

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2025.06.030

CSTR:32310.14.stbcbx.2025.06.030

梁琼丹,方怒放.中国近30 a耕地撂荒的时空动态及其驱动因素[J].水土保持学报,2025,39(6):357-368.

LIANG Qiongdan, FANG Nufang. Spatiotemporal dynamics and driving factors of cropland abandonment in China over past three decades [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2025, 39(6):357-368.

中国近30 a耕地撂荒的时空动态及其驱动因素

梁琼丹¹, 方怒放^{1,2}

(1.西北农林科技大学水土保持科学与工程学院,陕西杨凌 712100; 2.西北农林科技大学水土保持与荒漠化整治全国重点实验室,陕西杨凌 712100)

摘要: [目的] 耕地撂荒造成的持续耕地损失和粮食减产问题不容忽视,明确耕地撂荒的空间分布及驱动机制是科学制定耕地保护政策的重要依据。[方法] 结合土地利用轨迹分析、空间相关性分析和地理加权回归模型(GWR),揭示中国近30 a耕地撂荒的时空动态特征,明确撂荒的热点区域,解析撂荒的驱动因素。[结果] 1)1992—2020年,累计562 826 km²的耕地面积经历过撂荒,年平均撂荒面积和撂荒率分别为19 408 km²和1.10%。耕地年撂荒面积和撂荒率总体呈波动上升趋势,2005—2008年上升趋势最为明显,增幅达69%。2017年撂荒面积和撂荒率分别达到30 488 km²和1.76%的历史峰值。2)耕地撂荒面积热点和撂荒率热点数量分别增长40%、59%。其中西南地区已成为撂荒规模与强度同步凸显的热点集中区,而东北地区虽因较大的资源总量成为撂荒面积的热点地区,但其撂荒率并不突出。3)4个自然环境因素和5个社会经济因素的组合可以解释68%的耕地撂荒率分异。坡度(系数平均值=0.50)和夜间灯光指数(系数平均值=-0.30)分别是对撂荒作用强度最大的自然环境和社会经济因素。由于中国地区间资源禀赋的巨大差异,不同地区耕地撂荒的驱动因素存在显著差异。[结论] 中国耕地撂荒现象是自然环境和社会经济因素共同作用的结果,西南山区应作为撂荒治理的重点区域,加强水土流失综合治理并通过土地流转促进耕地集中连片经营。

关键词: 耕地撂荒; 时空动态; 驱动因素; 地理加权回归模型

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2025)06-0357-12

Spatiotemporal Dynamics and Driving Factors of Cropland Abandonment in China over Past Three Decades

LIANG Qiongdan^{1,2}, FANG Nufang^{1,2}

(1.College of Soil and Water Conservation Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2.State Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Control, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The persistent cropland loss and grain yield reduction caused by cropland abandonment cannot be ignored. Clarifying the spatial distribution and driving mechanisms of cropland abandonment is essential for formulating scientific cropland protection policies. [Methods] By integrating land use trajectory analysis, spatial correlation analysis, and geographically weighted regression (GWR) model, the spatiotemporal dynamics of cropland abandonment in China over the past three decades were revealed, hotspots of abandonment were identified, and driving factors were analyzed. [Results] 1) From 1992 to 2020, a total of 562 826 km² of cropland was abandoned, with an annual average abandoned area of 19 408 km² and abandonment rate of 1.10%. The annual abandoned area and abandonment rate of cropland generally exhibited a fluctuating upward trend, with the most significant increase occurring between 2005 and 2008, rising by 69%. In 2017, both the abandoned area and abandonment rate reached historical peaks of 30 488 km² and 1.76%, respectively. 2) The number of hotspots of

收稿日期:2025-04-22

修回日期:2025-05-15

录用日期:2025-07-24

网络首发日期(www.cnki.net):2025-09-28

资助项目:国家自然科学基金项目(42177335);中央高校基本科研业务费项目(2452023071)

第一作者:梁琼丹(1999—),女,硕士研究生,主要从事土壤侵蚀研究。E-mail:qd.liang@nwfufu.edu.cn

通信作者:方怒放(1985—),男,博士,研究员,博士生导师,主要从事土壤侵蚀研究。E-mail:fanf@ms.iswc.ac.cn

http://stbcbx.alljournal.com.cn

abandoned cropland area and abandonment rate increased by 40% and 59%, respectively. Notably, Southwest China has emerged as a concentrated hotspot where both the scale and intensity of cropland abandonment were prominently high, while Northeast China, although a hotspot of abandoned area due to its large cropland resources, did not exhibit a particularly prominent abandonment rate. 3) A combination of 4 natural environmental factors and 5 socioeconomic factors could explain 68% of the spatial variation in the cropland abandonment rates. Slope (mean coefficient=0.50) and nighttime light index (mean coefficient=-0.30) were identified as the most influential natural and socioeconomic factors on abandonment, respectively. Due to significant regional disparities in resource endowments across China, the driving factors of cropland abandonment varied markedly among different regions. [Conclusion] Cropland abandonment in China results from the combined effects of natural and socioeconomic factors. The mountainous areas of Southwest China should be prioritized for abandonment mitigation, emphasizing comprehensive soil and water conservation measures and promoting centralized, contiguous farmland management through land transfer.

Keywords: cropland abandonment; spatiotemporal dynamics; driving factors; geographically weighted regression model

Received: 2025-04-22

Revised: 2025-05-15

Accepted: 2025-07-24

Online(www.cnki.net): 2025-09-28

耕地的可持续利用是保证粮食安全和社会长治久安的重要基石。尽管中国自2015年起年粮食产量稳定突破6.5万亿kg,但人多地少的基本国情依然严峻^[1]。在食物消费升级的背景下,粮食供需平衡仍将长期承压^[2],耕地资源保障凸显重要性。然而,撂荒现象在我国越发普遍,其造成的粮食减产问题已不容忽视。过去30a我国559170km²的耕地发生过撂荒,占耕地总面积的18.59%^[3],撂荒导致的年度粮产损失量可以满足近2000万人粮食需求,且呈逐年上升趋势^[4]。此外,耕地撂荒的频发严重威胁耕地的持续稳定利用。2002—2019年我国新开垦耕地中,至少被撂荒过1次的占比高达45.1%,在部分地区甚至超过60%^[5]。因此,明确耕地撂荒的空间分布信息并解析其驱动机制可为制定科学的耕地保护政策,实现粮食自给提供重要参考。

撂荒机制涉及自然环境和社会经济要素的动态交互过程。自然条件决定作物的适宜性和耕作制度,显著影响着农业经济效益和耕地撂荒风险^[6]。而在社会经济维度上,农业劳动力的流失对撂荒现象具有关键作用^[7]。我国耕地撂荒的驱动机制具有显著的空间差异化特征,其原因主要包括两方面:一方面,巨大的资源禀赋差异使得各地区农业生产的核心制约因素各不相同,导致撂荒限制因素的差异。例如,在西南喀斯特山区,严重的土壤侵蚀问题造成的恶劣耕作条件被证明是该地区耕地撂荒的主导因素^[8]。相对而言,京津冀地区撂荒的影响因素则以气候相关要素为主^[9];另一方面,各地区在国土资源规划和产业发展中的不同定位造成相关政策的差异,导致地区间耕地变化格局的显著差异。以经济发达

的东南沿海地区为例,产业结构转型大幅提升农民进城务工薪资,其导致的农业劳动力转移是该地区耕地撂荒的长期动力^[10];而在生态脆弱的黄土高原地区,生态保护政策引导的退耕还林还草是连片耕地撂荒的主要驱动力^[11]。

解析耕地撂荒机制的空间分异特征是制定科学耕地保护战略重要前提。然而,现有研究多聚焦于局部热点地区,国家尺度的研究数量不足。另外,撂荒驱动机制相关研究多采用全局性分析模型,如地理探测器、二元逻辑回归模型等。因此,目前对撂荒影响因素的空间分异特征尚无清晰认知,多变量在不同空间位置上驱动力的差异也未见量化分析。而地理加权回归模型(GWR)的出现有助于解决这一难题,该模型通过将空间距离函数整合到普通最小二乘法模型(OLS)中,可量化变量在不同空间位置上驱动力的差异,从而揭示影响因素的空间异质性^[12],已被成功用于土地利用变化的驱动机制解析中。

因此,本研究基于长时序耕地数据集,采用土地利用轨迹法逐像元识别1992—2020年中国年度撂荒耕地空间数据,通过全局和局部莫兰指数评估耕地撂荒的空间相关性及其在不同时间阶段内的热点分布格局。最后,基于地理加权回归模型揭示中国耕地撂荒的自然环境和社会经济影响因素,并解析各因素作用的空间异质性。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本研究使用的数据主要包括土地利用数据、自然环境数据以及社会经济数据,主要数据来源见表1。

表 1 数据来源
Table 1 Data sources

数据	来源	空间分辨率	时间
耕地数据	中国年度耕地数据集(China's Annual Cropland Dataset, CACD) ^[13]	30 m	1986—2021 年
SRTM DEM 数据	地理空间数据云(https://data.tpdc.ac.cn)	90 m	2000 年
土壤有机质数据	国家青藏高原数据中心 (https://data.tpdc.ac.cn)	30 弧秒	1980s
气象(降水、气温)数据	气候数据存储网站 (https://cds.climate.copernicus.eu/)	9 km	1992—2020 年
潜在蒸散量数据	国家青藏高原数据中心 (https://data.tpdc.ac.cn)	1 km	1992—2020 年
水库、水坝、湖泊数据	China-LDRL 数据集(https://figshare.com)	30 m	2019 年
河流数据	资源与环境科学数据平台(https://www.resdc.cn)	1 km	2005 年
社会经济数据	《中国社会经济统计年鉴》(https://www.stats.gov.cn/)	—	1999—2020 年
夜间灯光数据	中国“类 DMSP-OLS”夜间灯光遥感数据集(https://data.harvard.edu)	1 km	1992—2020 年
人口统计数据	《中国人口普查年鉴》(https://www.stats.gov.cn/)	—	2000 年、2010 年、 2020 年
高速公路数据	开放街道地图(https://www.openstreetmap.org)	—	2014—2020 年

CACD 的发布者比较了该数据集与现有的 4 个土地覆盖数据集的耕地分类精度。这些土地覆盖数据集包括中国土地覆盖年度数据集(annual China land cover dataset, CLCD)^[14]、中国土地利用/覆盖数据集(China's land-use/cover datasets, CLUD)^[15]、全球土地分析与发现(global land analysis & discovery, GLAD)耕地数据^[16]和全球粮食安全支持分析数据(global food security-support analysis data, GFSAD, https://lpdaac.usgs.gov)。所采用的验证样本集随机生成于将研究区等分的近千个六边形内,经过多轮人工解译验证,最终筛选出 4 972 个高置信度样本。混淆矩阵计算结果显示,CACD 的精度指标中,F1 得分在所有年份中均优于其他数据集,而平均总体精度则高达 93%^[13]。

1.2 研究方法

1.2.1 撂荒耕地的识别方法 学界对耕地撂荒定义差异主要体现在农业活动停止的持续时间上。撂荒耕地的遥感特征与休耕地相似,因此,为了区分二者,撂荒耕地的农业活动停止时间应该超过研究区内的常规休耕时间^[8]。随着我国轮换休耕制度的不断探索,各地休耕时间可能会根据当地情况进行调整,部分地区的休耕时间可能超过 3 a^[17]。因此,本研究保守地将撂荒耕地定义为农业活动至少连续 5 a 停止的耕地,以最大限度避免将休耕地误认为撂荒耕地。该定义与联合国粮食及农业组织(FAO)的定义一致。

基于长时序土地利用数据逐像素生成的土地利

用轨迹代码,能够系统解析区域地表覆盖的整体变迁规律,同时完整呈现其动态演变特征及关键转折时间点^[12]。本研究中通过土地利用轨迹法揭示 1986—2020 年各像元的土地利用动态,结合耕地撂荒的定义识别年度撂荒耕地。土地利用轨迹公式为:

$$LUCT = 10^{n-1}C_1 + 10^{n-2}C_2 + \dots + 10C_{n-1} + C_n \quad (1)$$

式中:LUCT 为土地利用轨迹代码(例如,10000 和 011111 中,1 和 0 分别表示耕地和非耕地);n 为时间节点的数量,在本研究中为 35,表示 1986—2020 年的每一年; C_n 为时间节点 n 对应的土地利用数据。

1.2.2 耕地撂荒时空聚类格局分析 莫兰指数是全球最常见的空间自相关指标,可分为全局莫兰指数和局部莫兰指数。本研究通过全局莫兰指数评估整个研究区域撂荒耕地的空间自相关性,通过局部莫兰指数识别研究区域内存在的不同类型的空间聚集或离散现象,包括低值聚集区、高值聚集区、高低异常值区和低高异常值区等,其中高值聚集区即为耕地撂荒的热点区域。

全局莫兰指数的计算公式为:

$$GI_t = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_{it} - \bar{x}_t)(x_{jt} - \bar{x}_t)}{\sum_{i=1}^n (x_{it} - \bar{x}_t)^2} \quad (2)$$

式中:n 为空间单位(地级市)的数量; w_{ij} 为由皇后邻

接矩阵确定的空间权重矩阵中的值,邻接度为1; i 为位置为*i*的地级市, j 为地级市*j*的临近地级市; t 为研究期,包括1992—1996年、1997—2001年、2002—2006年、2007—2011年、2012—2016年和2017—2020年6个时间阶段; x_i 和 x_j 分别为不同时期地级市*i*和*j*的属性值,包括耕地撂荒面积(km²)和撂荒率(%), \bar{x}_t 为*t*时期的平均值。莫兰指数为[-1,1]。

局部莫兰指数的计算公式为:

$$LI_{it} = \frac{Z_{it}}{S^2} A_{it} \quad (3)$$

$$A_{it} = \sum_{j \neq i}^n w_{ij} Z_{jt} \quad (4)$$

$$Z_{it} = x_{it} - \bar{x}_t \quad (5)$$

$$Z_{jt} = x_{jt} - \bar{x}_t \quad (6)$$

式中:LI_{it}为地级市*i*的局部莫兰指数。根据 Z_{it} 与 A_{it} 的正负,局部莫兰指数可划分为4个象限,其中第2象限为高值聚集区,即热点地区(图1)。

表 2 研究选取的自然环境和社会经济影响因素

Table 2 Selected natural and socioeconomic influencing factors in this study

因素类型	因素	描述	单位
自然环境因素	Slope	地级市平均坡度	(°)
	MAP	地级市年平均降雨量	m
	PET	地级市年平均潜在蒸散发量	mm
	SOM	地级市平均土壤有机质质量分数	g/(100 g)
	DW	地级市内耕地到最近水体的平均距离	m
社会经济因素	GDP	地级市年平均生产总值	亿元
	NL	地级市平均夜间灯光指数	cd/m ²
	RP	地级市农村人口比例	%
	OP	地级市大于65岁以上人口比例	%
	ED	地级市平均人口受教育年限	a
	DR	地级市内耕地到最近的高速公路的平均距离	m
	DC	地级市内耕地到最近的县中心的平均距离	m

1.2.4 耕地撂荒的驱动因素 采用耕地撂荒率与上述的5个自然环境因素和7个社会经济因素进行OLS回归分析,筛选出方差膨胀因子(VIF)<7且具有统计学上的系数显著性($p < 0.01$)的因子。采用筛选后的因子进一步进行OLS拟合,若该模型联合*F*值及Koenker(BP)统计量均通过显著性检验($p < 0.01$),证明模型具有统计学意义且存在显著的空间不平稳性,具有引入GWR模型的必要。

GWR在各观测点的位置分别建立单独的局部回归方程,并以每个观测点邻近的数个观测值来估计此局部回归方程的回归系数。因此,变量的影响在不同位置的异质性可以通过各观测点的回归系数反映。模型公式为:

$$y_i = \beta_0(\mu_i, \gamma_i) + \sum_{j=1}^m \beta_j(\mu_i, \gamma_i) x_{ij} + \epsilon_i \quad (7)$$

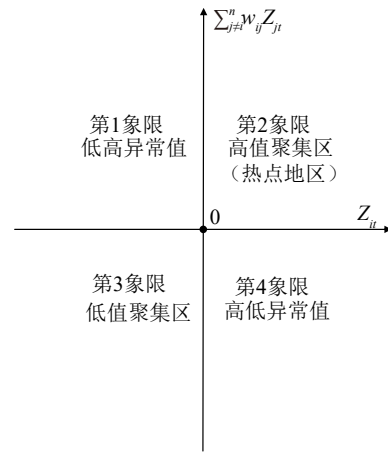


图 1 局部莫兰指数的分类

Fig.1 Classification of local Moran's I

1.2.3 耕地撂荒的自然环境和社会经济影响因素 由表2可知,本研究参考相关文献选取具有代表性的5个自然环境因素和7个社会经济变量探究耕地撂荒驱动因素。

式中: y_i 为*i*地级市的撂荒率,%; x_{ij} 和*m*分别为*i*地级市的自变量及其数量; ϵ_i 为随机误差;(μ_i, γ_i)为地级市质心的空间坐标; $\beta_0(\mu_i, \gamma_i)$,即地级市的回归系数; β_0 为截距。

本研究采用高斯函数和自适应带宽方法计算GWR模型中的空间权重,使用适合小样本量校正的赤池信息准则(AICc)确定最佳带宽。当2个模型的AICc差值超过3时,AICc较小的模型拟合优度显著高于AICc较大的模型^[12]。

2 结果与分析

2.1 耕地撂荒的时间变化趋势

1992—2020年中国经历过撂荒的耕地面积为562 826 km²,年平均撂荒面积和撂荒率分别为19 408 km²和1.10%。研究时间段内,33.52%的耕地

至少经历过 1 次撂荒过程。由图 2 可知,年撂荒面积和撂荒率变化趋势高度一致,总体呈波动上升趋势。其中 2005—2008 年上升趋势最为突出,年撂荒面积由 15 979 km² 提高到 27 068 km²,年撂荒率由 0.89% 提高到 1.5%,增幅分别达到 69.4% 和 68.5%。年撂荒面积和撂荒率于 2017 年同时达到历史峰值,当年撂荒面积突破 30 488 km²,对应的撂荒率达 1.76%。

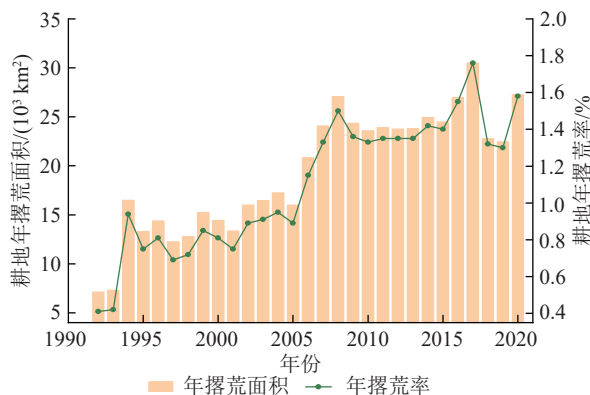


图 2 耕地年撂荒面积及撂荒率变化趋势

Fig.2 Variation trend of annual abandoned cropland area and abandonment rate

2.2 耕地撂荒的时空聚类格局

空间相关性分析显示,各时间段内基于撂荒面积和撂荒率计算的所有莫兰指数始终 > 0,且对应的 $p < 0.01, z > 2.576$ (表 3)。表明在 99% 的置信区间内,耕地撂荒始终呈显著正空间相关性,即聚集效应。进一步聚类分析揭示,我国耕地撂荒高值聚集区(撂荒热点)与低值聚集区构成主要空间模式,高低异常区和低高异常区占比不到 2.5%。从数量变化看,基于面积与概率识别的热点区数量均呈波动上升趋势,前者由 35 个增至 49 个,后者由 37 个增至 59 个(表 4),表明耕地撂荒热点总体呈扩张态势。

表 3 全局莫兰指数

Table 3 Global Moran's I

指标	年份	全局莫兰指数	z	p
耕地撂荒面积	1992—1996	0.38	11.95	0
	1997—2001	0.43	13.48	0
	2002—2006	0.46	14.35	0
	2007—2011	0.52	15.80	0
	2012—2016	0.49	14.00	0
	2017—2020	0.44	13.59	0
耕地撂荒率	1992—1996	0.43	13.19	0
	1997—2001	0.43	13.28	0
	2002—2006	0.51	15.54	0
	2007—2011	0.51	15.21	0
	2012—2016	0.63	18.90	0
	2017—2020	0.55	16.79	0

表 4 耕地撂荒热点地区数量

Table 4 Number of cropland abandonment hotspots

年份	面积热点	概率热点
1992—1996	35	37
1997—2001	34	40
2002—2006	26	54
2007—2011	33	47
2012—2016	51	62
2017—2020	49	59

从空间格局看,基于撂荒面积识别的热点区持续分布于我国第二地形阶梯内,但西南地区热点范围逐渐扩张(图 3);而撂荒率热点则由西北和东北地区逐渐向西南和东南地区集中(图 4)。黄河下游地区始终是撂荒面积和撂荒率低值聚集区的主要分布区。值得注意的是,东北地区虽在 2007 年后仍为撂荒面积热点集中区,却无撂荒率热点分布,表明该地区撂荒面积的突出主要源于其较大的耕地资源总量。与之相反,西南地区已成为面积热点与概率热点的共同集中区,反映该区域撂荒现象呈现规模与强度同步凸显的特征。

2.3 耕地撂荒的驱动因素及其空间异质性

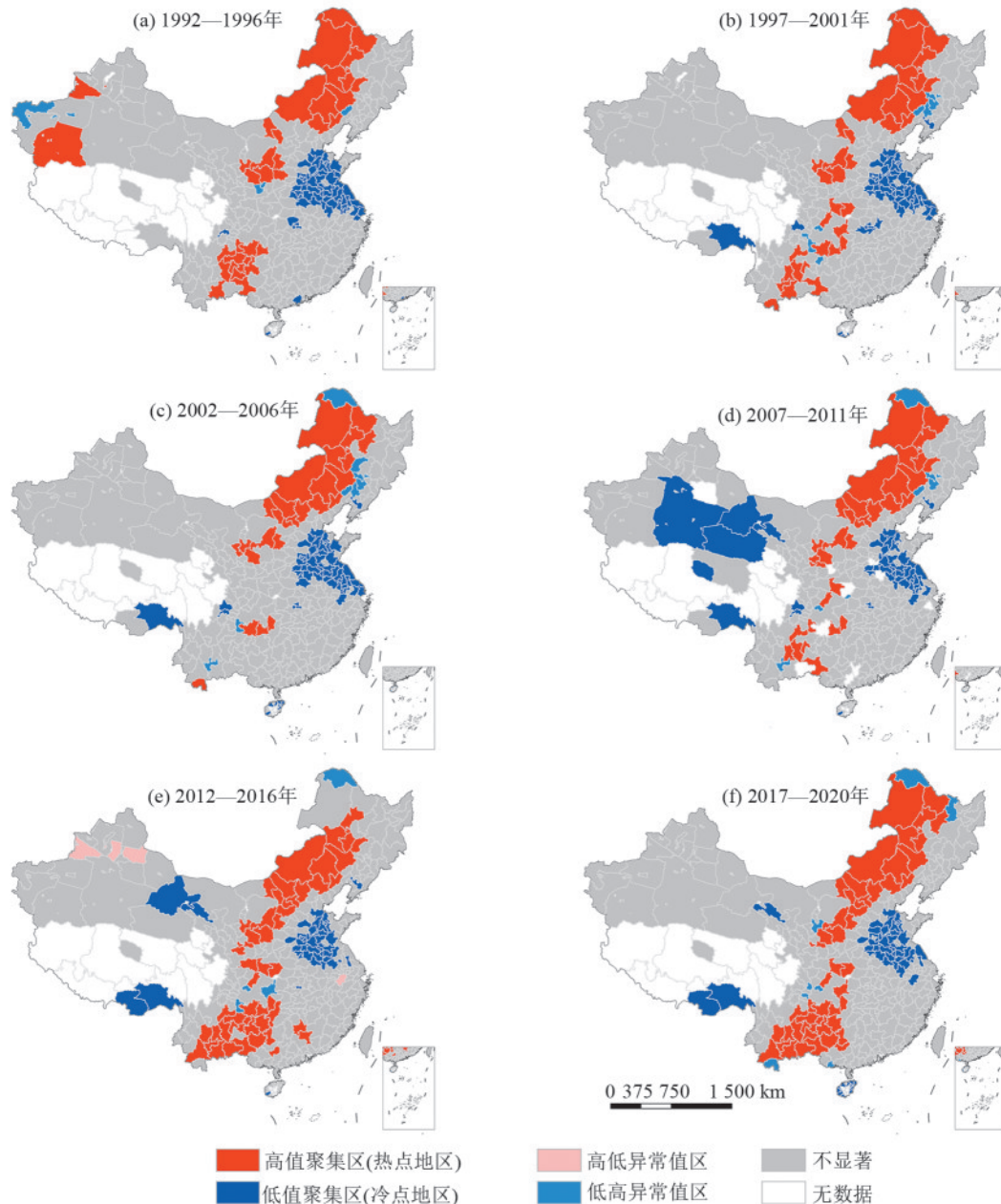
2.3.1 耕地撂荒的主要影响因素识别结果 采用初步选取的 12 个自然环境和社会经济影响因素进行 OLS 拟合,识别出 $VIF < 7$ 且具有系数显著性的 9 个影响因素 ($p < 0.01$),包括 4 个自然环境因素(坡度、潜在蒸散发量、土壤有机质含量、与最近水体的距离)和 5 个社会经济因素(地区生产总值、夜间灯光指数、农村人口比例、老年人口比例、与最近高速公路的距离)。采用识别的主要因素再次进行 OLS 拟合,模型拟合结果见表 5。所有主要影响因素系数均具有统计显著性 ($p < 0.01$),且影响因素之间不存在多重共线性 ($VIF < 7.5$)。F 检测与卡方检测结果显示模型具有统计显著性 ($p < 0.01$),Koenker BP 检测显示模型表现出显著的空间不平稳性 (Koenker BP=33.01, $p < 0.01$)。因此,有必要引入 GWR 模型对其空间异质性做进一步解析。

采用识别的主要因素组合进行 GWR 拟合,其与 OLS 模型的评估参数对比见表 6。GWR 模型 R^2 和校正 R^2 均高于 OLS 模型, GWR 模型 AICc 值低于 OLS 且差值 > 3 ,表明 GWR 模型拟合效果显著优于 OLS 模型,印证耕地撂荒驱动机制空间异质性的存在。根据 GWR 拟合结果,耕地撂荒的 9 个主要影响因素组合能够解释 68% 的耕地

撂荒率分布。

2.3.2 耕地撂荒驱动因素的空间异质性 各自然环境因素对耕地撂荒的影响均存在显著的空间分异特

征,表现为各因素系数均存在范围值及标准差(表 7)。各自然环境因素对耕地撂荒的作用强度及空间分异格局呈显著差异(图 5)。



注:基于国家地理信息公共服务平台网站下载的审图号为GS(2024)0650的标准地图制作,底图无修改。下同。

图3 各时间阶段内耕地撂荒面积聚类格局

Fig.3 Spatial clustering patterns of abandoned cropland areas across different time periods

坡度(slope)是系数平均值最大的因子(平均值=0.496 9),且其正值系数占比为100%,表明其对撂荒的作用强度在所有因子中最大,作用方向以促进为绝对主导。坡度系数高值地区集中在东南地区(图 5a),表明其对撂荒率的促进作用在该地区最为显著。潜在蒸散发量(PET)系数平均值为正,且其正值系数占比达到73.43%,表明PET对耕地撂荒的影响在大部分地区为促进作用。PET系数呈现西北低、东南高的特点(图 5b),表明其对撂荒的促进作用在东南地区更

为显著。土壤有机质含量(SOM)对耕地撂荒具有普遍的抑制作用,其系数平均值为负,且负值系数占比高达82.99%。SOM系数空间格局呈现西北低、东北高的梯度特征,反映西北地区土壤有机质含量的提高可显著抑制撂荒,但在东北地区,土壤肥力并非耕地撂荒的核心限制因素。与最近水体的距离(DW)的正值系数占比为100%,表明其在全域内对撂荒产生促进作用。其系数值由南向北递增,表明水源可得性对撂荒的促进作用呈现南低北高的地理梯度特征。

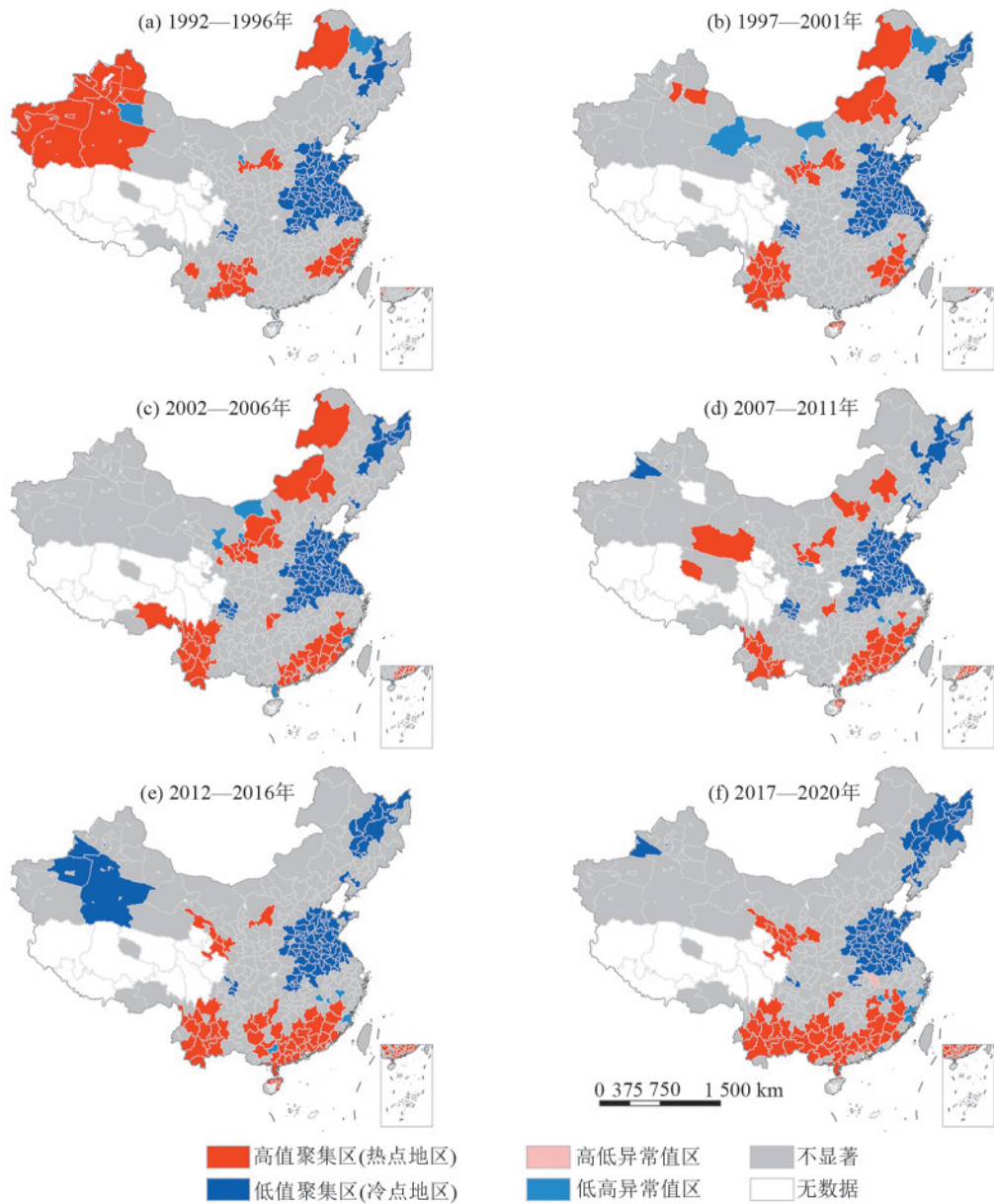


图 4 各时间阶段内耕地撂荒率聚类格局

Fig.4 Spatial clustering patterns of abandoned cropland rates across different time periods

表 5 筛选后影响因素组合的 OLS 拟合结果

Table 5 OLS fitting results of selected combinations of influencing factors

影响因素	系数	概率	稳健概率	VIF
Slope	0.421 0	0*	0*	1.669 2
PET	0.293 4	0*	0*	1.751 0
SOM	-0.239 8	0*	0.000 1*	1.389 4
DW	0.262 5	0*	0*	1.143 7
GDP	-0.181 4	0.002 1*	0.017 7*	1.938 0
NL	-0.463 0	0*	0.000 3*	4.965 3
RP	-0.246 8	0*	0*	1.701 1
OP	-0.135 0	0.002 0*	0.003 1*	1.153 9
DR	-0.242 7	0.000 4*	0.010 2*	2.850 5

注:*表示该统计量具有统计学上的显著性($p < 0.01$)。由于模型具有显著空间不平稳性,应使用稳健概论确定系数显著性。

表 6 OLS 与 GWR 模型评估参数比较

Table 6 Comparison of evaluation parameters between OLS and GWR models

模型	Neighbors	AICc	R^2	校正 R^2
OLS	—	711.18	0.54	0.53
GWR	197	613.25	0.73	0.68

各社会经济因素的系数特征汇总见表 8。系数范围及标准差的存在表明,所有社会经济因素对耕地撂荒的影响均存在显著的空间异质性,其空间分布格局见图 6。5 个社会经济因素对撂荒率的影响方向均以抑制作用为主导,表现为各因素系数均值皆为负且负值系数的占比达到 69.55%~86.57%。空间分异规律上,地区生产总值(GDP)和夜间灯光指数(NL)对撂荒的抑制作用均呈现北

强南弱的空间特征;农村人口比例(RP)的影响力在东北和西北地区最为突出;老年人口比例(OP)的抑制强度由西向东递减;与最近高速公路的距

离(DR)对撂荒的抑制作用在西北地区最为显著,但在我国中部局部地区,DR对撂荒呈现出显著的促进作用。

表 7 自然环境因素在 GWR 拟合中的局部回归系数
Table 7 Local regression coefficients of natural factors in GWR fitting

因素	平均值	最小值	最大值	标准差	正值占比/%	负值占比/%
slope	0.496 9	0.253 5	0.847 9	0.158 4	100.00	0
PET	0.324 1	-0.396 1	1.112 5	0.462 1	73.43	26.58
SOM	-0.119 0	-0.417 1	0.073 0	0.118 0	17.01	82.99
DW	0.198 9	0.097 5	0.341 3	0.058 1	100.00	0

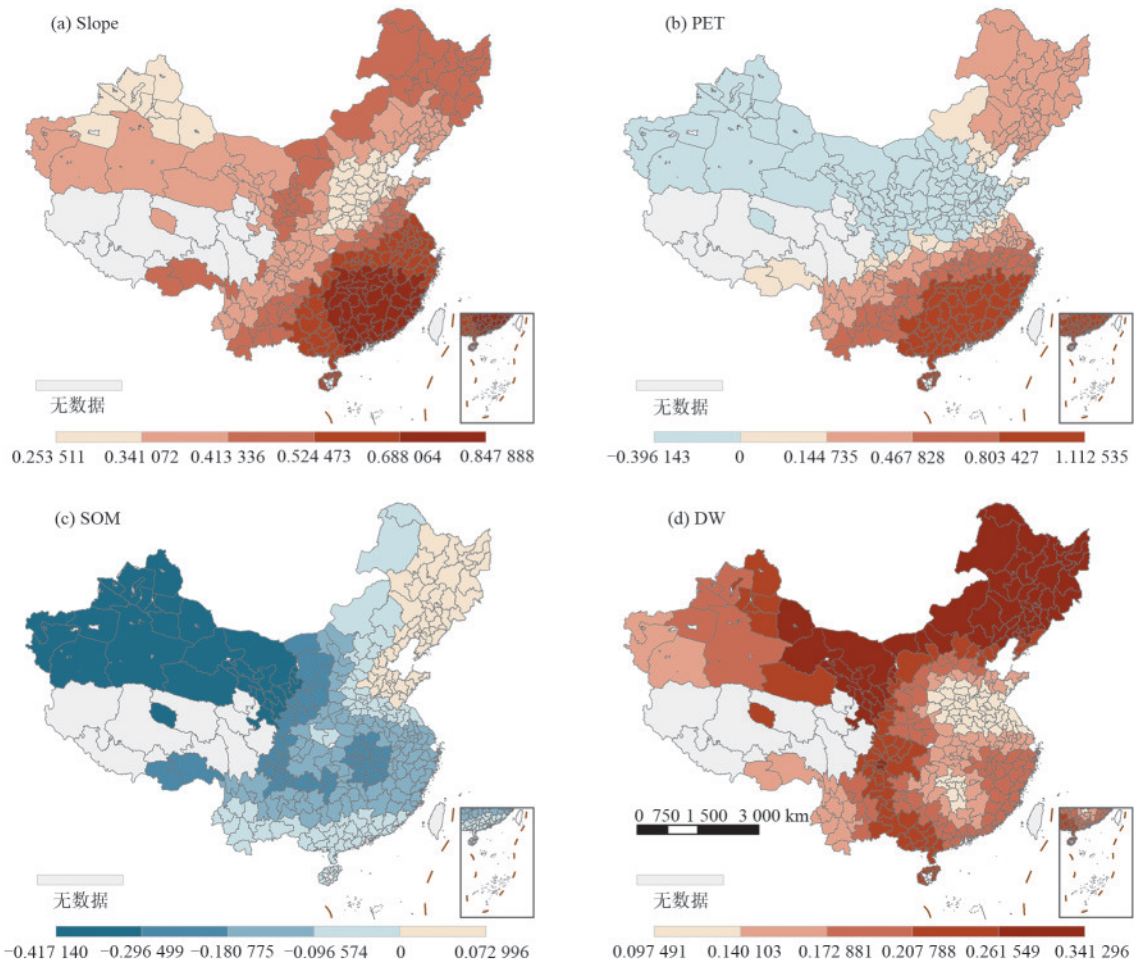


图 5 自然环境因素在 GWR 拟合中局部回归系数的空间分布格局

Fig.5 Spatial distribution patterns of local regression coefficients of natural factors in GWR fitting

表 8 社会经济因素在 GWR 拟合中的局部回归系数

Table 8 Local regression coefficients of socioeconomic factors in GWR fitting

因素	平均值	最小值	最大值	标准差	正值占比/%	负值占比/%
GDP	-0.101 5	-0.329 5	0.101 2	0.101 1	13.43	86.57
NL	-0.301 9	-0.681 7	0.163 7	0.224 5	7.76	92.24
RP	-0.169 9	-0.394 2	0.014 1	0.101 0	4.18	95.82
OP	-0.112 6	-0.325 8	0.058 3	0.100 4	16.42	83.58
DR	-0.040 5	-0.339 4	0.451 4	0.187 3	30.45	69.55

3 讨论

1)耕地撂荒的时间变化规律。我国耕地年撂荒面积的上升趋势在 2005—2008 年最为显著。一方面

可能与我国于 1999 年实施的大规模退耕还林(草)工程有关,该工程的实施在后续几年内导致大规模的耕地撂荒现象^[18];另一方面,可能与中国在 2003

年达到刘易斯转折点有关^[19],反映农业劳动机会成本的提高导致农业劳动力由过剩转变为短缺,使得大量耕地由于农业劳动力流失而撂荒。值得注意的是,虽然撂荒导致的耕地损失呈现上升趋势,但

我国耕地总面积维持相对稳定^[14],反映我国实施的“耕地占用补偿平衡”和“18 亿亩耕地红线”等一系列耕地保护政策在保障耕地数量稳定方面发挥重要成效。

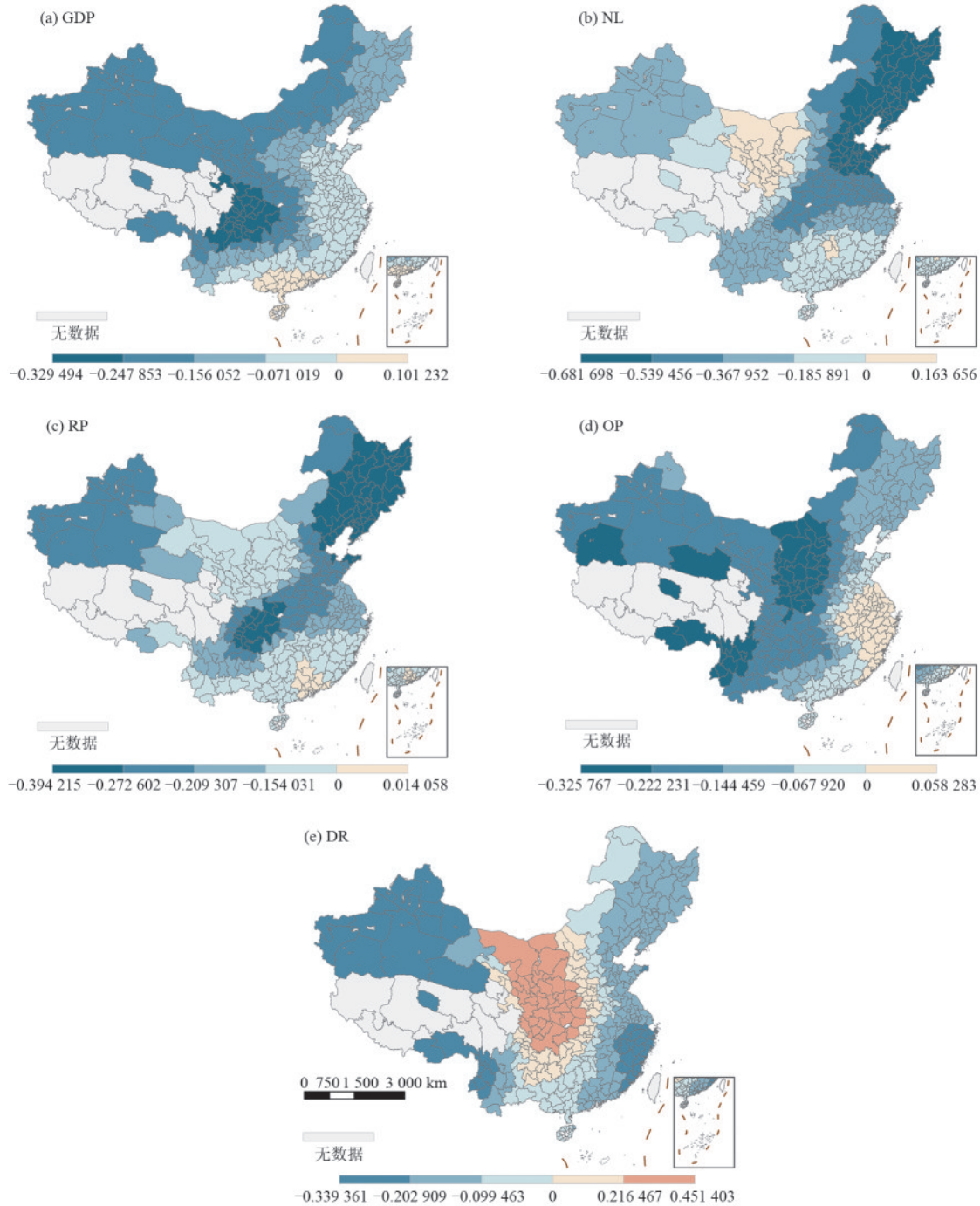


图 6 社会经济因素在 GWR 拟合中局部回归系数的空间分布格局

Fig.6 Spatial distribution patterns of local regression coefficients of socioeconomic factors in GWR fitting

2)耕地撂荒的热点分布演变。撂荒热点逐渐向东南和西南地区扩张,这可能是我国耕地重心不断北移的原因之一。由于坡耕地占比较高,西南地区实施较大规模的退耕还林工程^[8],叠加耕地破碎、经济发展滞后、人口外流严重的多重影响,导致该地区撂荒现象规模与强度的同步凸显。与之相比,东北

地区虽因农村人口外流问题引发较大的撂荒规模^[20],但在耕地资源总量较大的情况下,该地区撂荒率并不突出。另外,20 世纪 80—90 年代,内蒙古地区发生的大范围草原开垦造成严重的草地退化和土壤风蚀问题。因此,该地区在 90 年代末期开始实行退耕还林措施^[21],导致该地区在 1997—2006 年出现撂

荒率和撂荒面积的共同热点。而我国新疆地区内耕地撂荒热点仅存在于 21 世纪前,是由于棉糖等经济作物推广及节水灌溉等技术的应用使得农业经济效益稳定提升^[22],有效抑制撂荒现象。

3) 耕地撂荒的自然环境影响因素。坡度、潜在蒸散发量、土壤有机质含量和耕地到最近水体的距离是撂荒的主要自然环境影响因素。陡坡耕地可及性差,易受土壤侵蚀威胁^[18],坡度对撂荒促进作用在东南地区的突出与该地区高度复杂的地形条件和破碎化的耕地分布密切相关^[23]。潜在蒸散发量对撂荒的促进作用在东南地区最为显著,可能源于强季风和高降水量为地表蒸散发过程提供适宜的气候配置,导致潜在蒸散发量与实际蒸散量的高度耦合^[24]。与之相反,西北干旱地区撂荒的主导因素表现为与最近水体的距离,反映取水难度对耕作成本的关键影响^[25]。土壤有机质含量与耕地生产潜力密切正相关,进而抑制高肥力土壤的撂荒倾向^[26],其对撂荒的抑制作用呈现“东北弱、西北强”的梯度格局,反映东北和西北地区土壤有机质含量的显著差异。

4) 耕地撂荒的社会经济因素。夜间灯光指数、地区生产总值、农村人口比例、老年人口比例和与最近高速公路的距离是撂荒的主要社会经济影响因素。夜间灯光指数和地区生产总值显著抑制撂荒。可能是因为大量人口从经济相对落后地区迁往经济发达地区,导致前者遭遇更严重的人口流失^[27]。二者对撂荒的作用强度由北向南递减,与我国南北地区人口增速差距逐渐扩大的趋势相符^[28]。农村人口比例体现农业劳动力规模,在我国西北和东北地区表现出尤为显著的撂荒抑制效应。这些地区面临较为严重的人口流失问题,且耕地开垦规模渐增^[12],供需矛盾的持续加剧形成突出的劳动力缺口。老年人口比例与撂荒率之间的负相关反映我国农业劳动力的突出的老龄化问题。与最近高速公路的距离对撂荒过程产生双重影响机制:从生产成本视角,交通便利度的提升通过降低农民耕作成本,提高农业经济效益,进而抑制撂荒^[29];从人口流动视角,增强的可达性可能加速城乡人口迁移,增加撂荒风险^[30]。

5) 考虑区域差异的撂荒治理策略。东北与西南两大撂荒热点的撂荒机制存在差异,撂荒治理侧重点应有所不同。东北地区具有优良的土壤和地形条件,人口大量流失,尤其是农村人口外流现象是该地区撂荒的主要动力。东北地区应着力完善农村基础设施建设和社会保障体系,增强农村社区吸引力,同时推动农村土地流转、发展规模化经营,促进农业生产方式向技术集约转型。相对而言,在西南地区,尽

管经济发展滞后和农村老龄化对撂荒具有一定影响,但地形因素在该地区发挥着更为关键的作用。坡耕地比例较高引发的土壤侵蚀问题和地形破碎导致的耕地细碎化,构成该区域撂荒现象的核心驱动力。因此,西南地区撂荒治理应强调水土流失综合治理、耕地质量提升及通过土地流转促进耕地集中连片。

4 结论

1) 过去近 30 a 内我国撂荒现象频发,33.52% 的耕地至少经历过 1 次撂荒过程,撂荒面积热点和撂荒率热点数量分别增长 40%、59%。退耕还林工程和农民进城务工潮共同导致年耕地撂荒面积在 2005—2008 年的显著上升。西南地区撂荒现象呈现规模与强度同步凸显的特征,应作为撂荒治理的重点关注区。

2) 耕地撂荒受到自然环境和社会经济因素的共同作用,其主要影响因素包括坡度、潜在蒸散发量、土壤有机质含量、与最近水体的距离 4 个自然环境因素及地区生产总值、夜间灯光指数、农村人口比例、老年人口比例、与最近高速公路的距离 5 个社会经济因素,该影响因素组合能够解释 68% 的耕地撂荒率分异。撂荒的促进因素中,坡度和潜在蒸散发量的影响力最强,而夜间灯光指数和农村人口比例是耕地撂荒最显著的抑制因素。

3) 地区间资源禀赋的巨大差异塑造撂荒机制的空间异质性。南方地区气候湿润,潜在蒸散发量与实际蒸散发量高度耦合,成为耕地撂荒的主要影响因素之一。而该地区地形起伏大,耕地破碎化问题严重,坡度显著促进撂荒。与经济发达的东南地区相比,西南地区耕地撂荒还受到经济发展滞后和农业劳动力外流的影响。由于北方地区人口流失问题越发凸显,该地区耕地撂荒与经济发展水平、农村人口比例及人口老龄化问题之间的关系更加显著。与土壤肥沃的东北地区相比,西北地区耕地撂荒受到土壤有机质含量的显著影响。

参考文献:

- [1] 刘丽,孙炜琳,王国刚,等.耕地“提质扩容”对中国粮食生产的影响分析[J].自然资源学报,2024,39(11):2601-2618.
LIU L, SUN W L, WANG G G, et al. The influence of cultivated land "improving quality and expanding capacity" on grain production in China [J]. Journal of Natural Resources, 2024, 39(11): 2601-2618.
- [2] 赵晓宇,孙春强,崔荣国,等.基于粮食安全的中国耕地保护阈值研究[J].资源科学,2024,46(12):2355-2366.
ZHAO X Y, SUN C Q, CUI R G, et al. China's culti-

- vated land threshold from the perspective of food security [J]. *Resources Science*, 2024, 46(12): 2355-2366.
- [3] ZHANG M X, LI G Y, HE T T, et al. Reveal the severe spatial and temporal patterns of abandoned cropland in China over the past 30 years [J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 857: e159591.
- [4] GUO A D, YUE W Z, YANG J, et al. Cropland abandonment in China: Patterns, drivers, and implications for food security [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 418: e138154.
- [5] CHEN H, TAN Y Z, XIAO W, et al. Assessment of continuity and efficiency of complemented cropland use in China for the past 20 years: A perspective of cropland abandonment [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 388: e135987.
- [6] YE S J, REN S Y, SONG C Q, et al. Spatial patterns of county-level arable land productive-capacity and its coordination with land-use intensity in China's mainland [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2022, 326: e107757.
- [7] XU J L, GAO J, DE HOLANDA H V, et al. Double cropping and cropland expansion boost grain production in Brazil [J]. *Nature Food*, 2021, 2(4): 264-273.
- [8] HAN Z, SONG W. Abandoned cropland: Patterns and determinants within the Guangxi karst mountainous area, China [J]. *Applied Geography*, 2020, 122: e102245.
- [9] ZHANG T T, YANG J Y, ZHOU H, et al. Abandoned cropland mapping and its influencing factors analysis: A case study in the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *CATENA*, 2024, 239: e107876.
- [10] 熊梦森, 陆晓俊, 刘洛, 等. 广东省耕地利用类型时空演变及其驱动机制研究 [J]. *西南农业学报*, 2024, 37(9): 2106-2119.
- XIONG M S, LU X J, LIU L, et al. Spatial and temporal evolution of cultivated land use types in Guangdong Province and its driving mechanism [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2024, 37(9): 2106-2119.
- [11] DANG X H, GAO S W, TAO R, et al. Do environmental conservation programs contribute to sustainable livelihoods? Evidence from China's grain-for-green program in northern Shaanxi Province [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 719: e137436.
- [12] CHEN H, MENG F, YU Z N, et al. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of farmland expansion in different agricultural regions of Heilongjiang Province, China [J]. *Land Use Policy*, 2022, 115: e106007.
- [13] TU Y, WU S B, CHEN B, et al. A 30 m annual cropland dataset of China from 1986 to 2021 [J]. *Earth System Science Data*, 2024, 16(5): 2297-2316.
- [14] YANG J, HUANG X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019 [J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8): 3907-3925.
- [15] XU Y D, YU L, PENG D L, et al. Annual 30 m land use/land cover maps of China for 1980—2015 from the integration of AVHRR, MODIS and Landsat data using the BFAST algorithm [J]. *Science China Earth Sciences*, 2020, 63: 1390-1407.
- [16] POTAPOV P V, TURUBANOVA S A, HANSEN M C, et al. Global maps of cropland extent and change show accelerated cropland expansion in the twenty-first century [J]. *Nature Food*, 2022, 3: 19-28.
- [17] 苏康传, 杨庆媛, 张忠训, 等. 中国耕地差异化休耕模式及技术措施探讨 [J]. *农业工程学报*, 2020, 36(9): 283-291.
- SU K C, YANG Q Y, ZHANG Z X, et al. Investigation of differential fallow patterns and technical measures for cultivated land in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(9): 283-291.
- [18] ZENG Y, RAN L S, FANG N F, et al. How to balance green and grain in marginal mountainous areas? [J]. *Earth's Future*, 2022, 10(5): e2021EF002552.
- [19] 蔡昉. 刘易斯转折点: 中国经济发展阶段的标识性变化 [J]. *经济研究*, 2022, 57(1): 16-22.
- CAI F. The subject I on handbook of Chinese economics lewisian turning points: Marks of China's economic development stages [J]. *Economic Research Journal*, 2022, 57(1): 16-22.
- [20] 刘涛, 杨梦, 彭荣熙. 东北三省人口流失的结构性与流向特征: 基于长时序人口普查数据的区域比较分析 [J]. *地理科学*, 2024, 44(6): 1016-1025.
- LIU T, YANG M, PENG R X. Structure and destination choices of out-migrants from northeast China: Based on long-term comparative analysis of census data [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2024, 44(6): 1016-1025.
- [21] 李雨凌, 马雯秋, 姜广辉, 等. 中国粮食主产区耕地撂荒程度及其对粮食产量的影响 [J]. *自然资源学报*, 2021, 36(6): 1439-1454.
- LI Y L, MA W Q, JIANG G H, et al. The degree of cultivated land abandonment and its influence on grain yield in main grain producing areas of China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1439-1454.
- [22] 陈曦, 常存, 包安明, 等. 改革开放40 a来新疆土地覆被变化的空间格局与特征 [J]. *干旱区地理*, 2020, 43(1): 1-11.
- CHEN X, CHANG C, BAO A M, et al. Spatial pattern and characteristics of land cover change in Xinjiang since past 40 years of the economic reform and opening up [J]. *Arid Land Geography*, 2020, 43(1): 1-11.
- [23] 罗莎莎, 王旭东, 赖庆标, 等. 东南丘陵山区市域农业生

- 产适宜性分析及空间优化调控:以福建省三明市为例[J].山地学报,2022,40(6):932-942.
- LUO S S, WANG X D, LAI Q B, et al. Suitability analysis and spatial optimization of agricultural production in urban areas of southeast hilly area: A case study of Sanming, Fujian Province, China[J]. Mountain Research, 2022, 40(6): 932-942.
- [24] 魏伟,莫崇勋.基于遥感数据的中国东南沿海地区蒸散发时空演变特征分析[J].节水灌溉,2023(4):9-17.
- WEI W, MO C X. Study of spatiotemporal evolution characteristics of evapotranspiration in southeast coastal areas of China based on remote sensing data[J]. Water Saving Irrigation, 2023(4): 9-17.
- [25] CAI T Y, ZHANG X H, XIA F Q, et al. The process-mode-driving force of cropland expansion in arid regions of China based on the land use remote sensing monitoring data[J]. Remote Sensing, 2021, 13(15): e2949.
- [26] CHEN H, TAN Y Z, XIAO W, et al. Risk assessment and validation of farmland abandonment based on time series change detection[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2023, 30(2): 2685-2702.
- [27] 曹广忠,陈思创,刘涛.中国五大城市群人口流入的空间模式及变动趋势[J].地理学报,2021,76(6):1334-1349.
- CAO G Z, CHEN S C, LIU T. Changing spatial patterns of internal migration to five major urban agglomerations in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(6): 1334-1349.
- [28] 刘涛,卓云霞.中国县级人口变动的空间格局及影响因素:基于第七次全国人口普查数据的新探索[J].人口研究,2022,46(6):72-87.
- LIU T, ZHUO Y X. A county-level analysis of China's population change: Insights from the 7th population census[J]. Population Research, 2022, 46(6): 72-87.
- [29] JIAO Y M, LIU Z L, DING Y P, et al. Using a settlement connectivity-based framework to map the farmland abandonment risk: A case study on the World Heritage of Honghe Hani Rice Terraces[J]. Land Degradation and Development, 2023, 34(12): 3755-3768.
- [30] 吴常艳,陈博文,黄贤金,等.耕地利用变化的近远程驱动机制研究:以长江经济带为例[J].地理研究,2023,42(11):3003-3019.
- WU C Y, CHEN B W, HUANG X J, et al. Analysis of the proximity and telecoupling mechanism of cultivated land use change: A case study of Yangtze River Economic Belt[J]. Geographical Research, 2023, 42(11): 3003-3019.
- (上接第 356 页)
- [24] 冯婉怡,张珊,舒伯阳,等.旅游合作对区域旅游一体化共生的影响:以长三角城市群为例[J].经济地理,2024,44(2):208-218.
- FENG W Y, ZHANG S, SHU B Y, et al. Impact of tourism cooperation on the regional tourism integrated symbiosis: A case study of the Yangtze River Delta urban agglomeration[J]. Economic Geography, 2024, 44(2): 208-218.
- [25] 童昀,刘海猛,马勇,等.中国旅游经济对城市绿色发展的影响及空间溢出效应[J].地理学报,2021,76(10):2504-2521.
- TONG Y, LIU H M, MA Y, et al. The influence and spatial spillover effects of tourism economy on urban green development in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(10): 2504-2521.
- [26] 国家统计局.中国城市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2004—2023.
- National Bureau of Statistics. China urban statistics yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2004—2023.
- [27] 文化和旅游部.中国文化文物和旅游统计年鉴[M].北京:国家图书馆出版社,2020—2023.
- Ministry of Culture and Tourism. Statistical yearbook of China's cultural relics and tourism[M]. Beijing: National Library Press, 2020-2023.
- [28] 单豪杰.中国资本存量K的再估算:1952—2006年[J].数量经济技术经济研究,2008,25(10):17-31.
- SHAN H J. Reestimating the capital stock of China: 1952—2006[J]. The Journal of Quantitative and Technical Economics, 2008, 25(10): 17-31.
- [29] 吴磊,焦华富,叶雷.皖南国际文化旅游示范区旅游经济与交通耦合协调发展的时空特征[J].地理科学,2019,39(11):1822-1829.
- WU L, JIAO H F, YE L. Spatio-temporal characteristics of coordinated development between tourism economy and transportation: A case of international culture and tourism demonstration area in south Anhui Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(11): 1822-1829.