

引用格式: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 Y S, Feng Y F, Wang F, et al. Spatiotemporal differentiation and driving mechanism of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province[J]. Resources Science, 2022, 44(3): 480-493.] DOI: 10.18402/resci.2022.03.05

# 广东省耕地非粮化的时空分异及其驱动机制

张颖诗,冯艳芬,王芳,陈子龙,李晓航

(广州大学地理科学与遥感学院,广州 510006)

**摘要:**粮食安全是保障国家经济发展和社会稳定的基石,日益严峻的耕地非粮化问题加剧了粮食安全风险,直接影响中国社会经济的可持续发展。本文从食物性生产的非粮化角度,选取广东省为研究区域,以县域为评价单元,运用社会经济统计数据及地理空间数据,集成Theil指数、空间自相关模型、随机森林模型、主成分分析和聚类分析等方法,从全省四大区域角度探讨了广东省2005和2019年耕地非粮化的时空演变特征、影响因素及其驱动类型。结果表明:①广东省耕地非粮化率由2005年的48.47%上升至2019年的54.65%,耕地非粮化程度由低度为主转向中度为主,且耕地非粮化利用空间差异呈现缩小态势,以珠三角的演变差异最为显著。②耕地非粮化的空间分布保持稳定的集聚状态,并以珠三角的高集聚和东翼、西翼、山区的低集聚为主。③路网密度、地均GDP对耕地非粮化存在显著的推动作用,农村第一产业劳动力占比、各县到省会城市距离是抑制耕地非粮化的重要因素。④耕地非粮化驱动类型以经济驱动型为主(44.63%),主要分布在珠三角;其次是农业支持型(33.06%),大多分布在山区;资源依赖型占比最少(22.31%),集聚在东、西两翼。研究结果有利于精准识别广东省耕地非粮化的时空特征,提升当地耕地非粮化的风险管控水平,对于农业可持续发展以及保证地区的粮食安全具有重要的理论与现实意义。

**关键词:**耕地非粮化;驱动机制;Theil指数;随机森林;广东省

DOI: 10.18402/resci.2022.03.05

## 1 引言

粮食安全是关系国计民生的全局性战略问题,是国家安全的重要基础<sup>[1]</sup>。随着城镇化和工业化进程的加快,中国农村劳动力非农转移现象不断加剧,农村产业结构不断调整,耕地流转市场日益活跃,耕地“非粮化”问题日渐凸显,粮食安全不断受到威胁<sup>[2,3]</sup>。耕地非粮化是指土地经营者将耕地用于非粮食种植的农业生产行为<sup>[4]</sup>,可分为食物性生产的非粮化和非食物性生产的非粮化<sup>[5]</sup>。食物性生产的非粮化是指将耕地用于种植花生、蔬菜、瓜果等经济作物或发展畜禽养殖等高效农业,多发生于经济发达地区、城市郊区或交通便利的区域<sup>[5,6]</sup>;非

食物性生产的非粮化则是把耕地用于种植花卉苗木或开发农业生态旅游,为追求耕地利用更高的经济收益<sup>[6]</sup>。尽管耕地的适度非粮化符合中国部分地区农业种植结构调整的需要以及有助于当地农业发展的转型升级,但也存在一些潜在风险,例如在耕地上种植林果类等经济作物时,容易导致农药与化肥的过度施用,从而加剧耕地的农业面源污染,进而引发一系列的生态环境问题<sup>[7]</sup>,在耕地上种植花卉苗木等则会破坏土壤耕作层,降低耕地生产力<sup>[8]</sup>,致使未来粮食生产的恢复困难重重,直接影响粮食安全的持续性与稳定性。进入“十四五”规划时期,中国明确提出实施粮食安全战略,首次将粮食综合

投稿日期:2021-07-30,修订日期:2021-11-14

基金项目:国家自然科学基金项目(42071262);广州市哲学社会科学发展“十三五”规划项目(2020GZYSB90);广州大学科研立项项目(YK2020016)。

作者简介:张颖诗,女,广东广州人,硕士研究生,从事乡村地理与土地资源利用研究。E-mail: yig2112@163.com

通讯作者:冯艳芬,女,广东清远人,副教授,从事乡村地理与土地资源利用研究。E-mail: fengyanfen@gzhu.edu.cn

2022年3月

生产能力作为安全保障类约束性指标,首次明确国家制定粮食安全保障法,用法律手段强制性保障国家粮食安全。同时,2021年中央一号文件明确指出要提升粮食供给保障能力、防止耕地非粮化倾向。因此,如何稳定粮食播种面积,防止耕地过度非粮化已成为中国粮食安全面临的重大挑战。

近年来,学者们对耕地非粮化问题进行了广泛而深入的探讨,研究成果主要集中在耕地非粮化的现状特征、驱动机制、外部效应和治理对策等。2000—2017年,中国耕地非粮化率呈现先增长后下降再增长的变化过程,从31.87%提高到34.78%<sup>[9]</sup>,通过对比河南省<sup>[10]</sup>、浙江省<sup>[4]</sup>、山东省<sup>[11]</sup>等不同区域的粮食种植现状,发现耕地非粮化现象呈现逐步扩大趋势<sup>[5]</sup>。相关研究认为成本收益是耕地非粮化的根本驱动因素<sup>[12]</sup>,农户特征<sup>[13]</sup>、土地流转<sup>[14,15]</sup>、社会资本的投入<sup>[16]</sup>及农业产业政策<sup>[17]</sup>等因素对耕地非粮化有不同程度的影响,农业生产专业化格局的形成更是加速了耕地非粮化的趋势<sup>[18]</sup>。此外,自然条件<sup>[19]</sup>和耕地资源禀赋<sup>[20]</sup>也显著影响种植结构。越发严重的耕地非粮化现象不仅造成了较严重的生态环境负面效应<sup>[21]</sup>,也产生了一些粮食安全负外部效益影响<sup>[22]</sup>,长期的耕地非粮化更会对中国的经济安全造成威胁<sup>[23]</sup>。为了防止耕地过度非粮化,可通过强化制度建设<sup>[24,25]</sup>,细划粮食生产功能区<sup>[26]</sup>,规范耕地用途<sup>[27]</sup>,建立“非粮权”交易制度<sup>[28]</sup>,控制粮食作物与非粮作物的种植比例<sup>[29]</sup>等措施来提升“非粮化”的风险管控能力。此外,有研究认为需要从耕地非粮化的根源上进行治理,通过完善政府公共服务来降低粮食生产的服务成本<sup>[14]</sup>,进一步落实种粮补贴<sup>[30,31]</sup>和不断完善金融服务<sup>[32,33]</sup>等措施来实现粮食生产的稳定发展。

现有的耕地非粮化研究多从国家、省、市等宏观尺度展开,主要依据研究区的实地调研数据或社会经济统计数据来关注耕地非粮化的现状、驱动机制和外部效应等,较少有关于耕地非粮化的驱动类型研究。同时,现有的耕地非粮化研究主要关注中国的13个粮食主产区<sup>[34,35]</sup>,而对非粮化率高达41%的华南地区较少研究<sup>[5]</sup>。

广东省属于东亚季风区,是中国光、热和水资源最丰富的地区之一,拥有悠久的农业生产历史,

作为全国人口和经济第一大省,2019年广东省的粮食自给率约为35%<sup>[36]</sup>,耕地利用的粮食安全保障功能有所欠缺,耕地利用的非粮化风险较高。鉴于此,本文选择广东省为研究区域,以县域为评价单元,利用2005年和2019年社会经济统计数据及地理空间数据,分析15年间广东省耕地非粮化的时空演变特征及其影响因素,探讨驱动耕地非粮化的不同类型,从而科学客观地认识广东省的耕地非粮化问题,为广东省粮食安全政策的制定及合理引导耕地适度非粮化提供参考与借鉴。

## 2 研究区概况、数据来源和研究方法

### 2.1 研究区概况

广东省地处中国的南部,东邻福建,北接江西、湖南,西连广西,南临南海,位于20°09'N—25°31'N和109°45'E—117°20'E之间,陆地面积为17.98×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,约占全国陆地总面积的1.85%,其中,耕地面积259.31×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,占全省陆地总面积的14.42%,地貌以山地丘陵为主,地势北高南低。2019年广东省总人口为1.15亿人,人口密度为640.77人/km<sup>2</sup>,城镇化率71.40%,地区生产总值10.77×10<sup>4</sup>亿元,占全国比重的10.87%。广东省地域分异明显,既有特大城市群珠三角,也有发展相对滞后的东翼、西翼和山区(图1)。

### 2.2 数据来源

#### (1) 基础地理数据

广东省县级行政边界数据来源于国家基础地

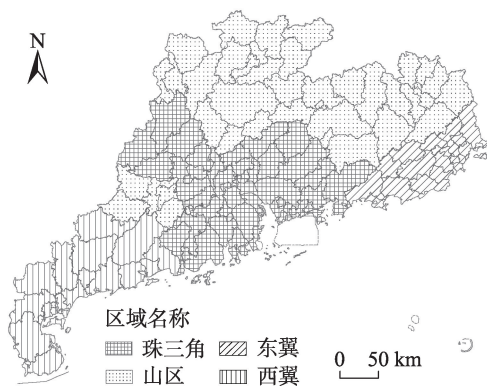


图1 广东省地域分区

Figure 1 Sub-regional division of Guangdong Province

注:基于自然资源部标准地图服务网站粤S(2019)068

号的标准地图制作,底图边界无修改。

理信息中心(<http://www.ngcc.cn/>)。广东省共有124个县域行政单元,包括不设区的地级市2个、市辖区58个、县级市21个、县40个、自治县3个。需要说明的是,2005年的县域研究单元共有122个,其中剔除了研究区内没有耕地的深圳市的盐田区和福田区;2019年的县域研究单元为121个,同样剔除了研究区内没有耕地的广州市的越秀区、深圳市的福田区和盐田区。DEM数据来源于地理空间数据云服务平台(<http://www.gscloud.cn/>),空间分辨率为30 m。

## (2) 专题统计数据

耕地播种数据以及社会经济统计数据来自2005年和2019年的《广东统计年鉴》《广东农村统计年鉴》和各区县统计年鉴及公报。交通路网数据来源于OpenStreetMap数据库(<https://planet.openstreetmap.org/>)。

## 2.3 研究方法

### 2.3.1 耕地非粮化特征的时空分异测度

#### (1) 耕地非粮化率

现有研究认为耕地非粮化可分为食物性生产的非粮化和非食物性生产的非粮化<sup>[5]</sup>,但鉴于耕地上非食物性作物种植的数据目前在全省范围内仍没有权威公布的数据,因此,本文研究的耕地非粮化问题主要指的是食物性生产的非粮化。其中,粮食作物主要包括稻谷、薯类作物和豆类作物,而非粮食作物包括糖蔗、花生、蔬菜和瓜类等。因此,本文的非粮化率( $R$ )指的是非粮食作物播种面积占耕地播种总面积的比率<sup>[37]</sup>。计算公式如下:

$$R = \frac{N}{G} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $R$ 为非粮化率; $N$ 为非粮食作物播种面积; $G$ 为耕地播种总面积。

#### (2) Theil 指数

Theil 指数最初用于衡量各地区经济发展水平的差异,其值越大表明区域间不均衡程度越大<sup>[38]</sup>。本文以县域为评价单元,在空间上将广东省划分为四大区域,分别是珠三角、东翼、西翼和山区,采用Theil指数对各区域在研究期内的非粮化率情况进行分析,获取广东省四大区域内及区域间耕地非粮化的总体差异。计算公式如下:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i \ln(nT_i) = T_{wr} + T_{br} \quad (2)$$

$$T_{wr} = \sum_{i=1}^{n_a} T_i \ln\left(n_a \frac{T_i}{T_s}\right) + \sum_{i=1}^{n_b} T_i \ln\left(n_b \frac{T_i}{T_b}\right) + \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{n_c} T_i \ln\left(n_c \frac{T_i}{T_c}\right) + \sum_{i=1}^{n_d} T_i \ln\left(n_d \frac{T_i}{T_d}\right)$$

$$T_{br} = T_a \ln\left(T_a \frac{n}{n_a}\right) + T_b \ln\left(T_b \frac{n}{n_b}\right) + \quad (4)$$

$$T_c \ln\left(T_c \frac{n}{n_c}\right) + T_d \ln\left(T_d \frac{n}{n_d}\right)$$

式中: $T$ 、 $T_{wr}$ 、 $T_{br}$ 分别为非粮化率的总差异、区域内差异和区域间差异; $n$ 为县域总数, $n_a$ 、 $n_b$ 、 $n_c$ 、 $n_d$ 分别表示珠三角、东翼、西翼、山区的县域数量; $T_i$ 为 $i$ 县域的非粮化率与广东省平均水平的比值; $T_a$ 、 $T_b$ 、 $T_c$ 、 $T_d$ 分别是珠三角、东翼、西翼、山区非粮化率与广东省平均水平的比值。

### (3) 空间自相关模型

空间自相关模型包括全局空间自相关和局部空间自相关,用于测度非粮化率的空间集聚程度及集聚中心的空间位置<sup>[39]</sup>。全局空间自相关是从区域整体上测度某一属性的空间集聚或分散程度,可利用全局莫兰指数(Global Moran's  $I$ )整体判断非粮化率是否存在统计上的集聚或分散现象。Global Moran's  $I$ 指数的取值范围为 $[-1, 1]$ ,值为正代表集聚分布,值为负代表离散分布,值为零代表随机分布。局部空间自相关则是用于探索集聚中心的空间位置,利用局部莫兰指数(Local Moran's  $I$ )识别非粮化率高值和低值的空间聚类特征。

### 2.3.2 耕地非粮化影响因素模型构建

参考已有耕地非粮化研究<sup>[18,19,29]</sup>,分别从自然资源、社会经济和交通区位等方面选取16个指标开展影响因素分析(表1),其中各指标正负作用的性质是依据非粮化率与相应指标进行单因素相关分析后的结果所确定的。为使量纲不同的各指标之间具有可比性,采用极差标准化方法对各指标进行无量纲化处理,然后以非粮化率为因变量,16个影响因素为自变量,运用随机森林模型探索广东省耕地非粮化分异的影响因素。

随机森林模型(Random Forest, RF)是一种基于决策树的机器学习算法<sup>[40]</sup>,包括分类和回归两种技术。随机森林回归是一种非参数回归技术,能有效分析非线性、共线性和具有交互作用的数据,它不需要预先假定因变量与自变量之间的关系,是利用



2022年3月

表1 广东省耕地非粮化的影响因素选择

Table 1 Influencing factors of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province

影响因子	指标释义	性质
土地面积( $X_1$ )	研究区的土地总面积/ $\text{km}^2$ ,反映研究区的土地资源总量	-
耕地面积( $X_2$ )	研究区的耕地总面积/ $\text{hm}^2$ ,反映耕地资源的丰缺程度	-
人均耕地面积( $X_3$ )	耕地总面积与总人口之比/(亩/人),反映人均耕地资源的稀缺程度	-
旱地占比( $X_4$ )	旱地面积占耕地总面积比例/%,反映耕地内部利用结构	+
有效灌溉面积( $X_5$ )	在一般年景下当年能够进行正常灌溉的耕地面积/ $\text{hm}^2$ ,反映耕地抗旱能力,揭示耕地水源保证条件	-
坡度( $X_6$ )	县域平均坡度/ $^\circ$ ,反映研究区地形的平均陡缓程度和耕作条件,利用DEM数据计算	-
高程( $X_7$ )	县域平均海拔/m,反映研究区的海拔特征,利用DEM数据计算	-
粮食单位产出量( $X_8$ )	耕地全年所生产的粮食总量与耕地总面积之比/( $\text{t}/\text{hm}^2$ ),反映耕地单位生产能力	+
地均GDP( $X_9$ )	GDP与土地总面积之比/(亿元/ $\text{km}^2$ ),反映土地生产效益	+
农业总产值( $X_{10}$ )	农、林、牧、渔业全部产品的总量/万元,反映农业生产总规模	-
农村第一产业劳动力占比( $X_{11}$ )	乡村第一产业从业人数占总从业人数比例/%,反映乡村劳动力结构	-
农村居民人均可支配收入( $X_{12}$ )	农村居民可用于自由支配的收入,包括消费支出和储蓄/元	-
人口密度( $X_{13}$ )	人口总量与土地总面积之比(人/ $\text{km}^2$ ),反映人口密集程度	+
路网密度( $X_{14}$ )	研究区内所有道路的总长度与区域总面积之比/( $\text{km}/\text{km}^2$ ),反映交通便捷程度	+
各县到省会城市距离( $X_{15}$ )	各县的几何中心到广州市越秀区几何中心的距离/km,反映省会城市的吸引能力	-
各县到所在市中心距离( $X_{16}$ )	各县的几何中心到所在市中心城区几何中心的距离/km,反映研究区与所在市的连接程度	-

bootstrap 重抽样方法对样本信息不断进行训练,探究样本自身的规律特征,然后根据训练样本集建立起多个决策树并组成随机森林对样本进行回归。本文基于 Weka 平台所载程序包 Random Forest 构建随机森林回归模型,按 1:2 的比例划分训练集和测试集。模型精度评价的指标主要采用决定系数( $R^2$ )和平均绝对误差(Mean Absolute Error,  $MAE$ )来衡量。决定系数( $R^2$ )是回归后拟合值对观测值的拟合程度,取值范围是[0, 1], $R^2$ 越接近 1 说明所得的回归模型拟合效果越好;平均绝对误差( $MAE$ )是预测值和观测值之间绝对误差的平均值, $MAE$ 越小说明所得模型误差越小。随机森林模型中的  $R$  值与  $MAE$  值的计算公式如下:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (6)$$

式中: $P_i$ 为第  $i$  个县域的拟合非粮化率; $\bar{P}$ 为所有县域拟合非粮化率的平均值; $O_i$ 为第  $i$  个县域的统计实测非粮化率; $\bar{O}$ 为所有县域的统计实测非粮化率的平均值。

### 2.3.3 耕地非粮化驱动类型识别

运用主成分分析方法提取影响耕地非粮化的主因子,即通过降维处理把原来的多个变量转化为一个或几个综合指标,从而提取出主成分并给予因子解释,进而计算主成分得分<sup>[41]</sup>,然后利用主成分得分进行  $K$  均值聚类来划分广东省耕地非粮化的不同驱动类型,并依据各类型的主成分特征,对每个类型进行命名与分析。 $K$  均值聚类指的是:随机选取  $K$  个点作为初始的聚类中心,计算每个点与各个聚类中心之间的距离,把每个点分配给距离它最近的聚类中心,聚类中心以及分配给它们的对象就代表一个聚类<sup>[42]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 耕地非粮化的时空演变特征

(1) 全省非粮化率增加明显,耕地非粮化利用程度由低度为主转向中度为主

2005 年和 2019 年,广东省耕地非粮化率平均值分别为 48.47%、54.65%,增长了 6.18%,耕地非粮化率最低值由 2005 年的 14.56% 上升至 2019 年的 21.16%,最高值均是 100%,耕地非粮化现象最轻微和最严重的县域分别位于山区和珠三角,非粮化率的平均水平由低至高依次为东翼、山区、西翼、珠三角(表 2)。

表2 2005年和2019年广东省非粮化率的基本情况（%）

区域	最大值		最小值		平均值	
	2005年	2019年	2005年	2019年	2005年	2019年
珠三角	100.00	100.00	20.56	21.42	65.43	73.54
东翼	65.14	65.23	17.13	25.96	35.49	39.05
西翼	66.70	67.79	22.83	28.21	41.64	45.68
山区	61.99	65.29	14.56	21.16	36.47	43.02
广东省	100.00	100.00	14.56	21.16	48.47	54.65

结合2个年份各县域非粮化率的变化特征,在利用自然断点法进行初步分级的基础上,适度调整分级界线,以确保2个年份的耕地非粮化情况可以进行更好地对比与分析。因此,本文最终将广东省耕地非粮化程度划分为3个等级:低度非粮化(非粮化率 $\leq 40\%$ )、中度非粮化( $40\% < \text{非粮化率} \leq 70\%$ )、高度非粮化(非粮化率 $> 70\%$ )。2005年广东省耕地非粮化程度主要以低度为主(48.36%),中度为辅(33.61%),高度次之(18.03%);2019年广东省耕地非粮化形势更为严峻,耕地非粮化程度以中度为主(42.15%),低度非粮化的县域数量占比由2005年的48.36%减至2019年的34.71%。15年间,中、高度非粮化的县域有所增加,中度非粮化在

山区的空间集聚程度有所增强,高度非粮化在珠三角蔓延,而低度非粮化在西翼有所减少(图2)。

(2)全省耕地非粮化利用空间差异呈缩小态势

基于Theil指数的变化可揭示广东省耕地非粮化的总体差异及四大区域内、区域间的差异情况(表3)。全省Theil指数从2005年的0.0947降至2019年的0.0727,变动幅度较小,说明广东省耕地非粮化的总体差异虽然有所缩小,但缩小的程度并不明显。此外,Theil指数中对应的区域内与区域间的含义分别为:区域内指的是四大区域内部各县域的差异,区域间指的是四大区域之间的差异。表3中的各项Theil指数均反映出区域内和区域间的差异演变规律与全省的总体规律一致,四

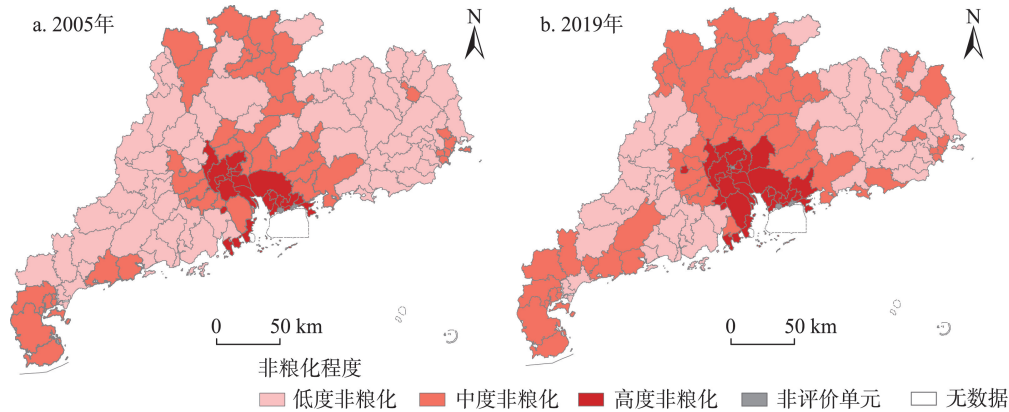


图2 2005年和2019年广东省耕地非粮化程度空间分布

Figure 2 Spatial distribution of degree of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province, 2005 and 2019  
注:基于自然资源部标准地图服务网站粤S(2019)068号的标准地图制作,底图边界无修改。

表3 2005年和2019年广东省耕地非粮化的Theil指数

	珠三角	东翼	西翼	山区	区域内	区域间	全省
2005年	0.0286	0.0080	0.0050	0.0136	0.0552	0.0395	0.0947
2019年	0.0164	0.0041	0.0041	0.0105	0.0351	0.0376	0.0727

2022年3月

大区域内部与外部间的耕地非粮化利用空间差异均呈现缩小态势,其中珠三角的 Theil 指数减少最多,说明珠三角各县域耕地非粮化的演变差异最为显著。

### (3) 耕地非粮化的空间分布呈现集聚状态

2005 年和 2019 年广东省耕地非粮化的全局 Moran's  $I$  均通过 1% 水平的显著性检验,表明广东省耕地非粮化的空间分布有较强的正相关性。研究期内,全局 Moran's  $I$  指数变化较小,由 2005 年的 0.77 下降至 2019 年的 0.76,仅下降了 0.01,说明广东省耕地非粮化的空间集聚保持在一个较稳定的状态(图 3)。

2005 年和 2019 年广东省耕地非粮化的空间集

聚类型以高高集聚和低低集聚为主。高高集聚的县域均有 23 个,均集中在珠三角。高值聚类区位于改革开放的前沿地带,经济发展水平高,农业生产多元化,耕地利用逐渐脱离粮食作物生产,非粮化率较高。低低集聚的县域数量由 2005 年的 15 个增至 2019 年的 21 个,连片分布在山区的云浮、河源、梅州,珠三角的肇庆,东翼以及西翼的茂名和阳江等地。低值聚类区的城镇化进程普遍较慢,农业生产基础条件较好,粮食作物生产潜力充足,非粮化率较低。2005 年、2019 年呈高低集聚的县域均是梅江区,作为梅州市的市辖区,其发展相对较快,非粮化率相对较高,而其周围县域的非粮化率较低,因此形成高低集聚区(图 4)。

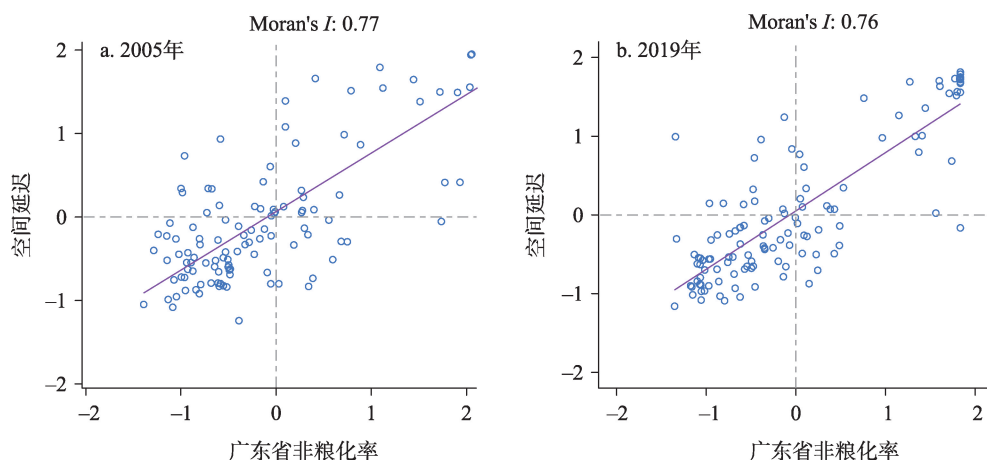


图 3 2005 年和 2019 年广东省非粮化率的 Moran's  $I$  散点图

Figure 3 Moran's  $I$  scatter-plot of cultivated land non-grain rate in Guangdong Province, 2005 and 2019

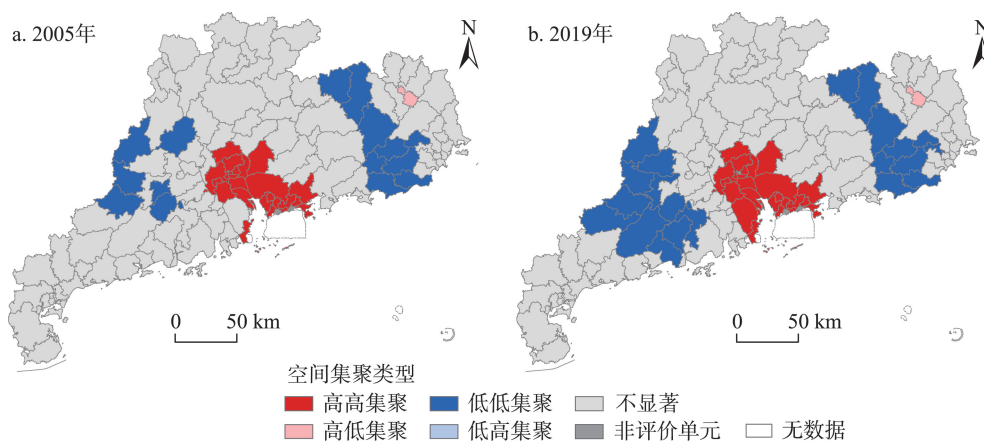


图 4 2005 年和 2019 年广东省耕地非粮化空间集聚类型

Figure 4 Spatial agglomeration types of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province, 2005 and 2019

注:基于自然资源部标准地图服务网站粤S(2019)068号的标准地图制作,底图边界无修改。

### 3.2 耕地非粮化影响因素分析

将表1的16个影响因子与非粮化率进行随机森林回归分析,得到模型的决定系数( $R^2$ )为0.6967,平均绝对误差(MAE)为0.1134,说明所建立的随机森林回归模型的拟合效果较好,可准确解释各影响因子对非粮化率的影响重要性大小。

随机森林回归模型通常会利用精度平均减少值(IncMSE值)来反映影响因子重要性,IncMSE值是指将变量随机取值后进行随机森林回归模型估算误差相对于原来误差的升高幅度,IncMSE值越大,说明该变量越重要。

图5显示了2019年广东省耕地非粮化影响因子的重要性排序情况,前4个影响因子的重要性较显著(IncMSE $\geq 20\%$ ),分别是农村第一产业劳动力占比( $X_{11}$ )、路网密度( $X_{14}$ )、地均GDP( $X_9$ )和各县到省会城市距离( $X_{15}$ )。

农村第一产业劳动力占比( $X_{11}$ )是影响耕地非粮化的主导因子,呈负向作用,即农村第一产业劳动力占比越小,非粮化率就越高。在城乡转型过程中由于非农部门工资和农村地区务农机会成本的快速上升,大量农业劳动力向非农部门流动,这时农民为适应劳动力数量不足和质量下降的现实需要,通常会选择种植高经济价值的非粮作物,以实

现在农业劳动力供给减少下经济效益的最大化。

路网密度( $X_{14}$ )是影响耕地非粮化的第二个主要因子,呈正向作用。交通网络体系的完善打破了城乡之间的空间壁垒,加快了城乡融合发展,强化了区域间的交流沟通,农业生产更易受到邻近县域的影响,也为种植非粮经济作物(蔬菜、瓜果和花卉等)提供了运输便利性。种植结构的改变不仅满足了城区居民对鲜活农副产品的需求,也促进了农民增收,耕地利用较易转向非粮化。

第三个重要的影响因子是地均GDP( $X_9$ ),正向影响非粮化率。县域的地均GDP越高,说明县域经济水平越发达,居民的生活质量和生活成本不断提升,而近年来种子、农药、化肥等农用物资价格上涨,耕地租金大幅提高,但粮食收购价格处于平稳状态,这极大地抑制了农民种粮的积极性。此外,地均GDP越高的县域,产值创造会更多的来源于第二、三产业,第二、三产业的发展衍生了更多就业机会,农民不再以农业生产作为唯一的生计策略,从而导致了耕地非粮化程度的加深。

此外,各县到省会城市距离( $X_{15}$ )对耕地非粮化起到负向影响作用,即越靠近广州市的县域,其耕地利用非粮化水平越高。邻近广州市的县域,地理区位条件较优,其农业生产受到广州市的经济辐射影响,农民的种植意愿更多地转向收益高的经济作物或园艺作物等。此外,城乡居民日益多样化的环境、休闲等需求也促使该部分县域的农业布局逐渐由传统的粮食生产转向复合农业、生态农业和休闲农业,从而影响耕地非粮化水平。

### 3.3 耕地非粮化驱动类型划分

#### 3.3.1 划分方法

基于表1的16个影响因子,利用主成分分析方法提取影响耕地非粮化的主因子,获得KMO值为0.807,说明该主成分分析有效。从所有影响因子的总方差分解可知:前4个主成分的特征值占总方差的百分比达到77.47%(表4),即前4个主成分可以涵盖参与分析的16个影响因子的主要信息,因此选用前4个主成分代替非粮化率的16个原有影响因子来开展耕地非粮化驱动类型的划分。

第1主成分在耕地面积、有效灌溉面积、农业总产值和土地面积等因子上有较大的载荷量,载荷值

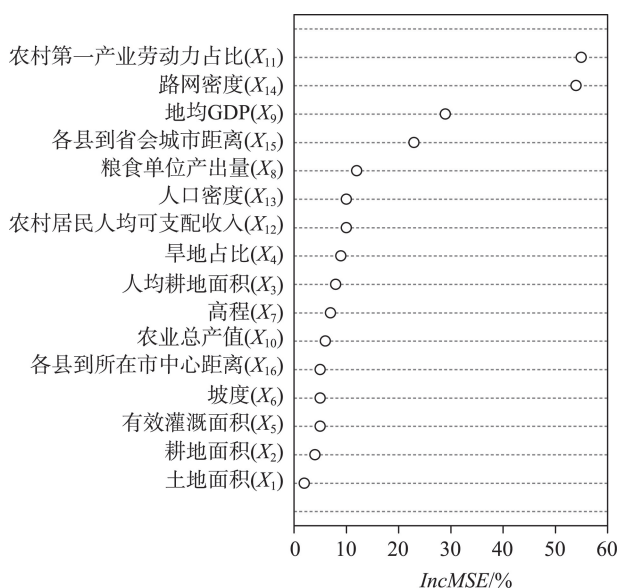


图5 2019年广东省耕地非粮化影响因子的重要性排序

Figure 5 Importance ranking of influencing factors of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province, 2019



2022年3月

表4 主成分的特征值与贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.85	24.06	24.06
2	3.62	22.60	46.66
3	3.51	21.92	68.58
4	1.42	8.89	77.47

依次降低,这4个影响因子均与第1主成分呈正相关性,可统一归因为农业支持因子。第2主成分主要受地均GDP、人口密度、路网密度、农村居民人均可支配收入等因子影响,均与第2主成分呈正相关性,上述因子可统一归因为社会经济因子。第3主成分描述了高程、坡度、旱地占比、人均耕地面积、粮食单位产出量和农村第一产业劳动力占比,具有较强的综合性,除坡度、高程与第3主成分呈负相关性外,其余4个影响因子与第3主成分呈正相关性,以上6个影响因子可归因为资源禀赋因子。各县到省会城市距离和各县到所在市中心距离在第4主成分上有较大载荷量,呈正相关性,这2个影响因子可统一归因为地理区位因子(表5)。

计算农业支持因子、社会经济因子、资源禀赋因子、地理区位因子的主成分得分,利用该得分进行K均值聚类来划分广东省耕地非粮化的不同类

型,根据各类别对应的4个主成分得分的均值可发现(图6):3个类型在农业支持因子上均具有较大值,其中又以第三类的值最大(0.9717),而第一类在地理区位因子与社会经济因子中的得分均优于其他2类,但第二类在资源禀赋因子上得分最高。因此,认为上述三大类可分别对应以下类型:第一类(经济驱动型)、第二类(资源依赖型)、第三类(农业支持型)。

### 3.3.2 划分结果

在充分考虑各类型分布的连片性以及个别县域的特殊性后,对耕地非粮化的聚类结果进行了适当微调(主要调整了江门的恩平市、韶关的浈江区以及揭阳的普宁市等3个区域),最终获得广东省121个县域的耕地非粮化驱动类型划分结果(图7、表6):

(1)经济驱动型:主要分布在珠三角,一共有54个县域,是广东省耕地非粮化的主要类型(44.63%)。该类型县域的社会经济条件发达,耕地非粮化水平最高(平均非粮化率达66.66%),主要以高度非粮化为主,非粮作物种植结构以蔬菜占比最大(83.78%),其次为花生(14.04%)、瓜类(1.60%),占比最少的是糖蔗(0.58%)。该类型县域的交通区位

表5 旋转成分矩阵

Table 5 Rotating component matrix

影响因子	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
土地面积( $X_1$ )	0.739	0.234	0.475	-0.099
耕地面积( $X_2$ )	0.922	0.072	0.098	0.237
人均耕地面积( $X_3$ )	0.425	0.073	0.636	0.310
旱地占比( $X_4$ )	-0.059	0.158	0.711	0.030
有效灌溉面积( $X_5$ )	0.908	0.238	0.055	0.069
坡度( $X_6$ )	0.017	-0.147	-0.877	0.218
高程( $X_7$ )	-0.020	-0.176	-0.901	-0.124
粮食单位产出量( $X_8$ )	-0.210	0.150	0.624	-0.106
地均GDP( $X_9$ )	0.212	0.865	0.121	0.222
农业总产值( $X_{10}$ )	0.868	0.216	-0.187	0.015
农村第一产业劳动力占比( $X_{11}$ )	0.408	0.407	0.498	0.351
农村居民人均可支配收入( $X_{12}$ )	0.285	0.644	-0.118	-0.385
人口密度( $X_{13}$ )	0.278	0.832	0.267	0.147
路网密度( $X_{14}$ )	0.312	0.822	0.330	0.269
各县到省会城市距离( $X_{15}$ )	0.140	0.236	-0.062	0.863
各县到所在市中心距离( $X_{16}$ )	0.400	0.079	0.142	0.694



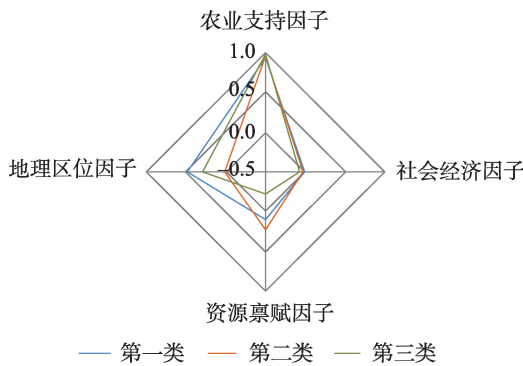


图6 2019年广东省耕地非粮化因子聚类分析结果

Figure 6 Factor cluster analysis of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province, 2019

优势显著,距离省会城市广州最近(平均110.26 km),县域内的路网密度最大(2.65 km/km<sup>2</sup>),地均GDP最高(4.32 亿元/km<sup>2</sup>),农村第一产业劳动力占比最少(25.87%)。上述特征表明:经济驱动型县域的非粮化水平与当地的社会发展相吻合,高水平的生产与生活条件推动耕地利用趋向非粮化。

(2)资源依赖型:主要分布在东、西两翼,共有27个县域,是3种驱动类型中占比最少的(22.31%)。该类型县域的平均非粮化率为46.87%,主要以中度非粮化为主,非粮作物种植结构在3种驱动类型中是较为均衡的,其中蔬菜占比55.75%、糖蔗占比25.59%、花生占比16.93%、瓜类占比1.73%,且糖蔗占比远远高于其他2种驱动类型。该类型县域分布在东、西两翼沿海平原,农业生产所依赖的耕地资源条件较为优越,水热条件良好,是广东省农业生产主要基地的分布区域。

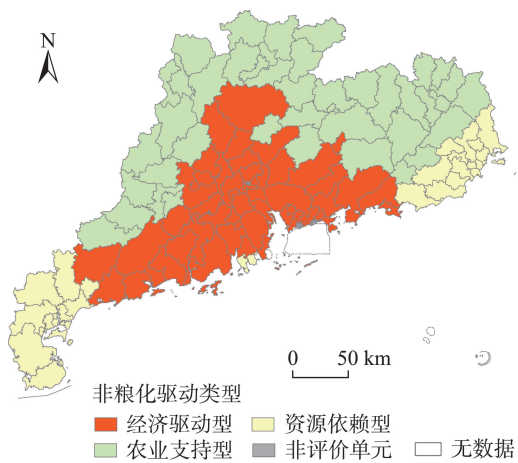


图7 2019年广东省耕地非粮化驱动类型的空间分布

Figure 7 Spatial distribution of driving types of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province, 2019

注:基于自然资源部标准地图服务网站粤S(2019)068号的标准地图制作,底图边界无修改。

(3)农业支持型:主要分布在山区,共有40个县域,在3种类型中所占比例为33.06%,平均非粮化率最低(43.69%),主要以低度非粮化为主,说明该类型县域耕地的粮食作物种植比例较高。在非粮作物种植结构中,仍然以蔬菜占比最高(71.11%)、其次是花生(24.76%)、瓜类(3.57%),最少的是糖蔗(0.56%)。该类型县域的耕地资源中,水田占比较高(69.24%),能为粮食作物生产提供可靠的支持,同时,由于该类型县域经济发展水平稍显落后,交通条件较为薄弱,主要体现在其地均GDP为0.13 亿元/km<sup>2</sup>,仅为经济驱动型的3.01%,路网密度为0.39km/km<sup>2</sup>,仅为经济驱动型的14.72%,因此其农

表6 2019年广东省耕地非粮化的不同驱动类型指标均值

Table 6 Average indicator values of different driving types of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province, 2019

要素	指标	经济驱动型	资源依赖型	农业支持型
非粮化程度	非粮化率/%	66.66	46.87	43.69
	低度占比/%	22.22	33.33	52.50
	中度占比/%	33.33	62.96	40.00
	高度占比/%	44.45	3.71	7.50
耕地资源	耕地面积占比/%	10.00	19.24	11.03
	水田占比/%	57.50	61.03	69.24
社会经济	地均GDP/(亿元/km <sup>2</sup> )	4.32	1.04	0.13
	乡村第一产业劳动力占比/%	25.87	41.66	53.08
交通区位	路网密度/(km/km <sup>2</sup> )	2.65	1.26	0.39
	各县到省会城市距离/km	110.26	367.74	225.48

2022年3月

业生产的地位和作用较为重要,在一定程度上确保了粮食作物的种植。

### 3.3.3 不同非粮化驱动类型的管控方向

资源环境特点和社会经济条件的差异均会造成区域耕地非粮化驱动类型的不同,管控耕地非粮化现象需要根据不同类型的特点来制定不同的措施(图8)。

(1)经济驱动型:该类型县域由于受地理区位和经济效益的驱使,耕地非粮化形势严峻,非粮化类型主要为蔬菜种植。该类型县域未来的农业生产应兼顾地理区位条件、农户发展意愿、农产品市场需求等多种因素,适当调整粮食作物与经济作物播种面积的比例关系,做好适度种粮和非粮轮作的耕种安排,避免耕地被持续高强度利用,严控非粮化的无序发展。同时,引导非粮作物的生态化耕种,减少农药、化肥的使用量,保持土壤肥力,不仅便于后续恢复种粮,也可运用有限的耕地资源取得最大限度的生态效益。

(2)资源依赖型:该类型县域主要分布在东、西两翼沿海地带,雨热同期,光照充足,拥有优越的农业生产基础,适宜多种农作物生长,也是广东省甘蔗的主要产区分布地。因此,该类型县域需要对不同资源禀赋的耕地进行分类管控管理,在确保优质耕地用于种粮的前提下,允许一般耕地发展特色农业,发挥经济作物种植的集聚效应,区别化对待非粮化种植行为。此外,通过精准发放种粮补贴、科学调控粮食最低收购价、提升粮食作物农业保险保障水平等措施,加大对粮食生产的支持,调动农户粮食生产经营的积极性,适当引导农户返良田为粮

田,优化农业生产布局,促进粮食生产稳定发展。

(3)农业支持型:该类型县域主要集聚在山区,耕地非粮化率较低,多个县域的耕地被划定为粮食生产功能区。为稳定粮食生产格局,该类型县域应加快推进农业基础设施建设,改善粮食生产环境,实施丘陵山区耕地宜机化改造工程,提高粮食复种指数。同时引导工商资本下乡提供多元化的农业生产性服务,包括为农户提供代耕代种、病虫害防治等机械化服务和构建集粮食加工、运输、销售于一体的服务体系等,以突破农业劳动力不足的限制和缓解农户粮食生产经营的资金、技术约束,推动农户扩大种粮规模,提高粮食经营的经济效益,带动农户增收,抑制非粮化扩张。

## 4 结论

本文以县域为评价单元,利用2005年和2019年的社会经济统计数据 and 地理空间数据,借助Theil指数、空间自相关模型、随机森林模型、主成分分析和聚类分析等方法,对广东省近15年间的耕地非粮化问题开展研究,分析了省内不同区域的耕地非粮化的时空特征,探讨了影响耕地非粮化的因素,进而划分驱动耕地非粮化的不同类型。得到以下结论:

(1)广东省耕地非粮化率由2005年的48.47%上升至2019年的54.65%,非粮化率的平均水平由低至高依次为东翼、山区、西翼、珠三角;耕地非粮化程度由低度为主转向中度为主,低度非粮化在西翼减少,中度非粮化在山区集聚,高度非粮化在珠三角蔓延;全省及四大区域内、区域间的耕地非粮化利用空间差异均呈现缩小态势,且珠三角各县域

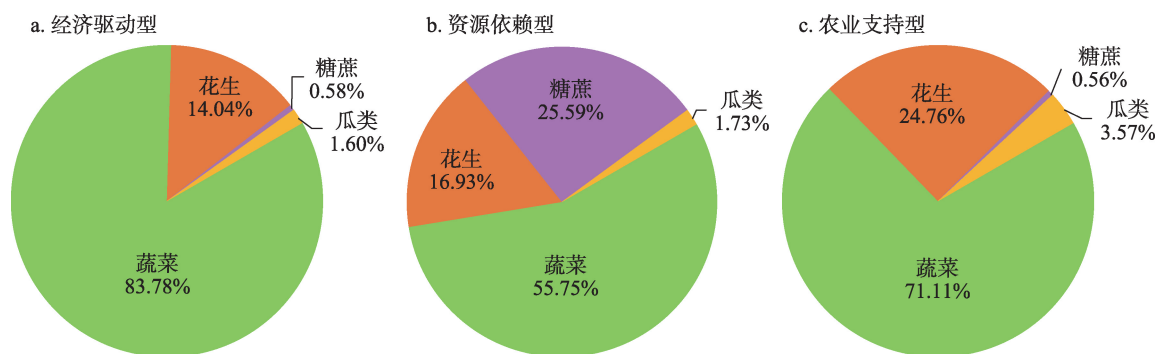


图8 2019年广东省耕地非粮化不同驱动类型的作物种植结构

Figure 8 Crop planting structure of different driving types of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province, 2019

的演变差异最为显著。

(2)2005年和2019年广东省耕地非粮化的空间分布具有显著的集聚特征,局部空间自相关以高高集聚和低低集聚为主,高高集聚的县域均有23个,主要集中在珠三角,低低集聚的县域数量由2005年的15个增至2019年的21个,在东翼、西翼和山区均有分布,仅梅江区呈高低集聚。

(3)耕地非粮化影响因素采用随机森林回归模型开展研究,模型运算的决定系数( $R^2$ )为0.6967,平均绝对误差(MAE)为0.1134,说明研究建立的随机森林回归模型可准确解释各影响因子对非粮化率的影响重要程度。结果表明:农村第一产业劳动力占比、路网密度、地均GDP和各县到省会城市距离等4个因素对耕地非粮化有显著影响,其影响重要性依次递减。其中,路网密度、地均GDP对耕地非粮化具有推动作用,农村第一产业劳动力占比、各县到省会城市距离对耕地非粮化具有抑制作用。

(4)利用主成分分析方法提取了4个主成分,分别是农业支持因子、社会经济因子、资源禀赋因子和地理区位因子,并将4个主成分得分作为耕地非粮化驱动类型的主要划分依据,采用K均值聚类方法将2019年广东省耕地非粮化驱动类型划分为:经济驱动型、资源依赖型、农业支持型。其中:经济驱动型是广东省耕地非粮化的主要类型(44.63%),以高度非粮化为主,集中分布在珠三角;资源依赖型的县域最少(22.31%),以中度非粮化为主,主要集聚在东、西两翼;农业支持型的县域数量占比为33.06%,以低度非粮化为主,大多分布在山区。

本文研究的耕地非粮化问题主要指的是食物性生产的非粮化,基于统计数据剖析经济发达的广东省近15年间耕地非粮化时空特征及其驱动机制。然而,耕地非粮化实质是农户生产行为的选择,本文尚未考虑农户层面的因素,忽略了耕地非粮化行为主体的作用。农户作为耕地利用的主导者与受益者,其理性的行为决策会直接影响耕地利用的方式以及作物种植的结构与类型,因此,后续研究需要进一步从微观尺度上去探讨非粮化与农户土地利用行为的关系,从而对耕地非粮化的驱动机制有更准确、更深入的理解和认识。

## 参考文献(References):

- [1] 刘正佳,钟会民,李裕瑞,等.近20年中国粮食生产变化特征及其对区域粮食供需格局的影响[J].自然资源学报,2021,36(6): 1413-1425. [Liu Z J, Zhong H M, Li Y R, et al. Change in grain production in China and its impacts on spatial supply and demand distributions in recent two decades[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(6): 1413-1425.]
- [2] Sheng Y, Song L G. Agricultural production and food consumption in China: A long-term projection[J]. China Economic Review, 2018, 53: 15-29.
- [3] Bren D A C, Reitsma F, Baiocchi G, et al. Future urban land expansion and implications for global croplands[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 114(34): 8939-8944.
- [4] Su Y, Li C L, Wang K, et al. Quantifying the spatiotemporal dynamics and multi-aspect performance of non-grain production during 2000 - 2015 at a fine scale[J]. Ecological Indicators, 2019, 101: 410-419.
- [5] 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” cultivated land[J]. China Land, 2020, (11): 17-19.]
- [6] 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 “non-grain” of cultivated land[J]. China Land, 2021, (7): 9-11.]
- [7] Su Y, He S, Wang K, et al. Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: An emergy analysis with the integration of environmental pollution[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119650.
- [8] 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.]
- [9] 赵小凤,李娅娅,郑雨倩,等.产业结构、农民收入结构对耕地非粮化的影响[J].国土资源科技管理,2019,36(5): 66-77. [Zhao X F, Li Y Y, Zheng Y Q, et al. Impact of industrial structure and farmers' income structure on the non-grain conversion of arable land[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2019, 36(5): 66-77.]
- [10] 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 X K, Wang X L, Zhao Y L. Morphological characteristics identification and optimization of “non-grain” cultivated land along Yellow River Basin[J]. Transactions of the Chinese Society



2022年3月

- for Agricultural Machinery, 2021, 52(10): 233-242.]
- [11] 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.]
- [12] 刘余, 周应恒. 粮地租金变动对种粮行为调整的影响[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2021, 20(3): 85-96. [Liu Y, Zhou Y H. The impact of land rent change on the grain growers' behavior adjustment[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2021, 20(3): 85-96.]
- [13] 闫梦露, 钟太洋. 外来职业农民和本地农户种植多样性差异及影响因素研究[J]. 资源科学, 2018, 40(9): 1752-1761. [Yan M L, Zhong T Y. The difference of crop diversity between migrant professional farmers and local peasant households and its influencing factors[J]. Resources Science, 2018, 40(9): 1752-1761.]
- [14] 王倩, 余劲. 农地流转背景下地块规模对农户种粮投入影响分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(5): 129-137. [Wang Q, Yu J. Impact of plot size on farmers' grain investments under the background of farmland transfer[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(5): 129-137.]
- [15] 刘航, 张莉琴. 农地流转会导致农地利用“非粮化”吗? 基于地块层面的实证分析[J]. 农村经济, 2020, (11): 45-53. [Liu H, Zhang L Q. Will the transfer of agricultural land lead to the “non-grain” growing?[J]. Rural Economy, 2020, (11): 45-53.]
- [16] 高晓燕, 赵宏倩. 工商资本下乡“非粮化”现象的诱因及长效对策[J]. 经济问题, 2021, (3): 92-99. [Gao X Y, Zhao H Q. The inducement and long-term countermeasures of “non grain” phenomenon caused by industrial and commercial capital going to the countryside[J]. On Economic Problems, 2021, (3): 92-99.]
- [17] Yang Q, Zhang D J. The influence of agricultural industrial policy on non-grain production of cultivated land: A case study of the “one village, one product” strategy implemented in Guanzhong Plain of China[J]. Land Use Policy, 2021, DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105579.
- [18] 易小燕, 陈印军. 农户转入耕地及其“非粮化”种植行为与规模的影响因素分析: 基于浙江、河北两省的农户调查数据[J]. 中国农村观察, 2010, (6): 2-10. [Yi X Y, Chen Y J. Analysis on the influencing factors of farmers' transferring to cultivated land and their “non-grain” planting behavior and scale: Based on the survey data of farmers in Zhejiang and Hebei provinces[J]. China Rural Survey, 2010, (6): 2-10.]
- [19] 赵丹丹, 周宏. 农户分化背景下种植结构变动研究: 来自全国31省农村固定观察点的证据[J]. 资源科学, 2018, 40(1): 64-73. [Zhao D D, Zhou H. Study on cropping structure adjustment under the background of rural-household differentiation from rural fixed watch points in 31 provinces of China[J]. Resources Science, 2018, 40(1): 64-73.]
- [20] 王嫚嫚, 刘颖, 蒯昊, 等. 土地细碎化、耕地地力对粮食生产效率的影响: 基于江汉平原354个水稻种植户的研究[J]. 资源科学, 2017, 39(8): 1488-1496. [Wang M M, Liu Y, Kuai H, et al. The effects of fragmentation and land quality on the technical efficiency of grain production based on 354 rice planters on the Jianghan Plain[J]. Resources Science, 2017, 39(8): 1488-1496.]
- [21] Chen Y, Dong S L, Wang F, et al. Carbon dioxide and methane fluxes from feeding and no-feeding mariculture ponds[J]. Environmental Pollution, 2016, 212: 489-497.
- [22] 宋戈, 白小艳, 高佳. 粮食产销平衡区耕地非粮化负外部效益空间分布特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 349-355. [Song G, Bai X Y, Gao J. Spatial distribution characteristics of the negative external benefits of non-food cultivated land in grain production and marketing balance area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(1): 349-355.]
- [23] 陈秧分, 王介勇. 对外开放背景下中国粮食安全形势研判与战略选择[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1616-1630. [Chen Y F, Wang J Y. China's food security situation and strategy under the background of opening-up[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(6): 1616-1630.]
- [24] 梁鑫源, 金晓斌, 韩博, 等. 藏粮于地背景下国家耕地战略储备制度演进[J]. 资源科学, 2022, 44(1): 181-196. [Liang X Y, Jin X B, Han B, et al. Evolution of the national cultivated land strategic reserve system under the background of storing grain in the land[J]. Resources Science, 2022, 44(1): 181-196.]
- [25] 戚渊, 李瑶瑶, 朱道林. 农地资本化视角下的耕地非粮化研究[J]. 中国土地科学, 2021, 35(8): 47-56. [Qi Y, Li Y Y, Zhu D L. Study on the non-grain utilization of cultivated land from the perspective of cultivated land capitalization[J]. China Land Science, 2021, 35(8): 47-56.]
- [26] 匡远配, 刘洋. 农地流转过程中的“非农化”、“非粮化”辨析[J]. 农村经济, 2018, (4): 1-6. [Kuang Y P, Liu Y. Distinguishing “non-agriculturalization” and “non-grainification” in the process of rural land transfer[J]. Rural Economy, 2018, (4): 1-6.]
- [27] 常伟, 马诗雨. 农地规模流转中的“非粮化”问题研究[J]. 农业经济, 2020, (9): 3-5. [Chang W, Ma S Y. Research on the problem of “non grain” in the scale transfer of agricultural land[J]. Agricultural Economy, 2020, (9): 3-5.]
- [28] 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.]
- [29] 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.]
- [30] Su Y, Qian K, Lin L, et al. Identifying the driving forces of non-grain production expansion in rural China and its implications for policies on cultivated land protection[J]. Land Use Policy, 2020, DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104435.
- [31] 朱丽娟, 王志伟. 黑龙江省种粮大户的技术效率及其影响因素[J]. 资源科学, 2018, 40(8): 1583–1594. [Zhu L J, Wang Z W. Analysis on technical efficiency and influencing factors of large-scale grain-production farmers in Heilongjiang Province[J]. Resources Science, 2018, 40(8): 1583–1594.]
- [32] 曾靖. 新时代湖北省农户粮食生产资源优化配置研究: 基于全省16个市州351个农户的实证分析[J]. 湖北社会科学, 2022, (1): 63–68. [Zeng J. Research on the optimal allocation of grain production resources for farmers in Hubei Province in the new era: Based on the empirical analysis of 351 farmers in 16 cities and states in the province[J]. Hubei Social Sciences, 2022, (1): 63–68.]
- [33] 李士梅, 高维龙. 要素集聚下我国粮食生产经营制约因素分析[J]. 农业技术经济, 2019, (6): 38–45. [Li S M, Gao W L. Analysis on restricting factors of grain production and management in China from the perspective of factor agglomeration[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2019, (6): 38–45.]
- [34] 刘影, 肖池伟, 李鹏, 等. 1978–2013年中国粮食主产区“粮-经”关系分析[J]. 资源科学, 2015, 37(10): 1891–1901. [Liu Y, Xiao C W, Li P, et al. Relationship of grain output and economic development from 1978 to 2013 in the major grain producing area of China[J]. Resources Science, 2015, 37(10): 1891–1901.]
- [35] 曾雅婷, 吕亚荣, 蔡键. 农地流转是农业生产“非粮化”的诱因吗?[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2018, 18(3): 123–130. [Zeng Y T, Lv Y R, Cai J. Does the farmland and transfer lead to “non-grain production” in agriculture?[J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2018, 18(3): 123–130.]
- [36] 何秀英, 周少川, 刘志霞, 等. 广东省农业科学院常规水稻育种60年: 成就与展望[J]. 广东农业科学, 2020, 47(11): 1–8. [He X Y, Zhou S C, Liu Z X, et al. Sixty years’ conventional rice breeding of Guangdong Academy of Agricultural Sciences: Achievements and prospects[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(11): 1–8.]
- [37] 陈印军, 易小燕, 方琳娜, 等. 中国耕地资源与粮食增产潜力分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(6): 1117–1131. [Chen Y J, Yi X Y, Fang L N, et al. Analysis of cultivated land and grain production potential in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(6): 1117–1131.]
- [38] 赵雪雁, 王伟军, 万文玉. 中国居民健康水平的区域差异: 2003–2013[J]. 地理学报, 2017, 72(4): 685–698. [Zhao X Y, Wang W J, Wan W Y. Regional inequalities of residents’ health level in China: 2003–2013[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(4): 685–698.]
- [39] 王劲峰, 廖一兰, 刘鑫. 空间数据分析教程[M]. 北京: 科学出版社, 2010. [Wang J F, Liao Y L, Liu X. Spatial Data Analysis Course[M]. Beijing: Science Press, 2010.]
- [40] Breiman L. Random forests[J]. Machine Learning, 2001, 45(1): 5–32.
- [41] 张文彤, 董伟. SPSS统计分析高级教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. [Zhang W T, Dong W. Advanced Course of SPSS Statistical Analysis[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.]
- [42] 何晓群. 多元统计分析[M]. 4版. 北京: 中国人民大学出版社, 2015. [He X Q. Multivariate Statistical Analysis[M]. 4th Ed. Beijing: China Renmin University Press, 2015.]

# Spatiotemporal differentiation and driving mechanism of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province

ZHANG Yingshi, FENG Yanfen, WANG Fang, CHEN Zilong, LI Xiaohang

(School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** Food security is the cornerstone of national economic development and social stability. The increasingly serious problem of cultivated land non-grain conversion intensifies the risk of food insecurity and directly affects the sustainable development of China's social and economic systems. From the perspective of non-grain production of food, this study selected Guangdong Province as the research area and county as the evaluation unit and based on socioeconomic statistics and geospatial data, using Theil index, spatial autocorrelation model, random forest model, principal component analysis, and cluster analysis to examine the spatiotemporal characteristics, influencing factors, and driving types of cultivated land non-grain conversion in 2005 and 2019. The results show that: (1) The non-grain rate of cultivated land in Guangdong Province increased from 48.47% in 2005 to 54.65% in 2019. The non-grain degree of cultivated land had changed from low to moderate, and the spatial differentiation of non-grain rate of cultivated land showed a decreasing trend, especially in the Pearl River Delta area. (2) The spatial distribution of non-grain cultivated land maintained a stable agglomeration state and showed high concentration in the Pearl River Delta area and low concentration in the east wing, west wing, and mountainous sub-regions of the province. (3) Road network density and GDP per square kilometer had significant promoting effects on cultivated land non-grain conversion, while the proportion of labor force in rural primary industry and distance between counties and provincial capital cities were important factors to restrain the cultivated land non-grain conversion. (4) The main driving type of cultivated land non-grain conversion was economy driven (44.63%), mainly distributed in the Pearl River Delta area. This was followed by agriculture supporting type (33.06%), mostly distributed in the mountainous areas. The resource dependency type was the least dominant (22.31%) and was concentrated in the east and west wing sub-regions. This research result is conducive to accurately identify the spatiotemporal characteristics of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province, improve the risk control level of local cultivated land non-grain conversion, and has important theoretical and practical significance for sustainable agricultural development and ensuring regional food security.

**Key words:** cultivated land non-grain conversion; driving mechanism; Theil index; Random Forest; Guangdong Province