



引用格式: 代仁丽, 钟九生, 江 丽, 等. 基于地理探测器的铜仁市耕地分布特征及驱动因子探究[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(28) : 12072-12079.

Dai Renli, Zhong Jiusheng, Jiang Li, et al. Research on the distribution characteristics and driving factors of cultivated land in Tongren City based on geographic detector[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(28) : 12072-12079.

农业科学

基于地理探测器的铜仁市耕地分布特征及驱动因子探究

代仁丽, 钟九生*, 江 丽, 段纪维

(贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

摘 要 耕地是影响粮食生产的重要因素, 分析铜仁市 2000—2018 年耕地的变化特征及其自然因子的驱动作用, 对耕地的利用和保护及农业的发展具有一定意义。以铜仁市 2000、2010、2018 年土地利用数据为基础, 选取坡度、地貌类型、土壤类型及年均降水量为驱动因子, 利用土地转移矩阵, 结合景观指数及地理探测器方法, 探究铜仁市耕地的时空分布特征及驱动因子作用。结果表明: 2000—2018 铜仁市耕地景观破碎化程度增强, 耕地面积减小, 耕地总体上空间分布不均匀; 坡度是影响耕地分布的主要因子, 与其他因子交互作用时, 对耕地的影响增强。研究表明, 铜仁市耕地的减少, 主要是转为林地与建设用地, 与生态文明建设及城市的发展有关, 自然因子对耕地的影响存在交互作用, 且具有复杂性与长期性, 如何在耕地的保护上提供合理有效的措施, 需要综合考虑其他因子的驱动作用。

关键词 耕地; 时空分布; 景观指数; 地理探测器

中图法分类号 S127; 文献标志码 A

Research on the Distribution Characteristics and Driving Factors of Cultivated Land in Tongren City Based on Geographic Detector

DAI Ren-li, ZHONG Jiu-sheng*, JIANG Li, DUAN Ji-wei

(College of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

[Abstract] Cultivated land is an important factor affecting food production. Analysis of the change characteristics of cultivated land in Tongren City from 2000 to 2018 and the driving effect of natural factors have certain significance for the use and protection of cultivated land and the development of agriculture. Based on the 2000, 2010 and 2018 land use data of Tongren City, the slope, landform type, soil type and average annual precipitation were selected as driving factors, used land transfer matrix, combined with landscape index and geographic detector method, the spatial-temporal distribution characteristics and driving factors of cultivated land in Tongren City were explored. The results show that the degree of fragmentation of cultivated land landscape in Tongren City from 2000 to 2018 increases, the area of cultivated land decreases, and the overall spatial distribution of cultivated land is uneven. Slope is the main factor affecting the distribution of cultivated land, and when interacting with other factors, the impact on cultivated land is enhanced. The research shows that the reduction of cultivated land in Tongren City is mainly due to the conversion of forest land and construction land, which is relate to the construction of ecological civilization and the development of the city. Natural factors have interactive effects on cultivated land, and are complex and long-term. How to provide reasonable and effective measures in the protection of cultivated land, which need to comprehensively consider the driving role of other factors.

[Keywords] cultivated land; temporal and spatial distribution; landscape index; geographic detector

耕地是人类赖以生存的基本资源和条件, 是农业生态中的重要组成成分, 也是人类活动改造自然景观的重要体现^[1]。耕地也是影响粮食生产的重要因素, 随着经济的发展和城市的扩展, 出现建设

用地占用耕地及退耕还林还草等情况, 是对中国确保粮食生产的巨大挑战, 同时也是对耕地保护的挑战。

目前, 中国耕地数量正不断下降^[2], 其变化引

收稿日期: 2021-05-25; 修订日期: 2021-06-30

基金项目: 国家自然科学基金(41661081); 贵州省科技计划项目: 黔科合平台人才 [2017]5726-56)

第一作者: 代仁丽(1996—), 女, 彝族, 贵州盘州人, 硕士研究生。研究方向: 地理信息系统与遥感。E-mail: 1941594068@qq.com。

* 通信作者: 钟九生(1984—), 男, 汉族, 江西兴国人, 博士, 副教授。研究方向: 地理信息系统与遥感。E-mail: 332476076@qq.com。

投稿网址: www.stae.com.cn

起众多学者的关注。王静怡等^[3]用 ARIMA 模型探究了中国 1996—2016 年内耕地数量的变化趋势,通过相关性分析得到第一产值增加值占比、年末总人口数及城镇人口数是影响耕地数量变化的重要驱动因子;赵育恒等^[4]利用地理信息系统(geographic information system, GIS)空间分析、数学指数模型等方法进行研究,得到全局性和区域性政策演进与人类活动定向干预的双重作用影响着中国省域耕地利用变化;赵锐锋等^[5]通过变化轨迹分析法、景观指数和偏最小二乘回归模型来探究黑河中游地区耕地景观的演变过程及演变的驱动力。不同学者通过不同的空间尺度及方法探究了耕地的变化,同时对影响耕地变化的驱动因子进行了研究^[6-12]。曹祺文等^[13]以珠三角地区为例研究了基于空间自相关的区域农地变化驱动力;曾祥坤等^[14]以深圳市为例研究了基于 Logistic 曲线的快速城市化地区耕地变化人文驱动力建模;刘殿锋等^[15]分析了空间交互视角下中国城市群耕地变化影响因素;王文旭等^[16]应用文献分析法、分类统计法和比较分析法综述了耕地数量变化的驱动因子与驱动机理,较全面的探讨了在耕地方面的研究。总体来说,在耕地的研究上,不管是研究尺度^[14,17-18]还是影响耕地变化的驱动因子^[13,19]都较为广泛,但市域及小尺度的研究和单类型因子的研究还是相对较少,而对于贵州省区域内耕地的研究更少;在研究方法上,地理探测器是空间分异性分析的有力工具,既可以探测数值型数据,也可以探测定性数据,现已被土地利用、生态、区域经济及遥感等领域运用^[20]。利用地理探测器对耕地变化的驱动力进行探究具有一定的研究潜力。韩海清等^[21]运用地理探测器对中亚五国耕地驱动力进行深入研究,结果表明,在自然因素中,影响耕地变化的因素大小为年平均降水量对 > 年平均气温 > 海拔高度。周润芳等^[22]运用地理探测器探究地形对耕地分布的影响,结果表明各地貌区影响耕地分布的主导因子不同,沟壑密度对耕地的影响作用不可忽略。

铜仁市是中国土壤污染综合防治先行示范区之一,为探究土壤环境复杂的铜仁市耕地分布特征及驱动力,通过土地利用转移矩阵,采用景观指数及地理探测器,选取坡度、地貌、土壤及年均降水量四个自然因子进行探测,探讨除去经济因子、政策因子及其他自然因子的影响外,其对铜仁市耕地的驱动情况,了解在土壤污染相对严重的铜仁市,耕地的分布及变化及主要的驱动因子,为铜仁市耕地保护等工作提供一定的参考。

1 研究区概况

铜仁市位于贵州省东北部。地理坐标居于 107°45'E ~ 109°39'E, 27°07'N ~ 29°05'N。东邻湖南省怀化市,北与重庆市接壤,西北高,东南低,全境以山地为主,喀斯特发育,山多地少,生态脆弱,大多数地域属中亚热带季风湿润气候区,总面积 18 003 km²^[23],在总面积中有耕地 4 658.89 km²,占土地总面积 25.87%,耕地分布通常以村寨为中心向外扩展,如图 1 所示。

2 研究数据与方法

2.1 数据来源及预处理

采用的气象数据来源于中国气象科学数据服务网(<http://data.cma.cn/>) 2010—2018 年贵州省 31 个气象站逐日降水量实测数据,各站点数据经过一致性检验和质量控制,能满足研究需要。2000 年、2010 年土地覆盖数据来源于中国地理信息资源目录服务系统,2018 年土地覆盖数据来源于土地覆盖数据来源于清华大学地球系统科学系(<http://data.ess.tsinghua.edu.cn/>),分辨率均为 30 m,根据需要将土地覆盖类型进行统一整理将数据划分为:耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 类。土壤数据来源于中国科学院土壤研究所 1:1 000 000 比例的中国土壤图,地貌数据来源于贵州省地理国情监测云平台。

2.2 研究方法

2.2.1 景观指数模型

景观指数能高度浓缩反映土地利用/覆被变化(land use/cover change,LUCC)景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面的定量指标^[24]。选取斑块所占景观面积比例 P ,确定斑块边界密度指数 ED、斑块密度 PD 及平均斑块面积 MPS 这 4 个景观指数,从景观格局动态变化来研究土地利用变化^[24-25],从而探究铜仁市耕地的空间格局演变特征及规律。各指数计算方式如下。

第 i 种斑块所占景观面积比例 P_i 的计算公式为

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中: a_{ij} 为斑块 i 、 j 的面积, hm^2 ; A 为所有景观类型的总面积, hm^2 。

第 i 种斑块边界密度指数 ED_i 的计算公式为

$$ED_i = \frac{E_i}{A_i} \quad (2)$$

式(2)中: E_i 为评价范围内第 i 种斑块类型的边界

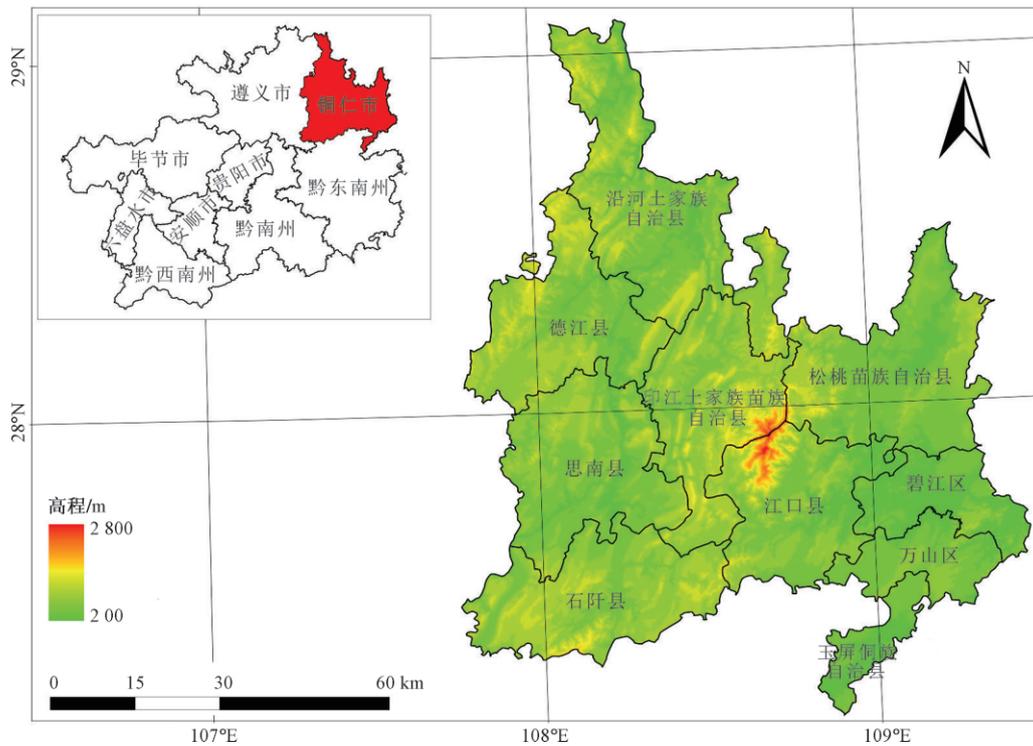


图1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

总长度 km ; A_i 为景观 i 的总面积 km^2 。

第 i 种斑块密度 PD_i 计算公式为

$$PD_i = \frac{N_i}{A} \quad (3)$$

式(3)中: N_i 为景观 i 的斑块数。

第 i 种斑块平均斑块面积 MPS_i 计算公式为

$$MPS_i = \frac{A_i}{N_i} \quad (4)$$

斑块所占景观面积比例 P , 可以确定区域内优势景观元素, 斑块边界密度指数 ED 、斑块密度 PD 和平均斑块面积 MPS 可以反映景观破碎化程度。

2.2.2 地理探测器

地理探测器是探测空间分异性及揭示其背后驱动力的一组统计学方法^[26]。其理论核心是通过空间异质性来探测因变量与自变量之间空间分布格局的一致性, 据此度量自变量对因变量的解释度, 其建立的因变量与自变量之间的关系将比经典回归更加可靠^[20]。

(1) 空间分异及因子探测: 用 q 值度量某探测因子 X 对 Y 的空间分异的解释^[20], 其计算公式为

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

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (6)$$

$$SST = N \sigma^2 \quad (7)$$

式中: $h = 1, 2, \dots, L$ 为变量 Y 或因子 X 的分层, 即分类或分区; N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数; σ_h^2 和 σ^2 分别为层 h 和全区的 Y 值的方差; SSW 和 SST 分别为层内方差之和和全区总方差。

因子交互作用探测: 识别不同因子之间的交互作用, 评估两因子共同作用和独立作用时对因变量 Y 的解释力^[20]。首先, 分别计算两种因子 X_1 和 X_2 的 q 值, 其次, 计算两因子交互的 q 值, 对 $q(X_1)$ 、 $q(X_2)$ 与 $q(X_1 \cap X_2)$ 进行比较。

3 结果与分析

3.1 耕地空间分布特征

2000—2018年, 铜仁市耕地分布存在较明显的空间差异性。如图2所示, 铜仁市耕地主要分布在西北部的沿河土家族自治县和德江县, 西部的思南县, 东北部的松桃苗族自治县, 其次是西南部的石阡县, 中部的印江土家族苗族自治县; 耕地分布较少的主要为东部的碧江区, 中部的江口县, 东南部的万山区和玉屏侗族自治县。整体上, 铜仁耕地空间分布不均匀, 呈西多东少, 西北多东南少, 四周多中间少的空间分布特征。

由表1、图3可知, 2000—2018年, 沿河、江口、碧江、万山和玉屏的耕地先增加后减少, 其他区县耕地均呈减少趋势; 2000—2010年, 西北部的沿河

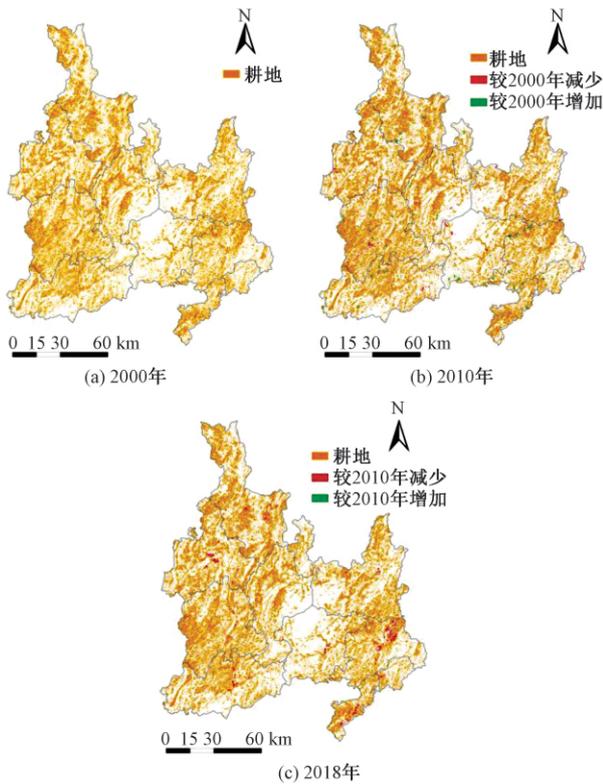


图2 铜仁市耕地分布

Fig. 2 Distribution of cultivated land in Tongren

表1 铜仁市各区县耕地面积统计

Table 1 Statistic of cultivated land area of Tongren Districts and Counties

| 区县名称 | 耕地面积/10 ³ hm ² | | |
|------------|--------------------------------------|-------|-------|
| | 2000年 | 2010年 | 2018年 |
| 江口县 | 30.24 | 30.46 | 30.17 |
| 碧江区 | 30.22 | 30.59 | 28.40 |
| 印江土家族苗族自治县 | 50.78 | 50.56 | 50.54 |
| 石阡县 | 56.90 | 56.83 | 55.99 |
| 松桃苗族自治县 | 75.20 | 74.23 | 73.83 |
| 德江县 | 67.64 | 67.25 | 65.67 |
| 沿河土家族自治县 | 84.07 | 84.49 | 83.47 |
| 思南县 | 83.11 | 82.64 | 81.95 |
| 玉屏侗族自治县 | 19.58 | 19.95 | 18.89 |
| 万山区 | 20.89 | 21.70 | 20.97 |

土家族自治县、中部的江口县、东部的碧江区和东南部的万山区及玉屏侗族自治县耕地增加,增加的总面积为 $2.20 \times 10^3 \text{ hm}^2$,大于耕地减少的面积;2010—2018年,所有区县耕地面积均减少,减少 $8.80 \times 10^3 \text{ hm}^2$,是前10年耕地面积减少的4倍左右。由于城镇的扩张,企业的增多和旅游业的发展,建设用地占用耕地面积增多,铜仁市耕地总量减少,2000—2018年,铜仁市除万山区外,其他区县耕地面积均减少,减少的区县中,仅江口县的耕地减少面积小于万山区耕地增加面积。

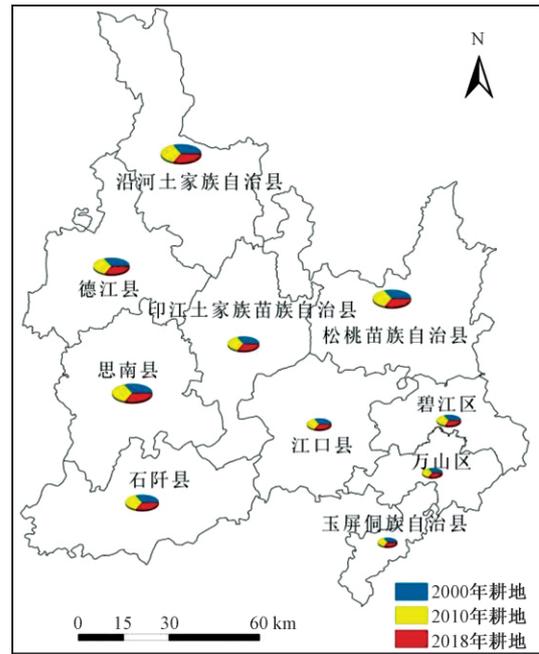


图3 铜仁市耕地面积空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of cultivated land area in Tongren

3.2 耕地转移特征

耕地变化是农业生产关注的重要问题,为探究铜仁市耕地的转移特征,基于2000年、2010年、2018年的铜仁市土地利用图,利用GIS的空间分析,得到2000—2018年铜仁市土地利用转移矩阵(表2)。

据统计,2000—2010年,铜仁市耕地转出 $46.616 \times 10^3 \text{ hm}^2$,主要转为林地,且转出面积占转出总面积的73.17%,其次是草地,转为草地的面积占转出总面积的22.50%。从转入来看,林地和草地是耕地转入的主要来源,转入面积占转入总面积的98.92%。2000年—2010年,耕地转入面积大于转出面积,总体增加。2010—2018年,耕地转为林地和草地均减少,转为建设用地的面积增加,从 $1.018 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 增加至 $8.705 \times 10^3 \text{ hm}^2$,耕地转出面积仅次于林地。从转入来看,林地仍是耕地转入的主要来源,其转入耕地的面积占转入总面积的75.00%;2010—2018年,铜仁市耕地转出大于转入,总体减少。

表2显示,2000—2018年铜仁市耕地转入的主要来源为林地和草地,共转入 $47.063 \times 10^3 \text{ hm}^2$,但耕地总量减少 $8.791 \times 10^3 \text{ hm}^2$,主要转为林地、草地和建设用地,转出面积分别占转出总面积的61.27%、19.21%和16.49%。2018年来铜仁市建设用地增加,且增加面积最多,为 $14.825 \times 10^3 \text{ hm}^2$,主要转入来源是耕地。结果表明,2000—2018年铜仁市耕地动态转移过程明显,转入与转出土地利用类型稳定,转为建设用地的面积增加,总体变化均衡。

表2 2000—2018年铜仁市土地利用转移矩阵
Table 2 Land use transfer matrix of Tongren City from 2000 to 2018

| 土地利用类型 | 耕地/10 ³ hm ² | 林地/10 ³ hm ² | 草地/10 ³ hm ² | 水域/10 ³ hm ² | 建设用地/ 10 ³ hm ² | 未利用地/ 10 ³ hm ² | 2000年合计/ 10 ³ hm ² | 转出/ 10 ³ hm ² |
|---|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|--|---|--|
| 耕地/10 ³ hm ² | 462.588 | 34.450 | 10.799 | 1.702 | 9.271 | 0 | 518.810 | 56.222 |
| 林地/10 ³ hm ² | 30.840 | 937.310 | 6.488 | 1.947 | 2.728 | 0 | 979.314 | 42.003 |
| 草地/10 ³ hm ² | 16.223 | 19.948 | 241.386 | 0.647 | 3.186 | 0 | 281.390 | 40.004 |
| 水域/10 ³ hm ² | 0.198 | 0.302 | 0.053 | 3.793 | 0.057 | 0 | 4.402 | 0.610 |
| 建设用地/10 ³ hm ² | 0.269 | 0.058 | 0.046 | 0.044 | 3.759 | 0 | 4.176 | 0.418 |
| 未利用地/10 ³ hm ² | 0 | 0 | 0 | 0.004 | 0 | 0 | 0.004 | 0.004 |
| 2018年合计/10 ³ hm ² | 510.119 | 992.068 | 258.771 | 8.137 | 19.001 | 0 | 1788.096 | — |
| 转入/10 ³ hm ² | 47.531 | 54.757 | 17.385 | 4.345 | 15.242 | 0 | — | — |
| 变化量 | -8.691 | 12.754 | -22.619 | 3.735 | 14.825 | -0.004 | — | — |

2000—2018年,铜仁市耕地呈先增加后减少的动态变化。总体来看,耕地增加的只有万山区,增加面积小于 $1 \times 10^3 \text{ hm}^2$,耕地减少的地区主要是德江县、碧江区、松桃苗族自治县及思南县,且耕地减少面积均大于 $1 \times 10^3 \text{ hm}^2$;各区县耕地转出的最主要土地利用类型为林地,其次是草地和建设用地,用 S 表示面积,其中6个区县 $S(\text{耕地转为草地}) > S(\text{耕地转为建设用地}) > S(\text{耕地转为林地})$,分别是德江县、碧江区、玉屏侗族自治县和万山区,如图4所示。由图5可知,铜仁市耕地减少明显,且呈减少区域主要集中在各区县城镇部分,城市扩张,交通建设增加,旅游产品得到全面开发,同时水库加固,变电站和污水处理厂等建设在一定程度上占用了耕地;在地势较高的区域耕地也有减少,一方面是地势较高,村民较难到达进行耕种,另一方面是退耕还林和多产业(如种植茶叶、果树等)的发展。

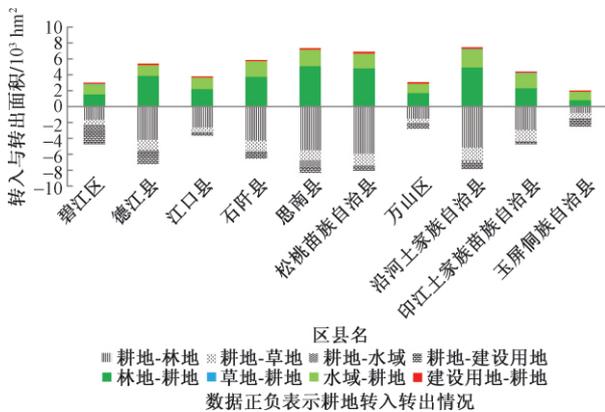


图4 2000—2018年铜仁市各县耕地转入转出面积
Fig. 4 Farmland transferring and transferring area of Tongren Counties from 2000 to 2018

3.3 耕地景观格局变化

铜仁市不同土地利用类型的动态变化,可以反映耕地的分布情况。运用Fragstats软件,计算得到



图5 2000—2018年铜仁市耕地空间变化格局
Fig. 5 Spatial change pattern of cultivated land in Tongren City from 2000 to 2018

各景观指数,如表3所示。从斑块所占景观面积比例 P 看,林地和耕地占比较大,景观优势度相对较大;从斑块密度 PD 、斑块边界密度 ED 、平均斑块面积 MPS 指数来看,耕地景观破碎化程度大,景观格局破碎化特征明显。

从2000—2018年铜仁市景观指数的变化来看,铜仁市林地和草地景观优势度降低,破碎化程度呈小幅增加趋势;建设用地及水域景观优势度持续增长,面积扩张,斑块破碎化程度减小;耕地变化较为波动,斑块所占景观面积比例 P 先增大后减小,其

表3 2000—2018年铜仁市土地利用类型景观指数变化
Table 3 Landscape index changes of land use types in Tongren City from 2000 to 2018

Table with 13 columns: 土地利用类型, 2000年 (P, PD, ED, MPS), 2010年 (P, PD, ED, MPS), 2018年 (P, PD, ED, MPS). Rows include 耕地, 林地, 草地, 水域, 建设用地, 未利用地.

景观优势度呈“增加→减少”变化,表明耕地在减少,斑块密度PD、斑块边界密度ED及平均斑块面积MPS的动态变化,均表明耕地破碎化程度变高。景观指数的变化结果显示,耕地景观优势度在减小,其景观破碎化程度越来越高,耕地面积减少,集中连片分布少,零散分布多,空间分布不均匀,景观格局破碎化特征明显。

3.4 耕地驱动因子分析

3.4.1 因子探测分析

自然因素与其他因素均能影响耕地的变化,通过地理探测器的因子探测探究选取的自然因子对耕地的影响大小,结果如表4所示。由表4可知,驱动因子对耕地的影响程度依次是坡度>土壤类型>地貌类型>年均降水量。坡度的q值最大,达0.1294,是4个因子中影响耕地变化的主要因子,解释力超过10%,年均降水量q值最小,其解释力不足1%。从时间尺度上分析驱动因子的变化,2000—2018年,坡度、地貌类型、土壤类型q值呈小幅增加趋势,年均降水量的q值呈减少趋势(图6)。因子探测结果显示:坡度对耕地变化的解释力增强,年均降水量的解释力逐渐减弱,对耕地变化的影响在减小。

表4 驱动因子的q值

Table 4 q values of driving factor

Table with 5 columns: 项目, 坡度, 地貌类型, 土壤类型, 年均降水量. Rows for q值 and P值.

3.4.2 因子交互作用探测分析

交互作用主要用于研究不同影响因素之间的交互影响作用[27],判断因子交互作用的方向及方式,是地理探测器相对于其他统计方法的最大优势[22]。借助地理探测器的因子交互探测,得到表5。结果表明,驱动因子对耕地的影响存在交互作用,且两因子交互的q值均大于每个单独因子的q值。

因子交互作用呈互相增强关系,说明因子之间具有协调性,表5显示坡度∩土壤类型(0.2878)>坡度∩地貌类型(0.2066)>地貌类型∩土壤类型

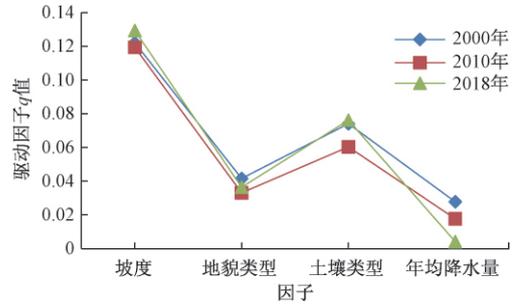


图6 驱动因子q值变化

Fig. 6 Variation of q value of driver factor

表5 因子交互作用探测

Table 5 Factor interaction detection

Table with 5 columns: 因子, 坡度, 地貌类型, 土壤类型, 年均降水量. Rows for 坡度, 地貌类型, 土壤类型, 年均降水量.

(0.1774)>坡度∩年均降水量(0.1425)>土壤类型∩年均降水量(0.0939)>地貌类型∩年均降水量(0.0637),因子交互作用对耕地的影响具有相互增强效应,各因子与坡度相互作用时,q值较大,解释力度也增强。总的来说,坡度与土壤类型相互作用时,对耕地变化的解释力最大。

据统计,当坡度大于25°时,耕地面积较少,分布少;耕地主要分布在喀斯特石漠化中山谷地,峰林溶原(盆地)、深切低山及峰丛谷地区域;当土壤类型为人为土和淋溶土时,耕地分布较多。年均降水量大于1372mm时,耕地面积少;年均降水量在820~986mm及在1141~1372mm时,耕地面积较大,分布较多。结合因子的交互作用可知,坡度小于25°相对平坦的地区,土壤类型为高活性强酸土,年均降水量在820~986mm时,耕地分布多,面积大;当坡度太大或太小,地势较陡或较平缓,土壤肥力低、有效养分含量低,降水量太多时,耕地分布少,面积小,一方面是不适宜农作物耕种,或者促进了植被增长,导致耕地转化为草地或林地;另一方面是存在耕地被占用的现象。

4 结论

研究了铜仁市 2000—2018 年耕地的变化情况,选取 4 个自然因子进行探测,分析耕地的驱动力。得到如下结论。

(1) 2000—2018 年铜仁市耕地景观优势度减小,景观破碎化程度越来越大,耕地面积减少,且主要转为林地、建设用地和草地。建设用地增加最多,且主要来源于耕地的转入,说明铜仁市退耕还林还草成果有效,其城市也在扩张,城镇化发展较快,且较大程度上占用了耕地,铜仁市需加强对耕地的保护,同时做好基本农田的划定和管护。

(2) 驱动因子对耕地的影响程度排序为:坡度 > 土壤类型 > 地貌类型 > 年均降水量。在考虑坡度和年均降水量的条件下,增加了地貌类型和土壤类型,进一步探讨了不同自然因子对铜仁市耕地变化的驱动情况,且年均降水量对铜仁市耕地变化的作用较小。

(3) 驱动因子之间存在交互作用,且作用相互增强。两因子的交互作用结果说明,每个单独的驱动因子对耕地分布的作用小于其和其他驱动因子的共同作用。总体来说,耕地分布主要集中在海拔较低、坡度较小,地势较缓,土壤肥力较好,降水适中的区域。高活性强酸土本不适合农作物的耕种,但铜仁市汞矿和锰矿资源丰富,成为铜仁土壤污染防治的重点,铜仁市土地资源稀缺,农业需发展,以耕地土壤修复为契机,开展土壤污染防治,或许是高活性强酸土区域耕地分布多的原因之一。

铜仁市耕地分布不均匀,驱动因子对其分布的作用存在差异性,驱动因子的作用结果在一定程度上对铜仁市耕地的保护提供了参考,铜仁市在进行生态文明建设及土壤污染防治的过程中,需重点关注其耕地情况,合理利用耕地,使生态环保工作、土壤污染防治工作与耕地保护工作相得益彰。

参 考 文 献

[1] 李均力,姜亮亮,包安明,等. 1962—2010 年玛纳斯流域耕地景观的时空变化分析[J]. 农业工程学报,2015,31(4): 277-285.
Li Junli, Jiang Liangliang, Bao Anming, et al. Spatio-temporal change analysis of cultivated land in Manas drainage basin during 1962—2010[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(4): 277-285.

[2] 周 维,段建南,李 萍. 中国耕地变化研究的知识图谱分析[J]. 土壤通报,2019,50(5): 1085-1090.
Zhou Wei, Duan Jiannan, Li Ping. Knowledge graph analysis for cultivated land change research in China[J]. Chinese Journal of

Soil Science, 2019, 50(5): 1085-1090.

[3] 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.
Wang Jingyi, Li Xiaoming. Research on the change trend of farmland quantity in China for recent 20 years and its driving factors[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(8): 171-176.

[4] 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.
Zhao Yuheng, Tan Yongzhong. Spatial-temporal changes of cultivated land use at provincial level since second national land survey in China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 204-212.

[5] 赵锐锋,王福红,张丽华,等. 黑河中游地区耕地景观演变及社会经济驱动力分析[J]. 地理科学,2017,37(6): 920-928.
Zhao Ruifeng, Wang Fuhong, Zhang Lihua, et al. Dynamic of farmland landscape and its socioeconomic driving forces in the middle reaches of the Heihe River[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(6): 920-928.

[6] 许月卿,李秀彬. 河北省耕地数量动态变化及驱动因子分析[J]. 资源科学,2001,23(5): 28-32.
Xu Yueqing, Li Xiubin. Analysis of dynamic change and driving forces of farmland in Hebei Province[J]. Resources Science, 2001, 23(5): 28-32.

[7] 俞勇军,陆玉麒. 江阴市耕地变化驱动因素及耕地利用效率定量研究[J]. 经济地理,2002,22(4): 440-443, 447.
Yu Yongjun, Lu Yuqi. Quantitative studies on the using efficiency and driving factors of changing of cultivated land in Jiangyin City[J]. Economic Geography, 2002, 22(4): 440-443, 447.

[8] 田 源,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等. 新疆于田县耕地动态变化驱动力定量研究[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(3): 67-72.
Tian Yuan, Taxipulati · Teyipai, Ding Jianli, et al. Quantitative studies on the driving force of dynamic changes of the arable land in Yutian County in Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(3): 67-72.

[9] 李治猛,张仕超. 镇域水平乡村耕地流转的时空分异及其驱动机制[J]. 中国农学通报,2016,32(20): 183-198.
Li Zhimeng, Zhang Shichao. Spatial-temporal changes of rural cultivated land transfer and its driving mechanism at town level[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(20): 183-198.

[10] 张茂茂,张雪松,何 炬,等. 基于村域尺度的鄂北地区耕地时空变化特征分析——以湖北省随县厉山镇为例[J]. 中国农业大学学报,2019,24(9): 179-189.
Zhang Maomao, Zhang Xuesong, He Ju, et al. Temporal and spatial variation characteristics of cultivated land in northwest Hubei Province based on village scale: a case study of Lishan Town, Suixian County, Hubei Province[J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(9): 179-189.

[11] 郭雅雯,赵敏娟. 基于 STIRPAT 模型的陕西省耕地面积变化社会经济驱动力分析[J]. 水土保持研究,2012,19(6): 197-201.
Guo Yawen, Zhao Minjuan. Analysis on societal and economic driving force for changes in area of cultivated land of Shaanxi Province based on STIRPAT model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(6): 197-201.

- [12] 范晓锋. 基于核密度估算的汪清县耕地空间集聚特征分析[J]. 西部大开发(土地开发工程研究), 2019, 4(12): 6-11.
Fan Xiaofeng. Analysis of spatial agglomeration characteristics of cultivated land in Wangqing County based on kernel density estimation[J]. West China Development(Land Development and Engineering Research), 2019, 4(12): 6-11.
- [13] 曹祺文, 吴健生, 全德, 等. 基于空间自相关的区域农地变化驱动力研究——以珠三角地区为例[J]. 资源科学, 2016, 38(4): 714-727.
Cao Qiwen, Wu Jiansheng, Tong De, et al. Drivers of regional agricultural land changes based on spatial autocorrelation in the Pearl River Delta, China[J]. Resources Science, 2016, 38(4): 714-727.
- [14] 曾祥坤, 李贵才, 王仰麟, 等. 基于 Logistic 曲线的快速城市化地区耕地变化人文驱动力建模——以深圳市为例[J]. 资源科学, 2009, 31(4): 604-611.
Zeng Xiangkun, Li Guicai, Wang Yanglin, et al. Hypothesis and validation on the Logistic curves of cultivated land change and its human driving forces in rapidly urbanized area: a case study of Shenzhen City[J]. Resources Science, 2009, 31(4): 604-611.
- [15] 刘殿锋, 周泊远, 何建华, 等. 空间交互视角下中国城市群耕地变化影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(16): 274-283.
Liu Dianfeng, Zhou Boyuan, He Jianhua, et al. Analysis of influencing factors of cultivated land change in Chinese urban agglomerations considering spatially inter-city interactions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(16): 274-283.
- [16] 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): 210.
Wang Wenxu, Cao Yingui, Su Ruiqing, et al. Driving forces of cultivated land change in China—driving factors and driving mechanism[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(7): 210.
- [17] 李严, 赵希, 贵仁义. 云南省耕地变化的自相关分析[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(10): 2429-2433.
Li Yan, Zhao Xi, Gui Renyi. Spatial autocorrelation analysis of farm land change in Yunnan[J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(10): 2429-2433.
- [18] 毛鸿欣, 贾科利, 高曦文, 等. 1980—2018年银川平原土地利用变化时空格局分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(20): 8008-8018.
Mao Hongxin, Jia Keli, Gao Xiwen, et al. Spatiotemporal pattern of land use change in Yinchuan Plain from 1980 to 2018[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(20): 8008-8018.
- [19] 任杰, 姜纪沂, 赵振宏, 等. 1980—2015年伊犁盆地土地利用/覆被变化及驱动力研究[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(21): 8480-8488.
Ren Jie, Jiang Jiyi, Zhao Zhenhong, et al. Analysis on land use/cover change and driving forces in Yili Basin from 1980 to 2015[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(21): 8480-8488.
- [20] 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]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.
- [21] 韩海青, 王旭红, 牛林芝, 等. 1992—2015年中亚五国LUCC特征及耕地驱动力研究[J]. 中国生态农业学报, 2021, 29(2): 325-339.
Han Haiqing, Wang Xuhong, Niu Linzhi. The land-use and land-cover change characteristics and driving forces of cultivated land in Central Asian countries from 1992 to 2015[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(2): 325-339.
- [22] 周润芳, 孙建国, 张卓. 甘肃省榆中县地形对耕地分布影响[J]. 遥感信息, 2020, 35(4): 148-154.
Zhou Runfang, Sun Jianguo, Zhang Zhuo. Effect of topography on cultivated land distribution in Yuzhong County of Gansu Province[J]. Remote Sensing Information, 2020, 35(4): 148-154.
- [23] 李干蓉, 何庆文. 大气污染防治调研报告——以铜仁市为例[J]. 科技风, 2019(32): 132-133.
Li Ganrong, He Qingwen. Investigation report on air pollution prevention and control: take Tongren City as an example[J]. The Wind of Science and Technology, 2019(32): 132-133.
- [24] 张秀鹏. 镇域尺度LUCC时空演变及驱动力研究——以仪征各镇为例[J]. 南阳师范学院学报, 2020, 19(1): 1-10.
Zhang Xiupeng. Spatial and temporal evolution and driving force of LUCC at town scale: a case study of towns and villages in Yizheng City[J]. Journal of Nanyang Normal University, 2020, 19(1): 1-10.
- [25] 陈正发, 史东梅, 何伟, 等. 1980—2015年云南坡耕地资源时空分布及演变特征分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(15): 256-265.
Chen Zhengfa, Shi Dongmei, He Wei, et al. Spatio-temporal distribution and evolution characteristics of slope farmland resources in Yunnan from 1980 to 2015[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(15): 256-265.
- [26] Wang J F, Hu Y. Environmental health risk detection with GEOG detector[J]. Environmental Modelling & Software, 2012, 33: 114-115.
- [27] 王琪, 王永生, 杜国明, 等. 基于人地关系的干旱区耕地流转空间分异特征与驱动机制的地理探测[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(2): 241-248.
Wang Qi, Wang Yongsheng, Du Guoming, et al. Geographical exploration of spatial differentiation characteristics and driving mechanism of cultivated land circulation in arid regions based on human-land relationships[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, 38(2): 241-248.