

目次

中国城市碳排放强度的时空演变、动态跃迁及收敛趋势	杨清可, 王磊, 朱高立, 李颖, 范业婷, 王雅竹 (1869)
交通运输业碳排放效率时空演变及趋势预测	郑琰, 蒋雪梅, 肖玉杰 (1879)
基于扩展STIRPAT模型LMDI分解的碳排放脱钩因素	张江艳 (1888)
基于LEAP模型的工业园区碳达峰路径:以南京某国家级开发区为例	李慧鹏, 李荔, 殷茵, 何文大, 宿杰, 赵秋月 (1898)
高校碳排放核算与分析:以北京A高校为例	曹睿, 封莉, 张立秋 (1907)
北京市制造业减排降碳协同效应分析和驱动因素	俞珊, 韩玉花, 牟洁, 张双, 张增杰 (1917)
碳排放权交易价格与全要素生产率:来自中国的证据	吴雪萍 (1926)
中国城市PM _{2.5} 和PM ₁₀ 时空分布特征和影响因素分析	李江苏, 段良苏, 张天娇 (1938)
2017~2021年苏皖鲁豫交界区域PM _{2.5} 和O ₃ 时空变化特征及影响因素	陈伟, 徐学哲, 刘文清 (1950)
疫情管控期西安PM _{2.5} 和O ₃ 污染特征及成因分析	原晓红, 张强, 李琦, 谢文豪, 刘跃廷, 樊亭亭, 姜旭朋 (1963)
苏南五市秋冬季PM _{2.5} 化学组成特征和空间差异	冯蔚, 丁峰, 尚玥, 谢鸣捷 (1975)
湖北咸宁细颗粒物PM _{2.5} 来源	罗怡, 朱宽广, 陈璞琰, 田军, 谢旻, 战杨志豪, 赵润琪 (1983)
邢台氨减排对京津冀PM _{2.5} 改善的溢出效益	边泽君, 闻超玉, 郎建奎, 范晓茜, 夏祥晨, 周颖 (1994)
聊城市冬季PM _{2.5} 载带金属元素污染特征、风险评价及来源分析	张敬巧, 朱瑶, 曹婷, 燕丽, 王淑兰, 刘铮 (2003)
高原城市拉萨典型VOCs排放源成分谱特征	郭淑政, 叶春翔, 林伟立, 陈熠, 曾立民, 尹晴晴, 刘雪莉 (2011)
北京市工业园区VOCs污染特征及健康风险评估案例:高新技术产业的环境影响	王洁, 姚震, 王敏燕, 陈速敏, 龙腾, 王海林, 李红, 郭秀锐, 郝江虹, 聂磊 (2019)
高温极端天气影响下的成都平原一次典型臭氧污染过程分析	雷丽娟, 张懿, 罗伊娜, 张潇, 冯森 (2028)
水环境中抗病毒药物的存在、行为与风险	葛林科, 李璇艳, 曹胜凯, 郑金帅, 张蓬, 朱超, 马宏瑞 (2039)
黄河小浪底水库地表水中重金属的时空变化与概率健康风险	王亮, 邓雪娇, 王潇磊, 李明, 刘奕尧, 姜亚敏, 涂响, 张坤峰 (2054)
藏东多曲河流域锑富集水化学特征及控制因素	李敬杰, 连晟, 王明国, 张智印, 张涛 (2067)
西北内陆区降水稳定同位素时空分布特征及其水汽来源	张炎炎, 辛存林, 郭小燕, 张博, 陈宁, 史延飞 (2080)
基于水化学和氢氧同位素的泰安城区岩溶地下水补给来源及演化过程	孟令华 (2096)
丹江流域山区地表水-地下水水化学特征及其影响因素	张子燕, 伏永朋, 王宁涛, 谭建民, 刘亚磊 (2107)
金塔盆地鸳鸯池灌区地下水水化学特征及控制因素	王晓燕, 韩双宝, 张梦南, 尹德超, 吴玺, 安永会 (2118)
德阳市平原区浅层地下水水化学特征与健康风险评价	刘楠, 陈盟, 高东东, 吴勇, 王橹橹 (2129)
典型城市河网沉积物微塑料时空分布特征	许万璐, 范一凡, 钱新 (2142)
抚仙湖流域尺度氮排放清单构建及关键源解析	王延杰, 梁启斌, 王艳霞, 侯磊, 陈奇伯, 王伟, 李晓琳, 高俊淑 (2150)
过氧化钙/海泡石海藻酸钠缓释凝胶复合材料的制备及其对内源磷的控制性能	曲思彤, 单苏洁, 王崇铭, 吴玲予, 李大鹏, 黄勇 (2160)
矿物超细颗粒的形成机制、结构特征及其环境行为和效应	刘振海, 张展华, 袁语欣, 朱盼盼, 陈威, 张勇 (2171)
生物炭固定化菌复合材料在环境修复中的应用研究进展	孙淑玉, 黄梦鑫, 孔强, 张焕新, 刘继伟 (2185)
微塑料对沸石吸附水体氨氮的影响及其机制	练建军, 谢诗婷, 吴培, 孟冠华, 陈波 (2195)
紫外老化作用对纳米生物炭吸附环丙沙星的影响机制	马锋锋, 薛之一, 赵保卫 (2203)
土地利用影响下永定河流域浮游植物群落与环境因子响应	郭善嵩, 胡恩, 丁一桐, 张嘉渭, 孙长顺, 卢悦, 潘保柱 (2211)
鄱阳湖湿地细菌群落多样性和可培养细菌功能基因丰度	喻江, 王淳, 龙永, 刘贵花, 李春杰, 范国权, 于镇华 (2223)
典农河沉积物细菌群落结构特征及其与重金属的关系	刘双羽, 蒙俊杰, 邱小琮, 周瑞娟, 李霖 (2233)
污水处理厂尾水排放对受纳河流细菌和真菌微生物群落的影响	郭有顺, 余仲, 郝文彬, 孟凡刚 (2246)
宏基因组学分析深度处理阶段污水中细菌的赋存特征及其功能	胡健双, 王燕, 周政, 汪雅琴, 王秉政, 李激 (2259)
大别山区生境质量时空特征及自然-人为因素驱动机制	郑亚平, 张俊华, 田惠文, 朱航成, 刘舒, 丁亚鹏 (2268)
基于连续小波变换、SHAP和XGBoost的土壤有机质含量高光谱反演	叶森, 朱琳, 刘旭东, 黄勇, 陈蓓蓓, 李欢 (2280)
秸秆还田、覆膜和施氮对旱地麦田土壤质量的影响	叶子壮, 王松燕, 陆潇, 史多鹏, 吕慎强, 李嘉, 杨泽宇, 王林科 (2292)
长期施用有机肥对土壤微塑料赋存及迁移特征的影响	王长远, 马啸驰, 郭德杰, 刘新红, 马艳, 罗佳 (2304)
土壤盐分变化对N ₂ O排放影响:基于Meta分析	黄艺华, 余冬立, 史祯琦, 胡磊, 潘永春 (2313)
基于土地利用/覆被动态变化的粤港澳大湾区碳储量评价与预测	郑慧玲, 郑辉峰 (2321)
基于InVEST模型的伏牛山地区生态系统碳储量时空变化模拟	张哲, 时振钦, 朱文博, 孙梓欣, 赵体侠, 邓文萍, 刘志强 (2332)
防护林建设过程中土壤微生物养分限制与有机碳组分之间的关系	徐凤璟, 黄懿梅, 黄倩, 申继凯 (2342)
长期秸秆还田褐土有机碳矿化特征及其驱动力	赵宇航, 殷浩凯, 胡雪纯, 解文艳, 刘志平, 周怀平, 杨振兴 (2353)
冬绿肥覆盖对土壤团聚体及有机碳和AMF多样性的影响	鲁泽让, 陈佳钰, 李智贤, 李永梅, 罗志章, 杨锐, 田明洋, 赵吉霞, 范茂攀 (2363)
辽河流域氮素时空分布及其对土地利用和降雨的响应	周波, 李晓光, 童思陈, 吕旭波, 郭朝臣, 雷坤 (2373)
高强度农业种植区不同景观池塘氧化亚氮排放特征	张欣悦, 肖启涛, 谢晖, 刘臻婧, 邱银国, 罗菊花, 徐向华, 段洪涛 (2385)
生物炭与不同类型氮肥配施对菜地土壤反硝化细菌群落的影响	柳晓婉, 刘杏认, 高尚洁, 李贵春 (2394)
太岳山不同林龄人工油松林土壤微生物特征	马义淑, 曹亚鑫, 牛敏, 张明昱, 程曼, 文永莉 (2406)
基于稀疏样点的土壤重金属含量模拟方法	张佳琦, 潘瑜春, 高世臣, 赵亚楠, 景胜强, 周艳兵, 邹允兵 (2417)
基于特定源-风险评估模型的兰州黄河风情线绿地土壤重金属污染优先控制源分析	李军, 李旭, 李开明, 焦亮, 台喜生, 臧飞, 陈伟, 脱新颖 (2428)
西南不同类型紫色土pH变化、重金属累积与潜在生态风险评估	张海琳, 张雨, 王顶, 谢军, 张跃强, 张宇亭, 王洁, 石孝均 (2440)
重庆某铁矿区周边耕地土壤重金属污染评价及来源解析	廖泽源, 李杰芹, 沈智杰, 李彩霞, 罗程钟, 梅楠, 张成, 王定勇 (2450)
金属矿区周边农田土壤与农作物重金属健康风险评估	魏洪斌, 罗明, 向奎, 查理思 (2461)
赤泥基纳米零价铁对多金属污染土壤修复效果	刘龙宇, 杨世利, 赵黄诗雨, 常凯威, 余江 (2473)
施锌对碱性土壤-小麦幼苗体系累积镉的影响	张瑶, 王天齐, 牛硕, 杨阳, 陈卫平 (2479)

大别山区生境质量时空特征及自然-人为因素驱动机制

郑亚平^{1,2}, 张俊华^{1,2,3*}, 田惠文^{1,2}, 朱航成^{1,2}, 刘舒^{1,2}, 丁亚鹏^{1,2}

(1. 河南大学地理与环境学院, 开封 475004; 2. 河南大学黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室, 开封 475004; 3. 河南大别山森林生态系统国家野外科学观测研究站, 郑州 450046)

摘要: 大别山区是中国南北地理生态过渡带东延余脉, 山地系统表现出高度的异质性和敏感易变性, 识别山地生境质量的空间特征对揭示自然和人为因素的时空驱动机制及差异具有重要指示意义. 基于PLUS-InVEST以及地理探测器方法, 分析大别山区2000~2020年生境质量的时空动态变化及驱动机制, 并对2030年土地利用和生境质量进行多情景模拟预测. 2000~2020年, 区内土地利用类型以耕地(50%~54%)和林地(42%~45%)为主, 荒地(2%~4%)面积占比最低, 大别山区耕地变化最大, 面积减少2 311.45 km², 林地和建设用地次之, 面积分别增加1 431.37 km²和924.52 km², 灌木和荒地的变化较小, 面积分别减少7.72 km²和19.10 km²; 大别山区的生境质量与海拔高度呈正相关, 中东部生境质量较高, 北部和南部生境质量较差; 2000~2010年生境质量均值从0.594上升到0.608, 到2020年下降到0.603, 生境质量出现了先上升后下降的趋势. 地理探测器结果表明, 影响大别山区生境质量的主要驱动因素是地形起伏度、土地利用强度和海拔, NDVI的影响随着时间逐渐增强. 2030年生境质量的预测结果显示, 4种发展情景下, 区域内整体生境质量仍然呈现下降的趋势, 并且在生态保护情景下, 依旧呈现降低的趋势, 只是降低的速率减小. 研究结果可为大别山区未来土地利用类型空间规划提供优化策略.

关键词: PLUS-InVEST模型; 生境质量; 土地利用; 地理探测器; 时空变化; 大别山区

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)04-2268-12 DOI: 10.13227/j.hjxx.202305095

Spatio-temporal Characteristics of Habitat Quality and Natural-human Driven Mechanism in Dabie Mountain Area

ZHENG Ya-ping^{1,2}, ZHANG Jun-hua^{1,2,3*}, TIAN Hui-wen^{1,2}, ZHU Hang-cheng^{1,2}, LIU Shu^{1,2}, DING Ya-peng^{1,2}

(1. College of Geography and Environmental Science, Henan University, Kaifeng 475004, China; 2. Key Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, Henan University, Kaifeng 475004, China; 3. Henan Dabieshan National Field Observation and Research Station of Forest Ecosystem, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: The Dabie Mountain area is an eastern extension of China's south-north ecological transition zone, displaying a high degree of heterogeneity and sensitivity in its mountain system. Identifying the spatial characteristics of mountain habitat quality is of great significance for revealing the spatiotemporal driving mechanisms and differences between natural and human factors. In this study, we used PLUS-InVEST and geographic detector methods to analyze the spatiotemporal dynamic changes and driving mechanisms of habitat quality in the Dabie Mountain area from 2000 to 2020 and conducted multiple scenario simulation predictions of land use and habitat quality for 2030. From 2000 to 2020, the dominant land use types in the area were arable land (50%-54%) and forest land (42%-45%), with the lowest proportion being that of barren land (2%-4%). Arable land had the largest change, decreasing by 2 311.45 km², followed by forest land and construction land, which increased by 1 431.37 km² and 924.52 km², respectively. Less variation was shown in the shrub and barren areas, decreasing by 7.72 km² and 19.10 km², respectively. Habitat quality in the Dabie Mountain area was positively correlated with altitude, with higher quality in the central and eastern parts and lower quality in the northern and southern parts. From 2000 to 2010, the mean habitat quality increased from 0.594 to 0.608 and then decreased to 0.603 by 2020, exhibiting an increasing-then-decreasing trend. The results of the geographic detector analysis showed that the main driving factors affecting habitat quality in the Dabie Mountain region were terrain undulation, land use intensity, and altitude, and the impact of NDVI gradually increased over time. The predicted results for 2030 showed that under four development scenarios, the overall habitat quality in the area still showed a downward trend. Under the ecological protection scenario, it still showed a decreasing trend, but the rate of decrease was reduced. The research results can provide optimization strategies for the spatial planning of future land use types in the Dabie Mountain area.

Key words: PLUS-InVEST model; habitat quality; land use; geographical detector; spatiotemporal changes; Dabie Mountain area

生境质量是区域生态系统生命有机体可持续发展的生存条件和基础, 其高低是评价生态系统健康程度和生物多样性的指标^[1,2]. 定量评价生境质量是衡量生态系统健康程度、协调区域发展和区域生物多样性保护的重要基础和依据^[3]. 动植物物种及多样性水平^[4]、土壤物理/化学性质^[5]、人类活动强度^[6]和气候/地形等自然要素都是影响生境质量的因素, 采用单一指标^[7]、多指标^[8]、模型模拟和空间

分析^[9,10]是常用的评价方法, 单指标的数量水平及多指标的综合量化可作为生境质量等级评定的依据^[3]. 在小尺度范围, 通过大量的实地调查获得第一

收稿日期: 2023-05-10; 修订日期: 2023-07-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(42171112); 河南省科技攻关项目(222102320322); 信阳生态研究院开放基金项目(2023DBS04); 河南省自然科学基金项目(242300420218, 232300420165)

作者简介: 郑亚平(1996~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为区域生态系统服务, E-mail: zypnfd@163.com

* 通信作者, E-mail: oklgd@163.com

手数据, 构建生境评价指标体系, 优点是准确掌握具体点位的真实状况, 缺点是耗时费力, 时间和空间动态特征较难把控, 多侧重短期变化; 在空间大范围 and 长时间序列的生境质量动态特征评价中, 模型是常用的方法, 常采用生态系统服务功能(InVEST)模型^[11]、生态系统服务社会价值(SolVES)模型^[12]和生境适宜度指数(HIS)模型^[13]等进行评估, 其优点是数据易获取、耗费少和可视化效果强, 可以在大范围上开展工作^[14,15], 能较好反映长时间序列生境质量总体的空间变化趋势和演变特征, 但精细化程度低。

InVEST的模型已经广泛应用于区域生境质量的评估, 在流域^[16,17]、生态保护区^[18,19]和省市^[20,21]等各地地理单元都有不少成果。土地利用类型是评估区域生境质量的重要因素, 因此有学者结合 CA-Markov 模型、FLUS 模型、CLUE-S 模型或 PLUS 模型等模拟未来的土地利用变化, 进一步评估未来生境质量的潜在变化, 其中, PLUS 模型具有相对更高的土地利用变化模拟精度^[21]。如 Wei 等^[22]结合 PLUS-InVEST 模型对艾比湖流域的生境质量做多情景预测, 在生态保护情景下, 艾比湖流域的生境质量整体水平提高, 杨伶等^[23]多情景模拟的洞庭湖流域 LUCC 与生境质量耦合演变分析, 为洞庭湖流域生境质量与 LUCC 的耦合协调发展空间格局提供优化策略。然而, 现有研究对不同时间上山区生境质量的驱动机制分析较为薄弱, 且缺乏对未来不同情景下山区生境质量变化的认识。

大别山区是中国南北地理生态过渡带东延余脉, 也是中国南北植被、动物物种的交汇区和重要的生态屏障区^[24], 大别山地跨鄂、豫、皖三省, 是一个完整的地理单元。在气候资源、植被类型和水土保持等方面的研究成果颇多。目前, 强烈的人类活动以及不合理的土地利用严重威胁到区域的生态环境质量, 以往的研究多以区内单个县域为研究对象, 本研究以整个大别山区为例, 基于 2000、2010 和 2020 年的 3 期土地利用数据, 采用 InVEST 模型、地理探测器来分析整个大别山生境质量的时空演变及其驱动机制, 并通过耦合 PLUS-InVEST 模型, 进一步评估 2030 年 4 种不同发展情景下的土地利用与生境质量的演变趋势, 且对南北坡不同海拔梯度下提出针对性措施, 巩固了大别山区域生态脱贫成果, 为中国南北过渡带山区生态保护与高质量发展提供了借鉴。

1 研究区概况

大别山区位于河南省、安徽省与湖北省的交界

处, 位于 $112^{\circ}40' \sim 117^{\circ}10'E$, $30^{\circ}10' \sim 32^{\circ}30'N$ (图 1), 区域地形以中山和低山丘陵为主, 海拔多在 500 ~ 800 m。大别山区南北过渡带气候特征明显, 南部属于北亚热带湿润季风气候, 北部属于暖温带半湿润季风气候, 生物种类多样, 是国家重要的水土保持生态功能区, 土壤类型多样, 具有明显的过渡性, 大部分区域的土壤类型以黄棕壤和黄褐土为主。该地区处于黄淮海平原和长江中下游平原的交汇处, 人口密集, 开发历史悠久, 人类活动强度大, 地带性原生稳定群落破坏严重, 森林资源锐减、水土流失日益严重^[25], 生境质量退化严重, 生态环境问题日益凸显。

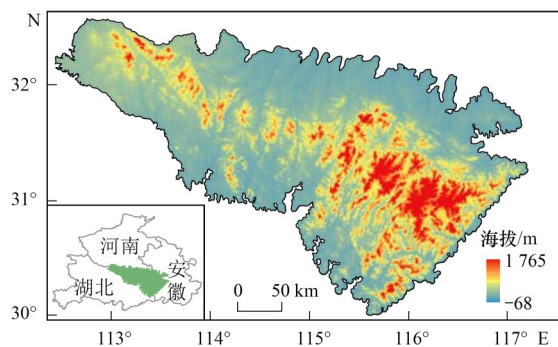


图 1 大别山区概况

Fig. 1 Location of Dabie Mountain area

2 材料与方法

2.1 数据来源

本研究选择的数据源参考 PLUS-InVEST 模型常用的数据源。2000、2010 和 2020 年的 3 期土地利用、土壤类型、土壤侵蚀、单位面积 GDP 以及夜间灯光数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心 (<http://www.resdc.cn/>)。人口密度数据来源于 WordPop 人口网格数据集 (<https://www.worldpop.org/>)。年降水量和年均气温数据来源于国家地球系统科学数据中心 (<http://www.geodata.cn/>)。归一化植被指数 (NDVI) 和植被净初级生产力 (NPP) 数据来自美国地质勘探局 (<http://www.usgs.gov/>)。海拔、起伏度和坡度是从地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>) 获得的数字高程模型 (DEM) 推导出来的。河流和道路数据来源于 Open Street Map (<https://www.openstreetmap.org/>)。人类足迹数据来源于中国农业大学农业与土地遥感课题组制作的 2000 ~ 2018 年全球陆地年度人类足迹数据集 (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16571064>), 以上数据均重采样为 30 m, 投影为 Mercator 坐标系。

2.2 研究方法

2.2.1 InVEST 模型

InVEST 模型中的生境质量模块可以分析外界威胁因子及强度, 结合各土地利用类型对威胁源的敏

感度进行生境质量评估.本研究依据InVEST手册选取了受人类影响较大的耕地、建设用地和荒地作为威胁源,并结合现有研究^[26,27]、区域特色和专家知识构建了威胁源最大影响距离和权重及土地利用类型对威胁源的敏感度等参数(表1和表2),评估了大别山区2000、2010和2020年的生境质量.计算公式如下^[26]:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{W_r}{\sum_{r=1}^R W_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (1)$$

表 1 大别山区威胁源距离及权重

Table 1 Threat source distance and weight in Dabie Mountain area

威胁源	权重	最大影响距离/km	衰退类型
耕地	0.5	0.5	指数衰退
建设用地	0.5	1	线性衰退
荒地	0.4	2	指数衰退

表 2 大别山区各土地利用类型生境适宜度以及对威胁因子的敏感度

Table 2 Habitat suitability of different land use types and sensitivity to threat factors in Dabie Mountain area

土地利用类型	生境适宜度	敏感度		
		耕地	荒地	建设用地
耕地	0.3	0	0.4	0.6
林地	1	0.7	0.5	0.8
灌木	0.9	0.7	0.4	0.7
草地	0.8	0.8	0.6	0.5
水域	0.7	0.2	0.4	0.2
荒地	0.7	0.3	0	0.6
建设用地	0	0	0	0

2.2.2 土地利用强度

土地利用强度(land use intensity, LUI)能够充分反映出人类对土地利用的具体程度^[28],本研究具体赋值参考Li等^[29]的研究,最终获得耕地土地利用强度值为0.2,林地土地利用强度值为0.03,草地土地利用强度值为0.05,水域土地利用强度值为0.01,建设用地土地利用强度值为0.7,未用地土地利用强度值为0.01.基于这些数据的基础上,计算公式如下:

$$LUI = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \times D_i \quad (3)$$

式中, D_i 为第*i*类土地利用强度赋值; S_i 为第*i*类土地利用面积.

2.2.3 地理探测器

地理探测器可以探测目标变量的空间异质性进而分析驱动力,其中的因子探测可以识别单个驱动因子多大程度上解释目标变量,交互探测可以明晰不同驱动因子之间的交互作用对目标变量的影响.计算公式为^[30]:

$$Q_{xj} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{xj}^Z}{D_{xj}^Z + k^Z} \right) \right] \quad (2)$$

式中, D_{xj} 、 Q_{xj} 和 H_j 分别为大别山区的生境退化度、生境质量和生境适宜度, j 为土地利用类型, x 为各栅格像元; r 为威胁源个数; y 为威胁源 r 中的栅格; W 为各威胁源权重; r_y 为 y 的胁迫值; β_x 为生境抗干扰水平; S_{jr} 为不同土地利用类型对威胁因子的敏感程度; Z 为归一化常量,通常取2.5; k 为半饱和系数,通常为最大生境退化度的一半^[26].

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (4)$$

式中, q 为各因子对大别山区生境质量的解释程度, q 值越大解释度越大; $h = 1, 2, \dots, L$ 为生境质量或各因子的分层; N 和 σ^2 分别为大别山区的样本数和方差; N_h 和 σ_h^2 为层 h 的样数和方差^[31].

2.2.4 基于网格的空间关联性分析

利用ArcGIS 10.2创建研究区1 km×1 km的格网和格网点,将生境质量数据与格网链接,得到每个格网点的生境质量值^[30].采用全局空间自相关分析(Moran's I)和Getis-Ord G_i^* 分析大别山区生境质量的热点分布及关联性关系.

2.2.5 基于PLUS模型2023年土地利用类型模拟

PLUS模型是一个集成了土地扩张策略分析模块和基于多类随机斑块种子的元胞自动机模型的未来土地利用变化模拟模型^[31],该模型能够通过解读用地之间的深层次关系来进行未来用地变化模拟,解析用地变化策略,从而提高模拟精度.与其他模型相比,PLUS模型的优势在于可以确定土地扩张和景观动态的驱动因素,以预测不同土

地利用类型情景下的斑块演变.模型的验证以2010年土地类型作为训练集,预测2020年土地类型分布,总体精度为91.2%, Kappa系数为84.3%, FoM值为0.356,表明模型预测和真实地物分布有较高的一致性,检验了模型预测的可信度,能够满足研究需要.

3 结果与分析

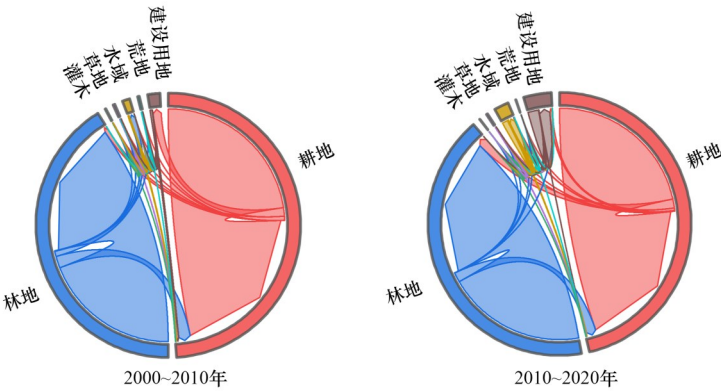
3.1 土地利用变化分析

2000~2020年,耕地是大别山区的主要地类,占比为50%~54%.其次是林地,占比为42%~45%,建设用地占比为2%~4%.近20年来,林地、水域和建设用地面积增加,耕地、灌木、草地以及荒地面积降低.大别山区的耕地、林地和建设用地三者之间相互转化剧烈(图2和表3).其中,土地利

用变化最大的是耕地,转出4323.49 km²,转入2012.04 km²,面积减少2311.45 km²,耕地和林地的相互转移最为剧烈,但耕地更多地转为林地,耕地转为林地3147.72 km²,林地面积增加1731.37 km²,这与国家退耕还林政策密切相关^[32].灌木和荒地是占比最少的两种地类,其转出面积大于转入面积,由于面积较小,转移不明显;草地转出面积大于转入面积,主要转出为耕地和林地,面积缩小137.49 km²;受到城市规划和政府政策影响^[33],水域面积增加119.82 km²,主要由耕地和建设用地转入;建设用地增加924.57 km²,耕地是主要转入地类,这主要是由于城市化进程加快,建设用地需求增大,尽管实施了耕地的占补平衡政策^[34],但作为建设用地周边的耕地被侵占的趋势仍未得到遏制.

表3 2000~2020年大别山区土地利用面积转移矩阵/km²
Table 3 Ttransfer matrix of land use area in Dabie Mountain area from 2000 to 2020/km²

2000年	2020年							
	耕地	林地	灌木	草地	水域	荒地	建设用地	总计
耕地	31514.11	3147.72	0.02	16.87	211.14	0.53	947.22	4323.49
林地	1717.79	26679.98	0.50	12.24	2.11	0.95	32.84	1766.43
灌木	2.75	4.44	1.56	0.97	0	0.09	0.02	8.26
草地	104.23	34.99	0.02	26.56	11.29	0.90	17.79	169.22
水域	154.76	10.07	0	0.33	981.02	0.31	35.51	200.98
荒地	4.25	0	0	1.22	6.03	1.24	10.46	21.96
建设用地	28.26	0.58	0	0.11	90.23	0.08	1667.70	119.26
总计	2012.04	3197.80	0.54	31.73	320.80	2.86	1043.83	



箭头表示土地类型转换方向,箭头的厚度表示转换面积的大小

图2 土地利用类型转移和弦图

Fig. 2 Land use type transfer chord diagram

3.2 大别山区生境质量和生境退化度的时空演变

本研究将生境质量按照自然间断点分为低(0~0.30)、较低(0.30~0.74)、中等(0.74~0.87)、较高(0.87~0.97)和高(0.97~1)共5个等级,根据表4和图3,大别山区生境质量空间分异明显,主要以低生境质量和高生境质量两种类型为主.低生境质量的面积占比53%~56%,高生境质量占

比39%~43%,生境质量表现为“内高外低”,在时间变化上,2000~2020年生境质量的平均值为0.594、0.608和0.603.生境质量的平均值呈现先提升再降低的趋势,高生境质量在2000~2010年面积增加了1588.89 km²,低生境质量在2000~2010年面积缩小1672.40 km²,主要原因是国家退耕还林政策的实施,相较于2000年,2010年大别山区

耕地面积减少了 2 098.82 km²，林地面积增加了 1 586.32 km²，威胁源的波动导致生境质量的变化. 2010 ~ 2020 年高生境质量面积占比稳定在 42%，较低生境质量面积占比稳定在 53%，低生境质量面积小幅扩大，高生境质量面积小幅缩小. 在此期间，城市化进程加快，建设用地和耕地的面积迅速扩大，占据了其他地类，对生境的威胁也越来越大.

空间上，海拔越高，受人类活动干扰越小，生

境质量越好，这导致生境质量高值区沿着中部山脊向四周逐渐降低. 其中，中东部生境质量较高，该区域是林地和草地的集中分布区，生境质量较高；低生境质量区域主要分布在山区的北部和南部，空间分布与建设用地、荒地高度重合. 总的来说，该地区生境质量两极分化严重，较低、中等和较高生境质量面积占比较少，低生境质量面积和高生境质量面积占区域生境质量面积的 90% 以上，主要的用地类型为耕地和林地.

表 4 2000 ~ 2020 年大别山区生境质量各等级面积与占比变化

Table 4 Area and percentage change of the habitat quality grade in Dabie Mountain area from 2000 to 2020

生境质量	2000 年		2010 年		2020 年	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
低	37 624.56	55.76	35 952.16	53.28	36 237.68	53.70
较低	1 213.93	1.8	1 343.77	1.99	1 308.49	1.94
中等	164.85	0.24	146.13	0.22	57.68	0.09
较高	1 530.34	2.27	1 502.72	2.23	1 787.98	2.65
高	26 948.10	39.93	28 536.99	42.29	28 089.95	41.63
平均值	0.594		0.608		0.603	

本研究将生境退化度按照自然间断点分为弱 (0 ~ 0.016)、较弱 (0.016 ~ 0.040)、中等 (0.040 ~ 0.077)、较强 (0.077 ~ 0.127) 和强 (0.127 ~ 0.360) 共 5 个等级，大别山区主要以弱退化和较弱退化为主，但也存在着一些强退化度的区域. 空间上，东部和西部的农田地区的生境退化度比较低，中部林地和农田交界处的生境退化度比较高，生境质量的退化度呈现圈层的退化特点；时

间上，2000 ~ 2020 年退化度最高值分别为 0.302、0.331 和 0.355，生境质量的退化度在逐渐增大，2000 ~ 2010 年高生境退化度面积缩小，2010 ~ 2020 年高生境退化度面积增大. 低生境退化度在 2000 ~ 2020 年面积逐渐缩小，其中 2010 ~ 2020 年缩小的面积相比 2000 ~ 2010 年有所减少. 总体上看，大别山区生境质量呈现退化且退化略微加剧的状态.

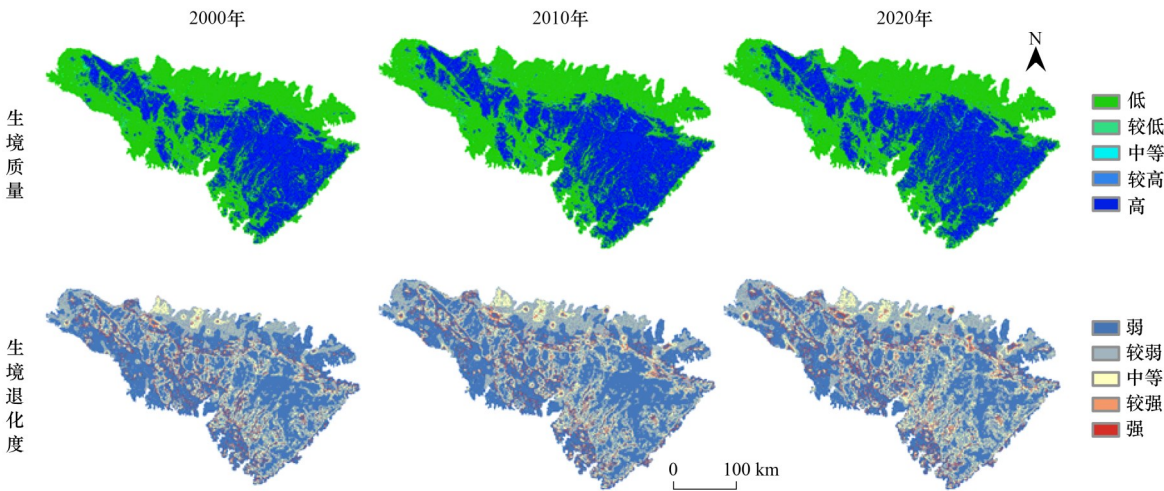


图 3 2000 ~ 2020 年大别山区生境质量和生境退化度时空演变

Fig. 3 Spatial-temporal evolution of habitat quality and habitat degradation in Dabie Mountain area from 2000 to 2020

3.3 影响大别山区生境质量的驱动因子分析

生境质量的空间格局分布受自然，社会等多种因素影响. 为探究影响该区域生境质量的主要驱动因子，选取 GDP (X1)、人口密度 (X2)、NDVI (X3)、人类足迹指数 (X4)、夜间灯光 (X5)、

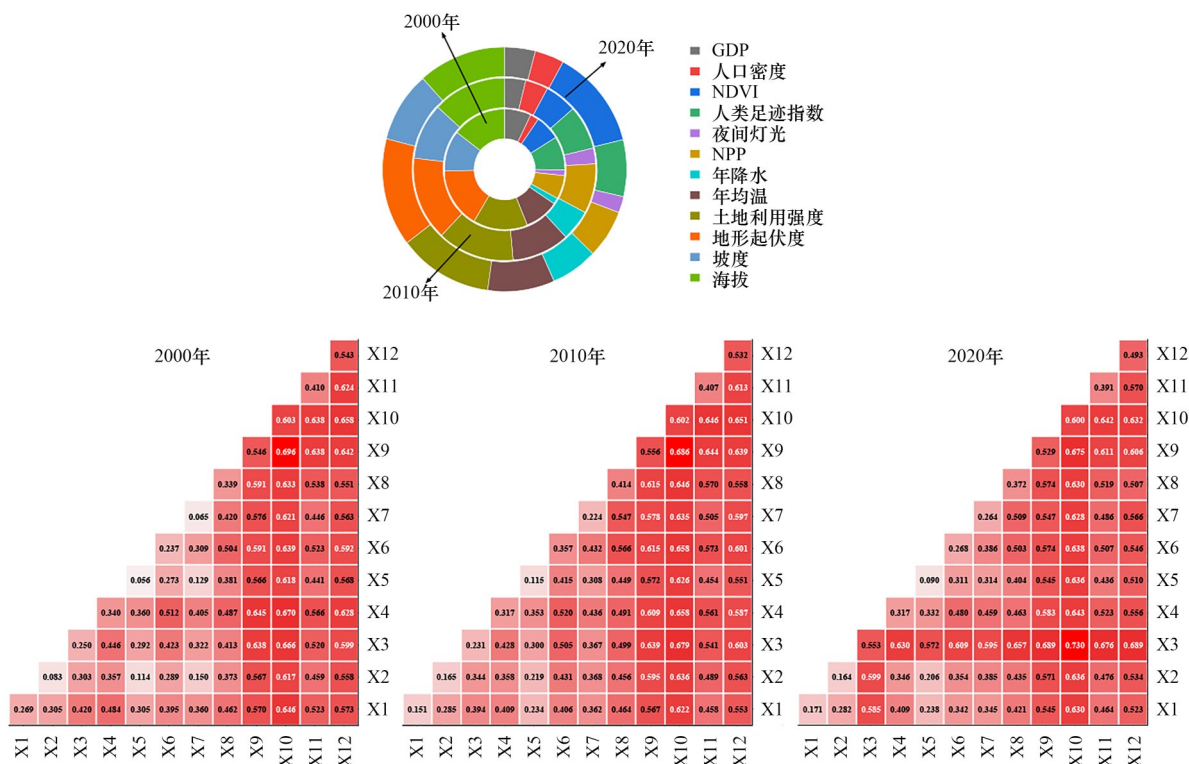
NPP (X6)、年降水 (X7)、年均温 (X8)、土地利用强度 (X9)、地形起伏度 (X10)、坡度 (X11) 和 DEM (X12) 作为自变量，选取生境质量 Y 作为因变量，探究大别山区生境质量的单因子以及双因子交互作用.

3.3.1 单因子作用结果

各驱动因子的 P 值均通过0.01水平的显著性检验. 各驱动因子对大别山区生境质量解释度(q 值)存在差异(图4). 影响大别山区生境质量空间差异化格局及其形成的关键因子是地形起伏度、土地利用强度、海拔, 并保持相对稳定的较大影响, q 值稳定在0.5以上. 这与该区域地理位置关系密切, 大别山区处于中国南北过渡带, 地形起伏大, 植被覆盖率高, 因此地形起伏度和海拔是影响该区域生境质量的主要因素. 建设用地和耕地生境适宜度低, 土地利用强度值大, 因此土地利用强度越大, 表明建设用地和耕地面积占比大, 区域内生境质量越差, 在时间跨度上, NDVI的影响逐渐增大, 在2020年 q 值达到了0.553, 植被对生境质量的影响程度逐渐增强.

3.3.2 双因子交互作用结果

研究区两因子交互作用下的 q 值均大于单因子的 q 值, 且两两因子的交互作用表现为双因子增强和非线性增强(图4). 整体上看, 地形起伏度与其他因子有较强的交互作用, 其中地形起伏度与土地利用程度、海拔以及NDVI之间的交互作用影响最大, 人类足迹指数与NPP、年降水与年均温之间的交互作用适中, GDP、人口密度和夜间灯光交互作用影响较小. 其中, 2000年地形起伏度与土地利用强度交互作用最大, 为0.629, 2010年地形起伏度与土地利用强度交互作用最大, 为0.686, 2020年地形起伏度与NDVI交互作用最大, 为0.730. 地形起伏度、NDVI和土地利用强度三因子两两交互作用对大别山区的影响作用较大.



环形图从内到外依次为2000、2010和2020年单因子作用的解释度所占比例

图4 地理探测器单因子及双因子结果

Fig. 4 Results of single factor and interaction detection of habitat quality from 2000 to 2020

3.3.3 空间自相关

2000~2020年大别山区生境质量全局自相关莫兰指数均大于0, 分别为0.662、0.670和0.624, 说明大别山区的生境质量存在一定的空间集聚性. Getis-Ord G_i^* 热点分析表明(图5), 2000~2020年生境质量的高低值集聚分布情况差距不大, 与生境质量的分布基本保持一致, 热点区主要分布在大别山区的中东部地区, 中东部地区海拔高, 植被覆盖度高, 生境质量较好. 冷点区主要分布在大别山的北

部和西南部低海拔区域, 北部和西南部以建设用地和耕地为主, 该区域人类活动影响较大, 生境质量较低. 同时热点-99%区域在逐渐缩小, 不显著区域逐渐扩大, 冷点-95%的区域在扩大.

4 2023年多情景土地利用与生境质量预测

4.1 土地利用变化模拟预测结果

土地利用变化受自然与社会经济因素的影响, 本研究选取: 海拔、NPP、NDVI、年均温、年降

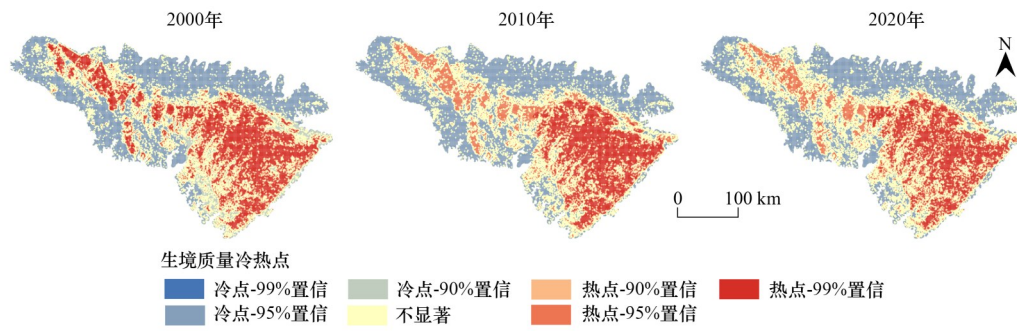


图 5 2000 ~ 2020 年大别山区生境质量冷热点分析

Fig. 5 Hot spots of habitat quality and in Dabie Mountain area from 2000 to 2020

水、土壤类型、土壤侵蚀、坡度、坡向和地形起伏度等 10 个自然因素；人口密度、GDP、距一级道路距离、距二级道路距离、距三级道路距离、距主干道距离、距铁路距离、距火车站距离、距政府距离和距河流距离等 10 个社会经济因素。

2030 年土地利用预测结果显示(表 5 和图 6)，自然发展情景下，大别山区建设用地扩张明显，耕地林地面积大幅下降。其中，耕地面积缩小 271.71 km²，林地面积缩小 113.18 km²，草地面积缩小了 22.80 km²，建设用地增加了 409.08 km²，水域面积略有增加，荒地和灌木面积略有降低。生态保

护发展情景下，土地利用类型面积的变化呈现了耕地缩小，建设用地扩大，林地上升，灌木与荒地略有下降，草地与水域基本保持不变，其中，耕地减少了 303.98 km²，建设用地扩大了 304.61 km²。耕地保护发展情景下，保护现有耕地，耕地无变化，林地面积减少 132.11 km²，草地面积减少 22.64 km²，建设用地面积增加 156.12 km²，其余地类变化较小，经济发展情景下，耕地面积减少 210.08 km²，林地面积减少 120.11 km²，草地面积减少 21.86 km²，建设用地面积增加 353.53 km²，其余地类基本无变化。

表 5 不同情景下 2030 年各土地利用类型面积/km²

Table 5 Area of each land use type under different scenarios in 2030/km²

土地利用类型	2020 年	2030 年			
		自然发展	生态保护	耕地保护	经济发展
耕地	33 526.15	33 254.44	33 222.17	33 526.15	33 316.07
林地	29 877.79	29 764.61	29 878.44	29 745.68	29 757.68
灌木	2.09	1.44	1.44	1.44	1.50
草地	58.30	35.50	58.30	35.66	36.44
水域	1 301.82	1 302.12	1 301.82	1 302.13	1 301.92
荒地	4.10	3.06	3.47	3.07	3.11
建设用地	2 711.53	3 120.61	3 016.14	2 867.65	3 065.06

4.2 生境质量预测结果及分析

自然发展情景下结果显示(表 6 和图 6)，低生境质量区域在 2030 年面积减少 404.69 km²，较低生境质量区域扩张趋势明显，较低生境质量面积增加了 540.23 km²，中等生境质量面积减少了 17.58 km²，较高生境质量面积增加了 55.34 km²。高生境质量面积减少 173.31 km²。由此看来，大别山区生境质量整体呈现变差趋势，生态环境问题较为严重。这是由于城市化进程加快，经济快速发展，建设用地扩张等因素，对林草地等生境适宜度高的地类造成占用，进而影响了区域内生境质量。

生态保护发展情景下结果显示(表 6 和图 6)，低生境质量减少了 669.46 km²，较低生境质量面积增加 670.11 km²，中等生境质量面积增加 3.36 km²，较

高生境质量面积增加 29.56 km²，高生境质量面积减少 33.57 km²，与自然发展情景相比，低生境质量的面积缩减，较低生境质量增加，说明区域内部分低生境质量在生态保护发展情境下转为较低生境质量，高生境质量区域明显扩张，相较于自然发展情景，大别山区的生境质量呈显著改善趋势。

耕地保护发展情景下结果显示(表 6 和图 6)，低生境质量面积增加 156.13 km²，较低生境质量面积减少 1.68 km²，中等生境质量面积减少 20.54 km²，较高生境质量面积增加 30.22 km²，高生境质量面积减少 164.13 km²，与自然发展和生态保护发展情景相比，低生境质量区扩张明显，较低生境质量面积大幅缩减，由此来看，耕地保护情景下大别山区生境质量呈变差趋势，但相较于自然发展情景有所缓和。

经济发展情景下结果显示(表6和图6)，低生境质量面积减少 552.93 km²，较低生境质量面积增加了 695.14 km²，中等生境质量面积减少 15.70 km²，较高生境质量面积增加了 44.50 km²，高生境质量面积减少 171.01 km²，生境质量空间格局演变规律与自然发展情景基本一致，且低生境质量区扩张幅度进一步增强，高生境质量区收缩幅度在自然发展情景的基础上进一步呈扩大趋势，因此大别山区在经济发展情境下，生境质量恶化趋势进一步加剧。

从4种情景模拟结果来看，区域内整体生境质量都呈现变差趋势，生态保护情景下仍然无法抵消人类活动导致的用地扩张带来的生境质量降低，城市化进程加快，经济迅速发展，建设用地扩张，对林草地等生境适宜度高的地类占用，进而使得区域内生境质量呈现变差趋势，但在生态保护情景下，生境质量下降的速率减缓且下降幅度微小，改善了自然发展情景或经济发展情景下生境质量大幅下降的趋势，生态保护情景对生境质量的提升具有明显效果。

表 6 2030 年生境质量各等级面积/km²
Table 6 Area of each grade of habitat quality in 2030/km²

生境质量	2020 年	2030 年			
		自然发展	生态保护	耕地保护	经济发展
低	36 237.68	35 832.99	35 568.22	36 393.81	35 684.75
较低	1 308.49	1 848.72	1 978.60	1 306.81	2 003.62
中等	57.68	40.10	61.04	37.14	41.98
较高	1 787.98	1 843.33	1 817.55	1 818.20	1 832.48
高	28 089.95	27 916.64	28 056.38	27 925.82	27 918.95
平均值	0.603	0.598	0.600	0.599	0.598

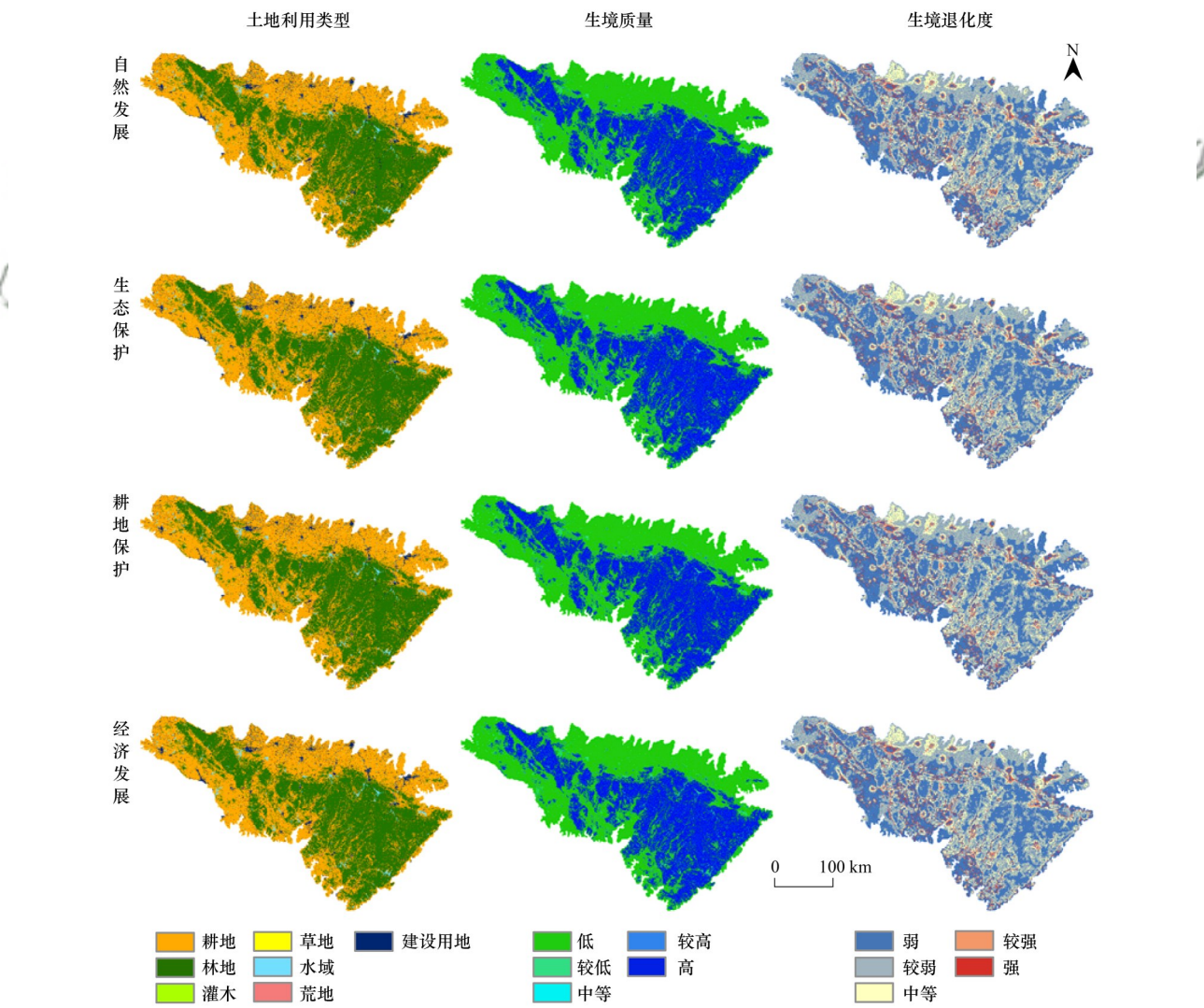


图 6 2030 年大别山区的土地利用类型、生境质量以及生境退化度预测

Fig. 6 Prediction of land use types, habitat quality, and habitat degradation in the Dabie Mountain area in 2030

5 讨论

大别山区是中国亚热带-暖温带过渡区东延余脉,是气候变化的敏感区和南北方生态系统交汇区,降水量呈明显的纬向分布,由北向南呈增加趋势.近20年来,大别山地区气温升高,降水量增加且降水集中,其丰值区位于南部,低值区位于东北部,旱涝灾害发生频率高;受气候因素的影响,生物物种受到强烈的扰动,地表植被类型、群落结构出现不同程度的退化,该区域的主要植被类型有3种,针叶林在海拔600 m以下的低山丘陵多分布马尾松,400 m以上黄山松林分布较广,低山区和深山区均有不同程度的退化,原生植被破碎化严重,植被覆盖度下降;阔叶林在海拔1 000 m以下的树种主要是栓皮栎,在浅山区栓皮栎屡遭砍伐,呈萌生状况,有些林地被改造成栗林或茶园^[35];针阔混交林在500 m以下主要是由马尾松、栓皮栎、枫香和划香形成的混交林,或由杉木与栓皮栎形成的混交林.600~1 000 m主要是黄山松、栓皮栎和短柄枞形成的混交林^[35],该区域的混交林已处于退化状态^[36].这些退化程度较大的区域大多在坡度缓、海拔低或人为活动影响区,有研究表明^[37-40],大别山地区植被退化严重,如:光山县、霍山县、罗山县、潜山县、黄州区、黄梅县、罗田县、红安县和麻城市等植被覆盖呈下降趋势,对比发现,以上县区均位于海拔100~600 m区域范围内.该区域范围内,生境质量变率较大且生境退化度较强(图7),生境质量和海拔呈正比,随着海拔的上升生境质量大幅提高,海拔0~200 m区域生境质量状况较差,生境质

量变率较大的区域位于海拔100~300 m之间,海拔300 m以上保持较好且稳定的生境质量.生境退化度在0~200 m的海拔范围,随着海拔的上升生境退化度增大,并在150~200 m的区域内生境退化度达到最大值,海拔200~600 m的范围生境退化度处于较强退化状态,1 000 m以上生境退化度非常小,该区域人类活动影响较弱.对比坡度发现,在海拔600 m以上区域,生境质量整体处于较好状态,但存在生境退化度较强区域,生境退化较强区域位于坡度较小的缓坡区域.根据生境退化度的特点发现,生境退化度较高区域和林地保持高度一致(图8),生境退化度较强区域大体位于林地与耕地以及建设用地的交错地区,城市用地扩张和耕地的占用使得林地面积大幅缩减,生境退化度较强区域逐渐扩大并且深入林区的内部.本文的研究结果与前人的研究结果较为一致,海拔100~600 m的区域属于生境质量下降的区域,是未来大别山地区需要加大保护力度的区域.

大别山区未来的开发中,应特别关注海拔100~600 m的生境质量和生境退化度,降低人类活动强度,低山区低质量的耕地可以转换为林草地,对于生态退化波动较大的区域,应采取针对性生态保护修复和生态补偿,建立自然保护区,减少人为活动的影响,农业发展、中草药种植、茶园以及各种经济林合理平衡发展;重视森林生态系统的管理,低山区应减少人工砍伐修枝,深山区适当进行间伐整枝,促进群落生长,实施生态恢复、树种改良和灾害预警等多个措施,恢复且扩大优势种的种植面积,如马尾松、黄山松、栓皮栎、小叶栎和枫香

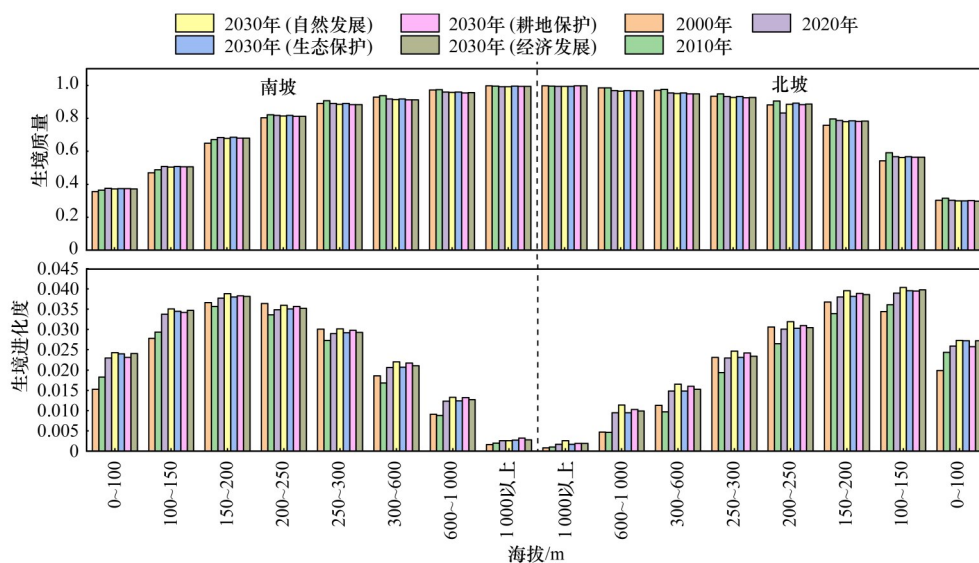


图7 不同海拔大别山南北坡生境质量及生境退化度均值

Fig. 7 Mean value of habitat quality and habitat degradation degree on the northern and southern slopes of the Dabie Mountain area under different altitude divisions

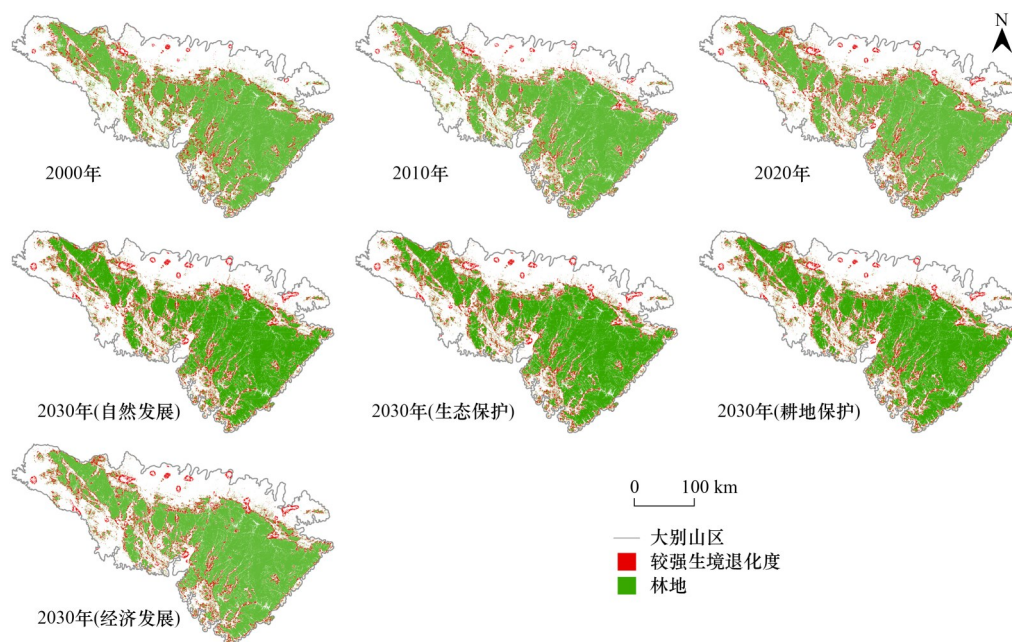


图 8 较强及以上生境退化度与林地分布状况

Fig. 8 Strong and higher habitat degradation and forest distribution

等, 采取不同的管理方式和技术措施, 提高林分质量, 增加植被覆盖度. 同时增强应对极端天气的保护措施的力度. 未来大别山区的发展, 应结合国土三生空间划定, 采取生态保护政策, 通过区域可持续发展推动生境质量的稳步提升.

大别山区地跨鄂、豫、皖三大省, 实地调查来构建生境质量评价体系在该区域并不适用, 本研究耦合 PLUS-InVEST 模型在很大程度上弥补了传统野外调查在大尺度区域不适用的缺点, 预测并分析了大别山区 2000~2030 年整体生境质量与生境退化度的时空动态变化, 更加具体地分析南北坡不同海拔梯度下大别山生境质量与生境退化度情况, 为大别山未来发展提供支持与借鉴, 然而, 该模型在威胁因子和生境适宜度的确立上具有不全面性, 影响人类活动和社会经济建设的其他因素尚未得到充分考虑, 如何整合省际的因素进行系统分析, 并提出针对性的生态补偿和功能优化措施等值得进一步探讨.

6 结论

(1) 2000~2020 年大别山区土地利用转移显著, 耕地变化最大, 面积减少了 2 311.45 km², 林地次之, 面积增加 1 431.37 km², 灌木的变化最小, 面积减少了 7.72 km².

(2) 空间上, 大别山区的生境质量跟海拔高度呈正比, 中东部生境质量较高, 北部和南部生境质量较差. 时间上, 2000~2010 年生境质量平均值从 0.594 上升到 0.608, 到 2020 年下降到 0.603, 生境质量出现了先上升后下降的趋势.

(3) 因子探测显示地形起伏度是影响大别山区生境质量的主要原因, 其次是土地利用强度、海拔和 NDVI. 交互探测显示两两因子交互作用表现为双因子增强和非线性增强, 地形起伏度和土地利用强度交互作用影响最大.

(4) 4 种发展情景下, 生境质量的平均值下降, 高生境质量面积缩小, 中等和较高生境质量区域面积变化较小. 4 种发展情景下除耕地保护情境外, 其余 3 种情景低生境质量区域面积缩减, 较低生境质量面积增加.

参考文献:

- [1] 郑贱成, 谢炳庚, 游细斌. 基于土地利用变化的广东省生境质量时空演变特征[J]. 生态学报, 2022, 42(17): 6997-7010.
Zheng J C, Xie B G, You X B. Spatio-temporal characteristics of habitat quality based on land-use changes in Guangdong Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(17): 6997-7010.
- [2] Song Y N, Wang M, Sun X F, et al. Quantitative assessment of the habitat quality dynamics in Yellow River Basin, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2021, 193(9), doi: 10.1007/S10661-021-09404-4.
- [3] 郑贱成, 谢炳庚, 游细斌. 1980—2020 年粤港澳大湾区生境质量变化特征[J]. 经济地理, 2022, 42(8): 41-50.
Zheng J C, Xie B G, You X B. Evolution of habitat quality and its influencing factors in the different terrain gradient of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from 1980 to 2020 [J]. Economic Geography, 2022, 42(8): 41-50.
- [4] 牟雪洁, 饶胜, 张箫, 等. 县域生物多样性保护优先格局评价及保护体系优化: 以武夷山市为例[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(6): 769-777.
Mou X J, Rao S, Zhang X, et al. Evaluation of biodiversity conservation priority area and nature reserve system optimization in county level area: A case study of Wuyishan City [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(6): 769-777.

- [5] Regolin A L, Oliveira-Santos L G, Ribeiro M C, *et al.* Habitat quality, not habitat amount, drives mammalian habitat use in the Brazilian Pantanal[J]. *Landscape Ecology*, 2021, **36**(9): 2519-2533.
- [6] Mirghaed F A, Souril B. Relationships between habitat quality and ecological properties across Ziarat Basin in northern Iran [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2021, **23**(11): 16192-16207.
- [7] Zhao Y H, Qu Z, Zhang Y, *et al.* Effects of human activity intensity on habitat quality based on nighttime light remote sensing: A case study of Northern Shaanxi, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, **851**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158037.
- [8] 王琼, 范志平, 李法云, 等. 蒲河流域河流生境质量综合评价及其与水质响应关系[J]. *生态学杂志*, 2015, **34**(2): 516-523. Wang Q, Fan Z P, Li F Y, *et al.* River habitat quality assessment, water quality analysis and their response relation of Puhe River Basin[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, **34**(2): 516-523.
- [9] 刘华, 蔡颖, 於梦秋, 等. 太湖流域宜兴片河流生境质量评价[J]. *生态学杂志*, 2012, **31**(5): 1288-1295. Liu H, Cai Y, Yu M Q, *et al.* Assessment of river habitat quality in Yixing district of Taihu Lake basin[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31**(5): 1288-1295.
- [10] Zhang J H, Zhu L Q, Li G D, *et al.* Distribution patterns of SOC/TN content and their relationship with topography, vegetation and climatic factors in China's north-south transitional zone[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2022, **32**(4): 645-662.
- [11] 张学儒, 周杰, 李梦梅. 基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析[J]. *地理学报*, 2020, **75**(1): 160-178. Zhang X R, Zhou J, Li M M. Analysis on spatial and temporal changes of regional habitat quality based on the spatial pattern reconstruction of land use[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, **75**(1): 160-178.
- [12] Ye X P, Wang T J, Skidmore A K. Spatial pattern of habitat quality modulates population persistence in fragmented landscapes [J]. *Ecological Research*, 2013, **28**(6): 949-958.
- [13] 马月伟, 潘健峰, 蔡思青, 等. 生态系统服务社会价值与生态价值的权衡与协同关系——以普达措国家公园为例[J]. *地理科学*, 2022, **42**(7): 1283-1294. Ma Y W, Pan J F, Cai S Q, *et al.* Trade-offs and synergies between social value and ecological value of ecosystem services: A case study of the Potatso National Park [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, **42**(7): 1283-1294.
- [14] Zhou J, Song J J, Bai Q L, *et al.* Habitat suitability of *Scapharca subcrenata* (Lischke) in the shallow water of the Xiaoheishan Island [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, **35**(12): 51-57.
- [15] 陈慧敏, 赵宇, 付晓, 等. 西辽河上游生境质量时空演变特征与影响机制[J]. *生态学报*, 2023, **43**(3): 948-961. Chen H M, Zhao Y, Fu X, *et al.* Characteristics of spatio-temporal evolution and influence mechanism of habitat quality in the upper reaches of the West Liaohe River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, **43**(3): 948-961.
- [16] Tang F, Wang L, Guo Y Q, *et al.* Spatio-temporal variation and coupling coordination relationship between urbanisation and habitat quality in the Grand Canal, China[J]. *Land Use Policy*, 2022, **117**, doi: 10.1016/j.landusepol.2022.106119.
- [17] 赵庆建, 吴晓珍. 基于 InVEST 模型的岷江流域土地利用变化对生境质量的影响研究[J]. *生态科学*, 2022, **41**(6): 1-10. Zhao Q J, Wu X Z. Research on the impact of land use change on habitat quality in Minjiang river basin based on InVEST Model[J]. *Ecological Science*, 2022, **41**(6): 1-10.
- [18] 刘长雨, 杨洁, 谢保鹏, 等. 黄河流域甘青段生境质量时空特征及其地形梯度效应[J]. *农业资源与环境学报*, 2023, **40**(2): 372-383. Liu C Y, Yang J, Xie B P, *et al.* Temporal and spatial characteristics of habitat quality and its topographic gradient effect in the Gansu-Qinghai section of the Yellow River basin[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, **40**(2): 372-383.
- [19] 古圳威, 刘京, 陈怡, 等. 陕西渭北旱塬区生境质量及碳储量时空演变分析与模拟[J]. *环境科学*, 2023, **44**(8): 4666-4678. Gu Z W, Liu J, Chen Y, *et al.* Analysis and simulation of the spatiotemporal evolution of habitat quality and carbon storage in the Weiwei Dry Plateau Region of Shaanxi[J]. *Environmental Science*, 2023, **44**(8): 4666-4678.
- [20] 路亚方, 李红波. 2000-2020 年基于土地利用变化的生境质量时空动态演变——以武汉城市圈为例[J]. *水土保持研究*, 2022, **29**(6): 391-398. Lu Y F, Li H B. Temporal and spatial dynamic evolution of habitat quality based on land use change from 2000 to 2020-taking Wuhan metropolitan Region as an example[J]. *Research of soil and Water Conservation*, 2022, **29**(6): 391-398.
- [21] Wang J, Zhang J P, Xiong N N, *et al.* Spatial and temporal variation, simulation and prediction of land use in ecological conservation area of Western Beijing[J]. *Remote Sensing*, 2022, **14**(6), doi: 10.3390/rs14061452.
- [22] Wei Q Q, Abudurehman M, Halike A, *et al.* Temporal and spatial variation analysis of habitat quality on the PLUS-InVEST model for Ebinur Lake Basin, China [J]. *Ecological Indicators*, 2022, **145**, doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109632.
- [23] 杨伶, 王金龙, 周文强. 基于多情景模拟的洞庭湖流域 LUCC 与生境质量耦合演变分析[J]. *中国环境科学*, 2023, **43**(2): 863-873. Yang L, Wang J L, Zhou W Q. Coupling evolution analysis of LUCC and habitat quality in Dongting Lake Basin based on multi-scenario simulation [J]. *China Environmental Science*, 2023, **43**(2): 863-873.
- [24] 郑义刚, 杨兴柱, 朱跃. 基于土地利用变化的大别山区生态系统服务价值研究[J]. *云南地理环境研究*, 2020, **32**(4): 57-65. Zheng Y G, Yang X Z, Zhu Y. Research on ecosystem service values based on land use changes in Dabie Mountain Area [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2020, **32**(4): 57-65.
- [25] 杨伟, 李璐, 欧阳曙光, 等. 大别山区板栗林地水土流失特性研究[J]. *水土保持通报*, 2022, **42**(2): 259-263, 274. Yang W, Li L, Ouyang S G, *et al.* Characteristics of soil and water loss at *Castanea Mollissima* woodlands in Dabie Mountain Area [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2022, **42**(2): 259-263, 274.
- [26] Fang L, Liu Y, Li C, *et al.* Spatiotemporal characteristics and future scenario simulation of the trade-offs and synergies of mountain ecosystem services: A case study of the Dabie Mountains Area, China [J]. *Chinese Geographical Science*, 2023, **33**(1): 144-160.
- [27] 黄木易, 岳文泽, 冯少茹, 等. 基于 InVEST 模型的皖西大别山区生境质量时空演化及景观格局分析[J]. *生态学报*, 2020, **40**(9): 2895-2906. Huang M Y, Yue W Z, Feng S R, *et al.* Spatial-temporal evolution of habitat quality and analysis of landscape patterns in Dabie Mountain area of west Anhui province based on InVEST model[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(9): 2895-2906.

- [28] 黄鑫, 程文仕, 李晓丹, 等. 甘肃省生境质量变化的图谱特征[J]. 应用生态学报, 2020, **31**(9): 3131-3140.
Huang X, Cheng W S, Li X D, *et al.* Spectrum characteristics of habitat quality changes in Gansu Province, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, **31**(9): 3131-3140.
- [29] Li S C, Bing Z L, Jin G. Spatially explicit mapping of soil conservation service in monetary units due to land use/cover change for the Three Gorges Reservoir area, China [J]. Remote Sensing, 2019, **11**(4), doi: 10.3390/rs11040468.
- [30] 靳海霞, 田惠文, 张欣欣, 等. 山西沿黄 19 县生境质量时空演变特征及驱动机制[J]. 人民黄河, 2022, **44**(10): 89-94, 100.
Jin H X, Tian H W, Zhang X X, *et al.* Spatial-temporal evolution of habitat quality and driving factors along the Yellow River: A case study of 19 counties in Shanxi [J]. Yellow River, 2022, **44**(10): 89-94, 100.
- [31] 石晶, 石培基, 王梓洋, 等. 基于 PLUS-InVEST 模型的酒泉市生态系统碳储量时空演变与预测[J]. 环境科学, 2024, **45**(1): 300-313.
Shi J, Shi P J, Wang Z Y, *et al.* Spatial-temporal evolution and prediction of carbon storage in Jiuquan City ecosystem based on PLUS-InVEST model [J]. Environmental Science, 2024, **45**(1): 300-313.
- [32] 张凯, 罗宁, 许晓静, 等. 安徽大别山区退耕还林工程可持续发展模式[J]. 中国水土保持科学, 2006, **4**(5): 107-111.
Zhang K, Luo N, Xu X J, *et al.* Sustainable development models of converting cropland to forest in Dabieshan District, Anhui Province [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2006, **4**(5): 107-111.
- [33] 史志刚. 大别山区水土保持工作探析[J]. 中国水利, 2012, (12): 31-32.
- [34] 张云彬, 王云, 陈静媛, 等. 土地利用转型影响下大别山区景观格局演变及驱动力研究——以安徽省六安市金寨县为例[J]. 华中农业大学学报, 2022, **41**(3): 56-68.
Zhang Y B, Wang Y, Chen J Y, *et al.* Evolution and driving forces of landscape pattern in Dabie Mountain Areas affected by land use transformation: a case study of Jinzhai County, Lu'an City, Anhui Province [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, **41**(3): 56-68.
- [35] 叶永忠, 卓卫华, 郑孝兴. 河南大别山自然保护区科学考察集[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
Ye Y Z, Zhuo W H, Zheng X X. Scientific survey of Henan Dabieshan nature reserve [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [36] 江波, 周先容, 尚进, 等. 中国特有植物巴山榧树的种群结构与动态[J]. 生态学报, 2018, **38**(3): 1016-1027.
Jiang B, Zhou X R, Shang J, *et al.* Population structure and dynamics of *Torreya fargesii* Franch., a plant endemic to China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, **38**(3): 1016-1027.
- [37] 胡平. 废弃矿山地质环境恢复治理的思路——以信阳市光山县某矿区为例[J]. 中国资源综合利用, 2020, **38**(5): 105-107.
Hu P. Thoughts on restoration and treatment of geological environment in abandoned mines——Take a mining area in Guangshan County of Xinyang City as an example [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2020, **38**(5): 105-107.
- [38] 程先富, 张方方, 邓良, 等. 安徽省霍山县植被覆盖度动态变化及预测[J]. 水土保持通报, 2014, **34**(4): 104-109.
Cheng X F, Zhang F F, Deng L, *et al.* Dynamic change and prediction of vegetation coverage in Huoshan County of Anhui Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, **34**(4): 104-109.
- [39] 杨涛, 董好刚, 李新, 等. 基于地质建造的河南省罗山县水土流失特征及其影响因素研究[J]. 水土保持通报, 2022, **42**(5): 151-157, 180.
Yang T, Dong H G, Li X, *et al.* Characteristics and influencing factors of soil erosion in Luoshan County, Henan Province based on geological formation [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, **42**(5): 151-157, 180.
- [40] 邓高燕, 吴博文, 黄勇奇. 基于 MODIS 影像的黄冈市植被覆盖时空变化特征的研究[J]. 黄冈师范学院学报, 2014, **34**(6): 51-58.
Deng G Y, Wu B W, Huang Y Q. Research on spatio-temporal characteristics of vegetation coverage in Huanggang based on MODIS RS image [J]. Journal of Huanggang Normal University, 2014, **34**(6): 51-58.

CONTENTS

Spatio-temporal Evolution, Dynamic Transition, and Convergence Trend of Urban Carbon Emission Intensity in China	YANG Qing-ke, WANG Lei, ZHU Gao-li, <i>et al.</i> (1869)
Spatio-temporal Evolution and Trend Prediction of Transport Carbon Emission Efficiency	ZHENG Yan, JIANG Xue-mei, XIAO Yu-jie (1879)
Research on Carbon Emission Decoupling Factors Based on STIRPAT Model and LMDI Decomposition	ZHANG Jiang-yan (1888)
Carbon Peak Pathways of Industrial Parks Based on the LEAP Model: A Case Study of a National Development Zone in Nanjing	LI Hui-peng, LI Li, YIN Yin, <i>et al.</i> (1898)
Accounting and Analysis of Carbon Emissions in Universities: A Case Study of Beijing A University	CAO Rui, FENG Li, ZHANG Li-qiu (1907)
Synergy Effects and Driving Factors of Pollution and Carbon Emission Reduction in Manufacturing Industry in Beijing	YU Shan, HAN Yu-hua, MU Jie, <i>et al.</i> (1917)
Carbon Emissions Trading Prices and Total Factor Productivity: Evidence from China	WU Xue-ping (1926)
Analysis of Spatio-temporal Distribution Characteristics and Influencing Factors of PM _{2.5} and PM ₁₀ in Chinese Cities	LI Jiang-su, DUAN Liang-rong, ZHANG Tian-jiao (1938)
Spatial-temporal Characteristics and Influencing Factors of PM _{2.5} and Ozone in the Border Area of Jiangsu, Anhui, Shangdong, and Henan from 2017 to 2021	CHEN Wei, XU Xue-zhe, LIU Wen-qing (1950)
Analysis of the Characteristics and Causes of PM _{2.5} and O ₃ Pollution in Xi'an During the Epidemic Lockdown Period	YUAN Xiao-hong, ZHANG Qiang, LI Qi, <i>et al.</i> (1963)
PM _{2.5} Chemical Composition and Spatial Variability in the Five Cities of Southern Jiangsu During Fall and Winter	FENG Wei, DING Feng, SHANG Yue, <i>et al.</i> (1975)
Source Apportionment of Fine Particles in Xianning, Hubei	LUO Yi, ZHU Kuan-guang, CHEN Pu-long, <i>et al.</i> (1983)
Spillover Benefits of Ammonia Emission Reduction in Xingtai Area to the Improvement of Atmospheric PM _{2.5} Concentration in the Beijing-Tianjin-Hebei Region	BIAN Ze-jun, WEN Chao-yu, LANG Jian-lei, <i>et al.</i> (1994)
Characteristics, Risk Assessment, and Sources of the Polluted Metallic Elements in PM _{2.5} During Winter in Liaocheng City	ZHANG Jing-qiao, ZHU Yao, CAO Ting, <i>et al.</i> (2003)
Composition Characteristics of Typical VOCs Sources in the Highland City of Lhasa	GUO Shu-zheng, YE Chun-xiang, LIN Wei-li, <i>et al.</i> (2011)
VOCs Pollution Characteristics and Health Risk Assessment in Typical Industrial Parks in Beijing: Environmental Impact of High and New Technology Industries	WANG Jie, YAO Zhen, WANG Min-yan, <i>et al.</i> (2019)
Analysis of a Typical Ozone Pollution Process in the Chengdu Plain Under the Influence of High Temperature Extremes	LEI Li-juan, ZHANG Yi, LUO Yi-na, <i>et al.</i> (2028)
Presence, Behavior, and Risk of Antiviral Drugs in the Aqueous Environment	GE Lin-ke, LI Xuan-yan, CAO Sheng-kai, <i>et al.</i> (2039)
Spatio-temporal Variation and Probability Health Risk of Heavy Metals in Surface Water of Xiaolangdi Reservoir in the Yellow River	WANG Liang, DENG Xue-jiao, WANG Xiao-lei, <i>et al.</i> (2054)
Hydrochemical Characteristics and Control Factors of Strontium Enrichment of the Duoqu River Basin in Eastern Xizang	LI Jing-jie, LIAN Sheng, WANG Ming-guo, <i>et al.</i> (2067)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation and Its Moisture Sources in the Inland Regions of Northwest China	ZHANG Yan-yan, XIN Cun-lin, GUO Xiao-yan, <i>et al.</i> (2080)
Recharge Source and Evolution Process of Karst Groundwater in Tai'an Urban Area Based on Hydrochemistry and Hydrogen and Oxygen Isotopes	MENG Ling-hua (2096)
Hydrochemical Characteristics and Influencing Factors of Surface Water and Groundwater in the Mountainous Area of Danjiang River Basin	ZHANG Zi-yan, FU Yong-peng, WANG Ning-tao, <i>et al.</i> (2107)
Hydrochemical Characteristics and Control Factors of Groundwater in Yuanyangchi Irrigation Area, Jinta Basin	WANG Xiao-yan, HAN Shuang-bao, ZHANG Meng-nan, <i>et al.</i> (2118)
Hydrochemical Characteristics and Health Risk Assessment of Shallow Groundwater in the Plain Zone of Deyang City	LIU Nan, CHEN Meng, GAO Dong-dong, <i>et al.</i> (2129)
Spatial and Temporal Distribution of Microplastics in the Sediments of Typical Urban River Network	XU Wan-lu, FAN Yi-fan, QIAN Xin (2142)
Construction of Nitrogen Emission Inventory at Sub-basin Scale and Analysis of Key Sources in Fuxian Lake Watershed	WANG Yan-jie, LIANG Qi-bin, WANG Yan-xia, <i>et al.</i> (2150)
Preparation of Lanthanum Crosslinked Calcium Peroxide/Sepiolite/Sodium Alginate Composite Hydrogels and Their Elimination Performance for Endogenous Phosphorus	QU Si-tong, SHAN Su-jie, WANG Chong-ming, <i>et al.</i> (2160)
Formation Mechanism, Structural Characteristics of Ultrafine Mineral Particles, and Their Environmental Effects	LIU Zhen-hai, ZHANG Zhan-hua, YUAN Yu-xin, <i>et al.</i> (2171)
Research Progress in Application of Biochar-immobilized Bacteria Composites in Environmental Remediation	SUN Shu-yu, HUANG Meng-xin, KONG Qiang, <i>et al.</i> (2185)
Effect of Microplastics on Ammonia Nitrogen Adsorption by Zeolite in Water and Its Mechanism	LIAN Jian-jun, XIE Shi-ting, WU Pei, <i>et al.</i> (2195)
Mechanism of Ultraviolet Aging Effect on the Adsorption of Ciprofloxacin by Nano-biochar	MA Feng-feng, XUE Zhi-yi, ZHAO Bao-wei (2203)
Response of Phytoplankton Communities and Environmental Factors Under the Influence of Land Use in the Wuding River Basin	GUO Shan-song, HU En, DING Yi-tong, <i>et al.</i> (2211)
Bacterial Community Diversity and Functional Gene Abundance of Culturable Bacteria in the Wetland of Poyang Lake	YU Jiang, WANG Chun, LONG Yong, <i>et al.</i> (2223)
Bacterial Community Structure and Its Relationship with Heavy Metals in Sediments of Diannong River	LIU Shuang-yu, MENG Jun-jie, QIU Xiao-cong, <i>et al.</i> (2233)
Impacts of Treated Wastewater on Bacterial and Fungal Microbial Communities in Receiving Rivers	GUO You-shun, YU Zhong, HAO Wen-bin, <i>et al.</i> (2246)
Metagenomics Reveals the Characteristics and Functions of Bacterial Community in the Advanced Wastewater Treatment Process	HU Jian-shuang, WANG Yan, ZHOU Zheng, <i>et al.</i> (2259)
Spatio-temporal Characteristics of Habitat Quality and Natural-human Driven Mechanism in Dabie Mountain Area	ZHENG Ya-ping, ZHANG Jun-hua, TIAN Hui-wen, <i>et al.</i> (2268)
Hyperspectral Inversion of Soil Organic Matter Content Based on Continuous Wavelet Transform, SHAP, and XGBoost	YE Miao, ZHU Lin, LIU Xu-dong, <i>et al.</i> (2280)
Effects of Straw Retention, Film Mulching, and Nitrogen Input on Soil Quality in Dryland Wheat Field	YE Zi-zhuang, WANG Song-yan, LU Xiong, <i>et al.</i> (2292)
Effects of Long-term Application of Organic Fertilizer on the Occurrence and Migration Characteristics of Soil Microplastics	WANG Chang-yuan, MA Xiao-chi, GUO De-jie, <i>et al.</i> (2304)
Effect of Different Soil Salinities on N ₂ O Emission: A Meta-analysis	HUANG Yi-hua, SHE Dong-li, SHI Zhen-qi, <i>et al.</i> (2313)
Assessment and Prediction of Carbon Storage Based on Land Use/Land Cover Dynamics in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	ZHENG Hui-ling, ZHENG Hui-feng (2321)
Simulation of Temporal and Spatial Changes in Ecosystem Carbon Storage in Funiu Mountains Based on InVEST Model	ZHANG Zhe, SHI Zhen-qin, ZHU Wen-bo, <i>et al.</i> (2332)
Relationship Between Microbial Nutrient Limitation and Soil Organic Carbon Fraction During Shelterbelts Construction	XU Feng-jing, HUANG Yi-mei, HUANG Qian, <i>et al.</i> (2342)
Characteristics and Driving Forces of Organic Carbon Mineralization in Brown Soil with Long-term Straw Returning	ZHAO Yu-hang, YIN Hao-kai, HU Xue-chun, <i>et al.</i> (2353)
Effects of Winter Green Manure Mulching on Soil Aggregates, Organic Carbon, and AMF Diversity	LU Ze-rang, CHEN Jia-yu, LI Zhi-xian, <i>et al.</i> (2363)
Spatial and Temporal Distribution of Nitrogen in the Liaohe River Basin and Its Responses to Land Use and Rainfall	ZHOU Bo, LI Xiao-guang, TONG Si-chen, <i>et al.</i> (2373)
Nitrous Oxide Emissions from Ponds in Typical Agricultural Catchment with Intensive Agricultural Activity	ZHANG Xin-yue, XIAO Qi-tao, XIE Hui, <i>et al.</i> (2385)
Effects of Biochar Combined with Different Types of Nitrogen Fertilizers on Denitrification Bacteria Community in Vegetable Soil	LIU Xiao-wan, LIU Xing-ren, GAO Shang-jie, <i>et al.</i> (2394)
Investigation of Soil Microbial Characteristics During Stand Development in <i>Pinus tabulaeformis</i> Forest in Taiyue Mountain	MA Yi-shu, CAO Ya-xin, NIU Min, <i>et al.</i> (2406)
Simulation of Heavy Metal Content in Soil Based on Sparse Sample Sites	ZHANG Jia-qi, PAN Yu-chun, GAO Shi-chen, <i>et al.</i> (2417)
Identification Priority Source of Heavy Metal Pollution in Greenspace Soils Based on Source-specific Ecological and Human Health Risk Analysis in the Yellow River Custom Tourist Line of Lanzhou	LI Jun, LI Xu, LI Kai-ming, <i>et al.</i> (2428)
Heavy Metal Accumulation and Assessment of Potential Ecological Risk Caused by Soil pH Changes in Different Types of Purple Soils in Southwest China	ZHANG Hai-lin, ZHANG Yu, WANG Ding, <i>et al.</i> (2440)
Assessment and Source Analysis of Heavy Metal Pollution in Arable Land Around an Iron Ore Mining Area in Chongqing	LIAO Ze-yuan, LI Jie-qin, SHEN Zhi-jie, <i>et al.</i> (2450)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Farmland Soils and Crops Around Metal Mines	WEI Hong-bin, LUO Ming, XIANG Lei, <i>et al.</i> (2461)
Effect of Red Mud-based Nano Zero-valent Iron on Remediation of Polymetallic Contaminated Soil	LIU Long-yu, YANG Shi-li, ZHAO Huang-shi-yu, <i>et al.</i> (2474)
Effects of Zinc Application on Cadmium Accumulation in Alkaline Soil-Wheat Seeding Systems	ZHANG Yao, WANG Tian-qi, NIU Shuo, <i>et al.</i> (2480)