

赣东山地丘陵区耕地细碎化时空变异与驱动因子探析 ——以江西省万年县为例

常玉昀^{1,2}, 张天柱^{1,2}, 张凤荣^{1,2}, 石敬诗³, 谢臻^{1,2}

(1. 中国农业大学 土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193; 3. 山东科技大学 计算机科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 从中观尺度探讨耕地景观细碎化演变特征及其机制, 可反映区域人地关系变化, 为耕地细碎化优化路径提供科学依据, 推动耕地保护工作长足发展。选取赣东典型山地丘陵区万年县为研究区, 基于 GIS 技术、景观格局指数、熵权法和地理探测器等研究方法对耕地细碎化演变与驱动因素进行了分析。结果表明: (1) 万年县 2009—2018 年耕地细碎化程度明显加剧, 耕地细碎化面积指数、形状指数均显著提高, 分布指数呈现下降趋势; (2) 万年县耕地细碎化主要驱动因素为高程、乡镇人口密度、距农村居民点距离以及坡度, 各探测因子对耕地细碎化的影响呈相互增强或非线性增强效应; (3) 综合发展型、工业贸易型、生态旅游型以及农业生产型乡镇主要驱动因子分异明显。因此, 耕地细碎化优化工作应基于资源禀赋进行土地用途优化配置, 基于社会功能分区进行乡镇发展政策牵引。

关键词: 耕地细碎化; 景观格局指数; 地理探测器; 万年县

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2021)03-0264-08

Analysis on the Spatiotemporal Variability and Driving Factors of Cultivated Land Fragmentation in the Hilly Region of Eastern Gansu — A Case of Wannian County of Jiangxi Province

CHANG Yuyang^{1,2}, ZHANG Tianzhu^{1,2}, ZHANG Fengrong^{1,2}, SHI Jingshi³, XIE Zhen^{1,2}

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality, Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China; 3. College of Computer Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Discussing the evolution characteristics and mechanism of cultivated land landscape fragmentation from the mesoscale can reflect the changes in the regional human-land relationship, provide a scientific basis for the optimized path of cultivated land fragmentation, and promote the development of cultivated land protection. Wannian County, a typical hilly area in eastern Jiangxi, was selected as the research area. Based on the research methods of GIS technology, landscape pattern index, entropy weight method, and geographic detector, the evolution and driving factors of cultivated land fragmentation were analyzed. The result showed that: (1) in Wannian County, the degree of cultivated land fragmentation increased significantly from 2009 to 2018, the spatial agglomeration effect of cultivated land fragmentation decreased, the area index and shape index of cultivated land fragmentation increased significantly, and the distribution index showed a downward trend; (2) the main driving factors of cultivated land fragmentation in Wannian County are elevation, township population density, distance from rural settlements and slope, and the detection factors have mutually or non-linearly enhanced effects on cultivated land fragmentation; (3) the main driving factors of townships with different functional types are various. The optimization of arable land fragmentation and optimization in different regions should optimize the allocation of land use based on resource endowments. Townships with different development orientations have different main drivers of cultivated land fragmentation based on social

收稿日期: 2020-07-10

修回日期: 2020-07-22

资助项目: 中国国土勘测规划院专项课题(20190911606)

第一作者: 常玉昀(1997—), 男, 山东聊城人, 在读硕士研究生, 研究方向为土地可持续利用与景观生态。E-mail: chang_young@foxmail.com

通信作者: 张天柱(1993—), 男, 河北保定人, 博士, 研究员, 主要从事土地可持续利用研究。E-mail: ztz@cau.edu.cn

function zoning for the development of township development policies. The remediation of cultivated land fragmentation should optimize the allocation of land use based on resource endowment, and formulate township development policies based on social function zoning.

Keywords: cultivated land fragmentation; landscape pattern index; GeoDetector; Wannian County

耕地资源是国家粮食安全的保障,但随着城镇化进程的加剧,我国耕地细碎化问题不断凸显。耕地细碎化会破坏田块形状规则度,极大降低农田设施和农机的生产效率,严重阻碍农业适度规模经营,挫伤农民的粮食生产积极性^[1],威胁粮食安全并逐渐成为制约农业生产发展、农村社会稳定的主要因素^[2]。耕地细碎化是与土地规模经营相对立的土地利用格局,是世界上多数国家农业生产过程中普遍存在的问题^[3],其是指受人为或自然条件的影响,耕地难以成片、集中、规模经营,导致土地利用呈现出的插花、分散、无序的状态^[4]。近年来,学者对耕地细碎化时空演变^[5-6]、形成机理^[7-8]、影响效应^[9-13]和评价指标构建与优化^[14-18]进行了一系列探索。其中,耕地细碎化测度研究主要基于农户微观视角与区域中观视角。微观视角强调地块的利用效率,通过农户调研,从耕地经营利用状况等方面来评价区域耕地细碎化程度^[19-20];而区域中观视角从平面空间来观测耕地细碎化,将其视作一种地理单元内的景观格局^[8],主要选取一个或者多个景观格局指数进行评价^[21-22]。

在耕地细碎化驱动因素分析方面,现有研究多将耕地细碎化视作一种农业经济现象,从农户微观层面考量,着重分析权属划分、农业经营成本、农户家庭特征以及农机普及率等因素对于耕地细碎化的影响。中观尺度下耕地细碎化是微观尺度权属细碎化的基础^[17],其景观格局不仅受劳动主体行为的制约,自然地理条件与社会经济因素都会对其产生驱动作用,所以有必要从地学角度出发,运用地理空间分析手段,分析不同类型因素对耕地景观细碎化的影响。

有研究发现微观尺度与中观尺度的研究结果表现出一定差异性^[22],并从地形因素分析了导致评价单元出现耕地细碎化分异机理。土地作为自然经济综合体,单一的地形要素并不能够全面解释空间分异原因,不同区域的功能区划会直接影响区域土地利用模式、劳动力转移以及政府资金投入,这些因素都会驱使当地耕地景观形态发生变异,因此有必要强调区域发展政策对于当地耕地细碎程度的作用。本文基于前人研究成果,利用耕地景观格局指数测算江西省万年县耕地景观细碎化指数,并结合不同乡镇资源禀赋与发展定位,分析万年县耕地细碎化空间分异驱动因素,以期对耕地细碎化形成机理研究提供新思路,

科学制定耕地利用与保护政策,从而保障区域粮食安全,推动社会经济可持续发展。

1 研究区域与数据处理

1.1 研究区概况

素有“贡米之乡”之称的万年县地处江西省东北部(116°46′—117°15′E,28°30′—28°54′N),东西宽 47 km,南北长 43 km,总面积 11.41 万 hm²。地处怀玉山系余脉与鄱阳湖平原过渡地带,地势东南高西北低,呈阶梯状,地貌类型主要有侵蚀堆积河谷平原、剥蚀堆积岗地、溶蚀峰丛洼地和构造剥蚀丘陵,如按海拔高度和相对高程划分,可划分为低山、丘陵、平原三大类型,是典型的山地丘陵区。万年县耕地面积约占土地总面积的 29%,水域面积约占土地总面积的 6%。全境土壤类型多样,属江南丘陵红壤区,适应多种农作物和亚热带植被生长。属亚热带季风湿润气候,年平均气温 17.5℃,年平均降水量 1 908.4 mm,降雨集中在每年 4 月至 7 月。万年县农业种植和畜牧养殖一直占据第一产业主导地位,基本形成了贡米、生猪、珍珠、果蔬、油茶、雷竹、苗木花卉七大农业支柱产业。当地工业发展主要依赖于“一区三园”总体布局,以乡村特色为支撑的旅游也在逐渐兴起。

1.2 数据来源与处理

本研究采用 2009 年、2018 年万年县土地利用现状图,以行政村为单元,利用 ArcGIS 10.2 提取万年县耕地、河流、公路以及居民点等信息,并将矢量图层转为 2 m×2 m 的栅格图,再将耕地分布栅格图导入 Fragstats 4.2 进行耕地景观指数测算。距公路、农村居民点以及河流等要素的距离通过 ArcGIS 10.2 空间分析工具中的欧氏距离功能计算得出。DEM 数据为 Gdemdem 30 m 分辨率数字高程数据,来源于地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>),用于提取坡度、坡向及海拔等信息。乡镇人口密度数据源自《万年县统计年鉴》。

2 研究方法

2.1 耕地景观形态特征与指标体系构建

景观格局指数已被广泛应用于中观尺度耕地细碎化的测算(表 1),一定程度上,耕地景观的变化是耕地细碎程度变化的直观反映。本文借鉴已有成果^[5-6,9],并结

合研究区自身特点,形成了以村为单元的耕地细碎化评价体系,从耕地的面积、形状、行政村内的分布 3 个指标层级的 6 项指标测度耕地景观细碎化程度。所选取的 6

项景观格局指数分别为平均地块面积(MPS)、地块密度(PD)、边界密度指数(ED)、面积加权形状指数(AWMSI)、平均最邻近距离(MNN)及破碎化指数(FS)。

表 1 基于景观格局指数的耕地景观细碎化测算体系

指标层级	指数名称	公式	指数意义
面积指数	平均地块面积(MPS)	$MPS=A/N$	地块面积是最基本的空间特征,可以比较直观地反映耕地的破碎化程度,式中: A 为耕地总面积; N 是耕地地块数
	地块密度(PD)	$PD=N/A$	地块密度是某用地类型单位土地面积上的地块数量,其值越大,表明破碎化程度越高。式中: N 是地块数量; A 是土地总面积
	边界密度指数(ED)	$ED=E/A$	边界密度指数是分析地块形状的重要指标,边界密度越大,表示耕地被分割的程度越高。式中: E 为耕地地块的边界总长度; A 为耕地的总面积
形状指数	面积加权形状指数(AWMSI)	$AWMSI=\sum_{i=1}^n [(0.25P_i/\sqrt{a_i})(a_i/A)]$	反映耕地地块形状的复杂性和规则性。当值为 1 时,说明所有的拼块形状为最简单的方形;该值越大,表明斑块形状变得更复杂且不规则。式中: n 是耕地地块数量; P_i 为地块周长; a_i 是地块面积; A 是耕地总面积
	平均最邻近距离(MNN)	$MNN=\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}/N'$	反映耕地斑块的分布状况,值越大,表明同类斑块分布越离散。式中: h_{ij} 表示某地块到同类型地块的最近距离之和; m 表示土地利用类型 i 的地块数量; n 土地利用类型总数; N' 为具有最近距离的地块总数
分布指数	破碎化指数(FS)	$FS=1-1/MSI$ $MSI=\sum_{i=1}^n (0.25P_i/\sqrt{a_i})/N$	用来量化耕地的破碎度,是耕地破碎度的直观反映。式中:MSI表示平均形状指数; a 为每个地块的面积; P_i 为每个地块的周长; N 为耕地地块总数

2.2 原始数据标准化及指标赋权

由于各指标的数量级以及对耕地细碎化影响效应不同,为消除各指标的量纲,本文采用极差标准化方法对指标原始值进行处理,极差标准化公式如下:

$$P_{ij} = \begin{cases} (X_{ij} - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min}), & \text{正效应} \\ (X_{i\max} - X_{ij}) / (X_{i\max} - X_{i\min}), & \text{负效应} \end{cases}$$

式中: P_{ij} 表示指标的标准化值; X_{ij} 表示指标的原始值; $X_{i\max}$ 表示指标原始最大值; $X_{i\min}$ 表示指标原始最小值。

指标的权重对于评价结果的准确性起着至关重要

的作用,因此本文结合前人研究经验,为避免主观因素对评价结果的干扰,选用熵值法对 6 项指标进行赋权。

参评指标的熵值权重计算公式如下:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \times \ln m$$

$$\omega_j = (1 - e_j) / \sum_{i=1}^m (1 - e_j)$$

式中: P_{ij} 为第 i 个样本第 j 个评价指标的标准化值; e_j 为第 j 个指标的熵值; ω_j 为第 j 个指标的权重。

在 Python 环境下运行上述公式得到万年县 2009 年、2018 年耕地细碎化评价指标权重(表 2)。

表 2 万年县耕地细碎化各指标权重

年份	参数	规模指标		形状指标		分布指标	
		MPS	PD	ED	AWMSI	MNN	FS
2009	内部权重	0.1809	0.8191	0.5235	0.4765	0.7990	0.2010
	总体权重	0.0429	0.1868	0.1949	0.1747	0.3202	0.0806
2018	内部权重	0.1798	0.8202	0.6453	0.3547	0.8622	0.1378
	总体权重	0.0264	0.1203	0.2631	0.1446	0.3842	0.0614

2.3 地理探测器探测方法

地理探测器机理分析法,是运用于空间数据探索的方法之一,地理事物的空间分布具有明显差异,其分布受自然地理环境要素和人文社会经济因素共同影响。该方法核心思想基于假设:如果某个自变量对

某个因变量有重要影响,那么自变量和因变量的空间分布应该具有相似性^[23-24]。传统的土地利用变化驱动力分析主要采用统计分析方法、系统分析法和模型化方法^[25-26],这些传统分析模型对假设条件和数据要求较高,然而实际上地理要素难以完全满足传

统模型中的条件假设,导致分析效果不理想;地理探测器模型假设制约条件比较少,其最大特征在于几乎无假设条件,可以有效克服传统数学统计模型处理此类问题的局限性,目前该模型已被运用到土地利用、公共健康、区域经济、生态、环境、遥感以及计算机网络等领域^[27],在空间统计分析方面表现出一定优势。本研究将其用于探测自然地理环境条件与人文社会经济因素对耕地景观细碎化空间分异的影响,其模型如下:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2$$

式中: q 为影响因子对耕地细碎化程度的影响力(%); σ^2 为整个区域耕地景观细碎化指数的方差; σ_i^2 为次一级区域*i*耕地景观细碎化指数的方差; N 为整个区域的样本数; N_i 为次一级区域*i*的样本数; L 表示分区个数。 $q \in [0, 1]$,当 $q = 0$ 时,表示探测因子对耕地景观细碎化没有驱动作用; q 值越大,表明因子对耕地景观细碎化程度的影响越大,能更大程度地解释耕地景观细碎化的空间分异特征。

本文结合前人研究以及万年县实际情况,考虑到数据的可获取性,选取高程、坡度、坡向、距河流距离、乡镇人口密度、距农村居民点距离、距公路距离、距铁

路距离以及距乡镇行政中心距离9个探测因子。该探测方法要求自变量为类型量,因此基于因子特性、自然断点法对9个探测因子进行聚类分区。由于因变量与自变量的空间粒度不同,通过构建1 147个1 km×1 km格网将耕地细碎化指数与各探测因子类型量进行匹配。

3 结果与分析

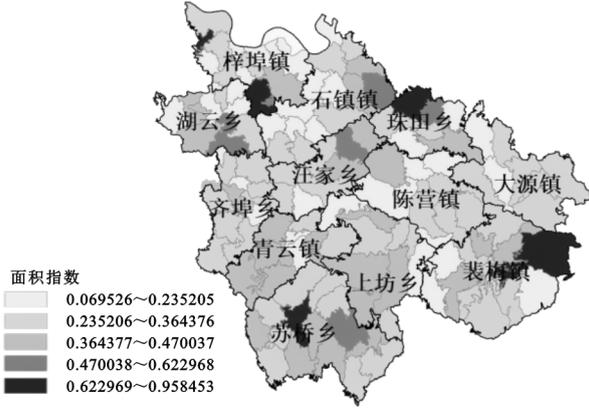
3.1 耕地细碎化基本特征

根据选取的测算指标分别对万年县2009年与2018年各行政村的耕地进行面积指数、形状指数、分布指数以及综合指数的测算,按照Jenks自然断点法将细碎化级别分为五级,级数高表明细碎化越严重。根据测算及分级结果输出万年县耕地细碎化各级行政村数量、耕地面积及占比情况表(表3)及万年县2009—2018年万年县耕地细碎化指数分布图(图1)。从耕地细碎化综合指数来看,9 a间万年县耕地细碎化程度明显加剧。2009年,细碎化级别为3级的耕地占比最高,涉及62个村庄,占全域所有耕地面积的46.54%,空间上表现出连片分布;2018年,细碎化4、5级耕地增长明显,分别比2009年增加了2 471.44 hm², 3 307.81 hm²。

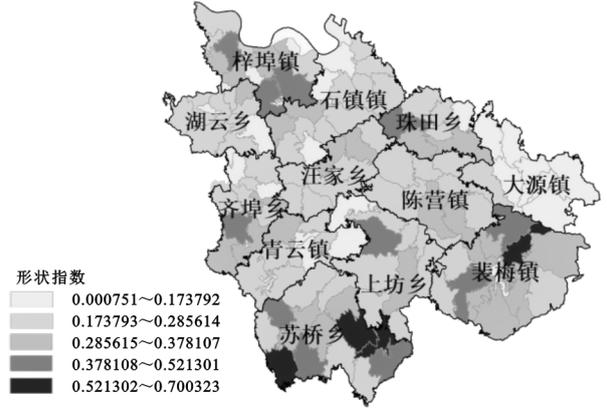
表3 2009年、2018年万年县各级耕地细碎化行政村数量、耕地面积及占比情况

细碎化 指标层级	细碎化 级别	行政村数量		耕地面积/hm ²		占全域耕地面积比例/%	
		2009年	2018年	2009年	2018年	2009年	2018年
面积指数	1级	41	15	9060.56	1025.58	25.69	3.32
	2级	55	47	14706.71	8870.90	41.69	28.73
	3级	29	34	8410.56	7762.72	23.84	25.14
	4级	6	30	1641.49	8993.77	4.65	29.13
	5级	5	11	1453.71	4219.70	4.12	13.67
形状指数	1级	29	19	4036.02	2618.68	11.44	8.48
	2级	63	38	16838.94	7937.11	47.74	25.71
	3级	29	26	8346.13	6038.33	23.66	19.56
	4级	11	34	4513.01	8241.32	12.79	26.69
	5级	4	20	1538.92	6037.23	4.36	19.56
分布指数	1级	15	18	3138.98	3944.70	8.90	12.78
	2级	21	51	5233.11	12787.95	14.84	41.42
	3级	39	48	11262.35	10840.04	31.93	35.11
	4级	40	18	11140.81	3281.16	31.58	10.63
	5级	21	2	4497.77	18.83	12.75	0.06
综合指数	1级	3	5	187.48	396.20	0.53	1.28
	2级	39	27	8366.77	4605.07	23.72	14.92
	3级	62	44	16414.43	9787.81	46.54	31.70
	4级	26	44	8532.24	11003.68	24.19	35.64
	5级	6	17	1772.10	5079.91	5.02	16.45

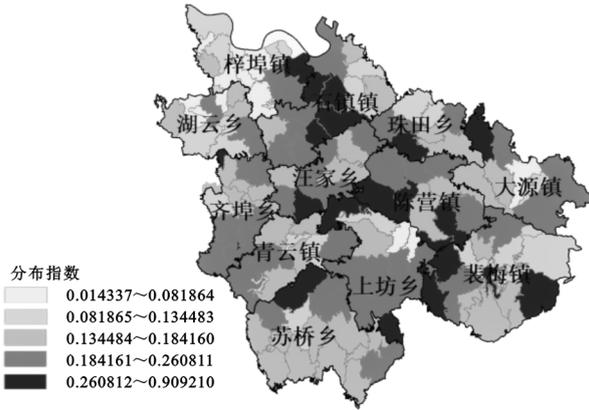
A 2009耕地景观细碎化面积指数



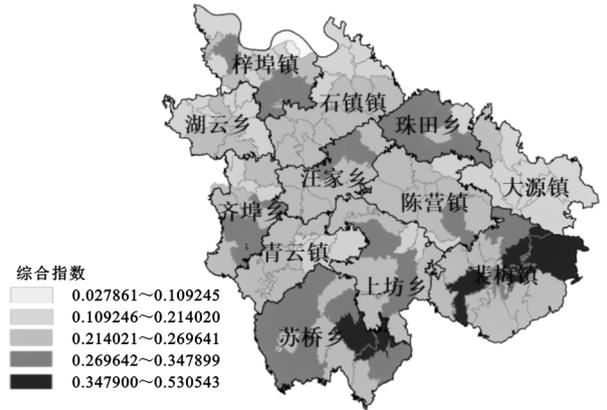
B 2009耕地景观细碎化形状指数



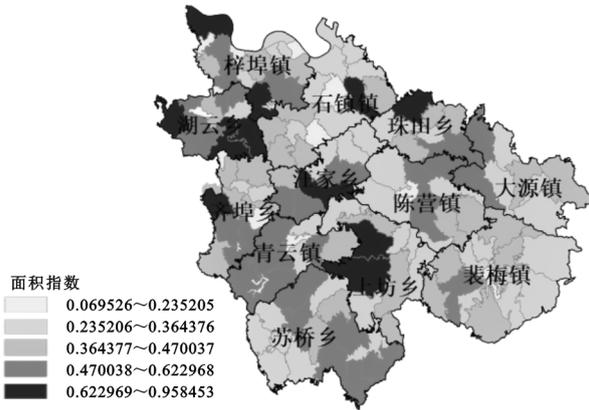
C 2009耕地景观细碎化分布指数



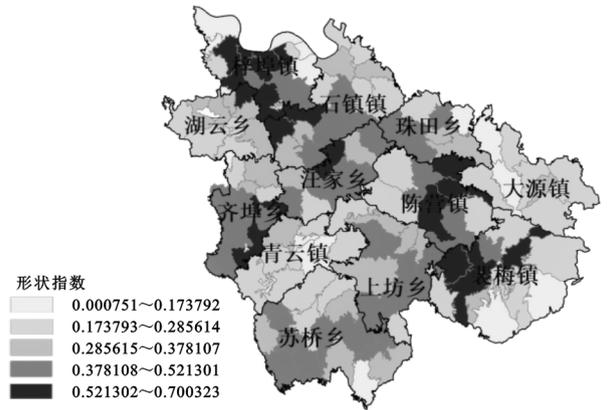
D 2009耕地景观细碎化综合指数



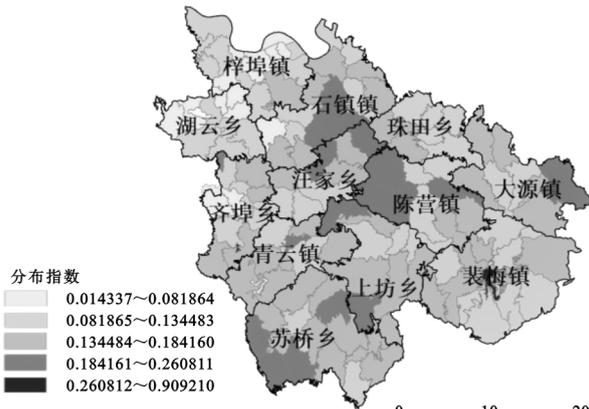
E 2018耕地景观细碎化面积指数



F 2018耕地景观细碎化形状指数



G 2018耕地景观细碎化分布指数



H 2018耕地景观细碎化综合指数

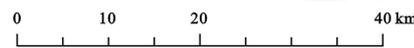
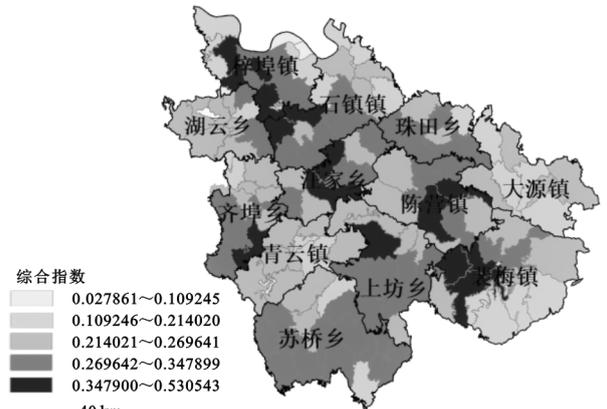


图 1 2009、2018 年万年县耕地细碎化指数分布

3.1.1 耕地面积指数空间分异 通过选取平均地块面积(MPS)、斑块密度(PD)两个景观格局指数来表征耕地在规模上的破碎程度,计算得出万年县 2009—2018 年各行政村耕地面积指数空间分布情况,该指数越大表明该村耕地在规模上越细碎。在面积指数层面,2009 年万年县耕地占比最高的为 2 级细碎化耕地,占全域耕地总面积的 41.69%,96 个村的耕地为 1~2 级细碎化,表明 2009 年万年县耕地平均地块面积较大,在规模上具有一定的连片性,人为占用程度较低。在空间分布上,万年县东南部以及石镇镇与珠田乡相接地带耕地平均规模相对较小,主要是因为这两处区域地势相对较高,且坡度较大,耕地受地形割裂呈现出耕地平均斑块面积小、斑块密度高的特征。2018 年细碎化 1~2 级耕地显著减少,3~5 级耕地占比均有所提高,其中细碎化 4 级耕地增长最为显著,由 2008 年 4.65% 增长至 29.13% 成为占比最高区间。面积细碎指数在空间分布上也呈现出一定的集聚特征,细碎化较为严重的耕地主要分布在西北部湖云乡、梓埠镇一带。

3.1.2 耕地形状指数空间分异 边界密度指数(ED)、面积加权形状指数(AWMSI)共同表征各行政村耕地形状的细碎程度。2009 年万年县耕地形状细碎化指数整体呈低水平,细碎化 2 级耕地占比最高,1~2 级耕地共占比 59.18%,仅有 4 个村庄细碎化级别达到了 5 级。这是由于 2009 年万年县还是以农业生产为主,田坎及灌溉设施使耕地边界较为平直,形状较为规则。2018 年由于万年县大力发展黑猪养殖、珍珠培育、大棚蔬菜以及劳动密集型工业,

使得劳动力大规模转移,其他产业占用耕地生产,一定程度上破坏了耕地斑块形状,使得耕地细碎化形状指数明显上升,1~3 级耕地面积均减少,4 级耕地成为占比最高区间,4,5 级耕地占比分别增加 13.9%,15.2%,细碎化 5 级耕地主要分布在梓埠镇、陈营镇以及裴梅镇。

3.1.3 耕地分布指数空间分异 平均最邻近距离(MNN)及破碎化指数(FS)综合测算得出万年县耕地细碎化分布指数,通过两个年份对比,分布指数演变趋势明显不同于综合指数以及形状、面积指数。2009 年分布指数主要集中在 3~4 级,占比 63.51%,而 2018 年 2 级耕地占比增长显著,增长 26.58%,4~5 级占比明显减少。从熵值法确定的指标内部权重来看,平均最邻近距离权重较大,2009 年耕地分布指数较高表明当年耕地分布比较离散,而 2018 年耕地分布趋于集中,这表明城镇化进程的推进影响了耕地的分布情况,其他产业对耕地的占用使得耕地面积缩减,机械化水平的提升也在一定程度上推动了耕地的集聚。

3.2 耕地细碎化驱动因子贡献力分析

利用地理探测器测算方法,选取高程(X_1)、坡度(X_2)、坡向(X_3)、距河流距离(X_4)、乡镇人口密度(X_5)、距农村居民点距离(X_6)、距公路距离(X_7)、距铁路距离(X_8)以及距乡镇行政中心距离(X_9) 9 个探测因子,计算 2018 年各探测因子对万年县耕地细碎化的影响能力, q 值越大意味着该探测因子对耕地细碎化的贡献力越大。从综合指标探测结果来看,耕地细碎化主要驱动因素依次是高程、乡镇人口密度、距农村居民点距离以及坡度(表 4)。

表 4 地理探测器因子探测结果

驱动因子	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
q 值	0.0637	0.0373	0.0099	0.0165	0.0472	0.0454	0.0217	0.0216	0.0177
p -value	0.000	0.0233	0.0468	0.0472	0.000	0.000	0.0155	0.000	0.0159

地理探测器交互探测可识别不同风险因子 X_i 之间的交互作用,即评估因子 X_1 和 X_2 共同作用时是否会增加或减弱对因变量的解释力,或这些因子对因变量的影响是否为相互独立的,两个因子之间的关系可分为非线性减弱、单因子非线性减弱、双因子增强、独立以及非线性增强 5 类^[27]。万年县耕地细碎化驱动因子交互探测结果见表 5。结果表明各探测因子对耕地细碎化的影响不是独立的,任何两种因子交互作用对耕地细碎化的影响都大于单一因子贡献力,因素之间呈相互增强或非线性增强效应。

3.3 耕地细碎化乡镇尺度空间分异驱动因子分析

因各县镇资源禀赋和区位条件具有明显差异,根据万年县城市总体规划,依据不同乡镇的主导产业以

及乡镇发展定位,将万年县 12 个乡镇分为综合发展型、工业贸易型、生态旅游型以及农业生产型 4 类。因乡镇人口密度在评价单元(乡镇)中无变异,且次级样本区(行政村)人口密度数据难以获取,因此将乡镇人口密度因子剔除,利用高程(T_1)、坡度(T_2)、坡向(T_3)、距河流距离(T_4)、距农村居民点距离(T_5)、距公路距离(T_6)、距铁路距离(T_7)以及距乡镇行政中心距离(T_8) 8 个探测因子对各乡镇耕地细碎化主要驱动因素进行探测。各乡镇耕地细碎化指数见图 2,驱动力探测结果见图 3,为更加直观体现各探测因子的驱动力,按照地理探测器求出的 q 值将各因子贡献力程度进行排序赋予等级,其中 8 级表示该因子影响力最大,1 级因子影响力最小。

表 5 地理探测器交互探测结果

驱动因子	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_1	0.0637								
X_2	0.0868	0.0373							
X_3	0.0851	0.0728	0.0099						
X_4	0.0917	0.0764	0.0703	0.0165					
X_5	0.1703	0.1019	0.0855	0.1022	0.0472				
X_6	0.0838	0.0664	0.0737	0.0647	0.1029	0.0454			
X_7	0.0854	0.0657	0.0548	0.0660	0.0864	0.0585	0.0217		
X_8	0.1018	0.0780	0.0550	0.1072	0.1209	0.0785	0.0604	0.0216	
X_9	0.0868	0.0784	0.0479	0.0440	0.1087	0.0730	0.0466	0.1027	0.0177

注: X_1 为高程; X_2 为坡度; X_3 为坡向; X_4 为距河流距离; X_5 为乡镇人口密度; X_6 为距农村居民点距离; X_7 为距公路距离; X_8 为距铁路距离; X_9 为距乡镇行政中心距离。

作为万年县中心城区的陈营镇与上坊乡,其耕地都处于高度细碎化状态。陈营镇的细碎化综合指数居全县之首,其中分布指数最高。陈营镇耕地细碎化主要影响因子为距河流距离、高程、距乡镇中心距离以及距公路距离,自然地理条件以及社会经济条件对该镇都表现出了较强的影响力。陈营镇三面环山,且珠溪河从镇内穿过,自然地理条件在一定程度上使得耕地表现出细碎化;社会经济因素层面,陈营镇是万年县中心城区,为综合发展型城镇,是县域政治、经济、文化中心,路网密集,城镇化水平高,高密度、多类型的城市要素侵入使得耕地面积减少,原本大面积连片的耕地被当地密集的交通路网割破。上坊乡作为另一中心城区,也表现出较高的综合细碎化指数,距乡镇中心距离、距公路距离的贡献力明显,城镇中心人口高度集聚,城郊工业园区不断扩张都直接导致耕地细碎化程度加剧。

石镇镇为万年县凤巢工业园区分布区,是典型的工业贸易型乡镇。探测因子主要贡献程度依次表现为距乡镇行政中心距离、距铁路距离、距公路距离、距农村居民点距离等,细碎化综合指数仅次于陈营镇。这与当地主要发展新能源、精细化工、汽配等工业有关,工业园区布局受交通干线影响,耕地被用于工业用地和交通线路侵占、分割,对耕地形状指数影响明显。

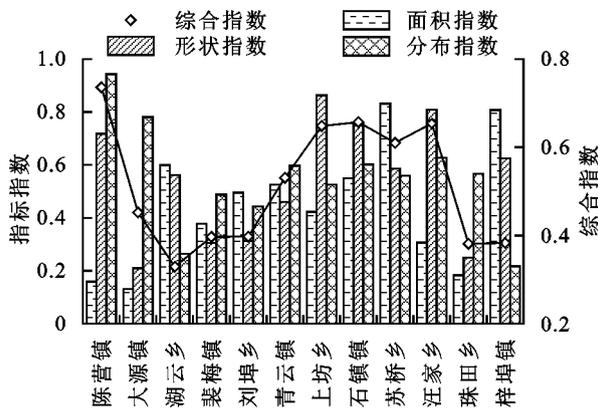


图 2 万年县各乡镇耕地细碎化指数

生态旅游型乡镇大源镇与裴梅镇分别以“稻源特色”和“贡米特色”建设特色旅游型小镇,依托境内神农源风景名胜区和珠溪河国家湿地公园大力发展旅游业。二者都位于万年县东南部,地势高、坡度大,整治细碎耕地成本高;同时,县镇中心以及城郊的观光、住宿基础设施的建设使得距乡镇行政中心的距离成为影响耕地细碎化的主要因素。由于两县均位于生态保护区,生态保护红线的限制使得人为扰动程度低于中心城镇,耕地景观细碎化程度低。

农业生产型乡镇虽都以农业作为当地主导产业,但由于农产品类型不同,耕地细碎化程度出现分异。苏桥乡主要以种植葡萄、油茶等农作物为主,汪家乡以培育无籽西瓜、花卉苗木、蔬菜种植和生猪养殖为主,两个乡镇虽为农业生产型乡镇,细碎化指数却都在 0.6 以上,这是由于畜禽养殖、工厂化作物栽培以及水产养殖造成设施农用地大面积侵占耕地,造成耕地细碎化加剧,且劳动密集型农业吸引了大量劳动力,耕地不断被边缘化,导致细碎化程度加剧。探测因子中,自然因子对苏桥乡、汪家乡耕地细碎化影响显著,万年河流经苏桥乡,且境内分布着许多水库,河网密布制约着耕地景观连片性;汪家乡整体地势为东南高西北低,高程差距较大,直接影响着耕地分布。

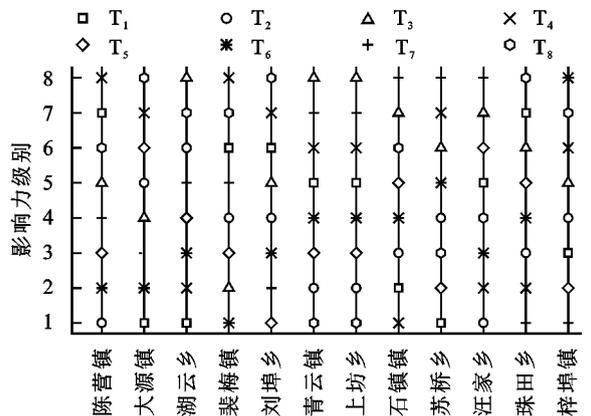


图 3 各乡镇耕地细碎化驱动因子影响力等级

其他各乡镇则以传统粮食作物生产为主,耕地细碎化程度相对较低。齐埠乡、湖云乡和梓埠镇位于万年县西北部,地处鄱阳湖平原,地势优势以及传统农业生产为主的产业构成使得三各乡镇整体耕地细碎化指数处于较低水平。3个乡镇位于玉津河与乐安河相接处,河网密布,因而距河流距离对3个乡镇影响显著。青云镇虽也为传统农业生产型乡镇,但作为万年县老县城,拥有一定的交通优势,且境内有万年河途经,因此,距公路距离与距河流距离对当地耕地细碎化影响程度较高。

地域性的自然环境、经济社会发展程度导致各乡镇的驱动因素差异明显。综合来看,经济发达的综合型中心城镇耕地细碎化程度高,受距县镇行政中心距离、交通要素影响显著。工业贸易型乡镇对物流成本要求较高,因而距公路距离对此类乡镇的耕地细碎化表现出明显的决定力。生态旅游型乡镇由于自然地理条件与发展服务业的产业导向,耕地形态与高程、坡度等自然条件,以及乡镇中心旅游业基础设施的建造联系密切。农业生产型乡镇耕地细碎化程度与其生产的农产品种类有一定联系,对于畜禽养殖、工厂化作物栽培以及水产养殖等对人工生产条件需求较高的地区,耕地细碎化指数较高;主要生产粮食作物的乡镇社会发展程度较为落后,综合细碎化指数水平低,社会经济因素影响小,主要影响因子则表现为距河流距离、高程等自然地理因素。

4 结论

(1) 万年县 2009—2018 年耕地细碎化程度加剧明显,2~3 级细碎化耕地面积减少,4~5 级耕地均占比提高。耕地细碎化面积指数、形状指数所指征的细碎化程度均明显提高,分布指数呈现下降趋势,说明在人为干预下,耕地由原本分散分布逐渐集中整合,规模化经营促进了是耕地分布指数下降。

(2) 地理探测器因子探测结果表明万年县耕地细碎化主要驱动因素为高程、乡镇人口密度、距农村居民点距离以及坡度;各探测因子对耕地细碎化的影响不是独立的,任何两种因子交互作用对耕地细碎化的影响都大于单一因子贡献力,因子之间呈相互增强或非线性增强效应。

(3) 自然地理条件与区域发展定位是影响耕地细碎化空间分异的重要因素。各乡镇的耕地细碎化驱动因素差异明显。综合型中心城镇耕地细碎化程度高,受距县镇行政中心距离、交通要素影响显著。工业贸易型乡镇路网密集,距公路距离对耕地细碎化表现出明显的贡献力。生态旅游型乡镇由于自然地

理条件与发展服务业的产业导向,耕地形态与高程、坡度等自然条件,以及乡镇中心旅游业基础设施的建造联系密切。农业生产型乡镇耕地细碎化程度与其生产的农产品种类有一定联系,对人工生产条件需求较高的地区,耕地细碎化指数较高;主要生产粮食作物的乡镇社会发展程度较为落后,细碎化指数水平低,自然因素对耕地景观影响明显。

参考文献:

- [1] 孙欣,毕如田,刘慧芳,等.贫困山区耕地细碎化对农户生计策略的影响:以左权县漳河流域 87 个村为例[J].中国土地科学,2018,32(2):40-47.
- [2] 刘婧鸣,侯现慧,王占岐,等.耕地细碎化与耕地集约利用水平空间相关特征研究:以湖北省为例[J].中国土地科学,2017,31(12):51-59,52,97.
- [3] 孙瑞,金晓斌,项晓敏,等.土地整治对耕地细碎化影响评价指标适用性分析[J].农业工程学报,2018,34(13):279-287.
- [4] 孙雁,刘友兆.基于细碎化的土地资源可持续利用评价:以江西分宜县为例[J].自然资源学报,2010,25(5):802-810.
- [5] 陈帷胜,冯秀丽,马仁锋,等.耕地破碎度评价方法与实证研究:以浙江省宁波市为例[J].中国土地科学,2016,30(5):80-87.
- [6] 陈锦坪,杨伟州,魏明欢,等.环渤海地区县域耕地景观细碎化时空变异分析:以昌黎县为例[J].中国农业资源与区划,2017,38(8):85-92.
- [7] 郭硕,杨伟州,魏明欢,等.基于地理加权回归的青龙满族自治县耕地细碎化及影响因子分析[J].水土保持研究,2017,24(3):264-269.
- [8] 吕振宇.耕地细碎化的评价、效应及整治研究[D].北京:中国农业大学,2015.
- [9] 李鑫,欧名豪,马贤磊.基于景观指数的细碎化对耕地利用效率影响研究:以扬州市里下河区域为例[J].自然资源学报,2011,26(10):1758-1767.
- [10] Di Falco S, Penov I, Aleksiev A, et al. Agrobiodiversity, farm profits and land fragmentation: Evidence from Bulgaria [J]. Land Use Policy, 2010,27(3):763-771.
- [11] 谭淑豪,曲福田,尼克·哈瑞柯.土地细碎化的成因及其影响因素分析[J].中国农村观察,2003(6):24-30.
- [12] 王亚辉,李秀彬,辛良杰.耕地地块细碎程度及其对山区农业生产成本的影响[J].自然资源学报,2019,34(12):2658-2672.
- [13] 张海鑫,杨钢桥.耕地细碎化及其对粮食生产技术效率的影响:基于超越对数随机前沿生产函数与农户微观数据[J].资源科学,2012,34(5):903-910.
- [14] 陈红宇,朱道林,鄧文聚,等.嘉兴市耕地细碎化和空间集聚格局分析[J].农业工程学报,2012,28(4):235-242.