

中国县域耕地动态演变及其驱动机制

张 婕^{1,2}, 刘玉洁^{1,2}, 张二梅^{1,2}, 陈 洁^{1,2}, 谭清华^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 非农化和非粮化造成大量耕地不再用于农业用途和粮食生产,严重影响粮食综合生产能力,威胁国家粮食安全。识别非农化和非粮化时空演化特征及不同阶段的驱动因素是科学管控和决策的基础。本文以县域为基本研究单元,评估了非农化和非粮化动态演变特征,选择耕地资源本底、社会经济及农户主观因素构建综合指标体系,采用地理探测器模型量化了不同阶段的驱动因子。分析发现,中国耕地非农化和非粮化具有明显的空间集聚效应,“胡焕庸线”以东非农化程度较高,非粮化现象呈现由东北向西南加剧的空间格局。1980—2020年非农化程度呈现减弱且范围缩小的趋势,而非粮化经历了“增长—平稳”的变化过程。1980—2020年主产区非粮化进程减缓,而2010—2020年主销区非粮化增长速度分别为主产区和产销平衡区的1.49倍和1.33倍。与1980—2000年相比,2010—2020年主产区的非农化速度下降了77%,而产销平衡区非农化的增加速度分别是主销区和主产区的1.63倍和4.65倍。耕地资源禀赋是导致非粮化的基础原因,且土壤质量、地形因子与社会经济存在显著的交互作用,农民的逐利行为是决定耕地非粮化根本原因。农业劳动力为非农化的显著影响因子,城镇化对非农化的解释力2010—2020年有所提升。本文提出分类设定管制规则和补贴机制、分区推进管控政策、加强动态监测与风险预警、加强责任监督与考核的建议。

关键词: 非农化;非粮化;动态演变;地理探测器;驱动机制;县域尺度

DOI: 10.11821/dlxb202309001

1 引言

粮食安全关乎国计民生,是国家安全的重要基础。耕地作为主要的农业生产资料,是影响粮食综合生产能力的关键要素之一,其利用方式的变化会直接影响粮食安全。第三次全国国土调查数据显示,截至2019年末,全国耕地面积为12786.19万 hm^2 ,较二调数据下降幅度超过5%。国务院办公厅先后出台了《关于坚决制止耕地非农化行为的通知》《关于防止耕地非粮化稳定粮食生产的意见》等一系列要求,要求严守耕地红线,坚

收稿日期: 2022-11-18; 修订日期: 2023-06-30

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA28060200); 国家自然科学基金项目(42122003, 72221002); 中国科学院青年创新促进会会员人才专项(Y202016) [Foundation: The Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA28060200; National Natural Science Foundation of China, No.42122003, No.72221002; Youth Innovation Promotion Association of the Chinese Academy of Sciences, No.Y202016]

作者简介: 张婕(1996-), 女, 新疆伊犁人, 博士生, 主要从事全球变化与可持续发展研究。

E-mail: zhangj.18s@igsnr.ac.cn

通讯作者: 刘玉洁(1982-), 女, 甘肃天水人, 博士, 研究员, 主要从事全球变化与粮食安全研究。

E-mail: liuyujie@igsnr.ac.cn

决制止各类耕地非农化,防止耕地非粮化倾向。然而,耕地非农化和非粮化现象在部分地区依然较为突出,并有进一步加剧的趋势^[1-2]。从保障粮食供给角度来看,大量耕地因非农化丧失了粮食生产功能,部分非粮化产业对优质耕作层产生负面影响,水稻、小麦、玉米和豆薯类等种植面积减少,对粮食生产稳定性造成不利影响^[3]。此外,农户生计策略转变的同时降低了耕地生产功能^[4],被动非农化和非粮化进一步降低农村人口从事农业生产的意愿,加剧农村青壮年劳动力流失,农村在保障国家粮食安全中的角色被削弱^[5-6]。这不仅会造成短期内的缺粮现象,更会给粮食主产区带来长远的压力。

受人口增长、气候变化和地缘政治等的影响,中国粮食安全的复杂性、脆弱性和不确定性不断增加。在粮食安全视角下,如何妥善解决非农化和非粮化问题已引起政府与学界广泛关注。因此,科学认知非农化和非粮化的动态演变,深入剖析驱动机制对于精准制定决策和保障新时期粮食安全至关重要。目前,针对非农化和非粮化的研究,一方面是从定量或者定性的角度分析现状特征及治理对策,如通过采用重心转移模型^[7]、Theil 指数^[8]揭示非农化和非粮化演变特征及扩散路径。有研究表明中国主粮(水稻、小麦和玉米)作物的播种比例由 1980 年的 82.7% 下降至 2011 年的 50.7%,且在城郊地区下降更为突出^[9]。就粮食主产区而言,河北、河南、山东和安徽四省 2013 年的非粮化率高达 61.1%^[10],部分粮食主产区由于农地流转导致非粮化呈现扩大趋势^[11];空间上,非农化和非粮化规模与城镇化进程存在联动性,总体呈现以城市为中心向远郊递减扩散的规律^[12-14]。另一方面则是基于微观农户调查^[15-16]、农业统计资料或遥感数据^[17-18]分析非农化和非粮化的驱动因子。分析方法主要包括传统计量模型和统计模型,如主成分分析法^[19]、Tobit 模型^[20]、Logit 模型等^[21]。从人口就业、产业和土地等视角分析非农化和非粮化产生的原因,提出农户就业非农化与耕地非农化扩张并行发展^[22]。2013—2018 年流转土地中用于种植粮食的比例低于 57%^[23],农业结构内部调整和农民逐利行为导致耕地向果园、畜牧业等用途转变^[24],农地适度资本化会抑制非粮化而过度资本化会促进非粮化^[25]。

从研究尺度看,既有研究多集中在省域或市域的大尺度研究,或耕地集中区的非农化和非粮化问题,较少关注精细尺度的非农化和非粮化演变特征,尤其对主销区和产销平衡区的变化关注不足^[14, 19, 26]。不同县域之间的社会经济水平、农户生计策略和粮食安全状况存在较大差异,以省、市为尺度难以刻画内部演变的差异,这在一定程度上限制了研究精度和成果的应用价值。随着社会经济的快速发展,中国的非农化和非粮化现象发生了深刻的变化,但变化的格局、过程和特征尚未得到系统的展现。因此,有必要引入县级尺度数据对非农化和非粮化开展综合分析,为相关政策的制定及保障粮食安全提供详实参考。不同发展阶段的社会经济、资源禀赋不同,以往研究忽略了不同地区自然和社会经济条件的差异,以及非粮化的规模、类型以及扩张机制可能随时间和空间而变化的事实,对非农化和非粮化驱动因子的动态性缺乏考虑,定量测度不同经济发展阶段的关键驱动要素的研究相对缺乏。因此,遏制非农化、防止非粮化亟需综合评估其动态演变特征及驱动机制。

因此,本文基于 1980—2020 年中国土地利用数据和县级作物播种面积数据库,识别了非农化和非粮化空间演化及其集聚特征,在此基础上分析不同时段的变化趋势。系统构建驱动力指标体系,借助地理探测器模型识别非农化和非粮化的主要控制因子,为保障耕地红线,提高粮食安全提供科学依据。

2 数据与方法

2.1 研究区和数据

以中国 2856 个县级单元为研究对象, 非粮食作物播种面积、农作物总播种面积统计数据及相关农业经济数据均来自国家统计局国家数据平台 (<https://data.stats.gov.cn/>)。土地利用数据 (30 m×30 m) ^[27] 来自中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/>), 包括 1980 年、1990 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年共 7 期数据。耕地非农化是指将耕地转变为非农用地的过程。非粮化指的是农业生产结构的转型, 即从以粮食作物为主的生产结构转向以经济作物和非粮食作物为主。类型上主要分为食物性生产的非粮化和非食物性生产的非粮化行为, 食物性生产的非粮化例如种植大豆、花生或其他杂粮和经济作物, 非食物性生产的非粮化例如景观工程种植杨树等^[28-30]。随着膳食水平不断提高, 人们的饮食结构逐渐多样化, 非粮化的概念与标准不仅局限于小麦、玉米、水稻等传统粮食碳水化合物。因此本文将粮食的范畴扩大为谷物、薯类和豆类, 将改种非粮食作物的行为界定为非粮化, 即非粮食播种面积占农作物总播种面积的比例。中国粮食生产功能区分为主产区、产销平衡区和主销区 (表 1)。

表 1 中国粮食生产功能区划分

Tab. 1 Distribution of the three functional grain areas in China

粮食生产功能区	省份
主产区	河北、内蒙古、吉林、黑龙江、辽宁、江苏、安徽、江西、山东、河南、湖北、湖南、四川
主销区	北京、天津、上海、浙江、福建、广东、海南
产销平衡区	山西、广西、贵州、云南、重庆、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆

注: 数据暂未含港澳台。

2.2 研究框架与理论支撑

根据农业可持续发展理论, 在保障农业生产能力和农民收入的基础上, 需要实现生态、经济和社会的协调发展。而非农化和非粮化作为耕地利用实践过程暴露出来的管理问题, 是农业生产方式转型的表现, 虽然可以在一定程度上带来经济效益, 但也会带来环境污染、生态破坏等问题, 甚至会影响农业生产的长期发展。此外, 根据农业生产方式理论^[31], 农业生产包括传统农业生产方式和现代农业生产方式, 非农化和非粮化是一种农业生产方式的转型。农业区位理论^[32]指农业生产围绕城市形成多个同心圆, 因其与中心城市的距离不同而引起生产基础和利润收入的地区差异, 该理论一定程度上表明了农业生产的布局方式和客观要求。综上所述, 农业生产方式理论、农业区位理论和农业可持续发展理论是将非农化和非粮化转化成科学问题的理论基础。需要从这些理论的角度出发, 科学认知非农化和非粮化的动态演变, 深入剖析驱动机制, 为实现农业可持续发展提供理论基础。

在驱动机制方面, 根据土地经济理论, 土地利用实际上是人与地、人与人之间互动的结果。同样地, 耕地非农化和非粮化现象也是由“人—地”和“人—人”之间的相互作用所驱动的, 同时受到自然、经济、社会、制度等多种因素的影响。在不同尺度下, 耕地非农化和非粮化现象的驱动因素也会有所不同, 但主要可以归纳为 3 类因素: 农户自身的主观因素、耕地的自然环境、以及由“人—地”互动关系所引发的社会经济因素。

根据分析框架 (图 1), 本文首先基于相关理论将耕地利用实践过程暴露的管理问题转为科学问题, 揭示非农化和非粮化 1980—2020 年的演变特征, 基于土地经济理论建立

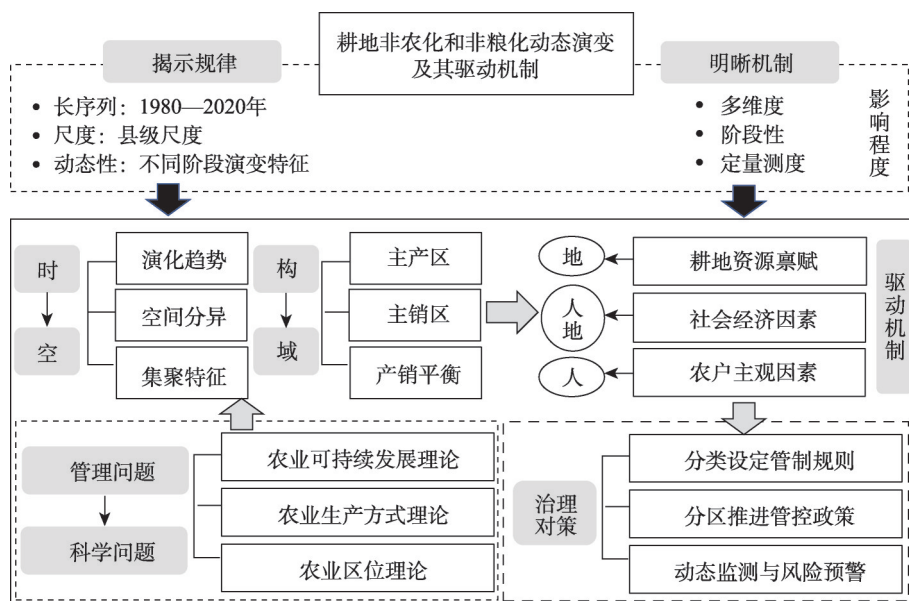


图1 耕地非农化、非粮化动态演变及其驱动机制分析框架

Fig. 1 The dynamic evolutions of cultivated land non-agricultural and non-grain and their driving mechanism analysis framework

驱动因素的指标体系,在此基础上量化单因子的影响程度及多因子交互作用,从而提出治理对策,促进农业可持续发展。

2.3 研究方法

2.3.1 空间自相关 地理要素普遍存在空间依赖性^[33]。空间自相关能够反映特定区域内非农化和非粮化在空间上集聚程度^[34],莫兰指数(Moran's I)是常用的测度指标。计算公式如下:

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: x_j 表示第 j 地区的观测值; n 表示县级单元总数; x_i 和 x_j 为第 i 个和第 j 个县的非农化或非粮化数值; \bar{x} 是所有区域的非农化或非粮化均值; w_{ij} 为二进制的邻接空间权值矩阵,当区域 i 与区域 j 相邻时 w_{ij} 为 1,当区域 i 与区域 j 不相邻时 w_{ij} 为 0。莫兰指数的取值范围为 $-1 \sim 1$,绝对值越大表明集聚强度越大。数值为正表明非农化、非粮化水平一致的区域存在集聚现象,数值为负表明水平相反的区域存在集聚现象,莫兰指数为 0 表明不存在空间自相关,某一区域的非农化和非粮化水平与相邻的区域无关。

2.3.2 核密度分析 非参数核密度估计(Kernel Density Estimation)利用概率密度曲线描述随机变量的分布形态^[20-21],已在诸多领域广泛应用^[35-36]。本文将研究时段分为 1980—2000 年、2000—2010 年、2010—2020 年 3 个阶段,选择高斯函数作为核函数,利用核密度估计得到不同阶段非农化和非粮化程度的概率密度函数,并绘制相应的概率密度曲线。

2.3.3 指标构建 土地利用变化是人地关系的外在表现,能够客观反映人类经济活动对自然生态系统的累积作用。同样,耕地非农化和非粮化也是人地关系交互作用的结果。尽

管不同尺度下非农化和非粮化的主导因子存在差异,变化机制也不尽相同,综合起来主要由耕地资源本底、社会经济及农户主观因素三方面驱动。

耕地资源和气候条件是农业生产的基础。中国呈现水热资源空间分布不匹配、耕地质量整体不高的特点,而作物对水热的需求和适应程度存在差异,导致了耕地用途和种植结构发生变化^[37]。地形起伏较大、气候适宜性低、土壤肥力及酸碱性限制的区域粮食产量较低,降低了农户种植粮食意愿,加剧被动非农化和非粮化现象。因此,本文选取地形起伏度、气候生产潜力、土壤侵蚀程度、土壤有机碳含量、土壤pH反映农业资源环境本底。

用地方式及种植策略差异产生的比较效益是非农化和非粮化形成的重要原因。受农村发展经济需求和经济效益驱使,主动非农化和非粮化倾向不利于粮食的可持续供应^[38]。城市化发展伴随着经济结构和人口结构的非农化,建设用地扩张和新兴产业均加剧了耕地非农化现象^[39]。同时,农业劳动力的外流导致耕地撂荒或改种劳动力投入低、经济价值高的速生杨、苗木^[6]。耕地流转后,单纯以经济效益为导向的种植决策加速了耕地非粮化^[40]。此外,居民生活水平的提高产生了多样的食物需求,也促使农户放弃种植粮食转而种植收益高的经济作物^[41]。因此,本文选取城镇化水平、地区生产总值、城乡人均可支配收入差距、农业比较效益和农业劳动力反映经济利益相关的驱动过程。

农业生产条件及基础设施会影响非农化和非粮化。粮食作物和非粮作物对机械化程度的要求存在差异,机械化水平的提高有利于大规模生产,因而推动种植结构的改变^[42]。农田水利建设是稳定粮食产量的重要保障,对极端灾害的防范能力会影响生产者的种植决策^[43]。因此,本文选取农业机械总动力和有效灌溉面积、和旱涝保收面积反映农业生产方式和生产效率。

政策因素会通过影响农业生产结构从而加剧非粮化,但政策因素较为抽象,且长序列数据获取受限。乡村振兴及工商资本下乡会直接影响农业种植结构调整,其中耕地经营规模和农村固定资产投资指标是土地制度的直接体现,因此本文选用这两个指标反映管理水平和政策制度。此外,农民个体的行为会影响其对生产方式的选择,主要包括经营收益、劳动力本身的流动及结构,因此本文将性别比、农业劳动力,农业比较效益纳入非粮化的驱动指标。

综上,非农化和非粮化驱动指标体系的构建需综合考虑系统性、典型化、动态性、科学性、可量化、可获取性原则,基于前人的研究并考虑数据的可获取性,本文从耕地的自然环境,社会经济因素以及农户自身的主观因素三方面出发,选取13个非农化指标及14个非粮化指标,识别非农化和非粮化的主要驱动因素(表2、表3)。

2.3.4 地理探测器 地理探测器是通过衡量空间异质性以检验特定因素解释力的统计模型,由基于风险、因素、生态和相互作用4个基础模块组成^[44],近年来被广泛应用于气候变化、生态工程和城市研究等领域^[46-48]。地理探测器的基础假设是,如果两个因子相关,它们具有相似的空间分布,在本文中,如果因子对非农化和非粮化有贡献,那么这个因子的空间分布将与非农化和非粮化空间分布一致。

地理探测器可以从定性和定量两方面检测影响因变量的独立因素,并确定因子之间的相互作用^[49]。本文拟利用地理探测器检测:①个体驱动因子对因子检测的解释力;②不同因素之间的交互作用。因子检测的公式如下:

$$q = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{h=1}^L n_h \sigma_h^2 \quad (2)$$

式中: q 是指标对非农化或非粮化的解释程度; h 为指标分级的数量; n_h 和 σ_h^2 分别是特

表 2 非农化驱动因子指标体系
Tab. 2 Indicator system of driving factor evaluation for non-agricultural

准则	维度	因子	描述	数据来源
自然环境	地形条件	地形起伏度(X1)	地形起伏度是区域海拔高度和地表切割程度的综合表征	参考文献[45]
	气候条件	气候生产潜力(X2)	最适气候状态下可能获得的最高单产	FAO (https://gaez.fao.org/)
	土壤质量	土壤侵蚀(X3)	单位面积和单位时段内被剥蚀并发生位移的土壤侵蚀量以土壤侵蚀模数表示	中国科学院资源环境科学数据中心 (http://www.resdc.cn)
		土壤有机碳含量(X4)	反映土壤养分状况, 土壤中各种正价态的含碳有机化合物	国家地球系统科学数据中心土壤分中心 (http://soil.geodata.cn)
		土壤 pH(X5)	不同作物对土壤酸碱性能要求存在差异, 粮食作物存在最适宜 pH 区间	国家地球系统科学数据中心土壤分中心 (http://soil.geodata.cn)
社会经济	生产条件	农业机械总动力(X6)	农、林、牧、渔业的各种动力机械的动力总和, 机械化程度高, 可以显著提高经济作物生产效率	国家统计局
		有效灌溉面积(X7)	地块比较平整, 有一定水源、灌溉设施配套, 在一般年景下当年能进行正常灌溉的农田面积	国家统计局
		旱涝保收面积(X8)	按一定设计标准建造水利设施以保证遇到旱涝灾害仍能高产稳产的农田的面积	国家统计局
	经济水平	城镇化水平(X9)	城镇人口占年末常住人口的比重	国家统计局
农户因素		地区生产总值(X10)	本地区所有常住单位在一定时期内生产活动的最终成果	国家统计局
		城乡人均可支配收入差距(X11)	城镇居民可支配收入减去农村居民人均纯收入	国家统计局
	经营收益	农业比较效益(X12)	农业收入占农林牧渔总产值的比重	国家统计局
	劳动力流动	农业劳动力(X13)	参加农业劳动的劳动力的数量, 外出务工会减少农业劳动力	国家统计局

表 3 非粮化驱动因子指标体系

Tab. 3 Indicator system of driving factor evaluation for non-grain

准则	维度	因子	描述	数据来源
自然环境	地形条件	地形起伏度(Y1)	地形起伏度是区域海拔高度和地表切割程度的综合表征	参考文献[45]
	气候条件	气候生产潜力(Y2)	最适气候状态下可能获得的最高单产	FAO(https://gaez.fao.org/)
	土壤质量	土壤侵蚀(Y3)	单位面积和单位时段内被剥蚀并发生位移的土壤侵蚀量以土壤侵蚀模数表示	中国科学院资源环境科学与数据中心(http://www.resdc.cn)
社会经济		土壤有机碳含量(Y4)	反映土壤养分状况, 土壤中各种正价态的含碳有机化合物	国家地球系统科学数据中心土壤分中心(http://soil.geodata.cn)
		土壤PH(Y5)	不同作物对土壤酸碱性要求存在差异, 粮食作物存在最适宜PH区间	国家地球系统科学数据中心土壤分中心(http://soil.geodata.cn)
		农业机械总动力(Y6)	农、林、牧、渔业的各种动力机械的动力总和, 机械化程度高, 可以显著提高经济作物生产效率	国家统计局
	生产条件	有效灌溉面积(Y7)	地块比较平整, 有一定水源、灌溉设施配套, 在一般年景下当年能进行正常灌溉的农田面积	国家统计局
		旱涝保收面积(Y8)	按一定设计标准建造水利设施以保证遇到旱涝灾害仍能高产稳产的农田的面积	国家统计局
农户因素	工商资本下乡	耕地经营规模(Y9)	农村居民家庭经营耕地面积反映农户耕种行为	国家统计局
		农村固定资产投资(Y10)	农村固定资产投资额, 反映工商资本对农村经济的投资情况	国家统计局
	消费需求的变化	恩格尔系数(Y11)	居民家庭中食物支出占消费总支出的比重, 反映消费结构的变化	国家统计局
		农业比较效益(Y12)	农业收入占农林牧渔总产值的比重	国家统计局
	经营收益	农业劳动力(Y13)	农林牧渔业劳动力(人), 参加农业劳动的劳动力的数量, 外出务工会减少农业劳动力	国家统计局
		劳动力流动		
	劳动力结构	性别比(Y14)	人口性别比(女性=100), 反映劳动力本身的结构变化	国家统计局

定层的样本数量和方差； n 和 σ^2 分别是整个区域的样本数量和方差。 q 的取值范围为 $[0, 1]$ ，取值越大表明解释度越强，当 $q = 0$ 时，驱动因子与非农化和非粮化无关，当 $q = 1$ 时，说明该驱动因子完全控制了非农化和非粮化的空间分异。

此外，利用交互作用检测器评估各指标之间的交互作用，通过比较交互作用和独立影响的 q 值，可以将因子之间的关系分为 5 类^[44]（表 4）。

表 4 解释变量之间的交互作用

Tab. 4 The interaction between variables

因子关系	交互结果
$q(X1 \cap X2) < \min(q(X1), q(X2))$	非线性减弱
$\min(q(X1), q(X2)) < q(X1 \cap X2) < \max(q(X1), q(X2))$	单因子非线性减弱
$q(X1 \cap X2) > \max(q(X1), q(X2))$	双因子增强关系
$q(X1 \cap X2) = q(X1) + q(X2)$	两因子独立
$q(X1 \cap X2) > q(X1) + q(X2)$	非线性增强

3 结果分析

3.1 非农化和非粮化空间演化特征

中国耕地非农化和非粮化呈现明显的空间分异。东北、华北和华南地区非农化较为严重，西北、西南以及东南沿海部分地区非粮化程度较高（图 2、图 3）。1980—1990 年耕地非农化程度最高，内蒙古部分县域较为严重，其中扎鲁特旗达到 2014.36 km²。2015—2020 年耕地非农化面积为 101873.16 km²，内蒙古、黑龙江、甘肃等省份的非农化程度显著高于周边省份。2015—2020 年有 68.57% 的县非农化速度低于 2000—2015 年，平均增速降低了 24.17%。整体上，中国耕地非农化呈扩大态势，但增幅逐渐减小，“胡焕庸线”以东的非农化程度较高，“非农”建设重心逐步向东南沿海区域转移，反映出人口及经济发展在其动态演化过程中的关键作用。

非粮化现象呈现由东北向西南逐渐加剧的空间格局，耕地非粮化程度较为严重的为西北、华东及华南地区。总体上，东北平原、华北平原等粮食主产区保持着较高的粮食种植水平，非粮化利用程度较低。而西北干旱地区、西南丘陵山区以及东南沿海地带耕地粮食播种面积占比相对较低，耕地非粮化趋势明显。1980 年以来，中国耕地种植结构非粮化变迁主要经历了 3 个阶段，2005 年之前为非粮化扩张阶段，非粮食作物播种面积大幅增加，种植结构发生显著变化。2005 年后进入稳定阶段，粮食播种面积占比下降趋势得到改善，2015 年后非粮化呈现下降态势。2015—2020 年非粮食作物播种比例为 29.51%，与 2010—2015 年相比下降 3.12%。宁夏、陕西和新疆非粮化趋势增强。部分粮食主产区的县域也呈现非粮化加剧的趋势，例如河南中牟县 2015—2020 年非粮化程度比 1980—1990 年高出 54.68%。1980—2000 年、2000—2010 年、2010—2020 年分别有 76.91%、55.96% 和 60.87% 的县域呈现非粮化加剧趋势，可见尽管耕地非粮化增量未得到有效遏制，但空间范围逐渐缩小。

从粮食生产功能区来看，粮食主产区非农化面积由 1980—1990 年的 245.94 km² 下降至 2015—2020 年的 43.66 km²，下降幅度为 82.25%（表 5）。主销区和产销平衡区的非农化程度分别下降 84.07%、79.73%，反映了生产功能区在分担粮食生产责任时，粮食面积底线的保障是维持口粮自给率的必要条件。粮食主产区非农化面积在 2000—2005 年呈现大幅下降，然而东北地区非农化较为严重，为粮食安全和可持续发展带来挑战，需要高度警惕非农化和非粮化导致的耕地“量减质退”。主产区非粮化程度由 1980—1990 年的 21.28% 下降至 2015—2020 年的 11.90%，而主销区仅下降 0.83%，产销平衡区非粮化程度基本不变。粮食生产功能区非粮化程度均呈现先增长后下降的趋势，但下降拐点时间存

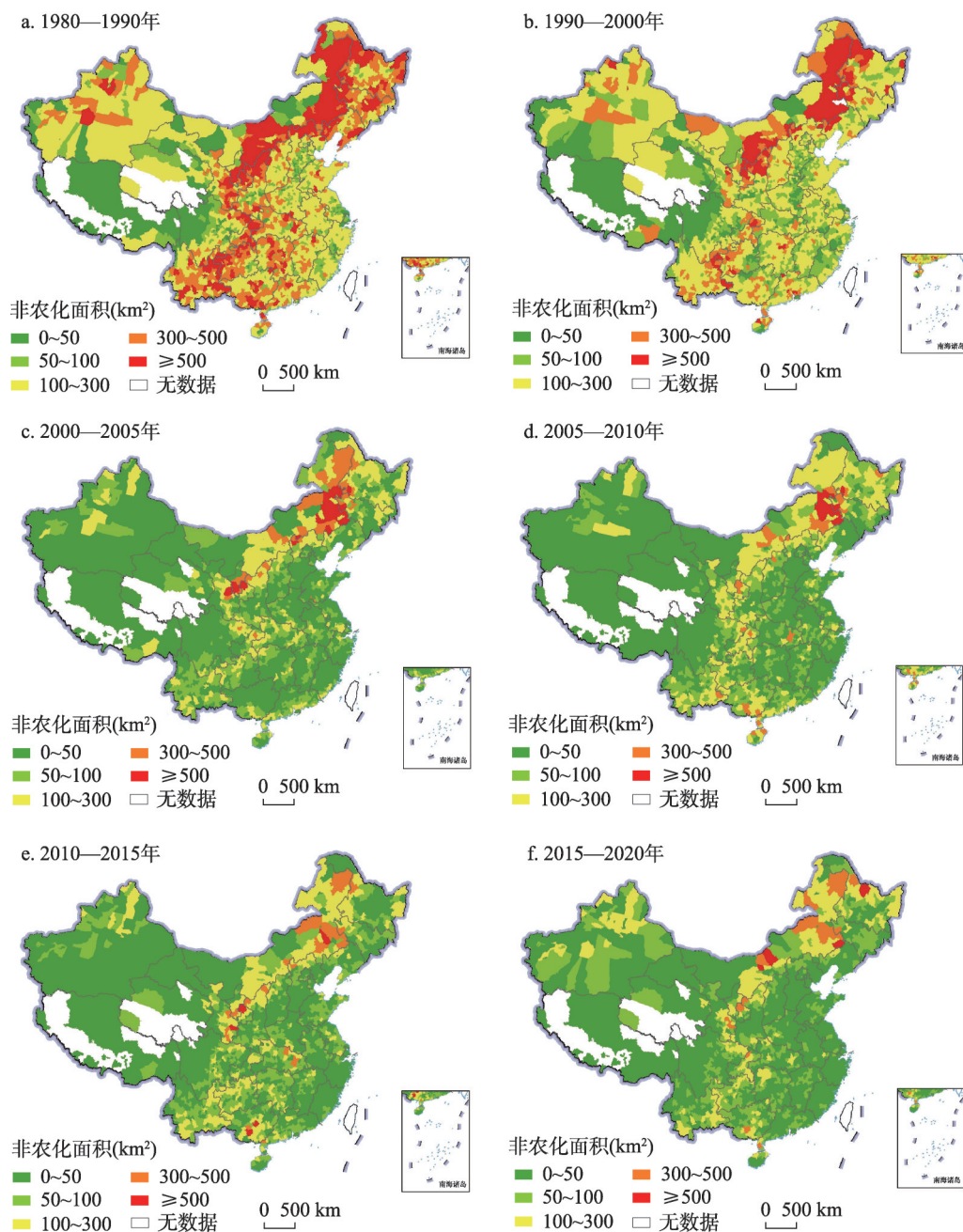


图2 1980—2020年中国县域耕地非农化现状空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of non-agricultural level during 1980-2020

在差异, 其中主销区、产销平衡区在2005—2010年达到峰值 (37.03%和31.85%), 主产区在2000—2005年达到峰值 (29.42%), 表明主产区较早关注耕地非粮化问题, 保持粮食播种面积稳中有增的态势。

空间自相关分析结果表明中国的非农化和非粮化具有空间聚集特征 (图4)。具体而言, 全国22.14%的县呈现出非粮化高—高集聚现象, 主要分布在新疆、湖南、广西和浙江等地区。另外, 52.26%的县呈现非粮化低—低集聚, 主要分布在东北地区 and 黄淮海平

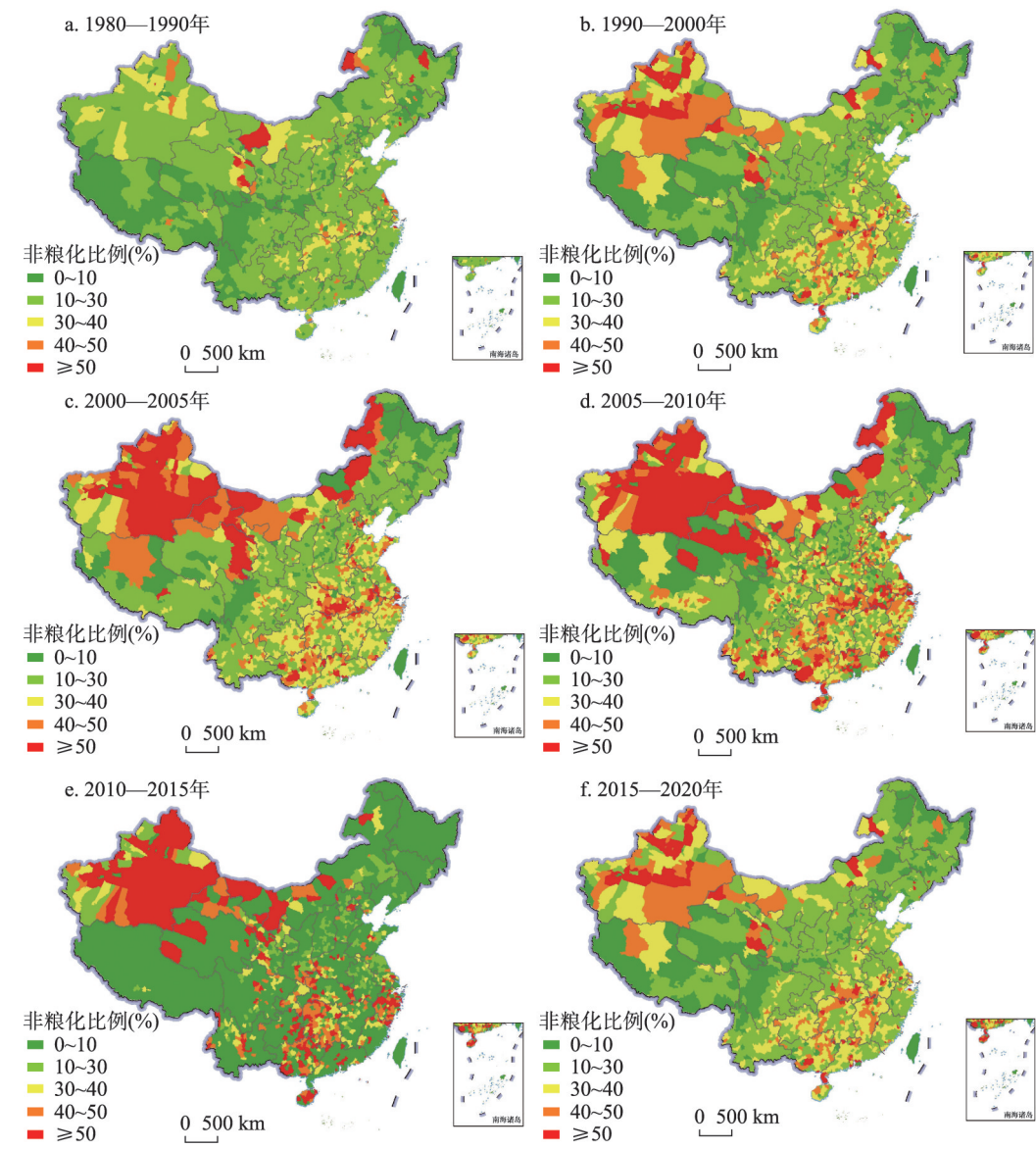


图3 1980—2020年中国县域耕地种植结构非粮化空间分布
Fig. 3 Spatial distribution of non-grain during 1980-2020

表5 1980—2020年中国粮食生产功能区非农化面积及非粮化占比
Tab. 5 Non-agricultural and non-grain status in China's three functional grain areas

类型	粮食产区	1980—1990年	1990—2000年	2000—2005年	2005—2010年	2010—2015年	2015—2020年
非农化 面积 (km ²)	主产区	245.94	192.10	67.70	61.10	57.09	43.66
	主销区	158.33	128.86	42.67	51.67	33.19	25.22
	产销平衡区	272.91	192.47	64.05	67.12	67.56	55.33
非粮化 占比 (%)	主产区	21.28	25.10	29.42	28.69	25.70	11.90
	主销区	21.08	29.45	35.11	37.03	35.77	20.25
	产销平衡区	17.55	23.72	28.93	31.85	30.53	17.02

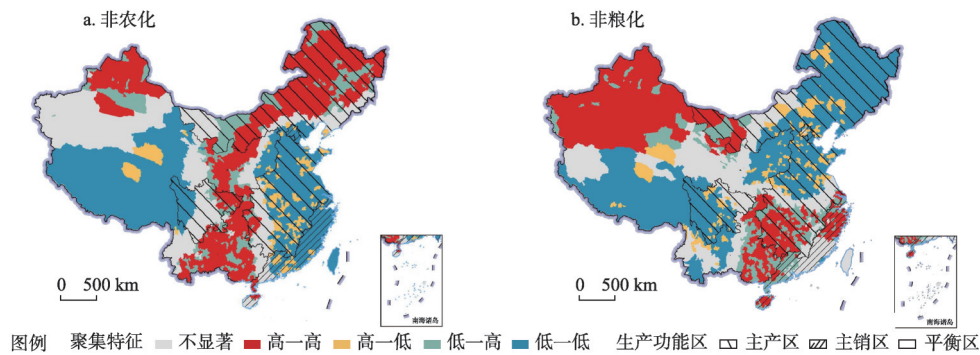


图4 2015—2020年中国县域耕地非农化和非粮化空间集聚图

Fig. 4 Spatial agglomeration of non-agricultural and non-grain in China's counties during 2015-2020

原，这与粮食主产区的分布基本一致。全国24.40%的县呈现高一高集聚，表明这些县的非农化水平较高且相互之间存在集聚现象。这些县主要分布在东北、华北、华中及华南地区，包括重庆、贵州、内蒙古、山西、黑龙江和北京等省份。另一方面，全国54.56%的县呈现低一低集聚，表明这些县的非农化水平相对较低且存在集聚现象，这些县主要分布在东南沿海及青藏高原地区。值得注意的是，尽管东南沿海地区的非农化总量不高，但其非农化耕地占总耕地面积的比例相对较高。非农化和非粮化在2000年和2010年后呈现出空间自相关减弱的趋势（表6），表明大规模连片的非农化和非粮化现象得到了缓解。Moran's I 在所有阶段均在 $p < 0.05$ 的显著性水平上显著，这说明非农化和非粮化空间分布符合地理学第一定律。这意味着需要加强区域联动管护方案，采取更加综合协调的方法防止耕地非粮化、遏制耕地非农化。

表6 1980—2020年中国非农化和非粮化空间分布全局莫兰指数

Tab. 6 Moran's I of the spatial distribution of non-agricultural and non-grain in China from 1980 to 2020

类型	年份	Moran's I	Z	p
非农化	1980—1990年	0.22	85.08	<0.001
	1990—2000年	0.22	87.67	<0.001
	2000—2005年	0.21	80.15	<0.001
	2005—2010年	0.22	86.32	<0.001
	2010—2015年	0.16	61.77	<0.001
	2015—2020年	0.19	73.34	<0.001
非粮化	1980—1990年	0.18	69.75	<0.001
	1990—2000年	0.31	120.13	<0.001
	2000—2005年	0.29	112.64	<0.001
	2005—2010年	0.23	89.98	<0.001
	2010—2015年	0.22	85.26	<0.001
	2015—2020年	0.22	86.12	<0.001

3.2 非农化和非粮化时间变化特征

从非粮化变化趋势来看，在大多数县域中，耕地非粮化速度 $< 5\%/a$ ，但在西北及西南地区，非粮化转移的速度逐渐加快（ $>10\%/a$ ）（图5）。1980—2000年间全国76.76%的县呈现小幅度增加趋势，非粮化变化速度的中值为 $0.48\%/a$ 。其中青海省治多县和曲麻莱县的非粮化增长每年分别为5.21%和11.98%。2000—2010年全国非粮化趋势中值为

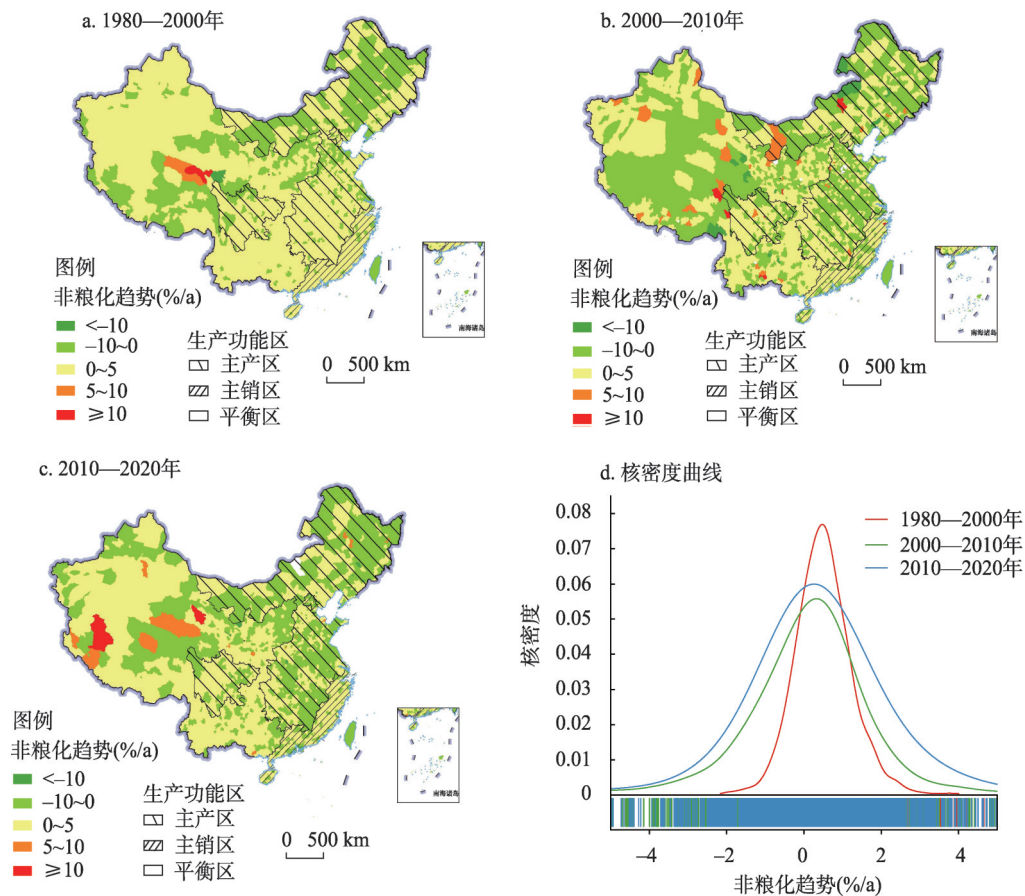


图5 1980—2020年中国非粮化趋势空间分布及核密度曲线

Fig. 5 Spatial distribution and kernel density curve of non-grain trend in China during 1980-2020

0.17 %/a，而小幅度增加比例下降至 54.56%，这意味着虽然非粮化现象有所扩大，但增速相对较缓和，且超过一半的县区得以保持相对稳定。不过在西藏、青海和甘肃地区非粮化现象正在逐渐加速，其中阿巴嘎旗、改则县和天峻县的增加幅度大于 10%。2010—2020 年非粮化趋势中值为 0.25%/a，全国有 56.59% 的县区出现了小幅度增加趋势，新疆、甘肃、内蒙古和西藏地区的非粮化现象加剧程度较大。1980—2020 年随着时间推移，非粮化呈现出“增长—平稳”的变化过程。核密度曲线位置整体呈现左移趋势，并且非粮化波峰存在变宽态势。此外，曲线峰值随着时间的推移先下降后上升，表明非粮化在县级尺度的异质性先增大后减小。

从不同粮食分区来看，尽管主产区、主销区和产销平衡区的非粮化均呈现先减弱再增强的变化趋势，但各功能区非粮化的变化幅度存在明显差异（表 7）。1980—2020 年主产区非粮化进程减缓，

表 7 中国粮食生产功能区非农化和非粮化变化趋势

Tab. 7 Non-agricultural and non-grain trends in China's three functional grain areas

类型	粮食产区	1980—2000 年	2000—2010 年	2010—2020 年
非农化 (km ² /a)	主产区	21.91	6.44	5.04
	主销区	2.92	4.72	14.36
	产销平衡区	6.19	6.60	23.43
非粮化 (%/a)	主产区	0.34	-0.43	0.41
	主销区	0.74	0.03	0.61
	产销平衡区	0.63	0.46	0.46

在2000—2010年甚至呈现下降趋势,反映了主产区农业生产仍以粮食作物为主。2010—2020年主销区非粮化增长速度分别为主产区和产销平衡区的1.49倍和1.33倍,表明经济发展的同时伴随着农业结构的转型。

中国的非农化程度在1980—2020年逐渐减弱。其中,在1980—2000年,中国非农化趋势为15.03 km²/a,县域非农化超过20 km²/a的县占比高达35.77%,超过30 km²/a的县占比高达17.69%,其中黑龙江、内蒙古、陕西、重庆、贵州、云南等省份较为突出。2000年后,非农化趋势得以缓解,2000—2010年仅为3.48 km²/a,县域非农化超过20 km²/a的县占比也相应地下降为4.43%,华南、华中地区的非农化趋势减弱。2010—2020年非农化趋势再次下降到了3.09 km²/a,县域非农化超过20 km²/a的县占比进一步减少至2.83%。可见,中国的非农化程度呈现出逐渐减弱的趋势,并且范围也在缩小(图6)。一定程度上证实了耕地“库兹涅茨曲线”假说,即当经济发展到一定程度,非农化受经济的影响会逐渐小,即非农化动态演化过程与经济发展存在倒“U”型关系^[27]。事实上,1980—2020年非农化趋势曲线逐渐左移,1980—2000年曲线的形态具有右拖尾特征,表明少数区域的非农化程度相对较高,呈现出“高值聚集”的现象。2000年后,这种趋势有所减缓,即多数区域的非农化速度在向平均值靠拢。核密度曲线的波峰(即非农化在某个程度最高点)变窄,说明不同地区之间的非农化差距在逐渐缩小。

粮食生产功能区的耕地非农化现象在各分区间存在明显差异,粮食主产区耕地非农化速度慢于主销区,主销区慢于产销平衡区。1980—2000年由于粮食主产区耕地面积基数较大,因而耕地面积减少的绝对值更大,2000年后主产区的非农化速度明显减缓,这

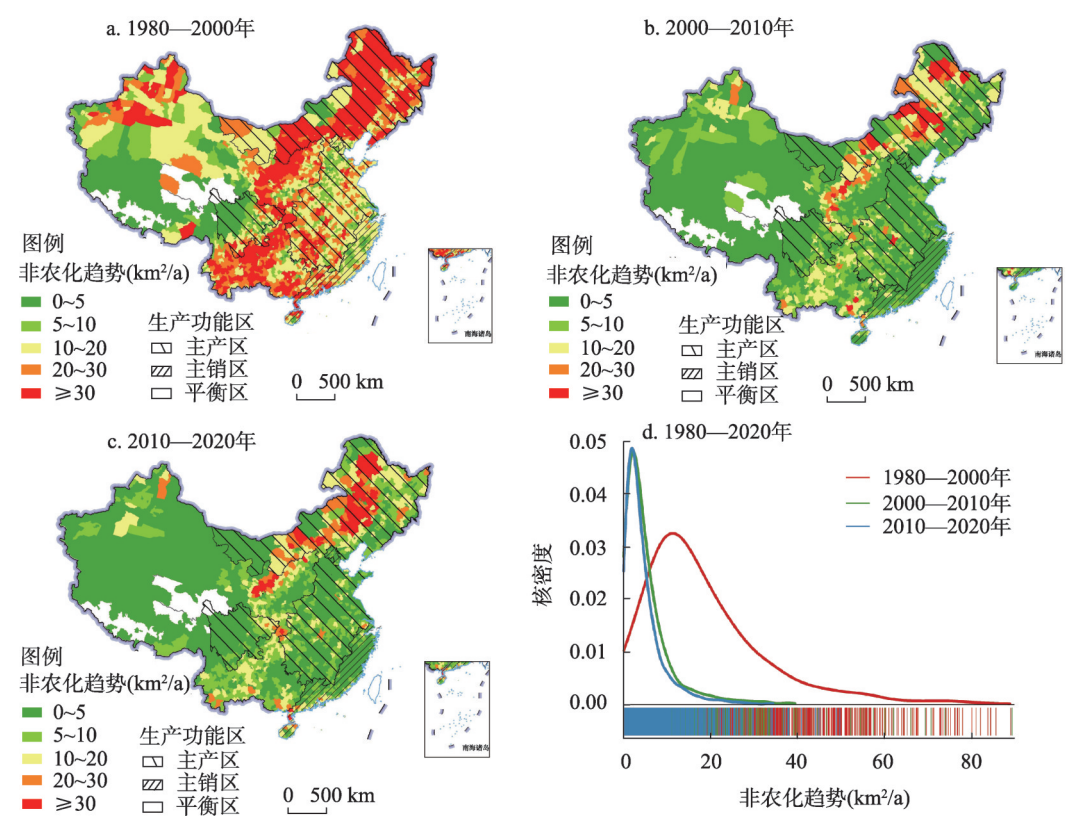


图6 1980—2020年中国非农化趋势空间分布及核密度曲线

Fig. 6 Spatial distribution and kernel density curve of non-agricultural trend in China during 1980-2020

一时期明确了不同地区粮食生产的责任,强化了由南粮北调转为北粮南运的粮食生产格局,在保护耕地、限制非农建设方面实行了严格的管制,一定程度上限制了主产区耕地向非农产业转移。与1980—2000年相比,2010—2020年主产区的非农化速度下降了77%,而产销平衡区非农化的增加速度分别是主销区和主产区的1.63倍和4.65倍。

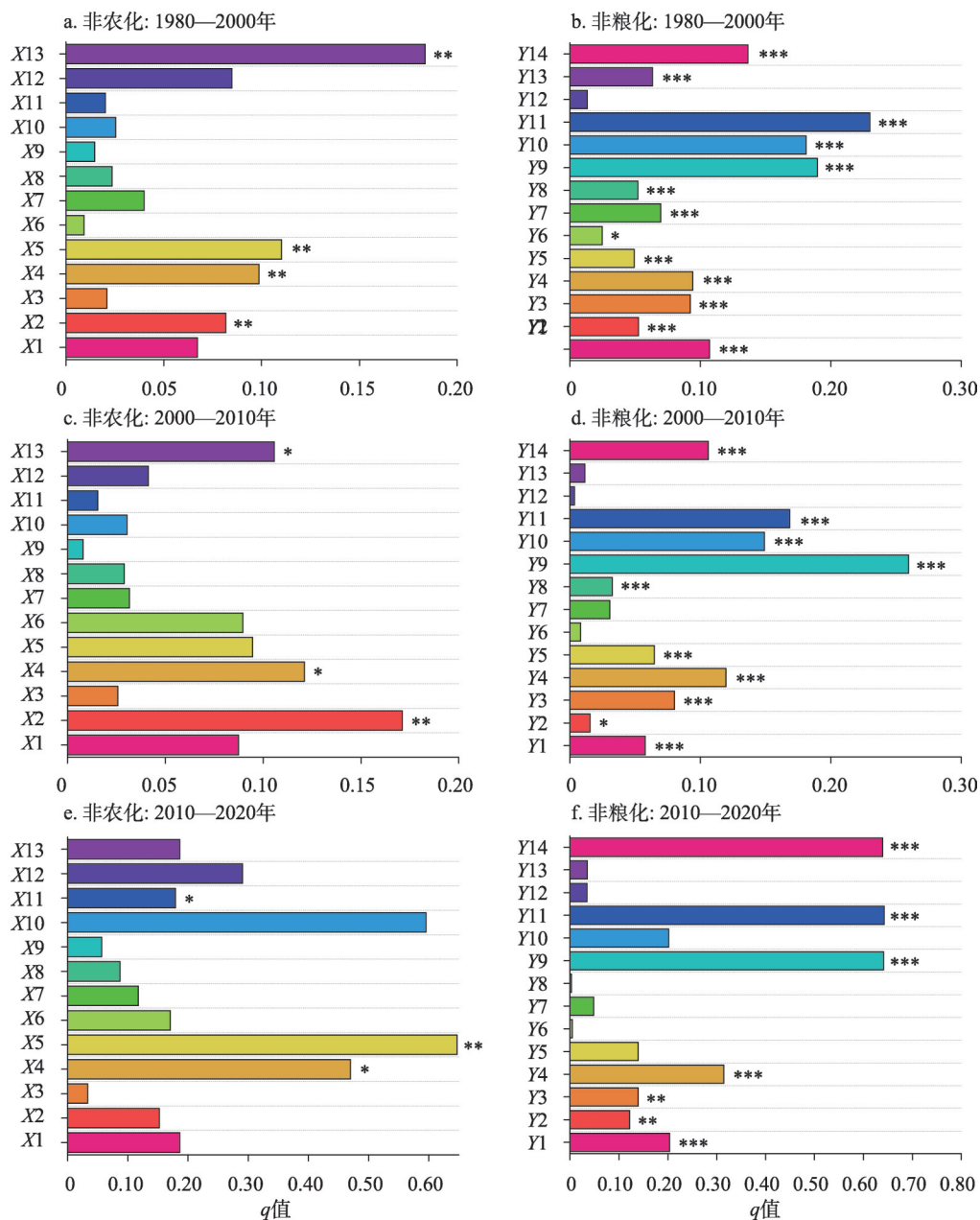
3.3 非农化和非粮化驱动机制分析

非粮化的驱动因子在不同阶段呈现差异。农业结构调整是导致粮食播种面积减少的主要原因,这可能与近年来乡村振兴战略的实施有关,新型农业经济主体和工商资本下乡,从事非粮化农业生产,从而威胁到粮食安全。同时,在指标上体现为耕地经营规模、农村固定资产投资对耕地非粮化的主导作用。在这一过程中,其他社会经济因素也发挥了重要作用,2000年之后经济因素对非粮化的解释力增加。例如,消费需求、经营收益等都会影响农民的作物选择和土地利用方式。随着土地流转市场的发展和农业比较效益的逐渐形成,非粮食作物的经济效益逐步显现。此外,劳动力对非粮化的解释力逐渐增加,反映了当人口结构失衡时,可能会出现劳动力短缺或者劳动力过剩的情况。这些变化会影响到该地区的农业生产结构,例如耕作技术的选择、农产品价格等方面。

1980—2020年社会经济是导致中国耕地非农化的首要驱动因素,而自然因素的驱动作用逐渐增强(图7)。其中,1980—2000年农业劳动力和农业比较效益对非农化的解释力分别为18.36%和8.48%。2000年后,自然因素对于耕地非农化的作用越来越重要,尤其是影响粮食生产的关键因子,例如气候生产潜力和耕地资源禀赋,而这些因素也反映了环境对于农业发展的重要性。2000—2010年气候生产潜力的解释力为17.11%,土壤有机质含量解释力为12.11%,加之城镇化发展浪潮(0.80%),导致耕地撂荒等现象加剧^[50],这一阶段农业劳动力仍是社会经济维度对非农化解释力最大的因子(10.57%)。2010—2020年,城乡经济发展不平衡,结构性矛盾逐渐突出,地区生产总值和农业比较效益逐渐成为耕地非农化主要因素。粮食价格倒挂导致农民种植粮食的意愿降低,城镇化对非农化的解释力由1980—2000年的1.47%增长至5.66%。总体而言,城乡经济发展不平衡、城乡收入差距扩大、粮食价格倒挂等因素都在推动着中国耕地非农化。

从各因子的交互效应来看,交互作用对非农化和非粮化的影响高于单因子影响程度,且表现为非线性增强(图8)。对于非粮化,自然条件和社会经济因子存在较强的交互作用,不同阶段因子之间的交互作用存在一定的差异,但普遍为地形、土壤因子叠加耕地经营规模、农村固定资产投资和恩格尔系数。农业劳动力、耕地土壤质量和经济发展程度对非农化的驱动存在交互作用。具体而言,1980—2000年农业劳动力与耕地质量的交互作用较强,这一时期农业生产主要依靠人力驱动,而耕地质量是影响产出的重要因素之一。2000年之后,随着技术的进步和现代化程度的提高,生产条件和耕地质量的交互作用对非农化具有一定的解释作用。近年来,随着经济的快速发展,城市扩张和工商业的增加导致部分质量不高的耕地被占用,主导交互作用因子为经济发展程度与耕地质量。

不同发展阶段驱动因素的差异是粮食功能区经济发展水平、自然条件等综合因素在耕地利用上的外部表现。城市化水平高的粮食主销区土地利用集约化程度高,与粮食安全、农业发展之间的矛盾相对突出,而粮食产销平衡区则存在着经济条件落后、土地利用较为粗放等问题^[51-52]。相较于其他功能区,粮食主产区农业生产水平较高,这有助于减缓耕地非农化和非粮化的趋势^[53]。当前,农业正在发生结构性变革,完善的产业链加快了区域比较优势 and 专业化格局的发展,推动了种植结构的非粮化调整。因此,不同地区的耕地利用和保护情况各异,需要采取差异化的耕地利用和保护政策提高耕地生产力和农业可持续发展之间的平衡。



注: 图a、c、e指标缩写对应表2; 图b、d、f指标缩写对应表3。

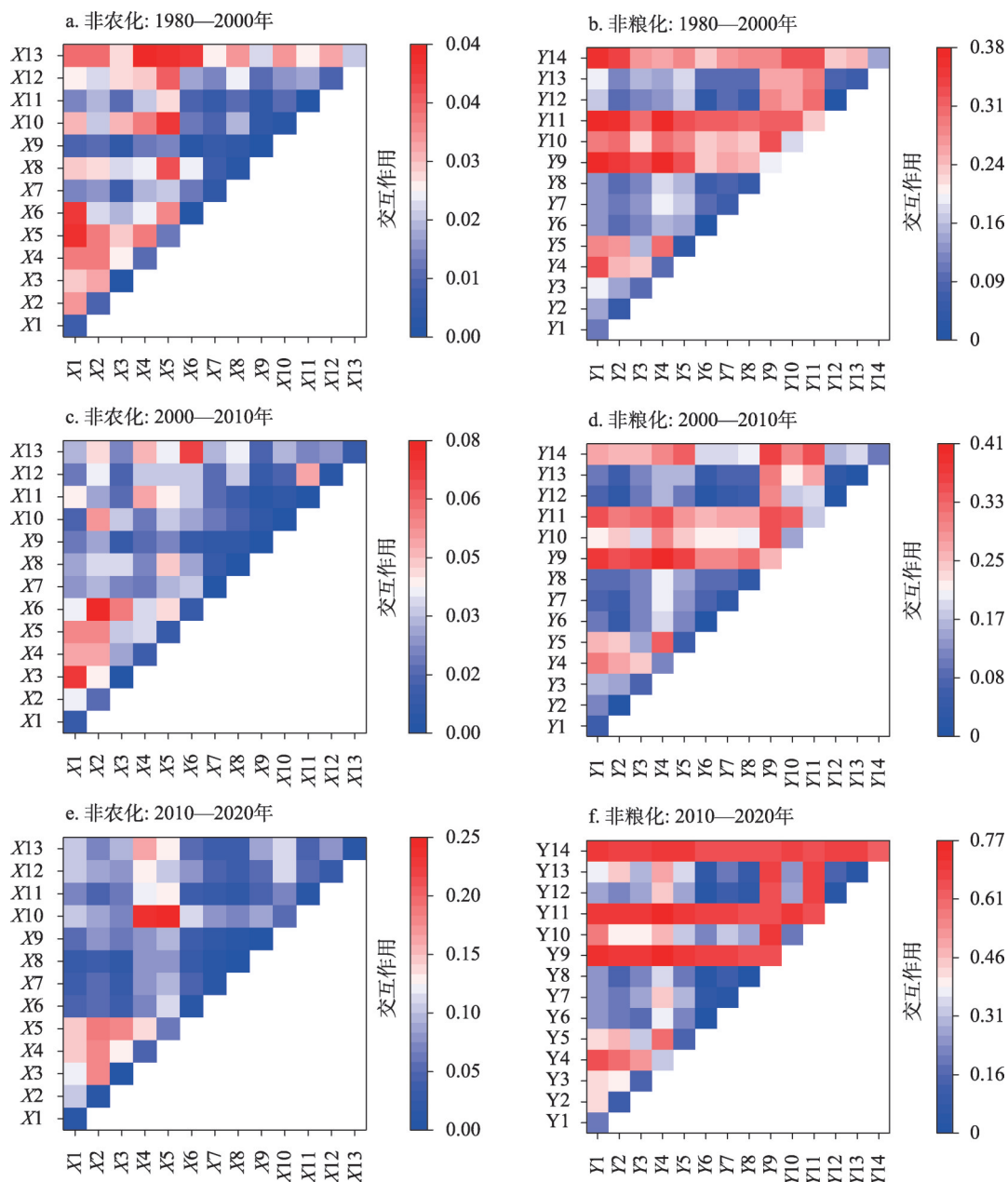
图7 2000—2020年不同时段各因子对中国非农化和非粮化的影响程度

Fig. 7 The impact of various factors on China's non-agricultural and non-grain from 2000 to 2020

4 讨论

4.1 非农化和非粮化演变特征及驱动因子比较

在保障粮食安全、确保粮食供给上升为国家重大战略任务, 遏制非农化、防止非粮化上升为重大政治责任的背景下, 本文对中国非农化和非粮化动态演变特征及其驱动因素进行系统且深入研究, 对推动农地非农化和非粮化管控意义重大。



注: 图a、c、e指标缩写对应表2; 图b、d、f指标缩写对应表3。

图8 不同时段各因子对中国非农化和非粮化的交互作用

Fig. 8 The interaction of various factors in China's non-agricultural and non-grain in different periods

研究发现, 1980—2020年中国非农化现象得到有效控制, 南方地区存在非粮化叠加风险, 这与中国近年来粮食生产重心北移的格局一致。从演变特征来看, 非农化和非粮化趋势在一定程度上相关, 但在发展速度和拓展方向存在差异。1980—2020年中国的非农化程度不断减弱, 而非粮化存在明显的阶段性特征。需要指出的是, 华东和西南地区虽然非农化趋势有所好转, 但非粮化趋势却仍十分明显。在拓展方向上, 非农化, 非农化是向外延伸, 而非粮化则涉及农村内部种植结构的变化。长远来看, 北方耕地利用和

灌溉强度高的区域粮食生产范围正在扩大^[54], 而南方降水充足、适宜性较高的区域却退出粮食主产区, 无序非农化和非粮化扩大了土地和用水强度较高地区的耕地比例, 对中国农业的可持续发展带来了潜在挑战^[55]。这表明区域经济水平、发展战略和地域功能的差异性, 决定了各地区之间耕地非农化和非粮化的规模和程度差异。

单因子分析和交互作用分析均表明社会经济是驱动非农化的首要因素, 这与已有的研究结果一致^[13, 15]。本文的分阶段结果显示, 2010—2020年城镇化水平对非农化的解释程度相较于1980—2000年增加了2.85倍。一方面, 城镇化过程导致耕地占用, 预计在2000年至2030年期间, 全球因城市扩张而损失的耕地的1/4将发生在中国^[56]。然而, 经济社会发展对建设用地的需求和土地非农化之间存在平衡点, 适度非农化阈值有助于提高城镇化与粮食安全的协调度^[57]。另一方面, 城镇化过程中农村青壮年劳动力由第一产业流向第三产业, 作为农业最主要的生产要素, 农业劳动力的老弱化导致耕地撂荒现象加剧^[58-59]。此外, 居民生活水平的提高产生了多样化的食物和营养需求, 也促使农户放弃种植粮食转而种植比较收益更高的水果、蔬菜等经济作物^[60]。自然和经济社会因素叠加, 导致不同地区各有差异。自然地理条件和经济发展水平地域分异显著, 不同地区发展战略和政策环境也各不相同, 导致不同区域之间耕地非农化和非粮化类型和规模的差异。西北、西南等边远山区和经济落后地区由于地形、水源限制等不适宜规模化经营, 加之农业生产要素短缺, 耕地被动撂荒现象较多^[61-62]。经济发达地区受农村发展和经济效益驱动, 地方政府和农民往往愿意主动调整农业种植结构、改变土地利用方式, 发展耕地多功能利用^[63-64]。尤其在气候变化加剧背景下, 西北、江淮等地区旱情严重, 影响农户种植粮食意愿, 耕地撂荒明显, 加速驱动耕地向非农化和非粮化转变^[65]。

4.2 政策建议

在中国粮食供需紧平衡态势下, 本文结合相关结果提出以下政策建议:

(1) 科学划分非农化和非粮化类别, 分类设定管制规则和补贴机制。粮食生产格局演变是自然、经济、社会等多重因素长期综合作用的结果, 中国耕地非农化和非粮化存在显著的空间差异性特征, 需要根据粮食生产功能区差异, 构建长效化、区域化的治理方案。系统梳理各种耕地非粮化行为, 根据对耕作层的破坏及其粮食生产能力恢复的难易程度, 以及对耕地安全的影响程度, 分门别类地进行类别划分, 明确每个类别的确切内涵与划分标准。在明确非粮化类别的基础上, 制定差别化管制措施与处置办法。如, 对于类似挖塘养鱼彻底破坏耕作层的行为, 应严格禁止并责令其恢复原状; 对于会带走大量表土或破坏土壤理化特征、严重影响粮食生产能力的行为, 应严格控制并制定相应的土壤保护措施; 对于有利于恢复耕地地力的耕地轮作种植行为, 则应有计划地给予适当鼓励。对于粮食主销区、产销平衡区和主产区需要实行差异化粮食补贴政策。同时, 逐步构建不同区域的粮食生态补偿机制。通过粮食主销区的财政转移支付支持粮食外销区, 让其有更大的粮食生产积极性并得到相应的经济补偿, 从而保障中国粮食安全。

(2) 合理识别非农化和非粮化成因, 分区推进管控政策。深入识别不同区域非农化和非粮化主控因素及其形态特征, 据此分区制定管理政策。应高度重视粮食主产区耕地非粮化趋势, 严防任何形式的耕地非粮化。加强生态脆弱区农田基础设施建设, 完善干旱区水利设施, 推广高效节水灌溉, 加大丘陵山区农田防护林、农业机械化投入, 减少资源环境限制, 促进土地规模化经营。科学评估非农化和非粮化的综合风险等级分布, 适当鼓励经济发达地区农业种植结构调整, 充分利用耕地资源, 发展乡村产业, 提高农民收入, 实现乡村振兴。

(3) 加强动态监测与风险预警, 确保非农化和非粮化可逆、可控。探索实行省、市、

县、乡、村多级联动、空间全覆盖的耕地保护网格化跟踪监管。充分运用卫星遥感影像等信息技术手段,结合实地调查,对全国耕地非农化和非粮化的数量、质量、分布等进行全方位科学评估,建立综合评价、动态监测的耕地非农化和非粮化风险预警平台。通过动态监测和风险预警,确保耕地非农化和非粮化始终在警戒线以下,非粮化耕地可以随时重新播种粮食作物。

(4) 以“党政同责”为抓手,加强责任监督与考核。健全责任考核机制,将防止耕地非农化和非粮化,稳定粮食生产列入地方政府党政主要负责同志政绩考核和离任审计事项,将耕地质量保护提升、粮食种植面积和产量保障、高标准农田建设等纳入政绩考核范围,切实提高粮食主产区保障粮食安全的动力,提升主销区和产销平衡区保供的危机感。进一步完善土地管理相关法律和制度,明晰责任主体,压实土地用途管制责任。

4.3 研究展望

本文从多时段识别了县级尺度非农化和非粮化的时空分异和驱动机制,弥补了大尺度、长序列研究的不足。为今后更全面、系统地揭示机制、实施管控提供理论依据。尽管非粮食作物播种比例并不等同于耕地非粮化生产类型,但其变化能在一定程度上反映非粮化的整体态势,能够从宏观尺度上反映中国非粮化的整体态势,但其无法进一步反映耕地内部结构的变化和非粮化扩张的空间格局,后续有待结合遥感数据对非粮化数量、类型、空间分布等进行更深入的分析。同时,在农业转型升级和可持续发展的背景下,非农化和非粮化的定义在不断更新。具体而言,耕地非农化的传统定义主要强调耕地非农化是指将耕地转变为非农用地的过程。新时期耕地非农化不仅是耕地利用结构的调整,还是农业生产方式的转型,非农化包括耕地向城市或工业、服务业部门的转移,还包括耕地转为林地、草地等其他农用地及农业设施建设用地,例如绿化造林、城乡绿化建设、扩大自然保护区占用的耕地。近年来中国粮食需求端正在发生重大变化,城乡居民饮食消费已实现由“吃得饱”向“吃得好”的历史性转变,食物结构呈现多源化、营养化的特点,而非粮化能够增加蔬菜、水果等食物的供给,一定程度上有利于居民膳食结构优化和增强粮食利用水平。因此,从不同角度考虑(供给侧、需求侧),非粮化会产生不同的粮食安全效应,非粮化政策中的“粮”应从本意的传统粮食(谷类、薯类、豆类)延伸扩展到食物,以准确评估非粮化对不同层次粮食安全的影响程度。

5 结论

非农化和非粮化演变特征及其驱动机制的识别是稳定粮食生产、保障粮食安全的重要内容,同时也是区域治理非农化和非粮化的科学依据。破解非农化和非粮化难题成为新时期国家粮食安全战略的重要内容。本文以阶段性演化为切入视角,揭示了1980—2020年中国县域尺度非农化和非粮化状态及动态演变特征,揭示非农化和非粮化的主要驱动因子。主要得到以下结论:

(1) 中国非农化和非粮化具有明显的空间聚集效应,分别有22.14%、24.40%的县呈现高一高集聚,“胡焕庸线”以东的非农化程度较高,东南沿海地区的非农化程度在2000年后逐渐减弱。非粮化现象呈现由东北向西南逐渐加剧的空间格局,且1980年以来呈现逐步扩大的态势。

(2) 1980—2020年非农化程度减弱且范围缩小,2010—2020年非农化平均速度为 $3.09 \text{ km}^2/\text{a}$,较1980—2000年趋势减弱79.40%。非粮化经历了“增长—平稳”的变化过程,2005年之前为非粮化扩张阶段,2005年后进入稳定阶段,2015年后非粮化呈现下降态势。

(3) 粮食生产功能区的耕地非农化和非粮化现象在各分区间存在明显差异, 1980—2020年主产区非粮化进程减缓, 在2000—2010年甚至呈现下降趋势, 而2010—2020年主销区非粮化增长速度分别为主产区和产销平衡区的1.49和1.33倍。粮食主产区耕地非农化速度慢于主销区, 主销区慢于产销平衡区。与1980—2000年相比, 2010—2020年主产区的非农化速度下降了77%, 而产销平衡区非农化的增加速度分别是主销区和主产区的1.63倍和4.65倍。

(4) 非农化和非粮化的主要驱动因子随发展阶段而异。耕地资源禀赋是导致非粮化的基础原因, 农民的逐利行为是决定耕地非粮化根本原因, 且土壤质量、地形因子与社会经济交互作用较为显著。农业劳动力为非农化的显著影响因子, 城镇化对非农化的解释力逐渐增强。

参考文献(References)

- [1] Wang Wenlong. The debate on the advantages and disadvantages of industrial and commercial capital going to the countryside: Based on the perspective of interest game. *Reform of Economic System*, 2002(1): 88-94. [王文龙. 工商资本下乡利弊之争: 基于利益博弈的视角. *经济体制改革*, 2002(1): 88-94.]
- [2] Liu Yansui. Urban and rural integration and rural revitalization in the new era of China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 637-650. [刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴. *地理学报*, 2018, 73(4): 637-650.]
- [3] Liang Xinyuan, Jin Xiaobin, Sun Rui, et al. Resilient space for arable land conservation in China under multi-scenario food security bottom-line constraints. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(3): 697-713. [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. *地理学报*, 2022, 77(3): 697-713.]
- [4] Cao Yu, Li Guoyu, Wang Jiayi, et al. Systematic cognition and research framework of arable land non-food: From food security to multi-dimensional security. *China Land Science*, 2022, 36(3): 1-12. [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(3): 1-12.]
- [5] Zhang Qian. Investigation report on "non-grain" occupation of basic farmland in Zhoucun district, Zibo city [D]. Chongqing: Southwest University, 2022. [张倩. 淄博市周村区基本农田非粮化占用问题调查报告[D]. 重庆: 西南大学, 2022.]
- [6] Mi Shengyuan, Tan Xuelan, Tan Jieyang, et al. Analysis on influencing factors of rice acreage evolution in Dongting Lake area in recent 30 years. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(10): 2499-2510. [米胜渊, 谭雪兰, 谭杰扬, 等. 近30年来洞庭湖地区水稻种植面积演变的影响因素分析. *自然资源学报*, 2020, 35(10): 2499-2510.]
- [7] Liu Shaokun, Wang Jiajia, Lin Shugao, et al. Spatial characteristics and migration path of cultivated land non-agricultural in Guangxi border region. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(10): 162-173. [刘少坤, 王嘉佳, 林树高, 等. 广西边境地区耕地非农化的空间特征与迁移路径. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(10): 162-173.]
- [8] Zhang Yingshi, Feng Yanfen, Wang Fang, et al. Spatio-temporal differentiation of arable land and its driving mechanism in Guangdong Province. *Resources Science*, 2022, 44(3): 480-493. [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(3): 480-493.]
- [9] Liu Z H, Yang P, Wu W B, et al. Spatiotemporal changes of cropping structure in China during 1980-2011. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(11): 1659-1671.
- [10] Zhou Huailong. How to get out of the "non-grain" dilemma of land transfer. *Land and Resources*, 2014(8): 24-25. [周怀龙. 如何走出土地流转非粮化困局. *国土资源*, 2014(8): 24-25.]
- [11] Du Ting, Zhu Daolin. Spatio-temporal evolution and macro mechanism of land transfer price in China. *Resources Science*, 2018, 40(11): 2202-2212. [杜挺, 朱道林. 中国土地流转价格时空演化与宏观机制研究. *资源科学*, 2018, 40(11): 2202-2212.]
- [12] Liu Changchang, Deng Chuxiong, Li Zhongwu, et al. Spatial pattern evolution and influencing factors of rural non-agricultural land in typical suburban counties: A case study of Xiangtan county, Hunan province. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(11): 253-264. [刘唱唱, 邓楚雄, 李忠武, 等. 典型城郊县乡村土地非农化空间格局演变及影响因素研究: 以湖南省湘潭县为例. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(11): 253-264.]
- [13] Cheng Xianbo, Liu Qiong, Tao Yu, et al. Characteristics and mechanism of arable land ungrain in rapid urbanization area. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(10): 172-182. [程宪波, 刘琼, 陶宇, 等. 快速城镇化地区

- 的耕地非粮化特征及其机理. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(10): 172-182.]
- [14] Chang Yuanyuan, Liu Junna, Zhang Qi, et al. Spatial pattern differentiation of non-grain cultivated land in main grain producing areas and its causes. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(4): 817-826. [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. 农业资源与环境学报, 2022, 39(4): 817-826.]
- [15] Zhang Bailin, Zhang Fengrong, Qu Baode, et al. The degree difference and driving force of rural non-agricultural industrialization in Yishui county, Shandong province. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(6): 1008-1021. [张佰林, 张凤荣, 曲宝德, 等. 山东省沂水县农村非农化程度差异及驱动力. 地理学报, 2015, 70(6): 1008-1021.]
- [16] Hao Haiguang, Li Xiubin, Tan Minghong, et al. Study on farmers' crop selection mechanism in the intercropping zone: A case study of Taiwusi Banner, Inner Mongolia. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(7): 1107-1118. [郝海广, 李秀彬, 谈明洪, 等. 农牧交错区农户作物选择机制研究: 以内蒙古太仆寺旗为例. 自然资源学报, 2011, 26(7): 1107-1118.]
- [17] Chen Hang, Tan Yongzhong, Deng Xinyu, et al. Research progress and prospect of information acquisition methods of abandoned farmland. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(23): 258-268. [陈航, 谭永忠, 邓欣雨, 等. 撂荒耕地信息获取方法研究进展与展望. 农业工程学报, 2020, 36(23): 258-268.]
- [18] Liu C, Zhang Q, Tao S Q, et al. A new framework to map fine resolution cropping intensity across the globe: Algorithm, validation, and implication. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 251: 112095. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112095.
- [19] Chen Fu, Liu Junna, Chang Yuanyuan, et al. Spatial pattern differentiation and driving mechanism of non-grain arable land in China. *China Land Science*, 2021, 35(9): 33-43. [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(9): 33-43.]
- [20] Wei Min. Study on the scale of farmers' transfer to cultivated land and the influencing factors of planting decision [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2017. [魏敏. 农户转入耕地规模及其种植决策的影响因素研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2017.]
- [21] Huang Zhonghua, Du Xuejun. Farmers' non-farming, interest awakening and homestead transfer: Based on the questionnaire survey and orderly Logit model of Zhejiang farmers. *China Land Science*, 2011, 25(8): 48-53. [黄忠华, 杜雪君. 农户非农化、利益唤醒与宅基地流转: 基于浙江农户问卷调查和有序Logit模型. 中国土地科学, 2011, 25(8): 48-53.]
- [22] Long H L, Tang G P, Li X B, et al. Socio-economic driving forces of land-use change in Kunshan, the Yangtze River Delta economic area of China. *Journal of Environmental Management*, 2007, 83(3): 351-364.
- [23] Cui Ningbo, Dong Jin. Food production security in major producing areas: Status, challenge and guarantee path. *Problems in Agricultural Economy*, 2021(7): 130-144. [崔宁波, 董晋. 主产区粮食生产安全: 地位、挑战与保障路径. 农业经济问题, 2021(7): 130-144.]
- [24] Long Hualou. On land consolidation and rural space reconstruction. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(8): 1019-1028. [龙花楼. 论土地整治与乡村空间重构. 地理学报, 2013, 68(8): 1019-1028.]
- [25] Qi Yuan, Li Yaoyao, Zhu Daolin. Research on the non-grain of cultivated land from the perspective of agricultural land capitalization. *China Land Science*, 2021, 35(8): 47-56. [戚渊, 李瑶瑶, 朱道林. 农地资本化视角下的耕地非粮化研究. 中国土地科学, 2021, 35(8): 47-56.]
- [26] Zhang Huizhong, Song Wen, Zhang Wenxin, et al. Spatial differentiation and influencing factors of cultivated land "non-grain" in Shandong province. *China Land Science*, 2021, 35(10): 94-103. [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.]
- [27] Yang J E, Huang X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8): 3907-3925.
- [28] Zhu Daolin. The economic mechanism and governance path of farmland "non-grain". *China Land*, 2021(7): 9-11. [朱道林. 耕地“非粮化”的经济机制与治理路径. 中国土地, 2021(7): 9-11.]
- [29] Kong Xiangbin. Problems, causes and countermeasures of "non-grain conversion" of cultivated land. *China Land*, 2020 (11): 17-19. [孔祥斌. 耕地非粮化问题、成因及对策. 中国土地, 2020(11): 17-19.]
- [30] Zhang Ouxiang, Jiang Changyun. Analysis on the difference of "non-grain conversion" of different types of farmers to agricultural land. *Research of Finance and Trade*, 2016, 27(4): 24-31, 67. [张藕香, 姜长云. 不同类型农户转入农地的“非粮化”差异分析. 财贸研究, 2016, 27(4): 24-31, 67.]
- [31] Yu Jinfu. Marx and Engels' theory of agricultural production mode and its practical significance. *Economic Research Guide*, 2011(30): 16-18. [于金富. 马克思恩格斯农业生产方式理论及其现实意义. 经济研究导刊, 2011(30): 16-18.]
- [32] Tu Neng, Wu Hengkang. The Relationship between Isolated Countries and Agriculture and National Economy. Beijing:

- The Commercial Press, 1986. [屠能, 吴衡康. 孤立国同农业和国民经济的关系. 北京: 商务印书馆, 1986.]
- [33] Anselin L. *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 1988.
- [34] Anselin L, Bera A K, Florax R, et al. Simple diagnostic tests for spatial dependence. *Regional Science and Urban Economics*, 1996, 26(1): 77-104.
- [35] Chen Minghua, Zhang Xiaomeng, Liu Yuxin, et al. The dynamic evolution and trend prediction of green TFP growth: An empirical study based on five major urban agglomerations in China. *Nankai Economic Research*, 2020(1): 20-44. [陈明华, 张晓萌, 刘玉鑫, 等. 绿色TFP增长的动态演进及趋势预测: 基于中国五大城市群的实证研究. 南开经济研究, 2020(1): 20-44.]
- [36] Liu Y J, Zhang J, Qin Y. How global warming alters future maize yield and water use efficiency in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 160: 120229. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120229.
- [37] Ma Runjia. Climate potential and planting suitability analysis of major crop growing areas in China [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2017. [马润佳. 我国作物主要种植区气候生产潜力及种植适宜性分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2017.]
- [38] Li Xinyu, Fang Bin, Li Yi, et al. Spatiotemporal coupling evolution and regional regulation of grain-tillage value ratio and planting structure in China. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(11): 2721-2737. [李欣宇, 方斌, 李怡, 等. 中国粮耕价值比与种植结构时空耦合演化及分区调控. 地理学报, 2022, 77(11): 2721-2737.]
- [39] Ge Shishuai, Zeng Gang, Yang Yang, et al. Coupling relationship and spatial characteristics of ecological civilization construction and urbanization in the Yellow River Economic Belt. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(1): 87-102. [葛世帅, 曾刚, 杨阳, 等. 黄河经济带生态文明建设与城市化耦合关系及空间特征研究. 自然资源学报, 2021, 36(1): 87-102.]
- [40] Liang Xinyuan, Jin Xiaobin, Sun Rui, et al. Elastic space of arable land protection in China under the constraint of multi-scenario grain security bottom line. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(3): 697-713. [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. 地理学报, 2022, 77(3): 697-713.]
- [41] Ren Dapeng, Peng Bo. Research on the legal regulation of preventing farmland from becoming "non-grain". *China Land Science*, 2022, 36(7): 1-9. [任大鹏, 彭博. 防止耕地非粮化的法律规制研究. 中国土地科学, 2022, 36(7): 1-9.]
- [42] Liu Hang, Zhang Liqin. Will the transfer of agricultural land lead to the utilization of agricultural land "non-grain"? Empirical analysis based on the plot level. *Rural Economy*, 2020(11): 45-53. [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. 农村经济, 2020(11): 45-53.]
- [43] Liu Litao, Liu Xiaojie, Lun Fei, et al. Research on China's food security under global climate change. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(6): 927-939. [刘立涛, 刘晓洁, 伦飞, 等. 全球气候变化下的中国粮食安全问题研究. 自然资源学报, 2018, 33(6): 927-939.]
- [44] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 107-127.
- [45] You Zhen, Feng Zhiming, Yang Yanzhao. Chinese topographic relief kilometer grid dataset. *Journal of Global Change Data*, 2018, 2(2): 151-155. [游珍, 封志明, 杨艳昭. 中国地形起伏度公里网格数据集. 全球变化数据学报, 2018, 2(2): 151-155.]
- [46] Dong Y H, Peng F L, Bao Z H, et al. Identification of the spatial distribution pattern and driving forces of underground parking space based on multi-source data: A case study of Fuzhou city in China. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 72: 103084. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103084.
- [47] Peng W F, Kuang T T, Tao S. Quantifying influences of natural factors on vegetation NDVI changes based on geographical detector in Sichuan, western China. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 233: 353-367.
- [48] Wu W Y, Zhang J, Sun Z Y, et al. Attribution analysis of land degradation in Hainan Island based on geographical detector. *Ecological Indicators*, 2022, 141: 109119. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109119.
- [49] Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geoprobe: Principles and prospects. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134. [王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.]
- [50] Li Yuling, Ma Wenqiu, Jiang Guanghui, et al. The extent of farmland abandonment and its impact on grain yield in major grain-producing areas of China. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1439-1454. [李雨凌, 马雯秋, 姜广辉, 等. 中国粮食主产区耕地撂荒程度及其对粮食产量的影响. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1439-1454.]
- [51] Cong Shengmei. Research on the benefit compensation mechanism in major grain production areas [D]. Beijing: China Agricultural University, 2016. [丛胜美. 粮食主产区利益补偿机制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.]

- [52] Song Ge, Bai Xiaoyan, Gao Jia. Spatial distribution characteristics of negative external benefits of non-grain cultivation in grain production and marketing balance area. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(1): 349-355. [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. *水土保持研究*, 2018, 25(1): 349-355.]
- [53] Luo Haiping, Wang Jiacheng, Hu Xueying, et al. Spatio-temporal differences of food security level in food functional areas and diagnosis of obstacles. *Agricultural Economics and Management*, 2023, 78(2): 23-34. [罗海平, 王佳铨, 胡学英, 等. 我国粮食功能区粮食安全水平的时空差异及障碍诊断. *农业经济与管理*, 2023, 78(2): 23-34.]
- [54] Yan H M, Liu J Y, Huang H Q, et al. Assessing the consequence of land use change on agricultural productivity in China. *Global and Planetary Change*, 2009, 67(1/2): 13-19.
- [55] Zuo L J, Zhang Z X, Carlson K M, et al. Progress towards sustainable intensification in China challenged by land-use change. *Nature Sustainability*, 2018, 1(6): 304-313.
- [56] d'Amour C B, Reitsma F, Baiocchi G, et al. Future urban land expansion and implications for global croplands. *PNAS*, 2017, 114(34): 8939-8944.
- [57] Fang Fang, Liu Yansui, Long Hualou, et al. Research on moderate non-agricultural land in China's Bohai Rim. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(6): 889-897. [方方, 刘彦随, 龙花楼, 等. 中国环渤海地区县域土地适度非农化研究. *自然资源学报*, 2013, 28(6): 889-897.]
- [58] Cheng Xiantong. Study on the influence of rural labor structure on farmland abandonment [D]. Chongqing: Southwest University, 2020. [程先同. 农村劳动力结构对耕地撂荒的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.]
- [59] Zhang Yingnan, Long Hualou, Ma Li, et al. Progress in research on urban-rural relations and its implications for rural revitalization. *Geographical Research*, 2019, 38(3): 578-594. [张英男, 龙花楼, 马丽, 等. 城乡关系研究进展及其对乡村振兴的启示. *地理研究*, 2019, 38(3): 578-594.]
- [60] Du Jie. Study on evaluation, equilibrium optimization and control of agricultural land and water resources utilization [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020. [杜捷. 农业水土资源利用评价与均衡优化调控研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.]
- [61] Dong Shijie, Xin Liangjie, Li Shengfa, et al. Differentiation of farmland abandonment degree and spatial pattern in Chinese terraces. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(1): 3-15. [董世杰, 辛良杰, 李升发, 等. 中国梯田撂荒程度及空间格局分异研究. *地理学报*, 2023, 78(1): 3-15.]
- [62] Zhang Xuezhen, Zhao Caishan, Dong Jinwei, et al. Spatial and temporal characteristics of arable land abandonment in China from 1992 to 2017 based on meta-analysis. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(3): 411-420. [张学珍, 赵彩杉, 董金玮, 等. 1992—2017年基于荟萃分析的中国耕地撂荒时空特征. *地理学报*, 2019, 74(3): 411-420.]
- [63] Liu Changshun, Du Lijuan, Wang Hongkun. Comparative study on Influencing factors of farmers' irrigation decision-making behavior. *China Water Resources*, 2018(19): 36-38, 42. [柳长顺, 杜丽娟, 王红坤. 农户灌溉决策行为影响因素比较研究. *中国水利*, 2018(19): 36-38, 42.]
- [64] Zhang Yingnan, Long Hualou, Ge Dazhuan, et al. Spatio-temporal characteristics and driving mechanism of functional evolution of cultivated land in Huang-Huai-Hai Plain. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 518-534. [张英男, 龙花楼, 戈大专, 等. 黄淮海平原耕地功能演变的时空特征及其驱动机制. *地理学报*, 2018, 73(3): 518-534.]
- [65] Zhang Qin, Zhao Xueyan, Wang Yaru, et al. A review of research on impacts of climate change on farmers' livelihoods. *China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(9): 71-79. [张钦, 赵雪雁, 王亚茹, 等. 气候变化对农户生计的影响研究综述. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(9): 71-79.]

Dynamics and driving mechanisms of cultivated land at county level in China

ZHANG Jie^{1,2}, LIU Yujie^{1,2}, ZHANG Ermei^{1,2}, CHEN Jie^{1,2}, TAN Qinghua^{1,2}

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The land conversion processes concerning non-agricultural and non-grain production areas have prominently decreased arable land availability, which substantially impacted grain production capacity and threatened national food security. Thus, it is critical to establish a novel scientific approach to identify spatio-temporal evolution patterns of land conversion and its influencing factors in different stages. This study evaluates the evolutionary characteristics of non-agricultural and non-grain fields by constructing a comprehensive index system that considers factors like cultivated land resources, social and economic conditions, and farmers' subjective perspectives, using a county as the basic research unit. For a comprehensive analysis, a geographical detector model was utilized to quantify driving factors in different stages. The results indicated spatial clustering effects for non-agricultural and non-grain fields throughout China, particularly in the eastern region beyond the "Hu Huanyong Line". Further analysis revealed a spatial pattern for non-grain conversion phenomenon was more intense in the southwestern than the northeastern fields. Over the past four decades, non-agricultural fields recorded an area expansion, but the year-wise area increase was gradually reduced, while non-grain areas exhibited a "growth-stable" change pattern. Although progress in non-grain was less in primary producing areas over the last 40 years, an increase of 1.49 times and 1.33 times was recorded from 2010 to 2020 in PSB (production and sales balance area) and Mrt (marketing) areas, respectively. Compared to the period 1980-2000, the rate of non-agricultural conversion in primary producing areas decreased by 77% during 2010-2020, while the rate of non-agricultural conversion increased by 1.63 and 4.65 times for PSB and Mrt regions, respectively. Based on these findings, this paper puts forward suggestions, such as setting control rules and subsidy mechanisms according to area classification, promoting control policies based on regional considerations, strengthening dynamic monitoring and risk warning, as well as enhancing supervision and assessment.

Keywords: non-agricultural; non-grain; dynamic evolution; geographic detector model; driving mechanism; county scale