

喀斯特山区耕地时空演变与影响因子分析

张 扬^{1,2}, 周忠发^{1,2*}, 黄登红^{1,3}, 朱 孟^{1,3}, 吴 跃^{1,2}, 孙建伟^{1,2}

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院/喀斯特研究院, 贵阳 550001; 2. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵阳 550001; 3. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001)

摘 要: 喀斯特山区因其耕地资源特殊性使得社会经济发展限制因素尤为突出, 厘清其演变规律对区域社会-经济-生态的可持续发展具有重要影响。该研究以贵州省耕地为研究对象, 结合 GIS 空间分析功能, 采用核密度、Lorenz 曲线和地理探测器等方法对 2000、2005、2010、2015、2018 年共 5 期耕地数据的空间分布和时空演变进行深度探究。结果表明: 贵州省耕地“西北多、东南少”, 空间分布不均衡, 省会周围、生态脆弱敏感区及喀斯特地貌发育区域耕地总量较少; 耕地分布呈现空间正相关性, 高-高聚类区域自然条件比较相似, 低-低聚类区域大多为典型的喀斯特地貌或其他生态敏感脆弱区; 时间尺度上耕地总量和密度均在 2005 年出现递减拐点, 2000—2018 年以地类转出为主, 主要流向为林地、草地和建设用地, 动态变化程度随时间推移愈加强烈, 到末期稍减; 空间尺度上各期耕地增减都较为均衡, 面积的减少量稳定, 增加量则由高值骤降到低值, 并在低值处趋于稳定; 地理探测显示影响贵州省耕地空间分布的主要因子为人口、GDP, 次要因子为路网密度、平均坡度, 其中社会经济因素影响大于自然因素。研究结果可为喀斯特山区耕地保护、耕地可持续利用提供科学依据。

关键词: 土地利用; 耕地; 喀斯特山区; 时空演变; 因子探测

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.22.030

中图分类号: F323.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-22-0266-10

张 扬, 周忠发, 黄登红, 等. 喀斯特山区耕地时空演变与影响因子分析[J]. 农业工程学报, 2020, 36(22): 266-275.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.22.030 <http://www.tcsae.org>

Zhang Yang, Zhou Zhongfa, Huang Denghong, et al. Spatio-temporal evolution of cultivated land and analysis of influence factors in karst mountainous areas[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(22): 266-275. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.22.030 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

耕地是人类赖以生存和发展的物质基础^[1], 具有农业生产、空间承载以及环境保护等多种功能^[2], 关系国家和社会稳定, 是保障粮食安全和国民经济高质量发展的宝贵资源^[3]。伴随中国新型工业化、城镇化建设的深入推进, 在经济建设活动驱动下大量优质耕地转为非农用地^[4]。由城乡要素转移引发的耕地利用非粮化、粗放化、边际化等问题日益突出^[5-7], 导致近年来耕地质量下降、空间破碎、生态问题等问题频发^[8], 加之后备资源不断减少、激励约束机制尚不健全, 耕地合理利用和占补平衡面临多重压力。为此, 《中共中央国务院关于加强耕地保护和改进占补平衡的意见》和新修订的《中华人民共和国土地管理法》均明确提出推进耕地质量提升和保护、大力实施土地整治、严格控制耕地转为

非耕地, 并将切实保护耕地定为中国的基本国策; 2020 年中央一号文件亦明确提出粮食生产要稳面积, 坚守耕地和永久基本农田保护红线。耕地数量及质量与自然环境及经济社会发展阶段密切相关, 特别是在喀斯特山区, 耕地数量少、质量差且分布破碎, 往往是保障发展与保护安全的矛盾所在。因此, 研究耕地的时空演变规律以及探测其影响因子, 已成为喀斯特山区提升农业发展质量、促进耕地可持续利用和推进乡村振兴的重要途径^[9], 对研究区域可持续发展和区域粮食安全具有重要指导意义^[10]。

国内外关于耕地的研究成果丰富^[11], 研究内容集中在时空演变与驱动机制^[12-14]、耕地保护与管理方法^[15-16]、功能评价与时空演变^[17]、坡耕地时空动态变化^[18-19]、耕地变化与粮食安全^[20]等方面。其中, 由于耕地与其他地类相互转换的频繁性和复杂性, 耕地的时空演变一直是学术界关注的热点^[21], 诸多学者对耕地的时空演变格局^[22-23]、时空动态变化特征^[24-26]、时空演变驱动力^[27-28]及其主导成因^[29-30]进行了积极的探索, 对耕地时空演变规律和趋势的把握已成为重要研究内容。例如, 张英男等^[31]以县域为基本单元分析了黄淮海平原耕地功能演变的时空特征及其驱动机制, 刘旭华等^[27]基于国家尺度定量探索耕地利用变化的驱动力, Yao 等^[23]分析 20 世纪 80 年代以来全球耕地变化的基本特征及其空间格局, 赵馨等^[32]利用

收稿日期: 2020-09-04 修订日期: 2020-11-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41661088; 41961031); 贵州省高层次创新型人才培养计划“百”层次人才(黔科合平台人才(20165674)); 贵州省石漠化耕地调查、五千亩以上坝区耕地调查专题研究(GTGHY2018)

作者简介: 张 扬, 主要研究方向为地理信息系统与遥感、国土空间规划。

Email: 635015422@qq.com

*通信作者: 周忠发, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为喀斯特生态环境、GIS 与遥感。Email: fa6897@163.com。

深度学习探索不同石漠化环境下耕地的发展, 史小祺等^[33]研究贵州省近 40 年来耕地功能转型特征及其演变差异。综上所述, 现有成果大多从特征、机制、成因等方面对耕地时空演变及其影响因素进行了分析, 较少考虑与社会经济发展的耦合和顾及影响因素效应水平的空间异质性, 驱动机制的定量研究较为鲜见, 且空间尺度大多集中于中东部平原地区, 西部喀斯特山区耕地长时间尺度的演变分析及其影响因子探测则较少。

贵州省作为中国南方典型的喀斯特山区, 喀斯特地貌分布广泛, 人均耕地少、耕地破碎化、耕地质量低, 成为社会经济高质量发展的重要限制因素。在经济转型发展的关键期, 耕地保护与利用的矛盾必将愈加突出, 探索喀斯特山区耕地时空演变规律, 定量分析耕地分布特征和时空演变驱动因素对区域粮食安全、生态建设、乡村振兴、产业结构调整等都具有重要意义。鉴于此, 本文基于 2000—2018 年贵州省耕地利用时空动态数据, 结合 GIS 空间分析功能和探索性空间数据分析、地理探测器等数理模型, 研究耕地分布与时空演变规律及其驱动因素, 以期对喀斯特山区耕地保护、耕地资源可持续利用与区域发展战略制定提供科学依据和理论基础。

1 研究区域、方法与数据

1.1 研究区概况

贵州省地处云贵高原东部, 地跨 103°36′~109°35′E、24°37′~29°13′N, 南北长约 509 km, 东西宽约 595 km, 总面积为 17.62 万 km²。北靠四川和重庆, 南邻广西, 西毗云南, 东连湖南, 地势西北高东南低, 海拔为 148~2 900 m, 境内山脉众多、重峦叠峰、绵延纵横、山高谷深 (图 1)。全省喀斯特地貌出露面积为 10.91 万 km², 占总面积的 61.92%, 部分地区石漠化严重, 是中国南方喀斯特地貌发育最典型的地区之一。气候类型为亚热带湿润季风气候, 多年平均气温为 15.5 °C, 年降水量在 800~1 600 mm。截至 2018 年底, 全省森林覆盖率 58.50%, 是长江、珠江上游重要生态屏障; 省域内 92.5% 的面积为山地和丘陵, 耕地破碎化严重, 耕地地块坡度大, 耕地总量少质量低; 全省辖 9 个地级行政区 (6 个地级市、3 个自治州), 88 个县级行政区, 总人口 3 600 万人, GDP 为 1.48 万亿元。

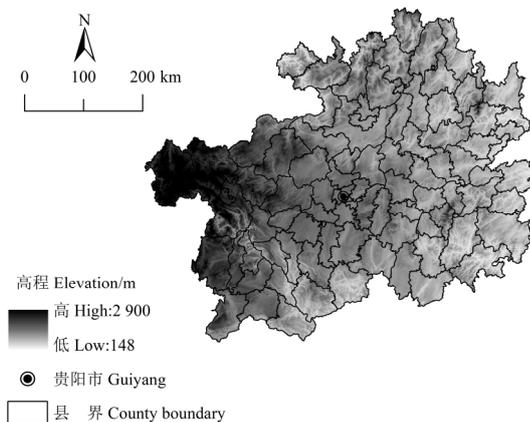


图 1 研究区地形分布示意图

Fig.1 Terrain distribution of the study area

1.2 研究方法与数据来源

1.2.1 研究方法

1) 核密度估计。核密度估计是一种用于估计概率密度函数的非参数方法, 通过对各要素点建立平滑的圆形表面, 基于要素点到参考位置的距离建立其峰值或核来创建平滑的连续表面^[34]。耕地分布具有空间离散、点多面广特征, 难以直观识别其时空的整体性和连续性, 核密度分析以光滑的曲面渐进式传输中心强度, 体现空间位置的差异性以及中心强度随距离衰减的特性^[35], 能够有效测度山区耕地分布的空间差异性和连续性。与普通的行政区耕地面积密度不同, 本文采用核密度识别耕地变化密度特征。其计算公式如下:

$$f(x,y) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n k \left(\frac{d_i}{h} \right) \quad (1)$$

式中 $f(x,y)$ 为位置 (x,y) 的耕地密度估计, 空间上表现为单位面积上所承载的耕地面积, hm^2/km^2 ; n 为观测数量; h 为距离衰减阈值 (即带宽); k 为空间权重函数; d_i 为位置 (x,y) 距第 i 个观测位置的距离, km 。

2) 空间分布均衡性分析。Lorenz 曲线既可用于研究单个地理单元的空间分布, 也可对多个地理单元的空间分布进行对比分析^[36]。采用 Lorenz 曲线分析耕地空间分布的均衡性, 以贵州省县级行政区数量为横坐标, 以贵州省耕地面积累计百分比为纵坐标, 绘制贵州省耕地洛伦兹曲线。Lorenz 曲线的弯曲程度代表耕地空间分布的均衡性大小, 曲线与绝对平均线的靠近程度和耕地在区域内分布的均匀程度正相关。

3) 探索性空间数据分析。探索性空间数据分析通过对事物或现象空间分布格局的描述与可视化^[37], 空间自相关分析是数据分析在空间中的表现, 反映某个属性或地理现象在某区域和邻近区的依赖程度。本文运用莫兰指数 (Moran's I) 分析耕地面积的空间集聚特征, 以此判断变量在空间中是否具有相关性及相关程度的大小。全局空间自相关描述研究区域各地理要素属性值之间的关联程度和空间特征, 可衡量区域之间整体上的空间关联与空间差异程度^[38], 全局莫兰指数是广泛应用的全局自相关统计量, 计算式如下:

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

式中 I 是莫兰指数; n 是研究区的数目; x_i, x_j 是区域 i, j 的耕地面积, hm^2 , \bar{x} 是 x_i 的平均值, hm^2 ; w_{ij} 是研究区域 i, j 的对称空间权重矩阵元素。Moran's I 反映的是研究区域之间属性值的相似程度, 即研究区域之间的空间集聚分布现象明显与否。若 Moran's $I=0$, 则不存在空间自相关。

局部莫兰指数可以有效揭示影像分割在邻域对象间某一属性的相似性, 局部莫兰指数的数值大小与邻域对象属性相似度呈正相关, 与对象之间的可分性呈负相关, 具体计算式如下:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

式中 I_i 是第 i 个区域局部莫兰指数, 其他变量的含义与莫兰指数公式中含义相同。当局部莫兰指数为正时, 表示该区域与周边地区的空间差异小; 当局部莫兰指数为负时, 表示该区域与周边地区的空间差异大^[39]。

4) 耕地变化动态度。耕地变化动态度表示耕地资源分布的稳定情况, 是反映区域耕地变化剧烈程度的重要指标^[40]。利用耕地变化动态度来表达一定时间段内研究区耕地资源数量与分布的变化速度, 定量评价耕地的变化速度。耕地动态度 (K) 表达式为^[19]

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \cdot \frac{1}{T} \times 100\% \quad (4)$$

式中 K 为研究时段内耕地动态度, %; U_a 、 U_b 为期初和期末耕地的数量; T 为研究时段长 (5 a)。由于本文 T 的时段设定为年, 故 K 值就是喀斯特山区耕地的年变化率。

5) 土地利用转移矩阵。土地利用状态转移矩阵描述一段时间内系统中状态与状态的转移, 可以全面又具体地分析出变化的结构特征, 反映了各土地利用方式转化的流向与数量, 能够揭示不同土地利用方式之间面积流动的时空演变特征^[41]。其数学模型为

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中 S_{ij} 为研究期初和期末土地利用状态, n 为土地利用类型数。

6) 地理探测器。影响耕地面积变化的因子错综复杂, 归纳起来有社会经济和自然因素两方面, 但从耕地资源的丰缺与相对于人类对耕地的需求而言, 人类的社会经济活动对耕地面积变化起决定性作用^[42]。地理探测器是探讨空间分异并揭示其背后驱动力的一组统计学方法, 研究复杂地理因素的驱动作用机理, 其原理是基于因变量与对其产生决定性影响的自变量在空间分布上具有显著一致性的假设^[43], 被广泛用于探测土地利用变化^[44]等相关领域。本文利用地理探测器的因子探测法定量评估影响研究区耕地分布及耕地时空演变的因素和影响强度。地理探测器中的因子解释力用 q 值度量, 表达式为

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (6)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2, SST = N \sigma^2 \quad (7)$$

式中 L 为变量 Y 或影响因子 X 的分层, 即分类或分区; N_h 为层 h 的单元数; N 为研究区整体的单元数; σ_h^2 层 h 的 Y 值的方差; σ^2 是和研究区整体的 Y 值的方差。SSW 和 SST 分别为层内方差之和与全区总方差。 q 为影响因素对耕地分布及耕地时空演变的影响程度, 值域为 [0, 1], 值越大, 说明影响因素对耕地分布及耕地时空演变的解释力越强。

1.2.2 数据来源

贵州省 2000、2005、2010、2015、2018 年 5 期土地利用数据以及道路数据、气象数据、降雨数据、行政区划数据均来源于中国科学院资源环境数据云平台

(http://www.resdc.cn), 其中土地利用数据空间分辨率为 30 m。社会经济统计数据来源于《贵州省统计年鉴》(2000—2019)。不透水面数据 (GAIA) 来源于清华大学地球系统科学系科研资源数据库 (http://data.ess.tsinghua.edu.cn/), 空间分辨率为 30 m。研究区 DEM 数据来源于地理空间数据云 (http://www.gscloud.cn/), 空间分辨率为 30 m。

2 耕地时空分布与时空演变格局特征

2.1 时空分布格局特征

2.1.1 耕地面积密度分布特征

利用式 (1) 求得贵州省 2000、2005、2010、2015、2018 年耕地密度分别为 27.20、27.28、27.07、26.89、26.52 hm^2/km^2 。总体上看, 贵州省耕地面积在空间上呈现出“西北多、东南少”的典型特征 (图 2)。从图 2 可以发现, 贵州省耕地面积密度变化较小, 从 2000 年到 2018 年的核密度分布格局大体一致。耕地面积密度呈团状分布, 具体特征表现为: 耕地总量较高的区域主要位于贵州省西北部毕节市, 北部遵义市以及中部安顺市, 东部黔东南州黄平县等地带, 而省会贵阳市域及周边县 (区)、遵义市大娄山区域及赤水市、黔东南州大部、铜仁市梵净山区域和南部喀斯特地貌发育的册亨县、望谟县、罗甸县耕地总量较少。

使用自然断点法对各年度耕地总量进行 9 级分类, 2000—2018 年贵州省耕地总量的时空分布呈现如下特征: ①耕地面积总量大体呈现下降趋势, 2000、2005、2010、2015 和 2018 年耕地总量分别为 497、498、494、490、484 万 hm^2 , 2005 年为拐点, 2005 年后耕地数量递减; ②各年度耕地总量总体稳定, 分级变化均发生在零星几个格网, 且级别的变化不大, 其余绝大部分格网未发生分级变化 (图 3)。这与近 20 年来贵州省实施的退耕还林还草、防护林生态工程、石漠化综合治理、水源地涵养林等生态建设以及工业化、城镇化和产业结构调整导致的耕地减少趋势相吻合。

2.1.2 空间分布均衡性分析

本文采用 Lorenz 曲线分析耕地空间分布的均衡性, 根据区位熵计算结果, 升序排列贵州省各县 (区) 的区位熵、各县 (区) 耕地面积占总耕地面积的百分比, 并计算累计百分比。以贵州省县级行政区数量为横坐标, 以贵州省耕地面积累计百分比为纵坐标, 绘制耕地资源空间分布洛伦兹曲线 (图 4)。

通过 Lorenz 曲线进行判断, Lorenz 曲线距离绝对平均线较远, 说明耕地空间分布的均衡性不强。为了直观地分析耕地空间分布的空间差异性, 采用基尼系数进行定量描述, 在洛伦兹曲线的基础上, 按照几何图形分块近似逼近的方法, 求得基尼系数为 0.326 3, 分布较为不平均。结合 Lorenz 曲线及基尼系数进行判断, 贵州省 2000—2018 年间的耕地空间分布的均衡性不显著, 耕地的空间分布处于一种各区域分配较有差距的状态。贵州省境内喀斯特地貌分布广, 部分地区石漠化严重, 加之山脉众多、山高谷深, 各区域由于自然条件的影响, 导致耕地资源的空间分配不均衡。

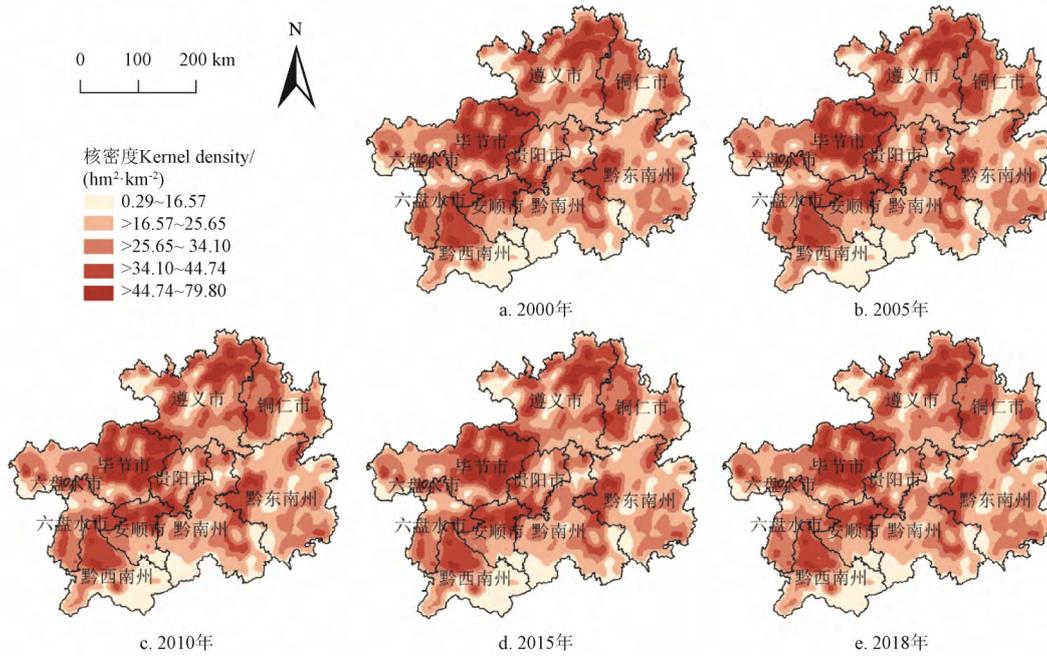


图 2 2000—2018 年贵州省耕地核密度分布

Fig.2 Kernel density distribution of cultivated land in Guizhou Province from 2000 to 2018

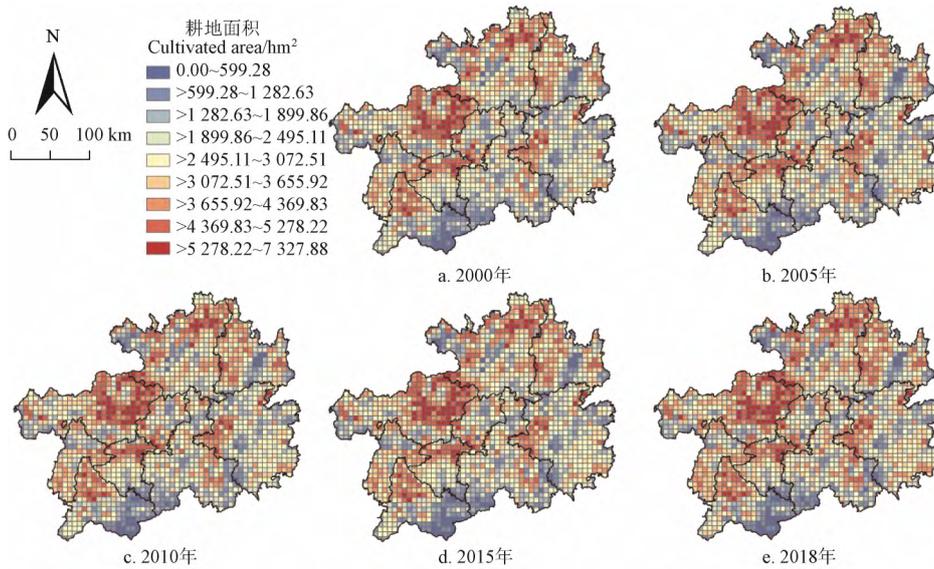
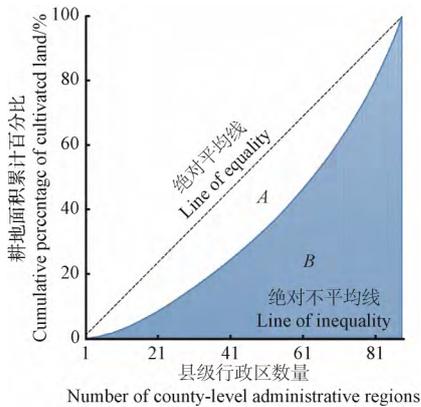


图 3 2000—2018 年贵州省耕地面积空间分布

Fig.3 Spatial distribution of cultivated land in Guizhou Province from 2000 to 2018



注：A/(A+B)为基尼系数。

Note: A/(A+B) is the Gini Coefficient.

图 4 贵州省耕地资源空间分布洛伦兹曲线

Fig.4 Lorenz curve of matching cultivated and land resources in Guizhou Province

2.1.3 空间分布关联性分析

使用 Geoda 空间分布关联性分析功能，全局自相关分析结果显示，2018 年贵州省耕地面积的 Moran's *I* 为 0.528，经显著性检验 *Z* 值为 42.754 2，*P*=0.001，呈现空间正相关。说明 2018 年贵州省耕地面积的空间分布并不是完全随机的，而是呈现部分空间位置上相邻的区域单元具有相同的属性值。局部空间自相关分析结果显示（图 5），除不显著区域外，耕地面积的高-高聚类数量最多，其次为低-低聚类，而低-高聚类、高-低聚类极少。高-高聚类主要分布在毕节市、遵义市、安顺市、黔西南州、黔东南州、铜仁市的部分区域，如黔西县、金沙县、平坝区、织金县、务川县、道真县，这些县（区）与邻域自然条件比较相似，耕地面积均较高；低-低聚类分布最主要的区域是位于黔

西南布依族苗族自治州，其余的零星分布于遵义市、黔东南市、铜仁市等部分区域。这部分区域大部分属于典型的喀斯特地貌或其它生态敏感脆弱区，耕地数量少、密度低；低-高聚类、高-低聚类的格网数量极少，基本都零星分布在贵州北面靠近与重庆市、四川省接壤的区域。

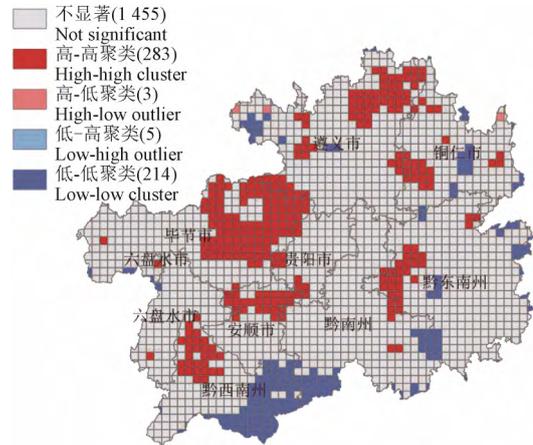
2.2 时空演变格局特征

2.2.1 土地利用转移矩阵

土地利用状态转移矩阵描述一段时间内系统中状态与状态的转移，为探明整个研究期的土地利用类型的转移形式，本文以研究期初（2000 年）和期末（2018 年）贵州省土地利用空间信息为基础进行空间叠置，得到近 20 年来贵州省土地利用转移矩阵，分析耕地空间变化的规律（表 1）。

从表 1 可以看出，贵州省土地利用结构以林地和耕地为主，分别约占总面积的 53%和 28%，草地、建设用地、水域和未利用地的面积较小，约占总面积的 20%。2000—2018 年贵州省土地利用结构改变较为明显。从各类土地利用类型转换来看，2000—2018 年的土地利用面积建设用地变化最为剧烈，其次为耕地，耕地变化以地类转出为主，面积净减少 12.19 万 hm^2 ，主要流向

为林地、草地和建设用地。总体而言，2000—2018 年贵州省耕地面积变化的主要趋势是大规模减少，而耕地的流向主要是林地、草地及建设用地，这和近年来大举实施的“退耕还林还草”以及社会经济的快速发展密不可分。



注：括号内数字为格网数量。

Note: The number in brackets is the number of grids.

图 5 耕地资源 LISA 聚集图

Fig.5 LISA aggregation map of cultivated land resources

表 1 2000—2018 年土地利用转移矩阵

Table 1 Transfer matrix of land use evolution during 2000—2018

hm^2

		2018 年								
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	增加面积	减少面积	净增长面积
		Cultivated land	Forest	Grassland	Water area	Construction land	Unused land	Increased area	Reduced area	Net increase area
2000 年	耕地	4 378 047.06	340 262.13	132 655.61	21 598.23	92 726.92	81.89	465 404.04	587 324.78	-121 920.74
	林地	304 608.24	8 587 351.22	391 749.82	33 306.18	35 586.30	210.22	723 411.69	765 460.76	-42 049.07
	草地	156 929.84	379 314.47	2 605 476.17	12 509.32	32 026.85	140.21	526 423.67	580 920.69	-54 497.02
	水域	1 507.54	1 725.41	844.48	36 682.76	151.19	58.94	67 850.02	4 287.57	63 562.44
	建设用地	2 190.40	1 211.29	897.76	425.03	55 356.08	0.18	160 615.19	4 724.66	155 890.52
	未利用地	168.01	898.39	276.01	11.25	123.92	2 554.87	491.45	1 477.58	-986.13

2.2.2 耕地变化动态度分析

耕地变化动态度反映区域之间耕地变化的差异情况，以县域作为分析单元，进行动态度变化的分析。由图 6 可知，2000 年至 2005 年为初期，2005 年至 2010 年为中期，由图 6 可知，2010 年至 2015 年为后期，2015 年至 2018 年作为末期（下文同）。从空间分布上来说，耕地变化动态度的空间差异性不强，但从不同时期来看，各时期差异性较为明显。耕地变化动态度从初期的局部变化，过渡到中期变化较为强烈，后期的动态变化最为强烈，表明进入频繁的变化期，末期的变化动态度稍有回落。

2.2.3 耕地面积变化类型及其幅度分析

将 2000—2018 年土地利用数据进行空间叠置，获取研究区内耕地面积总量及分布，以格网作为统计单元，将增加、减少两类型进行变化幅度的划分，由此得到研究区连续 4 个时间段内的耕地面积变化类型及其幅度（图 7）。

①从空间分布上来看，贵州省耕地增减都较为均衡，没有明显的聚类现象；②从时间变化来看，初期耕地增减较多，中期、后期耕地以减少为主，零散分布增加类型格网，末期增加类型格网数量回升，但增加程度不大。

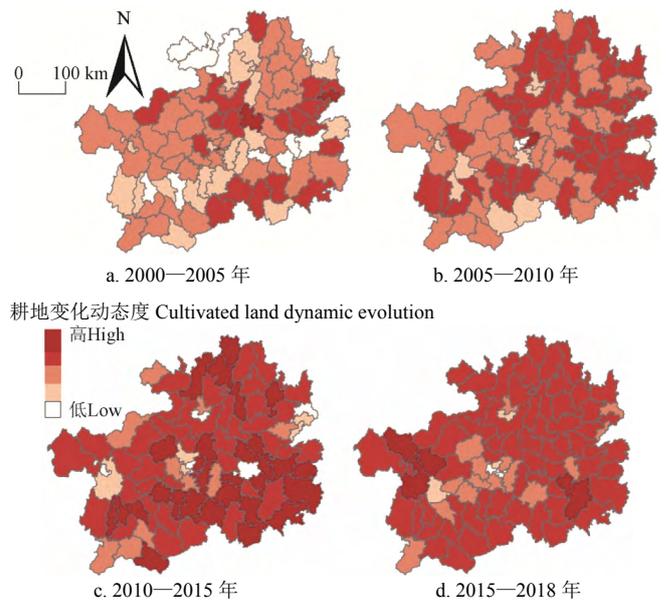


图 6 2000—2018 年贵州省耕地变化动态度空间格局

Fig.6 Spatial pattern of cultivated land dynamic evolution in Guizhou Province from 2000 to 2018

结合具体的数据来看，耕地面积的减少量稳定，且在末期达到了较高的值，耕地面积的增加则由高值骤降至低值，并在低值处趋于稳定。从中期开始，耕地面积的减少值大大超过了增加值（图 8）。2005 年后，一方面由于退耕还林、城镇化、长江/珠江流域防护林、石漠化综合治理、水源地涵养林、城市周边防护林工

程建设等，另一方面由于社会经济的发展，农村劳动力转移就业快速增加，耕地的数量逐期递减，由初期的耕地增加多进入到中、后期的耕地减少多。但在末期，随着“脱贫攻坚战”、“乡村振兴战略”的提出，农村劳动力部分回流，同时期耕地面积正增长的格网数量增加。

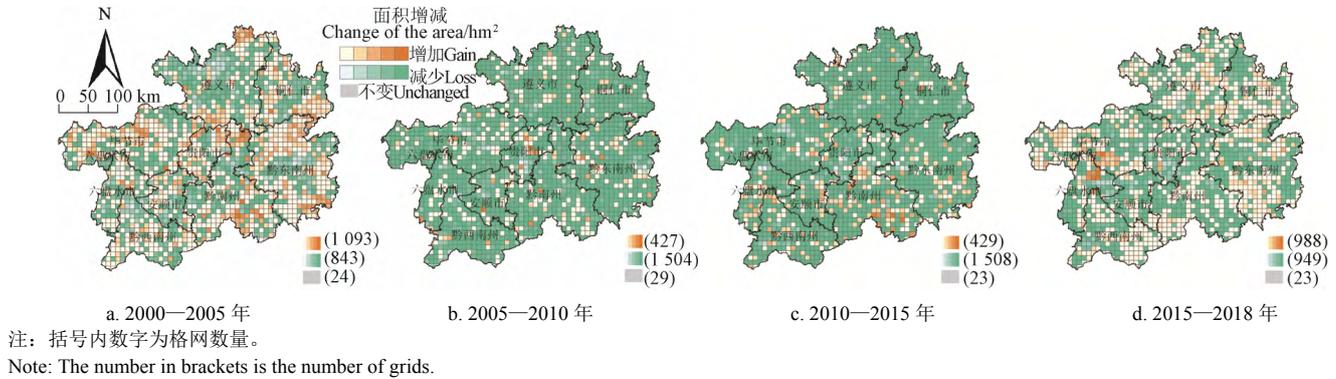


图 7 2000—2018 年耕地面积变化类型及其幅度空间分布图

Fig.7 Spatial distribution diagram of variation types and amplitude of cultivated land area from 2000 to 2018

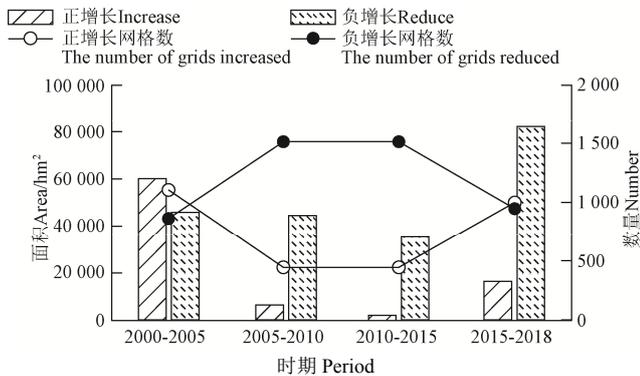


图 8 2000—2018 年耕地面积变化

Fig.8 Variation of cultivated land area from 2000 to 2018

2.3 耕地分布及其时空演变影响因子探测

地理探测器是通过研究要素之间的空间分层异质性解释其背后驱动因子的方法^[45]，综合考虑自然因素和社会经济因素对贵州省耕地空间异质性的影响，以格网为基本单元选取人口 (a_1)、GDP (a_2)、路网密度 (a_3)、开发强度 (a_4)、降水 (a_5)、气温 (a_6)、平均坡度 (a_7)、地面起伏度 (a_8)、共计 8 个驱动因子。经地理探测器计算后，各因子对耕地空间分布及耕地时空演变的贡献率如表 2 所示。从表中可以看出，3 期数据中贡献率排序差别不大，2000 年、2018 年各因子对耕地空间分布贡献率从大到小依次为 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_7 、 a_4 、 a_6 、 a_5 、 a_8 ；2010 年顺序为 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_7 、 a_4 、 a_6 、 a_8 、 a_5 。

表 2 耕地空间分布与时空演变地理探测器变量和指标

Table 2 Variables and indicators of spatial distribution and spatio-temporal evolution of cultivated land in Geo Detector

驱动因子 Driving factors	计算方法 Calculation method	分级 Classification	2000 年		2010 年		2018 年	
			q 值	p 值	q 值	p 值	q 值	p 值
			q value	p value	q value	p value	q value	p value
人口 Population a_1	ArcGIS 栅格统计	9	0.441 2	0	0.411 5	0	0.355 9	0
GDP a_2	ArcGIS 栅格统计	9	0.266 7	0	0.365 9	0	0.318 8	0
路网密度 Road network density a_3	DEM 均值变点法	9	0.190 4	0	0.201 0	0	0.182 8	0
开发强度 Development intensity a_4	ArcGIS 栅格统计	9	0.112 6	0	0.136 7	0	0.146 6	0
降水 Precipitation a_5	ArcGIS 栅格统计	9	0.050 3	0	0.062 6	0	0.097 3	0
气温 Air temperature a_6	ArcGIS 栅格统计	9	0.113 5	0	0.131 3	0	0.129 6	0
平均坡度 Average gradient a_7	ArcGIS 坡度分析栅格统计	9	0.159 7	0	0.166 4	0	0.158 8	0
地面起伏度 Ground relief a_8	ArcGIS 汇总统计	9	0.068 8	0	0.064 7	0	0.061 1	0

地理探测器分析结果显示研究区的耕地空间分布和时空演变受多种驱动因子的影响，对不同时期的影响因子进行探测，得出：研究区耕地空间上的差异受自然因素和社会经济因素共同作用的影响，但社会经济因素影响大于自然因素。其中人口 (a_1)、GDP (a_2) 对对耕地空间分布起主导作用，人口、社会经济差异是贵州省耕地空间分异最主要原因；路网密度 (a_3)、平均坡度 (a_7) 的 q 统计量超过了 0.15，是影响其空间分异的重要因素；

开发强度 (a_4)、气温 (a_6) 在 0.10~0.15 之间，也是影响其空间分异较为重要的因素；降水 (a_5)、地面起伏度 (a_8) q 值小于 0.1，说明这些驱动因子一定程度上影响着贵州省耕地的空间分异，但是影响程度较小。

3 结 论

本文以贵州省 2000—2018 年耕地为研究对象，借助 GIS 分析功能、Geoda 空间分布关联性分析功能以及地理

探测器等技术方法, 探明了喀斯特山区耕地空间分布特征及其时空演变规律, 并探测其分布和时空演变的主要驱动因子。主要研究结论如下:

1) 贵州省耕地面积在空间上呈现出“西北多、东南少”的典型特征, 但整体上耕地资源的空间分配均衡性不显著; 耕地面积密度呈团状分布, 省会贵阳市域、生态脆弱敏感区及喀斯特地貌发育区域耕地总量较少; 聚类特点与耕地面积密度特征高度吻合, 高-高聚类区域自然条件比较相似, 耕地面积均较高; 低-低聚类分布区域大部分属于典型的喀斯特地貌或其他生态敏感脆弱区, 耕地数量少、密度低。

2) 贵州省耕地面积总量与耕地密度均在 2005 出现拐点, 2005 年后耕地数量、耕地密度均递减; 从各类土地利用类型转换来看, 土地利用结构改变较为明显, 耕地变化以地类转出为主, 主要流向为林地、草地和建设用地; 耕地动态变化频繁, 从时间序列上来看, 初期为局部变化, 变化程度随时间推移越加强烈, 末期的变化稍有回落。从格网尺度进行分析, 贵州省耕地增减都较为均衡, 增减格网数量初期较多, 中期至末期以减量格网数量为主; 各期耕地面积的减少量稳定, 且在末期达到了较高的值, 各期耕地面积的增加量则由高值骤降至低值, 并在低值处趋于稳定。

3) 2000、2010、2018 年各期数据中对耕地空间分布贡献率排序极为相似, 影响研究区耕地空间分布的主要因子为人口、GDP, 次要因子为路网密度、平均坡度, 社会经济因素影响大于自然因素。

考虑到耕地与农村外出务工人员数据、贫困人口数据等的相互作用及影响, 在后续研究中将多维贫困数据、外出务工人员数据及迁徙数据等与本文中的耕地空间分布和时空演变特征相结合, 挖掘更多关于喀斯特山区耕地地理空间数据与多维贫困数据的潜在影响机理, 可为区域粮食安全、生态建设、乡村振兴、产业结构调整提供有效理论支撑。

[参 考 文 献]

- [1] 杨桂山. 长江三角洲近 50 年耕地数量变化的过程与驱动机制研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(2): 121-127.
Yang Guishan. The process and driving forces of change in arable-land area in the Yangtze River Delta during the past 50 years[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16(2): 121-127. (in Chinese with English abstract)
- [2] 王千, 金晓斌, 周寅康, 等. 河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因[J]. 生态学报, 2011, 31(1): 247-256.
Wang Qian, Jin Xiaobin, Zhou Yinkang, et al. Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(1): 247-256. (in Chinese with English abstract)
- [3] 彭文甫, 周介铭. 近 50 年四川省耕地变化分析[J]. 资源科学, 2005, 27(3): 79-85.
Peng Wenfu, Zhou Jieming. Change of cultivated land area in Sichuan Province[J]. Resources Science, 2005, 27(3): 79-85. (in Chinese with English abstract)
- [4] Martellozzo Federico, Ramankutty Navin, Hall Ron J, et al. Urbanization and the loss of prime farmland: A case study in the Calgary-Edmonton corridor of Alberta[J]. Regional Environmental Change, 2015, 15(5): 881-893.
- [5] Long Hualou, Tu Shuangshuang, Ge Dazhuan, et al. The allocation and management of critical resources in rural China under restructuring: Problems and prospects[J]. Journal of Rural Studies, 2016, 47: 392-412.
- [6] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架[J]. 地理学报, 2017, 72(3): 471-487.
Song Xiaoqing. Discussion on land use transition research framework[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(3): 471-487. (in Chinese with English abstract)
- [7] Li Huan, Wu Yuzhe, Huang Xianjin, et al. Spatial-temporal evolution and classification of marginalization of cultivated land in the process of urbanization[J]. Habitat International, 2017, 61: 1-8.
- [8] 陈正发, 史东梅, 何伟, 等. 基于“要素-需求-调控”的云南坡耕地质量评价[J]. 农业工程学报, 2020, 36(12): 236-246.
Chen Zhengfa, Shi Dongmei, He Wei, et al. Quality evaluation of slope farmland in Yunnan Province based on “element-demand-regulation” framework[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(12): 236-246. (in Chinese with English abstract)
- [9] 朱从谋, 李武艳, 杜莹莹, 等. 浙江省耕地多功能价值时空变化与权衡-协同关系[J]. 农业工程学报, 2020, 36(14): 263-272.
Zhu Congmou, Li Wuyan, Du Yingying, et al. Spatial-temporal change, trade-of f and synergy relationships of cropland multifunctional value in Zhejiang Province, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(14): 263-272. (in Chinese with English abstract)
- [10] 赵晓丽, 张增祥, 汪潇, 等. 中国近 30a 耕地变化时空特征及其主要原因分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 1-11.
Zhao Xiaoli, Zhang Zengxiang, Wang Xiao, et al. Analysis of Chinese cultivated land's spatial-temporal changes and causes in recent 30 years[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(3): 1-11. (in Chinese with English abstract)
- [11] 宋戈, 张文琦. 粮食作物种植视角下东北粮食主产区耕地利用的时空分化特征[J]. 农业工程学报, 2020, 36(15): 1-8.
Song Ge, Zhang Wenqi. Spatiotemporal differentiation characteristics of cultivated land use from perspective of growing food crops in major grain production areas in northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(15): 1-8. (in Chinese with English abstract)
- [12] 曾永年, 靳文凭, 王慧敏, 等. 青海高原东部农业区耕地流失及其评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 214-222.
Zeng Yongnian, Jin Wenping, Wang Huimin, et al. Analysis and evaluation of cultivated land decrease in eastern part of

- Qinghai Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(21): 214-222. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王成, 彭清, 唐宁, 等. 2005~2015 年耕地多功能时空演变及其协同与权衡研究: 以重庆市沙坪坝区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(4): 590-599.
- Wang Cheng, Peng Qing, Tang Ning, et al. Spatio-temporal evolution and the synergy and trade-off relationship of cultivated land multi-function in 2005-2015: A case of Shapingba District, Chongqing City[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(4): 590-599. (in Chinese with English abstract)
- [14] Wang H, Stephenson S R, Qu S. Modeling spatially non-stationary land use/cover change in the lower Connecticut River Basin by combining geographically weighted logistic regression and the CA-Markov model[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2019, 33(7): 1313-1334.
- [15] 谭永忠, 赵越, 俞振宁, 等. 代表性国家和地区耕地休耕补助政策及其对中国的启示[J]. 农业工程学报, 2017, 33(19): 249-257.
- Tan Yongzhong, Zhao Yue, Yu Zhenning, et al. Subsidy policies on fallow of cultivated land in selected countries and regions and their enlightenment to China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(19): 249-257. (in Chinese with English abstract)
- [16] Chen Yiping, Wu Junhua, Wang Hong, et al. Evaluating the soil quality of newly created farmland in the hilly and gully region on the Loess Plateau, China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(5): 791-802.
- [17] 杨雪, 谈明洪. 北京市耕地功能空间差异及其演变[J]. 地理研究, 2014, 33(6): 1106-1118.
- Yang Xue, Tan Minghong. Spatial differences and evolution of arable land functions in Beijing[J]. Geographical Research, 2014, 33(6): 1106-1118. (in Chinese with English abstract)
- [18] 刘彦文, 周霞, 何宗宜, 等. 基于 Logistic 回归的耕地数量演变及其空间要素边际效应分析[J]. 农业工程学报, 2020, 36(11): 267-276.
- Liu Yanwen, Zhou Xia, He Zongyi, et al. Quantitative evolution and marginal effect analysis of spatial factors of cultivated land based on Logistic regression[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(11): 267-276. (in Chinese with English abstract)
- [19] 罗光杰, 王世杰, 李阳兵, 等. 岩溶地区坡耕地时空动态变化及其生态服务功能评估[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 233-243.
- Luo Guangjie, Wang Shijie, Li Yangbing, et al. Spatio-temporal dynamics and ecological service function assessment of slope farmland in Karst areas of Guizhou province, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(11): 233-243. (in Chinese with English abstract)
- [20] He Jianhua, Liu Yaolin, Yu Yan, et al. A counterfactual scenario simulation approach for assessing the impact of farmland preservation policies on urban sprawl and food security in a major grain-producing area of China[J]. Applied Geography, 2013, 37:127-138.
- [21] 曲胜秋, 刘艳芳, 银超慧, 等. 1990—2015 年福建省耕地变化的空间格局分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(4): 587-598.
- Qu Shengqiu, Liu Yanfang, Yin Chaohui, et al. Spatial pattern of cultivated land change in Fujian Province from 1990 to 2015[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(4): 587-598. (in Chinese with English abstract)
- [22] 谭莉梅, 李红军, 刘慧涛, 等. 河北省太行山区域耕地资源空间分布特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 872-875.
- Tan Limei, Li Hongjun, Liu Huitao, et al. Spatial distribution characteristics of arable lands in Taihang Mountain area of Hebei Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(4): 872-875. (in Chinese with English abstract)
- [23] Yao Ziyang, Zhang Lijuan, Tang Shihao, et al. The basic characteristics and spatial patterns of global cultivated land change since the 1980s[J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 27(7): 771-785.
- [24] 田光进, 庄大方, 刘明亮. 近 10 年中国耕地资源时空变化特征[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 30-36.
- Tian Guangjin, Zhuang Dafang, Liu Mingliang. The spatial-temporal dynamic change of cultivated land in China in 1990s[J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(1): 30-36. (in Chinese with English abstract)
- [25] Sun Bo, Zhou Qiming. Expressing the spatio-temporal pattern of farmland change in arid lands using landscape metrics[J]. Journal of Arid Environments, 2016, 124(1): 118-127.
- [26] 程维明, 高晓雨, 马廷, 等. 基于地貌分区的 1990—2015 年中国耕地时空特征变化分析[J]. 地理学报, 2018, 73(9): 1613-1629.
- Cheng Weiming, Gao Xiaoyu, Ma Ting, et al. Spatial-temporal distribution of cropland in China based on geomorphologic regionalization during 1990-2015[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(9): 1613-1629. (in Chinese with English abstract)
- [27] 刘旭华, 王劲峰, 刘纪远, 等. 国家尺度耕地变化驱动力的定量分析方法[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 56-60.
- Liu Xuhua, Wang Jinfeng, Liu Jiyuan, et al. Quantitative analysis approaches to the driving forces of cultivated land changes on a national scale quantitative analysis approaches to the driving forces of cultivated land changes on a national scale[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(4): 56-60. (in Chinese with English abstract)
- [28] 刘吉平, 赵丹丹, 田学智, 等. 1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3234-3244.
- Liu Jiping, Zhao Dandan, Tian Xuezhi, et al. Landscape pattern dynamics and driving forces analysis in the Sanjiang Plain from 1954 to 2010[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3234-3244. (in Chinese with English abstract)
- [29] 李景刚, 何春阳, 史培军, 等. 近 20 年中国北方 13 省的耕地变化与驱动力[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 274-282.

- Li Jinggang, He Chunyang, Shi Peijun, et al. Change process of cultivated land and its driving forces in northern China during 1983-2001[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 274-282. (in Chinese with English abstract)
- [30] 徐宪立, 蔡玉梅, 张科利, 等. 耕地资源动态变化及其影响因素分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(3): 75-79. Xu Xianli, Cai Yumei, Zhang Keli, et al. Study on dynamic change of cultivated land resources and causes of the changes[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2005, 15(3): 75-79. (in Chinese with English abstract)
- [31] 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[J]. *地理学报*, 2018, 73(3): 518-534. Zhang Yingnan, Long Hualou, Ge Dazhuan, et al. Spatio-temporal characteristics and dynamic mechanism of farmland functions evolution in the Huang-Huai-Hai Plain [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 518-534. (in Chinese with English abstract)
- [32] 赵馨, 周忠发, 朱孟, 等. 基于景观格局的西南山区耕地生态风险研究[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(6) : 362-369, 376. Zhao Xin, Zhou Zhongfa, Zhu Meng, et al. Research on ecological risk of karst rocky desertification cultivated land based on landscape pattern[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2020, 27(6): 362-369, 376. (in Chinese with English abstract)
- [33] 史小祺, 李阳兵. 贵州省近 40 年耕地功能转型评价及演变差异分析[J]. *中国岩溶*, 2018, 37(5): 722-732. Shi Xiaoqi, Li Yangbing. Transformation evaluation and differences evolution analysis of cultivated land functional in Guizhou Province in recent 40 years[J]. *Carsologica Sinica*, 2018, 37(5): 722-732. (in Chinese with English abstract)
- [34] 孙建伟, 孔雪松, 田雅丝, 等. 基于空间组合特征的农村居民点重构方向识别[J]. *地理科学*, 2017, 37(5): 748-755. Sun Jianwei, Kong Xuesong, Tian Yasi, et al. Identifying reconstruction directions of rural settlements based on analysis of spatial combination features[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(5): 748-755. (in Chinese with English abstract)
- [35] 韩春萌, 刘慧平, 张洋华, 等. 基于核密度函数的多尺度北京市休闲农业空间分布分析[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(6): 271-278. Han Chunmeng, Liu Huiping, Zhang Yanghua, et al. Multi-scale spatial distribution analysis of leisure agriculture in Beijing based on kernel density estimation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2019, 35(6): 271-278. (in Chinese with English abstract)
- [36] 刘影, 熊悦. 基于信息熵与空间洛伦兹曲线土地利用空间结构研究: 以鄱阳湖区 12 县(市)为例[J]. *江西师范大学学报: 自然科学版*, 2017, 41(5): 546-551. Liu Ying, Xiong Yue. The study on land use spatial structure based on information entropy and spatial lorenz curve: A case study of 12 counties in Poyang Lake area[J]. *Journal of Jiangxi Normal University(Natural Science)*, 2017, 41(5): 546-551. (in Chinese with English abstract)
- [37] 刘玉, 唐林楠, 潘瑜春, 等. 京津冀地区县域农产品生产功能的时空格局及耦合特征[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(16): 305-314. Liu Yu, Tang Linnan, Pan Yuchun, et al. Spatiotemporal patterns and evolution characteristics of agricultural production function at county level in Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(16): 305-314. (in Chinese with English abstract)
- [38] 李小娟, 佟玲, 康绍忠. 海河流域作物水分敏感系数空间分布[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(14): 82-89. Li Xiaojuan, Tong Ling, Kang Shaozhong. Spatial pattern of crop water sensitive coefficient in Haihe Basin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(14): 82-89. (in Chinese with English abstract)
- [39] 刘彦文, 刘成武, 何宗宜, 等. 基于像元尺度耕地质量局部空间自相关的基本农田划定[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(5): 260-268, 319. Liu Yanwen, Liu Chengwu, He Zongyi, et al. Delineation of basic farmland based on local spatial autocorrelation analysis of cultivated land quality in pixel scale[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2019, 50(5): 260-268, 319. (in Chinese with English abstract)
- [40] 刘春艳, 朱康文, 刘吉平. 三峡库区重庆段土地覆盖和生物多样性功能演化及预测[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(19): 258-267. Liu Chunyan, Zhu Kangwen, Liu Jiping. Evolution and prediction of land cover and biodiversity function in Chongqing section of Three Gorges Reservoir Area[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2017, 33(19): 258-267. (in Chinese with English abstract)
- [41] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. *地理学报*, 2014, 69(1): 54-63. Wu Linna, Yang Shengtian, Liu Xiaoyan, et al. Response analysis of land use change to the degree of human activities in Beiluo River basin since 1976[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1): 54-63. (in Chinese with English abstract)
- [42] 曹银贵, 袁春, 周伟, 等. 中国耕地变化的驱动因子及其省域差异分析[J]. *中国土地科学*, 2008, 22(2): 17-22. Cao Yingui, Yuan Chun, Zhou Wei, et al. Analysis on driving forces and provincial differences of cultivated land change in China[J]. *China Land Science*, 2008, 22(2): 17-22. (in Chinese with English abstract)
- [43] 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 Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134. (in Chinese with English abstract)
- [44] 陈万旭, 李江风, 曾杰, 等. 中国土地利用变化生态环境效应的空间分异性与形成机理[J]. *地理研究*, 2019, 38(9): 2173-2187. Chen Wanxu, Li Jiangfeng, Zeng Jie, et al. Spatial heterogeneity and formation mechanism of ecoenvironmental effect of land use change in China[J]. *Geographical Research*, 2019, 38(9): 2173-2187. (in Chinese with English abstract)

[45] 王欢, 高江波, 侯文娟. 基于地理探测器的喀斯特不同地貌形态类型区土壤侵蚀定量归因[J]. 地理学报, 2018, 73(9): 1674-1686.
Wang Huan, Gao Jiangbo, Hou Wenjuan. Quantitative

attribution analysis of soil erosion in different morphological types of geomorphology in karst areas: Based on the geographical detector method[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(9): 1674-1686. (in Chinese with English abstract)

Spatio-temporal evolution of cultivated land and analysis of influence factors in karst mountainous areas

Zhang Yang^{1,2}, Zhou Zhongfa^{1,2*}, Huang Denghong^{1,3}, Zhu Meng^{1,3}, Wu Yue^{1,2}, Sun Jianwei^{1,2}

(1. School of Geography and Environmental Science/School of Karst Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2. The State Key Laboratory Incubation Base for Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province, Guiyang 550001,

China; 3. National Engineering Research Center for Karst Rocky Desertification Control, Guiyang 550001, China)

Abstract: Cultivated land is a valuable ecological resource to ensure food security and high-quality development of the national economy. Therefore, the temporal and spatial evolution of a cultivated land and its influencing factors have become a critical way to improve the quality of agricultural development, and facilitate the sustainable use of a cultivated land, finally to promote the revitalization of rural industries in karst mountainous areas of southwest China. However, less previous studies focus on the coupling effects of cultivated land and socio-economic development, as well as the spatial heterogeneity of influencing factors. There is also a lack of long-term evolution analysis and detection of influencing factors for a cultivated land in western karst mountain areas at the spatial scale. Taking the cultivated land in Guizhou Province as the research object, an in-depth exploration of spatial distribution and spatiotemporal evolution were performed on the cultivated land data for the five periods in 2000, 2005, 2010, 2015, and 2018. The spatial analysis function of GIS was combined with the kernel density, Lorenz curve, and Geo Detector methods. The area was divided into the grids of 10 km×10 km, to explore the temporal and spatial evolution characteristics and influencing factors of a cultivated land in the karst mountainous areas. The kernel density was used to identify the change in the distribution density of a cultivated land in the mountainous areas. The Lorenz curve was applied to analyze the balance on the spatial distribution of a cultivated land. Moran index was used to clarify the spatial agglomeration characteristics of cultivated land area. The dynamics degree of a cultivated land was selected to express the rate of change in the amount and distribution of cultivated land resources. The transfer matrix of land use was applied to represent the transformation methods of a cultivated land and other land types. The Geo Detector was used to quantitatively evaluate the factors and influence intensity that affecting the distribution of cultivated land and the temporal and spatial evolution in the study area. The results indicated that: The cultivated land resources were found “more in the northwest and less in the southeast” in Guizhou, showing the unbalanced spatial distribution. The area density was in clusters, with the less total cultivated land around the provincial capital, ecological vulnerable zones, and karst area. The distribution of cultivated land within the province was positively correlated to space, where the high-high clusters was similar in natural conditions, while the most low-low clusters was the typical karst areas or other ecologically fragile areas. At the time scale, the total cultivated land and density showed a turning point in 2005, and decreased gradually thereafter. From 2000 to 2018, the land use transfer was mainly outwards to the woodland, grassland and land for construction, with the dynamic changes increasingly intense over time (slightly calmed at the end). At the spatial scale, the increase and decrease of cultivated land were rather balanced across the stages, indicating that the decrease in the area was stable, while, the increase reduced from the peak to the bottom, finally stabilized at a lower position. According to the Geo Detector, the primary influencing factors for the spatial distribution of a cultivated land in Guizhou were the population and GDP, whereas, the secondary factors density of road networks and average gradient. The socio-economic factors showed a greater influence than natural factors. A clear understanding can be achieved on the distribution pattern of cultivated land in the karst mountainous area, while, the temporal and spatial evolution with the driving factors can be served as a sound reference for the efficient utilization of a cultivated land and sustainable development of the region. The finding can provide an important guidance for the sustainable development and food security in karst mountainous areas.

Keywords: land use; cultivated land; Karst mountain area; spatio-temporal evolution; factor detection