rice in Guizhou Province	WEI Mei-liu, ZHOU Lang, HUANG Yan-ling, <i>et al.</i>	(3005)
Cadmium Phytoremediation Effect of Sweet Sorghum Assisted with Citric Acid on Typical Parent Soil in Southern China	LIU Meng-yu, LUO Xu-feng, GU Jiao-feng, <i>et al.</i>	(3016)
Effects of Modified Distillers' Grains Biochar on Cadmium Forms in Purple Soil and Cadmium Uptake by Rice	XIAO Nai-chuan, WANG Zi-fang, YANG Wen-na, <i>et al.</i>	(3027)
Effects of Biochar on Growth and Pollutant Accumulation of Lettuce in Soil Co-contaminated with Tetracycline and Copper	ZHENG Chen-ge, PEI Huan-huan, ZHANG Ya-shan, <i>et al.</i>	(3037)
Effects of Vermicomposting on Compost Quality and Heavy Metals: A Meta-analysis	JIANG Ji-shao, HOU Rui, CUI Hui-lin, <i>et al.</i>	(3047)
Advances in the Effects of Microplastics on Soil N ₂ O Emissions and Nitrogen Transformation	LIU Yi-ge, YANG An-qi, CHEN Shu-xin, <i>et al.</i>	(3059)
Effects of Land Use Patterns on Soil Microplastic Pollution in the Luoshijiang Sub-watershed of Erhai Lake Basin	DAI Liu-yun, HOU Lei, WANG Hua, <i>et al.</i>	(3069)
Characteristics of Microplastic Pollution in Sediment of Silty Coast in Culture Bay	SONG Ke-xin, HE Jin-cheng, LI Chang-wen, <i>et al.</i>	(3078)
Effect of Polyethylene Microplastics on the Microbial Community of Saline Soils	WANG Zhi-chao, LI Zhe, LI Jia-chen, <i>et al.</i>	(3088)
Characterization of Microplastic Surface Bacterial Community Structure and Prediction of Ecological Risk in Poyang Lake, China	YU Jin-li, ZHAO Jun-kai, LUO Si-qi, <i>et al.</i>	(3098)
Energy-saving and Emission Reduction Path for Road Traffic in Key Coastal Cities of Guangdong, Fujian and Zhejiang	XU Yi-nuo, WENG Da-wei, WANG Shuo, <i>et al.</i>	(3107)
Life Cycle Carbon Reduction Benefits of Electric Heavy-duty Truck to Replace Diesel Heavy-duty Truck	XU Yuan-yuan, GONG De-hong, HUANG Zheng-guang, <i>et al.</i>	(3119)