

目次

2013~2020年天津市PM _{2.5} -O ₃ 污染变化趋势和影响因素分析	肖致美, 李亚菲, 高璟赞, 李鹏, 蔡子颖, 郑乃源, 张裕芬, 戴运峰 (4211)
2015~2020年济南市O ₃ 污染趋势及敏感性变化分析	孙晓艳, 孙军, 郭萌萌, 刘杨, 王宝琳, 范国兰, 许宏宇, 姜腾龙 (4220)
南京市南部地区O ₃ 污染特征、生成敏感性及传输影响分析	郑新梅, 胡崑, 王鸣, 谢放尖, 王艳 (4231)
天津市“十三五”期间O ₃ 污染特征和驱动因子	李源, 肖致美, 毕晓辉, 蔡子颖, 徐虹, 高璟赞, 郑乃源, 杨宁 (4241)
基于随机森林的南京市PM _{2.5} 和O ₃ 对减排的响应	尚永杰, 茅宇豪, 廖宏, 胡建林, 邹泽庸 (4250)
基于四维通量法的佛山臭氧污染输送量化	吴莉萍, 莫海华, 杨丽婷, 蔡梓炯, 吴国彤, 白玉洁, 邓思欣, 司徒淑婷, 常鸣, 王雪梅 (4262)
污染地块VOCs源衰减对室内蒸气入侵风险的影响	钟茂生, 汪洋, 姜林, 张丽娜, 马琳, 张瑞环, 赵莹, 李吉鸿 (4271)
2017~2020年长江流域水体污染物通量时空变化特征分析	郭朝臣, 雷坤, 李晓光, 周波, 吕旭波 (4279)
滹沱河流域山区地表水-地下水水化学空间变化特征、影响因素及其来源	孔晓乐, 常玉儒, 刘夏, 赵小宁, 沈彦军 (4292)
重庆东南部岩溶水金属元素空间分布、源解析及健康风险评价	谢浩, 邹胜章, 李军, 申豪勇, 林永生, 周长松, 王丹尼, 王志恒 (4304)
衡水市桃城区浅层地下水咸化成因	何锦, 张怀胜, 蔡五田, 王雨山 (4314)
吐鲁番南盆地平原区地下水污染风险评价	白凡, 周金龙, 周殷竹, 韩双宝, 孙英 (4325)
金属硫化物矿山水系统中微生物群落组成及多样性	丁聪聪, 朱旭炎, 赵兴青, 陆金, 周宇诚, 张欣怡, 王霄鹏 (4334)
白洋淀上覆水及沉积物中微塑料赋存特征	程昕煜, 杨丽虎, 宋献方 (4344)
基于溶解性有机物分子指纹特征解析城市河道污染来源与机制	朱奔, 叶建峰, 孙晓楠, 胡曙煜, 陈勋, 唐建飞, 陈浩 (4353)
甾体激素在污水处理厂的赋存特征和行为归趋	刘媛媛, 冯慧, 张云, 叶亮, 钟琴, 邹华 (4364)
博鳌近岸海域表层沉积物中持久性有机污染物的分布、来源与生态风险评价	郝润波, 符国伟, 宋艳伟, 傅开哲, 袁坤 (4374)
太原市耕地土壤PAHs的含量、分布、源解析与风险评价	吴张伟, 段永红, 刘立文, 徐立帅, 陈香玲, 姚旭红 (4387)
雄安新区土壤氟地球化学特征及健康风险评价	郭志娟, 刘飞, 周亚龙, 王乔林, 王成文 (4397)
基于APCS-MLR和PMF模型解析黄河下游文化公园土壤重金属污染特征及来源分析	段海静, 马嘉玉, 彭超月, 刘德新, 王玉龙, 李旭辉, 马建华 (4406)
锰矿区周边农田土壤重金属污染特征、来源解析及风险评价	余高, 陈芬, 张晓东, 孙约兵 (4416)
老工业城市土壤-作物系统重金属的迁移累积及风险协同评价	王莹, 董爱俊, 杨建峰, 马彦斌, 王泽晶, 杨凡燕 (4429)
畜禽粪肥还田四环素类抗生素(TCs)在土壤-蔬菜系统的分布特征及风险评估	丁丹, 黄晓依, 顾静仪, 陈澄宇, 龙新亮, 曾巧云 (4440)
地质高背景区外源污染叠加条件下大白菜对Cd、Pb、Zn累积途径探究	简槐良, 刘鸿雁, 梅雪, 毛诗佳, 刘芳, 张秋野, 敬鹏 (4448)
微塑料与铅复合污染对玉米种子萌发与生长的影响	马贵, 廖彩云, 周悦, 丁家富, 周炎炎, 王展, 马燕 (4458)
施加Fe ₃ O ₄ /桑树杆生物炭对土壤团形态和水稻砷含量的影响	阮麟乔, 梁美娜, 丁艳梅, 曹海燕, 刘崇敏, 成官文, 朱义年, 王敦球 (4468)
生物炭与氮肥配施对镉污染水稻土修复效应及机制	张丽, 李如霞, 何玉奎, 姚彦坡, 林大松 (4479)
不同氮肥配施生物炭对镉污染土壤青菜镉吸收的影响	李平, 聂浩, 郎漫, 朱燕菊, 姜海波, 李楠 (4489)
椰纤维生物炭及其硝酸改性对稻田土壤中Pb钝化的影响	侯正伟, 李建宏, 李财生, 张婧旻, 林清火, 赵庆杰, 吴治澎, 王禹 (4497)
生物炭施用对微塑料污染石灰性土壤理化性质和细菌群落的影响	冉泰山, 龙健, 廖洪凯, 李娟, 杨国梅, 赵雨鑫 (4507)
改性生物炭负载零价铁对土壤中三氯乙烯的去除及微生物响应	陆海楠, 理鹏, 郭琳, 徐佳成, 杨洁, 黄沈发, 柯天英 (4519)
改性酒糟生物炭对紫色土养分及酶活性的影响	由乐林, 谢永红, 王子芳, 杨文娜, 高明 (4530)
化肥减量配施生物炭和秸秆增加了坡耕地土壤中流磷流失风险	赖佳鑫, 邓华, 朱浩宇, 黄容, 龙翼, 王子芳, 高明 (4541)
污泥和鸡粪生物炭制备及其老化过程中的碳损失	张滢, 张长浩, 张秀芳, 段文焱, 陈芳媛 (4554)
化肥和有机肥配施生物炭对根际土壤反硝化势和反硝化细菌群落的影响	谢军, 王子芳, 王莹, 熊子怡, 高明 (4565)
黄河下游谷子花生间作农田土壤细菌群落结构与功能预测	刘柱, 南镇武, 林松明, 孟维伟, 于海秋, 谢立勇, 张正, 万书波 (4575)
微咸水灌溉下微生物菌肥对盐渍土壤理化性质和细菌群落的影响	刘月, 杨树青, 张万峰, 姜帅 (4585)
高效石油降解菌修复石油污染土壤与强化机制分析	姚贞先, 王丽萍, 李丹, 李亚平, 何士龙, 赵雅琴 (4599)
土地集约利用程度对华北潮土农田土壤微生物群落丰度和死生物物质积累的影响	李胜君, 盛美君, 李刚, 王蕊, 李洁, 张贵龙, 修伟明 (4611)
中国省域碳达峰路径与政策	苗安康, 袁越, 吴涵, 马欣, 邵辰宇 (4623)
基于碳减排成本的我国省域碳补偿机制	钟诗雨, 张晓敏, 吴佳, 邹娜, 封强, 傅泽强 (4637)
不同施肥措施下长江经济带地区农田土壤有机碳含量的变化分析	刘欣宇, 卢江, 孟璇, 刘锦, 宋鹏, 李季, 田光明 (4647)
中国西北地区多情景土地利用优化与碳储量评估	陈宁, 辛存林, 唐道斌, 张亮, 辛顺杰 (4655)
陕西渭北旱塬区生境质量及碳储量时空演变分析与模拟	古圳威, 刘京, 陈怡, 卢新冉, 王思轶 (4666)
气候变暖对四川盆地水稻土有机碳含量变化的影响	李艾雯, 宋靛颖, 冉敏, 李文丹, 张元媛, 李呈吉, 史文娇, 李启权 (4679)
降水变化下撂荒草地的化学计量失衡改变调节土壤呼吸	王佳懿, 王兴, 王源苗, 房景博, 夏开拉·阿克拜, 祖丽皮耶·居热艾提, 杨改河, 任成杰, 韩新辉 (4689)
水盐环境对黄河口淡水湿地土壤碳、氮、磷生态化学计量特征的影响	秦纪法, 张佳彭, 桑变, 杨云斐, 杨继松, 王志康, 栗云召, 周迪, 于君宝 (4698)
中国省域土壤重金属空间分布特征及分区分区管控对策	石航源, 王鹏, 郑家桐, 肖荣波, 邓一荣, 庄长伟 (4706)
壬基酚的环境生物地球化学研究进展及对新污染物管理的建议	洪亚军, 冯承莲, 徐大勇, 吴丰昌 (4717)
微塑料的形成机制及其环境分布特征研究进展	张龙飞, 刘玉环, 阮榕生, 赵蓝天, 王允圆, 张琦, 曹雷鹏, 崔宪, 巫小丹, 郑洪立 (4728)
生物炭添加对土壤温室气体排放影响的长短期效应研究进展	周咏春, 吴柳林, 李丹阳, 郭思伯, 陈志敏, 李正龙, 赵研 (4742)
铁基双金属催化剂活化过硫酸盐去除水中抗生素研究进展	魏健, 张新怡, 郭壮, 宋永会 (4751)
畜禽粪便污染的环境风险与资源化治理技术进展	安婧, 丁子明, 高程程, 胡芳雨, 魏树和 (4764)
《环境科学》征订启事(4230)	《环境科学》征稿简则(4303)
信息(4506, 4678, 4741)	

陕西渭北旱塬区生境质量及碳储量时空演变分析与模拟

古圳威^{1,2}, 刘京^{1,2*}, 陈怡^{1,2}, 户新冉^{1,2}, 王思轶^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100; 2. 农业农村部西北旱地农业绿色低碳重点实验室, 杨凌 712100)

摘要: 探析生境质量与碳储量的时空格局演化规律, 对建立陕西渭北旱塬区生态安全屏障、优化国土空间格局具有积极反馈作用。以渭北旱塬区为研究案例, 基于 PLUS 模型模拟 2035 年不同发展情景下土地利用空间格局, 并采用 InVEST 模型分析研究区 1980~2020 年及未来多情景下生境质量和碳储量分布特征。结果表明: ①近 40 年间, 研究区内生境质量低等级区面积扩大 462.55 km², 碳储量共减少 7.85 × 10⁶ t, 二者总体呈逐年下降趋势; ②研究期间, 生境质量降级区域集中在研究区东北部延安市域内, 质量提升区域呈条状分布在靠近水源或海拔较高的地区。碳储量高值区集中分布在研究区内地势复杂、人口稀疏的区域, 碳储量减少区域呈点状零散分布在研究区全域, 未出现明显聚集现象; ③2035 年碳储量除自然发展情景外, 其他状态碳储量均有不同程度减少。经济优先发展情景中生境质量低等级区面积 20 787.41 km², 是较模拟初期低等级区增速最快和高等级区减幅最大的模拟情景。研究结果可为研究区低碳绿色发展、生态修复提供决策参考和数据支撑。

关键词: 土地利用; 生境质量; 碳储量; 渭北旱塬区; 多情景时空格局

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2023)08-4666-13 DOI: 10.13227/j.hjxx.202210107

Analysis and Simulation of the Spatiotemporal Evolution of Habitat Quality and Carbon Storage in the Weibei Dry Plateau Region of Shaanxi

GU Zhen-wei^{1,2}, LIU Jing^{1,2*}, CHEN Yi^{1,2}, HU Xin-ran^{1,2}, WANG Si-yi^{1,2}

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Key Laboratory of Low-carbon Green Agriculture in Northwestern China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangling 712100, China)

Abstract: Exploring the spatial and temporal pattern evolution of habitat quality and carbon storage has a positive feedback effect on establishing an ecological security barrier and optimizing the spatial pattern of national land in the Weibei Arid Plateau Region of Shaanxi. This study took the Weibei Plateau Region as a case study, simulated the spatial pattern of land use for different development scenarios of 2035 based on the PLUS model, and used the InVEST model to analyze the characteristics of habitat quality and carbon storage distribution in the study area from 1980 to 2020 and under multi-scenarios in the future. The results showed that: ① the area of the low-grade habitat quality area in the study area expanded by 462.55 km², and the carbon stock decreased by 7.85 × 10⁶ t over the past 40 years, both of which showed an overall decreasing trend yearly. ② During the study period, the degraded habitat quality areas were concentrated in the northeastern part of the study area within Yan'an City, and the upgraded areas were distributed in strips near water sources or at higher elevations. The high carbon stock areas were concentrated in the complex terrain and sparsely populated areas in the study area, and the decreasing carbon stocked areas were scattered throughout the study area in a dotted pattern without obvious aggregation. ③ In 2035, carbon stock decreased to different degrees in all states except for the natural development scenario. In the economic priority development scenario, the habitat quality low grade area covered 20 787.41 km², which was the simulated scenario of the fastest growth rate of low-grade area and the largest reduction of high-grade area compared with the early stage of the simulation. The results of this study can provide decision references and data support for low carbon green development and ecological restoration in the study area.

Key words: land use; habitat quality; carbon storage; Weibei dry plateau region; multi-scenario spatiotemporal pattern

据 2005 年联合国千年生态系统评估报告所述, 生态系统服务^[1]被认定为人类可以从生态环境中获得的益处, 即生态系统为种群或个体提供适宜生存条件的能力^[2]。生境质量及碳储量是生态系统服务的重要组成部分^[3], 常作为评价服务能力强弱的重要指标。近年来受自然及人为活动影响^[4], 生态环境面临巨大压力^[5], 生物多样性锐减^[6], 引发严重生境景观破碎和质量等级退化^[7]等问题。伴随着城市化及工业化进程的加快^[8], 土地资源开发不当^[9]、过度依赖化石能源和高碳排放等现象^[10]对我国生态环境的保护与修复造成严重冲击^[11]。为尽早实现“双碳”战略目标, 提升区域生境碳储量进而有效减少大气环境中二氧化碳含量^[12], 对缓解温室效应具有积极意义。因此量化评估区域内生态系统服务时空变化规律, 探析生境质量和碳储量^[9]对土

地利用格局的响应机制^[13~16], 已成为国家和学术界共同关注的热点。

关于生境质量的研究有很多, 其中较为经典的评估方法是以研究区实际情况修正当量因子^[17,18], 基于土地利用数据得到货币角度的研究区生态系统服务价值(ESV)。但是该方法对于土地利用分类依赖性过强, 中小尺度研究区的数据获取难度大, 故应用范围受限。InVEST 模型由于操作便捷、数据易获取和分析精度高等特点, 被广泛应用于不同地域尺度^[19,20]和不同时段^[21~23]的生境质量研究。Sallustio 等^[24]基于 InVEST 模型分析意大利自然保护区生境

收稿日期: 2022-10-11; 修订日期: 2022-11-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071240)

作者简介: 古圳威(1997~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为西北地区生态系统服务, E-mail: guzhenwei@163.com

* 通信作者, E-mail: jingliu@nwfau.edu.cn

质量,并针对降级严重的区域提出优先保护策略.赵雪雁等^[25]应用 InVEST 模型和地理分析工具等,分析黄土高原生态系统服务供需关系的时空变化,为生态脆弱区的环境保护和高质量发展提供科学借鉴.因此,分析评价长时间序列土地利用格局演变对于生境质量的影响极具现实意义.此外,碳储量的相关研究成果很丰富,早期常用方法有:专项调查^[26]、遥感影像反演^[16,27]和土壤类型法^[28]等;但是上述方法多聚焦于某一种生态系统的碳储量^[29],角度较为单一,无法总览分析全境碳储量变化;且对于未来情景的碳储量模拟研究不足,难以支撑区域内土地利用科学规划.因此,本研究耦合 PLUS 模型与 InVEST 模型分析渭北旱塬区全域近 40 年及未来多情景生态系统服务时空格局演变.

陕西渭北旱塬区处于半干旱与半湿润气候过渡区^[30],地表水资源匮乏,水土流失严重,人地矛盾尖锐,生态环境脆弱^[31],半数以上区域属于陕西省“三线一单”生态工程优先保护地区与重点管控地区.分析陕西渭北旱塬区生境质量及碳储量时空规律,对西部生境脆弱区的生态安全屏障巩固和生态保护政策制定与完善具有战略意义.鉴于此,本文应用 InVEST 模型分析 1980~2020 年生境质量和碳储量

时空格局演化规律,采用 PLUS 模型模拟预测 2035 年不同发展情景下土地利用空间格局以及生态系统服务特征,旨在为西北干旱区生境修复、国土空间格局优化和提升区域碳固存能力,提供长时间尺度的科学参考和数据支撑,助力研究区低碳绿色发展.

1 材料与方法

1.1 研究区域

陕西渭北旱塬区位于我国生态系统最敏感的黄土高原^[27](34°22′~36°14′N, 106°29′~110°36′E, 图 1),海拔 299~2 452 m,整体地势北高南低.该区域横跨咸阳市、宝鸡市、渭南市、铜川市和延安市在内的 5 个地市,共包括凤翔县、旬邑县、麟游县和洛川县等 25 个区县^[32],总面积约占陕西省总面积的五分之一,2020 年末区域内生产总值达 3 294.61 亿元,常住人口超 600 万.该区域在陕西省“三线一单”生态环境保护建设工程中具有重要地位,其中铜川市、澄城县和白水县等区域被列为重点管控单元,韩城市、黄龙县和宜川县等被列为优先保护单元.其地势复杂,人口众多,农业活动密集,是陕西省乃至我国西北地区重要的粮食生产基地,是西部生态环境修复工作的重要一环.

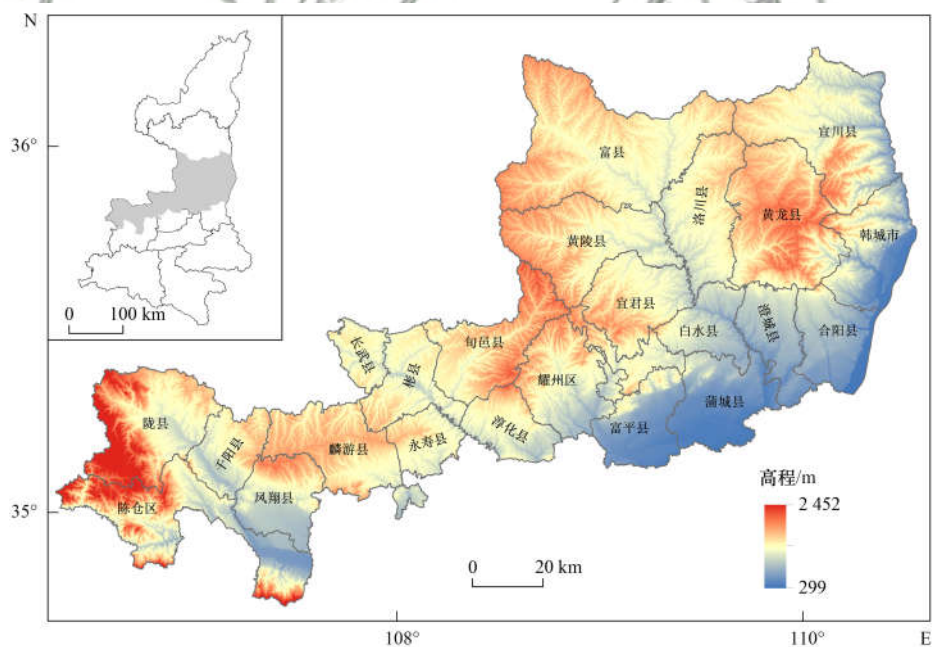


图 1 研究区位示意

Fig. 1 Research area location

1.2 数据来源

利用 PLUS 模型基于陕西渭北旱塬区 5 期土地利用数据和选取的环境、社会驱动因子^[30],模拟多情景下 2035 年研究区各土地利用类型的空间格局,具体数据来源如表 1 所示.

碳固持(carbon storage)模块将生态系统的碳储

量划分为 4 个碳库:地上生物碳、地下生物碳、土壤碳和死亡有机质.本研究只考虑已有土地利用状态下的碳储量,不考虑采伐速率.碳池数据主要参考前人研究成果^[26,28,35~38]和中国陆地生态系统碳密度数据集^[27],提取渭北旱塬区数据;在数据缺失的情况下,选取与研究区生境相似或接近的区域数

表 1 土地扩张驱动因子及数据来源
Table 1 Land expansion drivers and data sources

类型	数据	数据来源
土地利用数据	土地利用分类数据 1980 ~ 2020 年共 5 期	中国科学院资源环境科学与数据中心 (http://www.resdc.cn)
社会经济数据	到主干道距离 到一级公路距离 到二级公路距离 到三级公路距离 到铁路距离 到高速公路距离 到火车站距离 到区(县)中心距离	Open street map (https://www.openstreetmap.org/)
	GDP 数据 人口数据	文献[32] 全球人口栅格数据 (https://www.worldpop.org/)
环境数据	高程 坡度 距水系距离	地理国情建设云平台 (http://www.dsac.cn)
	年均降水 ^[33] 年均气温 ^[34]	国家青藏高原科学数据中心 (http://data.tpdc.ac.cn/zh-hans/)

据^[39],具体参数如表 2 所示.

1.3 研究方法

1.3.1 生境质量评估

采用 InVEST 模型的生境质量(habitat quality)

模块^[30]量化评估陕西渭北旱塬区生境质量水平,将研究区内耕地、水域和各类建设用地等作为威胁源,各种威胁源的影响距离、权重和不同生境类型对其敏感程度如表 3 和表 4 所示.

表 2 研究区各土地利用类型碳密度/ $t \cdot hm^{-2}$

土地利用类型	碳密度			
	地上	地下	土壤	死亡有机质
耕地	31.5	3.2	72.5	0
林地	23.91	6.3	87.3	13
草地	1.59	4.57	62.09	2
水域	0	0	0	0
建筑用地	1.2	0	0	0
未利用地	0.96	0.99	57.79	0

表 3 威胁源距离及权重

威胁源	影响距离	权重	空间衰减类型
耕地	1	0.2	Linear (线性)
城镇建设用地	10	1	Exponential (指数)
水域	1	0.2	Linear (线性)
其他建设用地	5	0.5	Exponential (指数)
农村居民点	6	0.7	Exponential (指数)

表 4 各土地利用类型对威胁源的敏感度

Table 4 Sensitivity of each land use type to threat sources

一级地类	二级地类	生境适宜度	威胁源				
			耕地	水域	其他建设用地	农村居民点	城市建设用地
耕地	水田	0.3	1	0	0.6	0.7	0.5
	旱地	0.3	0	1	0.6	0.7	0.5
林地	有林地	1	0.5	0.8	0.8	0.2	0.5
	灌木林	0.9	0.5	0.8	0.7	0.2	0.8
	疏林地	0.8	0.9	0.8	0.5	0.7	1
	其他林地	0.8	0.9	0.8	0.5	0.7	1
草地	高覆盖草地	0.9	0.8	0.7	0.4	0.7	0.4
	中覆盖草地	0.8	0.8	0.8	0.4	0.7	0.4
	低覆盖草地	0.7	0.8	0.9	0.4	0.7	0.4
水域	河渠	0.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3
	湖泊	0.7	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3
	水库	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	0.7
	滩地	0.7	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3
建设用地	城镇	0	0	0	0.2	0	0
	农村居民点	0	0	0	0.7	0	0
	其他建设用地	0	0	0	0	0.5	0.7
其他土地	沙地	0.2	0.5	0.1	0.6	0.7	0.9
	盐碱地	0.2	0.5	0.1	0.6	0.7	0.9
	沼泽地	0.6	0.5	0.1	0.6	0.7	0.9
	裸土地	0.3	0.5	0.1	0.6	0.7	0.9
	裸岩石砾地	0.2	0.5	0.1	0.6	0.7	0.9

生境质量计算公式如下：

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

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \tag{2}$$

$$i_{rxy1} = 1 - \frac{d_{xy}}{d_{r\max}} \tag{3}$$

$$i_{rxye} = \exp \left[- \left(\frac{2.99}{d_{r\max}} \right) \times d_{xy} \right] \tag{4}$$

式中, Q_{xj} 为第 j 类土地利用类型中栅格 x 的生境质量; H_j 为第 j 类土地利用类型的生境适宜度; D_{xj} 为第 j 类土地利用中栅格单元 x 的生境退化程度; k 为半饱和系数, 模型默认值为 0.5; z 为归一化常量, 模型中设置为 2.5; R 为威胁因子个数; w_r 为威胁因子 r 的权重; y 为第 r 类威胁因子的栅格数; Y_r 为威胁因子 r 栅格单元的总数; i_{rxy1} 和 i_{rxye} 分别为线性 (linear) 和指数 (exponential) 类型空间衰减求取的栅格 y 的胁迫值 r_y 对栅格 x 的胁迫程度; β_x 为各种威胁因子对栅格 x 的可达性; S_{jr} 为第 j 类土地利用类型对第 r 类威胁因子的敏感度; $d_{r\max}$ 为第 r 类威胁因子的最大有效威胁距离; d_{xy} 表示栅格 x 和 y 的线性距离。

1.3.2 碳储量估算

采用 Invest 模型碳固持模块模型估算研究区碳储量^[19,23], 具体公式如下:

$$C_x = \sum_{j=1}^J A_{xj} (C_{aj} + C_{bj} + C_{sj} + C_{dj}) \tag{5}$$

式中, C_x 为区域 x 的碳储量, 单位为 t; A_{xj} 区域 x 中土地覆被类型 j 的面积; C_{aj} 、 C_{bj} 、 C_{sj} 和 C_{dj} 分别为土地覆被类型 j 的地上碳密度、地下碳密度、土壤碳密度和死亡有机物碳密度, $t \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.3.3 土地利用模拟

PLUS 模型^[40]基于栅格数据, 可挖掘斑块尺度土地类型扩张驱动因素^[41]并预测未来土地利用空间格局^[42]。鉴于此, 本研究采用该模型分析研究区 1980~2020 年土地利用空间格局并模拟预测 2035 年多情景下土地利用格局。具体参数如下。

(1) 随机森林参数设置 采样方式选择随机采样, 采样率、决策树数目采用默认值, 并行线程数量为 4。

(2) CARS 模拟参数设置 领域范围设为系统默认值, 递减阈值衰减系数越高表示该土地类型越不容易转换, 因此设为 0.5, 扩散系数设 0.1, 随机斑块种子的概率选择默认值 0.000 1。

(3) 转移成本 在 PLUS 模型中转移成本代表着从当前土地类型转换为其他类型的难易程度, 0 表示不可以发生转换, 1 表示可以发生转换^[43], 本文设置了 3 种不同情境的转移成本矩阵 (表 5)。在自然情景下, 不允许土地利用程度高向利用程度低的土地类型转换。生态优先发展情景下, 允许生境价值低的土地类型向高价值类型转换, 并严格限制高价值土地类型的转出。经济优先发展情景中, 除水域这一特殊用地类型之外, 其他土地利用类型均可以向建设用地转换, 且不限制经济用地的扩张。

表 5 多情景下土地利用类型转移成本矩阵

Table 5 Land use type transfer cost matrix under multi-scenarios

	自然情景						经济情景						生态情景					
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
林地	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
草地	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
水域	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
建设用地	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0
未利用地	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

(4) 领域权重设置 结合前人关于干旱区研究的结果^[22,37,44], 设各类用地邻域权重为: 耕地 0.3、林地 0.5、草地 0.6、水域 0.8、建设用地 0.9 和未利用地 0.2。

2 结果与分析

2.1 土地利用模拟分析

2.1.1 多情景下未来土地利用格局预测

基于 PLUS 模型和选定的 15 种环境, 经济驱动

因子, 以渭北旱塬区 2010 年土地利用和土地覆盖数据 (LULC) 作为基期训练集, 预测 2020 年土地利用空间格局分布, 并利用真实 LULC 数据检验模拟精度。检测表明总体精度为 90.04%, Kappa 系数为 0.85, 表示模型参数预测值与实际值贴合度较高, 结果可用于后续分析。其中模拟精度最高的是林地, 准确度达 0.93; 其次为耕地 (0.92) 和草地 (0.89)。设定研究区在自然发展情境中, 无政策和其他外界因素干预的前提下, 延续 LULC 历史扩张特点, 利用模

型中的 Markov chain 模块基于概率转移矩阵计算未来各土地利用类型的发展需求面积,为确保研究合理性,将区域内水域用地设置为区域,此后运行 PLUS 模型得到 2035 年研究区自然情景下 LULC 数据.结果表明,研究区耕地面积减少 608.49 km²;林地与草地面积小幅增加,总体呈稳定趋势;建设用地面积大幅增加,由 2020 末的 1 194.25 km² 增加到 1 507.15 km²,增幅超 25%,是该发展情景下增幅最高的土地类型.变化主要集中于研究区东南部渭南市与西北部宝鸡市区域,建设用地以基期范围为原点向四周扩张;且林地、草地间存在互相转换现象.

2010~2020 年,研究区内 GDP 较基期增加近 2 000 亿元,粮食种植面积紧缩.该时段内在经济因素占据主导地位,探析渭北旱塬区 LULC 发展特征可知,建设用地面积扩张明显,面积由 979.79 km² 扩张至 1 194.25 km²,且变化区域多集中在原建设用地周边地带.因此,在经济优先发展情景中,设定未利用地和部分耕地等可以向建设用地转换,合理扩大建设用地需求面积,得到模拟结果(图 2).当研究区发展模式侧重于经济时,林地与草地等经济效益较低的土地类型剧烈减少,共减少 567.24 km²,建设用地所带来的经济效益较高从而在该情景模拟状态下大幅增加,约 306.54 km².

陕西渭北旱塬区各级政府积极探索绿色发展模式,针对目前区域内生境质量较高的区域如宝鸡市西部和延安市海拔较高区域,为保障研究区域生态稳定性,在 PLUS 模型中设定林地与草地禁止向建设用地转换,为充分挖掘区域内生境质量潜力,设置未利用地可以向林地和草地转换,从而最大程度提高区域生态环境质量.在生态优先发展情景下,相较于其他土地类型,耕地面积减少最为明显,约 290.73 km²;生态价值较高的林地和草地面积均有不同程度的增加,究其原因在于耕地类型所蕴含的生态价值较低,在保证粮食安全的基础上响应国家政策推行退耕还林还草,助力区域绿色可持续发展.

2.1.2 土地利用影响因子贡献率分析

某种土地利用类型的发展潜力越高说明其他土地类型转化为该类型的可能性越高,驱动因子贡献率越高表示该因子对某土地类型扩张的作用越大.结合 PLUS 模型运行结果,分别对各土地利用类型发展潜力以及 15 种驱动因子用地扩张贡献率进行评估,结果如图 3 所示.

耕地扩张变化的主导驱动因子是人口(10.46%)、高程(9.97%)、GDP(8.04%)和年均降水(7.97%).结合土地利用类型空间格局分析可

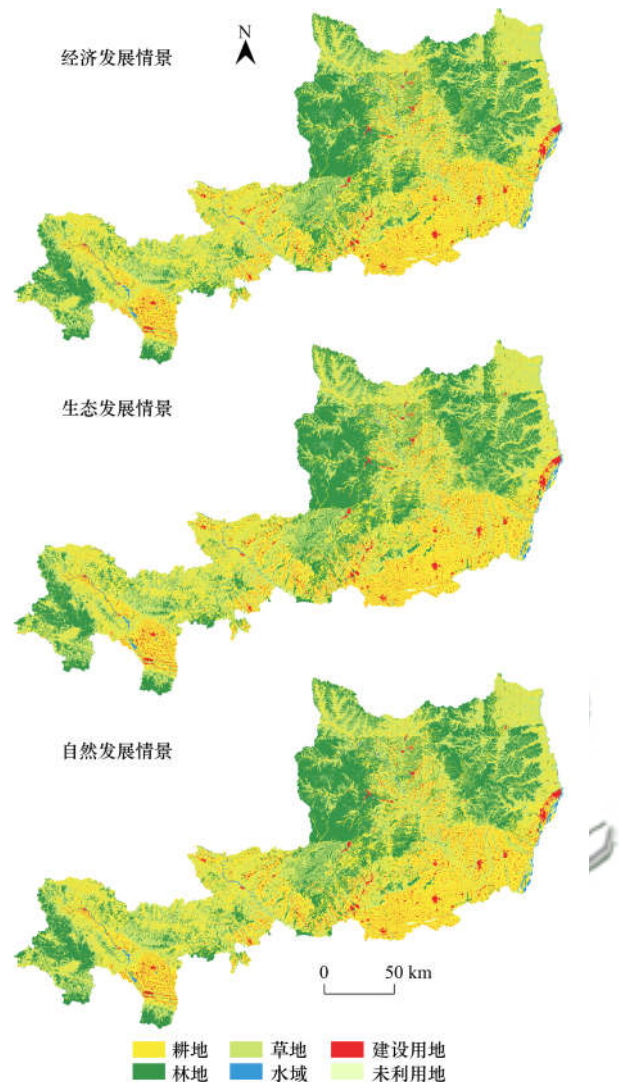


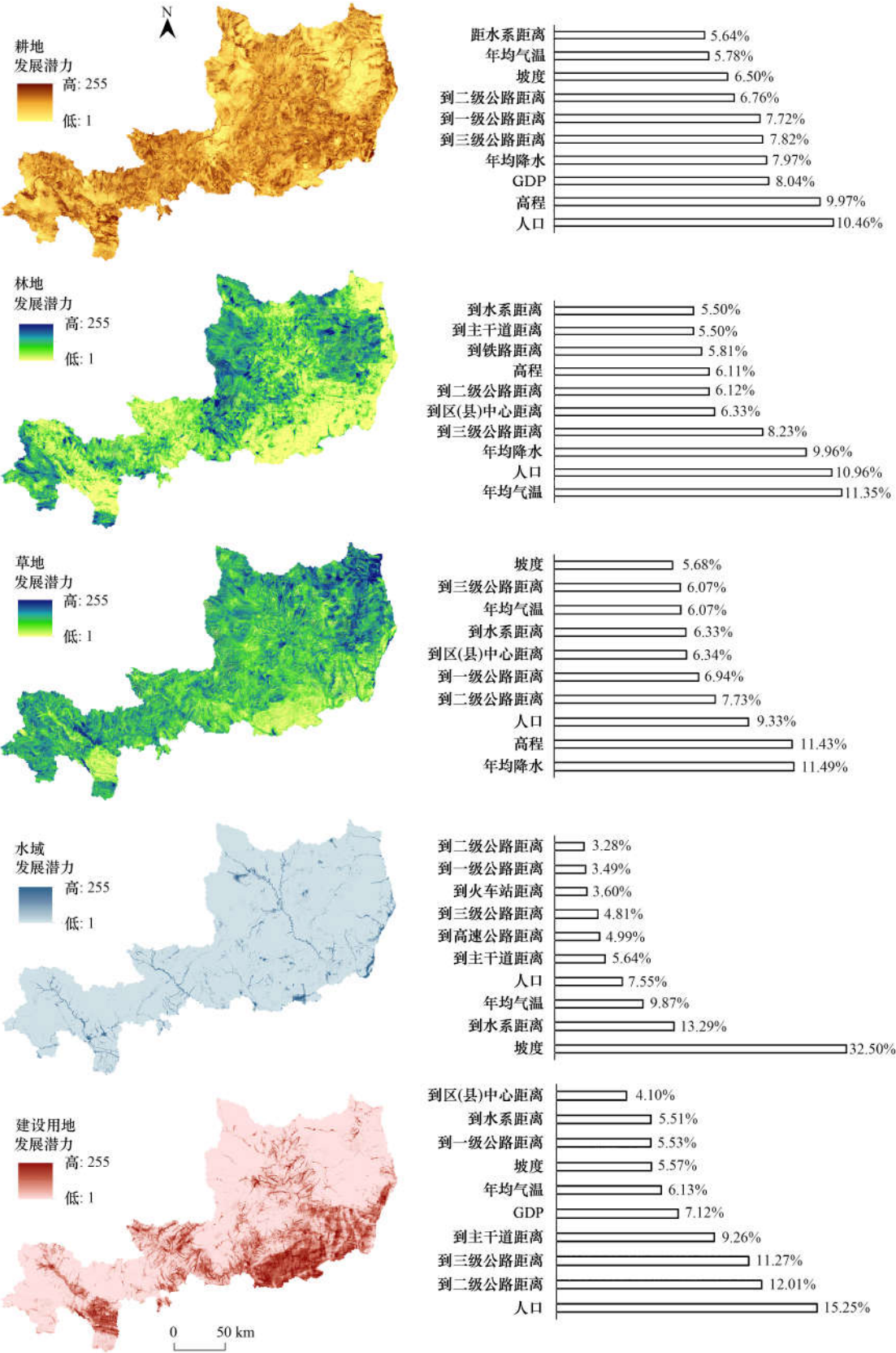
图 2 多情景下土地利用格局模拟

Fig. 2 Simulation of land use patterns under multi-scenarios

得,研究区内的耕地主要分布在地势平坦,路网密度低,人口聚集处.未来新增耕地最可能出现在远离各级公路、水系发达便于灌溉的区域.

在林地扩张变化中,贡献率较高的因子依次为:年均气温(11.35%)、人口(10.96%)、年均降水(9.96%)和到三级公路距离(8.23%),贡献率最低的是坡度(3.90%).研究区林地多分布在地势较高、远离人类聚集的区域,与该区土地利用空间格局的分布特征相吻合.通过 40 年间土地类型扩张分析对比可得,新增林地面积主要集中在咸阳市北部地区和延安市零星区县,该区域四季冷热干湿分明,多为高原丘陵区.各驱动因子对草地扩张变化的贡献率,从高到低次序为:年均降水(11.49%)、高程(11.43%)、人口(9.33%)和到二级公路距离(7.73%),贡献率最低的因子是 GDP(3.12%).

对水域扩张变化贡献率最高的影响因子是坡度(32.50%),其次是到水系距离(13.29%)和年均气



为直观显示土地类型扩张主导因素,仅列举贡献率前 10 位驱动因子

图 3 各土地利用类型发展潜力和驱动因子贡献率

Fig. 3 Development potential and contribution of driving factors by land use type

温(9.87%),贡献率最低的因子为高程(1.45%)。水域在各土地利用类型中受自然因素影响最深,但

近年来研究区加大力度建设人工湿地,致力缓解用水困难与美化生态景观,对区域内水域用地产生积

极影响.建设用地分布受人为活动影响最深,人口因子贡献率达 15.25%,到二级公路距离与到三级公路距离的贡献率基本持平,分别为 12.01% 和 11.27%,其他影响因子贡献率较大的为:到主干道距离(9.26%)和 GDP(7.12%).结合研究区土地利用格局综合分析可知,建设用地具有明显聚集性,多集中在地势平坦、人口密集、交通发达的地区.

综上所述,由于陕西渭北旱塬区生态系统脆弱,地表水资源极其匮乏,以高程为代表的自然环境因素对于土地利用类型空间格局影响颇深,到各级公路的距离以及路网密度等社会人为因素极大程度影响着土地利用类型尤其是建设用地和耕地的空间分布格局.

2.2 生境质量与碳储量时空格局演化特征

2.2.1 1980~2020 生境质量时空格局变化特征

经 InVEST 模型分析得到研究区生境质量结果数据,数值 0~1 表示生境质量从差到好,应用 ArcGIS 统计分析功能分析生境质量空间分布特点,采用自然断点法将生境质量划分为 5 个等级:[0.85, 1]为高等级区、[0.68, 0.84]为较高等级区、[0.45, 0.67]为中等级区、[0.16, 0.44]为较低等级区、[0, 0.15]为低等级区.结果表明,1980~2020 年研究区内生境质量逐渐下降,低等级区由研究基期的 707.65 km² 增至 2020 年的 1 170.19 km²,面积扩大了 462.54 km²,年均增长 11.56 km²,高等级区面积共减少了 1 370.66 km².此外,较低等级区和较高等级区面积分别减少 493.92 km² 和 388.18 km².“西部大开发”战略给研究区带来发展机遇的同时,也带来了生态环境的挑战,城镇化进程不断加快,城市周边大量适合耕种的耕地被建设用地侵占,在耕地占补平衡政策影响下,大量具有较高生态价值的非耕地被迫转为耕地,加剧区域内生态用地破碎化,进而影响生境质量,威胁生态系统整体稳定性.

从空间变化角度看,不同时段内,研究区生境质量具有明显空间差异性.1980~2020 年间渭北旱塬区生境质量空间变化主要分为 3 类:质量提升、下降和稳定无变化.由图 4 可知,生境质量下降类型呈面状集中分布于研究区东北部黄龙县、宜川县内,该区域属于陕西省“三线一单”生态工程中“优先保护单元”中的生态敏感类型.21 世纪后,该地区经济增长明显,农业生产水平提高,建设用地与耕地扩张,进而侵占林地面积导致生境质量降级.其他小块降级区域同属于“优先保护单元”零散分布于渭南市域内.等级提升区域呈条状分散于研究区全域,与生态管控工程中的“一般管控单元”有较高重合度;

主要由于靠近水源区域的草地范围扩张和地势环境较复杂的林地覆盖度提升.退耕还林还草政策要求不宜耕种的耕地适当复林复草,对生境质量提升和全域生态安全起到正向反馈.

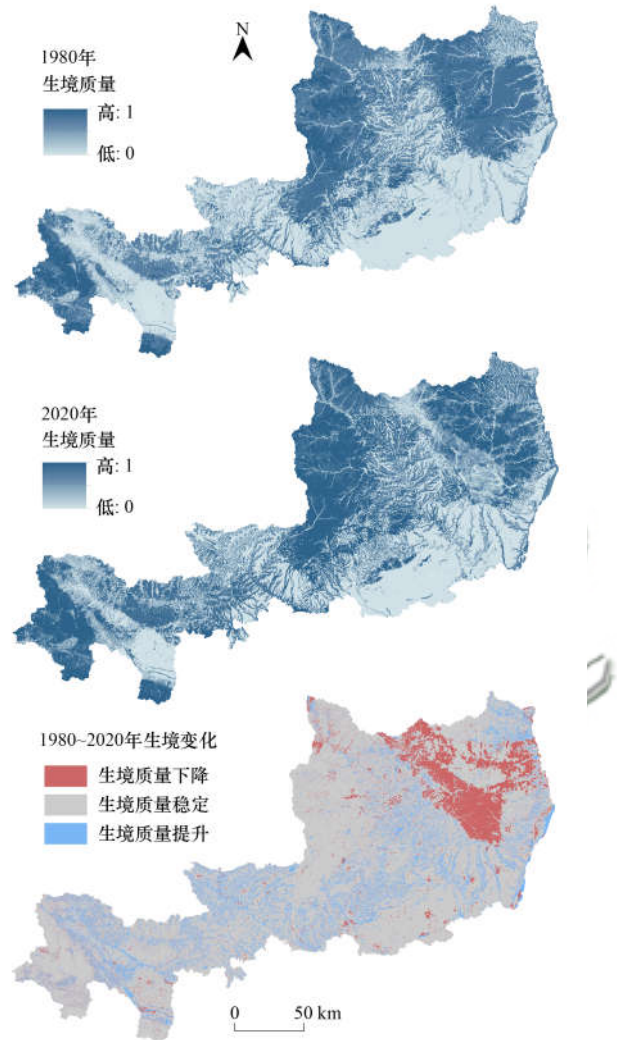


图 4 1980~2020 年研究区域生境质量变化

Fig. 4 Habitat quality changes in the research area from 1980 to 2020

2.2.2 1980~2020 碳储量时空格局变化特征

通过模型估算得到陕西渭北旱塬区历年碳储量值,1980~2020 年碳储量呈逐年下降趋势,由 4.07×10^8 t 下降为 3.99×10^8 t,共减少 7.85×10^6 t. 2010~2020 年间碳储量减少最明显,约 5.17×10^6 t,占全部减少量的 65.8%.

采用自然断点法将渭北旱塬区碳密度分为 3 个等级:[0, 0.93]为低值区、[0.94, 6.34]为中值区、[6.35, 11.79]为高值区.从空间变化角度看,研究区碳密度在不同时段内空间差异性明显,主要表现为增加、减少和稳定区.由图 5 可知,1980~2020 年,碳密度变化剧烈,增加区域呈面状集中分布于研究区中部的黄陵县、旬邑县、宜君县和印台区,该

区域属于“三线一单”生态管控工程“优先保护单元”,以生态环境保护为主,是具有重要生态功能的区域。此外由于陕西省于 2000 年推行退耕还林还草试点实施政策,高碳密度土地类型(林地、草地和耕地等)在各行政区域内呈点状增加,且多出现在海拔相对较低的土塬区域。碳储量减少区域在整个研究区内呈点状零散分布,未表现出明显集中现象。

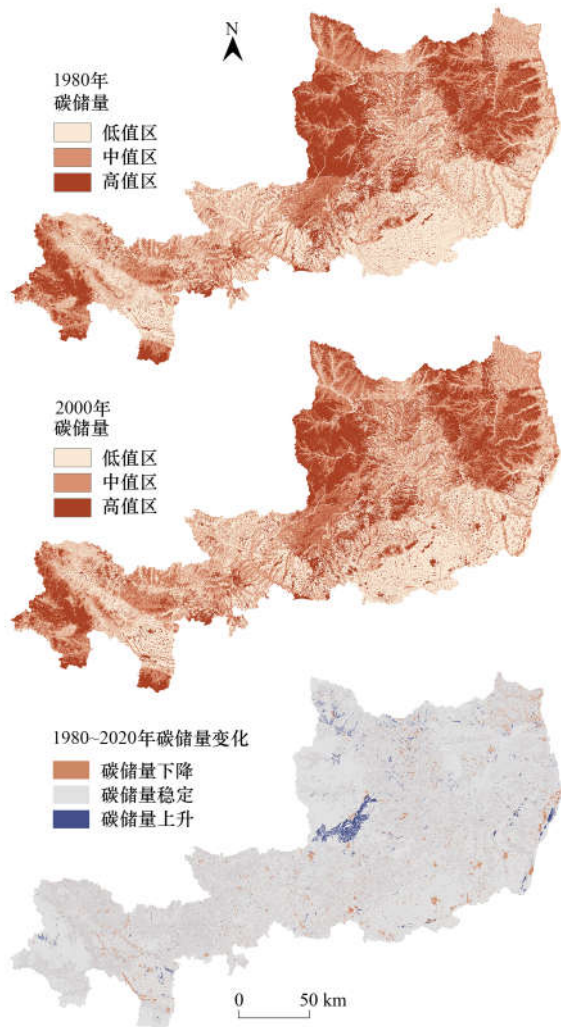


图 5 1980~2020 年研究区碳储量变化

Fig. 5 Changes in carbon storage of the research area from 1980 to 2020

2.3 多情景下生境质量及碳储量空间格局模拟

2.3.1 2035 年研究区生境质量模拟

从 PLUS 模型预测结果来看,2035 年 3 种不同情景下生境质量相较于 2020 年均有一定程度的变化(图 6)。至 2035 年,陕西渭北旱塬区在自然发展情景下,生境质量高等级区面积 15 386.42 km²,比 2020 年减少 6 568.22 km²;中等级区与低等级区面积均有不同程度增加。在生态优先发展情景下,生境质量高等级区面积 15 293.74 km²;除此之外中等级区面积在 3 种情景下增量最多(约 2 630.98 km²)。在经济优先发展情景下,生境质量高等级区面积

14 840.82 km²,减幅近半,低等级区面积 20 787.41 km²,增幅达 22.57%,是较初期低等级区增幅最高和高等级区减幅最大的模拟情景。

从其空间格局变化角度来看,2035 年多情景下的生境质量相较于 2020 年均出现中等级区大幅度降级为低等级区的现象,此外其他等级区分布及数量也有不同程度的变化。生态情景下,高等级区集中在延安市南部,由于该区域海拔较高,鲜有人类活动,从而未对生境质量产生较大负面影响,故而无较大变化;且高等级区内部的少部分中等级区被转化提升为高等级区;原中等级区降级成低等级区,主要集中在渭南市和宝鸡市东部;缘于该区域地势平坦,建设用地相对集中。自然情景下,延安市南部高等级区内低海拔地区降级为低等级区,分布较为零散,未出现较大的明显降级斑块;较高等级区面积明显减少;除延安市之外,高等级区集中分布在宝鸡市西南部,该地区地势环境复杂,路网密度低,人为活动对生态系统影响相对较低。经济情景下,渭南市北部、铜川市以及咸阳市北部低等级区范围相较于其他情景进一步扩大,延安市南部高等级区面积缩减显著,且内部出现明显块状区域降级为中等级区和低等级区的现象。

2.3.2 2035 年碳储量模拟

基于 PLUS 模型和 InVEST 模型运行结果来看,2035 年 3 种不同情景下碳储量与 2020 年相比均有不同程度的变化(图 7)。至 2035 年,研究区在自然发展情景下,碳储量 3.98×10^8 t,较 2020 年下降 1.79×10^6 t;在经济优先发展情景下,碳储量与自然发展情景变化不大,相较于 2020 年小幅下降;生态优先发展情景下,碳储量 4.02×10^8 t;比 2020 年总量上升 3.58×10^8 t。自然发展情景提取 1980~2020 年各类用地扩张特征,模拟未来发展状态;由于该时段内研究区经济增长迅猛、经济用地大幅扩张、生态景观破碎,因此自然发展情景与经济发展情景的发展模式相同,碳储量相差不大。

从其空间格局变化角度来看,2035 年多情景下碳储量较 2020 年未出现剧烈变化,多数区域碳储量较稳定,但各情景碳储量具体分布情况略有不同:生态情景下,碳储量上升区域部分呈面状集中在延安市南部黄陵县,其他部分零散分布在研究区内部;碳储量下降区域伴随着上升区域,同样呈点状零散分布于研究区域,究其原因在于原建设用地吸收附近非建设用地,高碳密度土地类型转换为低碳密度土地类型造成碳储量下降。由于陕西省积极推行“三线一单”生态工程;将原有不适宜耕种的耕地还林还草,故而在各行政区域均出现点状碳储量上升

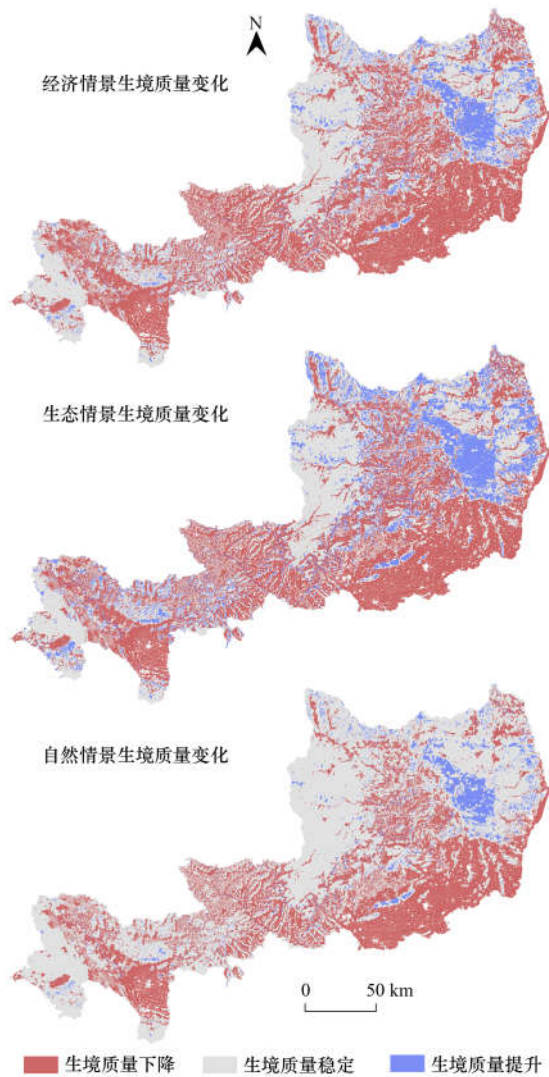


图6 多情景下生境质量空间变化

Fig. 6 Spatial variation in habitat quality under multi-scenarios

区域. 自然情景下,相较于2020年基期数据,同样在黄陵县域内出现大面积碳储量上升现象,此外在渭南市北部各县内,碳密度上升区域面积不及生态情景,高于经济情景;该情景下海拔较高,水系发达的区域碳储量普遍较高. 经济情景下,支持非建设用地向建设用地转换,因此相较于2020年碳储量,碳储量下降区域呈点状分布在全域,其中在地势环境较平坦、自然禀赋丰富的区域有聚集趋势. 究其原因在于高碳密度类型土地转换为低碳密度土地类型,建设用地在地上碳池中具有一定程度的贡献,但是对其他碳池贡献几乎为0,因此建设用地扩张造成总体碳储量下降.

3 讨论

3.1 土地利用空间格局演变与模拟

1980~2020年间,渭北旱塬区新增建设用地的九成以上来源于耕地,原因在于千禧年后,渭北旱塬区城市化进程不断提速,为满足城市发展需求,建设

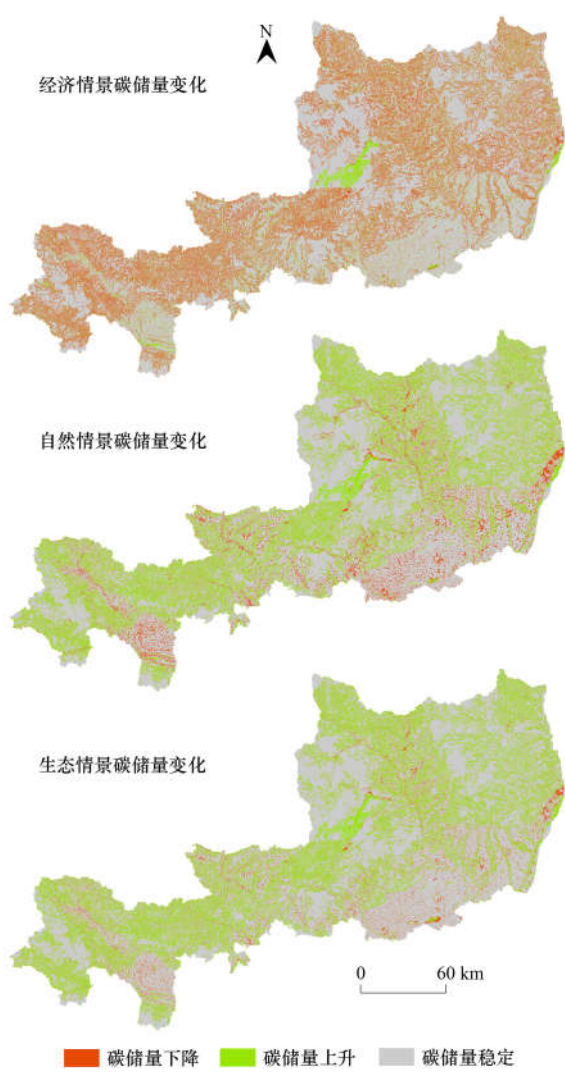


图7 多情景下碳储量空间变化

Fig. 7 Spatial variation in carbon storage under multi-scenarios

用地大量侵占城市周围非建设用地. 至2020年,流失的耕地中有87.81%转化为草地和林地,这和陕西省于1999年作为试点区域在全国范围内率先推行的退耕还林还草政策密切相关. 研究区北部聚集了半数以上的林地,宝鸡市草地与林地交错分布,研究区南部渭南市和咸阳市土地类型以耕地为主,同时建设用地集约度高. 原因在于研究区地势北高南低,北部和部分西部地区以山地为主,人类活动程度低;南部地区地势平坦,水资源相对丰富,更加宜居.

本文利用PLUS模型模拟2035年多情景下土地利用分布格局,采用随机森林算法挖掘各土地利用类型发展概率和驱动因子并模拟斑块生成,因此本文LULC预测结果仅是基于保持历史发展趋势的状态,应用于后续生态系统服务分析. 若扩充自然、社会驱动因子,或模拟距基期时间更近的土地利用空间分布格局,模拟精度可进一步提高.

3.2 生态系统服务对LUCC的响应

海拔较高、森林密度高的延安市南部是研究区

内生态系统服务能力较强的区域, 聚集着生境质量高等级区和碳储量高值区, 生境质量低等级主要集中于建设用地密集的宝鸡市。渭南市和咸阳市域内区县是研究区内耕地主要分布区, 同时也是生态系统服务中等值主要分布区。前人针对渭北旱塬区生态系统服务的研究较少, 因此选择临近城市^[43,45]或相似气候带^[46,47]区域的相关研究结果加以对比分析。大量生境质量研究表明, 土地利用程度和生境质量存在负相关关系^[48,49]。受人为因素影响颇深的土地利用类型如耕地和建设用地等^[50], 易造成生境景观破碎化和等级退化^[51,52]。周晨等^[53]从 ESV 角度探索南水北调中线工程生态补偿制度, 结果提到林地提供较高生态价值, 且建设用地扩张导致 ESV 明显减少, 与本研究生境分析结果一致。此外, 土地利用空间格局演变是碳储量变化的主要驱动因素, 杨小琬等^[54]研究表明黄河下游地区碳储量高值区主要分布在高海拔山地林区, 与本文碳储量高值区分布特征一致。

3.3 生态修复建议

渭北旱塬区生境质量与碳储量的综合评估可以清晰反映出研究区的生态系统服务能力, 有助于及时管控生态脆弱区域, 制定科学绿色发展政策。因此, 建议加强研究区中部、东南部地区生态保护及修复, 严格管控经济用地扩张, 精准提升生境质量中低等级区域; 巩固低碳储量区域固碳能力; 以研究区北部地区为核心, 完善巩固生态安全屏障, 为全域提供生态源动力。1980~2020 年间, 渭北旱塬区南部、宝鸡市北部等区域, 建设用地大幅扩张, 人为干扰下, 林地、草地和耕地面积明显减少, 导致该区域生境质量及碳储量明显降级, 且恢复较慢。总体看来, 该区域亟需优化国土空间格局, 管制生态用地用途, 有计划地退耕还林还草、提高生态系统自愈能力。延安市南部、宝鸡市东部等区域由于地势环境复杂、人口稀疏, 生态稳定性良好, 建议立足其生态优势, 保障生态系统完整性, 维护区域生态安全。

4 结论

(1) 土地利用模拟结果表明, 2035 年自然情景下, 建设用地面积较 2020 年增率超 25%, 耕地面积减少最多。经济情景下, 林地与草地减少约 567.24 km²; 建设用地增长最多, 约 306.54 km²。生态情景中耕地面积明显减少, 管控之下渭南市、咸阳市和宝鸡市等地建设用地较 2020 年无明显增长。

(2) 1980~2020 年, 碳储量共减少 7.85 × 10⁶ t, 其中 2010~2020 时期, 碳储量变化最为明显, 该时期研究区内经济、土地变化剧烈, 说明社会经济因

素和土地利用格局对碳储量变化起主导作用。生态优先情景是碳储量唯一上升的发展情景, 因此进行生态工程建设, 扩大碳储量高等级区面积, 提升区域固碳能力, 可有效促进渭北旱塬区实现“双碳”目标。

(3) 40 年间全域生境质量总体呈逐年下降趋势, 生境质量降级区域明显集中于延安市南部。自然情景下生境高等级区面积减少明显; 生态情景下中等级区比例降低最多; 经济情景较前两种模拟状态下, 低等级区增幅最高且高等级区减幅最大。

参考文献:

- [1] Pearce D. Auditing the earth: The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Environment Science and Policy for Sustainable Development, 1998, 40(2): 23-28.
- [2] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
Xie G D, Lu C X, Leng Y F, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189-196.
- [3] 王伯阳. 基于 LUCC 的生态系统服务价值与碳排放时空演变研究——以中原城市群为例[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.
- [4] 如克亚·热合曼, 阿里木江·卡斯木, 希丽娜依·多来提, 等. 天山北坡城市群碳储量时空变化及预测研究[J]. 中国环境科学, 2022, 42(12): 5905-5917.
Reheman·R, Kasimu·A, Duolat·X, et al. Temporal and spatial variation and prediction of carbon storage in urban agglomeration on the northern slope of Tianshan Mountains [J]. China Environmental Science, 2022, 42(12): 5905-5917.
- [5] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. Primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values [J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 607-613.
- [6] 雷金睿, 陈毅青, 陈宗铸, 等. 基于 InVEST 模型的海南岛三大流域生境质量时空演变[J]. 应用生态学报, 2022, 33(9): 2511-2520.
Lei J R, Chen Y Q, Chen Z Z, et al. Spatiotemporal evolution of habitat quality in three basins of Hainan Island based on InVEST model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(9): 2511-2520.
- [7] 方创琳. 青藏高原城镇化发展的特殊思路与绿色发展路径[J]. 地理学报, 2022, 77(8): 1907-1919.
Fang C L. Special thinking and green development path of urbanization in Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(8): 1907-1919.
- [8] 刘礼群, 江坤, 胡智, 等. 雄安新区国土空间开发的生态系统服务价值响应特征[J]. 生态学报, 2022, 42(6): 2098-2111.
- [9] Liu L Q, Jiang K, Hu Z, et al. Response characteristics of ecosystem services values in territorial space development of Xiong'an New Area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(6): 2098-2111.
- [9] Long X R, Lin H, An X X, et al. Evaluation and analysis of ecosystem service value based on land use/cover change in Dongting Lake wetland[J]. Ecological Indicators, 2022, 136,

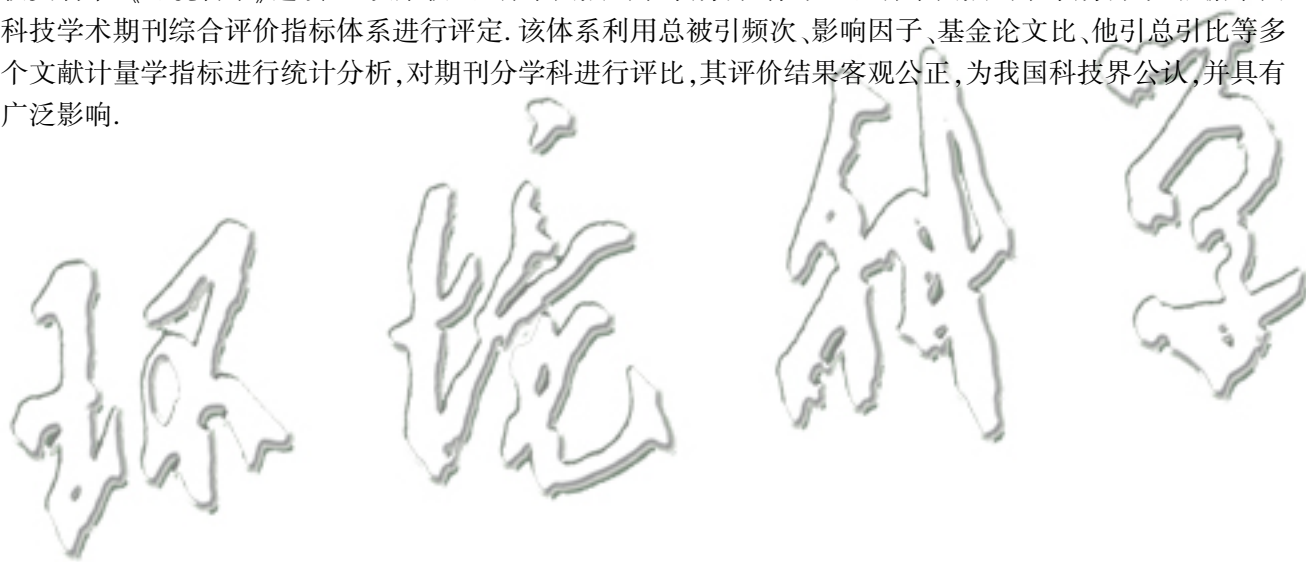
- doi: 10.1016/j.ecolind.2022.108619.
- [10] 苗议艺. 基于 FLUS 和 InVEST 模型的县域土地利用变化及碳储量优化模拟研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [11] 李广东. 全球土地覆被时空变化与中国贡献[J]. 地理学报, 2022, **77**(2): 353-368.
- Li G D. Spatio-temporal change of global land cover and China's contribution[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, **77**(2): 353-368.
- [12] 张凯琪, 陈建军, 侯建坤, 等. 耦合 InVEST 与 GeoSOS-FLUS 模型的桂林市碳储量可持续发展研究[J]. 中国环境科学, 2022, **42**(6): 2799-2809.
- Zhang K Q, Chen J J, Hou J K, *et al.* Study on sustainable development of carbon storage in Guilin coupled with InVEST and GeoSOS-FLUS model[J]. *China Environmental Science*, 2022, **42**(6): 2799-2809.
- [13] 卿苗, 赵军, 冯超, 等. 1980—2030 年石羊河流域生态系统碳储存服务对土地利用变化的响应[J]. 生态学报, 2022, **42**(23): 9525-9536.
- Qing M, Zhao J, Feng C, *et al.* Response of ecosystem carbon storage service to land-use change in Shiyang River Basin from 1980 to 2030[J/OL]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(23): 9525-9536.
- [14] 王乐志. 基于 InVEST 模型的鄱阳湖流域土壤保持和生境质量变化研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- [15] Assefa W W, Eneyew B G, Wondie A. The impacts of land-use and land-cover change on wetland ecosystem service values in peri-urban and urban area of Bahir Dar City, Upper Blue Nile Basin, Northwestern Ethiopia[J]. *Ecological Processes*, 2021, **10**(1), doi: 10.1186/S13717-021-00310-8.
- [16] Guo M, Shu S, Ma S, *et al.* Using high-resolution remote sensing images to explore the spatial relationship between landscape patterns and ecosystem service values in regions of urbanization[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **28**(40): 56139-56151.
- [17] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, **30**(8): 1243-1254.
- Xie G D, Zhang C X, Zhang L M, *et al.* Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, **30**(8): 1243-1254.
- [18] 幸绣程, 支玲, 谢彦明, 等. 基于单位面积价值当量因子法的西部天保工程区生态服务价值测算——以西部六省份为例[J]. 生态经济, 2017, **33**(9): 195-199.
- Xing X C, Zhi L, Xie Y M, *et al.* Estimation of ecological service value in western natural forest protection project area based on equivalent factor approach of unit area value: taking six western provinces as an example[J]. *Ecological Economy*, 2017, **33**(9): 195-199.
- [19] 邵壮, 陈然, 赵晶, 等. 基于 FLUS 与 InVEST 模型的北京市生态系统碳储量时空演变与预测[J]. 生态学报, 2022, **42**(23): 9456-9469.
- Shao Z, Chen R, Zhao J, *et al.* Spatio-temporal evolution and prediction of carbon storage in Beijing's ecosystem based on FLUS and InVEST models[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(23): 9456-9469.
- [20] 赵博轩, 李淑杰, 马剑, 等. 基于 InVEST 模型的吉林省生境质量评价[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2022, **54**(2): 132-141.
- Zhao B X, Li S J, Ma J, *et al.* Evaluation of habitat quality in Jilin Province based on InVEST model[J]. *Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition)*, 2022, **54**(2): 132-141.
- [21] 董悦, 付梅臣, 陈乃鸽, 等. 近 30 年唐山市生态服务价值空间分异及地理探测研究[J]. 农业资源与环境学报, 2022, **39**(6): 1196-1207.
- Dong Y, Fu M C, Chen N G, *et al.* Spatial differentiation of ecosystem service values in Tangshan City over the past 30 years using geographic detection[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, **39**(6): 1196-1207.
- [22] 胡丰, 张艳, 郭宇, 等. 基于 PLUS 和 InVEST 模型的渭河流域土地利用与生境质量时空变化及预测[J]. 干旱区地理, 2022, **45**(4): 1125-1136.
- Hu F, Zhang Y, Guo Y, *et al.* Spatial and temporal changes in land use and habitat quality in the Weihe River Basin based on the PLUS and InVEST models and predictions[J]. *Arid Land Geography*, 2022, **45**(4): 1125-1136.
- [23] 向书江, 张骞, 王丹, 等. 近 20 年重庆市主城区碳储量对土地利用/覆被变化的响应及脆弱性分析[J]. 自然资源学报, 2022, **37**(5): 1198-1213.
- Xiang S J, Zhang Q, Wang D, *et al.* Response and vulnerability analysis of carbon storage to LUCC in the main urban area of Chongqing during 2000-2020[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, **37**(5): 1198-1213.
- [24] Sallustio L, De Toni A, Strollo A, *et al.* Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy[J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, **201**: 129-137.
- [25] 赵雪雁, 马平易, 李文青, 等. 黄土高原生态系统服务供需关系的时空变化[J]. 地理学报, 2021, **76**(11): 2780-2796.
- Zhao X Y, Ma P Y, Li W Q, *et al.* Spatiotemporal changes of supply and demand relationships of ecosystem services in the Loess Plateau[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, **76**(11): 2780-2796.
- [26] 王绍强, 周成虎, 李克让, 等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, **55**(5): 533-544.
- Wang S Q, Zhou C H, Li K R, *et al.* Analysis on spatial distribution characteristics of soil organic carbon reservoir in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, **55**(5): 533-544.
- [27] 徐丽, 何念鹏, 于贵瑞. 2010s 中国陆地生态系统碳密度数据集[J]. 中国科学数据(中英文网络版), 2019, **4**(1): 90-96.
- Xu L, He N P, Yu G R. A dataset of carbon density in Chinese terrestrial ecosystems (2010s)[J]. *China Scientific Data*, 2019, **4**(1): 90-96.
- [28] 刘京, 常庆瑞, 陈涛, 等. 陕西省土壤有机碳密度空间分布及储量估算[J]. 土壤通报, 2012, **43**(3): 656-661.
- Liu J, Chang Q R, Chen T, *et al.* Spatial distribution characteristics and estimation of soil organic carbon density and storage in Shanxi Province, in China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, **43**(3): 656-661.
- [29] 李俊超, 党廷辉, 郭胜利, 等. 植被重建下煤矿排土场土壤熟化过程中碳储量变化[J]. 环境科学, 2014, **35**(10): 3842-3850.
- Li J C, Dang T H, Guo S L, *et al.* Soil organic carbon storage changes with land reclamation under vegetation reconstruction on opencast coal mine dump[J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(10): 3842-3850.
- [30] 夏利恒, 刘京, 尉芳, 等. 陕西渭北旱塬区耕地时空格局变化分析[J]. 农业工程学报, 2021, **37**(5): 256-264.
- Xia L H, Liu J, Wei F, *et al.* Spatiotemporal pattern change of cultivated land in Weibei Dryland of Shaanxi province[J].

- Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, **37**(5): 256-264.
- [31] 尉芳, 刘京, 夏利恒, 等. 基于 LUCC 的陕西渭北旱塬区景观生态风险评价[J]. 中国环境科学, 2022, **42**(4): 1963-1974.
- Wei F, Liu J, Xia L H, *et al.* Landscape ecological risk assessment in Weibei dryland region of Shaanxi Province based on LUCC[J]. China Environmental Science, 2022, **42**(4): 1963-1974.
- [32] Chen J D, Gao M, Cheng S L, *et al.* Global 1 km $\times$ 1 km gridded revised real gross domestic product and electricity consumption during 1992-2019 based on calibrated nighttime light data[J]. Scientific Data, 2022, **9**(1), doi: 10.1038/S41597-022-01322-5.
- [33] Ding Y X, Peng S Z. Spatiotemporal trends and attribution of drought across China from 1901-2100[J]. Sustainability, 2020, **12**(2), doi: 10.3390/su12020477.
- [34] Fang S, Mao K B, Xia X Q, *et al.* Dataset of daily near-surface air temperature in China from 1979 to 2018[J]. Earth System Science Data, 2022, **14**(3): 1413-1432.
- [35] 尉芳, 刘京, 夏利恒, 等. 陕西渭北旱塬区农田土壤有机质空间预测方法[J]. 环境科学, 2022, **43**(2): 1097-1107.
- Wei F, Liu J, Xia L H, *et al.* Spatial prediction method of farmland soil organic matter in Weibei Dryland of Shaanxi Province[J]. Environmental Science, 2022, **43**(2): 1097-1107.
- [36] 王玉竹, 肖和艾, 周萍, 等. 江汉平原农田土壤有机碳分布与变化特点: 以潜江市为例[J]. 环境科学, 2015, **36**(9): 3422-3428.
- Wang Y Z, Xiao H A, Zhou P, *et al.* Distribution and dynamics of cropland soil organic carbon in Jianghan Plain: A case study of Qianjiang city[J]. Environmental Science, 2015, **36**(9): 3422-3428.
- [37] 姚楠, 刘广全, 贾磊, 等. 基于坡度视角的黄土高原退耕还林(草)工程碳汇效应分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, **47**(1): 180-188.
- Yao N, Liu G Q, Jia L, *et al.* Analysis of carbon sequestration effect of sloping land conversion program in Loess Plateau from the perspective of slope[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, **47**(1): 180-188.
- [38] 黄玫, 季劲钧, 曹明奎, 等. 中国区域植被地上与地下生物量模拟[J]. 生态学报, 2006, **26**(12): 4156-4163.
- Huang M, Ji J J, Cao M K, *et al.* Modeling study of vegetation shoot and root biomass in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, **26**(12): 4156-4163.
- [39] 杨激威, 赵娟, 朱家田, 等. 基于 PLUS 和 InVEST 模型的西安市生态系统碳储量时空变化与预测[J]. 自然资源遥感, 2022, **34**(4): 175-182.
- Yang L W, Zhao J, Zhu J T, *et al.* Spatial and temporal variation and prediction of ecosystem carbon storage in Xi'an based on PLUS and InVEST model[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, **34**(4): 175-182.
- [40] 王芳莉. 基于 FLUS 模型的陇南市土地利用变化与模拟[D]. 兰州: 西北师范大学, 2020.
- [41] 吴欣昕, 刘小平, 梁迅, 等. FLUS-UGB 多情景模拟的珠江三角洲城市增长边界划定[J]. 地球信息科学学报, 2018, **20**(4): 532-542.
- Wu X X, Liu X P, Liang X, *et al.* Multi-scenarios simulation of urban growth boundaries in Pearl River Delta based on FLUS-UGB[J]. Journal of Geo-Information Science, 2018, **20**(4): 532-542.
- [42] Liang X, Guan Q F, Clarke K C, *et al.* Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2021, **85**, doi: 10.1016/j.compenvurbysys.2020.101569.
- [43] 侯建坤, 陈建军, 张凯琪, 等. 基于 InVEST 和 GeoSoS-FLUS 模型的黄河源区碳储量时空变化特征及其对未来不同情景模式的响应[J]. 环境科学, 2022, **43**(11): 5253-5262.
- Hou J K, Chen J J, Zhang K Q, *et al.* Temporal and spatial variation characteristics of carbon storage in the source region of the Yellow River based on InVEST and GeoSoS-FLUS models and its response to different future scenarios[J]. Environmental Science, 2022, **43**(11): 5253-5262.
- [44] 王晶, 胡一, 李鹏, 等. 治沟造地背景下延安市生境质量时空演变特征[J]. 生态学报, 2022, **42**(23): 9808-9819.
- Wang J, Hu Y, Li P, *et al.* Spatial and temporal variations of habitat quality under the background of gully control and land consolidation in Yan'an, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, **42**(23): 9808-9819.
- [45] 韩玉, 丁素婷, 杨太保. 山西南部中条山生态系统碳储量时空分布及驱动因素[J]. 中国环境科学, 2023, **43**(3): 1298-1306.
- Han Y, Ding S T, Yang T B. Spatial and temporal distribution and driving factors of carbon storage in Zhongtiao Mountain ecosystem in southern Shanxi Province[J]. China Environmental Science, 2023, **43**(3): 1298-1306.
- [46] 朱文博, 张静静, 崔耀平, 等. 基于土地利用变化情景的生态系统碳储量评估——以太行山淇河流域为例[J]. 地理学报, 2019, **74**(3): 446-459.
- Zhu W B, Zhang J J, Cui Y P, *et al.* Assessment of territorial ecosystem carbon storage based on land use change scenario: A case study in Qihe River Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, **74**(3): 446-459.
- [47] Pan N H, Guan Q Y, Wang Q Z, *et al.* Spatial differentiation and driving mechanisms in ecosystem service value of arid region: A case study in the middle and lower reaches of Shule River Basin, NW China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, **319**, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.128718.
- [48] Xie Z L, Li X Z, Chi Y, *et al.* Ecosystem service value decreases more rapidly under the dual pressures of land use change and ecological vulnerability: A case study in Zhujiadian Island[J]. Ocean & Coastal Management, 2021, **201**, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2020.105493.
- [49] Xie L, Wang H W, Liu S H. The ecosystem service values simulation and driving force analysis based on land use/land cover: A case study in inland rivers in arid areas of the Aksu River Basin, China[J]. Ecological Indicators, 2022, **138**, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2022.108828.
- [50] Fuentealba M, Latorre C, Frugone-Glvarez M, *et al.* Crossing a critical threshold: Accelerated and widespread land use changes drive recent carbon and nitrogen dynamics in Vichuquén Lake (35°S) in central Chile[J]. Science of the Total Environment, 2021, **791**, doi: 10.1016/J.SCIOTENV.2021.148209.
- [51] Gao S Q, Yang L, Jiao H Z. Spatio-temporal analysis of the effects of human activities on habitat quality: A case study of Guiyang City, Guizhou Province, China[J]. Land, 2022, **11**(10), doi: 10.3390/LAND11101837.
- [52] Liu J M, Xiao B, Jiao J Z, *et al.* Modeling the response of ecological service value to land use change through deep learning simulation in Lanzhou, China[J]. Science of the Total

- Environment, 2021, **796**, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.148981.
- [53] 周晨, 丁晓辉, 李国平, 等. 南水北调中线工程水源区生态补偿标准研究——以生态系统服务价值为视角[J]. 资源科学, 2015, **37**(4): 792-804.
- Zhou C, Ding X H, Li G P, *et al.* Ecological compensation standards in the water source area of the middle route project of the South-North water transfer project [J]. Resources Science, 2015, **37**(4): 792-804.
- [54] 杨小琬, 张丽君, 秦耀辰, 等. 1995 年以来黄河下游碳储量时空变化及驱动因素[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2022, **52**(1): 20-33.
- Yang X W, Zhang L J, Qin Y C, *et al.* Temporal and spatial variation and driving factors of carbon storage in the lower Yellow River since 1995 [J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2022, **52**(1): 20-33.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2022 年 12 月 29 日, 中国科技论文统计结果发布会在北京举行, 会议发布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单.《环境科学》连续 21 次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号.“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定. 该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析, 对期刊分学科进行评比, 其评价结果客观公正, 为我国科技界公认, 并具有广泛影响.



CONTENTS

Analysis of Change Trend and Influencing Factors of PM _{2.5} -O ₃ Pollution in Tianjin from 2013 to 2020	XIAO Zhi-mei, LI Ya-fei, GAO Jing-yun, <i>et al.</i> (4211)
Changes in Ozone Pollution Trend Characteristics and Sensitivity in Jinan from 2015 to 2020	SUN Xiao-yan, SUN Jun, GUO Meng-meng, <i>et al.</i> (4220)
Analysis of O ₃ Pollution Characteristics, Formation Sensitivity, and Transport Impact in Southern Nanjing	ZHENG Xin-mei, HU Kun, WANG Ming, <i>et al.</i> (4231)
Characteristics and Driving Factors of O ₃ Pollution During 13 th Five-Year Period in Tianjin	LI Yuan, XIAO Zhi-mei, BI Xiao-hui, <i>et al.</i> (4241)
Response of PM _{2.5} and O ₃ to Emission Reductions in Nanjing Based on Random Forest Algorithm	SHANG Yong-jie, MAO Yu-hao, LIAO Hong, <i>et al.</i> (4250)
Quantification of Ozone Pollution Transport Based on Four-dimensional Flux Method in Foshan, China	WU Li-ping, MO Hai-hua, YANG Li-ting, <i>et al.</i> (4262)
Effects of Source Depletion on Vapor Intrusion Risk Assessment	ZHONG Mao-sheng, WANG Yang, JIANG Lin, <i>et al.</i> (4271)
Spatiotemporal Variation Characteristics of Main Pollutant Fluxes in the Yangtze River Basin from 2017 to 2020	GUO Chao-chen, LEI Kun, LI Xiao-guang, <i>et al.</i> (4279)
Spatial Variation Characteristics, Influencing Factors, and Sources of Hydrogeochemical of Surface Water and Groundwater in Mountainous Area of Hutuo River	KONG Xiao-le, CHANG Yu-ru, LIU Xia, <i>et al.</i> (4292)
Spatial Distribution, Source Analysis, and Health Risk Assessment of Metal Elements in Karst Water in Southeastern Chongqing	XIE Hao, ZOU Sheng-zhang, LI Jun, <i>et al.</i> (4304)
Mechanism of Salinization of Shallow Groundwater in Taocheng District, Hengshui City	HE Jin, ZHANG Huai-sheng, CAI Wu-tian, <i>et al.</i> (4314)
Assessment of Groundwater Contamination Risk in the Plain Area of Southern Turpan Basin	BAI Fan, ZHOU Jin-long, ZHOU Yin-zhu, <i>et al.</i> (4325)
Microbial Community Composition and Diversity in Metal Sulfide Mine Water Systems	DING Cong-cong, ZHU Xu-yan, ZHAO Xing-qing, <i>et al.</i> (4334)
Occurrence Characteristics of Microplastics in Baiyangdian Lake Water and Sediments	CHENG Xin-yu, YANG Li-hu, SONG Xian-fang (4344)
Analyzing the Pollution Sources and Mechanisms of Urban Rivers Based on Identifying the Molecular Signature of Dissolved Organic Matter	ZHU Yi, YE Jian-feng, SUN Xiao-nan, <i>et al.</i> (4353)
Occurrence and Fate of Steroid Hormones in Sewage Treatment Plants	LIU Yuan-yuan, FENG Hui, ZHANG Yun, <i>et al.</i> (4364)
Distribution, Source, and Ecological Risk Assessment of Persistent Organic Pollutants in Surface Sediments of Boao Coastal Waters	HAO Run-bo, FU Guo-wei, SONG Yan-wei, <i>et al.</i> (4374)
Content, Distribution, Source Analysis, and Risk Assessment of PAHs in Arable Soils of Taiyuan	WU Zhang-wei, DUAN Yong-hong, LIU Li-wen, <i>et al.</i> (4387)
Potential Ecological Risk Assessment and Source Analysis of Heavy Metals in Soil-crop System in Xiong'an New District	GUO Zhi-juan, LIU Fei, ZHOU Ya-long, <i>et al.</i> (4397)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Heavy Metals in Soils in Yellow River Cultural Park Based on APCS-MLR and PMF Receptor Model	DUAN Hai-jing, MA Jia-yu, PENG Chao-yue, <i>et al.</i> (4406)
Pollution Characteristics, Source Analysis, and Risk Assessment of Heavy Metals in the Surrounding Farmlands of Manganese Mining Area	YU Gao, CHEN Fen, ZHANG Xiao-dong, <i>et al.</i> (4416)
Translocation, Accumulation, and Comprehensive Risk Assessment of Heavy Metals in Soil-Crop Systems in an Old Industrial City, Shizuishan, Ningxia, Northwest China	WANG Ying, DONG Ai-jun, YANG Jian-feng, <i>et al.</i> (4429)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Tetracycline Antibiotics (TCs) in Soil-Vegetable System with Soil Fertilized with Animal Manure	DING Dan, HUANG Xiao-yi, GU Jing-yi, <i>et al.</i> (4440)
Accumulation Pathway of Cd, Pb, and Zn in Chinese Cabbage under the Condition of Exogenous Pollution Superposition in High Geological Background Area	JIAN Huai-liang, LIU Hong-yan, MEI Xue, <i>et al.</i> (4448)
Effects of Combined Pollution of Microplastics and Lead on Maize Seed Germination and Growth	MA Gui, LIAO Cai-yun, ZHOU Yue, <i>et al.</i> (4458)
Application of Fe ₃ O ₄ /Mulberry Stem Biochar Effects on Soil Arsenic Species and Rice Arsenic Content	RUAN Lin-qiao, LIANG Mei-na, DING Yan-mei, <i>et al.</i> (4468)
Remediation Effect and Mechanism of Biochar in Combination with Nitrogen Fertilizer on Cd-contaminated Paddy Soil	ZHANG Li, LI Ru-xia, HE Yu-lei, <i>et al.</i> (4479)
Effects of Combined Application of Different Nitrogen Fertilizers and Biochar on Cadmium Uptake by Pakchoi (<i>Brassica chinensis</i> L.) in Cadmium Contaminated Soil	LI Ping, NIE Hao, LANG Man, <i>et al.</i> (4489)
Effect of Coconut Fiber Biochar and Its Nitrate Modification on Pb Passivation in Paddy Soils	HOU Zheng-wei, LI Jian-hong, LI Cai-sheng, <i>et al.</i> (4497)
Effects of Biochar Application on Physicochemical Properties and Bacterial Communities of Microplastic-contaminated Calcareous Soil	RAN Tai-shan, LONG Jian, LIAO Hong-kai, <i>et al.</i> (4507)
Effects of Modified Biochar-Supported Zero-Valent Iron on the Removal of Trichloroethylene and Responses of Microbial Community in Soil	LU Hai-nan, LI Peng, GUO Lin, <i>et al.</i> (4519)
Effects of Modified Distiller's Lees Biochar on Nutrients and Enzyme Activities in Purple Soil	YOU Le-lin, XIE Yong-hong, WANG Zi-fang, <i>et al.</i> (4530)
Biochar or Straw Substituting Chemical Fertilizer Increase the Risk of Phosphorus Loss in Subsurface Runoff in Sloping Farmland	LAI Jia-xin, DENG Hua, ZHU Hao-yu, <i>et al.</i> (4541)
Carbon Loss During Preparation and Aging of Sludge Livestock Manure Biochars	ZHANG Ying, ZHANG Chang-hao, ZHANG Xiu-fang, <i>et al.</i> (4554)
Effect of Chemical Fertilizer and Manure Combined with Biochar on Denitrification Potential and Denitrifying Bacterial Community in Rhizosphere Soil	XIE Jun, WANG Zi-fang, WANG Ying-yan, <i>et al.</i> (4565)
Soil Bacterial Community Structure and Function Prediction of Millet/Peanut Intercropping Farmland in the Lower Yellow River	LIU Zhu, NAN Zhen-wu, LIN Song-ming, <i>et al.</i> (4575)
Effects of Microbial Fertilizer on Physicochemical Properties and Bacterial Communities of Saline Soil Under Brackish Water Irrigation	LIU Yue, YANG Shu-qing, ZHANG Wan-feng, <i>et al.</i> (4585)
Remediation of Petroleum-contaminated Soil by Highly Efficient Oil-degrading Bacteria and Analysis of Its Enhancement Mechanism	YAO Zhen-xian, WANG Li-ping, LI Dan, <i>et al.</i> (4599)
Impacts of Land Use Intensification Level on Fluvio-aquic Cropland Soil Microbial Community Abundance and Necromass Accumulation in North China	LI Sheng-jun, SHENG Mei-jun, LI Gang, <i>et al.</i> (4611)
Pathway and Policy for China's Provincial Carbon Emission Peak	MIAO An-kang, YUAN Yue, WU Han, <i>et al.</i> (4623)
Carbon Offsetting Mechanism of China Province Based on Carbon Reduction Cost	ZHONG Shi-yu, ZHANG Xiao-min, WU Jia, <i>et al.</i> (4637)
Analysis on Change in Soil Organic Carbon Content of Farmland in Yangtze River Economic Belt Under Different Fertilizing Measures	LIU Xin-yu, LU Jiang, MENG Xuan, <i>et al.</i> (4647)
Multi-scenario Land Use Optimization and Carbon Storage Assessment in Northwest China	CHEN Ning, XIN Cun-lin, TANG Dao-bin, <i>et al.</i> (4655)
Analysis and Simulation of the Spatiotemporal Evolution of Habitat Quality and Carbon Storage in the Weibei Dry Plateau Region of Shaanxi	GU Zhen-wei, LIU Jing, CHEN Yi, <i>et al.</i> (4666)
Impact of Climate Warming on Paddy Soil Organic Carbon Change in the Sichuan Basin of China	LI Ai-wen, SONG Liang-ying, RAN Min, <i>et al.</i> (4679)
Stoichiometric Imbalance of Abandoned Grassland Under Precipitation Changes Regulate Soil Respiration	WANG Jia-yi, WANG Xing, WANG Yuan-zhuo, <i>et al.</i> (4689)
Effects of Water-salt Environment on Freshwater Wetland Soil C, N, and P Ecological Stoichiometric Characteristics in the Yellow River Estuary Wetland	QIN Ji-fa, ZHANG Jia-peng, SANG Luan, <i>et al.</i> (4698)
Spatial Distribution of Soil Heavy Metals and Regional Control Strategies in China at Province Level	SHI Hang-yuan, WANG Peng, ZHENG Jia-tong, <i>et al.</i> (4706)
Comprehensive Review on Environmental Biogeochemistry of Nonylphenol and Suggestions for the Management of Emerging Contaminants	HONG Ya-jun, FENG Cheng-lian, XU Da-yong, <i>et al.</i> (4717)
Research Progress on Distribution Characteristics and Formation Mechanisms of Microplastics in the Environment	ZHANG Long-fei, LIU Yu-huan, RUAN Rong-sheng, <i>et al.</i> (4728)
Review on the Long-term and Short-term Effects of Biochar Addition on Soil Greenhouse Gas Emissions	ZHOU Yong-chun, WU Liu-lin, LI Dan-ying, <i>et al.</i> (4742)
Iron-based Bimetallic Catalysts for Persulfate Activation to Remove Antibiotics in Water: A Review	WEI Jian, ZHANG Xin-yi, GUO Zhuang, <i>et al.</i> (4751)
Analysis of the Environmental Risk of Livestock Manure Pollution and Resource Treatment Technology	AN Jing, DING Zi-ming, GAO Cheng-cheng, <i>et al.</i> (4764)