

郑宇,杨伟州,张蓬涛,等. 基于变权模型的未利用地宜耕性模糊综合评价——以河北省昌黎县为例[J]. 江苏农业科学,2018,46(4): 263-267.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.065

基于变权模型的未利用地宜耕性模糊综合评价 ——以河北省昌黎县为例

郑宇,杨伟州,张蓬涛,赵丽

(河北农业大学国土资源学院,河北保定 071001)

摘要:未利用地是重要的后备土地资源,对其进行合理的开发利用,是实现耕地总量动态平衡的重要途径。选择坡度、有效土层厚度、土壤质地、有机质含量、耕作便利度等 5 项影响较大的因子作为参评因素,在 GIS 软件的支持下,采用基于局部惩罚型变权的模糊综合评价方法,对河北省昌黎县未利用地宜耕性进行综合评价。结果表明,研究区内高度适宜、中度适宜、勉强适宜及不适宜开发为耕地的未利用地分别占土地总面积的 28.69%、29.48%、24.36%、17.48%。对河北省昌黎县未利用地宜耕性进行综合评价,并提出合理的开发建议,以期对昌黎县耕地后备资源合理开发的区域选择提供参考。

关键词:未利用地;惩罚型变权法;昌黎县;宜耕性;模糊综合评价;变权权重

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)04-0263-05

随着我国经济的飞速发展及城镇化进程的加快,城镇建设用地占用了大量的耕地资源,导致我国耕地数量锐减。因此,在加强耕地保护的背景下,合理高效地开发利用未利用地资源已成为保障 1.2 亿 hm^2 耕地红线的必然选择。河北省昌黎县作为京津冀协同发展区、环渤海经济圈的重要经济增长点,同时也是京津冀地区的粮食主产区,具有对周围地区提供粮食补给的功能。因此,将其区域内的未利用地资源合理开发成耕地,对实现耕地总量动态平衡具有重要的现实意义。

对于未利用地适宜性评价的研究,以往一般都采用静态的常权评价^[1-4],即无论参评因素状态值如何变化,权重值总是保持不变,但是在实际评价中,参评因素的影响程度并非一成不变,而是随着某一因素状态值的变化而变化。如果采用常权综合评价方法,状态较差的因素有可能被其他较优的因素中和,使最终评价价值过于乐观,进而失去评价的客观公正性。而变权理论通过考虑各因素状态值之间的组合水平,体现个别因素的明显变化,有助于解决因指标权重恒定不变而引起的综合评价不合理的问题。因此,本研究以河北省昌黎县未利用地资源为研究对象,采用基于变权模型的模糊综合评价法,对其县域内的未利用地资源进行宜耕性评价。

1 研究方法

1.1 变权理论与方法

变权综合思想是汪培庄最早提出的一种综合决策方法^[5],随后李洪兴在其基础上对变权原理进行系统研究,给

出 3 种类型变权的公理化定义,分别为惩罚型、激励型、混合型^[6]。变权理论的核心是评价因子的权重随各评价因子值的变化而变化,可以更好地体现响应因素变动在决策中的作用^[7],使评价结果更接近区域实际。近年来,在土地领域被广泛应用于土地生态安全评价^[8-11]、临时用地复垦适宜性评价^[12]等研究中。对未利用地宜耕性评价结果影响最大的不是区域开发优势因子,而是决定区域土地资源的开发利用效率和开发强度区域的限制性因子,这类因子的实际值有些达不到未利用地开发为耕地的最低要求,但常权评价中优势因子作用常把这类因子的限制作用掩盖,导致评价结果过于乐观,须运用惩罚型变权的指标权重修正方法,结合区域实际情况对限制性因子进行惩罚。因此,本研究选择局部惩罚型变权法进行权重范围的确定。局部惩罚型变权法定义如下:

定义 1^[13]: 设 $w_i^0 (i=1,2,\dots,m)$ 为一个 m 维常权向量,且满足 $\sum_{i=1}^m w_i^0 = 1$;

定义 2^[14]: 给定映射 $w: [0,1]^m \rightarrow (0,1)^m$, 称 $w(x) = [w_1(x), w_2(x), \dots, w_m(x)]$ 为 m 维局部变权向量, $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, 如果满足条件: (1) 归一性: $w: [0,1]^m \rightarrow (0,1)^m = 1$; (2) 惩罚性: 对 $\forall i \in \{1,2,\dots,m\}$, 存在 $\alpha_i \in (0,1)$, 使得 $w_i(x)$ 在 $[0, \alpha_i]$ 上单调递减, 则变权的公理化公式可定义为

$$w_i(x) = \frac{w_i^0 s_i(x)}{\sum_{i=1}^m w_i^0 s_i(x)} \quad (1)$$

其中: $w_i(x)$ 为指标的局部惩罚型变权向量; X 为各指标标准化后的向量; $s_i(x)$ 为局部惩罚型状态变权向量; w_i^0 为基础权向量; 常见的确定 $s_i(x)$ 方法有对数型状态变权向量法、经验公式法等。参考文献^[15], 本研究采用对数型状态变权向量法, 状态变权向量函数为

$$s_i(x) = \begin{cases} 2 - \log_{\alpha_i}(x_i + \lambda) & x_i \in (0, \alpha_i) \\ 1 & x_i \in [\alpha_i, k] \end{cases} \quad (2)$$

式中: α_i 表示惩罚水平; x_i 为指标状态值; λ 是接近于 0 的参

收稿日期: 2016-09-17

基金项目: 河北省社会科学课题研究课题(编号: 201603120411)。

作者简介: 郑宇(1991—), 女, 河北邢台人, 硕士研究生, 研究方向为农村土地利用。E-mail: m18330266071@163.com。

通信作者: 张蓬涛, 博士, 教授, 研究方向为土地经济与评价。E-mail: zhangpt@hebau.edu.cn。

数,参考文献[12], λ 取值为 10^{-10} 。

1.2 模糊综合评价法

未利用地宜耕性评价是一个典型的涉及多因素的综合评价,这种评价不可避免地带有结论上的模糊性,因此,要提高未利用地宜耕性评价结论的准确性,必须找到一种能够处理多因素、模糊性等问题的评价方法。模糊综合评价方法是一种应用模糊变换原理,通过综合考虑影响某事物的各个因素,对该事物的优劣做出科学评价的分析方法^[16]。这种方法有效地解决了评价过程中出现的模糊性和多因素的问题,且将定性性与定量有机结合起来,从而加强了评价过程的科学性。

本研究采用应用较为广泛的降半梯形隶属度函数来确定单因素指标对各等级模糊子集的隶属度^[17]。在指标范围内确定了 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 等 4 个分界点,其中, V_1 为高度适宜区与中度适宜区的间断点, V_2 为高度适宜区、中度适宜区间断点与中度适宜区、勉强适宜区间断点的平均值, V_3 为中度、适宜区勉强适宜区间断点与勉强适宜区、不适宜区间断点的平均值, V_4 为不适宜区与勉强适宜区的间断点,各等级的隶属函数通式为

$$m=1, \text{隶属函数 } r_i = \begin{cases} 1 & x_i \leq V_1 \\ (V_2 - x_i) / (V_2 - V_1) & V_1 < x_i < V_2; \\ 0 & x_i \geq V_2 \end{cases} \quad (3)$$

$$m=2,3, \text{隶属函数 } r_i = \begin{cases} (x_i - V_{i-1}) / (V_i - V_{i-1}) & V_{i-1} < x_i \leq V_i \\ (V_2 - x_i) / (V_2 - V_1) & V_i < x_i < V_{i+1} \\ 0 & x_i \geq V_{i+1} \text{ 或 } x_i \leq V_{i-1} \end{cases}; \quad (4)$$

$$m=4, \text{隶属函数 } r_i = \begin{cases} 0 & x_i \leq V_3 \\ (x_i - V_3) / (V_4 - V_3) & V_3 < x_i < V_4 \\ 1 & x_i \geq V_4 \end{cases} \quad (5)$$

在 GIS 软件中根据以上隶属函数及各因素图层算出 5 个因素分别隶属于高度适宜、中度适宜、勉强适宜及不适宜的程度,形成隶属度矩阵 R_i ,即 20 个隶属度栅格图层。

本研究的评价指标体系只有 1 层,因此仅须要进行单层模糊综合评价,将变权权重 W 与隶属度矩阵 R_i 进行合成,这里采用使用较广泛的加权模糊综合评判模型进行模糊变换,模型如下:

$$B = W \times R_i = (W_1, W_2, W_3, W_4, W_5) \times \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{24} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{51} & r_{52} & \cdots & r_{54} \end{pmatrix} = (b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (6)$$

式中: B 为单层模糊综合评价矩阵; b_i ($i=1,2,3,4$) 表示评价单元对 V_i 等级的隶属程度。

2 研究区概况及数据来源

2.1 研究区概况

昌黎县 ($39^\circ 22' \sim 39^\circ 48' N$, $118^\circ 45' \sim 119^\circ 20' E$) 隶属河北省秦皇岛市,位于秦皇岛西南部,辖区内共有 3 条水系,分别为滦河、七里海、饮马河,共有 12 条河渠。土壤类型以棕壤、

褐土、潮土为主,其他分布较少的还有沼泽土、盐土、风沙土等。全县下辖 11 个镇 5 个乡 1 个区 1 个国有林场,共 446 个行政村;土地总面积为 $1\,210.00 \text{ km}^2$,未利用地面积为 77.86 km^2 ,占土地总面积的 6.43%,昌黎县未利用地主要分布在东部沿海地区、北部山区和西部沿滦河地区。根据 2007 年全国土地分类国家标准,结合昌黎县的实际情况,本研究中未利用地主要包括其他草地、内陆滩涂、沙地、沿海滩涂、盐碱地、裸地等。

2.2 数据来源

本研究所采用的数据来源于河北省昌黎县 2014 年土地利用变更数据库、河北省昌黎县未利用地调查结果、《昌黎县土地利用总体规划(2010—2020 年)》^[18]、河北省昌黎县土壤类型分布图等。

3 未利用地宜耕性评价

3.1 可开发未利用地提取

考虑到未利用地的开发要与《昌黎县土地利用总体规划(2011—2020 年)》^[18] 确立的土地利用宏观调控相衔接,因此,将位于河北省昌黎县禁止建设区中的碣石山风景名胜、黄金海岸自然保护区及滦河口湿地的核心区中所包含的未利用地列入禁止开发区,将剩余的未利用地作为最终确定的研究区。因此,本研究的未利用地面积为 $1\,953 \text{ hm}^2$,占河北省昌黎县土地总面积的 1.61%,河北省昌黎县可开发未利用地的分布情况如图 1 所示。

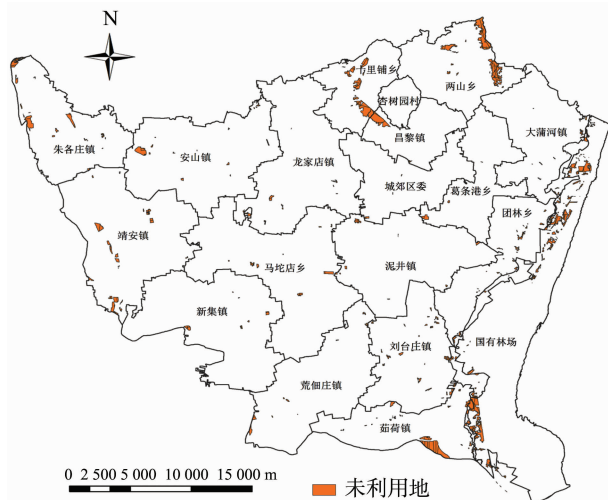


图1 河北省昌黎县可开发未利用地的分布情况

3.2 适宜性评价单元划分

土地评价单元划分的方法包括地块法、叠置法、多边形法等。考虑到河北省昌黎县未利用地面积较小且分布零散,因此,本研究采用地块法划分评价单元,根据河北省昌黎县未利用地的分布、类型等情况,提取 2014 年河北省昌黎县土地利用现状图中的未利用地图斑作为基本评价单元。

3.3 评价指标的选取及分级

本研究评价指标的选取以反映土地质量的全面性、代表性、稳定性、区域差异性为原则。从土地宜耕性潜力的角度出发,以指导该地区未利用地的开发与利用为目的,结合昌黎县的区域特点、农业生产条件等具体情况选取评价指标,本研究

共选取坡度、有效土层厚度、土壤质地、有机质含量、耕作便利度等 5 项参评因素,并参考文献[19-21]对参评因素进行指标分级。

3.3.1 土壤质地 土壤质地是垦造耕地的“本”,对土壤的通气透水性、保水保肥性、耕作性状、养分含量及作物的综合反应都有较大的影响,是影响耕地质量的重要因素,因此,选择土壤质地作为评价指标之一。土壤质地指标的分级详情如表 1 所示。

3.3.2 有效土层厚度 有效土层厚度是垦造耕地的“基”,是土壤肥力和植物生长的重要物质基础,也是能否垦造耕地的基本要素,因此,将有效土层厚度作为评价指标之一,根据研究区的有效土层厚度的基本情况,将该指标分为 4 级,分级详情如表 1 所示。

表 1 河北省昌黎县未利用地宜耕性评价指标的分级标准及权重

评价指标	分级标准	分段点	等级	基础权重	变权权重
土壤质地	壤土	$V_1 = 80$	高度适宜	0.254	0.207 ~ 0.564
	黏土	$V_2 = 65$	中度适宜		
	沙土	$V_3 = 35$	勉强适宜		
	砾质土	$V_4 = 20$	不适宜		
有效土层厚度(cm)	(60,150]	$V_1 = 60$	高度适宜	0.144	0.034 ~ 0.281
	(40,60]	$V_2 = 50$	中度适宜		
	(20,40]	$V_3 = 30$	勉强适宜		
	(0,20]	$V_4 = 20$	不适宜		
有机质含量(%)	(2.0,100.0]	$V_1 = 2.00$	高度适宜	0.219	0.152 ~ 0.413
	(1.5,2.0]	$V_2 = 1.75$	中度适宜		
	(1.0,1.5]	$V_3 = 1.25$	勉强适宜		
	(0,1.0]	$V_4 = 1.00$	不适宜		
耕作便利度(m)	(0,500]	$V_1 = 500$	高度适宜	0.149	0.076 ~ 0.343
	(500,1 500]	$V_2 = 1 000$	中度适宜		
	(1 500,2 000]	$V_3 = 1 750$	勉强适宜		
	(2 000,∞)	$V_4 = 2 000$	不适宜		
坡度(°)	(0,2]	$V_1 = 2.0$	高度适宜	0.234	0.154 ~ 0.624
	(2,6]	$V_2 = 4.0$	中度适宜		
	(6,15]	$V_3 = 10.5$	勉强适宜		
	(15,90]	$V_4 = 15.0$	不适宜		

3.4 确定指标权重

3.4.1 基础权重确定 未利用地适宜性评价是多因素评价,在同一级评价要素内,评价因子相互作用影响。本研究采用层次分析法确定各因素的基础权重。首先,对评价体系中选取的 5 个评级因子重要程度进行两两比较,构建其判断矩阵,矩阵的意义在于求出每个因子在判定层中的权重,所以须对矩阵进行归一化处理,求解该判断矩阵的特征向量和最大特征值,从而得出每个因子在判断层中对应的权重值^[23]。并且对结果进行一致性和随机性检验,检验公式如下:

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{RI \times (n - 1)}。$$
 (7)

式中:CR 为判断矩阵的随机一致性比率; λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征根;n 为判断矩阵的阶数;RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标,当 n = 5 时,RI = 1.12。当 CR < 0.1 时,认为判断矩阵一致性较好,根据表 1 数据计算得到 CR = 0.041 < 0.1,符合要求,说明各因子权重值分配合理。

3.4.2 变权权重确定 根据上步计算确定的基础权重,采用局部惩罚型变权法调节各指标权重范围值,对各参评因素中

3.3.3 有机质含量 有机质含量影响着土壤的肥力,进而成为判断土地是否适宜耕种的因素之一,参考《昌黎县土壤志》^[22]等资料,将有机质含量分为 4 级,分级详情如表 1 所示。

3.3.4 坡度 土地进行开发时被侵蚀的强弱与坡度的陡缓有直接关系,土地坡度越大,水土流失的可能性就越大。坡度是影响耕地质量的重要因素,因此成为评价指标之一。根据研究区的坡度情况,再综合各作物的实际需求,将坡度评价因子分为 4 级,分级详情如表 1 所示。

3.3.5 耕作便利度 宜耕未利用地距居民居住点的远近及周围的道路交通状况也会直接影响农民利用耕地的积极性和效益,因此,耕作便利度也是一项重要的参评因素,根据研究区村民对耕作距离的反映情况,将该指标分为 4 级,分级详情如表 1 所示。

较差的指标值进行权重的惩罚,首先将各类指标值进行标准化处理,并且将负向指标正向化,因为勉强适宜等级与不适宜等级的地区土地质量较差,对耕作有较大的限制,暂不适合开发为耕地。因此,本研究采用中度适宜等级与勉强适宜等级的分界值作为惩罚的参考标准,即 α_j 值,再根据公式(1)、公式(2)在 GIS 软件中计算评价单元的各参评因素的变权权重(表 1)。

3.5 模糊综合评价

根据研究方法中对模糊综合评价方法的介绍可知,B 为单层模糊综合评价矩阵,是各个评价对象对等级程度的描述,须进一步处理才能应用,这里采用重心法模型进行加权求和,对高度适宜区、中度适宜区、勉强适宜区和不适宜区所代表的 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 分别赋值为 8、6、4、2,得到河北省昌黎县未利用地宜耕性评价综合分值 M,其模型为

$$M = [\sum_{i=1}^4 (b_i^{\theta} \varepsilon_i)] / \sum_{i=1}^4 b_i^{\theta}。$$
 (8)

式中: θ 是对 b_i 起主控作用的参数($\theta = 1, 2$),参考文献[17],本研究中的 θ 取值为 2; ε_i 为各等级所赋分值。在对模糊评

价结果单值化转换得到河北省昌黎县未利用地适宜性综合评价得分 M 后,生成未利用地宜耕性评价综合分值图。为了划分昌黎县未利用地的适宜程度,本研究将评价结果在 GIS 软件中进行聚类分析,得到全县未利用地在高度适宜区、中度适宜区、勉强适宜区和不适宜区各自的分布范围(表 2)。

表 2 昌黎县未利用地宜耕性评价结果

等级	聚类中心点	等级区间	面积 (hm^2)	比例 (%)
高度适宜	7.216 5	[6.367 4, 7.978 0]	560.44	28.69
中度适宜	5.893 6	[5.226 7, 6.367 4)	575.74	29.48
勉强适宜	4.752 8	[4.220 1, 5.226 7)	475.74	24.36
不适宜	3.242 1	[2.251 6, 4.220 1)	341.39	17.48

4 结果与分析

4.1 因素变权权重处理结果分析

根据构建的惩罚型变权模型,可以得到评价单元各因素的权重值,由表 1 可知,各因素的变权权重随着评价指标等级的变化而变化,尤其是当其他指标处于高度适宜区、中度适宜区间时,该指标因状态值较差而处于勉强适宜区或不适宜区间时,其变权权重会增大,其他指标的变权权重也会得到相应的调整,从而降低了该较差指标对此评价单元开发为耕地的适宜水平。以坡度的变权权重结果为例,由图 2 可知,其变权权重范围为 0.154 ~ 0.624,尤其是位于北部的十里铺乡和两山乡中的山地地区,其评价单元变权权重高达 0.624,是基础权重的 2.667 倍,这使得这些评价单元的未利用地宜耕性评价综合分值大大降低。在其他地区,由于各因素组态水平的不同,该因素权重也有不同的变化,也表明该因素在确定未利用地宜耕性时的作用不同。因此,研究结果体现了变权方法在未利用地宜耕性评价中的灵活性。

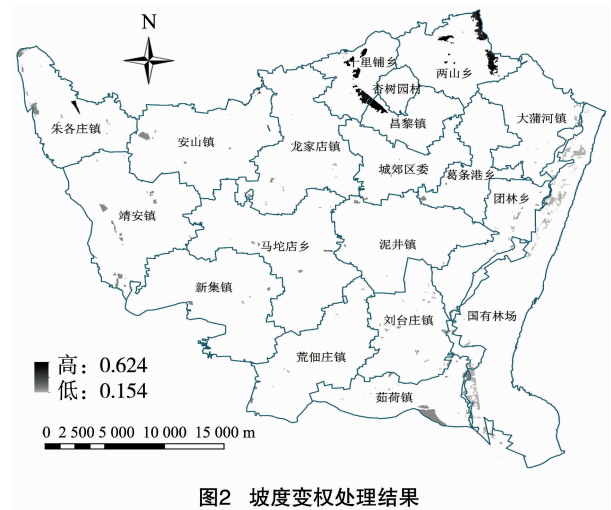


图2 坡度变权处理结果

4.2 未利用地宜耕性评价结果分析

首先对各评价单元的宜耕性评价的综合分值进行比较,综合分值越高的土地单元越适宜开发为耕地,综合分值越低的土地单元越不适宜进行开发。由图 3 可知,河北省昌黎县未利用地宜耕性评价综合分值在 2.251 6 ~ 7.978 0 之间,其中,十里铺乡、昌黎镇西北部及两山乡北部等区域土地的宜耕性综合分值较低。该部分土地的综合分值较低主要是由于其

坡度的权重较大,该因素对宜耕性水平的否决作用较大,因此,这些未利用地不适宜开发为耕地;而位于朱各庄镇西北部、安山镇西北部、茹荷镇南部及国有林场等区域的未利用地宜耕性综合分值较高,这是因为这些未利用地单元土地质量较好,地势平坦,有利于开发为耕地。

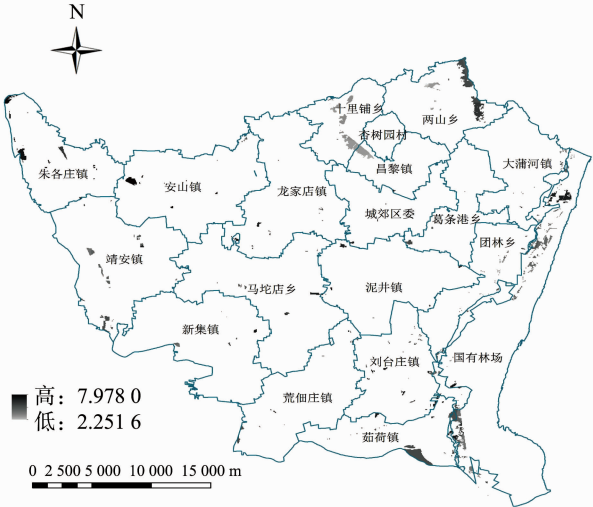


图3 河北省昌黎县未利用地宜耕性评价综合分值

高度适宜于开发为耕地的未利用地面积共计 560.44 hm^2 ,占研究区域总面积的 28.69%。由图 4 可知,这些区域主要分布在朱各庄镇西北部、安山镇西北部、茹荷镇南部及国有林场西北部、西南部地区,这些区域的未利用地地势平坦,土壤类型主要为潮土、褐土,土层深厚,一般在 100 cm 以上,有机质含量较高,水气热状况良好,土壤肥力较好,适宜耕作。中度适宜开发为耕地的未利用地面积总计 575.74 hm^2 ,占研究区域总面积的 29.48%,主要分布在茹荷镇北部、两山乡东北部及国有林场西南部。该部分未利用地地势较为平坦,土层厚度一般在 80 cm 左右,有轻微侵蚀,较适宜耕作。勉强适宜开发为耕地的土地面积总计 475.74 hm^2 ,占研究区域总面积的 24.36%,主要分布在靖安镇及国有林场西北部,这些区域的未利用地有机质含量较低,对耕作有一定的限制,因此,须要采取土壤改良等措施才能开垦为耕地。不适宜开发为耕地的土地面积总计 341.39 hm^2 ,占研究区域总面积的 17.48%,主要分布在十里铺乡、昌黎镇西北部及两山乡北部,这些区域的未利用地坡度较高,有机质含量较低,对耕作有较大的限制,且水土流失严重,因此,须要采取水土保持、增施有机肥等改造措施才能开垦为耕地。

5 结论与讨论

本研究在模糊综合评价的基础上引入局部惩罚型变权法,通过选择对未利用地宜耕性影响较大的因素,即坡度、有效土层厚度、土壤质地、有机质含量、耕作便利度等 5 项参评因素构建评价指标体系,对河北省昌黎县未利用地的宜耕性进行评价。结果表明,基于变权的模糊综合评价法不仅可以综合考虑到各种因素对宜耕性评价的影响,有效地解决评价过程中出现的模糊性问题,而且能够根据不同评价单元的各评价指标实际状态值的组态水平,对各评价指标的权重值进行灵活的调整,体现了适宜性分值较低的限制性因素的重要



图4 河北省昌黎县未利用地宜耕性评价等级

性,克服了传统评价中不能发挥瓶颈因素否决作用的不足,凸显了此种评价方法的灵活性,使评价结果更符合客观实际,有利于为河北省昌黎县耕地后备资源合理开发区域的选择提供参考。由评价结果可知,高度、中度适宜开发为耕地的未利用地面积为 1 136.18 hm^2 ,占研究区总面积的 58.17%,如果对这些宜耕未利用地资源加以科学合理地开发,将会对提高本区域粮食产量有较强的现实意义。

虽然变权方法的应用可以比传统评价方法使评价结果更为精准,但是在进行惩罚型变权处理时,确定状态变权向量函数是一个关键,它会影响各评价指标权重变化的程度,而目前确定该函数仍带有一定的主观性。因此,对于如何更科学地确定变权模型的状态变权向量函数,还须进一步研究和探讨。

未利用地资源是十分重要的土地后备资源,本研究仅以坡度、有效土层厚度、土壤质地、有机质含量、耕作便利度等 5 项评价指标对未利用地的宜耕性进行评价,而对未利用地资源开发利用的研究,还应更加全面地从宜建、宜生态性方面进行考虑,从而实现未利用地资源的多目标开发和科学合理利用。

参考文献:

- [1] 苏亚艺,朱道林,曲衍波,等. 基于堆龙德庆县的生态脆弱区宜耕未利用土地开发适宜性综合评价[J]. 中国土地科学,2014,28(7):76-81.
- [2] 袁磊,赵俊三,李红波,等. 云南山区宜耕未利用地开发适宜性评价与潜力分区[J]. 农业工程学报,2013,29(16):229-237.
- [3] 类淑霞,郝晋珉,王丽敏. 生态脆弱区宜耕未利用土地开发适宜性评价——以山西省大同市为例[J]. 中国生态农业学报,2011,19(6):1417-1423.
- [4] 王筱明,闫弘文,卞正富. 基于适宜性的济南市宜耕未利用地开发潜力评估[J]. 农业工程学报,2010,26(2):307-312.
- [5] 汪培庄. 随机集与模糊含度[J]. 北京师范大学学报(自然科学

版),1982(3):9-20.

- [6] 李洪兴. 因素空间理论与知识表示的数学框架(IX)——均衡函数的构造与 Weber - Fechner 特性[J]. 模糊系统与数学,1996,10(3):12-19.
- [7] 李德清,崔红梅,李洪兴. 基于层次变权的多因素决策[J]. 系统工程学报,2004,19(3):258-263.
- [8] 吴冠岑,牛星. 土地生态安全预警的惩罚型变权评价模型及应用——以淮安市为例[J]. 资源科学,2010,32(5):992-999.
- [9] 赵宏波,马延吉. 基于变权-物元分析模型的老工业基地区域生态安全动态预警研究——以吉林省为例[J]. 生态学报,2014,34(16):4720-4733.
- [10] 庄伟,廖和平,杨伟,等. 城郊土地生态安全预警系统设计与关键技术研究——以重庆市长生桥镇为例[J]. 西南大学学报(自然科学版),2014,36(2):117-123.
- [11] 郭永奇. 基于惩罚型变权的农地生态安全预警评价——以新疆生产建设兵团为例[J]. 地域研究与开发,2014,33(5):149-154.
- [12] 丁宁,金晓斌,汤小槽,等. 生态位适宜度变权法在高速铁路临时用地复垦适宜性评价中的应用——以京沪高铁常州段典型制梁场为例[J]. 资源科学,2010,32(12):2349-2355.
- [13] 李洪兴. 因素空间理论与知识表示的数学框架(VIII)——变权综合原理[J]. 模糊系统与数学,1995,9(3):1-9.
- [14] 姚炳学,李洪兴. 局部变权的公理体系[J]. 系统工程理论与实践,2000,20(1):106-109,112.
- [15] 龚建周,夏北成,陈健飞. 快速城市化区域生态安全的空间模糊综合评价——以广州市为例[J]. 生态学报,2008,28(10):4992-5001.
- [16] 祝金荣. 基于模糊综合评价的并购目标决策[J]. 工业技术经济,2006,25(1):23-24,30.
- [17] 舒帮荣,黄琪,刘友兆,等. 基于变权的城镇用地扩展生态适宜性模糊评价——以江苏省太仓市为例[J]. 自然资源学报,2012,27(3):402-412.
- [18] 昌黎县人民政府. 昌黎县人民政府关于印发《昌黎县土地利用总体规划修编实施方案》的通知[EB/OL]. (2010-04-12)[2016-09-10]. <https://www.lawxp.com/statute/s1431244.html>.
- [19] 曾庆敏,刘新平. 天山北坡经济带宜耕未利用地开发潜力分区及评价——以新疆阜康市为例[J]. 中国生态农业学报,2016,24(6):819-828.
- [20] 陈静,刘秀华. 基于 GIS 的低山丘陵区宜耕未利用地开发潜力评价及分区——以重庆市南川区为例[J]. 江苏农业科学,2016,45(5):498-502.
- [21] 韦仕川,吴次芳,杨杨. 黄河三角洲未利用地适宜性评价的资源开发模式——以山东省东营市为例[J]. 中国土地科学,2013,27(1):55-60.
- [22] 刘淑芬. 昌黎县土壤志[M]. 昌黎镇农林局土肥站,1985:15-18.
- [23] 张清,赵曜. 县域未利用地适宜性评价——以袁州区为例[J]. 安徽农业科学,2014,42(29):10364-10365,10368.