

景观格局视角下平山县耕地规模化整理潜力评价

张慧, 臧亮, 赵红安, 李葛, 朱永明

(河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071001)

摘要: 从地形条件和土地景观格局两方面选取高程、地形起伏度、斑块面积指数等8项指标构建耕地规模化整理潜力评价指标体系。以平山县为研究区,在ArcGIS空间分析功能支撑下探讨了村级间耕地规模化整理难易程度,并采用障碍诊断分析方法分析制约了耕地规模化整理的限制因素,以期为今后区域土地整理提供科学依据。结果表明:平山县村级耕地规模化整理潜力指数分布在 $[0.12, 0.9]$ 区间内,村级间差异较大,整体上由西北向东南依次递增;从耕地规模化整理分区结果来看,四级区的耕地面积最多(51.2%),其次为三级区(21.3%),五级区和二级区耕地面积总和与三级区相当,一级区的耕地面积最少(0.9%),分区等级越大耕地规模化整理越容易;整理由难变易时,主要障碍因素由耕地资源丰度(RI)和地形起伏度(RDLS)逐渐变为耕地聚集度(CI)和耕地资源丰度(RI)。

关键词: 耕地规模化整理; 景观格局; 潜力评价; 障碍诊断; 平山县

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)03-0308-06

Evaluation Method of Cultivated Land-scaled Consolidation Potential Based on Landscape Pattern Principle

ZHANG Hui, ZANG Liang, ZHAO Hongan, LI Ge, ZHU Yongming

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

Abstract: In this paper, eight indexes such as altitude, relief amplitude, patch area and extra, from two perspectives of terrain conditions and landscape pattern, have been selected to structure the potential evaluation index system of cultivated land-scaled consolidation. In order to provide a scientific basis for future regional land consolidation, Pingshan County is selected as the study area, and the complexity of cultivated land-scaled consolidation at village level is studied under the spatial analysis function of ArcGIS, and the limiting factors of cultivated land-scaled consolidation is analyzed by using the obstacle diagnosis method. The results show that the cultivated land-scaled consolidation potential index value distributes in $[0.12, 0.9]$, and differs greatly in villages. Furthermore, the index value increases overall from the northwest to the southeast. The partition results of cultivated land-scaled consolidation show that the cultivated land in the quaternary area is the largest (51.2%) and in the tertiary area is the second largest (21.3%). The total cultivated land area of the quinary area and the second area is equal to the tertiary area. The cultivated land in the first area is the least (0.9%). The greater degree of partitions is, the easier cultivated land-scaled consolidation is. When consolidation becomes easier, the major obstacle factors of cultivated land-scaled consolidation change from RI and RDLS to CI and RI.

Keywords: cultivated land-scaled consolidation; landscape pattern; potential evaluation; obstacle diagnosis; Pingshan County

土地规模化整理有利于改善我国耕地细碎化的现象,从而促进土地资源集中利用,促进农业规模化生产。国际农业发展进程表明,农业规模化、现代化发展不可避免^[1]。农业机械化是农业现代化最突出的表现,并且农业机械的广泛使用离不开农业规模化

经营,因此,土地资源集中利用是实现农业规模化生产必不可少的条件。我国为顺应这一趋势,从土地制度角度出发,通过实现土地经营权流转制度促进土地规模化^[2],但影响土地规模化整理的另一个客观条件是土地资源的自然格局。我国地貌类型丰富,形成不

同的景观格局,其中全国总面积的70%为山地^[3]。复杂的地形条件,造成耕地地块面积小且分散性较大,严重影响了农业生产中机械的使用,因此要研究不同区域土地规模化整理潜力,科学认识土地资源景观格局特征对农业规模化生产的影响。大多学者对土地规模化的研究主要集中在土地规模经营模式^[4-5]和规模经营适度值^[6-8]方面,本文从规模化整理潜力出发,研究土地资源能实现农业规模化经营的能力。

耕地规模化整理的根本目的是使耕地整理后尽量符合大机械作业条件,有利于规模化经营。影响耕地规模化整理的主要自然因素有两方面^[9],一方面是土地平整度,土地越平坦越有利于机械的大规模运作,另一方面是耕地地块形状和集中连片程度,耕地地块面积越大,越集中,越有利于规模化经营和管理,相反,地块越不规则越零碎则会给规模化经营带来诸多不便。因此耕地规模化整理中要考虑地形条件和耕地资源分布格局。本文从景观格局视角下构建耕地规模化整理潜力评价体系,并以平山县为研究区,计算在不同地形和景观格局下村级耕地规模化整理潜力指数,并对评价结果进行分区研究,探讨不同潜力等级内制约耕地规模化整理的障碍因素。其评价结果可作为平山县农地整理项目和土地利用总体规划的科学依据,也为其他区域研究耕地规模化整理潜力提供思路。

1 数据来源与处理

本文所需平山县土地整理数据和土地利用数据主要从石家庄市国土资源局、统计局、水利局等部门获得。主要包括:平山县县志、2014年《石家庄市统计年鉴》、近年来平山县土地整理项目、平山县2014年1:5万比例尺土地利用现状图、数字高程数据(DEM)250 m×250 m、土地利用总体规划等。

利用 ArcGIS 平台提取 2014 年平山县土地利用现状数据中的耕地(水田、水浇地、旱地)图斑,为耕地景观指数的计算做准备;处理平山县 DEM 数据,得到平山县高程数据和坡度数据;通过 ArcGIS 聚合工具将 DEM 图每 4×4 个像元融合为一个评价单元,为地形起伏度计算做准备。本文以平山县各行政村为评价单元,在对各指标进行计算后赋予村属性,进行最终结果的计算和分区。

2 研究方法

2.1 耕地规模化整理潜力评价

2.1.1 指标体系建立 本文在考虑地形条件对耕地规模化整理影响的基础上,引入景观格局指数来表现

耕地空间格局分布特征。景观格局是指不同类型斑块之间的空间组合形态或同一类型斑块的区域分布特征,耕地斑块的空间结构是景观格局的一种类型。从这两方面选取 8 项指标,构建平山县耕地规模化整理潜力评价指标体系,具体指标见表 1。

表 1 耕地规模化整理潜力评价指标体系

一级指标	二级指标
地形指标	高程指数(HI)
	坡度指数(SI)
	地形起伏度指数(RDLS)
景观格局指标	耕地斑块面积指数(AI)
	耕地资源丰度指数(RI)
	耕地斑块形状指数(DI)
	耕地聚集度指数(CI)
	边界密度(ED)

(1) 高程和坡度。地形条件是耕地非常重要的一个自然属性,与耕地利用关系紧密,本文高程指相对高程。与平原地区相比,山区的耕地会受到山体、河流、沟壑及其他用地的切割作用,使其空间分布呈现出地块多、地块面积小、地块形状不规则、分布零散等特征,严重影响了耕地利用的便捷度和生产效率。

一般认为,坡度在 0°~3°时为平地,机械运行平稳,是理想的机械作业地区;坡度在 3°~6°时为平缓坡地,机械运行稳定,适宜机械作业;坡度在大于 6°时,不利于农业机械作业,当大于 15°时,在很大程度上影响机械稳定性,极易侧翻,所以不适合农业机械的运行^[10]。除此之外,坡度大的地区在进行耕地整理工作时,工作量和成本将大大提高。

(2) 地形起伏度。地形起伏度在一定程度上反映耕地集中利用的难易程度,其值越小,越有利于小范围内耕地聚集,以及农业基础设施的建设;反之,较大的地形起伏度会对整个区域水热分布和土地资源利用格局产生影响。本文参考以往学者的研究方法^[11-12],最终选用国家人口与计划生育委员会计算人居环境适宜性评价中地形起伏度指数计算方法,计算公式如下:

$$RDLS = \frac{ALT}{1000} + \frac{\left\{ [\max(H) - \min(h)] \times \left[1 - \frac{P(A)}{A} \right] \right\}}{500} \quad (1)$$

式中:RDLS 表示地形起伏度;ATL 表示区域的平均高程; $\max(H)$, $\min(h)$ 表示区域最高和最低高程; $P(A)$ 表示区域内平地面积; A 表示区域总面积。

(3) 耕地斑块面积指数(AI)。

$$AI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (2)$$

式中: a_i 表示第*i*个耕地斑块的面积; n 表示耕地斑

块的总数量。AI代表一种平均状况,其值越大,则平均耕地斑块面积越大,相应的耕地规模化整理潜力越大;反之,耕地越细碎,整理潜力越小。

(4) 耕地资源丰度指数(RI)

$$RI = \frac{A_i}{A} \times 100 \quad (3)$$

式中: A_i 表示耕地总面积; A 表示统计区域总面积。该指标能够确定优势景观元素。在耕地规模化整理潜力评价中,该指标越大,表示本地区耕地所占比例越多,即耕地规模化整理潜力越大。

(5) 耕地斑块形状指数(DI)。通常情况下,农业机械在趋于方形的耕地上更便于操作,因此选取景观指数中的方度指数来体现耕地斑块趋于方形的程度。为增加该指数的敏感性,本文对其进行修正^[13],修正后的方度指数计算公式如下:

$$DI = \left(\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{4\sqrt{a_i}} \right) / n \quad (4)$$

式中: L_i 表示第*i*个耕地斑块的周长。DI的取值 ≥ 1 ,当DI值趋于1时,耕地斑块越接近正方形,规模化整理潜力越大;反之,随DI值增大,耕地形状越复杂,越不适宜农业机械作业。

(6) 耕地聚集度指数(CI)。

$$CI = \frac{1}{F_i} = \frac{S_i}{G_i} \quad (5)$$

式中: F_i 表示景观分离度指数, $F_i = \frac{G_i}{S_i}$,其中: $G_i = \frac{1}{2\sqrt{n/A}}$, $S_i = \frac{A_i}{A}$ 。CI采用景观分离度指数的倒数表示。景观分离度指数表示斑块的分散程度,分离度越大斑块的空间分布越分散,聚集度越低,即耕地规模化整理潜力越小。

(7) 边界密度(ED)。

$$ED = \frac{E_i}{A_i} \times 10^6 \quad (6)$$

式中: E_i 表示耕地斑块边界总长度。ED是景观类型周长与类型面积的比例,是对一个景观类型单位面积所拥有的周长度量。其值越大,则表明单位面积的耕地被割裂程度越严重,造成耕地斑块数量增多,破碎化严重;反之,耕地集聚程度越高,整体性越完好,连通性越高。

2.1.2 指标标准化 不同评价指标对最终结果会产生正效应和负效应两种情况,为使指标对目标产生相同效应并便于计算,本文引入指标极大值对其标准化处理。

$$\text{对于正效益型指标: } Z_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{j\max}}$$

$$\text{对于负效益型指标: } Z_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_{j\max}}$$

式中: $x_{j\max}$ 表示*j*指标最大值; x_{ij} 表示变量初始值。指标通过标准化后, Z_{ij} 值在 $[0, 1]$ 区间,即对目标评价都是正效益型。本文中所建指标体系中正效益指标有耕地资源丰度指数、耕地斑块面积指数、耕地聚集度指数;负效益指标有耕地方度指数、边界密度、平均坡度、地形起伏度和平均高程。

2.1.3 指标权重 采用均方差权重决策法求得指标权重值不受人为主观因素的影响,是由数据内在联系决定的,该方法具有较强的操作性和客观性。首先取各项指标平均值 $E(I_j)$,然后根据下列公式计算各项指标的均方差:

$$\sigma(I_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [z_{ij} - E(I_j)]^2} \quad (7)$$

最后计算权重方法如下:

$$W_j = \frac{\sigma(I_j)}{\sum_{j=1}^m \sigma(I_j)} \quad (8)$$

2.1.4 结果评价 采用多因素加权综合评价模型计算评价结果,计算公式如下:

$$U = \sum_{j=1}^m K_j \times W_j \quad (9)$$

式中: K_j 表示*j*指标标准化值; m 表示指标数; U 表示耕地规模化整理潜力指数。

2.2 耕地规模化整理障碍因子诊断

障碍诊断方法能够分析制约耕地规模化整理的关键性限制因素。本文采用基于指标偏离度的障碍诊断模型计算不同评价单元各项指标对目标的障碍度^[14]。障碍度越大,表示该项指标对耕地规模化整理影响程度越深,计算公式如下:

$$A_j = \frac{B_j W_j}{\sum_{j=1}^m B_j W_j} \times 100\% \quad (10)$$

式中: A_j 表示*j*指标对耕地规模化整理的障碍度; W_j 表示*j*指标权重; B_j 表示指标偏离度, $B_j = 1 - Z_{ij}$,表现为单项指标因素标准化值与100%之差; W_j 和 Z_{ij} 分别表示指标权重与标准化值,计算方法与上述相同。

3 实证研究

3.1 研究区土地资源概况

平山县位于河北中南部,隶属于石家庄市,辖10个镇、13个乡、673个村。平山县是典型的山区县,东南部为平原,西部为高山丘陵区,地势整体上由西向东逐渐降低。截至2014年,平山县土地总面积为264 365.42 hm²,其中耕地占17.93%,未利用地最多,占70.74%。大部分耕地分布在东部平原区和西部山谷平坦地,其中78.64%的耕地分布在高程300 m以下的区域,高程大于1 000 m的耕地仅占1.82%。

由于该县山地丘陵较多,沟壑纵横的复杂地形使得平山县土地开发利用困难重重。

3.2 评价结果和分析

3.2.1 平山县耕地规模化整理潜力指数与分区 首先根据公式(1)~(6)计算各评价单元耕地规模化整理评价指标初始值,并进行标准化处理;其次根据公

式(7),(8)计算各指标权重得: $\{HI, SI, RDLS, AI, RI, DI, CI, ED\} = \{0.12, 0.18, 0.21, 0.03, 0.28, 0.04, 0.11, 0.03\}$;最后根据公式(9)计算平山县各村耕地规模化整理潜力指数。根据评价结果,将平山县耕地规模化整理潜力按照等值区间划分为 5 个级别,用以判别整理的难易程度。分区结果见表 2,图 1。

表 2 平山县耕地规模化整理潜力分区

潜力级别	指数范围	难易程度	涉及村庄/个	土地面积/hm ²	占总面积比例/%	耕地面积/hm ²	占耕地比例/%
一级	[0,0.2]	很困难	18	16080.92	6.2	412.47	0.9
二级	(0.2,0.4]	较困难	200	124807.16	49	7493.08	15.8
三级	(0.4,0.6]	一般	177	60823.99	23.9	10094.48	21.3
四级	(0.6,0.8]	较容易	224	46300.53	18.2	24278.64	51.2
五级	(0.8,1.0]	很容易	54	6822.24	2.7	5111.09	10.8

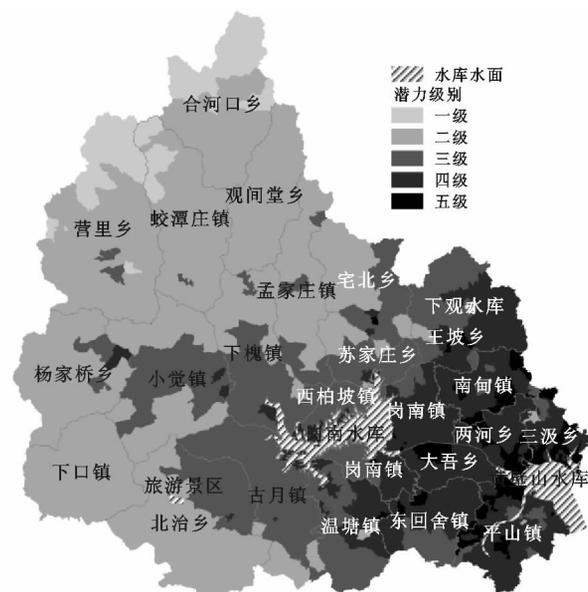


图 1 平山县耕地规模化整理潜力分区

从评价结果来看,平山县村级耕地规模化潜力指数分布在 $[0.12, 0.9]$ 区间内,村级间差异较大,整体上由西北向东南依次递增。其中,潜力最大的是位于东部三汲乡的东白家岸和田营村;潜力最小的是位于西部山区营里乡的石槽村和万里村。大部分村庄耕地规模化整理属于较容易和较困难级别。其中,较容易的村庄个数最多(224 个),耕地面积最大;较困难的村庄虽然土地面积最多,占到全县的 49%,但其耕地面积较少,占耕地总面积的 15.8%。规模化整理很容易和很困难的村庄较少,共 72 个。其中,规模化整理很困难的村庄耕地面积最少,仅占耕地总面积的 0.9%。剩余 177 个村庄耕地规模化整理难易程度一般,耕地所占比例较大,为 21.3%。

3.2.2 障碍因子诊断 根据公式(10)计算行政村各评价指标对耕地规模化整理的障碍度,将计算结果由大到小排序,障碍度越大的序号越小,认为排序为 1,

2 的指标是该评价单元耕地规模化整理的主要障碍因子。在上述潜力分区的基础上,统计某一分区内不同位序上各障碍因子的频数(村个数),统计结果见图 2。根据众数原则,某一因素出现频数最高时所对应的位序是该分区内这一因素的排序,统计在不同分区内评价指标障碍度排序,并确定主要障碍因子,统计结果见表 3。

(1) 一级整理区。结合耕地规模化整理潜力分区图(图 1),该整理区村庄位于营里乡、蛟潭庄镇和合河口乡西北部。耕地规模化整理的主要障碍因子是 RI 和 RDLS,其中,各评价单元 RI 均小于 5%,RDLS 均大于 1.5。无论是该地区的地形条件还是耕地景观格局已严重制约了耕地集中利用,因此该区域不宜耕地规模化整理。

(2) 二级整理区。该整理区大部分位于岗南水库西部,包括观音堂乡、下口镇的全部和合河口乡、蛟潭庄镇、营里乡、杨家桥乡、北治乡、孟家庄镇的大部分以及宅北乡、苏家庄乡、下槐镇、小觉镇、古月镇的小部分村庄。同一级整理区,耕地规模化整理的主要障碍因子是 RI 和 RDLS,其中,大部分评价单元 RI 小于 15%,RDLS 在 1 左右。该区域耕地规模化整理较困难,复杂的地形条件制约了耕地面积的增加,且整理需投入大量资金,因此在项目实施前应做好充分的效益评估。

表 3 平山县各潜力分区障碍因子排序

潜力分区	障碍因子							
	HI	SI	RDLS	AI	RI	DI	CI	ED
一级	5	3	2	6	1	7	4	8
二级	5	4	2	6	1	7	3	8
三级	6	4	3	5	1	7	2	8
四级	5	7	8	3	1	4	2	6
五级	5	7	8	3	2	4	1	6

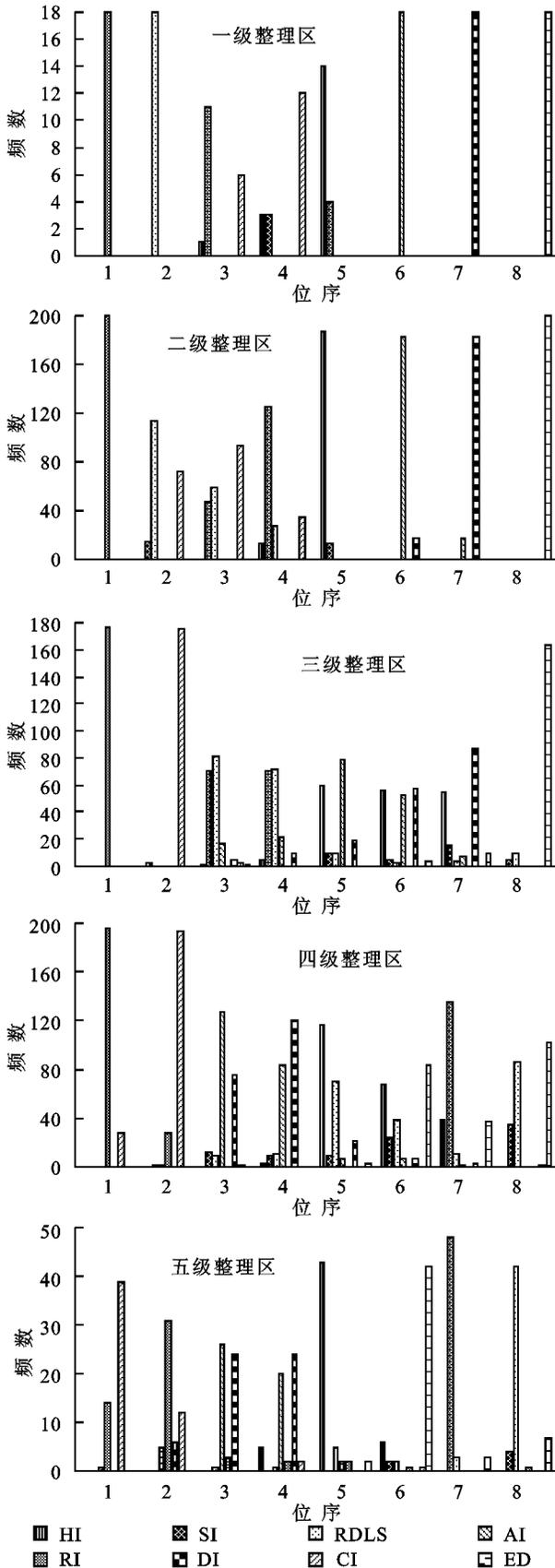


图 2 不同潜力分区各位序障碍因子频数

(3) 三级整理区。该整理区环绕岗南水库北、西、南三面。涉及村庄分布广泛,包括古月镇、温塘镇、小觉镇、下槐镇、西柏坡镇、苏家庄乡、宅北乡的大

部分和王坡乡、孟家庄镇、北冶乡、岗南镇、东回舍镇的小部分及杨家桥乡、营里乡、平山镇等个别村庄。耕地规模化整理的主要障碍因子是 RI 和 CI,其中,大部分评价单元 RI 大于 15%,且 CI 小于 0.5。RDLS 对该区域耕地规模化整理的影响程度有所降低。耕地规模化整理一方面要以增加耕地面积为目的,另一方面要提高耕地聚集度,扩大原有耕地规模。

(4) 四级整理区。该整理区大部分位于岗南水库东部。涉及村庄分布较集中,包括王坡乡、南甸镇、岗南镇、两河乡、三汲乡、大吾乡、平山镇、东回舍镇、温塘镇的大部分和杨家桥乡、宅北乡、苏家庄乡等个别村庄。同三级整理区,耕地规模化整理的主要障碍因子是 RI 和 CI,其中,大部分评价单元 RI 达到 50% 以上,CI 跨度范围较大。其他障碍因子排序发生了较大的改变,尤其是 RDLS 由原来的前 3 位变为第 8 位,可知该指标对耕地规模化整理的影响程度显著减弱。该整理区平均相对高程小于 300 m,有利于耕地集中利用,对部分 RI 较小的村庄耕地规模化整理时以增加耕地面积为主,并提高聚集度。

(5) 五级整理区。该整理区整体分布在岗南水库东部。涉及村庄分布较分散,包括南甸镇、两河乡、三汲乡、大吾乡、东回舍镇、平山镇的个别村庄。同四级整理区,耕地规模化整理的主要障碍因子是 CI 和 RI,但 CI 制约耕地规模化整理程度最深,其值均小于 0.5,其他障碍因子排序同四级整理区。该整理区地形条件良好,主要通过提高耕地聚集度来实现耕地规模化经营。

4 结论

(1) 平山县耕地受地形条件和空间分布格局的影响,其规模化整理潜力差异性较大,整体上由西北向东南依次增大。以岗南水库纵向为界,大部分耕地分布在岗南水库东部,该区域海拔较低、坡度较平缓,耕地规模化整理比较容易;岗南水库西部地区地形起伏度较大,耕地数量少且分散性较大,尤其是营里乡、蛟潭庄镇和合河口乡的西北部,其海拔大于 1 000 m,耕地资源丰度指数均小于 5%,严重制约了耕地规模化整理。

(2) 平山县村级耕地规模化潜力指数分布在 [0.12, 0.9] 区间内,村级间差异较大。其中,潜力最大的是位于东部三汲乡的东白家岸和田营村;潜力最小的是位于西部山区营里乡的石槽村和万里村。耕地规模化整理较容易的村庄数目最多,为 224 个,耕地所占比例最大,为 51.2%;耕地规模化整理很困难的村庄数目最少,为 18 个,耕地所占比例最小,为 0.9%。

(3) 影响平山县耕地规模化整理的主要障碍因子随规模化整理难易程度而改变。整理由难变易时,

主要障碍因素由耕地资源丰度(RI)和地形起伏度(RDLS)逐渐变为耕地聚集度(CI)和耕地资源丰度(RI)。表明在不同地形条件下,耕地资源丰度都是制约平山县耕地规模化整理的主要障碍因子;不同整理区的耕地规模化整理主要侧重点不同,可为今后区域土地整理提供科学依据。

参考文献:

- [1] 罗明,张惠远. 土地整理及其生态环境影响综述[J]. 资源科学,2002,24(2):60-63.
- [2] 曹可成. 论规模化经营在新农村建设中的地位[J]. 西安财经学院学报,2007,20(1):65-68.
- [3] 钟祥浩,余大富,郑霖,等. 山地学概论与中国山地研究[J]. 成都:四川科学技术出版社,2000.
- [4] 赵亚南,陈英,刘书安,等. 西北地区农地适度经营规模研究[J]. 中国农学通报,2014,30(26):53-57.
- [5] 李文安,马文起. 河南农业土地规模经营模式及效益分析[J]. 南都学坛:南阳师范学院人文社会科学学报,2012,32(4):98-101.
- [6] 金生霞,陈英,杨倩倩,等. 河西走廊农地适度经营规模计量研究:基于578农户调查的研究[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(11):6-11.
- [7] 周厚智,杨钢桥. 基于农户调查的农地适度经营规模研究:以长沙市两个郊区县为例[J]. 湖北农业科学,2012,51(6):1274-1277.
- [8] 袁小慧,华彦玲,王凯. 江苏省农户水稻适度规模经营模式创新研究[J]. 江苏农业学报,2014,30(3):645-653.
- [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(2):300-306.
- [10] 汤国安,宋佳. 基于DEM坡度图制图中坡度分级方法的比较研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):157-160,192.
- [11] 陈珂,黄小羽,罗明良. 基于ASTER GDEM的县域尺度地形起伏度分析:以华蓥市为例[J]. 遥感信息,2014(5):69-72.
- [12] 封志明,张丹,杨艳昭. 中国分县地形起伏度及其与人口分布和经济发展的相关性[J]. 吉林大学社会科学学报,2011,51(1):146-151.
- [13] 吴良林,周永章,陈子,等. 基于GIS与景观生态原理的土地资源规模化潜力评价[J]. 资源科学,2007,29(6):146-153.
- [14] 李春燕,南灵. 陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J]. 中国土地科学,2015(4):72-81.
- [13] 余振国,胡小平. 我国粮食安全与耕地的数量和质量关系研究[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(3):45-49.
- [14] 金姝兰,侯立春,徐磊. 长江中下游地区耕地复种指数变化与国家粮食安全[J]. 中国农学通报,2011,27(17):208-212.
- [15] HualinXIE,GuiyingLIU. 1998—2012年中国耕地复种指数时空差异及动因[J]. 地理学报,2015,70(4):604-614.
- [16] 翟荣新,刘彦随. 20世纪90年代以来中国粮食生产的区域格局变动[J]. 中国农业资源与区划,2008,29(6):49-54.
- [17] 金涛,陆建飞. 江苏省耕地变化与粮食生产地域分化[J]. 农业现代化研究,2011,32(4):405-408.
- [18] 毕安平,朱鹤健. 基于PSR模型的水土流失区生态经济系统耦合研究:以朱溪河流域为例[J]. 中国生态农业学报,2013,21(8):1023-1030.
- [19] 宋振江,杨俊,李争. 基于PSR模型的耕地生态安全评价研究:以长江中下游粮食主产区为例[C]//2016中国新时期土地资源科学与新常态创新发展战略研讨会暨中国自然资源学会土地资源研究专业委员会30周年纪念会论文集,2016:641-649.
- [20] 叶文虎,全川. 联合国可持续发展指标体系述评[J]. 中国人口·资源与环境,1997,7(3):83-87.
- [21] 冷疏影,李秀彬. 土地质量指标体系国际研究的新进展[J]. 地理学报,1999,54(2):177-185.
- [22] 殷克东,赵昕,薛俊波. 基于PSR模型的可持续发展研究[J]. 软科学,2002,16(5):62-66.
- [23] 李争,朱青,花明,等. 基于PSR模型的江西省生态文明建设评价[J]. 贵州农业科学,2014,42(12):249-252.
- [24] 颜利,王金坑,黄浩. 基于PSR框架模型的东溪流域生态系统健康评价[J]. 资源科学,2008,30(1):107-113.
- [25] 吕建树,吴泉源,张祖陆,等. 基于RS和GIS的济宁市土地利用变化及生态安全研究[J]. 地理科学,2012,32(8):928-935.
- [26] 黄伟生,彭佩钦,苏以荣,等. 洞庭湖区耕地利用方式对土壤活性有机碳的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(3):756-760.
- [27] 赵宏波,马延吉. 东北粮食主产区耕地生态安全的时空格局及障碍因子:以吉林省为例[J]. 应用生态学报,2014,25(2):515-524.
- [28] 王千,金晓斌,周寅康. 河北省耕地生态安全及空间聚集格局[J]. 农业工程学报,2011,27(8):338-344.
- [29] 徐辉,雷国平,崔登攀,等. 耕地生态安全评价研究:以黑龙江省宁安市为例[J]. 水土保持研究,2011,18(6):180-184.
- [30] 贾书楠,孙睿,夏显力,等. 西安市耕地生态安全测度及影响因素分析[J]. 水土保持研究,2016,23(3):164-169.
- [31] 岳秋丽,刘传林. 基于PSR模型的江苏省城市土地集约利用评价[J]. 水土保持研究,2016,23(3):176-179.

(上接第307页)