

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} -O ₃ 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, 李曼, 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, 栗少丽, 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, 金字辰, 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现性	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, 董慧岭, 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, 张坤峰, 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)
苦草叶表附和和水体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, 张钊, 黄伟, 胡鹏飞, 谭炳圆, 张磊 (282)
自然降雨下蔬菜地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, 王任重远, 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, 倪锦炉, 马进鹏, 梁翔宇 (356)
铜冶炼场地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铜、砷同步钝化	尹雪斐, 刘玉玲, 伍德, 黄薪铭, 张朴心, 铁柏清 (436)
黄土丘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, 王晓妍, 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, 王丽学, 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)	

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

(中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083)

摘要: 植被净初级生产力(NPP)可以表征植物生长状况,同时也是碳循环研究中不可或缺的要素.应用 2000 ~ 2020 年 MODIS NPP 产品和山西省高程、坡度、降水、气温、土地利用和人口密度等多源数据,采用趋势分析、相关性分析和地理探测器等方法,探究了山西省及其煤炭国家规划矿区 NPP 的时空演变特征和驱动因子,结果表明:① 2000 ~ 2020 年山西省 NPP 总体呈现波动上升趋势,平均上升速率(以 C 计)为 $6.7 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$. 不同用地类型的 NPP 总量差异表现为:耕地 > 林地 > 草地 > 建设用地 > 水域 > 未利用地;② NPP 变化空间异质性明显,山西省西部和北部区域 NPP 均值较低,而东部和南部区域 NPP 均值较高;三大煤炭基地 NPP 相比较,晋东基地 > 晋中基地 > 晋北基地;③ NPP 和降水相关性较高,全省 62.2% 的区域降水量与 NPP 变化呈显著相关($P < 0.05$),主要分布在山西省中部和东部. NPP 变化与气温关系较弱,两者显著相关($P < 0.05$)的区域仅占 1.10%;④应用地理探测器分析结果显示,不同年份各因子的 q 均值比较:降水(0.165) > 土地利用(0.124) > 人口密度(0.085) > 坡度(0.080) > 高程(0.064) > 气温(0.024),进一步表明降水是多年来引起 NPP 变化的主导驱动因子;⑤双因子交互作用影响力明显高于单因子,且人为因素的影响力在逐步上升,2000 ~ 2020 年解释力最高的交互因子由降水 $\cap$ 气温(0.385)转变为降水 $\cap$ 人口密度(0.275).

关键词: 植被净初级生产力(NPP); 时空演变; 驱动机制; 山西省; 煤炭国家规划矿区

中图分类号: X144 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2023)01-0312-11 **DOI:** 10.13227/j.hjxx.202203010

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, MA Tian-yue, ZHANG Rui

(College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The net primary productivity (NPP) of vegetation, as an indispensable element in carbon cycle studies, characterizes plant growth status. This study applied MODIS NPP products from 2000 to 2020 and multi-source data on elevation, slope, precipitation, temperature, land use, and population density in Shanxi province. We used trend analysis, correlation analysis, and geographic probes to explore the spatial and temporal evolution characteristics and driving factors of NPP in Shanxi province and its national planned coal-mining areas. The results showed that: ① the overall NPP exhibited a fluctuating upward trend from 2000 to 2020, with an average rate of increase (in terms of C) of $6.7 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$. The total NPP varied significantly among different land types, with arable land > forest land > grassland > construction land > water area > unused land. ② The spatial heterogeneity of NPP changes was obvious, with lower NPP values in the western and northern regions and higher average NPP values in the eastern and southern regions; the NPP comparison of three major coal bases showed that Jindong coal base > Jinzhong coal base > Jinbei coal base. ③ The correlation between NPP and precipitation was high, with 62.2% of regions having a significant correlation ($P < 0.05$), mainly in central and eastern Shanxi province. The relationship between NPP changes and temperature was weak, with only 1.10% of regions having a significant correlation ($P < 0.05$). ④ The comparison of the q -means of each factor in different years based on geographic probes showed that precipitation (0.165) > land use (0.124) > population density (0.085) > slope (0.080) > elevation (0.064) > air temperature (0.024), further indicating that precipitation was the dominant driver of NPP changes over the years. ⑤ The influence of the two-factor interaction was significantly higher than that of the single factor, and the influence of anthropogenic factors was gradually increasing. From 2000 to 2020, the interaction factor precipitation $\cap$ population density (0.275) with the highest explanatory power replaced precipitation $\cap$ temperature (0.385) as the interaction factor precipitation with the highest explanatory power.

Key words: net primary productivity (NPP); space-time evolution; driving mechanism; Shanxi province; state planned coal-mining areas

植被净初级生产力(net primary productivity, NPP)是指植被进行光合作用所积累的有机物总量,减去自身呼吸后的剩余部分,表示植物在单位时间和单位面积上的有机物净积累量^[1]. NPP 可以直接表示绿色植被在不同生长条件下的生产能力,同时能够反映区域自然生态环境质量,是理想的生态指标^[2,3],被认为是陆地生态系统生态调节的重要因子以及碳循环过程的决定性因子^[4],在全球气候变化、生态保护和持续发展等领域有着重大的研究

潜力.

NPP 估算始于 20 世纪 60 年代,在 NPP 定量计算方法上,分为实地测量以及模型估算^[5],由于受到诸多条件限制,通常难以在大尺度区域实现 NPP

收稿日期: 2022-03-01; 修订日期: 2022-05-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41501564); 中国工程院院地合作项目(2020SX8)

作者简介: 邵嘉豪(1998 ~),男,硕士研究生,主要研究方向为环境遥感与生态恢复, E-mail: 13588717586@163.com

* 通信作者, E-mail: lijing@cumt.edu.cn

实地测算工作^[6]. 而遥感技术具有时间跨度小、覆盖范围广、数据采集成本低和相对稳定等优点^[7], 因此现有研究大多是利用基于遥感的模型模拟法进行 NPP 的估算工作. 其中常用的模型有统计模型、过程模型和参数模型这三类^[8], 如 CASA 模型、CENTURY 模型和基于生态过程的 Biome-BGC 模型^[9], 杜波波等^[10]、郭灵辉等^[11]和李传华等^[12]分别基于 CASA、CENTURY 和 Biome-BGC 模型模拟了内蒙古锡林郭勒草原和五道梁地区 NPP. 同时, 也有许多学者使用 MODIS 数据集, 基于 Google Earth Engine(GEE) 云平台, 利用趋势分析法、变异系数、Hurst 指数和 Mann-Kendall 检验等方法, 在不同尺度, 在全国、省域、市域和更小研究单元展开 NPP 动态变化分析^[13~16]. 在 NPP 变化驱动力研究方面, 主要通过引入气象因子、地形因子和人为因子等, 分析 NPP 值和上述因子的相关性^[17]. 上述分析方法仅是对各因子作定性分析, 不能很好地表达各因子的具体驱动力水平, 地理探测器作为一种近年来新兴的空间事物分异性及其驱动因子的定量探测手段, 逐渐被用于生态环境变化的驱动力分析^[18~22], 孙治娟等^[4]、赵俊红等^[23]和刘恒等^[24]使用地理探测器, 分别探讨了云南省、塔里木和武陵山地区的 NPP 变化驱动因子. 上述学者的研究内容和成果极大地促进了不同尺度和不同区域 NPP 的估算以及时序分析和动态监测等方法手段的发展, 同时揭示了不同因子对于 NPP 的影响情况及耦合效应, 这将为后续研究区域生态变化和碳循环影响机制等方面提供一定的理论依据^[25~29].

山西省地处黄土高原区, 是我国重要的煤炭资源产地, 受到煤炭开采及工业化和城市化的影响, 特别是煤炭开发使得塌陷、挖损和压占地不断增加^[30], 导致区域生态本底受到冲击、环境遭到破坏, 进一步影响了区域碳循环过程^[31~33]. 针对上述问题, 本文基于多源遥感数据, 利用趋势分析^[34,35]、相关性分析^[36]和地理探测器^[37]研究了山西省 NPP 时空变化特征及其驱动因子, 以期对山西省煤炭产业碳达峰碳中和目标实现和黄河流域高质量发展背景下矿区绿色开采及生态环境保护提供数据基础和理论支撑.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

山西省(34°34'~40°44'N, 110°14'~114°33'E)地处太行山与黄河中游峡谷之间, 位于我国华北大平原的西侧, 总体地势呈现“两山夹一川”, 东西两侧大多为山地和丘陵, 中部为一列串珠式盆地, 平原

分布在其中. 其气候具有四季分明、冬夏气温悬殊和昼夜温差大的特点. 山西省煤炭资源丰富, 全省面积 15.7 万 km², 而其中含煤面积为 6.2 万 km², 占全省面积的 40.4%. 全省距地表 2 000 m 以内煤炭预测资源预测储量 6 652 亿 t; 探明保有资源储量 2 674.3 亿 t, 约占全国的 1/4. 我国共有 14 个煤炭基地, 其中晋北、晋东和晋中三大基地分布在山西省境内. 根据文献^[38], 晋北基地分布有大同矿区、平朔矿区、朔南矿区、轩岗矿区、河保偏矿区和岚县矿区; 晋中基地分布有西山矿区、东山矿区、汾西矿区、霍州矿区、离柳矿区、乡宁矿区、霍东矿区和石隰矿区; 晋东基地分布有晋城矿区、潞安矿区、阳泉矿区和武夏矿区(图 1).

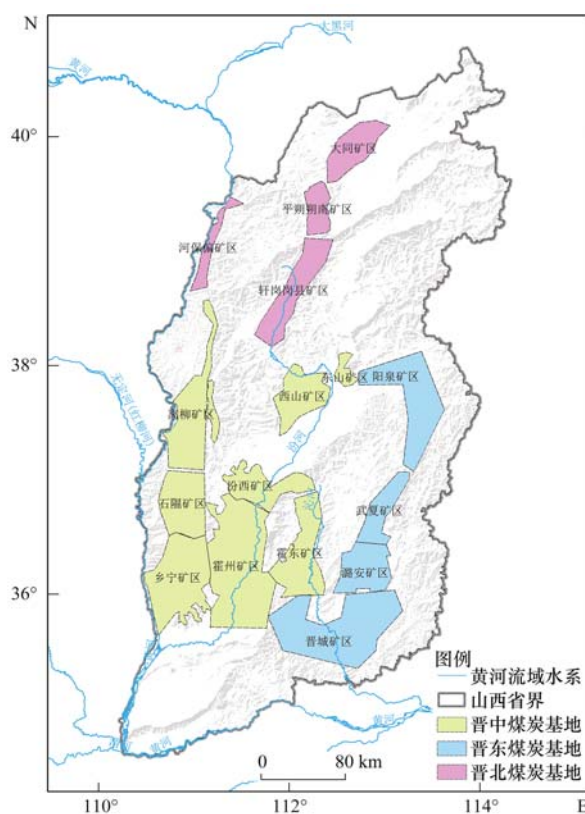


图 1 研究区示意

Fig. 1 Overview of the study area

1.2 数据来源

NPP 数据采用 MODIS 产品 MOD17A3HGF, 空间分辨率为 500 m, 时间分辨率为 1 a, 范围是 2000~2020 年. 该产品采用了基于过程的 Biome-BGC 生态模型来进行 NPP 的估算, 为年度所有 8 d 净光合作用产品(net photosynthesis, PSN)的总和^[39]; DEM 数据来源为 NASA DEM 30 m, 是 STRM 数据的后处理, 该数据整合了来自 ASTER GDEM、ICESAT GLAS 和 PRISM 数据集的辅助数据, 提高了准确性; 人口密度数据来自世界人口数据集(WorldPop Global Project Population Data)^[40], 该数据集由开放

空间人口数据与研究站 (<https://www.worldpop.org>) 生产, 服务于区域发展、灾害应对和卫生健康事业, 空间分辨率为 100 m, 时间为 2000 ~ 2020 年。上述 NPP、DEM 和人口密度数据均通过 GEE 平台 (<https://code.earthengine.google.com/>) 在线获取并按照山西省行政边界进行掩膜处理。

土地利用数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn/>), 分辨率为 1 km, 选取 2000、2005、2010、2015 和 2020 年共 5 期土地利用类型数据, 通过重分类功能将其划分为耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用地这 6 个一级类型。气象数据来自国家地球系统科学数据中心 (<http://www.geodata.cn/>), 空间分辨率为 1 km, 时间为 2000-01 ~ 2020-12^[41]。

为避免研究数据及影像因空间分辨率和坐标系等问题产生误差, 将所有数据统一投影至 WGS84/UTM 49N 坐标系, 并设置分辨率为 500 m, 以进行后续数据处理及分析^[16]。

1.3 研究方法

1.3.1 趋势分析法

趋势分析法是一种通过对随时间变化的变量进行线性回归分析, 从而来预测其变化趋势的方法^[42,43], 其计算方法见式(1)。

$$\text{Slope} = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \times \text{NPP}_i) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n \text{NPP}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (1)$$

式中, Slope 为线性回归方程的斜率; n 为研究数据年数, 本文为 21; NPP_i 为第 i 年的 NPP 均值; 计算结果中, Slope > 0 表示该像元所对应的值在多年来呈现出上升趋势, Slope < 0 表示该像元所对应的值在多年来呈现出下降趋势。通过 F 检验, 可以检验趋势变化的显著性, 揭示其显著性水平, F 检验的公式见式(2)。

$$F = U \times (n - 2) / Q \quad (2)$$

式中, U 为回归平方和; Q 为残差平方和; n 为研究数据年数, 本文为 21; 采用 P 值来检验变化结果是否显著, $P < 0.01$ 时为极显著变化; $P < 0.05$ 时为显著变化; $P > 0.05$ 时为变化不显著。同时, 结合 Slope 趋势, 可以将变化程度分为 5 类, 分别为极显著减小 (Slope < 0, $P < 0.01$)、显著减小 (Slope < 0, $P < 0.05$)、基本稳定 ($P > 0.05$)、显著增加 (Slope > 0, $P < 0.05$) 和极显著增加 (Slope > 0, $P < 0.01$)。

1.3.2 相关性分析法

NPP 变化受到植被生长环境多因子的影响, 是

一个复杂的耦合过程^[6], 通过计算相关系数, 可以描述各因素与 NPP 变化的相关性, 相关系数取值范围为 $[-1, 1]$, 计算方法见式(3)。

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

式中, R_{xy} 为相关系数, 表示 x 和 y 之间的相关程度; n 为研究时间跨度, 本文取 21; x_i 为第 i 年的降水量或平均气温; $\bar{x}$ 为 21 a 年均降水量或年均气温; y_i 为第 i 年 NPP 均值; $\bar{y}$ 为 21 a NPP 均值。 $R_{xy} < 0$ 表示两者为负相关, $R_{xy} > 0$ 表示两者计算结果为正相关。

对相关性分析结果进行 t 检验, 检验方法见式(4)。

$$t = R \sqrt{n - 2} / \sqrt{1 - R^2} \quad (4)$$

式中, R 为相关系数; n 为研究时间跨度, 本文为 21。

1.3.3 地理探测器

地理探测器由王劲峰等^[44]提出, 是一种可以用于探测和揭示数据之间空间分异性的工具, 其中分异性因子用 q 度量, 计算方法见式(5)。

$$q = 1 - (N\sigma^2)^{-1} \cdot \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (5)$$

式中, q 为分异性因子, q 越大表示数据的分异性在空间上更明显; L 为变量类别数; $h = 1, 2, \dots$, 为具体某一类型; N_h 和 N 分别表示 h 类别单元数和全区单元数; σ_h 和 σ 分别为 h 类别的方差和全区的方差。

地理探测器还具有交互探测的功能, 可以分析不同因子之间的交互作用, 即评估因子 X_1 和 X_2 共同作用的情况下是否会对变量 Y 的解释力增强或降低, 亦能计算出这些因子是否互相独立。计算方法是首先分别算出两个因子的解释力 q_1 和 q_2 , 然后计算两个变量多边形叠加后相切形成新多边形的 q 值, 并和单一因子的解释力进行比较, 两因子之间的关系见表 1。

地形因子和土地利用因子可以影响植被的分布情况, 而气象因子决定了植被的生长条件^[28], 因此进一步选用高程、坡度、降水、气温和土地利用方式作为地理探测器输入变量, 同时考虑到近年城市化进程加快, 人口数量激增, 需要选取相应的指标以体现上述变化, 而人口密度在一定程度上能够体现出人类活动程度的高低^[4], 是一个能够较好展现人类活动水平的指标, 因此引入人口密度指标, 共计 6 个因子, 以 5 a 为间隔, 研究不同年份的 NPP 变化驱动力。

为保证地理探测器输入数据的一致性,除土地利用数据外,其他数据采用自然断点法分为 9 类,该方法根据数据本身的特性和分布进行数据重分类,使得各级别变异总和达到最小^[45]. 根据研究区大小,对重分类后的数据创建 5 km × 5 km 的渔网,提取渔网中心点的像元值,剔除无效值后,共计 6 227 个格点数据,输入至地理探测器工具中.

表 1 交互作用探测类型

Table 1 Type of interactive detection	
判别依据	交互作用
$q(X1 \cap X2) < \text{Min}[q(X1), q(X2)]$	非线性减弱
$\text{Min}[q(X1), q(X2)] < q(X1 \cap X2) < \text{Max}[q(X1), q(X2)]$	单因子非线性减弱
$q(X1 \cap X2) > \text{Max}[q(X1), q(X2)]$	双因子增强
$q(X1 \cap X2) = q(X1) + q(X2)$	独立
$q(X1 \cap X2) > q(X1) + q(X2)$	非线性增强

2 结果与讨论

2.1 山西省 NPP 时空变化特征分析

山西省 2000 ~ 2020 年 NPP 平均值总体呈现出西北低,中部和东部高的特点(图 2),高值区以吕梁山脉和太行山脉为主,在山脉两侧呈条带状分布. 低值区主要分布在北部大同盆地、西侧沿黄河地区 and 各市建设用地区域;煤炭国家规划矿区(“规划矿区”)内 NPP 均值较低的主要有西部河保偏矿区和离柳矿区,以及北部区域的平朔朔南矿区和大同矿区. NPP 值较高的矿区主要位于山西省东部和南部区域,以阳泉矿区、武夏矿区、霍东矿区和晋城矿区为主. 经统计分析,NPP(以 C 计,下同)低值区域 [$< 200 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$] 面积仅占全省面积的 3. 87%,而高值区域占全省面积的 69. 98%,说明山西省总体生态状况较好,NPP 普遍较高.

2000 ~ 2020 年山西省 NPP 均值从 $269. 75 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 波动上升至 $410. 47 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$,平均值为 $388. 06 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$,平均增加速率为 $6. 70 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$. 山西省及其规划矿区的 NPP 均值走势趋于一致,自 2001 年出现最低值后呈现快速增长的趋势,规划矿区 ($R^2 = 0. 7582, P < 0. 01$) 以 $7. 85 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 的增速高于山西省全境 ($R^2 = 0. 767 1, P < 0. 01$). 各煤炭基地 NPP 历年均值变化趋势和山西省基本相当,呈现出波动上升的特点,其中,晋东基地历年 NPP 均值明显高于山西省,晋北基地历年 NPP 均值均处于山西省平均水平之下,而晋中基地与山西省平均 NPP 值基本相当[图 3(a)].

三大煤炭基地各矿区 NPP 均值时序变化趋势大致相同,呈现波动上升的特点. 晋北基地中,除轩岗岚县矿区历年 NPP 均值与山西省均值持平外,其



图 2 山西省 2000 ~ 2020 年 NPP 均值空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of NPP mean value in Shanxi province from 2000 to 2020

余 3 个矿区均明显低于山西省全省均值[图 3(b)],晋北基地现有安太堡、安家岭和东露天矿三大产能过千万吨的大型矿区,煤炭开采会导致土地损毁和植被破坏,使得植被 NPP 均值始终处于较低水平. 晋中基地 8 个规划矿区中,除霍东矿区和乡宁矿区历年 NPP 均值稍高于山西省平均水平外,其余 6 个矿区 NPP 均值均与山西省相当或稍低[图 3(c)]. 晋东基地整体 NPP 较高,除 2018 年武夏矿区和潞安矿区 NPP 稍低于山西省均值外,其余年份各矿区 NPP 均在山西省平均水平之上[图 3(d)],晋东基地降水量普遍较高,植被长势较好,虽然受到煤炭开采活动的影响,但晋东基地耕地和林地占比较大,因此整体 NPP 仍呈现相对较高的特点.

上述分析表明山西省及其规划矿区内的 NPP 呈现较为显著增加的趋势,近年来山西共完成 4 082 hm² 废弃矿山生态修复工作,矿区植被覆盖度提高,

同时植被生长环境得到改善,因此矿区植被 NPP 有所提高. 根据 NPP 变化率及变化趋势检验可知,NPP 呈现下降趋势的区域主要位于太原盆地和长治盆地; 呈现上升趋势的区域主要位于吕梁山脉两侧,

其周边矿区增加趋势较明显的以离柳矿区、汾西矿区和霍州矿区北部为主(图 4). 经统计表明,NPP 极显著增加和显著增加分别占山西省面积的 85. 60% 和 5. 14%,而减小的区域仅占 0. 27%.

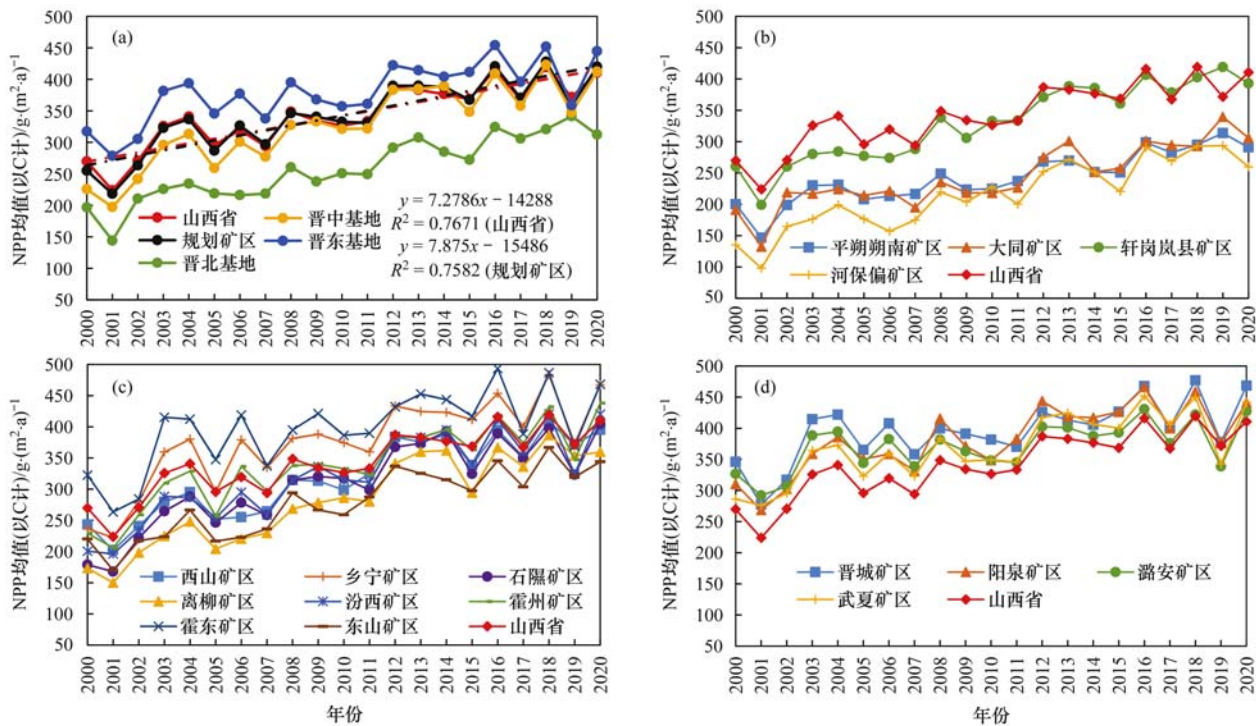


图 3 山西省及三大煤炭基地 2000 ~ 2020 年 NPP 均值变化

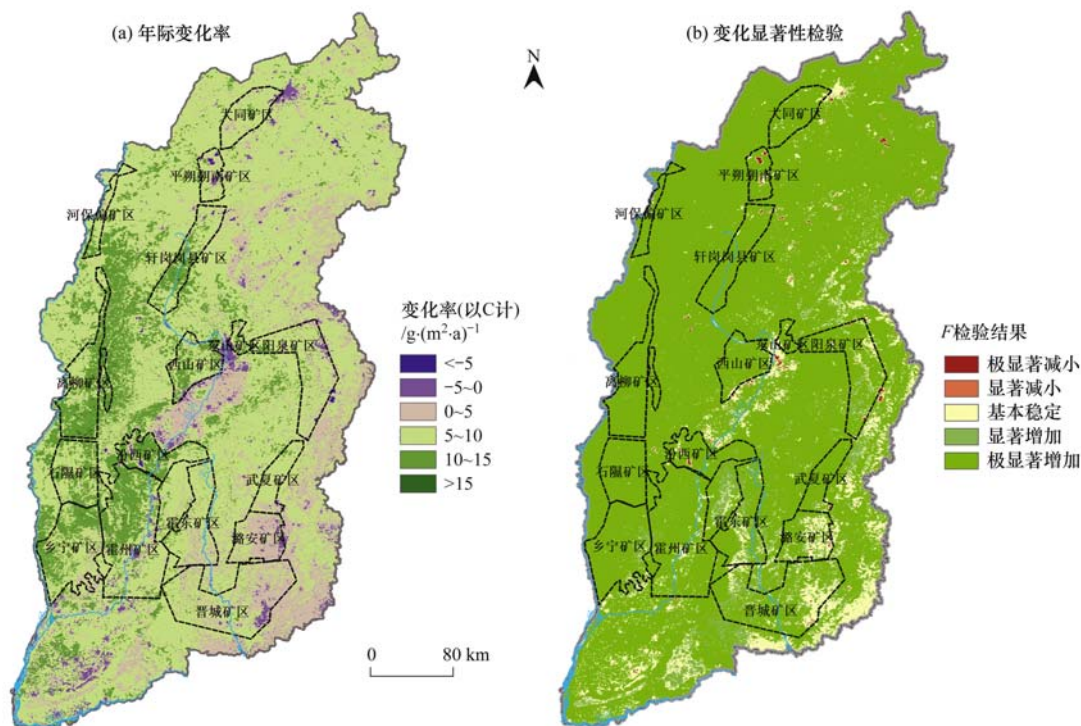


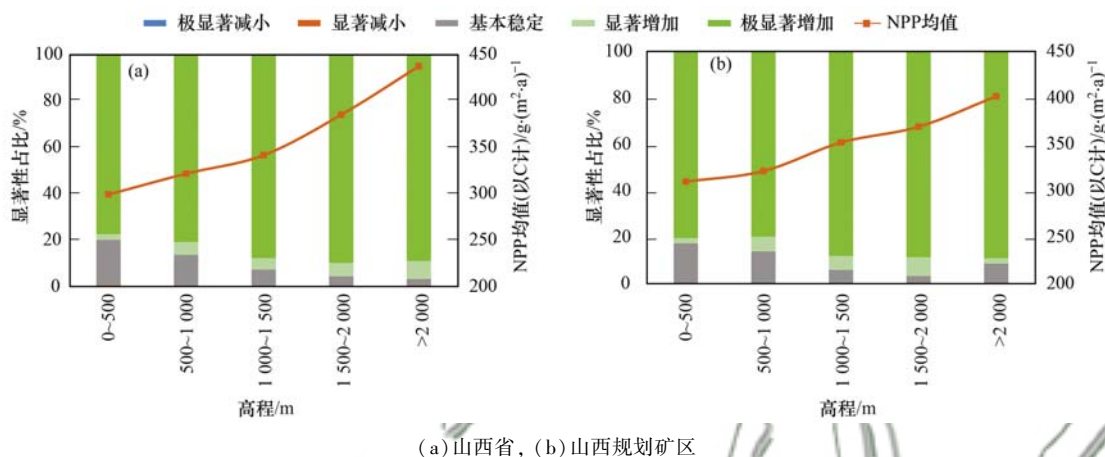
图 4 山西省及规划矿区 2000 ~ 2020 年 NPP 变化情况

2.2 NPP 变化与各因素相关性分析

2.2.1 地形因素

采用等间距法将高程划分为 5 个等级,随着高程的增加,山西省及规划矿区 NPP 值均呈现出上升的趋势,规划矿区上升幅度略小于山西省整体,同时山西省与规划矿区的显著性变化分布在高程梯度上略有不同,山西省全域范围内,NPP

变化呈增加趋势的面积占比随着高程升高而增大,而规划矿区 NPP 增加的面积占比随着高程的升高,先增加后减小,最大占比出现在 1 500 ~ 2 000 m 高程区间(图 5)。这说明高程对 NPP 产生了一定影响,同时随着高程的上升,建设用地占比减小,植被覆盖度增加,因此 NPP 值呈增大趋势。



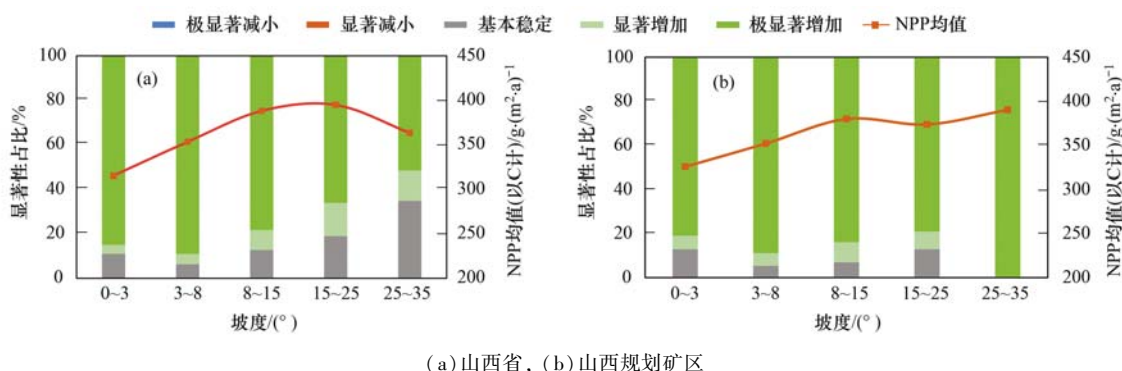
(a) 山西省, (b) 山西规划矿区

图 5 不同高程 NPP 分布

Fig. 5 NPP distribution in different elevations

根据《水土保持综合治理规划通则》(GB/T 15772-2008)^[46]将坡度划分为 $<3^\circ$ 、 $3^\circ \sim 8^\circ$ 、 $8^\circ \sim 15^\circ$ 、 $15^\circ \sim 25^\circ$ 和 $25^\circ \sim 35^\circ$ 这 5 个等级。随着坡度增加,山西省 NPP 均值先上升后下降,在坡度 $15^\circ \sim 25^\circ$ 区域 NPP 均值最高,最低值出现在 $0^\circ \sim 3^\circ$; 坡度 $3^\circ \sim 8^\circ$ 区域,显著和极显著增加面积占比最高,为 93.80%,最低的为 $25^\circ \sim 35^\circ$,占 65.18% [图 6(a)]。规划矿区 NPP 在不同坡度范围内呈现出波动升高

的趋势,NPP 均值最高的坡度段出现在 $25^\circ \sim 35^\circ$,最低值出现在 $0^\circ \sim 3^\circ$,显著和极显著增加面积占比最高的区间为 $25^\circ \sim 35^\circ$,占 100%,最低的区间为 $15^\circ \sim 25^\circ$,占 87.11% [图 6(b)]。 $0^\circ \sim 3^\circ$ 坡度区间建设用地占比大,受到人为因素扰动使得 NPP 均值较低,而在规划矿区坡度 $25^\circ \sim 35^\circ$ 范围内土地利用方式以森林居多,人类活动影响减弱,因此 NPP 整体呈现上升趋势。



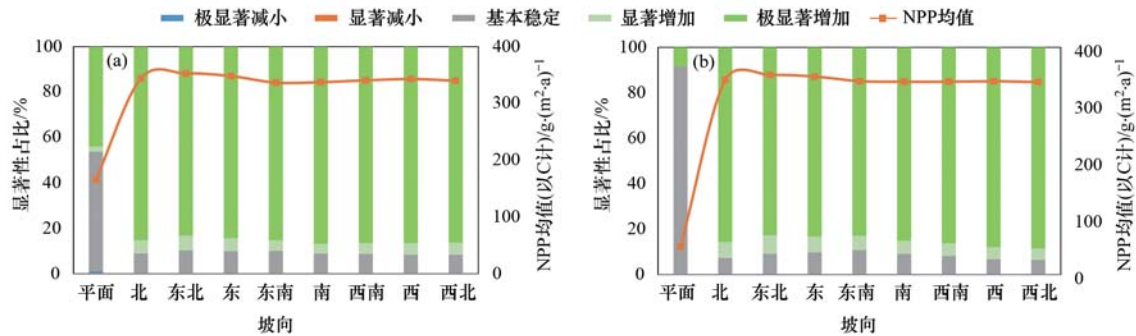
(a) 山西省, (b) 山西规划矿区

图 6 不同坡度 NPP 分布

Fig. 6 NPP distribution of different slopes

按照坡向的定义将山西省坡向划分为平面、北、东北、东、东南、南、西南、西和西北这 9 个等级。山西省及规划矿区在平面方向 NPP 均值和显著性占比相对其他 8 个方向均呈现出较大的差异,其中山西省在平面方向的 NPP 均值为 $165.60 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$,显著低于山西省全域均值 338.06

$\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$,同时显著性占比中,基本稳定类型的面积占比一半以上,达到 52.53% [图 7(a)]。规划矿区在平面方向 NPP 均值仅为 $49.21 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$,远低于规划矿区全域均值,此外规划矿区 NPP 极显著增加面积仅占 8.33%,剩下均为基本稳定,占 91.67% [图 7(b)]。分析原因可知,山西省及其规



(a) 山西省, (b) 山西规划矿区

图 7 不同坡向 NPP 分布

Fig. 7 NPP distribution in different slope aspects

划矿区内各建设用地、采煤基地、煤炭运输、洗选和加工场所等均适宜建设在平坡,导致该方向植被较少,造成 NPP 值显著降低。

2.2.2 气象因素

通过相关性分析公式,逐像元计算 NPP 与降水 and 气温之间的相关系数,可知山西省 NPP 与降水具有一定的相关性,其中 NPP 变化与降水呈现显著相关($P < 0.05$)的区域占 62.2%,极显著相关($P < 0.01$)的区域占 26.8%。从空间分布看,NPP 对降水的响应存在空间差异性,山西省中部及东部大部分呈现出正相关,其中极显著正相关区域主要分布在东部沿太行山脉周边区域,山西省东部降水量较为充足,能够为植被生长提供良好的生长条件,因此 NPP 变化与降雨量呈现出明显的正相关。呈现

负相关性的区域零星分布在各市城镇建设用地以及山西省西南部运城盆地周边,仅占全省面积的 0.02% [图 8(a)]。西南部运城盆地大部分区域 NPP 变化与降水没有明显关系,虽该区域降雨量较为充足,但平均气温同样较高,适当的温度可以提高植被光合作用的效率,而气温过高会使得地表蒸散发量增加,增大植被耗水量,导致 NPP 降低,抵消了降水量对植被 NPP 的正向影响^[47],最终导致该区域 NPP 变化与降水和气温均没有明显的相关性。另一方面,气温和 NPP 变化相关性不大,仅有 1.10% 的区域呈现出显著相关性($P < 0.05$),相关系数值较高的区域基本分布于山西省西侧黄河流经区域以及吕梁山脉两侧,中部和东南侧则呈现出负相关[图 8(b)]。

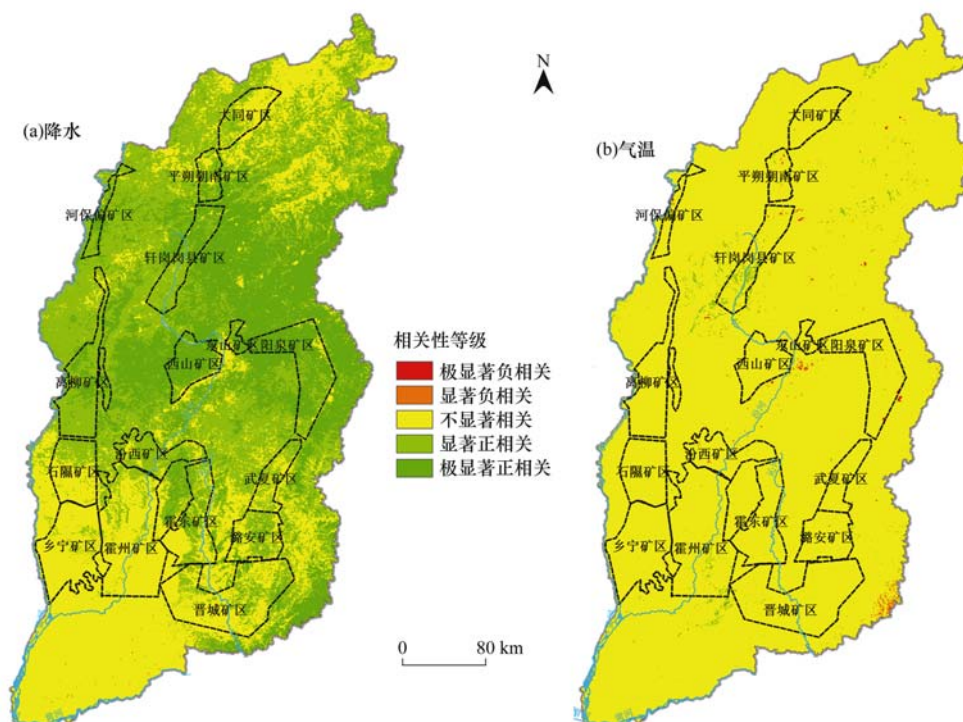


图 8 NPP 与降水及气温相关性

Fig. 8 Correlation between NPP and precipitation and temperature

2.2.3 土地利用因素

人类活动会对植被的生长和分布产生影响,同时不同土地利用类型受到人类的扰动强烈,也是引起 NPP 变化的重要原因.2000 ~ 2020 年山西省土地利用类型产生了较大变化,其中耕地、草地、水域和未利用地面积均有一定程度的减少,而林地和建设用地面积增长明显.在不同的用地类型中,NPP 均值最高的类型为林地,其在 2000 年和 2020 年的 NPP 均值分别为 $320.87\text{ g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{a})^{-1}$ 和 $458.08\text{ g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{a})^{-1}$.其次是草地和耕地,建设用地、水域和未利用地由于受到本底自然条件或人类活动的影响,本身植被分布较为稀疏,因此 NPP 均值较低.同时,林地、耕地和草地这三大用地类型是山西省 NPP 的主要来源,三者 NPP 总量在 2000 年和 2020 年分别为 $4.10\times 10^{13}\text{ g}$ 和 $6.11\times 10^{13}\text{ g}$,在山西省 NPP 总量的占比分别达到了 97.30% 和 95.30% (表

2). 林地的光照条件好,光能利用率高,植被光合作用较活跃,因此生物量累积较高,使得 NPP 均值变高^[4].而耕地、草地、水域和未利用地虽然面积减少,但是由于 2020 年气温和降水均值高于 2000 年 (图 9),充足的水热条件可以提高植被光合作用的效率,同时使得土壤水分提高,胁迫作用降低,加速植被干物质的积累,因此这 4 种用地类型的 NPP 总量仍表现为增加^[48].结合土地利用方式变化和 NPP 变化趋势检验图可知,NPP 均值呈下降趋势的区域主要分布在规划矿区内以及各城镇建设用地周边等人类活动强度较高的场所.这些地区主要分布在平朔朔南矿区、太原盆地北部和阳泉市南部.上述区域受到建设用地扩张和采矿活动的影响,土地利用结构发生变化,即占用大量耕地,总沉陷面积增加,部分林地和耕地转为建设和工矿用地,最终导致 NPP 均值下降.

表 2 2000 年和 2020 年山西省各用地类型面积与对应 NPP 统计

用地类型	NPP 均值/ $\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{a})^{-1}$		面积/ km^2		NPP 总量 $\times 10^{11}/\text{g}$	
	2000 年	2020 年	2000 年	2020 年	2000 年	2020 年
耕地	252.18	397.00	61 095.50	57 781.50	154.07	229.39
林地	320.87	458.08	43 742.75	44 375.75	140.36	203.28
草地	254.26	406.61	45 532.75	43 978.25	115.77	178.82
水域	214.27	317.90	1 455.75	1 327.75	3.12	4.22
建设用地	190.62	297.38	4 179.25	8 596.75	7.97	25.56
未利用地	210.13	364.84	148.25	95.50	0.31	0.35

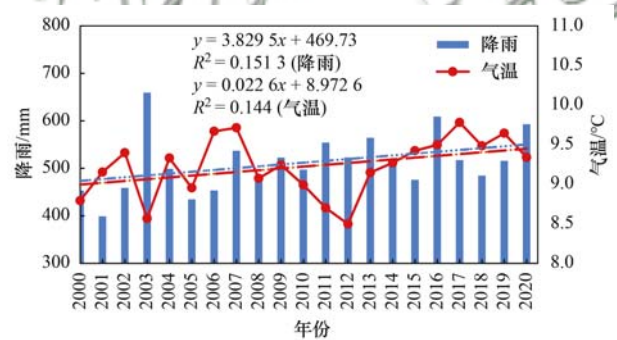


图 9 山西省 2000 ~ 2020 年年均降水量与气温
Fig. 9 Average annual precipitation and temperature
in Shanxi province from 2000 to 2020

2.3 各因素对 NPP 空间分异性影响分析

地理探测器主要的计算结果 q 为因子解释力, q 值越大表示该因子对因变量空间分布的解释力越强.从交互作用的结果来看,各年份的主导因子均为降水,代表年份解释力分别为 0.174、0.143、0.166、0.182 和 0.160 (图 10).而从不同年份各因子的 q 均值来看,大小为:降水(0.165) > 土地利用(0.124) > 人口密度(0.085) > 坡度(0.080) > 高程(0.064) > 气温(0.024),进一步表明降雨是 NPP 变化的主要驱动力.交互作用结果显示,双因子交互后

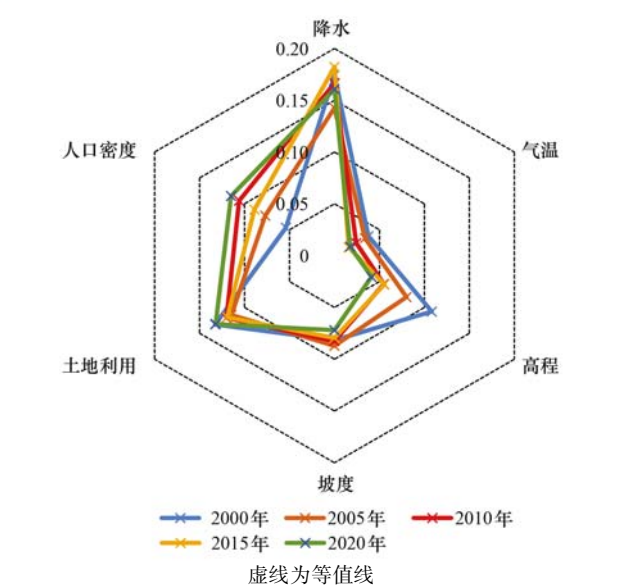


图 10 各代表年份不同因子解释力分布
Fig. 10 Explanatory power distribution of different
factors in each representative year

的影响力明显高于单因子,且任意两个因子交互结果均呈现出非线性增强的特点,这说明 NPP 的变化受到多个因子的协同影响,将各代表年份的交互因子影响值进行排列,可以看到 2000 年、2005 年和

2010 年降水和气温因子在交互后的影响值最高,分别为 0.385、0.355 和 0.295,2015 年降水和高程在交互后有最高的解释力,达到了 0.325,而在 2020 年则为降水及人口密度双因子交互后达到最高的解释力,为 0.275(表 3)。从最终结果来看,降水仍为 NPP 变化的主导因子,而随着时间的变化,降水因子加上土地利用/人口密度的交互解释力在不断上升,说明人为因素对 NPP 值变化的影响力在逐渐提高。

表 3 各代表年份主导交互因子情况

年份	主导交互因子 1	主导交互因子 2	主导交互因子 3
2000	降水 $\cap$ 气温 0.385	降水 $\cap$ 高程 0.383	降水 $\cap$ 土地利用 0.300
2005	降水 $\cap$ 气温 0.355	降水 $\cap$ 高程 0.343	降水 $\cap$ 土地利用 0.261
2010	降水 $\cap$ 气温 0.295	降水 $\cap$ 高程 0.288	降水 $\cap$ 人口密度 0.273
2015	降水 $\cap$ 高程 0.325	降水 $\cap$ 气温 0.310	降水 $\cap$ 土地利用 0.300
2020	降水 $\cap$ 人口密度 0.275	降水 $\cap$ 土地利用 0.268	降水 $\cap$ 高程 0.250

3 展望

本文所引用的 NPP 数据集空间分辨率为 500 m,时间分辨率为 1 a,可用于大尺度 NPP 变化分析,若需要对小尺度区域,或者从季度和月份角度进行 NPP 变化分析,则需要分辨率更高的 NPP 数据。地理探测器作为一种新兴的驱动力分析方法,能够分析单因子及多因子协同作用下对变量空间分布的解释力,但其较依赖于先验知识即 X 变量的选取。本文在参考同类研究的基础上,选取了以降水、坡度、高程和气温为代表的自然因子和以土地利用和人口密度为代表的人为因子。事实上 NPP 的变化受到多要素的协同作用,在后续研究中,除了分析常见的影响因子以外,也应该积极探寻引起 NPP 变化的其他因子,山西省煤炭开采活动较为剧烈,受到相关矿区开采和产能等数据的获取限制,本文仅大致研究了规划矿区内的 NPP 情况,并和山西省整体水平进行了对比,在后续研究中,可以试着从煤炭开采复垦等角度,结合社会经济水平和城市建设水平等指标,建立较为完善的驱动力因子库,以更综合地识别引起 NPP 变化的主要因素。

4 结论

(1)NPP 空间分布差异显著,总体呈现西北低、东南高的特点,高值区主要分布于吕梁山脉和太行山脉等植被覆盖度较高的地方,而低值区主要分布

在西侧黄河流域以及各类零散的建设用地周边。

(2)山西省及规划矿区近 21 年间 NPP 均值呈现波动上升趋势。在不同用地类型中,耕地、林地和草地的 NPP 总量占据前 3 位,3 种用地类型的 NPP 总量在山西省及规划矿区中分别占了 97.30% 与 95.30%。

(3)NPP 和降水和气温均具有一定的相关性,其中 NPP 变化和降水相关性系数较高的区域以中部和东部为主,而呈现负相关性的区域主要分布在建设用地以及山西省西南部区域。另一方面,气温和 NPP 相关系数值较高的区域基本分布于山西省西侧,中部和东侧则呈现出负相关。

(4)由驱动力分析结果可知:降水是多年来引起 NPP 变化的主导因子,各年份不同因子影响力均值相比,大小为:降水>土地利用>人口密度>坡度>高程>气温。且双因子的交互作用影响力显著大于单因子。同时,土地利用方式对 NPP 变化的影响力在逐步上升,表明近年来人为活动对 NPP 变化产生了较大的扰动。

参考文献:

- [1] Xiao X Y, Li X B, Jiang T, *et al.* Response of net primary production to land use and climate changes in the middle-reaches of the Heihe River basin[J]. *Ecology and Evolution*, 2019, **9** (8): 4651-4666.
- [2] Field C B, Randerson J T, Malmström C M. Global net primary production: combining ecology and remote sensing[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1995, **51**(1): 74-88.
- [3] 张振东, 常军. 2001—2018 年黄河流域植被 NPP 的时空分异及生态经济协调性分析[J]. *华中农业大学学报*, 2021, **40**(2): 166-177.
- [4] Zhang Z D, Chang J. Spatial-temporal differentiation and eco-economic coordination of vegetation NPP in the Yellow River Basin from 2001 to 2018[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, **40**(2): 166-177.
- [5] 孙治娟, 谢世友. 基于地理探测器的云南省净初级生产力时空演变及因子探测[J]. *生态学报*, 2021, **40**(12): 3836-3848.
- [6] Sun Z J, Xie S Y. Spatiotemporal variation in net primary productivity and factor detection in Yunnan province based on geodetector[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, **40**(12): 3836-3848.
- [7] 徐雨晴, 肖风劲, 於琰. 中国森林生态系统净初级生产力时空分布及其对气候变化的响应研究综述[J]. *生态学报*, 2020, **40**(14): 4710-4723.
- [8] Xu Y Q, Xiao F J, Yu L. Review of spatio-temporal distribution of net primary productivity in forest ecosystem and its responses to climate change in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(14): 4710-4723.
- [9] 严俊霞, 黄浩, 高彦华, 等. 吉林省长时间序列陆地生态系统 NPP 时空变化特征[J]. *水土保持学报*, 2021, **35**(5): 172-180.
- [10] Yan J X, Huang H, Gao Y H, *et al.* Estimation and spatial-temporal dynamics of long-term sequenced vegetation net primary productivity in Jilin province[J]. *Journal of Soil and Water*

- Conservation, 2021, **35**(5): 172-180.
- [7] 王科雯, 李晶, 王瑞国, 等. 胜利矿区植被覆盖度时序变化的空间异质性监测[J]. 测绘通报, 2020, (11): 1-6.
Wang K W, Li J, Wang R G, *et al.* Spatial heterogeneity monitoring of temporal variation of vegetation coverage in Shengli mining area[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020, (11): 1-6.
- [8] 孙庆龄, 李宝林, 李飞, 等. 三江源植被净初级生产力估算研究进展[J]. 地理学报, 2016, **71**(9): 1596-1612.
Sun Q L, Li B L, Li F, *et al.* Review on the estimation of net primary productivity of vegetation in the Three-River Headwater Region, China[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, **71**(9): 1596-1612.
- [9] Xing W X, Chi Y, Ma X J, *et al.* Spatiotemporal characteristics of vegetation net primary productivity on an intensively-used estuarine alluvial island[J]. Land, 2021, **10**(2), doi: 10.3390/land10020130.
- [10] 杜波波, 阿拉腾图娅, 包刚, 等. 基于 CASA 模型模拟锡林郭勒草原净初级生产力[J]. 水土保持研究, 2021, **28**(5): 293-300.
Du B B, Alatengtuya, Bao G, *et al.* Simulation of net primary productivity of Xilingol grassland based on CASA model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, **28**(5): 293-300.
- [11] 郭灵辉, 郝成元, 吴绍洪, 等. 内蒙古草地 NPP 变化特征及其对气候变化敏感性的 CENTURY 模拟研究[J]. 地理研究, 2016, **35**(2): 271-284.
Guo L H, Hao C Y, Wu S H, *et al.* Analysis of changes in net primary productivity and its susceptibility to climate change of Inner Mongolian grasslands using the CENTURY model[J]. Geographical Research, 2016, **35**(2): 271-284.
- [12] 李传华, 韩海燕, 范也平, 等. 基于 Biome-BGC 模型的青藏高原五道梁地区 NPP 变化及情景模拟[J]. 地理科学, 2019, **39**(8): 1330-1339.
Li C H, Han H Y, Fan Y P, *et al.* NPP change and scenario simulation in Wudaoliang area of the Tibetan Plateau based on Biome-BGC model[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, **39**(8): 1330-1339.
- [13] 李芸, 王轶夫, 孙玉军, 等. 吉林省落叶松林净初级生产力时空特征及其对气候变化的响应[J]. 生态学报, 2022, **42**(3): 947-959.
Li Y, Wang Y F, Sun Y J, *et al.* Temporal-spatial characteristics of NPP and its response to climate change of *Larix* forests in Jilin province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, **42**(3): 947-959.
- [14] 李志祥, 张艺凡, 张和生. 山西省六大煤田植被净初级生产力对土地覆被变化的响应[J]. 中国矿业, 2021, **30**(5): 107-114.
Li Z X, Zhang Y F, Zhang H S. Response of net primary productivity of vegetation to land cover change in six coal fields of Shanxi province[J]. China Mining Magazine, 2021, **30**(5): 107-114.
- [15] 郭睿妍, 田佳, 杨志玲, 等. 基于 GEE 平台的黄河流域森林 NPP 时空变化特征[J]. 生态学报, 2022, **42**(13): 5437-5445.
Guo R Y, Tian J, Yang Z L, *et al.* Spatio-temporal variation characteristics of forest net primary productivity in the Yellow River basin based on Google Earth Engine cloud platform[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, **42**(13): 5437-5445.
- [16] 梁爽, 张吴平, 毕如田, 等. 山西省植被 NPP 时空变化特征及其驱动力分析[J]. 广西植物, 2018, **38**(8): 1005-1014.
Liang S, Zhang W P, Bi R T, *et al.* Variation characteristics of vegetation net primary productivity and its driving factors in Shanxi province[J]. Guihaia, 2018, **38**(8): 1005-1014.
- [17] 刘婧, 汤峰, 张贵军, 等. 2000—2015 年滦河流域植被净初级生产力时空分布特征及其驱动因子分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, **29**(4): 659-671.
Liu J, Tang F, Zhang G J, *et al.* Spatio-temporal distribution of net primary productivity and its driving factors in the Luanhe River basin from 2000 to 2015[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, **29**(4): 659-671.
- [18] 黄小刚, 赵景波, 曹军骥, 等. 中国城市 O₃ 浓度时空变化特征及驱动因素[J]. 环境科学, 2019, **40**(3): 1120-1131.
Huang X G, Zhao J B, Cao J J, *et al.* Spatial-temporal variation of ozone concentration and its driving factors in China[J]. Environmental Science, 2019, **40**(3): 1120-1131.
- [19] 顾高铨, 万小铭, 曾伟斌, 等. 焦化场地内外土壤重金属空间分布及驱动因子差异分析[J]. 环境科学, 2021, **42**(3): 1081-1092.
Gu G Q, Wan X M, Zeng W B, *et al.* Analysis of the spatial distribution of heavy metals in soil from a coking plant and its driving factors[J]. Environmental Science, 2021, **42**(3): 1081-1092.
- [20] 杨文涛, 譙鹏, 刘贤赵, 等. 2011~2017 年中国 PM_{2.5} 多尺度时空分异特征分析[J]. 环境科学, 2020, **41**(12): 5236-5244.
Yang W T, Qiao P, Liu X Z, *et al.* Analysis of multi-scale spatio-temporal differentiation characteristics of PM_{2.5} in China from 2011 to 2017[J]. Environmental Science, 2020, **41**(12): 5236-5244.
- [21] 李成, 王让会, 李兆哲, 等. 中国典型农田土壤有机碳密度的空间分异及影响因素[J]. 环境科学, 2021, **42**(5): 2432-2439.
Li C, Wang R H, Li Z Z, *et al.* Spatial differentiation of soil organic carbon density and influencing factors in typical croplands of China[J]. Environmental Science, 2021, **42**(5): 2432-2439.
- [22] 黄小刚, 赵景波, 孙从建, 等. 汾渭平原 PM_{2.5} 空间分布的地形效应[J]. 环境科学, 2021, **42**(10): 4582-4592.
Huang X G, Zhao J B, Sun C J, *et al.* Orographic influences on the spatial distribution of PM_{2.5} on the Fen-Wei plain[J]. Environmental Science, 2021, **42**(10): 4582-4592.
- [23] 赵俊红, 周华荣, 卢雅焱, 等. 2000—2015 年塔里木胡杨林国家级自然保护区 NPP 时空动态特征及其影响因素[J]. 干旱区地理, 2020, **43**(1): 190-200.
Zhao J H, Zhou H R, Lu Y Y, *et al.* Temporal-spatial characteristics and influencing factors of the vegetation net primary production in the National Nature Reserve of *Populus euphratica* in Tarim from 2000 to 2015[J]. Arid Land Geography, 2020, **43**(1): 190-200.
- [24] 刘恒, 汤弟伟, 宋鄂平, 等. 2000-2015 年武陵山区植被净初级生产力的时空动态特征及其驱动因子[J]. 水土保持研究, 2020, **27**(6): 218-225.
Liu H, Tang D W, Song E P, *et al.* Spatiotemporal dynamics of vegetation net primary productivity and its driving factors in Wuling mountainous area during 2000-2015[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, **27**(6): 218-225.
- [25] 王丽丽, 刘笑杰, 李丁, 等. 长江经济带 PM_{2.5} 空间异质性和驱动因素的地理探测[J]. 环境科学, 2022, **43**(3): 1190-1200.
Wang L L, Liu X J, Li D, *et al.* Geographical detection of spatial heterogeneity and drivers of PM_{2.5} in the Yangtze River

- Economic Belt [J]. *Environmental Science*, 2022, **43** (3): 1190-1200.
- [26] 刘珞丹, 李晶, 柳彩霞, 等. 2000-2015 年长江经济带植被覆盖时空变化特征及影响因素分析[J]. *水土保持研究*, 2021, **28**(6): 330-336, 347.
- Liu L D, Li J, Liu C X, *et al.* Analysis on the characteristics of temporal and spatial changes and influencing factors of vegetation coverage in the Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015 [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, **28**(6): 330-336, 347.
- [27] 李娜, 施坤, 张运林, 等. 基于 MODIS 影像的洪泽湖水生植被覆盖时空变化特征及影响因素分析[J]. *环境科学*, 2019, **40**(10): 4487-4496.
- Li N, Shi K, Zhang Y L, *et al.* Spatio-temporal variations in aquatic vegetation cover and the potential influencing factors in Lake Hongze based on MODIS images [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(10): 4487-4496.
- [28] 李晶, 刘乾龙, 刘鹏宇. 1998—2018 年呼伦贝尔市植被覆盖度时空变化及驱动力分析[J]. *生态学报*, 2022, **42**(1): 220-235.
- Li J, Liu Q L, Liu P Y. Spatio-temporal changes and driving forces of fraction of vegetation coverage in Hulunbuir (1998-2018) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(1): 220-235.
- [29] 杨玉莲, 杨昆, 罗毅, 等. 1998~2016 中国八大经济区植被覆盖对 PM_{2.5} 浓度时空分布的影响[J]. *环境科学*, 2021, **42**(11): 5100-5108.
- Yang Y L, Yang K, Luo Y, *et al.* Effect of vegetation coverage on the temporal and spatial distribution of PM_{2.5} concentration in China's eight major economic regions from 1998 to 2016 [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(11): 5100-5108.
- [30] 李晶, 闫星光, 闫萧萧, 等. 基于 GEE 云平台的黄河流域植被覆盖度时空变化特征[J]. *煤炭学报*, 2021, **46**(5): 1439-1450.
- Li J, Yan X G, Yan X X, *et al.* Temporal and spatial variation characteristic of vegetation coverage in the Yellow River basin based on GEE cloud platform [J]. *Journal of China Coal Society*, 2021, **46**(5): 1439-1450.
- [31] 孙从建, 乔鹏, 王佳瑞, 等. 2000 年来吕梁连片贫困区植被净初级生产力时空变化特征[J]. *生态学报*, 2022, **42**(1): 277-286.
- Sun C J, Qiao P, Wang J R, *et al.* Spatio-temporal variation characteristics of net primary productivity in Lvliang contiguous poverty areas since 2000 [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(1): 277-286.
- [32] 刘祥宏, 阎永军, 刘伟, 等. 碳中和战略下煤矿区生态碳汇体系构建及功能提升展望[J]. *环境科学*, 2022, **43**(4): 2237-2250.
- Liu X H, Yan Y J, Liu W, *et al.* System construction and the function improvement of ecological carbon sink in coal mining areas under the carbon neutral strategy [J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(4): 2237-2250.
- [33] 王智. 基于 CASA 模型的杭州市森林碳储量时空变化及影响因素研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2021.
- [34] Ji Y H, Zhou G S, Luo T X, *et al.* Variation of net primary productivity and its drivers in China's forests during 2000-2018 [J]. *Forest Ecosystems*, 2020, **7**(1): 15.
- [35] Huang X, Huang C B, Teng M J, *et al.* Net primary productivity of *Pinus massoniana* dependence on climate, soil and forest characteristics [J]. *Forests*, 2020, **11**(4), doi: 10.3390/f11040404.
- [36] Park J H, Gan J B, Park C. Discrepancies between global forest net primary productivity estimates derived from MODIS and forest inventory data and underlying factors [J]. *Remote Sensing*, 2021, **13**(8), doi: 10.3390/rs13081441.
- [37] 黄小刚, 邵天杰, 赵景波, 等. 长江经济带空气质量的时空分布特征及影响因素[J]. *中国环境科学*, 2020, **40**(2): 874-884.
- Huang X G, Shao T J, Zhao J B, *et al.* Spatial-temporal distribution of air quality and its influencing factors in the Yangtze River Economic Belt [J]. *China Environmental Science*, 2020, **40**(2): 874-884.
- [38] 自然资源部. 《全国矿产资源规划 2016~2020》[EB/OL]. http://www.mnr.gov.cn/gk/ghjh/201811/t20181101_2324927.html, 2022-04-11.
- [39] Running S W, Nemani R R, Heinsch F A, *et al.* A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production [J]. *Bioscience*, 2004, **54**(6): 547-560.
- [40] Gaughan A E, Stevens F R, Linard C, *et al.* High resolution population distribution maps for Southeast Asia in 2010 and 2015 [J]. *PLoS One*, 2013, **8**(2): e55882.
- [41] Peng S Z, Ding Y X, Liu W Z, *et al.* 1 km monthly temperature and precipitation dataset for China from 1901 to 2017 [J]. *Earth System Science Data*, 2019, **11**(4): 1931-1946.
- [42] 王新闯, 王世东, 张合兵. 基于 MOD17A3 的河南省 NPP 时空格局[J]. *生态学杂志*, 2013, **32**(10): 2797-2805.
- Wang X C, Wang S D, Zhang H B. Spatiotemporal pattern of vegetation net primary productivity in Henan province of China based on MOD17A3 [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(10): 2797-2805.
- [43] 闫萧萧, 李晶, 杨震. 2000—2016 年陈巴尔虎旗植被覆盖度时空变化遥感动态监测[J]. *中国农业大学学报*, 2018, **23**(6): 121-129.
- Yan X X, Li J, Yang Z. Dynamic remote sensing monitoring on the temporal-spatial changes of vegetation coverage in Chen Barag Banner from 2000 to 2016 [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, **23**(6): 121-129.
- [44] 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.
- [45] 齐小天, 张质明, 赵鑫, 等. 降雨径流污染风险等级识别与优化方法[J]. *环境科学*, 2022, **43**(3): 1500-1511.
- Qi X T, Zhang Z M, Zhao X, *et al.* Identification and optimization method of rainfall-runoff pollution risk level [J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(3): 1500-1511.
- [46] GB/T 15772-2008, 水土保持综合治理 规划通则[S].
- [47] 刘杰, 汲玉河, 周广胜, 等. 2000—2020 年青藏高原植被净初级生产力时空变化及其气候驱动作用[J]. *应用生态学报*, 2022, **33**(6): 1535-1538.
- Liu J, Ji Y H, Zhou G S, *et al.* Temporal and spatial change of net primary productivity (NPP) and its climate driving effect in the Qinghai-Tibet Plateau, China from 2000 to 2020 [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, **33**(6): 1535-1538.
- [48] 闫立男, 王新军, 陈蓓, 等. 稀疏植被净初级生产力时空变化及气象因素关系分析[J]. *测绘通报*, 2022, (3): 1-6.
- Yan L N, Wang X J, Chen B, *et al.* Analysis of spatiotemporal variation of sparse vegetation net primary productivity and meteorological factors [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2022, (3): 1-6.

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-lan, QIN Cun-li, QIAN Yao, <i>et al.</i> (583)