

2000—2023 年吉林省黑土核心保护区撂荒耕地 遥感监测及水土保持效应

冯馨慧, 姜海玲, 于海淋, 孙玺皓, 王静怡, 付珈宁

(吉林师范大学 地理科学与旅游学院, 吉林 四平 136000)

摘要: [目的] 分析吉林省黑土核心保护区 2000—2023 年撂荒耕地时空分布, 阐明导致耕地撂荒现象的主要驱动因素, 评估撂荒耕地的水土保持效应, 为相同区域撂荒耕地遥感监测与水土保持效应研究提供理论依据。[方法] 依托谷歌地球引擎(Google Earth Engine, GEE)平台, 利用 Landsat 长时序影像, 结合多维度特征, 耦合随机森林及 LandTrendr 变化检测方法, 获取研究区撂荒耕地时空分布范围, 并利用地理探测器对其主要驱动因素进行分析。基于 AHP-EM-乘积归一化组合赋权法对撂荒耕地水土保持效应进行综合评估。[结果] ①基于 RF-LT 模型获取研究区撂荒耕地总体精度大于 85%, kappa 系数不低于 0.8, 分类精度较高, 整体分类效果好。②撂荒耕地面积总体呈现先上升后波动下降的趋势, 在 2013 年达到峰值(459 km²)。在空间分布上, 整体呈现先增加再减少、最后局部增加的趋势, 撂荒耕地分布较为零散。③夜间灯光强度、地块平均面积和高程对耕地撂荒的解释力较高, q 值均超过 0.4。坡度与地块平均面积交互作用最为突出, q 值为 0.997。④研究区 5, 10, 15, 20, 20 a 以上的撂荒耕地水土保持效应综合得分分别为 0.388 6, 0.477 3, 0.801 4, 0.604 4, 0.443 8 分, 呈先增加后降低的变化趋势。[结论] 在一定年限内, 适度撂荒对水土保持效应具有积极影响, 撂荒地的生态多样性和土壤肥力得以提升。

关键词: 撂荒耕地; 黑土核心保护区; 随机森林; LandTrendr; 水土保持效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2026)02-0225-12

中图分类号: S157, F323.211

文献参数: 冯馨慧, 姜海玲, 于海淋, 等. 2000—2023 年吉林省黑土核心保护区撂荒耕地遥感监测及水土保持效应[J]. 水土保持通报, 2026, 46(2): 225-236. Feng Xinhui, Jiang Hailing, Yu Hailin, et al. Remote sensing monitoring and soil and water conservation effects of abandoned farmland in core black soil protection area of Jilin Province from 2000 to 2023 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2026, 46(2): 225-236.

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2026.02.010

CSTR: 32312.14.stbctb.2026.02.010

Remote sensing monitoring and soil and water conservation effects of abandoned farmland in core black soil protection area of Jilin Province from 2000 to 2023

Feng Xinhui, Jiang Hailing, Yu Hailin, Sun Xihao, Wang Jingyi, Fu Jianing

(College of Geographic Science and Tourism, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China)

Abstract: [Objective] The spatiotemporal distribution of abandoned farmland in the core black soil protection area of Jilin Province from 2000 to 2023 was analyzed, the main driving factors of farmland abandonment were clarified, and the soil and water conservation effects of abandoned farmland are evaluated, in order to provide a theoretical basis for remote sensing monitoring of abandoned farmland and research on soil and water conservation effects in similar regions. [Methods] Based on the Google Earth Engine (GEE) platform and Landsat long-term time-series imagery, this study integrated multidimensional characteristics and combined random forest with LandTrendr change detection method to map the spatiotemporal distribution of abandoned farmland in the study area. Additionally, the key driving factors were analyzed using the geodetector. Finally, a comprehensive evaluation of the soil and water conservation effects of abandoned farmland was conducted using a combination

收稿日期: 2025-09-10

修回日期: 2025-10-31

采用日期: 2025-11-03

资助项目: 国家自然科学基金青年基金项目“全生育期玉米叶面积指数反演的高光谱智能观测模式研究”(41701424); 吉林省科技发展计划项目创新发展战略研究“生态强省视域下吉林省耕地生态安全评价与调控模式研究”(20240701167FG)

第一作者: 冯馨慧(2001—), 女(汉族), 吉林省吉林市人, 硕士研究生, 研究方向为农业遥感。Email: 13019266255@163.com。

通信作者: 姜海玲(1986—), 女(汉族), 吉林省敦化市人, 博士, 教授, 主要从事高光谱遥感基础理论及应用研究。Email: jianghl1107@163.com。

weighting method based on AHP-EM-product normalization. [Results] ① The RF-LT model achieved an overall accuracy greater than 85% and a Kappa coefficient of at least 0.8, indicating high classification accuracy and good overall performance. ② The area of abandoned farmland initially increased and then experienced a fluctuating decline after peaking at 459 km² in 2013. Spatially, it first increased then decreased, and finally showed local increases, with relatively scattered distribution of abandoned farmland. ③ Night-time light intensity, average parcel area, and elevation had high explanatory power for farmland abandonment, with q-values all exceeding 0.4. Furthermore, the interaction between slope and average parcel area was the most significant, with a q-value of 0.997. ④ The comprehensive scores of soil and water conservation effects for abandoned farmland in the study area with abandonment durations of 5, 10, 15, 20, and over 20 years were 0.388 6, 0.477 3, 0.801 4, 0.604 4, and 0.443 8, respectively, showing an initial increase followed by a decrease. [Conclusion] The moderate abandonment within a certain period has a positive impact on soil and water conservation, specifically reflected in the improvement of ecological diversity and soil properties.

Keywords: abandoned farmland; core black soil protection area; random forest; LandTrendr; soil and water conservation effects

耕地资源是保障粮食安全、生态平衡以及可持续经济和社会发展的基石^[1]。中国共产党第二十次全国代表大会报告指出,必须全方位夯实粮食安全根基,牢牢守住1.20×10⁶ km²(18亿亩)耕地红线。然而,受经济、社会、生态等多重因素影响,耕地撂荒现象依旧存在,需要正确看待耕地撂荒现象,并提出针对性的应对策略^[2]。吉林省作为农业大省,在维护国家粮食安全方面有着重要地位,为中国经济可持续发展和国家粮食安全提供有力保障^[3]。但部分地区由于务农机会成本上升,土地边际化,农业劳动力不足等因素影响,致使耕地撂荒现象依旧存在。耕地撂荒会引发植物群落更迭,土壤侵蚀加剧,碳存储变化以及景观格局与生物多样性变化等一系列生态演变^[4-5]。

耕地撂荒现象作为农业地区的一种常见现象,在全球范围内广泛存在,已逐渐发展成为重要研究议题^[6]。近年来,学者对撂荒耕地的遥感监测、耕地撂荒的影响因素、水土保持效应等方面展开研究。在撂荒耕地遥感监测方面,夏玉松等^[7]基于决策树与NDVI时序变化检测法,提取重庆市巫山县撂荒地信息;欧阳许童等^[8]基于时间序列数据集分别利用支持向量机和随机森林法识别撂荒耕地,结果显示时间序列数据有助于提升撂荒地识别精度;Wei Zhonghui等^[9]利用多源遥感数据,结合随机森林和植被指数变化检测法,提取河北鹿泉区撂荒耕地。谷晓天等^[10]基于Landsat 8影像数据,结合人工神经网络、决策树、支持向量机等方法进行土地利用信息提取。综合学者的研究发现,针对撂荒耕地提取还存在依赖影像分辨率、特征参数选取单一等问题,在方法的选择上具有一定的局限性。在耕地撂荒的主要影响因素方面,Han Ze等^[11]利用多层次模型法分析了贵广喀斯特山区的耕地撂荒原因,结果表明撂荒耕地的空间分异可

能受环境影响,而社会经济条件则是撂荒时序变化的主导因素。王亚辉等^[12]以“格局-动因-影响-调控”为框架,从自然、社会、政策等方面,对梯田撂荒的驱动因素开展了多角度分析。程宪波等^[13]利用多元线性回归方法,定量分析耕地撂荒率与多维度影响因素间的关系。此外,还有学者围绕撂荒耕地的水土生态效应进行研究,李澳等^[14]研究了降雨类型下各土地利用类型的减流减沙效益和产流产沙规律,结果表明撂荒地不同降雨类型下水土保持效果均最差。王铁浩等^[15]利用“空间代替时间”的方法,得出对撂荒地进行生态恢复可有效缓解水土流失。因此,构建撂荒耕地识别模型,探讨其驱动因素,并探究耕地撂荒对耕地水土保持效应的影响,可为区域耕地资源保护与规划提供科学依据。

目前,针对中国黑土区的研究多侧重于农田土壤质量退化评价^[16]、耕地非粮化^[17]、撂荒对黑土土壤有机碳组分影响^[18],对撂荒后的水土保持效应缺乏量化的监测及评估。吉林黑土区作为中国重要的粮食生产基地,近年来,耕地撂荒现象仍存在,加之黑土退化问题加剧,严重威胁粮食安全。本研究基于GEE遥感云平台,以黑土核心保护区为研究区,利用Landsat卫星数据构建时间序列数据集,通过随机森林算法获取1999—2024年的时间序列耕地概率集,耦合LandTrendr算法得到2000—2023年撂荒耕地的时空分布情况,揭示耕地撂荒的驱动因素,阐明耕地撂荒所引发的水土保持变化特征,以为区域耕地保护和生态文明建设提供参考。

1 研究区概况

本研究依据《吉林省黑土地保护总体规划(2021—2025年)》确定黑土核心保护区,主要包括长春市、

四平市(不含双辽)、辽源市、吉林市(市辖区)和永吉县,该区域地处吉林省中部平原区,地势由东南向西北倾斜,呈现出东南高、西北低的特征,属于松花江流域和辽河流域。研究区以种植业为主,主产玉米、大豆、水稻等。土壤类型涵盖黑土、黑钙土、草甸土、白浆土、暗棕壤、棕壤等,其腐殖质层深厚,有机质含量较高,含有大量植物生长所必需的氮、磷、钾等矿物质元素,保水保肥能力强,有利于农作物生长。气候类型为北温带大陆性季风气候,夏季温暖湿润,冬季寒冷少雪(图1)。

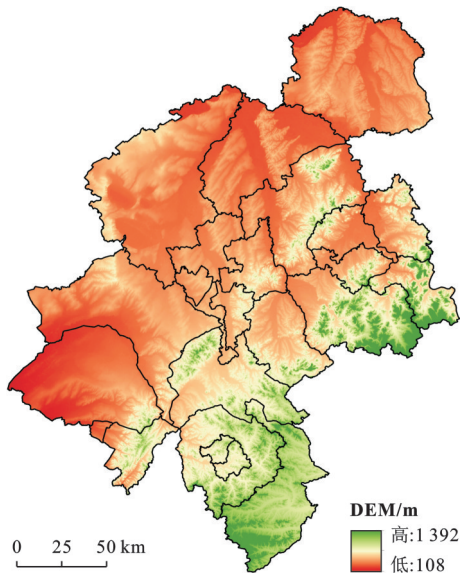


图1 吉林省黑土核心保护区地形
Fig.1 Topography of core black soil protection area in Jilin Province

研究区土地资源较为丰富,是吉林省粮食和经济作物的主要产区。但由于早期对土地整治与保护的忽视,一些区域的水土流失和草场退化日趋严重,土地资源质量随之下降。此外,劳动力流失及经济效益低下,导致部分耕地出现撂荒现象。

2 数据与方法

2.1 数据来源

2.1.1 遥感影像数据

本研究中使用的遥感数据为GEE平台提供的1999—2010年Landsat 5 TM影像、2011—2013年Landsat 7 ETM影像和2014—2024年Landsat 8 OLI影像。吉林省农作物成熟时间主要集中在夏季,因此选择夏季的Landsat数据作为数据源,有利于区分有作物耕地与撂荒耕地。考虑到夏季云量较大,可能对遥感影像产生影响,导致分类结果不准确,因此利用遥感影像的“CLOUD_COVER_LAND”属性对

云进行剔除,选取云量覆盖小于20%的影像,以保证后续分类结果的准确性。地形数据为GEE平台提供的30 m分辨率SRTMGL1_003数据。

2.1.2 样本点数据

本研究基于中国年度土地覆盖数据集(CLCD, China Land Cover Dataset)进行重分类,将地物划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地以及未利用地6类。将重分类后的时间序列图像叠加分析,多年连续一致的像素视为长期稳定的地物类型。对叠加得到的结果进行分层取样,共获取稳定样本点631个(图2)。在分层取样过程中,设置样本距离大于100 m,以避免过度拟合。随后,结合Google Earth历史影像以及Landsat原始影像,通过人工目视解译对样本点逐年筛选与补充,增加未覆盖到的地类样本点,确保样本点在研究区内均匀、随机分布,最终获取1999—2024年样本点共19 314个,其中耕地样本6 638个,林地样本4 329个,草地样本1 264个,水域样本2 725个,建设用地样本3 786个,未利用地样本572个。

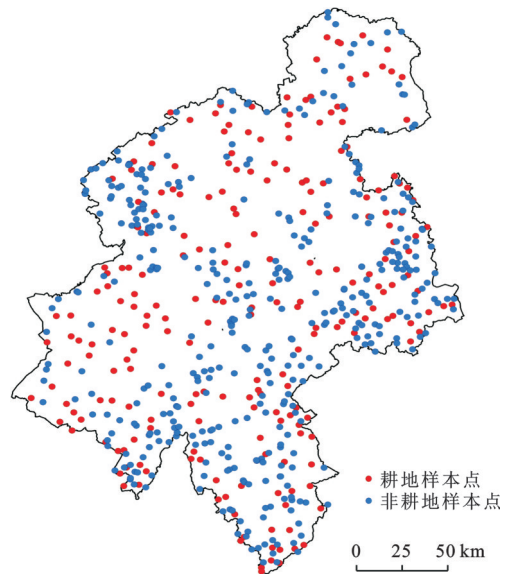


图2 稳定样本点分布图
Fig.2 Distribution map of stable sample points

2.1.3 其他数据

人均GDP、城镇化率、人口自然增长率和农业机械总动力数据来源于国家统计局(<https://www.stats.gov.cn/>)、吉林省统计局(<http://tjj.jl.gov.cn/zwgk/>)和各市统计年鉴。共收集2000—2023年吉林省核心黑土区24个区(县)的人均GDP、城镇化率、人口自然增长率以及农业机械总动力等数据,用于地理探测器分析。水土保持评价指标数据源自国家青藏高原科学数据中心(<https://data.tpc.ac.cn/>)。

2.2 研究方法

2.2.1 基于 RF-LT 的撂荒耕地监测

(1) 多维度分类特征构建。为有效提高分类精度,选取有助于区分不同地类的特征因子,包括光谱特征、植被特征、纹理特征和地形特征。①光谱特征因子:选取 Landsat 系列遥感影像数据中的 6 个波段 (Blue, Green, Red, Nir, SWIR1, SWIR2), 计算每个波段的最大值、最小值和平均值,作为耕地分类特征的原始光谱特征参与后续特征优选与分类。②植被特征因子:在光谱特征的基础上选取归一化植被指

数 (NDVI)、增强植被指数 (EVI)、改进的归一化水体指数 (MNDWI) 以及改良的土壤调整植被指数 (MSAVI), 以每个植被指数的最大值、最小值和平均值作为植被特征,计算公式及说明见表 1。③纹理特征因子:纹理特征是提升地物识别能力的主要特征之一^[19]。选择能量、熵、对比度、均匀性、相关性、方差、和平均值、和方差、和熵、差异方差、差异熵、相关信息度量、最大相关系数以及 GEE 提供的差异、惯性、阴影和簇突出度,共计 18 个统计量作为初选纹理特征因子。④地形特征因子:包括坡度与海拔。

表 1 植被特征公式及说明

Table 1 Vegetation characteristic formulas and explanations

植被指数	公式	说明
NDVI	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$	有效反映植被长势与覆盖度,但对高植被区灵敏度较低
EVI	$EVI = 2.5 \times [(NIR - RED) / (NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE + 1)]$	引入蓝波段,强化对植被的响应,并对土壤背景和气溶胶散射效应进行校正
MNDWI	$MNDWI = (GREEN - SWIR) / (GREEN + SWIR)$	用于提取影像中的水体信息,有助于区分水体与地表
MSAVI	$MSAVI = [2 \times NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 + 8 \times (NIR - RED)}] / 2$	降低土壤对植被监测工作的影响,更适合于撂荒耕地的提取

注:NIR为近红外波段;RED为红波段;BLUE为蓝波段;GREEN为绿波段;SWIR为短波红外波段。

初选特征(50个)全部参与分类会加大分类器负担,降低分类精度。因此,通过随机森林算法对特征重要性进行排序。

筛选后,选取 30 个光谱特征、3 个纹理特征以及 2 个地形特征,共计 35 个特征参与后续分类(详见表 2)。

表 2 特征优选结果

Table 2 Feature selection results

序号	特征名称	重要性	序号	特征名称	重要性	序号	特征名称	重要性
1	Blue_max	205	13	Swir1_max	182	25	MNDWI_max	194
2	Blue_min	175	14	Swir1_min	194	26	MNDWI_min	219
3	Blue_Mean	198	15	Swir1_Mean	202	27	MNDWI_Mean	208
4	Green_max	187	16	Swir2_max	185	28	MSAVI_max	175
5	Green_min	178	17	Swir2_min	177	29	MSAVI_min	176
6	Green_Mean	195	18	Swir2_Mean	202	30	MSAVI_Mean	184
7	Red_max	180	19	NDVI_max	214	31	Corr	206
8	Red_min	191	20	NDVI_min	183	32	Savg	211
9	Red_Mean	200	21	NDVI_Mean	207	33	Shade	183
10	Nir_max	168	22	EVI_max	190	34	Slope	278
11	Nir_min	195	23	EVI_min	168	35	Elevation	282
12	Nir_Mean	194	24	EVI_Mean	171			

(2) RF-LT 撂荒耕地监测模型。随机森林是一个基于集成学习思想的机器学习方法,通过构建多

个决策树预测模型,利用 Bootstrap 重抽样从原始集中抽取多个训练样本,通过多数投票的方式得出最

终分类结果,其分类精度较高,稳定性较强,不易出现过拟合现象^[20-21]。本研究在进行分类时发现,将随机森林树设置为100时效果最佳,因此本研究使用100作为树数目。

LandTrendr时间序列算法是Kennedy等^[22]提出的一种方法,它是基于像素的时间序列分析。通过对多年时间序列趋势进行分段线性拟合,对变化过程进行假设,不断寻找潜在的顶点进一步分割,最终模型中得到的断点就是土地覆盖类型发生变化的转折点,LandTrendr参数设置如表3。

表3 LandTrendr参数设置

Table 3 Design of LandTrendr parameters

参数	参数值
最大细分	10.00
峰值阈值	0.90
最大顶点数	3.00
恢复阈值	0.25
阈值	0.05
最佳模型比例	0.75
最小观察年份	2.00

2.2.2 驱动力分析

耕地撂荒是一个复杂的过程,不仅要注重单因子对撂荒的影响,还要关注多个因子的交互作用^[23]。地理探测器作为一种研究空间分异性、识别影响因素与其交互关系的高效工具,可以分析自变量与因变量间的关联性^[24]。

本研究采用因子探测和交互探测方法,识别研究区内耕地撂荒的主要影响因素以及各因子间交互作用特征。

参考现有研究^[25-26],综合考虑自然条件、社会经济条件和农业生产条件,从3个维度构建耕地撂荒的影响因素指标体系(表4),共选取8个指标,其中自然因素包括高程(X_1)、坡度(X_2),社会经济因素包括人均GDP(X_3)、城镇化率(X_4)、人口自然增长率(X_5)、夜间灯光强度(X_6),农业生产条件包括农业机械总动力(X_7)、地块平均面积(X_8)。

2.2.3 撂荒耕地水土保持效应评价

(1) 指标体系构建。指标选取遵循系统性(systematicness)、特定性(specificity)、层次性(hierarchy)、独立性(independence)和可操作性(operability)原则^[27],并在以往研究的基础上,结合研究区实际情况,以土壤性质、土壤肥力和生态多样性为准则层,以土壤含砂量、土壤pH值、有机质含量等

8个指标为指标层,建立撂荒耕地水土保持效应评价指标体系(表5)。

表4 耕地撂荒影响因素指标体系

Table 4 Indicator system for influencing factors of farmland abandonment

维度	二级指标	单位
自然条件	高程(X_1)	km
	坡度(X_2)	(°)
社会经济条件	人均GDP(X_3)	元
	城镇化率(X_4)	%
	人口自然增长率(X_5)	%
农业生产条件	夜间灯光强度(X_6)	Lm/m ²
	农业机械总动力(X_7)	万kW
	地块平均面积(X_8)	hm ²

表5 水土保持效应评价指标体系构建

Table 5 Construction of evaluation indicator system for soil and water conservation effects

目标层	准则层	指标层	指标属性
生态效应评价 撂荒耕地水土保持	土壤性质(B_1)	土壤含砂量(C_1)	-
		土壤pH(C_2)	-
	土壤肥力(B_2)	有机质含量(C_3)	+
		土壤总氮(C_4)	+
		土壤总磷(C_5)	+
		土壤总钾(C_6)	+
	生态多样性(B_3)	植被覆盖度(C_7)	+
		景观多样性(C_8)	+

(2) 指标权重确定。

①层次分析法(AHP)。该方法是基于专家打分的主观赋权法。通过专家打分将判断矩阵中的各项指标进行两两比较,并构建判断矩阵。采用几何平均值法计算准则层指标权重(表6)。

表6 层次分析法指标判断矩阵

Table 6 Judgment matrix for AHP indicators

准则层	土壤性质(B_1)	土壤肥力(B_2)	生态多样性(B_3)
土壤性质(B_1)	1	3	2
土壤肥力(B_2)	1/3	1	1/3
生态多样性(B_3)	1/2	3	1

借助SPSSAU软件进行一致性检验,得到最大特征根为3.054,CI值为0.027,根据RI表查询到对应的RI值为0.52。 $CR=CI/RI=0.052<0.1$,通过一致性检验,证明权重无逻辑性错误。

②熵权法(EM)。该方法是一种客观赋权法,主要通过不同指标数据的离散程度来确定指标的权重,进而客观反映指标数据间的差异^[28]。信息熵权越小,说明指标离散程度越大,该指标对综合权重的影响越大。

③乘法合成法。考虑到主观权重与客观权重间结果存在差异,为了权重的稳健性,需要进行主客观组合赋权并综合分析,确保综合权重更加科学直观^[29]。指标体系权重值见表7。

表7 撂荒耕地水土保持效应指标体系权重值

Table 7 Weight values of soil and water conservation effect indicator system for abandoned farmland

准则层	准则权重	目标层	主观权重	客观权重	综合权重
土壤性质(B_1)	0.525	土壤含砂量(C_1)	0.350	0.091	0.275
		土壤pH(C_2)	0.175	0.093	0.140
		有机质含量(C_3)	0.066	0.236	0.134
土壤肥力(B_2)	0.142	土壤总氮(C_4)	0.042	0.131	0.047
		土壤总磷(C_5)	0.021	0.101	0.018
		土壤总钾(C_6)	0.014	0.086	0.010
		植被覆盖度(C_7)	0.249	0.131	0.281
生态多样性(B_3)	0.333	景观多样性(C_8)	0.083	0.131	0.094

组合权重计算公式为

$$W_i = \frac{\alpha_i \times \beta_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \times \beta_i} \quad (1)$$

式中: W_i 为组合权重; α_i 为层次分析法计算得出的权重; β_i 为熵权法计算得出的权重。

由表7可知,层次分析法计算得出的主观权重中,土壤含砂量的权重最大,排序为第1,其次为植被覆盖度和土壤pH;熵权法计算得出,有机质含量权重最大;综合权重结果表明,植被覆盖度综合权重最大,其变化与耕地撂荒驱动因素有关。

3 结果与分析

3.1 耕地概率分类

在地物概率分类时,若地块属于某一类,则可能性概率越接近于1,相反,若地块不属于某一类,那么可能性概率越接近于0。基于RF生成每年的耕地概率图(图3),可以看出,2000—2023年耕地高概率区主要分布在研究区西北部,在东部高海拔地区分布较少。西南部等边缘地带耕地概率由低概率逐渐过渡为高概率,可能与近年来的耕地保护政策有关,使得耕地识别度提升。同时,研究区中部非耕地区域扩张明显,城市化进程速度加快。

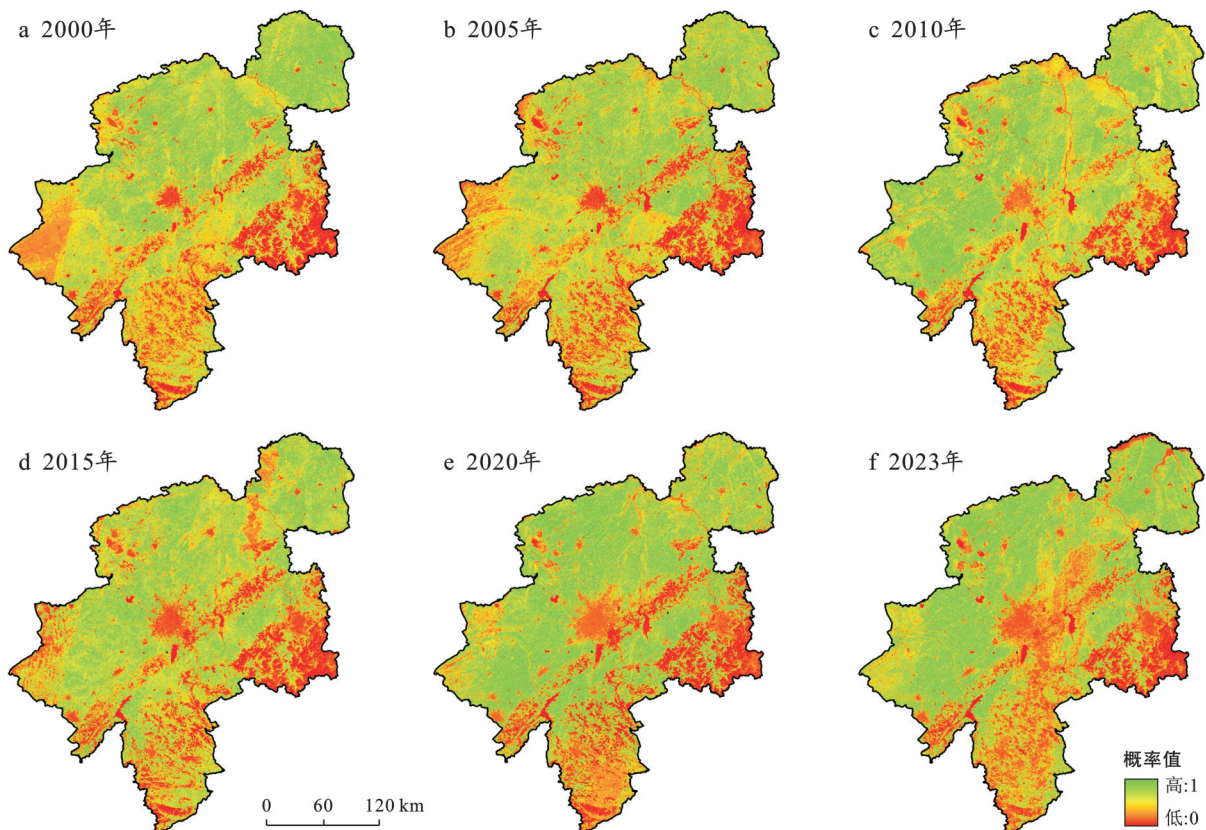


图3 2000—2023年研究区耕地概率分类结果

Fig.3 Classification results of farmland probability at study area during 2000—2023

3.2 撂荒耕地时空分布特征

撂荒地面积变化分为3个阶段(图4)。2000—2009年,在农业税取消前(2004年),耕种效益低加之农村劳动力向城市转移,因此弃耕现象较为严重。2004年开始实行种粮农民直接补贴,持续加大了对农业生产的支持与保护力度,撂荒耕地面积随之减少;2010—2014年,撂荒耕地面积在2013年到达峰值(459 km²),此后,随着黑土地保护工程与农业补贴改革的推进,撂荒趋势逐步得到控制;2015—2023年,撂荒地面积呈下降趋势,这一变化得益于政府不断加强对耕地的保护措施,以及吉林省在2018年颁布实施的全国第一部黑土地保护地方性法规《吉林省黑土地保护条例》,为黑土地保护提供法律保障,改善了耕地质量与种植效益,实施保护性耕作。

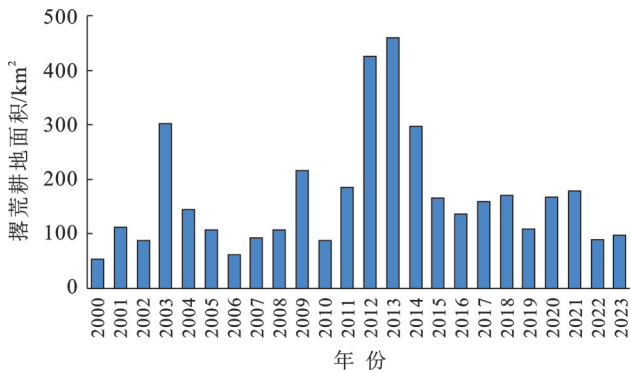


图4 2000—2023年研究区撂荒耕地面积

Fig.4 Area of abandoned farmland in study area (2000—2023)

2000—2023年,撂荒地面积呈现先增加再减少、最后局部增加的趋势。撂荒耕地分布较为零散,这也是其无法得到充分利用的重要原因之一。图5表明,2000,2005年撂荒耕地主要分布在研究区中部及东部海拔较高地区,其通达度不佳使得耕作成本上升,间接导致耕地撂荒;2010,2015年撂荒地面积明显减少;2020,2023年局部地区撂荒耕地面积有所增加,主要集中在研究区南部的东丰县,这一现象可能是由于辽源市编制出台了《百万亩造林工程总体规划(2019—2023)》,提出力争用4~5 a时间,完成百万亩造林工程建设,通过生态修复,扭转水环境质量持续恶化的趋势,东丰县积极响应,将6°以上坡耕地转化为林地。

以2023年为例,撂荒耕地面积97 km²,土地利用转移矩阵(表8)显示,转为林地的面积(19.64 km²)明显高于其他用地类型,这一结果与近年来实施的“百万亩造林工程”在时间与地理分布上高度契合,印证了该生态工程是驱动耕地向林地转化的关键政策因素。

表8 2023年撂荒耕地转移矩阵

Table 8 Transition matrix of abandoned farmland (2023)

生态景观类型	转移面积/km ²
撂荒耕地	70.88
林地	19.64
草地	0.53
水域	3.64
建设用地	2.01
未利用地	0.30

在像元尺度上,基于LandTrendr方法对研究区撂荒耕地进行遥感监测,得到撂荒耕地与稳定耕地像素的时序算法拟合结果(图6)。

为验证撂荒耕地提取精度,采用GEE云平台的混淆矩阵精度评价系统,计算总体分类精度、生产者精度、用户精度、kappa系数,对研究区2000—2023年的分类结果进行精度检验(表9)。结果表明,分类总体精度为0.87~0.92,生产者精度为0.73~0.91,用户精度为0.88~0.94,kappa系数为0.82~0.89,分类精度较好,表明基于RF-LT分类法结合Landsat系列影像数据能够满足研究区地物分类识别。

3.3 耕地撂荒驱动力分析

3.3.1 单因子探测

研究结果(表10)表明,高程、夜间灯光强度和地块平均面积对耕地撂荒影响显著,成为主导因素, q 值均超过0.4。相比之下,人口自然增长率和农业机械总动力的解释力始终较低,人均GDP的解释力逐年下降。

3.3.2 交互因子探测

交互探测结果显示(图7),2000年,坡度与地块平均面积交互作用最为显著,表明细碎地块导致耕作效率低、成本高,易形成“撂荒—劳动力流失”的恶性循环;2005年,城镇化率与地块平均面积交互作用显著增强,表明社会经济与农业生产条件对耕地撂荒的协同影响;2010年,坡度、人均GDP与地块平均面积解释力较高,反映了自然与社会经济条件的双重作用影响耕地撂荒;2015年,单一因子中解释力较弱的人口自然增长率与坡度交互后解释力大幅提升,表明劳动力流失结合坡耕地耕作难度大的特点,进一步加剧了撂荒现象;2020年,高程与坡度交互最为突出,两因子不仅代表地形垂直变化,还关联气候、生态、土壤等多重环境因素,综合影响耕地撂荒;2023年,人口自然增长率与夜间灯光强度解释力较强,成为影响耕地撂荒的主导交互因子。



图 5 2000—2023 年撂荒耕地空间分布

Fig.5 Spatial distribution of abandoned farmland (2000—2023)

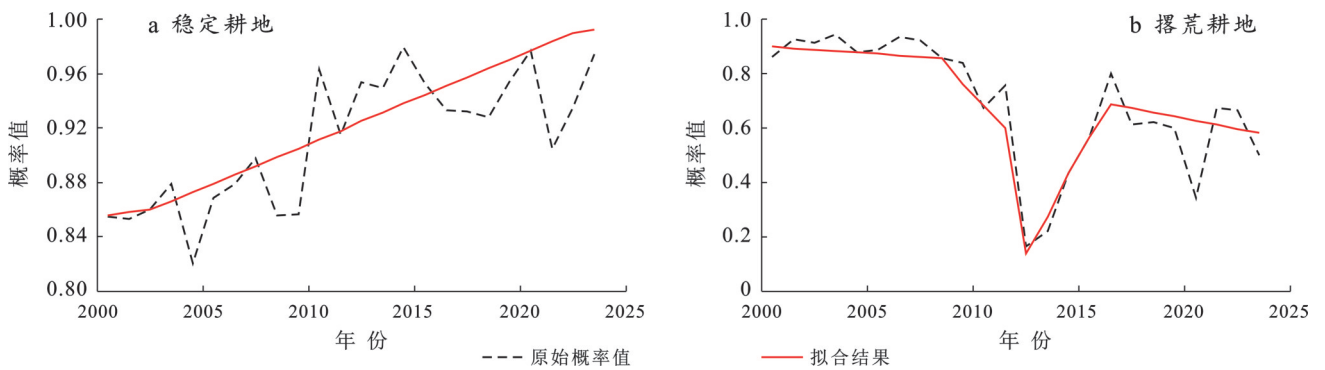


图 6 撂荒耕地像素与稳定耕地像素的时序算法拟合结果

Fig.6 Time-series algorithm fitting results of abandoned farmland pixels and stable farmland pixels

表9 混淆矩阵精度评价

Table 9 Confusion matrix accuracy evaluation

年份	OA	PA	UA	kappa	年份	OA	PA	UA	kappa
2000	0.92	0.86	0.93	0.89	2012	0.88	0.86	0.94	0.85
2001	0.87	0.75	0.91	0.82	2013	0.88	0.77	0.94	0.84
2002	0.90	0.77	0.94	0.86	2014	0.89	0.84	0.91	0.85
2003	0.91	0.86	0.93	0.87	2015	0.90	0.91	0.92	0.86
2004	0.91	0.84	0.90	0.88	2016	0.89	0.81	0.92	0.85
2005	0.90	0.85	0.91	0.87	2017	0.88	0.80	0.93	0.84
2006	0.89	0.79	0.88	0.85	2018	0.88	0.78	0.93	0.84
2007	0.89	0.88	0.93	0.85	2019	0.87	0.73	0.93	0.83
2008	0.90	0.79	0.91	0.87	2020	0.87	0.79	0.93	0.83
2009	0.90	0.83	0.92	0.87	2021	0.88	0.76	0.92	0.84
2010	0.88	0.89	0.92	0.84	2022	0.89	0.78	0.93	0.85
2011	0.90	0.86	0.91	0.86	2023	0.90	0.83	0.92	0.86

表10 2000—2023年耕地撂荒驱动因素探测结果

Table 10 Detection results of driving factors of farmland abandonment (2000—2023)

影响因素	影响因子	q值					
		2000年	2005年	2010年	2015年	2020年	2023年
自然条件	高程	0.494	0.781	0.639	0.683	0.777	0.571
	坡度	0.889	0.668	0.422	0.137	0.639	0.914
社会经济条件	人均GDP	0.965	0.784	0.277	0.101	0.122	0.084
	城镇化率	0.391	0.376	0.435	0.572	0.463	0.360
	人口自然增长率	0.063	0.094	0.029	0.321	0.222	0.311
	夜间灯光强度	0.678	0.559	0.909	0.988	0.961	0.917
农业生产条件	农业机械总动力	0.279	0.369	0.383	0.348	0.497	0.194
	地块平均面积	0.984	0.985	0.974	0.459	0.629	0.717

3.4 水土保持效应综合评价结果

由表11可知,撂荒耕地水土保持效应综合得分随撂荒年限的增加总体呈上升趋势,表明撂荒耕地对于水土保持效应有一定积极作用,主要体现在生态多样性和土壤肥力的改善。然而,当撂荒年限超过15 a后,水土保持效应综合得分有所下降,但仍高于撂荒5 a的评价得分。

4 讨论

本研究采用随机抽样与目视解译相结合的方式获取、优化样本点数据,综合多维度特征获取耕地概率,基于LandTrendr变化监测提高撂荒耕地的识别精度。在此基础上,从自然、社会经济、农业生产等多维度出发,探究耕地撂荒驱动因素,为提高耕地质量提供参考。现有研究多集中于撂荒监测、时空变化与驱动力分析等,对于水土保持效应方面的研究较少。

本研究以吉林省核心黑土区为例,从土壤性质、土壤肥力和生态多样性方面构建评价指标体系,采用主客观结合的AHP-EM-乘积归一化组合赋权法,降低主观性的影响,增强试验可信度,为区域撂荒耕地的监测与水土保持效应评价提供参考方法。

本研究仅围绕水土保持效应评价展开研究,评价结果并非支持耕地撂荒,旨在量化耕地撂荒后,土壤性质、肥力和生态多样性等条件发生的变化,为后续耕地管理提供最优策略。耕地作为保障粮食安全、维系生态平衡的基石,在之后的研究中,应系统评估耕地在粮食生产和水土保持等多维功能中的综合表现,通过多目标权衡,确定最优耕地管理策略,推动其合理布局及科学规划。

本研究还存在一些不足:①RF-LT模型总体分类效果较好,但仍存在撂荒地误判的情况,由于时间限制并未进行实地检验,在后续的研究中需结合实地验证以增强科学性。②驱动因子量化难度较

大,指标体系尚不完善,未充分考虑政策与人文因素。③水土保持效应分析未与耕作耕地进行对比,

结论较为局限。未来应综合生态恢复、农业生产和土地管理政策等,开展更全面的研究。

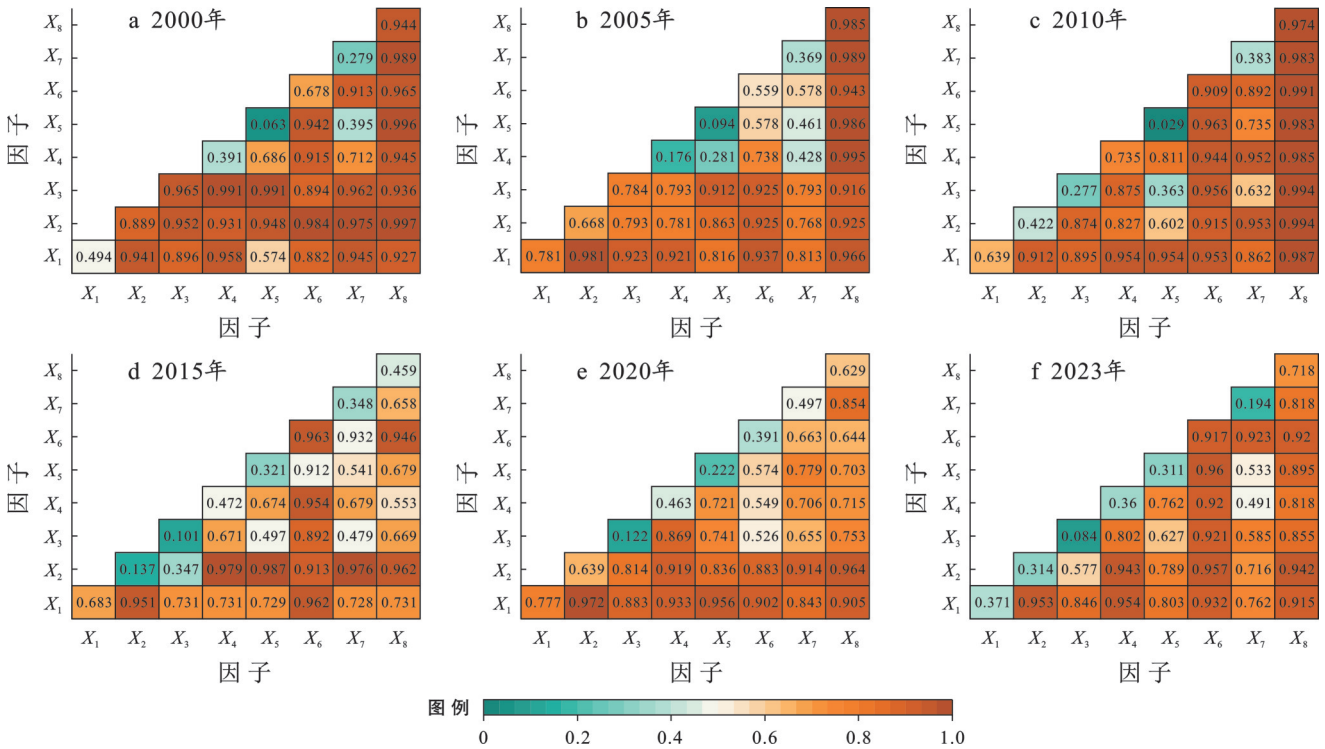


图7 因子交互探测热力图

Fig.7 Heatmaps of factor interaction detection

表 11 撂荒耕地水土保持效应评价结果

Table 11 Evaluation results of soil and water conservation effects of abandoned farmland

评价指标	不同撂荒年限水土保持效应				
	5 a	10 a	15 a	20a	20 a以上
土壤性质	0.293 4	0.382 0	0.325 4	0.402 3	0.000 4
土壤肥力	0.024 7	0.074 1	0.121 9	0.009 2	0.208 7
生态多样性	0.070 6	0.021 2	0.354 1	0.192 9	0.234 6
综合	0.388 6	0.477 3	0.801 4	0.604 4	0.443 8

5 结论

(1) 基于RF-LT模型获取研究区2000—2023年撂荒耕地,得到撂荒耕地总体分类精度、生产者精度、用户精度、kappa系数,分别大于0.87,0.73,0.88,0.82,分类精度较高,该方法能够较准确地识别撂荒耕地,为相同区域撂荒耕地的监测提供高效的方法。

(2) 2000—2023年研究区撂荒耕地面积呈波动变化,在2013年到达峰值后下降。空间上,整体呈现先增加再减少,最后局部增加的趋势。撂荒耕地分布较为零散,其中,2000—2005年撂荒耕地主要分布在研究区中东部海拔较高地区;2015—2020年撂荒面积明显减少。

(3) 夜间灯光、地块平均面积和高程是耕地撂荒

的主要驱动因子, q 值均大于0.4;坡度、人口自然增长率和地块平均面积与其他因子的交互作用对耕地撂荒的影响程度显著高于其单因子的独立作用。其中坡度与地块平均面积交互作用最为突出, q 值为0.997;其次是人口自然增长率与地块平均面积交互, q 值为0.996;第三是城镇化率与地块平均面积交互, q 值为0.995。

(4) 随着撂荒年限的增加,水土保持效应综合得分呈先增加后降低的趋势,表明在一定年限内,适度撂荒对水土保持效应具有积极影响,生态多样性和土壤肥力有所提升。

参考文献 (References)

[1] Tian Xinyu, Jiang Hailing, Luo Niu, et al. Health assessment and driving force analysis of cropland systems

- in typical black soil region of northeast China from 2003 to 2023 [J]. *Chinese Geographical Science*, 2025, 35(3):564-580.
- [2] 仇焕广,林万龙,于法稳,等.学习贯彻中央农村工作会议精神专家笔谈[J].*农村金融研究*,2025(1):20.
Qiu Huangang, Lin Wanlong, Yu Fawen, et al. Expert discussion on studying and implementing the spirit of the central rural work conference [J]. *Rural Finance Research*, 2025(1):20.
- [3] 廖晓勇,姚启星,万小铭,等.黑土粮仓全域定制模式的理论基础与技术路径[J].*地理学报*,2022,77(7):1634-1649.
Liao Xiaoyong, Yao Qixing, Wan Xiaoming, et al. Theoretical basis and technical path of the regional all-for-one customization model of black soil granary [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022,77(7):1634-1649.
- [4] 易兴松,戴全厚,严友进,等.西南喀斯特地区耕地撂荒生态环境效应研究进展[J].*生态学报*,2023,43(3):925-936.
Yi Xingsong, Dai Quanhou, Yan Youjin, et al. Research progress on the ecological environment effect of farmland abandonment in Karst areas of Southwest China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023,43(3):925-936.
- [5] 董世杰,辛良杰,李升发,等.中国梯田撂荒程度及空间格局分异研究[J].*地理学报*,2023,78(1):3-15.
Dong Shijie, Xin Liangjie, Li Shengfa, et al. The extent and spatial distribution of terrace abandonment in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2023,78(1):3-15.
- [6] 李升发,李秀彬.耕地撂荒研究进展与展望[J].*地理学报*,2016,71(3):370-389.
Li Shengfa, Li Xiubin. Progress and prospect on farmland abandonment [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(3):370-389.
- [7] 夏玉松,周启刚,李辉,等.基于决策树与NDVI时序变化检测的撂荒耕地的地形特征研究:以重庆市巫山县为例[J].*水土保持通报*,2024,44(4):383-393.
Xia Yusong, Zhou Qigang, Li Hui, et al. Topographic characteristics of abandoned farmland based on decision tree and NDVI time series change detection: A case study in Wushan County of Chongqing City [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2024,44(4):383-393.
- [8] 欧阳许童,张璇,李维庆,等.基于Sentinel-2和Landsat卫星时序数据的耕地撂荒识别[J].*测绘通报*,2023(8):57-62.
Ouyang Xutong, Zhang Xuan, Li Weiqing, et al. Abandoned land identification based on Sentinel-2 and Landsat satellite time series images [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2023(8):57-62.
- [9] Wei Zhonghui, Gu Xiaohe, Sun Qian, et al. Analysis of the spatial and temporal pattern of changes in abandoned farmland based on long time series of remote sensing data [J]. *Remote Sensing*, 2021,13(13):2549.
- [10] 谷晓天,高小红,马慧娟,等.复杂地形区土地利用/土地覆被分类机器学习方法比较研究[J].*遥感技术与应用*,2019,34(1):57-67.
Gu Xiaotian, Gao Xiaohong, Ma Huijuan, et al. Comparison of machine learning methods for land use/land cover classification in the complicated terrain regions [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2019,34(1):57-67.
- [11] Han Ze, Song Wei. Spatiotemporal variations in cropland abandonment in the Guizhou-Guangxi Karst mountain area, China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019,238:117888.
- [12] 王亚辉,杨锦蓉,李秀彬,等.梯田撂荒研究进展与展望[J].*地理研究*,2024,43(12):3418-3430.
Wang Yahui, Yang Jinrong, Li Xiubin, et al. Progress and prospects of terrace abandonment research [J]. *Geographical Research*, 2024,43(12):3418-3430.
- [13] 程宪波,高根红,刘琼,等.快速城镇化地区的耕地撂荒空间格局、影响机理与治理路径[J].*农业工程学报*,2022,38(24):218-227.
Cheng Xianbo, Gao Genhong, Liu Qiong, et al. Spatial pattern, causal mechanisms and governance strategies of cultivated land abandonment in rapidly urbanizing areas [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022,38(24):218-227.
- [14] 李澳,于志静,王德富,等.黄土高原地区水土流失对土地利用和降水变化的响应[J].*水土保持学报*,2024,38(4):95-102.
Li Ao, Yu Zhijing, Wang Defu, et al. Response of soil and water loss to land use and precipitation changes on the Loess Plateau [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2024,38(4):95-102.
- [15] 王轶浩,耿养会.三峡库区小流域不同生态恢复阶段的水土流失特征[J].*水土保持学报*,2013,27(4):78-82.
Wang Yihao, Geng Yanghui. Effects of soil and water losses during different ecological restoration stages of small watersheds in Three Gorges reservoir area [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013,27(4):78-82.
- [16] 张娜丽,澹腾辉,郭忠录,等.东北黑土带典型农田土壤质量退化评价[J].*水土保持研究*,2025,32(3):130-139.
Zhang Nali, Tan Tenghui, Guo Zhonglu, et al. Soil quality degradation evaluation of typical farmland in the black soil belt of northeast China [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2025,32(3):130-139.
- [17] 刘洪彬,杜欣雨,董秀茹.东北黑土区耕地非粮化时空

- 分异特征及其驱动机制研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2025, 56(4): 44-55.
- Liu Hongbin, Du Xinyu, Dong Xiuru. Study on the spatial-temporal differentiation and driving mechanism of non-grain cultivation in the black soil region of north-east China [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2025, 56(4): 44-55.
- [18] 周伟, 张运龙, 徐明岗, 等. 长期撂荒对黑土土壤有机碳组分的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(4): 11-18.
- Zhou Wei, Zhang Yunlong, Xu Minggang, et al. Effect of long-term fallow on soil organic carbon fractions in black soil [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2021(4): 11-18.
- [19] Jobanputra R, Clausi D A. Preserving boundaries for image texture segmentation using grey level co-occurring probabilities [J]. Pattern Recognition, 2006, 39(2): 234-245.
- [20] Wang Ming, Mao Dehua, Wang Yeqiao, et al. Annual wetland mapping in metropolis by temporal sample migration and random forest classification with time series landsat data and Google Earth Engine [J]. Remote Sensing, 2022, 14(13): 3191.
- [21] 张昊, 高小红, 史飞飞, 等. 基于 Sentinel-2 MSI 与 Sentinel-1 SAR 相结合的黄土高原西部撂荒地提取: 以青海民和县为例[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(4): 144-154.
- Zhang Hao, Gao Xiaohong, Shi Feifei, et al. Sentinel-2 MSI and Sentinel-1 SAR based information extraction of abandoned land in the western Loess Plateau: A case study of Minhe County in Qinghai [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(4): 144-154.
- [22] Kennedy R E, Yang Zhiqiang, Cohen W B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr: Temporal segmentation algorithms [J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(12): 2897-2910.
- [23] 周丁扬, 吴建桥, 文雯, 等. 粮食主产区河南省耕地撂荒特征与影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2021, 52(8): 127-137.
- Zhou Dingyang, Wu Jianqiao, Wen Wen, et al. Abandonment characteristics and influencing factors of cultivated land abandonment in major crop-producing areas [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(8): 127-137.
- [24] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
- Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.
- [25] 张兆年, 角媛梅, 杨帅琦. 中国南方五大水稻梯田时空变化特征及其驱动机制[J]. 农业工程学报, 2025, 41(1): 288-297.
- Zhang Zhaonian, Jiao Yuanmei, Yang Shuaiqi. Spatio-temporal variation characteristics and driving mechanisms of the five rice terraced heritage sites in Southern China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025, 41(1): 288-297.
- [26] 郭维红, 陈浮, 杨斌, 等. 中国耕地补充与撂荒的空间关系识别及其失衡归因[J]. 中国土地科学, 2024, 38(7): 120-132.
- Guo Weihong, Chen Fu, Yang Bin, et al. Spatial relationship and imbalanced attribution of cultivated land reclamation and abandonment in China [J]. China Land Science, 2024, 38(7): 120-132.
- [27] 李治军, 王涛. 基于改进组合赋权法的区域水资源承载力评价[J]. 中国农村水利水电, 2022(10): 112-118.
- Li Zhijun, Wang Tao. Evaluation of regional water resources carrying capacity based on improved combination weighting method [J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(10): 112-118.
- [28] 赵豫芝, 杨建军. 新疆地区水资源承载力及子系统耦合协调性时空格局[J]. 干旱区研究, 2023, 40(2): 213-223.
- Zhao Yuzhi, Yang Jianjun. Spatio-temporal pattern of water resource carrying capacity, coupling and coordination of subsystems in southern Xinjiang [J]. Arid Zone Research, 2023, 40(2): 213-223.
- [29] Cheng K, Fu Q, Meng J, et al. Analysis of the spatial variation and identification of factors affecting the water resources carrying capacity based on the cloud model [J]. Water Resources Management, 2018, 32(8): 2767-2781.