



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

重庆丘陵区耕地非粮化时空变异及驱动类型划分

谢雨琦, 王子芳, 王颖, 郑杰炳, 向书江, 高明

引用本文:

谢雨琦, 王子芳, 王颖, 郑杰炳, 向书江, 高明. 重庆丘陵区耕地非粮化时空变异及驱动类型划分[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(1): 15–26.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2023.0008>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

黄河中下游地区耕地轨迹演变及驱动机制研究——以河南省为例

耿艺伟, 陈伟强, 张锋, 马月红

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 249–258 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0216>

乡村转型视角下山地丘陵区农地规模经营影响因素与分区

廖仕梅, 刘卫平, 谢德体, 倪九派

农业资源与环境学报. 2018, 35(2): 181–188 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0241>

常州市钟楼区耕地产能空间分布与影响因素分析

朱新帅, 王博宇, 黄克龙, 曹天邦

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 672–680 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0297>

基于移动窗口法的半干旱生态脆弱区景观破碎化及驱动力分析

胡荣明, 杜嵩, 李朋飞, 姚燕子, 王睿哲, 滕坤阳

农业资源与环境学报. 2021, 38(3): 502–511 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0490>

新时代广州市耕地多功能评价及时空演变分析

唐春云, 臧俊梅

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 332–343 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0648>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

谢雨琦, 王子芳, 王颖, 等. 重庆丘陵山区耕地非粮化时空变异及驱动类型划分[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(1): 15–26.
XIE Y Q, WANG Z F, WANG Y, et al. Spatial-temporal variation and driving types of non-grain cultivated land in hilly and mountainous areas of Chongqing[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2024, 41(1): 15–26.



开放科学 OSID

重庆丘陵山区耕地非粮化时空变异及驱动类型划分

谢雨琦¹, 王子芳¹, 王颖², 郑杰炳³, 向书江¹, 高明^{1*}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆市规划与自然资源局, 重庆 404599; 3. 重庆地质矿产研究院, 重庆 401120)

摘要:为厘清中国西南典型丘陵山区的耕地非粮化态势和提供有针对性的管控措施,以重庆市为研究区域,基于空间自相关方法、地理探测器、主成分分析和K均值聚类等方法探究重庆市耕地非粮化驱动因素,并划分驱动类型。结果表明:2011—2020年,重庆市耕地非粮化率由37.51%上升至42.87%,中度非粮化和高度非粮化区县共增加了14个;空间聚集程度加深,高高集聚区和低高集聚区主要分布在中心城区。城乡居民人均可支配收入差距、城镇化率、各区县距中心城区距离是耕地“非粮化”主要的驱动因子,各因子交互作用以非线性增强为主,各区县距中心城区距离与城乡居民人均可支配收入差距两因子交互对非粮化空间格局的解释力最强。重庆市非粮化驱动类型可以分为农业生产支持型、区位经济引导型、农业生产弱化型三类,且分区结果与重庆市“一区两群”规划一致。研究结果可为重庆市耕地非粮化分区分管政策制定提供依据,同时为其他山地、丘陵地区提供借鉴。

关键词:耕地非粮化;空间自相关;地理探测器;分区管理;重庆市

中图分类号:F323.211

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2024)01-0015-12

doi: 10.13254/j.jare.2023.0008

Spatial-temporal variation and driving types of non-grain cultivated land in hilly and mountainous areas of Chongqing

XIE Yuqi¹, WANG Zifang¹, WANG Ying², ZHENG Jiebing³, XIANG Shujiang¹, GAO Ming^{1*}

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Bureau of Planning and Natural Resources, Chongqing 404599, China; 3. Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 401120, China)

Abstract: To clarify the distribution of non-grain arable land in typical hilly areas of southwest China, and to provide targeted control measures, the driving factors and types of cultivated land in the research area of Chongqing are explored based on spatial autocorrelation, geographic detecting, principal component analysis and K-means clustering. The results show that from 2011 to 2020, the cultivated non-grain land in Chongqing increased from 37.51% to 42.87%, and the number of moderately and highly non-grain counties increased by 14. Non-grain cultivated land showed stronger spatial aggregation, and the high and low concentration areas are mainly distributed in the central urban area. The per capita disposable income gap between urban and rural residents, the urbanization rate, and the distance between districts and counties are the main driving factors of non-grain cultivation, and the interaction between these factors is mainly nonlinear. The relationship between the distance between districts and counties and the gap between urban and rural residents' disposable income provides the strongest explanation for the spatial pattern of non-food distribution. The non-grain driving types in Chongqing can be divided into three categories: agricultural production support, regional economic guidance, and weakening of agricultural production. The zoning results are similar to the planning of “One District and Two Groups” plan in Chongqing. The results of this study provide reference to formulate regional control policies on non-grain cultivated land in Chongqing, as well as to realize sustainable agricultural development and providing reference to understand land use in other mountainous and hilly cities.

Keywords: non-grain cultivated land; spatial autocorrelation; geographic detector; zone management; Chongqing Municipality

收稿日期: 2023-01-04 录用日期: 2023-02-13

作者简介: 谢雨琦(1999—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土地利用规划。E-mail: 1304796984@qq.com

*通信作者: 高明 E-mail: gaoming@swu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(42177019); 重庆市教委人文社会科学研究项目(19SKGH276)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China (42177019); Chongqing Education Commission Humanities and Social Science Research Project(19SKGH276)

中国作为世界上人口最多的国家,其粮食生产与安全是关系到经济运行、社会安定、国家安全的重要战略问题^[1-2]。我国在过去的几十年里,通过建立比较完整的耕地保护政策体系,有效地减少因城市扩张导致的耕地大规模流失^[3],但仅关注耕地面积的维持和耕地向建设用地转化还不够,随着国家粮食安全战略的实施,耕地内部的非粮化现象逐渐受到高度重视。“非粮化”被定义为将大量耕地转化为非粮食生产,如花卉或苗圃种植、家禽养殖和农业旅游等活动的行为^[4]。非粮化活动可以为农民带来收益,缩小城乡差距,但同时也会改变耕地利用方式、减少耕地数量、削弱耕地质量,对区域生态环境造成威胁,过度非粮化还会造成对粮食生产前景高估的情况^[5],这会进一步威胁粮食安全。2020年11月,国务院办公厅印发了《关于防止耕地“非粮化”稳定粮食生产的意见》,要求采取有力举措抑制耕地过度非粮化,政、学两界均重视起耕地非粮化问题。

当前,学者围绕“非粮化”进行了大量研究,研究成果主要在于揭示非粮化活动现状、潜在原因。陈浮等^[6]的研究揭示了中国非粮化率呈现西北和东南高、东北和中部低的分布格局,且不同省份的非粮化状况差异明显。孟菲等^[7]指出2016年后我国非粮作物种植出现显著提升,2017—2018年耕地非粮化水平增长了0.39%。这说明我国面临着保证粮食安全的重大挑战,并且有必要讨论非粮化的影响机制。戚渊等^[8]、曾雅婷等^[9]围绕农地资本化、农地流转与非粮化的关系进行分析,认为耕地地价上涨是非粮化重要的诱因,程宪波等^[10]在“人”“地”“业”“制”多元框架下,讨论了在城镇化快速发展地区耕地非粮化易受人口老龄化特征和自然禀赋的影响。也有大量研究围绕粮食主产区、经济发达地区,建立RDA模型^[11]、地理加权回归模型^[12]、统计模型^[8],从自然与经济方面分析非粮化的影响因素,发现农业产业政策^[12]、农业人口数量^[13]、机械化水平^[14]对非粮化有不小的影响。综上所述,以往研究已对“非粮化”进行了丰富的研究,但仍存在不足之处:①研究多集中于粮食主产区和沿海城市,忽视了西南丘陵山区自然、经济的差异特征,致使研究结果不全面;②在驱动因素方面,没有将经济、自然条件与区位和农业生产等因素综合考虑,没有分析出完整的影响机理;③少有研究对某一区域非粮化驱动类型进行划分,未能提出针对性、差异化的应对措施。鉴于此,本研究以重庆市作为研究区域,分析2011—2020年重庆市耕地非粮化率的时空特征,并

在区位、经济发展、农业生产能力、农业生产投入和农业生产禀赋综合框架下讨论重庆市耕地非粮化的影响机理,并对非粮化驱动类型进行了划分,从而提出差异化的管控政策。

重庆市作为长江上游地区经济中心,在过去10年间城市建设扩张蔓延^[15],产业的发展使得耕地占用以及非粮化现象增多。近几十年来重庆市粮食产量曲折上行,2021重庆市粮食单产为 $5.27\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,农业产值为159.6亿元,均处于我国中等偏下的位置。第三次全国国土调查数据表明,重庆市要以187万 hm^2 耕地满足3 016万人口的粮食需求,压力巨大。从粮食自给率来看,重庆市粮食安全能力靠后,不及邻近的四川,因此亟需寻求新的粮食安全战略。作为丘陵山区内陆的特大城市,重庆市发展格局有明显的大城市带大农村的特征,渝东南地区的区县仍保留着大量的农业生产活动,易受自然因素和社会经济的影响^[16],由此可见确保重庆市粮食生产自给能力对于西南区域稳定发展和粮食安全具有重要意义,因此探究其耕地非粮化时空演变、驱动因素以及分区管理,不仅可以为重庆市耕地非粮化管控提供科学依据,而且为其他同类型丘陵山地城市农业可持续发展和政策制定提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

重庆市是长江上游地区经济中心,介于东经 $105^{\circ}11' \sim 110^{\circ}11'$ 、北纬 $28^{\circ}10' \sim 32^{\circ}13'$ 之间,如图1所示,重庆市东邻湖北、湖南,南接贵州,西邻四川,北连陕西。重庆地势整体由南北向长江河谷逐级降低,西北部和中部以山地、丘陵为主,东南部邻接大巴山和武陵山两大山脉,坡地较多,素有“山城”之称。

1.2 数据来源

重庆市下辖38个区县行政单元,因渝中区为全面城建区没有耕地,因此将其剔除,本研究涵盖了其余的37个区县;耕地粮食播种数据、耕地面积以及相关的社会经济数据来源于《重庆统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》、第三次全国国土调查成果和各区县的统计年鉴;气候生产潜力指数查阅自《农用地质量分等规程》;DEM数据下载自地理空间数据云服务平台(<http://www.gscloud.cn/>)中的ASTER GDEM产品,空间分辨率为30 m。

1.3 研究方法

1.3.1 非粮化测度

界定“非粮化”的概念是研究耕地非粮化的重要

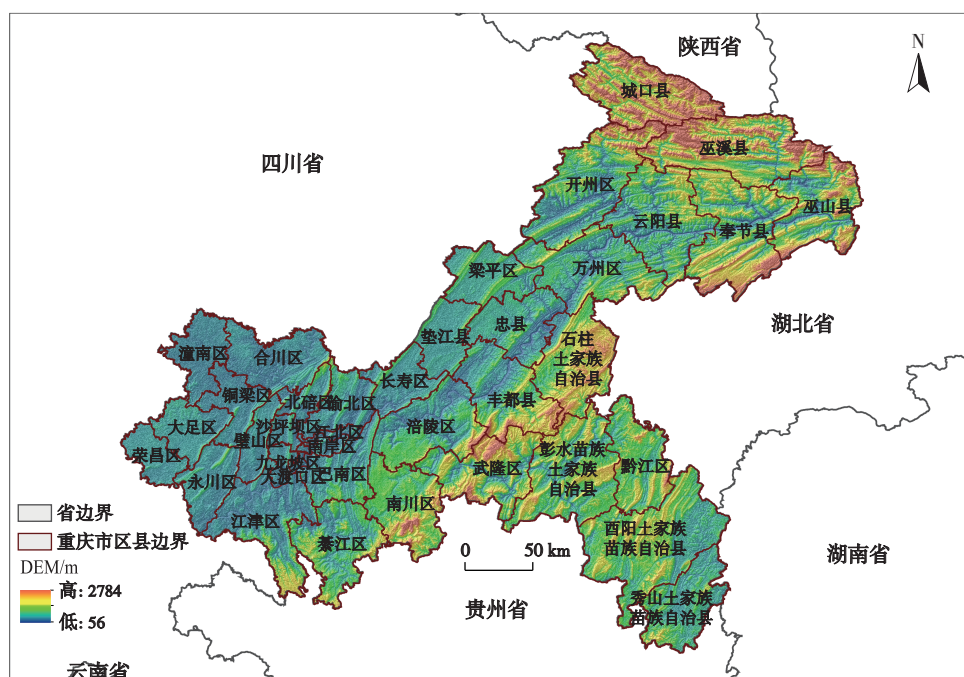


图1 研究区位置

Figure 1 Geographical location of the study area

前提,许多学者采用流转后非粮食作物播种面积占流转总面积的比例^[17]、粮食收入占总收入的比例^[18]、种植经济作物的家庭农场数量占比^[19]来反映耕地非粮化的水平。非粮作物种植比例可以表征某一区域种植比例及种植结构上“非粮化”^[17,20],鉴于重庆市所公开数据的权威性、可获得性和相关研究结果^[21],本研究将耕地非粮化界定为种植结构的非粮化。以各区县的非粮食作物播种总面积与农作物播种总面积的比值来表征非粮化率,计算公式如下:

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

式中: P 为耕地非粮化率,%; G 表示粮食作物的播种面积, hm^2 ; C 为农业作物的播种总面积, hm^2 。

1.3.2 空间自相关模型

(1)全局自相关可以反映某一属性在一个区域内的集聚程度和分散情况,能够反映空间邻域单元属性值的相似程度^[22],可判断非粮化率在空间上是否存在集聚或分散现象,全局莫兰指数(Global Moran's I)公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

式中: x_i 为区域 i 的观测值; W_{ij} 是空间权重矩阵。

Global Moran's I 的取值范围为 $[-1, 1]$, I 大于0代表集聚分布, I 小于0代表离散分布, I 等于0代表空间单元之间相互独立。

(2)局部空间自相关则能够表示每个局部单元与全局总趋势相符的程度,并揭示数据的空间异质性^[23],利用局部莫兰指数(Local Moran's I)可以识别非粮化率高值和低值的空间关联模式,公式如下:

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij}(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

Local Moran's I 的取值不限于 $[-1, 1]$,因此通过以下公式对其进行统计检验:

$$z_i = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{\text{VAR}(I_i)}} \quad (4)$$

1.3.3 指标体系构建

耕地“非粮化”受自然因素与社会经济因素的影响较大,以整体性、适宜性、科学性和数据可得性为原则,从自然、区位、社会经济、农业生产能力、农业生产投入和农业资源禀赋6个维度选取指标来构建耕地“非粮化”驱动因子指标体系(表1)。

地形地貌因素会制约和影响土地的利用方式及程度,坡度越大,种植蔬菜、水果、茶叶等经济作物收益更高,趋向于“非粮化”;海拔高低变化引起的温度

表1 耕地非粮化水平驱动因子指标体系

Table 1 Index system of driving factors for non-grain level of cultivated land

指标 Index	指标释义 Index interpretation	文献来源 Reference	方向 Direction
耕地面积	区县所有耕地的总面积(hm ²)	[6]	-
城镇化率	城镇人口占总人口的比例(%)	[6]	+
农业劳动力占比	乡村农业从业人数占总从业人数比例(%)	[6]	-
坡度	区县平均坡度(°)	[13]	-
城乡人均可支配收入差距	城乡人均可支配收入差额(元)	[13]	+
GDP	区县所有常住单位在一定时期内生产活动的最终成果(万元)	[14]	+
气候生产潜力指数	理想最高产量(t·hm ⁻²)	[14]	-
农业机械总动力	区县用于农、林、牧、渔业的各种动力机械的动力总和(10 ⁴ kW)	[14]	-
高程	区县平均海拔(m)	[24]	-
农村人均可支配收入	农村家庭总收入中扣除各种相应支出后的初次分配和再分配后的收入(元)	[24]	+
各区县到中心城区的距离	各区县到主城九区几何中心的距离(m)	[25]	-
粮食单产	区县粮食总产量除以耕地面积(t·hm ⁻²)	[25]	+
农业总产值	农、林、牧、渔业总产值(万元)	[25]	-
农药化肥施用量	区县一年内农业生产使用的农药化肥总量(t)	[26]	-

变化会影响该区域种植作物的生长,因此选用坡度和海拔作为自然条件的衡量指标。

重庆市具有明显的分区发展模式,距离中心城区较近的区县经济水平高、粮食需求大、交通运输条件好,这样的区位条件会影响区域农业生产的方向,因此选择各区县距中心城区距离作为衡量区位条件的指标。

一个地区的经济发展水平会影响农户收入水平,进而影响和改变其种植作物的选择,地区生产总值可以表征一个地区的经济发展水平,城镇化率能反映区域的城镇化进程,农村人均可支配收入和城乡人均可支配收入差距可以反映出农村经济特征以及城乡发展的差距,因此选择以上4个指标来衡量社会经济的发展水平。

农业发展的状况对耕地非粮化也有较大影响,粮食单产和农业生产总值能反映研究单元的粮食生产能力和农业生产规模;从投入-产出的角度来看,农业生产的投入也会影响粮食生产与农户的种植选择,因此选用农业机械总动力、农药化肥施用量、农业劳动力占比来表征其农业生产投入水平;某地所拥有的耕地面积决定其农业生产的上限,会影响农户的利用方式,而气候生产潜力指数能够反映在农业气候条件达到理想最优时农作物所能达到的最高产量。因此选用以上指标来衡量农业发展的整体状况。

1.3.4 地理探测器

地理探测器是一种探测分析空间分异性及其背后

驱动力的一组统计学方法^[27]。其核心理论是:若某自变量对某因变量产生影响较大,那么自变量与因变量的空间分布格局应趋于一致^[28]。因子探测器中 q 统计量值可以用来评判自变量对因变量空间分异的解释力, q 值为0则因变量与自变量无关, q 值为1则表明该自变量完全解释了因变量的空间分布。公式如下:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (5)$$

式中: h 为因子 X 或变量 Y 的分层(分类或分区), $h=1,2,\dots,L$; N_h 和 N 分别为层 h 和全区单元数; σ_h^2 和 σ^2 分别是层 h 和全区 Y 值的方差。

交互作用探测用于识别不同风险因子间的交互作用,通过分析两个因子叠加之后的 q 值与原单个因子 q 值的关系来判断不同因子之间的交互作用及其强度,因子交互类型的划分见表2。

1.3.5 耕地非粮化驱动类型划分

主成分分析法基于线性代数、支持向量机等相关

表2 因子交互作用类型

Table 2 Types of factor interaction

判据 Standard	交互类型 Type
$q(x_1 \cap x_2) < \min[q(x_1), q(x_2)]$	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

理论,通过降维处理将多个因子转化为一个或几个综合指标^[29],获得原始资料反映的特征信息,本研究采用主成分分析法提取重庆市耕地非粮化驱动因子的综合指标。 K 均值聚类法通常将样本数据依据某种特征划分为 n 组,在选择初始聚类中心的基础上,依据距离规则反复迭代以确定最终分组^[30]。基于主成分得分,利用 K 均值聚类法可以得到耕地非粮化不同的驱动类型。

2 结果与分析

2.1 重庆市耕地非粮化时空演变特征

重庆市耕地非粮化率上升明显,2011—2020年耕地非粮化率平均值由37.51%上升至42.87%,增长了5.36个百分点。非粮化率最高值由2011年的98.63%降为2020年的76.22%,最低值由21.18%增长为27.21%。

参考前人的研究^[6,25],在使用自然断点法使非粮化率各组分差异最大化的基础之上,适度调整分类界限,以更好地对比两个年份重庆市耕地非粮化情况的差异,本研究将重庆市耕地非粮化程度划分为3个等级:低度非粮化(非粮化率 $\leq 35\%$)、中度非粮化($35\% < \text{非粮化率} \leq 50\%$)、高度非粮化(非粮化率 $> 50\%$)。重庆市耕地非粮化在空间上呈现出较强的差异性(图2),总体呈现西南高东北低的格局,2011—2020年空间分布格局变化显著,2011年高度非粮化区域集中于中心城区,中度分布于主城新区并逐步向东南城镇群蔓延,至2020年,低度非粮化仅存于渝东北山区。统计结果(表3)表明,2011—2020年重庆市

中度非粮化水平的区县增加了12个,高度非粮化水平的区县增加了2个,说明重庆市耕地非粮化水平呈现由低度向中高度转化的趋势。

2011年和2020年重庆市耕地非粮化的全局 Moran's I 通过90%和95%的置信度检验, Z 值为正且均大于临界值1.65,说明重庆市耕地非粮化的空间分布格局有较强的正相关性。研究期内,重庆市耕地非粮化全局 Moran's I 上升,由2011年的0.14上升为2020年的0.18,说明重庆市非粮化的空间聚集程度随着区域的发展而加大。

图3展示了重庆市耕地非粮化集聚的空间分布格局,重庆市耕地非粮化的空间集聚类型以高-高集聚和低-高集聚为主,2020年重庆市高-高集聚的区县有5个,均为重庆市中心城区。高值聚类区位于经济发展水平较高的城建区,城市化的推进以及农业生产的多样性促使耕地利用脱离了粮食生产,因此非粮化程度很高。低-高集聚的区县一直保持在6个,均围绕着中心城区分布,这些区县是重庆的主城发展新

表3 不同程度非粮化区县数量与占比

Table 3 The number and proportion of districts and counties with different degrees of non-grain cultivated land

年份 Year	高度非粮化 Highly non-grainization		中度非粮化 Moderate non-grainization		低度非粮化 Low degree of non-grainization	
	个数 Number	占比 Proportion	个数 Number	占比 Proportion	个数 Number	占比 Proportion
2011年	6	16.22%	11	29.73%	20	54.05%
2020年	8	21.62%	23	62.16%	6	16.22%

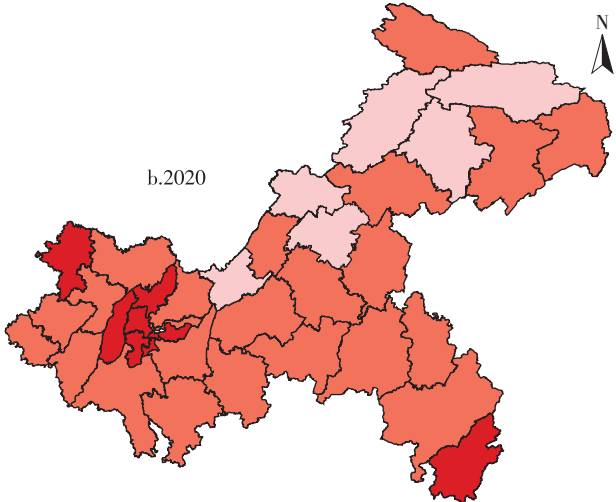
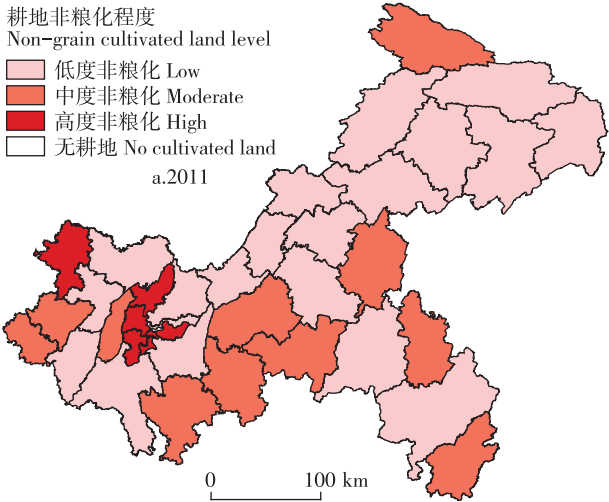


图2 重庆市耕地非粮化空间格局

Figure 2 Spatial pattern of non-grain cultivated land in Chongqing

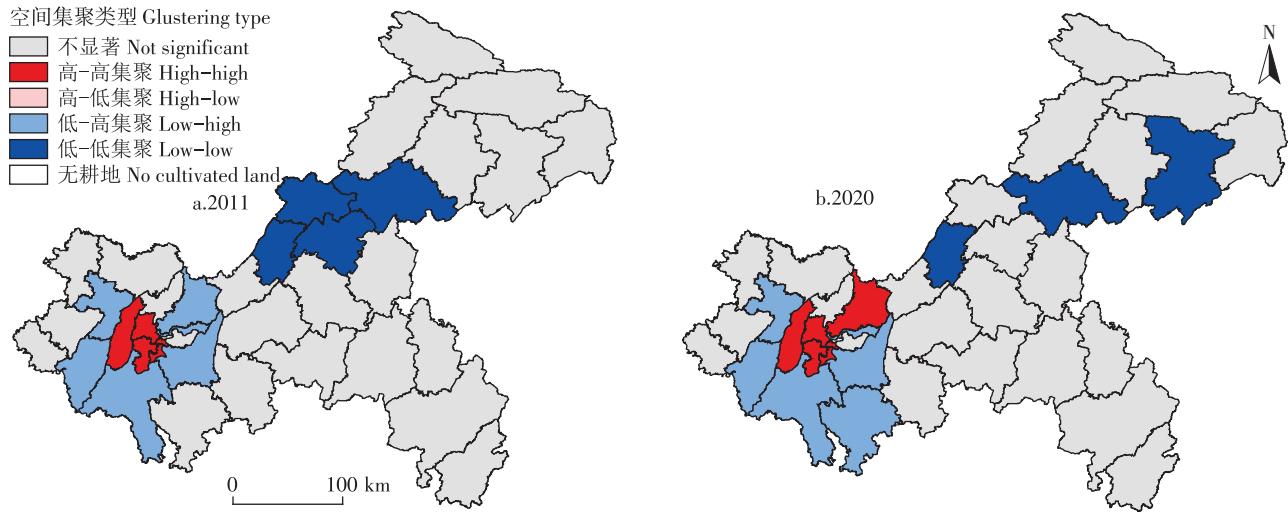


图3 重庆市耕地非粮化聚类空间分布

Figure 3 Spatial distribution of non-grain clustering of cultivated land in Chongqing

区,其经济发展并不成熟,承接中心城区的功能与产业转移,对于耕地的使用仍然以保证粮食生产为主,因此形成低高聚类。低-低集聚分布于渝东北,该区域在重庆市“一区两群”的规划中被视为生态涵养发展区,城镇化进程较慢,农业生产本底较好,有良好的粮食生产条件,因此非粮化率较低。

2.2 重庆市耕地非粮化驱动力

2.2.1 因子探测结果

基于地理探测器“因子探测”模块可确定14个驱动因子对耕地非粮化空间分异的贡献率以及重要性。14个因子均通过显著性检验,探测结果(表4)表明,重庆市耕地非粮化空间分布差异受多种因子共同驱动,各因子按照 q 值降序排列为:城乡居民人均可支配收入(0.380)>城镇化率(0.360)>各区县距主城区距离(0.357)>农业劳动力占比(0.334)>农业机械总动力(0.327)>GDP(0.309)>高程(0.227)>气候生产潜力指数(0.221)>坡度(0.216)>农药化肥使用量(0.211)>农村人均可支配收入(0.201)>农业总产值(0.170)>粮食单产量(0.145)>耕地面积(0.134)。

结果显示,社会经济、区位和农业生产投入因子

对重庆市耕地非粮化的空间解释力度较强,城乡人均可支配收入差距的 q 值最大,其可以看作是一些因子影响下的综合体现,具体影响机理如图4所示。距离中心城区越近的区县非粮化率越高,这与空间自相关的分析结果相印证,中心城区是经济发展的核心,该区域高度非粮化区县集聚,是因为其经济的发展使得GDP逐年增加、城镇化率不断提升,这导致区县耕地使用更多地脱离粮食生产的功能,转而种植经济效益更高的经济作物或者寻求生产性调整,城区具有了很强的辐射和吸收能力,不断吸引乡村人口向城区流动,由此造成了乡村劳动力的流失,农业劳动力占比低的区县受制于劳动力不足会减少粮食作物种植,最终导致城乡发展割裂、乡村衰落,城乡可支配收入差距增大,非粮化率升高。尽管经济作物的种植能一定程度上增加农民收益,但并不能弥补农村发展上的缺陷和不足,仍然无法缩小城乡居民的收入差异。

农业机械总动力对耕地非粮化的解释力也较强,是一个正向指标。“巴掌田、鸡窝地”是重庆市土地资源自然禀赋的短板,山地丘陵地形使得耕地破碎化,从而限制了耕地的使用效率。重庆于2004年颁布实

表4 单因子探测结果(q 值, $P<0.01$)Table 4 Single factor detection results(q statistic value, $P<0.01$)

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
0.216	0.227	0.221	0.357	0.134	0.145	0.327	0.211	0.334	0.309	0.360	0.170	0.201	0.380

注: X_1 :坡度; X_2 :高程; X_3 :气候生产潜力指数; X_4 :各区县到主城区的距离; X_5 :耕地面积; X_6 :粮食单产量; X_7 :农业机械总动力; X_8 :农药化肥使用量; X_9 :农业劳动力占比; X_{10} :GDP; X_{11} :城镇化率; X_{12} :农业总产值; X_{13} :农村人均可支配收入; X_{14} :城乡可支配收入差距。

Note: X_1 : slope; X_2 : elevation; X_3 : climate production potential index; X_4 : the distance between each district and the center city; X_5 : cultivated land area; X_6 : grain yield per unit area; X_7 : total power of agricultural machinery; X_8 : pesticide and fertilizer usage; X_9 : proportion of agricultural labor force; X_{10} : GDP; X_{11} : urbanization rate; X_{12} : gross agricultural product; X_{13} : rural per capita discretionary income; X_{14} : urban and rural income gap.

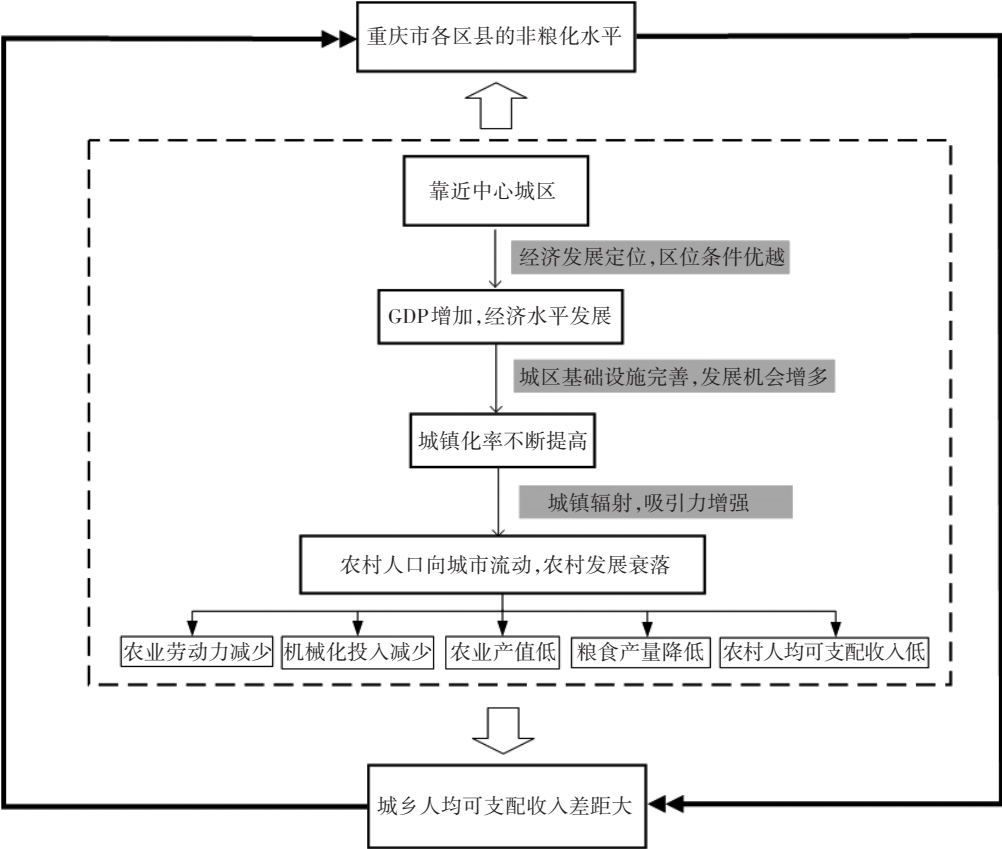


图4 重庆市耕地非粮化影响机理

Figure 4 Influence mechanism of cultivated land in Chongqing

施的《农业机械化促进法》和2005年以后国家实施的农机购置补贴政策都促使重庆农业机械化水平的提高,在“十二五”期间整体机械化率由26%提升至42%,至2017年已达47.2%。进行土地整理、提高农机应用率可以降低粮食种植成本,提升种粮效率,从而提高农民的种粮意愿。

2.2.2 因子交互探测结果

重庆市耕地非粮化率的空间变异交互探测结果(图5)表明,任意两因子的相互作用均大于单一因子的解释力,且因子交互类型多为非线性增强。

各区县距中心城区距离与城乡居民可支配收入差距因子交互对非粮化空间格局的影响最强, q 值高达0.98;农村人均可支配收入 $\cap$ 城乡可支配收入差距的 q 值达0.95,说明经济因子的交互也能很好地解释非粮化空间格局的形成;城镇化率 $\cap$ 各区县距中心城区距离、农业劳动力占比 $\cap$ 各区县距中心城区距离,以及农业劳动力占比 $\cap$ 农业机械总动力的 q 值均在0.9以上,从交互类型来看,区位因子和经济因子、农业投入类的因子交互后对重庆市耕地非粮化空间分异的解释力极强,说明重庆市非粮化情况与区位密切

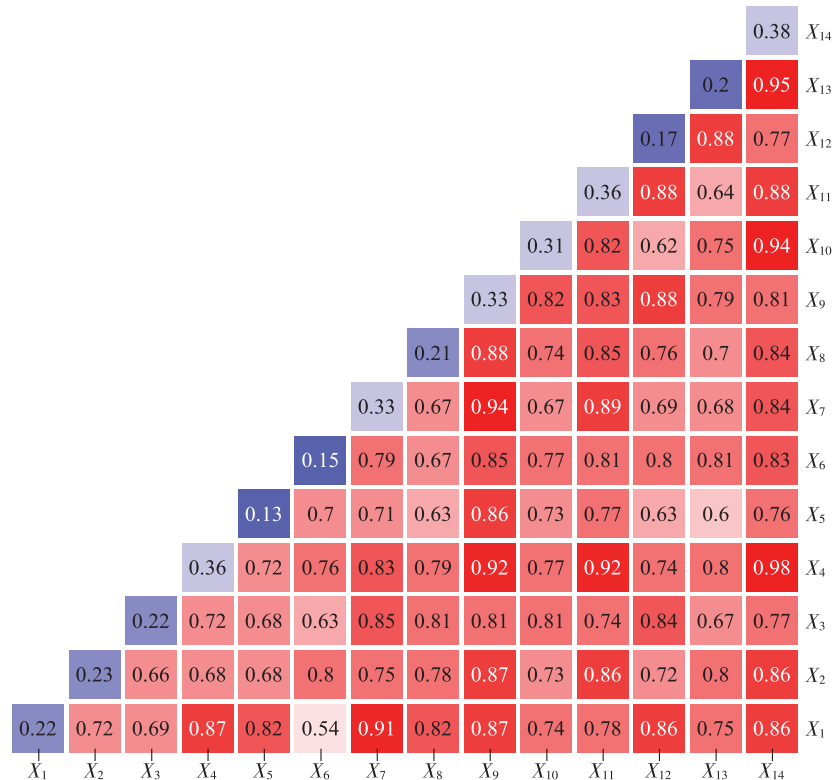
相关,在空间上有明显的划分,因此有必要进行分区探讨。自然条件与社会经济、区位优势与社会经济的交互增强了对非粮化现象的解释力,如高程、粮食单产量等单因子在与其他因子交互后具有很强的解释力,说明重庆市耕地非粮化分异是不同影响因素共同作用的结果。其余交互因子 q 值未达到0.9,但交互后解释力均有很大的提升,表明双因子较单一因子对非粮化空间分异影响程度更高。

2.3 重庆市耕地非粮化驱动类型

2.3.1 划分方法

利用主成分分析方法对所选的14个指标进行主成分提取,以确定影响耕地非粮化的主要因子。主成分分析所得KOM值为0.773,通过显著性检验,说明主成分分析可行。前3个主成分的特征值(表5)依次为5.63、3.45、1.39,其累积贡献率占总方差百分比的74.81%,说明前3个主成分可以涵盖14个指标的信息,因此选用前3个主成分作为耕地非粮化驱动类型划分的依据。

成分矩阵(表6)表明,第1主成分在区县距中心城区距离、城镇化率、农村人均可支配收入等因子上



图中X所代表因子与表4相同。
X represents the same factor as Table 4.

图5 因子交互探测热力图

Figure 5 Heat map of factor interaction detection

具有较大载荷,将该主成分归为经济与区位因子;第2主成分在农业生产总值、粮食单产量、农业机械总动力、化肥农药施用量上有较大载荷且呈正相关,可归为农业生产投入与产出因子;第3个主成分在气候生产潜力指数、城乡人均收入差距上有较大载荷,气候条件决定了农业发展的适宜性,而城乡收入差距可以体现农村、农业的发展状况,因此将此归为农业发展条件因子。

计算各区县在3个因子上的主成分得分,依据该得分进行K均值聚类分析,以判别不同的非粮化驱动类型,聚类分析结果(图6)表明:第一类在农业生产投入与产出因子上得分较高,第二类在经济与区位上得分较高,第三类在农业发展条件因子上得分高于另两类。因此认为重庆市耕地非粮化驱动类型可以划分为三类:农业生产支持型、经济区位引导型和农业生产弱化型。

2.3.2 重庆市非粮化驱动类型划分

通过K均值聚类分析最终获得了重庆市37个区县耕地非粮化驱动类型的划分结果(图7),该划分结果与重庆市区域发展规划——“一区两群”格局一致

表5 主成分特征值与贡献率

Table 5 Eigenvalues and contribution rates of principal components

成分 Composition	初始特征值Initial eigenvalue		
	总计 Total	方差百分比 Percentage of variance/%	累积 Cumulative/%
PCR1	5.63	40.21	40.21
PCR2	3.45	24.68	64.88
PCR3	1.39	9.93	74.81

(图8),各类型指标平均值见表7:

(1)农业生产支持型:共计12个区县,大部分属于重庆市的主城新区,以中度非粮化为主,平均耕地非粮化率为41.77%。该类型区县围绕中心城区分布,经济发展迅速,交通区位条件较好,其在农业化肥、机械总动力、农业生产总值等指标上均值最高,说明该类型有大量的农业投入并且农业生产能力很强。上述特征表明农业生产支持型的非粮化区县符合其经济发展的态势,良好的区位条件促使其不断向中心城区的发展靠近,但并未完全丧失农业生产的功能。

(2)经济区位引导型:共计16个区县,是最主要

表6 成分矩阵
Table 6 Component matrix

影响因子 Influence factor	PCR1	PCR2	PCR3
坡度(X_1)	0.767	-0.49	0.241
高程(X_2)	0.796	-0.461	0.12
气候生产潜力指数(X_3)	0.155	0.287	0.683
各区县到中心城区距离(X_4)	0.858	-0.3	0.039
耕地面积(X_5)	0.56	0.693	0.105
粮食单产量(X_6)	-0.195	0.777	-0.414
农业机械总动力(X_7)	0.541	0.578	0.189
农药化肥施用量(X_8)	0.542	0.713	-0.1
农业劳动力占比(X_9)	0.578	0.012	0.124
GDP(X_{10})	-0.716	0.324	0.284
城镇化率(X_{11})	-0.931	-0.089	0.083
农业总产值(X_{12})	0.382	0.869	0.005
农村人均可支配收入(X_{13})	-0.883	0.159	0.238
城乡可支配收入差距(X_{14})	-0.268	0.11	0.648

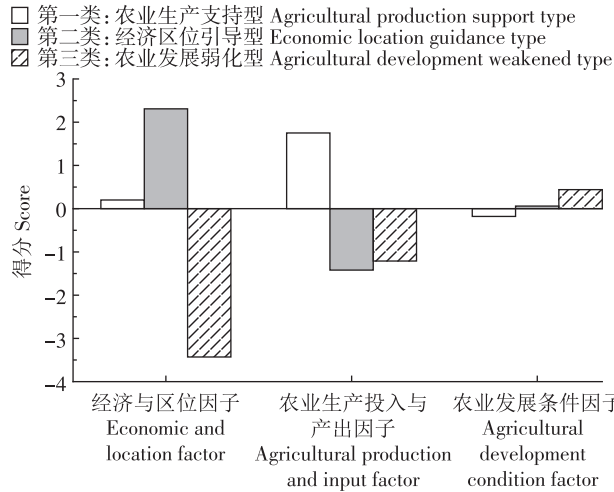


图6 分类主成分得分

Figure 6 Classification principal component scores

的非粮化驱动类型(43.24%),平均非粮化率仅为38.56%,主要分布在渝东北和渝东南城镇群,“城镇群”的主要目的是在不破坏生态的前提下固定过剩劳动力^[31],这极大地影响了其农用地的使用。该类型GDP、城镇化率、农业生产总值均值是三种类型里最低的,距主城区的距离也最远,经济发展与城镇化较缓,使得农业从业人口中从事农业的比例最高,“两翼”生态保护的定位,也确保了对耕地的保护和使用。

(3)农业生产弱化型:共计9个区县,多位于中心城区,是非粮化程度最严重的类型,平均耕地非粮化率为52.02%。该类型气候生产潜力指数最低,说明农业生产的自然条件弱于其他两个类型,其城乡居民人均可支配收入差距最大。这是由于该类型的区县着力

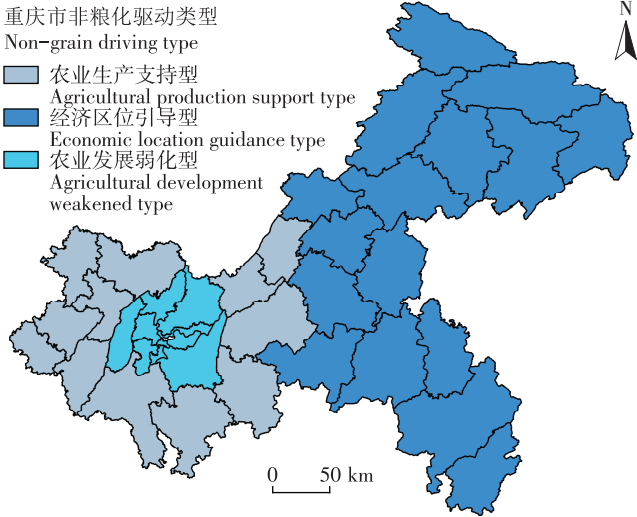


图7 非粮化驱动类型划分

Figure 7 Classification of non-grain driving types

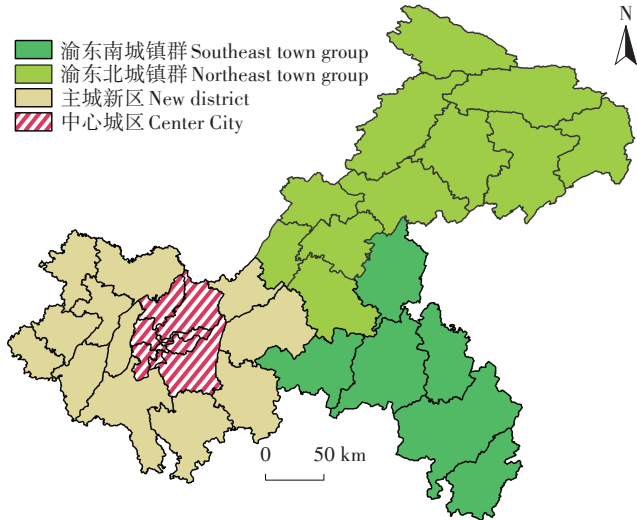


图8 重庆市“一区两群”规划图

Figure 8 Planning diagram of “One district and two groups” in Chongqing

发展二三产业以实现区域经济的完善,多数已发展为城建区,导致农业发展萎缩,缺少农业生产条件,因此促进了非粮化率的升高。

3 讨论

3.1 重庆市耕地非粮化时空格局与驱动力

本研究表明,重庆市整体处于中度非粮化状态,耕地非粮化存在空间依赖性,与城市经济发展和区域功能规划密切相关,经济发展水平越高的地方越容易产生非粮化行为,同时非粮化活动因产业发展、风俗习惯以及村民间相互学习和借鉴而易形成集聚^[4]。因子探测结果表明,城乡居民人均收入差异对重庆市非粮化空间格局分异的解释力最强,由此推测重庆市

表7 非粮化各驱动类型指标均值

Table 7 Mean values of non-grain indicators of each driving type

指标 Index	农业生产支持型 Agricultural production support type	经济区位引导型 Economic location guidance	农业发展弱化型 Agricultural development weakened type
耕地面积/hm ²	74 439.83	63 737.75	16 322.56
粮食单产/(t·hm ⁻²)	6.29	4.67	5.00
农业机械总动力/10 ⁴ kW	51.37	48.15	16.22
气候生产潜力/(t·hm ⁻²)	100.37	101.35	99.34
坡度/(°)	8.92	18.71	9.00
高程/m	457.92	853.23	341.60
GDP/万元	7 598 641.00	3 306 638.50	10 234 118.22
城镇化率/%	62.86	49.78	90.30
农业总产值/万元	1 126 954.79	735 742.47	243 907.22
农业劳动力占比/%	43.84	46.37	36.71
农村人均可支配收入/元	22 079.99	16 489.97	28 412.76
农药化肥施用量/t	33 423.83	28 003.44	5 460.89
各区县到中心城区距离/m	80 977.73	223 502.76	25 549.62
城乡可支配收入差距/元	20 724.42	21 111.31	21 832.11
非粮化率/%	41.77	38.56	52.02

耕地非粮化的影响机理本质上是城乡发展的二元制导致了农村发展衰弱、农业劳动力流失、农业投入减少,从而加重了地区的非粮化率。对比张颖诗等^[25]对广东省非粮化的研究发现,两地同为山地丘陵地形区,其缺少了农业机械化对非粮化影响的探讨,山地丘陵的破碎化是导致农作物种植困难和产量低下的重要原因^[32],且耕地破碎化对于促进非粮化有较强的正向作用^[33],因此进行土地综合整治与规划、提高机械化水平对于丘陵山地地形区来说是遏制过度非粮化的重要手段,但在机械化应用过程中应合理引导,不能完全为了提高效益只种植经济作物而忽视了粮食生产,要避免种植结构的失衡。

当前研究多针对中国整体的非粮化情况进行探究,聚焦市、县等中微观尺度的研究较少,以往以中国^[7]、山东^[14]、广西^[24]、广东^[25]为研究区域探究耕地非粮化影响因素的研究采用地理加权回归、随机森林、线性回归等方法探讨了单个因子与非粮化之间的相关性,而未考虑多个因素交互后对耕地非粮化的作用及影响。本研究使用地理探测器发现,重庆市耕地非粮化受两个因子交互的影响均大于单个因子的影响,且区位因子与经济、农业生产条件类因子交互后解释力极强,说明重庆市耕地非粮化受区位、经济的引导作用较大,而双因子交互后解释力增强也证明非粮化分异形成原因具有复杂性,是多因素共同作用的结果。

3.2 耕地非粮化分区分管措施

通过主成分分析以及K均值聚类方法,本研究对

重庆市非粮化驱动类型进行了划分,所得划分结果与重庆市“一区两群”的发展规划一致,说明“一区两群”不仅是经济发展、区域发展的规划,同时也可以作为重庆市非粮化分区精准管控的参照。

(1)农业生产弱化型:耕地非粮化率因城区经济发达且农业生产禀赋较弱,要以城市周边永久基本农田划定成果为依据,调整耕地和基本农田保护目标,优化调整农用地结构,鉴于其核心带动功能和产业升级引领区的发展定位,应利用都市核心区良好的粮食需求市场和销售渠道确保种粮农民的收入,以维系耕地的粮食种植功能。

(2)农业生产支持型:经济发展潜力大、速度快,城镇化进程快,作为主城新区仍保有农业发展的能力,该类型应加快培育农民合作社、家庭农场等新型农业经营主体,创新股权合作机制和农业经营模式,完善利益联结机制,实现小农户和现代农业有机衔接,应在土地合同中明确耕地用途和作物种类,避免违约情况的发生,防止无序无理的非粮化行为。对耕地土层损害较小的非粮种植行为可被适度允许,一些生态农业一体化耕作模式,如稻鱼一体化、稻羊一体化不会过度脱离粮食生产,同时又可以提高耕地产出效率和农民收入,不仅符合了区域经济发展、促进了乡村振兴,也一定程度上保障了粮食生产安全。

(3)经济区位引导型:属于重庆市的生态涵养和保护区,也是重要的粮食生产区,高海拔以及远离主城区使其经济发展缓慢,该类型区县应从自然地理条件、

农民种植意愿以及市场需求等角度考虑粮食作物与经济作物的种植结构,发展壮大现代山地特色高效农业,使产业发展与粮食生产协调同步,推广新型立体综合养殖农业以达到稳粮增效的目标。严格落实永久基本农田特殊保护制度,切实落实“两区”的建设和经营,并且利用遥感监测技术对易发生非粮化的区域进行监控,严控对生态和耕地土层破坏的非粮化行为。

本研究针对重庆市耕地“非粮化”进行了探究,除自然条件、经济区位等影响因素之外,还考虑了农村、农业的发展状况,以此阐明了城乡发展的割裂对耕地非粮化造成的影响。但驱动因素未包含土地流转及农户自身行为因素,也没有探明不同非粮化类型的占比、空间集聚程度以及成因,后续研究应利用区县乃至乡镇等微观尺度遥感数据进一步探讨耕地非粮化的时空变化特征及影响因素,更深入地了解耕地非粮化的驱动机制,为抑制过度非粮化、确保我国粮食安全提供更科学的政策依据。

4 结论

本研究选择重庆市37个区县为研究单元,收集相关数据揭示山地丘陵山区的耕地非粮化空间格局及特征,识别驱动因子并进行驱动类型划分,主要结论如下:

(1)2011—2020年重庆市平均非粮化率提升,中、高度非粮化区县的数量增加。重庆市耕地非粮化在空间上存在相关性,聚集程度随区域的发展而加强。中心城区是重庆市非粮化的热点区域,整体来看,重庆市耕地非粮化程度加深。

(2)单个因子探测中城乡人均可支配收入差距对重庆市耕地非粮化空间格局分布解释力最强,说明城乡发展割裂、乡村发展衰落导致耕地非粮化现象的增加。对于山地城市来说,提高机械化水平有助于抑制耕地非粮化趋势。双因子交互后解释力均明显增强,证明非粮化受多种因素的影响。

(3)重庆市非粮化驱动类型划分结果与重庆市城乡发展规划的“一区两群”格局一致,包括三种类型:①农业生产支持型,主要包含主城新区,位于渝西南;②农业生产弱化型,集中于中心城区,其农业生产条件本身较弱,加之经济产业的快速发展,导致平均非粮化率最高;③经济区位引导型,是最主要的非粮化驱动类型,分布于生态涵养与保护为主的两个城镇群,靠近山区,加大监控力度、寻求粮食生产与生态的平衡是关键。

参考文献:

- [1] 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, 92: 104435.
- [2] LIU X, ZHAO C, SONG W. Review of the evolution of cultivated land protection policies in the period following China's reform and liberalization[J]. *Land Use Policy*, 2017, 67: 660–669.
- [3] SU Y, SU C, XIE Y, et al. Controlling non-grain production based on cultivated land multifunction assessment[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(3): 1027.
- [4] SU Y, LI C, 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] ZHU Z, DAI Z, LI S, 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, 19(13): 8210.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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, LÜ 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.
- [10] 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.
- [11] 常媛媛, 刘俊娜, 张琦, 等. 粮食主产区耕地非粮化空间格局分异及其成因[J]. *农业资源与环境学报*, 2022, 39(4): 817–826. CHANG Y Y, LIU J N, ZHANG Q, et al. Spatial pattern differentiation of cultivated land non-grain conversion in major grain-producing areas[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(4): 817–826.
- [12] 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, 13(23): 13064.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 嵇涛, 杨华, 何太蓉. 重庆主城区建设用地扩展的时空特征及驱动因子分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(1):60-66. JI T, YANG H, HE T R. Analysis on spatial-temporal characteristics and driving forces of urban construction land expansion in the metropolitan area of Chongqing[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(1):60-66.
- [16] 杨吉, 苏维词. 重庆市地表起伏度及其对农业生产的影响分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(7):140-149. YANG J, SU W C. Relief degree of land surface of chongqing and its influence on agricultural production[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(7):140-149.
- [17] 罗必良, 江雪萍, 李尚蒲, 等. 农地流转会导致种植结构“非粮化”吗[J]. *江海学刊*, 2018(2):94-101. LUO B L, JIANG X P, LI S P, et al. Does land transfer lead to “non-grain growing” in agricultural planting structure[J]. *Jianghai Academic Journal*, 2018(2):94-101.
- [18] 陈菁, 孔祥智. 土地经营规模对粮食生产的影响:基于中国十三个粮食主产区农户调查数据的分析[J]. *河北学刊*, 2016, 36(3):122-128. CHEN J, KONG X Z. Impact analysis of farm size on grain production: based on rural household survey in China's 13 major grain producing areas[J]. *Hebei Academic Journal*, 2016, 36(3):122-128.
- [19] 张茜, 屈鑫涛, 魏晨. 粮食安全背景下的家庭农场“非粮化”研究:以河南省舞钢市21个家庭农场为个案[J]. *东南学术*, 2014(3):94-100. ZHANG Q, QU X T, WEI C. A study of “non-grain production” of family farms in the background of grain security[J]. *Southeast Academic Research*, 2014(3):94-100.
- [20] 冯远香, 刘光远. 新疆农地流转与种植结构变化分析:基于区域粮食供给安全视角下[J]. *农村经济与科技*, 2013, 24(2):30-32. FENG Y X, LIU G Y. Analysis of farmland transfer and planting structure change in Xinjiang: based on the perspective of regional grain supply security[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2013, 24(2):30-32.
- [21] 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.
- [22] 黄修杰. 农业高质量发展的空间分异与影响因素:以广东省为例[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, 38(4):699-708. HUANG X J. Spatial differentiation patterns and influencing factors of agricultural high-quality development: a case study of Guangdong Province [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(4):699-708.
- [23] 高凯, 周志翔, 杨玉萍. 长江流域土地利用结构及其空间自相关分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(S1):13-20. GAO K, ZHOU Z X, YANG Y P. Land use structure and its spatial autocorrelation analysis in the Yangtze River basin[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(S1):13-20.
- [24] 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]. *China Agricultural Resources and Regions*, 2023, 44(5):187-197.
- [25] 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.
- [26] 李昊, 银敏华, 马彦麟, 等. 种植规模与细碎化对小农户耕地质量保护行为的影响:以蔬菜种植中农药、化肥施用为例[J]. *中国土地科学*, 2022, 36(7):74-84. LI H, YIN M H, MA Y L, et al. Effects of planting scale and fragmentation on the behavior of smallholders' farmland quality protection: taking the application of pesticide and fertilizer in vegetable cultivation as an example[J]. *China Land Science*, 2022, 36(7):74-84.
- [27] 黄馨亿, 任向宁, 马涛, 等. 地理探测器与Tobit模型在粤西地区粮食生产效率及影响因子分析中的比较应用[J]. *农业资源与环境学报*, 2020, 37(6):818-828. HUANG X Y, REN X N, MA T, et al. Comparative application of geographical detector and Tobit model in analysis of grain production efficiency in the western Guangdong region and its influencing factors[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(6):818-828.
- [28] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1):116-134. WANG J F, XU C D. Geodetector: principle and perspective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1):116-134.
- [29] 赵兴华, 李泽利, 贾冰莹, 等. 不同评价方法在地下水水质评价中的应用:以天津市为例[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, 38(4):686-692. ZHAO X H, LI Z L, JIA B Y, et al. Application of different methods for quality evaluation of groundwater drinking water sources: a case study of Tianjin[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(4):686-692.
- [30] 全德, 周心灿, 龚咏喜. 基于大数据的上海市共享汽车出行模式研究[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(12):2035-2047. TONG D, ZHOU X C, GONG Y X. Car-sharing travel patterns in Shanghai based on big data[J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(12):2035-2047.
- [31] LI L, QI Z, XIAN S, et al. Agricultural land use change in Chongqing and the policy rationale behind it: a multiscale perspective[J]. *Land*, 2021, 10(3):275.
- [32] 李云路, 崔文刚, 陆清平, 等. 山区耕地破碎化时空演化分析:以贵州省为例[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(5):301-309. LI Y L, CUI W G, LU Q P, et al. Analysis on the spatiotemporal evolution of cultivated land fragmentation in mountainous areas: a case study of Guizhou Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(5):301-309.
- [33] 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.