

2009—2018年湖南省县域耕地时空演变及其驱动力

陈松林¹, 赵翔², 刘中秋³, 潘雨飘², 王旭²

(1.湖南省第三测绘院, 湖南长沙 410007; 2.武汉大学 资源与环境科学学院, 湖北武汉 430079; 3.北京吉威空间信息股份有限公司, 北京 100043)

摘要: [目的] 分析近年来湖南省县域单元耕地的时空变化特征及驱动力, 为耕地保护政策的制定提供决策依据。[方法] 基于湖南省 2009—2018 年的土地利用变更调查数据库, 利用耕地变化动态度、景观格局指数和地理探测器模型, 从数量规模、景观格局和驱动力等方面分析湖南省县级行政单元的耕地变化。[结果] ① 2009—2018 年, 湖南省耕地总量累计增加 379.02 km²。新增耕地主要分布在环洞庭湖地区、湘中盆地群和湘西北等土地整治重点地区。② 在土地综合整治等工程的积极作用下, 湖南省耕地图斑形状趋于规整化; 而受城镇化和基础设施建设的影响, 全省耕地破碎化趋势明显。③ 地方财政收支情况、人口增长和地形条件是湖南省 2009—2018 年间耕地变化的主要驱动力因子。各驱动因子之间通过双因子增强和非线性增强等交互作用实现对耕地时空变化的综合影响。[结论] 湖南省耕地保护成效显著, 但依然面临许多挑战。新时期全省耕地保护应该处理好国土空间开发与保护之间的关系; 新增耕地的开发应当更加注重对农村低效建设用地的复垦而减少对生态空间的挤占; 优化耕地保护政策, 切实提高现有耕地的经济产出效益, 发挥市场机制在耕地保护中的长效与可持续的作用。

关键词: 土地利用变化; 时空特征; 驱动力; 耕地; 湖南省; 地理探测器模型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)03-0274-10

中图分类号: F301.2

文献参数: 陈松林, 赵翔, 刘中秋, 等. 2009—2018 年湖南省县域耕地时空演变及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 274-283. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.03.035; Chen Songlin, Zhao Xiang, Liu Zhongqiu, et al. Spatial-temporal changes and driving forces of cultivated land at county level in Hu'nan Province from 2009 to 2018 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 274-283.

Spatial-temporal Changes and Driving Forces of Cultivated Land at County Level in Hu'nan Province from 2009 to 2018

Chen Songlin¹, Zhao Xiang², Liu Zhongqiu³, Pan Yupiao², Wang Xu²

(1. The Third Surveying and Mapping Institute of Hu'nan Province, Changsha, Hu'nan 410007, China; 2. School of Resources and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430079, China; 3. Beijing GeoWay Software Co., Ltd., Beijing 100043, China)

Abstract: [Objective] The characteristics of spatial-temporal cultivated land change and its driving forces at county level in Hu'nan Province from 2009 to 2018 were analyzed in order to support the formulation of farmland protection policies. [Methods] The cultivated land dynamic index, landscape indices, and the Geodetector model were used to determine the area, spatial distribution, and driving forces of cultivated land changes in Hu'nan Province based on land survey data. [Results] ① The total area of cultivated land increased by 379.02 km² in Hu'nan Province from 2009 to 2018. The newly reclaimed cultivated land was mainly located in the area around Dongting Lake, the Central Hu'nan Basin group, and Northwest Hu'nan Province. ② Due to the implementation of land consolidation projects, the shapes of cultivated land patches became more and more regular over the past ten years. On the other hand, as the mean area of cultivated land patches became smaller and smaller, cultivated land patches in Hu'nan Province showed a significant trend

收稿日期: 2021-11-22

修回日期: 2022-01-16

资助项目: 国家重点研发计划项目“田园综合体宜居村镇规划设计技术集成与示范”(2019YFD1101301)

第一作者: 陈松林(1975—), 男(汉族), 湖南省新邵县人, 硕士, 高级工程师, 主要从事自然资源数据挖掘与应用、国土空间规划设计研究。Email: 89642740@qq.com。

通信作者: 赵翔(1985—), 男(汉族), 湖南省新邵县人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用时空建模和国土空间规划研究。Email: zhaoxiang@whu.edu.cn。

towards fragmentation from 2009 to 2018 that was mainly due to urban-rural development and infrastructure construction. ③ The fiscal revenue and expenditure of local governments, population growth, the output value of agriculture were the main driving forces of cultivated land changes in Hu'nan Province from 2009 to 2018. These driving factors produced a comprehensive impact on the changes of cultivated land through interactions such as dual-factor enhancement and nonlinear enhancement. [Conclusion] The protection of cultivated land in Hu'nan Province has achieved remarkable results in the past 10 years. However, the protection of cultivated land in Hu'nan Province still faces some challenges. Therefore, cultivated land protection in Hu'nan Province during the next decade should give greater attention to the trade-offs between the development and protection of land resources. Development of new cultivated land should focus on reclamation of inefficient construction land in rural areas, rather than on occupying ecological space. Additionally, Hu'nan Province should also optimize policies for the protection and utilization of cultivated land that will promote the productivity of cultivated land so that market factors can play a stabilizing and sustaining role in cultivated land protection.

Keywords: land use change; spatial-temporal characteristics; driving forces; cultivated land; Hu'nan Province; GeoDetector

改革开放以来,在城乡发展和基础设施建设等多重因素的作用下,中国耕地总量呈现出持续减少的态势^[1-2]。耕地“非粮化”和“非农化”现象进一步加剧了关于中国粮食安全问题的担忧^[3-5]。湖南省是中国重要的粮食生产基地,稻谷产量多年居全国之冠。根据 2016 年的全国耕地质量分等调查结果,湖南省的耕地面积仅占全国耕地总量的 3.1%,但包含了全国约 18.7% 的优等耕地。近 10 a 来,湖南省经历了高速城镇化进程。产业结构和城乡人口结构的快速变迁不仅加大了城乡建设用地的供给压力,同时也对全省的耕地保护和农业生产带来了重大影响。在遵守国家耕地占补平衡基本要求的基础上,湖南省结合本省耕地资源本底和人口、社会、经济条件,对耕地保护政策改革进行了广泛探索,形成了具有湖南特色的“建设用地报批耕地占补平衡、动态监测耕地占补平衡”的“两个占补平衡”的耕地保护制度^[6],取得了重要成效。

现有对湖南省耕地利用和保护的研究主要关注耕地开发强度^[7]、耕地利用安全^[8]、经营协调度^[9]、耕地利用效率^[10-11]、耕地重金属污染防治^[12]、耕地生产力^[13]、耕地休耕与抛荒等问题^[14-15]等问题,而关于湖南省耕地时空变化及驱动力的研究相对较少。例如,李仕利等^[16]基于统计年鉴资料,研究了湖南宁远县 1996—2004 年的耕地变化及驱动力;杨君等^[17]利用多元线性回归方法,基于湖南省统计年鉴资料,定量研究了湖南省 1997—2007 年间全省耕地动态变化驱动力;郑筠等^[18]利用偏最小二乘法,从人口增长,工业与城镇化等 6 个方面定量研究了湖南省 1997—2011 年间的耕地变化驱动力;De Yu 等^[19]基于全球 30 m 分辨率的遥感制图产品数据,定量评估了湖南

省 1990—2014 年间耕地变化动态及其对于粮食生产潜力的影响。

尽管国内外学者关于耕地时空变化及驱动力问题展开了广泛而深入的探索^[20],研究涉及国家级^[1,21-24]、省级^[25-27]、地市级^[28-29]、县级^[30-33]多个尺度。然而,有关湖南省近年来县域单元耕地变化的时空特征及驱动规律依然缺乏必要的关注,难以满足新时期湖南省耕地保护决策支持的需要,主要体现在以下几个方面:①相关研究对湖南省耕地的时空分布特征主要依赖于遥感图像或统计数据,其准确性和权威性方面难以满足我国耕地保护政策决策的需求。例如,遥感技术“所见即所得”的制图特性往往容易将撂荒或者休耕的耕地认定为其他用地。②相关研究主要讨论了湖南省从上世纪末到本世纪最初 10 a 间的耕地变化特征及驱动力。近 10 a 来,在人口、社会、经济条件发生重大变革的时代背景下,湖南省各级政府对全省耕地保护制度改革进行了广泛探索,而其对全省耕地开发、利用和保护的影响和成效依然有待研究。因此,本文将以湖南省 2009 年和 2018 年的土地利用调查成果数据为基础,分析湖南省县域单元耕地变化的时空特征。在此基础上,利用地理探测器模型定量研究自然、社会经济和人口等驱动因子对湖南省耕地变化的影响,以期对湖南省新一轮国土空间规划中耕地保护政策制定提供决策依据。

1 研究区概况

湖南省位于中国中部,国土总面积约 $2.12 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。全省共辖 122 个县级行政区划(含县级市和市辖区),总人口约 6.64×10^7 人。如图 1 所示,湖南省三面山地环绕,中低山和丘陵占国土总面积的 70.2%,平原和岗地占 24.5%。省内河流众多,水资

源丰富,光热充足,是中国重要的粮食生产基地。截至2018年末,全省耕地面积约41 726.43 km²,占国土总面积的19.67%,其中水田面积约32 785.56 km²,占耕地总面积的78.56%。从人均耕地面积来看,湖南省人均耕地仅568.61 m²/人,低于全国平均水平,耕地保护形势严峻。近年来,湖南省自然资源管理部门通

过积极推进后备耕地资源开发、城乡建设用地增减挂钩和土地整治等工程,实现了全省耕地总量的动态平衡。2010年以来,全省城乡建设用地增减挂钩拆旧复垦区面积累计达390 km²,仅环洞庭湖地区和“娄—邵”盆地实施的基本农田建设重大工程分别新增耕地160 km²和143 km²。

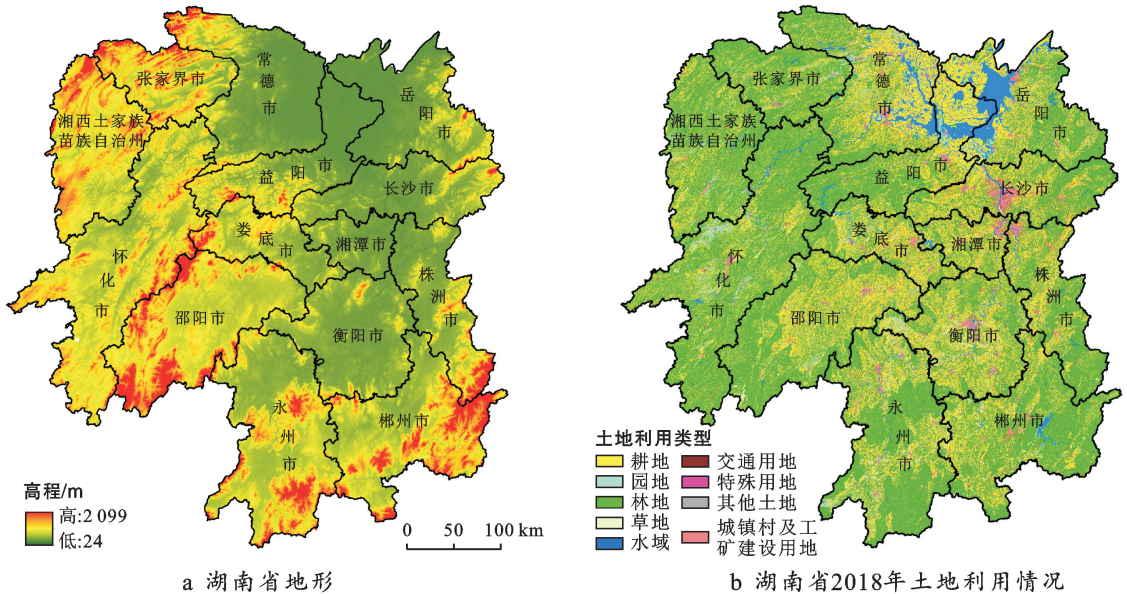


图1 湖南省地形及土地利用情况

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

本研究使用的数据来源主要包括:①湖南省土地利用变更调查矢量数据库(2009—2018年),用于提取土地利用变化的数量与空间格局信息;②湖南省统计年鉴(2009—2018年),用于获得湖南省县域单元与耕地变化相关的人口、经济和社会等潜在驱动力指标;③地理国情监测成果数据,用于提取研究区的地形、交通、水体等基础地理信息数据。各类用地的面积直接基于土地利用变更调查矢量图斑进行统计。为提高耕地空间格局分析效率,将耕地图斑转换为10 m空间分辨率的栅格图像。

研究以县级行政区为基本分析单元。由于长株潭地区的县级行政区范围在研究期内经历了较大调整。为消除行政区划边界调整对研究结果的影响,将该地区直接以地级市作为分析单元,共得到102个分析单元。实验分析涉及的耕地面积和人口、社会、经济等各项数据指标均按照102个单元进行收集与整理。

2.2 研究方法

本文主要从数量规模、景观格局和驱动力3个方

面定量分析湖南省各县域单元在2009—2018年间耕地资源的演变特征及驱动力,主要研究方法如下。

(1) 耕地数量变化的定量表征。耕地的数量规模与变化速度是耕地时空变化研究的重要内容。本文使用耕地利用动态度表征各县域分析单元耕地数量的转入转出活跃程度,计算公式如下^[34]。

$$K = \frac{A_{t_2} - A_{t_1}}{A_{t_1}} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:K为某县域分析单元的耕地利用动态度;A_{t₁}和A_{t₂}为该单元分别在研究期末和研究期初期的耕地面积(km²);T为研究期限(a)。

(2) 景观格局分析方法。利用景观生态学方法对湖南省县域耕地斑块的空间格局演变特征进行量化分析。研究选取平均斑块面积和斑块分维数两个指标度量湖南省耕地斑块的景观格局变化特征。其中,耕地平均斑块面积越大,表明该单元耕地的连片度越高。斑块分维数则反映了斑块几何形状与正方形的偏离度,取值在1~2之间,取值越大,则表明形状越复杂。耕地斑块面积越大、分维数越小,越有利于耕地保护、农业基础设施建设和规模化经营。

(3) 地理探测器模型。研究利用地理探测器模

型定量分析湖南省耕地利用的时空变化驱动因素及其相互作用。地理探测器是探测地理空间分异性并揭示其驱动因子的一种非线性假设、且具有明确物理含义的统计学方法^[35]。地理探测器不仅可以对定性数据进行探测,还可以探测多因子交互作用于因变量的关系,因而被广泛应用于地理现象和过程的时空变化及驱动力分析^[32,36-39]。地理探测器利用 q 值来探测某个自变量在多大程度上可以解释因变量的空间分析,其表达式为^[35]:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \rho_h^2}{N \rho^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (2)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \rho_h^2, \quad SST = N \rho^2 \quad (3)$$

式中: $h=1, \dots, L$ 为变量 Y 或者 X 的分层或分类; N_h 和 N 分别为分层 h 和全区的单元个数; ρ_h^2 为分层 h 的 Y 值方差; ρ^2 为全区 Y 值的方差;因此, SST 和 SSW 分别表示层内方差和与全区方差和。 q 的取值范围为 $[0, 1]$, q 值越大,说明 Y 的空间分异越明显。若分层(分类)是由自变量 X 产生的,则 q 值越大,变量自变量 X 对于因变量 Y 的解释力越强,反之越弱; $q=1$ 时,表明自变量 X 完全控制了 Y 的空间分布; $q=0$ 则表明因子 X 与 Y 没有任何关系。此外,地理探测器模型可以通过计算 $q(X_1 \cap X_2)$ 值来评估因子 X_1 和 X_2 的共同作用是否会增加或减弱其对因变量 Y 的解释力。根据 $q(X_1 \cap X_2)$ 值与 $q(X_1)$ 、 $q(X_2)$ 的数量关系,地理探测器将两类因子对于因变量 Y 的作用关系划分为:①非线性减弱, $q(X_1 \cap X_2) < \min[q(X_1), q(X_2)]$;②单因子非线性减弱, $\min[q(X_1), q(X_2)] < q(X_1 \cap X_2) < \max[q(X_1), q(X_2)]$;③双因子增强, $q(X_1 \cap X_2) > \max[q(X_1), q(X_2)]$;④独立, $q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$;⑤非线性增强, $q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$ 。

3 结果与分析

3.1 湖南省耕地时空变化特征

3.1.1 规模变化特征 2009—2018 年间,湖南省耕地规模总体上呈现出逐年增加的趋势(图 2)。耕地规模由 2009 年的 41 347.41 km² 增加至 2018 年的 41 726.43 km², 累计增加 379.02 km², 相比 2009 年增长 0.76%。其中,水田累积减少 247.71 km²,旱地面积累积增加 632.72 km²。由于全省人口的持续增长,人均耕地面积逐年下降,由 2009 年的 599 m²/人降低到 2018 年的 568 m²/人。

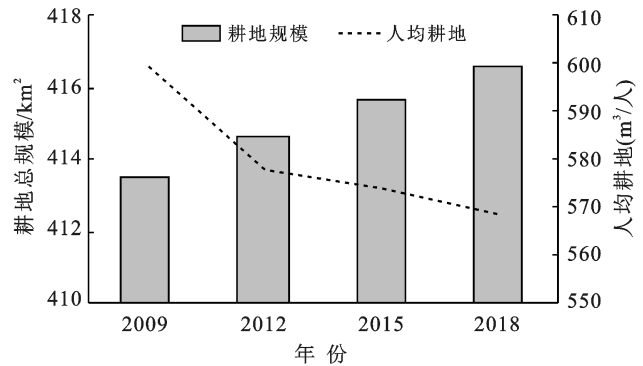


图 2 湖南省耕地规模及人均耕地变化情况

表 1 是湖南省 2009—2018 年补充耕地来源和耕地流失的主要去向。湖南省新增耕地主要来源于林地、水利设施用地(坑塘和滩涂)、草地、园地和村庄的整治复垦。耕地流失方面,城乡和基础设施建设是湖南省耕地流失的主要方向。其中,城镇村建设占用耕地达耕地流失总量的 49.20%,交通基础设施建设占用耕地达流失总量的 16.96%。总体上看,由湖南省各级政府主导的各类土地整治工程和后备耕地资源开发对维持全省耕地总量的动态平衡做出了重要贡献。

表 1 湖南省 2009—2018 年耕地补充和损失情况

土地利用类型	新增耕地来源		耕地流失去向	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
园地	105.36	7.56	24.04	2.26
林地	831.98	59.73	209.06	19.63
草地	153.01	10.98	23.08	2.17
交通过地	3.91	0.28	180.62	16.96
水域及水利设施用地	154.89	11.12	68.11	6.40
城市	0.38	0.03	144.21	13.54
建制镇	1.87	0.13	211.75	19.89
村庄	101.34	7.28	167.95	15.77
采矿用地	14.92	1.07	8.13	0.76
特殊用地	2.57	0.18	5.69	0.53
其他土地	22.69	1.63	22.18	2.08
合计	1 392.92	100.00	1 064.83	100.00

从各县域单元的耕地面积变化量来看,2009—2018 年间湖南省大部分县域单元的耕地总量呈现出增长的态势(图 3)。耕地减少区域主要分布在长沙、湘潭和其他地级城市的市辖区。环洞庭湖地区、湘中盆地群(娄邵盆地、衡阳盆地)和湘西北区域是耕地增长的主要区域。其中,汉寿县、鼎城区,邵阳县和株洲市的新增耕地面积达 15 km² 以上。从耕地利用动态度来看,除各地级城市辖区由于快速城镇化的影响导致耕地减少速率较快以外,其余大部分县域单元的动态度在 0%—0.5% 之间。总体上看,湖南省“十二

五”“十三五”期间先后在环洞庭湖地区和娄邵盆地实施的基本农田建设重大工程、衡阳盆地以及湘西集中

连片特殊困难地区的耕地后备资源开发与土地整治工程在保障耕地总量动态平衡方面成效显著。

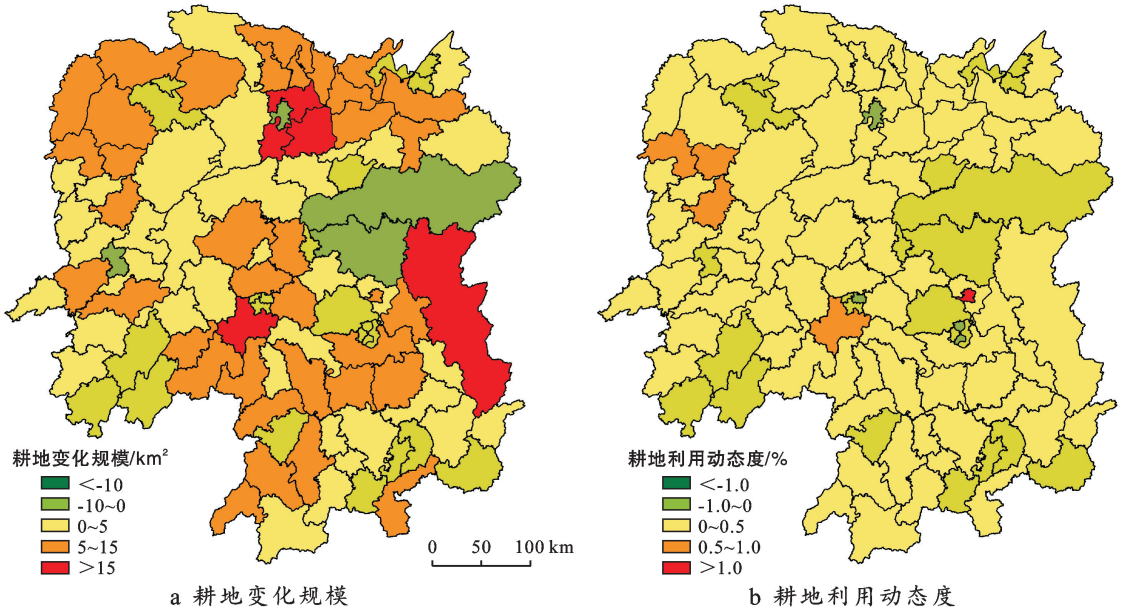


图 3 湖南省各县(区)2009—2018 年耕地数量变化及利用动态度

3.1.2 景观格局变化特征 将湖南省 2009 年和 2018 年的耕地矢量图斑转换为 10 m 分辨率的栅格数据后,利用 Fragstat 软件计算各县域单元的耕地斑块的平均面积与平均分维数,结果如图 4 所示。由图 4 可知,湖南省耕地连片度较高的区域主要分布在洞庭湖平原地区和湘中盆地群(娄邵盆地、衡阳盆地)。湘西等其余山区和丘陵地区的耕地斑块相对破碎,平均斑块面积较小。

2009—2018 年间,湖南省耕地的平均斑块面积增长的区域主要分布在洞庭湖平原、湘中盆地和湘西地区,表明相关区域耕地的集中连片度有所提高。受到城乡发展和基础设施建设等人类活动的影响,长株潭地区等城镇化较快的区域,耕地斑块有进一步破碎化的趋势。耕地斑块分维数方面,以山区、丘陵地貌为主的湘西、湘东和湘南地区耕地分维数较高,耕地斑块形状较为复杂。耕地斑块形状较为规则的区域主要分布在洞庭湖平原和湘中盆地群地区。全省大部分区域耕地斑块的分维数有减小的趋势,表明湖南省耕地斑块形状趋于规整化。

总体上看,湖南省耕地的景观格局变化主要是由于两方面人类活动造成的:①城乡发展和基础设施建设等活动导致湖南省耕地图斑越来越破碎,即:除土地整治重点区域外,全省大部分县的耕地平均斑块面积有所下降。耕地斑块的破碎化意味着人类活动对于耕地保护的负面影响加剧,不仅提高了农业基础设施建设的成本,也不利于耕地的规模化经营。②由政府主导的土地整治和后备耕地资源开发工程,使得

耕地图斑越来越趋向于规整化,全省耕地斑块的分维数有所下降。根据景观生态学理论,斑块边界区域往往是斑块最不稳定的区域,即斑块的景观类型非常容易受到人类活动等因素的影响而发生变化。斑块分维数越小、斑块形状越趋近于圆形(或者正方形)则越有利于斑块的保护。因此,在快速城镇化的时代背景下,湖南省的耕地保护依然面临较大挑战。此外,得益于环洞庭湖、娄邵盆地的基本农田建设重大工程和湘中南、湘西地区的土地综合整治与耕地后备资源开发,上述区域的耕地平均斑块面积有较为明显的提高。证明了湖南省基本农田建设重大工程和土地综合整治为提高耕地利用效率、促进耕地的规模化经营提供了重要保障。

3.2 湖南省耕地变化驱动力分析

参考现有研究^[1,20-21,25],结合湖南省实际情况,按照主导因素原则,从地形条件,人口状况,经济发展水平,农业生产和地方财政 5 个方面,共选取 14 个对耕地变化产生影响的潜在因素指标进行驱动因子探测(表 2)。其中:①高程和坡度等地形条件直接影响区域耕地的耕作条件及后备耕地资源开发潜力。②人口和城镇化率的持续增长对城乡建设用地的需求使得耕地被侵占流失的风险提高;另一方面,城乡人口结构的快速变迁也使得村庄建设用地整治复垦成为可能。③人均 GDP 和农民人均可支配收入用于度量地区经济发展水平。④农业产值、耕地的地均产值、农作物播种面积、人均耕地面积和粮食单产反映了地区耕地的产出效率。相关因子可以通过市场机制对地方政府和

农民的耕地保护、开发和利用行为产生影响。⑤土地整治和后备耕地资源的开发利用主要通过地方政府

财政资金得以实施。因此,财政收支情况影响地方政府在耕地保护方面潜在的资金投入能力和意愿。

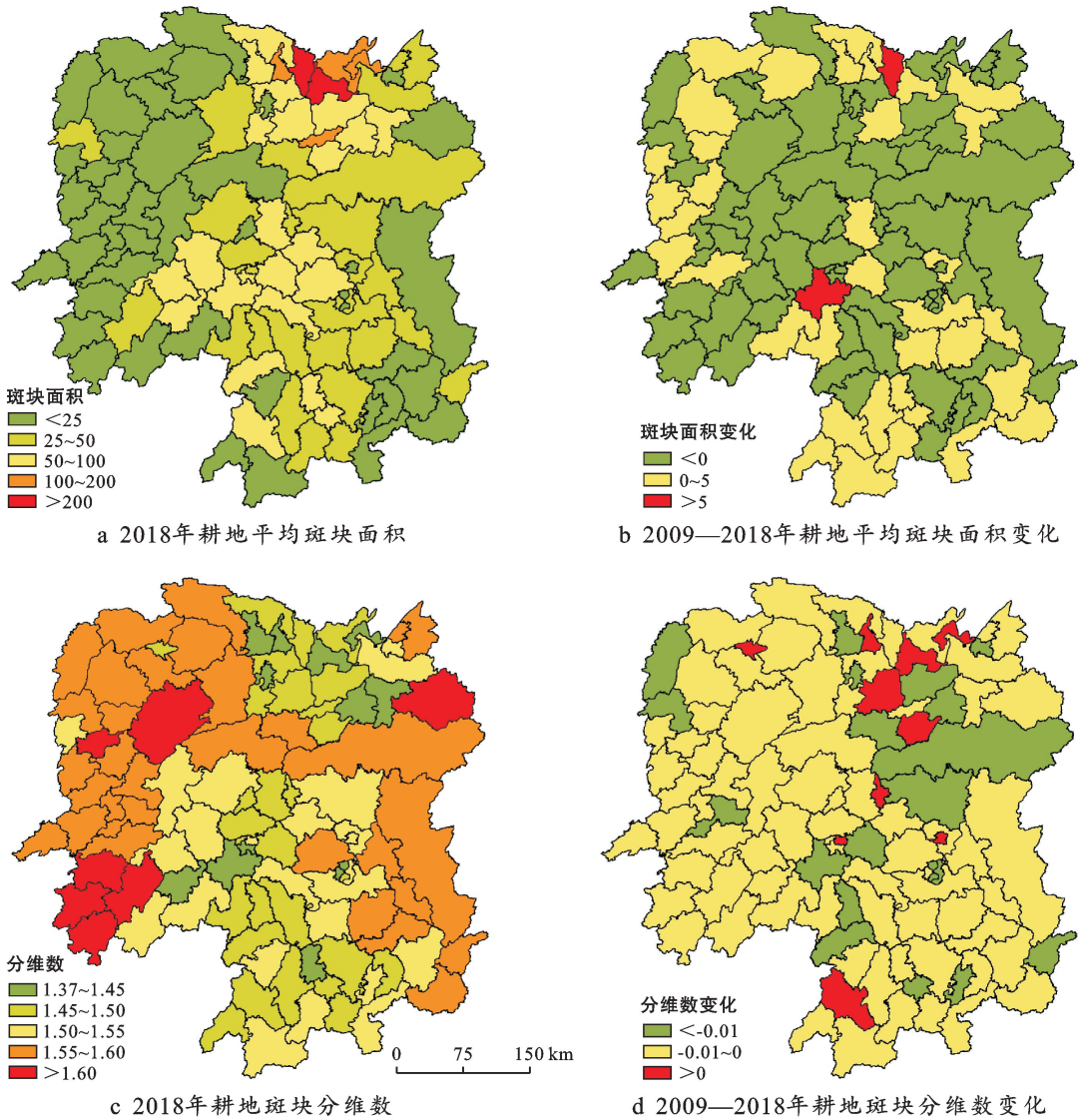


图 4 湖南省 2009—2018 年耕地平均斑块面积与分维数及变化情况

表 2 湖南省耕地变化潜在驱动因素指标体系及探测结果

影响因素	驱动力指标	变量	探测 q 值
地形条件	高程/m	X_1	0.043
	坡度/ $^{\circ}$	X_2	0.038
人口状况	总人口/ 10^4 人	X_3	0.548
	乡村人口/ 10^4 人	X_4	0.208
	城镇化率/%	X_5	0.05
经济发展	人均 GDP(元/人)	X_6	0.252
	农民人均可支配收(元/人)	X_7	0.183
农业生产	农业产值/ 10^4 元	X_8	0.528
	耕地地均产值/(10^4 元 \cdot hm^{-2})	X_9	0.123
	农作物播种面积/ hm^2	X_{10}	0.174
	人均耕地面积(m^2 /人)	X_{11}	0.26
	粮食单产/($t \cdot hm^{-2}$)	X_{12}	0.079
地方财政	地方财政收入/ 10^4 元	X_{13}	0.48
	地方财政支出/ 10^4 元	X_{14}	0.622

由于地理探测器模型只能处理离散型数值。根据各驱动力指标的取值高低,在 ArcGIS 中利用自然断裂法将各县域单元的变量值分成 5 个层次(类别),分别对应“低”“较低”“中等”“较高”和“高”。湖南省各县域单元的驱动因子分层情况如图 5 所示。

由图 5 可知,在地形条件方面,坡度和高程较低的、有利于耕作和耕地开发的区域主要分布在洞庭湖平原和湘中盆地群区域。人口变化方面,除长沙、株洲等少数区域外,其余县(市)的总人口保持缓慢增长状态。乡村人口的增长则主要集中分布在湘西地区。受快速城镇化影响,长株潭、常德和邵阳等城镇化速率较快的地区的乡村人口减少趋势明显。全省人均 GDP、农民人均收入、农业产值、耕地地均产值和地方政府的财政收支增长速度总体上呈现出自东向西下降的态势,与湖南省整体经济发展水平基本一致。

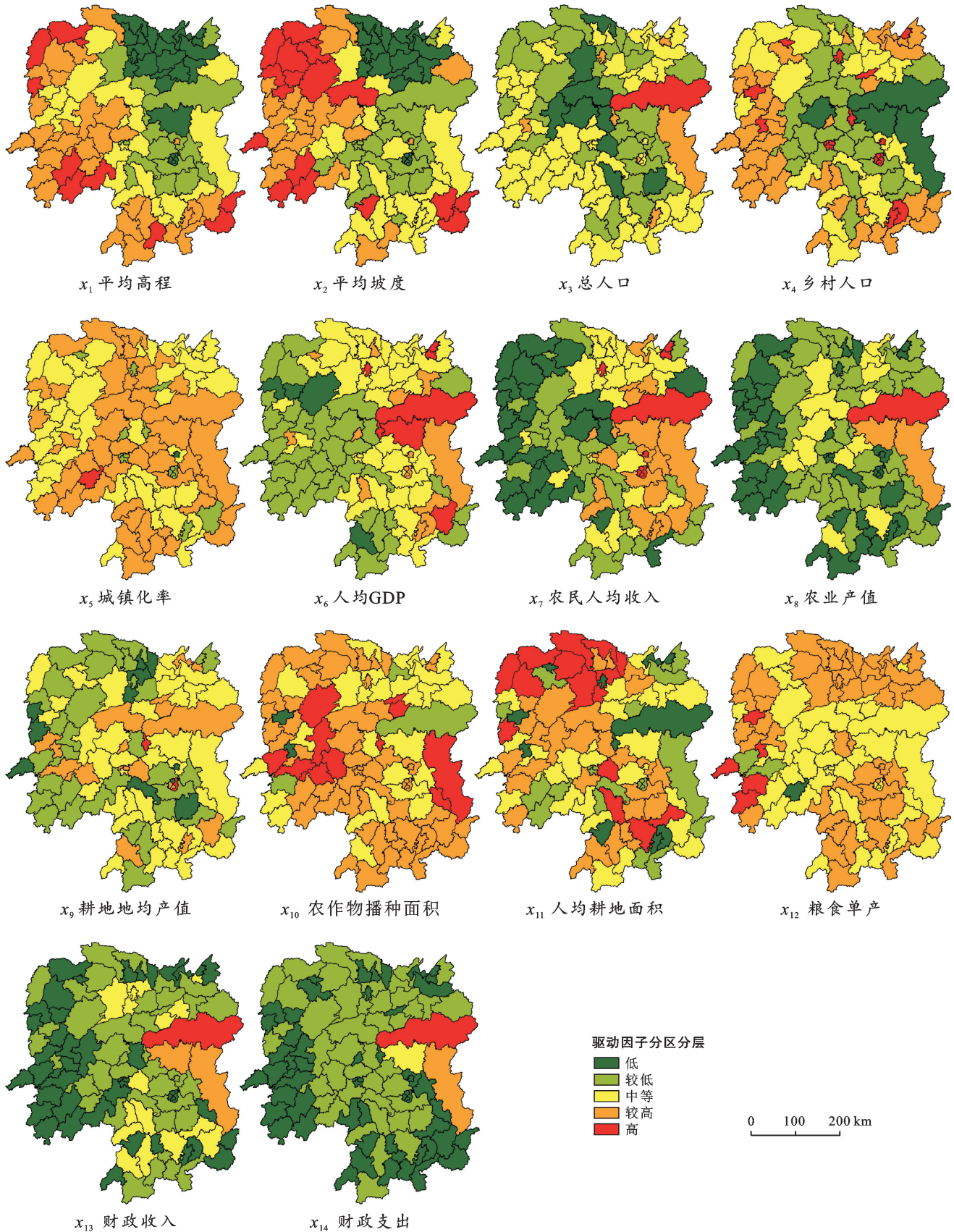


图 5 湖南省 2009—2018 年县域单元耕地变化潜在驱动因子(x_1 — x_{14})分区分层情况

3.2.1 驱动因子探测 基于图 5 中离散化后的各变量类型值,利用地理探测器模型进行驱动因子探测,

结果见表 2。由各驱动因子的 q 值探测排序结果可知,湖南省 2009—2018 年间耕地变化驱动因子主要

包括地方财政支出、县域总人口、农业产值、地方财政收入、人均耕地面积、人均 GDP 和乡村人口。其中,地方财政支出、区域总人口、农业产值和地方财政收入分别能够客观解释 62.2%,54.8%,52.8%和 48.0%的耕地变化。由于湖南省耕地动态平衡主要通过由政府资金主导的土地整治和后备耕地资源开发工程项目得以实现,因而地方财政收支情况,特别是对于耕地保护的支出,是影响区域耕地总量的主要因素。在粮食安全和乡村振兴等国家战略的影响下,区域人口总量和乡村人口增长对耕地需求压力客观上会促使地方政府和农民加强对耕地的保护和资金投入。

表 3 湖南省 2009—2018 年县域单元耕地变化驱动因子交互作用探测结果

变量	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}
X_1	0.043													
X_2	0.106	0.038												
X_3	0.597	0.639	0.548											
X_4	0.780	0.683	0.718	0.208										
X_5	0.181	0.162	0.652	0.227	0.050									
X_6	0.450	0.365	0.645	0.584	0.514	0.252								
X_7	0.664	0.363	0.616	0.643	0.587	0.328	0.183							
X_8	0.652	0.676	0.713	0.632	0.592	0.680	0.579	0.528						
X_9	0.338	0.297	0.723	0.700	0.221	0.434	0.360	0.685	0.123					
X_{10}	0.596	0.602	0.603	0.715	0.299	0.659	0.597	0.665	0.607	0.174				
X_{11}	0.534	0.496	0.660	0.737	0.429	0.397	0.433	0.744	0.409	0.656	0.260			
X_{12}	0.243	0.167	0.620	0.250	0.142	0.435	0.301	0.565	0.208	0.585	0.345	0.079		
X_{13}	0.626	0.617	0.737	0.643	0.568	0.660	0.580	0.557	0.652	0.666	0.731	0.541	0.480	
X_{14}	0.660	0.679	0.697	0.690	0.663	0.671	0.668	0.659	0.683	0.678	0.720	0.667	0.634	0.622

从因子之间的交互作用类型来看,湖南省 2009—2018 年县域单元耕地变化驱动因子的交互作用类型包括双因子增强和非线性增强两类,说明驱动因子两两交互作用比单因子作用对耕地变化的影响更强。其中,总人口(X_3)、农业产值(X_8)、粮食单产(X_{12})和地方财政支出(X_{14})与其他因子之间的交互作用主要为双因子增强型;平均高程(X_1)、平均坡度(X_2)和耕地地均产值(X_9)与其他因子之间的交互作用则主要表现为非线性增强型。

根据表 3 中的因子相互作用 q 值统计结果,对湖南省耕地变化解释力较强的因子组合有:①平均高程—乡村人口, $q(X_1 \cap X_4) = 0.780$;②农业产值—人均耕地面积, $q(X_8 \cap X_{11}) = 0.744$;③总人口—地方财政收入, $q(X_3 \cap X_{13}) = 0.737$;④乡村人口—人均耕地面积, $q(X_4 \cap X_{11}) = 0.737$;⑤总人口—耕地地均产值, $q(X_3 \cap X_9) = 0.723$ 。其中,“平均高程—乡村人口”交互作用对于耕地变化的影响明显高于单因子作用和其他双因子交互作用,表明地形条件和乡村人口的综合作用对耕地变化具有非常重要的作用。例如,乡村人口增长相对较快的湘西和湘南地区的新

另一方面,农业产值不仅在一定程度上反映了区域耕地经济产出的效率,也反映了农业生产对于区域经济发展的重要性。因此,农业产值能够通过市场手段影响地方政府和农民对于耕地保护的主观积极性。

3.2.2 驱动因子交互作用探测 耕地变化往往是多因素共同作用的结果。地理探测器模型对变量无线性假设,可探测变量两两之间的复杂交互作用关系,且具有自变量共线性免疫等优点,因而非常适用于耕地变化驱动因子交互作用的探测。湖南省耕地变化驱动因子两两交互作用 q 统计值和交互作用类型分析结果如表 3 所示。

增耕地面积较多。另一方面,湖南省后备资源主要分布在湘西、湘南和湘中盆地等区域的丘陵和岗地,因此相关区域新增耕地数量较多。总体上看,地形、人口和地方财政收支情况是湖南省 2009—2018 年影响耕地变化的主要驱动因子。

4 结论与启示

4.1 结论

湖南省是中国重要的粮食生产基地,也是中国优质耕地的主要分布区域。因此,如何在新一轮国土空间规划决策中进一步优化耕地保护政策以满足国家粮食安全和乡村振兴战略实施的现实要求,也是湖南省新时期耕地保护中所迫切需要解决的问题。本文主要利用耕地利用动态度、景观格局分析和地理探测器等方法,基于法定、权威的土地利用变更调查成果资料,对湖南省 2009—2018 年县域单元的耕地时空变化规律及驱动因素进行了分析和计算,从而为湖南省当前实施的国土空间规划编制和耕地保护政策的优化改革提供了准确的决策依据。

(1)“两个占补平衡”制度的确立对湖南省耕地

保护作用成效显著,对维持全省耕地总量的动态平衡起到了无可替代的作用,全省耕地总量保持稳步上升的趋势。土地整治对耕地斑块形状的优化作用明显,全省耕地图斑的形状趋于规整,有利于耕地斑块的保护。

(2) 地方财政收支情况、人口和地形是影响区域耕地变化的主要驱动因子。土地整治、后备耕地资源的开发离不开地方财政资金的大力支持。因此,地方政府对于耕地保护的财政资金投入能力、意愿和重视度,是影响湖南省耕地变化的重要因素。

(3) 全省耕地保护依然面临较大挑战。城乡发展和基础设施建设是湖南省耕地流失的主要原因,并导致了全省耕地图斑呈现出进一步破碎化的态势,为耕地的规模化经营和农业基础设施建设带来了不利影响。另一方面,湖南省的耕地动态平衡在较大程度上依靠对林地和湿地等生态空间的开发,其对于全省生态格局和生物多样性的潜在影响依然有待深入研究。

研究湖南省各县域单元的耕地资源时空演变规律及驱动因素、总结湖南省近年来耕地保护的成效和不足,对于新时期湖南省耕地保护制度的进一步优化改革具有非常重要的现实意义。一方面,可以预见在未来较长一段时间内,基础设施建设、城镇化发展和乡村振兴战略对城乡建设用地的需求,仍将对湖南省耕地保护带来较大压力;另一方面,随着新时期生态文明建设的深入推进,传统通过挤占生态空间补充耕地的途径不可持续。此外,现有研究表明,受到乡村人口外流等因素影响,湖南省耕地抛荒现象在山区和丘陵较为突出,粮食播种面积持续走低。湖南省耕地保护正面临新的难题和挑战:在维持全省耕地总量动态平衡的基础上,如何提高现有耕地的产出效益相较于新增耕地的开发,对保障国家粮食安全而言可能更具现实意义。

4.2 建议

基于湖南省近年来耕地保护实践和新时期下湖南省人口、社会经济发展趋势,提出湖南省耕地保护建议。

(1) 继续引导和鼓励地方政府对耕地保护的资金投入,尤其是适当提高城镇土地出让金用于耕地保护的比例。通过继续积极推进全域土地综合整治和高标农田建设工程,改善农业生产条件,为提高耕地产出效益创造良好条件。

(2) 处理好国土空间开发与保护之间的关系。洞庭湖湿地和湘西林区是我国南方重要的生态保护区,对维持长江中下游地区生物多样性具有非常重要

的意义。在新一轮国土空间规划中,湖南省的耕地保护应当更加注重现有耕地质量和产出效益的提高;处理好生态红线和永久基本农田之间的关系,在新增耕地开发方面尽可能避免对自然保护区、重要物种栖息地与生态廊道的破坏。

(3) 更加注重存量建设用地的挖潜,减少耕地开发对生态空间的挤占,开源节流、多措并举保护耕地。一方面,通过城镇低效用地再开发、城乡建设用地增减挂钩等工程、废弃工矿用地的复垦与生态修复,盘活存量建设用地,减轻新增建设用地对耕地保护的壓力;另一方面,结合乡村振兴发展战略,在乡村人口减少较快的区域和农业生产条件和基础较好的地区积极推进全域土地综合整治等工程,通过农村存量低效建设用地补充耕地。

(4) 强化农业科技对现代农业增长的贡献,推进耕地承包经营权流转,促进耕地的规模化经营,切实提高耕地的经济产出效益,发挥市场机制在耕地保护中的长效作用。

[参 考 文 献]

- [1] 王静怡,李晓明.近20年中国耕地数量变化趋势及其驱动因子分析[J].中国农业资源与区划,2019,40(8):171-176.
- [2] Zhou Yang, Li Xunhuan, Liu Yansui. Land use change and driving factors in rural China during the period 1995—2015 [J]. Land Use Policy, 2020,99:105048.
- [3] 苑韶峰,杨丽霞,杨桂山,等.耕地非农化的社会经济驱动因素异质性研究:基于STIRPAT和GWR模型的实证分析[J].经济地理,2013,33(5):137-143.
- [4] 叶宇航.我国耕地非农化的驱动因素研究[J].科学决策,2015(9):33-50.
- [5] 袁晓妮,鲁春阳,吕开云,等.我国耕地非农化研究进展及展望[J].中国农业资源与区划,2019,40(1):128-133.
- [6] 卢曦.关于耕地占补平衡相关问题的思考与建议:基于湖南“两个占补平衡”实践[J].中国土地,2021(5):42-43.
- [7] 李佳玲,侯兰金,朱吉贝,等.近20年湖南省耕地开发强度时空分异研究[J].中国农业资源与区划,2021,42(11):199-207.
- [8] 王兆峰,田俊峰.湖南省耕地资源利用安全综合评价与提升路径研究[J].中国土地科学,2021,35(1):48-58.
- [9] 李全峰,胡守庚,瞿诗进.湖南省耕地经营协调度时空演变[J].资源科学,2019,41(2):233-246.
- [10] 周克艳,刘芳清,陈俊宇,等.供给侧改革下湖南耕地高效可持续利用策略[J].湖南农业科学,2016(6):94-97.
- [11] Chen Ying, Li Suran, Cheng Long. Evaluation of cultivated land use efficiency with environmental constraints in the Dongting Lake eco-economic zone of Hunan Province, China [J]. Land,2020,9(11):440.
- [12] 周俊驰,刘孝利,雷鸣,等.湖南典型矿区耕地土壤重金

- 属空间特征研究[J].地理空间信息,2018,16(8):90-94.
- [13] Zhao Chong, Zhou Yong, Li Xigui, et al. Assessment of cultivated land productivity and its spatial differentiation in Dongting Lake region: A case study of Yuanjiang City, Hunan Province [J]. Sustainability, 2018, 10(10):3616.
- [14] Xie Hualin, Wang Wei, Zhang Xinmin. Evolutionary game and simulation of management strategies of fallow cultivated land: A case study in Hunan Province, China [J]. Land Use Policy, 2018, 71:86-97.
- [15] 肖顺连,彭楚潇,沈冰心,等.耕地抛荒状况一瞥:对湖南永州市四镇十二村的调查[J].中国土地,2009(7):48-49.
- [16] 李仕利,吕晓,唐国滔,等.耕地资源变化驱动力研究:以湖南宁远为例[J].安徽农业科学,2007,35(16):4925-4927.
- [17] 杨君,周子英,刘文洁.湖南省耕地资源动态变化驱动力分析[J].农机化研究,2011,33(6):37-41.
- [18] 郑筠,张兆安.湖南省耕地变化的驱动力筛选和驱动机制分析[J].国土资源科技管理,2014,31(1):48-54.
- [19] Yu De, Hu Shougeng, Tong Luyi, et al. Spatiotemporal dynamics of cultivated land and its influences on grain production potential in Hunan Province, China [J]. Land, 2020, 9(12):510.
- [20] 王文旭,曹银贵,苏锐清,等.我国耕地变化驱动力研究进展:驱动因子与驱动机理[J].中国农业资源与区划,2020,41(7):21-30.
- [21] 赵育恒,谭永忠.中国第二次土地调查以来省域耕地利用时空变化[J].水土保持通报,2020,40(1):204-212.
- [22] 张星星,曾辉.基于多尺度主成分面板模型的中国耕地压力动态变化及驱动力分析[J].中国人口·资源与环境,2014,24(S3):204-208.
- [23] 刘旭华,王劲峰,刘明亮,等.中国耕地变化驱动力分区研究[J].中国科学(地球科学),2005,35(11):1087-1095.
- [24] Wang Guogang, Liu Yansui, Li Yurui, et al. Dynamic trends and driving forces of land use intensification of cultivated land in China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2015, 25(1):45-57.
- [25] 陶荣,孔雪松,陈翠芳,等.“二调”以来湖北省耕地变化的时空特征及其驱动因子识别[J].水土保持研究,2019,26(6):290-295.
- [26] 祝小迁,程久苗,费罗成.安徽省耕地集约利用及其驱动力分析[J].中国土地科学,2009,23(2):11-17.
- [27] 郭杰,欧名豪,刘琼,等.江苏省耕地资源动态变化及驱动力研究[J].长江流域资源与环境,2009,18(2):139-145.
- [28] 罗芳,潘安,陈忠升,王佑汉.四川省宜宾市1980—2018年耕地时空格局变化及其驱动因素[J].水土保持通报,2021,41(6):336-344.
- [29] Gong Jianzhou, Jiang Chao, Chen Wenli, et al. Spatiotemporal dynamics in the cultivated and built-up land of Guangzhou: Insights from zoning [J]. Habitat International, 2018, 82:104-112.
- [30] 王金金,冀振松,田玉辉.赤壁市耕地变化驱动力分析及布局优化[J].湖北农业科学,2013,52(10):2281-2285.
- [31] 李子杰,高沪宁,丁琪洵,等.基于 Moran's I 的安徽省太湖县耕地质量时空格局分析[J].水土保持通报,2021,41(3):350-356.
- [32] 张莹,张学玲,蔡海生.基于地理探测器的江西省万安县生态脆弱性时空演变及驱动力分析[J].水土保持通报,2018,38(4):207-214.
- [33] Ouyang Dong, Zhu Xigang, Liu Xingguang, et al. Spatial differentiation and driving factor analysis of urban construction land change in County-level City of Guangxi, China [J]. Land, 2021, 10(7):691.
- [34] 李世平,岳永胜.陕西省耕地变化驱动力区域差异分析[J].干旱区资源与环境,2010,24(2):12-16.
- [35] 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.
- [36] 吕晨,蓝修婷,孙威.地理探测器方法下北京市人口空间格局变化与自然因素的关系研究[J].自然资源学报,2017,32(8):1385-1397.
- [37] 赵小风,刘梦丽,王柏源.基于地理探测器的城市建设用地规模时空差异及影响因素分析[J].中国土地科学,2018,32(5):29-35.
- [38] 夏小园,陈颢明,郜晴,等.基于地理探测器的江苏省城市人居环境适宜性时空变化研究[J].水土保持通报,2020,40(3):289-296.
- [39] 赵小风,李娅娅,赵雲泰,等.基于地理探测器的土地开发度时空差异及其驱动因素[J].长江流域资源与环境,2018,27(11):2425-2433.