

引用格式: 吕运灏, 崔民, 夏显力, 等. 陕南耕地“非粮化”时空演变及其驱动力[J]. 资源科学, 2023, 45(8): 1531–1545. [Lv Y H, Cui M, Xia X L, et al. The spatiotemporal evolution of non-grain conversion of cultivated land in southern Shaanxi Province and its driving factors[J]. Resources Science, 2023, 45(8): 1531–1545.] DOI: 10.18402/resci.2023.08.04

陕南耕地“非粮化”时空演变及其驱动力

吕运灏, 崔民, 夏显力, 安福临

(西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100)

摘要:【目的】通过探讨陕南耕地“非粮化”时空演变、各因子驱动及其交互响应作用规律, 更科学客观认知耕地“非粮化”现实问题, 为进一步夯实粮食安全基础和治理耕地“非粮化”提供参考。【方法】本文基于2005—2020年陕南耕地“非粮化”县域数据, 采用时空变率模型、地理探测器模型, 分析30139份有效样本, 探讨耕地“非粮化”时空演变及其驱动力。【结果】①从时间序列看, 陕南耕地非粮化率整体呈上升趋势; 从空间分布看, 陕南耕地“非粮化”格局自“西高东低”向“西低东高”过渡; 整体来看, 耕地“非粮化”时空变率呈安康盆地、商丹盆地边缘区高、其他区域低的态势。②各因子时序过程动态性较高, 且其内在时空交互对耕地“非粮化”解释力有一定的减弱作用; 年降水量时序变化因子及GDP时序变化因子分别是对耕地“非粮化”时空变率解释力最高的自然、人文因子。③各因子交互均为双因子增强及非线性增强, 不存在交互后独立情形。耕地“非粮化”时空动态性受人文因子交互驱动较强, 且自然因子均会增强人文因子驱动作用。【结论】耕地“非粮化”演化是自然、人文因子共同作用下的复杂结果。有鉴于此, 本文建议通过加强农田水利设施建设、科学划定耕地“非粮化”底线、均衡城乡资源投入及严格土地用途管制制度等措施治理耕地“非粮化”。

关键词: 耕地“非粮化”; 驱动力; 时空变率模型; 地理探测器模型; 陕南地区

DOI: 10.18402/resci.2023.08.04

1 引言

粮食安全是治国安邦、维护社会稳定发展的基石^[1]。党的十八大以来, 中央明确指出要全力抓好粮食生产, 牢牢守住国家粮食安全。目前, 耕地“非粮化”已成为不容忽视的粮食安全威胁因素^[2-4]。在种粮比较效益低、农资价格攀升等现实压力下, 农户为实现自身利润最大化, 选择种植经济作物或改变耕地用途, 使耕地“非粮化”愈发严重, 加剧粮食安全风险, 直接影响中国社会经济可持续发展^[5,6]。为此, 习近平总书记多次批示指出耕地是粮食生产的命根子, 要扎实抓好耕地“非农化”“非粮化”问题, 保中华民族的“铁饭碗”; 国务院也出台《关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见》, 要求防止耕地“非粮化”, 稳定粮食生产, 牢牢守住国家粮食安全生

命线。

自耕地“非粮化”现象出现以来, 学术界已取得一系列阶段性研究成果。梳理已有文献可知, 内涵界定层面, 目前存在两种耕地“非粮化”定义: ①狭义耕地“非粮化”指耕地种植结构“非粮化”, 即耕地种植经济作物的模式或行为^[7-9]。②广义耕地“非粮化”指改变耕地种植用途的所有模式或行为^[10]。研究视域层面, 已有研究着眼于全国^[3,7]、省域^[5,11]、市县域^[12,13]范围, 从耕地利用^[13]、农业政策^[14,15]、外部性^[16]、空间分异^[3,17-19]、时空变化^[20,21]等视角切入, 采用种植作物类型^[20]、非粮作物与农作物种植面积之比^[22]等测度耕地“非粮化”; 且其多从自然或人文视角出发, 选择代表自然资源的降水^[15]、积温^[18]、高程^[20]、坡度^[17,18]等气候, 及地质要素及代表社会经济的

收稿日期: 2023-03-27 修订日期: 2023-06-25

基金项目: 国家社会科学基金面上项目(21BJY187)。

作者简介: 吕运灏, 男, 河南洛阳人, 硕士生, 研究方向为粮食生产与区域耕地利用。E-mail: 2560919752@qq.com

通讯作者: 夏显力, 男, 安徽怀宁人, 博士, 教授, 研究方向为土地经济与管理。E-mail: xnxxli@163.com

GDP^[17]、人口^[3,15]、城镇化率^[7,17]、城乡可支配收入比^[3,18]等要素探讨耕地“非粮化”驱动机制。治理策略层面,已有文献结合种植“成本-收益”机制^[23,24],提出要抑制农地流转租金、削减农业生产成本^[25-27],同时给予种粮政策及补贴扶持^[15,28,29]、鼓励发展适度规模经营^[20,23,30];亦有文献基于因地制宜原则^[13,31,32],从良种培育^[17,32]、建立预警系统^[33]、加大基础设施建设力度^[34]、推广农业技术^[8]及坚持贯彻基本农田保护条例有关规定^[35]等维度切入,提出优化种质资源、加强监管及改善福利等策略,引导农户积极种粮,落实耕地“非粮化”治理责任^[10,36]。

整体来看,现有文献对耕地“非粮化”研究较为成熟。但尚存问题如下:①概念界定层面,时空变化表征时间变化引发空间分异变化、空间变化嵌套于时间序列变化的双向进程,呈现时间、空间变化的交互性、动态性及不确定性^[37,38]。现有研究多基于不同时序栅格数据对比等探讨耕地“非粮化”时空变化^[11,39,40],较少注意其时间、空间内在关联及动态交互,过度简化其内涵。②理论分析层面,已有研究多注重宏观层面单一因素对耕地“非粮化”驱动作用,对其驱动交互探讨力度不够,难以确定其组合驱动机制,不利于宏观尺度下把握耕地“非粮化”现状。③政策制定层面,鲜有文献提出利用自然、人文要素治理耕地“非粮化”的宏观策略。关于自然要素,谢花林等^[32]及刘航等^[41]提出通过土地平整降低耕地坡度,提高地块可机械化应用水平,进而提升农户种粮倾向的思路,其仅涉及改变坡度这一自然要素的思路,并未涉及对利用其他自然要素策略的考察;关于人文要素,已有研究多从微观视角提出政策建议,较少基于经济、人口等宏观要素探讨耕地“非粮化”治理策略,不利于宏观层面耕地“非粮化”治理。

习近平总书记提出必须把确保重要农产品特别是粮食供给作为首要任务,主产区、主销区、产销平衡区要饭碗一起端、责任一起扛。陕西省是中国重要粮食产销平衡区,而陕南地区内含素有“粮仓”之称的汉中盆地、商洛盆地等,是该省重要产粮战略区。虽然陕南各市县人民政府已出台诸多粮食安全保障政策,但仍存在耕地撂荒、发展林果业及挖塘养鱼等现象,耕地“非粮化”风险较高。有鉴于

此,本文选择陕南为研究区域,基于2005—2020年耕地“非粮化”县域数据,采用时空变率模型、地理探测器模型等分析耕地“非粮化”时空演变及其驱动力,探讨耕地“非粮化”时空演变对各因子及其交互组合的响应特征,以期更科学客观认知该区耕地“非粮化”问题,为粮食安全政策制定及适度耕地“非粮化”引导提供参考。

2 研究区概况

陕南全域包含汉中市、商洛市和安康市3个地级市,共28个县(区),总面积约 $2.056 \times 10^5 \text{ km}^2$ (图1)。地处秦巴山区,位于亚热带和暖温带过渡区,光照及水热条件优越。该地区年均温约 14°C 、年降水量 $600 \sim 1000 \text{ mm}$,水热基础较好;海拔范围为 $133 \sim 3054 \text{ m}$,空间垂直分层较明显,为粮食生产提供了较为优越的气候及地理基础。耕地非粮化率是非粮食作物种植面积占耕地种植总面积比率,能较好地反映耕地“非粮化”程度^[5]。基于此指标测度可知,截至2020年,该区全域耕地非粮化率约为41.35%,与同期全国平均约27%^[42]的非粮化率相比,其耕地“非粮化”现象较为突出。

3 研究方法

3.1 研究框架

本文研究框架如下(图2):①采用时空变率模型测算陕南3市28个县(区)的耕地“非粮化”及各因子时空变率指数,表征其时序变化、空间分异及时空综合变化特征;②采用空间坡度、信息熵表征空间变率及时间变率,采用空间叠加法得到要素时空变率指数;③从自然要素、人文要素视角出发,选取DEM、土壤类型作为地质因子,年均温、年降水量作为气候因子,GDP、第一产业比重、城乡可支配收入比、人口密度作为社会经济因子,代入地理探测器解析,阐述耕地“非粮化”驱动及交互机理。

3.2 模型选取

3.2.1 非粮化率模型

本文采用耕地面积、播种面积、复种指数衡量陕南各县(区)耕地“非粮化”水平,公式如下:

$$NGP_i = \frac{NG_i}{C_i \times I} \quad (1)$$

$$NG_i = C_i \times I - G_i \quad (2)$$



图1 陕南各市县级行政区划概况

Figure 1 Overview of the county-level administrative division in southern Shaanxi Province

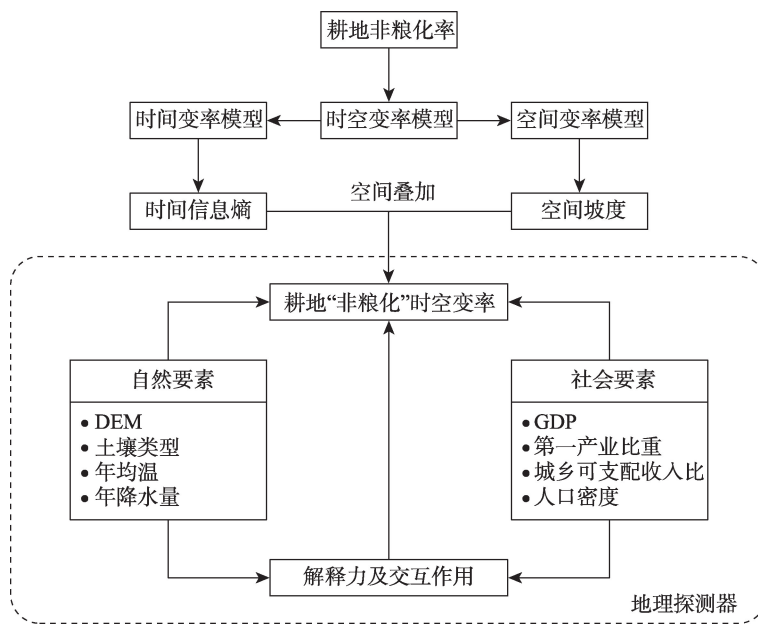


图2 研究框架

Figure 2 Framework of the research

式中: NGP_i 为非粮化率; NG_i 为非粮化面积; C_i 为耕地面积; I 为复种指数; G_i 为粮食种植面积。考虑复种指数可避免人为夸大当地耕地“非粮化”现象,得到更精准的耕地非粮化率^[3]。

3.2.2 时空变率模型

参考张少尧等^[43]、邓伟等^[44]与Zhao等^[45]的研究,采用修正后的时空变率模型表征耕地“非粮化”时

空变化,分为如下三部分:空间变率、时间变率及时空变率模型。

空间变率模型采用空间坡度表征要素空间变化进程。究其原因,陕南以山地丘陵为主,坡耕地较多,地质因素为其原始驱动力,对粮食生产影响较大^[46,47]。其中,坡度是最基础的地质因素,亦是该区耕地“非粮化”重要诱因^[13,48];其通过影响区域内

耕地的细碎化程度、农业机械化程度、林果业种植及粮食产量等作用于粮食生产过程^[5,32,49-52],诱发耕地“非粮化”问题,进而影响其空间分布。在非均质空间中,空间坡度同要素空间变率正相关,可表征要素空间变率动态性^[43,45]。公式如下:

$$En^S = \frac{180}{\pi} \times \arctan \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2} \quad (3)$$

$$\left(\frac{dz}{dx}, \frac{dz}{dy}\right) = \frac{8}{x_{cs}} \left(\frac{4}{wt_1} \sum_{i=1}^n cell_i - \frac{4}{wt_2} \sum_{j=1}^n cell_j \right) \quad (4)$$

式中: En^S 为要素空间变率,以坡度表征,取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$, 同要素空间变化剧烈程度正相关; dz/dx 、 dz/dy 为一阶邻域内像元 x 和 y 方向上的变化率; x_{cs} 为像元大小; wt_1 和 wt_2 为 x 和 y 方向上的有效像元水平加权计数; $cell_i$ 和 $cell_j$ 为一阶邻域内像元在 x 和 y 方向上的值。

时间变率模型采用信息熵表征要素时间变化进程。由信息熵定义可知,观测值残差同对应要素偶然性、异质性正相关,同其发生概率负相关,可表征时序过程中要素变化^[44]。公式如下:

$$En^H = - \sum_{t=1}^n P_t \times \ln P_t \quad (5)$$

$$P_t = \frac{W_t^{-1}}{\sum_{t=1}^n W_t^{-1}}, \quad \sum P_t = 1 \quad (6)$$

$$W_t = \frac{(C_t - R_t)^2}{\sum_{t=1}^n (C_t - R_t)^2}, \quad \sum W_t = 1 \quad (7)$$

式中: En^H 为要素时间变率,单位为 Nat ; P_t 为时间 t 对应的要素发生概率; W_t 为时间 t 对应的样本残差占比; C_t 为时间 t 对应的要素像元值; R_t 为时间 t 对应的要素回归值。

时空变率模型通过要素空间变率、时间变率叠加得到,反映时空变化整体耦合特征。公式如下:

$$En = \frac{1}{2} \left\{ \left[\frac{En^S}{\max(En^S)} \right] + \left[\frac{En^H}{\max(En^H)} \right] \right\} \quad (8)$$

式中: En 为要素时空变率。

3.2.3 地理探测器模型

地理探测器探测要素空间分异性,揭示内部驱动力,适用于类型量分析^[53]。本文主要采用因子探测器及交互探测器进行分析。

因子探测器可探测 Y 空间分异性及 X 因子对 Y 空间的解释力。公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2}, \quad h = 1, 2, \dots, L \quad (9)$$

式中: q 为因子 X 对 Y 的解释力, $q \in [0, 1]$, 值越大对 Y 解释力越强; $h = 1, 2, \dots, L$ 为 X 或 Y 的分层; N_h 为层 h 单元数; N 为全区单元数; σ_h^2 为层 h 对应 Y 值方差; σ^2 为全区 Y 值方差。

交互探测器可对比因子 q 值及其交互后 q 值,确定因子交互关系(表1)。

表1 不同因子间交互类型

Table 1 Types of interaction of different factors

判别依据	交互作用类型
$q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$	非线性减弱
$\min(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \max(q(X_1), q(X_2))$	单因子非线性减弱
$q(X_1 \cap X_2) > \max(q(X_1), q(X_2))$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$	独立
$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$	非线性增强

3.3 指标选择

参考已有研究^[3,15,20,39,43],本文基于自然-人文及时空动态性两维度选取耕地“非粮化”时空变率驱动因子,将其分为自然因子、人文因子和时空变化综合因子3类,采用自然间断点分级法进行重分类处理,代入地理探测器予以解析。

基本分类情况如下:①将耕地“非粮化”时空变率作为因变量 Y ,表征耕地“非粮化”时空演变特征。②将高程、坡度、土壤类型、年均温、年降水量作为自然因子,表征研究区耕地粮食生产过程中的基础地质条件和水热条件。③将GDP、第一产业比重、城乡可支配收入比及人口密度作为人文因子,表征研究区的社会经济及人口状况。④将自然因子、人文因子按时空维度分成时序变化及空间分异因子,耦合得到时空变化因子。考虑到栅格像元及地理探测器本身最大计算量等因素,本文采用陕南1 km均质渔网点提取原始数据,通过剔除缺失值样本、删除重复样本等步骤完成数据清洗。最终得到包括1个因变量及21个自变量的耕地非粮化率及其驱动力数据集,共计30139份有效样本。指标选择如表2所示。

2023年8月

表2 指标选择

Table 2 The selection of variables

类型	变量名称	变量释义	符号
因变量	耕地“非粮化”时空变率	耕地“非粮化”时空变率,反映耕地“非粮化”时空变化综合进程	En_Ng
自变量	自然因子		
	高程	海拔/m,反映研究区海拔特征,利用DEM数据计算	DEM
	坡度	坡度/°,反映地形陡缓程度和耕作条件,利用DEM数据计算	$Slope$
	土壤类型	土壤类型,反映粮食生产活动的土壤条件	$Soil$
	年均温空间分异因子	年均温空间变化率/°,反映年均温的空间变化进程	S_Tmp
	年降水量空间分异因子	年降水量空间变化率/°,反映年降水量的空间变化进程	S_Pre
	年均温时序变化因子	年均温时间变化率/Nat,反映年均温的时间变化进程	H_Tmp
	年降水量时序变化因子	年降水量时间变化率/Nat,反映年降水量的时间变化进程	H_Pre
人文因子	GDP空间分异因子	GDP空间变化率/°,反映GDP的空间变化进程	S_GDP
	第一产业比重空间分异因子	第一产业比重空间变化率/°,反映第一产业比重的空间变化进程	S_Agr
	城乡可支配收入比空间分异因子	城乡可支配收入比空间变化率/°,反映城乡可支配收入比的空间变化进程	S_Rev
	人口密度空间分异因子	人口密度空间变化率/°,反映人口密度的空间变化进程	S_Den
	GDP时序变化因子	GDP时间变化率/Nat,反映GDP的时间变化进程	H_GDP
	第一产业比重时序变化因子	第一产业比重时间变化率/Nat,反映第一产业比重的时间变化进程	H_Agr
	城乡可支配收入比时序变化因子	城乡可支配收入比时间变化率/Nat,反映城乡可支配收入比的时间变化进程	H_Rev
	人口密度时序变化因子	人口密度时间变化率/Nat,反映人口密度的时间变化进程	H_Den
时空变化因子	年均温时空变化因子	年均温时空变化率,反映年均温时空变化综合进程	En_Tmp
	年降水量时空变化因子	年降水量时空变化率,反映年降水量时空变化综合进程	En_Pre
	GDP时空变化因子	GDP时空变化率,反映GDP时空变化综合进程	En_GDP
	第一产业比重时空变化因子	第一产业比重时空变化率,反映第一产业比重时空变化综合进程	En_Agr
	城乡可支配收入比时空变化因子	城乡可支配收入比时空变化率,反映城乡可支配收入比时空变化综合进程	En_Rev
	人口密度时空变化因子	人口密度时空变化率,反映人口密度时空变化综合进程	En_Den

3.4 数据来源

本文研究时间序列为2005—2020年。考虑到数据可得性、权威性及科学性等,本文所选耕地非粮化率、GDP、第一产业比重、城乡可支配收入比及人口密度指标源于2006—2021年《陕西统计年鉴》《陕西区域发展年鉴》及陕南各市统计年鉴、统计公报等,通过经验贝叶斯克里金法插值得栅格数据,分辨率为1 km;年均温、年降水量数据源于国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn/>),分辨率为1 km;高程数据源于30-Meter SRTM Elevation Data Downloader(<http://dwtkns.com/srtm30m/>),分辨率为30 m;土壤类型数据源于资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>),分辨率为1 km。为弱化坐标系及空间分辨率造成的误差,通过ArcGIS 10.8.1将栅格地理坐标系统一为GCS_WGS_1984,

并通过重采样将栅格空间分辨率统一为1 km。

4 结果与分析

4.1 耕地“非粮化”时空变化分析

4.1.1 时序变化特征

2005—2020年陕南耕地非粮化率时序变化如图3所示。结果可知,陕南全域及各市耕地非粮化率整体皆呈上升趋势。其中,汉中市、安康市耕地非粮化率水平较高,始终高于全区水平;而商洛市耕地非粮化率水平较低,始终低于全区水平,整体呈平缓增长态势。

参照2005—2020年陕南耕地非粮化率时序变化特征,本文将耕地非粮化率变化划分为3个阶段:①2005—2010年,陕南各市耕地非粮化率呈上升趋势。这一阶段,陕南各市政府重在开发中药产业、扩大林果种植面积及推广绿色农副产品等,致使个

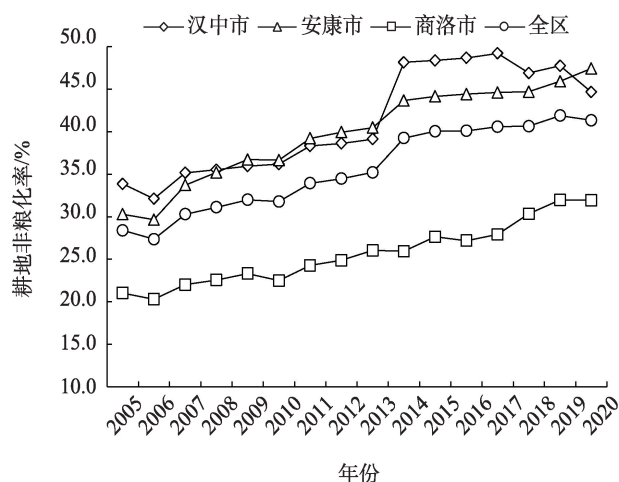


图3 2005—2020年陕南各市耕地非粮化率变化情况

Figure 3 Changes of non-grain rates of cultivated land in southern Shaanxi Province, 2005-2020

体农户更倾向于种植利润较高的经济作物;同时,受退耕还林草工程等影响,部分耕地用途改变,减少了粮食生产物质基础,使耕地非粮化率上升。②2010—2015年,陕南各市耕地非粮化率上升趋势更加明显,汉中市、安康市和商洛市耕地非粮化率增幅分别为12.20%、7.50%及5.15%。这一阶段,受工业化进程、城市化进程及城镇基础设施建设等影响,优质良田占用、农业劳动力外流等问题较严重,加剧耕地“非粮化”。例如,2013年8月,汉中市人民政府印发《关于加快推进城镇化的实施意见》,重在鼓励农民进城落户、就业,并将农村土地置换为城镇建设用地指标,进一步削减粮食生产物质基础,致使耕地非粮化率大幅提高。③2015—2020年,陕南各市耕地非粮化率上升速度减缓,汉中市耕地非粮化率甚至出现阶段性下降,降幅为3.72%。这一阶段,陕南各市政府积极响应国家粮食安全战略,构建粮食安全保障体系。其通过落实粮食安全责任制考核、规范引导区域耕地利用等措施有序推进粮食生产,抑制耕地“非粮化”进一步扩张。

从各县(区)来看,结果略有不同。相较于城区,汉中市各县耕地非粮化率变动较大,其中留坝县耕地非粮化率增幅最大,由23.77%增至49.49%,涨幅25.72%;安康市各县(区)耕地非粮化率变动较大,其中汉滨区耕地非粮化率增幅最大,由19.35%增至50.66%,涨幅31.31%;商洛市部分县(区)耕地非粮化率变动亦较大,其中商南县2020年耕地非粮

化率高达78.01%,耕地“非粮化”现象最严重。结果可知,商洛市部分县(区)粮食生产稳定性及安全性较差,且商南县尤为明显,同已有文献结论相似^[54,55]。究其原因,该地年降水量、水资源开发利用效率较低^[56],与人口压力^[54,57]、高耕地利用转型强度^[58]等共同作用,阻碍了粮食生产,诱发耕地“非粮化”。

4.1.2 空间分异特征

汇总各县(区)耕地非粮化率数据可知,2005—2020年耕地非粮化率最高值为78.01%,最低值为14.73%。考虑到现有文献缺乏较为统一的耕地“非粮化”分级标准,为较好地表征耕地“非粮化”空间分异特征,参考已有研究^[3,5,11],本文采用自然间断点分级法对耕地非粮化率进行分级,该方法可确定不同区域数据最佳排列,最小化层内方差的同时最大化层间方差,能较好地表征数据空间分异性^[59]。分级结果依次为轻度区(14.73%~36.59%)、较轻区(36.60%~43.29%)、中度区(43.30%~48.50%)、较重区(48.51%~59.20%)及严重区(59.21%~78.01%)(图4)。由结果可知,2005—2020年陕南耕地“非粮化”空间分布整体呈“西高东低”向“西低东高”过渡格局,耕地“非粮化”程度逐渐加重。分各年度看:①2005年,耕地“非粮化”中度及以上区域集中分布于陕南西部,其中汉中市汉台区、洋县为耕地“非粮化”中度区,城固县为较重区。②2010年,耕地“非粮化”中度及以上区域减少,汉中市汉台区、洋县耕地“非粮化”程度减轻,由中度区转为较轻区,城固县仍为较重区;而安康市平利县耕地“非粮化”程度略微加重,由较轻区转为中度区,其周边地区耕地“非粮化”程度多从轻度区转为较轻区。③2015年,陕南中部、西部耕地“非粮化”程度加重,基本形成以城固县为中心向外扩散的格局。④2020年,陕南全域耕地“非粮化”程度进一步加重,耕地“非粮化”较重及以上区域集中分布于汉中盆地、安康盆地和商丹盆地及其边缘地带,约占该地县(区)总和的28.57%。其中,商洛市商南县、洛南县转为耕地“非粮化”重度区,且有进一步加剧的趋势。

4.1.3 时空变率特征

2005—2020年陕南耕地“非粮化”时空分异明显(图5)。整体来看,耕地“非粮化”时空变率值呈安康盆地、商丹盆地边缘高、其他区域低的分布态

2023年8月

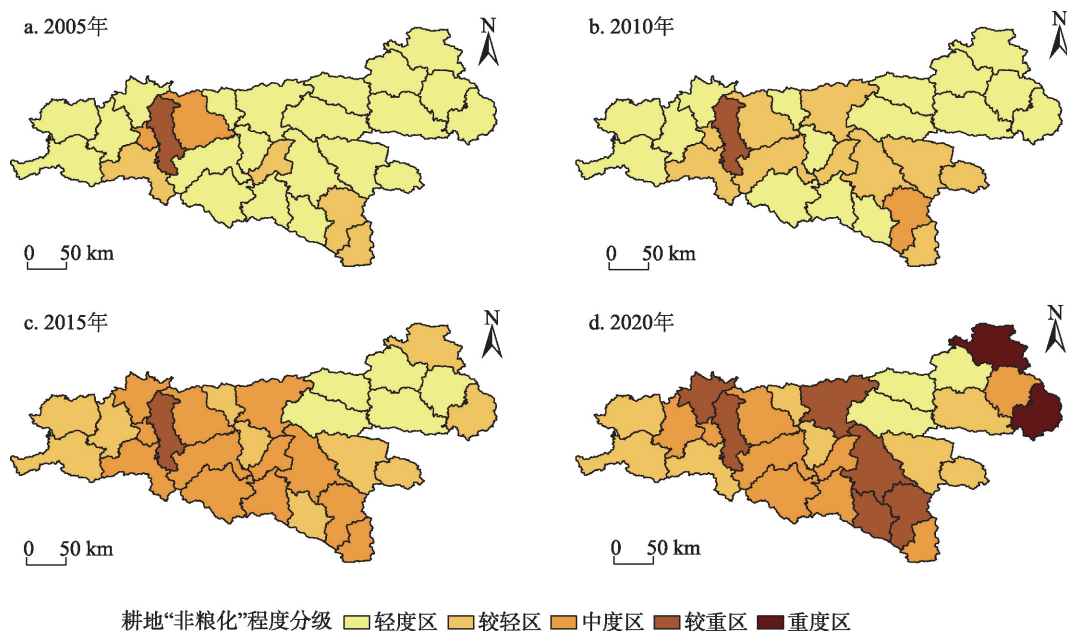


图4 2005—2020年陕南耕地“非粮化”程度示意图

Figure 4 Schematic diagram of non-grain conversion of cultivated land in southern Shaanxi Province, 2005-2020

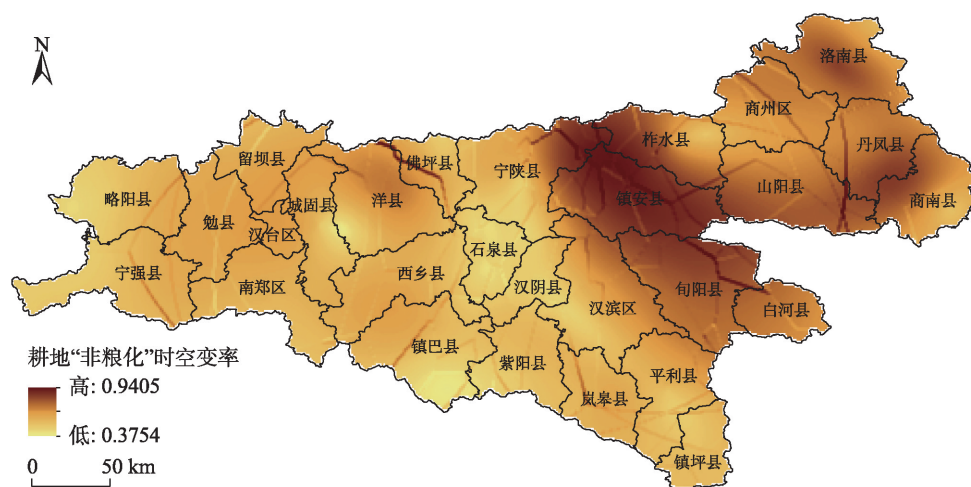


图5 2005—2020年陕南耕地“非粮化”时空变率

Figure 5 Spatiotemporal variability of non-grain conversion of cultivated land in southern Shaanxi Province, 2005-2020

势,且部分县(区)呈现出局部像元表征耕地“非粮化”时空变率高值的特征。究其原因,耕地“非粮化”时空变率分布特征受空间变率及时间变率综合影响,经插值处理后,高值色带上的像元与其不同方位相邻像元间耕地非粮化率差值较大,空间变率值亦较大;相较而言,耕地“非粮化”时间变率值较平稳,上述像元的空间变率与其较平稳的时间变率耦合后数值特征虽有缩减,但整体仍表现为耕地“非粮化”时空变率高值色带区。

从区域分异视角看,其高值区位于安康盆地、商丹盆地边缘地带,包括宁陕县东北部、柞水县西部、旬阳县北部、商南县西北部及洛南县中部等,最高值可达0.9405,表明该区耕地“非粮化”演化较剧烈,时空动态性较明显;其低值区位于石泉县、宁陕县南部、城固县东部及镇巴县东南部等,最低值为0.3754,表明其耕地“非粮化”演化较平缓,时空动态性相对较弱。究其原因,上述低值地区邻接秦巴山区过渡带,高程、坡度变化较大,存在较强气候及人

文因子分异,一定程度上影响农地规模化生产及农地流转^[60,61],从而影响耕地“非粮化”时空演化。

具体到各市可知,商洛市全域耕地非粮化率时空变率均值最高,为0.6984;安康市次之,时空变率值为0.5797;而汉中市最低,时空变率值为0.5436。究其原因,汉中市、安康市积极响应国家粮食安全战略号召,落实粮食安全责任制考核,构建粮食安全保障体系,健全粮食综合生产能力及收储机制。其规范引导区域内耕地利用,有序推进粮食生产,一定程度上减缓耕地“非粮化”演化,时空变率值较低^①。商洛市亦积极响应上级政府号召,但该地局部自然灾害及野生动物破坏较严重,缺乏同落实国家粮食安全战略相配套的粮食生产稳定政策;加之资金投入相对匮乏等问题,农户种植粮食作物积极性难以调动,一定程度上抑制粮食生产,加剧耕地“非粮化”演化,区域内耕地非粮化率时空变率值较高。

4.2 耕地“非粮化”演化机制研究

4.2.1 耕地“非粮化”驱动力研究

采用因子探测器分析得各因子耕地“非粮化”时空变率解释力(表3)。基于时空变化视角可知,各时序变化因子解释力均值(0.1875)显著高于空间分异因子(0.0510),表明各要素时序变化对耕地“非粮化”驱动作用更明显,其时序过程动态性高于空间过程。基于因子类型视角可知,人文因子解释力较强,其基于因子类型视角可知,人文因子解释力较强,其平均 q 值(0.1500)显著高于自然因子(0.0421),说明陕南耕地“非粮化”时空变率受人文因子影响更深。此外,除年均温外,其他要素时空变化因子 q 值均介于其空间分异因子及时序变化因子之间,呈现出因子间时空交互对其驱动力的中和作用。

具体到各因子可知,在自然因子中,年降水量时序变化因子 H_Pre 解释力最高(0.1458),表明年降水量时序变化对耕地“非粮化”时空动态性驱动较强,能解释14.58%的耕地“非粮化”变化;而年降水量时空变化因子 En_Pre 解释力亦较高, q 值为

表3 各因子对耕地“非粮化”时空变率解释力

Table 3 Explanatory power of the driving factors on the spatiotemporal variability of non-grain conversion of cultivated land

因子		q 值
自然因子	DEM	0.0176***
	$Slope$	0.0040***
	$Soil$	0.0414***
	S_Tmp	0.0128***
	S_Pre	0.0701***
	H_Tmp	0.0030***
	H_Pre	0.1458***
	S_GDP	0.0795***
人文因子	S_Agr	0.0191***
	S_Rev	0.0634***
	S_Den	0.0613***
	H_GDP	0.4982***
	H_Agr	0.0383***
	H_Rev	0.2670***
	H_Den	0.1728***
	En_Tmp	0.0028***
时空变化因子	En_Pre	0.0772***
	En_GDP	0.1859***
	En_Agr	0.0212***
	En_Rev	0.0785***
	En_Den	0.0934***

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%的水平上显著,下同。

0.0772,能解释7.72%的耕地“非粮化”变化。在粮食生产过程中,降水提供粮食生长所需水分,影响生产过程中用水效率,是其必要条件^[11,62];但降水的不稳定性引致的洪涝灾害等显著增加粮食生产、运输过程成本,拉低区域内种粮比较效益,从而埋下耕地“非粮化”隐患^[63]。亦有研究指出,降水并非耕地“非粮化”核心驱动因素^[64],造成结果差异的原因可能在于其研究的干旱半干旱区主要种植小麦等粮食作物,而陕南各市以水稻等作物种植为主,对降水响应度更高^[65]。考察降水时空作用过程可知,降水空间分异会影响单一时间截面上的粮食生产差异格局,而其时序变化直接作用于区域内各年份粮食生长、生产及运输等过程,对耕地“非粮化”时空动态性驱动更明显;年降水量时空变理解释力 q

① 详见:《汉中市人民政府办公室关于印发汉中市粮食安全责任制考核办法的通知》, http://www.hanzhong.gov.cn/hzszf/zwgk/zfwj/zfbwj/hzbfwj/201610/t20161021_365998.shtml;《安康市人民政府关于贯彻落实粮食安全省长责任制的实施意见》, <https://www.ankang.gov.cn/Content-83879.html>。

2023年8月

(En_Pre)弱于其时序变化解释力 $q(H_Pre)$,但强于其空间分异解释力 $q(S_Pre)$,说明年降水量内在时空交互对其驱动力存在中和作用。

在人文因子中,GDP时序变化因子 H_GDP 解释力最高, q 值为0.4982,远高于其他因子,表明GDP时序变化对耕地“非粮化”时空动态性驱动极强,能解释49.82%的耕地“非粮化”变化。GDP反映区域内整体经济发展水平,其时序变化引致社会产业结构^[5]、种粮比较效益^[17,66]及交通发展水平^[47]等的年际差异。由于区域内自然资源禀赋受限,且存在农业劳动力转移、人口老龄化等社会问题,在产值创造来源更偏向于第二、第三产业,种粮比较效益低的地区,农户会改变生计策略,进行耕地“非粮化”种植;在交通条件较好的地区,农户为追求更高利润会选择种植经济作物,而交通条件较差地区则可能出现较严重的耕地撂荒等问题,加剧耕地“非粮化”。城乡可支配收入比时序变化 H_Rev 解释力亦较高, q 值为0.2670,能解释26.70%的耕地“非粮化”变化。究其原因,城乡可支配收入比能够反映城乡生活水平差距,在城乡生活水平差距较高的地区,农业劳动力外流数量较多,其成本亦有所提升。农业劳动力成本提高会压缩种粮农户的利润空间,降低种植粮食作物比较效益^[3,14],使之转向利润空间较高的经济作物种植,或改变耕地用途,引发耕地“非粮化”扩张。城乡可支配收入比时序变化能反映城乡生活水平差距随时间的变化:其值越大,区域城乡生活水平差距变化越大,种粮比较效益变化越剧烈,耕地“非粮化”时空动态性越强。

4.2.2 耕地“非粮化”因子交互分析

采用交互探测器分析各类型因子交互作用,探究其驱动交互机制(表4)。由结果可知,各因子交互均为双因子增强及非线性增强,不存在交互后独立情形;其中,除土壤类型 $Soil$ 与各类因子交互为双因子增强外,绝大部分因子交互为非线性增强。这表明,该区耕地“非粮化”受自然、人文因素相互作用推进,并非单一因素驱动而成;除土壤类型 $Soil$ 外,其他因子相互作用均会大幅增强单一因子的解释力,说明因子交互对耕地“非粮化”时空变率驱动的推进作用较强。

对比因子交互 q 值可知,GDP时空变化因子 En_GDP 与人口密度时空变化因子 En_Den 交互 q 值最大,为0.3296,能解释32.96%的耕地“非粮化”变化。说明耕地“非粮化”时空动态性受社会经济及人口驱动力交互驱动显著,在整体经济水平及人口密度变化剧烈的地区,耕地“非粮化”时空动态性较强。究其原因,整体社会经济发展水平较高地区交通条件较好、消费水平高,而人口密度较大地区对农产品需求相对多元^[64,67]。一方面,较好的交通条件、较高的消费水平等刺激农户为获取更高经济效益种植经济作物、改变耕地用途等,加剧区域耕地“非粮化”;另一方面,在资源禀赋受限条件下,相对多元的农产品需求诱使农业生产资料、种粮农户等外移至非粮农产品生产部门,亦加剧区域耕地“非粮化”。两者交互作用会大幅加剧其对耕地“非粮化”时空演变驱动作用。

基于因子类型视角可知,人文因子交互 q 值普

表4 因子交互分析结果

Table 4 Interaction of factors

	DEM	$Slope$	$Soil$	En_Tmp	En_Pre	En_GDP	En_Agr	En_Rev	En_Den
DEM	0.0176								
$Slope$	0.0303	0.0040							
$Soil$	0.0652	0.0462	0.0414						
En_Tmp	0.0252	0.0102	0.0457	0.0028					
En_Pre	0.1096	0.0841	0.1163	0.0823	0.0772				
En_GDP	0.2162	0.1893	0.1920	0.1935	0.2778	0.1859			
En_Agr	0.0417	0.0317	0.0566	0.0252	0.1087	0.2245	0.0212		
En_Rev	0.1047	0.0867	0.1035	0.0839	0.2107	0.2568	0.1300	0.0785	
En_Den	0.1820	0.1105	0.1278	0.1020	0.2158	0.3296	0.1672	0.2243	0.0934

遍高于自然因子交互及自然-人文因子交互,且自然-人文因子交互 q 值均高于单一因子。结果表明,耕地“非粮化”时空动态性受人文因子交互驱动较强,且自然因子均会增强人文因子解释力,说明在耕地“非粮化”时空演变过程中,人文因子交互推进居主导地位,而自然因子处于辅助地位。其中,年降水量时空变化因子 En_Pre 与GDP时空变化因子 En_GDP 交互 q 值最大,为0.2778,能解释27.78%的耕地“非粮化”变化。究其原因,降水丰裕地区对农田灌溉水利工程及配套基础设施建设需求较为旺盛,而整体经济发展水平较高地区对此类工程及其配套设施建设投资力度较大,有利于种粮农户更高效地利用当地自然降水,两者交互一定程度上对区域内粮食生产起推进作用,减缓区域耕地“非粮化”蔓延。有鉴于此,应在尊重诸如降水等自然因素客观规律及其辅助作用的前提下,重视人文因素主观能动性及各类型因素交互作用,基于人与自然和谐共生视角综合评估区域耕地“非粮化”问题,因地制宜制定相关治理政策。

5 结论、政策建议及讨论

5.1 结论

本文以陕南地区为研究区域,以2005—2020年为研究时间序列,基于耕地“非粮化”县域数据,采用时空变率模型、地理探测器模型等分析耕地“非粮化”时空演变及其驱动力,探讨耕地“非粮化”时空演变对各因子及其交互组合的响应特征。主要结论如下:

(1)从时间序列看,2005—2020年陕南耕地非粮化率整体呈线型上升趋势,各市差异较明显;从空间分布看,陕南耕地“非粮化”呈“西高东低”向“西低东高”过渡格局。整体而言,陕南耕地“非粮化”时空分异明显,呈安康盆地、商丹盆地边缘区高、其他区域低的态势。

(2)由因子探测可知,从时空变化视角看,各因子时序过程动态性较高,且因子内在时空交互对其驱动力存在中和作用。从因子类型视角看,人文因子整体解释力较强,平均 q 值高于自然因子;年降水量时序变化因子 H_Pre 是对区域耕地“非粮化”时空变率解释力最高的自然因子,GDP时序变化因子 H_GDP 是解释力最高的人文因子。

(3)由交互探测可知,各因子交互均为双因子增强及非线性增强,不存在交互后独立情形,且绝大部分因子交互结果为非线性增强。耕地“非粮化”时空动态性受人文因子交互驱动较强,且自然因子均会增强人文因子解释力。

5.2 政策建议

基于上述结果,本文提出如下政策建议:

(1)基于区域降水条件,加强农田水利设施建设、提升农田灌溉技术水平。合理利用降水是提升耕地“非粮化”治理效果的可行途径:一方面,各市应适度加强农田水利设施建设,提高耕地降水利用率、水资源利用率及洪涝灾害防范能力,为粮食生产保驾护航;另一方面,各市应贯彻“藏粮于地、藏粮于技”战略,积极发展滴灌等新型农田灌溉技术,并配套相应降水储备、调配等机制,增加降水对粮食单产的提升效果,进而推动耕地“非粮化”治理。

(2)基于经济发展及人口增长需求,科学设定耕地“非粮化”底线。各市应协调好粮食安全与区域经济发展、人口增长间的关系,审慎测度当前及今后社会经济条件下各类农产品保底需求,并结合国家战略需求和区域资源禀赋科学划定耕地“非粮化”底线,形成粮食绝对安全、特色农产品丰富多样、农户收入持续增长的新格局。

(3)采取均衡城乡资源投入、加大惠农补贴力度及严格土地用途管制制度等措施,抑制耕地“非粮化”进程。首先,各市应均衡城乡资源投入,加大公共资源向农村配置的力度,保障种粮生产要素权益;其次,应加大种粮直补等惠农补贴力度,降低粮食生产成本,通过提升种粮比较效益提高农户种粮收益和积极性;最后,应严格落实土地用途管制制度,夯实各方责任,以强有力的监管保障均衡城乡资源投入及落实惠农补贴等的成效,防止耕地“非粮化”倾向。

5.3 讨论

本文基于2005—2020年陕南县域尺度耕地“非粮化”相关数据,采用时空变率模型、地理探测器模型分析30139份有效样本,探讨耕地“非粮化”演化机制。创新点在于借鉴已有文献,基于时空变化的交互性、动态性及不确定性构建时空变率模型,探讨耕地“非粮化”时空演化特征;并采用地理探测器

2023年8月

模型探讨耕地“非粮化”演化驱动力及其交互机制。但本文亦有以下不足:①囿于数据可获得性、权威性及其科学性等,本文仅采用“非粮作物与农作物种植面积之比”衡量陕南各县(区)耕地非粮化率,且人文因子数据皆源于统计年鉴,未充分考虑农户自身因素及农业技术,对耕地“非粮化”行为主体影响未能探讨;②受限于地理探测器本身特性,本文得出的耕地“非粮化”时空变率值与驱动力值仅能反映耕地“非粮化”时空变化幅度及各因子驱动力强弱,缺少对其驱动方向的解释说明。未来研究可运用高分辨率遥感影像进行面向对象分类,结合目视解译、多时序实地调研获取耕地“非粮化”相关指标信息,进而从微观、宏观耦合层面对耕地“非粮化”做更为深入的研究。

参考文献(References):

- [1] 于昊辰, 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[J]. 资源科学, 2021, 43(6): 1222–1233. [Yu H C, Zeng S Y, Wang Q B, et al. Forecast on China's cultivated land protection baseline in the new era by multi-scenario simulations [J]. Resources Science, 2021, 43(6): 1222–1233.]
- [2] 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[J]. 中国土地科学, 2022, 36(9): 29–39. [Zou J L, Liu T H, Zhang C, et al. Changes of cultivated land food production in China and the impact assessment of “non-grain” use[J]. China Land Science, 2022, 36(9): 29–39.]
- [3] 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.]
- [4] 王越, 曾先, 刘钊宇, 等. 辽宁省耕地非粮化时空分异及其决定因素: 多元利益主体决策的作用[J]. 资源科学, 2023, 45(5): 980–993. [Wang Y, Zeng X, Liu Z Y, et al. Determinants of the spatiotemporal differentiation of cultivated land non-grain conversion in Liaoning Province: The role of multiple stakeholder decisions[J]. Resources Science, 2023, 45(5): 980–993.]
- [5] 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.]
- [6] 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.]
- [7] Zhao X F, Zheng Y Q, Huang X J, et al. The effect of urbanization and farmland transfer on the spatial patterns of non-grain farmland in China[J]. Sustainability, 2017, DOI: 10.3390/su9081438.
- [8] Leng Z H, Wang Y N, Hou X S. Structural and efficiency effects of land transfers on food planting: A comparative perspective on north and south of China[J]. Sustainability, 2021, DOI: 10.3390/su13063327.
- [9] 曹宇, 李国煜, 王嘉怡, 等. 耕地非粮化的系统认知与研究框架: 从粮食安全到多维安全[J]. 中国土地科学, 2022, 36(3): 1–12. [Cao Y, Li G Y, Wang J Y, et al. Systematic review and research framework of ‘non-grain’ utilization of cultivated land: From a perspective of food security to multi-dimensional security[J]. China Land Science, 2022, 36(3): 1–12.]
- [10] 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[J]. 中国土地科学, 2021, 35(9): 116–124. [Wu Y L, Zhang P, Yu Y Y, et al. Progress review on and prospects for non-grain cultivated land in China from the perspective of food security[J]. China Land Science, 2021, 35(9): 116–124.]
- [11] 王鹏程, 张利国, 卢玉兰, 等. 广西耕地“非粮化”时空演变及影响因素研究[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(5): 187–197. [Wang P C, Zhang L G, Lu Y L, et al. Study on the spatial-temporal evolution and influencing factors of non-grain cultivated land in Guangxi[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(5): 187–197.]
- [12] 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.
- [13] 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 for Agricultural Machinery, 2021, 52(10): 233–242.]
- [14] 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.]
- [15] Yang Q, Zhang D. 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.landuse-

- pol.2021.105579.
- [16] 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.]
 - [17] 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.]
 - [18] Sun Y, Chang Y Y, Liu J N, et al. Spatial differentiation of non-grain production on cultivated land and its driving factors in Coastal China[J]. Sustainability, 2021, DOI: 10.3390/su132313064.
 - [19] Li Y F, Zhao B C, Huang A, et al. Characteristics and driving forces of non-grain production of cultivated land from the perspective of food security[J]. Sustainability, 2021, DOI: 10.3390/su132414047.
 - [20] 苏越. 耕地非粮化时空演变与管控研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020. [Su Y. Study on Spatiotemporal Evolution and Control of Non-grain Production Within Cultivated Land[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.]
 - [21] Chen Y, Zhou L H. Quantification of restricting factors of agricultural development in Min County of Gansu, China[J]. Journal of Mountain Science, 2020, 17: 147-155.
 - [22] 孟菲, 谭永忠, 陈航, 等. 中国耕地“非粮化”的时空格局演变及其影响因素[J]. 中国土地科学, 2022, 36(1): 97-106. [Meng F, Tan Y Z, Chen H, et al. Spatial-temporal evolution patterns and influencing factors of ‘non-grain’ utilization of cultivated land in China[J]. China Land Science, 2022, 36(1): 97-106.]
 - [23] 黄祖辉, 李懿芸, 毛晓红. 我国耕地“非农化”“非粮化”的现状与对策[J]. 江淮论坛, 2022, (4): 13-21. [Huang Z H, Li Y Y, Mao X H. The situation, drivers and countermeasures of ‘non-agriculturalization’ and ‘non-grain’ transformation of cultivated land in China[J]. Jiang-huai Tribune, 2022, (4): 13-21.]
 - [24] 阮海波. “趋粮化”抑或“非粮化”: 粮食安全的张力及调适[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2022, 21(4): 79-90. [Ruan H B. ‘Food-oriented’ or ‘non-grained’: The tension and adjustment of food security[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2022, 21(4): 79-90.]
 - [25] 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 transfer lead to ‘non-grain production’ in agriculture?[J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2018, 18(3): 123-130.]
 - [26] 高晓燕, 杜寒玉. 农民收入结构对农户耕种“非粮化”的影响: 基于工商资本下乡的视角[J]. 江汉论坛, 2022, (6): 12-20. [Gao X Y, Du H Y. The impact of income structure on the ‘non grain’ farming of farmers: From the perspective of industrial and commercial capital to the countryside[J]. Jiangnan Tribune, 2022, (6): 12-20.]
 - [27] 高延雷, 张正岩, 王志刚. 农地转入、农户风险偏好与种植结构调整: 基于CHFS微观数据的实证分析[J]. 农业技术经济, 2021, (8): 66-80. [Gao Y L, Zhang Z Y, Wang Z G. Land transfer, appetite for risk and crop pattern: Empirical analysis based on micro data of CHFS[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2021, (8): 66-80.]
 - [28] 李筱丹. 土地转入对农户“非粮化”种植行为的影响研究: 以山东省为例[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020. [Li X D. Research on the Impact of Land Transfer on Farmers’ ‘Non-grain’ Planting Behavior: Taking Shandong Province as an Example[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2020.]
 - [29] 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.]
 - [30] 毕雪昊, 周佳宁, 邹伟. 家庭劳动力约束下经营规模对农户种植结构选择的影响[J]. 中国土地科学, 2020, 34(12): 68-77. [Bi X H, Zhou J N, Zou W. The effect of operation scale on farmers’ planting structure selection under the constraints of family labor [J]. China Land Science, 2020, 34(12): 68-77.]
 - [31] 仇童伟, 罗必良. 流转“差序格局”撕裂与农地“非粮化”: 基于中国29省调查的证据[J]. 管理世界, 2022, 38(9): 96-113. [Qiu T W, Luo B L. The laceration of ‘orderly-diversity pattern’ of land transfers and non-grain production: Evidence from 29 provinces in China[J]. Journal of Management World, 2022, 38(9): 96-113.]
 - [32] 谢花林, 欧阳振益, 陈倩茹. 耕地细碎化促进了耕地“非粮化”吗? 基于福建丘陵山区农户的微观调查[J]. 中国土地科学, 2022, 36(1): 47-56. [Xie H L, Ouyang Z Y, Chen Q R. Does cultivated land fragmentation promote ‘non-grain’ utilization of cultivated land? Based on a micro survey of farmers in the hilly and mountainous areas of Fujian[J]. China Land Science, 2022, 36(1): 47-56.]
 - [33] 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.]
 - [34] 罗必良, 张露, 仇童伟. 小农的种粮逻辑: 40年来中国农业种植结构的转变与未来策略[J]. 南方经济, 2018, (8): 1-28. [Luo B L, Zhang L, Qiu T W. Logics of small households’ grain produc-

2023年8月

- tion[J]. *South China Journal of Economics*, 2018, (8): 1–28.]
- [35] 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[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(10): 172–182. [Cheng X B, Liu Q, Tao Y, et al. Non-grain production characteristics of cultivated land in rapidly urbanized regions and their mechanisms[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(10): 172–182.]
- [36] 徐艳晴, 刘鑫, 曹靛, 等. 耕地“非粮化”领域政府部门职责明晰化研究[J]. *中国土地科学*, 2022, 36(10): 13–20. [Xu Y Q, Liu X, Cao L, et al. Research on clarifying the responsibilities of government departments in the field of ‘non-grain’ of cultivated land[J]. *China Land Science*, 2022, 36(10): 13–20.]
- [37] 傅伯杰. 地理学综合研究的途径与方法: 格局与过程耦合[J]. *地理学报*, 2014, 69(8): 1052–1059. [Fu B J. The integrated studies of geography: Coupling of patterns and processes[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(8): 1052–1059.]
- [38] 周鹏, 邓伟, 彭立, 等. 典型山地水土要素时空耦合特征及其成因[J]. *地理学报*, 2019, 74(11): 2273–2287. [Zhou P, Deng W, Peng L, et al. Spatio-temporal coupling characteristic of water-land elements and its cause in typical mountains[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(11): 2273–2287.]
- [39] Zhu Z Y, Dai Z Z, Li S L, et al. Spatiotemporal evolution of non-grain production of cultivated land and its underlying factors in China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, DOI: 10.3390/ijerph19138210.
- [40] Zhu Z Y, Duan J, J Li S L, et al. Phenomenon of non-grain production of cultivated land has become increasingly prominent over the last 20 years: Evidence from Guanzhong Plain, China[J]. *Agriculture–Basel*, 2022, DOI: 10.3390/agriculture12101654.
- [41] 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.]
- [42] 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 farmland ‘non-grain’[J]. *China Land*, 2020, (11): 17–19.]
- [43] 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[J]. *地理学报*, 2022, 77(5): 1225–1243. [Zhang S Y, Deng W, Hu M G, et al. Identification and differentiation of human–nature interaction in mountainous transitional geospace of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(5): 1225–1243.]
- [44] 邓伟, 张少尧, 张昊, 等. 人文自然耦合视角下过渡性地理空间概念、内涵与属性和研究框架[J]. *地理研究*, 2020, 39(4): 761–771. [Deng W, Zhang S Y, Zhang H, et al. Transitional geospace from the perspective of human–nature coupling: Concept, connotations, attributes, and the research framework[J]. *Geographical Research*, 2020, 39(4): 761–771.]
- [45] Zhao L S, Hou R, Wu F Q. Effect of DEM grid size on microrelief indexes estimation for sloping lands after reservoir tillage[J]. *Soil and Tillage Research*, 2020, DOI: 10.1016/j.still.2019.104451.
- [46] 谭少军, 邵景安, 张琳, 等. 西南丘陵区高标准基本农田建设适宜性评价与选址: 以重庆市垫江县为例[J]. *资源科学*, 2018, 40(2): 310–325. [Tan S J, Shao J A, Zhang L, et al. Suitability assessment and sites of high standard basic farmland in the southwest hilly area of China[J]. *Resources Science*, 2018, 40(2): 310–325.]
- [47] 何鑫, 钟九生, 林双双, 等. 岩溶槽谷区耕地“非粮化”空间分异特征及驱动机制: 以贵州铜仁万山区为例[J]. *地理科学*, 2022, 42(12): 2207–2217. [He X, Zhong J S, Lin S S, et al. Characteristics and driving mechanism of spatial differentiation of ‘non-grain’ cultivated land in karst trough valley area: Taking Wanshan District, Tongren, Guizhou as an example[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(12): 2207–2217.]
- [48] 杨昕, 汤国安, 刘学军, 等. 数字地形分析的理论、方法与应用[J]. *地理学报*, 2009, 64(9): 1058–1070. [Yang X, Tang G A, Liu X J, et al. Digital terrain analysis: Theory, method and application [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(9): 1058–1070.]
- [49] 徐凯, 房艳刚. 辽宁省乡村多功能评价和演变特征分析[J]. *经济地理*, 2021, 41(1): 147–157. [Xu K, Fang Y G. Rural multi-function evaluation and evolution characteristics in Liaoning Province [J]. *Economic Geography*, 2021, 41(1): 147–157.]
- [50] 王慢慢, 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 land 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.]
- [51] 彭超, 张琛. 农业机械化对农户粮食生产效率的影响[J]. *华南农业大学学报(社会科学版)*, 2020, 19(5): 93–102. [Peng C, Zhang C. Assessment of agricultural mechanization on farmers’ grain aggregated production efficiency[J]. *Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition)*, 2020, 19(5): 93–102.]
- [52] 王祯, 吴金华, 白帅, 等. 黄土丘陵沟壑区耕地细碎化评价与土地整治工程分区: 以吴起县为例[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(4): 300–307. [Wang Z, Wu J H, Bai S, et al. Evaluation of cultivated land fragmentation and land consolidation engineering zoning in the loess hilly and gully region: A case study in Wuqi County[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(4): 300–307.]
- [53] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116–134. [Wang J F, Xu C D. Geodetector: Principles and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116–134.]
- [54] 陈秀端. 陕西省粮食安全区域差异及驱动因素分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2007, (8): 116–120. [Chen X D. The regional differ-

- ence analysis on food security and driving factors in Shaanxi[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, (8): 116–120.]
- [55] 叶文显, 刘勤燕. 陕西省粮食生产的时空演变及绩效评价[J]. 河南农业大学学报, 2016, 50(3): 434–440. [Ye W X, Liu Q Y. The spatial-temporal evolution and performance evaluation of grain production in Shaanxi Province[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2016, 50(3): 434–440.]
- [56] 陶冶, 李军, 冯开文. 陕西省农业灌溉水资源保障程度及空间差异分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(8): 97–104. [Tao Y, Li J, Feng K W. Analysis of the guarantee degree of irrigation water resources and its spatial difference in Shaanxi Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(8): 97–104.]
- [57] 王祯, 吴金华, 李嘉会, 等. 基于人粮关系的陕西省耕地资源承载指数时空变化与预测[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 174–183. [Wang Z, Wu J H, Li J H, et al. Temporal and spatial changes and prediction of cultivated land resource carrying capacity index in Shaanxi Province based on human-grain relationship[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 174–183.]
- [58] 孙英敏. 陕西省耕地利用转型与粮食产量耦合关系研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(7): 14–20. [Sun Y M. The coupling relationship between the transformation of cultivated land utilization and grain yield in Shaanxi[J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(7): 14–20.]
- [59] Cao F, Ge Y, Wang J F. Optimal discretization for geographical detectors-based risk assessment[J]. GIScience & Remote Sensing, 2013, 50(1): 78–92.
- [60] 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.
- [61] Hou G L, Delang C O, Lu X X. Afforestation changes soil organic carbon stocks on sloping land: The role of previous land cover and tree type[J]. Ecological Engineering, 2020, DOI: 10.1016/j.eco-leng.2020.105860.
- [62] 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[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(11): 2763–2777. [Wu Z D, Zhang Y, Wu Z L, et al. Study on the spatio-temporal evolution and influencing factors of economic efficiency of generalized water use for crop production in China's major grain producing area[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(11): 2763–2777.]
- [63] 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[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(8): 140–152. [Su F, Liu Y, Wang S G, et al. Impact of climate change on food security in different grain producing areas in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(8): 140–152.]
- [64] 常媛媛, 刘俊娜, 马静, 等. 干旱半干旱区耕地非粮化空间格局及驱动因素[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(2): 333–344. [Chang Y Y, Liu J N, Ma J, et al. Spatial pattern and driving factors of non-grain conversion on cultivated land in arid and semi-arid regions[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023, 40(2): 333–344.]
- [65] 陈帅, 徐晋涛, 张海鹏. 气候变化对中国粮食生产的影响: 基于县级面板数据的实证分析[J]. 中国农村经济, 2016, (5): 2–15. [Chen S, Xu J T, Zhang H P. Impact of climate change on China's grain production: An empirical analysis based on county panel data[J]. Chinese Rural Economy, 2016, (5): 2–15.]
- [66] 杜志雄, 韩磊. 供给侧生产端变化对中国粮食安全的影响研究[J]. 中国农村经济, 2020, (4): 2–14. [Du Z X, Han L. The impact of production-side changes in grain supply on China's food security[J]. Chinese Rural Economy, 2020, (4): 2–14.]
- [67] 肖卫东. 中国种植业地理集聚: 时空特征、变化趋势及影响因素[J]. 中国农村经济, 2012, (5): 19–31. [Xiao W D. Geographical agglomeration of plantations in China: Spatial and temporal characteristics, changing trends and influencing factors[J]. Chinese Rural Economy, 2012, (5): 19–31.]

The spatiotemporal evolution of non-grain conversion of cultivated land in southern Shaanxi Province and its driving factors

LV Yunhao, CUI Min, XIA Xianli, AN Fulin

(College of Economic Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this study was to explore the spatiotemporal responses of cultivated land conversion to different driving factors and their interactions in southern Shaanxi Province, to gain a more scientific and objective understanding of cultivated land non-grain conversion, which provides references for the formulation of food security policy and the guidance of appropriate non-grain conversion of cultivated land. [Methods] Based on the county-scale data of non-grain conversion of cultivated land of southern Shaanxi Province from 2005 to 2020, this study analyzed 30139 valid samples through a spatiotemporal variability model and the geographical detector model to explore the spatiotemporal evolution and driving factors of non-grain conversion. [Results] The results are as follows: (1) Temporally, the rate of non-grain conversion of cultivated land in southern Shaanxi showed a general upward trend, with obvious differences among cities. The spatial pattern of cultivated land conversion changed from high-low to low-high from west to east in southern Shaanxi, with Chenggu County in Hanzhong City in the west and Shangnan County and Luonan County in Shangluo City in the east as the centers, and areas with the medium-high and high conversion rates were concentrated at the periphery of the Hanzhong, Ankang, and Shangdan Basins. Generally, the spatiotemporal variation rate of non-grain conversion was high in the peripheral areas of Ankang and Shangdan Basins and low in others. (2) The temporal process of driving factors was highly dynamic, and its internal spatiotemporal interaction has neutralization effects on driving forces. The overall explanatory power of socioeconomic factors was stronger, and annual precipitation and GDP were the natural and socioeconomic factors with the highest explanatory power for the spatiotemporal variability of regional non-grain conversion of cultivated land. (3) The interactions of factors showed bivariate enhancement and non-linear enhancement effects, and there was no independent situation after the interaction. Moreover, the spatiotemporal dynamics of non-grain conversion were significantly influenced by the interaction of socioeconomic factors, and natural factors increased the driving effect of human factors. [Conclusion] We recommend that measures should be taken to address the issue of cultivated land non-grain conversion, by strengthening the construction of farmland water conservancy facilities, scientifically defining the bottom line of farmland non-grain conversion, balancing urban and rural resource investment, and creating strict land-use control institutions.

Key words: non-grain conversion of cultivated land; driving factors; spatiotemporal variability model; geographical detector model; southern Shaanxi Province