

吉林省西部地区新增耕地变化及其 驱动机制的多尺度探测

冯培越^{1,2}, 刘文新^{1,2}

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春
130102; 2. 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 101408)

摘要: [目的] 分析吉林省西部地区新增耕地时空变化及其驱动机制的尺度效应, 划分耕地保护分区, 为区域差异化耕地整治与精准管控提供科学支撑。[方法] 基于 2000—2024 年 6 期土地利用数据, 采用空间自相关、地理探测器、SOFM 聚类等方法, 系统分析多尺度下新增耕地的驱动机制, 并划定耕地开发保护分区。[结果] ① 区域耕地规模总体呈“先减后增”特征, 2010 年后新增耕地面积持续增加, 至 2023 年恢复至 3.51×10^6 hm²。新增耕地空间上高度集聚, 全局 Moran's *I* 在 0.293~0.415 之间。② 驱动因子表现出显著的尺度效应。县域尺度以后备耕地为主 ($q=0.618$); 乡镇与村尺度强调居民点可达性和水资源条件的重要性; 5 km 网格尺度中, 景观格局因子成为核心。③ 人口密度等社会经济因子与耕地状态因子交互作用显著。④ 吉林西部耕地开发与保护分区特征差异显著。生态约束脆弱区主要分布于东部与西北部, 面临较强的自然环境制约, 新增耕地潜力有限; 耕地重点保护区集中在交通便利、耕地利用稳定的地区, 需重点加强基本农田保护; 耕地潜力开发区后备耕地资源丰富, 适宜开展耕地整治与扩展; 新增耕地重点管控区主要位于城乡交界地带, 需严格执行土地开发管控与生态保护政策。[结论] 吉林西部新增耕地集中分布在研究区西部与西南部等耕地密集地区, 驱动因子的尺度效应显著, 社会经济因子与耕地状态因子交互作用显著。因此, 应实施差异化管控措施, 优化新增耕地布局及协调粮食安全与生态保护。

关键词: 新增耕地; 尺度效应; 驱动机制; 地理探测器; 吉林西部

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2026)02-0405-12

中图分类号: F301.21, F321.1

文献参数: 冯培越, 刘文新. 吉林省西部地区新增耕地变化及其驱动机制的多尺度探测[J]. 水土保持通报, 2026, 46(2): 405-416. Feng Peiyue, Liu Wenxin. Newly cultivated land changes and multi-scale detection of their driving mechanisms in western Jilin Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2026, 46(2): 405-416.

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2026.02.040

CSTR: 32312.14.stbctb.2026.02.040

Newly cultivated land changes and multi-scale detection of their driving mechanisms in western Jilin Province

Feng Peiyue^{1,2}, Liu Wenxin^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130102, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408, China)

Abstract: [Objective] The spatiotemporal evolution and scale-dependent driving mechanisms of newly cultivated land (NCL) in western Jilin Province were analyzed, and cultivated land protection zones were delineated, in order to provide a scientific basis for spatially differentiated cultivated land reclamation and precise management. [Methods] Based on land use data from six periods between 2000 and 2024, methods including spatial autocorrelation analysis, geodetector, and self-organizing feature map (SOFM) clustering were used to systematically examine the multi-scale driving mechanisms of NCL and to delineate cultivated land development and protection zones. [Results] ① The total cultivated land area showed a pattern of “decrease followed by an increase”. NCL increased steadily after 2010, reaching 3.51×10^6 hm² by 2023. Spatially, NCL was highly

收稿日期: 2025-08-26

修回日期: 2025-11-09

采用日期: 2025-11-09

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“吉林西部生态脆弱区水-能源-粮食系统可持续性评价与协同优化研究”(42071275)

第一作者: 冯培越(2001—), 男(汉族), 河南省濮阳县人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境与区域可持续发展。Email: fengpeiyue@iga.ac.cn。

通信作者: 刘文新(1979—), 男(汉族), 山东省阳谷县人, 博士, 高级工程师, 主要从事资源环境与区域可持续发展等方面的研究。Email: liuwx@iga.ac.cn。

clustered (global Moran's I : 0.293—0.415). ② The driving factors exhibited significant scale effects. Reserve cultivated land availability was the dominant factor at the county level ($q=0.618$), while settlement accessibility and water resource conditions were more influential at the township and village levels. At the 5 km grid scale, landscape pattern factors became the core drivers. ③ Significant interactive effects were identified between socioeconomic factors such as population density and cultivated land condition factors. ④ Four distinct functional zones were delineated: ecologically constrained and vulnerable zones mainly in the east and northwest, where natural constraints strongly limited the potential of NCL; cultivated land priority protection zones in areas with convenient transportation and stable cultivated land use, where strengthened protection of basic cultivated land was required; cultivated land potential development zones with abundant reserve cultivated land resources suitable for reclamation and expansion; and NCL key control zones primarily in urban-rural fringes, where strict land development control and ecological protection policies were necessary. [Conclusion] NCL in western Jilin Province is concentrated in cultivated land-dense areas in the western and southwestern parts of the study area. The driving mechanisms exhibit pronounced scale effects, and the interactions between socioeconomic and cultivated land condition factors are significant. Therefore, differentiated management measures should be implemented to optimize the layout of NCL and coordinate food security with ecological protection.

Keywords: newly cultivated land; scale effect; driving mechanisms; geodetector; western Jilin Province

土地是人类赖以生存和发展的基础资源,耕地是农业生产与粮食安全的根本保障^[1]。当前中国正面临耕地“数量减少,质量下降,生态退化”的多重挑战,在“藏粮于地,藏粮于技”战略持续推进背景下,强化耕地资源保护、夯实粮食生产基础已成为国家土地管理与粮食安全政策的核心任务之一^[2]。近年来,国家不断完善耕地保护制度体系,严格落实耕地保护红线、推动高标准农田建设和撂荒地整治等举措,系统提升耕地的数量、质量和生态功能,进一步凸显了研究耕地时空格局变化与驱动机制的现实紧迫性与战略意义^[3]。

耕地是人类活动与自然环境相互作用的结果,其动态演变与粮食安全密切相关。近年来,国内外学者围绕耕地开发强度^[4]、利用安全^[5]、经营协调度^[6]、利用效率^[7]、生产潜力^[8]与耕地撂荒^[9]等方面开展了多维研究,初步构建了耕地系统综合评价体系。然而探究耕地格局及驱动机制同样具有重要意义。在时空格局识别方面,常用分析工具包括土地利用转移矩阵、动态度指数、标准差椭圆与空间自相关等^[10]。例如,牛善栋等^[11]运用ESDA和标准差椭圆模型揭示了淮海经济区市域尺度耕地的时空变化特征。在驱动机制分析方面,PCA、GWR、Logistic回归与地理探测器等是常用模型^[12]。如杜彬等运用多元线性回归对国家保护区耕地的时空格局及驱动因素进行了探讨^[13]。尽管已有研究取得一定成果,但整体上仍存在三方面不足:一是多数研究关注耕地总体格局的变化,忽视了新增耕地的空间分布及其驱动机制,导致对新增耕地的来源和扩展模式理解不足,使得耕地保护和粮食安全政策难以精准制定;二是缺乏对驱动因

子随尺度变化的系统识别与量化,限制了对耕地变化的全面认识,制约了政策的适应性与区域差异化治理;三是在驱动因子选择方面多集中于社会经济和自然环境因素,忽视了耕地本身与景观结构对新增耕地的影响,限制了对耕地扩展模式的全面理解。

吉林西部位于东北黑土核心区,是国家重要的商品粮基地,也是吉林省耕地资源最集中的区域^[14]。吉林省 $4.53 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 盐碱地中,约90%集中分布于该地区,具备显著的新增耕地潜力。因此,吉林西部一直是研究耕地变化的典型区域,学者围绕耕地开垦矛盾^[15]、“旱改水”驱动机制^[16]、耕地类型演化^[17]等方面开展了一系列研究。但在新增耕地、驱动因子尺度效应、驱动因子选择等方面存在不足,且时效性较差,难以提供科学支撑。

本研究以吉林西部为典型区,基于2000—2024年六期土地利用数据,综合运用空间自相关、地理探测器、SOFM聚类等方法,识别并分析了新增耕地的时空特征及其主导因子,通过多尺度分析,揭示了新增耕地的驱动机制及尺度效应,并进一步划定耕地开发保护分区,为区域差异化耕地整治与精准管控提供科学支撑。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

吉林省西部($43^{\circ}58' - 46^{\circ}18' \text{ N}$, $121^{\circ}38' - 126^{\circ}11' \text{ E}$)位于松嫩平原西南部,面积约 $4.69 \times 10^4 \text{ km}^2$,涵盖白城、松原两市的10个县(市)。该区域属中温带大陆性季风气候,光热条件优越,土壤以黑土、黑钙土和草甸土为主,是中国重要的商品粮生产区。

研究区范围内的长岭县、扶余市和前郭尔罗斯蒙古族自治县(以下简称为“前郭县”)等是中国著名的产粮大县。与此同时,该地区水资源不均,土地盐碱化和草地退化等生态问题突出,耕地格局脆弱。丰富的后备资源与生态约束并存,使吉林西部地区成为研究新增耕地潜力与治理需求的典型区域。

1.2 数据来源

本研究将其他地类转化为耕地的部分界定为新增耕地。土地利用数据采用武汉大学发布的30 m CLCD数据,总体精度79.31%,重分类为耕地、林地、

草地、水域、未利用地、建设用地、湿地7个一级地类(图1);人口、GDP与降水空间分布数据来自中国科学院资源环境数据中心(<https://www.resdc.cn>);地形数据来源于ASTER GDEM V3 30 m分辨率数字高程数据(<https://www.gscloud.cn/#page1/4>);交通数据引自OSM(<https://www.openstreetmap.org>);土壤数据源于HWSD中国子集(<https://gaez.fao.org/pages/hwsd>),包含pH值和质地组成等属性;居民点数据来源于国家统计局名录(<https://www.stats.gov.cn/>),经地址反查生成空间分布图层。

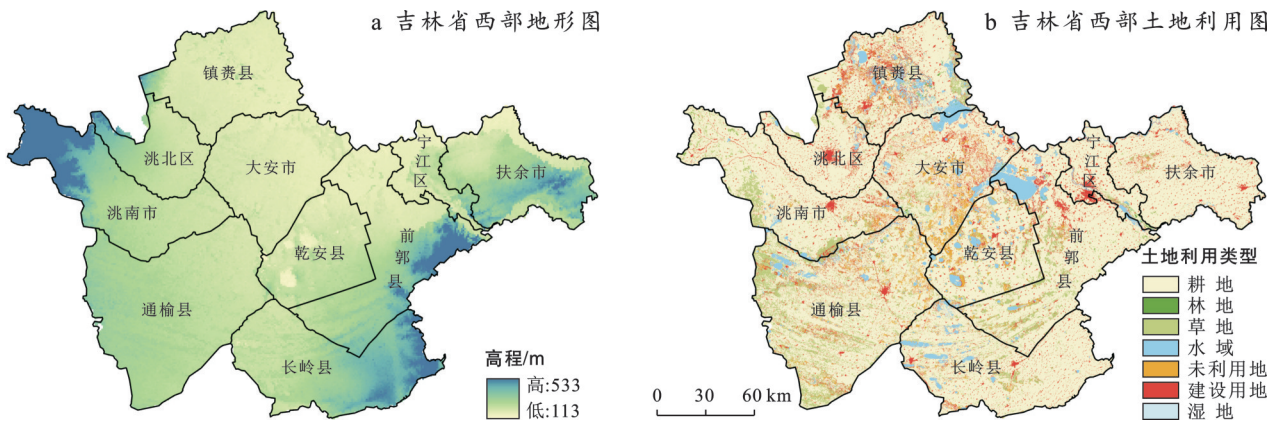


图1 吉林省西部地区地形及土地利用概况

Fig.1 Overview of Topography and land use in western Jilin Province

1.3 研究方法

1.3.1 耕地利用动态度

动态度可以反映土地利用速率的区域差异,能够表示某一地区某一时期内综合土地利用方式变化特征^[18]。本研究采用该模型对2000—2024年耕地利用动态度进行计算和分析,公式如下:

$$S = \frac{\Delta S_i + \Delta S_j}{S_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: S 为区域耕地利用动态度; S_i 为监测期开始时耕地的总面积(km^2); ΔS_i 为研究时段内的新增耕地面积(km^2),即其他土地类型转化为耕地的面积总和; ΔS_j 为研究时段内流失耕地面积(km^2),即耕地转化为其他土地利用类型的面积总和; T 为时间段(a)。

1.3.2 空间自相关

空间自相关分析常用于刻画地理变量在空间上的分布模式及其空间关联强度^[19]。本研究通过全局莫兰指数(global Moran's I)分析新增耕地在整个研究区域内的空间集聚特征,计算公式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \omega_{ik} (x_i - \bar{x})(x_k - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \omega_{ik}} \quad (2)$$

为进一步探测局部空间特征,采用局部莫兰指数(local Moran's I_i)识别耕地在局部尺度上的空间集聚性,计算公式如下:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{k=1}^n \omega_{ik} (x_k - \bar{x}) \quad (3)$$

式中: \bar{x} 为全部单元的平均值; x_i 与 x_k 分别为第 i 和 k 单元的观测值; n 为单元数; ω_{ik} 为每一个单元的空间权重矩阵;当 i 和 k 单元相邻时,权重为1,否则权重为0。

1.3.3 最优参数地理探测器

最优参数地理探测器(OPGD)是在原有地理探测器的基础上,通过最优的离散化算法和参数,对模型中的参数进行优化,以提高模型在实际应用中的准确性和解释力^[20]。本研究使用“拐点法”根据方差拟合优度(GVF)确定最优参数。OPGD公式如下:

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

式中: q 为驱动因子的探测值; N 为总体样本数; L 为变量 x 或 y 的分层; h 为变量 x 或 y 的分层数; N_h 为 h 层的样本数; σ^2 为总体因变量 y 的方差; σ_h^2 为 h 层的方差。

1.3.4 SOFM 聚类

自组织映射神经网络(SOFM)是一种无监督的竞争性神经网络方法,具有自适应、自组织和自学习等特征,其拓扑结构由输入层和输出层组成,能够依据学习规则对输入模式进行自动分类^[21]。通过对输入数据的自组织学习,SOFM可以提取其特征,并在输出层呈现分类结果。本研究在 R4.4.3 环境中,借助“kohonen”包完成。

1.3.5 指标构建

耕地是人类活动与自然环境相互作用的复杂产物,新增耕地受到社会经济、自然环境等多方面影响。在社会经济方面,已有研究证明人口、经济、城镇化、农户耕作意愿等因素都会影响新增耕地^[22]。

在自然环境方面,高程、坡度、降水、土壤质量等已被学者证实在新增耕地过程中发挥着重要作用^[23]。然而,除上述驱动因素外,一个地区原有的耕地状况也可能对新增耕地产生影响。例如,耕地数量较多的地区一般土地更符合农业利用,更容易出现新增耕地。

在新增耕地中,后备耕地资源也发挥了重要作用,后备耕地较多的地区更容易出现新增耕地。此外,耕地的斑块密度、分割度反映了其是否适合规模种植或机械化生产^[24]。基于以上分析,本研究从社会经济、自然环境、耕地状态 3 个维度构建了新增耕地的驱动因素指标体系(表 1),探究其对新增耕地的多尺度影响。

表 1 新增耕地驱动因子指标体系

Table 1 Indicator system for driving factors of newly cultivated land

维度	指标因子	编号	指标含义
社会经济	人口密度/(人·km ⁻²)	S ₁	反映区域人口集聚程度,代表潜在的耕地需求和开发压力
	GDP/(万元·km ⁻²)	S ₂	表征区域经济发展水平,间接反映土地利用强度与转型动力
	距道路距离/km	S ₃	衡量耕地开发与交通可达性之间的关系,距道路越近,开发可能性越大
	距居民点距离/km	S ₄	体现耕地与居民生活区的空间联系,影响劳动力获取与耕作便利性
	建设用地面积/km ²	S ₅	表征区域城镇化和建设活动的强度
自然环境	高程/m	N ₁	地形起伏的基本指标
	坡度/(°)	N ₂	直接影响耕作难度与土壤侵蚀风险,坡度较大区域不利于耕地利用
	降水量/mm	N ₃	表征水分供给
	土壤质量	N ₄	反映土壤肥力、质地、pH 等基础耕作条件
	距水体距离/km	N ₅	表征灌溉便利性与水资源可及性
耕地状态	现状耕地/km ²	C ₁	区域内已有耕地的分布与规模
	后备耕地/km ²	C ₂	可转化为耕地的潜在土地资源
	斑块密度/(个·km ⁻²)	C ₃	单位面积内景观斑块数量,表征耕地空间破碎化程度
	分割度	C ₄	描述景观破碎化的程度和复杂性,反映耕地景观结构的完整性与连通性

2 结果与分析

2.1 耕地规模时间变化

2000—2024 年间,吉林西部耕地规模总体呈现出“先减后增,波动调整”的阶段性特征(图 2)。2000—2010 年耕地面积从 3.53×10⁶ hm² 降至 3.27×10⁶ hm²,达到 25 年间的最低值。2010 年起耕地面积开始快速回升,至 2023 年达 3.52×10⁶ hm²,基本接近 2000 年水平。新增耕地在研究期表现出显著的阶段性特征,2000—2011 年新增耕地面积相对较少,平均为 2.50×10⁴ hm²。2010—2012 年新增耕地面积迅速上升,2012 年为 1.12×10⁵ hm²,达到研究期内的峰值。2013—2024 年新增耕地面积略有下降,但仍维持在较高水平。

吉林西部耕地变化特征显著且呈现出阶段性(图 2,图 3)。2000—2005 年耕地呈净流失态势,净流出 1.67×10⁵ hm²,主要流向草地(2.42×10⁵ hm²)和建设用地(2.20×10⁴ hm²);主要新增来源为草地(8.18×10⁴ hm²),2005—2010 年耕地净流出 9.53×10⁴ hm²,草地(2.03×10⁵ hm²)与建设用地(3.35×10⁴ hm²)依旧为主要流向;流入耕地主要源自草地(1.31×10⁵ hm²)。2010—2015 年耕地面积开始回升,净增加 9.97×10⁴ hm²。其中,草地(2.07×10⁵ hm²)和未利用地(2.15×10⁴ hm²)为新增耕地的主要来源。2015—2020 年耕地面积进一步增加,净增加 1.10×10⁵ hm²,主要来源为草地(1.72×10⁵ hm²)与未利用地(3.74×10⁴ hm²)。2020—2024 年耕地面积略有下降,净流出 2.91×10⁴ hm²,主要流向草地(9.65×10⁴ hm²)

和水域(3.49×10⁴ hm²)。总体来看,研究期内草地始终是耕地转换的主要来源与流向,耕地变化在不

同阶段呈现出“先减后增,波动调整”的阶段特征。

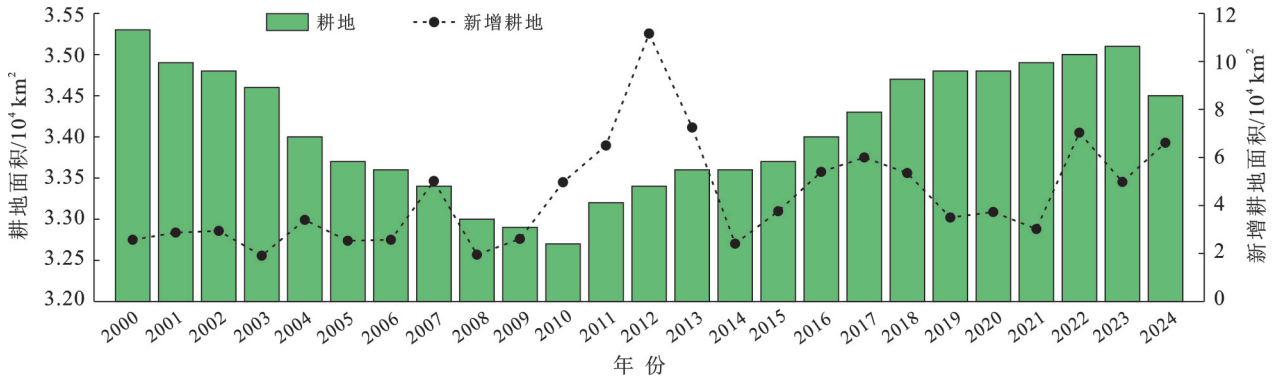


图 2 吉林省西部地区耕地及新增耕地面积变化

Fig.2 Changes in cultivated land and newly cultivated land in western Jilin Province

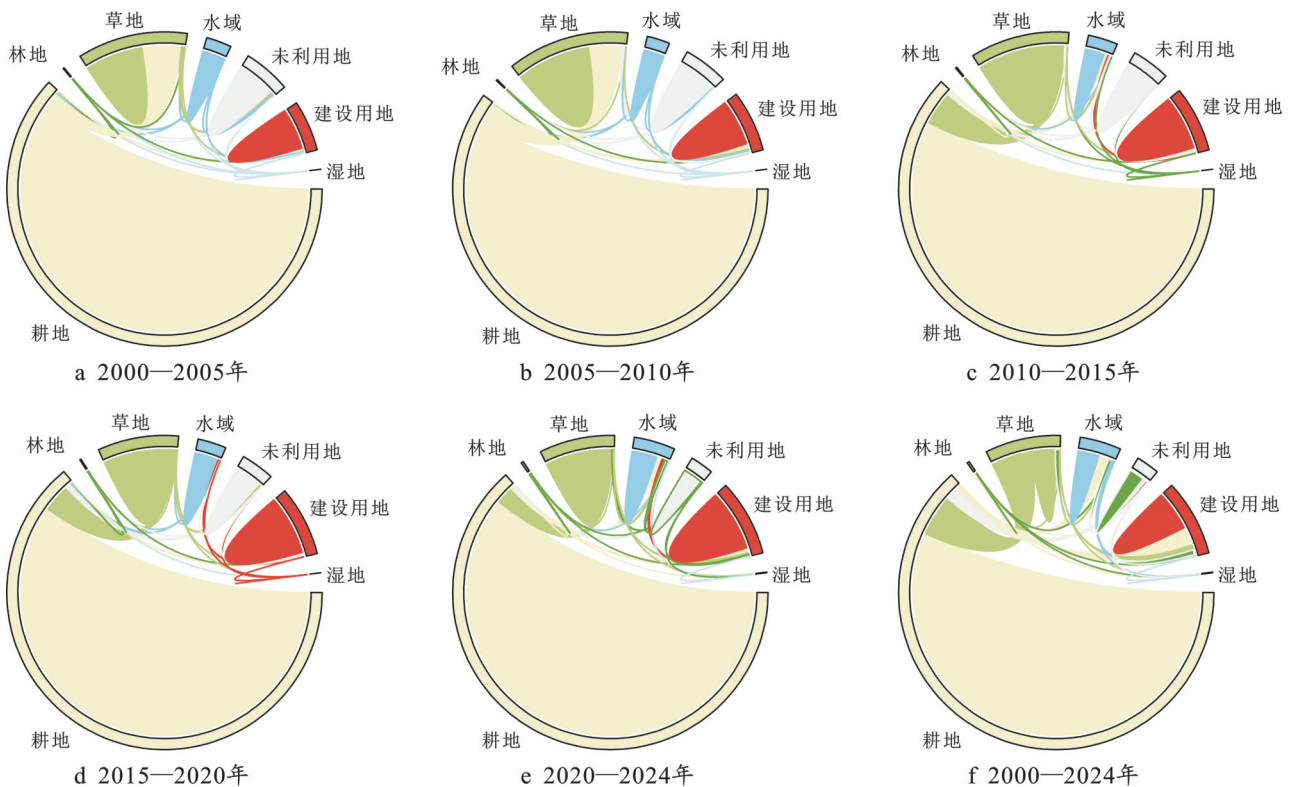


图 3 吉林省西部土地利用转移概况

Fig.3 Overview of land use transition in western Jilin Province

2.2 耕地利用动态度

由图 4 可知,2000—2024 年吉林西部耕地利用动态度总体呈上升趋势,经历了从相对稳定到剧烈变动的转变。基于自然断点法分级结果,研究识别出耕地动态演化的 2 个关键阶段:2000—2010 年为耕地流出主导期,2010—2024 年为耕地流入加速期。其中,2015—2024 年动态度提升最为显著。

在空间分布上,耕地利用活跃区集中在研究区中部与西北部,表现出“中西部活跃,东部稳定”的格

局。2000—2005 年,耕地变化相对活跃的地区包括大安市、通榆县、镇赉县等,耕地以流出为主,其他地区相对稳定。2005—2010 年,耕地变化频繁且略有扩大,长岭县耕地变化强度提升,耕地利用活动增强。2010—2015 年整体变化较小,耕地系统趋于短暂稳定。自 2015 年起,耕地动态度明显升高,大安市、通榆县等地耕地变化活跃度持续增强,前郭县耕地变化也趋于频繁。2020—2024 年是耕地利用最为活跃的阶段,不仅变化强度进一步加剧且区域范围

显著扩展,包括镇赉县、乾安县、洮北区、长岭县等多个地区耕地利用频繁调整。与此同时,扶余市与宁

江区在整个研究期间耕地动态始终保持在较低水平,区域内部耕地系统相对稳定。

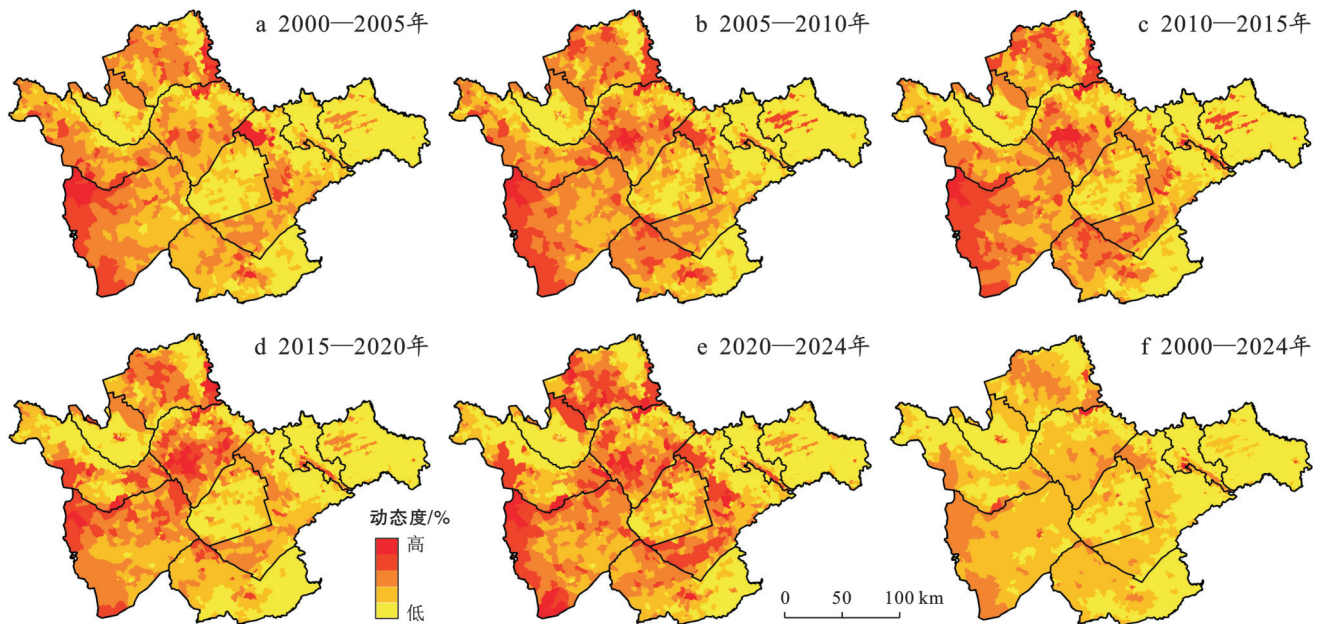


图4 吉林省西部2000—2024年耕地利用动态度变化

Fig.4 Changes in dynamic degree of cultivated land use in western Jilin Province (2000—2024)

2.3 新增耕地空间分布格局

2000—2024年,吉林西部新增耕地在空间上呈现出显著的集聚分布特征。全局Moran's I 始终为正(表2),且通过显著性检验,表明新增耕地并非随机扩展,而是在空间上呈现明显的正向自相关格局,新增耕地更倾向于在已有耕地区集聚。

表2 吉林省西部新增耕地全局莫兰指数
Table 2 Global Moran's I of newly cultivated land in western Jilin Province

年份	Moran's I	P 值	Z 值
2000—2005	0.293	0.001	$z > 2.58$
2005—2010	0.405	0.001	$z > 2.58$
2010—2015	0.403	0.001	$z > 2.58$
2015—2020	0.415	0.001	$z > 2.58$
2020—2024	0.305	0.001	$z > 2.58$
2000—2024	0.296	0.001	$z > 2.58$

局部Moran's I 显示(图5),新增耕地主要集中在“高-高”与“低-低”两类集聚区。其中,“高-高”集聚区持续扩张,由2000—2005年的 $1.17 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (24.89%)增长至2015—2020年的 $1.34 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (28.62%),成为最主要的空间集聚类型;虽然2020—2024年回落至 $1.21 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (25.84%),但整体仍保持在较高水平,集中分布于通榆县、镇赉县、大安市等西部与西南部区域。“低-低”集聚区在研究期内略

有上升,由2000—2005年的 $5.37 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (11.45%)增加至2020—2024年的 $6.22 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (14.66%)。“低-低”集聚区空间分布格局稳定,主要分布在宁江区、扶余市、洮南市等东部与西北部土地整治潜力有限的地区。相比之下,“高-低”与“低-高”类型在各时期占比均不足5%,对整体格局影响有限。总体来看,吉林西部新增耕地空间格局呈现出“高值集聚扩张、低值集聚稳定”的规律,体现了政策引导与土地禀赋共同作用下的空间极化特征。

2.4 新增耕地驱动机制分析

2.4.1 多尺度新增耕地驱动因素探测

为揭示吉林西部地区新增耕地形成的多尺度驱动机制,本研究采用地理探测器对县域、乡镇、村及5 km格网4个尺度下的14个因子进行探测。结果表明(图6),驱动因子在不同尺度上的解释力存在显著差异,体现出明显的尺度效应。

在县域尺度,新增耕地的主导因子集中于耕地状态,后备耕地($C_2, q=0.618$)解释力最强,其次为斑块密度($C_3, q=0.358$)、现状耕地($C_1, q=0.333$)和分割度($C_4, q=0.327$)。社会经济因子中,人口密度($S_1, q=0.303$)和建设用地面积($S_5, q=0.305$)作用突出;自然环境中,降水量($N_3, q=0.261$)解释力较强,表明宏观尺度下新增耕地主要受土地资源禀赋和自然条件制约。

分布在城乡交界地带,耕地与建设用地交织,土地利用冲突较为突出。

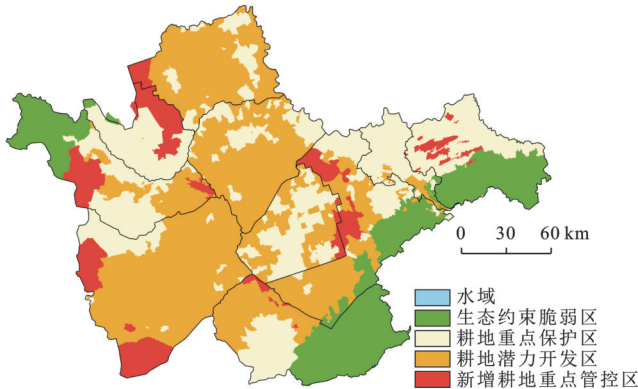


图8 吉林省西部地区耕地开发保护分区

Fig.8 Zoning of cultivated land development and protection in western Jilin Province

3 讨论

3.1 耕地变化的政策响应

吉林西部耕地规模呈现“先减后增,波动调整”的变化趋势,这一结论在付博等^[25]对吉林省耕地的逐年分析中得到了验证,谈明洪等^[26]和吴致蕾等^[27]的研究也为该结果提供了依据。这种阶段性波动体现了耕地格局对政策导向的高度敏感性。2000—2010年间,耕地减少主要受到退耕还林与城镇扩张的推动,反映出国家生态恢复和城市化进程对耕地格局的影响。退耕还林政策在这一阶段对耕地流失起到了直接作用,尤其是在生态脆弱区域,推动了耕地向林地、草地转化。草地和未利用地发挥了重要过渡作用,这一过程表现出政策与土地利用之间的密切关联。2010年后新增耕地显著增加,耕地利用强度有所提升。这一变化显示出政策激励与土地整治工程的作用,特别是耕地保护政策和土地复垦措施的实施,能够有效激活后备资源潜力,促进耕地扩展并改善耕地质量。新增耕地主要集中在已有耕地密集区的周边,呈现一定的集聚特征,反映出政策在优化土地利用结构和推动耕地恢复方面的潜在影响。此外,黑土地保护政策的实施可能对耕地质量的提升起到了积极作用。通过对黑土地的恢复和保护,耕地质量得到提升,土地的破碎化程度有所减轻,提高了耕地的利用效率和生产能力。这些变化虽难以直接归因于某一政策,但可以看作是政策措施在提升耕地利用效率和优化土地利用格局方面的一种潜在效果。

3.2 新增耕地空间格局演变

新增耕地全局莫兰指数与“高-高”集聚区占比呈上升态势,表明新增耕地并非零散分布,而是依托既

有耕作网络与灌溉体系呈现明显集聚效应。这种格局揭示出新增耕地扩展遵循“边缘优先”的逻辑,即在既有耕地周边逐步向外拓展,以降低基础设施投入和经营风险,从而形成规模化、连续性的利用格局^[28]。此外,“高-低”和“低-高”类型的低占比,进一步说明新增耕地在局部尺度上呈现较强的空间同质性,较少出现零星分布的情况。同时,东部与北部长期维持“低-低”集聚,表明在资源条件有限、整治潜力不足或政策投入相对薄弱的地区,新增耕地难以形成规模性扩展。动态度的差异进一步说明,新增耕地的活跃区高度重合于后备资源丰富和政策支持强的西部县区,而相对稳定的区域则集中在耕地开发潜力较差、农业结构较为固化的东部。这些特征共同揭示了吉林西部新增耕地格局的深层机理:其演变不仅是政策与工程投入的直接响应,也是区域资源禀赋、利用条件与生产网络共同作用的结果。

3.3 新增耕地驱动机制多尺度对比

吉林西部新增耕地的驱动机制在不同尺度上表现出显著差异,由资源禀赋主导逐渐向区位条件、景观格局主导过渡。县域尺度上,后备耕地和现状耕地是最核心的基础条件,降水等自然因子在此层面也具有较强的解释力,说明新增耕地受制于潜在耕地和自然环境的总体适宜性,社会经济因子在宏观尺度上的独立作用相对有限^[29]。在乡镇和村尺度,驱动力逐渐转向人居分布与可达性,距居民点距离和水资源条件的重要性明显增强,新增耕地更多集中于村落附近和灌溉便利区,反映出农户在劳动力获取和经营便利上的现实需求。格网尺度的结果进一步揭示了景观格局因子在微观尺度的重要作用,新增耕地往往优先发生在能够形成较为完整、利于并地和机械化作业的区域,景观结构直接影响地块整合与机械化作业条件,成为决定能否转化的关键。

值得注意的是,各因子间的交互作用在各尺度上普遍表现为增强,进一步说明新增耕地并非单一因素主导,而是多要素共同作用的结果^[30]。县域尺度上,社会经济因子的单独作用有限,但其影响在与资源条件叠加后被大大增强,例如人口密度、建设用地面积等指标与后备耕地的交互作用显著提高了其解释力,表明新增耕地并非单纯依赖人类活动,而是建立在资源禀赋与开发需求相匹配的基础之上。乡镇与村层面,距居民点距离与距水体距离、降水量等因子的交互作用显著,村落分布与水资源条件的协同提高了新增耕地的稳定性。格网尺度上,景观格局因子的协同作用进一步凸显了农田整合与农业机械化在微观决策中的重要地位。

3.4 耕地开发保护建议

吉林西部地区不同区域新增耕地在社会经济、自然环境约束和景观特征上存在显著差异,这为开展差异化的耕地开发与保护提供了依据(表3)。

在新增耕地保护中,应优先考虑土壤质量较高,

生产潜力较大的土地。新增耕地质量的高低不仅取决于转化来源(如草地、未利用地等),还与高程、坡度、破碎化程度等地形因素密切相关。低坡度、平坦和低破碎化土地适宜耕作,有助于提高土地生产力和减少生态风险。

表3 吉林西部耕地开发保护分区特征

Table 3 Characteristics of cultivated land development and protection zones in western Jilin Province

分区	指标特征	空间格局与定位	管控方向
生态约束脆弱区	高程、坡度偏高,距水体远,人口、GDP、现状耕地均偏低	分布在边缘和生态敏感区,自然约束强,新增耕地潜力有限	严控新增规模,实施低质耕地整治与复垦,提升利用能力
耕地重点保护区	人口、GDP偏高,交通便利,降水适中,地势平缓,耕地格局完整	多位于城镇周边,是耕地保护与适度补充的核心地带	强化永久基本农田保护与地力提升,结合边际地零星补充
耕地潜力开发区	耕地比例高,人口、GDP偏低,耕地格局破碎化显著,地势平缓	耕地集中但零散分布,具备通过整治和连片开发拓展新增耕地的潜力	推进土地整治与高标准农田建设,改善破碎化格局,扩量提质并重
新增耕地重点管控区	耕地比例高;建设用地、居民点密度较高;景观格局复杂	城郊建设用地交错区,占补矛盾突出,是新增耕地主力区与保护压力区	严格落实占补平衡与质量管控,盘活低效建设用地,缓解矛盾

生态约束脆弱区主要分布在东部与西北部,地势较高、坡度较大,且距水体较远。大规模新增耕地可能带来水土流失与生态风险,难以有效补充,反而削弱耕地保护成效。因此,建议严格控制新增耕地规模,重点加强水土保持与生态恢复,保护现有耕地的生态功能。耕地重点保护区多位于城镇周边和平原腹地,社会经济条件较好,耕地格局稳定。因此,该分区主要任务应为强化永久基本农田保护与地力提升,并结合边际地的零星补充,确保耕地质量与数量的平衡。耕地潜力开发区面临土地破碎化加剧、利用效率低下和景观退化等挑战,若不加治理,耕地规模化经营和粮食安全将受限。然而,通过系统的土地整治和高标准农田建设,推进田块连片、灌溉及基础设施完善,则可在提升耕地集中度和利用效率的同时,实现“质”与“量”的协同提升,转化当前的不足为新的发展潜力。新增耕地重点管控区主要分布在城乡交接地带,道路与居民点密集,耕地与建设用地交织,新增耕地虽集中但面积有限,若盲目扩展将加剧占补矛盾。因此,应严格落实占补平衡与质量验收,并通过盘活低效建设用地缓解耕地保护压力。

3.5 研究局限与展望

本研究聚焦于新增耕地而非耕地总量,在综合考虑社会经济、自然环境因素的基础上,创新性地将耕地状态纳入考虑,从“社会-自然-耕地”三个维度构建了新增耕地驱动因素指标体系,并在此基础上,对比分析了新增耕地驱动机制的尺度效应。但受制于数据获取难度,新增数据通过土地利用数据计算得到,在识别新增耕地过程中,可能存在由于土地类型重分类误差或数据更新滞后带来的潜在局限性;此

外,本研究未将政策因素等纳入到指标体系,且使用的数据多为空间数据或空间化后的社会经济数据,在数据来源方面较为单一。未来研究中可以尝试将政策文本、农户调查与社会经济微观数据纳入研究,弥补人口因素的缺口。

4 结论

(1) 吉林西部耕地变化呈现“先减后增”的阶段性特征。自2010年以来耕地面积持续增加,主要表现为耕地与草地的相互转化。新增耕地呈现显著的集聚特征,集中分布于研究区西部与西南部现有耕地密集区。

(2) 新增耕地驱动机制尺度差异显著。县域尺度中,后备耕地($C_2, q=0.618$)等资源禀赋因子的解释力最强;乡镇与村尺度更多依赖区位与水资源条件,特别是在乡镇尺度,降水量($N_3, q=0.173$)和距居民点距离($S_4, q=0.151$)对新增耕地具有重要影响。在5 km 格网尺度,景观格局结构的作用最为显著,斑块密度($C_3, q=0.406$)和分割度($C_4, q=0.378$)是最关键的驱动因子。

(3) 社会经济因子与资源禀赋条件因子交互作用显著。县域尺度,人口密度与后备耕地($q(C_2 \cap S_1) = 0.621$)交互后解释力显著提升。乡镇和村尺度,降水量与距居民点距离($q(N_3 \cap S_4) = 0.531$)交互作用更为显著。格网尺度,斑块密度与分割度($q(C_3 \cap C_4) = 0.472$)的交互作用最为突出。

(4) 吉林西部耕地开发与保护分区特征差异显著。生态约束脆弱区需严格控制新增耕地并开展低质耕地整治。耕地重点保护区应强化基本农田保护与地

力提升。耕地潜力开发区应推进土地整治与高标准农田建设,优化耕地格局。新增耕地重点管控区应严格执行占补平衡与质量管控,盘活低效建设用地。

参考文献 (References)

- [1] 李舒畅,郭正,张风宝,等.基于多源数据融合产品的黄河中游多沙粗沙区耕地时空动态变化[J].水土保持学报,2024,38(5):139-150.
Li Shuchang, Guo Zheng, Zhang Fengbao, et al. Spatio-temporal dynamic changes of cropland in rich and coarse sediment areas of middle Yellow River basin based on multi-source data fusion products [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2024,38(5):139-150.
- [2] 刘洪彬,高嘉鞠,吴梦瑶,等.东北三省黑土区耕地数量时空格局变化及其驱动机制研究[J].沈阳农业大学学报,2022,53(4):444-453.
Liu Hongbin, Gao Jiaku, Wu Mengyao, et al. Spatial-temporal pattern change of cultivated land quantity and its driving mechanism in black soil area of northeast China [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2022, 53(4):444-453.
- [3] Kong Lingqiao, Wu Tong, Xiao Yi, et al. Natural capital investments in China undermined by reclamation for cropland [J]. *Nature Ecology & Evolution*, 2023,7(11):1771-1777.
- [4] 李佳玲,侯兰金,朱吉贝,等.近20年湖南省耕地开发强度时空分异研究[J].中国农业资源与区划,2021,42(11):199-207.
Li Jialing, Hou Lanjin, Zhu Jibei, et al. Study on the spatial and temporal variation of cultivated land development intensity in Hunan Province in the past 20 years [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021,42(11):199-207.
- [5] 王兆峰,田俊峰.湖南省耕地资源利用安全综合评价与提升路径研究[J].中国土地科学,2021,35(1):48-58.
Wang Zhaofeng, Tian Junfeng. Study on comprehensive evaluation and promotion path of cultivated land resources use security in Hunan Province [J]. *China Land Science*, 2021,35(1):48-58.
- [6] 王鹏程,张利国,陆汝成.“边境-粮食-生态”安全视域下耕地利用生态效率演变特征与机制:以中越边境地区为例[J].生态学报,2024,44(11):4637-4649.
Wang Pengcheng, Zhang Liguo, Lu Rucheng. Evolution characteristics and mechanism of cultivated land use eco-efficiency from the triple-security perspective in China-Vietnam border area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024,44(11):4637-4649.
- [7] 朱梦凡,李敬锁.中国粮食主产区耕地利用效率区域差异及影响因素:基于179个地级市的实证研究[J].水土保持通报,2024,44(1):206-217.
Zhu Mengfan, Li Jingsuo. Regional differences in cultivated land utilization efficiency and its influencing factors for major grain producing areas in China [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2024,44(1):206-217.
- [8] 胡砚霞,王长青.汉江流域耕地生产力变化趋势与持续性分析[J].长江流域资源与环境,2022,31(6):1249-1261.
Hu Yanxia, Wang Changqing. Change trend and sustainability analysis of farmland productivity in the Han River basin [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022,31(6):1249-1261.
- [9] 王亚辉,杨邀邈,辛良杰,等.中国不同类型耕地撂荒时空分异及其影响因素研究:基于全国346个山区县的调查数据[J].地理研究,2024,43(8):1977-1993.
Wang Yahui, Yang Aoxi, Xin Liangjie, et al. Spatial and temporal differentiation and influencing factors of fallowing in different types of farmland in China: Based on survey data from 346 mountainous counties [J]. *Geographical Research*, 2024,43(8):1977-1993.
- [10] 朱磊,杨爱民,夏鑫鑫,等.基于空间自相关的1975—2015年玛纳斯河流域耕地时空特征变化分析[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(6):887-899.
Zhu Lei, Yang Aimin, Xia Xinxin, et al. Spatial distribution pattern and change characteristics analysis of cultivated land in the Manas River basin from 1975 to 2015 [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020,28(6):887-899.
- [11] 牛善栋,方斌,崔翠,等.乡村振兴视角下耕地利用转型的时空格局及路径分析:以淮海经济区为例[J].自然资源学报,2020,35(8):1908-1925.
Niu Shandong, Fang Bin, Cui Cui, et al. The spatial-temporal pattern and path of cultivated land use transition from the perspective of rural revitalization: Taking Huaihai economic zone as an example [J]. *Journal of Natural Resources*, 2020,35(8):1908-1925.
- [12] Wang Liye, Zhang Siyu, Xiong Qiangqiang, et al. Spatiotemporal dynamics of cropland expansion and its driving factors in the Yangtze River economic belt: A nuanced analysis at the county scale [J]. *Land Use Policy*, 2022,119:106168.
- [13] Du Bin, Ye Sijing, Gao Peichao, et al. Analyzing spatial patterns and driving factors of cropland change in China's national protected areas for sustainable management [J]. *Science of the Total Environment*, 2024, 912:169102.
- [14] 李林源,高磊,彭新华,等.典型水蚀区坡耕地黑土质量的空间分异特征及影响因素[J].水土保持学报,2024,38(3):382-390.
Li Linyuan, Gao Lei, Peng Xinhua, et al. Spatial variation characteristics and influencing factors of black soil quality in typical water-eroded sloping cropland [J].

- Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(3): 382-390.
- [15] 史晓辰,张超,鄢文聚.有效缓解耕地开垦与湿地保护矛盾的对策:以吉林西部为例[J].中国土地,2022(10):32-33.
Shi Xiaochen, Zhang Chao, Yun Wenju. Countermeasures to effectively alleviate the contradiction between cultivated land reclamation and wetland protection: A case study of western Jilin Province [J]. China Land, 2022(10):32-33.
- [16] 范语思,李月芬,张玉树,等.吉林西部县域“旱改水”时空演变特征及驱动机制分析[J].世界地质,2020,39(2):444-451.
Fan Yusi, Li Yuefen, Zhang Yushu, et al. Analysis on spatiotemporal evolution and its driving mechanism of conversion from dryland into paddy field at county scale in western Jilin Province [J]. Global Geology, 2020, 39(2):444-451.
- [17] 于国强,孙宏,刘思彤.吉林省西部耕地类型动态变化研究[J].吉林农业,2015(6):65-66.
Yu Guoqiang, Sun Hong, Liu Sitong. Study on dynamic change of cultivated land types in western Jilin Province [J]. Agriculture of Jilin, 2015(6):65-66.
- [18] 许鑫,徐丽婷,周达宝,等.江西省耕地变化及其与乡村聚落的耦合关系研究[J].水土保持研究,2025,32(4):343-352.
Xu Xin, Xu Liting, Zhou Dabao, et al. Research on the cultivated land changes and its coupling relationship with rural settlements in Jiangxi Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(4):343-352.
- [19] 孙一帆,徐梦菲,汪霞.基于 InVEST-PLUS 模型的郑州市碳储量时空演变及空间自相关分析[J].水土保持通报,2023,43(5):374-384.
Sun Yifan, Xu Mengfei, Wang Xia. Spatial-temporal evolution of carbon storage and spatial autocorrelation analysis in Zhengzhou City based on InVEST-PLUS model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(5):374-384.
- [20] 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.
- [21] 常耀文,吴迪,李欢,等.基于自组织映射神经网络的淮河流域生态系统服务簇时空变化特征[J].生态学报,2024,44(11):4544-4557.
Chang Yaowen, Wu Di, Li Huan, et al. Spatio-temporal variations of ecosystem service bundles in Huaihe River basin based on SOFM [J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(11):4544-4557.
- [22] Uisso A M, Tanrıvermiş H. Driving factors and assessment of changes in the use of arable land in Tanzania [J]. Land Use Policy, 2021, 104:105359.
- [23] Zhou Yang, Li Xunhuan, Liu Yansui. Land use change and driving factors in rural China during the period 1995-2015 [J]. Land Use Policy, 2020, 99:105048.
- [24] Janus J, Ertunç E. Differences in the effectiveness of land consolidation projects in various countries and their causes: Examples of Poland and Turkey [J]. Land Use Policy, 2021, 108:105542.
- [25] 付博,雷宇阳,任春颖.基于 Google Earth Engine 和 Sentinel-1/2 影像的吉林省耕地逐年动态变化分析[J].吉林师范大学学报(自然科学版),2025,46(3):124-134.
Fu Bo, Lei Yuyang, Ren Chunying. Analysis of annual dynamic changes in cropland in Jilin Province based on Google Earth Engine and Sentinel-1/2 imagery [J]. Jilin Normal University Journal (Natural Science Edition), 2025, 46(3):124-134.
- [26] 谈明洪,闫紫艳,李秀彬,等.试论中国耕地增减的地理分界线:40°N[J].地理科学,2025,45(5):941-949.
Tan Minghong, Yan Ziyang, Li Xiubin, et al. Analysis of geographical dividing line of cropland changes in China: 40°N [J]. Scientia Geographica Sinica, 2025, 45(5):941-949.
- [27] 吴致蕾,方修琦,叶瑜,等.过去 300 年吉林省耕地覆盖数据优化及其时空变化特征[J].中国农业资源与区划,2025,46(7):53-68.
Wu Zhilei, Fang Xiuqi, Ye Yu, et al. Optimization of cropland cover data in Jilin Province over the past 300 years and its spatial-temporal change characteristics [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2025, 46(7):53-68.
- [28] 邢可,蔡红艳,张定祥.东北地区新增耕地空间格局及地理环境特征分析[J].遥感技术与应用,2025,40(1):248-257.
Xing Ke, Cai Hongyan, Zhang Dingxiang. Analysis of spatial pattern and geographical environment characteristics of newly added cultivated land in Northeast China [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2025, 40(1):248-257.
- [29] 王鸣雷,史文娇.中国北方新增耕地的时空变化及驱动因素分区[J].中国农业科学,2020,53(12):2435-2449.
Wang Minglei, Shi Wenjiao. Spatial-temporal changes of newly cultivated land in northern China and its zoning based on driving factors [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(12):2435-2449.
- [30] 张婕,刘玉洁,张二梅,等.中国县域耕地动态演变及其驱动机制[J].地理学报,2023,78(9):2105-2127.
Zhang Jie, Liu Yujie, Zhang Ermei, et al. Dynamics and driving mechanisms of cultivated land at county level in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(9):2105-2127.