基于生态位理论的黄土丘陵区耕地整治优先度及模式研究

郭笑东[1]，陈利根[1,2]，毕如田[1]，郭永龙[1]，原丽娟[1]

(1.山西农业大学 资源环境学院，山西 太谷 030801；2.南京农业大学 公共管理学院，江苏 南京 210095)

摘　要：[目的] 从生态适宜性角度构建耕地整治适宜性评价体系，确定耕地整治优先度及其模式，为制定差别化耕地整治政策提供科学依据。[方法] 以生态位理论为基础，以山西省太谷县为例，从生产潜力、空间形态、区位条件 3 个维度构建了黄土丘陵区耕地整治生态位适宜度评价体系，通过评判耕地现实生态位与最适生态位的贴近程度确定各研究单元耕地整治生态位适宜度，并采用 GIS 标准分类法对此进行耕地整治优先度划分，最后结合关键指标组合法确定不同区域的耕地整治模式。[结果] 研究区耕地整治生态位适宜度范围介于 26.02～93.57 之间，且整体分布非均衡性突出。根据耕地整治生态位适宜度评价结果，可将研究区划为优先、一般和限制整治区域，分别占研究区耕地面积的 49.50%，30.28%和 20.22%。划分结果与研究区耕地利用现状基本吻合。通过对关键指标的组合分析确定了耕地整治的 3 种模式：坡改梯模式、农田水利建设及完善模式和道路通达度提升模式。[结论] 运用生态位适宜度模型研究耕地整治优先度科学合理，是一种可行的方法。

关键词：耕地整治优先度；整治模式；生态位适宜度模型；黄土丘陵区；山西省太谷县

文献标识码：B　　**文章编号**：1000-288X(2019)01-0184-07　　**中图分类号**：F301.2

文献参数：郭笑东，陈利根，毕如田，等.基于生态位理论的黄土丘陵区耕地整治优先度及模式研究[J].水土保持通报，2019，39(1)：184-190. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.030；Guo Xiaodong，Chen Ligen，Bi Rutian，et al. Priority and mode of cultivated land consolidation in loess hilly region based on niche-fitness model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(1)：184-190.

Priority and Mode of Cultivated Land Consolidation in Loess Hilly Region Based on Niche-fitness Model

Guo Xiaodong[1]，Chen Ligen[1,2]，Bi Rutian[1]，Guo Yonglong[1]，Yuan lijuan[1]

(1. *College of Resources and Environment*，*Shanxi Agricultural University*，*Taigu*，*Shanxi* 030801，*China*；
2. *College of Public Administration*，*Nanjing Agricultural University*，*Nanjing*，*Jiangsu* 210095，*China*)

Abstract：[Objective] To establish the niche-fitness evaluation index system for cultivated land consolidation from the perspective of ecological suitability，in order to provide scientific references for making differentiated cultivated land consolidation policies. [Methods] Based on niche theory，10 indicators from three index layers (potential productivity，spatial pattern，location condition) were used to establish the niche-fitness evaluation index system for cultivated land consolidation of the loess hilly region. Taigu County of Shanxi Province was taken as an example. The niche-fitness value in each research unit was determined by the matching degree between the actual and optimal ecological niche of cultivated land. The standard classification method based on GIS was used to divide the priority of cultivated land consolidation. Finally，cultivated land consolidation modes in different areas were determined. [Results] The niche-fitness value of cultivated land consolidation in the study area ranged from 26.02 to 93.57，and the overall distribution was uneven. According to the niche-fitness evaluation results，the study area could be divided into priority consolidation area，general consolidation area and restricted consolidation area，accounting for 49.50%，30.28% and 20.22% of the

收稿日期：2018-08-16　　**修回日期**：2018-09-21

资助项目：国土资源部公益性行业项目“北方村庄压煤山丘区土地综合整治技术研究”(201411007)

第一作者：郭笑东(1993—)，女(汉族)，河北省邢台市人，硕士研究生，研究方向为土地经济与政策、土地利用规划。E-mail：961127393@qq.com。

通讯作者：陈利根(1961—)，男(汉族)，江苏省常熟市人，教授，博士生导师，主要从事土地制度与政策、土地行政与法学研究。E-mail：sxaulgchen@126.com。

cultivated land area, respectively. The results of division were basically consistent with the present situation of cultivated land utilization in the study area. Through the combination analysis of key indicators, three modes of cultivated land consolidation were identified: transforming slope farmland to terraces, construction and perfection of farmland irrigation and water conservancy, and improving road accessibility. [Conclusion] It is feasible to study the priority of cultivated land consolidation by using niche-fitness model.

Keywords: priority of cultivated land consolidation; modes of cultivated land consolidation; niche-fitness model; loess hilly region; Taigu County of Shanxi Province

土地是一切生产要素的聚集点,土地整治是土地要素与田、水、路、林、村等要素进行有效整合的最佳平台[1]。合理安排耕地整治优先度,制定科学的整治模式不仅有利于提高整治绩效,减少资源浪费,还会提升农民生产效率,促进农民增收。耕地整治优先度就是为使社会、经济和生态效益达到最大化,在一定的生产力水平和资金约束前提下,按照一定原则对区域耕地资源状况进行科学评价,并以评价结果为依据确定耕地整治的先后顺序[2]。目前,耕地整治的相关研究主要包括综合效益[3]、整治模式[4-5]、适宜性评价[6]、整治潜力[7]等方面,对耕地整治优先度的研究主要有:马春艳等[8]以耕地整治潜力级判断投入次序;沈立宏等[9]从整治潜力与难度的角度对江苏省宝应县农田整治优先度进行了研究;谢向向等[10]、程文仕等[11]综合考虑土地整治绩效的空间差异和土地数量、质量、生态综合潜力确定了土地整治投入优先序;王东等[2]从整治迫切性和强烈性的视角考虑耕地整治的优先度。可以看出,学者们多从整治的效益、潜力、绩效、难度等单个或多个角度对耕地整治优先度进行划分,但从生态适宜性角度对耕地整治优先度进行评价并对评价后如何确定不同区域整治模式的研究还仍显薄弱。

生态位是生态学中重要理论之一,最早由格林内尔首创[12],它是指一生物单元在其所处生态系统中的位置,具体为其与环境及其他相关生物之间的功能分工与相互作用。生态位适宜度则是定量表述生物对其生境资源条件的适宜程度,利用这一思想把地理空间中生物的存在条件视作一生态位,其生存条件可用 N 维空间区域进行描述,区域内各点所处的空间位置不同则生物的生态位适宜度不同[13-14]。耕地整治作为一种系统性综合建设工程,其整治效果的好坏与多维空间上资源状况密切相关,因此耕地整治生态位适宜度可通过区域内现实资源条件与耕地整治需求的资源条件之间的贴近度来揭示。目前生态位理论在耕地整治方面较少,仅谭少军等[15]利用该理论研究了土地整治工程生态化布局,徐小千等[16]借助该理论对耕地整治适宜性进行了评价。而黄土丘陵区地质地貌特殊,水土流失问题严重,耕地布局分散,开展耕地整治时更应十分注重耕地本底条件对整治需求的适宜程度。

基于此,本文拟将黄土丘陵区耕地整治对生产潜力、空间形态和区位条件 3 个维度的需求所形成的多维资源空间定义为耕地整治最适生态位,将耕地相应的现实条件形成的资源空间定义为现实生态位,利用现实生态位与最适生态位的贴近程度评价耕地整治生态位适宜度,从而将生态位适宜度模型引用到耕地整治优先度和整治模式的研究中,以期为制定差别化耕地整治政策提供科学依据。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

太谷县隶属山西省晋中市,处于黄土高原区汾渭谷地,行政辖区面积 1 033.7 km^2,分为 3 个镇和 6 个乡 208 个行政村。截止 2015 年末,县域人口达 36 万,耕地面积总量为 31 738.13 hm^2,占研究区行政辖区面积的 30.70%,其中有 26.71%旱地和 73.29%水浇地。

太谷县属于温带大陆性季风气候区,气候温润,年均气温 9.8 ℃,年均降水量 477 mm,境内主要有象峪河、乌马河两条季节性河流。总体地势东南高西北低,海拔高度范围为 768 至 1 914 m。县域内平原、黄山丘陵、基岩山地并存,分别占到全县总面积的 17.0%,20.2%和 62.8%。太谷县自然条件与区位优势独特,被省审批为"山西农谷",承担了引领山西省现代农业转型升级的重要使命。

1.2　数据来源

①2015 年太谷县土地利用现状图,主要提取农村道路、沟渠、农村居民点、耕地集中连片度、田块规整度等数据;②太谷县农用地分等数据,主要获取土壤质地、土壤有机质含量、灌溉保证率、耕层厚度等数据;③太谷县 30 m 精度的数字高程图(DEM),主要提取耕地的高程、坡度信息;④太谷县行政区划图。

2　研究方法

2.1　耕地整治生态位适宜度评价

2.1.1　*研究单元的确定*　本文以耕地地类图斑为研

究单元，截止 2015 年底研究区共 10 557 个耕地地类图斑。

2.1.2 评价指标体系的构建 根据研究区土地利用现状并考虑到数据可获得性，以科学性、系统性、层次性、可行性、可比性为原则，从生产潜力、空间形态和区位条件 3 个维度构建了黄土丘陵区耕地整治生态位适宜度评价体系。指标体系及指标效应见表 1。

表 1 耕地整治生态位适宜度评价指标体系及指标效应

目标	准则层	指标层	指标效应
耕地整治生态位适宜度评价 A	生产潜力 B_1	土壤有机质含量 C_1	+
		耕层厚度 C_2	+
		土壤质地 C_3	+
		灌溉保证率 C_4	+
		地形坡度 C_5	−
	空间形态 B_2	田块规整度 C_6	−
		耕地集中连片度 C_7	+
	区位条件 B_3	与农村居民点距离 C_8	−
		与沟渠距离 C_9	−
		与农村道路距离 C_{10}	−

注：+为正效应；−为负效应。

土地生产潜力是土地利用的基础条件，主要由土地空间内植物、动物及微生物所构成的生命系统以及气候、土壤、温度、水文等构成的物质系统组成[17]，这些条件通过影响土地的自然供给进而限制其经济供给。由于县域范围内光温生产潜力、气候生产潜力、生物特征无明显差别，通过文献查阅和资料查找最终选取了土壤有机质含量、耕层厚度、土壤质地、灌溉保证率和地形坡度 5 个指标。

空间形态主要指耕地本身面积大小、形状以及区域范围内耕地景观格局的分布状况，是区域内耕地破碎化程度的直接决定因素，对耕地整治的可操作性及难易程度有显著影响。因此，本文选取了田块规整度、耕地集中连片度 2 个指标对耕地空间形态进行描述。

区位条件与耕地整治后综合效益释放的难度与速度有密切的联系，村民的耕作半径、灌溉的难易程度、各种机械的使用效率以及农产品运输成本均应考虑在内。因此，本文选取了耕地与农村居民点距离、耕地与沟渠距离和耕地与农村道路距离 3 个指标对耕地区位条件进行描述。

2.1.3 指标说明与标准化

(1) 指标说明。现实生态位是指影响耕地整治生态适宜性的各指标的实际值，用 $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n$ 表示。当指标效应为正时，现实生态位值越大对耕地整治的适宜性越强，高于一定现实生态位值后其对耕地整治的适宜性达到最佳，此时这一现实生态位值即为正向指标的生态位上限值，也就是正向指标的最适生态位值；相反，现实生态位值越小对耕地整治的适宜性越差，低于一定现实生态位值后其对耕地整治的适宜性达到最差，此时这一现实生态位值即为正向指标的生态位下限值。同理，当指标效应为负时，现实生态位值越小对耕地整治的适宜性越强，低于一定现实生态位值后，其对耕地整治的适宜性达到最佳，此时这一现实生态位值即为负向指标的生态位下限值，也就是负向指标的最适生态位值；相反，现实生态位值越大对耕地整治的适宜性越差，高于一定现实生态位值后，其对耕地整治的适宜性达到最差，此时这一现实生态位值即为负向指标的生态位上限值。

①土壤有机质含量(C_1)：是重要的养分容量指标。含量越小，土地生产潜力越小；反之越大。该指标最适生态位值和下限值根据已有研究[18]确定。

②耕层厚度(C_2)：是土壤肥力的富集地，对促进作物生长、提高土壤养分与水分的作用重大。耕层越薄，耕地生产潜力越小；反之生产潜力则大。该指标最适生态位值和下限值根据已有研究[18]确定。

③土壤质地(C_3)：是评估耕地生产力高低的重要指标，能较好地表达土壤耕作性能特征。壤土、黏土、砂土和砾质土的现实生态位值分别为 1，0.8，0.7 和 0.4[19]。其中，壤土最有利于作物生长，将其现实生态位值视为该指标的最适生态位值；砾质土最不利于作物生长，将其现实生态位值视为该指标的生态位下限值。

④灌溉保证率(C_4)：研究区共包括无灌溉条件、一般满足、基本满足和充分满足四种情况，其现实生态位值分别为 0.5，0.6，0.9 和 1[19]。其中，“充分满足”最有利于作物生长，将其现实生态位值视为该指标的最适生态位值；“无灌溉条件”最不利于作物生长，将其现实生态位值视为该指标的生态位下限值。

⑤地形坡度(C_5)：是影响耕地整治难度与成效的重要因素，也是发生土壤侵蚀的主要原因。坡度增大，耕地整治难度也会随之加大。从 30m 精度的 DEM 中运用 Arc GIS10.5 slope 工具获得。该指标最适生态位值和上限值根据已有研究[18]确定。

⑥田块规整度[20](C_6)：耕地田块形状规整则方便农机耕作，从而提高农民生产效率。田块规整度(FRAC)小表示田块形状规则；反之，田块形状复杂。该指标最适生态位值与上限值通过 Arc GIS10.5 的自然间断点分级法确定，分别为 1.04 和 1.89。

$$\mathrm{FRAC}=\frac{2\ln(p/4)}{\ln a} \tag{1}$$

式中：FRAC——田块规整度；p——耕地田块的周长(m)；a——耕地田块的面积(m^2)。

⑦耕地集中连片度(C_7):现实情况中因为有田间道路、沟渠等线状地物阻碍了耕地连片度,在Arc GIS10.5中对耕地图斑做 10 m 缓冲融合生成新图层,每块耕地集中连片度以新图层中对应地块面积大小为依据进行标准化,耕地面积越大,则连片程度越高;反之,则连片程度越低。该指标最适生态位值与下限值通过 Arc GIS10.5 的自然间断点分级法确定,分别为 3 114.52 和 124.74。

⑧与农村居民点距离(C_8):用耕地几何中心到对应农村居民点的距离表示。相关研究表明最佳耕作的空间半径为 0.5 km[21]。农民可接受的耕作时间半径为 30 min,假设农业机械 20 min 移动 10 km、农民 10 min 行走 1 km,则最远耕作空间半径为 1 km。考虑到研究区地势地貌状况,在平原地区,农民可乘坐农用运输工具到达耕地,则耕作半径在 0.5 km 到 11 km 之间是合理的;在丘陵山区,按农民 30 min 可行走 3 km,其耕作半径在 0.5 km 到 3 km 之间是合理的。距离越近,越方便耕作;反之,则不方便耕作。故在平原地区,该指标最适生态位值为 0.5,上限值为 11;在丘陵山区,该指标最适生态位值为 0.5,上限值为 3。

⑨与沟渠距离(C_9):用耕地几何中心到沟渠的最短距离表示。一般要求农渠间隔宜为 200 至 400 m[22],本文按农渠的间隔 300 m 计算,则沟渠的影响距离为 300 m。距离越远,越不方便灌溉;反之,则越利于灌溉。故该指标最适生态位值为 0,上限值为 300。

⑩与农村道路距离(C_{10}):用耕地几何中心到农村道路的最短距离表示。相关研究表明[23],耕地与农村道路距离小于 1 km 时,耕地可达性较好,大于 5 km 时,耕地可达性非常差。故该指标最适生态位值为 1,上限值为 5。

(2) 指标标准化。各指标生态位适宜度值通过评判评价单元耕地现实生态位与最适值的贴近程度确定。其中土壤有机质含量、耕层厚度、地形坡度 3 个指标参考已有研究的经验函数[18],其余指标通过线性评价模型[16]确定各指标的生态位适宜度值(见表 2)。

表 2　数值型评价因子的生态位适宜度值

函数类型	评价因子	评价函数	x_t	x_{opt}
正向连续型	土壤有机质含量/(g·kg^{-1})	$NF_1=1/[1+2.912\times10^{-3}\times(x-x_{opt})^2]$	6.00	28.40
正向连续型	耕层厚度/cm	$NF_2=1/[1+4.057\times10^{-3}\times(x-x_{opt})^2]$	15.00	33.80
正向离散型	土壤质地	$NF_3=x/x_{opt}$	0.40	1.00
正向离散型	灌溉保证率	$NF_4=x/x_{opt}$	0.50	1.00
负向连续型	地形坡度/(°)	$NF_5=1/[1+6.492\times10^{-3}\times(x-x_{opt})^2]$	25.00	3.00
负向连续型	田块规整度	$NF_6=1-(x-x_{opt})/(x_t-x_{opt})$	1.89	1.04
正向连续型	耕地集中连片度/hm^2	$NF_7=x/x_{opt}$	124.74	3 114.52
负向连续型	与农村居民点距离/km	$NF_8=1-(x-x_{opt})/(x_t-x_{opt})$	3.00	0.50
		$NF_8=1-(x-x_{opt})/(x_t-x_{opt})$	11.00	0.50
负向连续型	与沟渠距离/m	$NF_9=1-(x-x_{opt})/(x_t-x_{opt})$	300.00	0
负向连续型	与农村道路距离/km	$NF_{10}=1-(x-x_{opt})/(x_t-x_{opt})$	5.00	1.00

注:NF_i 为第 i 个评价指标的生态位适宜度值;x_{opt}为每个指标的最适生态位值;当指标效应为正时,x_t 表示指标生态位的下限值,当指标函数为负时,x_t 表示指标生态位的上限值;x 为耕地的现实生态位值。

2.1.4　权重确定　利用层次分析法确定 10 个指标权重 W_{i1},$I_C=0.056\ 0$,$R_C=0.037\ 6<0.1$,结果可以通过一致性检验;利用熵权法得到权重 W_{i2}(见表 3)。其中,层次分析法充分利用相关知识与经验将评价过程层次化、数量化,从而判断相应指标权重,但其主观性较强;熵权法充分利用数据挖掘技术求得权重,虽然客观性较强,但有可能违背指标本质意义。两种方法各有优缺点,故采用平均法确定综合指标权重,公式:

$$W_i=(W_{i1}+W_{i2})/2 \tag{2}$$

式中:W_i——第 i 个指标的综合权重;W_{i1}——第 i 个指标运用 AHP 得到的权重;W_{i2}——第 i 个指标的熵权,i 从 1 到 10。

表 3　耕地整治生态位适宜度评价指标权重

权重	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
W_{i1}	0.032 4	0.134 9	0.023 1	0.161 9	0.242 9	0.032 4	0.054 0	0.081 0	0.107 9	0.129 5
W_{i2}	0.005 2	0.076 7	0.015 2	0.019 6	0.032 1	0.036 1	0.211 2	0.019 2	0.391 3	0.193 4
W_i	0.018 8	0.105 8	0.019 2	0.090 8	0.137 5	0.034 3	0.132 6	0.050 1	0.249 6	0.161 5

2.1.5　耕地整治生态位适宜度的计算　采用综合指数法,公式如下:

$$NF=\sum_{i=1}^{n}(NF_i\times W_i)\times100 \tag{3}$$

式中:NF——耕地整治生态位适宜度值;NF_i——第

i 个评价指标的生态位适宜度值；W_i——第 i 个评价指标的综合权重；n 从 1 到 10。

2.2 耕地整治优先度划分

根据生态位适宜度评价结果对研究区所有耕地的整治优先度排序，NF 值越大，表示其现实条件越符合耕地整治的要求，越适宜优先整治；NF 值越小，表示其现实条件中存在的耕地整治障碍因素越大，受现阶段土地整治技术与成本的约束，耕地整治改造的难度也就越大。具体方法是在 Arc GIS 10.5 中以耕地整治生态位适宜度值 NF 作为分类字段，采用 GIS 标准分类法中的自然间断点分级法，将耕地整治优先度划为 3 个等级，NF 由高到低分别对应优先整治区域、一般整治区域和限制整治区域。

2.3 耕地整治模式研究

从表 3 可以看出，地形坡度（C_5），与沟渠距离（C_9），与农村道路距离（C_{10}）的综合权重值最大，说明这 3 个指标对研究区耕地整治的影响有显著地作用强度，同时，C_5，C_9 和 C_{10} 的限制条件均具有可改造性，所以是研究该区域的必选指标。

运用指标组合法分析耕地整治模式。依据郭力娜等[24]对主要限制指标及其限制程度的划分，将 NF 在 0～0.6 之间的界定为高限制指标，NF 在 0.6～0.8之间的界定为中等限制指标，NF 在 0.8～1 之间的界定为低限制指标。利用 C_5，C_9，C_{10} 各指标的限制程度相互组合，形成如“高中高”的分组。将不同分组划入不同类型区的基本原则如下：①克服和改造坡度要更多地考虑水土保持与生态影响，在黄土丘陵区其工程难度更显复杂，并不是短时间内可以实现的，因此只要地形坡度的限制程度为强和中，该组合划入类型区Ⅰ。②农田水利设施是保证耕地高产稳产不可或缺的设施，耕地与沟渠距离的限制程度为强和中的组合划入类型区Ⅱ；若耕地与农村道路距离、耕地与沟渠距离的限制程度同时为高或中时，优先考虑耕地与沟渠距离。③与农村道路的距离决定着各种机械的使用效率以及农产品运输成本，对耕地整治效益的释放有重要的影响，所以当与农村道路距离的限制程度为高时，该组合划入类型区Ⅲ。此外，当 3 个指标的限制程度均为低时，该组合也入划类型区Ⅲ。

3 结果与分析

3.1 耕地整治优先度划分

研究区耕地整治生态位适宜度 NF 范围在 26.02 与 93.57 之间，标准差为 17.91，平均值 63.08，其中 5 931个研究单元生态位适宜度值大于平均值，占研究单元总量的 56.18%，占研究区耕地面积的 71.69%，可见，研究区耕地整治生态位适宜度的分布非均衡性突出。且 NF 整体呈现由西北向东南逐渐递减的趋势，而研究区地形地貌由西北向东南依次为平原、丘陵和山地，可以看出，地形地貌对耕地整治生态位适宜度有一定的阻隔作用。

以耕地整治生态位适宜度评价结果为依据，在 Arc GIS 10.5 中采用自然间断点分级法，将耕地整治优先度划为优先整治区域（73.29≤NF≤93.57），一般整治区域（52.93≤NF＜73.29）和限制整治区域（26.02≤NF＜52.93），2 个间断点分别为 52.93，73.29，不同区域内各指标生态位适宜度均值见图 1，空间分布状况见图 2。

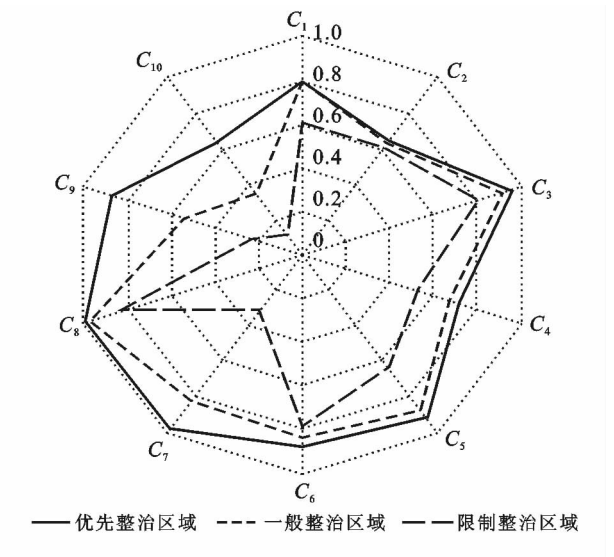


图 1 黄土丘陵区耕地整治生态位适宜度均值

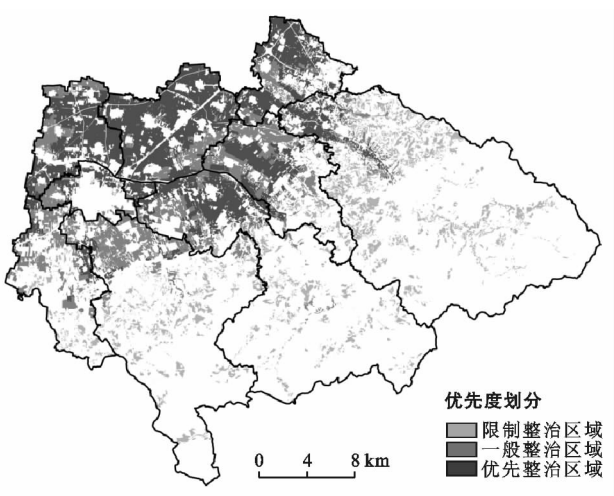


图 2 黄土丘陵区耕地整治优先度分布

其中，优先整治区域包含 3 870 个研究单元，面积为 15 713.07 hm^2，占研究区耕地总面积的 49.50%，该部分主要位于研究区平原区和丘陵区中北部，整体地势相对平坦，经济发达，土地利用率高，

该区域耕地状态整体优越,耕地生产潜力大,空间形态和区位条件优势显著,整治难度系数小,整治效益容易释放;一般整治区域包含 3 150 个研究单元,面积为 9 609.15 hm^2,占研究区耕地总面积的 30.28%,主要分布在研究区丘陵区的西南部,生产潜力状况(C_1,C_2,C_3,C_4,C_5)、耕地的田块规整度 C_6 和耕地与农村居民点距离 C_8 与优先整治区域耕地状况基本相同,而耕地集中连片度 C_7、耕地与沟渠距离 C_9、与农村道路距离 C_{10} 比优先整治区域耕地差距较为明显,耕地集中连片度的生态适宜度平均值为 0.82,与沟渠距离的生态位适宜度平均值仅为 0.53,与农村道路距离的生态位适宜度平均值仅为 0.34;土地整治限制区域包含 3 537 个研究单元,面积 6 415.91 hm^2,占研究区耕地总面积的 20.22%,该区域主要位于研究区东部山区,整体指标生态位适宜度平均值低于优先整治区域和一般整治区域,其中地形坡度 C_5,耕地集中连片度 C_7,与沟渠距离 C_9,与农村道路距离 C_{10} 差别最明显,主要因为限制整治区域内海拔较高,受地形起伏的限制,耕地坡度变化大,分布破碎、分散且土壤侵蚀严重。同样因地形起伏的原因,该区域道路稀疏,基本没有灌排系统,生态环境最为脆弱,不仅整治难度大,而且对生态破坏的风险也大,在现有整治技术条件下,不宜过早实施土地整治工程,应重点使其发挥生态涵养功能。

3.2　耕地整治模式确定

补"短板"和制定差异化整治策略是推动耕地整治效果释放和可持续发展的关键。本文只针对优先整治区域、一般整治区域提出不同整治模式,而耕地整治限制区域现阶段不适宜进行整治,在此不再讨论。

根据指标组合法,理论上 3 个限制指标可形成 27(3×3×3)种限值指标组合,汇总结果显示,研究区实际只存在 21 种。按照上述划分原则将 21 种限值指标组合划分到 3 个类型区。类型区Ⅰ:坡改梯模式,包含 12 种组合;类型区Ⅱ:农田水利建设及完善模式,包含 5 种组合;类型区Ⅲ:道路通达度提升模式,包含 4 种组合,组合的划分结果见表 4,不同类型区整治模式的空间分布见图 3。

表 4　黄土丘陵区耕地整治限制指标组合类型

类型区	类型组合	面积/hm^2	比例/%
类型Ⅰ(坡改梯模式)	高低高、高高高、高高中、高中高、高中中、中低高、中低中、中高高、中高中、中中低、中中高、中中中	1 258.44	4.97
类型Ⅱ(农田水利建设及完善模式)	低中中、低高高、低高低、低高中、低中低	11 776.56	46.51
类型Ⅲ(道路通达度提升模式)	低低高、低低中、低中高、低低低	12 287.22	48.52

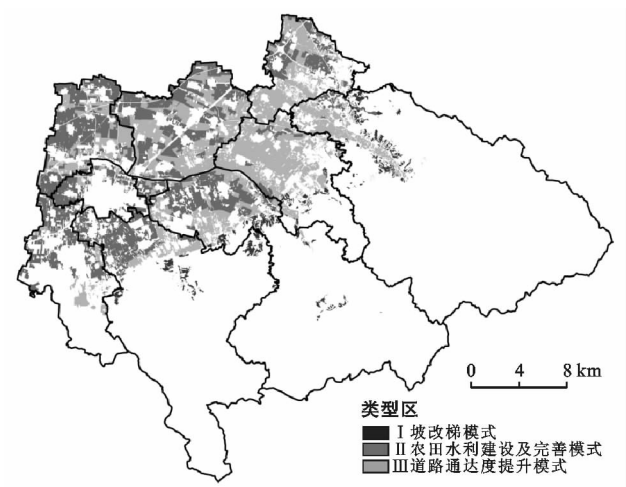


图 3　黄土丘陵区耕地整治模式分布

(1) 类型区Ⅰ。坡改梯模式,可有效解决黄土丘陵区水土流失问题,是保持水土资源、增强地力、提高粮食产出率的有效手段。该模式耕地面积 1 258.44 hm^2,该模式占优先整治区域和一般整治区域耕地面积比例最小,仅占 4.97%,主要分布在研究区山区与丘陵区的边缘过渡带。该模式范围内 99.50%的耕地坡度小于 15°,可采用"土坎梯地"工程措施,成本低,工期短,对生态环境的改动较小。只有 0.50%耕地坡度大于 25°,应选择退耕还林。

(2) 类型区Ⅱ。农田水利建设及完善模式,是以增加耕地灌排设施为主的建设模式。该模式耕地面积11 776.56 hm^2,占优先整治区域和一般整治区域耕地总面积的 46.51%,主要分布于研究区平原区和丘陵区的中南部。该区域象峪河、乌马河两河流水资源可用于灌溉,但灌溉水源、沟渠建设等农田水利基础设施布局稀疏不均匀,需要进一步完善。整体整治难度较小,因此可作为研究区耕地整治的重点区域,主要以完善农田基础设施、建设高标准农田为目标。

(3) 类型区Ⅲ。道路通达度提升模式,是以改善交通条件、提升耕地可达性为主的整治模式,主要分布于研究区丘陵区的中北部。该模式耕地面积为 12 287.22 hm^2,占优先整治区域和一般整治区域耕地总面积最大,所占比例为 48.52%。通过优化区位布局,提高交通便捷度,促进耕地整治效益释放,同时可在农村道路两侧种植防护林,以加强农业生产环境保护和优化。需要注意的是,田间道路布局应注重修缮与新建

并重，做好骨干与次级路网的合理配置，避免过度追求道路密度，对动物迁徙的生态廊道造成影响。

4 结论与讨论

本文借助生态位适宜度模型，从生产潜力、空间形态、区位条件 3 个维度构建了黄土丘陵区耕地整治生态位适宜度评价体系，以山西省太谷县为研究区，结合综合指数法和 GIS 标准分类法确定耕地整治优先度、关键指标组合法确定不同区域耕地整治模式。结果如下：

(1) 研究区耕地整治生态位适宜度范围介于 26.02与 93.57 之间，且整体分布非均衡性突出。

(2) 根据研究区耕地整治生态位适宜度评价结果，研究区可划为优先整治区域、一般整治区域和限制整治区域，分别占研究区耕地面积的 49.50%，30.28%和 20.22%。

(3) 运用指标组合法对地形坡度、耕地与沟渠距离、耕地与农村道路距离 3 个关键性限制指标分析，将优先整治区域、一般整治区域的耕地整治划分为坡改梯、农田水利建设及完善、道路通达度提升三种模式，分别占优先和一般整治区域耕地面积的 4.97%，46.51%和 48.52%。

耕地整治优先度的划分结果与研究区耕地利用现状基本吻合，这表明使用生态位适宜度模型研究耕地整治优先度科学可行，研究结果有一定的实用价值。借助生态位适宜度模型研究耕地整治优先度，不仅丰富了耕地整治优先度的研究方法，而且促进了耕地整治理论与现代生态学理论的交叉、融合与渗透，这为因地制宜地开展黄土丘陵区耕地整治提供了一定的理论依据。研究的不足之处是，由于该研究区的经济资料获取有限，没有将相关的经济指标纳入评价体系，今后的研究可以适当指标扩展，如加入劳动力水平、财政支持力度等社会经济指标，从而实现更加复杂的分析研究。

[参 考 文 献]

[1] 龙花楼. 论土地整治与乡村空间重构[J]. 地理学报，2013，68(8)：1019-1028.

[2] 王东，陈英，杨润慈. 黄土丘陵沟壑区耕地整治优先度及模式：以麦积区为例[J]. 资源科学，2017，39(2)：231-239.

[3] 高艺菡，高阳. 基于三生视角的内蒙古自治区不同类型土地整治效益评价[J]. 中国农业大学学报，2018，23(3)：75-83.

[4] 林忆南，金晓斌，郭贝贝，等. 陇东台塬区双垄全膜集雨沟播土地整治模式研究[J]. 中国土地科学，2014，28(12)：56-62.

[5] Willem K, Altes K. Promoting rural development through the use of land consolidation: The case of Korea[J]. International Planning Studies, 2011, 16(2): 151-167.

[6] 胡学东，王占岐，邹利林. 基于贝叶斯概率模型的鄂西北山地区耕地整治适宜性评价[J]. 资源科学，2016，38(1)：83-92.

[7] 李发志，毕如田，崔茜，等. 基于 AHP 与熵权法的耕地整理潜力综合评价：以襄汾县为例[J]. 山西农业大学学报：自然科学版，2014，34(2)：136-141.

[8] 马春艳，王占岐，易平. 基于 Arc GIS 的耕地整治潜力测算与分级研究：以湖北省房县为例[J]. 水土保持研究，2015，22(1)：207-211.

[9] 沈立宏，张超，桑玲玲，等. 利用网格法确定县域农田整治优先度[J]. 农业工程学报，2012，28(18)：241-247.

[10] 谢向向，张安录，杨蒙. 土地整治绩效空间差异及投入优先序：以湖北省为例[J]. 资源科学，2016，38(11)：2058-2071.

[11] 程文仕，黄鑫，刘洋，等. 基于土地整治绩效空间差异和潜力分级的投入优先序研究[J]. 水土保持通报，2018，38(1)：192-197.

[12] Grinnel J. Fields test of theories concerning distributional control[J]. American Naturalist, 1917, 51(602): 115-128.

[13] Wang Jihuai. The models of niche and their applications[J]. Ecological Modeling, 1995, 80: 279-291.

[14] 李自珍，赵松岭，张鹏云. 生态位适宜度理论及其在作物生长系统中的应用[J]. 兰州大学学报：自然科学版，1993，29(4)：219-224.

[15] 谭少军，邵景安. 基于生态适宜性评价的西南丘陵区土地整治工程布局研究[J]. 地理研究，2018，37(4)：659-677.

[16] 徐小千，汪景宽，李双异，等. 基于生态位理论的东北黑土区耕地整治适宜性评价：以公主岭市为例[J]. 中国生态农业学报，2018，26(3)：432-441.

[17] 陈利根，卢吉勇. 略论土地生产力标准与耕地总量动态平衡[J]. 南京农业大学学报：社会科学版，2001，1(4)：32-36.

[18] 毕如田，王嵚，段永红，等. 耕地资源管理信息系统的建立及应用：以永济市为例[J]. 土壤学报，2004，41(6)：962-968.

[19] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 28407-2012. 农用地质量分等规程[S]. 北京：中国标准出版社，2012.

[20] 朱美青，黄宏胜，史文娇，等. 基于多规合一的基本农田划定研究：以江西省余江县为例[J]. 自然资源学报，2016，31(12)：2111-2121.

[21] 董秀茹，尤明英，王秋兵. 基于土地评价的基本农田划定方法[J]. 农业工程学报，2011，27(4)：336-339.

[22] 中华人民共和国水利水电部. SDJ 217-84. 灌溉排水渠系设计规范[S]. 北京：水利电力出版社，1984.

[23] 程雄，吴争研，刘艳芳. GIS 技术在基本农田保护工作中的应用[J]. 国土资源信息化，2002(4)：37-39.

[24] 郭力娜，张凤荣，曲衍波，等. 基于分等因素组合的农用地整理类型分区[J]. 农业工程学报，2010，26(9)：308-314.