

目次

“大气十条”实施期间南京市PM_{2.5}化学组成与来源的演变特征 陈培林, 郭蓉, 王勤耕 (1)

河南省北部区域霾污染过程中城市和农村点位PM_{2.5}组分差异 王申博, 王玲玲, 范相阁, 王楠, 马双良, 张瑞芹 (11)

廊坊市秋冬季大气细颗粒物污染特征及来源解析 朱淑贞, 佟洁, 鲍丰, 孙浩 (20)

天津市采暖季不同气团来向PM_{2.5}中重金属污染特征及健康风险评价 李立伟, 邓小文, 肖致美, 元洁, 杨宁, 郭小龙, 白宇 (30)

基于多属性决策方法的太原市冬季街道尘土中潜在有害元素关键来源解析 邓文博, 刘文娟 (38)

北京市PM_{2.5}-O₃复合污染数值响应解析 刘添强 (48)

长三角区域人为源活性挥发性有机物高分辨率排放清单 田俊杰, 丁祥, 安静宇, 李旻, 王鑫, 黄成 (58)

南京北郊工业乡村混合区秋季边界层VOCs垂直分布特征 王泰, 朱彬, 施双双, 安俊琳, 唐贵谦, 徐家平 (66)

广西柳城县VOCs组分特征、来源及其对臭氧生成的敏感性 吴影, 莫招育, 吴琴琴, 陆嘉晖, 毛敬英, 陈雪梅, 粟少丽, 覃纹, 刘慧琳, 韦敏 (75)

城市臭氧污染特征与高影响气象因子:以苏州为例 何琰, 林惠娟, 曹舒娅, 宋璟璐, 孙伟, 熊宇 (85)

华北平原周县人为源氨排放清单及分布特征 康嘉慧, 孟凡磊, 刘学军, 许稳 (94)

WRF模式最优参数化方案在不同空气质量模式中的应用 杨景朝, 蒋兴文, 伯鑫, 王刚, 冯勇 (104)

西安市春季生物气溶胶的分布特征和健康影响 魏军强, 杨柳, 沈振兴, 王秀茹 (118)

青岛近海不同天气下生物气溶胶中细菌浓度及存活率分布特征 魏文淑, 祁建华, 常成 (127)

中国沉积物多环芳烃的时空分布及驱动因子 黄柱良, 蔡家伟, 王儒威 (138)

长江口近岸地区抗生素抗性基因与微生物群落分布特征 徐秋鸿, 刘曙光, 娄厦, Larisa Dorzhieva Radnaeva, Elena Nikitina, Makhinov Aleksei Nikolavich, Araruna José Tavares, 金宇辰, 李鑫 (158)

人类活动影响下的高原湿地四环素类抗生素抗性基因赋存与微生物群落共线性 秦荣, 喻庆国, 刘振亚, 王行 (169)

我国东南地区饮用水源地多种农药的赋存特征及健康风险评估 何姝, 董慧峰, 任南琪 (180)

珠海市中部主要供水水库沉积物重金属时空分布与风险评价 王思瑞, 张坤锋, 昌盛, 张茉莉, 付青 (189)

苏州水网地区河道底泥的重金属分布特征与污染风险 郑敏慧, 白冬锐, 张涛, 陈坦, 王洪涛, 杨婷, 张冰, 金军 (198)

长三角典型城郊流域生物可降解性有机质的分布及影响因素 吴文雨, 马菁晨, 杨磊, 李敏, 唐剑锋 (210)

过水性湖泊水质长期演变趋势及驱动因素:以骆马湖为例 黄雪滢, 高鸣远, 王金东, 王明明, 陈思恩, 龚志军, 王腊春, 蔡永久 (219)

渭河微塑料污染现状与风险评价 山泽萱, 张妍, 张成前, 时鹏, 张鑫 (231)

不同颜色聚碳酸酯塑料对附着藻类生长和群落结构的影响 王梦雪, 尹思成, 王振方, 陈锦贤, 张玮, 王丽卿 (243)

苦草叶表附和浮游细菌群落多样性格局及其影响因素 张梅婷, 刘晋仙, 苏嘉贺, 柴宝峰 (252)

基于16S rRNA测序技术的青藏高原河流细菌群落多样性 璩伟卿, 张博美, 黄雪, 任泽, 高红凯 (262)

基于eDNA的硅藻群落时空异质性及生态健康评价 姜山, 张颜, 李飞龙, 张效伟 (272)

三峡库区澎溪河河段间水华程度差异及其机制 罗晓佼, 张妍, 黄伟, 胡鹏飞, 谭炳圆, 张磊 (282)

自然降雨下蔬菜土壤侵蚀及氮素流失特征 宁嘉丽, 黄艳芬, 李桂芳, 陈钊柱, 王坚桦 (293)

绿色、蓝色和蓝-绿屋顶径流水质特征 章孙逊, 张守红, 闫婧, 王恺, 杨航, 王任重, 张文龙, 李华林 (303)

基于地理探测器的山西省2000~2020年NPP时空变化特征及驱动力分析 邵嘉豪, 李晶, 闫星光, 马天跃, 张瑞 (312)

2000~2020年西南地区植被NDVI时空变化及驱动机制探究 徐勇, 戴强玉, 黄雯婷, 盘钰春, 郑志威, 郭振东 (323)

青海湖周边地区表层土壤重金属含量和抗性基因丰度及相关性 胡石磊, 瞿剑里, 章丽, 赵美蓉 (336)

四川盆地典型农耕地土壤重金属含量、污染及其影响因素 刘属灵, 吴梅, 刘志远, 刘双燕, 刘永林, 赵家宇, 刘怡 (347)

宁夏引黄灌区农田土壤重金属生态风险评价及来源解析 陈林, 马琨, 马建军, 王金保, 李虹, 贾彪, 倪细炉, 马进福, 梁翔宇 (356)

铜冶炼场周边土壤重金属污染特征与风险评价 彭驰, 刘旭, 周子若, 姜智超, 郭朝晖, 肖细元 (367)

西南地区典型土壤酸化特征及其与重金属形态活性的耦合关系 凌云, 刘汉燧, 张小婷, 魏世强 (376)

外源Cd在不同类型土壤中的稳定化特征 王港, 余海英, 黄化刚, 张路, 左洪菊 (387)

基于有效硒的富硒土壤阈值及有效硒的影响因素 王莹, 马彦斌, 王泽晶 (395)

基于成土母质分区的土壤-作物系统重金属累积特征与健康风险评价 陈子万, 许晶, 侯召雷, 彭敏, 杨帆, 陈杰, 徐永强, 杨树云, 李家云, 于林松 (405)

贵州省旱地土壤和玉米As含量特征及其种植安全性评估 黄凤艳, 周浪, 宋波, 虎瑞, 吴勇, 王佛鹏, 张云霞 (415)

象草与苦楝/构树间作修复矿区重金属污染土壤潜力 王小慧, 肖细元, 郭朝晖, 彭驰, 王小燕 (426)

1株高耐性肠杆菌的筛选及对镉、砷同步钝化 尹雪斐, 刘玉玲, 伍德, 黄蔚铭, 张朴心, 铁柏清 (436)

黄土陵区人工刺槐林土壤有机碳矿化特征及其与有机碳组分的关系 朱玉帆, 刘伟超, 李佳欣, 苏玉博, 简俊楠, 杨改河, 任成杰, 冯永忠, 任广鑫, 王晓娇, 韩新辉 (444)

设施农业土壤磷素累积迁移转化及影响因素 方兵, 陈林, 王阳, 祝亚飞, 王瑞, 宋桂芳, 刘俊, 杨斌, 张世文 (452)

优化秸秆管理提高玉米农田碳氮效率与经济效益 王良, 钱欣, 高英波, 张慧, 刘开昌, 陈国庆, 李宗新 (463)

缓控释肥深施对黏性土壤麦田氮素去向的影响 侯朋福, 薛利祥, 袁文胜, 曹帅, 刘颖多, 薛利红, 杨林章 (473)

黄河下游冲积平原轮作休耕农田土壤真菌群落结构与功能 南镇武, 刘柱, 孟维伟, 代红翠, 徐杰, 王娜, 刘灵艳, 王旭清, 刘开昌 (482)

红壤区退化林地表土真菌群落结构对土壤改良措施的响应 管鸿智, 黄荣珍, 王金平, 朱丽琴, 邹显花, 姬绍晖, 林丽靖, 房焕英, 杨梦佳, 廖迎春 (494)

半干旱-亚湿润干旱沙区樟子松根内真菌群落结构和功能时空动态特征 赵珮杉, 郭米山, 高广磊, 丁国栋, 张英, 任悦 (502)

基于QMEC分析的青藏高原不同类型冰川前缘地土壤微生物功能潜力 张洁洁, Anders Priemé, 陈显轲, 周汉昌, 张沁唯, 庄绪亮, 秦翔, 庄国强, 马安周 (512)

中国主粮作物生物炭产量效应的Meta分析 于滨杭, 姬建梅, 王丽宇, 刘静, 高欢, 刘丹 (520)

生物炭影响抗生素在土壤中环境行为的Meta分析 李经涵, 张建强, 夏丽琼, 郑世界, 杨红薇, 何杨 (531)

不同农作物秸秆原料制备生物炭特性及重金属浸出行为 李家康, 邱春生, 赵佳奇, 王晨晨, 刘楠楠, 王栋, 王少坡, 孙力平 (540)

中国县城碳排放时空演变与异质性 宋苑震, 曾坚, 王森, 梁晨 (549)

近20年重庆市主城区碳排放的时空动态演进及其重心迁移 向书江, 杨春梅, 谢雨琦, 王丹, 王子芳, 高明 (560)

中国1991~2018年突发环境事件时空特征及影响因素 余光辉, 王非凡, 刘贤赵, 李文慧, 向云波 (572)

季铵盐抗菌剂在环境中的迁移转化行为及其毒性效应 张利兰, 覃存立, 钱瑶, 易美玲 (583)

《环境科学》征订启事(29) 《环境科学》征稿简则(57) 信息(443, 481, 530)

中国 1991 ~ 2018 年突发环境事件时空特征及影响因素

余光辉, 王非凡*, 刘贤赵, 李文慧, 向云波

(湖南科技大学地球科学与空间信息工程学院, 湘潭 411201)

摘要: 探究我国近几十年突发环境事件的时空变化规律和影响因素, 能提高突发环境事件风险监管的有效性和精准性. 基于 1991 ~ 2018 年 31 省市的突发环境事件数据, 运用空间自相关性和时空地理加权回归模型分析突发环境事件的空间依赖关系和影响因素作用的时空异质性. 结果发现: ① 突发环境事件在 1991 ~ 1994 年和 2001 ~ 2014 年两个时间段内存在显著的空间正相关性, 且空间集聚性在逐渐增强, 即中国省域突发环境事件存在明显的空间依赖特征而非完全随机状态. ② 突发环境事件存在着非均衡的发展格局, “低-低”类型的省份集中在西部和东北地区, 数量增多后减少; 而“高-高”类型的省份表现为由东部、南部向中西部转移, 数量减少后增多. 各省市突发环境事件在空间集聚中的作用不同且不断变化. ③ 各影响因素对突发环境事件的作用在不同时期和不同省域具有明显的时空异质性. 经济发展水平对突发环境事件的影响表现为“负-正-负”模式; 产业结构对突发环境事件的影响表现为“负-正”模式; 污染排放对突发环境事件的影响整体来看呈现“正-负-正”模式; 环境信访对突发环境事件的发生多表现为正向影响; 法制环境对突发环境事件的负向影响在逐渐减弱; 污染治理对省域突发环境事件的负向影响逐渐明显.

关键词: 突发环境事件; 影响因素; 时空异质性; 空间自相关; 时空地理加权回归; 中国

中图分类号: X22 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2023)01-0572-11 **DOI:** 10.13227/j.hjxx.202201182

Spatiotemporal Characteristics and Influencing Factors of Environment Emergency Incident in China from 1991 to 2018

YU Guang-hui, WANG Fei-fan*, LIU Xian-zhao, LI Wen-hui, XIANG Yun-bo

(School of Earth Sciences and Spatial Information Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Research on the spatiotemporal characteristics and influencing factors of environmental emergency incidents in China in recent decades can improve the effectiveness and accuracy of risk supervision of environmental emergency incidents. Based on the data of environmental emergency incidents in 31 provincial regions in China from 1991 to 2018, this study used spatial autocorrelation analysis and a geographically and temporally weighted regression model to analyze the spatial dependence of environmental emergency incidents and the temporal and spatial heterogeneity of influencing factors. The results showed that: ① there was a significant positive spatial correlation between environmental emergency incidents during 1991-1994 and 2001-2014, and the spatial agglomeration was gradually increasing, that is, environmental emergency incidents existed in the provinces of China; clearly, the space depended on the characteristics and was not completely random. ② There was an unbalanced development pattern of environmental emergency incidents in China. The provinces with “L-L” agglomeration were concentrated in the western and northeastern regions, and the number increased and then decreased; by contrast, the ones with “H-H” agglomeration shifted from the east and south to the central and western regions, and the number increased following the decrease. The role of environmental emergency incident in different provincial regions in the spatial agglomeration was different and constantly changing. ③ The effects of various influencing factors on environmental emergency incidents had obvious temporal and spatial heterogeneity in different periods and different provinces. The impact of the level of economic development on environmental emergency incidents was shown as a “negative-positive-negative” pattern. The impact of industrial structure on environmental emergency incidents was shown as a “negative-positive” pattern. The overall impact of pollution emissions on environmental emergency incident presented a “positive-negative-positive” pattern. Environmental letters and visits had a positive impact on the occurrence of environmental emergency incidents. The negative impact of the legal environment on environmental emergency incidents was gradually weakening. The negative impact of pollution control on environmental emergency incidents at the provincial level has gradually become apparent.

Key words: environmental emergency incident; influencing factors; spatiotemporal heterogeneity; spatial autocorrelation; geographically and temporally weighted regression; China

近年随着经济快速发展,工业化和城市化进程的大力推进,影响恶劣的突发环境事件时有发生^[1]. 突发环境事件区别于普通的环境污染事件,它发生突然且不容易控制,会产生大量的污染物,对生态环境产生极其恶劣的影响,威胁到人类生命和生产安全^[2,3],甚至引发环境群体性事件,进而形成社会风险^[4,5]. 如何在保持经济快速发展的同时改善环境质量,对突发环境事件进行科学有效地防控,是中国乃至全球共同面临的巨大挑战.

突发环境事件发生的原因主要是生产安全事

故,其次是交通运输事故,另外企业违法排污和自然灾害也占一定比例^[6]. 目前,对突发环境事件的研究集中在事件的演化规律^[7-9]、应急管理^[10,11]、影响及评估^[12,13]和防问题与防范^[14,15]等方面. 当前研究探讨了多种类型突发环境事件产生污染的作用规

收稿日期: 2022-01-19; 修订日期: 2022-04-25

基金项目: 国家社科规划一般项目(15BSH038); 湖南省自然科学基金项目(2021JJ30246); 湖南省哲学社会科学规划基金重点项目(21ZDB019)

作者简介: 余光辉(1976~),男,博士,教授,主要研究方向为环境管理和环境风险, E-mail: ygh@hnust.edu.cn

* 通信作者, E-mail: wf390@163.com

律;逐步完善了突发环境事件的预警和应急管理体系;客观评价了现有突发环境事件防范治理中存在的问题^[16,17]。但现有研究对突发环境事件时空特征研究所选取的时间范围较短;突发环境事件的影响因素很复杂而目前研究选取的影响因子较为简单,集中在经济水平^[18]、污染排放^[19,20]、环境监管^[18,19,21]和环境控制^[19,22]等方面;用于分析突发环境事件影响因素的方法有相关性分析^[20,23]、空间面板计量模型^[19]和空间地理探测器^[18,24]等,对突发环境事件影响因素作用的时空异质性分析有待加强。

时空地理加权回归模型(geographically and temporally weighted regression, GTWR)可以同时研究对象的空间和时间非平稳性进行建模,具有较高的拟合优度和时空解释能力^[22],已经广泛应用于房地产^[25,26]、生态环境^[27~29]和医学^[30]等多个领域。由于研究期的多数时间段内中国各省市突发环境事件都具有显著的空间依赖关系,又考虑到此次研究为 28 a 的长时间序列,因此选取同时考虑时间效应和空间效应的时空地理加权回归模型进行突发环境事件影响因素作用的相关探究,在影响因素方面,除了之前学者选取的经济水平因素、污染排放因素、环境监管因素和环境控制因素外,本研究使用市场化指数中的市场中介组织的发育和法律制度环境指数来衡量影响突发环境事件的法制环境因素,以此来分析自 1997 年我国的法制建设快速发展后法制环境对突发环境事件产生的影响。总之,本研究基于长时间序列 1991 ~ 2018 年我国 31 省突发环境事件,运用空间自相关和时空地理加权回归模型对突发环境事件空间依赖关系和影响因素作用的时空异质性进行分析,以期为政府预防突发环境事件发生、风险监控提供理论支持和政策建议。

1 材料与方法

1.1 研究数据

选取中国 31 个省、自治区和直辖市(中国香港、澳门特别行政区以及台湾省资料暂缺)作为此次的研究区域。研究主体突发环境事件使用突发环境事件的发生次数来衡量。对研究中涉及到的数据来源的说明如表 1 所示。考虑到长时间序列数据中价格波动产生的影响不可忽视,研究中使用的所有经济数据都以 2000 年为基期进行折算。

1.2 研究方法

1.2.1 探索性空间数据分析

(1)全局自相关 Moran 指数(I)用来分析全国范围内突发环境事件空间自相关的整体水平,反映

表 1 数据来源

Table 1 Data sources

数据项	文献
突发环境事件次数; GDP; 第二产业产值; 工业污染源治理投资总额	[31]
人均 GDP	[31,32]
污染物排放总量(工业废水、废气和固体废弃物); 因环境污染来信和电话总数	[31,33]
市场中介组织的发育和法律制度环境指数	[34,35]

了突发环境事件的空间集聚和关联程度。

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j \mathbf{W}_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_i \sum_j \mathbf{W}_{ij} \right) \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

$(I \in [1, -1])$

式中, x_i 为第 i 个省份突发环境事件的次数, x_j 为第 i 个省份的临近省份 j 的突发环境事件的次数, n 为省域的个数(本研究 $n = 31$); \mathbf{W}_{ij} 为空间权重矩阵,本研究设定为海南与广西和广东两省相邻。

Moran 指数值取决于突发环境事件在随机模式下的期望值 $E(I)$:

$$E(I) = -1/(n - 1) \quad (2)$$

式中,当点的数量很大时,则 $E(I)$ 接近于 0。当 $I < 0$ 时,研究区范围内突发环境事件表现为空间负相关关系;当 $I > 0$ 时,研究区范围内突发环境事件表现为空间正相关关系;当 $I = 0$ 时,研究区范围内突发环境事件表现为随机分布。

(2) Moran 散点图 通常用来描述变量与其空间滞后向量之间的相关关系,反映了空间单元观察值之间的关联和差异程度。横坐标为各省突发环境事件的观测值,纵坐标为某省与其邻省突发环境事件的空间平均值(亦称空间滞后值)。共由 4 个象限组成,可将突发环境事件的空间分布分为“高-高”“高-低”“低-高”和“低-低”这 4 种集聚类型。

1.2.2 时空地理加权回归模型(GTWR)

时空地理加权回归模型是对地理加权回归模型的改进,引入时间维度,同时考虑研究对象的空间和时间特性,通过拟合地理关系中的时空非平稳性来深入挖掘信息。

Huang 等^[36]对时空地理加权回归模型的具体定义如下:

$$y_i = \alpha_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^n \alpha_k(u_i, v_i, t_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (3)$$

式中, (u_i, v_i, t_i) 为第 i 个省份($i = 1, 2, \dots, m$; $m = 31$)的空间和时间位置信息; y_i 为第 i 个省份的因变量,即突发环境事件的次数; x_{ik} 为第 i 个省份的第 k 个自变量, $\alpha_0(u_i, v_i, t_i)$ 为第 i 个省份所在位置回归模型的时空截距项; $\alpha_k(u_i, v_i, t_i)$ 为第 i 个省份

所在位置回归模型第 k 个影响因素的回归系数项; ε_i 为第 i 个省域时空地理加权回归模型的随机误差项。

2 结果与讨论

2.1 突发环境事件的时空特征

2.1.1 突发环境事件时间变化特征

1991~2018年期间全国突发环境事件数量如图1所示。28年间的突发环境事件呈下降趋势,最大值和最小值出现在1991年和2018年,分别为3038次和286次,平均每年发生约1314次,其变化趋势可分为4个阶段。第一阶段:高发期(1991~1994年),这一阶段每年的突发环境事件都在2600次以上,1991年更是高达3038次,是突发环境事件的高发期;第二阶段:波动期(1995~2002年),该阶段发生的突发环境事件数量年际波动变化较大;第三阶段:下降期(2003~2006年),这一阶段突发环境事件数量逐年下降,从2003年的1843次下降至2006年的842次;第四阶段:稳定期(2007~2018年),该阶段突发环境事件数量较前3个阶段有明显下降,平均每年发生438.92次。

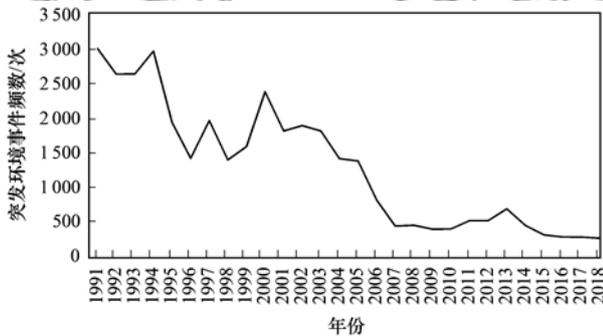


图1 1991~2018年中国突发环境事件发生数

Fig. 1 Number of environmental emergencies in China from 1991 to 2018

2006年是整个研究期前三阶段和第四阶段稳定期的转折点,突发环境事件的数量在2006年之后明显减少,这可能与2005年《国家突发环境事件应急预案》的颁布和实施有较大关系,其使突发环境事件的应急组织体系逐渐完善,明确了各级部门的职责;开展信息监测和风险评估,进行突发环境事件的监测预警;完善了突发环境事件的分级响应机制,设定了应急响应程序^[37]。这为防范突发环境事件、降低和减小突发环境事件的恶性影响起到重要作用。2012年11月,党的“十八大”提出要大力推进生态文明建设,并首次在中国特色社会主义事业总布局中纳入生态文明建设,这是第四阶段稳定期从2013年开始突发环境事件逐年下降的重要原因。

2.1.2 突发环境事件空间依赖格局

(1) 全局空间依赖格局 通过Geoda计算得出1991~2018年突发环境事件的全局Moran指数,随机状态下的期望值 $E(I)$ 为-0.033。全局Moran指数和显著性水平如图2所示。Moran指数变化分为以下3个阶段。第一阶段:1991~2000年,这一阶段只有1991~1994年的Moran指数在0.1的显著性水平下显著,且均大于随机模式下的期望值 $E(I)$,突发环境事件呈空间正相关。第二阶段:从2001~2014年,该阶段各年突发环境事件的Moran指数均大于 $E(I)$,除2007年的其余年份均通过显著性水平检验,即该阶段除2007年外均存在显著的空间正相关性。全局Moran指数大致呈先波动下降后上升的态势,从2001年的0.1593波动下降至2011年的0.0949,然后在2012年急剧上升至0.2482,之后有小幅波动直到2014年达到最大值0.2736,说明这期间突发环境事件的空间集聚性在逐渐增强。第三阶段:2015~2018年,虽然该阶段突发环境事件Moran指数都大于 $E(I)$,但未能通过显著性检验,即突发环境事件呈随机分布。

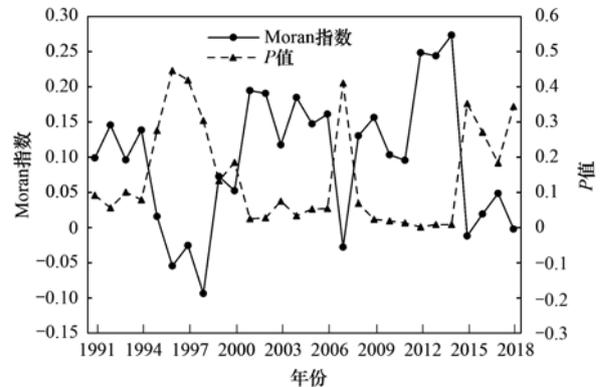


图2 1991~2018年中国突发环境事件全局Moran指数和显著性水平

Fig. 2 Global Moran index and significance level of environmental emergencies in China from 1991 to 2018

总的来说,28年间突发环境事件除了少数年份外,在大多数年份中都表现为空间正相关性,通过0.1显著性检验的年份均呈空间正相关性。而且这些年份省域突发环境事件的空间集聚性在逐渐增强,也就是说虽然突发环境事件有一定的不确定性和突发性,但31个省、自治区和直辖市的突发环境事件在空间分布上并非完全随机和有较为明显的空间依赖性。

(2) 局部空间依赖格局 基于1991~2018年省域突发环境事件的全局Moran指数的阶段性特征,选取1991、1997、2001、2008、2014和2018年这6个时间节点来进行突发环境事件的局部空

间自相关分析. 将以上 6 个年份的突发环境事件 Moran 散点图的 4 种集聚类型进行空间分布可视化表示(如图 3 所示). 统计各年份 4 种集聚类型的数量可以发现, 6 a 中各年呈现空间正相关(“高-高”和“低-低”类型)省份占比为 55% ~ 65%, 各年呈现空间负相关(“高-低”和“低-高”类型)的省份为 35% ~ 45%, 说明突发环境事件在省域之间的发展并不均衡, 多数突发环境事件高发省域会和同种性质省域(高发区)相邻, 即相邻省域之间会相互影响, 同种性质的省域趋于集聚. 其

中“低-低”类型省份数量先增多后减少; “高-高”类型省份数量先减少后增多. 2008 年“高-高”类型数量达到最少, 应与“绿色奥运”理念对中国生态环境建设的推动作用有关.

属于突发环境事件的“高-高”类型的省份大多集中在沿海地区和中部; “低-低”类型的省份集中在西部和东北部地区, 其中一直属于“低-低”类型的省份有新疆、西藏、青海、黑龙江和吉林. 整个研究期内 4 种类型所包括的省份不断变化, 是一个动态的过程.

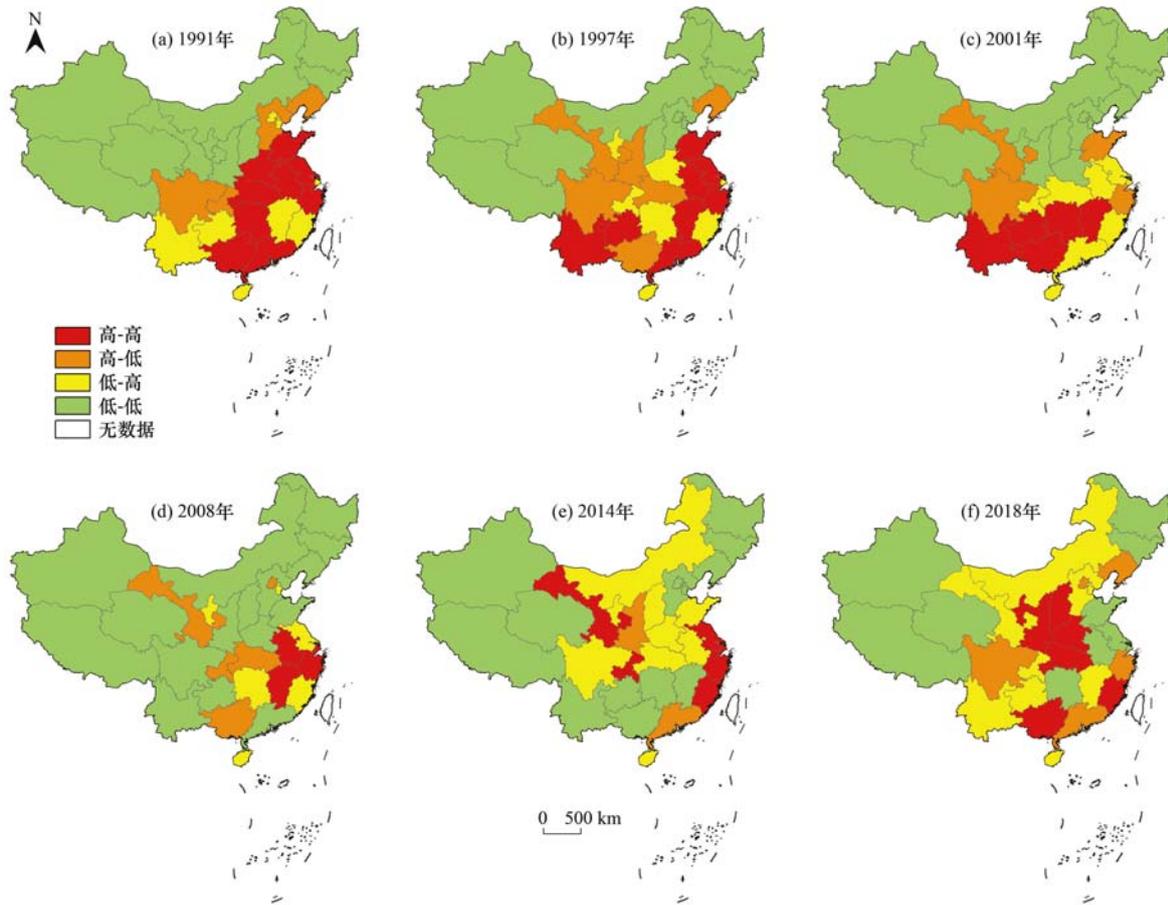


图 3 中国突发环境事件 Moran 散点空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of Moran scattered points of environmental emergencies in China

2.2 突发环境事件的影响因素

2.2.1 变量选取

目前已有一些学者对突发环境事件的影响因素进行研究, 都认为突发环境事件的发生受多种因素的影响且作用机制复杂. 由于本研究时间跨度较大, 有些年份的数据统计口径不一致, 较早年份的部分解释变量甚至难以获取. 考虑到以上因素, 本研究按照各类因素对突发环境事件的潜在影响程度、数据的可比性和可获取性, 从经济发展水平、产业结构、污染排放强度、污染治理水平、法制环境和环境信访强度等方面分析对突发环境事件的作用, 分别选取人均 GDP(元)、第二产业产值与 GDP 的比值、

工业废气废水固体废物污染排放总量(万 t)、工业污染源治理投资总额与 GDP 的比值、市场中介组织的发育和法律制度环境指数、因环境污染来信和电话总数(个)及企业数.

2.2.2 模型处理和评价

考虑到各解释因素间会存在量纲差异, 为了消除量纲影响对数据进行标准化处理. 此外对各解释因子做共线性检验, 将方差膨胀因子大于 10 的因子剔除. 由于表示法制环境的市场化指数来源于 2011 和 2016 两个年度报告, 且两个报告数据基期不同, 故以 2008 年为界, 分为 1997 ~ 2007 年和 2008 ~ 2017 年两个时间段来研究突发环境事件各解释变

量的影响,研究期各时间段选取的解释变量如下:1991~1996年,人均GDP、第二产业产值与GDP的比值、因环境污染来信和电话总数(个)、工业废气废水固体废物污染排放总量(万t)和企业数等5个解释变量;1997~2017年,人均GDP、第二产业产值与GDP的比值、市场中介组织的发育和法律制度环境指数、因环境污染来信和电话总数(个)、工业污染源治理投资总额与GDP的比值和工业废气废水固体废物污染排放总量(万t)这6个解释变量。另外,时空地理加权回归模型构建中需要的各省

市空间位置使用对应省会城市的经纬度坐标来表示。

利用GTWR模型分别对1991~1996、1997~2007和2008~2017年这3个时间段的解释变量进行分析,得到各解释变量的回归系数。各时间段的模型评价指标值如表2所示。与OLS和GWR方法进行对比可以发现,GTWR模型在各时间段的AICc值有明显的减小,同时拟合优度 R^2 有显著的提高。GTWR模型对各时间段突发环境事件解释变量的分析比OLS和GWR更加准确,拟合度更好。

表2 模型评价指标值

Table 2 Model evaluation index value

时间段模型	1991~1996年			1997~2007年			2008~2017年		
	GTWR	GWR	OLS	GTWR	GWR	OLS	GTWR	GWR	OLS
带宽	0.200	0.183		0.115	0.115		0.115	0.115	
AICc	378.3	390.7	390.4	841.1	839.0	945.9	647.9	723.1	829.5
R^2	0.693	0.624	0.518	0.687	0.530	0.100	0.802	0.598	0.185
调整 R^2	0.685	0.613		0.682	0.522		0.798	0.590	

2.2.3 影响因素的时间演化特征

1991~2017年突发环境事件各影响因素回归系数的时间变化箱型图如图4所示。不同地区的影响因素和突发环境事件表现出不同的相关关系,即各影响因素对突发环境事件的作用效果不同,同一要素对不同时期突发环境事件的作用也有所不同。整合此次研究中3个时间段内各影响因素对突发环境事件的时间变化特征可得出:在整个研究期内,经济发展水平对突发环境事件的影响以2007年和2015年为界表现为“负-正-负”模式;产业结构对突发环境事件的影响以2013年为界表现为“负-正”模式;污染排放量对突发环境事件的影响以2008年和2013年为界呈现为“正-负-正”模式;环境信访对突发环境事件的作用多表现为正向影响;法制环境对突发环境事件的负向影响在逐渐减弱;污染治理对省域突发环境事件的负向影响逐渐明显。

2.2.4 突发环境事件影响因素的时空异质性

(1) 经济发展对突发环境事件的影响 经济发展水平回归系数反映了不同省份经济发展对本省突发环境事件的发生及邻近省域经济发展的外溢效应之和,如图5所示。在研究前期(1991~1996年)经济发展水平对各省域突发环境事件多表现为明显的抑制作用(新疆除外),经济发展对突发环境事件负向影响较大的地区集中分布在中国南部,有广东、广西、云南、贵州和海南等,回归系数在 $-0.446 \sim -0.359$ 之间,研究区内各省市由南至北经济发展水平的负向影响越来越小,说明在南部省域突发环境事件受经济发展水平影响较大,北部省域突发环境事件受经济发展水平影响较小。研究中期(1997

~2007年)仅有四川、湖南、吉林和辽宁这4省的回归系数均值为正,其余各省域经济发展水平的回归系数均值为负。研究后期(2008~2017年),经济发展水平表现为负向抑制作用的省市数量逐渐减少,研究后期回归系数正负值以“胡焕庸线”为界,回归系数为负值的省域主要分布在界线的西北部,负向影响较大的有青海和甘肃两省,回归系数在 $-1.023 \sim -0.754$ 之间;系数为正值省域主要分布于界线的东南部,其中福建省正向影响回归系数最大为0.680。

(2) 产业结构对突发环境事件的影响 产业结构回归系数反映了不同省份的产业结构对本省突发环境事件的发生及邻近省域产业结构的外溢效应之和,如图6所示。研究前期和中期全国各省份产业结构对突发环境事件的作用多为负向影响。研究前期除西藏、新疆和云南这三省外其余省域均表现为负向影响,回归系数在 $-0.115 \sim 0$ 之间,其中影响较大的有黑龙江和吉林。研究中期影响较大的省份在中部地区的陕西、四川、重庆、湖北、湖南、江西和贵州等7个省市,回归系数在 $-0.670 \sim -0.393$ 之间。

工业化水平较高的地区,随着产业结构的不断调整,淘汰落后产能,有较为先进的技术设备、专业化的员工和更加严格的标准规范,因此在有高产值的同时不会滋生更多的突发环境事件,甚至会抑制突发环境事件数量增多。相反,工业化水平低的地区更有可能产生较多的突发环境事件。前期和中期产业结构表现为正相关关系的区域集中在西部和东北地区。技术对产业结构影响较大,能够促使产业结构

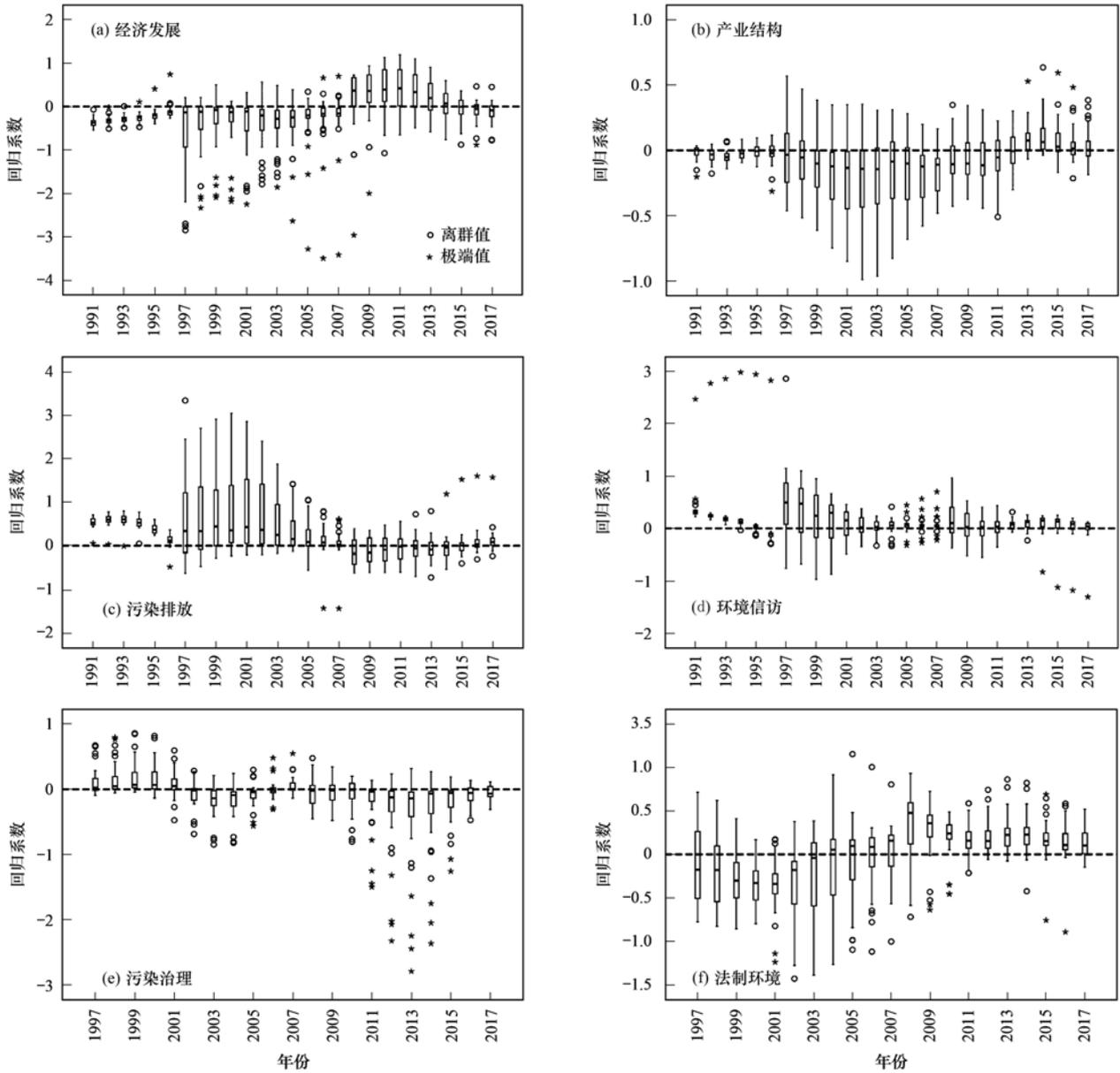


图 4 1991 ~ 2017 年 GTWR 回归系数时间变化箱型图

Fig. 4 Box plot of time variation of GTWR regression coefficient from 1991 to 2017

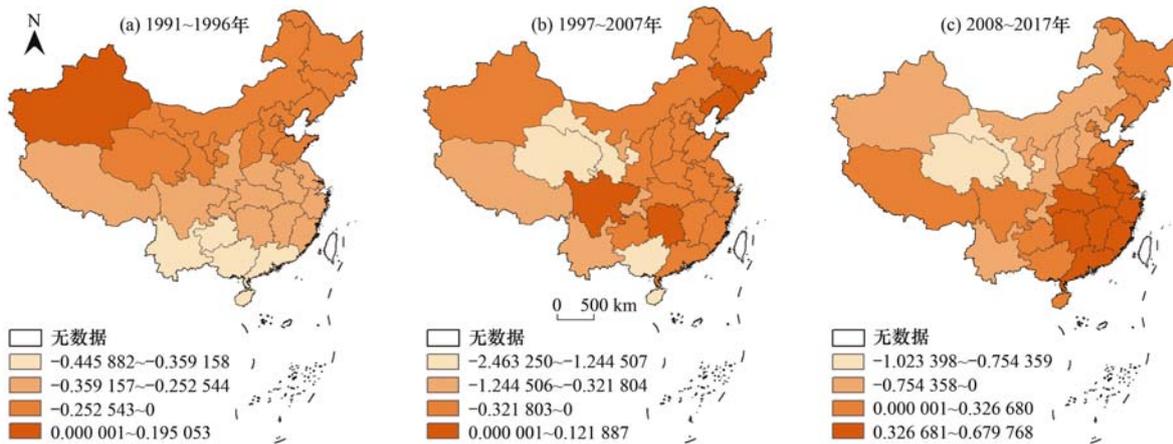


图 5 1991 ~ 2017 年经济发展水平回归系数

Fig. 5 Regression coefficient of economic development level from 1991 to 2017

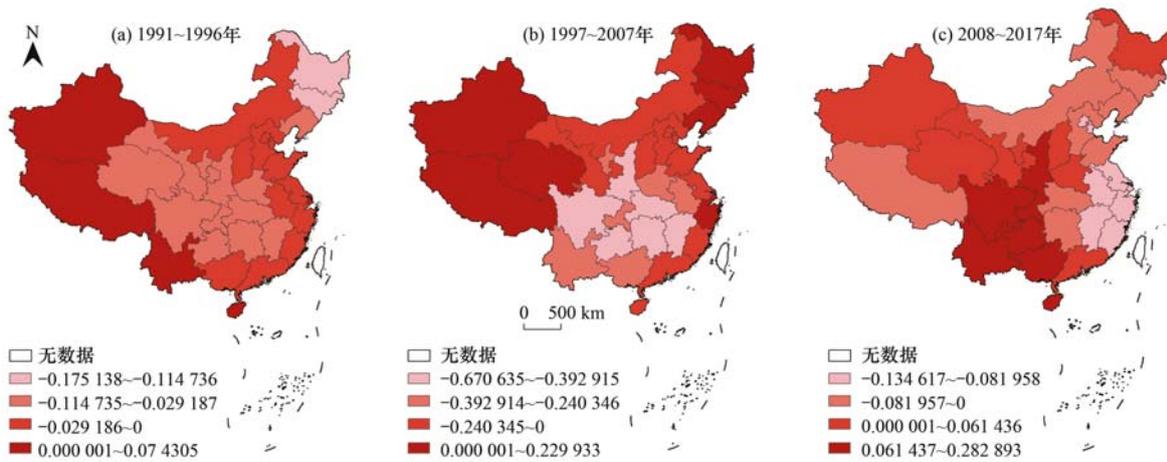


图 6 1991 ~ 2017 年产业结构回归系数

Fig. 6 Regression coefficient of industrial structure from 1991 to 2017

高级化,是促使产业发展的直接动力^[38],因此在研究后期,东部江苏、浙江和上海等地区由于拥有较为先进的技术,工业化水平高,产业结构表现为负向抑制作用,由东至西负向影响递减,系数在 -0.082 ~ 0 之间.而中西部地区的产业结构表现为正向加剧作用,集中分布在中部和西部共 15 个省市,回归系数分布在 0 ~ 0.283 之间,其中山西、四川、重庆、贵州、云南和广西等省份产业结构的回归系数均由负转正表现为较强的正向促进作用,正向影响最大的为陕西.可能与中部崛起战略中对这些地区进行产业转移和产业扶持,希望提升效益产值但未匹配相应的软硬件设施 and 专业化人才,这就增加了突发环境事件发生的可能性.

(3) 环境信访对突发环境事件的影响 环境信访是指当地关于环境污染和生态破坏类问题的来信数和电话网络投诉数,在某种程度上能反映突发环境事件变化的趋势.信访量越多,该地区突发环境事件数越多,影响越严重.环境信访回归系数反映了不同省份的环境信访对本省突发环境事件发生及邻近

省域环境信访的外溢效应之和,如图 7 所示.研究前期,所有省域环境信访对突发环境事件的影响均表现为正向影响且影响程度由东向西递增.研究中期,东部和北部多数省域环境信访对突发环境事件表现为正向促进作用,回归系数分布在 0 ~ 0.376 之间,少数省域环境信访对突发环境事件表现为负向抑制作用,主要分布在东北和西部,回归系数分布在 -0.343 ~ 0 之间.研究后期,正向影响较大的省域分布在东南、西南和北部地区,在空间上表现为中部地区正向影响小,向四周正向影响逐渐增大,回归系数在 0 ~ 0.226 之间.

(4) 污染排放对突发环境事件的影响 废水、废气和固体废物的处理技术较差,工业企业的环保意识不足,使得污染排放量的增多会加剧突发环境事件的发生.污染排放回归系数反映了不同省份的污染排放对本省突发环境事件的发生及邻近省域污染排放的外溢效应之和,如图 8 所示.研究前期污染排放与突发环境事件均表现为正相关关系.空间分布整体上表现出一定的阶梯分布特征,从南向北正

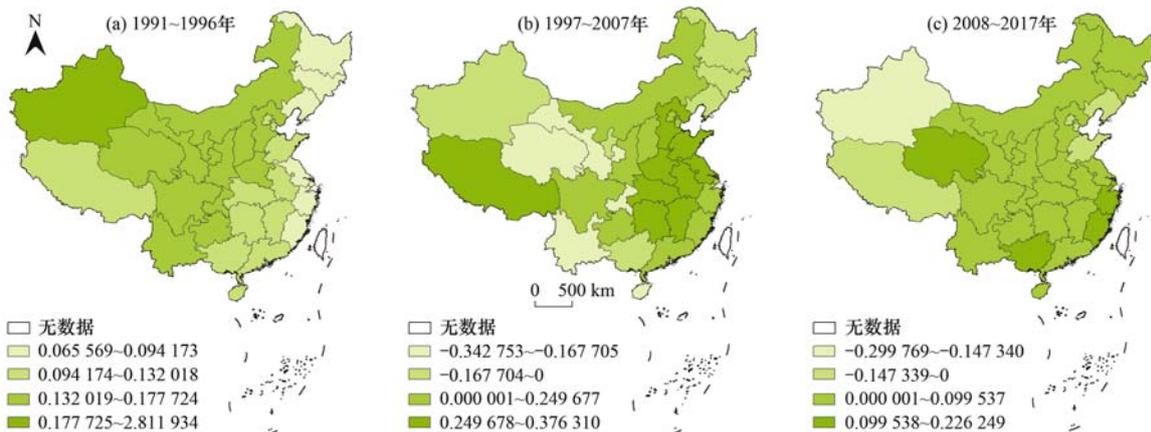


图 7 1991 ~ 2017 年环境信访回归系数

Fig. 7 Regression coefficients of letters and visits on environmental issues from 1991 to 2017

向影响逐渐减小. 研究中期, 经济发展水平较高的地区会率先优化污染物处理技术, 提升污染达标排放率, 减少突发环境事件的发生. 上海、江苏和浙江等东部省市, 回归系数在 $-0.17 \sim 0$ 之间, 以上省市污染排放的增多对突发环境事件的发生有负向抑制作用; 其余省市污染排放与突发环境事件呈正相关关系, 回归系数在 $0 \sim 1.953$ 之间, 其中正向影响较大

的区域在我国西南部和南部, 正向影响最大的省份为广西壮族自治区. 研究后期, 污染排放对突发环境事件表现为负向抑制作用的省份愈加增多, 区域从原先的东部扩展到了北至内蒙古、西至四川、南至海南的广大中西部地区, 回归系数分布在 $-0.43 \sim 0$ 之间. 污染排放的负向抑制作用在空间分布上表现为以福建为中心向周围辐散式递减的特点.

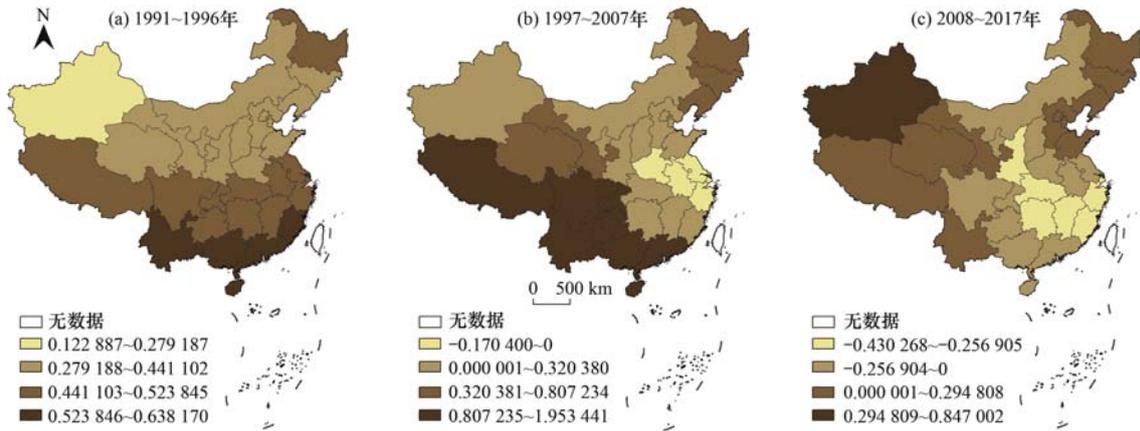


图 8 1991 ~ 2017 年污染排放回归系数

Fig. 8 Regression coefficient of pollution emissions from 1991 to 2017

(5) 法制环境对突发环境事件的影响 法制环境回归系数反映了不同省份的法制环境对本省突发环境事件发生及邻近省域法制环境的外溢效应之和, 如图 9 所示. 1997 ~ 2007 年期间多数省域表现为负相关关系, 即良好的法制环境能够有效抑制突发环境事件. 负向影响较大的区域集中在中国南部的海南、广东、广西、云南、湖南、贵州和四川等地, 回归系数在 $-0.86 \sim -0.438$ 之间, 在空间分布上表现为从该区域向北各省市的法制环境负向抑制作用递减. 1997 年, 党的“十五大”报告明确提

出“依法治国是党领导人民治理国家的基本方略”, 从此中国进入了法制建设的快速发展阶段. 1997 ~ 2007 年除东部和西部少数省市外, 其余各地法制环境与突发环境事件均表现为负相关关系, 即法制环境的优化有利于突发环境事件数量的减少. 该时期为突发环境事件发生的波动期和下降期, 突发环境事件数量相对较多. 在从 1997 ~ 2001 年的 5 年期间内, 法制环境与突发环境事件的发生表现为负相关关系的省份数量渐增, 2001 年增至 27 个省份, 说明中国的法制建设在初期对减

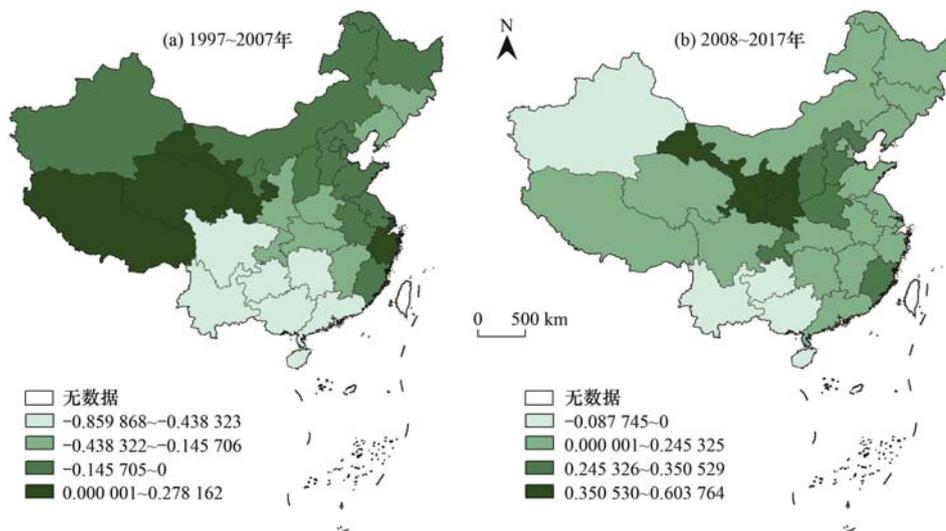


图 9 1997 ~ 2017 年法制环境回归系数

Fig. 9 Regression coefficient of legal environment from 1997 to 2017

少污染、维护社会秩序有一定成效,能有效抑制突发环境事件。

2000年之后由于国家西部大开发和中部崛起战略的先后实施^[19],中西部的部分省份成为高发区,突发环境事件数量激增,2002年开始,当战略的正向作用超过了法制环境的负向作用,法制环境回归系数变为正值的省份逐渐增多。研究后期,尤其是2008年之后突发环境事件处于稳定低发期,此时突发环境事件的发生有更强的不确定性,法制环境的改善对突发环境事件很难有明显的抑制作用。因此虽多数省份法制环境的系数表现为正,但实质上是法制环境对突发环境事件的负向作用在减小。法制环境对突发环境事件表现为负向抑制作用的地区有西部的新疆和南部的云南、贵州、广西和海南,回归系数在 $-0.088 \sim 0$ 之间。其余省份的法制环境影响系数多为正值,正向影响较大的区域集中在甘肃、陕西和宁夏三省,回归系数在 $0.35 \sim 0.604$ 之间,以此为中心向四周正向影响辐散式递减。从回归系数数值大小上看,空间上表现为以陕西为中心,中间高四周低的特点。

(6) 污染治理对突发环境事件的影响 污染治理水平回归系数反映了不同省份的污染治理水平对

本省突发环境事件发生及邻近省域污染治理水平的外溢效应之和,如图10所示。在1997~2007年期间,仅有13个省份的污染治理投资能够对本省突发环境事件的发生有抑制作用,大多分布在东部和南部地区,回归系数在 $-0.271 \sim 0$ 之间。其中影响较大的地区有西藏、广西和海南,这些省域生态环境较好,是突发环境事件的低发区,一定的污染治理投资就能有不错的效果。还有一些省市由于经济发展较快提升了公众对环境清洁的偏好^[39],进而投入较大比重的资金用于污染治理,如北京、天津、上海和广东等。随着经济水平的快速提升和国家对环保事业的重视,各省市有更多的经济实力投入到生态环境事业的建设中去。研究后期,越来越多省市的污染治理投资能够对突发环境事件的发生起到一定的抑制作用,负向影响的省份数量增至23个,回归系数在 $-1.247 \sim 0$ 之间,负向影响较大的省份大多分布在中国东部的上海、浙江和福建等地,空间分布上表现为由东至西负向影响递减。总的来说,污染治理对突发环境事件的正向加剧作用在逐渐减小,主要分布在西部和南部地区,负向抑制作用在逐步加强且从初期的东部逐渐扩散至中部和北部多数地区。

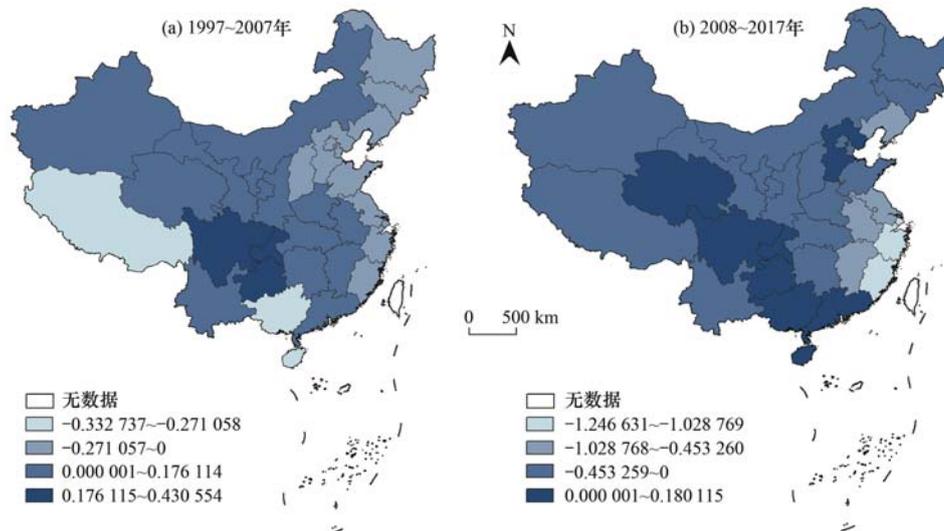


图 10 1997~2017 年污染治理回归系数

Fig. 10 Regression coefficient of pollution control from 1997 to 2017

3 结论

(1) 中国大多数年份的突发环境事件存在着空间正相关性,其中1991~1994年和2001~2014年两个时间段的Moran指数在0.1显著性水平下显著,且这些年份省域突发环境事件的空间集聚性在逐渐增强。

(2) 突发环境事件存在着非均衡的发展格局,

“低-低”类型的省份集中在西部和东北地区,数量增多后减少;而“高-高”类型的省份表现为由东部、南部向中西部转移,数量减少后增多。各省市突发环境事件在空间集聚中的作用不同且不断变化。

(3) 影响因素对突发环境事件的作用是动态变化的:经济发展水平对突发环境事件的影响表现为“负-正-负”模式;产业结构对突发环境事件的影响表现为“负-正”模式;污染排放对突发环境事件的

影响整体来看呈现“正-负-正”模式; 环境信访对突发环境事件的发生多表现为正向影响; 法制环境对突发环境事件的负向影响在逐渐减弱; 污染治理对省域突发环境事件的负向影响逐渐明显。

(4) 经济发展水平、产业结构、环境信访、法制环境和污染治理等因素回归系数的时空差异较大, 对不同时期和省域突发环境事件的影响表现出显著的时空异质性特征。

参考文献:

- [1] Zhu Y G, Wang L, Wang Z J, *et al.* China steps up its efforts in research and development to combat environmental pollution[J]. *Environmental Pollution*, 2007, **147**(2): 301-302.
- [2] Wiens J A, Parker K R. Analyzing the effects of accidental environmental impacts: approaches and assumptions [J]. *Ecological Applications*, 1995, **5**(4): 1069-1083.
- [3] 毕军, 王华东. 沈阳地区过去 30 年环境风险时空格局的研究[J]. *环境科学*, 1995, **16**(5): 72-75.
- Bi J, Wang H D. Temporal and spatial patterns of environmental risk events in the past 30 years in Shenyang city[J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 1995, **16**(5): 72-75.
- [4] Holzmann R, Jørgensen S. Social risk management: a new conceptual framework for social protection, and beyond [J]. *International Tax and Public Finance*, 2001, **8**(4): 529-556.
- [5] Hansson S O. A descriptive framework for public risk management[J]. *Risk Management*, 2001, **3**(3): 23-32.
- [6] 李昌林, 胡炳清. 我国突发环境事件应急体系及完善建议[J]. *环境保护*, 2020, **48**(24): 34-39.
- Li C L, Hu B Q. China's environmental emergency response system and suggestions[J]. *Environmental Protection*, 2020, **48**(24): 34-39.
- [7] 刘德海. 环境污染群体性突发事件的协同演化机制——基于信息传播和权利博弈的视角[J]. *公共管理学报*, 2013, **10**(4): 102-113.
- Liu D H. Co-evolutionary mechanism of mass emergency derived from environmental pollution: based on the viewpoint of information shortage and right absence [J]. *Journal of Public Management*, 2013, **10**(4): 102-113.
- [8] 魏清伟, 邴永鑫, 陈思莉, 等. 我国突发环境事件演变态势、应对经验及防控建议[J]. *环境工程学报*, 2021, **15**(7): 2223-2232.
- Guo Q W, Bing Y X, Chen S L, *et al.* Pattern of evolution, experience of response, and suggestions of prevention and control of environmental emergencies in China based on typical case studies [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2021, **15**(7): 2223-2232.
- [9] 宋民雪, 刘德海, 尹伟巍. 经济新常态、污染防治与政府规制: 环境突发事件演化博弈模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2021, **41**(6): 1454-1464.
- Song M X, Liu D H, Yin W W. Economic new normal, pollution prevention and government regulation: evolutionary game model of environmental emergencies[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2021, **41**(6): 1454-1464.
- [10] 袁鹏, 宋永会. 突发环境事件风险防控与应急管理的建议[J]. *环境保护*, 2017, **45**(5): 23-25.
- Yuan P, Song Y H. Suggestions on promotion of emergency environmental accidents risk prevention and emergency management[J]. *Environmental Protection*, 2017, **45**(5): 23-25.
- [11] Zhao M, Chen Q W, Ma J, *et al.* Optimizing temporary rescue facility locations for large-scale urban environmental emergencies to improve public safety [J]. *Journal of Environmental Informatics*, 2017, **29**(1): 61-73.
- [12] Wirtz K W, Baumberger N, Adam S, *et al.* Oil spill impact minimization under uncertainty: evaluating contingency simulations of the Prestige accident[J]. *Ecological Economics*, 2007, **61**(2-3): 417-428.
- [13] 秦晓光, 龚婉卿, 谭赛章, 等. 海上突发环境事件生态系统服务损失评估进展[J]. *环境科学研究*, 2020, **33**(4): 987-994.
- Qin X G, Gong W Q, Tan S Z, *et al.* Progress in assessing ecosystem services loss in marine environmental emergencies[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2020, **33**(4): 987-994.
- [14] 李旭, 吕佳佩, 裴莹莹, 等. 国内突发环境事件特征分析[J]. *环境工程技术学报*, 2021, **11**(2): 401-408.
- Li X, Lü J P, Pei Y Y, *et al.* Analysis of the characteristics of environmental emergencies in China [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2021, **11**(2): 401-408.
- [15] 向佐群, 张思琪. 2010 年以来我国重大突发环境事件行政问责实证研究[J]. *中南林业科技大学学报(社会科学版)*, 2018, **12**(5): 41-48.
- Xiang Z Q, Zhang S Q. Empirical research on environmental accountability of emergent environmental incidents in China Since 2010[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology (Social Sciences)*, 2018, **12**(5): 41-48.
- [16] 李胜. 超大城市突发环境事件管理碎片化及整体性治理研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, **27**(12): 88-96.
- Li S. Fragmentation and holistic governance of environment emergency incident in megacities [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, **27**(12): 88-96.
- [17] 李春根, 李胜. 超大城市突发环境事件整体性治理研究[J]. *中国行政管理*, 2017, (12): 123-128.
- Li C G, Li S. The holistic governance of megacities environmental emergency [J]. *Chinese Public Administration*, 2017, (12): 123-128.
- [18] 赵雪雁, 王蓉, 王晓琪, 等. 基于多尺度的中国环境污染事件时空分布及其影响因素[J]. *地理科学*, 2019, **39**(9): 1361-1370.
- Zhao X Y, Wang R, Wang X Q, *et al.* Spatio-temporal distribution and influencing factors of environmental pollution incidents based on multi-scales in China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, **39**(9): 1361-1370.
- [19] 丁镭, 黄亚林, 刘云浪, 等. 1995-2012 年中国突发性环境污染事件时空演化特征及影响因素[J]. *地理科学进展*, 2015, **34**(6): 749-760.
- Ding L, Huang Y L, Liu Y L, *et al.* Spatiotemporal variability of sudden environmental pollution incidents and influencing factors in China, 1995-2012 [J]. *Progress in Geography*, 2015, **34**(6): 749-760.
- [20] 李静, 吕永龙, 贺桂珍, 等. 我国突发性环境污染事故时空格局及影响研究[J]. *环境科学*, 2008, **29**(9): 2684-2688.
- Li J, Lu Y L, He G Z, *et al.* Spatial and temporal changes of emerging environmental pollution accidents and impact factors in China[J]. *Environmental Science*, 2008, **29**(9): 2684-2688.
- [21] 陈蓓蓓, 高乃云, 鲁文敏, 等. 水源水中典型化学品突发污染的应急处理[J]. *环境科学*, 2009, **30**(6): 1632-1638.
- Chen B B, Gao N Y, Lu W M, *et al.* Emergent treatment of source water contaminated by representative chemicals [J].

- Environmental Science, 2009, **30**(6): 1632-1638.
- [22] Chu H J, Huang B, Lin C Y. Modeling the spatio-temporal heterogeneity in the PM_{10} - $PM_{2.5}$ relationship [J]. Atmospheric Environment, 2015, **102**: 176-182.
- [23] 杨娅, 马俊伟, 刘仁志. 上海市突发环境事件时空格局及影响因素分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2012, **22**(S1): 105-109.
- Yang Y, Ma J W, Liu R Z. Temporal and spatial patterns of abrupt environmental incidents and its causative factors in Shanghai [J]. China Population, Resources and Environment, 2012, **22**(S1): 105-109.
- [24] 葛岂序, 刘岩, 杨洪, 等. 2015~2019年河南省 $PM_{2.5}$ 时空特征与驱动因素分析 [J]. 环境科学, 2022, **43**(4): 1697-1705.
- Ge Q X, Liu Y, Yang H, *et al.* Analysis on spatial-temporal characteristics and driving factors of $PM_{2.5}$ in Henan province from 2015 to 2019 [J]. Environmental Science, 2022, **43**(4): 1697-1705.
- [25] Wu B, Li R R, Huang B. A geographically and temporally weighted autoregressive model with application to housing prices [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014, **28**(5): 1186-1204.
- [26] Wu C, Ren F, Hu W, *et al.* Multiscale geographically and temporally weighted regression: exploring the spatiotemporal determinants of housing prices [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2019, **33**(3): 489-511.
- [27] Dong F, Zhang S N, Long R Y, *et al.* Determinants of haze pollution: an analysis from the perspective of spatiotemporal heterogeneity [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, **222**: 768-783.
- [28] Bai Y, Wu L X, Qin K, *et al.* A geographically and temporally weighted regression model for ground-level $PM_{2.5}$ estimation from satellite-derived 500 m resolution AOD [J]. Remote Sensing, 2016, **8**(3): 262.
- [29] Chu H J, Bilal M. $PM_{2.5}$ mapping using integrated geographically temporally weighted regression (GTWR) and random sample consensus (RANSAC) models [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, **26**(2): 1902-1910.
- [30] Hong Z M, Mei C L, Wang H H, *et al.* Spatiotemporal effects of climate factors on childhood hand, foot, and mouth disease: a case study using mixed geographically and temporally weighted regression models [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2021, **35**(8): 1611-1633.
- [31] 国家统计局. 中国统计年鉴1992-2019 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1992-2019.
- [32] 国家统计局国民经济综合统计司. 新中国六十年统计资料汇编 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [33] 《中国环境年鉴》编辑委员会. 中国环境年鉴 1992-2019 [M]. 北京: 中国环境年鉴社, 1992-2019.
- [34] 樊纲, 王小鲁, 朱恒鹏. 中国市场化指数. 各地区市场化相对进程 2011 年报告 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2011.
- [35] 王小鲁, 樊纲, 余静文. 中国分省份市场化指数报告(2016) [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2017.
- [36] Huang B, Wu B, Barry M. Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, **24**(3): 383-401.
- [37] 国家突发环境事件应急预案 [J]. 油气田环境保护, 2006, **16**(4): 49-55.
- [38] 高远东, 陈迅. 中国省域产业结构的空间计量经济研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2010, **30**(6): 993-1001.
- Gao Y D, Chen X. Spatial econometric analysis of industrial structure of chinese provinces [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2010, **30**(6): 993-1001.
- [39] 田志华, 田艳芳. 环境冲突是经济发展的副产品吗? ——基于 1998-2013 年中国省级面板数据的分析 [J]. 财经研究, 2017, **43**(11): 98-112.
- Tian Z H, Tian Y F. Are environmental conflicts the byproduct of economic growth? Evidence from provincial panel data of 1998-2013 in China [J]. Journal of Finance and Economics, 2017, **43**(11): 98-112.

CONTENTS

Evolution of PM _{2.5} Chemical Composition and Sources in Nanjing During the Implementation of the APPCAP	CHEN Pei-lin, GUO Rong, WANG Qin-geng (1)
Differences in PM _{2.5} Components Between Urban and Rural Sites During Heavy Haze Event in Northern Henan Province	WANG Shen-bo, WANG Ling-ling, FAN Xiang-ge, <i>et al.</i> (11)
Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric Fine Particles in Langfang in Autumn and Winter	ZHU Shu-zhen, TONG Jie, BAO Feng, <i>et al.</i> (20)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} of Different Air Masses During Heating Season in Tianjin	LI Li-wei, DENG Xiao-wen, XIAO Zhi-mei, <i>et al.</i> (30)
Analysis of Critical Source of Potentially Harmful Elements in Urban Road Dust During Winter in Taiyuan Based on Multiple Attribute Decision Making Method	DENG Wen-bo, LIU Wen-juan (38)
Numerical Response Analysis of PM _{2.5} -O ₃ Compound Pollution in Beijing	LIU Tian-qiang (48)
High-resolution Emission Inventory of Reactive Volatile Organic Compounds from Anthropogenic Sources in the Yangtze River Delta Region	TIAN Jun-jie, DING Xiang, AN Jing-yu, <i>et al.</i> (58)
Vertical Distribution Characteristics of Boundary Layer Volatile Organic Compounds in Autumn in the Mixed Industrial and Rural Areas over the Northern Suburb of Nanjing	WANG Tai, ZHU Bin, SHI Shuang-shuang, <i>et al.</i> (66)
Characterization of Ambient Volatile Organic Compounds, Source Apportionment, and the Ozone-NO _x -VOC Sensitivities in Liucheng County, Guangxi	WU Ying, MO Zhao-yu, WU Qin-qin, <i>et al.</i> (75)
Characteristics of Ozone Pollution and High-impact Meteorological Factors in Urban Cities: A Case of Suzhou	HE Yan, LIN Hui-juan, CAO Shu-ya, <i>et al.</i> (85)
Emission Inventory and Distribution Characteristics of Anthropogenic Ammonia in Quzhou County, North China Plain	KANG Jia-hui, MENG Fan-lei, LIU Xue-jun, <i>et al.</i> (94)
Application of WRF Optimal Parameterization Scheme for Different Air Quality Models	YANG Jing-chao, JIANG Xing-wen, BO Xin, <i>et al.</i> (104)
Distribution Characteristics and Health Effects of Bioaerosols in Spring over Xi'an City	WEI Jun-qiang, YANG Liu, SHEN Zhen-xing, <i>et al.</i> (118)
Distribution of Bacterial Concentration and Viability in Atmospheric Bioaerosols Under Different Weather Conditions in the Coastal Region of Qingdao	WEI Wen-shu, QI Jian-hua, CHANG Cheng (127)
Spatiotemporal Distribution and Driving Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Inland Sediments of China	HUANG Zhu-liang, CAI Jia-wei, WANG Ru-wei (138)
Distributions of Antibiotic Resistance Genes and Microbial Communities in the Nearshore Area of the Yangtze River Estuary	XU Qiu-hong, LIU Shu-guang, LOU Sha, <i>et al.</i> (158)
Co-occurrence of Tetracycline Antibiotic Resistance Genes and Microbial Communities in Plateau Wetlands Under the Influence of Human Activities	QIN Rong, YU Qing-guo, LIU Zhen-ya, <i>et al.</i> (169)
Occurrence and Health Risk Assessment of Multiple Pesticides in Drinking Water Sources of Southeast China	HE Shu, DONG Hui-yu, REN Nan-qi (180)
Spatiotemporal Distribution and Pollution Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Main Water Supply Reservoirs in Central Zhuhai City	WANG En-rui, ZHANG Kun-feng, CHANG Sheng, <i>et al.</i> (189)
Distribution Characteristics and Pollution Risk of Heavy Metals in River Sediment of Suzhou Water Network Area, China	ZHENG Min-hui, BAI Dong-rui, ZHANG Tao, <i>et al.</i> (198)
Distribution of Biodegradable Dissolved Organic Matter and Its Affecting Factors in a Typical Peri-urban Watershed in Yangtze River Delta	WU Wen-yu, MA Jing-sheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (210)
Long-term Succession Patterns and Driving Factors of Water Quality in a Flood-pulse System Lake: A Case Study of Lake Luoma, Jiangsu Province	HUANG Xue-ying, GAO Ming-yuan, WANG Jin-dong, <i>et al.</i> (219)
Microplastic Pollution Status and Ecological Risk Evaluation in Weihe River	SHAN Ze-xuan, ZHANG Yan, ZHANG Cheng-qian, <i>et al.</i> (231)
Effects of Different Colored Polycarbonate Plastics on Growth and Community Structure of Periphytic Algae	WANG Meng-xue, YIN Si-cheng, WANG Zhen-fang, <i>et al.</i> (243)
Diversity Patterns and Influencing Factors of Epibiotic in <i>Vallisneria natans</i> and Planktonic Bacteria Communities	ZHANG Mei-ting, LIU Jin-xian, SU Jia-he, <i>et al.</i> (252)
Bacterial Community and Diversity of River Ecosystems on the Qinghai-Tibet Plateau Based on 16S rRNA Gene Sequencing	QU Wei-qing, ZHANG Bo-mei, HUANG Xue, <i>et al.</i> (262)
Spatial and Temporal Heterogeneity and Ecological Health Evaluation of Diatom Community Based on eDNA	JIANG Shan, ZHANG Yan, LI Fei-long, <i>et al.</i> (272)
Severity Differences and Mechanisms of Algal Blooms Among Sections in Pengxi River of the Three Gorges Reservoir	LUO Xiao-jiao, ZHANG Xing, HUANG Wei, <i>et al.</i> (282)
Characteristics of Soil Erosion and Nitrogen Loss in Vegetable Field Under Natural Rainfall	NING Jia-li, HUANG Yan-hui, LI Gui-fang, <i>et al.</i> (293)
Effects of Green, Blue, and Blue-green Roofs on Runoff Quality	ZHANG Sun-xun, ZHANG Shou-hong, YAN Jing, <i>et al.</i> (303)
Analysis of Spatiotemporal Variation Characteristics and Driving Forces of NPP in Shanxi Province from 2000 to 2020 Based on Geodetector	SHAO Jia-hao, LI Jing, YAN Xing-guang, <i>et al.</i> (312)
Spatio-temporal Variation in Vegetation Cover and Its Driving Mechanism Exploration in Southwest China from 2000 to 2020	XU Yong, DAI Qiang-yu, HUANG Wen-ting, <i>et al.</i> (323)
Heavy Metal Content and Resistance Gene Abundance and Related Properties in the Surface Soil around Qinghai Lake	HU Shi-lei, QU Jian-li, ZHANG Li, <i>et al.</i> (336)
Soil Heavy Metal Content, Pollution, and Influencing Factors in Typical Farming Area of Sichuan Basin	LIU Shu-ling, WU Mei, LIU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (347)
Risk Assessment and Sources of Heavy Metals in Farmland Soils of Yellow River Irrigation Area of Ningxia	CHEN Lin, MA Kun, MA Jian-jun, <i>et al.</i> (356)
Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in the Soil Around Copper Smelting Sites	PENG Chi, LIU Xu, ZHOU Zi-ruo, <i>et al.</i> (367)
Characteristics of Typical Soil Acidification and Effects of Heavy Metal Speciation and Availability in Southwest China	LING Yun, LIU Han-yi, ZHANG Xiao-ting, <i>et al.</i> (376)
Stabilization Characteristics of Exogenous Cd in Different Types of Soil	WANG Gang, YU Hai-ying, HUANG Hua-gang, <i>et al.</i> (387)
Threshold of Se-rich Soil Based on Available-Se and Influencing Factors of Available-Se	WANG Ying, MA Yan-bin, WANG Ze-jing (395)
Accumulation Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soil-Crop System Based on Soil Parent Material Zoning	CHEN Zi-wan, XU Jing, HOU Zhao-lei, <i>et al.</i> (405)
Characteristics and Planting Safety Assessment of As Content in Dryland Soil and Maize in Guizhou Province	HUANG Feng-yan, ZHOU Lang, SONG Bo, <i>et al.</i> (415)
Potential of Intercropping <i>Pennisetum purpureum</i> Schum with <i>Melia azedarach</i> L. and <i>Broussonetia papyrifera</i> for Phytoremediation of Heavy-metal Contaminated Soil around Mining Areas	WANG Xiao-hui, XIAO Xi-yuan, GUO Zhao-hui, <i>et al.</i> (426)
Inactivation of Cd and As by an <i>Enterobacter</i> Isolated from Cd and As Contaminated Farmland Soil	YIN Xue-fei, LIU Yu-ling, WU De, <i>et al.</i> (436)
Mineralization Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Relationship with Organic Carbon Components in Artificial <i>Robinia pseudoacacia</i> Forest in Loess Hilly Region	ZHU Yu-fan, LIU Wei-chao, LI Jia-xin, <i>et al.</i> (444)
Accumulation, Migration, and Transformation of Soil Phosphorus in Facility Agriculture and Its Influencing Factors	FANG Bing, CHEN Lin, WANG Yang, <i>et al.</i> (452)
Optimizing Straw Management to Enhance Carbon and Nitrogen Efficiency and Economic Benefit of Wheat-Maize Double Cropping System	WANG Liang, QIAN Xin, GAO Ying-bo, <i>et al.</i> (463)
Effect of Deep Fertilization with Slow/Controlled Release Fertilizer on N Fate in Clayey Soil Wheat Field	HOU Peng-fu, XUE Li-xiang, YUAN Wen-sheng, <i>et al.</i> (473)
Structure and Function of Soil Fungal Community in Rotation Fallow Farmland in Alluvial Plain of Lower Yellow River	NAN Zhen-wu, LIU Zhu, MENG Wei-wei, <i>et al.</i> (482)
Response of Topsoil Fungal Community Structure to Soil Improvement Measures in Degraded Forest of Red Soil Region	GUAN Hong-zhi, HUANG Rong-zhen, WANG Jin-ping, <i>et al.</i> (494)
Temporal and Spatial Variations in Root-associated Fungi Associated with <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> in the Semi-arid and Dry Sub-humid Desertified Regions of Northern China	ZHAO Pei-shan, GUO Mi-shan, GAO Guang-lei, <i>et al.</i> (502)
QMEC-based Analysis of the Soil Microbial Functional Potentials across Different Tibetan Plateau Glacier Forelands	ZHANG Jie-jie, Anders Priemé, CHEN Xian-ke, <i>et al.</i> (512)
Meta Analysis on Yield Effect of Biochar for Staple Crops in China	YU Bin-hang, JI Jian-mei, WANG Li-xue, <i>et al.</i> (520)
Effects of Biochar on Antibiotic Environmental Behaviors in Soil: A Meta-analysis	LI Jing-han, ZHANG Jian-qiang, XIA Li-qiong, <i>et al.</i> (531)
Properties of Biochars Prepared from Different Crop Straws and Leaching Behavior of Heavy Metals	LI Jia-kang, QIU Chun-sheng, ZHAO Jia-qi, <i>et al.</i> (540)
Spatial-temporal Evolution and Heterogeneity of Carbon Emissions at County-level in China	SONG Yuan-zhen, ZENG Jian, WANG Sen, <i>et al.</i> (549)
Spatiotemporal Dynamic Evolution and Gravity Center Migration of Carbon Emissions in the Main Urban Area of Chongqing over the Past 20 Years	XIANG Shu-jiang, YANG Chun-mei, XIE Yu-qi, <i>et al.</i> (560)
Spatiotemporal Characteristics and Influencing Factors of Environment Emergency Incident in China from 1991 to 2018	YU Guang-hui, WANG Fei-fan, LIU Xian-zhao, <i>et al.</i> (572)
Migration, Transformation, and Toxicity of Quaternary Ammonium Antimicrobial Agents in the Environment	ZHANG Li-jan, QIN Cun-li, QIAN Yao, <i>et al.</i> (583)