



中国农业资源与区划

Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning

ISSN 1005-9121, CN 11-3513/S

《中国农业资源与区划》网络首发论文

题目：粮食安全视角下黑龙江省县域耕地非粮化时空演化及驱动机制
作者：唐天琦，王永志，喻腾锐，温世博
收稿日期：2025-03-31
网络首发日期：2025-07-15
引用格式：唐天琦，王永志，喻腾锐，温世博. 粮食安全视角下黑龙江省县域耕地非粮化时空演化及驱动机制[J/OL]. 中国农业资源与区划.
<https://link.cnki.net/urlid/11.3513.S.20250715.1356.020>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

资源利用 ·

粮食安全视角下黑龙江省县域耕地非粮化时空演化及驱动机制*

唐天琦¹, 王永志^{2,3,*}, 喻腾锐¹, 温世博²

(1. 吉林农业大学经济管理学院, 长春 130118; 2. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 长春 130026;
3. 吉林大学综合信息矿产预测研究所, 长春 130026)

摘要 [目的]粮食安全是国家安全的核心基础,而耕地非粮化现象对粮食产能构成直接威胁。当前研究多聚焦宏观尺度,缺乏县域单元时空演化及多维驱动机制的深入分析。文章以黑龙江省县域单元为研究区,旨在揭示其耕地非粮化的时空分异规律及核心驱动因素,为东北粮食主产区可持续发展提供科学依据。[方法]基于2012—2022年县域尺度耕地非粮化数据,采用重心模型、标准差椭圆、空间自相关分析及地理探测器方法,系统解析非粮化时空演变特征,并探究自然、经济、社会与政策因素的交互驱动机制。[结果](1)时序上,非粮化率呈“降—升—稳”3个阶段演变:2012—2015年下降1.58%,2016—2017年回升0.58%,2018—2022年缓升0.6%。(2)空间上,非粮化重心向木兰县依次迁移49.75 km和15.15 km,标准差椭圆面积缩减16.4%,哈尔滨近郊和牡丹江市因交通与市场优势形成高—高集聚,同江市、饶河县等传统黑土区维持低—低集聚。(3)驱动机制上,交通密度、农业产值占比及农业劳动力占比为核心驱动因子,且存在协同增强效应,其作用强度与路径在绥化市海伦市、哈尔滨近郊等县域因资源禀赋差异呈现空间分异。[结论]黑龙江省县域耕地非粮化是“交通—经济—政策”多维交互作用的结果。建议优化产业布局、强化科技支撑、完善政策体系,以平衡粮食安全与农业经济效益。

关键词 粮食安全 黑龙江省 非粮化 时空演化 驱动机制 地理探测器

中图分类号: F301.21

0 引言

农业是国民经济的基础,直接关系到国家经济稳定与民生福祉。作为全球人口最多的国家,我国粮食安全不仅是民生保障的核心议题,更是国家安全战略的重要支撑^[1]。耕地作为粮食生产的物质载体,是确保粮食供应和国家可持续发展的重要基础^[2]。然而,伴随城市化与工业化加速,农村劳动力的流失,耕地撂荒、破碎化与非粮化问题交织叠加,导致全国约27%的耕地转向经济作物种植,2019年粮食播种面积锐减97万hm²^[3-4]。尽管国家政策(如《中国的粮食安全》白皮书)持续强化调控,非粮化趋势仍未根本遏制^[5]。当前,国际地缘冲突加剧与粮食贸易壁垒频现,进一步放大了我国粮食安全的潜在风险。因此,科学解析非粮化的时空演化规律与驱动机制,系统解析其与政策调控、经济发展和自然条件的互馈机制,已成为维护国家粮食安全的关键突破口。耕地非粮化是指农业生产中粮食作物种植面积缩减,

收稿日期: 2025-03-31

作者简介: 唐天琦(1989—),女,吉林长春人,博士,讲师。研究方向:遥感应用与土地资源管理

※通讯作者: 王永志(1974—),男,黑龙江哈尔滨人,博士,教授。研究方向:地球科学大数据挖掘、自然资源预测与评价。

Email: wangyongzhi@jlu.edu.cn

*资助项目: 国家重点研发计划“黑土地退化的精准识别与预测预警”(2024YFD1500901);吉林乡村振兴智库项目“吉林省黑土地时空演变驱动机制与保护利用创新对策研究”(2025ZK008)

经济作物、园艺作物等非粮食作物占比上升的现象，其本质是耕地利用从粮食生产向高附加值农业的转型^[6]。这一过程不仅直接削弱粮食产能，还通过劳动力非农转移、土地资源低效配置等途径加剧粮食安全风险。2014—2020 年间国家宏观政策从避免非粮化转向严格防止，这一转变深刻反映出政府对粮食安全和农业可持续发展长远利益的高度重视，也凸显现阶段耕地非粮化防治的必要性。传统人工测量和地面调查成本高，驱动机制解析不足等问题仍制约治理效能^[7]。近年来，更多的研究采用非粮食作物面积占农业作物总面积的比例来衡量非粮化程度^[8]。现有研究虽从自然资源^[9]、经济发展^[10]、社会经济^[11]和政策干预^[12]等角度探讨非粮化成因，但仍缺乏对不同因子影响强度等驱动机制指标的综合分析，且多局限于宏观尺度，对小尺度时空分异及因子交互作用关注有限^[5,13]。例如，土地利用变化对非粮化的影响^[14]多基于省级面板数据，而县域单元的多维驱动分析（如农业产值与交通网络的协同效应）仍属空白。因此，亟需结合空间统计与计量模型，揭示非粮化的微观机制。

目前，关于非粮化的研究主要集中在我国的南方、西北、西南和华中地区^[9,15,16]，对东北地区尤其是县域单元的非粮化驱动机制研究明显不足。黑龙江省作为中国最大的商品粮生产基地，2023 年粮食总产量达 1500 亿斤，连续 14 年位居全国首位。其耕地面积占全国总量的 10.7%，且以黑土地资源为核心，黑土区耕地面积达 2.39 亿亩，贡献了全国约 25% 的商品粮供应。然而，近年来黑土退化问题日益严峻，加之农村青壮年劳动力流失，导致耕地撂荒与非粮化现象加剧，进一步威胁粮食安全底线。据此，该文以黑龙江省为研究区，以县域为评价单元，运用重心模型、标准差椭圆和空间自相关分析工具分析 2012 年、2017 年和 2022 年耕地非粮化时空演变过程，揭示时空演化规律，借助主成分分析和地理探测器手段探究耕地非粮化驱动机制，这不仅填补了东北黑土区县域尺度研究的空白，还为平衡粮食安全与农业经济效益提供了实证支撑，对东北地区耕地保护政策优化、农业供给侧结构性改革及区域协同发展具有重要理论参考价值。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

黑龙江省地处中国东北地区的中部，共 72 个县域单元，位于北纬 43°26′~53°33′，东经 121°11′~135°05′，是我国重要的粮食产区及全国的商品粮基地^[17]。全省土地总面积 47.3 万 km²，年平均气温 3.9℃，年降水量为 637.5 mm^[18]。充足的水资源供给和适宜的气候条件为粮食作物生长提供了有利基础。此外，作为中国重要的农业区和粮食基地，黑龙江省长期以来在保障国家粮食安全方面发挥着重要作用。根据《黑龙江统计年鉴 2023》，全省农业人口达到 1047 万人，农业产值 3609.8 亿元，相当于国内生产总值的 22.7%，总产量稳居全国第一，凸显了黑龙江省在国家粮食产业布局中的重要地位。

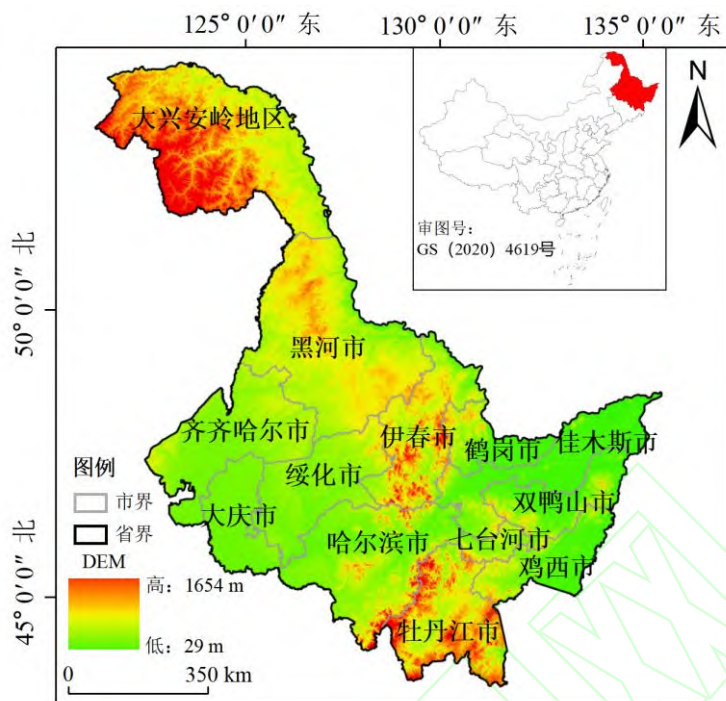


图 1 黑龙江省区位图

(中国地图基于自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS (2020) 4619 号的标准地图制作，底图边界无修改)

1.2 数据来源

县级行政区划数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn/>)，共计 72 个县级行政区；地形数据以数字高程模型 (DEM) 表示，来自美国地质勘探局 (<https://www.usgs.gov/>)；坡度数据基于 DEM 数据计算得到，空间分辨率为 30 m；耕地生产潜力数据来自资源环境科学数据平台 (<https://www.resdc.cn/>)，空间分辨率为 1 km；年降水量和年均气温数据来源于国家青藏高原科学数据中心 (<https://data.tpdc.ac.cn/>)，空间分辨率 1 km；2012—2022 年各年粮食作物、农作物播种统计数据与社会经济数据主要来源于相应年份的《黑龙江统计年鉴》和各地级市、各县 (区) 的《国民经济和社会发展统计公报》，小部分数据通过查阅黑龙江省统计局官网和各市、县统计局官网整理、计算获取；黑龙江省耕地非粮化相关政策数据是手动收集的，以便进一步探讨政策变化与非粮化率之间的潜在关联性，同时有助于检验政策因素在非粮化中的驱动作用。

2 研究方法

2.1 耕地非粮化水平测算

黑龙江省县级行政区在地表分布上具有显著的空间分散性，各县在行政划分、农业生态区及地形条件方面也存在显著差异。因此，在分析耕地非粮化水平时需充分考虑县域尺度的空间特征，以确保测算结果的科学性和代表性。参考相关研究^[5,19]，该文将除粮食作物外的其他作物种植行为定义为非粮化行为，采用非粮食作物播种面积占农作物播种面积的比例表征耕地非粮化水平，计算公式为式 (1)：

$$NGPR = \left(1 - \frac{P}{C}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中：NGPR 为耕地非粮化率；P 是粮食作物播种面积；C 为农作物播种面积。

2.2 耕地非粮化时空差异测度

2.2.1 重心和标准差椭圆模型

重心迁移模型是一种空间统计方法，用于揭示地理要素格局的演变趋势^[20]，其计算公式为式（2）：

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n NGPR_{it} x_i}{\sum_{i=1}^n NGPR_{it}}, Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n NGPR_{it} y_i}{\sum_{i=1}^n NGPR_{it}} \quad (2)$$

式中：X_t 为 t 年耕地非粮化率重心的横坐标，Y_t 为 t 年耕地非粮化率重心的纵坐标，NGPR_{it} 为 i 单元在 t 年的耕地非粮化率，x_i 为 i 单元中心的横坐标；y_i 为 i 单元中心的纵坐标。

除重心模型外，标准差椭圆也可有效分析空间变量的分布特征。长轴代表方向性，越长说明非粮化的空间离散性越大；椭圆面积反映非粮化空间分布范围；扁率解释非粮化空间分布方向性的强弱。该文以黑龙江县域为评价单元，利用上述模型分析非粮化率的总体变化趋势。

2.2.2 空间自相关分析

该文以黑龙江省各县域为研究单元，考虑单元间可能存在空间上的相互作用，采用空间自相关分析探讨非粮化空间集聚特征。空间自相关可揭示地理要求的空间分布格局，包括全局（Global Moran's I）和局部（Local Moran's I）。前者直观反映地理变量的空间依赖性^[5,20]，后者识别地理要素的空间聚集或空间异常现象^[5,21]，Local Moran's I 计算公式为式（3）：

$$LISA = \frac{(NGPR_i - \overline{NGPR}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (NGPR_j - \overline{NGPR})}{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (NGPR_i - \overline{NGPR})^2} \quad (3)$$

式中：LISA 为第 i 单元局部空间自相关系数；NGPR_i、NGPR_j 为第 i 和第 j 单元的非粮化率；n 为县域单元数；w_{ij} 为空间加权矩阵。

2.3 耕地非粮化驱动因素分析

2.3.1 驱动因素选取

长期以来，随着城市化和工业化推进、耕地日益稀缺及农村劳动力流失，耕地变化呈现复杂空间分异，直接影响粮食供给稳定性^[22-23]。研究表明，非粮化的驱动因素既包括农业生产资源，也涵盖自然环境、经济水平和社会发展等多方面^[15,19,24-25]。因此，该文将构建上述 4 大类指标体系，并细化选取 15 个驱动因素，形成耕地非粮化驱动因素体系，具体指标见表 1。

表 1 黑龙江省耕地非粮化驱动因素指标

指标	驱动因素	因素解释	参考文献	符号
自然 环境	年降水量	年总降水量除以年数，反映耕地的适应性	[28]	X ₁
	年平均温度	各月平均气温累加后除以 12，反映适宜农作物生长的温度	[25,29]	X ₂
	坡度	耕地的坡度，反映了其是否适合种植作物	[28,30]	X ₃
	耕地面积占比	耕地面积除以土地总面积，体现土地资源用于耕地的重要程度	[30-31]	X ₄
	农业机械总动力	用于农业的各种动力机械的动力总和，反农业生产的科技投入和机械 化程度	[28,32]	X ₅
生产 资源	人均耕地面积	耕地总面积除以农业人口，反映人均耕地资源的丰富性或稀缺性	[19]	X ₆
	耕地生产潜力	当前耕作技术水平下的最大耕地生产能力，反映耕地的潜在产出水平	[24,33]	X ₇
	农业劳动力占比	参加农业劳动的劳动力与总劳动力数量比值，反映农业生产的劳动力 资源	[33]	X ₈
	粮食单位面积产量	粮食产量除以粮食播种面积，反映耕地的生产能力	[32]	X ₉
经济 水平	人均 GDP	区域 GDP 除以区域人口，反映区域经济水平	[34-35]	X ₁₀
	城乡居民可支配收入比	城镇居民人均可支配收入与农村居民人均可支配收入之比，反映城乡 收入差距	[34-35]	X ₁₁
	农业产值占比	农业产值除以总产值，反映农业在整体经济这中的规模	[25,30]	X ₁₂
	农村人口	该地区农村常住人口数量，反映了农村剩余劳动力的情况	[19]	X ₁₃
社会 发展	城市化率	城市人口与总人口的比率，反映该地区的城市化水平	[21]	X ₁₄
	交通道路密度	道路总长度除以地区总面积，反映道路通达性	[35]	X ₁₅

2.3.2 主成分分析

主成分分析是一种常用的降维方法，可将相关性强的多指标转化为少数独立的综合指标，最大程度保留原始变量的方差信息，维持数据集的关键特征^[26]。该文为处理影响非粮化的众多驱动因素之间的共线性问题，进而深入探究时序内黑龙江省县域耕地非粮化率的驱动机制，运用主成分分析法对表 1 中驱动因素实施降维处理。

2.3.3 地理探测器

地理探测器广泛用于分析空间异质性及因子间交互关系，以此进行驱动机制分析^[27]。该文以非粮化率为因变量 Y ，15 个驱动因素为自变量 X_i ($i=1, 2, 3, \dots, 15$)，采用地理探测器分析 2012—2022 年黑龙江省县域耕地非粮化的驱动因素及其交互特征。依据自然间断点法对变量分级，借助 ArcGIS 10.8 软件将驱动因素划分为 5 个等级。通过渔网工具构建研究格网，共计 3847 个采样点，剔除异常值后导入 RStudio 4.4.0 进行分析。地理探测器通过因子解释力 (q 值) 衡量驱动因素对非粮化率的空间分异贡献， q 值计算公式为式 (4)：

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

式中： q 为解释力度； h 为指标分层的数量； N 、 σ^2 分别为单元数量和方差； q 值越接近 1 意味着因子对非粮化率的影响越大，反之则越弱。

此外，交互探测用于评估 2 个因素是否具有相互作用及其强度和方向。通过分别计算因素 X_1 和 X_2 的单独 q 值以及它们联合作用下的 ($q(X_1 \cap X_2)$)，可判断其交互类型（详见表 2）。

表 2 交互类型

标准	交互类型
$(q(X_1 \cap X_2)) < \text{Min}(q(X_1), q(X_2))$	非线性衰减
$\text{Min}(q(X_1), q(X_2)) < (q(X_1 \cap X_2)) < \text{Max}(q(X_1), q(X_2))$	单因素非线性衰减
$(q(X_1 \cap X_2)) > \text{Max}(q(X_1), q(X_2))$	双重因素增强
$(q(X_1 \cap X_2)) = q(X_1) + q(X_2)$	两因素独立
$(q(X_1 \cap X_2)) > q(X_1) + q(X_2)$	非线性增强

3 结果与分析

3.1 耕地非粮化总体变化趋势

黑龙江省的耕地非粮化率呈现明显下降趋势，从 2012 年的 5.15% 下降至 2022 年的 3.17%，累计下降了 1.98%，表明全省耕地非粮化状况有一定程度的改善。根据数据分析，黑龙江省耕地非粮化率变化可分为 3 个阶段（图 2）。

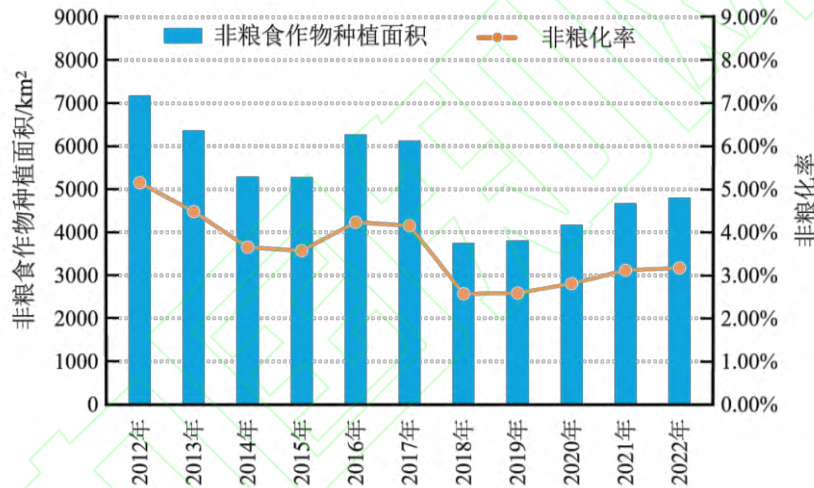


图 2 2012—2022 年黑龙江省耕地非粮化率变化趋势

第 1 阶段（2012—2015 年）：显著下降期

非粮食作物种植面积从 2012 年相对较高的水平迅速下降，到 2015 年降至相对较低水平，共减少 1886.5 km²；非粮化率也从 2012 年的 5.15% 下降至 2015 年的 3.57%，达到阶段性低点。这一阶段国家对粮食安全重视程度提升，针对粮食主产区黑龙江出台了一系列鼓励粮食种植的政策，尤其是 2012 年与 2013 年连续两年发布的《全省粮食稳定增产行动实施方案》，重点扩大高产粮食作物面积，新增千万元大型现代农机合作社 242 个，推广节水灌溉 320 万亩，促进耕地从非粮向粮食用途回流，使非粮作物种植面积和非粮化率双降。

第 2 阶段（2016—2017 年）：短暂回升期

黑龙江省非粮食作物种植面积结束下降趋势，出现一定程度回升。2017 年，非粮食作物种植面积为 6140 km²，非粮化率相比 2015 年增加了 0.58%。尽管回升幅度不大，但相较于前一阶段的持续下降，变化较为明显。这期间，黑龙江省实施《国民经济和社会发展第十三个五年规划》，市场对部分非粮食农产品需求增加，价格上涨，经济作物和特色农产品前景变好，农民出于经济利益考虑增加种植面积，导致非粮食作物种植面积和非粮化率上升。

第 3 阶段（2018—2022 年）：平稳上升期

这一阶段，非粮作物种植面积虽年均幅度不大，但整体呈平稳上升趋势，年均增幅为 0.15%；非粮化率同步缓慢上升，至 2022 年增至为 3.17%，显示非粮化现象逐步加重。2019 年和 2020 年黑龙江省政府工作报告提出深入推进农业供给侧结构性改革、合理调整粮经饲结构、发展高值高效作物，经济效益提高，吸引更多农民参与非粮种植，扩大种植规模。随着前期政策效应递减和市场因素增强，非粮化趋势在政策转型中缓慢推进。

3.2 耕地非粮化时空演变特征

3.2.1 时空格局演变：重心迁移与标准差椭圆的动态特征

利用 ArcGIS 10.8 软件生成 2012 年、2017 年和 2022 年黑龙江省县域耕地非粮化的重心偏移轨迹和标准差椭圆（图 3）。重心迁移呈明显的时间差异性，总体向东南迁移，迁移速度在不同阶段有所变化。2012—2017 年，重心向东南移动 49.75 km，年均迁移速率为 9.95 km；2017—2022 年，迁移速度减缓，年均迁移速率降至 3.03 km。从整体趋势来看，前期非粮化率增长较快，重心迁移主要指向哈尔滨市木兰县，该地区靠近市场且发展农业收益较高，导致非粮化率快速上升。

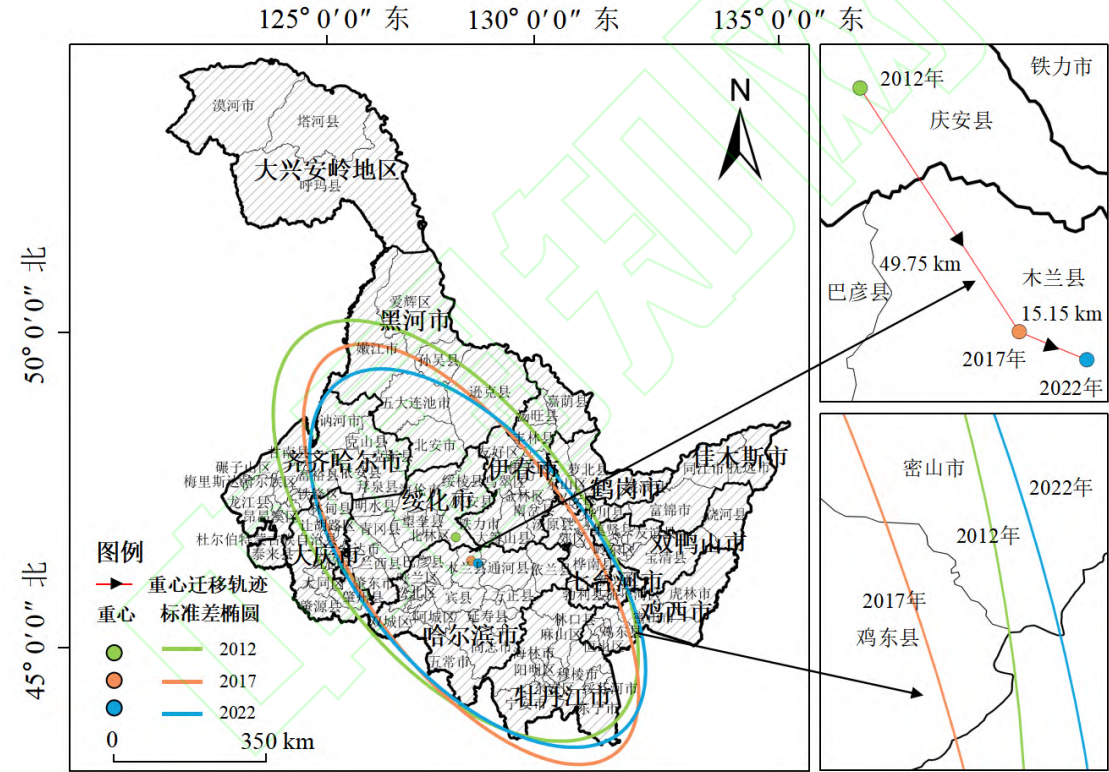


图 3 2012、2017 和 2022 年耕地非粮化区域重心偏移轨迹及标准差椭圆

表 3 2012、2017 和 2022 年耕地非粮化区域的标准差椭圆参数

年份	旋转角度（°）	长半轴（km）	短半轴（km）	扁率	面积（km ² ）
2012	123.85	465.55	230.95	0.504	337608
2017	128.76	450.09	206.51	0.541	291857
2022	123.14	426.04	210.88	0.505	282108

经 Arcgis 10.8 软件统计的椭圆参数（表 3）发现，椭圆面积从 2012 年的 337,608 km² 降至 2022 年的 282,108 km²，降幅约 16.4%，表明非粮化空间分布从分散转向集中；长半轴从 465.55 km 缩短至 426.04 km，反映东南部核心区的集聚效应增强，外围区域非粮化扩张

减弱，显示后期非粮化的空间分布趋向东南，尤其是在黑龙江省东南部的哈尔滨市，体现较强的拉动作用；2017 年扁率升至 0.541，表明非粮化沿西北-东南轴向扩张；2022 年扁率回落至 0.505，显示政策干预后空间分布趋向均衡。图 3 显示，扁率上升与东南方向迁移一致，可能因牡丹江市、七台河市等地经济作物种植扩张，导致非粮化沿交通干线集中分布；扁率下降可能反映政策调控效果，如《黑龙江省耕地保护条例》的出台限制了东南部耕地转用^[36]，促使非粮化向小范围、高密度区域收缩。

3.2.2 空间集聚效应：全局与局部自相关异质性

利用 Geoda 1.18 软件生成 2012 年、2017 年和 2022 年黑龙江省 71 个县域单元的耕地非粮化的 Moran's I 散点特征（图 4），结果通过 p 值 <0.01 的显著性检验，大部分散点都分布在第一和第三象限，表明耕地非粮化的空间分布具有显著的正相关性。Moran's I 从 2012 年的 0.6004 升至 2017 年的 0.6993，表明空间集聚效应增强。此阶段可能因经济作物收益提升，导致非粮化现象在哈尔滨市、牡丹江市等地扩散，形成集聚。随后，Moran's I 降至 0.6104，集聚强度减弱，但仍保持较高水平，可能源于非粮化整治行动。

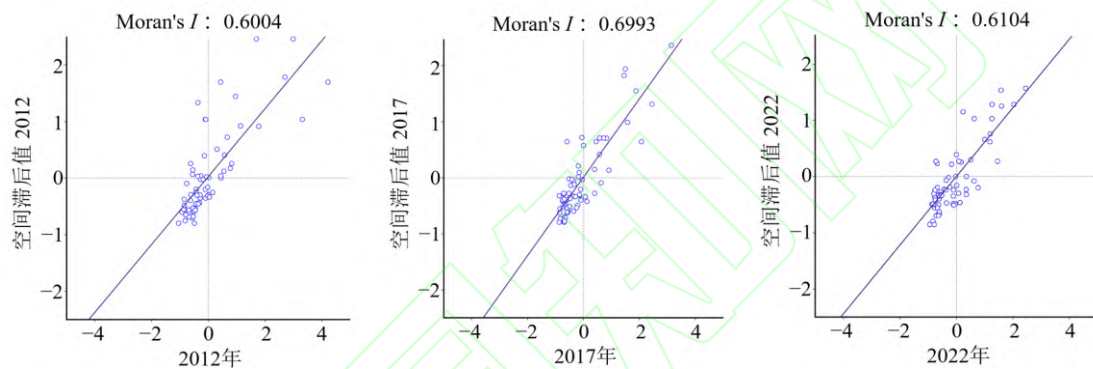


图 4 2012、2017 和 2022 年耕地非粮化区域的 Moran's I 散点图

为进一步描述空间聚集特征，利用 ArcGIS 10.8 软件生成了耕地非粮化区域的空间聚集特征图（图 5a-c）。牡丹江市大部分区县在 3 个时期内始终保持高-高聚集特征，主要因高附加值经济作物种植扩张所致^[37]；低-低集群分布较分散，佳木斯市（同江市）、双鸭山市饶河县等地始终保持低-低聚集特征，由于同江市、饶河县地处省东北部黑土区，土壤肥沃适合种粮，收益稳定，农民转种经济作物动力不足，导致非粮化率进一步降低。为了更直观地展示非粮化的空间发展过程，绘制了耕地非粮化率变化的空间聚集特征图（图 5d-f）。2012—2017 年，集群区主要集中在中西部，集群区域较分散，无高-高集群区；2017—2022 年，集群区主要集中在东部和西部，无高-高集群区，且大部分地区的空间自相关性不显著；2012—2022 年，高-高集群区在鸡西市密山市，低-低集群区在牡丹江市海林市。

从局部空间聚集特征来看，高-高聚集区从无到有，反映出部分地区非粮化进程的加速。低-低聚集区主要集中在传统粮食产区，但范围和结构随时间和政策调整而变化。高-低和低-高聚集区域主要分布在城市周边、农业结构调整区域或不同经济发展水平区域的交界处，体现了城市化、产业发展和农业结构调整对耕地利用的综合影响。黑龙江省耕地非粮化的局部空间聚集特征可能是自然、政策和经济等多因素长期相互作用的结果。

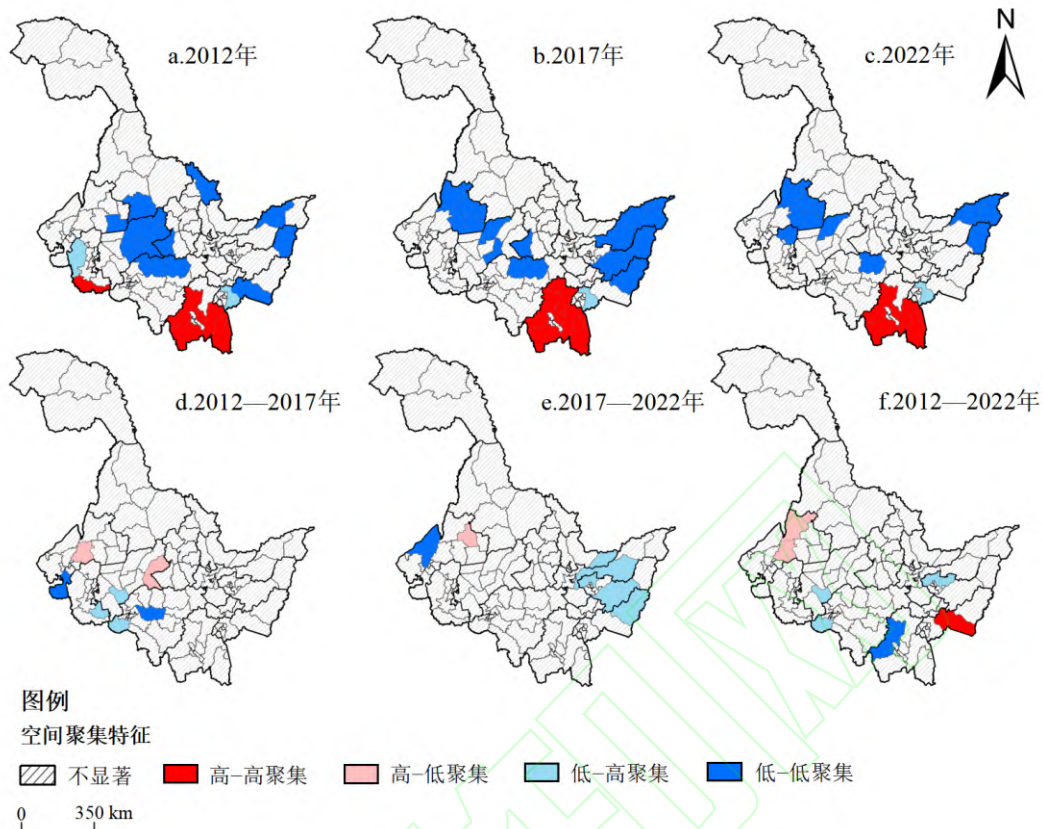


图 5 2012—2022 年耕地非粮化区域空间聚集特征

3.3 耕地非粮化空间分异驱动机制分析

为深入探究黑龙江省县域耕地非粮化的驱动机制，采用 Z-score 标准化方法对原始数据进行归一化处理，消除数据尺度差异，确保指标可比性。利用 SPSS 27.0 软件对标准化后的 15 个驱动因素进行多重共线性诊断，剔除方差膨胀因子（VIF） ≥ 10 的严重共线性变量，最终保留年降水量、坡度、农业机械总动力、农业劳动力占比、人均 GDP、农业产值占比、城市化率及交通道路密度 8 项核心驱动因素。随后，通过主成分分析法对保留变量进行降维，KMO 检验值（0.658）与 Bartlett 球形检验显著性水平（ $p < 0.001$ ）表明数据适合因子分析，依据特征值 > 1 原则提取主成分，并采用方差最大化正交旋转优化载荷矩阵，选择累计方差贡献率 $\geq 85\%$ 的前 5 个主成分。将主成分内载荷绝对值最高的驱动因素代入地理探测器模型，通过因子解释力（q 值）和交最终互作用检验验证其空间分异解释能力。驱动因素分别为：PC₁ 中城市化率载荷最高（X₁₄），反映城市扩张对耕地非粮化的抑制作用；PC₂ 以交通道路密度（X₁₅）为主导；PC₃ 载荷集中于农业产值占比（X₁₂），体现高附加值农业对粮食生产的挤压效应；PC₄ 以年降水量（X₁）为核心变量，反映气候条件对种植结构的适应性调整；PC₅ 以农业劳动力占比（X₈）为主导，揭示劳动力结构对非粮化的推动作用。

表 4 主成分各驱动因素载荷

驱动因素	主成分				
	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅
年降水量	-0.006	-0.235	0.199	0.944	-0.03
坡度	0.611	-0.083	0.66	0.146	0.005
农业机械总动力	0.958	-0.014	0.001	0.06	-0.147
农业劳动力占比	0.028	-0.189	0.024	-0.022	0.975
人均 GDP	-0.023	0.883	-0.099	-0.308	-0.106
农业产值占比	0.045	-0.209	0.93	0.157	0.032
城市化率	-0.977	0.002	-0.157	0.105	-0.206
交通道路密度	-0.015	0.928	-0.175	-0.025	-0.14

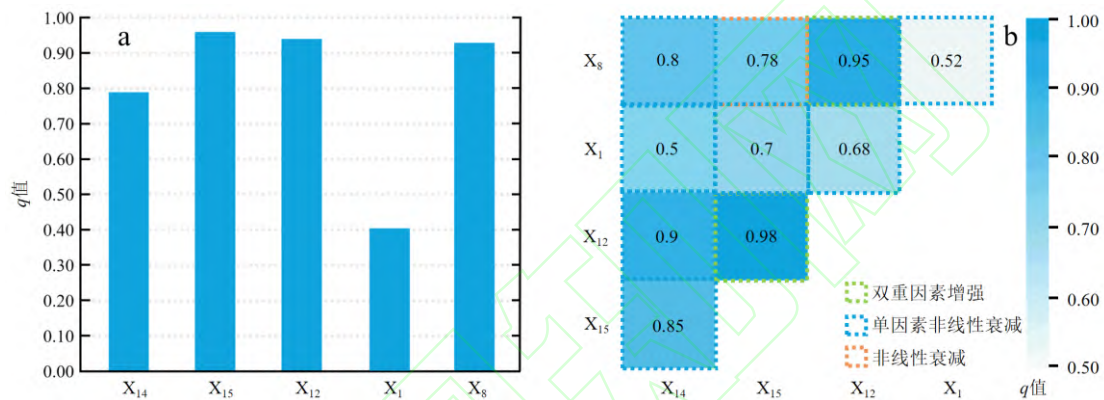


图 6 2012—2022 年耕地非粮化驱动因素因子探测 (a) 和交互探测 (b) 解释力度 (q)

地理探测器因子探测结果显示 (图 6a), 各驱动因素对县域耕地非粮化的解释力 (q 值) 存在显著分异: 交通道路密度因子解释力 ($q=0.96$) 最强, 表明在县域尺度上, 如哈尔滨近郊、绥化市等交通网络的密集分布显著提高了经济作物种植的可达性, 加速了耕地用途转型; 农业产值占比因子 ($q=0.94$) 次之, 凸显县域农业产业化进程中, 如海伦市等高附加值大豆种植区的形成, 直接挤占传统粮食种植空间; 农业劳动力占比因子 ($q=0.93$) 反映县域劳动力结构的差异, 如齐齐哈尔部分县老龄化严重, 更易转向低劳力需求的非粮作物; 城市化率因子 ($q=0.79$) 则体现在县域非均衡发展背景下, 如哈尔滨、大庆等城市近郊因土地成本上升和就业虹吸效应, 耕地非粮化现象尤为突出。进一步通过交互探测 (图 6b) 发现, 驱动因素间存在协同效应。交通道路密度与农业产值占比的协同作用显著 ($q=0.98$), 说明在交通条件优越的绥化市、佳木斯市辖区县域等, 农业产业化与物流便利性共同推动经济作物规模化种植; 农业产值占比和农业劳动力占比的协同作用 ($q=0.95$) 表明在劳动力外流严重的如黑河市部分县, 高附加值作物转型与劳动力短缺形成正反馈, 加剧非粮化趋势; 城市化与农业产值占比的协同作用相对显著 ($q=0.9$) 进一步印证了如哈尔滨近郊非粮化的特殊性, 其土地成本与市场需求的驱动与非农就业机会的增多密切相关。以绥化市海伦市为例, 作为全省大豆主产区, 其劳动力老龄化直接促使家庭农场转向机械化大豆种植, 并通过雇佣专业团队降低粮食种植比例, 这一过程在县域尺度上体现了“高收益-低劳力”的转型逻辑。哈尔滨近郊耕地碎片化^[38]则反映了城市化扩张对县域耕地资源的直接挤压, 农户转向棚室蔬菜种植以应对土地成本上升, 这一现象在城郊县域具有典型性。因此, 黑龙江省县域耕地非粮化是交通优化、经济转型与政策调控交织的复杂过程, 其驱动机制在不同县域因资源禀赋和发展阶段差异呈现空间分异, 但均遵循全省共性规律。

除自然环境、生产资源、经济水平、社会发展等因素外，政策因素对耕地非粮化起着至关重要的作用，表 5 给出了 2012—2022 年黑龙江省出台的多项政策，通过用途管制、补贴激励、科技支撑和产业规划等手段调控非粮化进程。例如，2015 年《关于建立健全粮食安全省长责任制的意见》将耕地保护纳入政绩考核，促使非粮化率有所下降；2018 年进一步强化管制，使非粮化率降至 2.57%，此类政策借助行政约束与问责机制压缩了非粮化空间；其次是通过补贴激励与科技支撑进行间接引导，2017 年运用粮食直补、农机购置补贴等经济手段提升种粮收益，使非粮化率从 2016 年的 4.23%降至 4.15%，2020 年及 2021 年农业科技创新政策则通过提升粮食生产效率，降低了农户转产经济作物的动力，让非粮化率在 2020—2022 年稳定在 3%左右，未因市场需求波动显著反弹；再者是通过产业规划与区域协同进行结构性调整，2016 年“十三五”规划及 2022 年《黑龙江省产业振兴行动计划》提出差异化农业布局，引导经济作物向适宜区域集中，减少耕地资源无序竞争，政策推动下，非粮化率在 2016—2017 年短暂回升后进入长期下降通道。从政策效果与非粮化率变化的对应性上看，短期存在波动，如 2016 年“十三五”规划初期因政策执行滞后，非粮化率短暂回升至 4.23%，但随 2017 年补贴政策落地迅速回调；长期来看，2018 年后政策组合使非粮化率稳定在 3%以下，2022 年略升至 3.17%，反映出政策边际效应递减，需进一步创新机制。

这些政策对耕地非粮化率变化产生了显著而迅速的影响，并将在实施有效期内继续发挥作用。值得注意的是，如果在同一时期内实施类似的政策，其效果可能更加显著。与国家层面的政策规划相比，地方政策更具针对性，可以更好地协同国家政策，为粮食安全问题提供更快速的规划、指导和控制。

表 5 2012—2022 年黑龙江省相关重点政策法规

主要政策或法规	趋势	非粮化率
《全省粮食稳定增产行动实施方案》（2012）	↓	5.15%
《全省粮食稳定增产行动实施方案》（2013）	↓	4.48%
《关于建立健全粮食安全省长责任制的意见》（2015）	↓	3.57%
《国民经济和社会发展第十三个五年规划》（2016）	↑	4.23%
《黑龙江省有关农业补贴政策》（2017）	↓	4.15%
《关于加快推进农业供给侧结构性改革大力发展粮食产业经济的实施意见》（2018）	↓	2.57%
《关于加快推进农业机械化和农机装备产业转型升级的实施意见》（2020）	↑	2.81%
《关于加快农业科技创新推广的实施意见》（2021）	↑	3.12%
《国民经济和社会发展第十四个五年规划》（2021）	↑	3.12%
《黑龙江省产业振兴行动计划（2022—2026 年）》（2022）	↑	3.17%

4 结论与建议

4.1 结论

该文以 2012—2022 年中国粮食主产区之一的黑龙江省县域单元为研究对象，深入分析了黑龙江省耕地非粮化的时空演化特征及其驱动因素，主要研究结论如下：

（1）黑龙江省耕地非粮化率在 2012—2022 年间总体呈下降趋势，2022 年非粮化率（3.17%）显著低于 2012 年（5.15%）。这一变化过程可分为 3 个阶段：第 1 阶段显著下降期，2012—2015 年下降 1.58%，受到相关耕地保护政策与粮食安全政策的影响；第 2 阶段短暂回升期，2016—2017 年回升 0.58%，因“十三五”规划实施，市场对非粮食农产品需求增加，非粮化率短暂回升；第 3 阶段平稳上升期，2018—2022 年缓升 0.6%，随着农业供

给侧结构性改革推进，非粮作物种植规模扩大，新的政策调整可能尚未及时有效抑制非粮化趋势，使得非粮化率在市场等因素的推动下缓慢上升。

(2) 2012—2022 年，非粮化重心向哈尔滨木兰县东南迁移 49.75 km 和 15.15 km；标准差椭圆面积缩减 16.4%，长半轴缩短 39.51 km，反映东南部高密度集聚趋势。空间聚类显示，高-高集群集中于牡丹江市，而佳木斯、双鸭山等黑土区维持低-低集群特征，凸显区域耕地利用方式的分化。

(3) 黑龙江省县域耕地非粮化是“交通-经济-政策”多维交互作用的结果，其驱动机制在不同县域因资源禀赋和发展阶段差异呈现空间分异，但均遵循全省共性规律。政策短期效果显著，但长期因农村劳动力流失与市场收益驱动，政策边际效应递减，需建议优化交通网络与产业协同布局、强化科技支撑与劳动力培训和完善农业政策体系，筑牢粮食安全底线。

为了更全面地了解耕地非粮化现象，未来将进一步探索潜在的社会文化因素和政策因素的定量分析，更准确地揭示耕地非粮化的内在驱动力。

4.2 建议

基于黑龙江省县域耕地非粮化的时空演化特征及驱动机制研究结果，提出以下 3 点针对性对策建议：

(1) 优化交通网络与产业协同布局，抑制东南部非粮化集聚。根据研究结果发现，交通密度与农业产值占比的协同效应是哈尔滨-牡丹江经济带非粮化集聚的主因。对此，可借鉴绥芬河跨境合作区经验，在哈尔滨-牡丹江经济带划定粮食生产保护区，引导经济作物向产业园区集中。同时，支持五常、方正等黑土核心区发展富硒大米精深加工，通过延伸产业链提升粮食附加值。

(2) 强化科技支撑与劳动力培训，破解粮食生产结构性矛盾。针对农业劳动力老龄化严重的齐齐哈尔部分县，建议推广轻简化栽培技术及全程机械化模式，提升粮食生产集约化能力；基于农业劳动力占比与非粮化的强相关性 ($q=0.93$)，建议以农业合作社为载体，对粮食主产区农户开展精准农业技术培训，提升机械化作业效率；同步引导城市资本对接闲置耕地，优化劳动力与技术资源配置。

(3) 完善农业政策体系，强化耕地保护与农业可持续发展。要落实粮食安全省长责任制，把耕地保护纳入地方考核，建立动态监测机制制止非粮化行为；持续完善粮食直补、农机购置补贴等政策，加大对粮食主产区的支持，提高种粮收益；推动农业机械化和科技发展，降低农户种植经济作物的意愿，以此遏制耕地非粮化，保障粮食安全和农业可持续发展。

参考文献

- [1] 吴郁玲, 张佩, 于亿亿, 等. 粮食安全视角下中国耕地“非粮化”研究进展与展望. 中国土地科学, 2021, 35(09): 116-24.
- [2] 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. 中国土地科学, 2022, 36(03): 1-12.
- [3] 陈印军, 易小燕. 我国耕地“非粮化”整治成效、困难、问题及对策建议. 中国农业资源与区划, 2023, 44(09): 8-13.
- [4] Deng X, Huang J, Rozelle S, et al. Impact of urbanization on cultivated land changes in China. Land Use Policy, 2015, 45: 1-7.
- [5] 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. 经济地理, 2023, 43(08): 144-53.
- [6] 杜国明, 范晓雨, 于凤荣. 耕地“非粮化”演化机制与治理策略——基于刺激-反应模型的案例研究. 中国土地科学, 2023, 37(08): 52-61.
- [7] 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. 资源科学, 2023, 45(05): 980-93.
- [8] Jiang G, Wang M, Qu Y, et al. Towards cultivated land multifunction assessment in China: Applying the “influencing factors-functions-products-demands” integrated framework. Land Use Policy, 2020, 99: 104982.
- [9] 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. 中国土地科学, 2022, 36(01): 97-106.

- [10] 廖柳文, 龙花楼, 马恩朴. 乡村劳动力要素变动与耕地利用转型. 经济地理, 2021, 41(02): 148-55.
- [11] 刘浩然, 吴克宁, 宋文, 等. 黑龙江粮食产能及其影响因素研究. 中国农业资源与区划, 2019, 40(07): 164-70.
- [12] 刘克春. 粮食生产补贴政策对农户粮食种植决策行为的影响与作用机理分析——以江西省为例. 中国农村经济, 2010, (02): 12-21.
- [13] 徐畅, 郭杰, 易家林, 等. 江苏省耕地非粮化时空格局演变及驱动因素分析. 长江流域资源与环境, 2024, 33(02): 436-47.
- [14] Hao Q, Zhang T, Cheng X, et al. GIS-based non-grain cultivated land susceptibility prediction using data mining methods. Scientific Reports, 2024, 14(1).
- [15] 夏四友, 赵媛, 许昕, 等. 江苏省粮食生产时空格局及其驱动因素. 经济地理, 2018, 38(12): 166-75.
- [16] 姚成胜, 杨一单, 殷伟. 中国非主粮生产的地理集聚特征及其空间演化机制. 经济地理, 2020, 40(12): 155-65.
- [17] 吴致蕾, 方修琦, 叶瑜, 等. 过去 300 年黑龙江省耕地覆盖数据优化及其时空变化特征. 中国农业资源与区划, 2024, 1-17.
- [18] 朱巍, 郭常来, 宋维民, 等. 黑龙江省自然资源综合区划及动态变化特征. 地质通报, 2024, 1-10.
- [19] 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. 经济地理, 2023, 43(04): 144-53.
- [20] 王娜, 赵旭强. 山西省小杂粮生产时空变化及竞争力分析. 中国农业资源与区划, 2024, 1-14.
- [21] 吕运颢, 崔民, 夏显力, 等. 陕南耕地“非粮化”时空演变及其驱动力. 资源科学, 2023, 45(08): 1531-45.
- [22] 邹金浪, 刘陶红, 张传, 等. 中国耕地食物生产变迁及“非粮化”影响评估. 中国土地科学, 2022, 36(09): 29-39.
- [23] 于辰辰, 曾思燕, 王庆宾, 等. 多情景模拟下新时代中国耕地保护底线预测. 资源科学, 2021, 43(06): 1222-33.
- [24] 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. 中国土地科学, 2021, 35(09): 33-43.
- [25] 张少尧, 邓伟, 胡茂桂, 等. 山区过渡性地理空间人文自然交互性识别与分异解析. 地理学报, 2022, 77(05): 1225-43.
- [26] 谢晓彤, 朱嘉伟. 耕地质量影响因素区域差异分析及提升途径研究——以河南省新郑市为例. 中国土地科学, 2017, 31(06): 70-78.
- [27] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72(01): 116-34.
- [28] 吴兆丹, 张依, 吴兆磊, 等. 中国粮食主产区农作物生产广义用水经济效率时空演变及影响因素研究. 长江流域资源与环境, 2021, 30(11): 2763-77.
- [29] 苏芳, 刘钰, 汪三贵, 等. 气候变化对中国不同粮食产区粮食安全的影响. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(08): 140-152.
- [30] 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. 中国农业资源与区划, 2023, 44(05): 187-97.
- [31] 郑亚楠, 张凤荣, 谢臻, 等. 中国粮食生产时空演变规律与耕地可持续利用研究. 世界地理研究, 2019, 28(06): 120-131.
- [32] 余澳, 李进, 贾卓强. 农业机械化智能化保障粮食安全的机理与路径研究. 农村经济, 2024, (11): 33-44.
- [33] 张婕, 刘玉洁, 张二梅, 等. 中国县域耕地动态演变及其驱动机制. 地理学报, 2023, 78(09): 2105-2127.
- [34] 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. 资源科学, 2022, 44(03): 480-93.
- [35] 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. 中国土地科学, 2021, 35(10): 94-103.
- [36] 黑龙江省人民政府办公厅关于印发黑龙江省防止耕地“非粮化”稳定粮食生产工作方案的通知. 黑龙江省人民政府公报, 2021, (04): 6-10.
- [37] 倪莹, 曲广蕊. 牡丹江市五年来经济作物生产发展情况研析. 统计与咨询, 2024, (04): 19-21.
- [38] 吴子媛, 裴旭, 王天明. 基于遥感影像的土地利用监测及城市扩张分析. 测绘与空间地理信息, 2024, 47(S1): 221-223+226.

SPATIOTEMPORAL EVOLUTION AND DRIVING MECHANISMS OF NON-GRAIN PRODUCTION OF CULTIVATED LAND IN COUNTY-LEVEL UNITS OF HEILONGJIANG PROVINCE FROM THE PERSPECTIVE OF

GRAIN SECURITY*

Tang Tianqi¹, Wang Yongzhi^{2,3,*}, Yu Tengrui¹, Wen Shibo²

(1. College of Economics and Management, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China; 2. College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China; 3 Institute of Integrated Information for Mineral Resources Prediction, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China)

Abstract Grain security is a fundamental component of national security, and the phenomenon of non-grain production on cultivated land poses a direct threat to grain productivity. Most current studies focus on the macro scale and lack in-depth analysis of spatiotemporal evolution and multidimensional driving mechanisms at the county level. This study takes the county-level units of Heilongjiang Province as the research area, aiming to reveal the spatiotemporal differentiation patterns and key driving factors of non-grain production, thereby providing scientific support for the sustainable development of major grain-producing regions in Northeast China. Based on county-level data from 2012 to 2022, this paper systematically analyzes the spatiotemporal evolution of non-grain production using the gravity center model, standard deviation ellipse, spatial autocorrelation, and the Geo-detector method, and explores the interactive driving mechanisms involving natural, economic, social, and policy factors. (1) Temporally, the non-grain production rate experienced a three-phase evolution of "decline–rise–stabilization": it decreased by 1.58% from 2012 to 2015, rebounded by 0.58% from 2016 to 2017, and gradually increased by 0.6% from 2018 to 2022. (2) Spatially, the gravity center of non-grain production shifted 49.75 km and 15.15 km toward Mulan County, while the area of the standard deviation ellipse contracted by 16.4%. High-high clusters formed in suburban areas of Harbin and Mudanjiang City due to transportation and market advantages, whereas traditional black soil regions such as Tongjiang City and Raohe County maintained low-low clusters. (3) In terms of driving mechanisms, transportation density, transportation density, proportion of agricultural output value, and proportion of agricultural labor were identified as the core driving factors, with notable synergistic enhancement effects. The intensity and pathways of these factors exhibited spatial heterogeneity across counties (e.g., Hailun City in Suihua, suburban Harbin) due to variations in resource endowments. Overall, the non-grain production in the county-level units of Heilongjiang Province results from the multidimensional interaction of transportation, economy, and policy. It is recommended to optimize industrial layout, strengthen technological support, and improve the policy system to balance food security with agricultural economic benefits.

Keywords grain security; Heilongjiang Province; non-grain production; spatiotemporal evolution; driving mechanism; Geo-Detector