

基于组合赋权法的焦作矿区生态安全评价与时空分异

司锦锦, 王世东

(河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000)

摘 要:生态安全评价是生态安全研究的基础和前提,健康的生态环境是区域生态安全的重要体现。以河南省焦作市矿区村级行政区域为研究对象,基于 PSR 模型建立生态安全评价指标体系,采用层次分析法和熵值法相结合的方式确定权重,运用综合评价模型评估了 1999 年、2008 年以及 2018 年的安全状况,分析其时间与空间上的变化特征。结果表明:研究区 1999 年综合指数为 29.63,处于生态恶劣状态;2008 年为 52.39,处于生态预警状态;2018 年为 50.26,也处于生态预警状态,整体生态安全状况呈上升趋势,特别是位于修武县的方庄一矿和方庄二矿的变化幅度较大,而位于辉县市和修武县的古汉山矿的变化幅度最小;1999—2008 年,研究区进行了产业调整和经济转型,对城市环境进行了大力治理,因此在此期间生态安全状况有所好转;随着时间的推移,煤矿的继续开采以及塌陷区的逐渐扩大,是导致 2008—2018 年生态安全状况变化不大的主要原因。从空间上看,2008—2018 年研究区西北部地区即修武县的方庄矿生态状况优于其他地区,而中西部地区即辉县市的古汉山矿生态状况劣于其他地区。资源环境压力、生态现状和社会经济响应等是生态安全产生变化的主要影响因素。研究结果可为研究区后续生态发展提供参考。

关键词:焦作矿区;生态安全;熵值法;组合赋权;时空演变规律

中图分类号:X826

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)03-0348-07

Ecological Security Evaluation and Spatiotemporal Differentiation of Jiaozuo Mining Area Based on Combined Weighting Method

SI Jinjin, WANG Shidong

(School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

Abstract: Ecological safety assessment is the basis and premise of ecological safety research. The healthy ecological environment is an important manifestation of regional ecological safety. Taking the village-level administrative area of the mining area in Jiaozuo City, Henan Province as the research site, we established an ecological safety evaluation index system based on the PSR model, determined the weights by the combination of analytic hierarchy process and entropy method, and used the comprehensive evaluation model to evaluate the security situations of the years 1999, 2008 and 2018, and analyze the characteristics of their changes in time and space. The results show that the comprehensive index of the study area in 1999 was 29.63, which was in an ecologically bad state; in 2008, it was 52.39, which was in an ecological early warning state; in 2018, it was 50.26, which was also in an ecological early warning state, and the overall ecological security situation showed an upward trend, especially in the repair area; the Fangzhuang No. 1 mine and Fangzhuang No.2 mine in Wuxian County had changed a lot, while the Guhanshan mine in Huixian City had the smallest change range; from 1999 to 2008, the research area underwent industrial adjustment and economic transformation, and carried out an urban environment as a result of vigorous management, the ecological security situation improved during this period; with the passage of time, the continued production of coal mines and the gradual expansion of the collapsed areas were the main reasons for the small changes in the ecological security situation from 2008 to 2018; from a spatial perspective, the ecological condition of Fangzhuang mine

收稿日期:2020-06-18

修回日期:2020-06-24

资助项目:河南省国土资源科研项目(豫政采(2)20190450-7);河南省科技攻关重点项目(192102310038).

第一作者:司锦锦(1997—),女,河南周口人,硕士生,主要研究方向为资源环境遥感。E-mail:1727518378@qq.com

通信作者:王世东(1978—),男,河南濮阳人,副教授,博士,硕士生导师,主要研究方向为资源环境遥感、土地利用变化与土地复垦。E-mail:wsd0908@163.com

in Xiuwu County in the northwest of the study area from 2008 to 2018 was better than the other areas, while the ecological condition of Guhanshan mine in Huixian City in the central and western areas was inferior to the other areas. Pressure on resources and environment, ecological status and socio-economic response are the main influencing factors on changes in ecological security.

Keywords: Jiaozuo mining area; ecological security; entropy method; combination empowerment; spatiotemporal evolution

随着社会的发展,人们的生活水平逐渐提高,对生态环境的要求也越来越高,生态安全问题特别是矿区生态安全问题受到了越来越多人的重视。采矿业为我国经济高速发展提供有力支持,给国家带来了相当可观的经济效益,但是与此同时日益增速的矿山开发造成的生态环境问题也愈发严重,并且产生了一系列的污染问题。焦作因其煤矿资源数量大、质量好,给人们带来了巨大的物质财富,但是受到的环境威胁也日益严重,因此进行矿区生态安全评价越发重要。与其他生态安全相比,矿区生态安全是一个多层次、复杂的综合系统,集自然环境、农业活动、人类和生物活动于一体,各个内部因素之间相互作用、相互联系。本文通过讨论研究区产生的生态问题以及产生这些问题的原因,对存在的生态问题进行定性及定量研究,以期对焦作矿区更好发展提供参考依据。

近年来,生态安全在国际上得到了越来越广泛的认可^[1],一般而言,生态安全有广义和狭义两种理解,狭义的生态安全是指自然和非自然生态系统的安全,即生态系统完整性和健康的整体水平反映。国内外学者对生态安全方面展开了一系列的研究,取得了一定的研究成果。例如,Lester R. Brown^[2]最先提出环境变化和生态安全之间的关系。中国从20世纪90年代开始重视生态安全方面的内容,越来越多的专家学者对生态安全进行研究,进入21世纪以来,关于生态安全的研究、与生态安全相关的著作在逐渐增多,其中肖笃宁、郭中伟、邹长新等^[3-5]在其各自的著作《论生态安全的基本概念和研究内容》、《建设国家生态安全预警系统与维护体系》、《生态安全研究进展》中对生态安全的定义进行了描述并对它做了概括,生态系统的逐渐退化带来了越来越多的生态威胁,这已经引起了国家的高度重视。周荣等^[6]采用PSR建立指标体系,利用灰色预测模型对湖北省土地生态安全评价结果进行分析与预测;孙礼娜等^[7]基于模糊综合评价对安徽省县域开放水平进行分析;解进飞等^[8]采用熵值模糊物元分析法对皖江地区土地生态安全进行评价;王雨琪等^[9]基于径向基函数网络模型对中国的31个省、自治区和直辖市进行生态压力指数评价;邢广君等^[10]基于DPSIR模构建评价指标体系,利用

综合权重灰色关联分析法对千鹤湖生态安全状况进行评价;孙从建等^[11]基于不同时段遥感影像信息对吕梁山贫困区进行生态安全评价;陈蓓^[12]基于生态足迹模型对川西南高原地区进行生态安全评价。综上所述,目前对于生态安全评价的方法有很多,每种方法各有利弊,例如物元评价法有助于从变化的角度识别变化因子,具有较好的直观性,但是关联函数形式确定不规范,通用性有待提高。生态安全问题是一个十分复杂的综合性问题,目前的生态安全问题尚未形成统一参考标准,生态安全评价模型过程中涉及众多方法的选择,需要综合考虑各方因素进行评价^[13]。

本文基于PSR模型,构建生态安全评价指标体系,利用组合赋权法确定指标权重,采用综合指数法对焦作矿区1999年、2008年以及2018年的生态安全状态进行评估,分析研究区的生态安全演变规律,以期对焦作市生态环境保护与生态文明建设提供科学依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

研究区位于焦作市中东部地区以及新乡市西南部地区,地理坐标为东经113°13′—113°34′,北纬35°11′—35°27′,研究区总面积为354.66 km²,跨一市一县二区,135个行政村,采矿历史悠久,尤其是在20世纪60年代和70年代。焦作煤矿多年来在国内创造了煤矿的安全性、成本和效率等多项第一。从1990年之后开始进入衰减阶段,小马矿和冯营矿已先后关闭,中马矿,韩王矿山和演马矿山等其他矿山也已枯竭。

焦作煤矿为社会经济发展做出了重大贡献,但也同时带来了巨大的损失。其中最严重的是对土地资源的破坏,例如地面塌陷、挖掘和压占,其中损毁面积最大是塌陷地。煤矿的塌陷区主要分布在解放区、山阳区、马村区和修武县,在某些地区还形成了塌陷盆地,大片土地不能耕种,破坏耕地严重,部分公路因为塌陷而进行多次修复,个别厂矿、村庄被迫搬迁,造成直接经济损失3 000多万元。同时地面塌陷伴有地裂缝,分布在北中部山前地带的中站区、解放区、山阳区、马村区和修武县煤矿采空区,地裂缝造成房屋墙体开裂,迫使村民部分搬迁或全村搬迁,公路部分地

段开裂或沿裂缝处形成带状凸起,如解放区森林公园北等。由于大气降水沿裂缝渗漏,造成雨季淹井,多次使有关矿山被迫停产。

1.2 数据来源与处理

本研究所使用的数据主要有:(1) 焦作矿区 3 个时期的 Landsat 系列卫星遥感影像数据:1999-05-29 的 TM 影像、2008-05-05 的 TM 影像和 2018-05-01 的 OLI 影像;(2) 焦作矿区的 DEM 数据,空间分辨率为 30 m;(3) 统计数据来源于焦作市以及辉县市的社会经济统计年鉴以及统计公报。

在 ENVI 和 ArcGIS 中对遥感影像进行镶嵌、裁剪,并采用监督分类中支持向量机的方法对影像进行分类,将研究区分为林草地、耕地、水域、建筑物以及未利用地 5 类。

2 研究方法

本文以焦作矿区小马矿、韩王矿、演马矿、冯营矿、九里山矿、白庄矿、古汉山矿、方庄一矿、中马矿、方庄二矿,这十个矿为基础,以矿区 1.5 km 缓冲区内所包含的村级行政单元为研究区域,依据三期遥感影像数据以及社会经济统计等数据或资料,对煤炭开采以及人类与生物活动影响下的生态安全时空演变规律进行重点讨论。根据 PSR 模型以及焦作矿区的实际情况,构建矿区生态安全评价指标体系,建立 PSR 模型,利用熵值法和层次分析法确定指标权重,基于综合指数法对 1999 年、2008 年、2018 年的矿区生态安全状况分别进行评价,分析焦作矿区的生态发展趋势,揭示其时空演变规律。

2.1 指标体系构建

根据指标体系选取的如下原则:科学性原则、动态性原则、可靠性原则、代表性原则、可操作性原则^[14],依据 PSR 模型构建矿区生态安全评价指标体系,PSR 模型是基于因果关系而建立的,它突出反映了评价系统产生的压力—压力下所产生的状态—人们积极做出的响应这 3 个环节之间相互影响,相互制约的关系^[15]。本文从矿区生态环境压力、矿区生态环境状态、矿区生态环境响应 3 个方面构建焦作矿区生态安全评价指标体系,同时充分考虑研究区的社会经济状况、生态环境状况、土地利用变化特征等实际情况,选取了 19 个反映矿区生态安全的指标体系,进而从时间和空间两个方面对焦作矿区生态安全状况进行分析。指标体系见表 1。

2.2 指标标准化处理

因为指标数据之间有不同单位,因此数据之间没有可比性,所以需要指标体系进行标准化处理。本

文采用最大离差法对矿区生态安全指标体系进行变换处理,处理公式如下:

正向指标:

$$X'_{ij} = (x_{ij} - x_{j\min}) / (x_{j\max} - x_{j\min}) \quad (1)$$

负向指标:

$$X'_{ij} = (x_{j\max} - x_{ij}) / (x_{j\max} - x_{j\min}) \quad (2)$$

式中: X'_{ij} 为经过标准化处理过后的值; x_{ij} 为标准化前的原始值; $x_{j\max}$, $x_{j\min}$ 分别为待标准化数据中是最大值和最小值。

表 1 PSR 模型下的矿区生态安全评价指标体系

目标层(A) 因素层(B)		因子层(C)
矿区生态安全	压力(P)	C ₁ 人口密度(m ² /人)
		C ₂ 人均水资源拥有量(m ³ /人)
		C ₃ 单位耕地化肥负荷(t/hm ²)
		C ₄ 单位耕地农药使用量(t)
		C ₅ 土地利用强度指数
		C ₆ 矿区土地沉陷面积(m ²)
	状态(S)	C ₇ 人均耕地(hm ²)
		C ₈ 植被覆盖度
		C ₉ 土地垦殖率(%)
		C ₁₀ α 降雨量(mm)
		C ₁₁ 地形位指数
		C ₁₂ 土地利用结构指数
	响应(R)	C ₁₃ 城镇化率(%)
		C ₁₄ 交通密度(%)
		C ₁₅ 第三产业占 GDP 比重(%)
		C ₁₆ 人均 GDP(元)
		C ₁₇ 人均粮食产量(t)
		C ₁₈ 土地复垦治理率(%)
		C ₁₉ 生态服务价值(元)

2.3 组合赋权法确定指标权重

将两种或两种以上的权重确定方法结合,得到新的权重方法即为组合赋权,本文将层次分析法和熵值法结合,进行组合赋权。由于层次分析法得到的指标权重,往往存在很强的主观性与偶然性,难以准确的反映矿区的生态安全状况,而熵值法虽然可以客观的确定指标权重,但是缺乏各指标直接的横向比较,样本的影响因素较大^[16],因此对层次分析法和熵值法分别计算权重再进行处理得出最优解,可以为后续分析做出更准确的判断。

2.3.1 层次分析法确定指标权重 层次分析法是一种层次权重决策分析方法,该方法是将与决策相关的元素分解成目标、准则、方案等层次,将复杂的决策思维进行条理化,将决策过程中的定性与定量的因素有机的结合起来进行分析^[17-18],由专家对各个层次的指标的重要程度进行评价,得到准则层和各指标的判断矩阵,得出最大特征根 λ_{max} 对应的特征向量 W,对特征向量归一化处理后,得到各指标的权重,结果见表 2。

表 2 层次分析法确定的指标权重值

指标代码	权重	指标代码	权重
C_1	0.0096	C_{11}	0.0693
C_2	0.0162	C_{12}	0.0097
C_3	0.0687	C_{13}	0.0256
C_4	0.0644	C_{14}	0.1262
C_5	0.0370	C_{15}	0.0185
C_6	0.1187	C_{16}	0.0282
C_7	0.0186	C_{17}	0.1614
C_8	0.0074	C_{18}	0.0892
C_9	0.0342	C_{19}	0.0544
C_{10}	0.0424		

2.3.2 熵值法确定指标权重 熵值法能够客观的计算各个指标的权重,受到人为因素的影响较小。其计算过程如下:

(1) 计算第 i 项指标下第 j 个样本的比重:

$$p_{ij}=x'_{ij}/\sum_{j=1}^n x'_{ij} \tag{3}$$

(2) 计算第 i 项指标的熵值:

$$e_i=-k\sum_{j=1}^n p_{ij}\ln(p_{ij}) \tag{4}$$

(3) 计算第 i 项指标的差异性系数 g_i :

$$g_i=1-e_i \tag{5}$$

(4) 定义第 i 项指标的权重:

$$w_i=g_i/\sum_{i=1}^m g_i(i=1,2,3,\cdots,m;\sum_{i=1}^m w_i=1) \tag{6}$$

依据熵值法的原理与步骤,根据公式(3—6),以研究区标准化数据为基础,得到指标权重值见表 3。

2.3.3 确定组合向量权重 组合后的权重向量与以上两种方法确定的向量存在偏差,构造最优化模型,求得唯一解,即为优化组合权重向量,即:

$$W_i=\delta_1 W_1+\delta_2 W_2 \tag{7}$$

式中: δ_1,δ_2 为组合权重向量的线性表出系数,满足条件: $\delta_1>0,\delta_2>0,\delta_1^2+\delta_2^2=1$,组合权重值见表 4^[19]。由此可以看出,层次分析法和熵值法得出的权重结果虽然存在一定的差异,但其结果大体趋势相同,这说明利用组合赋权法对研究区多层次多指标的权重设计是合理的;其次,利用组合赋权法,在充分考虑研究区客观情况的同时修正了主观认知的不准确性,可以得到更准确可靠的权重系数。

2.4 生态安全评价方法

2.4.1 评价单元划分 评价单元的划分会直接影响到后续的评价工作,因此合理划分评价单元极其重要。在划分评价单元时,我们常用的主要有矢量评价单元划分法和栅格评价单元划分法^[20]。为了使矿区生态安全状况的评价结果具有准确性和客观性,结合研究区实际情况,本文选用矢量评价单元划分法对研

究区进行划分,研究区域涉及 135 个行政村,故本研究区域共划分为 135 个评价单元。

表 3 熵值法确定的指标权重值

指标代码	权重	指标代码	权重
C_1	0.0284	C_{11}	0.0007
C_2	0.0005	C_{12}	0.0016
C_3	0.0250	C_{13}	0.0323
C_4	0.2909	C_{14}	0.0920
C_5	0.0002	C_{15}	0.0598
C_6	0.0935	C_{16}	0.1925
C_7	0.0026	C_{17}	0.0079
C_8	0.0105	C_{18}	0.0782
C_9	0.0553	C_{19}	0.0256
C_{10}	0.0025		

表 4 指标体系综合权重值

指标代码	权重	指标代码	权重
C_1	0.0190	C_{11}	0.0350
C_2	0.0084	C_{12}	0.0057
C_3	0.0468	C_{13}	0.0290
C_4	0.1777	C_{14}	0.1091
C_5	0.0186	C_{15}	0.0392
C_6	0.1061	C_{16}	0.1103
C_7	0.0106	C_{17}	0.0847
C_8	0.0090	C_{18}	0.0837
C_9	0.0447	C_{19}	0.0401
C_{10}	0.0225		

2.4.2 评价模型 综合指数法是将各指标进行加权求和,即将每一项归一化处理后的指标数据与其对应的权重值相乘来表示各指标得分,然后将各指标得分相加,得到评价区域的生态安全指数,从而实现量化评价。该方法体现了生态安全评价中的综合性、整体性和层次性,综合考虑研究区生态安全影响因素的多样性,因此选择综合指数法对矿区进行综合评价。具体计算公式如下:

$$F_j=\sum_{i=1}^n W_i\times X_{ij} \tag{8}$$

式中: F_j 为第 j 村的生态安全综合评价指数; W_i 为指标 i 的最优组合权重; X_{ij} 为指标 i 的标准值。

2.4.3 评价标准 矿区生态安全评价结果通常以安全等级的形式来表现,即在计算其生态安全综合指数后,依据相关评价标准对评价结果进行分级。但是矿区生态安全评价结果分级目前还没有统一的标准,因此,为了更好的对研究区生态安全进行分析,参照相关研究成果^[15],结合研究区的实际情况,根据计算得到研究区生态安全综合指数,将矿区生态安全评价结果分为 5 个等级,不同的安全等级代表着不同的生态

状态,划分结果分别代表生态恶劣、生态较差、生态预警、生态良好和生态安全,结果见表 5。

表 5 生态安全等级

安全指数	评价等级	表征状态
0~30	差	生态恶劣
30~50	较差	生态较差
50~60	一般	生态预警
60~80	良	生态良好
80~100	优	生态安全

3 结果与分析

一般而言,区域的生态安全处于不断的变动之中,即矿区生态安全状况随着时间不断推移发生变化,对矿区生态安全评价的动态变化进行分析是非常重要的。本文选取 1999 年、2008 年以及 2018 年 3 个时间点,利用上述评价模型对焦作矿区生态安全进行动态评价,得出的结果见表 6。

表 6 焦作矿区生态安全评价结果

时间	生态安全综合指数	安全等级	状态分类
1999 年	29.63	差	生态恶劣
2008 年	52.39	一般	生态预警
2018 年	50.26	一般	生态预警

3.1 时间变化分析

由表 6 可以看出,1999—2018 年焦作矿区生态安全状况呈现波动上升趋势,说明焦作矿区生态安全状况在逐渐改善。其中,1999—2008 年呈现上升趋势,2008—2018 年呈现下降趋势,从 1999 年的 29.63 上升到 2008 年的 52.39 再下降到 2018 年的 50.26,20 a 来,矿区生态安全综合指数上升了 20.63。除 1999 年整体处于生态恶劣状态之外,其余两年均处于生态预警状态。根据上述计算与分析结果,得到每一年生态状况对比,见表 7。

表 7 研究区生态状况占比 %

年份	差	较差	一般	良	优
1999	66.67	31.85	1.48	0	0
2008	46.67	50.37	2.96	0	0
2018	41.48	45.93	9.63	2.96	0

1999—2008 年,研究区生态安全指数呈现上升态势。这主要是因为:为了摆脱资源型城市“矿竭城衰”的命运,1999 年焦作市政府做出了第二次转型的战略决策,开始把目光由地下矿产资源转向地上山水资源,提出要把人文、自然、社会景观相结合,主打山水,为此,焦作对城市环境进行大力治理,在这期间植被覆盖度、人均 GDP、人均粮食产量以及土地复垦治理率等指标持续上升,城镇化率随之上升。

2008—2018 年,研究区生态安全指数稍有下降。这主要是因为:2002—2012 年被称为煤炭产业的“黄金十年”,在这期间焦作矿区仍然在大力开采煤炭,并且随着时间的推移煤矿塌陷区面积逐渐增大。此外,焦作市于 2008 年被列为首批资源枯竭城市,并进行资源型城市转型试点,到 2018 年转型已经初见成效,在这期间,工业发展带来的水土污染也愈发严重,单位耕地农药以及化肥负荷加大,交通网密度也逐渐加大,这些都对矿区生态安全状况带来了一定的影响。

综上,1999—2018 年,焦作矿区生态安全综合指数总体呈现上升趋势,由生态恶劣到生态预警,但是离生态良好以及生态安全状态仍有一定的距离,仍然需要加大力度治理生态问题。

3.2 空间格局变化分析

为了探究焦作矿区生态安全空间格局的演变情况,对全区 4 个县区的生态安全评价进行研究,以此了解不同区域的生态安全演变趋势。根据上述计算过程,结合矿区生态安全评价标准,以县区为单位,并利用 Excel 表格统计,得出每个县区不同村庄的生态安全值对比图,见图 1。

20 a 来,研究区北部地区生态安全指数高于其他区域,东北和西南地区生态安全指数低于其他区域。4 个县区中,修武县生态安全指数高于其他 3 个区域,山阳区生态安全指数较低,辉县市一直处于生态较差状态,山阳区一直处于生态较差与生态恶劣状态,但生态恶劣状态区域在逐渐减少。整体来看生态良好以及生态预警区域逐年增多,生态安全指数由外向内逐渐增大。

(1) 1999 年,修武县和辉县市均处于生态较差状态,而马村区均处于生态恶劣状态,山阳区 76.92%处于生态恶劣状态,23.08%处于生态较差状态,修武县和辉县市的生态安全状况整体高于马村区和山阳区。

(2) 2008 年,修武县 92.85%处于生态良好状态,7.15%处于生态预警状态,马村区 12.73%处于生态良好状态,29.09%处于生态预警状态,58.18%生态较差状态,辉县市 4.00%处于生态预警状态,96.00%处于生态较差状态,山阳区 84.62%处于生态较差状态,15.38%处于生态恶劣状态,修武县的生态安全状况整体高于马村区、辉县市和山阳区。

(3) 2018 年,修武县 14.29%处于生态良好状态,76.19%处于生态预警状态,9.52%处于生态较差状态,马村区 29.09%处于生态良好状态,65.46%处于生态预警状态,5.45%处于生态较差状态,辉县市全部处于生态较差状态,山阳区 84.62%处于生态较差状态,15.38%处于生态恶劣状态,修武县和马村区生态安全状况整体高于辉县市和山阳区。

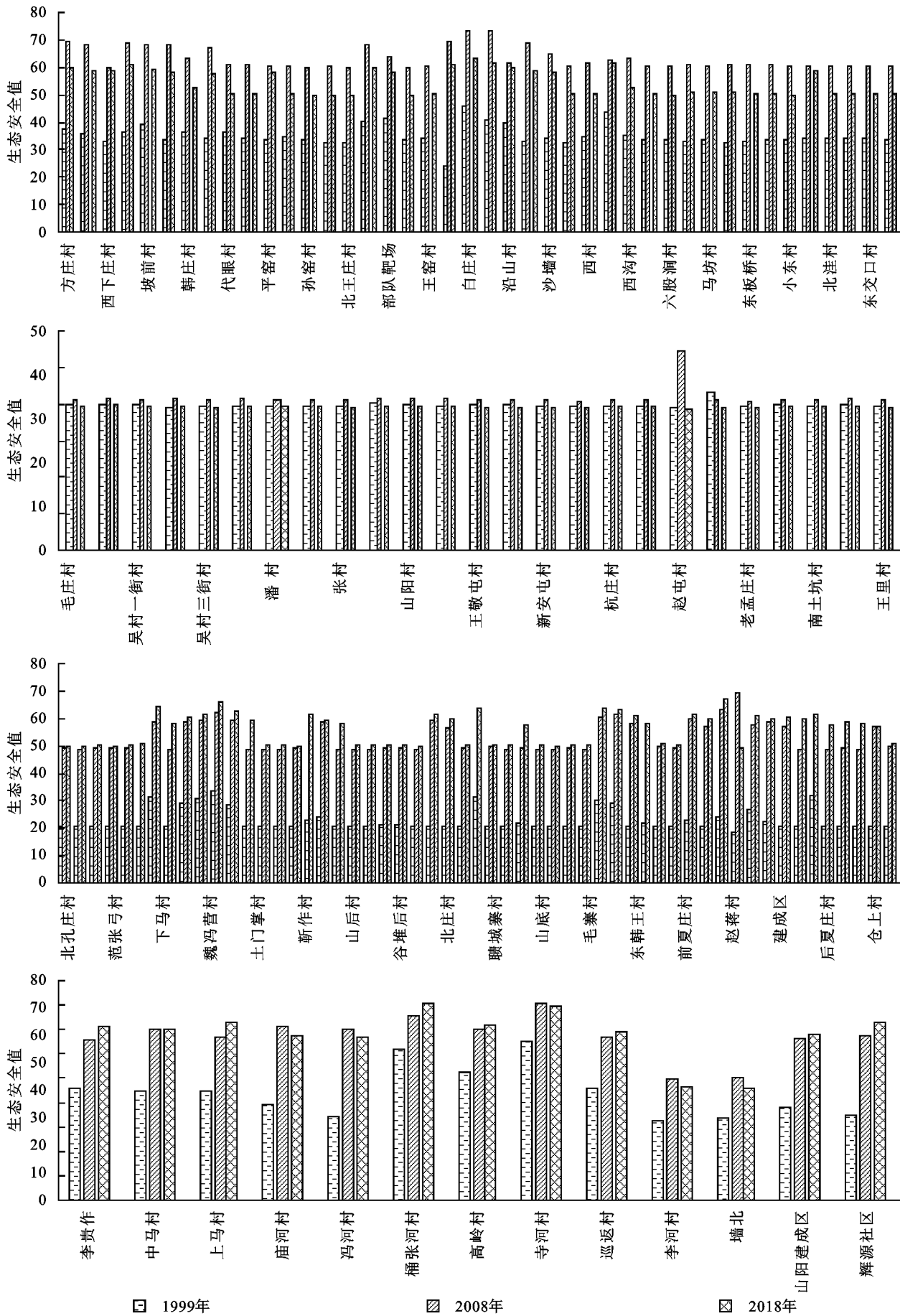


图 1 修武县、辉县市、马村区以及山阳区生态安全对比

焦作矿区生态安全状况发展不均,不同区域发展状况不同。其中,修武县和辉县市生态安全综合指数均呈现先上升后下降的趋势,马村区生态安全综合指数呈现上升趋势,山阳区 53.96% 呈现上升趋势,46.04% 呈现先上升后下降的趋势。根据矿区位置分布图以及县区生态安全对比图,可以发现,现已关停的小马矿和冯营矿位于修武县和马村区以及山阳区;资源枯竭的中马矿、韩王矿和演马矿位于山阳区和马村区;目前仍在开采的九里山矿和古汉山矿位于马村区和辉县市,矿区开采情况一定程度上影响了矿区生态状况。此外,人口密度、土地利用强度、塌陷区面积等等以及人类与生物活动都影响着矿区的生态安全状况。

4 结论

(1) 1999—2018 年焦作矿区生态安全综合指数呈波动上升的趋势,1999 年处于生态恶劣状态,2008 年以及 2018 年均处于生态预警状态。

(2) 1999—2018 年的生态安全状况不同区县有不同的变化特征,位于修武县的方庄一矿和方庄二矿变化幅度较大,位于辉县市和修武县的古汉山矿变化幅度最小,资源环境压力、研究区生态现状和社会经济响应等是生态安全产生变化的主要影响因素。

(3) 由于矿区生态安全评价指标体系的构建涉及众多的学科,尽管借助 PSR 模型构建了矿区生态安全评价指标体系,但受限于资料和指标数据可获取性的局限,以及自身水平的限制,矿区生态安全评价指标体系仍需进一步完善。

参考文献:

- [1] Iwanowa G, Henning G, Muller W, et al. Automatic detection of visual evoked potentials-an urgent necessity for objective perimetric investigations[C]//Proceedings of the 15 Th Annual International Conference of the Ieee Engineering in Medicine and Biology Societ. Ieee, 1993: 1387-1388.
- [2] Lester R. Brown. Building a sustainable society [J]. Society, 1982,19(2):75-85.
- [3] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念和研究内容[J].应用生态学报,2002,13(3):354-358.
- [4] 郭中伟.建设国家生态安全预警系统与维护体系:面对严重的生态危机的对策[J].科技导报,2001,19(1):54-56.
- [5] 邹长新,沈渭寿.生态安全研究进展[J].生态与农村环境学报,2011,19(1):56-59.
- [6] 周荣,刘鹏.基于灰色预测模型的土地生态安全评价[J].中国环境管理干部学院学报,2019,29(4):36-40.
- [7] 孙礼娜,刘先蓓.基于熵值法赋权的县域开放水平模糊综合评价[J].辽宁工业大学学报:自然科学版,2019,39(4):273-276.
- [8] 解进飞,余健,房莉,等.熵权模糊物元模型在土地生态安全动态评价中的应用[J].安徽农业科学,2019,47(4):1-7,11.
- [9] 王雨琪,程舒鹏,陆文涛,等.基于径向基函数网络模型的中国生态压力指数评价[J].北京大学学报:自然科学版,2019,55(1):182-188.
- [10] 邢广君,赵孟伟.基于综合权重灰色关联分析法的千鹤湖生态安全评价[J].灌溉排水学报,2019,38(3):121-128.
- [11] 孙从建,李晓明,张文强,等.基于遥感信息的吕梁山贫困区生态安全评价[J].中国环境科学,2019,39(12):5352-5360.
- [12] 陈蓓.基于生态足迹模型的川西南高原地区生态安全评价:以甘孜藏族自治州为例[J].中国农业资源与区划,2019,40(6):185-190.
- [13] 曹秉帅,邹长新,高吉喜,等.生态安全评价方法及其应用[J].生态与农村环境学报,2019,35(8):953-963.
- [14] 冯旭芳,刘晶妹,赵丽娟.基于 P-S-R 模型的县域生态安全评价研究:以山西省宁武县为例[J].中国农学通报,2013,29(35):127-131.
- [15] 袁零,杨庆媛.基于 PSR 框架的甘肃省环县耕地生态安全评价[J].西南师范大学学报:自然科学版,2019,44(6):60-68.
- [16] 任永泰,许东阳,成琨.基于 DPSIR 视角下的水土资源生态安全探析[J].环境工程,2018,36(11):172-178.
- [17] 乌云嘎,聂艳,罗毅,等.湖北省耕地生态安全时空演变特征研究[J].江汉大学学报:自然科学版,2015,43(4):317-322.
- [18] 张晓剑.基于层次分析法的煤矿顶板安全评价[J].陕西煤炭,2019,38(5):128-130,134.
- [19] 郭荣中,杨敏华,申海建.基于组合赋权法的长沙市耕地生态安全时空测度与演化[J].应用基础与工程科学学报,2018,26(1):35-46.
- [20] 任平,洪步庭,周介铭.长江上游农业主产区耕地生态安全评价与空间特征研究[J].中国人口·资源与环境,2013,23(12):65-69.