

# 基于景观格局的卢龙县耕地细碎化评价及影响因素研究

臧亮<sup>1</sup>, 梁红颖<sup>1</sup>, 梁文涛<sup>2</sup>, 张春利<sup>1</sup>

(1. 廊坊市博泰不动产咨询评估有限公司, 河北 廊坊 065000; 2. 北京博林不动产评估有限公司, 北京 100000)

**摘要:**以卢龙县为研究区,基于景观生态学原理选取平均地块面积指数(MPS)、斑块数量破碎化指数(FN)、平均最近距离(MNN)、边界密度指数(ED)、面积加权形状指数(AWMSI)5个景观指数构建指标体系,对卢龙县耕地细碎化程度进行了评价,然后通过地理加权回归模型对耕地细碎化的影响因素进行了分析。结果表明:卢龙县耕地细碎化整体上处于较低的水平。其中重度细碎化村庄61个,主要分布在卢龙县西南、东南和县域北部;中度细碎化村庄232个,主要分布在县域东南、西南和中北部;轻度细碎化村庄289个,主要分布在县域中部和南部。卢龙县耕地细碎化具有空间正相关性,呈现出明显空间聚类特征。坡度、居民点、河流、交通等因素对耕地细碎化的影响程度具有空间非平稳性。其中坡度影响程度以正影响为主,只有少量地区呈现负影响;居民点对耕地细碎化的正负影响区域各占50%左右,但正影响程度较小,以负影响为主;河流以正影响为主,负影响区域主要分布在县域东南部分地区。交通因素对耕地细碎化程度的正负影响区域大体相当,影响强度也较为相似。

**关键词:**细碎化;耕地;地理加权回归;卢龙县

**中图分类号:**F323.211

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2018)06-0265-05

## Cultivated Land Fragmentation and Affecting Factors of Lulong County Based on Landscape Pattern

ZANG Liang<sup>1</sup>, LIANG Hongying<sup>1</sup>, LIANG Wentao<sup>2</sup>, ZHANG Chunli<sup>1</sup>

(1. Langfang Botai Real Estate Consulting and Evaluation Co., Ltd., Langfang, Hebei 065000, China; 2. Beijing Bolin Real Estate Assessment Co., Ltd., Beijing 100000, China)

**Abstract:** We took Lulong County as an example, from the principle of landscape ecology average land area index (MPS). We constructed the index system, and evaluated the degree of cultivated land fragmentation in Lulong County based on the number of patch fragmentation index (FN), the average nearest neighbor distance (MNN), edge density index (ED), area weighted shape index (AWMSI) 5 landscape indexes, and then analyzed the influencing factors of cultivated land fragmentation by the geographically weighted regression model. The results showed that the arable land fragmentation in Lulong County was at a low level. The arable lands were seriously fragmented, and mainly distributed in 61 villages of all villages of Lulong County in the southwest, southeast and northern areas of Lulong County; the arable lands were moderately fragmented, mainly distributed in 232 villages in the southeast, southwest and central part of the county; the arable lands were slightly fragmented, mainly distributed in 289 villages in the central and southern parts of the county. The spatial correlation of cultivated land fragmentation in Lulong County was positive, and it also showed obvious spatial clustering characteristics. The influence degree of slope, residential land, river and traffic on the degree of cultivated land fragmentation had spatial nonstationarity. The influence degree of slope was mainly positive, and only a few areas had negative influence; the areas of the positive and negative impacts of residential land on arable land fragmentation accounted for about 50%, but the positive impact degree was small, and the negative effect was significant. The river dominated by positive effect, negative effect area mainly distributed in parts of southeast of the county. The areas of positive and negative influence of traffic factors on cultivated land fragmentation were roughly the same, and the impact intensity was similar.

**Keywords:** fragmentation; cultivated land; geographically weighted regression; Lulong County

耕地细碎化是指由于自然或人为因素干扰,耕地由单一、均质和集中连片的整体变为复杂、异质和零散的斑块的动态演变过程<sup>[1]</sup>。耕地细碎化对农业生产的影响具有两面性,一方面耕地细碎化可以丰富农户的生产经营结构,分散农业生产风险,促进种植农业的结构调整;但是另一方面,耕地细碎化不利于农业的规模化经营,阻碍着农业现代化发展,造成农业资源的极大浪费<sup>[2]</sup>。我国作为人多地少的发展中国家,耕地细碎化现象长期存在,自 20 世纪 70 年代,我国开始施行家庭联产承包责任制,在促进农业生产发展的同时,也客观加剧了我国的耕地细碎化<sup>[3]</sup>。随着我国社会经济的发展,城市化、工业化进程加快,农业人口大量涌入城市,农民对土地的依赖性越来越弱,耕地的规模化经营条件更加成熟,耕地细碎化的弊端日益凸显。如何优化耕地的空间格局,增加耕地有效面积,提高耕地利用效率,实现耕地的规模化经营,已成为亟待解决的问题之一<sup>[4]</sup>。

目前,众多学者已经基于不同角度,运用多种方法对我国耕地细碎化进行了研究。黄思琴等<sup>[4]</sup>基于景观生态学角度选取指标,运用主成分分析降维得到能够代表耕地细碎化的 2 个主成分指标,然后通过空间自相关分析了耕地细碎化与农业经济水平的空间相关性规律;谭淑豪等<sup>[5]</sup>运用计量经济模型探讨了造成土地细碎化的主要因素,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;张尹君杰等<sup>[6]</sup>利用河北全省农户固定观察点资料通过回归分析,表明土地细碎化不但降低了河北省玉米和小麦生产的规模经济效应,而且还影响了它们的产量;李鑫等<sup>[7]</sup>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。总体而言,目前对耕地细碎化的研究主要集中在耕地细碎化的评价及其对耕地生产效率的影响,通过空间统计方法对耕地细碎化影响因素的研究还较少。

本文以卢龙县为例,基于景观生态学原理选取平均地块面积指数(MPS)、斑块数量破碎化指数(FN)、平均最临近距离(MNN)、边界密度指数(ED)、面积加权形状指数(AWMSI) 5 个景观指标对卢龙县耕地细碎化程度进行评价,然后通过地理加权回归模型对耕地细碎化的影响因素进行分析,为耕地规模化整理和经营提供一定的参考。

## 1 研究区概况

卢龙县地处河北省东北部,燕山南麓,明长城脚下,地理位置为  $39^{\circ}43'00''$ — $40^{\circ}08'42''$ N,  $118^{\circ}45'54''$ — $119^{\circ}08'06''$ E。东西横距 28 km,南北纵距 47 km。畛域

面积 961 km<sup>2</sup>。周围与五县为邻,东连抚宁,南接昌黎,西南隔滦河与滦县相望,西濒青龙河与迁安市为邻,北与青龙满族自治县以长城为界,东距秦皇岛市区 82 km,西距首都北京 225 km。卢龙县属低山丘陵区,境内山峦丛杂绵亘,起伏络绎不绝。地势北高南低,呈梯状西北东南向倾斜,海拔 22.7~627 m,绝对高差 599.3 m。全域主要分低山、丘陵、平原和盆地 4 种地貌类型,低山、丘陵主要分布在县境中、北部,占全县总面积的 81.1%;平原主要分布于县境南部。卢龙县属暖温带大陆性季风气候。年均气温 10.6℃,年均降水量 724.5 mm,昼夜温差较大。境内主要为滦河、西洋河、饮马河水系。水资源主要由大气降水形成的地表水和浅层地下水构成。

## 2 数据来源和处理

本文数据来源于卢龙县 2015 年土地利用现状图,以行政村为评价单元,通过 ArcGIS 10.2 软件提取耕地、河流、交通、居民点等信息,转换为栅格数据,利用景观指数软件 Fragstats 4.2 软件计算平均地块面积(MPS)、斑块数量破碎化指数(FN)、平均最临近距离(MNN)、边界密度(ED)、面积加权形状指数(AWMSI)。然后利用 ArcGIS 10.2 的空间分析功能计算各村耕地到河流、交通、居民点的平均距离。卢龙县 DEM 数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),通过 DEM 数据提取卢龙县坡度分布数据,提取各评价单元耕地平均坡度。卢龙县耕地、河流、交通、居民点、坡度数据如图 1 所示。

## 3 研究方法

### 3.1 构建评价模型

3.1.1 评价指标选取 耕地细碎化主要表现在耕地空间分布格局的分散和无序性。而景观指数可以很好地定量描述土地空间分布格局的特点,以及各斑块间的相互关系。许多学者也基于景观生态学视角选取指标,例如平均斑块面积指数、斑块密度指数、边界密度指数、破碎化指数等来评价区域耕地细碎化水平。但是各景观指数间可能存在着重叠信息,甚至共线问题<sup>[8]</sup>,会造成评价结果存在较大误差,因此本文在选取指标前利用 SPSS 18.0 对拟选取的评价指标进行相关性分析,选取 5 个相关性较低的景观指数作为评价指标,分别是平均地块面积指数(MPS)、斑块数量破碎化指数(FN)、平均最临近距离(MNN)、边界密度指数(ED)、面积加权形状指数(AWMSI)。

平均地块面积指数(MPS)为研究区耕地总面积与耕地斑块数量的比值,可以直观表现出研究区内耕地斑块的细碎程度,平均地块面积越小也就表示研究

区耕地越细碎。

$$MPS=A/N$$
 (1)

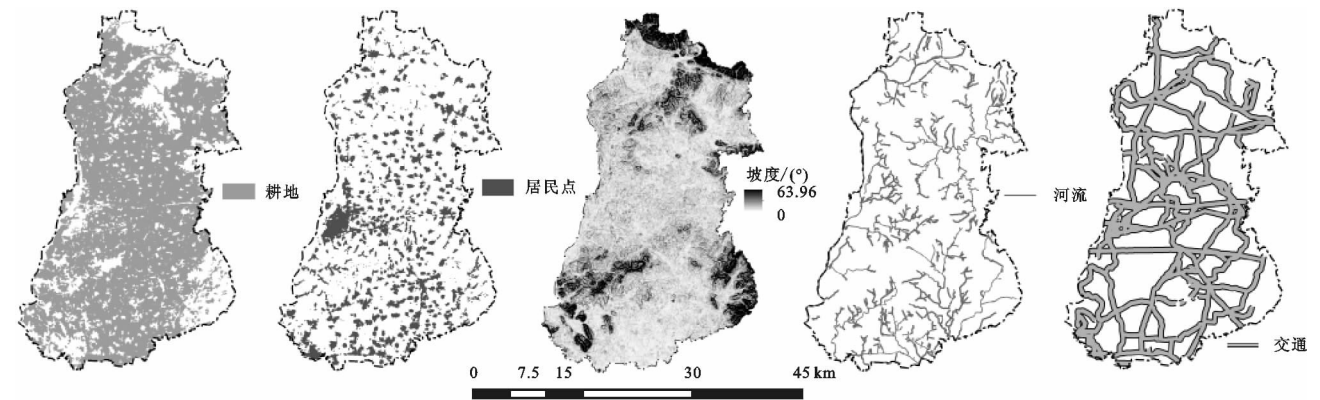


图 1 卢龙县坡度、耕地、居民点、河流及交通分布

斑块数量破碎化指数(FN)可以表明耕地斑块的破碎程度,其取值范围为 0~1,0 表示不存在破碎化,1 表示完全破碎化。

$$FN=(N-1)/\left(\frac{A}{a_{\min}}\right)$$
 (2)

式中: $N$  表示评价单元内耕地斑块的总数量; $A$  表示评价单元内耕地总面积; $a_{\min}$  表示研究区内最小耕地斑块的面积。

平均最临近距离(MNN)为斑块到与最临近斑块的距离和,除以临近斑块总数。它体现了耕地斑块间在空间上的相互关系。MNN 越大表示斑块间的空间距离越大,也就是分布越离散,反之,则表示斑块间空间距离小,分布越集中。

$$MNN=\frac{\sum_{i=1}^n h_i}{N}$$
 (3)

式中: $h_i$  表示某斑块  $i$  到其他斑块的最近距离; $N$  表示斑块总数量。

边界密度指数(ED)为单位面积耕地的周长值,ED 越大表示耕地被切割的程度越大,也就越细碎。

$$ED=E/A$$

式中: $E$  表示耕地斑块的边界长度; $A$  表示耕地面积。

面积加权形状指数(AWMSI),一般而言,耕地越细碎耕地斑块也会越不规则,AWMSI 可以反映耕地斑块的形状规则程度,AWMSI 越大则斑块形状越不规则越复杂,细碎化越高。AWMSI 越小,则细碎化程度越低。

$$AWMSI=\sum_{i=1}^n\left(\frac{0.25P_i}{\sqrt{a_i}}\times\frac{a_i}{A}\right)$$
 (4)

式中: $P_i$  为评价单元内各耕地斑块的周长; $a_i$  评价单元内各耕地斑块的面积; $A$  为评价单元内耕地的总面积。

3.1.2 指标标准化及权重确定 为消除各指标的纲,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:

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

式中: $P_{ij}$  表示指标的标准化值; $X_{ij}$  表示指标的原始值; $X_{\max}$  表示指标原始最大值; $X_{\min}$  表示指标原始最小值。5 个指标中 FN,MNN,ED,AWMSI 是正效应指标;MPS 是负效应指标。

指标的权重对于评价结果的准确性起着至关重要的作用,因此本文结合其他学者的相关研究经验,以及卢龙县实际情况采用变异系数法确定各指标的权重,相较于其他权重确定方法,变异系数法可以消除主观因素对权重的影响,得到的权重更加客观真实<sup>[9]</sup>。变异系数法公式如下:

$$W_i=\frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$
 (6)

式中: $W_i$  为指标  $i$  的权重; $V_i$  为指标  $i$  的变异系数; $n$  表示指标数量。

3.1.3 综合因子评价法 本文采用综合因子评价法评价各评价单元的耕地细碎化程度。综合因子评价法公式如下:

$$Y_j=\sum_{i=1}^n k_{ji}w_i$$
 (7)

式中: $Y_j$  为第  $j$  各评价单元的耕地细碎化指数; $k_{ji}$  表示第  $j$  个评价单元第  $i$  个评价指标的指标值; $w_i$  表示第  $i$  个指标的权重大小; $n$  表示指标个数。

3.2 耕地细碎化影响因素的分析

耕地细碎化的发展是自然因素和人为因素双重影响下产生的,而且不同区域各影响因素的作用强度也是有差异的,为了探究耕地细碎化的主要影响因素,本文采用地理加权回归(GWR)模型分析了村庄、河流、交通、坡度对耕地细碎化的影响。

传统回归分析是在变量间的相互关系具有同质

性的假设下进行的,然而很多情况下随着地理位置的变化,变量间的相互关系和结构会变化,此时如果按照传统线性回归方法很可能会掩盖变量间的局部特性,会造成较大的误差。GWR 模型是对普通线性回归模型的扩展,将数据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空间非平稳性,使变量间的关系可以随空间位置的变化而变化,可以提高拟合精度<sup>[10]</sup>。地理加权回归模型如下:

$$y_i = a_{i0}(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p a_{ik}(u_i, v_i)x_{ik} + \epsilon_i \quad (8)$$

式中: $y_i$ 表示耕地细碎化指数; $(u_i, v_i)$ 表示样本  $i$  的空间位置; $x_{ik}$ 为样本  $i$  的自变量; $a_{i0}(u_i, v_i)$ 和  $a_{ik}(u_i, v_i)$ 分别为样本  $i$  的常数估计值和参数估计值; $p$ 为自变量的个数; $\epsilon_i$ 为误差修正项。

本文应用 ArcGIS 10.2 的地理加权回归工具,以各村耕地细碎化指数为因变量,以耕地距河流、道路、村庄的平均距离,耕地的平均坡度为自变量。核类型选择自适应法(Adaptive),也就是按照要素样本分布的疏密,来创建高斯核表面,如果要素分布紧密,则核表面覆盖的范围小,反之则大。核带宽选择 AIC,通过最小信息准则来决定最佳带宽<sup>[11]</sup>。

## 4 结果与分析

### 4.1 耕地细碎化分布特征

各景观指数权重为:平均地块面积指数(MPS)0.159,斑块数量破碎化指数(FN)0.076,平均最临近距离(MNN)0.267,边界密度指数(ED)0.043,面积加权形状指数(AWMSI)0.455。计算得到耕地细碎化指数,按照自然断点法将卢龙县处于研究区内的 582 个村分为重度细碎化(0.406 2~0.654 7)、中度细碎化(0.311 0~0.404 4)、轻度细碎化(0.181 1~0.310 6)(图 2),其中重度细碎化村庄 61 个,主要分布在卢龙县西南、东南和县域北部;中度细碎化村庄 232 个,主要分布在县域东南、西南和中北部;轻度细碎化村庄 289 个,主要分布在县域中部和南部。

整体来看卢龙县耕地细碎化处于一个较低的水平,大部分村庄属于中度细碎化和轻度细碎化,耕地细碎化指数平均值为 0.323 2,属于中度细碎化,这主要由于卢龙县以农业生产为主,整体经济发展水平一般,因此没有出现大规模的城市扩张等活动,使得卢龙县耕地得到较好的保护,但是由于卢龙县属于低山丘陵,地形复杂,因此一部分地区的耕地受地形割裂影响严重,细碎化程度会较为严重。

### 4.2 耕地细碎化影响因素分析

当数据的分布状态呈现随机独立均匀的特点时,我

们只需要通过传统的回归模型就可以得到较为合理的结果,但是耕地细碎化作为空间数据,具有较强空间依赖性,通常存在空间相关性<sup>[12]</sup>。这种空间自相关性可以通过全局莫兰指数(Moran's  $I$ )来衡量,利用 ArcGIS 10.2 空间自相关分析工具计算耕地细碎化的全局莫兰指数,分析报表如下, $p$ 值为 0.00 小于 0.01 表明其具有空间自相关性的置信度达到 99%,可以肯定耕地细碎化指数存在空间相关性;莫兰指数为 0.21 说明样点间具有空间正相关性,即各村耕地细碎化程度间的相关程度与空间聚集度成正比; $Z$ 得分为 11.20 大于 2.58 表明耕地细碎化呈现出明显空间聚类特征<sup>[13-14]</sup>。

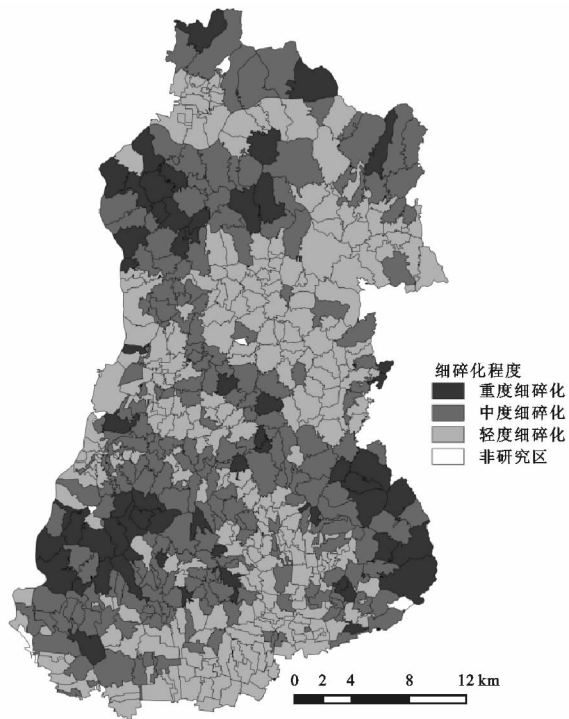


图 2 卢龙县耕地细碎化空间分布

坡度影响程度的空间分布如图 3A 所示,从图中可知坡度影响程度以正影响为主,即坡度越大耕地细碎化越严重,只有少量地区呈现负影响,主要分布在卢龙县中部地区,而且相对于正影响而言,负影响绝对值很小,影响并不明显。这一现象主要是由于卢龙县多低山丘陵,随着坡度增加,地形变化更加复杂,少有大面积平整的适宜耕作的土地,耕地呈现破碎零散的分布状态。而县域中部地区,地势平坦坡度较小,虽然呈现一定的负影响,但并非主要影响因素。

居民点影响程度的空间分布如图 3B 所示,居民点对耕地细碎化的正负影响区域各占 50%左右,负影响区域主要分布在县域中部,北部和南部区域主要为正影响,从影响程度看,正影响程度较小,以负影响为主。这主要是由于居民点周围,人类活动强度大,土地利用方式更加多样,如居民点扩张,工业建设等

活动会造成耕地图斑日益破碎。

距河流距离影响度空间分布如图3C所示,GWR影响度统计结果大部分为正影响,即距离河流越远耕地细碎化越严重。河流水系作为自然廊道会切割斑块,使斑块趋于破碎,也就是河流水系较为密集的地区有可能造成耕地图斑更加细碎,但是由于河流两岸土壤较为肥沃,地势平坦开阔,可以提供充足水源,因此耕地会大量集中河流附近,而且北方地区河流水系网络并不发达,远没有达到过度切割耕地图斑的情况,所以就造成距离河流近的区域耕地更加集中连

片,越远的地区细碎化越明显。

交通道路影响度空间分布如图3D所示,GWR结果显示交通因素对耕地细碎化的正负影响区域大体相当,影响强度也较为相似。在路网密集的地区,道路交通会将耕地图斑切割破碎,同时这些区域经济相对发达,人口密集,人类活动强度较大,因此在一定范围内,随着距道路距离的缩短耕地细碎化程度会逐渐增强。但是为了耕作便利,道路交通又是必不可少的条件,因此在路网并不发达的地区,随着距道路距离的缩短耕地细碎化程度会逐渐减弱。

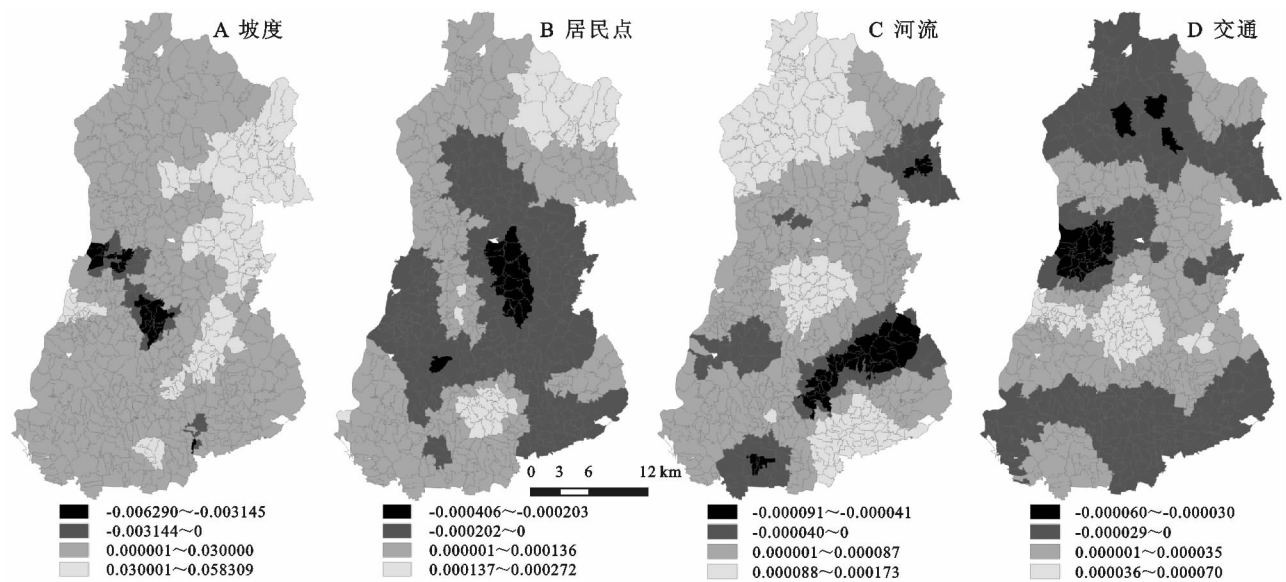


图3 坡度、居民点、河流、交通影响度空间分布

## 5 结论

(1) 卢龙县耕地细碎化整体上处于较低的水平。其中重度细碎化村庄61个,主要分布在卢龙县西南、东南和县域北部;中度细碎化村庄232个,主要分布在县域东南、西南和中北部;轻度细碎化村庄289个,主要分布在县域中部和南部。

(2) 卢龙县耕地细碎化莫兰指数为0.21,具有空间正相关性,各村耕地细碎化程度间的相关程度与空间聚集度成正比;Z得分大于2.58耕地细碎化呈现出明显空间聚类特征。

(3) 通过地理加权回归分析可以发现坡度、居民点、河流、交通等因素对耕地细碎化的影响程度具有空间非平稳性。其中坡度影响程度以正影响为主,只有少量地区呈现负影响,主要分布在卢龙县中部地区,负影响并不明显。居民点对耕地细碎化的正负影响区域各占50%左右,负影响区域主要分布在县域中部,北部和南部区域主要为正影响,从影响程度看,正影响程度较小,以负影响为主。河流以正影响为主,负影响区域主要分布在县域东南部分地区。交通

因素对耕地细碎化程度的正负影响区域大体相当,影响强度也较为相似。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李建林,陈瑜琦,江清霞,等.中国耕地破碎化的原因及其对策研究[J].农业经济,2006(6):21-23.
- [3] 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,2011,4(3):530-540.
- [4] 黄思琴,陈英,张仁陟,等.基于景观指数的耕地细碎化与农业经济水平的空间相关性分析[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):238-244.
- [5] 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.
- [6] 张尹君杰,卓建伟.土地细碎化的正面与负面效应的双重论证:基于河北省农户固定观察点资料的实证研究[J].农林经济管理学报,2008,7(4):25-29.
- [7] 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.

- [12] 刘宝涛, 郝瑞卿, 王冬艳, 等. 基于灰色关联模型的吉林省土地利用系统健康诊断[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(10): 9-17.
- [13] 路正, 陈英, 魏苹, 等. 基于熵权可拓物元模型土地利用系统健康诊断: 以河西走廊为例[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 258-263.
- [14] 郑华伟, 张锐, 杨兴典, 等. 基于 PSR 模型的土地利用系统健康评价及障碍因子诊断[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(9): 1099-1105.
- [15] 陆丽珍, 詹远增, 叶艳妹, 等. 基于土地利用空间格局的区域生态系统健康评价: 以舟山岛为例[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 245-252.
- [16] 杨丹, 叶长盛. 南昌市土地利用系统健康评价及障碍因素诊断[J]. 东华理工大学学报: 社会科学版, 2013, 32(3): 320-326.
- [17] 张锐, 刘友兆, 丑建立. 中国土地利用系统健康动态评价[J]. 水土保持通报, 2014, 34(2): 197-203.
- [18] 徐浩田, 周林飞, 成遣. 基于 PSR 模型的凌河口湿地生态系统健康评价与预警研究[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8264-8274.
- [19] 高洁芝, 夏梦蕾, 孟展, 等. PSR 框架下土地生态系统健康诊断[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(11): 240-243.
- [20] 韩晓佳, 王亚娟, 刘小鹏, 等. 基于不同利益相关者认知分析的生态移民安置区生态风险识别[J]. 应用生态学报, 2017, 28(9): 3061-3070.
- [21] 牛明香, 王俊, 徐宾铎. 基于 PSR 的黄河河口区生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2017, 37(3): 943-952.
- [22] 张晓琴, 石培基. 基于 PSR 模型的兰州城市生态系统健康评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(3): 77-82.
- [23] 高洁芝, 夏梦蕾, 孟展, 等. PSR 框架下土地生态系统健康诊断[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(11): 240-243.
- [24] 梁变变, 石培基, 王伟, 等. 基于 RS 和 GIS 的干旱区内陆河流域生态系统质量综合评价: 以石羊河流域为例[J]. 应用生态学报, 2017, 28(1): 199-209.
- [25] 刘玘玘, 汪妮, 解建仓, 等. 基于熵权法的城市生态系统健康模糊评价[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2014, 47(6): 755-759.
- [26] 孟展, 张锐, 刘友兆, 等. 基于熵值法和灰色预测模型的土地生态系统健康评价[J]. 水土保持通报, 2014, 34(4): 226-231.

~~~~~  
(上接第 264 页)

- [17] 贺春雄. 延安治沟造地工程的现状、特点及作用[J]. 地球环境学报, 2015, 6(4): 255-260.
- [18] 陕西省统计局, 国家统计局陕西调查总队. 陕西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006-2014.
- [19] 杨屹, 加涛. 21 世纪以来陕西生态足迹和承载力变化[J]. 生态学报, 2015, 35(24): 7987-7997.
- [20] 张佩佩, 董锁成, 李泽红, 等. 甘南藏族自治州城镇化与生态环境耦合协调关系[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(1): 33-38.
- [21] 谢鸿宇, 王羚郦, 陈贤生, 等. 生态足迹评价模型的改进与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [22] 赵鹏宇, 步秀芹, 崔嫱, 等. 2004—2013 年忻州市生态足迹和承载力变化[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 373-378.
- [23] 徐中民, 陈东景, 张志强, 等. 中国 1999 年的生态足迹分析[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 441-445.
- [24] Shannon C E. The mathematical theory of communication[J]. Bell System Technical Journal, 1948, 5(1): 3-55.
- [25] Ulanowicz R E. Growth and Development: Ecosystems Phenomenology[M]. New York: Springer Science & Business Media, 1986.
- [26] 吴隆杰. 基于生态足迹指数的中国可持续发展动态评估[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(6): 94-99.

~~~~~  
(上接第 269 页)

- [8] 杨伟州. 基于景观指数的昌黎县耕地细碎化及其与耕地利用效率关系研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2016.
- [9] 吴良林, 罗建平, 李漫. 基于景观格局原理的土地规模化整理潜力评价方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 300-306.
- [10] 邵一希, 李满春, 陈振杰, 等. 地理加权回归在区域土地利用格局模拟中的应用: 以常州市孟河镇为例[J]. 地理科学, 2010, 30(1): 92-97.
- [11] 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.
- [12] 吴莉, 侯西勇, 徐新良. 环渤海沿海区域耕地格局及影响因子分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 1-10.
- [13] 臧亮, 张慧, 赵红安, 等. 黄骅市土壤含盐量空间变异特征和影响因素分析[J]. 土壤通报, 2017, 48(3): 545-551.
- [14] 谢花林, 刘黎明, 李波, 等. 土地利用变化的多尺度空间自相关分析: 以内蒙古翁牛特旗为例[J]. 地理学报, 2006, 61(4): 389-400.