

黄土丘陵沟壑区耕地细碎化评价与土地整治工程分区 ——以吴起县为例

王 祯¹, 吴金华¹, 白 帅¹, 王海洋¹, 陈英杰²

(1. 长安大学 土地工程学院, 西安 710054; 2. 长安大学 地球科学与资源学院, 西安 710054)

摘 要:为研究黄土丘陵沟壑区耕地细碎化的特征,提高农业机械化水平,以延安市吴起县为研究区,以行政村为单元,基于 ArcGIS 与 Fragstats 软件,运用景观指数、地理探测器等方法评价了吴起县的耕地细碎化程度,分析影响因素,并划分土地整治工程分区。结果表明:(1) 吴起县耕地综合细碎化程度总体较高,各程度细碎化的行政村数量排序为中度细碎>重度细碎>轻度破碎。轻度细碎化集中分布于吴起县北部,重度细碎化主要分布在中部、南部、西南部,中部地区的重度细碎化呈现出西北—东南走向的条带状。吴起县耕地细碎化的主要类型为面积细碎化,形状细碎化与分布细碎化程度相对较低。(2) 吴起县耕地综合细碎化的主要影响因素为高程、坡度、距河流的距离、距农村居民点的距离,影响力大小排序为距河流的距离>坡度>高程>距农村居民点的距离。坡度、距河流距离分别与距农村道路距离、距农村居民点距离有很强的交互作用。(3) 基于耕地细碎化评价与影响因素分析结果,划分土地权属调整区、土地平整工程主导区、农田水利工程主导区、农村道路工程主导区、土地工程综合整治区共 5 个整治工程分区,为吴起县耕地细碎化整治提供方向性引导。可见,吴起县耕地细碎化水平较高,空间异质性较强,主要受地形、水源、耕作便利性等多因素影响,需要以权属调整、土地整治等手段改善。

关键词:耕地细碎化; 土地整治工程分区; 景观指数; 地理探测器; 黄土丘陵沟壑区

中图分类号:S341.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)04-0300-08

Evaluation of Cultivated Land Fragmentation and Land Consolidation Engineering Zoning in the Loess Hilly and Gully Region — A Case Study in Wuqi County

WANG Zhen¹, WU Jinhua¹, BAI Shuai¹, WANG Haiyang¹, CHEN Yingjie²

(1. School of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to study the characteristics of cultivated land fragmentation in the loess hilly and gully area and improve the level of agricultural mechanization, Wuqi County, Yan'an City, was taken as the research area, the administrative village was taken as the unit, based on ArcGIS and Fragstats software, landscape index, Geodetector and other methods are used to evaluate the degree of cultivated land fragmentation in Wuqi County, to analyze the influencing factors, and to divide land consolidation engineering area. The results show that: (1) the degree of comprehensive fragmentation of cultivated land in Wuqi County is generally high, and the sequence of the number of administrative villages is medium fragmentation>severe fragmentation>slight fragmentation; slight fragmentation concentrates in the northern part of Wuqi County, and severe fragmentation mainly distributes in the central, southern and southwestern parts; the severe fragmentation in the central area presents a northwest-southeast trending strip; the main type of cultivated land fragmentation in Wuqi County is area fragmentation, and the degree of shape fragmentation and distribution fragmentation is relatively low; (2) the main factors influencing the comprehensive fragmentation of cultivated

收稿日期:2021-06-10

修回日期:2021-06-17

资助项目:国家自然科学基金面上项目“基于坡位特征的黄丘区坡面植被恢复评价及模型构建”(41871190)

第一作者:王祯(1996—),男,云南昆明人,硕士研究生,研究方向为土地保护与土地整治。E-mail:724492594@qq.com

通信作者:吴金华(1965—),女,陕西西安人,博士,教授,主要从事土地信息系统与土地利用规划研究。E-mail:jinghuaw@chd.edu.cn

land in Wuqi County are elevation, slope, distance from the river, and distance from rural residential areas; the order of influence is distance from river > slope > elevation > distance from rural residential areas; the slope and the distance from the river have a strong interaction with the distance from rural roads and the distance from rural residential areas, respectively; (3) based on the evaluation of cultivated land fragmentation and analysis of influencing factors, a total of 5 areas are divided into land ownership adjustment area, land leveling engineering area, farmland water conservancy engineering area, rural road engineering area, and land engineering comprehensive consolidation area, which can provide directional guidance for remediation of cultivated land fragmentation in Wuqi County. The cultivated land in Wuqi County has a high level of fragmentation and strong spatial heterogeneity. It is mainly affected by multiple factors such as terrain, water source, and farming convenience. It needs to be improved by means of ownership adjustment and land consolidation.

Keywords: cultivated land fragmentation; land consolidation engineering zoning; landscape index; Geodetector; loess hilly and gully area

耕地细碎化是由于自然或人为割裂因素,耕地被分成零碎的、分散的、大小不一的几块,而呈现出分散和无序的状态^[1]。家庭联产承包责任制的实施带来了我国农业的快速发展,也带来了相当严重的耕地细碎化问题^[2-3]。耕地细碎化一定程度上促进了作物的多元化种植^[4],另一方面也提高了使用机械的物质费用,阻碍农业机械化、规模化发展;同时,耕地细碎化造成了生产资料浪费,降低了农业生产效率与耕地利用效率,不利于耕地的节约集约利用^[5-7]。在国土空间规划与全域综合整治背景下,研究耕地细碎化的评价与整治分区,可为区域耕地利用优化布局提供科学依据,对提高存量耕地的质量、促进耕地集约与规模利用具有重要的理论意义与实际价值。

近年来,国内外学者对耕地细碎化的评价^[8-13]、影响因素^[8-13]、产生的效应^[14-16]、整治^[17-24]做大量的研究。综合来看,我国的耕地细碎化研究主要集中于华东与华北,西北黄土丘陵沟壑区的研究较少;同时,耕地细碎化整治的研究以整治模式探讨^[19-21]和整治工程效益^[22-24]居多,整治工程分区研究相对较少。因此,以黄土高原梁状丘陵沟壑区的吴起县为研究区,行政村为评价与分区单元,基于景观视角,采用景观指数、层次分析法、地理探测器等方法,研究吴起县耕地细碎化的空间格局与影响因素,为耕地细碎化的土地整治工程提供分区引导,为相关政策的制定提供科学依据。

1 研究区概况

吴起县位于陕西省西北部,介于东经 107°38′57″—108°32′49″,北纬 36°33′33″—37°24′27″,总面积 3 788.56 km²,属于黄土高原梁状丘陵沟壑区。境内有无定河与北洛河两大流域,地形主体结构为“八川二涧两大山区”,平均海拔约 1 524 m。从 1998 年开

始实施退耕还林政策,林草覆盖率从 1997 年的 19.2% 提高到 2018 年的 72.9%,被誉为“退耕还林第一县”。据《延安统计年鉴 2017》,2017 年年末,吴起县总人口 145 990 人,其中非城镇人口 98 585 人,占总人口的 67.53%;耕地面积为 438.05 km²,其中基本农田面积 324.00 km²,高标准农田面积 10.09 km²,分别占耕地总面积的 73.96%,2.30%。

2 数据与方法

2.1 数据来源与数据预处理

(1) 研究区基础要素矢量数据。研究区基础要素包括行政区范围、行政村边界、耕地、河流、公路、农村道路、城镇、农村居民点等,来源于吴起县 2017 年土地变更调查数据。在 ArcGIS 中将吴起县 165 个行政村编号后与耕地相交,获得分行政村的耕地矢量。将耕地转为 5 m×5 m 的栅格数据,用于在 Fragstats 计算景观指数。河流、公路、农村道路、建制镇、农村居民点数据使用 ArcGIS 中欧氏距离模块生成行政区范围内距离河流、公路、农村道路、建制镇、农村居民点的 5 m×5 m 的栅格数据,使用耕地矢量范围进行掩膜提取,使用行政村数据进行分区平均统计,获得各行政村范围内耕地与河流、公路、农村道路、建制镇、农村居民点的平均距离,用于影响因素分析。

(2) 30 m 空间分辨率 DEM 数据。来源于地理空间数据云平台 (<http://www.gscloud.cn>),计算坡度后使用行政村数据分别对高程、坡度进行分区平均统计,用于影响因素分析。

2.2 研究方法

2.2.1 耕地细碎化评价方法

(1) 指标选取与指标体系构建。参考前人^[8,17]研究,在 Fragstats 中计算吴起县各行政村耕地的斑

块总面积(Total landscape area,TA)、斑块数(Number of patches,NP)、斑块密度(Patch density,PD)、最大斑块指数(Largest patch index,LPI)、边缘密度(Edge density,ED)、景观形状指数(Landscape shape index,LSI)、平均斑块面积(Mean patch size,MPS)、平均斑块形状指数(Mean shape index,MSI)、平均周长面积比(Mean perimeter-area ratio,MPARA)、平均最近邻距离(Mean nearest-neighbor distance,MNN)、聚合指数(Aggregation index,AI)、景观分割

度(Landscape division index,DIVISION)、面积加权平均形状指数(Area-weighted mean shape index,AWMSI)、破碎化指数(Fragmentation indices of patch shape,FS)。将指标分为面积指数、形状指数、分布指数 3 类,运用变异系数-R 聚类法,结合吴起县实际,确定使用平均斑块面积(MPS)、斑块密度(PD)、面积加权平均形状指数(AWMSI)、平均周长面积比(MPARA)、平均最近邻距离(MNN)、破碎化指数(FS)构建耕地细碎化指标体系(表 1)。

表 1 耕地细碎化指标体系

指标类型	指标名称	计算方法	指标含义
面积指数	平均斑块面积(MPS)	$MPS = \frac{A}{N}$ 式中: A 为耕地斑块总面积; N 为耕地斑块总数	平均斑块面积用于表示区域内耕地斑块的平均大小,是耕地细碎化最直观的反映。区域内耕地总面积越小,耕地斑块数越多,平均斑块面积越小,耕地细碎化程度越高,为负向指标
	斑块密度(PD)	$PD = \frac{N}{A}$ 式中: A 为区域土地总面积; N 为耕地斑块总数	斑块密度用于表示区域单位面积上的耕地斑块数量,区域面积越小,耕地斑块数越多,斑块密度越大,耕地细碎化程度越高,为正向指标
	面积加权平均形状指数(AWMSI)	$AWMSI = \sum_{i=1}^n \left(\frac{0.25 P_i}{\sqrt{a_i}} \times \frac{a_i}{A} \right)$ 式中: n 为耕地斑块数量; P_i 为第 i 块耕地斑块的周长; a_i 为第 i 块耕地图斑的面积; A 为耕地总面积	面积加权平均形状指数用于表示面积加权下耕地斑块形状趋近于方形的程度,其值 ≥ 1 。当面积加权平均形状指数为 1 时,表示耕地斑块为简单的方形。耕地斑块形状越复杂,其值越大,耕地细碎化程度越高,为正向指标
	形状指数		
形状指数	平均周长面积比(MPARA)	$MPARA = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{N}$ 式中: N 为耕地斑块总数; P_i 为第 i 块耕地斑块的周长; a_i 为第 i 块耕地图斑的面积	以耕地斑块周长与面积的关系反映耕地斑块形状的复杂程度。耕地斑块周长越大,面积越小,形状越复杂,平均周长面积比越大,耕地细碎化程度越高,为正向指标
	平均最近邻距离(MNN)	$MNN = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{N}$ 式中: h_i 为每个耕地斑块和距离自身最近的耕地斑块中心点之间的欧氏距离; N 为耕地斑块总数	平均最近邻距离反映了耕地斑块在区域内分布状况。其值越大,耕地斑块之间的平均距离越大,区域内耕地斑块分布越离散,耕地细碎化程度越高,为正向指标
	分布指数		
分布指数	破碎化指数(FS)	$FS = 1 - \frac{1}{MSI}$ $MSI = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{0.25 P_i}{\sqrt{a_i}}}{N}$ 式中: MSI 是平均形状指数; n 为耕地斑块数量; P_i 为第 i 块耕地斑块的周长; a_i 为第 i 块耕地图斑的面积	用于衡量区域内耕地斑块的破碎程度。其值越大,耕地细碎化程度越高,为正向指标。

(2) 指标权重计算。采用熵权法各指标的权重。熵权法可以极大程度地保留指标的差异信息,进而区分指标的重要性^[25]。

使用熵权法计算权重需要对指标进行标准化与正向化处理。依据所选取耕地细碎化指标的正负性,对 6 个指标进行标准化,表达式为:

$$P_{ij} = \begin{cases} (X_{ij} - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min}), & \text{正向指标} \\ (X_{i\max} - X_{ij}) / (X_{i\max} - X_{i\min}), & \text{负向指标} \end{cases} \quad (1)$$

式中: P_{ij} 为指标 i 第 j 个行政村标准化后的数值; X_{ij}

为指标 i 第 j 个行政村的原始数值; $X_{i\max}$ 为指标 i 中所有行政村原始数值的最大值; $X_{i\min}$ 为指标 i 中所有行政村原始数值的最小值。

运用熵权法求取每个指标的总体权重,表达式为:

$$e_i = -\frac{1}{\ln n} \times \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (2)$$
$$W_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^m e_i} \quad (3)$$

式中: e_i 为指标 i 的信息熵; n 为指标个数; W_i 为指标 i 的总体权重; m 为行政村的个数。

根据总体权重计算结果,分别计算各细碎化类型的权重以及各类型各指标的层内权重,表达式为:

$$F_k = \sum_{l=1}^q W_{lk} \tag{4}$$

$$C_{lk} = \frac{W_{lk}}{F_k} \tag{5}$$

式中: k 为细碎化类型,包括面积细碎化、形状细碎化与分布细碎化; F_k 为分类型权重; l 为某种细碎化类型内的指标; q 为某细碎化类型包含指标总数; W_{lk} 为类型 k 第 l 个指标的总体权重; C_{lk} 为类型 k 第 l 个指标的层内权重。

(3) 耕地细碎化指数计算。基于指标体系和权重计算结果,分别计算各行政村的面积细碎化指数、形状细碎化指数、分布细碎化指数和综合细碎化指数,表达式为:

$$R_{kj} = \sum_{l=1}^q C_{lk} \times P_{lkj} \tag{6}$$

$$Q_j = \sum_{k=1}^S R_{kj} \times F_k \tag{7}$$

式中: S 为细碎化类型的数量; R_{kj} 为类型 k 第 j 个行政村的细碎化指数; P_{lkj} 为类型 k 第 l 个指标第 j 个行政村标准化后的数值; Q_j 为综合细碎化指数。

2.2.2 耕地细碎化的影响因素研究 地理探测器是探测空间分异性,以及揭示其背后驱动力的一组统计学方法。其核心思想是假设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。参考前人^[12-13]研究,结合土地整治工程可提升性,分地形、水源、交通 3 个维度,选取高程(X_1)、坡度(X_2)、距农村居民点距离(X_3)、距城镇距离(X_4)、距河流距离(X_5)、距公路距离(X_6)、距农村道路距离(X_7)作为探测因子,运用地理探测器中的分异与因子探测器、交互作用探测器探测每个因子对耕地细碎化影响程度的大小以及因子间的交互作用。

(1) 分异及因子探测器。探测 Y 的空间分异性,以及探测某因子 X 多大程度上解释了属性 Y 的空间分异。用 q 值度量,表达式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \tag{8}$$

式中: $h=1, \dots, L$ 为变量 Y 或因子 X 的分层,即分类或分区; N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数; σ_h^2 和 σ^2 分别是层 h 和全区的 Y 值的方差。 q 的值域为 $[0, 1]$, q 值越大表示自变量 X 对属性 Y 的解释力越强,反之则越弱, q 值可表示 X 解释了 $100 \times q\%$ 的 Y 。 q 值为 1 表明因子 X 完全控制了 Y 的空间分布, q 值为 0 则表明因子 X 与 Y 没有任何关系。

(2) 交互作用探测。识别两个不同因子 X_1 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 Y 的解释力,或这些因子对 Y 的影响是相互独立的。方法是首先分别计算两种因子 X_1 和 X_2 对 Y 的 q 值,并计算它们交互时的 q 值,对 $q(X_1)$, $q(X_2)$ 与 $q(X_1 \cap X_2)$ 进行比较。两个因子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、非线性增强 6 类^[26]。

2.2.3 耕地细碎化土地整治工程分区 土地整治能够在一定层面消除那些导致土地细碎化的不合理因素,促成土地适度成规模^[23]。土地整治工程分区的依据为:

(1) 土地整治工程措施。针对具体细碎化问题采取不同的工程措施,目前土地整治措施主要有土地平整、农村道路工程、农田水利建设等。

(2) 土地权属调整模式。基于村民自治的自组织机制,构建土地整治工程与地块互换、地块合并和土地流转等土地权属调整方式为核心的耕地细碎化整治模式,是当前耕地细碎化治理的有效手段^[19, 21]。

综合土地整治工程与权属调整措施,结合不同行政村耕地细碎化程度与主导限制因子,对吴起县耕地细碎化进行土地整治工程分区。

3 结果与分析

3.1 耕地细碎化评价

3.1.1 权重计算结果 基于熵权法,计算耕地细碎化的分类型权重以及各指标的层内权重与总体权重,见表 2。

表 2 权重计算结果

指标类型	指标	分类型 权重(F_k)	层内权重 (C_{lk})	总体 权重(W_i)
面积指数	PD	0.2542	0.8238	0.2094
	MPS		0.1762	0.0448
形状指数	AWMSI	0.3727	0.2015	0.0751
	MPARA		0.7985	0.2976
分布指数	MNN	0.3731	0.8998	0.3357
	FS		0.1002	0.0374

3.1.2 耕地细碎化指数计算结果 根据景观指数与权重计算结果,计算吴起县耕地的各类型细碎化与综合细碎化,计算结果见表 3。

表 3 细碎化指数计算结果

指标类型	最大值	最小值	平均值	标准差
面积指数	0.9718	0.1009	0.4899	0.1676
形状指数	0.8673	0.0655	0.3305	0.1321
分布指数	0.9301	0.0486	0.3009	0.1450
综合指数	0.5894	0.1177	0.3600	0.0778

根据细碎化指数计算结果,面积指数、形状指数、分布指数、综合指数中,面积指数的平均值和标准差均最大,表明吴起县耕地面积细碎化数据偏大,离散程度较高;形状指数与分布指数的数值相对较小,离散程度也更低。经过综合计算,吴起县耕地细碎化的数据特征较分类型细碎化趋于集中,极差缩小,标准差降低,表明吴起县耕地细碎化在不同行政村有不同的表现,包括耕地面积小、斑块数量多、形

状复杂、分布离散等。综合细碎化指数虽然可以综合评价耕地细碎化程度,但容易掩盖不同细碎化类型的特征,因此在评价时也需要分析面积指数、形状指数与分布指数。

3.1.3 耕地细碎化评价与分析 根据耕地细碎化指数计算结果,运用自然断点法将各类型细碎化评价结果分为轻度细碎、中度细碎、重度细碎 3 个等级,绘制吴起县耕地细碎化程度分布图(图 1)。

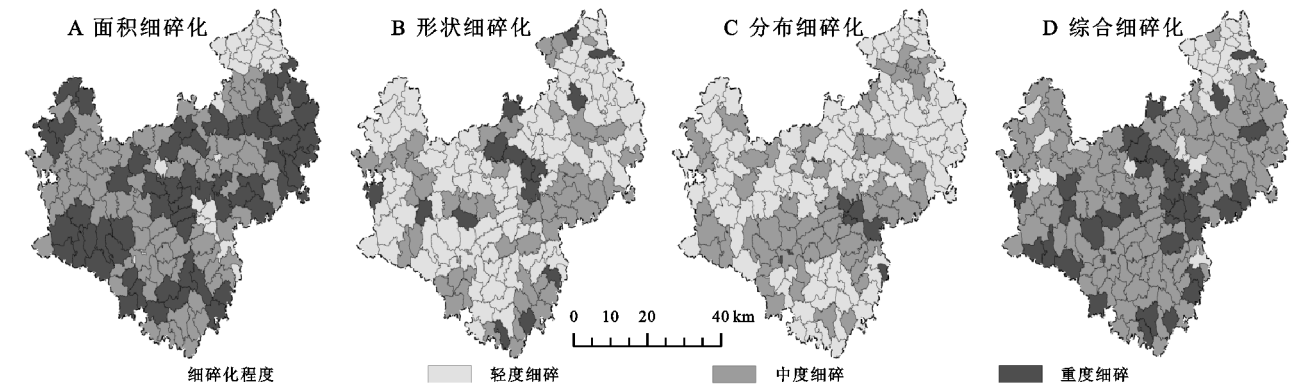


图 1 吴起县耕地细碎化程度分布

由图 1 可知,吴起县综合细碎化程度总体较高,轻度细碎、中度细碎、重度细碎的行政村数量分别为 27,101,37 个。其中轻度细碎化集中分布于吴起县北部,中部、西北部有零散分布;中度细碎化受中部条带状分布的重度细碎化区域的切割,被分为南部和中北部两个部分;重度细碎化区域分布最为零散,但呈现出了小范围的聚集,主要分布在中部、南部、西南部。

分类型细碎化方面,面积细碎化的严重程度明显大于形状细碎化与分布细碎化,表明吴起县耕地细碎化的主要表现为耕地数量多、面积较小。面积细碎化各程度区域在空间分布上呈现出明显的聚集特征。重度形状细碎化与重度分布细碎化区共同构成了综

合细碎化重度区在吴起县中部呈条带状分布,总体分布较为零散的空间格局;同时,形状细碎化与分布细碎化大量而集中的轻度区域在一定程度上减弱了面积细碎化的影响,使得综合细碎化的中度区分布广泛。另外,4 种类型细碎化中,北部区域始终表现为轻度细碎,表明该区域耕地面积较大、耕地数量适中、形状规整、分布集中。

3.2 耕地细碎化影响因素分析

3.2.1 分异与因子探测器结果与分析 基于分异与因子探测器,研究高程(X_1)、坡度(X_2)、距农村居民点距离(X_3)、距城镇距离(X_4)、距河流距离(X_5)、距公路距离(X_6)、距农村道路距离(X_7)对各类型耕地细碎化的影响,计算出相应的 q 值,见表 4。

表 4 因子探测结果(q 值)

被解释变量	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Y_1	0.0736	0.3369	0.1310	0.0857	0.1715	0.0842	0.0074
Y_2	0.0571	0.0095	0.0134	0.0165	0.0884	0.0355	0.0100
Y_3	0.1807	0.0556	0.0271	0.0534	0.0901	0.0835	0.0209
Y_4	0.0852	0.1591	0.0761	0.0361	0.2318	0.0224	0.0256

注: Y_1 为面积细碎化; Y_2 为形状细碎化; Y_3 为分布细碎化; Y_4 为综合细碎化。

结果表明,吴起县耕地综合细碎化的主要影响因素为高程、坡度、距河流的距离、距农村居民点的距离,影响力大小排序为距河流的距离>坡度>高程>距农村居民点的距离,表明吴起县耕地细碎化是地形、水源、交通 3 个因素综合作用的结果。其中,面积细碎化最主要的影响因素是坡度,其次是距河流的距

离,表明坡度因素是形成面积细碎化的基础;纵向对比来看,7 个因素对耕地形状细碎化的影响不显著,表明耕地的形状细碎化受其他人为因素影响更大,但距河流距离、高程仍是对耕地形状细碎化影响最大的因素;造成分布细碎化的最主要因素是高程,其次是距河流距离和距公路距离,叠加公路与河流图层可

知,公路与河流对耕地分布细碎化的影响均为正向的,即距离公路或河流越近,耕地分布越集中,细碎化程度越低,公路与河流对耕地有明显的聚集效应。黄土丘陵沟壑区平均海拔高、地形起伏大,加之半干旱的气候条件,使得区域总体上不适宜耕种。河流沿岸地形平坦,灌溉取水便利,相较于其他区域更适宜耕作,从而吸引了耕地的聚集。距农村居民点距离、距城镇距离、距公路距离、距农村道路距离对耕地细碎化的影响以耕作便利性的形式体现,距离道路、居民点越近,耕地的耕作便利性越高,破碎化程度越低。综上,地形是形成吴起县耕地细碎化的基础,对耕地表现为分割作用;水源与交通是耕地细碎化形成的重要影响因素,对耕地表现为聚集作用。

3.2.2 交互作用探测器结果与分析 基于交互作用探测器,研究因子两两交互作用时,对耕地综合细碎化影响的类型与大小。结果显示高程与河流,坡度与河流的交互作用类型为双因子增强,其余因子的相互作用类型为非线性增强,表明高程与河流,坡度与河流交互作用时对耕地的综合细碎化的影响高于任一单因子作用时的影响;其他因子交互作用的 q 值大于两因子 q 值之和,即各因子对耕地细碎化的作用都不是独立的,存在两两交互作用增强的情况。根据交互作用的 q 值,绘制吴起县耕地综合细碎化交互探测结果图(图 2)。

由图 2 可知,坡度、距离河流的距离与其他因子都有很强的交互增强作用,其中坡度与高程、坡度与距农村居民点距离、坡度与距农村道路距离、距河流距离与距农村居民点距离、距河流距离与距农村道路距离的交互作用最强, q 值均大于 0.3,大于所有单因子的 q 值,表明地形与交通、水源与交通共同作用对

耕地细碎化的影响更为强烈。与距城镇距离、距公路距离相比,距农村居民点距离和距农村道路距离对耕地细碎化的影响更为显著,基于交互探测结果与整治工程可行性角度,在土地整治时更应该考虑农村道路工程而非更高等级的道路工程;同时在土地整治工程实施时,也不能只进行单一的土地平整工程或农田水利工程,需要结合农村道路工程才能更有效地解决耕地细碎化问题。

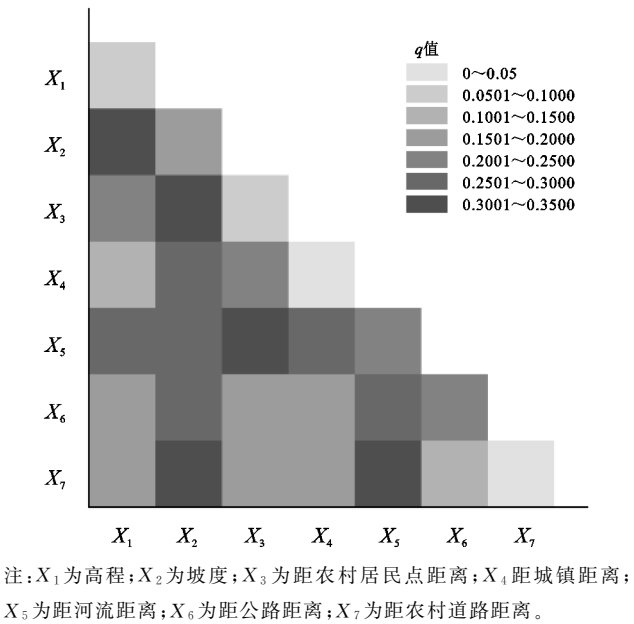


图 2 吴起县耕地综合细碎化交互探测结果

3.3 耕地细碎化土地整治工程分区

3.3.1 耕地细碎化整治限制因子分析 基于地理探测器分析结果,结合土地整治工程可行性,利用自然断点法将坡度(X_2)、距河流距离(X_5)、距农村道路距离(X_7)分为 3 级,分别作为地形、水源、耕作便利性限制因子,绘制各限制因子的分布图(图 3)。

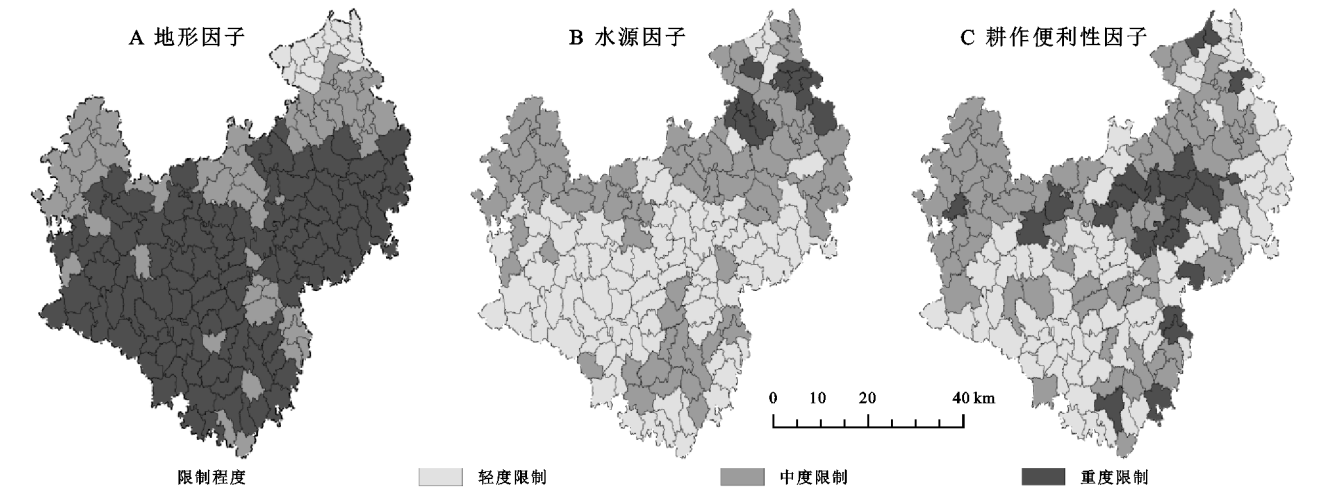


图 3 吴起县耕地细碎化整治限制因子分布

根据图 3,吴起县耕地细碎化整治各限制因子限制程度的空间分布存在明显的差异性。吴起县属于

黄土高原梁状丘陵沟壑区,除中部、北部河流沿岸外,全域的坡度都较大,需要实施土地平整工程才能继续

进行后续的耕地细碎化整治措施;水源因子的限制区主要集中在北部、南部、西北部,与耕地距离河流的距离分布一致。水源限制程度较重的区域,需要结合农田灌溉与降水等具体情况,对其施以农田水利工程;耕作便利性因子的限制区主要分布在中北部和东南部,这些区域耕地距离农村道路较远,需要施以农村道路工程增加耕地的通达性。

3.3.2 耕地细碎化土地整治工程分区 叠加耕地综合细碎化评价与整治限制因子,基于主导限制因子的思想,将吴起县耕地细碎化整治分为土地权属调整区、土地平整工程主导区、农田水利工程主导区、农村道路工程主导区、土地工程综合整治区,分区依据见表 5,各类型区域的行政村数量与整治措施见表 6。

根据分区结果绘制吴起县耕地破碎化土地整治工程分区图(图 4)。吴起县耕地细碎化整治的限制因子中,地形因子的影响最为强烈,如图 4 所示,土地平整工程主导区的行政村数量最多;其次是土地工程

综合整治区,共 50 个行政村;行政村数量最少的农田水利工程主导区与农村道路工程主导区,印证了吴起县耕地细碎化是多因素综合作用的结果,很少存在单因子导致的细碎化。耕地细碎化整治分区结果可以为吴起县耕地细碎化整治提供因地制宜的、有针对性的参考,从而实现耕地的节约集约规模利用。

表 5 耕地细碎化整治工程分区依据

主导限制因子	轻度细碎	中度细碎	重度细碎
地形	A	B-1	C
水源	A	B-2	C
耕作便利性	A	B-3	C
地形-水源	A	C	C
地形-耕作便利性	A	B-1	C
水源-耕作便利性	A	B-2	C
地形-水源-耕作便利性	A	C	C

注:A 为土地权属调整区;B-1 为土地平整工程主导区;B-2 为农田水利工程主导区;B-3 为农村道路工程主导区;C 为土地工程综合整治区。

表 6 吴起县耕地细碎化土地整治工程分区

土地工程整治分区	行政村数量/个	区域概况与整治措施
土地权属调整区	27	耕地细碎化程度较低的区域,可以结合具体情况直接实施地块互换、地块合并和土地流转等权属调整措施
土地平整工程主导区	79	区域的主导限制因子为地形或地形与耕作便利性因子共同主导,土地整治时考虑土地平工程与农村道路工程相结合的方式进行综合整治,再进行权属调整
农田水利工程主导区	4	区域的主导限制因子为水源或水源与耕作便利性因子共同主导,土地整治时应结合区域农田具体灌溉情况,考虑农田水利工程与农村道路工程相结合的方式综合整治,再进行权属调整
农村道路工程主导区	5	区域耕地细碎化受耕作便利性因子影响强烈,土地整治时主要考虑农村道路工程,增加田块的可达性,再进行权属调整
土地工程综合整治区	50	包含中度细碎化的水源与地形限制共同主导区、水源-地形-耕作便利性限制共同主导区,以及重度细碎化的所有区域,该类型区域的耕地细碎化整治工程量大、工程种类多、工程周期长

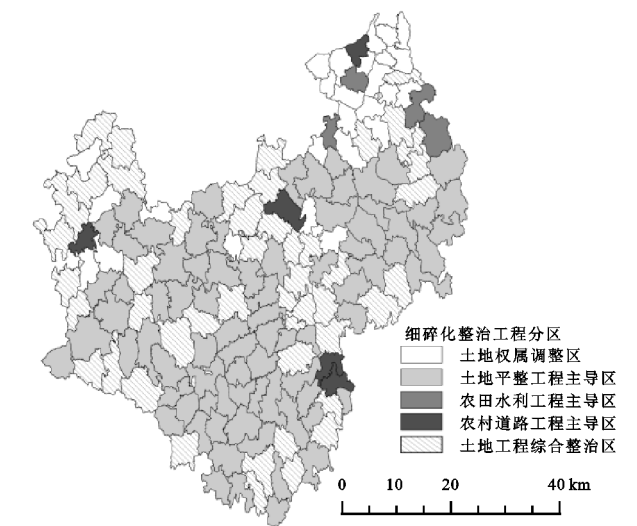


图 4 吴起县耕地细碎化整治分区

4 结论

(1) 吴起县耕地综合细碎化程度总体较高,行政村数量为中度细碎>重度细碎>轻度破碎。轻度细碎化集中分布于吴起县北部,重度细碎化主要分布在中部、南部、西南部,中部地区的重度细碎化呈现出西北—东南走向的条带状。吴起县耕地细碎化的主要类型为面积细碎化,奠定了吴起县综合细碎化的总体格局。

(2) 吴起县耕地综合细碎化的主要影响因素为高程、坡度、距河流的距离、距农村居民点的距离,影响力大小排序为距河流的距离>坡度>高程>距农村居民点的距离。坡度、距河流距离分别与距农村道路距离、距农村居民点距离有很强的交互作用。

(3) 基于耕地细碎化评价与影响因素分析结果,划分土地权属调整区、土地平整程主导区、农田水利工程主导区、农村道路工程主导区、土地工程综合整治区共5个整治工程分区,为吴起县耕地细碎化整治提供方向性引导。

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] 万广华,程恩江.规模经济,土地细碎化与我国的粮食生产[J].中国农村观察,1996(3):31-36.
- [4] 李功奎,钟甫宁.农地细碎化、劳动力利用与农民收入:基于江苏省经济欠发达地区的实证研究[J].中国农村经济,2006(4):42-48.
- [5] 王秀清,苏旭霞.农用地细碎化对农业生产的影响:以山东省莱西市为例[J].农业技术经济,2002(2):2-7.
- [6] 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.
- [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] 张显源,蔡忠亮,李桂娥,等.耕地景观破碎化成因及对农村收入影响分析[J].测绘科学,2020,45(4):134-141.
- [9] 常玉旻,张天柱,张凤荣,等.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[J].水土保持研究,2021,28(3):264-271,280.
- [10] Xu W, Jin X, Liu J, et al. Analysis of influencing factors of cultivated land fragmentation based on hierarchical linear model: A case study of Jiangsu Province, China[J]. Land Use Policy, 2021,101:105119.
- [11] Liu J, Jin X, Xu W, 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, 2019,88:104185.
- [12] 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):265-269,276.
- [13] 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.
- [14] 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:以左权县清漳河流域87个村为例[J].中国土地科学,2018,32(2):40-47.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [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] 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.
- [19] 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.
- [20] 孙滢展,张蚌蚌,陈海滨.合作社自主型土地整治对耕地格局及其利用的影响[J].中国农业大学学报,2020,25(11):199-208.
- [21] 孙新华,宋梦霜.土地细碎化的治理机制及其融合[J].西北农林科技大学学报:社会科学版,2021,21(1):80-88.
- [22] Blarel B, Hazell P, Place F, et al. The economics of farm fragmentation: evidence from Ghana and Rwanda[J]. The World Bank Economic Review, 1992,6(2):233-254.
- [23] 田孟,贺雪峰.中国的农地细碎化及其治理之道[J].江西财经大学学报,2015(2):88-96.
- [24] 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.
- [25] 倪广亚,刘学录,李沁汶,等.基于数据信息特征的土地资源评价客观赋权方法的研究[J].中国农学通报,2014,30(20):255-262.
- [26] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.