



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

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

肖思成, 陈美球, 程旭东, 赖昭豪

引用本文:

肖思成, 陈美球, 程旭东, 赖昭豪. 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.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2023.0176>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

农业高质量发展的空间分异与影响因素——以广东省为例

黄修杰

农业资源与环境学报. 2021, 38(4): 699–708 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0454>

基于力学平衡模型的耕地多功能演变及其协调性分析——以珠江三角洲为例

余富祥, 胡月明, 刘振杰, 李波, 王璐

农业资源与环境学报. 2019, 36(6): 728–737 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0302>

集中连片贫困区耕地安全性评价及影响因素分析——以忻州市为例

高艳珍, 郑庆荣, 罗淑政, 李晓

农业资源与环境学报. 2021, 38(5): 919–927 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0535>

基于人地关系的干旱区耕地流转空间分异特征与驱动机制的地理探测

王琪, 王永生, 杜国明, 刘兆军

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 241–248 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0204>

基于协同-共生视角的茶产业生态圈协调发展实证分析

马永强, 谢静欣, 梅冬, 陈佑成

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 344–354 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0257>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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 S C, CHEN M Q, CHENG X D, 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.



开放科学 OSID

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

肖思成¹, 陈美球^{1*}, 程旭东¹, 赖昭豪²

(1. 江西农业大学农村土地资源利用与保护研究中心/江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045; 2. 汕头高新技术产业开发区产业与科技服务中心, 广东 汕头 515041)

摘要:为刻画赣南低山丘陵区农业产业结构“非粮化”空间分布差异,严格落实耕地保护和科学管控“非粮化”,本研究以江西省寻乌县为例,采用地理探测器因子检测、交互作用检测等方法揭示赣南低山丘陵区农业产业结构“非粮化”空间分异特征及其成因。结果表明:2020年寻乌县农业产业结构“非粮化”水平为19.42%,以耕地转为林地和园地为主。农业产业结构“非粮化”空间分异与耕地本底条件、自然资源禀赋、经济区位、政策环境4个维度的因子均显著相关,而地形、农田基础设施条件、耕地连片度是农业产业结构“非粮化”空间分异的主导驱动因子。不同农业产业类型“非粮化”的关键驱动因子不同,多数因子对耕地发展林果业和设施农业的驱动方向相反,农业产业结构“非粮化”因子交互作用均为双因子增强或非线性增强。研究表明,赣南低山丘陵区农业产业结构“非粮化”空间分异明显,需要管控农业产业结构“非粮化”总量并客观分类处置,本研究为“非粮化”分类监测和客观处置提供了参考,为低山丘陵区优化农业资源要素配置和农业产业空间布局提出建议。

关键词:耕地保护;农业产业结构“非粮化”;低山丘陵区;空间分异;地理探测器

中图分类号:F327

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2024)02-0305-12

doi: 10.13254/j.jare.2023.0176

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

XIAO Sicheng¹, CHEN Meiqiu^{1*}, CHENG Xudong¹, LAI Zhaohao²

(1. Research Center on Rural Land Resources Use and Protection, College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Shantou High-tech Production Development Zone Production and Technology Service Center, Shantou 515041, China)

Abstract: In order to describe the spatial distribution difference of non-grain agricultural production structure in low mountain and hilly areas of southern Jiangxi, the cultivated land protection and scientific control of non-grain should be strictly implemented. Taking Xunwu County as an example, geographical detector factor detection, interaction detection and other methods were used to reveal the spatial differentiation characteristics and causes of non-grain agricultural production in the low mountain and hilly areas of southern Jiangxi to provide a policy formulation reference for effective prevention and control of non-grain production in such areas. The results showed 19.42% non-grain agricultural production in Xunwu County in 2020, and cultivated land was mainly converted into forest and garden land. Spatial differentiation of non-grain production was significantly related to the four dimensions of cultivated land background conditions, natural resource endowment, economic location, and policy environment, while topography, farmland infrastructure, and cultivated land

收稿日期: 2023-03-20 录用日期: 2023-04-28

作者简介: 肖思成(2000—), 男, 江西樟树人, 硕士研究生, 从事土地资源管理研究。E-mail: 1839660483@qq.com

*通信作者: 陈美球 E-mail: cmq12@263.net

基金项目: 国家自然科学基金项目(71964016); 江西省青年马克思主义者理论研究创新工程(23ZXQM107); 江西省研究生创新专项资金项目(YC2021-S371)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China (71964016); Research and Innovation Project of Young Marxists in Jiangxi (23ZXQM107); Graduate Innovation Special Fund Project of Jiangxi Province(YC2021-S371)

<http://www.aed.org.cn>

concentration were important driving factors behind the spatial differentiation. The same driving factors have greatly different driving directions for the development of forest and fruit production and facility agriculture on cultivated land. The interactive relationship between factors of non-grain production is a two-factor enhancement or nonlinear enhancement. According to the spatial differentiation characteristics of agricultural non-grain production structure in the hilly area of southern Jiangxi, it provides a reference for the classification monitoring and objective disposal of non-grain, and provides suggestions for optimizing the allocation of agricultural resources and the spatial layout of agricultural production in the hilly area of southern Jiangxi.

Keywords: cultivated land protection; non-grain agricultural production; low mountain and hilly areas; spatial differentiation; Geodetector

粮食安全是国民经济发展的基础,粮食生产在经济活动中扮演着“稳底盘”的角色,具有极其重要的战略意义^[1]。尽管我国粮食生产获二十连丰,但产需仍处于紧平衡状态,耕地数量减少和功能消退等资源约束是重要原因^[2],其中既包括城镇化、工业化所带来的新增建设用地占用耕地的“非农化”^[3-4],也与农业产业结构和种植结构调整而导致的耕地“非粮化”密切相关。针对日益突出的耕地“非粮化”倾向,2020年国务院办公厅印发的《关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见》提出要予以严格防控。清晰界定耕地“非粮化”内涵并区分不同的“非粮化”类型是剖析耕地“非粮化”现象、严控耕地“非粮化”的前提。当前对耕地“非粮化”的共识是保持农用地性质不变,但在具体内涵上存在一定的争论。耕地“非粮化”在实际中表现出多种形式,有学者认为耕地“非粮化”是指将原本用于种植粮食作物的耕地转为种植经济作物或其他非粮作物^[5],亦有学者认为耕地“非粮化”是指将种粮耕地用来经营非粮种养业,包括经济作物种植、林果业和水产养殖业等^[6-7],而由于农业劳动力流失等原因造成的撂荒现象,也成为粮食安全背景下耕地“非粮化”的表现形式^[8]。

有学者将“非粮化”归纳为种植结构型和农业产业结构型两大类^[9-10],区别在于:种植结构“非粮化”基本上没有对耕作层产生破坏,随时可恢复粮食生产状态,在一定程度上符合“藏粮于地”战略,例如合理的水旱轮作有助于改善土壤理化性质,提升耕地粮食产能;农业生产结构“非粮化”使耕地状态发生变化,转变为林地、园地、坑塘水面等其他农用地,对耕地的粮食生产条件产生明显影响,特别是坑塘养殖会使耕作层彻底损失,耕地粮食生产恢复具有不可逆性^[11-12]。因此农业产业结构“非粮化”是主要威胁粮食安全的“非粮化”类型,应严格防控。2021年多部委联合印发的《关于严格耕地用途管制有关问题的通知》中也指出要严格管控耕地转为其他农用地,针对农业产业结构“非粮化”实行“进出平衡”。

耕地“非粮化”的识别和测度是防控“非粮化”的基础,受限于数据获取渠道,现有研究多采取理论计算(年度非粮食作物种植面积占农作物播种面积比例)^[13-14]和随机样本(问卷调查)估算^[15]等方法进行测度,但这些方法在认定耕地面积、复种指数、“非粮化”类型等特征时有诸多局限^[16],且较少有对农业产业结构“非粮化”的测度。通过遥感解译方式可获取耕地地块的真实地表信息,划分法定耕地范围内的土地利用类型^[17-19],而相较于对影像空间分辨率要求较高且工作量大的手工判读方法^[17],使用计算机解译手段能够为识别“非粮化”信息提供有力支撑^[18]。种粮比较利益低下是耕地“非粮化”的根本原因^[7-8,13-14],耕地面积、人均耕地面积等资源禀赋特征^[6,15],坡度、气候等自然条件^[10],区位条件^[15]、劳动力和收入水平、耕地流转行为、农业机械化水平等科技含量指标^[7,15]均不同程度影响经营者的种粮意愿。众多研究表明,不同地区的资源禀赋和经济水平使“非粮化”表现形式及其主要驱动因素产生一定差异^[6,9,17-18],我国地形地貌类型较为丰富,其中低山丘陵区面积广阔,占比28.22%^[20]。此类地区的耕作通勤、灌溉、宜机化等条件存在先天不足,但发展果树、苗木等特色产业具有潜在优势,为农业产业结构“非粮化”提供了便利条件。赣州市位于我国最大、最密集的丘陵分布区——东南丘陵区,山地、丘陵占全市总面积的80.98%,而寻乌县地处赣州市东南部,是典型的赣南低山丘陵区。综上所述,围绕农业产业结构“非粮化”及其细化类型进行识别和分析,聚焦低山丘陵区这一农业产业结构“非粮化”热点地区并探究驱动因素,对切实防控耕地“非粮化”、确保粮食安全具有积极的现实意义。本研究以寻乌县为例,运用遥感技术识别测度农业产业结构“非粮化”,以耕地地块为研究尺度,使用地理探测器模型从耕地本底、自然资源禀赋、经济区位和政策环境4个维度实证寻乌县农业产业结构“非粮化”空间分异的驱动因子及其交互作用关系,以期对赣南低山丘陵区耕地保护和“非粮化”管控提供对策建议。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

寻乌县位于闽、赣、粤三省交界处(图1), $24^{\circ}30'40''\sim 25^{\circ}12'10''\text{N}$ 、 $115^{\circ}21'22''\sim 115^{\circ}54'25''\text{E}$,地势东北、西北与东南高,向西南倾斜,属亚热带季风气候,平均年降雨量为1650.3 mm,温暖湿润,雨量充沛,作物熟制为一年两熟。地形以山地丘陵为主,丘陵占总面积的14.3%,山地占总面积的75.6%,具有典型低山丘陵区特征。粮食作物以水稻为主,单双季皆有,其种植面积占粮食种植面积90%以上,产量占粮食总产量95%以上,大棚蔬菜和脐橙、鹰嘴桃等各类果业种植是研究区主要的农业优势产业。寻乌县2018—2020年间粮食作物播种面积由38.55万亩($1\text{亩}=1/15\text{hm}^2$)减少至37.77万亩,谷物这一主粮产量由11.02万t减少至10.82万t。

1.2 数据来源与处理

本研究使用的数据包括寻乌县行政区划数据、2020年Sentinel-2 L1C级遥感影像、2018年土地利用年度变更数据、耕地质量等别数据、永久基本农田范围、粮食生产功能区范围、ASTER GDEM 30 m分辨率数字高程数据以及中国气象背景数据集。其中寻乌

县行政区划范围、2018年土地利用年度变更数据、耕地质量等别数据、永久基本农田范围、粮食生产功能区范围来源于赣州市自然资源局, Sentinel-2 L1C级遥感影像来源于欧洲航天局官网(<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), ASTER GDEM 30 m分辨率数字高程数据来源于地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>), 中国气象背景数据集来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)。

在2018年土地利用年度变更数据中获取法定耕地范围,选择可见光波段分辨率10 m、含云量小于5%的Sentinel-2影像(2020年9月3日)对法定耕地范围进行识别,获取农业产业结构“非粮化”类型空间数据。Sentinel-2经辐射定标和几何校正的L1C级产品使用Sen2Cor插件进行大气校正后,裁剪用于集成学习的待解译影像。针对不同地物的光谱信息选择21个特征形成特征集。除10个光谱波段特征外,选择NDVI、NDVI红边1、NDVI红边2、NDVI红边3和SAVI区分不同植被覆盖类型^[21]以识别耕地、林地和园地、典型设施农用地,选择NDWI和MNNDWI区分水体和其他地物^[21],选择NDBI、IBI区分硬化地表与其他地物^[22],并添加高程、坡度两个地形特征。选择集成学习算法中应用较多的随机森林模型(RF),在 M 个特征中选取

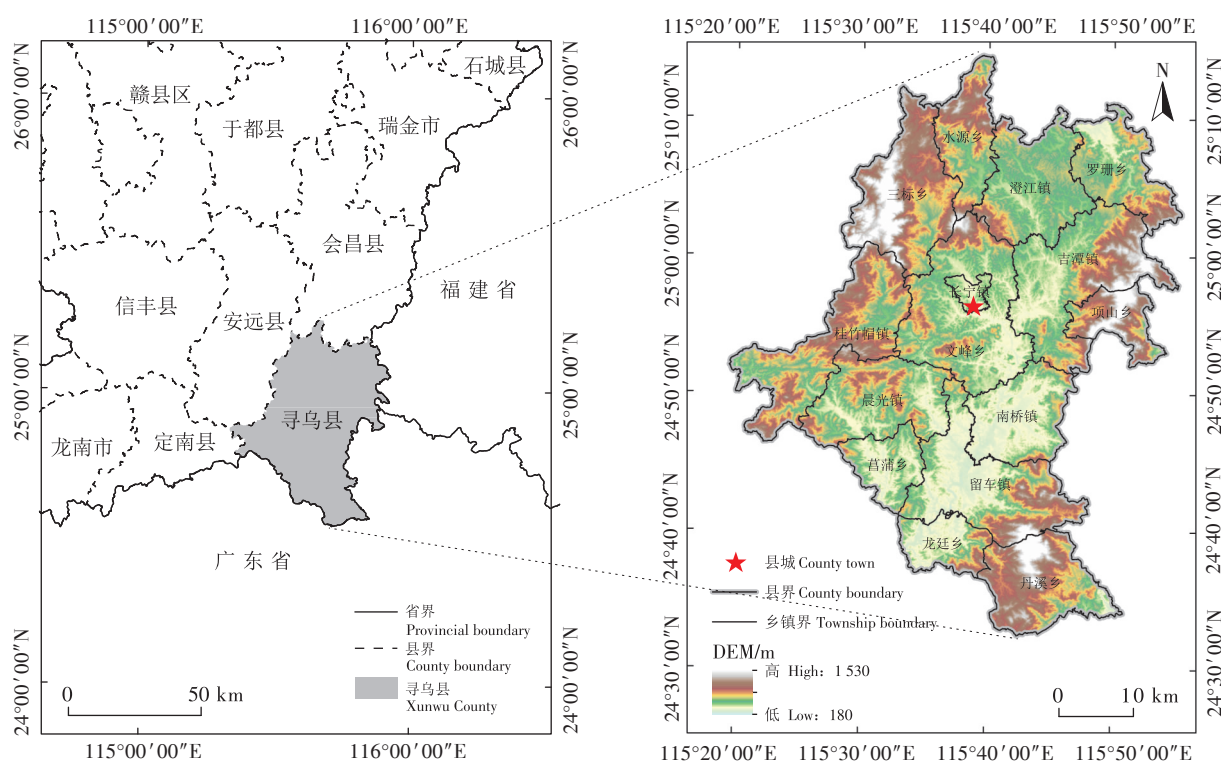


图1 研究区位置

Figure 1 Location of the study area

m 个($m \leq M$)进行节点分裂,收集所有决策树分类结果,采用投票方式选择新样本类别^[23]。训练样本使用J-M距离方法进行可分性分析,按可分离度大小将分类特征依次纳入组合。样本由Google Earth高分辨率影像经目视解译获取,并进行野外验证,共计1490个训练样本,除水体外其他类型训练样本均不少于150个,验证样本点10926个。特征优选后的随机森林分类结果采用混淆矩阵计算总体精度并以Kappa系数进行验证。结果显示总体精度在90%以上,Kappa系数为0.84,分类结果和验证样本点具有较高的一致性。

1.3 研究方法

1.3.1 地理探测器

地理探测器是探测空间分异性以及揭示背后驱动因子的统计学方法^[24],李涛^[25]使用地理探测器分析得出重庆市农地非农化空间分异的解释变量。本研究拟采用驱动因子探测、交互作用探测两种方法,以点数据随机采样赋值,通过各单因子 q 值反映驱动强度,以双因子 q 值反映因子之间交互作用。驱动因子探测用于分析自变量对耕地“非粮化”空间分异的解释力,交互作用探测反映驱动因子交互作用关系,可划分为非线性减弱、单因子非线性减弱、双因子增强、独立、非线性增强5种类型,其量化表示分别为两因子交互作用后其解释力 $q(X_1 \cap X_2)$ 小于 $\min[q(X_1), q(X_2)]$ 、大于 $\min[q(X_1), q(X_2)]$ 且小于 $\max[q(X_1), q(X_2)]$ 、大于 $\max[q(X_1), q(X_2)]$ 且小于 $q(X_1) + q(X_2)$ 、等于 $q(X_1) + q(X_2)$ 、大于 $q(X_1) + q(X_2)$ 。

非粮化驱动因子探测公式如下:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{i=1}^N N_i \sigma_i^2 \quad (1)$$

式中: i 为某变量在空间的分类或分区; N 为耕地图斑总量; N_i 为分类下的耕地图斑个数; σ^2 和 σ_i^2 分别为全域耕地“非粮化”水平的方差、某一分类下的耕地“非粮化”水平的方差。

非粮化交互探测公式如下:

$$t_{ij} = \frac{\bar{G}_i - \bar{G}_j}{\left(\frac{\sigma_i}{N_i} + \frac{\sigma_j}{N_j} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

式中: $\bar{G}_i$ 与 $\bar{G}_j$ 分别为 i 区域与 j 区域的耕地“非粮化”水平的均值; t_{ij} 为统计量,其近似服从Student's t 分布。

1.3.2 驱动力指标构建

将各个驱动力指标分级下的农业产业结构“非粮化”总体水平和各种“非粮化”类型流出耕地面积占比

作为因变量 Y ,构建耕地本底、资源禀赋、经济区位和政策环境4个维度下共17个驱动力的指标体系,其中耕地破碎度、耕地连片度等反映耕地在产能、宜机化、基础设施配套等方面的本底差异,海拔、地形起伏度、年平均气温等反映耕地自然立地条件,城乡梯度反映“非粮化”产品供需空间关系,政策环境反映对“非粮化”的管制力度(表1)。

2 结果与分析

2.1 农业产业结构“非粮化”水平及空间分异特征

基于Sentinel-2影像识别园地、林地、坑塘水面和设施农用地4种研究区典型的农业产业结构“非粮化”土地类型,将识别结果用于农业产业结构“非粮化”水平测度。2020年寻乌县农业产业结构“非粮化”总体水平为19.42%,各种农业产业结构“非粮化”类型的规模占比和空间分布差异较大。在农业产业结构“非粮化”的表现形式中,林果业占比61.89%,是寻乌县主要的农业产业结构“非粮化”类型,设施农业占比31.60%,可见近年来寻乌县的设施农业发展迅速,农业产业结构“非粮化”类型中坑塘水面规模占比较小,仅为6.51%。由图2a~2d可以看出,寻乌县农业产业结构“非粮化”高比例区主要分布在县域北部乡镇,是林果业型、设施农业型等多种“非粮化”行为共同推动的结果。林果业型“非粮化”在偏远的地形受限区分布较密集,高密度区与境内山脉走向具有较高的一致性,设施农业型“非粮化”在东北部乡镇的集聚特征明显,仅有个别村庄存在10%以上的坑塘种养型“非粮化”,对农业产业结构“非粮化”水平的影响程度不高。

2.2 农业产业结构“非粮化”空间分异因子探测

总体因子探测分析结果显示,4个维度的17个驱动力因子的 P 值均通过5%水平的显著性检验,即驱动因子均对农业产业结构“非粮化”的空间分异有显著影响,但各因子驱动强度大小不一。其中,道路通达度(X_5)、地形起伏度(X_{10})、海拔(X_7)、灌溉便捷度(X_6)、耕地连片度(X_2)是主导因子,对应的 q 值分别是0.108、0.059、0.058、0.054、0.049(表2),这表明农业产业结构“非粮化”主要受到耕地本底条件和资源禀赋特征影响,反映出在作物种植适宜性程度不高的区域,为提升土地利用效益,耕地更易发生利用方式变化。另外,政策环境类因子中行政区划(X_{16})对农业产业结构“非粮化”的整体解释力强于用途管制条件(X_{17}),这可能与区域集聚和活跃的农业结构调整有关。

表1 耕地“非粮化”驱动力指标体系

Table 1 Index system of driving force of non-grain of cultivated land		
维度	驱动力指标	指标解释
Dimension	Driving force indicator	Explanation of indicator
耕地本底	耕地质量等别(X_1)	由有效土层厚度、土壤质地、土壤有机质含量、土壤pH值等评价形成,本文使用利用质量等将耕地质量划分为15个等别,最高等别为1等,最低等别为15等,反映耕地生产能力
	耕地连片度(X_2)	为消除农村道路、沟渠和零星地物影响,将距离30 m内不直接相通的耕地视为连片经营,反映耕地集中连片程度
	形状指数(X_3)	由Fragstats软件处理耕地地块形成的LSI指数表征,反映耕地的形状是否规则,影响耕作便捷度和农业机械化水平,指数越大地块越不规整
	耕地破碎度(X_4)	由Fragstats软件处理耕地地块形成的SPLIT指数表征,反映耕地被分割的破碎化程度,影响耕作便捷度和农业机械化水平,指数越大地块越离散
	道路通达度(X_5)	耕地距离公路、农村道路等各类道路的最小欧式距离,反映耕作通勤条件和农产品运输条件
	灌溉便捷度(X_6)	耕地距离湖泊、水库、沟渠等各类水源的最小欧式距离,反映耕作的水源条件限制程度
	资源禀赋	
资源禀赋	海拔(X_7)	使用DEM数据进行分级,反映耕地利用的垂直地带性分异规律
	坡度(X_8)	划分为 $0^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 、 $2^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 、 $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 、 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 以及 $>25^{\circ}$ 5级坡度,反映耕地水土保持能力、耕作便捷程度等
	坡向(X_9)	划分为平地 and 北、东、东南、南、西南、西6个耕地倾斜方向,反映耕地光照条件,南坡为阳坡,北坡为阴坡
	地形起伏度(X_{10})	考虑相对高差、地形切割深度等的非平地区地形起伏程度。参考封志明等 ^[26] 对地形起伏度的定义和提取方法,结合使用均值变点分析法 ^[27] ,确定最佳分析窗口为 22×22 个像元
	年平均气温(X_{11})	一年中日平均气温的算术平均值,农业生产方式的选择受限于均温条件
	年 10°C 以上积温(X_{12})	一年中气温大于 10°C 的日平均气温总和,作物一般在 10°C 以上播种,每种作物完成生长发育过程需要的积温相对固定
	经济区位	
经济区位	城乡梯度 I (X_{13})	耕地与市中心城区的欧式距离,以市中心城区“二调”城市地块的几何中心为质心建立缓冲区,在寻乌县形成条带范围
	城乡梯度 II (X_{14})	耕地与县城的欧式距离,以寻乌县城关镇“二调”城市和建制镇地块的几何中心为质心建立缓冲区,形成单圈层结构
	城乡梯度 III (X_{15})	耕地与本乡镇驻地的欧式距离,以寻乌县乡镇驻地“二调”建制镇地块的几何中心为质心建立缓冲区,形成多圈层结构
政策环境	行政区划(X_{16})	以乡镇为基本单元,反映各乡镇农业产业配置的主导类型
	用途管制条件(X_{17})	划分为粮食生产功能区、永久基本农田、一般耕地3个耕地用途管制范围,反映不同用途管制条件下的耕地利用方式

表2 农业产业结构“非粮化”驱动力地理探测结果

Table 2 Results of geographical detection of non-grain driving force of agricultural production structure																	
指标 Indicator	总体 Total		林果业 Forest and garden		设施农业 Facility agriculture		坑塘种养 Pond aquaculture		指标 Indicator	总体 Total		林果业 Forest and garden		设施农业 Facility agriculture		坑塘种养 Pond aquaculture	
	q 值	排序	q 值	排序	q 值	排序	q 值	排序		q 值	排序	q 值	排序	q 值	排序	q 值	排序
	q -value	Rank	q -value	Rank	q -value	Rank	q -value	Rank		q -value	Rank	q -value	Rank	q -value	Rank	q -value	Rank
X_1	0.005*	16	0.004*	17	0.002*	14	<0.001	17	X_{10}	0.059*	2	0.085*	3	0.012*	9	0.003*	4
X_2	0.049*	5	0.054*	5	0.002*	15	0.002*	6	X_{11}	0.009*	13	0.024*	13	0.021*	3	0.001*	11
X_3	0.017*	10	0.012*	15	0.005*	13	0.001*	8	X_{12}	0.010*	12	0.025*	12	0.016*	7	0.001*	10
X_4	0.035*	8	0.034*	9	0.001*	16	<0.001	15	X_{13}	0.039*	7	0.049*	6	0.042*	2	0.003*	2
X_5	0.108*	1	0.189*	1	0.018*	4	0.001*	13	X_{14}	0.006*	15	0.014*	14	0.017*	5	0.002*	7
X_6	0.054*	4	0.091*	2	0.007*	11	<0.001	14	X_{15}	0.020*	9	0.032*	10	0.007*	12	0.002*	5
X_7	0.058*	3	0.083*	4	0.013*	8	0.003*	3	X_{16}	0.048*	6	0.038*	8	0.063*	1	0.004*	1
X_8	0.017*	11	0.041*	7	0.011*	10	0.001*	9	X_{17}	0.008*	14	0.026*	11	0.016*	6	0.001*	12
X_9	0.004*	17	0.004*	16	<0.001	17	<0.001	16									

注:*表示在5%的水平上显著相关。
Note:* represent significant correlation at 5% level respectively.

不同农业产业结构“非粮化”类型的空间分异主导因子存在显著差异。从耕地本底条件来看,道路通达度(X_5)和灌溉便捷度(X_6) q 值较大,反映出农田基

础设施条件对耕地发展林果业、设施农业具有较强的解释力,但对这两类“非粮化”的驱动方向相反(图3),设施农业需要耕地具备完善的田间生产道路和灌

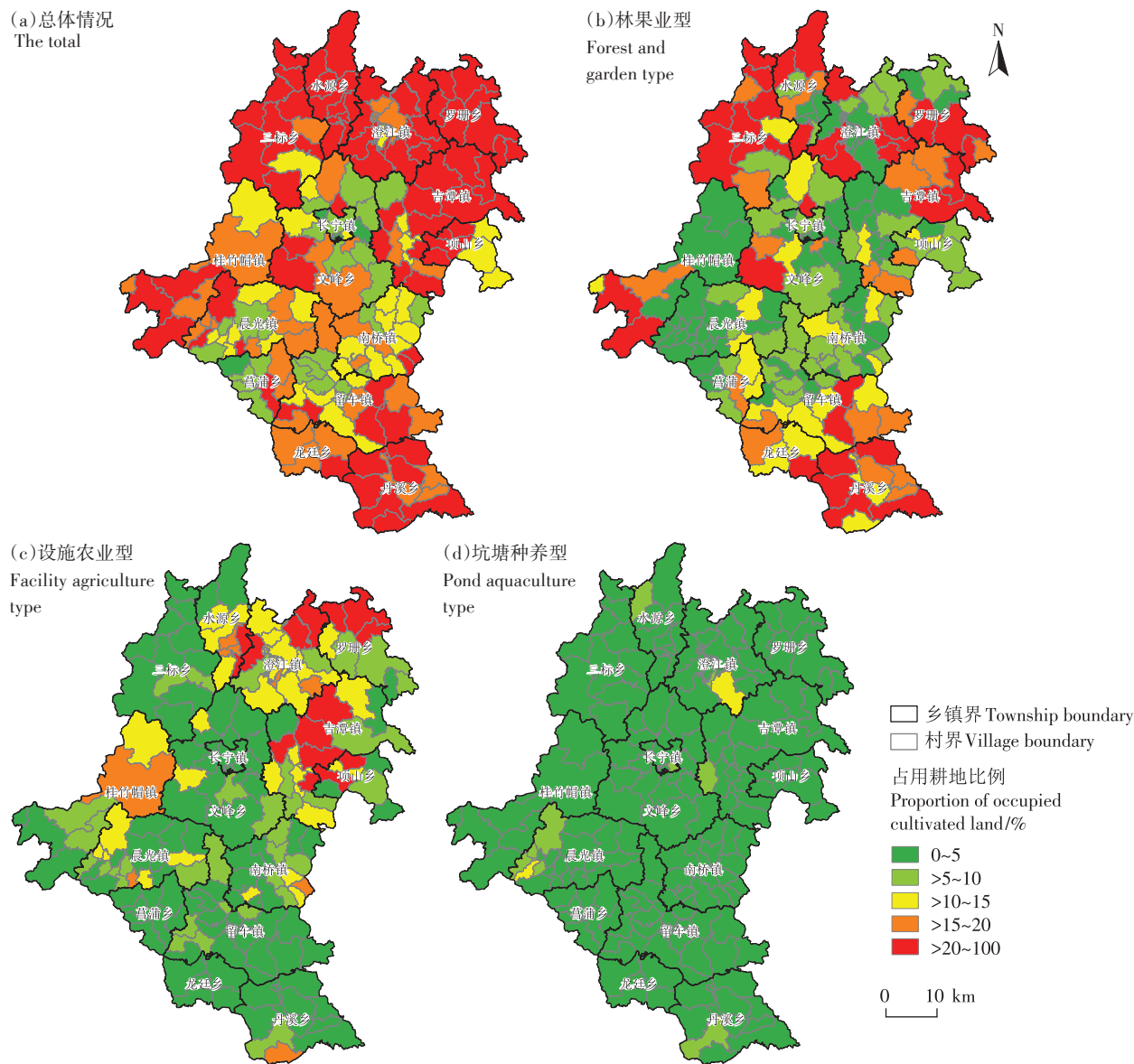


图2 农业产业结构“非粮化”空间分布格局

Figure 2 Spatial distribution pattern of non-grain of agricultural production structure

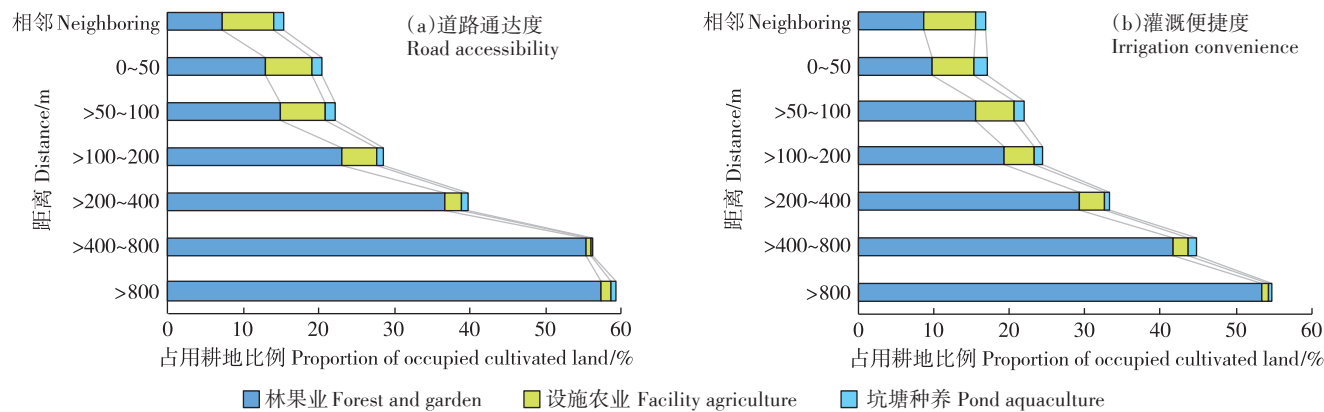


图3 不同农业基础设施距离下农业产业结构“非粮化”水平

Figure 3 The non-grain levels of agricultural production structure under different distance of agricultural infrastructure

溉渠道等农田基础设施,这与耕地种粮条件相似,而林地和园地更能适应缺乏这些农田基础设施的条件,当耕地距离道路400 m时,一半以上的耕地会被选择用以发展林果业,设施农业比例不足1%,耕地距离灌排沟渠400 m时,40%以上的耕地会被选择用以发展林果业,设施农业比例不足3%。耕地集中连片经营有助于减少林果业类“非粮化”现象的发生,耕地破碎化程度与农业机械化水平相关联,对粮食作物种植产生抑制作用。耕地质量等别(X_1)对林果业、设施农业两类“非粮化”有显著影响,坑塘种养行为对耕作层的依赖度不强,与原有耕地质量无显著关联(表2)。

从资源禀赋条件上看,地形因素这一原始驱动力通过改变水热条件和劳作辛苦程度等限制性因子直接影响农业产业结构“非粮化”水平、结构和分布,农业产业结构“非粮化”随地形起伏度(X_{10})增大而产生强烈变化(图4a),当地形起伏度小于0.3时,农业产业结构“非粮化”水平仅为13.42%,三类“非粮化”中发展林果业比例仅38.90%,设施农业比例较高,而当地形起伏度大于0.6时,耕地周边相对高差较大,耕作便捷程度受到影响,使农业产业结构“非粮化”水平提高至30%以上,其中发展林果业比例上升至89.21%。海拔(X_7)同样与林果业类“非粮化”水平存在正相关

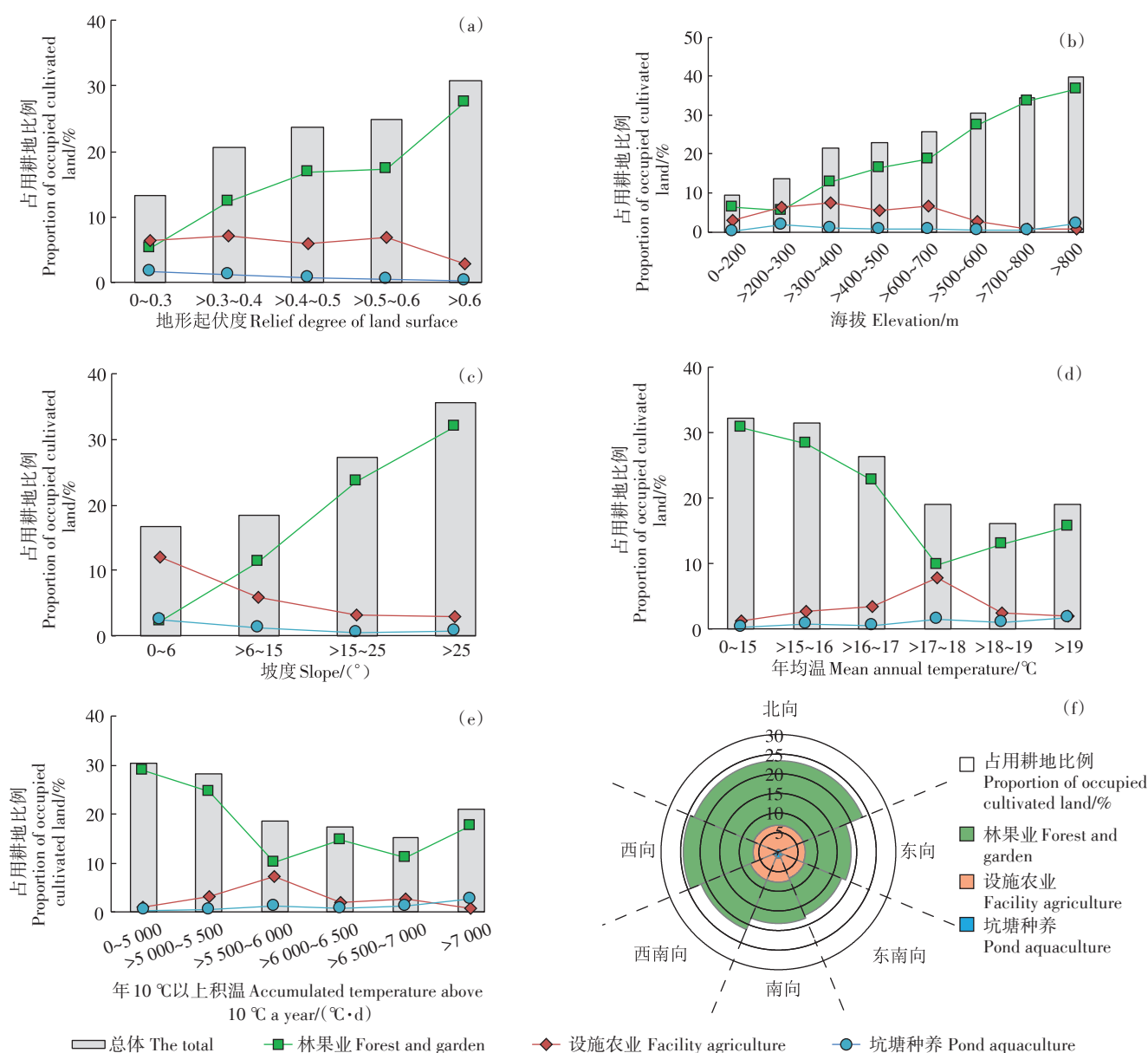


图4 不同资源禀赋下农业产业结构“非粮化”水平

Figure 4 The non-grain levels of agricultural production structure under different resource endowments

关系,当耕地的海拔处于200 m以上时,耕地转向林地和园地比例保持在20%以上(图4b)。坡度(X_8)的高值区发展林果业比例高(图4c),粮食作物的光照特征偏好明显,坡向(X_9)朝北、西的农业产业结构“非粮化”水平偏高(图4f),该部分耕地多被林地和园地侵占,设施农业具有一定的光照调控技术,对自然光照条件的要求不高,阳坡和阴坡面的设施农业比例基本无差异, P 值是0.98。气候因素对粮食作物种植有至关重要的影响,在年平均气温(X_{11})和年10℃以上积温(X_{12})的低值和峰值区农业产业结构“非粮化”水平更高(图4d、图4e),高温通过影响农作物耐受温度和增加旱涝灾害风险等途径影响作物生长过程,低山丘陵区带在年均气温较低条件下易形成冷浆田,冷浆田降低了复种指数和粮食作物单产,年10℃以上积温较低地区的粮食作物难以活跃生长,这些因素可能迫使经营者放弃粮作,改种鹰嘴桃等喜阴果树。

为探讨城镇化带来的耕地上农业生产结构的深刻变化,刻画城乡区位差异下不同“非粮化”类型的空间变化特征,本研究以同心圆理论为基础,引入在耕地功能、生态系统服务价值等领域广泛适用的梯度分析,分别以市辖区、县城和镇区中心为圆心,设置覆盖全域的城乡梯度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ,环带宽分别为7.5、5.0、2.5 km,计算各环内的“非粮化”水平并纳入因子探测过程。探测结果表明耕地区位这一外在驱动力对设施农业布设具有显著影响,市、县、乡镇的区位优势解释力逐渐下降, q 值分别是0.042、0.017、0.007。由图5a~5c可知,市中心城区位于寻乌县西北方向,因市中心城区的密集人口对蔬菜、水果等非粮农产品的较大需求,交通区位优势促使西北部乡镇建立蔬菜大棚基地、花卉基地等设施农业;梯度分析显示设施农业

类“非粮化”的城乡梯度Ⅱ(X_{14})总体呈现倒U形分布差异,第2~4环设施农业比例较高,集聚为规模化经营状态,伴随圈层变化设施农业比例呈现下降态势,第5~10环降幅明显,而在偏远地区占用耕地发展林果业比例较高。从政策环境来看,县域范围内集中式的农业设施布设推动了设施农业型“非粮化”的空间分异,耕地流向设施农用地集聚在吉潭、澄江、罗珊等乡镇。耕地用途管制条件(X_{17})对农业产业结构“非粮化”的解释力不够强,永久基本农田农业产业结构“非粮化”现象与一般耕地“非粮化”差异不大。

2.3 农业产业结构“非粮化”空间分异交互探测

在农业产业结构“非粮化”交互探测中各影响因子均通过5%水平的显著性检验,判定各因子均满足交互探测条件,驱动因子交互作用均为双因子增强和非线性增强,即在任意两个驱动因子共同作用下农业产业结构“非粮化”会出现更大的空间分异和比任一单因子更明显的驱动作用,其中双因子增强关系44个、非线性增强关系92个(表3)。

以双因子交互作用与单因子作用之间的 q 值最大差值为指标测算“非粮化”空间分异的提升度。结果(表4)显示,道路通达度(X_5)、海拔(X_7)、地形起伏度(X_{10})、城乡梯度Ⅰ(X_{13})、行政区划(X_{16})5个因子与其他因子交互作用能够获得较高的提升度,分别是0.026、0.025、0.024、0.026、0.030,使“非粮化”产生更加明显的空间分异,主要表现为道路通达度和海拔($X_5 \cap X_7$)、道路通达度和地形起伏度($X_5 \cap X_{10}$)、海拔和城乡梯度Ⅰ($X_7 \cap X_{13}$)、灌溉便捷度和海拔($X_6 \cap X_7$)的双因子增强作用,其中道路通达度和海拔($X_5 \cap X_7$)、道路通达度和地形起伏度($X_5 \cap X_{10}$)、灌溉便捷度和海拔($X_6 \cap X_7$)通过共同负向作用,以叠加种粮障碍、降低耕

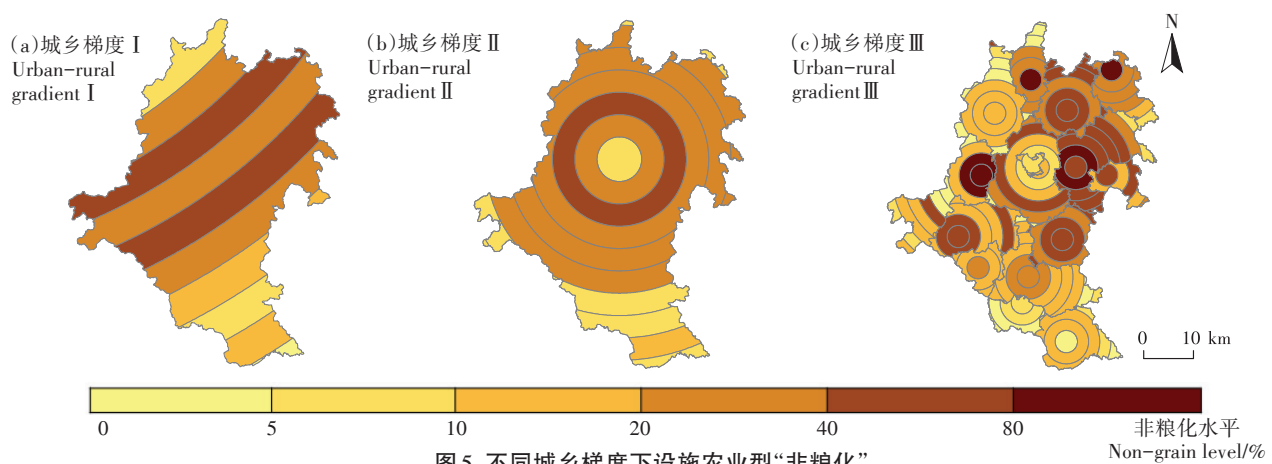


图5 不同城乡梯度下设施农业型“非粮化”

Figure 5 The non-grain of facility agriculture under different urban-rural gradients

表3 农业产业结构“非粮化”交互探测结果

Table 3 Results of interactive detection of non-grain of agricultural production structure

因子 Factor	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇
X ₁	0.005																
X ₂	0.054	0.049															
X ₃	0.023	0.058	0.017														
X ₄	0.041	0.052	0.046	0.035													
X ₅	0.115	0.142	0.122	0.132	0.108												
X ₆	0.061	0.083	0.065	0.076	0.141	0.054											
X ₇	0.063	0.103	0.078	0.098	0.164	0.100	0.058										
X ₈	0.023	0.063	0.032	0.050	0.122	0.068	0.066	0.017									
X ₉	0.010	0.054	0.021	0.040	0.114	0.060	0.064	0.019	0.004								
X ₁₀	0.064	0.102	0.079	0.098	0.164	0.100	0.061	0.067	0.064	0.059							
X ₁₁	0.016	0.061	0.029	0.049	0.121	0.064	0.070	0.025	0.015	0.071	0.009						
X ₁₂	0.017	0.062	0.031	0.051	0.124	0.064	0.071	0.026	0.015	0.070	0.012	0.010					
X ₁₃	0.047	0.090	0.066	0.081	0.153	0.092	0.095	0.054	0.047	0.094	0.059	0.054	0.039				
X ₁₄	0.015	0.063	0.030	0.049	0.121	0.066	0.086	0.024	0.012	0.085	0.032	0.028	0.058	0.006			
X ₁₅	0.028	0.069	0.036	0.055	0.127	0.075	0.079	0.033	0.025	0.077	0.035	0.034	0.069	0.042	0.020		
X ₁₆	0.054	0.094	0.066	0.082	0.169	0.108	0.111	0.067	0.057	0.113	0.067	0.061	0.072	0.075	0.080	0.048	
X ₁₇	0.014	0.060	0.026	0.048	0.118	0.064	0.068	0.026	0.013	0.069	0.019	0.021	0.050	0.017	0.029	0.061	0.008

注:灰色填充表示单因子探测结果;橙色填充表示交互探测结果中的非线性增强;蓝色填充表示交互探测结果中的双因子增强。
Note: Grey filling represents single-factor detection results. Orange filling represents nonlinear enhancement in interactive detection results. Blue filling represents double-factor enhancement in interactive detection results.

表4 农业产业结构“非粮化”交互作用提升度结果

Table 4 Results of the interaction improvement of non-grain of agricultural production structure

因子 Factor	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇
X ₁	0.005																
X ₂	0.004	0.049															
X ₃	0.007	0.009	0.017														
X ₄	0.006	0.003	0.011	0.035													
X ₅	0.007	0.033	0.013	0.024	0.108												
X ₆	0.007	0.029	0.011	0.022	0.032	0.054											
X ₇	0.004	0.044	0.020	0.040	0.056	0.042	0.058										
X ₈	0.006	0.014	0.016	0.015	0.014	0.014	0.008	0.017									
X ₉	0.005	0.004	0.005	0.004	0.006	0.006	0.006	0.002	0.004								
X ₁₀	0.004	0.042	0.019	0.039	0.056	0.041	0.002	0.008	0.004	0.059							
X ₁₁	0.007	0.011	0.013	0.014	0.013	0.010	0.012	0.009	0.006	0.012	0.009						
X ₁₂	0.006	0.013	0.014	0.016	0.016	0.010	0.013	0.009	0.005	0.011	0.002	0.010					
X ₁₃	0.008	0.041	0.027	0.042	0.044	0.038	0.037	0.015	0.008	0.034	0.020	0.015	0.039				
X ₁₄	0.009	0.014	0.013	0.014	0.012	0.012	0.027	0.008	0.006	0.026	0.023	0.018	0.019	0.006			
X ₁₅	0.009	0.019	0.017	0.020	0.018	0.021	0.020	0.014	0.005	0.018	0.016	0.015	0.030	0.023	0.020		
X ₁₆	0.006	0.044	0.019	0.034	0.060	0.054	0.053	0.019	0.009	0.054	0.019	0.013	0.024	0.027	0.032	0.048	
X ₁₇	0.005	0.011	0.010	0.012	0.009	0.010	0.010	0.010	0.004	0.010	0.010	0.010	0.011	0.008	0.009	0.013	0.008
均值	0.006	0.021	0.014	0.020	0.026	0.022	0.025	0.011	0.005	0.024	0.012	0.012	0.026	0.016	0.018	0.030	0.010

注:灰色填充表示单因子探测结果;绿色填充表示单项交互作用提升度;红色填充表示某因子交互作用综合提升度,颜色越深提升度越高。
Note: Grey filling indicates single factor detection results. Green filling indicates single interaction improvement. Red filling indicates comprehensive improvement of certain factor interaction. The deeper the color, the higher the degree of improvement.

作便捷程度的途径衍生“非粮化”行为,而海拔和城乡梯度 $I(X_7 \cap X_{13})$ 的共同负向作用表明,距城镇中心越远、所处海拔越高的耕地,其农作物产品运输成本越高,进而促使经营者选择种植果树林木、挖塘养鱼等运输频次和管护成本较低的“非粮化”生产。

3 讨论

以往“非粮化”研究多聚焦作物种植结构变化,本研究基于 Sentinel-2 影像,采用随机森林模型这一计算机自动分类技术对林果业、坑塘种养、设施农业等农业产业结构“非粮化”类型进行了识别,充实了耕地“非粮化”内涵。参考以往“非粮化”研究结果^[28],虽然农业产业结构“非粮化”水平较种植结构“非粮化”偏低,但这并不意味着种植结构“非粮化”具备更高的整治优先级,相较于种植经济作物,农业产业结构“非粮化”中坑塘养鱼、种植花卉苗木等行为对耕作层的损伤更大^[11],此类“非粮化”造成的耕地地类状态转变也不符合对 18 亿亩耕地红线的保护要求,因此更需进行深入研究。本研究发现立地因子差异通过影响种植业适宜性、劳作辛苦程度、土地经济价值等最终使耕地形成不同的利用方式,而主观激励措施和用途管制约束之间产生的拮抗作用一定程度上会改变区域农业产业结构“非粮化”演变趋势。

针对上述分析结果,本文从 3 个方面提出防控赣南低山丘陵区农业产业结构“非粮化”、保障国家粮食安全和保护耕地红线的政策建议:

一是优化配置低山丘陵区农业资源要素,改善粮作条件。赣南低山丘陵区耕地资源质量差异较大,应聚焦永久基本农田等耕地重点保护区和沿河谷地等资源禀赋优势区,实施高标准农田建设,降低地域限制因子对耕地粮作行为的负向影响,为提升农业经营者种粮意愿提供技术支持。例如采用土壤改良技术,提升耕地质量水平,提升种粮比较利益;促进耕地集中连片经营和规整田块形状,提高耕地规模经营效益和宜机化水平;完善农田基础设施,畅通灌排渠道,保障水稻等粮食作物的农业水源供给,完善田间路网,缩短耕作通勤距离,减少农户劳作和运输成本;提升粮田防灾减灾能力,保障种粮基本经济收益。

二是突出对农业产业结构“非粮化”的重点监测和客观处置。地方发展特色产业时要兼顾粮食生产、地力保护、生态安全等多重目标,不仅要减少“粮经争地”的矛盾,更要避免林果业、水产养殖业等与粮争地。赣南低山丘陵区需严格把控农业产业结构“非粮

化”总量,避免地区发展特色产业对永久基本农田等主要产粮区域的占用,重点监测利用耕地发展林果业、设施农业等区域主要农业产业结构“非粮化”类型,评估不同“非粮化”类型对耕地粮食生产能力的损害程度,对其他农用地已占用耕地的情况要通过恢复原耕地种植条件或复垦开发新增耕地等方式补足。

三是依托不同的区位条件,布局好各类农业产业空间。丘陵山区特色农产品种类丰富,更需要分区域、分类型明确重点发展的农业产业,避免特色农产品种植挤压粮食生产空间。考虑地形因素对耕地发展林果业的正向影响,引导林果业“上山下坡”规模经营,防止新增耕地“上山下河”,保障耕地生产潜力。尊重市场经济规律,在城市近郊的阴坡等光温条件不足的地区优先布设大棚等设施农业,通过此类优化布局措施提升农业产出效率,减少破坏耕作层的种养业设施对近郊优质粮田的侵占。

由于耕地经营者不同的主观条件可能对微观尺度下田块利用方式造成影响,本研究缺少对此类驱动因子的探讨。后续研究还需构建更为完善的因子指标体系以实证其形成机理,深入量化不同“非粮化”类型对耕地粮食生产能力、农田生态系统的影响程度,为我国粮食安全生产提供分区域、分类型的应对策略。

4 结论

(1)2020 年寻乌县农业产业结构“非粮化”主要表现为耕地流向林地和园地。农业产业结构“非粮化”空间分异特征明显,在乡镇尺度上呈现“近郊低、远郊高”的分布差异,林果业型“非粮化”大多出现在偏远乡村,设施农业型“非粮化”在县域东北部的集聚特征明显。

(2)从整体上看,赣南低山丘陵区的耕地地块是否产生农业产业结构“非粮化”,与耕地本底条件、资源禀赋、经济区位、政策环境均显著相关,其中地形、农田基础设施条件和耕地连片度是主导因子,这反映出发展种植业的适宜性不足、效益不高在很大程度上限制了低山丘陵区的粮食生产。海拔、地形起伏度、道路通达度、城乡梯度等重要驱动因子的交互作用加大了赣南低山丘陵区农业产业结构“非粮化”的空间分异程度,反映在叠加耕作难度、削弱耕地经济区位优势等共同负向作用中。

(3)对“非粮化”类型进行细化后发现,大部分因子对林果业型和设施农业型“非粮化”的驱动方向相

反。道路通达度、灌溉便捷度等耕地本底条件和地形、气候等自然资源禀赋条件越好,林果业型“非粮化”比例越低,但设施农业型“非粮化”比例逐步提高;城乡梯度对设施农业布设具有显著负向影响,市中心城区、县城和镇区的区位优势解释力逐步下降;耕地用途管制条件对林果业型“非粮化”的抑制作用有待进一步加强。

参考文献:

- [1] 张红宇. 牢牢掌握粮食安全主动权[J]. 农业经济问题, 2021(1): 14-18. ZHANG H Y. Holding the initiative on food security firmly[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021(1): 14-18.
- [2] 侯孟阳, 邓元杰, 姚顺波. 城镇化、耕地集约利用与粮食生产: 气候条件下有调节的中介效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(10): 160-171. HOU M Y, DENG Y J, YAO S B. Urbanization, intensive cropland use, and grain production: a moderated mediating effect test under climate conditions[J]. *China Population Resources and Environment*, 2022, 32(10): 160-171.
- [3] 匡文慧, 张树文, 杜国明, 等. 2015—2020年中国土地利用变化遥感制图及时空特征分析[J]. 地理学报, 2022, 77(5): 1056-1071. KUANG W H, ZHANG S W, DU G M, et al. Remotely sensed mapping and analysis of spatio-temporal patterns of land use change across China in 2015—2020[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(5): 1056-1071.
- [4] SUN Y P, ZHOU Z F, HUANG D H, et al. The spatial and temporal evolution pattern and transformation of urban-rural construction land in karst mountainous areas: Qixingguan District of Guizhou, southwest China[J]. *Land*, 2022, 11(10): 1734.
- [5] 薛选登, 张一方. 产粮大县耕地“非粮化”现象及其防控[J]. 中州学刊, 2017(8): 40-45. XUE X D, ZHANG Y F. Current situation, causes and countermeasures regarding non-grain growing of farmland in major grain-producing counties[J]. *Academic Journal of Zhongzhou*, 2017(8): 40-45.
- [6] 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 Y Y, LIU J N, MA J, 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.
- [7] 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 X B. Problems, causes and countermeasures of non-grain of cultivated land[J]. *China Land*, 2020(11): 17-19.
- [8] 朱道林. 耕地“非粮化”的经济机制与治理路径[J]. 中国土地, 2021(7): 9-11. ZHU D L. Economic mechanism and governance path of cultivated land non-grain[J]. *China Land*, 2021(7): 9-11.
- [9] 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 X D, CHEN M Q, LAI Z H, 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.
- [10] 张惠中, 宋文, 张文信, 等. 山东省耕地“非粮化”空间分异特征及其影响因素分析[J]. 中国土地科学, 2021, 35(10): 94-103. ZHANG H Z, SONG W, ZHANG W X, et al. Analysis of spatial differentiation characteristics and influencing factors of non-grain cultivated land in Shandong Province[J]. *China Land Science*, 2021, 35(10): 94-103.
- [11] 陈美球. 耕地“非粮化”现象剖析与对策建议[J]. 中国土地, 2021(4): 9-10. CHEN M Q. Analysis and countermeasures of non-grain phenomenon of cultivated land[J]. *China Land*, 2021(4): 9-10.
- [12] 郝士横, 吴克宁, 董秀茹, 等. 耕地“非粮化”耕作层破坏诊断标准探讨[J]. 土壤通报, 2021, 52(5): 1028-1033. HAO S H, WU K N, DONG X R, et al. Identification criteria of cultivated horizon damage for “non-grain” cultivated land[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52(5): 1028-1033.
- [13] 陈浮, 刘俊娜, 常媛媛, 等. 中国耕地非粮化空间格局分异及驱动机制[J]. 中国土地科学, 2021, 35(9): 33-43. CHEN F, LIU J N, CHANG Y Y, et al. Spatial pattern differentiation of non-grain cultivated land and its driving factors in China[J]. *China Land Science*, 2021, 35(9): 33-43.
- [14] 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 F, TAN Y Z, CHEN H, 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.
- [15] 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 H L, OUYANG Z Y, CHEN Q R. 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.
- [16] 曹宇, 李国煜, 王嘉怡, 等. 耕地非粮化的系统认知与研究框架: 从粮食安全到多维安全[J]. 中国土地科学, 2022, 36(3): 1-12. CAO Y, LI G Y, WANG J Y, et al. Systematic review and research framework of “non-grain” utilization of cultivated land: from a perspective of food security to multi-dimensional security[J]. *China Land Science*, 2022, 36(3): 1-12.
- [17] 常媛媛, 刘俊娜, 张琦, 等. 粮食主产区耕地非粮化空间格局分异及其成因[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(4): 817-826. CHANG Y Y, LIU J N, ZHANG Q, et al. Spatial pattern differentiation of cultivated land non-grain conversion in major grain-producing areas[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(4): 817-826.
- [18] 位佳佳, 陈学渊, 吴永常, 等. 西北旱区耕地“非粮化”时空演变分析: 以陕西大荔为例[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(4): 24-34. WEI J J, CHEN X Y, WU Y C, et al. Analysis of the spatial and temporal evolution of arable land denudation in the northwest drylands[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(4): 24-34.
- [19] 杨颖频, 吴志峰, 骆剑承, 等. 时空协同的地块尺度作物分布遥感

- 提取[J]. 农业工程学报, 2021, 37(7):166-174. YANG Y P, WU Z F, LUO J C, et al. Parcel-based crop distribution extraction using the spatiotemporal collaboration of remote sensing data[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(7):166-174.
- [20] 程维明, 周成虎, 柴慧霞, 等. 中国陆地地貌基本形态类型定量提取与分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6):725-736. CHENG W M, ZHOU C H, CHAI H X, et al. Quantitative extraction and analysis of basic morphological types of land geomorphology in China[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2009, 11(6):725-736.
- [21] 宁晓刚, 常文涛, 王浩, 等. 联合 GEE 与多源遥感数据的黑龙江流域沼泽湿地信息提取[J]. 遥感学报, 2022, 26(2):386-396. NING X G, CHANG W T, WANG H, et al. Extraction of marsh wetland in Heilongjiang basin based on GEE and multi-source remote sensing data[J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2022, 26(2):386-396.
- [22] 徐涵秋, 王美雅. 地表不透水面信息遥感的主要方法分析[J]. 遥感学报, 2016, 20(5):1270-1289. XU H Q, WANG M Y. Remote sensing-based retrieval of ground impervious surfaces[J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2016, 20(5):1270-1289.
- [23] 马玥, 姜琦刚, 孟治国, 等. 基于随机森林算法的农耕地土地利用分类研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1):297-303. MA Y, JIANG Q G, MENG Z G, et al. Classification of land use in farming area based on random forest algorithm[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(1):297-303.
- [24] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1):116-134. WANG J F, XU C D. Geodetector: principle and perspective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1):116-134.
- [25] 李涛. 重庆市农地非农化时空动态演进与形成机理研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016:91-124. LI T. Research on dynamic spatiotemporal evolution and formation mechanism of farmland conversion of Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2016:91-124.
- [26] 封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 基于 GIS 的中国人居环境指数模型的建立与应用[J]. 地理学报, 2008, 63(12):1327-1336. FENG Z M, TANG Y, YANG Y Z, et al. Establishment and application of human settlements environment index model (HEI) based on GIS[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(12):1327-1336.
- [27] 韩海辉, 高婷, 易欢, 等. 基于变点分析法提取地势起伏度:以青藏高原为例[J]. 地理科学, 2012, 32(1):101-104. HAN H H, GAO T, YI H, et al. Extraction of relief amplitude based on change point method: a case study on the Tibetan Plateau[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(1):101-104.
- [28] 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 Y Q, WANG Z F, WANG Y, 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.