

董丽丽,丁忠义,刘一玮,等. 基于 TOPSIS 模型的煤矿区土地生态质量评价[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):300-303.

# 基于 TOPSIS 模型的煤矿区土地生态质量评价

董丽丽,丁忠义,刘一玮,毛梦祺

(中国矿业大学环境与测绘学院,江苏徐州 221116)

**摘要:**以黄淮海平原的沛北 8 矿为研究区域,从压力-状态-响应角度构建指标体系,利用地理空间分析技术提取数据,采用基于熵权的 TOPSIS 模型对土地生态质量进行评价,并运用灰色关联分析法对指标进行了关联度分析。结果表明:受煤炭开采的影响,沛北 8 矿的土地生态质量均未达到一等,其中与最优方案贴进度最高的是孔庄煤矿,贴进度最低的是龙固煤矿;多数评价指标与土地生态质量的关联度都在 0.7 以上,其中工矿用地比例、土地损毁(压占、塌陷、废弃)比例和土地复垦率等因素与矿区土地生态质量状况的关联度尤为显著。需要政府和采矿企业在煤炭资源的开采利用过程中,转变“先破坏,后治理”的传统土地利用模式,重视土地生态质量的防治和保护,积极推进土地复垦工程,实现沛北 8 矿土地生态与矿区经济的协调发展。

**关键词:**土地生态质量;熵权;关联度;矿区

**中图分类号:** X822.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2014)09-0300-04

煤炭矿区的生态环境是矿区生产及周围居民赖以生存的基础。由于煤炭资源的长期不合理开发利用,造成了矿区及周边生态环境的严重污染和破坏。我国的煤炭开采分为井工开采和露天开采 2 种方式,但都是以土地为依托的,所以煤炭矿区的生态环境问题在土地生态质量方面表现得尤为突出。因此,煤炭矿区的土地生态状况调查与评价是保护矿区生态环境,解决人与环境矛盾,促进经济、社会和生态环境可持续发展的迫切需求。从 2011 年起,由国土资源部土地利用重点实验室承担实施的土地资源调查评价专项项目“重点区域土地生态状况调查与评估”开始对黄淮海采煤塌陷区的土地生态状况进行调查与评估,煤炭矿区的土地生态质量状况和土地生态系统的平衡性得到国家、社会 and 科研机构的高度重视。本研究结合黄淮海地区的遥感影像资料,运用遥感影像处理软件和地理信息系统,从压力-状态-响应(PSR)角度建立评价体系,采用熵权法赋予指标权重,基于 TOPSIS 模型对该地区沛北 8 矿的土地生态质量进行评价和横向比较,并且利用灰色关联法进行因素关联度分析,以期对矿产资源的合理开发利用以及矿区土地的生态保护提供参考。

## 1 研究区概况

研究区是位于黄淮海地区、江苏省西北端的徐州沛县境内的沛北 8 矿,与山东省微山县毗连,西北与山东省鱼台县接

壤,西邻丰县,南望铜山区。现已探明煤炭储量约 23.7 亿 t,占江苏省储量的 40%,徐州市储量的 66%,年产量占江苏省的 50% 以上。境内 8 对矿井,分别是太电煤电集团的姚桥煤矿、徐庄煤矿、孔庄煤矿、龙东煤矿,徐州矿务集团的三河尖煤矿、张双楼煤矿,华润电力集团的天能龙固煤矿、沛城煤矿,涉及龙固、杨屯、大屯、安国、沛城、鹿楼、朱寨、栖山、张寨、沛县经济开发区等 10 个镇级单位(图 1)。

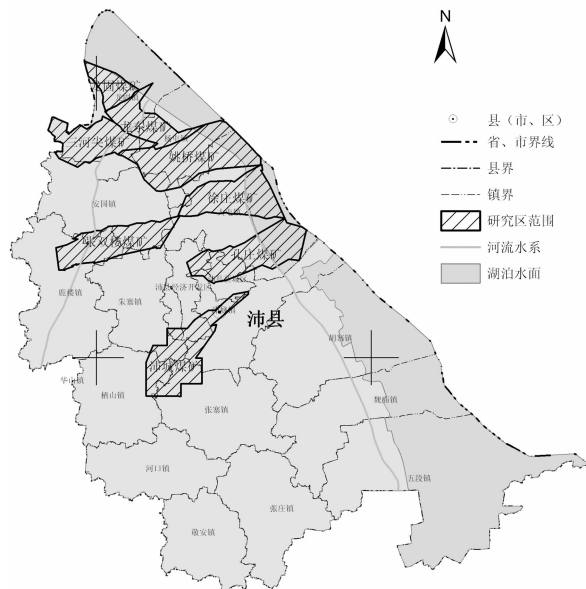


图1 研究区域地理位置示意图

收稿日期:2013-12-18

基金项目:公益性行业(国土资源)科研专项(编号:201115106311)。

作者简介:董丽丽(1989—),女,四川华蓥人,硕士,主要从事土地规划、土地开发复垦整理研究。E-mail: lililai20080623@126.com。

[8] 吴璞周,卫海燕. 基于 GIS 和人工神经网络的区域水资源压力评价模型及其验证[J]. 水土保持通报,2007,27(6):160-164.

[9] 袁琦,黄建清,符新,等. 基于神经网络的水产养殖水质预测模型研究[J]. 湖北农业科学,2013,52(1):143-146.

[10] 吴璞周,卫海燕. 基于 GIS 和人工神经网络的区域水资源压力评价模型及其验证[J]. 水土保持通报,2007,27(6):160-164.

[11] 苏广实,胡宝清,梁铭忠,等. 基于神经网络的喀斯特石漠化预警分析模型研究——以广西都安为例[J]. 地球与环境,2009,37(3):287-292.

[12] 闫妍,胡宝清,韩清延,等. 基于 3S-ANN 技术的县域农地石漠化预警分析——以广西壮族自治区都安瑶族自治县为例[J]. 中国岩溶,2012,31(1):52-58.

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

土地利用基础数据来源于中国科学院资源环境数据中心 2010 年 ETM + 多光谱遥感影像,接收时间为 2010 年 10 月 28 日,同时收集了该研究区相关年份的行政区划图、地形图、等高线图、土壤图、矿界图、土地利用现状图以及土地利用类型等资料,并且利用调查获取了相关野外调查资料。利用 Arc-GIS 10.0 软件对遥感影像进行配准和分类,然后进行评价指标原始数据的分层提取。考虑各景观组分在矿业开采中的功能特征,兼顾影像解译的可能性,参照全国土地利用分类体系,土地利用类型确定为建设用地(工矿用地)、耕地、林地、园地、湿地、水域(包括塌陷积水)、其他土地等 7 类,并且采用直接判读法对 2010 年 ETM + 多光谱遥感影像进行解译和修改,得到 2010 年的土地利用数据。

2.2 研究方法

2.2.1 评价指标体系的构建 本研究参考《生态环境状况评价技术规范(试行)》(HJ/T 192—2006),并根据矿区土地利用与生态环境的关系,基于压力-状态-响应(PSR)的角度<sup>[1-2]</sup>分别从 3 个方面构建评价指标体系。煤炭的开发利用会对矿区的生态环境产生压力,尤其是对土地生态系统的压力,从而影响土地生态质量;反过来,社会通过意识和行为的改变,采取相应措施对压力造成的状态作出响应,在煤炭矿区这种响应主要本着“谁损毁,谁复垦”、“谁投资,谁受益”的原则,因地制宜地采用多种方法进行复垦。

结合已有相关研究<sup>[3-5]</sup>,围绕“煤矿区”和“土地生态质量”,选取工矿用地比例( $E_1$ )、压占土地比例( $E_2$ )、塌陷土地比例( $E_3$ )、废弃工矿地比例( $E_4$ )、土地利用结构指数( $E_5$ )、景观多样性指数( $E_6$ )、植被覆盖指数( $E_7$ )、水域比例( $E_8$ )、塌陷土地复垦率( $E_9$ )、废弃工矿地复垦率( $E_{10}$ )等 10 个指标,构建矿区土地生态质量的评价体系(表 1)。其中,土地利用结构指数、景观多样性指数、植被覆盖度指数的计算方法稍作阐述。

表 1 矿区土地生态质量评价指标

准则层	指标层	计算方法	类型	权重
压力	工矿用地比例	$E_1 = \text{工矿用地面积} / \text{矿区面积}$	反向	0.046 2
	压占土地比例	$E_2 = \text{压占土地面积} / \text{矿区面积}$	反向	0.106 5
	塌陷土地比例	$E_3 = \text{塌陷土地面积} / \text{矿区面积}$	反向	0.095 3
	废弃工矿地比例	$E_4 = \text{废弃工矿地面积} / \text{矿区面积}$	反向	0.018 8
状态	土地利用结构指数	$E_5$	正向	0.163 6
	景观多样性指数	$E_6$	正向	0.165 7
	植被覆盖指数	$E_7$	正向	0.165 3
	水域比例	$E_8 = \text{水域面积} / \text{矿区面积}$	正向	0.109 5
响应	塌陷土地复垦率	$E_9 = \text{已复垦的塌陷土地面积} / \text{塌陷土地面积}$	正向	0.085 8
	废弃工矿地复垦率	$E_{10} = \text{已复垦的废弃工矿地面积} / \text{废弃工矿地面积}$	正向	0.043 5

(1)土地利用结构指数。土地利用结构指数用以反映评价区土地利用的结构构成。根据各类型土地对矿区土地生态质量的贡献程度,将其量化:林地为 5,湿地为 4,耕地为 3,园地为 2,水域为 1,建设用地和其他用地为 0,分别乘以各类型土地的面积比例。然后依据面积大小,取面积比例排名前五的土地类型,分别赋予权重 0.3、0.25、0.2、0.15、0.1。

$$E_5 = \sum_{i=1}^5 g_i w_i = 0.3g_1 + 0.25g_2 + 0.2g_3 + 0.15g_4 + 0.1g_5。$$
 (1)

式中, $g_i$  为土地类型分值, $w_i$  为相应权重。

(2)景观多样性指数。景观多样性指数用以反映被评价区景观的多样化程度,本研究中主要表现为土地利用类型的多样性。

$$E_6 = - \sum_{i=1}^m p_i \ln p_i。$$
 (2)

式中, $p_i$  为景观类型  $i$  占矿区面积的比例, $m$  为景观类型数。

(3)植被覆盖指数。植被覆盖指数用于反映被评价区植被覆盖的程度。在地表生态系统的众多组成因子中,土地利用和土地覆盖状况是最为直观的<sup>[4]</sup>。

$$E_7 = \left( \frac{0.28 \times S_{\text{林地}} + 0.22 \times S_{\text{湿地}} + 0.18 \times S_{\text{耕地}} + 0.15 \times S_{\text{园地}} + 0.10 \times S_{\text{水域}} + 0.05 \times S_{\text{建设}} + 0.02 \times S_{\text{其他}}}{S_{\text{矿区面积}}} \right)$$
 (3)

2.2.2 熵权法确定指标权重 在确定指标权重时,往往多采用主观性较强的层次分析法,这样会造成评价结果的较大偏差。为尽量消除指标权重确定过程中的人为干扰,本研究采

用信息论中的熵权法,即由指标值构成的判断矩阵来确定权重。这种方法具有操作性和客观性强的特点,可以根据指标的变异程度来计算出各项指标的权重,为多指标综合评价提供依据。计算步骤如下:

(1)数据的标准化。构建原始数据矩阵  $R = (x_{ij})_{m \times n}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ 。由于本研究是对同一年份多矿区的土地生态质量作横向对比,所以  $x_{ij}$  表示  $m$  个评价指标在  $n$  个矿区的土地生态质量评价决策矩阵。然后对原始数据进行标准化处理且都转化为正向指标<sup>[6]</sup>,得到标准化决策矩阵  $B$ 。

正向指标(越大越优型):  $b_{ij} = x_{ij} / \max x_{ij}$  (4)

反向指标(越小越优型):  $b_{ij} = \min x_{ij} / x_{ij}$

(2)确定指标熵值。根据熵的定义,确定评价指标的熵  $H_i$ :

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}, \text{其中 } f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{j=1}^n b_{ij}}, k = \frac{1}{\ln n}。$$
 (5)

$H_i$  为第  $i$  项指标的熵,并假定当  $f_{ij} = 0, f_{ij} \cdot \ln f_{ij} = 0$ ;  $k$  为波尔兹曼常量。

(3)确定指标权重。利用熵权法计算各指标的权重  $w_i$ ,得到各指标权重(表 1)。

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i}, \text{且满足 } 0 \leq w_i \leq 1 \text{ 和 } \sum_{i=1}^m w_i = 1。$$
 (6)

2.2.3 TOPSIS 评价模型 TOPSIS 模型<sup>[7-8]</sup>称为逼近理想解排序法,其基本原理是通过检测评价对象与正理想解、负理想解的距离来评价矿区土地生态质量状况。若评价对象最靠近

正理想解,同时又最远离负理想解,则为最好;否则不为最优。

(1)构建加权决策矩阵。在熵权法确定评价指标权重的基础上,将标准化决策矩阵  $B$  的每一个指标与相应的指标权重  $w_i$  相乘,得到加权决策矩阵  $V$ 。

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} \cdot w_1 & b_{12} \cdot w_1 & \cdots & b_{1n} \cdot w_1 \\ b_{21} \cdot w_2 & b_{22} \cdot w_2 & \cdots & b_{2n} \cdot w_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} \cdot w_m & b_{m2} \cdot w_m & \cdots & b_{mn} \cdot w_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

(2)确定正、负理想解。当各指标值都达到最优值时,取正理想解  $V^+$ ;当各指标值都达到最差值时,取负理想解  $V^-$ 。

$$V^+ = \{v_1^+, v_2^+, \cdots, v_m^+\}; \quad (8)$$

$$V^- = \{v_1^-, v_2^-, \cdots, v_m^-\}。 \quad (9)$$

(3)距离计算。分别计算各矿区评价向量到正理想解的距离  $D_j^+$  和负理想解的距离  $D_j^-$ 。

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}; \quad (10)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}。 \quad (11)$$

(4)贴近度计算。各矿区评价对象与最优方案的贴近度为

$$C_j = \frac{D^-}{D^- + D^+}, 0 \leq C_j \leq 1。 \quad (12)$$

当  $C_j = 1$  时,矿区土地生态质量最好,土地生态质量达到最优,处于最为稳定的状态;当  $C_j = 0$  时,矿区土地生态质量极差,处于高度无序极不稳定状态。结合研究区的实际情况,参照徐嘉兴的方法<sup>[3]</sup>,将贴近度划分为 4 个等级标准,用以反映矿区土地生态质量状况(表 2)。

表 2 矿区土地生态质量评判标准

贴近度	质量等级	生态状况
$0.7 < C_j < 1$	一等	稳定
$0.5 < C_j \leq 0.7$	二等	较稳定
$0.3 < C_j \leq 0.5$	三等	不稳定
$0 < C_j \leq 0.3$	四等	很不稳定

3 结果与分析

3.1 质量评价及对比

利用熵权 TOPSIS 模型对沛北 8 矿的土地生态质量进行评价,得到 8 矿与最优方案的贴近度(表 3)。

表 3 沛北 8 矿与最优方案的贴近度

矿区	贴近度
孔庄煤矿	0.606 6
龙东煤矿	0.262 1
龙固煤矿	0.142 5
沛城煤矿	0.549 0
三河尖煤矿	0.144 4
徐庄煤矿	0.521 5
姚桥煤矿	0.371 8
张双楼煤矿	0.325 0

从表 3 可以看出,沛北 8 矿中孔庄、沛城、徐庄这 3 个矿区的土地生态质量为二等,生态状况较稳定;姚桥、张双楼这

2 个矿区的土地生态质量为三等,生态状况不稳定;龙东、龙固、三河尖这 3 个矿区的土地生态质量为四等,生态状况很不稳定。其中与最优方案贴近度最低的是龙固煤矿,贴近度最高的是孔庄煤矿。由于各矿分别隶属于 3 家不同的煤炭开采企业,各矿的矿山规模、生产阶段、内外部条件不同,对土地生态质量的影响程度也不同。

孔庄煤矿和徐庄煤矿均隶属于大屯煤电集团,孔庄矿属大型矿山,1977 年投产;徐庄矿属中型矿山,1979 年投产。2 者的投产时间均较早,土地生态质量与最优方案的贴近度分别为 0.606 6、0.521 5,土地生态状况较为稳定。两矿的矿界面积较大,使得压占、塌陷的比例相对较小,并且塌陷土地得到了较大比例的复垦,尤其是孔庄煤矿的塌陷土地复垦率高达 63.84%。加上两矿东临微山湖,塌陷区复垦为耕地、植物景观区、湿地公园等,这对土地生态质量起到了一定的改善作用。沛城煤矿的土地生态质量较好,与最优方案的贴近度为 0.549 0,这是因为它位于沛城镇,沛城镇是沛县县城所在地。该矿区在生产开采的过程中特别注重土地问题的防治和保护,压占土地、塌陷土地和废弃工矿地的所占比例均很小。并且政府和企业高度重视矿区内的土地利用结构、植被覆盖程度以及废弃工矿地的复垦,耕地面积位居 8 矿之首,使得该矿区的土地生态质量为二等,生态状况较为稳定。

姚桥煤矿隶属于大屯煤电集团,1977 年投产,属于大型矿山,其矿界面积是沛北 8 矿中最大的,其塌陷区面积、压占地面积和废弃地面积也是最大的,但是由于投产最早,土地破坏已经稳沉,作为沛县塌陷地复垦工程的一期工程最早得到复垦利用,加上东面大面积的微山湖湿地水面,土地生态质量为三等。张双楼煤矿隶属于徐州矿务集团,也属于大型矿山,于 1986 年建成投产,虽然塌陷土地比例和废弃工矿地比例较大,但区内林地和园地广布,土地利用结构较为合理,景观类型多样,植被覆盖指数较高,土地生态状况不稳定。

龙东、龙固、三河尖这 3 个矿区的土地生态质量很不理想,均为四等,生态状况很不稳定。3 者隶属于 3 家不同的集团,位于沛县最北部龙固镇和杨屯镇,土地的塌陷、压占尤其严重,而相应的复垦比率却不高。区内土地利用结构不大合理,景观多样性指数和植被覆盖指数都较低,水域面积也不大,使得土地生态状况很不稳定。

3.2 指标关联度分析

3.2.1 灰色关联度模型的建立 灰色关联度模型即用关联度来反映各评价对象与参考对象(最优向量)的关联程度,关联度值越接近 1,说明相关性越好。建模步骤如下:

(1)确定数列的最优向量。由于已对原始数据进行了标准化处理且都转化为正向指标,求取了正、负理想值,最优向量为 TOPSIS 模型中的正理想解  $G = \{g_1, g_2, \cdots, g_m\} = \{v_1^+, v_2^+, \cdots, v_m^+\}$ 。

(2)计算关联系数和关联度。利用灰色关联系数公式计算各指标与最优向量的关联度系数:

$$\zeta[b_i(j), g_i] = \frac{\min_j \min_i |b_i(j) - g_i| + \rho \max_j \max_i |b_i(j) - g_i|}{|b_i(j) - g_i| + \rho \max_j \max_i |b_i(j) - g_i|}; \quad (13)$$

$$\zeta(B_i, G) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \zeta[b_i(j), g_i]。$$

式中: $B_i$  为指标序列, $b_i(j)$  为第  $i$  个指标的第  $j$  个观测数据; $\rho$  为分辨系数,一般取 0.5; $\zeta[b_i(j),g_i]$  为关联系数; $\zeta(B_i,G)$  为  $G_i$  与  $G$  的灰色关联度。

3.2.2 指标关联度分析 通过灰色关联度计算发现,各项指标与土地生态质量均有较强的关联性,关联度都在 0.7 以上(表 4),这说明选取的指标与矿区土地生态质量的关系密切。从指标关联度强弱的次序来看,工矿用地比例( $E_1$ )>废弃工矿地复垦率( $E_2$ )>废弃工矿地比例( $E_3$ )>塌陷土地复垦率( $E_4$ )>压占土地比例( $E_5$ )>植被覆盖指数( $E_6$ )>塌陷土地比例( $E_7$ )>景观多样性指数( $E_8$ )>水域比例( $E_9$ )>土地利用结构指数( $E_{10}$ )。其中,工矿用地比例与土地生态质量的关联度达 0.904 7,为关联性最强的影响因素;其次,土地损毁(废弃、压占、塌陷)比例和土地复垦率等因素与矿区土地生态质量状况的关联度也较强;而这些因素对土地生态系统的作用主要通过植被覆盖程度反映出来,植被覆盖指数的关联度达 0.805 3。从准则层来看,压力层和响应层指标的关联度总体比状态层要大,这说明采矿扰动对土地生态的压力以及政府和企业的响应措施与煤矿区土地生态质量的关系较为紧密,这与煤矿区“先破坏,后治理”的传统土地利用模式是密切相关的。

表 4 土地生态质量与各指标的灰色关联度

准则层	指标	关联度
压力	工矿用地比例	0.904 7
	压占土地比例	0.837 5
	塌陷土地比例	0.799 4
	废弃工矿地比例	0.881 5
状态	土地利用结构指数	0.729 7
	景观多样性指数	0.788 7
	植被覆盖指数	0.805 3
	水域比例	0.739 3
响应	塌陷土地复垦率	0.837 7
	废弃工矿地复垦率	0.886 6

受地质、地域、开采方式等客观条件的影响,工矿用地面积( $E_1$ )、压占地面积( $E_2$ )、塌陷地面积( $E_3$ )、废弃地面积( $E_4$ )的控制较为困难,矿区土地的损毁不可避免,尤其是工矿用地面积的大小直接影响到矿区土地的整体布局和土地生态的整体状况。煤炭开采对矿区土地的压力通过土地利用结构( $E_5$ )、景观的多样性( $E_6$ )、植被覆盖程度( $E_7$ )以及水域面积的大小( $E_8$ )等状态反馈出来,政府和企业再通过复垦措施对土地生态质量进行改善。通过一系列土地复垦工程的实施,提高矿区土地的复垦比例,不仅可以增加耕地数量,提高耕地质量,还可以将采煤塌陷区改造为不同的景观湿地,这既可以改善矿区的土地利用结构,还可以增加景观多样性,提高植被覆盖率。同时,沛北 8 矿位于黄淮海高潜水位区,地表塌陷形成的大面积积水,还可以增加水域比例,加上原有的河湖水面,对矿区土地生态质量的优化作用不可忽视。

虽然土地复垦对于煤炭矿区土地生态质量的改善具有重要作用,但是单纯依靠后期治理对于矿区土地的可持续利用以及土地生态与矿区经济的协调发展是不利的。转变采矿区传统的土地利用模式,从破坏源头和采矿过程中加强控制,与

后期治理相结合,才能实现矿区土地生态系统的可持续发展。

4 结论

在基于压力-状况-响应角度的矿区土地生态质量评价指标体系的指导下,将熵权 TOPSIS 法与灰色关联法有机结合起来,对黄淮海平原沛北 8 矿的土地生态质量进行了定量评价和定性分析。得出沛北 8 矿中孔庄、沛城、徐庄这 3 个矿区的土地生态质量为二等,生态状况较稳定;姚桥、张双楼这 2 个矿区的土地生态质量为三等,生态状况不稳定;龙东、龙固、三河尖这 3 个矿区的土地生态质量为四等,生态状况很不稳定。其中与最优方案贴程度最低的是龙固煤矿,贴程度最高的是孔庄煤矿。并且工矿用地比例、土地损毁(压占、塌陷、废弃)比例和土地复垦率等因素与矿区土地生态质量状况的关联度高,需要政府和采矿企业在煤炭资源的开采利用过程中,转变“先破坏,后治理”的传统土地利用模式,重视土地生态质量的防治和保护,加大管理力度和投入强度,积极推进土地复垦工程,优化土地利用结构,增加植被覆盖指数,实现沛北 8 矿土地生态与矿区经济的协调发展。

由于沛北 8 矿均处徐州沛县以北的黄淮海平原,受到自然、社会、经济等区域因素的影响差别不大,在评价指标构建的过程中忽略了区域因素。考虑到基于矿区范围的数据收集难度较大,本研究只选择了 2010 年的数据对 8 矿土地生态质量状况进行横向比较,并且将行政边界与矿区边界叠加,主要考虑沛县行政范围内八大矿区的土地生态质量状况,实际上某些矿区超出沛县边界的部分(面积均较小)在操作过程中进行了舍弃。如果有可能获得更多的数据,我们可以基于行政界线(镇界、村界等)更加客观地研究沛北 8 矿的土地生态质量的动态演变和发展状况,为黄淮海平原煤炭资源丰富地区的土地生态质量定量评价和定性分析提供更加科学的依据。

参考文献:

[1]蒙 晓,任志远,戴 睿. 基于压力-状态-响应模型的宝鸡市生态安全动态评价及预测[J]. 水土保持通报,2012,32(3): 231-235,295.

[2]张风太,苏维钧,周继霞. 基于熵权灰色关联分析的城市生态安全评价[J]. 生态学杂志,2008,27(7):1249-1254.

[3]徐嘉兴,李 钢,陈国良,等. 矿区土地生态质量评价及动态变化[J]. 煤炭学报,2013,38(增刊):180-186.

[4]孙 凡,李天云,黄 轲,等. 重庆市生态安全评价与监测预警研究——理论与指标体系[J]. 西南农业大学学报:自然科学版,2005,27(6):757-762.

[5]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(1):232-239.

[6]唐 恒,杜发兴. 基于熵权的模糊物元水资源承载力评价模型[J]. 中国农村水利水电,2006(12):36-39.

[7]李 灿,张凤荣,朱泰峰,等. 基于熵权 TOPSIS 模型的土地利用绩效评价及关联分析[J]. 农业工程学报,2013,5(5):217-227.

[8]鲁春阳,文 枫,杨庆媛,等. 基于改进 TOPSIS 法的城市土地利用绩效评价及障碍因子诊断——以重庆市为例[J]. 资源科学,2011,33(3):535-541.