

黑土区拜泉县耕地破碎化时空变化分析

盖兆雪, 陈旭菲, 杜国明

(东北农业大学 公共管理与法学院, 哈尔滨 150030)

摘要:为识别黑土区拜泉县耕地破碎化类型和评估耕地破碎化程度,基于 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年 4 期耕地利用数据,利用移动窗口技术,在像元水平上定量反映耕地破碎化过程,揭示了耕地破碎化的基本特征和时空格局,并在县级尺度和村级尺度上分析了耕地破碎化的变化规律和特征。结果表明:(1) 2000—2015 年拜泉县耕地破碎化程度整体呈现“缓慢—急剧—缓慢”的趋势,2005—2010 年是耕地破碎化变化的快速时期;(2) 拜泉县耕地破碎化空间上呈现“孔洞耕地为主导,核心耕地分布集中”的特点,2010 年后斑块耕地一直处于增加的趋势,耕地破碎化问题日益突出;(3) 乡镇级尺度上,2000—2005 年西部和东部地区耕地破碎化程度较大,2010—2015 年除中部地区外,其余地区斑块耕地比例均稳定增加,核心耕地比例减少,耕地破碎化程度呈上升趋势;(4) 村级尺度上,拜泉县各个村的耕地破碎化程度有较大差异;(5) 拜泉县耕地破碎化原因主要受自然、利用、设施和管理切割力的影响。综上,自然—人文双重因子作用导致研究区耕地破碎化的时空差异。

关键词:耕地破碎化; 移动窗口技术; 时空格局

中图分类号:F323.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)02-0355-07

Spatiotemporal Pattern of Cultivated Land Fragmentation in Baiquan County of Black Soil Region

GAI Zhaoxue, CHEN Xufei, DU Guoming

(School of Public Administration and Law, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to identify the types of cultivated land fragmentation and evaluate the degree of cultivated land fragmentation in Baiquan County of black soil region, based on the four periods of cultivated land use data in 2000, 2005, 2010 and 2015, this study quantitatively reflected the process of cultivated land fragmentation at pixel level through using moving window technology, revealed the basic features and spatiotemporal pattern of cultivated land fragmentation, and analyzed the change rules and characteristics of cultivated land fragmentation on the county and village scales. The results showed that: (1) the degree of cultivated land fragmentation in Baiquan County presented a ‘slowly sharply slowly’ trend in 2000—2015, and this term was the rapid change period of cultivated land fragmentation; (2) in terms of spatial pattern, the cultivated land fragmentation in Baiquan County illustrated the characteristics of ‘hole cultivated land dominated and core cultivated land widely distributed’; since the rapid development of social and economy after 2010, the patch cultivated land had been increasing, and the problem of cultivated land fragmentation had become increasingly prominent; (3) at the township level, the degree of cultivated land fragmentation increased in the east and west regions in the period 2000—2005, and except the central region, the proportion of patch cultivated land increased steadily in the period 2010—2015, while the proportion of core cultivated land decreased and the degree of cultivated land fragmentation intensified; (4) at the village level, the degree of cultivated land fragmentation in each village in Baiquan County had large difference; (5) the causes of farmland fragmentation were mainly affected by the cutting forces of nature, utilization, facilities and management in Baiquan County. All in all, the combined effects of natural and cultural factors lead to the spatial and

收稿日期:2021-03-17

修回日期:2021-03-31

资助项目:黑龙江省自然科学基金(LH2019D012);国家自然科学基金(41461040);东农学者计划项目(19QC37)

第一作者:盖兆雪(1990—),女,黑龙江双城人,博士,讲师,主要从事土地/耕地资源优化配置研究。E-mail:gaizhaoxue@163.com

通信作者:杜国明(1978—),男,内蒙古宁城县人,博士,教授,主要从事土地资源优化配置与农村发展研究。E-mail:nmgdgm@126.com

temporal differences of cultivated land fragmentation in the study area.

Keywords:cultivated land fragmentation; mobile window technology; spatiotemporal pattern

粮食安全是国家安全的重要基础,是治国理政的头等大事^[1]。确保国家粮食安全,把中国人的饭碗牢牢端在自己手中,根本在于耕地^[2]。目前,耕地破碎化已成为中国农业发展中的一个突出问题^[3-4]。耕地破碎化不仅造成农产品生产成本极大浪费,降低粮食产出效益^[5-6],而且导致机械化水平难提高、种植业分区轮作制度难建立^[7],对国家粮食安全和农业可持续发展造成巨大威胁,这些问题受到国家相关部门的高度重视。习近平总书记强调:“人多地少是我国的基本国情,也决定了我们必须像保护大熊猫一样保护耕地,绝不能让中国饭碗有闪失。”2021 年中央一号文件提出“加快推进农业现代化,健全现代农业全产业链标准体系,推动新型农业经营主体按标生产。”然而,由于社会经济快速发展和生态文明建设的推进,耕地逐渐被建筑用地和基础设施用地等土地类型占用,导致连片耕地被切割,造成耕地地块大小不一、形状各异且空间不相连^[8]。耕地破碎化已难以适应农业集约化、现代化和规模化的发展需求^[9]。因此,在人多地少的基本国情下,加强耕地破碎化研究,对保障国家粮食安全和落实“藏粮于地、藏粮于技”战略具有重要的理论和实践意义。

目前关于耕地破碎化测度的研究主要体现在微观角度、区域中观角度、区域宏观角度 3 个方面。微观角度,基于农户视角侧重于以农户经营利用耕地状况指标表征农户的耕地破碎化程度^[10-11],如葛玉娟等^[12]利用无人机高分辨率影像和农户调查数据,在对比不同通勤距离情景耕地细碎化测度模型准确性的基础上,计算农户耕地细碎化指数;区域中观角度,从景观生态学视角出发利用遥感影像数据以景观指数为切入点来衡量耕地破碎度^[13-15],如陈帷胜等^[16]选取平均地块面积、地块密度、边界密度指数、面积加权形状指数等对耕地破碎度进行评价;区域宏观角

度,从自然—人为视角出发,基于耕地资源禀赋、空间属性和利用属性等特征评估耕地破碎化程度,如刘晶等^[17]从资源规模性、空间集聚性和利用便利性三方面构建评价指标体系对江苏省耕地破碎化进行评价。研究方法多采用综合评价法和景观指数法。然而,研究视角的不同会导致耕地破碎化测度结果存在差异。纵观来看,耕地破碎化不仅是一个时间表现,也是一个空间过程,但以往研究多以耕地破碎化测度分析为主,分析不同时间段耕地破碎化程度,而对某一区域耕地破碎化的空间异质性分析较少,缺少耕地破碎化的空间信息。因此,在直观空间位置的动态研究方面亟待加强。鉴于此,本研究基于移动窗口技术,构建耕地破碎化识别模型,划分耕地破碎化类型,在像元水平上定量反映耕地破碎化过程,揭示耕地破碎化的类型、面积和空间分布特征,为空间上定量评价耕地破碎化过程奠定基础,为耕地制度完善和农村土地制度改革提供理论参考。

1 研究区概况

以黑土区典型县——拜泉县为研究区,拜泉县位于东经 125°30′—126°31′,北纬 47°20′—47°55′,属中温带大陆性季风气候特征。土地面积为 3 599.15 km²,下辖 7 镇 9 乡 186 个村,总人口 59.6 万人,其中农村人口 50.8 万人,占总人口的 85.23%。由 2015 年土地利用变更调查数据可知,拜泉县耕地面积为 250 200 hm²,占土地总面积的 69.52%(图 1)。拜泉县地处小兴安岭余脉与松嫩平原的过渡地带,漫川漫岗区、浅山区、低丘陵所占比例较大,地势自东北向西南倾斜。拜泉县是国家重要粮食主产区,主要从事传统农业生产,然而,随着长期不合理的耕种方式以及区域基础设施建设、建设用地占用、水土流失、人口流动等,导致耕地出现不同程度的破碎化,不利于农业生产发展。

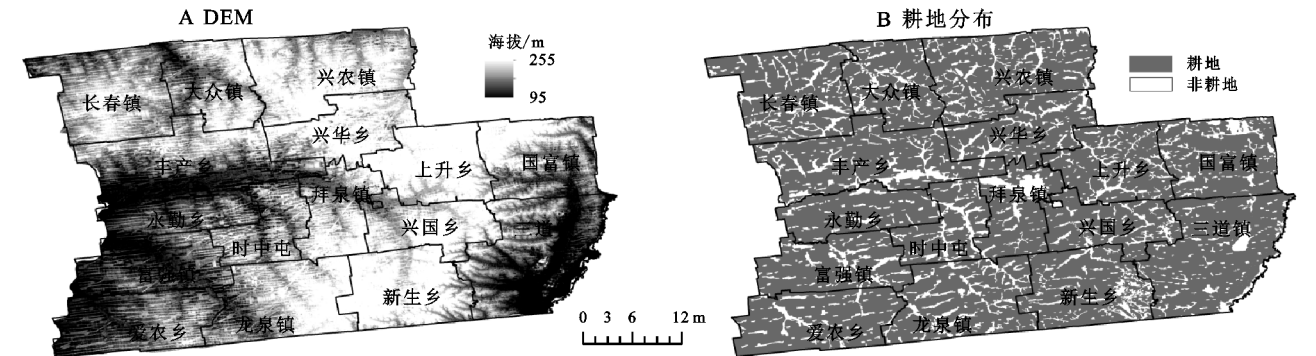


图 1 拜泉县高程和耕地分布

2 研究方法

2.1 数据来源及预处理

本研究数据来源于 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 4 期 Landsat TM/OLI 遥感影像数据。选取 6—9 月云覆盖率小于 10% 且分辨率为 30 m 的遥感影像。借助 ENVI 软件平台进行图像校正、镶嵌、增强和裁剪等预处理,并采用监督分类、人工目视解译和野外调查等手段,基于研究区 2012 年土地利用现状矢量数据和第三次土地调查县级数据库,对验证提取的耕地结果进行检验。最终确定研究区土地利用类型,将拜泉县土地利用类型分为:耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 个一级类型。同时对分类结果进行精度检验(Kappa 系数均超过 0.89),解译结果满足研究需要。本文采用一级分类(耕地)进行破碎化分析,把耕地分为旱地、水田和水浇地。

2.2 移动窗口技术方法

Riitters 等^[18]基于移动窗口技术(窗口为奇数),以土地利用数据类型聚合后的森林像元与邻近森林像元边界的数量特征定量分析森林破碎化空间格局。本研究也借助此种思想,对拜泉县的耕地破碎化进行评价。具体为,利用 4 期处理后的土地利用数据进行二值化的重分类(定义耕地=1,非耕地=0);为确保结果的可靠性,经调试确定移动窗口为 9×9,并使其中心定位于一耕地像元(若中心像元为非耕地像元,则不进行后续分析), P_1 为耕地面积密度指数,是指

在既定大小的窗口中耕地像元(N_1)与像元总数(N_t)的比例; P_{11} 为总体耕地连接度指数,是指既定大小的窗口中,主方向上相邻像元均为耕地像元的像元对数(D_{11})占总像元对数(D_1)(像元中至少由一个耕地像元)的比例^[19]。 P_{11} 可以判定一个耕地像元的相邻像元也是耕地像元的可能性,详细的计算公式如下:

$$P_1 = \frac{N_1}{N_t} \tag{1}$$

$$P_{11} = \frac{D_{11}}{D_1} \tag{2}$$

图 2 表示假想的 3×3 的窗口中,灰色方格代表耕地,白色方格代表非耕地,像元总数为 9。 $P_1 = 6/9$; $P_{11} = 5/11$ 。

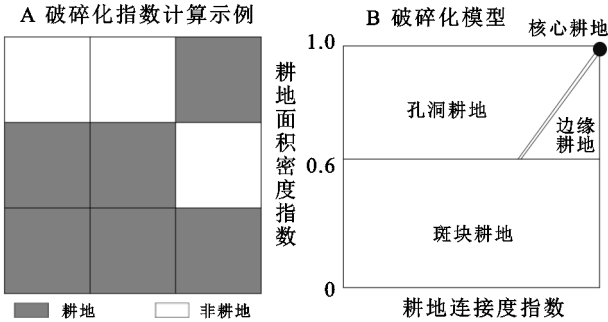


图 2 耕地破碎化模型原理

Stauffer 等提出的渗透理论定义了 P_1 的临界值为 0.6^[20]。借助 P_1 和 P_{11} 的测度值,结合渗透理论,将耕地像元分为核心耕地、孔洞耕地、边缘耕地和斑块耕地 4 种类型(表 1)。

表 1 耕地破碎化类型特征解释

类型特征	表达式	意义
核心耕地	$P_1 = 1$	出现在“边缘效应”区域之外,因此不会因碎片而退化
孔洞耕地	$P_1 > 0.6$ 且 $P_1 - P_{11} > 0$	发生在“边缘效应”区域内,即无斑块区域内一小块空地的边缘
边缘耕地	$P_1 > 0.6$ 且 $P_1 - P_{11} < 0$	发生在非斑块区域的外部边缘的“边缘效应”区域内
斑块耕地	$P_1 \leq 0.6$	由于“边缘效应”而完全退化的耕地小碎片

3 结果与分析

3.1 耕地破碎化时空演变分析

基于移动窗口技术方法生成 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年 4 个时期的拜泉县耕地破碎化分布图,确定耕地破碎化类型特征分别为:核心耕地、孔洞耕地、边缘耕地和斑块耕地(图 3)。从空间尺度来看,2000—2015 年拜泉县耕地破碎化呈现“孔洞耕地为主导,核心耕地分布集中”的特点。孔洞耕地广泛分布在整个县域上,核心耕地主要集中分布在海拔相对平缓的西南部,边缘耕地主要分布在其他土地利用类型周围或县域边界地带,斑块耕地分布比较零散。

随着时间的变化,2000—2015 年拜泉县耕地破碎化

程度整体呈现“缓慢—急剧—缓慢”的趋势,其中孔洞耕地比例最高(>60%),斑块耕地比例最低(<0.2%),核心耕地和边缘耕地比例介于两者之间。2000—2015 年除核心耕地比例下降外,孔洞耕地、斑块耕地、边缘耕地比例均大致呈上升趋势,说明研究区耕地破碎化程度有增加趋势。其中核心耕地比例下降幅度最大,由 2000 年的 26.93% 减少到 2015 年的 22.86%,减少了 4.07%;而孔洞耕地比例增加幅度最大,由 2000 年的 60.25% 增加至 2015 年的 64.08%,增加了 3.83%。2005—2010 年是耕地破碎化变化的快速时期,该阶段核心耕地比例快速减少,孔洞耕地和斑块耕地比例快速增加,主要由于社会经济的快速发展,耕地非农化现象明显,导致大片耕地被切割。2010—2015 年孔洞耕地比例下降

了 0.07%，而核心耕地、斑块耕地比例分别增加了 0.05%，0.02%，可能是由于土地整治工程的实施，在一定程度上将部分破碎化的耕地集中连片，但随着水土流失的加剧以及农田防护措施的实施，导致部分耕

地再一次被切割。总体来看，虽然拜泉县斑块耕地占比较低，耕地破碎化不是很严重，但是自 2010 年社会经济快速发展以来，斑块耕地一直处于增加的趋势，耕地破碎化问题日益突出(表 2)。

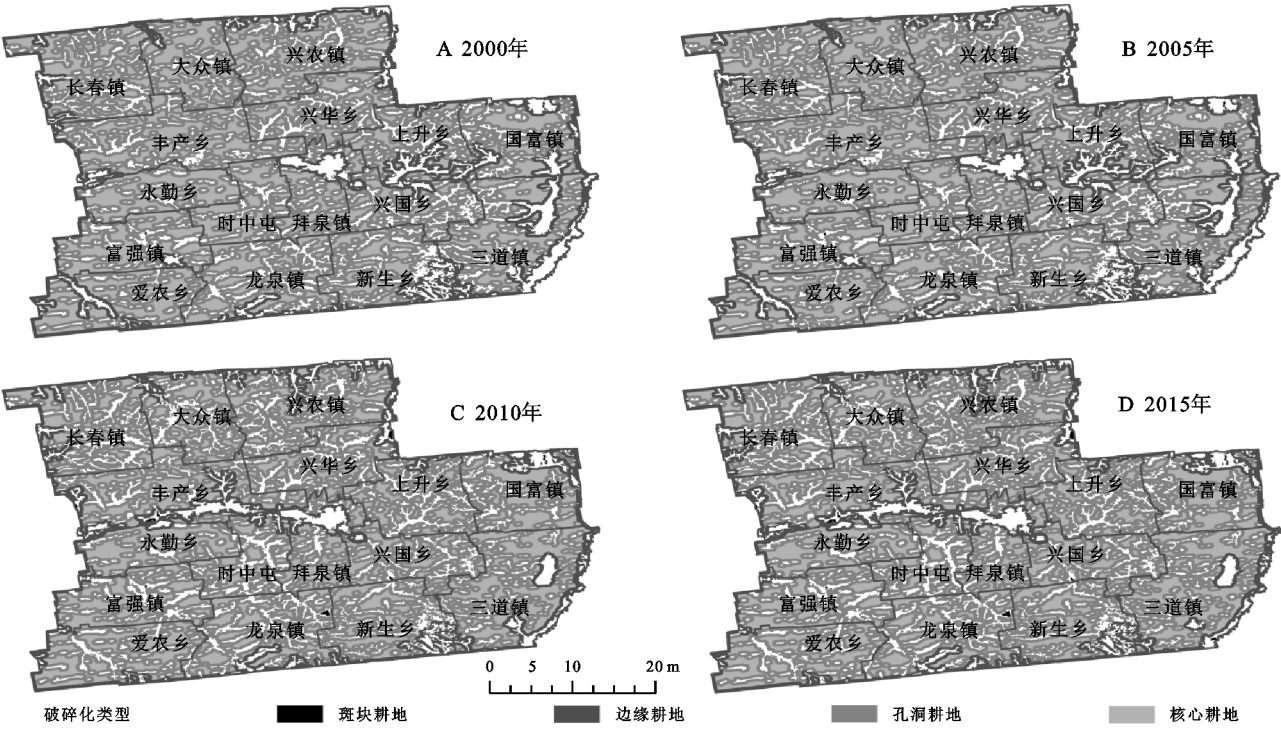


图 3 2000—2015 年拜泉县耕地破碎化分布

表 2 2000—2015 年拜泉县耕地破碎化类型面积比例

年份	%			
	核心耕地	孔洞耕地	边缘耕地	斑块耕地
2000	26.93	60.25	12.77	0.05
2005	26.74	60.81	12.40	0.05
2010	22.81	64.15	12.88	0.16
2015	22.86	64.08	12.88	0.18

3.2 乡镇级区域尺度破碎化时空特征分析

从乡镇尺度进一步分析拜泉县耕地破碎化程度。由于地形地貌是导致耕地破碎化的客观原因，因此，依据拜泉县 DEM 分布图，以高海拔为分界线将拜泉县各乡镇划分为 3 个区域：西部(长春镇、大众乡、丰产乡、永勤乡、时中乡、富强镇、爱农乡)、中部(兴农镇、兴华乡、上升乡、拜泉镇、兴国乡、龙泉镇和新生乡)、东部(富强镇和三道镇)。

2000—2005 年西部地区斑块耕地比例增加，边缘耕地、孔洞耕地和核心耕地比例减少，其中斑块耕地比例增加幅度最大，耕地破碎化程度呈上升趋势；中部地区斑块耕地和边缘耕地比例增加，其中斑块耕地比例最大，孔洞耕地和核心耕地比例均有减少，耕地破碎化程度也逐渐增加；东部地区斑块耕地和孔洞耕地比例明显增加，边缘耕地和核心耕地比例减少，耕地破碎化程度进一步加剧。2010—2015 年西部地

区斑块耕地和孔洞耕地比例呈增加趋势，边缘耕地和核心耕地比例减少；中部地区除核心耕地外，其他耕地类型比例均有所下降；东部地区除核心耕地外，其他类型耕地比例均增加。整体来看，2000—2005 年西部和东部耕地破碎化程度较大；2010—2015 年除中部地区，其余地区斑块耕地比例均稳定增加，核心耕地的面积比例减少，耕地破碎化程度不断加剧，尤其是水土流失严重的西部地区耕地破碎化程度增加明显(图 4)。

3.3 村级尺度耕地破碎化时空特征分析

本文在村级尺度上对拜泉县 186 个村的耕地破碎化程度进行分析。由于数据量大且比较分散，村与村之间耕地破碎化程度不尽相同，难以确定破碎化程度最低的村，但可以看出各村耕地破碎化程度存在较大差异，因此，在科学性、层次性及可区分性原则的基础上定义合适的断点，结合 ArcGIS 软件对其进行分级，将 2015 年各种耕地破碎化类型分为 3 级，见图 5。

斑块耕地比例 3 级区为：Ⅰ级区(0~15.0)、Ⅱ级区(15.0~40.0)、Ⅲ级区(40.0~65.0)。由图 5A 可以看出，众义村、东风村、有富村、长荣村、六合村、合理村、兴隆村、清洁村、勤劳村、龙泉村、文明村、永乐村、新乐村、保胜村、爱众村、兴国村、合心村、利华村 18 个村的斑块耕地处于Ⅲ级区，说明耕地破碎化程度比

较严重。其中合心村耕地破碎化程度较高,其次为龙泉村,原因可能一方面是受到耕地非农化的影响,另一方面是由当地的水土流失和地形地貌特征综合作用决定。27个村的斑块耕地处于Ⅱ级区,耕地破碎化程度相对较大。其他大部分村斑块耕地比例处于Ⅰ级区。孔洞耕地比例3级区为:Ⅰ级区(0~25.0)、Ⅱ级区(25.0~50.0)、Ⅲ级区(50.0~75.0)。由图5B可以看出,研究区37%以上村孔洞耕地比例处于Ⅲ级区,耕地密度大于60%且耕地密度大于耕地连接度,主要分布在西南部,40%以上村孔洞耕地比例处于Ⅱ

级区。可见,斑块耕地比例有可能增加,耕地破碎化程度将会加剧。边缘耕地比例3级区为:Ⅰ级区(0~40.0)、Ⅱ级区(40.0~70.0)、Ⅲ级区(70.0~100.0)。由图5C可以看出,边缘耕地比例处于Ⅲ级区仅有一个为拜泉县城区,Ⅱ级区主要分布拜泉县边界。核心耕地比例3级区为:Ⅰ级区(0~45.0)、Ⅱ级区(45.0~65.0)、Ⅲ级区(65.0~85.0)。由图5D可以看出,研究区25%左右的村核心耕地比例处于Ⅲ级区,耕地破碎化程度最低,主要是由于自然条件较好且水土流失较轻。50%以上的村核心耕地比例处于Ⅱ级区。

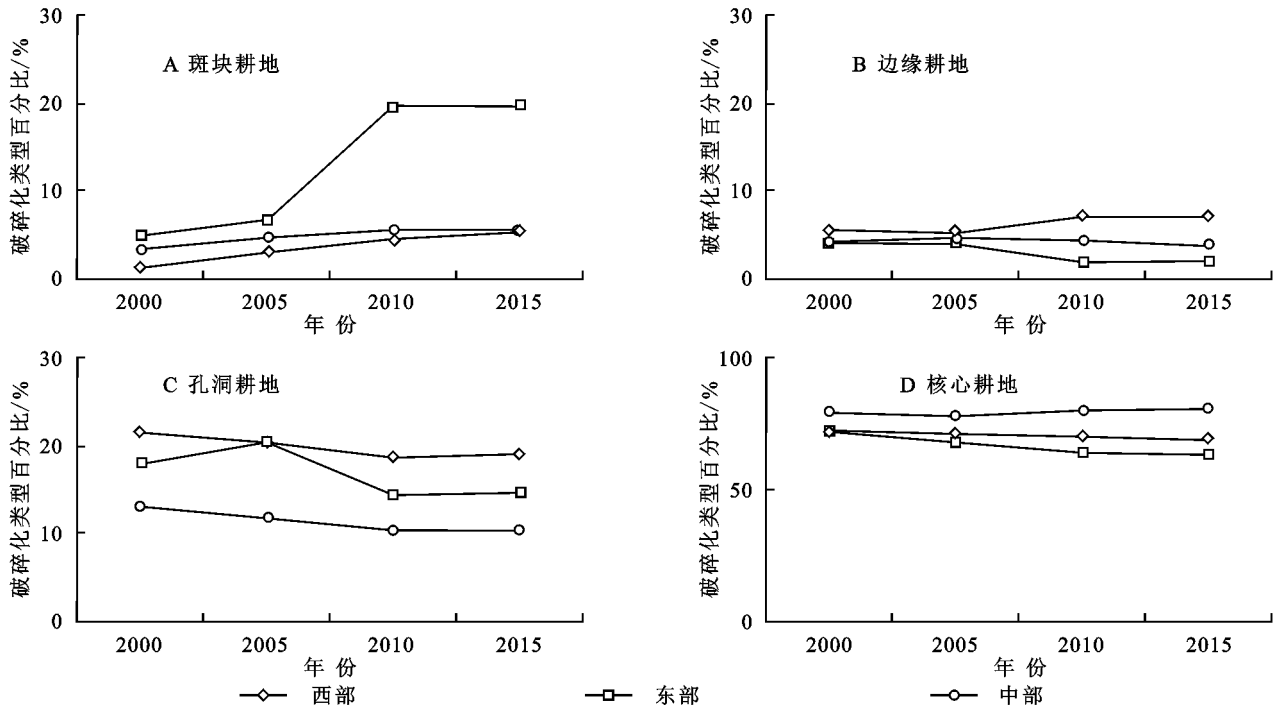


图4 2000—2015年乡镇级耕地破碎化类型面积比例

4 耕地破碎化成因分析

耕地破碎化现象的产生受自然-人文双重因素共同作用,不同历史时期不同因素的影响程度不尽相同。结合研究区自然资源禀赋、社会经济发展需求与农村土地制度改革等因素,将研究区耕地破碎化成因划分为4个层面,分别为自然切割力、管理切割力、利用切割力和设施切割力。

4.1 自然切割力破碎化过程

自然因素是导致拜泉县耕地破碎化的客观原因,可以细分为两个方面:内营力和外营力。内营力主要取决于地形地貌特征,拜泉县位于漫川漫岗区,浅山区、低丘陵所占比例较大。如西南部地形高低起伏,且洼地和盐碱地相对较多,在一定程度上难以形成连片耕地。外营力主要体现在风力、水力等方面。拜泉县水土流失严重,主要表现为坡耕地黑土层流失和水土流失形成的侵蚀沟,将连片耕地切割成多个形状各

异、大小规模不一的地块。另外,个别村由于多年严重的水土流失,导致耕地丧失生产能力,出现撂荒现象,进一步加剧了拜泉县耕地破碎化。

4.2 管理切割力破碎化过程

拜泉县在家庭联产承包责任制下,村集体需要平衡不同家庭之间的权益,按照耕地数量、质量、位置等发包耕地,使得农户拥有多个面积和距离不等的地块,造成耕地空间上的不相连。随着经济社会发展,耕地承包者将持有的耕地按照地块租赁给多个农户,以及诸子继承思想和馈赠也导致耕地进一步分散。管理切割力主要体现在两个方面:权属管理和经营管理。权属管理是由于行政村村民小组的存在,使得土地所有权被细化到村民小组,又在联产承包责任制下分配给农户,导致耕地被分割成多个大小不一且不相连的耕作地块;经营管理是将耕地承包者转租给经营者导致的耕地权属进一步的分割。

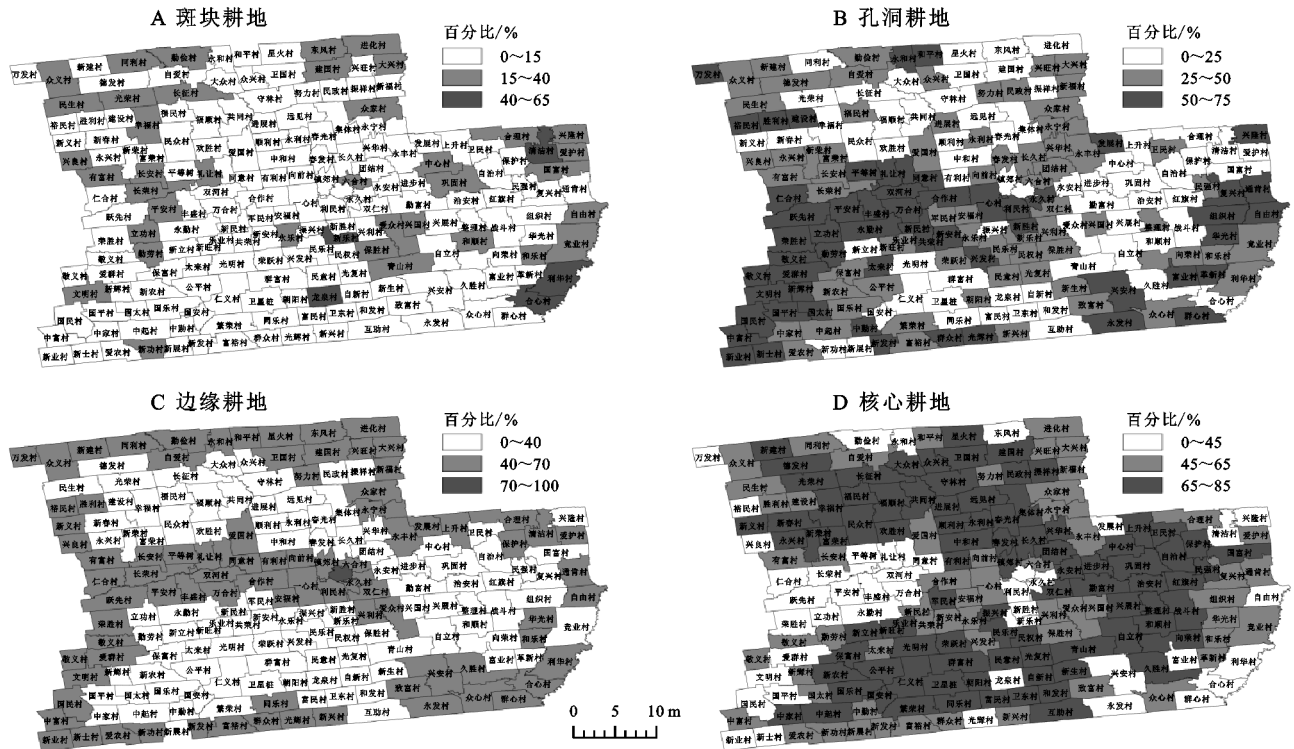


图5 2015年拜泉县村级耕地破碎化类型百分比

4.3 利用切割力破碎化过程

随着社会经济快速发展,拜泉县为满足其生产、生活、生态需求,使得区域内的一些耕地和其他土地利用类型发生改变。耕地破碎化原因主要表现在耕地用途改变和线状地物切割两个方面。由于居民点、林地、公路等不同类型用地占用耕地,导致原有的连片耕地被切割、局部占用或“穿心”,如拜泉县为全国造林绿化百佳县,大量植树造林在一定程度上造成耕地空间不连续。同时拜泉县为黑龙江省深度贫困县,大量养殖场、工厂的修建将会再次加深耕地破碎化程度。

4.4 设施切割力破碎化过程

为提高农田灌溉能力、耕作便捷程度、农田防护水平等,在耕地中修筑农业基础设施和修建附属设施,使得一些耕地被占用。设施切割力主要体现在两个方面:线状基础设施的建设和面状、点状附属设施的建设。如拜泉县农业基础设施以修建田坎、沟渠、防护堤、防护林为主,附属设施以修建育秧棚、晒水池、晾晒场、农机站为主,在一定程度上破坏耕地地块完整性,加剧了耕地破碎化程度。

综上,地貌起伏是拜泉县耕地自然切割力最稳定的部分,而水土流失进一步加剧了自然切割力;随着城镇化、生态文明建设进程的推进,耕地非农化是利用切割力的直接表现,导致拜泉县耕地进一步破碎化;设施切割力是耕地功能性提升的重要举措,也是

保护耕地的有效手段,但也会加剧耕地破碎化;管理切割力,从历史角度来看,耕地产权破碎化是造成拜泉县耕地破碎化现象的根本原因。

5 讨论与结论

5.1 讨论

本文利用移动窗口技术,在像元水平上定量反映耕地破碎化过程,揭示耕地破碎化的基本特征和时空格局,为耕地破碎化的治理提供一定依据。研究发现,研究区耕地破碎化程度变化较为明显,2005—2010年研究区处于社会经济快速发展时期,大量耕地被占用。因此,此阶段耕地破碎化变化最为显著。研究区处于黑土区水土流失典型地带,且近15a来为获得更高的经济效益,占用大量耕地,可见,水土流失、耕地非农化是研究区耕地破碎化的主要因素,研究结果与研究区的发展一致。

此外,耕地破碎化在不同尺度上呈现出不同结果,本文采用移动窗口技术构建耕地破碎化模型,在像元水平上定量反映耕地破碎化过程,描述耕地破碎化的空间信息,但忽略了适宜尺度的选择。未来基于移动窗口技术并引入尺度选择模型,确定耕地破碎化的最佳窗口尺度,增加结果的精度。耕地破碎化受自然—人文双重因素影响,本文从自然、管理、利用和设施切割力4个方面进行定性分析,未能探寻不同影响因素对耕地破碎化的作用强度、大小和方向。未来基

于计量分析模型或地理探测器模型,从以上 4 个方面选取适宜指标,揭示耕地破碎化的形成机制。

5.2 结 论

(1) 2000—2015 年拜泉县耕地破碎化程度整体呈现“缓慢-急剧-缓慢”的趋势,2005—2010 年是耕地破碎化变化的快速时期,核心耕地比例快速减少,孔洞耕地和斑块耕地比例快速增加。

(2) 拜泉县耕地破碎化呈现“孔洞耕地为主导,核心耕地分布集中”的特点。2000 年拜泉县斑块耕地占比较低,耕地破碎化不是很严重,但是自 2010 年以后社会经济快速发展以来,斑块耕地一直处于增加的趋势,耕地破碎化问题日益突出。

(3) 乡镇级尺度上,2000—2005 年西部和东部耕地破碎化程度较大;2010—2015 年,除中部地区外,其余地区斑块耕地比例均稳定增加,核心耕地比例减少,耕地破碎化程度加剧。

(4) 村级尺度上,拜泉县各个村的耕地破碎化程度有较大差异,其中 18 个村耕地破碎化程度较高。

(5) 拜泉县耕地破碎化成因主要源于自然切割力、利用切割力、设施切割力和管理切割力的影响。其中水土流失、耕地非农化、农业基础设施建设、家庭联产承包责任制是拜泉县耕地破碎化的主要因素。

参考文献:

[1] 吕晓,黄贤金,钟太洋,等.中国农地细碎化问题研究进展[J].自然资源学报,2011,26(3):530-540.

[2] 臧良震,苏毅清.耕地细碎化问题研究述评及启示[J].生态经济,2019,35(1):79-83.

[3] 张蚌蚌,郭芬,黄丹,等.陕北“一户一田”和“一组一田”耕地细碎化整治模式与绩效评价[J].农业工程学报,2020,36(15):28-36.

[4] 王海娟,胡守庚.自主治理:一种中国农地细碎化治理模式[J].中国土地科学,2019,33(7):40-47.

[5] 许玉光,杨钢桥,文高辉.耕地细碎化对耕地利用效率的影响:基于不同经营规模农户的实证分析[J].农业现代化研究,2017,38(4):688-695.

[6] 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.

[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] Liu Jing, Jin Xiaobin, Xu Weiyi, et al. Influential factors and classification of cultivated land fragmentation, and implications for future land consolidation: A case study of Jiangsu Province in eastern China[J]. Land Use Policy, 2019,88:1-19.

[9] 陈红宇,朱道林,鄢文聚,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.

[10] 葛玉娟,赵宇鸾.基于道路网络分析技术的耕地细碎化测度模型改进[J].资源科学,2019,41(4):766-774.

[11] 任红玉,赵宇鸾,李秀彬,等.基于不同分辨率影像的山区耕地细碎化评价及其尺度效应[J].地理研究,2020,39(6):1283-1294.

[12] 葛玉娟,赵宇鸾,李秀彬.山区耕地细碎化对土地利用集约度影响:以贵州省亚鱼村为例[J].地理科学进展,2020,39(7):1095-1105.

[13] 臧亮,梁红颖,梁文涛,等.基于景观格局的卢龙县耕地细碎化评价及影响因素研究[J].水土保持研究,2018,25(6):265-269.

[14] 孙晓兵,孔祥斌,温良友,等.华北集约化农区耕地细碎化特征及其整治模式研究:以河北曲周为例[J].农业现代化研究,2019,40(4):556-564.

[15] 付扬军,师学义,和娟.汾河流域景观破碎化时空演变特征[J].自然资源学报,2019,34(8):1606-1619.

[16] 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.

[17] 刘晶,金晓斌,徐伟义,等.江苏省耕地细碎化评价与土地整治分区研究[J].地理科学,2019,39(5):817-826.

[18] Riitters K H, Wickham J D, O'neill R V, et al. Fragmentation of continental United States forests[J]. Ecosystems, 2002,5(8):815-822.

[19] 杨智奇,董金玮,徐新良,等.黄土高原森林破碎化的基本特征与时空格局演变[J].资源科学,2018,40(6):1246-1255.

[20] Stauffer D, Aharony A. Introduction to percolation theory: Revised second edition [M]. Florida Boca Raton, USA: Crc Press,1994.