

目次

基于时间序列分解的京津冀区域PM_{2.5}和O₃空间分布特征姚青,丁净,杨旭,蔡子颖,韩素芹 (2487)

基于随机森林的北京城区臭氧敏感性分析周红,王鸣,柴文轩,赵昕 (2497)

基于随机森林模型的四川盆地臭氧污染预测杨晓彤,康平,王安怡,臧增亮,刘浪 (2507)

海口市臭氧浓度统计预报模型的构建与效果评估符传博,林建兴,唐家翔,丹利 (2516)

京津冀地区2015~2020年臭氧浓度时空分布特征及其健康效益评估高冉,李琴,车飞,张艳平,祖永刚,刘芬 (2525)

2022年北京市城区PM_{2.5}水溶性离子含量及其变化特征陈圆圆,崔迪,赵泽熙,常森,景宽,沈秀娥,刘保献 (2537)

郑州市冬春季PM_{2.5}中金属元素污染特征、来源及健康风险评估陶杰,闫慧姣,徐艺斐,荆海涛 (2548)

淄博市供暖前后PM_{2.5}中多环芳烃及其衍生物污染特征、来源及健康风险孙港立,吴丽萍,徐勃,高玉宗,赵雪艳,姬亚芹,杨文 (2558)

西安市采暖季过渡期高时间分辨率细颗粒物组分特征及来源解析李萌津,张勇,张倩,田杰,李丽,刘卉昆,冉伟康,王启元 (2571)

天津冬季两个典型污染过程高浓度无机气溶胶成因及来源分析卢苗苗,韩素芹,刘可欣,唐晓,孔磊,丁净,樊文雁,王自发 (2581)

基于空间尺度效应的山东省PM_{2.5}浓度时空变化及空间分异地理探测徐勇,韦梦新,邹滨,郭振东,李沈鑫 (2596)

我国典型化工行业VOCs排放特征及其对臭氧生成潜势武婷,崔焱文,肖成德,翟增秀,韩萌 (2613)

廊坊秋季大气污染过程中VOCs二次气溶胶生成潜势及来源分析张敬巧,刘铮,丁文文,朱瑶,曹婷,凌德印,王淑兰,王宏亮 (2622)

景观格局对河流水质影响的尺度效应Meta分析王玉仓,杜晶晶,张禹,吴昊,胡敏韵,陈丁江 (2631)

白洋淀夏季汛期入淀河流水体溶解性有机物的光谱特征及来源孟佳靖,婁红,陈哲,周石磊,底怡玲,武辰彬,王晨光,张家丰,崔建升 (2640)

北京市丰台区永定河以东浅层地下水水化学演变规律及成因分析胡昱欣,周瑞静,宋炜,杨全合,王鑫茹 (2651)

庐庐断裂带(安徽段)浅层地下水水化学特征、控制因素及水质评价刘海,魏伟,宋阳,徐洁,管政亭,黄健敏,赵国红 (2665)

农药施用对兴凯湖水中农药残留的影响及其风险评价王蔚青,徐雄,刘权震,林利华,吕婧,王东红 (2678)

黄河兰州段河岸带土壤中微生物与耐药基因的赋存特征韦程宸,魏枫沂,夏慧,黄魁 (2686)

基于多源数据的巢湖蓝藻水华时空分布及驱动因素分析金晓龙,邓学良,戴睿,徐倩倩,吴月,范裕祥 (2694)

再生水构建水环境中沉水植物附着细菌群落特征贺赞,李雪梅,李宏权,魏琳琳,姜春晖,姜大伟,李魁晚 (2707)

水位波动和植被恢复对三峡水库消落带土壤原核微生物群落结构的交互影响梅渝,黄平,王鹏,朱凯 (2715)

银川市典型湖泊沉积物细菌群落结构及其对重金属的响应关系蒙俊杰,刘双羽,邱小琼,周瑞娟 (2727)

热水解时间对污泥厌氧消化系统微生物群落结构影响分析张含,张涵,王佳伟,高金华,文洋,李相昆,任征然 (2741)

市政污水中吗啡来源辨析耶雪婷,赵悦彤,蒋冰,裴伟,李彦莹,谭冬芹,王德高 (2748)

溱沔河流域生态环境动态遥感评价李艳翠,袁金国,刘博涵,郭豪 (2757)

黄河流域生态系统服务价值时空演化及影响因素王奕洪,洪学莹 (2767)

基于贝叶斯网络的生态系统服务权衡协同关系强度及其空间格局优化:以汾河流域为例蔡进,危小建,江平,梁玉琦 (2780)

贵州高原典型喀斯特县域生境质量时空演变及定量归因李月,冯霞,吴路华,罗光杰,罗红芬 (2793)

2000~2021年黄土高原生态分区NEP时空变化及其驱动因子周怡婷,严俊霞,刘菊,王璞 (2806)

基于SSP-RCP情景的黄土高原土地变化模拟及草原碳储量崔霞,董燕,张露尹,王荣耀 (2817)

京津冀城市群建设用地扩张多情景模拟及其对生态系统碳储量的影响武爱彬,陈辅国,赵艳霞,秦彦杰,刘欣,郭小平 (2828)

西南岩溶区土地利用变化对团聚体稳定性及其有机碳的影响江可,贾亚男,杨琰,陈坚淇,禹朴家 (2840)

不同土地利用方式下土壤有机质分子组成变化的整合分析黄世威,赵一锴,朱馨雨,刘贺雷,刘姣姣,陈稍,陈佳永,张阿凤 (2848)

基于改进麻雀搜索算法优化BP神经网络的土壤有机质空间分布预测胡志瑞,赵万伏,宋根先,王芳,林妍敏 (2859)

不同有机物料施用对菜地磷累积和转化的影响孙凯,崔玉涛,李顺晋,魏冰丽,王媛,杨宏博,王孝忠,张伟 (2871)

集约化柑橘种植抑制土壤磷循环微生物活性周连昊,曾全超,梅唐英泽,汪明霞,谭文峰 (2881)

控释掺混肥对麦玉米轮作体系作物产量和温室气体排放的影响高玮,王学霞,谢建治,陈延华,倪小会,王甲辰,董艳芳,李子双,曹兵 (2891)

生物炭对黄绵土中NO₃-N运移过程影响及模拟白一茹,刘旭,张钰涵,张睿媛,马艳,王幼奇 (2905)

中国农田土壤重金属污染分析与评价杨雳,白宗旭,薄文浩,林静,杨佩佳,陈涛 (2913)

城市土壤和地表灰尘重金属污染研究进展与展望王晓雨,刘恩峰,杨祥梦,王碧莲,林锦阔,颜梦霞,毕世杰 (2926)

场地重金属污染土壤固化及MICP技术研究进展陈玥如,高文艳,陈虹任,薛生国,吴川 (2939)

黄河流域山东段近河道煤矿区土壤重金属污染特征及源解析戴文婷,张晖,吴霞,钟鸣,段桂兰,董霖红,张培培,樊洪明 (2952)

拒马河流域河流沉积物与土壤重金属含量及风险评价韩双宝,袁磊,张秋霞,郑焰,李甫成 (2962)

银川市黄河滩区土壤重金属污染特征、生态风险评估及来源解析于路加,马海军,王翠平 (2971)

基于源导向和蒙特卡罗模型的广东省某城市土壤重金属健康风险评估陈莲,邹子航,张培珍,王雨茜,王振江,林森,唐翠明,罗国庆,钟建武,李智毅,王圆 (2983)

西南典型碳酸盐岩高地地质背景区农田重金属化学形态、影响因素及回归模型唐瑞玲,徐进力,刘彬,杜雪苗,顾雪,于林松,毕婧 (2995)

贵州省水田土壤-水稻Hg含量特征与安全种植区划韦美溜,周浪,黄燕玲,庞瑞,王佛鹏,宋波 (3005)

柠檬酸辅助甜高粱对南方典型母质土壤的镉修复效应刘梦宇,罗绪锋,辜娇峰,易轩韬,周航,曾鹏,廖柏寒 (3016)

改性酒糟生物炭对紫色土壤镉形态及水稻吸收镉的影响肖乃川,王子芳,杨文娜,谢永红,代文才,高明 (3027)

生物炭对四环素和铜复合污染土壤生菜生长及污染物累积的影响郑晨格,裴欢欢,张亚珊,李嘉欣,刘奋武,乔星星,秦俊梅 (3037)

基于Meta分析的蚯蚓堆肥对堆肥质量和重金属的影响效应姜继韶,侯睿,崔慧林,闫广轩,刘栋 (3047)

微塑料对土壤N₂O排放及氮素转化的影响研究进展刘一戈,杨安琪,陈舒欣,牛奕奕,卢瑛,李博 (3059)

土地利用对洱海罗时江小流域土壤微塑料污染的影响戴柳云,侯磊,王化,符立松,王艳霞,李晓琳,王万宾,梁启斌 (3069)

养殖海湾淤泥质海岸沉积物微塑料污染特征宋可心,贺金成,李昌文,解思琦,刘宝瑛,黄伟,冯志华 (3078)

聚乙烯微塑料对盐渍化土壤微生物群落的影响王志超,李哲,李嘉辰,屈忠义,胡文焕,李卫平 (3088)

鄱阳湖候鸟栖息地微塑料表面细菌群落结构特征与生态风险预测俞锦丽,赵俊凯,罗思琦,景文慧,杨启武,刘淑丽 (3098)

粤闽浙沿海重点城市道路交通节能减排路径徐艺诺,翁大维,王硕,胡喜生,王占永,张园园,张兰怡 (3107)

电动重卡替代柴油重卡的全生命周期碳减排效益分析徐圆圆,龚德鸿,黄正光,杨浪 (3119)

贵州高原典型喀斯特县域生境质量时空演变及定量归因

李月¹, 冯霞¹, 吴路华², 罗光杰³, 罗红芬¹

(1. 贵州财经大学公共管理学院, 贵阳 550025; 2. 铜仁学院经济管理学院, 铜仁 554300; 3. 贵州师范学院贵州省流域地理国情监测重点实验室, 贵阳 550018)

摘要: 揭示贵州高原喀斯特县域生境质量时空演变规律及其驱动因素, 为平衡喀斯特区域生态保护和可持续发展提供科学依据. 利用 1989 年、2003 年、2010 年和 2020 年 4 期土地利用数据、DEM 数据、气象数据和社会经济数据, 采用 InVEST 模型阐明普定县近 30 年生境质量时空分布格局及演变特征, 并对其空间分异的驱动力进行了定量探测. 结果表明: ①耕地和林地是普定县的主要土地利用类型, 构成了地表覆盖景观基质. 2003~2010 年土地利用变化最显著, 其中林地的增幅最大, 达 86.42%, 耕地是流失最严重的土地利用类型, 面积减少 157.57 km², 主要流向林地和建设用地; ②1989~2020 年普定县生境质量指数平均值由 0.60 上升至 0.73, 空间上由东北部向西南部大体呈现出“高-低-高”的分布格局, 生境质量高值区主要分布在东北部林地和草地区, 低值区集中在中部和南部的建设用地, 生境质量等级上升的区域主要集中在东部及西北部的大部分地区; ③土地利用类型是影响生境质量时空分布的首要因素, 解释程度为 91.00%. 在交互作用探测中, 任意两种影响因素的交互作用大于单个因素的单独作用, 土地利用类型和年均降水量的交互作用最强, 达到 96.00%, 其与岩性因子的交互作用达到 94.00%, 自然与人文因素共同主导生境质量的时空变化. 1989~2020 年普定县生境质量总体较好, 土地利用类型变化与生境质量关系密切, 优化土地利用结构、减小人类活动的影响对提高普定县生境质量具有重要意义.

关键词: 贵州喀斯特; InVEST 模型; 生境质量; 地理探测器; 驱动因子

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2024)05-2793-13 DOI: 10.13227/j.hjkk.202306238

Spatial-temporal Evolution and Quantitative Attribution of Habitat Quality in Typical Karst Counties of Guizhou Plateau

LI Yue¹, FENG Xia¹, WU Lu-hua², LUO Guang-jie³, LUO Hong-fen¹

(1. School of Public Administration, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China; 2. School of Economics and Management, Tongren University, Tongren 554300, China; 3. Guizhou Provincial Key Laboratory of Geographic State Monitoring of Watershed, Guizhou Education University, Guiyang 550018, China)

Abstract: The purpose of this study was to reveal the spatial and temporal evolution patterns of habitat quality in karst counties of Guizhou plateau and its driving factors and to provide scientific basis for balanced ecological conservation and sustainable development of karst regions. Using DEM data, meteorological data, socio-economic data, and four periods of land use data in 1989, 2003, 2010, and 2020, the InVEST model was used to analyze the spatial and temporal evolution characteristics of habitat quality in Puding County from 1989 to 2020 and to quantitatively detect the driving forces of its spatial divergence. The results were as follows: ① Arable land and forest land were the main land use types in Puding County, which constituted the surface cover landscape matrix. Land use changes from 2003-2010 were the most significant, among which forest land had the largest increase of 86.42%; arable land was the most severely lost land use type, with an area decrease of 157.57 km², mainly flowing to forest land and construction land. ② From 1989 to 2020, the average value of habitat quality index in Puding County increased from 0.60 to 0.73. Spatially, the distribution pattern of "high-low-high" was generally from northeast to southwest, with the high value areas of habitat quality mainly distributed in the woodland and grassland areas in the northeast and the low value areas concentrated in the construction land in the central and south areas. ③ Land use type was the primary factor affecting the spatial and temporal distribution of habitat quality, with an explanation of 91.00%. In the interaction detection, the interaction of any two influencing factors was greater than that of individual factors alone, and the interaction between land use type and average annual precipitation was the strongest, reaching 96.00%; the interaction with lithological factors reached 94.00%, with natural and human factors jointly dominating the spatial and temporal changes in habitat quality. From the results of this study, we concluded that the habitat quality of Puding County was generally good from 1989 to 2020, and the relationship between land use type changes and habitat quality was close. Optimizing the land use structure and reducing the influence of human activities are important to improve the habitat quality of Puding County.

Key words: Guizhou Karst; InVEST model; habitat quality; geographical detector; driving factors

生境质量是指在一定的时空内, 生态系统能够持续不断地为个体和种群提供生存条件的能力, 生境质量高低是测度栖息地适宜程度、区域生态系统健康及可持续状态的关键因子^[1]. 近年来, 随着城市空间的不断扩张, 大量农用地和生态用地转为建设用地^[2,3], 使得生境斑块的边缘效应增强, 在一定程度上威胁了以县域为主体单元的中小型城镇发展^[4].

因此, 阐明区域生境质量时空演变规律, 科学诊

收稿日期: 2023-06-29; 修订日期: 2023-08-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(42261044, 42261052); 贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2022]202号); 贵州省基础研究计划项目(自然科学)([2020]1Y157); 贵州省科技计划项目(黔科合基础-ZK[2023]一般464); 贵州省水利科技项目(KT202223, KT202323)

作者简介: 李月(1991~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为土地变化科学与生态修复, E-mail: 976438528@qq.com

断、识别生境质量空间分异的关键驱动因子, 对了解区域资源利用现状, 保护区域生物多样性和维护生态结构稳定性具有重要的学术价值与现实意义。

科学评估由土地利用类型转变引起的生境质量的变化已逐渐成为全球学者研究的热点领域^[5-9]. 长期以来, 以野外数据为基础的 CA-Markov^[10]、SolVES^[11]和 ARIES^[12]模型通常被运用在小尺度区域的生境质量定量评估研究当中, 但大多存在模型转换规则构建难度较大, 空间变化程度不明等局限. InVEST模型作为全球生态系统服务评估的主要模型, 具有显著的动态化、空间化、多层次和多模块等优势, 对自然资源的规划和管理更加快捷^[13], 目前该模型应用已十分成熟且广泛. 近年来, 虽然有关生境质量的评估研究已取得了积极进展, 并形成了一批有价值的研究成果^[14-18], 但以往研究仍然存在一些局限性: ①从研究内容来看, 生境质量空间分异受多因素影响, 既有人口密度、GDP等社会经济因素, 也有高程和降水等自然因素, 但现有研究对生境质量空间分异驱动力的探究较少且较为片面, 大多研究以探讨单一土地利用/覆被变化为侧重点来剖析生境质量空间分异的影响因素^[19-21], 对多因素间相互作用的讨论略显不足^[22]; ②从研究尺度来看, 研究区的选取多侧重于沿海城市^[23]、自然保护区^[24]及流域^[25], 较少关注我国生态系统脆弱敏感、经济发展相对滞后且人地矛盾较突出的喀斯特地区, 且对该地区县域尺度下的生境质量研究更是鲜见报道。

贵州不仅是全球喀斯特发育最典型、最复杂的地区之一, 更是我国长江和珠江上游重要的生态屏障, 长期以来由于自身的生态系统脆弱性和不合理的人类活动干扰, 导致喀斯特区域生物多样性减少、水土流失和石漠化等生态问题仍较为突出, 加

之该地区的生态质量退化过程复杂, 对科学评估和模拟其生境质量变化规律, 探测生境质量空间分异影响因素有着极大的诉求. 而县域作为承上启下、沟通条块和连接城乡的枢纽, 不仅是国土空间治理的基本单元, 更是推进区域经济发展的重点和着力点, 通过开展县域生境质量评估, 能够更加科学、真实地反映贵州省的生态环境质量状况, 同时也可为我国西南喀斯特地区其他省份/县域的生境质量评价与可持续发展提供科学参考. 普定县作为贵州省乃至整个西南地区喀斯特石漠化的典型县之一, 2008年被确定为“全国石漠化综合治理试点县”^[26], 喀斯特地貌面积占国土总面积的84.26%, 其中自然因素和人为因素对生境质量有着不同程度影响, 甄别其生境质量空间分异的驱动因子对普定县可持续发展至关重要. 有鉴于此, 本研究选择我国西南地区典型喀斯特县域——普定县为研究区, 基于1989~2020年土地利用变化数据, 运用InVEST模型生境质量模块分析了普定县近30年来的生境质量时空演变特征, 借助理探测器因子探测功能定量揭示生境质量空间分异的影响机制, 首次纳入岩性因子, 试图尝试更加全面且准确地识别关键驱动因子, 运用其交互探测功能探测因子间的交互作用强度, 旨在为贵州省乃至西南喀斯特地区生态环境保护与可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

普定县隶属贵州省安顺市, 位于贵州省中部偏西(图1), 总面积1 091 km², 属于亚热带季风湿润气候, 年均降水1 378.2 mm^[27], 年均气温15.1℃. 辖区内地势南北部高、中部低, 岩溶地貌发育典型, 演变形态类型齐全, 地域分异明显. 普定县作为贵州省乃至整个西南地区喀斯特石漠化的典型县之

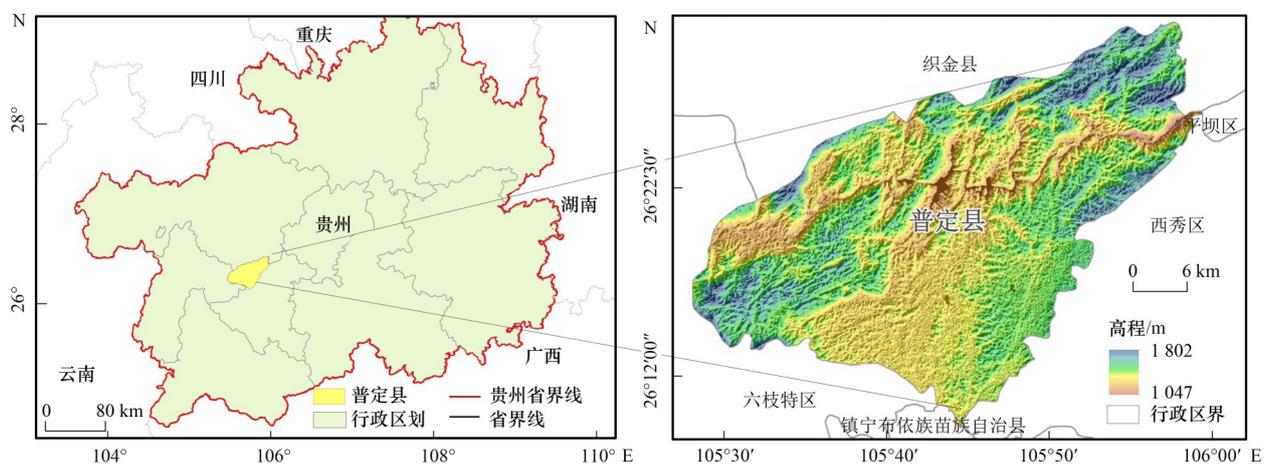


图1 研究区位置示意

Fig. 1 Location of study area

一, 生态系统脆弱, 一度处于“人增-耕进-林退-土地石化”循环中, 对区域生态环境和社会经济可持续发展造成严重影响.

2 材料与方法

2.1 数据来源与处理

2.1.1 土地利用数据

基于遥感和地理信息系统技术方法, 利用普定县 4 期影像进行遥感监测和分类, 获得土地利用现状图, 并对图像进行处理和数据提取. 4 期遥感影像来源于马里兰大学和地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>), 其中 1989 年为 Landsat4-5MSS 影像, 2003、2010 和 2020 年为 Landsat 7 TM 影像, 空间分辨率均为 30 m. 为提高解译的准确性和时效性, 本研究选择季节一致且云量低于 5% 以下的遥感影像作为基础数据. 首先, 基于 Erdas 9.2 软件下对 4 期影像分别进行光谱增强和辐射增强, 采用近红外、红光与绿光波段进行标准假彩色合成, 使用 1:1 万地形图对影像进行几何精校正,

借助 FLAASH 模型进行大气校正处理; 其次, 通过监督分类与人机交互式解译等方法提取 9 种地类, 并随机选取了部分野外验证点, 结合 Google Earth 高分辨率历史影像、全国国土调查主要数据公报等数据资料, 对土地利用矢量图进行了图斑修正; 最后, 利用 Erdas 9.2 软件精度评估工具对分类结果进行验证, 4 期土地利用分类数据的总体精度均在 83% 以上, Kappa 系数分别为 0.85、0.84、0.86 和 0.87, 能够满足区域土地利用变化分析需求.

2.1.2 生境质量数据

已有研究表明, 地形、气候等自然环境条件和人口经济、土地利用等社会经济因素对生境质量有着不同程度的影响^[28-30]. 本研究结合普定县实际情况, 以数据典型性、科学性、可获取性和可量化性为原则, 选取了 2 个一级指标、6 个二级指标和 9 个三级指标作为生境质量的主要影响因子(表 1), 并将指标数据在 ArcGIS 软件中进行掩膜提取、重分类、克里金插值和栅格化等处理^[31].

表 1 生境质量主要影响因子

Table 1 Main influencing factors of habitat quality

一级指标	二级指标	三级指标	数据来源
自然环境	地形因子	高程	地理空间数据云 (https://www.gscloud.cn/), 精度为 30 m
		坡度	
	气候因子	年均降水量	中国科学院资源环境科学与数据中心 (https://www.resdc.cn/)
		年均气温	
植被因子	归一化植被指数 (NDVI)	美国 NASA 官网 (https://modaps.modaps.eos-dis.nasa.gov/), 时间分辨率为 30 d, 空间分辨率 500 m	
岩性因子	岩性	ISRIC ^[32] (https://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/EXternal-World-soil-database/HTML/)	
社会经济	人口经济	人口密度 GDP	中国科学院资源环境科学与数据中心 (https://www.resdc.cn/)
	土地利用	1989、2003、2010 和 2020 年土地利用类型	遥感影像地理空间数据云 (https://www.gscloud.cn/)

2.2 研究方法与技术路线

2.2.1 生境质量评估模型

InVEST 生境质量模块通过结合景观类型敏感性和外界威胁强度来计算生境质量, 模型中要获取生境质量指数的大小首先要计算生境退化程度^[33], 其计算公式为:

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

$$i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{r \max}} \right) \quad (\text{线性衰退}) \quad (2)$$

$$i_{rxy} = \exp \left[- \left(\frac{2.99}{d_{r \max}} \right) d_{xy} \right] \quad (\text{指数衰退}) \quad (3)$$

式中, D_{sj} 为生境退化度; Y_r 为威胁因子 r 的栅格总数; W_r 为威胁因子 r 的权重, $W_r \in [0, 1]$; r_y 为威胁因子 r 对栅格 y 的胁迫值; R 为威胁因子的数量; i_{rxy} 为 r_y 对生境栅格 x 的威胁程度; S_{jr} 为 j 类型土地对威胁因子 r 的敏感程度; i_{rxy} 表示栅格 y 中的威胁因子 r 对栅格 x 的影响, d_{xy} 表示栅格 x 和 y 之间的线性距离, $d_{r \max}$ 表示最大影响距离. 生境质量的计算公式通过生境退化度计算得到^[29].

$$Q_{sj} = H_j \left(1 - \frac{D_{sj}^z}{D_{sj}^z + K^z} \right) \quad (4)$$

式中, Q_{sj} 为生境质量指数, $Q_{sj} \in [0, 1]$; H_j 为土地利用类型 j 的生境适宜度, K 为半饱和和常数, 本文设置为 0.5, 归一化常量 z 值取默认值 2.5^[34].

在进行生境质量的测算过程中, 本研究将水

田、旱地、建设用地和未利用地定义为威胁因子, 根据 InVEST 模型手册和研究区实际特征, 并参考相关研究^[35], 设置各威胁因子的相关参数, 具体情况见表 2 和表 3。

表 2 威胁因子权重和影响距离

Table 2 Threat factor weights and influence distance

威胁因子	最大影响距离/km	权重	衰退类型
水田	5.00	0.50	指数衰减
旱地	5.00	0.60	指数衰减
建设用地	10.00	1.00	指数衰减
未利用地	4.00	0.40	线性衰减

表 3 不同土地利用类型对威胁因子的敏感度

Table 3 Sensitivity of different land use types to threat factors

土地利用类型	生境适宜度	威胁因子			
		水田	旱地	建设用地	未利用地
有林地	1.00	0.80	0.80	1.00	0.50
其他林地	0.90	0.40	0.50	1.00	0.50
灌木林地	1.00	0.70	0.70	0.90	0.40
草地	0.80	0.40	0.60	0.70	0.70
水田	0.50	0.00	0.50	0.50	0.40
旱地	0.50	0.50	0.00	0.50	0.40
水域	0.80	0.63	0.53	0.71	0.40
建设用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	0.30	0.30	0.50	0.60	0.00

2.2.2 地理探测器

地理探测器是通过统计方差来揭示空间分异性的方法, 本研究主要利用其中的因子探测和交互探测两部分功能来分析不同驱动因子对生境质量空间分异的影响程度^[31]。其中因子探测的影响力大小用 q 来表示, 具体计算公式如下:

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

式中, q 值为自变量 X 对因变量 Y 的解释力, $q \in [0, 1]$, 值越大解释力越强, 反之越小; $h(1, 2, \dots, L)$ 为自变量 X 或者因变量 Y 的分层, N_h 和 N 分别为第 h 层和全区的单元数, σ_h^2 和 $N\sigma^2$ 为第 h 层和全区的方差^[31], 双因子交互作用结果类型见表 4。

表 4 双因子交互作用结果类型

Table 4 Result types of two-factor interaction

判断依据	交互类型
$q(X_1 \cap X_2) < \min[q(X_1), q(X_2)]$	非线性减弱
$\min[q(X_1), q(X_2)] < q(X_1 \cap X_2) < \max[q(X_1), q(X_2)]$	单因子非线性减弱
$q(X_1 \cap X_2) > \max[q(X_1), q(X_2)]$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$	独立
$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$	非线性增强

本研究在借鉴前人研究成果的基础上, 从自然环境和社会经济两个方面选取 9 个因子来探测生境质量的空间分布的影响力, 将海拔 (X_1)、坡度 (X_2)、

土地利用类型 (X_3)、NDVI (X_4)、年均降水量 (X_5)、年均气温 (X_6)、人口密度 (X_7)、人均 GDP (X_8) 和岩性 (X_9) 作为自变量, 采用自然断点法进行重分类处理后, 利用地理探测器探测两变量之间可能的因果关系。

2.2.3 技术路线

本研究以贵州岩溶山区的典型喀斯特县域——普定县为例, 基于遥感影像、地形数据、DEM 数据、土壤数据和人口经济等数据, 利用 InVEST 模型生境质量模块分析 1989~2020 年普定县生境质量时空分布格局特征, 从自然与社会经济因素方面选取指标分析该区域生境质量变化的驱动因素和影响机制 (图 2)。

3 结果与分析

3.1 土地利用时空变化

为便于数据的统计分析, 本研究将有林地、其他林地和灌木林地合并为林地, 水田和旱地合并为耕地, 通过 1989~2020 年普定县各土地利用面积变化可知 (表 5), 耕地作为普定县最主要的土地利用类型之一, 2020 年面积较 1989 年下降了 36.27%, 除喀斯特地区生态本地脆弱原因之外, 与退耕还林生态修复政策以及工矿开采建设、普定水电站建设、流动人口外出打工造成耕地撂荒等密切相关; 林地分布在研究区的东北部和西南部, 2020 年面积较 1989 年大幅度提升了 32.10%, 主要得益于石漠化治理中人工造林、封山育林等生态修复措施; 在普定县中部地区, 建设用地呈现集中分布态势, 其面积在过去的近 30 年来提升了 8.45%, 尤其是在 1989~2003 年, 建设用地扩张面积达 16.77 km², 主要集中在研究区南部乡镇; 水域分布于研究区中北部, 1989~2020 年面积仅提升了 1.27%; 草地和未利用地以零散分布为主, 面积从 1989 年的 61.80 km² 和 33.51 km² 下降到 2020 年的 32.00 km² 和 3.02 km²。总体来看, 1989~2020 年林地、耕地、建设用地间的相互转换使得普定县的用地结构发生巨大改变, 一定程度上影响了普定县的生态空间结构。

由普定县土地转移矩阵可知 (图 3)。1989~2020 年间, 耕地大幅度转化为林地 (313.29 km²)、建设用地 (88.50 km²) 和草地 (17.41 km²), 分别占对应转入用地面积的 80.31%、94.58% 和 63.97%; 草地面积也在减少, 主要向林地和耕地方向转变, 分别转变了 49.79 km²、6.27 km²。由此可见, “退耕还林还草”政策的实施以及人类活动的干预所导致的林地面积增加, 较大部分来源于耕地和草地, 增加了研究区生态系统多样性的同时, 也一定程度上侵占了大量

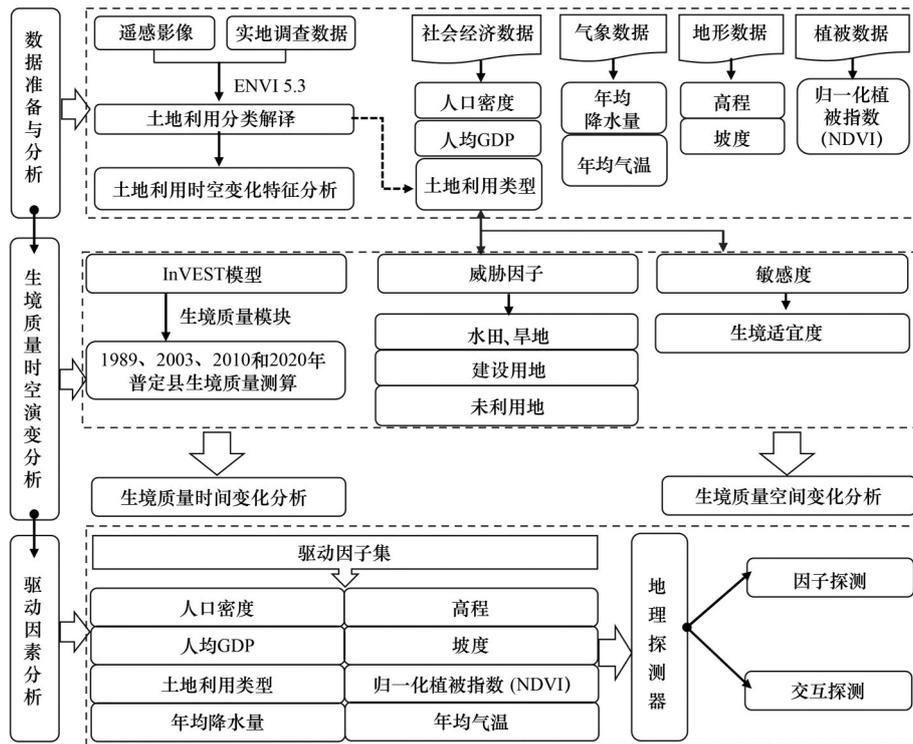


图2 研究技术路线

Fig. 2 Technical lines of study

表5 1989-2020年普定县土地类型面积变化

Table 5 Changes in the area of land types in Puding County from 1989 to 2020

土地利用类型	1989年		2003年		2010年		2020年	
	面积/km ²	占比/%						
耕地	756.81	69.77	583.78	59.73	426.21	39.32	363.55	33.50
林地	221.06	20.38	266.78	27.29	497.31	45.88	569.47	52.48
草地	61.80	5.70	68.53	7.01	82.10	7.57	32.00	2.95
水域	7.65	0.71	17.59	1.80	13.29	1.23	21.53	1.98
建设用地	3.84	0.35	20.61	2.11	42.83	3.95	95.49	8.80
未利用地	33.51	3.09	20.12	2.06	22.30	2.06	3.02	0.28

的草地和耕地.值得注意的是,1989~2020年建设用地面积增加了91.65 km²,耕地与林地是建设用地扩张的主要贡献.

3.2 1989~2020年生境质量时空演变分析

3.2.1 1989~2020年生境质量变化

InVEST模型中的生境质量板块可以衡量一个地区的生物多样性和生态结构稳定性,为了更好地分析普定县生境质量的时空演变特征,本研究将生境质量指数利用自然分级法划分为低(0, 0.1)、较低(0.1, 0.3)、中等(0.3, 0.5)、较高(0.5, 0.8)和高(0.8, 1)这5个等级^[29].从时间变化的角度来看(表6和图4),普定县1989~2020年的生境质量平均值从0.60上升到0.73,增长率为21.67%;标准差增长率高达60.00%,说明普定县的生境结构和景观稳定性高;中等等级生境质量区域所占比例从69.77%降低至33.50%;低等级和高等级生境质量区域所占比例

均表现为增加趋势,增幅比例分别为8.45%和32.10%.

由普定县1989~2020年生境质量主要变化情况可知(表7和图5),低等级生境质量转变为高等级生境质量的比例为18.67%,零星分布于研究区东南部,以未利用地转变为林地和草地为主;较低等级生境质量的区域转变为较高和高等级生境质量的比例分别为3.67%和76.17%,大多集中在研究区的中部地区;中等等级生境质量的区域转变为较高和高等级生境质量的比例分别为4.08%和41.44%,涵盖了普定县大部分区域,是退耕还林还草工程实施的重点区域;高和较高等级生境质量转变为低和较低等级生境质量的区域比例总计仅为1.76%,所占研究区比例较小;中等等级生境质量转变为低等级生境质量的区域比例总计为11.71%,大部分是建设用地扩张的区域.整体来看,研究区的东南和西北大

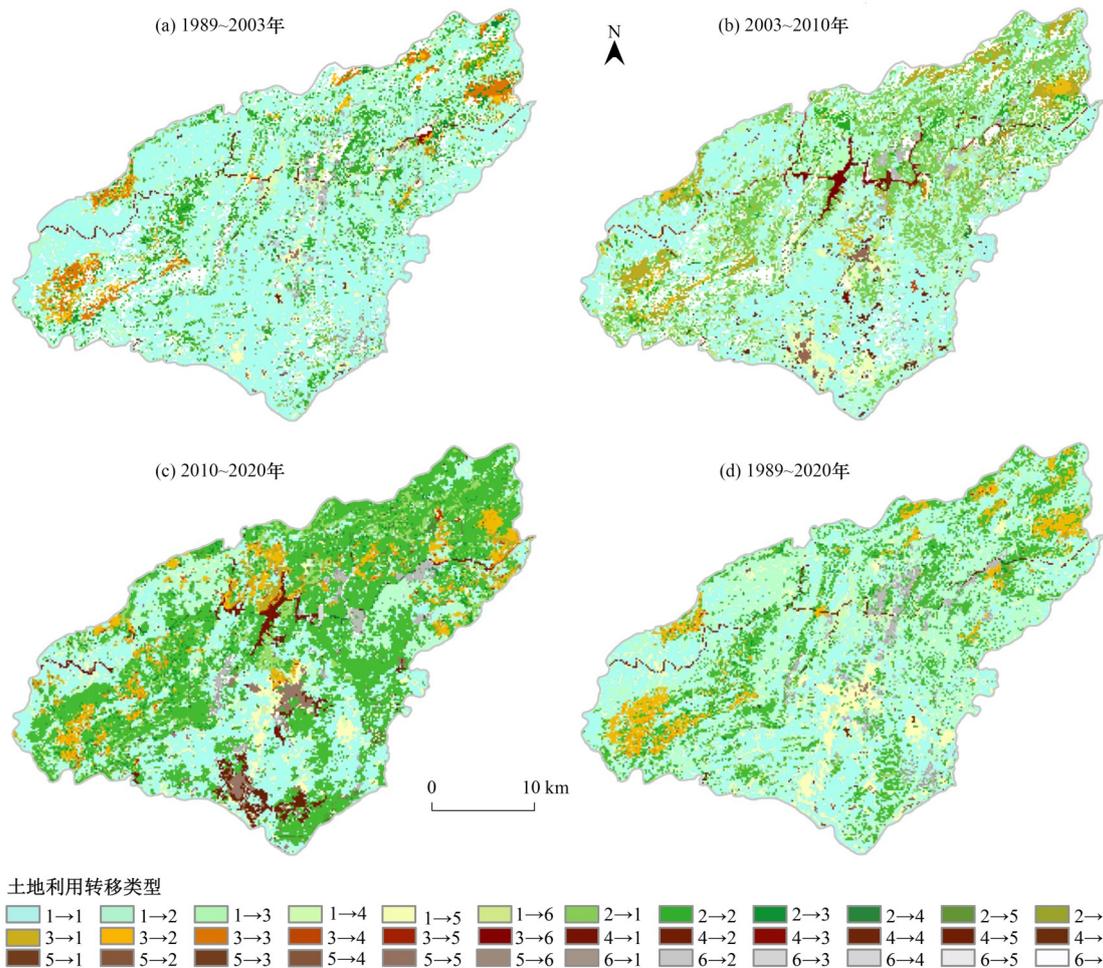


图3 1989~2020年普定县土地利用变化情况

Fig. 3 Land use changes in Puding County from 1989 to 2020

表6 1989~2020年普定县各个等级生境质量占地比例

Table 6 Proportion of land occupied by each class of habitat quality in Puding County from 1989 to 2020

生境等级	1989年		2003年		2010年		2020年	
	面积/km ²	占比/%						
低	3.84	0.35	20.61	1.90	42.83	3.95	95.45	8.80
较低	33.51	3.09	20.12	1.85	22.30	2.06	3.02	0.28
中等	756.81	69.77	583.78	53.81	426.21	39.32	363.55	33.50
较高	69.45	6.40	86.12	7.94	95.39	8.80	53.53	4.93
高	221.06	20.38	374.22	34.50	497.31	45.88	569.47	52.48

部分区域的生境质量显著提升,中部地区的生境质量下降最明显。

3.2.2 生境质量空间格局变化

从空间分布格局来看(图6),普定县生境质量空间分布格局由东北向西南大体呈现出“高-低-高”的分布形式。低等级的生境质量在普定县中部和南部呈圈层扩散趋势,与建设用地的扩展方向基本一致^[36];较低等级生境质量零星分布于研究区的东北地区,随着退耕还林还草等生态修复政策的实施,所占面积逐年减少;中等等级生境质量占据着普定县大部分区域,这些区域地势平坦宽阔,耕地和未

利用地类型较多,由于人类活动挤占生物栖息空间,导致部分生境质量转化为低等级生境质量^[37];生境质量等级为较高和高的高值区集中出现在林地和草地中,且高等级生境质量区域面积从1989年的221.06 km²增加到2020年的569.47 km²,可能是因为这些地区长期以来就保持着较高的生态保护水平,加之退耕还林还草工程的实施,对区域生境质量提升有显著推动作用^[38]。

根据不同年份的生境质量指数变化幅度,将其划分为6种情况(图7)。1989~2020年普定县生境质量发生转换的面积占总面积比例为52.57%,主要表现

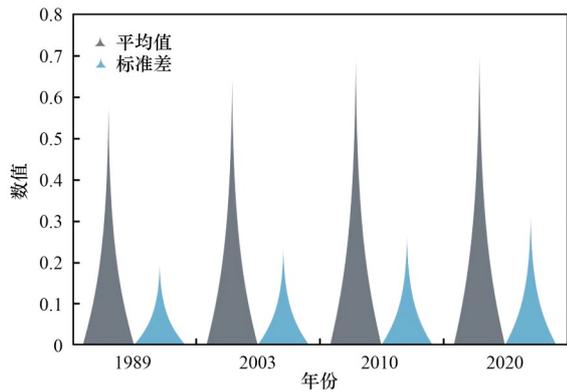


图4 普定县生境质量平均值和标准差

Fig. 4 Mean and standard deviation of habitat quality in Puding County

在中等等级生境质量与较低、较高和高等级生境质量之间的相互转移. 生境质量向好转移的比例达到39.56%，向差转移的比例为11.01%. 基于分时段统计来看：1989~2003年，普定县有67.78%的生境质量基本没有发生变化，以高等级生境质量维持为

主，主要分布于东北和西南的大部分林地和草地中；23.50%的生境质量呈现出变好的态势，以中等等级向较高和高等级生境质量转移为主；2003~2010年，生境质量变好的面积增加了26.97%，以中等和较高等生境质量向高等生境质量转移为主，主要分布于研究区的中部地区. 2010~2020年是普定县生境质量指数下降最大的10 a，其中生境质量指数由高等转为中等、中等转为低等是下降的主要类型，两者占整体生境质量下降指数的比例均大于12.00%，主要分布于中部建设用地和西南部耕地. 整体来看，近30年来，普定县绝大部分区域生境质量基本维持稳定，但部分区域生境质量变差的现象也愈加明显，这很有可能是社会经济高速发展导致建设用地扩张，进而间接性引起生境质量变化^[9]. 从空间上来看，1989~2020年普定县东北部和西南部区域生境质量变好，北部区域保持不变，而中南部耕地和建设用地区域生境质量有显著的变差现象.

表7 生境质量等级变化转移矩阵/km²

Table 7 Habitat quality class change transfer matrix/km²

年份	生境质量等级	低	较低	中等	较高	高
1989~2003	低	2.15	0.00	1.59	0.00	0.10
	较低	0.03	10.73	5.38	3.56	13.82
	中等	18.07	5.58	527.16	31.10	173.90
	较高	0.03	1.00	10.78	32.46	25.14
	高	0.33	2.82	38.04	18.87	160.69
2003~2010	低	8.24	0.05	9.47	0.23	2.56
	较低	0.13	7.63	4.30	0.79	7.27
	中等	31.64	5.53	324.02	36.43	185.27
	较高	0.26	3.46	12.85	23.63	45.90
	高	2.51	5.63	75.29	34.30	256.15
2010~2020	低	24.45	0.00	16.56	0.13	1.69
	较低	0.33	2.59	2.41	2.36	14.62
	中等	50.92	0.41	256.64	3.33	114.92
	较高	3.74	0.00	24.99	24.83	41.83
	高	15.92	0.03	62.52	22.84	395.98
1989~2020	低	1.89	0.00	1.23	0.00	0.72
	较低	0.74	0.77	5.25	1.23	25.52
	中等	88.50	1.48	321.84	30.85	313.29
	较高	1.02	0.03	6.78	10.98	50.59
	高	3.30	0.74	27.96	10.42	178.43

3.3 普定县生境质量空间分异驱动因素分析

基于对普定县自然生态环境实际情况和社会经济发展要求的充分考虑，在确保栅格数据处理可操作性的基础上，从自然和社会因素中共选取了9个生境质量驱动因子，分别为：高程、坡度、年均降水量、年均气温、归一化植被指数(NDVI)、岩性、人口密度、人均GDP和土地利用类型，以各因子1989~2020年数据的均值用于驱动因素分析. 由普定县生境质量空间分布差异的驱动因素探测结果所示

(见表8)，各因子的P值 < 0.01，说明在99.9%的置信度下，结果是可靠的，受空间尺度的影响，不同驱动因子对生境质量的解释程度存在差异性.

不同驱动因子解释力q值大小依次为：土地利用类型(X₃) > 年均降水(X₅) > 人均GDP(X₈) > 高程(X₁) > 岩性(X₉) > NDVI(X₄) > 年均气温(X₆) > 人口密度(X₇) > 坡度(X₂). 其中，土地利用类型对生境质量空间分异解释力明显高于其他因子，解释力高达91.00%，是导致普定县生境质量空间分异的主导因

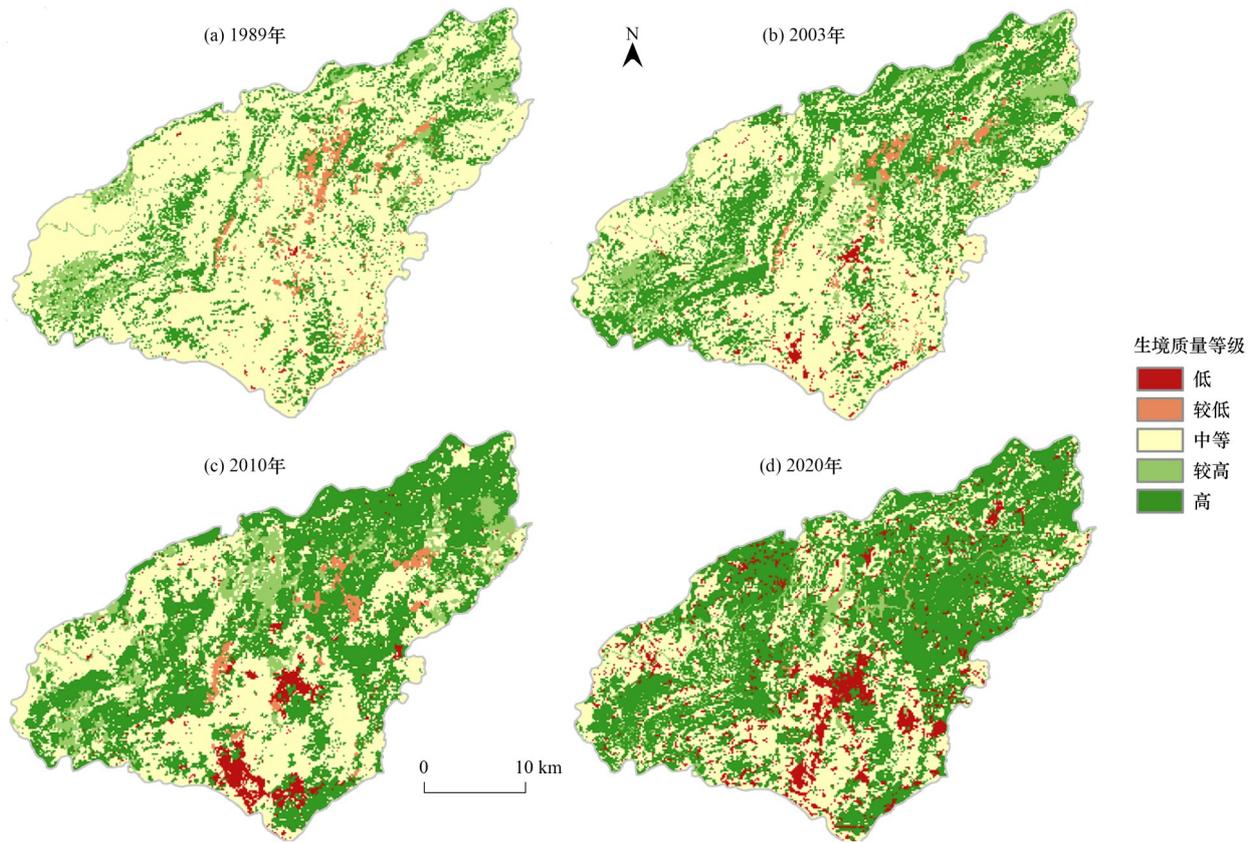


图6 1989-2020年普定县生境质量空间分布
 Fig. 6 Spatial distribution of habitat quality in Puding County from 1989 to 2020

4 讨论

4.1 生境质量对土地利用变化的响应

已有研究证实^[29,31,33]，生境质量的空间分布格局受到人类活动和自然驱动因子的深刻影响。高等级的生境质量主要聚集在研究区东北部以林地为主的生态发展区，大部分低等级的生境质量主要分布于建设用地集聚的中部地区，中等级生境质量零星分布于研究区的耕地中，表明土地利用类型与生境质量高低密切相关，这与其他学者在广东省和祁连山等地区的研究结果相似^[41-43]。自1989~2020年，土地利用强度对研究区生境质量的解释力逐年增加，在一定程度上也表明土地利用变化与生境质量变化关系密切。2015年普定县响应国家脱贫攻坚战略，在城中心周边大量修建居民安置点，大量耕地及部分林地和草地转为建设用地，一定程度上导致城区集中连片的地区生境质量变差；在普定县的东北部和西南部地区，受益于保护“原生态环境”项目和“退耕还林还草”政策等生态保护措施，生境质量呈现逐年变好趋势；然而，在“退耕还林”和城市扩张的“双向”作用下，虽然普定县2020年建设用地面积较1989年增加了约24倍，但生境质量均值仍上升了约22%，这可能主要得益于退耕还林还草

等政策的外溢效应，也一定程度上证明了封山育林、退耕还林还草等生态保护政策是维护生境质量的有效手段之一^[31]。

4.2 不同地区生境质量驱动因子剖判

通过归纳与对比分析相关文献发现(表9)：无论是喀斯特地区亦或是非喀斯特地区，生境质量空间分异的驱动指标基本以选取DEM、坡度、土地利用类型、NDVI、年均降水量、年均气温、人口密度和GDP等驱动因子为主，普遍采用地理探测器单因子、交互探测功能，Pearson相关系数等方法识别关键驱动因子。其中，土地利用类型作为生境质量空间分异的首要驱动因子，其与年均降水量的交互作用影响力通常最高，主要原因可能是由于林地和草地等用地类型的变化与生境质量变化存在协同关系，其面积的扩增提高森林植被覆盖率，有效地促进了生境质量的提升；建设用地与生境质量在空间上呈负相关效应，建设用地面积扩张一定程度上对生境质量的提升造成严重干扰^[44]。而降水量与森林植被覆盖率呈现出线性正相关关系^[45]，进而影响生境质量的空间分异情况。然而，值得注意的是，在有关生境质量驱动因子的研究中，无论研究对象是喀斯特地区还是非喀斯特地区，岩性因子均未被考虑(表9)，但实际上，本研究已捕捉识别到岩性因

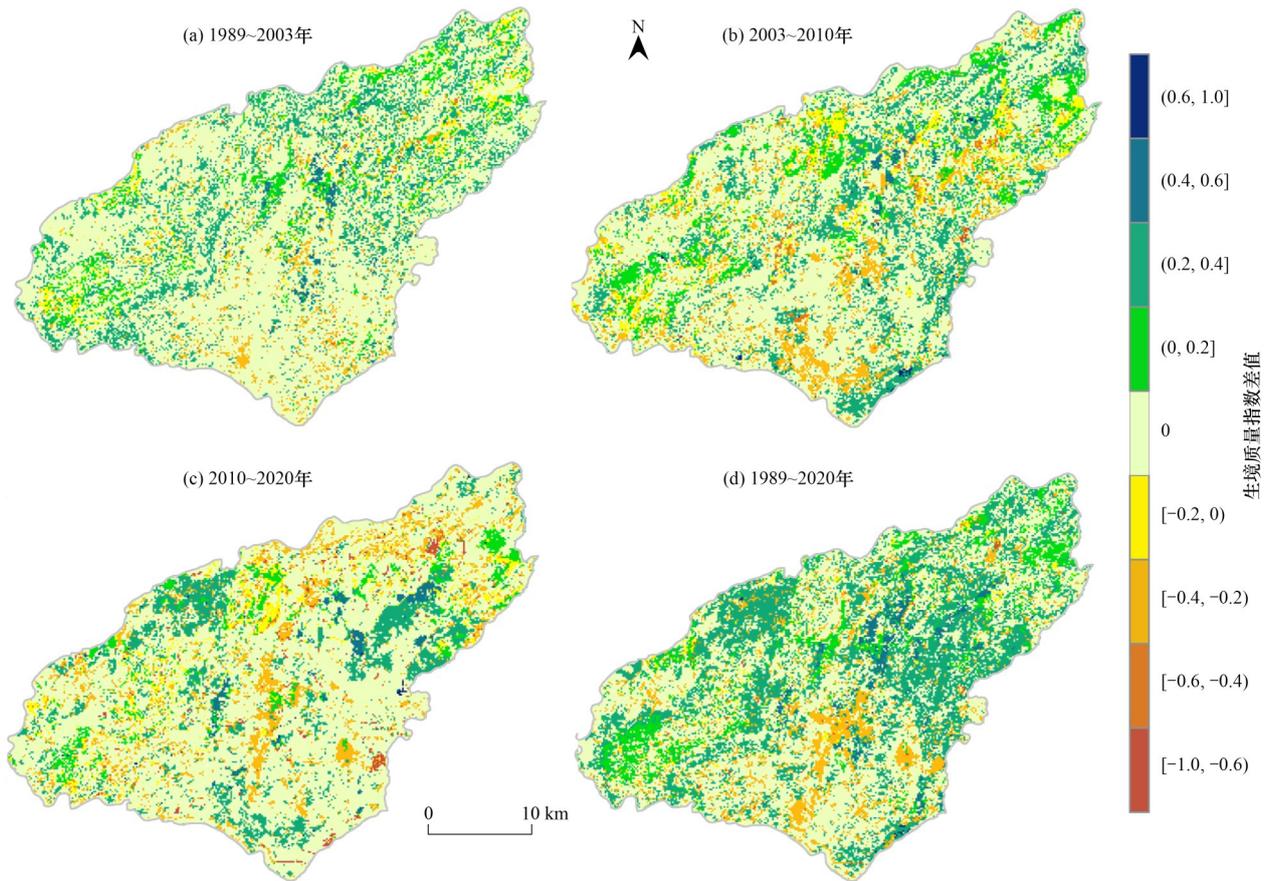
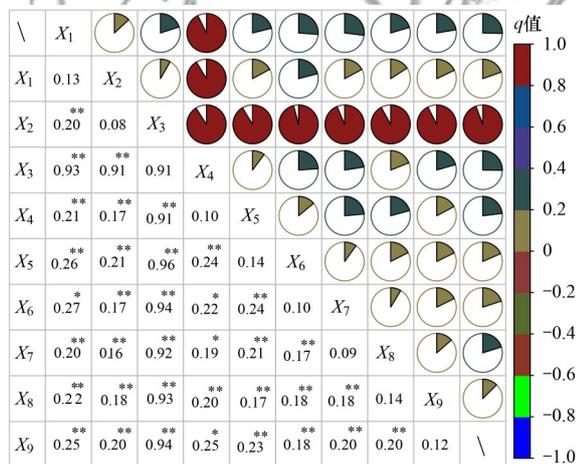


图 7 1989-2020 年生境质量指数变化差值
Fig. 7 Difference in change in habitat quality index from 1989 to 2020



**表示两两因子为双因子增强,*表示非线性增强

图 8 各个影响因子交互探测解释力

Fig. 8 Explanatory power of interaction detection of each influence factor

子是普定县生境质量的重要影响因子之一，其影响力达 13.00%(表 8). 尤其在交互探测中，其与土地利用类型因子叠加的影响力高达 94.00%(图 8). 已有研究表明，岩性基底与石漠化的发生、发育以及土壤侵蚀程度存在着较为密切的联系^[46]，很大程度上会导致生境质量逐渐递减乃至退化，这意味着岩性因子对喀斯特地区的生境质量影响力不可忽视. 本研

究在构建驱动因子集的过程中新增添岩性因子，以期更加全面地刻画喀斯特地区生境质量的实际情况，也为完善喀斯特地区生境质量驱动指标体系提供了新的参数借鉴.

4.3 研究局限性与展望

基于对研究数据的局限性与模型测定的准确性充分考虑^[52]，本研究仍存在一些不足之处需要进一步改进：①研究借助 InVEST 模型生境质量模块剖析普定县生境质量的时空变化情况，虽然该模型相较于其他生态评估模型具有计算结果精确和使用范围广泛等优势，但也存在一定的局限性，模型所需参数的设置具有个人主观性，目前尚未形成统一的指标体系标准；②本研究在采用地理探测器科学诊断并识别普定县生境质量空间分异关键驱动因子的过程中，由于部分社会经济类数据的获取有一定难度，因此，驱动因子指标多侧重于选取自然环境类数据，或许存在少量关键驱动因子被遗漏，需要进一步研究证实. 本研究结果表明，岩性因子对喀斯特地区的生境质量空间分异存在较大影响，因此在下一阶段的研究工作中，可重点考虑深入探讨岩性因子对生境质量空间分异的影响，旨在构建更加全面的驱动因子集剖析其对区域生境质量的影响.

表 9 不同地区生境质量驱动因子剖析与判读情况¹⁾
Table 9 Habitat quality drivers profiled and interpreted in different regions

区域	研究对象	年份	驱动因子集		关键驱动因子		文献
			单因子	双因子	单因子	双因子	
湖北省	2000~2020		$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{14}$	$X_1 \cap X_2, X_3 \cap X_1, X_2, X_4 \cap X_1, X_2, X_3, X_5 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_6 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_7 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{14} \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$	X_3	$X_3 \cap X_{14}$	[47]
		三明市	2011~2021	$X_1, X_2, X_5, X_6, X_7, X_{15}$	—	X_1	—
非喀斯特地区	山西沿黄河 19 县	2000~2020	$X_1, X_2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{16}, X_{17}$	$X_1 \cap X_2, X_4 \cap X_1, X_2, X_5 \cap X_1, X_2, X_4, X_6 \cap X_1, X_2, X_4, X_5, X_7 \cap X_1, X_2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_{10} \cap X_1, X_2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{16} \cap X_1, X_2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{17} \cap X_1, X_2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{16}$	X_4	$X_4 \cap X_2$	[49]
			渭河流域	2000~2020	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{18}$	$X_1 \cap X_2, X_3 \cap X_1, X_2, X_4 \cap X_1, X_2, X_3, X_5 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_6 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_7 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_{18} \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$	X_3
广东省	1980~2018		$X_1, X_2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}$	—	X_1	—	[50]
贵阳市	2005~2020		$X_1, X_2, X_3, X_4, X_7, X_{19}, X_{20}$	$X_1 \cap X_2, X_3 \cap X_1, X_2, X_4 \cap X_1, X_2, X_3, X_7 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_{19} \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_7, X_{20} \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_7, X_{19}$	X_3	$X_3 \cap X_4$	[51]
喀斯特地区	赤水河流域	2000~2018	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{13}, X_{21}, X_{22}, X_{23}$	$X_1 \cap X_2, X_3 \cap X_1, X_2, X_4 \cap X_1, X_2, X_3, X_5 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_6 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_7 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_{10} \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{21} \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{22} \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{21}, X_{23} \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{10}, X_{21}, X_{22}$	X_3	$X_3 \cap X_{23}$	[28]
			普定县	1989~2020	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9$	$X_1 \cap X_2, X_3 \cap X_1, X_2, X_4 \cap X_1, X_2, X_3, X_5 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_6 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_7 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_9 \cap X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$	X_3

1)因篇幅有限,本研究仅列出部分参考文献的研究内容; X_1 :高程, X_2 :坡度, X_3 :土地利用类型, X_4 :NDVI, X_5 :年均降水量, X_6 :年均气温, X_7 :人口密度, X_8 :GDP, X_9 :岩性, X_{10} :土壤类型, X_{11} :地貌类型, X_{12} :植被类型, X_{13} :道路密度, X_{14} :退耕还林, X_{15} :PM_{2.5}, X_{16} :土壤侵蚀, X_{17} :NPP, X_{18} :土地利用程度, X_{19} :香农多样性指数, X_{20} :景观破碎化指数, X_{21} :起伏度, X_{22} :水系密度, X_{23} :保护区;“—”表示文中无相关因子情况

5 结论

(1)1989~2020年普定县林地面积持续增加,主要源于耕地和草地的转入;耕地作为研究区的主要土地利用类型,其与林地、建设用地的面积转换变化最为显著.1989~2020年生境质量均值为0.68,总体生境质量呈现逐年向好趋势,伴随时间推移,生境质量提升速度呈减缓趋势;空间上,生境质量从研究区中部向西南、东北方向不断提高,研究区中部生境质量退化趋势明显,低等生境质量区呈现“点-面”扩张趋势.

(2)土地利用类型、年均降水量、人均GDP、高程、岩性是影响普定县生境质量分布的重要因素,土地利用类型作为主导驱动力,其影响力高达91.00%,其次是年均降水量,影响力为14.00%.

(3)双因子交互作用显示,土地利用类型和年均降水量的交互作用最强,高达96.00%,而岩性因子与土地利用类型的交互作用强度为94.00%,对生境质量的空间分异影响较大,自然因素与社会因素共同决定生境质量的空间分异.

参考文献:

[1] 李胜鹏,柳建玲,林津,等.基于1980—2018年土地利用变化的福建省生境质量时空演变[J].应用生态学报,2020,31

(12): 4080-4090.
Li S P, Liu J L, Lin J, et al. Spatial and temporal evolution of habitat quality in Fujian Province, China based on the land use change from 1980 to 2018[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(12): 4080-4090.
[2] 闫玉玉,曹宇,谭永忠.基于景观安全格局的县域生态用地保护研究-以浙江省青田县为例[J].中国土地科学,2016,30(11): 78-85.
Yan Y Y, Cao Y, Tan Y Z. Research on ecological land protection at county scale by landscape security patterns method: Taking Qingtian County as an example[J]. China Land Sciences, 2016, 30(11): 78-85.
[3] 陈瑜琦,张智杰,郭旭东,等.中国重点生态功能区生态用地时空格局变化研究[J].中国土地科学,2018,32(2): 19-26.
Chen Y Q, Zhang Z J, Guo X D, et al. Spatial-temporal analysis on ecological land changes in the key ecological functional areas in China[J]. China Land Science, 2018, 32(2): 19-26.
[4] 陈艳,吴睿,马月伟,等.典型喀斯特地区生境质量的时空分异与模拟研究[J].生态与农村环境学报,2022,38(12): 1593-1603.
Chen Y, Wu R, Ma Y W, et al. Spatial and temporal differentiation and simulation of habitat quality in typical Karst areas [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2022, 38(12): 1593-1603.
[5] Xiang Q, Kan A K, Yu X X, et al. Assessment of topographic effect on habitat quality in mountainous area using InVEST model [J]. Land, 2023, 12(1), doi: 10.3390/land12010186.
[6] Sharafatmandrad M, Mashizi A K. Exploring the most important indicators for environmental condition assessment using structural equation modeling and InVEST habitat quality model [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2023, 195(1), doi: 10.1007/s10661-022-10825-y.
[7] Mengist W, Soromessa T, Feyisa G L. Landscape change effects on habitat quality in a forest biosphere reserve: implications for the

- conservation of native habitats[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, **329**, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.129778.
- [8] 王鹏, 秦思彤, 胡慧蓉. 近 30 年拉萨河流域土地利用变化和生境质量的时空演变特征[J]. *干旱区研究*, 2023, **40**(3): 492-503.
- Wang P, Qin S T, Hu H R. Spatial-temporal evolution characteristics of land use change and habitat quality in the Lhasa River Basin over the past three decades[J]. *Arid Zone Research*, 2023, **40**(3): 492-503.
- [9] 郑云有, 刘艳婷, 姚鹏, 等. 湖南省重点生态功能区生境质量时空变化及其预测[J]. *水土保持通报*, 2022, **42**(4): 347-356, 364.
- Zheng Y Y, Liu Y T, Yao P, *et al.* Spatial and temporal changes and prediction of habitat quality in key ecological function area of Hu'nan Province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2022, **42**(4): 347-356, 364.
- [10] 武丹, 李欢, 艾宁, 等. 基于 CA-Markov 的土地利用时空变化与生境质量预测——以宁夏中部干旱区为例[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, **28**(12): 1969-1978.
- Wu D, Li H, Ai N, *et al.* Predicting spatiotemporal changes in land use and habitat quality based on CA-Markov: a case study in central Ningxia, China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, **28**(12): 1969-1978.
- [11] 霍思高, 黄璐, 严力蛟. 基于 SolVES 模型的生态系统文化服务价值评估——以浙江省武义县南部生态公园为例[J]. *生态学报*, 2018, **38**(10): 3682-3691.
- Huo S G, Huang L, Yan L J. Valuation of cultural ecosystem services based on SolVES: a case study of the South Ecological Park in Wuyi County, Zhejiang Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(10): 3682-3691.
- [12] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展[J]. *生态学杂志*, 2013, **32**(12): 3360-3367.
- Huang C H, Yang J, Zhang W J. Development of ecosystem services evaluation models: research progress[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(12): 3360-3367.
- [13] 黄季焜, 侯玲玲, 亢楠楠, 等. 草地生态系统服务经济价值评估研究[J]. *中国工程科学*, 2023, **25**(1): 198-206.
- Huang J K, Hou L L, Kang N N, *et al.* A study on economic value of grassland ecosystem services[J]. *Strategic Study of CAE*, 2023, **25**(1): 198-206.
- [14] 邱天琦, 王向荣. 基于 InVEST 模型的长株潭城市群生境质量时空演变分析研究[J]. *林业资源管理*, 2022, (5): 99-106.
- Qiu T Q, Wang X R. Research on the temporal and spatial evolution of habitat quality in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Urban agglomeration based on InVEST model[J]. *Forest Resources Management*, 2022, (5): 99-106.
- [15] 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.
- [16] 齐松, 董春, 卫东, 等. 基于 InVEST 模型的黄河干流沿岸生境质量时空变化研究[J]. *测绘科学*, 2022, **47**(8): 114-122.
- Qi S, Dong C, Wei D, *et al.* Temporal and spatial variation of habitat quality along the main stream of the Yellow River based on InVEST model[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2022, **47**(8): 114-122.
- [17] 许宝荣, 刘一川, 董莹, 等. 基于 InVEST 模型的兰州地区生境质量评价[J]. *中国沙漠*, 2021, **41**(5): 120-129.
- Xu B R, Liu Y C, Dong Y, *et al.* Evaluation of habitat quality in Lanzhou Region based on InVEST model[J]. *Journal of Desert Research*, 2021, **41**(5): 120-129.
- [18] 高庆彦, 潘玉君, 刘化. 基于 InVEST 模型的大理州生境质量时空演化研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2021, **37**(3): 402-408.
- Gao Q Y, Pan Y J, Liu H. Spatial-temporal evolution of habitat quality in the Dali Bai Autonomous Prefecture based on the InVEST model[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2021, **37**(3): 402-408.
- [19] 刘汉仪, 林媚珍, 周汝波, 等. 基于 InVEST 模型的粤港澳大湾区生境质量时空演变分析[J]. *生态科学*, 2021, **40**(3): 82-91.
- Liu H Y, Lin M Z, Zhou R B, *et al.* Spatial and temporal evolution of habitat quality in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area based on InVEST model[J]. *Ecological Science*, 2021, **40**(3): 82-91.
- [20] 吴楠, 陈红枫, 冯朝阳, 等. 基于土地覆被变化的安徽省生境质量时空演变特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, **29**(5): 1119-1127.
- Wu N, Chen H F, Feng C Y, *et al.* Spatio-temporal evolution characteristics of habitat quality based on land cover change in Anhui Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, **29**(5): 1119-1127.
- [21] 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.
- [22] 胡静, 何如海, 刘娜, 等. 河南省生境质量时空演变特征及影响因素[J]. *安徽农业大学学报*, 2022, **49**(6): 961-970.
- Hu J, He R H, Liu N, *et al.* Temporal and spatial evolution characteristics and influencing factors of habitat quality in Henan Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2022, **49**(6): 961-970.
- [23] 王耕, 王佳雯. 丹东沿海地区土地利用变化对生境质量的影响研究[J]. *生态环境学报*, 2021, **30**(3): 621-630.
- Wang G, Wang J W. Study on the impact of land use change on habitat quality in Dandong Coastal Area[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2021, **30**(3): 621-630.
- [24] Wu H, Fang S M, Yang Y Y, *et al.* Changes in habitat quality of nature reserves in depopulating areas due to anthropogenic pressure: evidence from Northeast China, 2000-2018[J]. *Ecological Indicators*, 2022, **138**, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2022.108844.
- [25] Wang J F, Li L F, Li Q, *et al.* Monitoring spatio-temporal dynamics and causes of habitat quality in Yellow River Basin from the perspective of major function-oriented zone planning[J]. *Contemporary Problems of Ecology*, 2022, **15**(4): 418-431.
- [26] 王慧鹏, 王世杰, 白晓永, 等. 西南典型喀斯特地区石漠化时空演变特征——以贵州省普定县为例[J]. *生态学报*, 2018, **38**(24): 8919-8933.
- Xi H P, Wang S J, Bai X Y, *et al.* Spatio-temporal characteristics of rocky desertification in typical Karst areas of Southwest China: a case study of Puding County, Guizhou Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(24): 8919-8933.
- [27] 王毅, 郭跃. 喀斯特地貌区植被覆盖与地形因子的空间关系分析——以贵州普定县为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, **27**(1): 157-167.
- Wang Y, Guo Y. Analysis of spatial correlation between vegetation coverage and terrain factors in Karst landform——Taking Puding area in Guizhou for example[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, **27**(1): 157-167.
- [28] 王雨露, 兰安军, 范泽孟, 等. 基于 InVEST 模型的赤水河流域生境质量时空分异特征及驱动因素分析[J]. *中国农村水利水电*, 2023, (1): 17-23.
- Wang Y L, Lan A J, Fan Z M, *et al.* Spatial-temporal differentiation and driving factors of habitat quality in the Chishui River Basin based on InVEST model[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2023, (1): 17-23.
- [29] 杨洁, 谢保鹏, 张德罡. 黄河流域生境质量时空演变及其影响因素[J]. *中国沙漠*, 2021, **41**(4): 12-22.
- Yang J, Xie B P, Zhang D G. Spatial-temporal evolution of habitat quality and its influencing factors in the Yellow River Basin based on InVEST model and GeoDetector[J]. *Journal of Desert Research*, 2021, **41**(4): 12-22.
- [30] 白立敏, 冯兴华, 孙瑞丰, 等. 生境质量对城镇化的时空响应——以长春市为例[J]. *应用生态学报*, 2020, **31**(4): 1267-1277.
- Bai L M, Feng X H, Sun R F, *et al.* Spatial and temporal

- responses of habitat quality to urbanization: a case study of Changchun City, Jilin Province, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, **31**(4): 1267-1277.
- [31] 王琦琨, 武玮, 杨雪琪, 等. 陕西省生境质量时空演变及驱动机制分析[J]. *干旱区研究*, 2022, **39**(5): 1684-1694.
- Wang Q K, Wu W, Yang X Q, *et al.* Spatial-temporal changes and driving factors of habitat quality in Shaanxi Province during the past 20 years[J]. *Arid Zone Research*, 2022, **39**(5): 1684-1694.
- [32] 孙枫, 章锦河, 王培家, 等. 城市生态安全格局构建与评价研究: 以苏州市区为例[J]. *地理研究*, 2021, **40**(9): 2476-2493.
- Sun F, Zhang J H, Wang P J, *et al.* Construction and evaluation of urban ecological security pattern: a case study of Suzhou city[J]. *Geographical Research*, 2021, **40**(9): 2476-2493.
- [33] 周德志, 关颖慧, 张冰彬, 等. 基于土地利用变化的陕北地区生境质量时空演变及其驱动因素[J]. *北京林业大学学报*, 2022, **44**(6): 85-95.
- Zhou D Z, Guan Y H, Zhang B B, *et al.* Spatial-temporal evolution of habitat quality in northern Shaanxi Province of northwestern China based on land use change and its driving factors[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2022, **44**(6): 85-95.
- [34] 郑可君, 李琛, 吴映梅, 等. 基于价值评估的川滇生态屏障区生境质量时空演变及其影响因素[J]. *生态与农村环境学报*, 2022, **38**(11): 1377-1387.
- Zheng K J, Li C, Wu Y M, *et al.* Spatial-temporal evolution of habitat quality and its influencing factors in ecological conservation area in Sichuan-Yunnan Provinces based on value assessment[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2022, **38**(11): 1377-1387.
- [35] 刘春芳, 王川, 刘立程. 三大自然区过渡带生境质量时空差异及形成机制——以榆中县为例[J]. *地理研究*, 2018, **37**(2): 419-432.
- Liu C F, Wang C, Liu L C. Spatio-temporal variation on habitat quality and its mechanism within the transitional area of the Three Natural Zones: a case study in Yuzhong county[J]. *Geographical Research*, 2018, **37**(2): 419-432.
- [36] 赵依谷, 黄伟, 费秀超, 等. 基于MGWR模型的天目-怀玉山区生境质量对土地利用变化的响应[J]. *安徽农业大学学报*, 2023, **50**(3): 502-510.
- Zhao Y G, Huang W, Fei X C, *et al.* Responses of habitat quality to land use change in Tianmu-Huaiyu Mountains based on the MGWR model[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2023, **50**(3): 502-510.
- [37] 程静, 王鹏, 陈红翔, 等. 渭河流域生境质量时空演变及其地形梯度效应与影响因素[J]. *干旱区地理*, 2023, **46**(3): 481-491.
- Cheng J, Wang P, Chen H X, *et al.* Spatiotemporal evolution of habitat quality in the Weihe River Basin and its topographic gradient effects and influencing factors[J]. *Arid Land Geography*, 2023, **46**(3): 481-491.
- [38] 屈雯, 谢保鹏, 陈英, 等. 榆中县生境质量和生境退化的时空分异特征及其地形梯度效应[J]. *甘肃农业大学学报*, 2022, **57**(3): 139-147.
- Qu W, Xie B P, Chen Y, *et al.* Spatio-temporal patterns of habitat quality and habitat degradation and its terrain gradient effects of Yuzhong County based on InVEST model [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2022, **57**(3): 139-147.
- [39] 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.
- [40] 朱增云, 阿里木江·卡斯木. 基于地理探测器的伊犁谷地生境质量时空演变及其影响因素[J]. *生态学杂志*, 2020, **39**(10): 3408-3420.
- Zhu Z Y, Kasimu A. Spatial-temporal evolution of habitat quality in Yili Valley based on geographical detector and its influencing factors [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, **39**(10): 3408-3420.
- [41] 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.
- [42] Zhang X R, Zhou J, Li G N, *et al.* Spatial pattern reconstruction of regional habitat quality based on the simulation of land use changes from 1975 to 2010[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, **30**(4): 601-620.
- [43] 薛晓玉, 王晓云, 段含明, 等. 基于土地利用变化的祁连山地区生境质量时空演变分析[J]. *水土保持通报*, 2020, **40**(2): 278-284.
- Xue X Y, Wang X Y, Duan H M, *et al.* Analysis on spatio-temporal evolution of habitat quality in Qilian Mountains based on land use change [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2020, **40**(2): 278-284.
- [44] 樊晓玲, 何莎莎, 方斌. 平原丘陵过渡区土地利用变化与生境质量的时空演变及权衡——以江苏省溧阳市为例[J]. *农业科学*, 2022, **12**(10): 973-990.
- Han J L, He S S, Fang B. Spatial-temporal evolution and trade-off relationship between land use change and habitat quality in Plain Hilly Transition Area-A Case Study of Liyang City, Jiangsu Province [J]. *Hans Journal of Agricultural Sciences*, 2022, **12**(10): 973-990.
- [45] 王日明, 吴天亮, 曾庆鑫, 等. 区域森林植被覆盖率对其降水的影响[J]. *西部林业科学*, 2020, **49**(1): 73-81.
- Wang R M, Wu T L, Zeng Q X, *et al.* Influence of regional forest vegetation coverage on precipitation [J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2020, **49**(1): 73-81.
- [46] 罗旭玲, 白晓永, 谭秋, 等. 不同岩性背景下土壤侵蚀与石漠化关联性分析[J]. *生态学报*, 2018, **38**(24): 8717-8725.
- Luo X L, Bai X Y, Tan Q, *et al.* Effect of lithology background on the correlation between soil erosion and rock desertification [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(24): 8717-8725.
- [47] 曹梦莹, 安睿, 刘艳芳, 等. 湖北省生境质量时空演变特征及影响因素分析[J]. *特区经济*, 2022, (11): 54-60.
- Cao M Y, An R, Liu Y F, *et al.* Spatial-temporal characteristics and influencing factors of habitat quality in Hubei Province [J]. *Special Zone Economy*, 2022, (11): 54-60.
- [48] 曾真, 艾婧文, 陈凌艳, 等. 山地城市生境质量时空演变及地形梯度效应研究——以三明市区为例[J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 2023, **46**(1): 100-109.
- Zeng Z, Ai J W, Chen L Y, *et al.* Research on the temporal and spatial evolution of habitat quality and terrain gradient effect in Mountainous city: taking the urban area of Sanming as an example [J]. *Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition)*, 2023, **46**(1): 100-109.
- [49] 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.
- [50] 卢茵怡, 李天翔, 龚建周. 广东省不同地貌形态类型区生境质量归因[J]. *生态科学*, 2022, **41**(3): 24-32.
- Lu Y Y, Li T X, Gong J Z. Attribution of habitat quality in different geomorphological types in Guangdong Province [J]. *Ecological Science*, 2022, **41**(3): 24-32.
- [51] 肖红燕. 基于土地利用变化的贵阳市生境质量时空演变研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
- Xiao H Y. Study on spatial-temporal variation of habitat quality in Guiyang City based on land use change [D]. Guiyang: Guizhou University, 2022.
- [52] 魏文飞, 包玉, 王志泰, 等. 喀斯特多山城市生境质量对土地利用变化的时空响应——以贵阳市为例[J]. *生态学报*, 2023, **43**(10): 3920-3935.
- Wei W F, Bao Y, Wang Z T, *et al.* Spatio-temporal responses of urban environment quality to land use change in mountainous cities of Karst areas [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, **43**(10): 3920-3935.

CONTENTS

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