

程琳琳,孙海元,刘昱昱,等. 基于指数和法及差积法的矿山损毁土地复垦为农用地的适宜性评价[J]. 江苏农业科学,2018,46(15):242-247.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.062

# 基于指数和法及差积法的矿山损毁土地 复垦为农用地的适宜性评价

程琳琳, 孙海元, 刘昱昱, 赵宇昕, 李玉虎, 付亚洁

[中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083]

**摘要:**土地复垦适宜性评价是确定因矿产开采损毁的土地复垦后利用方向的基础和前提。以龙驰煤矿作为研究区,结合损毁土地的特点构建评价指标体系,利用指数和法基于 ArcGIS 对其进行适宜性评价。采用自然间断点分级法将评价结果依宜耕、宜林、宜草 3 个评价方向划分为高度适宜区、一般适宜区、勉强适宜区、不适宜区,并利用差积法对勉强适宜区和不适宜区进行限制因子分析。评价结果表明:(1)各评价方向的高度适宜区、一般适宜区、勉强适宜区、不适宜区的得分区间各不相同,宜林评价方向与宜耕、宜草同等适宜等级的各区间相比得分相对较大,宜耕评价方向的得分次之,宜草评价方向的得分最小。(2)同一评价单元,宜林评价方向得分最高,宜草评价方向得分最低。(3)宜林评价方向的勉强适宜区所占面积比例最大,而宜耕、宜草评价方向则是不适宜区所占面积比例最大。(4)宜林评价方向勉强适宜区的主要限制性因子是水土污染程度,不适宜区除水土污染程度是主要限制性因子外,地表坡度和灌溉条件在部分评价单元也具有较强的限制性;宜耕评价方向勉强适宜区的主要限制性因子是损毁程度和土地利用现状,不适宜区主要限制因子除损毁程度外还有灌溉条件和地表坡度;宜草评价方向勉强适宜区和不适宜区的主要限制性因子是损毁程度、地表坡度和灌溉条件。综合而言,龙驰煤矿采煤损毁土地最适宜复垦成林地,并可以通过降低水土污染程度提高宜林勉强适宜区和不适宜区的适宜程度。

**关键词:**矿山;损毁土地;农用地复垦适宜性评价;指数和法;差积法

**中图分类号:** TD88 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0242-06

我国是人口和农业大国,数量充足而又高质量的农用地是国家及区域安全和稳定的重要保障。改革开放以来,随着我国经济的快速发展,矿产资源的开发利用规模迅速扩大,农用地损毁问题越来越突出,加剧了人地矛盾<sup>[1-2]</sup>。据统计,我国因采矿造成的土地损毁面积累计超过 400 万  $\text{hm}^2$ ,且每年以 1.3 万  $\text{hm}^2$  的速度增长,这给我国本就紧张的农用地资源保护带来了又一巨大压力<sup>[3]</sup>。土地复垦是实现农用地占补平衡的重要途径,也是国家大力发展的一项科学技术<sup>[4-6]</sup>。土地复垦适宜性评价作为评价损毁土地复垦后是否适宜利用以及适宜程度的一种技术手段,是进行土地复垦利用决策、改良途径选择和科学编制土地利用规划的基本依据,在复垦工作中起着重要作用<sup>[7-10]</sup>。笔者以云南省龙驰煤矿为例,采用二级评价体系,应用指数和法与差积法,对其损毁土地进行土地复垦为农用地的适宜性进行评价,以期对土地复垦利用决策和土地改良途径选择提供理论支持。

## 1 研究区概况与评价方法

### 1.1 研究区概况与数据来源

收稿日期:2017-02-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:41401637)。

作者简介:程琳琳(1977—),女,山东泰安人,博士,副教授,主要从事土地复垦、土地利用等方面的研究。E-mail:chll@cumt.edu.cn。  
通信作者:孙海元,硕士,主要从事土地信息的分类、采集、处理和自动化管理系统设计研究。E-mail:767436161@qq.com。

龙驰煤矿开采方式采用井工开采,位于云南省罗平县西北方向 27 km 处(地理坐标为  $25^{\circ}07'N$ 、 $104^{\circ}05'E$ ),属于典型的亚热带高原性山地季风气候,雨水丰沛。土壤类型主要为红壤、黄壤,壤土厚度在 0.5~1.5 m,有机质含量约为 2.8%,自然肥力较高。植被属亚热带半湿润常绿阔叶林,以乔木和灌木为主,农作物主要有水稻、小麦、玉米等。

龙驰煤矿损毁土地总面积达 500.60  $\text{hm}^2$ ,其中矿山生产设施和矿部建设占用土地面积 2.95  $\text{hm}^2$ ,矿区排土场和尾矿库压占土地面积 0.10  $\text{hm}^2$ ,地面塌陷面积 497.65  $\text{hm}^2$ 。本研究区主要包括矿区排土场和尾矿库压占及地面塌陷所损毁的土地,面积共为 497.75  $\text{hm}^2$ 。

通过罗平县国土资源部门、水利部门、农林业部门、气象部门以及罗平县近 3 年的统计年鉴获取研究区的地质地貌、水文经济数据;土地损毁数据主要通过实地调研和利用沉降预测软件预测得到。将得到的数据导入 ArcGIS 10.2,先利用空间校正工具条及地图投影统一坐标系校正数据到正确位置,再利用 ArcToolbox 工具箱的叠置分析、距离分析、属性分析等得到每个评价单元的得分。最后根据宜耕、宜林、宜草各个评价方向利用自然间断点分级法将研究区分为高度适宜区、一般适宜区、勉强适宜区、不适宜区 4 个等级。

### 1.2 评价原则

矿山损毁土地复垦为农用地适宜性评价体系的建立不仅要考虑农用地适宜性评价的基本原则,还要兼顾矿山损毁土地的特点。因此,评价所要遵循的主要原则可以概括为以下几点:(1)因地制宜、农业用地优先原则;(2)符合土地利用总

体规划,并与其他规划相协调原则;(3)主导因素与综合平衡原则;(4)自然因素与社会经济因素相结合原则;(5)经济可行与技术合理性原则;(6)综合效益最佳原则<sup>[8,11-17]</sup>。

1.3 评价指标体系构建与权重确定

考虑到煤矿损毁土地复垦的特点,在咨询了来自土地复垦、农业、林业、牧业和土地管理的专家后,运用两两比较法根据宜耕、宜林、宜草方向对评价因子进行筛选,分别选取土壤

有机质含量、损毁程度、耕地管理半径、灌溉条件、排水条件、土地利用现状、海拔、地表坡度和水土污染程度等 9 个相互独立又相互补充的参评因子。指标量化标准参考了土地适宜性评价、土地复垦技术标准和有关研究成果(表 1)。

土地复垦评价因子权重是在咨询了相关专家后构造判断矩阵,求出每位专家分别根据宜耕、宜林、宜草 3 个评价方向确定的每个因子权重的平均值,详见表 2。

表 1 龙池煤矿损毁土地农用地复垦适宜性评价指标量化标准

评价因子	评价方向	100 分	90 分	80 分	70 分	60 分	50 分	40 分	20 分
土壤有机质含量(%)	耕地	>4	(3,4]	—	[2,3]	—	[1,2)	—	<1
	林地	>3	(2,3]	—	—	—	[1,2]	—	<1
	草地	>3	—	(2,3]	—	—	[1,2]	—	<1
损毁程度	耕地	无	—	轻	—	中	—	重	—
	林地	无和轻	—	中	—	重	—	—	—
	草地	无	—	轻	—	中	—	重	—
耕地管理半径(km)	耕地	<0.5	—	[0.5,1.0]	—	>1.0~1.5	—	>1.5	—
灌溉条件	耕地	稳定	—	一般	—	差	—	无	—
	林地	稳定	一般	差	—	无	—	—	—
	草地	稳定	—	一般	—	差	—	无	—
排水条件	耕地	好	—	一般	—	差	—	无	—
	林地	好	一般	差	—	无	—	—	—
	草地	好	—	一般	—	差	—	无	—
土地利用现状	耕地	水田	旱地	—	林地	—	其他用地	—	裸地
	林地	水田	旱地	林地	—	—	其他用地	—	裸地
	草地	水田	旱地	—	林地	—	其他用地	—	裸地
海拔(m)	耕地	<1 200	—	—	[1 200,2 000]	—	—	>2 000	—
	林地	<1 200	—	[1 200,2 000]	—	>2 000	—	—	—
	草地	<1 200	—	[1 200,2 000]	—	>2 000	—	—	—
地表坡度(°)	耕地	<8	—	[8,15)	—	[15,25]	—	>25	—
	林地	<15	—	[15,25]	—	>25	—	—	—
	草地	<8	—	[8,15)	—	[15,25]	—	>25	—
水土污染程度	耕地	无污染	—	—	轻度污染	—	中度污染	重度污染	—
	林地	无污染	—	轻度污染	—	中度污染	—	重度污染	—
	草地	无污染	—	轻度污染	—	中度污染	—	重度污染	—

注:“—”表示无相应数据或内容。

表 2 龙池煤矿损毁土地农用地复垦适宜性评价指标权重

评价方向	土壤有机质含量	损毁程度	耕地管理半径	灌溉条件	排水条件	土地利用现状	海拔	地表坡度	水土污染程度
耕地	0.17	0.12	0.11	0.12	0.12	0.09	0.04	0.14	0.09
林地	0.18	0.14	—	0.09	0.09	0.08	0.11	0.13	0.18
草地	0.12	0.18	—	0.16	0.06	0.03	0.05	0.21	0.19

1.4 评价单元划分

目前,常用的土地适宜性评价单元类型有土壤类型单元、土地资源类型单元、土壤利用现状图斑单元、行政单元、网格单元,以及多因素叠置法形成的同质单元等<sup>[8,18-24]</sup>。由于矿山开采的特殊性,宜常采用叠置法形成的同质单元。将得到的土壤有机质含量图、灌溉条件图、土地利用现状图、损毁程度图、地表坡度图、排水条件图、耕地管理半径图、海拔图等叠置。通过叠置法得到的评价单元虽然同质,但是部分评价单元面积较小,不具有物理意义。因此利用评价单元之间的欧氏距离,依次将面积较小的同质单元合并到相邻的最相似单元中。得到的评价单元内部性质相对均一或相近,单元之间又具有差异性和可比性,能客观地反映土地在一定时期和空

间上的差异。共得到 124 个评价单元,合并后的单元得分按公式(1)计算:

$$F=\frac{F_i\times S_i+F_j\times S_j}{S_i+S_j}。 \tag{1}$$

式中: $F$  为合并后的单元总分值; $F_i$ 、 $F_j$  分别为合并前评价单元  $i$ 、 $j$  的总分值; $S_i$ 、 $S_j$  分别为合并前评价单元  $i$ 、 $j$  的面积。

1.5 评价模型

综合分析参与评价的因子,没有明显的限制性因素,各参评因子之间也没有明显的相关性,因此,宜采用指数和法<sup>[25]</sup>进行评价。指数和法充分考虑了各参评因子的重要性,并对各参评因子进行量化。按公式(2)计算各评价单元的综合分值,评价研究区范围内宜农、宜林、宜草各评价方向的适宜性

及适宜程度。

$$F_{ik} = \sum_{j=1}^n a_{ikj} b_{ikj} \circ \quad (2)$$

式中: $F_{ik}$ 是评价单元*i*在评价方向*k*上的得分; $a_{ikj}$ 是评价单元*i*在评价方向*k*上的第*j*个因子的得分; $b_{ikj}$ 是评价单元*i*在评价方向*k*上的第*j*个因子的权重。

1.6 不适宜区和勉强适宜区限制因子分析方法

每个评价单元的各个利用方向的适宜程度是多个因子共同作用的结果。勉强适宜区和不适宜区的评价单元的不适宜性则主要是由于 1 个或者多个因子不适宜造成的。利用差积法分析勉强适宜区和不适宜区的各个因子,计算公式如下<sup>[26]</sup>:

$$S_{ikj} = (a_{ikj} - \bar{F}_k) \times b_{ikj} \circ \quad (3)$$

式中: $S_{ikj}$ 是评价单元*i*在评价方向*k*上的因子*j*的得分相对于 $\bar{F}_k$ 的相对值; $a_{ikj}$ 是评价单元*i*在评价方向*k*上的第*j*个因子

的得分; $\bar{F}_k$ 是评价方向*k*的一般适宜区的评价单元得分的最小值; $b_{ikj}$ 是评价单元*i*在评价方向*k*上的第*j*个因子的权重。

2 结果与分析

2.1 不同评价方向的等级分析

龙驰煤矿不同评价方向复垦适宜等级空间分布和复垦适宜等级统计结果见图 1、表 3。宜耕、宜林、宜草评价方向的高度适宜区、一般适宜区、勉强适宜区、不适宜区的得分区间各不相同,宜林评价方向与宜耕、宜草同等适宜等级的各区间相比得分相对较大,宜耕评价方向的得分次之,宜草评价方向的得分最小。宜林评价方向高度适宜区的总面积所占比例比宜耕、宜草评价方向都大,宜草评价方向的比例最小。与此相反,宜林评价方向不适宜区面积所占比例比宜耕、宜草评价方向都小。宜林评价方向的勉强适宜区面积所占比例最大,而宜草、宜耕评价方向则是不适宜区面积所占比例最大。

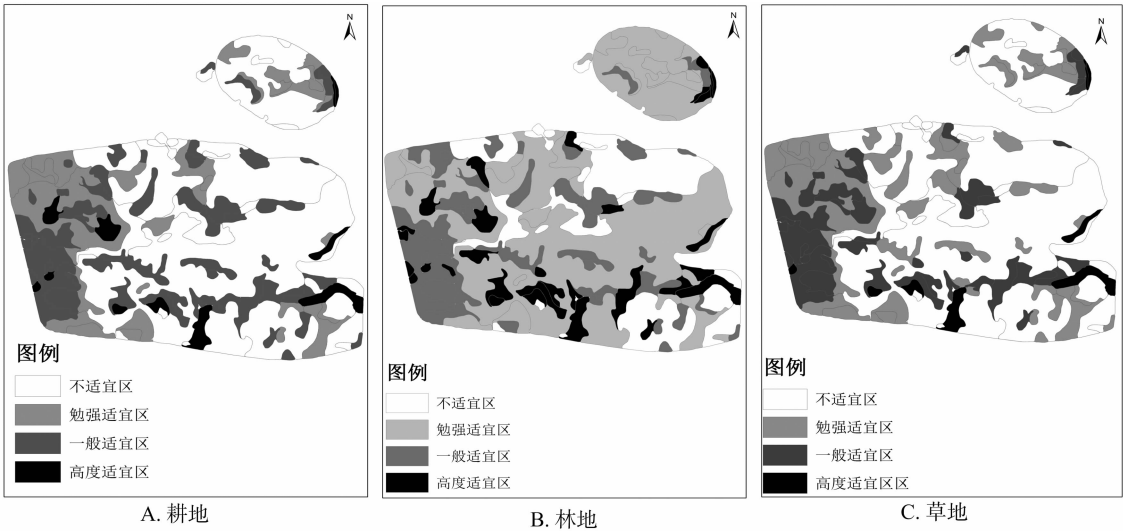


图1 龙驰煤矿损毁土地不同评价方向复垦适宜等级空间分布

表3 龙驰煤矿损毁土地不同评价方向(耕地、林地、草地)复垦适宜等级统计结果

等级分类	宜耕		宜林		宜草	
	得分(分)	比例(%)	得分(分)	比例(%)	得分(分)	比例(%)
高度适宜区	81.0~89.5	4	84.3~89.6	10	76.0~78.7	3
一般适宜区	74.0~80.4	22	81.0~83.8	19	65.8~71.6	17
勉强适宜区	69.0~73.6	18	78.3~80.9	52	59.8~65.3	24
不适宜区	62.6~68.6	56	73.7~77.7	19	52.2~59.4	56

龙驰煤矿各评价单元得分分布见图 2。对于同一评价单元,宜林评价方向的得分高于宜草、宜耕评价方向的得分,宜草评价方向的得分最低。农作物、树木、草对土地自然因素和环境状况条件的要求有差异,是同一评价单元各评价方向得分不同的主要原因<sup>[27~29]</sup>。林地具有较高的固定水分营养、抵御自然灾害的生态能力,有较强的适应能力<sup>[30]</sup>。而耕地是人工生态系统,人为参与性较强,增强了农作物养分补给和抵御自然灾害的能力<sup>[31]</sup>。

2.2 不适宜区和勉强适宜区限制因子分析

2.2.1 宜耕评价方向勉强适宜区和不适宜区限制因子分析

从图 3 可以看出,宜耕评价方向勉强适宜区排水条件、水土

污染程度 2 因子的相对值较大,而损毁程度得分的相对值等于 -1.82,具有明显的限制性,是主要的限制因子。除文献标志符描述符(FID)为 14 的评价单元外,土地利用现状评价因子在其他各评价单元得分的相对值都较小,在不同单元表现出的限制也不同,尤其在 FID 为 22 时其限制性更为突出。土壤有机质含量也仅在评价单元 FID 为 8 和 24 处得分的相对值较大。每个评价单元的灌溉条件与海拔 2 因子的相对值都相等,且 2 因子仅在少数评价单元处具有限制性。地表坡度和耕作管理半径 2 因子得分的相对值则随着评价单元 FID 值的变化较大且地表坡度仅在评价单元 FID 为 9 处表现出明显的限制性。

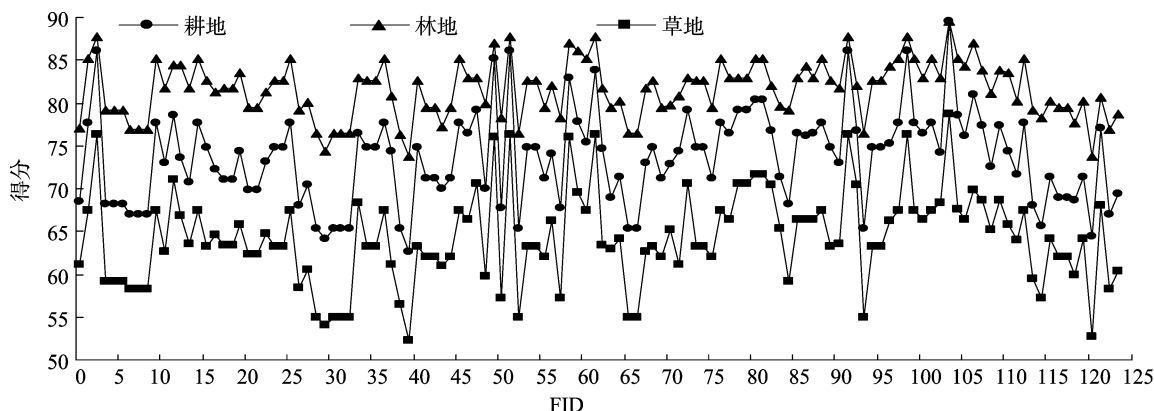
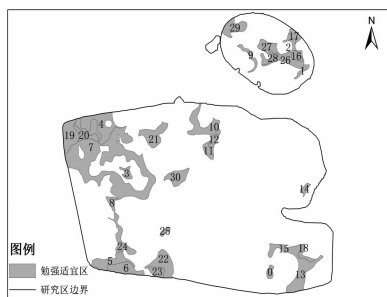
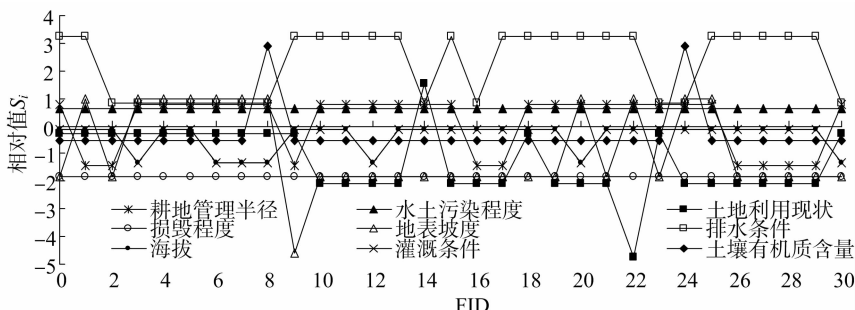


图2 龙驰煤矿各评价单元得分分布



A. 空间分布

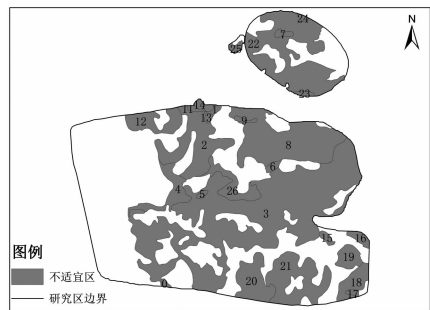


B. 相对值分布

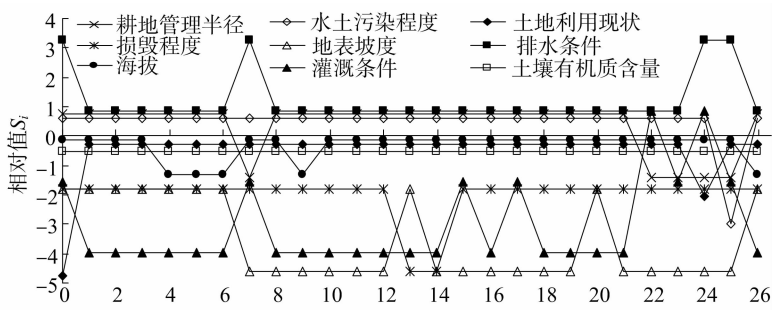
图3 宜耕评价方向勉强适宜区空间分布及评价因子相对值分布

从图4可以看出,宜耕评价方向不适宜区各评价单元的损毁程度、地表坡度、灌溉条件3因子的得分都较一般适宜区的评价单元得分的最小值低,是主要的限制因子。土地利用现状因子仅在FID为0和24处具有限制性,而海拔也仅在FID为4~6、9、26处具有限制性。土壤有机质含量的得分虽比一般适宜区的评价单元得分的最小值低,但其相对值也仅

为-0.41。水土污染程度除在FID为25的评价单元处具有明显的限制性外,其得分都较该评价方向一般适宜区评价单元得分的最小值大,相对值为0.63。耕地管理半径因子除在FID为7、22~25的评价单元处相对值较小外,其得分都较该评价方向一般适宜区的评价单元得分的最小值大。排水条件因子的得分都较一般适宜区的评价单元得分的最小值大。



A. 空间分布



B. 相对值分布

图4 宜耕评价方向不适宜区空间分布及评价因子相对值分布

### 2.2.2 宜林评价方向勉强适宜区和不适宜区限制因子分析

从图5可以看出,宜林评价方向勉强适宜区各评价单元的土壤有机质含量和排水条件2因子的得分都较该方向一般适宜区的评价单元得分的最小值大,而水土污染程度的相对值都较小,是主要的限制性因子。损毁程度因子的得分与该评价方向一般适宜区的评价单元得分的最小值相等。海拔因子除在FID为3~4、18和32的评价单元处具有限制性外,其他评价单元的相对值都等于0。土地利用现状、地表坡度、灌溉

条件3因子得分的相对值则随着评价单元FID的变化而变化较大。土地利用现状和水土污染程度2因子分别在FID为21.31的评价单元处表现出明显的限制性。

从图6可以看出,宜林评价方向不适宜区评价单元的有机质含量和排水条件2因子得分的相对值都较大,而水土污染程度因子得分的相对值较小,是主要的限制性因子。地表坡度因子除在FID为0~3、9、16处和灌溉条件因子除在FID为0、15处的评价单元得分的相对值等于0外,在其他评价单

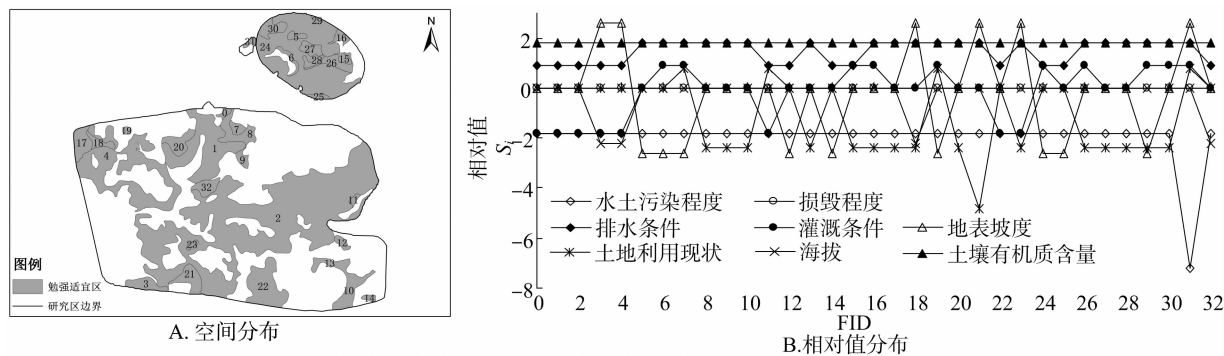


图5 宜林评价方向勉强适宜区空间分布及影响因子相对值分布

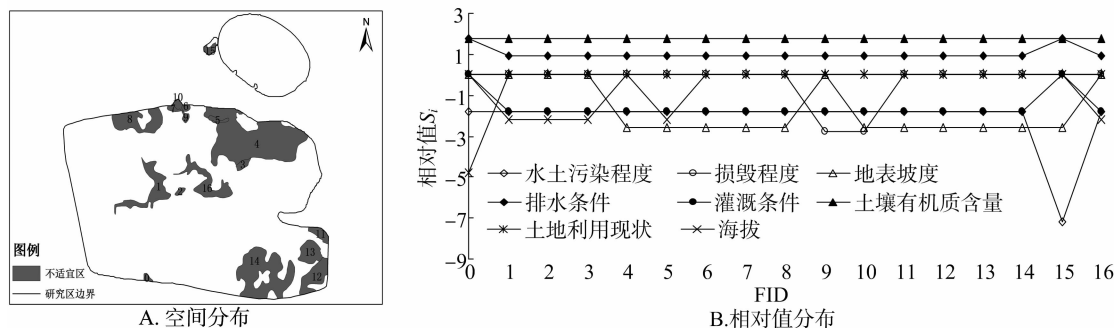


图6 宜林不适宜区空间分布及影响因子相对值分布

元处都具有明显的限制性。海拔因子仅在 FID 为 1~3、5 和 16 的评价单元处具有一定的限制性,在其他评价单元处得分的相对值都等于 0。损毁程度因子也仅在 FID 为 9 和 10 的评价单元处具有限制性,在其他评价单元处其相对值等于 0。评价单元 FID 为 0 的主要限制因子是土地利用现状因子。

### 2.2.3 宜草评价方向勉强适宜区和不适宜区限制因子分析

从图 7 可以看出,宜草评价方向勉强适宜区评价单元的排水条件、土壤有机质含量 2 因子得分的相对值较大。灌溉条

件除在评价单元 FID 为 2、12、15 等处得分的相对值较大,不具有限制性外,在其他评价单元得分的相对值都较小,尤其在评价单元 FID 为 5~9、21、40~41 处具有明显的限制性。损毁程度得分的相对值都等于 -1.98,是主要的限制因子。地表坡度得分的相对值随评价单元 FID 的增大变化较大,在评价单元 FID 为 12、15、25、32 和 45 处具有明显的限制性。土地利用现状除在 FID 为 0 的评价单元处得分的相对值为 -1.53 外,在其他评价单元处得分的相对值在 -0.63~0.57 之间变化。

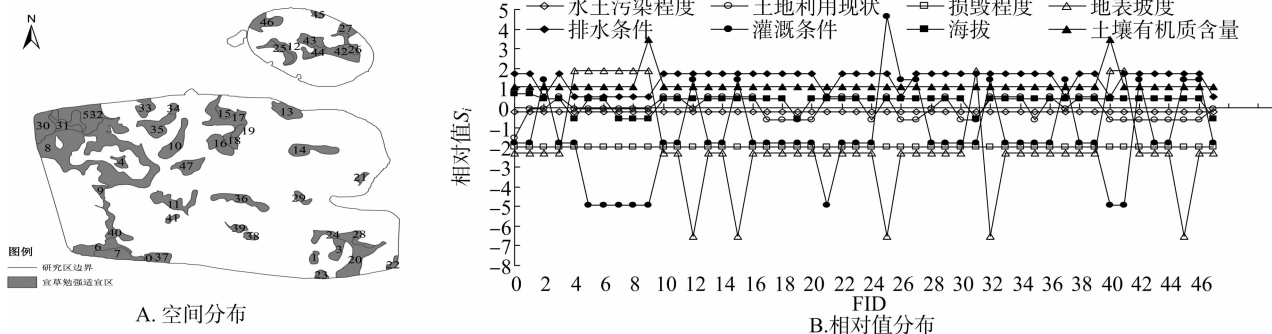


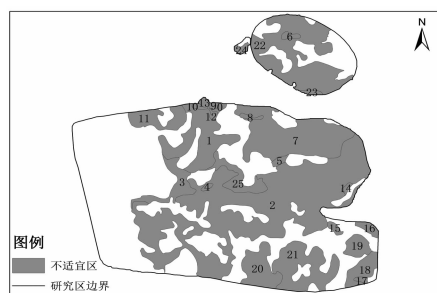
图7 宜草勉强适宜区空间分布及影响因子相对值分布

从图 8 可以看出,宜草评价方向不适宜区评价单元的损毁程度、地表坡度 2 因子得分的相对值较小,是主要的限制因子。灌溉条件除在 FID 为 22 的评价单元处得分较该评价方向一般适宜区评价单元得分的最小值大外,在其他单元处其相对值都较小,也是主要的限制因子。水土污染程度仅在评价单元 FID 为 22 时得分的相对值较小。排水条件、土壤有机质含量 2 因子得分的相对值都较大。除 FID 为 3~5、8、25 的评价单元外,海拔因子得分较该评价方向一般适宜区的评价单元得分的最小值大。土地利用现状因子得分的相对值随评

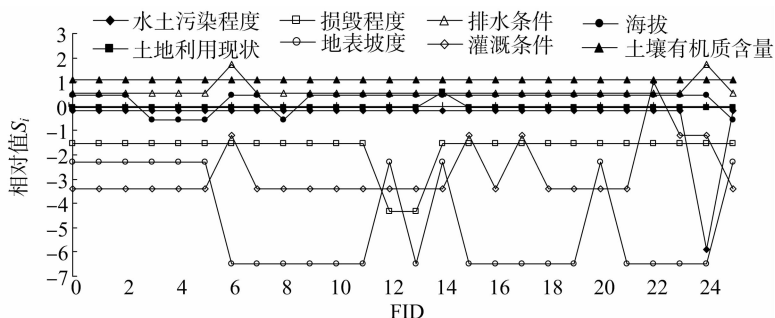
价单元 FID 的增大在 0~1 之间变化。

### 3 结论

将指数法和差积法相结合,并以 ArcGIS 10.2 空间分析软件作为支撑,对龙驰煤矿损毁土地进行了宜耕、宜林、宜草 3 个方向的土地复垦适宜性评价,并对其限制因子进行了分析。结果表明,龙驰煤矿采煤损毁土地最适宜复垦成林地,可通过降低水土污染程度提高宜林勉强适宜区和不适宜的适宜程度,为该区损毁土地的复垦利用决策提供了理论依据。



A. 空间分布



B. 相对值分布

图8 宜草不宜区空间分布及影响因子相对值分布

## 参考文献:

- [1] Zhang X R, Fang C L, Wang Z B, et al. Urban construction land suitability evaluation based on improved multi-criteria evaluation based on GIS (MCE-GIS): case of new Hefei City, China [J]. Chinese Geographical Science, 2013, 23(6): 740-753.
- [2] 王景升, 李 佳, 陈宝雄, 等. 宁夏东部能源化工基地煤炭产业生态风险评估[J]. 资源科学, 2013, 35(10): 2011-2016.
- [3] 徐嘉兴, 李 钢, 陈国良, 等. 土地复垦矿区的景观生态质量变化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 232-239.
- [4] Ye B. Integrating MCE with GIS for suitability evaluation of the reclamation land in Antaibao open pit coal mine [C]// World Automation Congress. IEEE, 2012: 1-5.
- [5] 金 丹, 卞正富. 国内外土地复垦政策法规比较与借鉴[J]. 中国土地科学, 2009, 23(10): 66-73.
- [6] 胡振琪. 土地复垦与生态重建[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [7] Bagherzadeh A, Daneshvar M M. Qualitative land suitability evaluation for wheat and barley crops in Khorasan-Razavi province, Northeast of Iran [J]. Agricultural Research, 2014, 3(2): 155-164.
- [8] Qu L, Shao Y, Zhang L. Land suitability evaluation method based on GIS technology [C]// Second International Conference on Agro-Geoinformatics. IEEE, 2013: 7-12.
- [9] 卢晓杰. 水电站工程土地复垦适宜性评价方法与实践[J]. 中国农村水利水电, 2015, 393(7): 182-184.
- [10] 宋可实. 采煤塌陷区土地复垦适宜性评价研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [11] 于英娜. 草原生态脆弱区煤矿土地复垦适宜性评价研究——以内蒙古鲁新煤矿为例[D]. 北京: 中国地质大学, 2008.
- [12] 曹艳红. 滦平县银窝沟超贫磁铁矿土地复垦规划[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [13] Huang W X, Cheng X W. Fuzzy evaluation of Arable land suitability based on three scale AHP method [C]// International Conference on Geoinformatics. IEEE, 2016: 1-4.
- [14] 彭晓晴, 宁 芳, 尹文影. 矿区废弃地复垦为农用地的适宜性评价[J]. 煤炭技术, 2015, 34(7): 326-328.
- [15] 郑朝治. 基于 GIS 的煤矿区土地复垦研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2014.
- [16] 文沛泓. 基于免疫克隆算法的高速公路工程土地复垦适宜性评价研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015.
- [17] 国土资源部土地整理中心. 土地复垦方案编制实务: 下册[M]. 北京: 中国大地出版社, 2010: 278-309.
- [18] 郭 杰, 包 倩, 欧名豪, 等. 农村居民点整理适宜性评价及其分管制[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(4): 52-58.
- [19] 杨子生. 山区城镇建设用地适宜性评价方法及应用——以云南省德宏州为例[J]. 自然资源学报, 2016, 31(1): 64-76.
- [20] 张甘霖, 吴运金, 赵玉国. 基于 SOTER 的中国耕地后备资源自然质量适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 1-8, 封4.
- [21] 涂建军, 华 娟. 基于生态位适宜度模型和 GIS 技术的山区耕地生态经济适宜性评价[J]. 高技术通讯, 2013, 23(4): 436-441.
- [22] 钱铭杰, 吴 静, 袁 春, 等. 矿区废弃地复垦为农用地潜力评价方法的比较[J]. 农业工程学报, 2014, 30(6): 195-204.
- [23] 赵素霞, 牛海鹏, 张捍卫, 等. 基于生态位模型的高标准基本农田建设适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 220-228.
- [24] 蔡利平, 李 钢, 孙久运, 等. 采煤塌陷区土地复垦适宜性评价单元划分研究[J]. 中国煤炭, 2011, 37(12): 104-108.
- [25] 李建春, 张军连, 李宪文, 等. 银川市基本农田保护区空间布局合理性评价[J]. 农业工程学报, 2013, 204(3): 242-249.
- [26] 刘 佳, 陈 超, 秦宁生, 等. 青藏高原原若尔盖生态区水资源对气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 2016, 38(2): 498-508.
- [27] 蔡广鹏, 张朝琼. 岩溶山区不同地貌形态的土地利用变化比较分析[J]. 四川农业大学学报, 2015, 127(4): 392-398.
- [28] 孙丕冬, 许月卿, 王 数. 环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. 农业工程学报, 2014, 240(14): 277-288.
- [29] 邵红娟, 张朝琼, 张凤太. 基于地形梯度的贵州省土地利用时空变化分析[J]. 四川农业大学学报, 2015, 124(1): 62-70.
- [30] 张晓霞, 杨宗儒, 查同刚, 等. 晋西黄土区退耕还林 22 年后林地土壤物理性质的变化[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 416-424.
- [31] 张密密, 陈 诚, 刘广明, 等. 适宜肥料与改良剂改善盐碱土壤理化特性并提高作物产量[J]. 农业工程学报, 2014, 236(10): 91-98.