

顾及尺度效应的矿粮复合区耕地非粮化空间异质性及其关联因素

罗松开, 罗志军*

(江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045)

摘要: 深入研究耕地非粮化空间异质性及其关联因素, 有助于科学管控耕地非粮化和有效保障粮食安全。该研究以矿粮复合区德兴市为例, 从尺度效应和空间近邻效应出发, 综合采用莫兰指数、最小二乘法、空间自相关等方法, 借助空间自相关模型探讨了耕地非粮化在不同尺度下关联因素的变化情况。结果表明: 1) 矿粮复合区的耕地非粮化存在3种形式, 整体非粮化分布呈现强空间自相关性和强空间异质性, 多数尺度下呈现显著的空间溢出效应; 2) 矿粮复合区耕地非粮化空间异质性存在明显的尺度效应, 依据情况可以划分为4个区块尺度等级; 3) 耕地非粮化关联因素在不同尺度上呈现的显著性不一致, 小尺度等级下耕地非粮化回归结果的显著率为90.2%, 拟合度平均值为0.236, 优于其他尺度等级, 集水区尺度优于行政村尺度; 4) 耕地非粮化的关联因素强弱程度也具有明显的尺度效应, 在小尺度下最显著, 主要因素的回归系数平均值均大于0.250, 显著率达到92%。研究结果可为耕地非粮化管控和农业高质量发展提供依据。

关键词: 尺度效应; 空间近邻效应; 空间异质性; 耕地非粮化; 关联因素; 矿粮复合区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202310016

中图分类号: F301.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2024)-01-0265-11

罗松开, 罗志军. 顾及尺度效应的矿粮复合区耕地非粮化空间异质性及其关联因素[J]. 农业工程学报, 2024, 40(1): 265-275. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202310016 <http://www.tcsae.org>

LUO Songkai, LUO Zhijun. Spatial differentiation and associated factors of non-grain cultivated land in mineral grain composite area considering scale effects[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2024, 40(1): 265-275. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202310016 <http://www.tcsae.org>

0 引言

切实保护耕地, 贯彻“藏粮于地”战略, 保障粮食安全, 是关系国计民生的头等大事^[1-3]。随着社会经济的不断发展, 以及城镇化和工业化进程的持续加快, 中国耕地非粮化问题愈发严重^[4-5]。2023年的中央一号文件指出, 探索建立耕地种植用途管控机制, 明确利用优先序, 加强动态监测, 加大撂荒耕地利用力度。如何合理有效地解决耕地非粮化的难题, 已经成为政府及公众所关注的焦点^[6-7]。

目前, 耕地非粮化的研究方向多集中于非粮化的内涵与测定^[8-10]、耕地非粮化时空变化与驱动作用机制^[11-14]、耕地非粮化的粮食安全效应^[15-18]等, 较少涉及不同尺度下的耕地非粮化研究。李志林等^[19]认为地理信息科学中的尺度问题主要包括尺度本体、尺度变换、尺度效应以及最佳尺度, 刘瑜等^[20-22]认为变量统计指标及多属性相关关系等随尺度变化而变化。而国内外对于耕地非粮化及其关联因素的研究尺度主要涉及国家尺度^[23,16]、省域尺度^[11,14,24]、市县尺度^[5,25]、乡镇尺度^[26]。在研究方法上, 部分学者采用了传统的地理研究方法^[5,9,24,27], 何鑫等^[5]

采用空间自相关、热点分析分析了非粮化耕地的空间结构特征和分布规律, 同时借助地理探测器模型探讨了耕地“非粮化”区域差异驱动因素; 高延雷等^[27]采用倾向得分匹配法研究了农业种植结构的非粮化影响因素。不同的学者以期在不同的领域中寻找恰当的研究模型解决耕地非粮化问题, 却较少考虑到小尺度对耕地非粮化结果的影响。大量的研究表明, 耕地非粮化具有空间依赖性^[14,25], 主要表现为地理空间上的聚集分布^[26,27]。根据空间近邻效应, 当耕地非粮化这种经济地理现象在空间上的相似性和相互作用, 随着空间关系的减弱也相应地降低, 即可认为耕地非粮化存在着空间近邻效应^[28,20]。从耕地的资源条件来看, 空间近邻效应认为资源的禀赋条件会影响邻域耕地非粮化的状况, 资源的匮乏或富有往往具有空间集聚的性质^[29], 因此其影响下的经济地理现象也具有空间集聚效应或相邻效应^[30]。从分形理论^[31-32]来看, 自然资源与耕地非粮化现象中存在着重复的模式和结构, 使得自然资源与耕地非粮化现象在不同尺度上呈现出相似性, 即表现为不同尺度下的耕地自然资源和区位条件, 都与耕地非粮化现象存在空间聚集效应和空间近邻效应。从区域的相互作用来看, 基础设施、技术进步、政策抑制等的在不同尺度上存在空间溢出效应^[5,33], 并且随空间距离而递减, 成为耕地非粮化空间依赖性的来源之一。这说明耕地非粮化的发生是多维度、多尺度的过程, 不同尺度上的主导或驱动因素也不同。

综上, 目前耕地非粮化研究多为宏观性或政策分异研究, 但耕地非粮化无法避开尺度的问题, 往往尺度问

收稿日期: 2023-10-07 修订日期: 2023-11-26

基金项目: 江西省高校人文社会科学研究项目 (GL21140); 国家自然科学基金项目 (41961042)

作者简介: 罗松开, 研究方向土地资源管理。Email: songkailuo@163.com

*通信作者: 罗志军, 教授, 博士生导师, 主要从事土地管理和3S应用研究。Email: 106028065@qq.com

题也会导致研究结果的不同。因此,本文以江西省最大的铜矿生产和粮食主产复合区为例,从尺度效应和空间近邻效应出发,探讨耕地非粮化及其关联因素的空间异质性特征,揭示耕地非粮化在不同地理单元之间的差异性,深入分析耕地非粮化在不同尺度上的关联因素强弱关系,有助于耕地非粮化的科学管控,为保障粮食安全和农业高质量发展提供科学依据。

1 研究区域概况与数据来源

1.1 研究区域概况

德兴市地处江西省东北部、乐安河中上游,位于 $28^{\circ}38' \sim 29^{\circ}17'N$ 、 $117^{\circ}22' \sim 118^{\circ}06'E$ 之间,见图1。境内矿产资源丰富,探明金属矿藏有铜、金、银等19种,铜资源尤丰,德兴铜矿是中国最大的在产铜矿,也是亚洲最大的露天铜矿。属亚热带季风气候,温暖湿润、光照充足,农作物以水稻为主。全域国土总面积 $2\,102\text{ km}^2$,2021年户籍人口33.32万人。德兴市是江西省典型的矿粮复合区域,同时拥有矿产资源开发与粮食生产的重要功能。近年来,由于城镇不断扩张和采矿活动不断发展,城镇和矿区周边存在矿粮交错、耕地流失、耕地非粮化等问题,极大地威胁了当地粮食安全,已成为当前矿粮复合区亟待解决的难题。

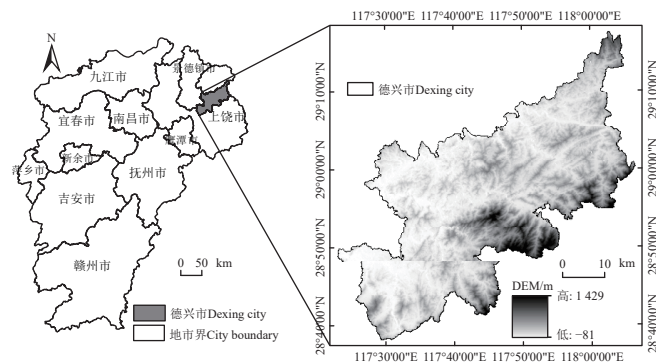


图1 研究区地理位置示意图

Fig.1 Geographical location diagram of research area

1.2 数据来源及处理

本研究采用的2020年度国土变更调查成果、2020年度耕地质量等别更新评价成果等数据获取自德兴市自然资源局,永久基本农田数据来源于德兴市“三区三线”划定成果(自然资源部2022年10月公布的启用版),数字高程模型(DEM)和基础地理数据获取自地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>),社会经济统计数据来源于2021年德兴市统计年鉴等。将数据投影到统一坐标系,在ArcGIS软件支持下,进行空间分析。利用DEM数据提取非粮化耕地平均坡度和平均高程,利用国土变更调查成果提取非粮化耕地距村镇、水源、采矿用地等数据。

2 研究方法

2.1 耕地非粮化认定及量化

在本研究中,非粮化耕地主要指原用于种植粮食作

物的耕地调整为种植非粮食作物的耕地和弃耕的耕地。2020年度国土变更调查成果显示,德兴市图斑属性登记类型包括种植粮食作物、粮与非粮轮作、粮林间作、未耕种、种植非粮食作物、工程恢复、即可恢复7种形态。根据以上条件与其他学者的研究^[25-26,28],本文对耕地非粮化认定为3种形式:1)耕地撂荒:国土变更调查成果中地类名称为耕地,种植属性为未耕作图斑;2)种植结构非粮化:国土变更调查成果中地类名称为耕地,种植属性为种植非粮食作物图斑;3)产业结构非粮化:国土变更调查成果中种植属性为工程恢复、即可恢复等可以调整地类图斑。除了关注非粮化形式,还需要关注每种非粮化情况的统计问题,为了保证研究的严谨性和丰富性,本研究采用多尺度的统计方式,包括集水区尺度、行政村尺度和区块尺度。

本研究对耕地非粮化指数量化方法如式(1)所示:

$$Y_{im} = \frac{A_{im}}{A_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中 Y_{im} 代表 i 区域上第 m 种非粮化类型的耕地非粮化指数,%, A_{im} 代表 i 区域上第 m 种非粮化类型的耕地面积, hm^2 , A_i 第 i 块区域上耕地总面积, hm^2 ,即该区域国土变更调查当年现状耕地面积与可恢复耕地面积之和。

2.2 空间回归分析

2.2.1 全局空间自相关

全局空间自相关检验的是耕地非粮化在整个研究区域内是否存在空间依赖性,即整个研究区域内耕地非粮化在空间上的关联程度。本文采用全局莫兰指数(Global Moran's I)来表征耕地非粮化的空间自相关状况。莫兰指数的取值范围是-1到1,负值表明焦点区域和周边的区域的耕地非粮化趋势呈现相反特征,正值表明焦点区域与周边区域的耕地非粮化趋势呈现相似特征,当莫兰指数为0时,表明耕地非粮化在空间上是随机分布的。全局莫兰指数采用ArcGIS 10.8软件进行计算,所使用的地理权重矩阵是基于一阶后相邻的权重矩阵。全局莫兰指数如式(2)所示:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sigma^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (2)$$

式中 x_i , x_j 分别表示区域 i 和区域 j 的耕地非粮化指数,%; n 为分区总数; W_{ij} 表示空间权重; \bar{x} 表示非粮化指数平均值, σ 表示非粮化指数的标准差。

2.2.2 空间计量分析

耕地非粮化的空间分布是由多因素决定的,局部地区的耕地非粮化可能受到空间近邻效应的影响。因此,近年来,在耕地非粮化的实证分析中,多数考虑了空间回归和空间近邻效应,以此解决空间依赖性所引起的偏差。本研究采用空间滞后模型(spatial lag model, SLM)

和空间误差模型（spatial error model, SEM）探讨耕地非粮化与关联因素之间的作用关系。此类模型采用传统的最小二乘回归（ordinary least squares, OLS），将邻域的因变量和未观测变量纳入回归分析，以解决空间自相关和空间异质性问题。空间计量模型是根据空间自回归模型进行空间延伸得到的，其基本形式包括空间滞后模型、空间误差模型。在本研究中，考虑到非粮化关联因素之间可能存在多重共线性，因此进行双变量空间回归。

最小二乘法（OLS）如式（3）所示。

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \tag{3}$$

式中 Y 为研究区域内耕地非粮化指数，%； α 表示常数项； X 是研究区域内耕地非粮化影响因素； β 为待估计的相关系数； ε 为误差项。

空间滞后模型（SLM）表示如式（4）所示。

$$Y = \rho WY + \beta X + \varepsilon \tag{4}$$

式中 ρ 为非粮化水平的空间依赖程度； W 为 $n \times n$ 阶的空间权重矩阵。

空间误差模型（SEM）表示如式（5）所示。

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon_0, (\varepsilon_0 = \gamma W + \mu) \tag{5}$$

式中随机误差项 ε_0 由回归残差的空间矩阵 W 和正态独立同分布的随机扰动项 μ 共同组成； γ 为空间误差系数，该系数量化了相邻地区的影响耕地非粮化的关联因素对研究区的耕地非粮化的影响程度与方向。

2.2.3 尺度选择分析

空间格局具有依赖性，随着观察的尺度或分析的尺度而变化。根据 LIU 等^[26] 的研究，在 200 m 为增加量的区块尺度上，耕地流失会具有显著的空间自相关特征。考虑到的德兴市是丘陵地区，耕地与林地可能存在交叉分布的现象，丘陵与耕地之间垂直投影的平均宽度为 150~320 m；又由于德兴市属于县域行政单位，面积较大，基于此，本研究选择了 400 m 作为区块尺度的增加量，分析 500~6 100 m 的区块尺度下的耕地非粮化及其关联因素的尺度效应和空间近邻效应的变化情况。同时本研究把集水区尺度和行政村尺度纳入研究，用以对比关联因素对耕地非粮化的影响情况。集水区范围由 30 m×30 m 精度的 DEM 数据通过 ArcGIS 10.8 软件的水文分析功能获取。

2.2.4 关联因素选择及解释

耕地非粮化的空间分布由外因和内因同时决定。内生因素是基于资源禀赋条件下的导致种粮效益低下的因素。外在驱动的土地利用条件会强烈影响耕地是否弃耕或转变耕地利用方式。本研究出于自然条件与区位条件的考虑，选取 9 个代表性变量对矿粮复合区耕地非粮化进行研究，见表 1。

表 1 矿粮复合区耕地非粮化关联因素表
Table 1 Table for associated factors of non-grain cultivated land in mineral grain composite area.

因变量 Implicit variable	一级因素 Primary factors	二级因素 Secondary factors	描述 Descriptive
耕地非粮化 Non-grain cultivated land	自然条件 (内生因素)	平均坡度 (X1)	非粮化耕地平均坡度
		平均高程 (X2)	非粮化耕地平均高程
		土壤有机质平均含量 (X3)	非粮化耕地有机质平均含量
		平均地块面积 (X4)	非粮化耕地破碎化程度
	区位因子 (外在驱动)	永久基本农田面积 (X5)	永久基本农田面积
		到村镇距离 (X6)	非粮化耕地到村或镇最近平均距离
		到水源地距离 (X7)	非粮化耕地到水源地平均距离
		农村道路密度 (X8)	农村道路的密集程度
		距采矿用地距离 (X9)	非粮化耕地距采矿用地平均距离

3 结果与分析

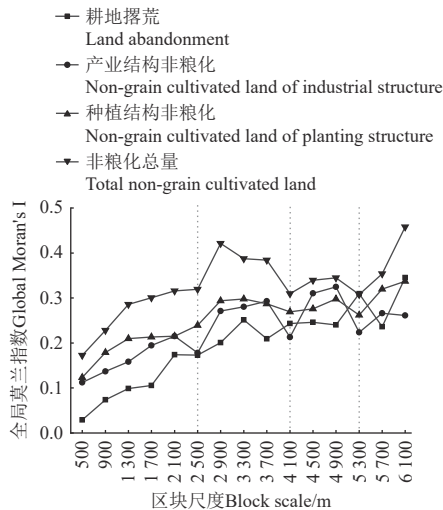
3.1 耕地非粮化的空间自相关检验分析

由表 2 和图 2 可知，耕地非粮化指数在本研究所涉及尺度中的全局莫兰指数均大于 0，且都通过了 5% 水平上的检验，表明耕地非粮化在不同的研究尺度上存在着较为显著的空间自相关性。所有区块尺度中，平均莫兰指数最高为耕地非粮化总量，3 种类型的耕地非粮化平均莫兰指数从大到小依次为种植结构非粮化、产业结构非粮化和耕地撂荒，表明 3 种类型耕地非粮化的空间自相关性也呈现不同程度强弱。所有类型的耕地非粮化均在最小区块尺度（500 m）中出现最低的莫兰指数，所有尺度中最低的空间莫兰指数为 0.029；种植结构非粮化和耕地非粮化总量在 6 100 m 的区块尺度出现最高的莫兰指数，为 0.458，耕地撂荒和产业结构非粮化分别在 5300 m 和 4900 m 两个相邻区块尺度出现最高的莫兰指数。同时全局莫兰指数研究结果在 2 500、4 100、5 300m 的区块尺度出现 3 个拐点，表明耕地非粮化存在尺度等级的特征，可以依此将区块尺度划分为 4 个等级，分别为较小区块（500~2 500 m）、小区块（2 500~4 100 m）、中区块（4 100~5 300 m）、大区块尺度（5 300~6 100 m）。

表 2 集水区尺度和行政村尺度的耕地非粮化 Moran's I
Table 2 Moran's I of non-grain cultivated land at catchment scale and administrative village scale

尺度 Scale	耕地撂荒 Land abandonment	Non-grain cultivated land of industrial structure	Non-grain cultivated land of planting structure	非粮化总量 Total non-grain cultivated land
集水区 Catchment	0.433**	0.346**	0.321**	0.433**
行政村 Administrative village	0.251**	0.264**	0.280**	0.325**

注：**：1% 水平显著；*：5% 水平显著，下同。
Note: *: 1% level significant; *: 5% level significant, the same below.



注：图形符号实心代表5%水平上显著，空心代表不显著，下同。
Note: Graphical symbols solid represent significance at the 0.05 level, while hollow represent insignificance, the same below.

图2 不同区块尺度下耕地非粮化莫兰指数

Fig.2 Moran's I index of non-grain cultivated land at different block scales

对比集水区尺度和行政村尺度，集水区莫兰指数平

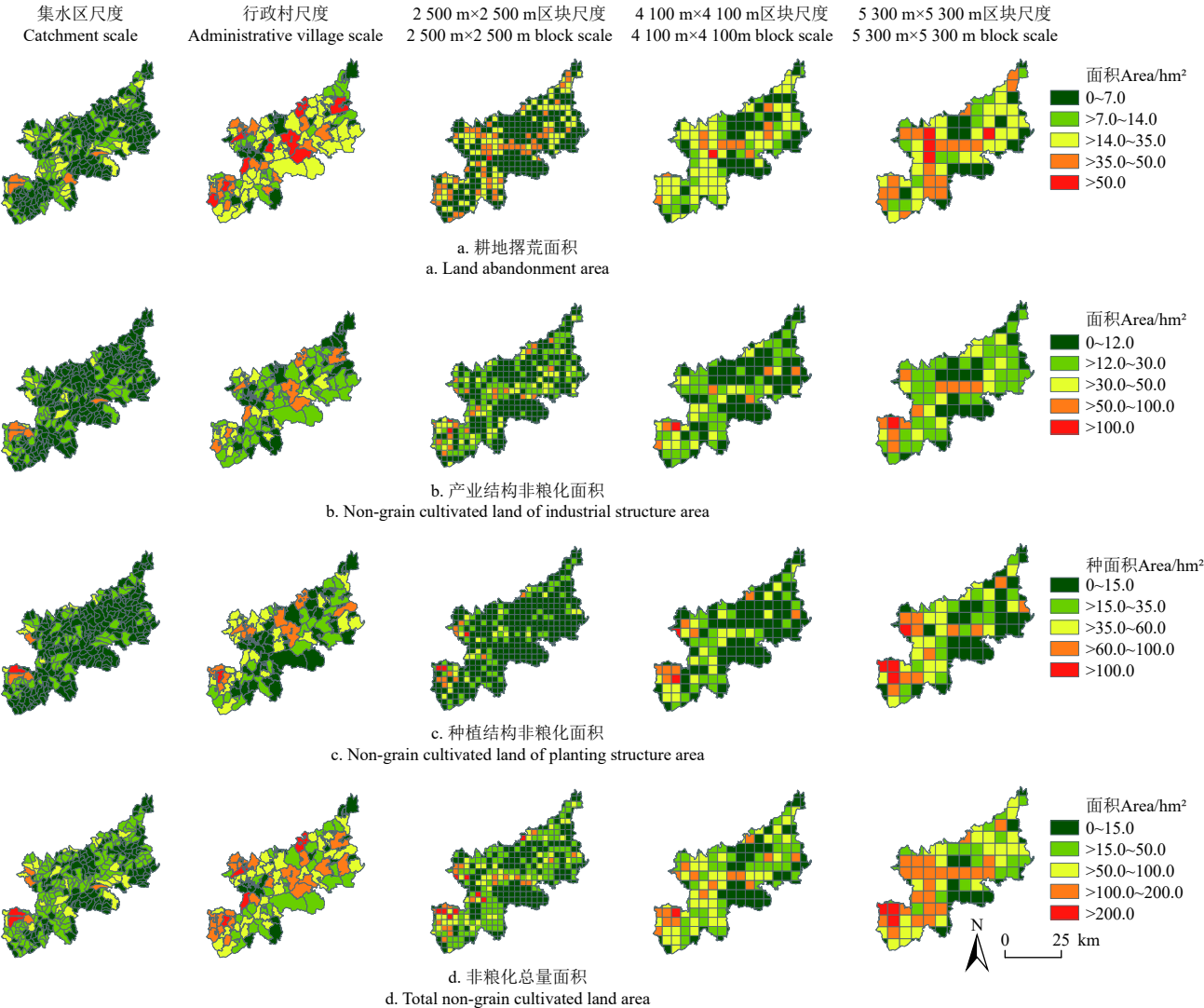


图3 不同尺度下的耕地非粮化面积的空间异质性

Fig.3 Spatial differentiation of non-grain cultivated land area at different scales

均值为 0.383，行政村尺度莫兰指数平均值为 0.280，因此，集水区尺度上的耕地非粮化空间依赖性比行政村尺度更强。以上结果表明，集水区尺度、行政村尺度与 500~6 100 m 区块尺度下的矿粮复合区耕地非粮化数据具有较好的可比性，可以用于研究尺度效应导致的耕地非粮化及其关联因素的强弱变化关系。

3.2 耕地非粮化空间异质性特征分析

在 2020 年国土变更调查数据统计中，德兴市的耕地非粮化面积达到 6 854.59 hm²，占全域耕地总量的 29.5%。在全部的非粮化耕地中，耕地撂荒非粮化、产业结构非粮化和种植结构非粮化分别占 7.41%、9.85% 和 12.23%，面积分别为 1 722.4、2 289.53 和 2 854.6 hm²。

本研究根据莫兰指数划分尺度效应的临界尺度（2 500、4 100、5 300 m）、集水区尺度和行政村尺度，共 5 种尺度以对比显示耕地非粮化空间异质性情况（图 3）。结果显示耕地撂荒和种植结构导致的耕地非粮化主要集中在研究区的中西部区域，产业结构的非粮化主要出现在西南部。

非粮化综合重心主要在中西部，与研究区的总体耕地分布重心基本一致。耕地非粮化形态主要呈现东南-西北的走向，与河流走向相似；地势较低区域的非粮化耕地主要分布在山间盆地和低洼平原地区；东南部非粮化耕地面积较小，与该区域属于地形起伏较大的丘陵山地区、耕地总面积较小有着密切关系；东北区域的耕地则是呈现散点环水分布的形态。无论是从临界尺度的耕地非粮化的空间分异来看，还是传统行政村尺度或自然地理上的集水区尺度的耕地非粮化的空间分异来看，均呈现同样的空间异质性特点：中西部多，沿河岸分布，山地分布少。

德兴市的耕地非粮化现象与德兴市的人口分布现状相符，东南山地丘陵区相较于河岸地带的耕地非粮化少，主要由于分布着大面积的林业图斑，耕地资源少，因此耕地非粮化情况较少；中西部的城市发展迅速，农村人

口向城市流动，导致的耕地撂荒，而对留居农民来说，因为靠近城市，种植经济作物的价值远远高于种植粮食；北部的矿产资源丰富，大范围的矿区分布，耕地面积少。因此，综合以上因素，矿粮复合区的耕地非粮化空间异质性特点具有当地土地利用特征和地域特点。

3.3 耕地非粮化与关联因素的回归结果分析

3.3.1 OLS 模型回归结果分析

图 4 和表 3 展示了在不同的尺度下，使用非空间 OLS 回归模型得出的耕地非粮化与各关联因素之间的关系（显著性与拟合度）。结果表明：不同类型的耕地非粮化与关联因素之间的关系不同，相较于耕地撂荒、产业结构和种植结构导致的非粮化，关联因素对耕地非粮化总量的影响更为显著；随着尺度变化，矿粮复合区的耕地非粮化受到采矿活动的影响程度有明显变化。

表 3 集水区尺度与行政村尺度下耕地非粮化及其关联因素的 OLS 模型双变量回归的拟合度与显著性

Table 3 Fitting and significance of OLS model bivariate regression of non-grain cultivated land and its associated factors at catchment and administrative village scale

因素 Factors	集水区尺度 Catchment scale				行政村尺度 Administrative village scale			
	N_1	N_2	N_3	N_{all}	N_1	N_2	N_3	N_{all}
X1	0.075**	0.041**	0.032**	0.054**	0.125**	0.128**	0.161**	0.172**
X2	0.020**	0.006*	0.001	0.007*	0.134**	0.132**	0.121**	0.159**
X3	0.348**	0.292**	0.294**	0.377**	0.289**	0.306**	0.339**	0.387**
X4	0.287**	0.229**	0.352**	0.222**	0.474	0.982	0.512	0.591
X5	0.518**	0.676**	0.705**	0.802**	0.508**	0.521**	0.516**	0.636**
X6	0.128	0.098**	0.071**	0.114**	0.170**	0.183**	0.230**	0.242
X7	0.085**	0.049**	0.042**	0.066	0.074**	0.077**	0.143	0.123
X8	0.528**	0.624**	0.639**	0.749**	0.352**	0.370**	0.282**	0.408**
X9	0.004	0.011**	0.002	0.002	0.009	0.009	0.090	0.090*

不同耕地非粮化类型与关联因素在 OLS 模型的拟合优度中并非同质的，在区块尺度中，耕地非粮化在 OLS 回归模型中的拟合优度呈现不同特征。评价单元内的平均坡度（X1）、平均高程（X2）、有机质含量（X3）、非粮化耕地地块平均面积（X4）、地块到村镇距离（X6）和地块到水源地平均距离（X7），在较小尺度下的拟合度大于其他同显著水平下的拟合度。同时，随着区块尺度的增大，使用 OLS 模型对以上因素进行拟合时，拟合度下降，并且这种关系在小区块尺度等级范围内关系较强，同时耕地非粮化与这些因素的影响关系更为显著，其中 X4 的拟合度变化最大，为 0.227 9，X7 的拟合度变化最小，为 0.031；对于评价单元内的农村道路密度（X8）和永久基本农田面积（X5）来说，随着区块尺度的增大，使用 OLS 模型对这两项因素进行拟合时，拟合优度与尺度等级整体呈现正相关，并且这类种关系在大区块尺度等级范围内关系较强，同时耕地非粮化与因素之间的影响关系更为显著。除此以外，评价单元内的采矿用地距离（X9），在多数尺度下对耕地撂荒影响拟合优度和显著性均较低，但是在面对种植结构非粮化和耕地非粮化总量时，部分尺度下呈现 5% 置信水平上的正相关。在集水区尺度和行政村尺度的 OLS 模型双变量回归结果中，

所有因素与至少一种耕地非粮化类型的关系呈现 5% 置信水平下的正相关。

在使用传统的最小二乘法对耕地非粮化及关联因素进行研究时，整体的回归结果并没有呈现明显的尺度效应。虽然传统的最小二乘回归可以证明，各个关联因素与非粮化的关系是显著的，但是没有考虑空间尺度效应的结果显然缺乏说服力，因此在 OLS 模型回归显著的基础上，本研究继续进行加入空间地理权重，对尺度效应影响下的耕地非粮化因素继续探讨。

3.3.2 空间计量模型回归结果分析

图 5、表 4、图 6 和表 5 展示了使用空间滞后模型（SLM）和空间误差模型（SEM）模拟在集水区尺度、村行政区尺度和 500~6 100 m 密度区块尺度中的耕地非粮化及其关联因素（X1~X9）之间双变量回归结果。结果表明，耕地非粮化与关联因素（X1~X9）的相关关系强弱存在尺度效应；小区块尺度等级下的耕地非粮化的空间模型拟合效果更优，集水区尺度优于行政村尺度；耕地非粮化及关联因素在多数尺度下为空间溢出效应；矿粮复合区的耕地非粮化在小区块尺度等级上受到采矿活动的影响较其他尺度更为显著。

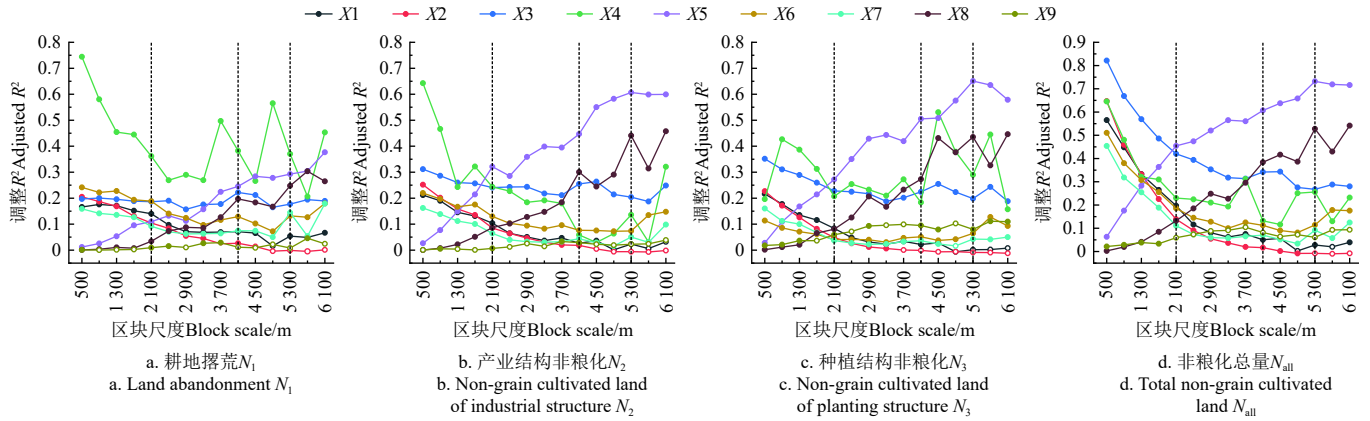


图4 不同区块尺度下耕地非粮化及其关联因素的OLS模型双变量回归的拟合度与显著性

Fig.4 Fitting and significance of OLS model bivariate regression of non-grainification of cultivated land and its associated factors at different block scales

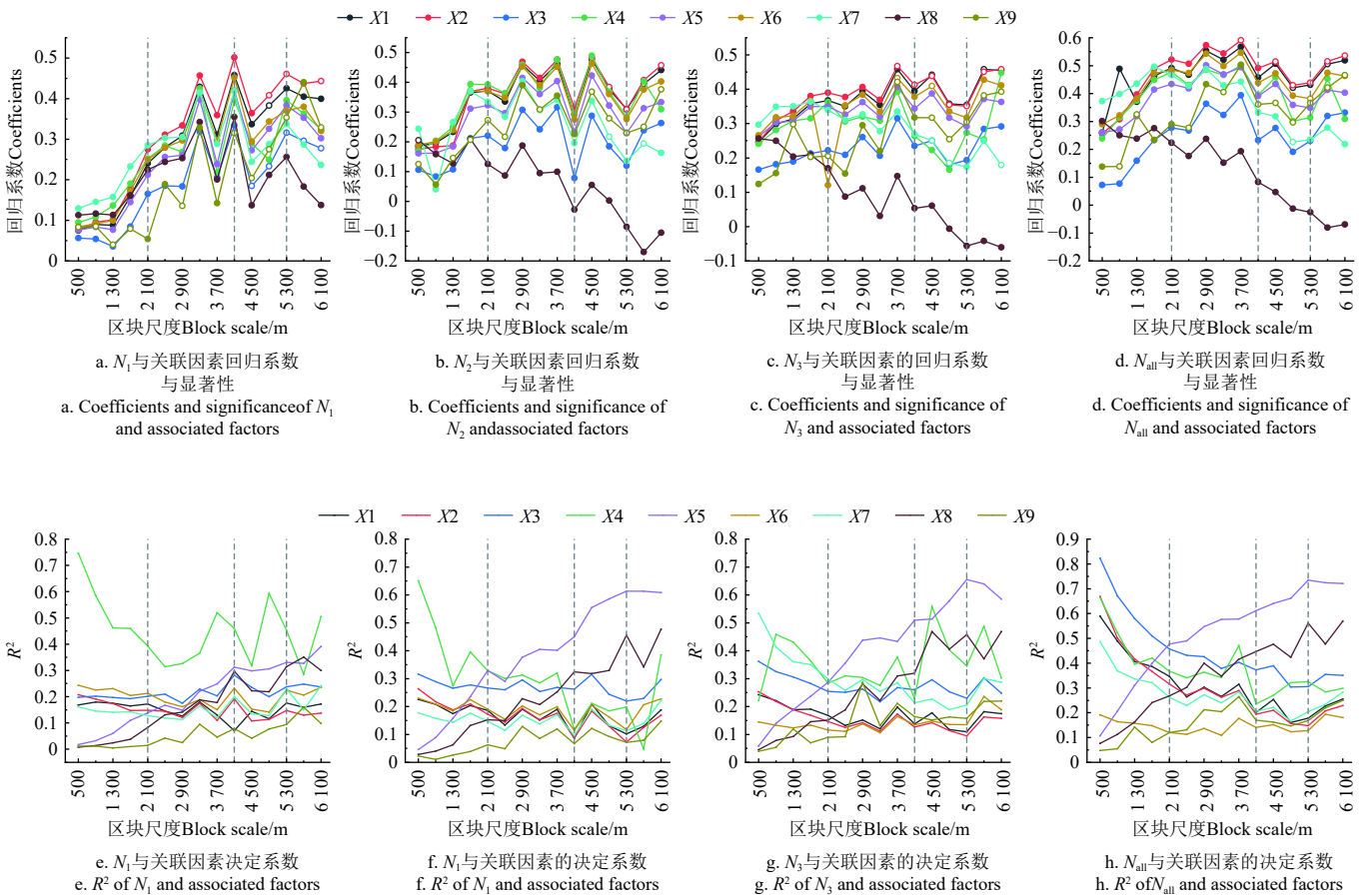


图5 不同区块尺度下耕地非粮化及其关联因素的SLM双变量回归结果的显著性、回归系数与拟合度

Fig.5 Fitting, significance, and regression coefficients of SLM bivariate regression of non-grain cultivated land and its associated factors at different block scales

与OLS回归结果相比,空间回归模型的结果提高了整体拟合度,并且在尺度等级层次上有明显的拟合效果的变化,各因素在空间模型的回归系数中出现了与莫兰指数走向(图2)同样的拐点。从整体的空间滞后模型(SLM)和空间误差模型(SEM)的回归分析来看,非粮化耕地平均坡度(X_1)和平均高程(X_2)在500~4100 m的区块尺度中均通过了5%显著性水平下的检验,并呈现正相关;地块距离村镇平均距离(X_6)和地块距离水源平均距离(X_7)在500~4100 m的区块尺度中呈5%

的显著性水平下的正相关,在区块尺度超过2500 m后的模型模拟中,显著性水平呈现下降。以上4项因素与耕地非粮化在进行双变量空间回归拟合结果中发现,在500~4100 m尺度中显著率为100%,但是在4100 m之后的尺度,因素的显著率降低到33.33%。其他的关联因素在不同尺度中和SLM和SEM的模型模拟中,多数都通过了5%显著性水平下的检验。表明尺度效应下,耕地非粮化与关联因素的相关关系强弱受到了尺度变化的重要影响。再对比不同区块等级各个关联因素与耕地非

粮化的回归结果发现，在较小区块尺度下，全部因素与耕地非粮化回归结果的显著率为 90.03%，拟合度平均值为 0.233，其中关联因素中的平均坡度（X1）、永久基本农田面积占比（X5）和地块距离水源平均距离（X7）3 项因素的 SLM 回归系数平均值均大于 0.270，明显大于其他几项，并且显著率达到 100%，表明较小区块尺度下，非粮化受该三项因素影响较明显。在小区块尺度中，全部因素与耕地非粮化回归结果的显著率为 90.2%，拟合度平均值为 0.236，优于其他尺度等级，其中关联因素中的平均高程（X2）、土壤有机质含量（X3）、非粮化平均耕地地块面积（X4）、地块距离村镇平均距离（X6）

和地块距离水源平均距离（X7）5 项因素的回归系数平均值均大于 0.250，显著率达到 92%。表明小区块尺度下，非粮化受该五项因素影响较明显。在中大区块尺度中，关联因素对耕地非粮化的回归系数维持平稳，部分关联因素的回归系数出现降低的情况，所有的因素与耕地非粮化空间回归结果的显著率仅为 40.06%。表明中大尺度等级会造成回归估计的差异，主导因素不明显。以上结果说明，尺度效应对耕地非粮化及其关联因素的拟合中造成了回归结果的显著差异，影响了因素的相关关系强弱性，并且小区块尺度等级下的空间模型拟合效果强于其他尺度等级。

表 4 集水区尺度和行政村尺度下耕地非粮化及其关联因素的 SLM 双变量回归系数与显著性

Table 4 Significance and regression coefficients of SLM bivariate regression of non-grain cultivated land and its associated factors at catchment scale and administrative village scale

因素 Factors	集水区尺度 Catchment scale				行政村尺度 Administrative village scale			
	耕地撂荒 Land abandonment	产业结构非粮化 Non-grain cultivated land of industrial structure	种植结构非粮化 Non-grain cultivated land of planting structure	非粮化总量 Total non-grain cultivated land	耕地撂荒 Land abandonment	产业结构非粮化 Non-grain cultivated land of industrial structure	种植结构非粮化 Non-grain cultivated land of planting structure	非粮化总量 Total non-grain cultivated land
X1	0.276**	0.436**	0.474**	0.454**	0.001**	0.016**	0.078**	0.025**
X2	0.292**	0.451**	0.486**	0.470**	0.000**	0.020	0.081	0.028*
X3	0.135**	0.284**	0.337**	0.273**	-0.011**	-0.002**	0.054**	0.003**
X4	0.219**	0.364**	0.328**	0.385**	-0.038**	0.007**	-0.047**	-0.036**
X5	0.104**	0.067**	0.116**	0.038**	-0.004**	-0.004**	0.060**	0.008**
X6	0.249**	0.393**	0.445**	0.412**	-0.039**	-0.034*	0.031**	-0.027**
X7	0.255**	0.423**	0.460**	0.435**	0.007**	0.025**	0.075**	0.029**
X8	0.109**	0.122**	0.168**	0.093**	-0.029**	-0.016**	0.059**	-0.003**
X9	0.046	0.141	0.264	0.172	0.022	0.031	0.008	0.008

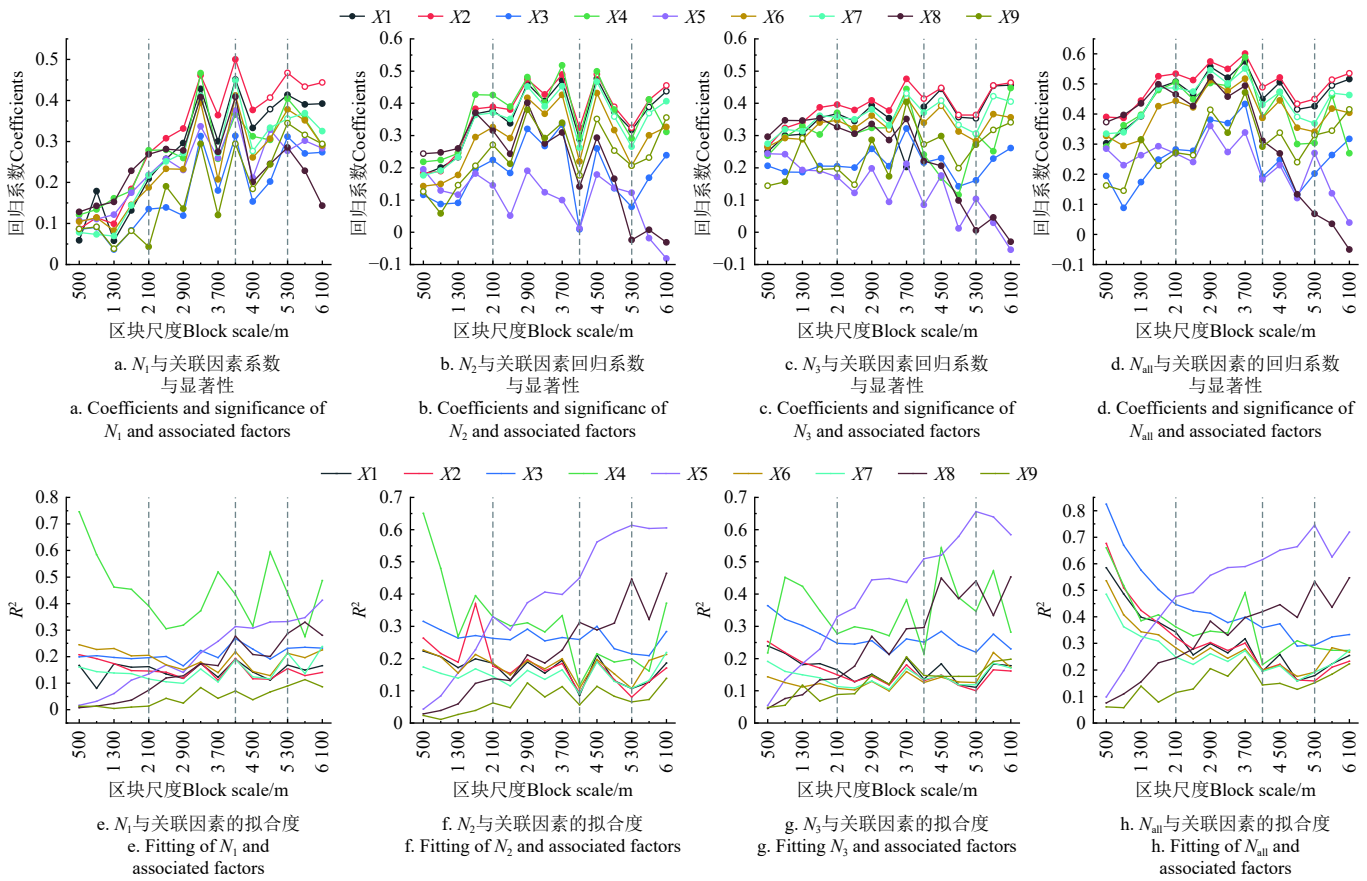


图 6 不同区块尺度下耕地非粮化及其关联因素的 SEM 双变量回归结果的显著性、回归系数与拟合度

Fig.6 Fitting, significance, and regression coefficients of SEM bivariate regression results of non-grain cultivated land and its associated factors at different block scales

表 5 集水区尺度和行政村尺度下耕地非粮化及其关联因素的 SEM 双变量回归结果的显著性与回归系数

Table 5 Significance and regression coefficients of SEM bivariate regression results of non-grain cultivated land and its associated factors at catchment scale and administrative village scale

因素 Factors	集水区尺度 Catchment scale				行政村尺度 Administrative village scale			
	耕地撂荒 Land abandonment	产业结构非粮化 Non-grain cultivated land of industrial structure	种植结构非粮化 Non-grain cultivated land of planting structure	非粮化总量 Total non-grain cultivated land	耕地撂荒 Land abandonment	产业结构非粮化 Non-grain cultivated land of industrial structure	种植结构非粮化 Non-grain cultivated land of planting structure	非粮化总量 Total non-grain cultivated land
X1	0.261**	0.431**	0.468**	0.445**	0.002**	0.018**	0.092**	0.031**
X2	0.294**	0.449	0.485*	0.470**	0.022**	0.046**	0.122**	0.063**
X3	0.106**	0.292**	0.358**	0.280**	-0.020**	-0.014**	0.070**	0.002**
X4	0.208**	0.387**	0.378**	0.406**	-0.075**	0.193**	-0.101**	-0.056**
X5	0.275**	0.328**	0.361**	0.404**	0.099**	0.084**	0.194**	0.138**
X6	0.215**	0.384**	0.444**	0.400**	-0.036**	-0.032**	0.051**	-0.019**
X7	0.213**	0.416**	0.455**	0.423**	0.011**	0.029**	0.087**	0.037**
X8	0.342**	0.139**	0.146**	0.136**	-0.108**	-0.095**	0.109**	-0.037**
X9	0.041	0.135	0.265	0.170	0.009	0.020	0.004	0.004

从单个因素的回归系数的变化情况来看，非粮化耕地的平均坡度（X1）、平均高程（X2）、到村镇距离（X6）和到水源地距离（X7）在所有关系为显著的空间尺度中，滞后回归系数为正，且系数整体呈现递增的变化趋势，这表明这四项因素对耕地非粮化具有强烈的正向作用。关联因素中的土壤有机质含量（X3）、非粮化平均耕地地块面积（X4）在所有关系为显著的空间尺度中，滞后回归系数较低，并无呈现明显变化趋势，这表明这两项因素即使在变更了研究尺度的情况下，对耕地非粮化的造成的影响较为轻微。在区位因素中的永久基本农田面积（X5）和农村道路密度（X8）却在部分空间尺度中出现负向滞后回归系数，表明这两项因素对耕地非粮化具有明显的负向作用。根据研究区的非粮化耕地到矿区距离（X9）因素回归情况来看，在小区块尺度等级上拟合度和滞后回归系数相对较高、影响关系更为显著。表 4 和表 5 的集水区尺度和行政村尺度下关联因素的回归结果多数呈现 1% 置信水平下的正相关，且集水区尺度的显著率和拟合效果更优。以上结果表明，耕地非粮化及其关联因素在多数尺度中表现出明显的空间溢出效应，即焦点区域的非粮化会对周边区域的非粮化有正向的影响。

在本章节的空间计量模拟结果中与非空间 OLS 回归结果相比，虽然部分尺度的回归显著性水平有所降低，但尺度效应在回归结果中更为显著，这一结论与全局莫兰指数的结论一致。在考虑空间邻近效应后，尺度变化会导致非粮化与关联因素的强弱关系发生变化，这一强弱变化关系也呈现出与空间自相关变化的相似特征，即也出现尺度效应。从资源禀赋上来说，非粮化问题在小区块尺度的解释更优，主要是因为资源匮乏和富集在超出一定的范围就会衰减，在面对耕地非粮化这个社会 and 自然共同作用的地理现象时，资源禀赋条件在超出小区块尺度范围后，资源出现差异，同时由于研究区所在的位置是南方低山丘陵，低山丘陵资源的分割差异也一般限制在空间规模上占有数平方千米到数十平方千米的小地形上，即 4000~6000 m 作为直径分割资源，集水区尺度对非粮化的研究优于行政村尺度的原因，也可以由此解释。其次，再考虑原有的区位条件，该矿粮复合区以粮食主产和矿石生产作为复合条件，在采矿业发达地区，

农民也更愿意转型为相关产业的劳动力，撂荒问题随之发生，再考虑到非粮化多数发生在城市周边、种植其他经济作物能够获得更高收益的区域，并且这种非粮化同时兼具上下等级扩散和临近扩散，因此在社会互动过程中，积极寻求外在力量和更高层次的政策力量，是消除矿粮复合区整体非粮化加剧的重要途径。再次，承前所述，空间依赖强的地理现象不仅受到当地因素的影响，也受到了邻域因素的重要影响，更具有多因素综合的特征，可见，一个区域的耕地非粮化归因于部分因子和部分尺度是不实际的。倘若仅依靠在一个尺度上对所有因素进行治理，往往会盲目且低效，加入尺度等级的考虑，治理会更科学有效。

4 讨 论

以往的耕地非粮化研究多数通过调查问卷和统计数据进行分析，较少考虑到非粮化问题的尺度效应，也缺乏空间计量分析。本研究利用莫兰指数、最小二乘法、空间自相关模型等方法，考虑了社会和自然地理情况，分尺度对研究区耕地非粮化空间异质性及其关联因素进行剖析。结果表明，耕地非粮化空间异质性及其关联因素存在明显的尺度效应和空间邻近效应，其中在小区块尺度等级和集水区尺度下的空间邻近效应更明显，并且德兴市耕地非粮化受到了采矿活动的显著影响，这与德兴市矿粮复合区实际相符。因此，在耕地保护过程中应考虑空间邻近效应，为进一步推进全域国土综合整治提供参考。本文在研究视角和研究方法上具有一定的特色，在研究区域的选择上也有典型性。本研究也存在一些局限性，对于耕地非粮化关联因素的选择有待优化完善，未来可考虑增加生产总值、社会民生等社会经济因素，但这类数据难以精细化到较小尺度，需要利用科学的方法细化研究方法。此外，本研究所涉及的时间尺度有限，缺乏纵向尺度分析，在今后的研究中可以进行完善。

在今后耕地非粮化管控中，应根据矿粮复合的区域特点，分类别、分区域和分因素采取差别化的管控措施。在类别上，针对“工程恢复”或“即可恢复”的耕地，应避免耕地的进一步破坏成为“不可恢复”的耕地，需要重点保护耕作层的完整性和养分能力；针对耕地撂荒问题，应提供农业技术和创新支持，改善土地质量和种

植技术, 提高农户种粮意愿; 针对产业结构非粮化问题, 应提高农业产出投入比, 增加农民的收入, 避免耕地非粮化。在区域上, 重点保护河流沿岸地区的耕地, 制止非农化和防止非粮化, 并降低山地丘陵区耕地非粮化潜在风险。在因素上, 兼顾耕地坡度与高程、永久基本农田、耕作便利度等因素, 积极推进全域国土综合整治, 开展土地平整和土壤培肥, 完善农田水利设施和田间道路系统, 提高农村道路密度和农田生产效率, 促进适度规模经营, 提高经营效益和农民收入, 有效遏制耕地非粮化。

5 结 论

本研究从尺度效应和空间近邻效应出发, 采用莫兰指数、最小二乘法、空间自相关等方法, 从不同尺度对矿粮复合区耕地非粮化空间异质性及其关联因素进行了研究, 试图为解决耕地非粮化问题和保障矿粮复合区的可持续发展提供借鉴。主要结论如下:

1) 研究区的耕地非粮化客观上存在三种形式, 整体非粮化分布呈现强空间自相关性和强空间异质性, 其空间异质性特征为中西部分布多, 沿河岸分布多, 山地丘陵分布少, 在不同尺度下的空间异质性特征相似。

2) 研究区的耕地非粮化空间异质性存在明显的尺度效应, 按实际情况可以划分为四个尺度等级, 小区域尺度等级在研究耕地非粮化问题时, 小尺度等级下耕地非粮化回归结果的显著率为 90.2%, 拟合度平均值为 0.236, 优于其他区域尺度等级。相较于传统的行政村尺度, 自然地理空间上的集水区尺度在解释由于自然力和社会力所造成的耕地非粮化问题更具有优势。

3) 由于受到多因素的综合影响, 多数尺度下德兴市耕地非粮化与不同的关联因素呈现显著的空间溢出效应; 多数尺度下, 非粮化耕地与平均坡度、平均高程、到村镇距离和到水源地距离呈现明显的强正相关, 非粮化与永久基本农田面积和农村道路密度存在负相关, 同时地块到矿区距离也对矿粮复合区耕地非粮化也具有显著影响。

4) 耕地非粮化的关联因素强弱也具有明显的尺度效应, 不同因素对耕地非粮化的作用效果存在差异, 同一因素在不同尺度下对耕地非粮化的作用效果也不尽相同, 小尺度下的主要因素的回归系数平均值均大于 0.250, 显著率达到了 92%。

【参 考 文 献】

- [1] 刘桃菊, 陈美球. 中国耕地保护制度执行力现状及其提升路径[J]. 中国土地科学, 2020, 34(9): 32-37, 47.
LIU Taoju, CHEN Meiqiu. The status-quo and improvement path for the implementation of cultivated land protection policy in china[J]. China Land Science, 2020, 34(9): 32-37, 47. (in Chinese with English abstract)
- [2] 韩杨. 中国耕地保护利用政策演进、愿景目标与实现路径[J]. 管理世界, 2022, 38(11): 121-131.
HAN Yang. The policy evolution, vision goal and realization path of china's cultivated land protection and utilization[J]. Management World, 2022, 38(11): 121-131. (in Chinese with English abstract)
- [3] 韩杨, 陈雨生, 陈志敏. 中国高标准农田建设进展与政策完善建议——对照中国农业现代化目标与对比美国、德国、日本经验教训[J]. 农村经济, 2022(5): 20-29.
HAN Yang, CHEN Yusheng, CHEN Zhimin. Progress and policy recommendations for the construction of high-standard farmland in China: A comparison of Chinese modern agricultural goals with experiences and lessons from the United States, Germany, and Japan[J]. Rural Economy, 2022(5): 20-29. (in Chinese with English abstract)
- [4] 梁鑫源, 金晓斌, 孙瑞, 等. 多情景粮食安全底线约束下的中国耕地保护弹性空间[J]. 地理学报, 2022, 77(3): 697-713.
LIANG Xinyuan, JIN Xiaobin, SUN Rui, et al. China's resilience-space for cultivated land protection under the restraint of multi-scenario food security bottom line[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3): 697-713. (in Chinese with English abstract)
- [5] 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. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张藕香, 姜长云. 不同类型农户转入农地的“非粮化”差异分析[J]. 财贸研究, 2016, 27(4): 24-31, 67.
ZHANG Ouxiang, JIANG Changyun. Analysis on differences of “non grain” of different types farmers in transfer-in farmland[J]. Finance and Trade Research, 2016, 27(4): 24-31, 67. (in Chinese with English abstract)
- [7] ZHAO X F, ZHENG Y Q, HUANG X J, et al. The effect of urbanization and farmland transfer on the spatial patterns of non-grain farmland in China[J]. Sustainability, 2017, 9(8): 1-19.
- [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. (in Chinese with English abstract)
- [9] 关小克, 王秀丽, 赵玉领. 黄河沿岸“非粮化”耕地形态特征识别与优化调控研究[J]. 农业机械学报, 2021, 52(10): 233-242.
GUAN Xiaoke, WANG Xiuli, ZHAO Yuling. Morphological characteristics identification and optimization of “non-grain” cultivated land along yellow river basin[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(10): 233-242. (in Chinese with English abstract)
- [10] SPARKS A M, IMEN B, LIUGI B, et al. Mapping arable land and permanent agriculture extent and change in southern greece using the european union lucas survey and a 35-year landsat time series analysis[J]. Remote Sensing, 2022, 14(14): 3369-3369.
- [11] SU S L, XIAO R, MAI G C, et al. Quantifying determinants of cash crop expansion and their relative effects using logistic regression modeling and variance partitioning[J]. International

- Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2015, 34: 258-263.
- [12] 张玥, 代亚强, 陈媛媛, 等. 中国耕地多功能耦合协调时空演变及其驱动因素[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(7): 244-255.
ZHANG Yue, DAI Yaqiang, CHEN Yuanyuan, et al. Spatial-temporal evolution and driving factors of cultivated land multifunctional coupling coordination development in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(7): 244-255. (in Chinese with English abstract)
- [13] 褚晓彤, 王跃朋, 周建. 关中地区耕地显性与隐性非粮化的时空变化及对粮食产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(19): 241-249.
CHU Xiaotong, WANG Yuepeng, ZHOU Jian. Effects of spatiotemporal variations in implicit and explicit non-grain production farmland on grain yield in the Guanzhong Region of Shaanxi in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(19): 241-249. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王鹏程, 张利国, 卢玉兰, 等. 广西耕地“非粮化”时空演变及影响因素研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(5): 187-197.
WANG Pengcheng, ZHANG Liguang, LU Yulan, et al. Study on the spatial-temporal evolution and influencing factors of non-grain cultivated land in Guangxi[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(5): 187-197. (in Chinese with English abstract)
- [15] YINGBIN F, MENGXUE K, TING Z. Spatio-temporal dynamics of non-grain production of cultivated land in China[J]. *Sustainability*, 2022, 14(21):14286-14286.
- [16] 孔祥斌. 中国耕地保护生态治理内涵及实现路径[J]. *中国土地科学*, 2020, 34(12): 1-10.
KONG Xiangbin. The connotation and realization path of ecological governance of cultivated land protection in China[J]. *China Land Science*, 2020, 34(12): 1-10. (in Chinese with English abstract)
- [17] WANG J, ZHANG Z, LIU Y. Spatial shifts in grain production increases in China and implications for food security[J]. *Land Use Policy*, 2018, 74:204-213.
- [18] 朱晶, 臧星月, 李天祥. 新发展格局下中国粮食安全风险及其防范[J]. *中国农村经济*, 2021(9): 2-21.
ZHU Jing, ZANG Xingyue, LI Tianxiang. China's food security risks and prevention strategy under the new development pattern[J]. *Chinese Rural Economy*, 2021(9): 2-21. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李志林, 王继成, 谭诗腾, 等. 地理信息科学中尺度问题的 30 年研究现状[J]. *武汉大学学报 (信息科学版)*, 2018, 43(12): 2233-2242.
LI Zhilin, WANG Jicheng, TAN Shiteng, et al. Scale in geoinformation science: An overview of thirty-year development[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 2233-2242. (in Chinese with English abstract)
- [20] 刘瑜, 汪珂丽, 邢潇月, 等. 地理分析中的空间效应[J]. *地理学报*, 2023, 78(3): 517-531.
LIU Yu, WANG Keli, XING Xiaoyue, et al. On spatial effects in geographical analysis[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(3): 517-531. (in Chinese with English abstract)
- [21] FOTHERINGHAM A S, WONG D W S. The modifiable areal unit problem in multivariate statistical analysis[J]. *Environment and Planning A*, 1991, 23(7): 1025-1044.
- [22] CLARK W A V, AVERY K L. The effects of data aggregation in statistical analysis[J]. *Geographical Analysis*, 1976, 8(4): 428-438.
- [23] 黄祖辉, 李懿芸, 毛晓红. 我国耕地“非农化”“非粮化”的现状与对策[J]. *江淮论坛*, 2022(4): 13-21.
HUANG Zuhui, LI Yiyun, MAO Xiaohong. The current situation and countermeasures of the "de-farming" and "de-fooding" of China's arable land[J]. *Jianghuai Tribune*, 2022(4): 13-21. (in Chinese with English abstract)
- [24] 王越, 曾先, 刘钊宇, 等. 辽宁省耕地非粮化时空分异及其决定因素——多元利益主体决策的作用[J]. *资源科学*, 2023, 45(5): 980-993.
WANG Yue, ZENG Xian, LIU Zhaoyu, et al. Determinants of the spatiotemporal differentiation of cultivated land non-grain conversion in Liaoning Province: The role of multiple stakeholder decisions[J]. *Resources Science*, 2023, 45(5): 980-993. (in Chinese with English abstract)
- [25] 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 (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(2): 203-211. (in Chinese with English abstract)
- [26] LIU X, WANG Y, LI Y, et al. Changes in arable land in response to township urbanization in a Chinese low hilly region: Scale effects and spatial interactions[J]. *Applied Geography*, 2017, 88:24-37.
- [27] 高延雷, 张正岩, 王志刚. 农地转入、农户风险偏好与种植结构调整——基于 CHFS 微观数据的实证分析[J]. *农业技术经济*, 2021(8): 66-80.
GAO Yanlei, ZHANG Zhengyan, WANG Zhigang. Land transfer, appetite for risk and crop pattern—empirical analysis based on micro data of CHFS[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2021(8): 66-80. (in Chinese with English abstract)
- [28] 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. (in Chinese with English abstract)
- [29] 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]. *Society for Agricultural Machinery*, 2023, 54(6): 114-124. (in Chinese with English abstract)
- [30] 叶思菁, 宋长青, 高培超, 等. 地理空间视角下耕地资源

- 新认知体系构建[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(9): 225-240.
- YE Sijing, SONG Changqing, GAO Peichao, et al. Construction of the new cognitive system for arable land resources from geospatial perspective[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(9): 225-240. (in Chinese with English abstract)
- [31] FAN Q D, MEI X J, ZHANG C M, et al. Research on Gridding of Urban Spatial Form Based on Fractal Theory[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2022, 11(12):622.
- [32] 余万军, 吴次芳, 关涛, 等. 基于 GIS 和分形理论的山西屯留县土地利用空间格局变化 (英文) [J]. *农业工程学报*, 2005, 21(10): 64-69.
- YU Wanjun, WU Cifang, GUAN Tao, et al. Spatial pattern change of land use in Tunliu county, Shanxi Province based on GIS and fractal theory[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(10): 64-69. (in Chinese with English abstract)
- [33] 马振邦, 贾卓, 常跟应, 等. 区域农村贫困格局的形成: 空间依赖、空间分异与尺度效应[J]. *经济地理*, 2022, 42(3): 210-221.
- MA Zhenbang, JIA Zhuo, CHANG Genying, et al. Spatial dependence, spatial variation and scale effect in the formation of rural poverty pattern[J]. *Economic geography*, 2022, 42(3): 210-221. (in Chinese with English abstract)

Spatial differentiation and associated factors of non-grain cultivated land in mineral grain composite area considering scale effects

LUO Songkai, LUO Zhijun^{*}

(College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: Non-grain cultivated land is distributed in the areas with a concentrated population and frequent mining activities in recent years, particularly with the continuous development of urban expansion and industrialization. The scale effect of non-grain cultivated land can be one of the most important geographic phenomena in spatial heterogeneity. The optimal strength of related factors can also be conducive to the sustainable production of cultivated land in the mineral grain composite areas. In this study, the aggregation and dispersion of non-grain cultivated land were considered in the different geographic scale units from the scale effect and spatial contiguity. The study area was taken as the largest copper mine and grain composite area in Jiangxi Province of China. Nine factors were selected considering the scale of 500-6100m block, watershed, and administrative village. The spatial measurement model was used to analyze the type of non-grain cultivated land in the mineral grain composite area. Firstly, the land survey data was used to quantify the non-grain cultivated land in 2020. Global Moran's I index was used to test the multi-scale spatial autocorrelation of three types of non-grain cultivated land in the mineral grain composite area. The block scale was classified into four scale levels; Then, the traditional least squares method (LSM), spatial lag, and spatial error models were used to carry out the binary simulation regression of non-food cultivated land and the related factors. A comparison was made on the strength of the influencing factors at different scales. The results show that: (1) three forms of non-grain cultivated land were distributed mainly in the central and western regions, as well as the riparian zones with less distribution in the mountainous areas. The overall distribution of non-grain cultivated land showed strong spatial autocorrelation and strong spatial heterogeneity, with significant spatial spillover effects at most scales; (2) The outstanding scale effects were found in the spatial heterogeneity of non-grain cultivated land in the mineral grain composite area. Four zones were divided, according to the actual situation. (3) There was an inconsistent significance of related factors of non-grain cultivated land in different scales. The significant rate was 90.2% in the regression of non-grain cultivated land on the small scale, with an average value of the R^2 0.236, which was better than other scales. The scale of the catchment area was better than that of administrative villages; (4) There was also a clear scale effect in the strength of related factors in the non-grain cultivated land, indicating the most significant in the small-scale level. the average regression coefficient of the main factors was greater than 0.25, and the significant rate reached 92%. Therefore, the cultivated non-grain cultivated land in the mineral grain composite area was affected by multi-scale, multi-factors, and multi-dimensions. The influence of related factors at different scales was the optimal choice to solve the cultivated non-grain cultivation. It is necessary to consider the spatial dependence and scale effect in the existence of non-grain arable land in the future comprehensive land space improvement in the mineral grain composite area. The key factors should also be optimized for the land space, according to local conditions.

Keywords: scale effect; spatial contiguity effect; spatial heterogeneity; non-grain cultivated land; related factors; mineral grain composite area