

# 赣东北丘陵地区县域耕地非农化和非粮化驱动机制及预警

张晓平<sup>1,2</sup>, 鲍辰浩<sup>1,2,3</sup>, 黎德华<sup>1,2</sup>, 多玲花<sup>1,2</sup>, 邹自力<sup>1,3</sup>

(1.东华理工大学 测绘与空间信息工程学院, 江西 南昌 330013;

2.东华理工大学 江西省流域生态过程与信息重点实验室, 江西 南昌 330013; 3.赣东学院, 江西 抚州 344000)

**摘要:** [目的] 探究江西省上饶市铅山县耕地非农化和非粮化的空间分异特征及其驱动机制, 模拟土地利用变化格局以作出预警, 为严格落实耕地用途管制措施提供科学依据和决策支持。[方法] 以铅山县 2017 年和 2021 年的土地利用数据为基础, 利用空间计量模型识别耕地非农化和非粮化的驱动机制, 借助 PLUS 模型预测耕地变化情况, 根据预测结果进一步划定预警级别。[结果] ①铅山县耕地非农化和非粮化空间分异特征明显, 耕地总体变化率和非粮化率高值区聚集在县域北部的河谷平原和南部的武夷山北麓山区, 低值区分布在县域东西两侧; 耕地非农化率高值区分布较为零散, 低值区相对连片。②耕地利用等级和人均耕地面积是抑制耕地非农化的重要因素, 城乡梯度、道路密度与非农化率和非粮化率呈正相关, 人均建设用地面积、耕地后备资源对非农化率存在正向影响。③多情景模拟结果显示, 自然发展情景下建设用地扩张导致耕地数量大幅度减少, 耕地管制情景下耕地连片性提高, 生态保护情景下存在林地挤压耕地资源的情况。④铅山县耕地非农化处于适度预警以上的行政村主要聚集在县域南部乡镇, 耕地非粮化预警级别的高值区普遍集中在县域北部乡镇。[结论] 未来应积极推进高标准农田建设, 建立耕地保护补偿机制, 提高乡镇集约节约用地水平, 开展全域土地综合整治, 完善耕地流转制度, 落实耕地“占补平衡”和“进出平衡”的耕地用途管制措施。

**关键词:** 耕地用途管制; 非农化和非粮化; 空间分异; 驱动机制; 预警

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)03-0263-11

中图分类号: F301.2

**文献参数:** 张晓平, 鲍辰浩, 黎德华, 等. 赣东北丘陵地区县域耕地非农化和非粮化驱动机制及预警[J]. 水土保持通报, 2024, 44(3): 263-273. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.03.027; Zhang Xiaoping, Bao Chenhao, Li Dehua, et al. Driving mechanism and early warning of non-agriculture and non-grain cultivated land in northeastern hilly areas of Jiangxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(3): 263-273.

## Driving Mechanism and Early Warning of Non-agriculture and Non-grain Cultivated Land in Northeastern Hilly Areas of Jiangxi Province

Zhang Xiaoping<sup>1,2</sup>, Bao Chenhao<sup>1,2,3</sup>, Li Dehua<sup>1,2</sup>, Duo Linghua<sup>1,2</sup>, Zou Zili<sup>1,3</sup>

(1.School of Surveying and Geoinformation Engineering, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013, China; 2.Jiangxi Key Laboratory of Watershed Ecological Process and Information, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013, China; 3.Gandong College, Fuzhou, Jiangxi 344000, China)

**Abstract:** [Objective] The spatial differentiation characteristics of non-agriculture and non-grain cultivated land in Yanshan County, Shangrao City, Jiangxi Province, and their driving mechanism were determined, and the land use change pattern for early warning was simulated, in order to provide a scientific basis and decision-making support for the strict implementation of cultivated land use control measures. [Methods] Based on the land use data of Yanshan County in 2017 and 2021, the spatial econometric model was used to

收稿日期: 2023-10-30

修回日期: 2024-01-06

资助项目: 江西省社科基金“十四五”地区项目“抚州市传统村落公共空间活化研究”(22DQ44); 江西省自然科学基金资助项目“村庄共同体的衰落与重建: 基于传统农区远郊村的实证研究”(20232BAB203062)

第一作者: 张晓平(1982—), 男(汉族), 江西省吉安市人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用与资源评价方面的研究。Email: xpzhang@ecut.edu.cn.

通信作者: 鲍辰浩(1992—), 男(汉族), 江西省抚州市人, 硕士研究生, 研究方向为国土空间规划与农业遥感。Email: 201772010@ecut.edu.cn.

identify the driving mechanism of farmland non-agriculture and non-grain conversion, and the cultivated land change was predicted by the PLUS model, and the warning level was further defined according to the forecast results. [Results] ① The spatial differentiation characteristics of non-agriculture and non-grain cultivated land in Yanshan County was obvious. The areas with high values of the overall rate of cultivated land change and the rate change of non-grain cultivated land were clustered in the valley plains in the north of the county and in Wuyi Mountains in the south. The low-value areas were located on the east and west sides of the county. The distribution of the high-value areas of rate of change of non-agriculture cultivated land was more fragmented, and the low-value areas were relatively continuous. ② Cultivated land utilization grade and per capita cultivated land area were important factors inhibiting the non-agriculture of cultivated land. Urban-rural gradient and road density were positively correlated with the rate of non-agriculture and non-grain. Per capita cultivated land area and cultivated land reserve resources had a positive effect on the rate of non-agriculture. ③ The results of the multi-scenario simulation showed that the expansion of construction land led to a significant reduction in the amount of cultivated land in the natural development scenario. The contiguity of cultivated land increased in the cultivated land control scenario. There was a situation in which forested land squeezed the cultivated land resources in the ecological protection scenario. ④ Administrative villages with the moderate warning level for non-agriculture cultivated land were mainly clustered in townships in the southern part of the county, and the areas with high values of the warning level for non-grain cultivated land were generally concentrated in townships in the northern part of the county. [Conclusion] In the future, we should actively promote the construction of high-standard farmland, establish a compensation mechanism for cultivated land protection, improve the degree of land intensification and conservation in townships, carry out comprehensive land improvement in the entire region, improve the system of cultivated land transfer, and implement the control measures for the use of cultivated land with a balance between “occupation and compensation” and “balance between import and export”.

**Keywords: cultivated land use control; non-agriculture and non-grain; spatial differentiation; driving mechanisms; early warning**

随着耕地保护压力和粮食安全保障形势愈发严峻,学者们以不同行政区为研究尺度,揭示了国家级<sup>[1]</sup>、省级<sup>[2]</sup>、市级等<sup>[3]</sup>宏观尺度的非农化和非粮化分布格局,指出中国整体非农化和非粮化水平在 2014 年前后进入阶段性的增长态势<sup>[4]</sup>,有必要对非农化和非粮化的驱动机制展开讨论<sup>[5]</sup>。因此,相关学者围绕自然条件<sup>[6]</sup>、地理区位<sup>[7]</sup>、景观格局<sup>[8]</sup>、土地政策<sup>[9]</sup>、农村人口结构<sup>[10]</sup>、农户家庭情况等<sup>[11]</sup>角度,采用 GWR 模型<sup>[12]</sup>、空间计量模型<sup>[13]</sup>、地理探测器<sup>[14]</sup>、随机森林<sup>[15]</sup>等统计模型对耕地非农化和非粮化成因及其效应空间差异深入探讨。其中空间计量模型在计量实证研究中能恰当地描述和运用空间特性对空间交互作用<sup>[16]</sup>,具有经典计量经济学模型所缺乏的优势,被相继应用于赣州<sup>[8]</sup>、重庆<sup>[5]</sup>等典型丘陵区的耕地非农化和非粮化驱动机制研究。

此外,由于实地调查和遥感监测所获取的信息具有滞后性<sup>[17]</sup>,不少学者尝试利用 CLUE-S<sup>[18]</sup>、FLUS<sup>[19]</sup>、PLUS<sup>[20]</sup>模型对土地利用格局进行多情景模拟,提前掌握未来土地利用变化所导致的风险或灾害及其严重程度,针对可能出现的风险或危害提出防范与应对

建议。耕地用途转换作为土地利用变化过程中最常见的现象,借助相关模型以多情景角度模拟未来土地利用格局,对可能存在的耕地非农化和非粮化现象提前预警,有助于缩短土地利用宏观调控的时滞性,实施有效的耕地用途管制措施。

当前学者针对耕地非农化和非粮化的时空特征、变化规律、驱动机制等方面开展广泛讨论,尤其在驱动机制分析中引入不同角度的驱动因子和统计模型,丰富了该领域的研究成果。然而,已有研究在空间尺度上较少面向县域内部乡镇、村等单元<sup>[5]</sup>,难以从微观尺度剖析耕地非农化和非粮化的成因;在研究角度上仅对耕地非农化和非粮化的现状特征展开描述,缺乏具有前瞻性的多情景预警分析。

赣东北地区包括上饶市、景德镇市、鹰潭市,属于典型的中低山丘陵区,自然资源禀赋差异较大<sup>[21]</sup>。铅山县地处信江河谷城镇群,作为全国商品粮生产基地县和典型矿业城市<sup>[22]</sup>,乡镇经济发展、矿产资源开发与耕地保护的矛盾较为显著。鉴于此,本文选择江西省上饶市铅山县为研究区域,以行政村为研究单元,通过叠加 2017 年和 2021 年土地利用数据揭示耕地非农

化和非粮化的空间分异特征,引入空间计量模型识别其驱动机制,设置自然发展、耕地管制和生态保护3种情景,运用PLUS模型预测2021—2029年铅山县耕地变化情况,对非农化和非粮化格局进行预警,以期为县域耕地用途管制措施的制定与落实提供参考和依据。

## 1 研究区概况及数据来源

铅山县位于江西省东北部,上饶市西南部,武夷山脉北麓,东连广信区,西接弋阳县、贵溪市,北靠横峰县,南临福建省武夷山市、光泽县,县域辖区内有8镇9乡,178个行政村,地形高低起伏明显,呈南高北低的态势,南部武夷山峰谷延绵,为铅山县南部的天然屏障,是赣闽两省的天然界线(图1)。耕地资源分布受地形影响,大致呈现出山区、丘陵区和平原区的分布特征:南部中低山区,地形起伏大,森林茂密,生态较好;中部低山丘陵区,梯田为主,农业以油茶为主;北部低山岗地河谷平原区,地势平缓,农业以水稻种植为主。区域内东南风常年占据主导地位,气候温暖,光照充足,雨量充沛,无霜期长,适宜农作物生长。铅山县2014—2020年耕地占全县总面积的比例由14.12%降至13.06%,粮食作物播种面积减少32.67 km<sup>2</sup>,谷物主粮产量减少8 000 t,耕地资源和粮食安全的保护压力较大。

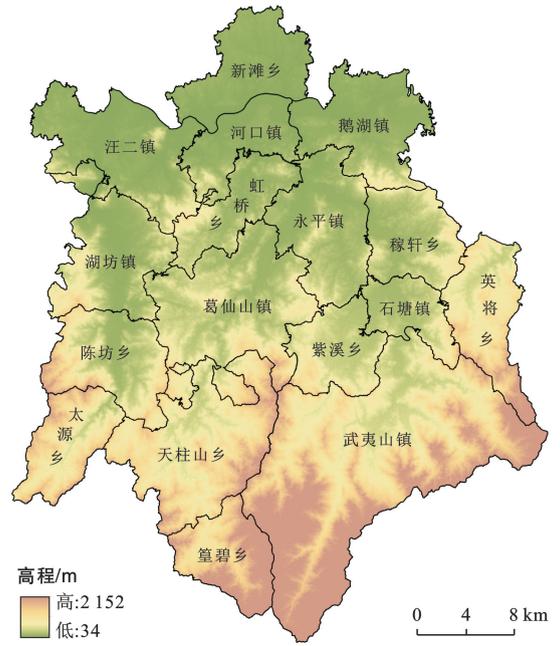


图1 江西省铅山县高程分布

Fig.1 Elevation distribution of Yanshan County, Jiangxi Province

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

研究所采用的数据包括矢量数据和栅格数据,具体的数据信息及来源见表1。

表1 数据信息及来源

Table 1 Data information and sources

数据类型	数据名称	空间分辨率	数据来源
矢量数据	行政区划	—	铅山县自然资源部门
	耕地质量等别数据	—	
	土地利用年度变更数据	—	
	耕地后备资源调查成果	—	
	“三区三线”划定成果	—	
	乡镇政府驻点	—	
	主要道路和水系	—	
栅格数据	土壤类型	1 km	中科院资源环境科学数据中心 ( <a href="http://www.resdc.cn/data">http://www.resdc.cn/data</a> )
	年平均温度	1 km	
	年平均降水量	1 km	
	数字高程数据	90 m	
	国内生产总值	1 km	Earth Observation Group ( <a href="https://eogdata.mines.edu/products/vnl/">https://eogdata.mines.edu/products/vnl/</a> )
	NPP-VII R 夜间灯光数据	500 m	
	人口	100 m	

铅山县2017—2021年土地利用数据来源于Microsoft和Esri共同生产的土地覆盖时间序列数据Esri Land Cover,数据空间分辨率为10 m。县域土地利用类型可划分为水体、林地、草地、耕地、建设用地、裸地和湿地。为了证实研究期内Esri Land

Cover数据的精度适用于铅山县耕地非农化和非粮化研究,本文基于2021年土地利用年度变更数据对Esri Land Cover的土地分类情况进行精度检验。结果表明,2021年Esri Land Cover数据的总体精度为0.87,kappa系数为0.81,土地利用分类精度较高。

## 2.2 研究方法

2.2.1 耕地非农化和非粮化测度 根据耕地非农化和非粮化的定义,本文以研究期内发生地类转换的耕地面积占初期耕地面积的比例来表征耕地非农化和非粮化程度。耕地转换为建设用地的变化率是耕地非农化率,耕地转换为林地和草地的变化率是耕地非粮化率,耕地总体变化率由耕地非农化率和非粮化率合计所得。计算公式为:

$$P_{na} = \frac{A_{na}}{S} \quad (1)$$

$$P_{ng} = \frac{A_{ng}}{S} \quad (2)$$

$$P_{nt} = P_{na} + P_{ng} \quad (3)$$

式中: $P_{na}$ 为区域耕地非农化率(%); $A_{na}$ 为研究期内区域耕地转换为建设用地的面积; $P_{ng}$ 为区域耕地非粮化率(%); $A_{ng}$ 为研究期内区域耕地转换为林地和草地的面积; $S$ 为初期年的区域耕地面积; $P_{nt}$ 为耕地总体变化率。

2.2.2 耕地非农化和非粮化驱动指标体系 现有研究成果表明,耕地非农化和非粮化本质上是耕地经营主体在外部环境和其自身特征的交互影响下转变耕地利用方式的现象<sup>[7]</sup>。耕地非农化和非粮化的驱动指标体系将围绕耕地质量、耕作条件、生产区位、资源禀赋 4 个方面选取 11 个指标进行构建(表 2)。

表 2 耕地非农化和非粮化驱动指标体系

Table 2 System of indicators for driving non-agriculture and non-grain cultivated land

驱动因素	驱动指标	指标释义
耕地质量	耕地自然等级( $X_1$ )	根据标准耕作制度,对指定作物的光温(气候)生产潜力指数逐一进行自然质量分值修正后求和,反映永久基本农田光温、气候、土壤等自然条件的质量等级
	耕地利用等级( $X_2$ )	农用地自然质量等指数与土地利用系数的乘积,反映永久基本农田在一定的自然条件和平均土地利用条件下的质量等级
	耕地经济等级( $X_3$ )	农用地利用等指数与土地经济系数的乘积,反映永久基本农田在一定的自然条件、平均土地利用条件、平均土地经济条件下的质量等级
耕作条件	耕地规整度( $X_4$ )	由耕地斑块的面积加权形状指数(AWMSI)表征,反映耕地斑块形状的规律性和复杂性
	耕地连片度( $X_5$ )	由耕地斑块的聚集度指数(AI)表征,反映耕地景观的空间分布状况及耕地斑块的聚集程度
生产区位	城乡梯度( $X_6$ )	行政村至乡镇政府驻点欧氏距离的平均值,反映村庄与镇区中心的远近
	居民点密度( $X_7$ )	行政村内居民点核密度的平均值,反映农村居民点的集聚程度
	道路密度( $X_8$ )	行政村内所有道路的总长度与区域总面积之比,反映交通便捷程度
资源禀赋	人均耕地面积( $X_9$ )	耕地总面积与总人口之比,反映人均耕地资源的稀缺程度
	人均建设用地面积( $X_{10}$ )	建设用地面积与总人口之比,反映节约集约用地的水平
	耕地后备资源( $X_{11}$ )	在一定的技术经济条件下,可能转换为耕地的未利用地数量,反映耕地补充和开发的潜力

2.2.3 空间计量模型 随着传统回归分析方法的不断更新和改进,空间交互作用逐步受到重视,空间计量模型被广泛运用在空间格局演变及其驱动机制的研究。在运用空间计量模型进析之前,需要对变量进行空间自相关分析以检验变量的空间集聚特征,以此判断变量是否具有空间依赖性。如果变量具备空间集聚特征,则通过普通最小二乘法对变量的估计结果进行 lagrange multiplier (LM) 检验。当变量存在空间溢出效应时,选用空间滞后模型(spatial lag model, SLM)分析相邻区域因变量对本区域因变量的影响<sup>[23]</sup>,基本表达式为:

$$Y = \rho W + \beta X + \mu \quad (4)$$

式中: $Y$ 为因变量; $X$ 为自变量矩阵; $\beta$ 反映自变量 $X$ 对因变量 $Y$ 的影响; $W$ 为空间滞后因变量矩阵; $\rho$ 为空间回归系数,反映样本观测值中的空间依赖作用; $\mu$ 为随机误差项向量,服从正态分布。

当变量误差存在空间扰动时,选用空间误差模型

(spatial error model, SEM)分析相邻区域不可观测因素的空间相关性对本区域因变量的影响<sup>[23]</sup>,基本表达式为:

$$Y = \beta X + \mu, \quad \mu = \lambda W\mu + \varepsilon \quad (5)$$

式中: $\lambda$ 为空间误差系数,衡量样本观察值的空间依赖作用; $\varepsilon$ 为随机误差项向量,服从正态分布。

2.2.4 基于 PLUS 模型的土地利用格局模拟 PLUS 模型是一个以元胞自动机为基础的新模型<sup>[24]</sup>,该模型集合了用地扩张分析策略(LEAS)与基于多类随机斑块种子的 CA 模型(CARS),可以灵活处理多种类型的土地利用斑块变化,用于斑块尺度土地利用格局模拟。本文从自然环境、地理区位、社会经济 3 个方面,选取土壤类型、年平均温度、年平均降水、高程、坡度、到道路距离、到铁路距离、到水系距离、到乡镇政府距离、夜间灯光、人口、GDP 共 12 种因子作为驱动变量,以 2017 年土地利用栅格数据为初始数据,对 2029 年铅山县的土地利用格局进行模拟。

土地利用的需求变化和空间变化与社会发展过程中所制定的决策有着紧密的联系,多种情景下的土地利用格局模拟有助于决策者以不同角度对未来土地利用空间变化进行科学的判断<sup>[25]</sup>。通过设定3种情景探究铅山县未来土地利用变化的演变过程与格局,能够从不同角度对耕地非农化和非粮化现象实施预警分级。

(1) 自然发展情景。自然发展情景即不考虑人类计划与政策的干预,按照研究区以往的土地发展规律进行模拟<sup>[26]</sup>。该情景是依据铅山县2017—2021年的土地利用转移趋势,使用Markov模型计算各地类之间的转移概率,进而预测2029年土地利用情况。其他模拟情景将基于该情景进行针对性调整。

(2) 耕地管制情景。在耕地用途管制背景下,铅山县应落实永久基本农田保护制度,加强非农建设用地和其他农用地占用耕地的管控力度。该情景将在自然发展情景的基础上设置永久基本农田为限制转换区,使耕地向建设用地转移概率降低60%,向林地和草地的转移概率降低20%。

(3) 生态保护情景。在国土综合整治与生态系统修复的背景下,生态保护情景将基于自然发展情景,设置永久基本农田和生态保护红线为限制转换

区。依据铅山县土地利用情况和文献<sup>[27]</sup>,使耕地向林地和草地转移的概率增加30%,向建设用地转移的概率降低30%;林地、草地和湿地向建设用地转移的概率降低50%。

### 3 结果与分析

#### 3.1 耕地非农化和非粮化空间分异特征

基于铅山县2017—2021年土地利用变化数据的分析结果,对铅山县各个行政村耕地非农化和非粮化的测度水平进行空间可视化表达,运用相等间隔法将总体变化率、非农化率、非粮化率分为4个等级,得到全县耕地非农化和非粮化空间分异格局(图2)。铅山县耕地总体变化率和非粮化率呈现出“南北高、东西低”的空间差异(图2a和图2c),各个等级的行政村数量比较平均,高值区整体坐落在北边的河谷平原区和南部的武夷山北麓山区;低值区主要在县域东西两侧的汪二镇、湖坊镇、石塘镇一带,该处分布着大量的高标准农田和永久基本农田。耕地非农化率表现为“高值零散、低值连片”的空间差异(图2b),高值区相对零散且数量较少,例如天柱山乡港口村、河口镇畜牧场、虹桥乡桥亭村;低值区聚集在西部的汪二镇、湖坊镇、太源乡和东部的稼轩乡。

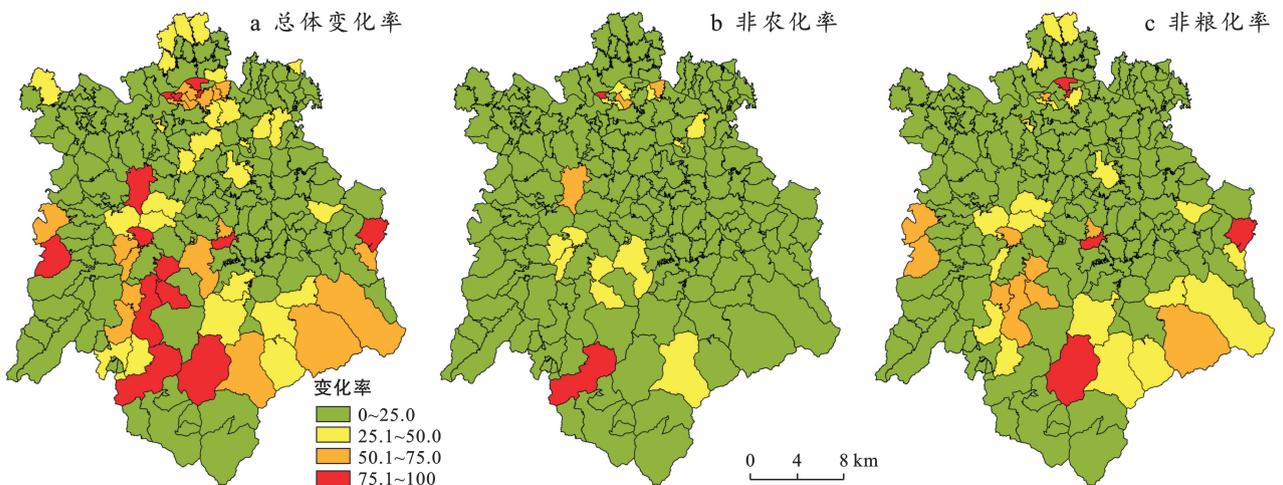


图2 铅山县耕地非农化和非粮化空间分布格局

Fig.2 Patterns of spatial distribution of non-agriculture and non-grain cultivated land at Yanshan County

#### 3.2 耕地非农化和非粮化驱动机制

从耕地非农化和非粮化水平的空间自相关分析结果(表3)可知,铅山县耕地非农化率和非粮化率的全局Moran's  $I$  分别为0.12,0.13,其 $Z$ 值和 $p$ 值均通过 $Z$ 统计值检验和1%水平的显著性检验,各个行政村非农化率和非粮化率存在正相关性,表现出显著的空间聚集特征,即高值区域集聚程度高,低值区域也处于邻近的集聚状态。通过上述的空间自相关分

析证明了铅山县的耕地非农化和非粮化格局具有显著的空间集聚性,适合建立空间计量模型进行研究。

表3 耕地非农化和非粮化率的全局Moran's  $I$   
Table 3 Global Moran's  $I$  for non-agriculture and non-grain cultivated land

类型	Moran's $I$	$Z$ 值	$p$ 值
耕地非农化率	0.12	3.31	0.01
耕地非粮化率	0.13	3.33	0.01

在空间计量模型估计之前,首先对耕地非农化率、非粮化率与所有自变量数据进行标准化处理,然后运用 GeoDa 软件对处理后的数据进行普通最小二乘回归,检查驱动指标之间是否存在共线性问题,最后根据 LM 检验(拉格朗日乘数检验)结果选择采用空间滞后模型还是空间误差模型。

耕地非农化率、非粮化率与 11 个驱动指标的普通最小二乘回归结果显示,各个驱动指标的 VIF 值小于 10,指标之间不存在共线性问题,因此可以采取进一步的 LM 检验。

表 4 铅山县耕地非农化和非粮化率的 LM 检验结果

Table 4 LM test results for non-agricultural and non-grain cultivated land at Yanshan County

LM 检验统计量	耕地非农化		耕地非粮化	
	检验值	<i>p</i> 值	检验值	<i>p</i> 值
拉格朗日乘数—滞后检验(LM-lag)	1.04	0.11	5.00	0.04**
稳健性拉格朗日乘数—滞后检验(Robust LM-lag)	0.01	0.54	0.81	0.37
拉格朗日乘数—误差检验(LM-error)	1.48	0.04**	4.47	0.05
稳健性拉格朗日乘数—误差检验(Robust LM-error)	0.44	0.31	0.29	0.59

注: \*\* 表示在 5% 水平上显著。

在选定空间计量模型之后,将表 1 的 11 个驱动指标与耕地非农化率和非粮化率分别放入空间误差模型(SEM)和空间滞后模型(SLM)进行分析,得到模型的各项参数和自变量对因变量的影响程度及其显著性水平(表 5)。结果显示,两个空间计量模型的决定系数分别为 0.491 5、0.527 6,回归拟合效果较好,施瓦兹准则(SC)和赤池信息准则(AIC)参数值较小,证明其模型精度较高,分析结果具有科学性。

表 5 空间误差模型和空间滞后模型分析结果

Table 5 Analyzed results of spatial error modelling and spatial lag modelling

变量指标	耕地非农化/SEM		耕地非粮化/SLM	
	回归系数	<i>p</i> 值	回归系数	<i>p</i> 值
耕地自然等级( $X_1$ )	0.128 3	0.13	-0.035 1	0.83
耕地利用等级( $X_2$ )	-0.348 9**	0.04	0.204 8	0.27
耕地经济等级( $X_3$ )	0.122 9	0.11	-0.116 3	0.44
耕地规整度( $X_4$ )	0.160 8	0.07	0.694 6***	0.00
耕地连片度( $X_5$ )	0.067 2	0.06	-0.079 1	0.55
城乡梯度( $X_6$ )	0.015 9**	0.05	0.125 1**	0.05
居民点密度( $X_7$ )	-0.077 9	0.14	0.040 2	0.52
道路密度( $X_8$ )	0.156 1**	0.05	0.119 5**	0.05
人均耕地面积( $X_9$ )	-0.271 0**	0.05	0.008 6	0.90
人均建设用地面积( $X_{10}$ )	0.324 2**	0.05	0.046 5	0.52
耕地后备资源( $X_{11}$ )	0.007 8**	0.04	0.030 5	0.61
常数项	0.027 5	0.78	-0.176 9	0.14
$R^2$	0.50		0.53	
AIC	-229.39		-316.12	
SC	-182.73		-272.79	

注: \*\*\* 和 \*\* 分别表示在 1% 和 5% 水平上显著。

LM 检验结果见表 4。耕地非农化的拉格朗日乘数—误差检验(LM-error)值通过 5% 水平上的显著性检验,拉格朗日乘数—滞后检验(LM-lag)值未通过 5% 水平上的显著性检验,说明变量误差存在空间扰动,因此应该采用空间误差模型(SEM)分析其驱动机制。耕地非粮化的拉格朗日乘数—滞后检验(LM-lag)值通过 5% 水平上的显著性检验,拉格朗日乘数—误差检验(LM-error)值未通过 5% 水平上的显著性检验,说明变量存在空间溢出效应,所以适宜使用空间滞后模型(SLM)。

耕地质量方面,耕地利用等级( $X_2$ )与非农化率在 5% 水平上呈负相关关系。耕地非农化率随着耕地利用等级的提高会出现下降,这表明区域内耕地质量提高在一定程度上能够抑制耕地非农化现象<sup>[28]</sup>。耕作条件方面,耕地规整度( $X_4$ )和耕地连片度( $X_5$ )对于非农化率和非粮化率具有正向作用,但只有耕地规整度对非粮化率的影响在 1% 水平上呈现显著性。由于耕地规整度越高,田块形状复杂性较低,土地开发条件越好,耕地更容易用于非农建设和经济作物的规模化种植<sup>[8]</sup>。生产区位方面,城乡梯度( $X_6$ )和道路密度( $X_8$ )在 5% 水平上对非农化率和非粮化率均产生显著的正向影响,反映出行政村的城乡区位和交通条件是影响非农化和非粮化的重要因素。资源禀赋方面,非农化率在 5% 水平上与人均建设用地面积( $X_{10}$ )、耕地后备资源( $X_{11}$ )呈正相关关系,与人均耕地面积( $X_9$ )呈负相关关系,这表明耕地非农化受到土地利用模式和耕地资源分配格局的显著影响。

### 3.3 耕地非农化和非粮化预警

3.3.1 多情景土地利用模拟 基于 2017 年土地利用数据,通过 LEAS 模块获取各个驱动因子数据对应各类用地的适宜性概率,利用 Markov 和 CARS 模块模拟 2021 年的用地数量和空间格局变化,对照土地利用实际情况检验模拟结果的精度。检验结果表明,本次模拟结果的 kappa 系数为 0.88,总体精度为 0.95,模拟精度较高,基于该模型及其指标参数所预测的 2029 年土地利用数据具有可靠性。

用地数量变化方面(表 6),自然发展情景下耕地面积预计从 2021 年的 267.91 km<sup>2</sup>减少至 2029 年的 244.96 km<sup>2</sup>,平均每年减少 2.55 km<sup>2</sup>,耕地比例从 2021 年的 12.3%降至 2029 年的 11.24%。耕地管制情景下,耕地保有量与自然发展情景相比出现明显增

长,耕地面积和比例在自然发展情景的基础上提升至 266.91 km<sup>2</sup>和 12.25%。在生态保护情景下,耕地向生态用地转换的概率提升,向建设用地转换的概率略微减少,2029 年耕地面积和比例略高于自然发展情景,达到 249.93 km<sup>2</sup>和 11.47%。

表 6 铅山县多情景模拟用地数量变化

Table 6 Multi-scenario simulation of land use type area change at Yanshan County

土地利用类型	2021 年		2029 年					
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	自然发展情景		耕地管制情景		生态保护情景	
			面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
水体	48.13	2.21	50.00	2.30	50.42	2.31	49.89	2.29
林地	1 678.16	77.03	1 678.72	77.06	1 671.41	76.72	1 688.87	77.52
湿地	1.10	0.05	1.23	0.06	1.23	0.06	1.26	0.06
耕地	267.91	12.30	244.96	11.24	266.91	12.25	249.93	11.47
建设用地	139.63	6.41	157.52	7.23	144.55	6.64	143.54	6.59
裸地	2.66	0.12	1.24	0.06	1.23	0.06	1.35	0.06
草地	40.97	1.88	44.89	2.06	42.81	1.97	43.72	2.01

耕地流向方面(图 3),自然发展情景下,铅山县耕地面积预计减少 31.7 km<sup>2</sup>,主要流向建设用地和林地。耕地增加面积为 8.75 km<sup>2</sup>,其中林地和建设用地分别占 47.89%和 29.71%。耕地管制情景下,由于设置了

永久基本农田限制区,耕地流向林地的比例明显减少。生态保护情景下,全县耕地面积减少 27.01 km<sup>2</sup>,增加 9.03 km<sup>2</sup>。林地、草地和湿地的面积出现一定幅增加,耕地成为新增林地的主要来源。

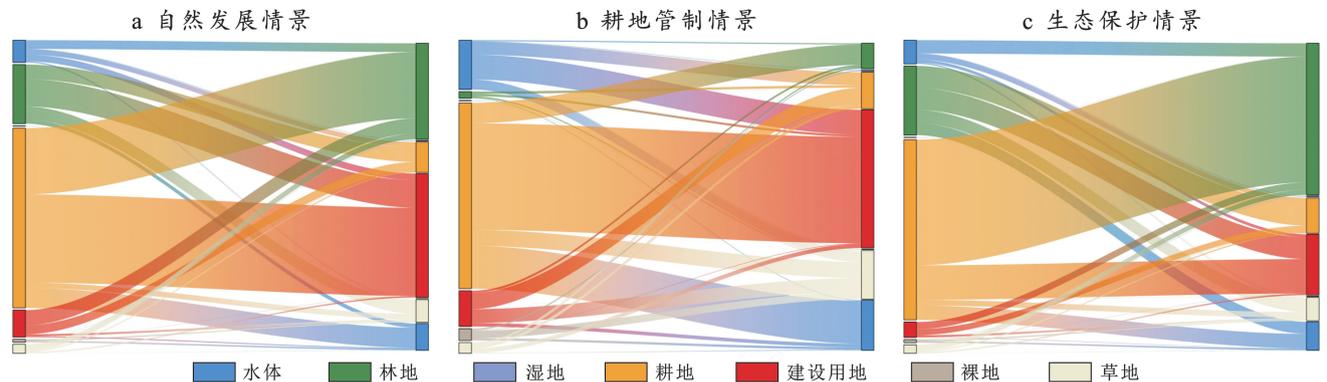


图 3 铅山县 2021—2029 年土地转移桑基图

Fig.3 Sankey map of land transfers at Yanshan County during 2021—2029

空间格局方面(图 4),在自然发展情景下,位于中心城区和重要矿产区的河口镇、鹅湖镇、永平镇和武夷山镇均有大量耕地转化为建设用地。耕地管制情景下,县域西部和北部的新滩乡、汪二镇、湖坊镇等乡镇的永久基本农田得到有效保护,建设用地占用耕地的趋势在一定程度上受到抑制,原有耕地附近的零散建设用地和其他农用地相继被复垦或开发,形成连片性较高的耕地分布格局。生态保护情景下,各个乡镇耕地流向建设用地的规模与自然发展情景相比出现小幅度下降,县域北部的信江北岸地区存在耕地被林地挤压的现象。

3.3.2 耕地非农化和非粮化预警分级 通过叠加 2021 年土地利用现状数据与 2029 年土地利用模拟结果,计算 2029 年各个行政村的非农化率和非粮化率,采用相等间隔法使各组分类差异最大化的基础上,适度调整分类界限,将预警关系分为 5 级,分别是:无预警(0%),轻度预警(0%, 25%],适度预警(25%, 50%],严重预警(50%, 75%],剧烈预警(75%, 100%]。图 5a—5c 是铅山县在自然发展、耕地管制、生态保护这 3 种情景下的耕地非农化预警格局;图 5d—5f 是铅山县在这 3 种情景下的耕地非粮化预警格局。

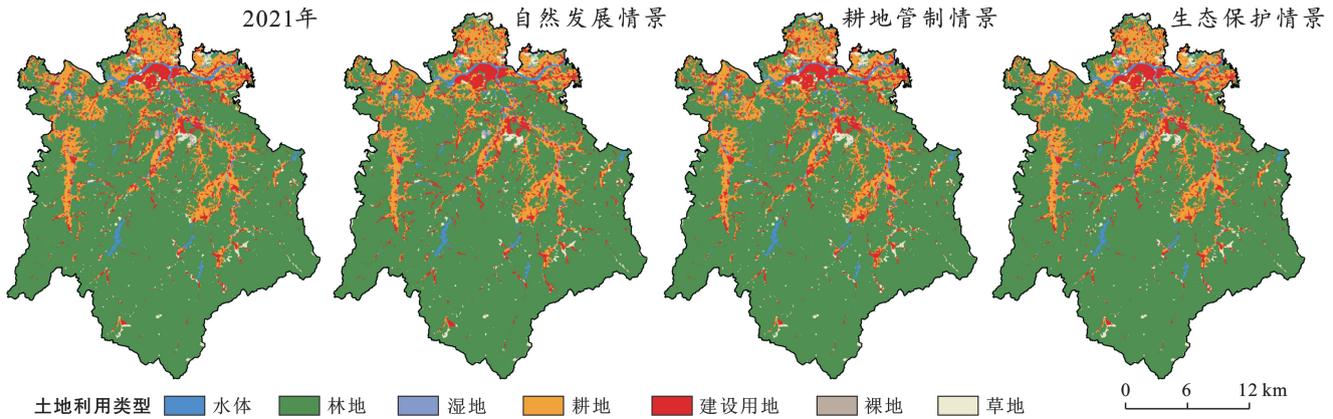


图 4 铅山县土地利用格局的空间格局变化

Fig.4 Changes in spatial patterns of land-use patterns at Yanshan County

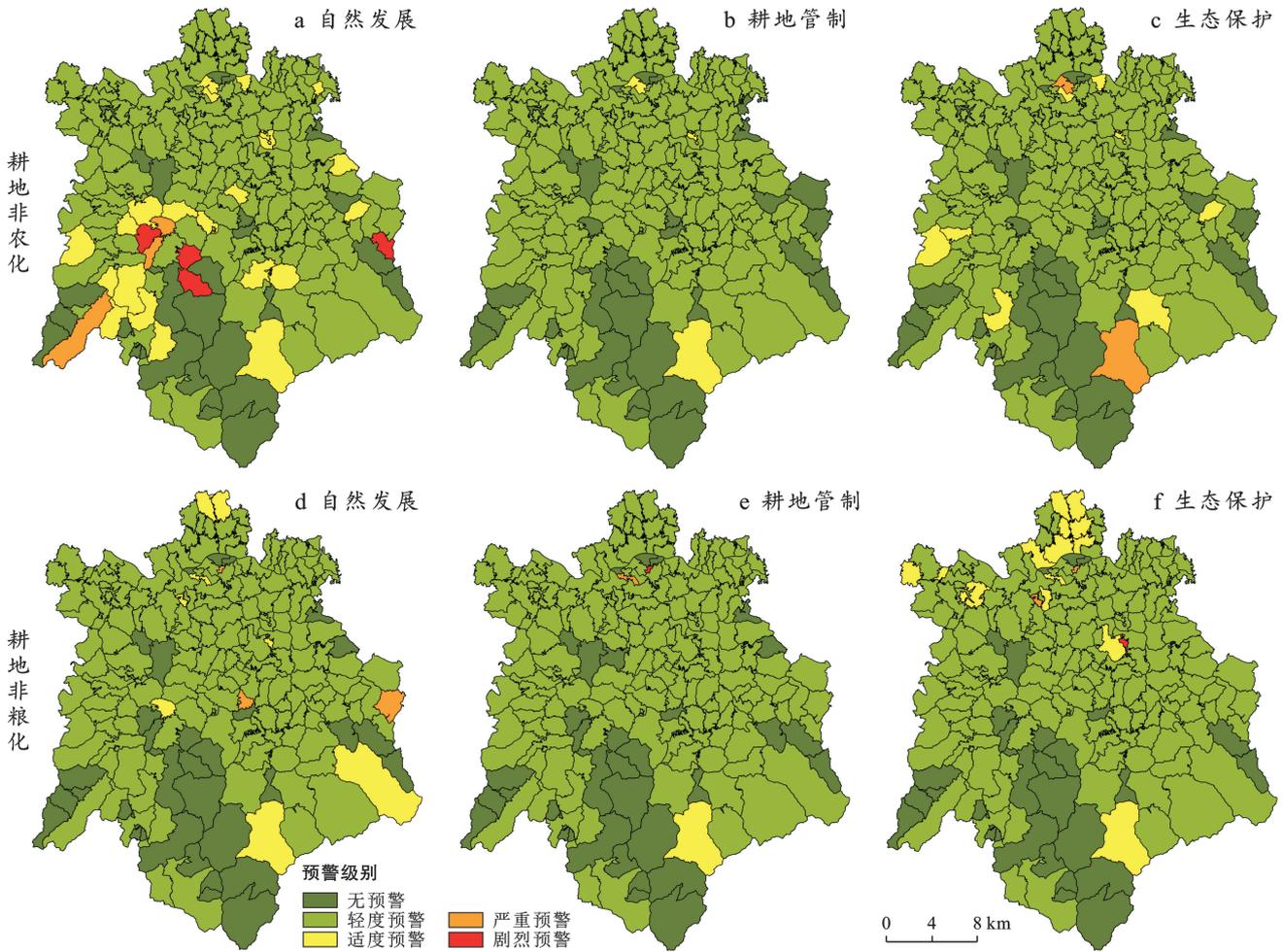


图 5 铅山县耕地非农化和非粮化预警格局

Fig.5 Early Warning Patterns of non-agriculture and non-grain cultivated land at Yanshan County

总体来看,耕地非农化预警格局在空间上呈现南北差异,南部乡镇的预警级别整体高于北部乡镇。与耕地管制情景和生态保护情景相比,自然发展情景不仅出现了 3 个剧烈预警级别的行政村,而且处于适度预警以上级别的行政村数量更多。河口镇汭口村、永平镇林场、武夷山镇篁村分场的非农化预警级别在 3 种情景下均处于适度预警以上,耕地非农化问题较为突出。

从耕地非粮化预警格局可以看出,处于适度预警级别以上的行政村主要集中在县域北部的新滩乡、河口镇、汪二镇。河口镇韩家村、河口镇龙角湖村、永平镇垦殖场、武夷山镇篁村分场在 3 种情景下的非粮化预警级别较高。自然发展情景下有 3 个行政村处于严重预警级别,耕地管制情景的非粮化预警级别总体较低,生态保护情景的适度预警区在县域北部的信江

沿岸和中心城区周边成连片状分布。

## 4 讨论

2021年公布的第三次全国国土调查数据显示,全国耕地数量在过去10a间减少了 $7.50 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,中国耕地保护正面临耕地资源结构化供需失衡、耕地利用逐利化倾向突出及耕地功能多元化供给失调等难题<sup>[29]</sup>。铅山县乡镇经济和工矿业的发展导致大量耕地资源被向外扩张的建设用地所侵占,农业结构调整和生态修复工程造成部分耕地流向林地或草地,县域耕地非农化和非粮化问题面临严峻的挑战。

基于遥感解译技术所获取的土地利用分类结果是识别和预警耕地非农化和非粮化的前提<sup>[30]</sup>,当前耕地非农化和非粮化研究面临土地利用分类精度较差的问题。有鉴于此,本文采用空间分辨率和总体精度较高的Esri Land Cover土地利用数据进行耕地叠加分析和土地利用模拟,确保研究结果的可信度。

此外,铅山县与赣南、重庆、闽东等典型南方丘陵区在耕地非农化和非粮化的驱动机制方面具有相似性,城乡区位、自然地理条件和耕地保护政策是影响该类地区非农化和非粮化的关键因素<sup>[5,8,31]</sup>。根据空间计量模型的分析结果,综合考虑当地发展条件,参考其他研究区的治理经验,本文对铅山县耕地非农化和非粮化治理提出以下建议:①推进高标准农田建设,改善耕地质量。相关研究证实,当农业生产者能够通过种植粮食作物满足预期收益的时候,优质土地往往不会被用作非农建设<sup>[28]</sup>。②建立耕地保护补偿机制。在城镇化的过程中,远离镇区中心的行政村受到城镇集聚作用影响,大量农村人口向城镇转移,造成乡村人口空心化。偏远乡村的人口空心化导致了农村劳动力缺失和耕地撂荒,进而诱发耕地非农化和非粮化现象。因此,有必要对承担耕地保护任务的农民和农村集体经济组织实施资金补偿,提高农民收入和生活质量,避免农村劳动力的流失。③提高乡镇集约节约用地水平。工商资本下乡加剧了乡村耕地非农化和非粮化问题<sup>[32]</sup>,粗放的土地利用模式需要占用更多的耕地以取得经济发展的成果<sup>[33]</sup>。通过对城镇低效用地和废弃矿区进行改造和复垦,为城镇的发展腾出更多的可利用土地,能有效减少耕地向其他类型用地的转化。④推进全域土地综合整治,完善耕地流转制度。耕地非农化和非粮化是基于耕地产权细碎化的农户选择<sup>[6]</sup>,地方政府应开展全域土地综合整治,鼓励农户将产权分散的耕地整合起来,提高耕地规模化和机械化水平,降低农户从事农业生产的成本。

现有研究侧重于讨论耕地非农化和非粮化的现

状特征、时序变化和驱动机制,无法对非农化和非粮化问题作出预警,提出的建议和措施往往等到问题发生的时候才能实施<sup>[17]</sup>。本文通过设置限制转换区并控制地类间的转换速率,模拟出2029年铅山县在自然发展、耕地管制、生态保护3种情景下的土地利用空间格局,叠加2021年土地利用数据对铅山县非农化和非粮化问题进行预警。预警结果表明,耕地管制情景和生态保护情景的预警级别总体偏低,反映出永久基本农田和生态保护红线的保护制度能有效控制非农化和非粮化问题。自然发展情景的预警级别总体偏高,高预警区域集中在道路密度和人均建设用地面积相对较大,人均耕地面积相对较小的行政村。路网密度较大的地区往往是货物集散中心,产品、人力和资本的流动必定会带动产业发展,伴随而来的是日益增长的用地需求。在城镇化背景下,经济发展与耕地保护之间的矛盾需加以重视,地方政府要把保障粮食安全放在首位,严格落实耕地“占补平衡”和“进出平衡”的管制措施。此外,地方政府应积极提高土地利用效率,将人均建设用地面积控制在合适的水平,鼓励耕地流转使产权零散的耕地集中起来。

## 5 结论

(1) 铅山县耕地非农化和非粮化空间分异特征明显,耕地总体变化率和非粮化率高值区聚集在县域北部的河谷平原和南部的武夷山北麓山区,低值区分布在县域东西两侧的永久基本农田保护区;耕地非农化率高值区分布较为零散,低值区呈连片分布状。

(2) 空间计量模型分析结果表明,在耕地质量方面,耕地利用质量对非农化率具有显著的负向影响,提高耕地质量能够有效抑制非农化行为;在耕作条件方面,耕地规整度和耕地连片度深刻影响着非农建设活动和经济作物规模化种植的倾向,土地利用条件越好,非农化率和非粮化率越高;在生产区位方面,城乡梯度和道路密度与非农化率和非粮化率存在显著正向关系,反映出远郊地区用地监管的不足以及交通格局对占用耕地行为的影响;在资源禀赋方面,非农化率受人均建设用地、耕地后备资源的显著正向影响以及人均耕地面积的显著负向影响。

(3) 利用PLUS模型基于3种情景模拟铅山县2029年土地利用状况,进一步对耕地非农化和非粮化现象进行预警。模拟结果表明,自然发展情景下耕地面积减少幅度最大,建设用地和林地占用耕地的问题较为严重,中心城区和部分乡镇的建设用地扩张对耕地造成侵占;耕地管制情景下耕地数量整体保持不变,耕地流向林地比例减少,耕地空间连片程度提高;

生态保护情景下耕地保有量略高于自然发展情景,耕地流向主要为林地,县域北部存在耕地资源被林地挤压的现象。

(4) 预警结果显示,南部乡镇的非农化预警级别整体高于北部乡镇,自然发展情景下处于适度预警级别以上的行政村数量更多;县域北部乡镇的非粮化预警级别普遍高于其他乡镇,耕地管制情景下的非粮化预警风险低于自然发展情景和生态保护情景。

## 参考文献 (References)

- [1] 王全喜,宋戈,隋虹均.耕地“非农化”的时空格局演变及其驱动因素研究:基于影响分析与组态分析的双重视角[J].中国土地科学,2023,37(5):113-124.  
Wang Quanxi, Song Ge, Sui Hongjun. Spatial-temporal pattern evolution of cultivated land conversion and its driving factors: A twofold perspectives of impact analysis and configuration analysis [J]. China Land Science, 2023,37(5):113-124.
- [2] Liang Xinyuan, Jin Xiaobin, Liu Jing, et al. Formation mechanism and sustainable productivity impacts of non-grain croplands: Evidence from Sichuan Province, China [J]. Land Degradation & Development, 2023, 34(4): 1120-1132.
- [3] 李宏鹏,田达睿,谭静斌.延安市 2000—2020 年耕地非农化时空格局演变及其影响因素[J].水土保持通报,2022,42(4):330-337.  
Li Hongpeng, Tian Darui, Tan Jingbin. Spatio-temporal pattern evolution and influencing factors of cultivated land non-agriculturalization in Yan'an city [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022,42(4):330-337.
- [4] 孟菲,谭永忠,陈航,等.中国耕地“非粮化”的时空格局演变及其影响因素[J].中国土地科学,2022,36(1):97-106.  
Meng Fei, Tan Yongzhong, Chen Hang, et al. Spatial-temporal evolution patterns and influencing factors of “non-grain” utilization of cultivated land in China [J]. China Land Science, 2022,36(1):97-106.
- [5] 谢雨琦,王子芳,王颖,等.重庆丘陵山区耕地非粮化时空变异及驱动类型划分[J].农业资源与环境学报,2024,41(1):15-26.  
Xie Yuqi, Wang Zifang, Wang Ying, et al. Spatial-temporal variation and driving types of non-grain cultivated land in hilly and mountainous areas of Chongqing [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2024,41(1):15-26.
- [6] 吴大放,吴钊骏,李升发,等.粤北山区耕地非粮化演变特征及其影响因素[J].经济地理,2023,43(8):144-153.  
Wu Dafang, Wu Zhaojun, Li Shengfa, et al. Spatiotemporal evolution and influencing factors of non-grain cultivated land in northern mountainous areas of Guangdong Province [J]. Economic Geography, 2023,43(8):144-153.
- [7] 程旭东,陈美球,赖昭豪,等.山区县耕地“非粮化”空间分异规律及关联因素[J].农业工程学报,2023,39(2):203-211.  
Cheng Xudong, Chen Meiqiu, Lai Zhao hao, et al. Spatial differentiation pattern and correlation factors of “non-grain” cultivated land in mountainous counties [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023,39(2):203-211.
- [8] 肖思成,陈美球,程旭东,等.赣南低山丘陵区农业产业结构“非粮化”空间分异及其驱动力探测:以寻乌县为例[J].农业资源与环境学报,2024,41(2):305-316.  
Xiao Sichen, Chen Meiqiu, Cheng Xudong, et al. Spatial differentiation and driving forces behind non-grain agricultural production in the low mountain and hilly areas of Southern Jiangxi: A case study of Xunwu County [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2024,41(2):305-316.
- [9] Wang Jing, Chen Yongqi, Shao Xiaomei, et al. Land-use changes and policy dimension driving forces in China: Present, trend and future [J]. Land Use Policy, 2012,29(4):737-749.
- [10] Cheng Xianbo, Tao Yu, Huang Conghong, et al. Unraveling the causal mechanisms for non-grain production of cultivated land: An analysis framework applied in Liyang, China [J]. Land, 2022,11(11):1888.
- [11] 谢花林,欧阳振益,陈倩茹.耕地细碎化促进了耕地“非粮化”吗:基于福建丘陵山区农户的微观调查[J].中国土地科学,2022,36(1):47-56.  
Xie Hualin, Ouyang Zhenyi, Chen Qianru. Does cultivated land fragmentation promote “non-grain” utilization of cultivated land: Based on a micro survey of farmers in the hilly and mountainous areas of Fujian [J]. China Land Science, 2022,36(1):47-56.
- [12] 常媛媛,刘俊娜,马静,等.干旱半干旱区耕地非粮化空间格局及驱动因素[J].农业资源与环境学报,2023,40(2):333-344.  
Chang Yuanyuan, Liu Junna, Ma Jing, et al. Spatial pattern and driving factors of non-grain conversion on cultivated land in arid and semi-arid regions [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023,40(2):333-344.
- [13] 王成,梁鑫,豆浩健,等.乡村多元价值实现视角下的耕地“非粮化”演变及其驱动机制:以重庆市为例[J].经济地理,2023,43(4):144-153.  
Wang Cheng, Liang Xin, Dou Haojian, et al. Spatio-temporal evolution and driving mechanism of non-grain cultivated land for rural multi-value realization: A case

- study of Chongqing [J]. *Economic Geography*, 2023, 43(4):144-153.
- [14] 何鑫,钟九生,林双双,等.岩溶槽谷区耕地“非粮化”空间分异特征及驱动机制:以贵州铜仁万山区为例[J]. *地理科学*,2022,42(12):2207-2217.  
He Xin, Zhong Jiusheng, Lin Shuangshuang, et al. Characteristics and driving mechanism of spatial differentiation of “non-grain” cultivated land in karst trough valley area: Taking Wanshan district, Tongren, Guizhou as an example [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022,42(12):2207-2217.
- [15] 张颖诗,冯艳芬,王芳,等.广东省耕地非粮化的时空分异及其驱动机制[J].*资源科学*,2022,44(3):480-493.  
Zhang Yingshi, Feng Yanfen, Wang Fang, et al. Spatiotemporal differentiation and driving mechanism of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province [J]. *Resources Science*, 2022,44(3):480-493.
- [16] 陶长琪,杨海文.空间计量模型选择及其模拟分析[J].*统计研究*,2014,31(8):88-96.  
Tao Changqi, Yang Haiwen. Spatial econometric model selection and its simulation analysis [J]. *Statistical Research*, 2014,31(8):88-96.
- [17] He Yafen, Cheng Hao, Xie Hualin, et al. Early warning of regional land-use ecological security issues: A case-study of Xingguo County, China [J]. *Land Degradation & Development*, 2022,33(14):2528-2542.
- [18] Guo Yuchen, Song Wei. Spatial distribution and simulation of cropland abandonment in Wushan County, Chongqing, China [J]. *Sustainability*, 2019,11(5):1367.
- [19] Liang Xun, Liu Xiaoping, Li Xia, et al. Delineating multi-scenario urban growth boundaries with a CA-based FLUS model and morphological method [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2018,177:47-63.
- [20] 谢名睿,危小建,赵莉,等.南昌市生态用地景观结构与网络连通性多情景模拟[J].*水土保持通报*,2023,43(2):202-211.  
Xie Mingrui, Wei Xiaojian, Zhao Li, et al. Multi scenario simulation of landscape structure and network connectivity of ecological land in Nanchang City [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023,43(2):202-211.
- [21] 蒲金芳,王亚楠,张蚌蚌,等.赣东山地丘陵区土地利用多功能与乡村发展的时空耦合关系[J].*中国农业大学学报*,2022,27(4):256-269.  
Pu Jinfang, Wang Yanan, Zhang Bangbang, et al. Spatio-temporal coupling relationship between land use multi-functions and rural development level in hilly region of Eastern Jiangxi Province [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022,27(4):256-269.
- [22] Li Yanan, Duo Linghua, Zhang Ming, et al. Habitat quality assessment of mining cities based on InVEST model: A case study of Yanshan County, Jiangxi Province [J]. *International Journal of Coal Science & Technology*, 2022,9(1):28.
- [23] 张豪,冯长春,郭永沛.城市边缘区“三生”空间格局演变与驱动因素分析:以北京市朝阳区为例[J].*北京大学学报(自然科学版)*,2023,59(3):478-488.  
Zhang Hao, Feng Changchun, Guo Yongpei. Evolution and driving factors of “production-living-ecological space” in rural-urban fringe of Beijing [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2023, 59(3):478-488.
- [24] Liang Xun, Guan Qingfen, 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*, 2021,85:101569.
- [25] 周道媛,王娟,周凤娟.基于PLUS模型多情景分析的土地利用变化及生态系统服务价值评估:以福州市为例[J].*甘肃农业大学学报*,2023,58(3):198-209.  
Zhou Daoyuan, Wang Juan, Zhou Fengjuan. Evaluation of land use change and ecosystem service value based on multi-scenario analysis of PLUS model: With Fuzhou City as an example [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2023,58(3):198-209.
- [26] 陈逸航,黄秋昊,郑锦浩,等.多情景模拟下城市周边耕地功能分区[J].*农业工程学报*,2023,39(10):227-236.  
Chen Yihang, Huang Qiu hao, Zheng Jinhao, et al. Functional zoning of the cultivated land around the city under multi-scenario simulation [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(10):227-236.
- [27] 魏乐,周亮,孙东琪,等.黄河流域城市群扩张的时空格局演化及情景模拟:以呼包鄂榆城市群为例[J].*地理研究*,2022,41(6):1610-1622.  
Wei Le, Zhou Liang, Sun Dongqi, et al. The evolution of spatio-temporal pattern and scenario simulation of urban agglomeration expansion in the Yellow River basin: A case study in the Hohhot-Baotou-Ordos-Yulin urban agglomeration [J]. *Geographical Research*, 2022,41(6):1610-1622.
- [28] 陈文广,廖宇波,孔祥斌,等.基于地块尺度的永久基本农田非粮化特征、驱动与管控[J].*农业机械学报*,2023,54(6):114-124.  
Chen Wenguang, Liao Yubo, Kong Xiangbin, et al. Characteristics, drivers and control of non-grain production on permanent basic farmland based on plot scale [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2023,54(6):114-124.

- 139-144.
- [18] 俱战省,张一澜,周旗.宝鸡市生产建设项目降雨侵蚀力算式及应用研究[J].水资源与水工程学报,2021,32(1):82-88,96.  
Ju Zhansheng, Zhang Yilan, Zhou Qi. Research and application of rainfall erosion equations for the production and construction projects in Baoji City [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2021,32(1): 82-88,96.
- [19] 孙从建,王佳瑞,郑振婧,等.黄土高原塬面保护区降雨侵蚀力时空分布特征及其影响因素研究[J].干旱区地理,2020,43(3):568-576.  
Sun Congjian, Wang Jiarui, Zheng Zhenjing, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of rainfall erosivity and its influencing factors in the protected area of the Loess Plateau [J]. Arid Land Geography, 2020,43(3):568-576.
- [20] 文冰梅,赵联文,黄磊. AIC 准则与留一法交叉验证渐近等价的证明[J].统计与决策,2022,38(6):40-43.  
Wen Bingmei, Zhao Lianwen, Huang Lei. Proof of the asymptotic equivalence between AIC criterion and LOOCV [J]. Statistics and Decision, 2022,38(6):40-43.
- [21] 杨文利,赵建民,朱平宗,等.南方红壤区潯水流域降雨侵蚀力时空特征[J].中国水土保持科学,2018,16(3):18-25.  
Yang Wenli, Zhao Jianmin, Zhu Pingzong, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of rainfall erosivity of the Lianshui Basin in the red soil region of South China [J]. Science of Soil and Water Conservation in China, 2018,16(3):18-25.
- [22] 汪明冲,张新长,王兮之,等.粤北岩溶区连江流域降雨侵蚀力[J].热带地理,2016,36(3):495-502.  
Wang Mingchong, Zhang Xinchang, Wang Xizhi, et al. Rainfall erosivity in the Lianjiang Watershed in karst area of Northern Guangdong, China [J]. Tropical Geography, 2016,36(3):495-502.
- [23] 李璐,姜小三,孙永远.基于地统计学的降雨侵蚀力插值方法研究:以江苏省为例[J].生态与农村环境学报,2011,27(1):88-92.  
Li Lu, Jiang Xiaosan, Sun Yong. Geostatistics based spatial interpolation method for study of rainfall erosivity based on: A case study of Jiangsu [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2011,27(1):88-92.
- [24] 芦鑫,殷淑燕,高涛涛.1960—2017年秦岭南北地区降雨侵蚀力的时空变化特征研究[J].浙江大学学报(理学版),2019,46(3):380-390.  
Lu Xin, Yin Shuyan, Gao Taotao. Temporal and spatial variations of rainfall erosivity in the northern and southern regions of Qinling Mountains from 1960 to 2017 [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2019,46(3):380-390.
- [25] 吴洁玲,查轩,陈世发,等.1951—2018年韶关不同量级降雨侵蚀力变化[J].水土保持学报,2021,35(4):21-26.  
Wu Jieling, Zha Xuan, Chen Shifa, et al. Variations of rainfall erosivity of different magnitudes in Shaoguan from 1951 to 2018 [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021,35(4):21-26.
- [26] 李维杰,王建力.太行山脉不同量级降雨侵蚀力时空变化特征[J].自然资源学报,2019,34(4):785-801.  
Li Weijie, Wang Jianli. Spatial and temporal variations of rainfall erosivity at each level in Taihang Mountain [J]. Journal of Natural Resources, 2019,34(4):785-801.
- 用,2022,37(3):550-563.  
Ding Shupe, Li Mengmeng, Wang Xiaoqin, et al. The use of time series remote sensing data to analyze the characteristics of non-agriculture farmland and their driving factors in Fuzhou [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022,37(3):550-563.
- [32] 孔祥斌.耕地“非粮化”问题、成因及对策[J].中国土地,2020(11):17-19.  
Kong Xiangbin. Problems, causes and countermeasures of farmland “non-grain” [J]. China Land, 2020(11): 17-19.
- [33] 刘涛,史秋洁,王雨,等.中国城乡建设占用耕地的时空格局及形成机制[J].地理研究,2018,37(8):1609-1623.  
Liu Tao, Shi Qiujie, Wang Yu, et al. Urban-rural development and occupation of cultivated land in China: Trends, geography, and drivers [J]. Geographical Research, 2018,37(8):1609-1623.
- (上接第 273 页)
- [29] 金晓斌,黄朝奎,杨绍辉,等.耕地“进出平衡”制度的实施障碍与应对策略[J].中国土地,2023(4):22-24.  
Jin Xiaobin, Huang Chaokui, Yang Shaohui, et al. Obstacles to the implementation of the system of “balance in and out” of cultivated land and its countermeasures [J]. China Land, 2023(4):22-24.
- [30] 祝存伟,陈洋,孙利云,等.基于遥感影像的耕地“非农化”“非粮化”监测方法探索[J].测绘与空间地理信息,2023,46(5):104-107.  
Zhu Cunwei, Chen Yang, Sun Liyun, et al. Exploration on monitoring methods of “non-agriculturalization” and “non-grain growing” of cultivated land based on remote sensing images [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2023,46(5):104-107.
- [31] 丁书培,李蒙蒙,汪小钦,等.基于时序遥感数据的福州市耕地非农化特征及驱动因子分析[J].遥感技术与应