

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

郭 硕, 杨伟州, 魏明欢, 杨 扬, 张蓬涛

(河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071001)

摘 要:以青龙满族自治县为例,依据景观生态学相关理论,重点从地块平均面积大小、地块形状的规则度以及地块分布方面选取平均地块面积、边界密度、面积加权平均形状指数和聚集度4个指标,借助数理统计方法和GIS技术对研究区耕地细碎化程度进行测算分级,并应用地理加权回归模型分析研究了区耕地细碎化综合指数与坡度、距村落距离、距河流距离、距道路距离之间的空间关系。结果表明:青龙满族自治县耕地细碎化以中度细碎化和重度细碎化为主,占比分别为45.18%,49.19%;距村落距离、距道路距离与耕地细碎化程度呈负相关关系,距河流距离、坡度与耕地细碎化程度呈正相关关系;各影响因素影响度都表现出了显著的空间非平稳性,且在空间上波动较大。研究所得结论对耕地规模化经营和土地利用效率的提升具有一定的参考意义。

关键词:耕地; 细碎化; 影响因素; 地理加权回归; 青龙满族自治县

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)03-0264-06

Cultivated Land Fragmentation and Impact Factors of Qinglong Manchu Autonomous County Based on Geographically Weighted Regression

GUO Shuo, YANG Weizhou, WEI Minghuan, YANG Yang, ZHANG Pengtao

(College of Land and Resources, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract: We took Qinglong Manchu Autonomous County as an example, based on the relevant theories of landscape ecology, and selected four indicators especially from average area size of plot, regulation degree of plot shape and land distribution: average land area, boundary density, the area-weighted mean shape index and the degree of aggregation. We made measurement and classification on cultivated land fragmentation degree of research area and analyzed the spatial relationship between land fragmentation comprehensive index and gradient, distance to the villages, distance to the rivers, and distance to the roads by means of geographically weighted regression model. The results showed that land fragmentation degree of the Qinglong Manchu Autonomous County of focused on moderate fragmentation and severe fragmentation, accounting for 45.18% and 49.19%, respectively. And there was a negative correlation relationship between the distance to villages as well as roads and land fragmentation degree. On the contrary, the relationship between gradient, the distance to rivers and land fragmentation degree presented positive correlation. The influence extent of each influence factor showed the remarkable spatial non-stability with large fluctuation in the space. The conclusion of this study has a certain reference value for the scaled operation of cultivated land and the improvement of land use efficiency.

Keywords: cultivated land; fragmentation; influence factor; geographically weighted regression; Qinglong Manchu Autonomous County

自家庭联产承包责任制实施以来,我国耕地斑块面积日益缩小,边界日益不规则。耕地细碎化造成了

中国耕地播种面积的大量损失,耕地资源浪费情况严重^[1]。耕地细碎化一般被描述为由于自然或人为因

素,耕地由单一、均质和集中连片的整体变化为复杂、异质和分割的斑块的动态演变过程^[2]。耕地细碎化是我国农业发展面临的主要问题之一。细碎化对农业生产有利有弊,其积极作用表现在丰富农户农业种植结构,高效利用劳动力,能有效分散农业生产风险和农产品价格风险,从而增加农户收入;消极作用表现在阻碍农业机械化的发展,限制了单一农户农业生产的规模,造成农业经营效率的损失,阻碍了农业现代化的进程^[3]。

到目前为止,众多学者采用各种方法、从不同角度对耕地细碎化展开了探索和研究。谭淑豪等^[4]运用计量经济模型从村级和农户层次探讨了土地细碎化的成因及其影响因素,认为目前中国的土地细碎化主要是由供给面因素引起的,需求面因素也有一定影响。白志远等^[5]运用生态学景观格局原理测算了康乐县耕地细碎化水平,运用数据包络分析测算了耕地利用的纯技术效率和规模效率,运用 SPSS 软件测度了细碎化水平与耕地利用的纯技术效率和规模效率的相关关系。李鑫等^[6]用 SFA 方法测度耕地生产技术效率,用多元线性回归研究细碎化对耕地生产技术效率影响。总的来说在研究方法上主要是采用生产函数、回归分析等经济学方法,运用景观生态学方法和地理空间分析方法分析耕地细碎化的研究还很少^[7]。

本文以青龙满族自治县为例,以景观生态学原理为基础,运用 GIS 技术,选取平均地块面积、边界密度、面积加权平均形状指数和聚集度 4 个景观指数测度青龙满族自治县耕地细碎化水平,在了解其细碎化水平的基础上运用 GWR 模型对其影响因素进行深入分析,以期对耕地规模化经营和土地利用效率的提升提供参考。

1 研究区概况

青龙满族自治县位于燕山山脉东段,明长城北侧,河北省东北部边缘,隶属河北省秦皇岛市。县境位于 40°04'40"—40°36'52"N,118°33'31"—119°36'30"E,青龙满族自治县以境内最大河流青龙河而得名。青龙满族自治县辖 11 个镇、14 个乡(396 个行政村、4 个居民委员会),另有 1 个省级经济开发区。县域境内多低山丘陵,多沟谷河流,有“八山一水一分田”之称。全县地形走势呈现出东部、南部较低,西部和北部偏高。该区域属于北温带大陆性季风气候,降水充沛的气候特征,温度相对较高,四季分明,无霜期较长。青龙满族自治县的地貌特征鲜明,对区域内的土地利用状况有着深刻影响,利用类型主要是以农业、林业、畜牧业和矿业用

地为主。但是由于家庭联产承包责任制的发展出现的田埂分割土地、各类沟渠和农村道路纵横,导致青龙满族自治县耕地分散而细碎(图 1)。耕地细碎化是影响该地区农业发展的重要因素,它阻碍农业机械化的使用,严重影响农业生产率的提高,同时带来了农产品生产成本的极大浪费和农业机械的使用冗余。

2 数据来源及处理

研究所需数据来源于青龙满族自治县 2014 年土地利用现状图,借助 ArcGIS 10.0 叠加分析功能提取耕地、道路、河流、村落的数据。将提取出的耕地矢量图斑栅格化,用于在 Fragstats 3.4 中计算平均地块面积(MPS)、边界密度(ED)、面积加权平均形状指数(AWMSI)和聚集度(AI)4 个景观指数。本文将青龙满族自治县划分为 1 km×1 km 的格网,借助 ArcGIS 10.0 中的空间分析功能分别计算格网与村落、道路、河流的距离。青龙满族自治县 DEM 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心的地理空间数据云平台,基于 GIS 技术的 Spatial Analyst Tools—Slope 功能,获取青龙满族自治县坡度图并通过 2014 年 DEM 数据提取每个格网的坡度。坡度、村落、河流、道路、行政区划图见图 2、3。

3 研究方法

3.1 耕地细碎化综合指数测算

3.1.1 评价指标的选取 目前众学者对于耕地细碎化状况的研究,主要通过从地块平均面积大小、地块形状的规则度以及地块分布等方面选取不同景观指数作为评价指标来进行描述,例如平均斑块面积指数、斑块密度指数、边界密度指数、聚合度指数、分维数等景观指数。但由于景观指数之间存在共线性问题,易造成评价结果失真,因此本文借助 SPSS 软件将拟选取的评价指标进行相关性分析并在参照相关资料的基础上确定相关性系数较低的 4 个指标:平均地块面积(MPS)、边界密度(ED)、面积加权平均形状指数(AWMSI)和聚集度(AI)4 个指标作为研究区耕地细碎化的评价指标^[8-10]。

(1) 平均地块面积(MPS)。为研究区的耕地总面积与耕地斑块总数的比值。代表一种平均状况,可以体现耕地的细碎程度,值越大,表明耕地细碎化程度越低。具体公式如下:

$$MPS = A / \sum_{i=1}^n N_i \quad (1)$$

式中: $\sum_{i=1}^n N_i$ 表示研究区耕地斑块总数;A 表示研究区耕地总面积。

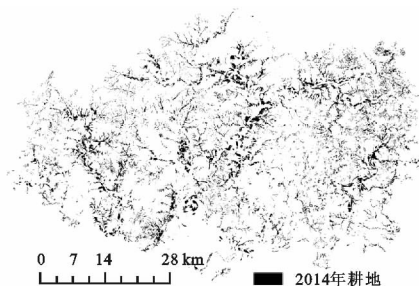


图1 青龙满族自治县耕地细碎示意图

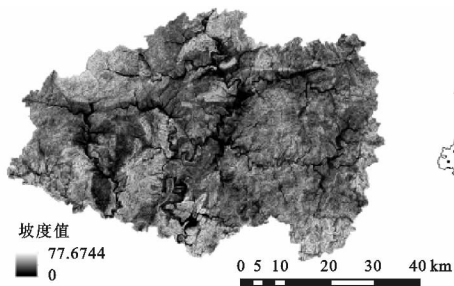


图2 青龙满族自治县坡度、村落分布情况



图3 青龙满族自治县河流分布、主干道分布和行政区划

(2) 边界密度指数(ED)。为耕地斑块的周长与面积之比,它以单位面积周长值的大小来体现耕地细碎程度,值越大,则表明耕地细碎化程度越高。具体公式如下:

$$ED = E/A \quad (2)$$

式中: E 为耕地斑块周长; A 为耕地面积。

(3) 面积加权平均形状指数(AWMSI)。为研究区各个耕地斑块周长与面积比乘以各自的面积权重之后的和,用于反映研究区域耕地斑块形状的复杂性和规则性,从而衡量耕地的细碎化程度,值越大,说明耕地斑块形状变得更复杂,细碎化程度越高。具体公式如下:

$$AWMSI = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{0.25P_i}{\sqrt{a_i}} \right) \times \left(\frac{a_i}{A} \right) \right] \quad (3)$$

式中: P_i 为研究区内各耕地斑块周长; a_i 为研究区内各耕地斑块面积; A 为研究区内耕地斑块总面积。

(4) 聚集度(AI)。该取值范围介于 $[0,100]$,该数值高说明耕地由相对较少的大斑块组成,反之说明耕地由许多小斑块相互交错配置而成,耕地细碎化程度也越高。具体公式如下:

$$AI = \left[1 + \sum_{i=1}^m \frac{P_i \ln(P_i)}{2 \ln(m)} \right] \times 100 \quad (4)$$

式中: P_i 为研究区内各耕地图斑周长; m 为研究区耕地图斑个数。

3.1.2 评价指标标准化及权重的确定 对评价指标进行标准化处理,以消除变量的量纲。本文采用极差标准化方法对原始统计数据进行标准化处理,公式为:

$$P_{ij} = \begin{cases} (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) & \text{正效应} \\ (X_{\max} - X_{ij}) / (X_{\max} - X_{\min}) & \text{负效应} \end{cases} \quad (5)$$

式中: P_{ij} 表示指标的标准化值; X_{ij} 表示指标的原始

数据; X_{\min} 表示指标原始数据的最小值; X_{\max} 指标原始数据的最大值。具有正效应的指标(ED, AWM-SI),其值越大,耕地细碎化综合值越大,细碎化越严重;相反,具有负效应的指标(AI, MPS),其值越大,耕地细碎化综合值越小,细碎化越不严重。

结合前人的研究成果与青龙满族自治县耕地细碎化现实情况,本文选择采用层次分析法(AHP)来确定各评价指标的综合权重。层次分析法是美国运筹学专家 T. L. Saaty 教授于 20 世纪 70 年代提出的一种定性定量相结合的多目标决策分析方法,它能把定性因素定量化,从而使评价定量化^[11]。

3.1.3 评价模型的构建 本文用多因素综合评价法来进行耕地细碎化综合指数的计算。多因素综合评价法是以影响评价单元的因素作为评价的指标,按照一定的目标与原则建立评价指标体系,以评价单元为基础,按照合适的方法将指标因素给予量化处理,赋予权重,然后进行计算和归并,最终确定每一个评价单元的总分值。本文在确定评价指标以及权重的基础上,将各个指标进行加权求和,从而得到耕地细碎化综合指数,并且用 ArcGIS 10.0 对耕地细碎化综合指数按自然断点法进行分级,并进行地理空间分布分析^[12]。耕地细碎化综合指数的计算公式如下所示:

$$Y_j = \sum_{i=1}^n k_{ji} \times w_i \quad (6)$$

式中: Y_j 为第 j 个评价单元的耕地细碎化综合指数; k_{ji} 表示第 j 个评价单元第 i 个指标景观指数; w_i 表示第 i 个评价指标权重; n 表示评价指标总个数。

3.2 地理加权回归(GWR)分析

普通的线性回归模型只是对回归参数进行“平

均”或“全局”估计,如果自变量为 n 个不同空间位置上获取的样本数据,且自变量间存在空间自相关性,就无法满足普通线性回归模型(OLS 模型)残差项独立的假设,用最小二乘法进行参数估计将不再适用。地理加权回归(GWR)模型是对普通线性回归模型的扩展,将数据的空间位置嵌入到回归模型之中。GWR 能够反映参数在不同空间的非平稳性,使变量间的关系可以随空间位置的变化而变化,其结果更符合客观实际,因此本文引入了 GWR 分析,GWR 模型的参数是位置 i 的函数。估计参数随空间位置 i 的变化而变化^[13-15]。GWR 模型可表示如下:

$$y_i = a_{i0}(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p a_{ik}(u_i, v_i)x_{ik} + \epsilon_i \quad (7)$$

式中: (u_i, v_i) 为第 i 个样本点的空间位置; x_{ik} 为第 i 个样本点的独立变量; $a_{i0}(u_i, v_i)$ 和 $a_{ik}(u_i, v_i)$ 分别为第 i 个样本点的常数项估计值和参数估计值; p 为第 i 个样本点独立变量的个数; ϵ_i 为误差修正项。

基于 ArcGIS 10.0 空间统计中的 GWR 功能,以各格网耕地细碎化综合值为因变量,距河流、道路、村落的距离、坡度为解释变量。权重函数的校准采用自适应方法(Adaptive),采用最小 AIC 方法确定带宽。权重函数为:

$$w_{ij} = \exp[-(d_{ij}/b)^2] \quad (8)$$

式中: b 为基带宽度; d_{ij} 为点 (u_j, v_j) 到点 (u_i, v_i) 的距离。

4 结果与分析

4.1 耕地细碎化综合指数分析

耕地细碎化综合指数指标权重表见表 1。平均地块面积(MPS)权重为 0.576 9,边界密度(ED)权重为 0.192 3,面积加权平均形状指数(AWMSI)和聚集度(AI)指标权重为 0.115 4。青龙满族自治县格网的各景观指数以及耕地细碎化的综合指数见表 2。耕地细碎化综合指数最小为 0.082,最大值为 0.771,平均值为 0.432。本文用自然断点法将耕地细碎化综合指数分为三级,分别为轻度细碎化(0.082~0.589)、中度细碎化(0.590~0.653)、重度细碎化(0.654~0.771),结果见表 3。对青龙满族自治县的各格网细碎化等级所占面积进行统计可知,各级间的耕地细碎化综合分值比例均存在一定的差异。耕地细碎化以中度细碎化和重度细碎化为主,占比分别为 45.18%,49.19%。造成这一现象的原因主要是随着经济的快速增长,人类活动强度加剧及城镇扩张对建设用地需求量不断提高,大量耕地不断转为建设用地,造成青龙满族自治县耕地的日益割裂,使耕地细碎化整体呈现较严重状态。

为深入了解该县耕地细碎化状况,进一步挖掘耕地细碎化的空间分布规律,本文对全县耕地细碎化进

行地理空间分布分析。如图 4 所示,耕地的重度细碎化主要分布在三个区域,分别为青龙满族自治县的东北部、西北部、西南部。该三个区域首先为山区与丘陵地区,土地并不平整,而且高低不一,这就决定了耕地是分散和细碎化的,其次这三个区域村落、道路分布相对比较密集,由于人为因素如建设工厂、居民点的扩张等行为使耕地大量转化为建设用地,最终造成耕地的重度细碎化。耕地的中度细碎化主要分布在青龙满族自治县的中部地区。耕地轻度细碎化占全县耕地比重较小且呈零星分布。

表 1 耕地细碎化综合指数指标权重

评价指标	MPS	ED	AWMSI	AI
权重	0.5769	0.1923	0.1154	0.1154

表 2 各格网的景观指数与综合指数一般性统计描述

项目	边界密度	平均地块面积/hm ²	面积加权平均形状指数	聚集度	细碎化综合指数
最小值:	0.011	0.092	1	15	0.082
最大值:	0.068	58.772	5.261	100	0.771
平均值:	0.034	2.358	1.976	65.849	0.432
计数:	2948	2948	2948	2948	2948

表 3 耕地细碎化各级数量及占比情况

项目	轻度细碎化	中度细碎化	重度细碎化
格网个数/个	166	1332	1450
比例/%	5.63	45.18	49.19

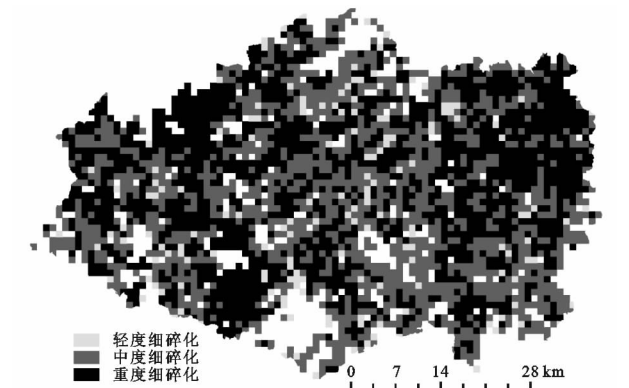


图 4 青龙满族自治县耕地细碎化空间分布

4.2 相关性分析

耕地细碎化综合指数与各解释变量之间的相关性见表 4,距道路距离和距村落距离与细碎化综合指数呈现较显著的负相关性,即距道路和村落越远,耕地细碎化程度越轻。距河流距离和坡度与细碎化综合指数呈现较显著的正相关性,即距河流越远、坡度越大,耕地细碎化程度越高。坡度较陡的区域,耕地较不平整,限制了耕地的大规模种植,耕地细碎化程度较高。

空间自相关检验用于发现耕地细碎化综合指数是否表现出一定的空间关联性。我们选用全局自相关统计量 Moran's I 来检验。计算发现,耕地细碎化

综合指数的 Moran's I 值为 0.309 2,其期望值 $E(I)$ 为-0.006 7,莫兰指数大于期望值,也就是说,耕地细碎化综合指数空间相关和空间异质,具有相似值或者相异值之间的空间集群现象,经典统计分析所要求的独立、随机分布假设不成立。所以,对耕地细碎化综合指数影响因素的研究应运用考虑空间相关性的空间计量经济学方法。

表 4 细碎化综合指数与各解释变量的相关系数

项 目	距道路 距离	距村落 距离	距河流 距离	坡度
Pearson 相关性	-0.12	-0.09	0.16	0.08
显著性(双侧)	0.01	0.01	0.01	0.01
格网个数/个	2948	2948	2948	2948

4.3 各解释变量影响度空间分布特征

4.3.1 坡度影响度空间分布特征 坡度影响度空间分布见图 5,从图中可以看出坡度影响度表现出明显的空间非平稳性。全县大部分耕地细碎化指数与坡度呈正比。即随着坡度的增加,耕地细碎化综合指数增大,耕地越细碎。因为随着坡度的增加,土地变得不再平整,高低不一的地块使大面积成片利用土地进行耕作较为困难,为了尽可能利用坡地上的耕地,农户往往趋向于小面积耕作方式,结果导致耕地细碎化

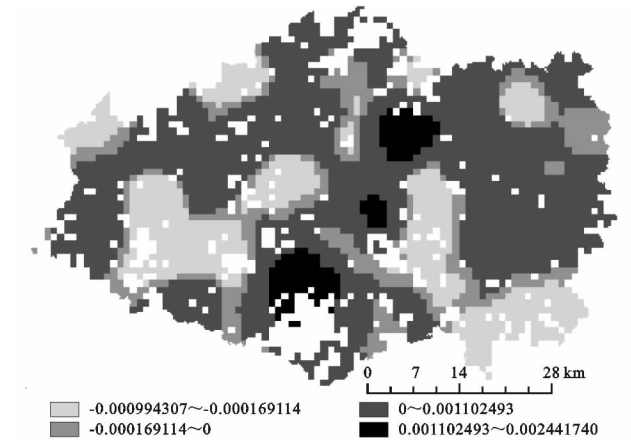


图 5 坡度影响度空间分布

4.3.3 距河流距离影响度空间分布特征 距河流距离影响度空间分布见图 7,其与耕地细碎化综合指数的 Pearson 指数为正,即影响度为正,GWR 影响度统计结果大部分为正,与实际相吻合。在河流附近,距河流距离对耕地细碎化综合指数的影响度为负。当超过一定距离后,影响度为正。回归系数最大值位于娄丈子乡、朱杖子乡、马圈子镇、土门子镇、大巫岚镇。说明这几个乡镇距河流距离对耕地细碎化程度的影响较其他乡镇较为严重。

4.3.4 距道路距离影响度空间分布特征 距道路距离影响度空间分布见图 8,GWR 结果显示距道路距离与耕地细碎化综合指数总体呈现负相关。在一定

程度的增加。但当坡度增加到某一临界值之后,耕地破碎化综合指数与坡度呈反比。即坡度越大,耕地破碎化指数越小。因为当坡度过大时,耕地几乎不存在。仅存的耕地也是零星存在,而且农户对其影响较小。故细碎化程度会越来越轻。回归系数最大值位于娄丈子乡、肖营子镇、朱杖子乡、祖山镇、大巫岚镇和茨榆山乡、双山子镇。说明这些乡镇坡度对耕地细碎化程度影响相对其他乡镇较为严重。

4.3.2 距村落距离影响度空间分布特征 距村落距离影响度空间分布见图 6,GWR 结果显示其影响度具有一定的空间非平稳性,影响度正负大约各占 50%,距村落距离与耕地细碎化综合指数总体呈现负相关。影响度为负,说明耕地细碎化程度随着距村落距离的增加而减少。这主要是因为距离居民点越近,人类活动强度越大,出于各种需求和利益对土地の利用方式越多样化,如居民点扩张,建设工厂等行为易造成对耕地图斑的破坏。但当距村落距离超出一定距离后,其对耕地细碎化综合指数的影响指数为正,即耕地细碎化程度随着距村落距离的增加而增加。回归系数最大值位于桃林口水库、茨榆山乡、朱杖子乡、大巫岚镇和木头凳镇,说明这几个乡镇距村落距离对耕地细碎化的影响相对其他乡镇较为严重。

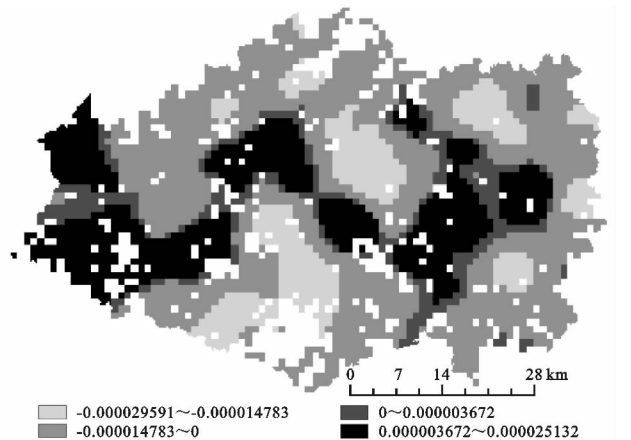


图 6 距村落距离影响度空间分布

距离内,随着距道路距离的增加而下降,说明距离道路越近则耕地越细碎化,道路是影响耕地细碎化的一个重要因素。这主要是因为距道路越近,成片耕地被公路、田间沟渠、田埂以及田间道路等划分为面积更加小的地块,加之距道路越近人类活动强度相对较大,最终导致耕地细碎化较为严重。但当距道路距离超出一定距离后,其对耕地细碎化综合指数的影响指数为正,即随着距离增加,耕地细碎化愈加严重。回归系数最大值位于娄丈子乡、肖营子镇、双山子镇、大巫岚镇、木头凳镇、祖山镇。说明这几个乡镇距道路距离对耕地细碎化程度的影响较其他乡镇较为严重。

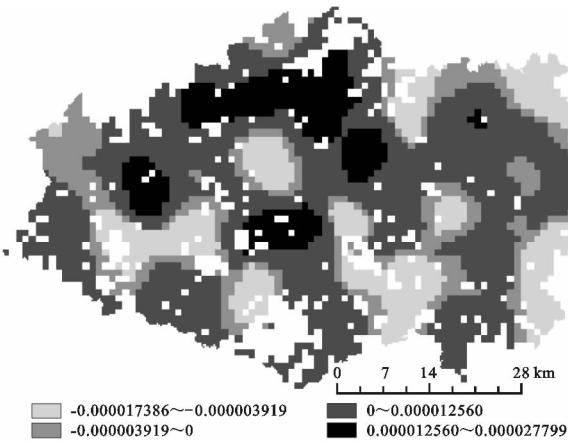


图 7 距河流距离影响度空间分布

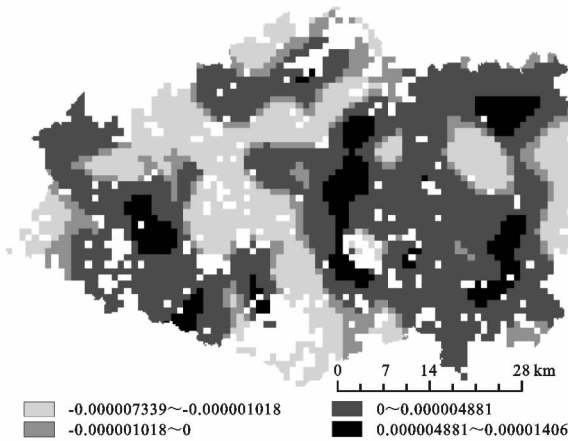


图 8 距道路距离影响度空间分布

5 结 论

(1) 构建了青龙满族自治县耕地细碎化评价指标体系,对县域耕地景观细碎化进行了评价和分析。结果表明耕地细碎化以中度细碎化和重度细碎化为主,占比分别为 45.18%,49.19%。耕地的重度细碎化主要分布在三个区域,分别为青龙满族自治县的东北部、西北部、西南部。

(2) 距村落距离、距道路距离、距河流距离、坡度与耕地细碎化综合指数均呈显著的相关性。距村落距离、距道路距离与耕地细碎化程度呈负相关,距河流距离、坡度与耕地细碎化程度呈正相关。说明道路、村落、河流以及坡度与耕地细碎化之间存在一定关系。

(3) 空间自相关检验发现耕地细碎化综合指数表现出一定的空间关联性,说明 GWR 相比 OLS 拟合度要更好。进一步分析发现各影响因素影响度都表现出了显著的空间非平稳性。各影响因素在空间上波动较大。娄丈子乡、肖营子镇、朱杖子乡、祖山镇、大巫岚镇和茨榆山乡、双山子镇这些乡镇坡度对耕地细碎化程度影响相对其他乡镇较为严重;桃林口水库、茨榆山乡、朱杖子乡、大巫岚镇和木头凳镇这几个乡镇距村落距离对耕地细碎化的影响较其他乡镇较为严重;娄丈子乡、朱杖子乡、马圈子镇、土门子镇、大巫岚镇这几个乡镇距河流距离对耕地细碎化程度的影响较其他乡镇较为严重;娄丈子乡、肖营子镇、双山子镇、大巫岚镇、木头凳镇、祖山镇这几个乡镇距道路距离对耕地细碎化程度的影响较其他乡镇较为严重。

耕地细碎化是自然因素和社会经济因素综合作用的结果,由于数据获取方面的限制性,本文偏重自然方面探讨耕地景观细碎化问题,社会经济因素考虑较少。社会经济方面,耕地分配制度、人口压力、土地流转机制与土地市场化程度均会对耕地细碎化产生影响。李庆东等利用农户拥有的耕地地块数、农户经营的地块面积和地块之间的距离等指标分析耕地经营细碎化^[16],无疑为以后耕地细碎化社会经济影响因素研究打下了基础。今后的研究中,应当进一步探索耕地细碎化影响因素及其作用机理,以减

缓耕地细碎化的过程及降低耕地细碎化带来的负面影响。

参考文献:

[1] 邓建波. 耕地细碎化成因及其与生产效率的关系[D]. 成都:四川农业大学,2013.

[2] 陈春苗. 焦作市耕地细碎化测度及其效应分析[D]. 河南焦作:河南理工大学,2012.

[3] 王道骏,陈英,贾首杰,等. 基于景观格局指数的耕地细碎化研究[J]. 中国农学通报,2014,30(32):184-188.

[4] 谭淑豪,曲福田,尼克,等. 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.

[5] 白志远,陈英,谢保鹏,等. ARCGIS 支持下的景观细碎化与耕地利用效率关系研究:以甘肃省康乐县为例[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(4):42-47.

[6] 李鑫,欧名豪,肖长江,等. 基于景观指数的细碎化对耕地生产效率影响研究[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(6):707-713.

[7] 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.

[8] 周静,吴志峰,李定强,等. 珠江口两岸耕地景观破碎化定量分析[J]. 热带地理,2005,25(2):107-110,122.

[9] 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等. 黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析[J]. 生态学报,2013,33(14):4436-4449.

[10] 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.

[11] 廖红强,邱勇,杨侠,等. 对应用层次分析法确定权重系数的探讨[J]. 机械工程师,2012(6):22-25.

[12] 武增海,李涛. 高新技术开发区综合绩效空间分布研究:基于自然断点法的分析[J]. 统计与信息论坛,2013,28(3):82-88.

[13] 庞瑞秋,腾飞,魏冶. 基于地理加权回归的吉林省人口城镇化动力机制分析[J]. 地理科学,2014,34(10):1210-1217.

[14] 马瑛. 基于地理加权回归模型的农用地地价空间结构研究[D]. 武汉:华中农业大学,2012.

[15] 刘世梁,刘琦,王聪,等. 基于地理加权回归的漫湾库区景观破碎化及影响因子分析[J]. 地理科学,2014,34(7):856-862.

[16] 李庆东,王秋兵,钱凤魁,等. 农户耕地经营细碎化分析:以辽宁省昌图县为例[J]. 广东农业科学,2010,37(6):230-232.