

吕宝奇,牛瑞卿,张培佩,等.松宜煤矿区生态环境质量变化监测与评价[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2021,36(4): 15-24. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2021.04.003

LYU B Q, NIU R Q, ZHANG P P, et al. Dynamic Monitoring of Ecological Environment Quality in Songyi Coal Mine Area [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2021, 36(4): 15-24. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2021.04.003

松宜煤矿区生态环境质量变化监测与评价

吕宝奇¹,牛瑞卿^{2*},张培佩^{1,2},徐帅²

(1.河南省测绘工程院,河南 郑州 450003,2.中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院,湖北 武汉 430074)

摘要:矿产资源的过度开采会造成环境污染、资源枯竭、地质环境灾害等问题.以松宜煤矿区为研究区,基于 Landsat 5 TM 和 Landsat 8 OLI 影像数据,借助遥感生态指数(Remote Sensing Ecological Index, RSEI)分析松宜煤矿区及主要矿权区内的生态环境质量时空变化.结果表明:(1)泥炭矿、煤矿、石灰石、铁矿与城镇建设用地相似,干度指数、热度指数较高对生态环境质量有负面作用;(2)2007年、2017年松宜煤矿区的RSEI值分别为0.566、0.598,表明研究区的生态环境质量状况整体得到了改善;(3)2007年—2017年,研究区的RSEI值主要由3、4级向1、2、5级转变,生态环境质量恶化和改善的面积分别占总面积1.58%和25.79%,生态环境质量改善区域位于老旧矿山生态恢复治理区以及矿山开采区四周,生态环境质量恶化区域集中于矿区边缘地带,新增的矿山开采等人类工程活动使其植被覆盖减少,地表裸露,生态退化;(4)各个矿权区内非采矿区的生态环境质量优于采矿区,董家冲煤矿、鸽子潭煤矿自闭矿以来矿权区内的生态质量明显改善,茶树湾煤矿非采矿区、桃丰泥炭矿采矿区的生态质量最差.

关键词:遥感生态指数;煤矿区;生态环境;变化监测

中图分类号:P237 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2021)04-0015-10

Dynamic Monitoring of Ecological Environment Quality in Songyi Coal Mine Area

LYU Baoqi¹, NIU Ruiqing², ZHANG Peipei^{1,2}, XU Shuai²

(1. Henan Institute of Surveying and Mapping Engineering, Zhengzhou 450003, China;

2. Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The excessive exploitation of mineral resources has aggravated the negative effects of the environment, causing environmental pollution, depletion of resources, and geological environmental disasters. The Songyi coal mine area was selected as the research area. Based on the Remote Sensing Ecological Index, the spatial and temporal changes of the ecological environment quality in the Songyi coal mine area and the main mining rights were analyzed based on the Landsat-5 and Landsat-8 image data. The results show that: (1) Peat mines, coal mines, limestones, iron ore mines are similar to urban construction land. The dryness index and heat index are higher than the greenness index and dryness index, all of which have negative effects on the quality of ecological environment. (2) The RSEI values of Songyi Mining Area in 2007 and 2017 were 0.566 and 0.598, respectively, indicating that the overall ecological environment quality of the study area has been improved. (3)

收稿日期:2019-11-19 修改日期:2021-11-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(CUGQY1936)

*通信作者, E-mail:2752881263@qq.com

From 2007 to 2017, the RSEI of the study area was mainly changed from Grades 3 and 4 to Grades 1, 2 and 5. The area of deterioration and improvement of ecological environment accounted for 1.58% and 25.79% of the total area, respectively. The ecological improvement area is located around the ecological restoration and control area and the surrounding area of the mining area; the ecological environment quality deterioration area is concentrated in the edge of the mining area, and new mining and strong human engineering activities make its vegetation cover reduce the surface ecological degradation of the surface. (4) The ecological environment quality of non-mining areas within each mining rights is better than that of mining areas. The ecological quality of mining areas has improved significantly since Dongjiachong Coal Mine and Doutan Coal Mine self-closing mines. The ecological quality of the non-mining area of Chashuwan Coal Mine and the mining area of Taofeng Peat Mine is the worst.

Keywords: remote sensing ecological index; coal mining area; ecological environment; change monitoring

生态保护与矿产资源的开发密不可分。矿产资源的过度开采加剧了生态环境的破坏,并产生一系列的生态环境问题,如地质灾害频发、生态承载力脆弱、地表沉降、植被破坏、地下水资源与环境破坏、粉尘污染、土地退化等^[1-4]。

目前,遥感凭借自身大范围、长时间序列的优势被广泛应用于各领域的生态环境监测^[5-8]。煤矿区生态环境质量监测主要集中在单一生态要素遥感反演,邢龙飞等^[9]通过研究胜利矿区植被覆盖度的时空变化来分析矿区生态状况;郑优男等^[10]通过研究淮南矿区的土地利用变化对矿区生态进行分析;李方方等^[11]通过结合多种植被指数来研究矿区的生态状况。对于反演多指标生态因子用于煤矿区监测的研究较少,徐涵秋^[12-13]提出一种完全基于遥感信息、集成多种生态因子的遥感生态指数(Remote Sensing Ecology Index, RSEI),由于该指数具有无需人为确定生态因子的权重、计算结果客观和稳定的优点,很多学者将其应用于区域生态环境质量评价。岳辉等^[14]通过遥感生态指数分析神东矿区的生态环境时空变化;吴志杰等^[15]利用遥感生态指数对永定矿区的生态变化以及驱动因素进行研究;周玄德等^[16]利用遥感生态指数监测西山煤田的生态变化并对生态重心转移进行分析。

松宜煤矿区曾是湖北最大的煤炭生产基地,历经几十年的开采,当地的生态环境受到了严重的破坏,已经成为湖北中小型煤矿开采区生态治理的代表性区域。文章以松宜煤矿区为研究区,选取该地区2007年和2017年的Landsat数据作为数据源,通过提取2007年和2017年的绿度指数、湿度指数、干度指数、热度指数4个指标,利用主成分分析得到遥感生态指数RSEI,对松宜煤矿区的生态环境质量进行定量研究,实现对矿区快速、客观、大区域的动态监测。分析矿区生态修复时期生态状况的时空变化特点及其原因,为进一步保护好矿区的生态环境提供科学的依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区的地理位置如图1所示。松宜煤矿集中开采区位于松滋和宜都交界处。松滋位于湖北西南部,隶属荆州管辖,宜都位于鄂西南长江中游南岸,由宜昌代管,松滋地处巫山山系荆门分支余脉和武陵山系石门分支余脉向江汉平原延伸的过渡地带,宜都地处长江中游近三峡出口、鄂西南部,是江汉平原向鄂西的过渡带^[17]。松宜煤矿开采区地处鄂西北山地的东部边缘向江汉平原的过渡地带,为低山丘陵地貌区,地势总体西高东低,南北高中部河谷地带低,集中开采区的矿产资源类型有泥炭矿、煤矿、石灰石矿和铁矿。近年来,由于开采过度,造成地下水位下降、地质灾害发生,区内生态环境脆弱。

1.2 数据源及预处理

文章以松宜煤矿区为研究对象,选取Landsat 5 TM影像和Landsat 8 OLI影像的时间分别为2007年8月14日、2017年8月18日。采用ENVI中的Flash大气校正模块处理该地区的遥感影像。通过辐射定标将像元灰度值(DN)转换为辐射亮度值,采用二次多项式和最邻近象元法对影像进行配准,使其均方根误差

控制在 0.5 个像元以内^[18].

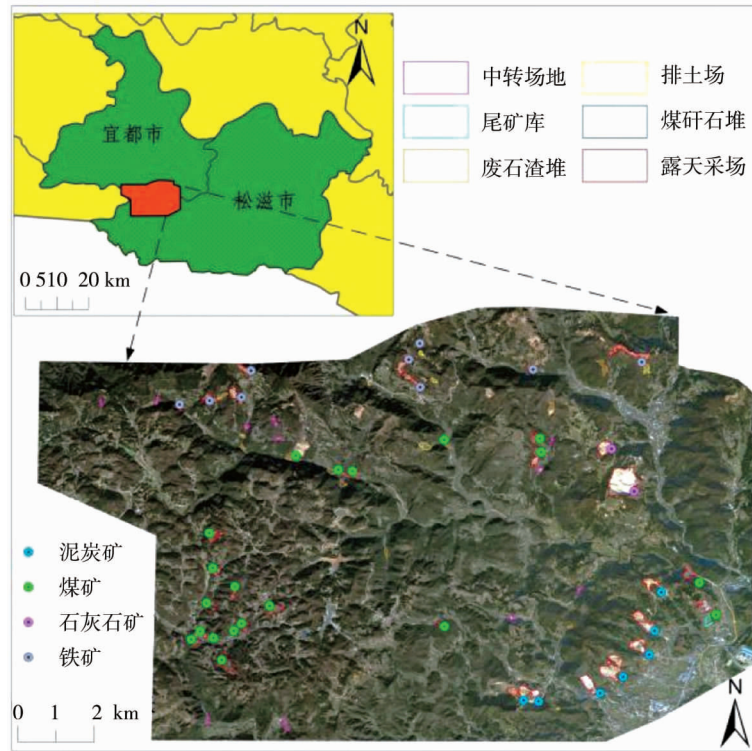


图 1 研究区地理位置

1.3 遥感生态指数评价模型

1.3.1 生态评价指标的提取

遥感生态指数 (RSEI) 是用于综合反映研究区域生态环境现状的新型遥感生态指数^[19-21], 该指数耦合了绿色指数、湿度指数、热度指数和干度指数 4 个指标判断生态环境质量。

归一化植被指数代表绿色指数. 归一化植被指数作为反映植被覆盖状况的指标之一, 能准确地描述矿区地表植被的覆盖情况及生长状况. 用 NDVI 描述归一化植被指数, 公式如式 (1) 所示.

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red}). \quad (1)$$

式中: ρ_{nir} 为近红外波段的反射率; ρ_{red} 为红波段的反射率.

湿度是反映矿区地表水体、土壤、植被的生态指标之一, 将遥感影像穗帽变换结果的第一分量作为湿度指数, 计算公式为

$$Wet = \rho_{blue}c_1 + \rho_{green}c_2 + \rho_{red}c_3 + \rho_{nir}c_4 + \rho_{swir1}c_5 + \rho_{swir2}c_6. \quad (2)$$

式中: $\rho_{swir1}, \rho_{blue}, \rho_{green}$ 为短波红外、蓝、绿波段的反射率; 对于 Landsat 5 TM 影像, $c_1 = 0.035, c_2 = 0.202, c_3 = 0.310, c_4 = 0.159, c_5 = -0.681, c_6 = -0.611$; 对于 Landsat 8 OLI 影像, $c_1 = 0.151, c_2 = 0.197, c_3 = 0.328, c_4 = 0.341, c_5 = -0.712, c_6 = -0.456$.

选取裸土指数 SI 和建筑指数 IBI 的平均值表示干度指数. 由于研究区内采矿活动的增强、固废堆积场地的扩建、土地压占损毁造成地质景观的破坏, 同时, 自然功能退化形成地表的干化现象^[22]. 因此, 用裸土指数 SI 和建筑指数 IBI 的平均值来计算干度指数. 干度指数 NDBSI 的计算公式为

$$NDBSI = \frac{SI + IBI}{2}; \quad (3)$$

$$SI = [(\rho_{mir} + \rho_{red}) - (\rho_{nir} + \rho_{blue})] / [(\rho_{mir} + \rho_{red}) + (\rho_{nir} + \rho_{blue})]; \quad (4)$$

$$IBI = \frac{2\rho_{mir}/(\rho_{mir} + \rho_{nir}) - [\rho_{nir}/(\rho_{nir} + \rho_{red}) + \rho_{green}/(\rho_{green} + \rho_{mir})]}{2\rho_{mir}/(\rho_{mir} + \rho_{nir}) + [\rho_{nir}/(\rho_{nir} + \rho_{red}) + \rho_{green}/(\rho_{green} + \rho_{mir})]}. \quad (5)$$

式中: ρ_{mir} 为中红外波段的反射率.

热度指数采用地表温度 LST 来表示,其计算表达式如下:

$$L = \text{gain} \times \text{DN} + \text{bias}; \quad (6)$$

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L + 1); \quad (7)$$

$$\text{LST} = T / [1 + (\lambda T / \rho) \ln \varepsilon]. \quad (8)$$

式中: L 为热红外波段在传感器处的温度值; gain 为增益值; DN 为像元灰度值; bias 为偏置值; T 为传感器处的温度值; K_1, K_2 为 $607.76 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}), 1\ 260.56 \text{ K}$; LST 为热度指数; λ 为热红外波段的中心波长; ρ 为 $1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$; ε 为根据 Sobrino 的模型通过 NDVI 进行估算得到的地物的比辐射率.

在地表温度计算中,像元灰度值为 DN ; 增益值和偏置值分别为 gain 和 bias ^[23], Landsat 5 TM 中 gain 为 0.055 , bias 为 $1.182\ 4$, Landsat 8 OLI 中 gain 为 3.342×10^{-4} , bias 为 0.1 ; T 为传感器处温度值; 对于 Landsat 5 TM, K_1 和 K_2 分别为 $607.76 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}), 1\ 260.56 \text{ K}$, 对于 Landsat 8 OLI, K_1 和 K_2 分别为 $774.89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}), 1\ 321.08 \text{ K}$; λ 为热红外波段的中心波长; $\rho = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$; ε 为根据 Sobrino 的模型通过 NDVI 进行估算得到的地物比辐射率.

1.3.2 评价模型构建

4 个指标在计算过程中会出现单位不同、影像时间不同从而影响实验结果. 因此, 为了避免这种情况的发生, 在进行主成分分析之前对各指标进行正规化, 使各指标值转为无量纲且范围在 $[0, 1]$, 再进行主成分分析^[23]. 各指标正规化处理公式如下:

$$N = \frac{I_i - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}. \quad (9)$$

式中: N 为某一正规化后的指标值; I_i 为该指标在像元 i 处的值; I_{\max} 为该指标的最大值; I_{\min} 为该指标的最小值.

1.3.3 计算遥感生态指数

RSEI 以主成分变换来集成以上 4 个指标, 这一做法的最大优点就是各指标的权重不是人为确定, 而是根据各个指标对第一主成分 (PC1) 的贡献度来确定. 4 个指标经标准化后, 借助遥感软件的主成分分析模块计算 PC1 值, 将 PC1 值作为初始生态指数 RSEI_0 , 其大小代表生态环境的优劣程度 (数值越大生态环境越好), 为了方便两期生态环境质量指数之间的对比, 要对获取的初始遥感生态指数 RSEI_0 进行归一化处理^[17], 具体计算公式为

$$\text{RSEI} = \frac{\text{RSEI}_0 - \text{RSEI}_{\min}}{\text{RSEI}_{\max} - \text{RSEI}_{\min}}. \quad (10)$$

式中: RSEI_0 为初始生态指数; RSEI_{\min} 为初始生态指数的最小值; RSEI_{\max} 为初始生态指数的最大值; RSEI 为获取的遥感生态指数, 取值范围为 $[0, 1]$, 并且 RSEI 数值越大, 表示生态环境质量越好, RSEI 的数值越小, 表示生态环境质量就越差.

1.3.4 评价模型的适用性检验

相关度客观反映指标之间联系的密切性, 体现了 RSEI 的综合代表程度, 可以检验遥感生态指数在煤矿区生态质量变化监测中的适用程度. 利用 SPSS 软件对主成分分析结果进行相关性分析, 建立 NDVI, WET, NDBSI, LST 与 RSEI 的相关系数矩阵并计算各指标的平均相关度^[24-27]. 相关系数值越接近 1 表示相关度越大, RSEI 的综合代表程度越高, 遥感生态指数模型的适用程度高. 本研究中平均相关度为计算同一时期某一指标与其他指标的相关系数的绝对值的平均值, 具体计算公式为

$$\bar{p} = \frac{|c_p| + |c_q| + \dots + |c_r|}{n}. \quad (11)$$

式中: \bar{p} 为指标 P 的平均相关度; c_p, c_q, c_r 分别为同一时期指标 p, q, r 的相关系数; n 为指标个数.

2 结果与分析

2.1 矿区地表覆盖类型生态指标分析

2007年和2017年主成分分析如表1所示.由表1可以看出:对比各年份不同指标的PC1可以看出,湿度指数WET与绿度指数NDVI的荷载值为正值,说明两者对生态环境有积极的作用,但干度指数NDBSI与热度指数LST的荷载值为负值,说明两者对生态环境质量有消极的影响,这与研究区真实的生态状况一致.

2007年第一主成分的贡献度为85.20%,2017年第一主成分的贡献度为75.60%,说明第一主成分包含了影像的大部分特征.4个生态因子对PC1的贡献比较稳定,绿度NDVI和湿度WET指标的PC1值均为正值,表明绿度因子和湿度因子对生态环境有积极的作用,而干度指数NDBSI和热度指数LST的荷载值均为负值,表明干度因子和热度因子对生态环境有消极的影响.

表1 2007年和2017年主成分分析

指标	PC1 荷载值	
	2007年	2017年
NDVI	0.436 173	0.437 384
WET	0.320 005	0.161 968
NDBSI	-0.549 043	-0.742 805
LST	-0.637 104	-0.480 314
特征值	0.039 262	0.381 900
特征值贡献率/%	85.20	75.60

矿区地表覆盖类型生态指标变化曲线如图2所示.由图2可以看出:植被的干度指数NDBSI和热度指数LST远低于绿度指数NDVI和湿度指数WET;煤矿、石灰石矿、泥炭矿、铁矿、城镇建筑物的生态指标变化曲线基本一致,干度指数NDBSI、热度指数LST的均值高于绿度指数NDVI和湿度指数WET的均值,其NDVI, WET值都低于植被的NDVI, WET均值,而其NDBSI, LST均值明显高于植被的NDBSI, LST均值;此外,4种矿山的RSEI均值都低于植被区域的RSEI均值.煤矿、石灰石矿、泥炭矿、铁矿与城镇建筑物类似,对生态有消极的影响^[15].

2.2 矿区生态环境质量状况分析

各年份指标均差、标准差以及PC1荷载统计如表2

所示.由表2可以看出:NDVI, WET对PC1的荷载值为正值,二者结合对生态环境有积极促进的作用, NDBSI, LST对PC1的荷载值为负值,两者对生态环境有消极负作用,和松宜矿区生态状况保持一致.松宜矿区的RSEI生态指数从2007年的0.566升高到2017年的0.598,生态质量提高了6%,生态环境质量有所改善,但改善作用不明显.2007年—2017年,NDVI对PC1的贡献度从0.436提高到0.437,说明植被覆盖度对矿区生态环境质量的提高有重要的作用;WET对PC1的贡献度从0.320减少到0.162,说明集中河沟两岸开采煤层,导致研究区域内的水量骤减;NDBSI对PC1的贡献度从-0.549增加到-0.743,说明研究期间松宜地区的矿山开采活动、建筑用地的扩张对生态环境的影响程度不断加大;LST对PC1的贡献度从-0.637减小到-0.480,说明热度分量在减少,矿区生态环境质量得到改善.2006年国家对于研究区内的庙河涵洞煤矿进行了生态恢复治理,由于得到政府和矿区恢复治理的指示,研究期间松宜矿区整体的生态质量有所提高,但植被覆盖恢复程度不明显,矿山开采活动仍有发生,地质景观遭到破坏.

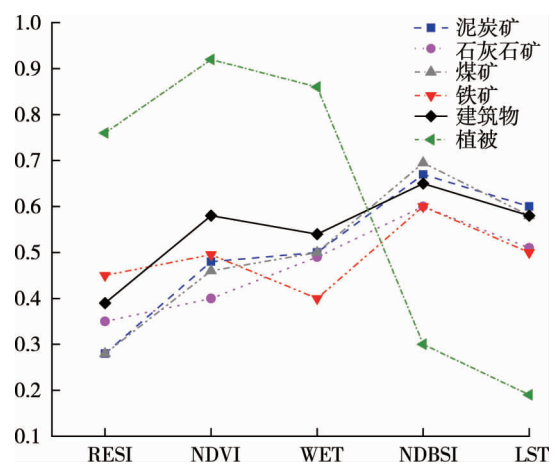


图2 矿区地表覆盖类型生态指标变化曲线

表2 各年份指标均差、标准差以及PC1载荷统计

指标	2007年			2017年		
	指标均值	标准差	对PC1载荷	指标均值	标准差	对PC1载荷
NDVI	0.876 0	0.091 0	0.436 173	0.910 30	0.089 500	0.437 384
WET	0.738 0	0.075 0	0.320 005	0.825 20	0.041 700	0.161 968
NDBSI	0.327 0	0.119 0	-0.549 043	0.286 90	0.148 900	-0.742 805
LST	0.299 0	0.142 7	-0.637 104	0.272 20	0.113 400	-0.480 314
RSEI	0.5669	0.297 0		0.597 83	0.321 861	

2007年和2017年松宜矿区遥感生态指数分布如图3和图4所示.由图3和图4可以看出:2007年生态质量较差的区域主要分布在松木坪镇和刘家场镇的城镇中心以及王家畈镇的小部分区域.松宜矿区煤矿、泥炭矿、铁矿、石灰石矿开采的集中区域,分布着大量的采场、中转场地、排土场、煤矸石堆,矿山开发占比大,生态环境较差,生态环境较好的区域主要集中在王家畈镇,该区域内的矿产开发较不发达,植被覆盖度良好,生态环境质量较好.到2017年,全区内的植被覆盖度有所提高,生态质量较差的区域主要以矿山开发区为中心向外延伸,其中王家畈镇的矿区开采的个数有所增加,生态质量较好的区域逐渐被生态较差区域所取代.

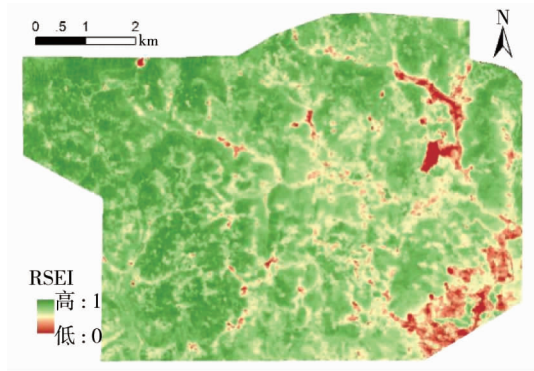


图3 2007年松宜矿区遥感生态指数分布

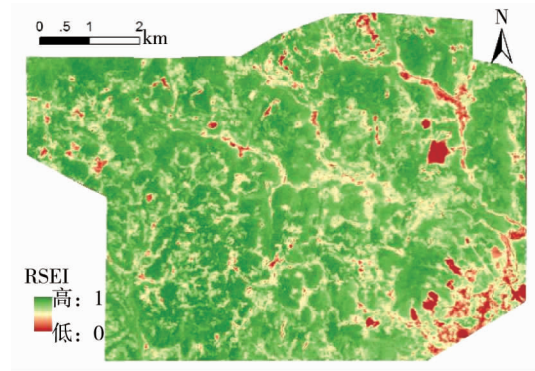


图4 2017年松宜矿区遥感生态指数分布

根据生态的划分标准,将RSEI值按等间隔分成5个等级,表示5种生态状况,即差(1级:0.0~0.2)、较差(2级:0.2~0.4)、中(3级:0.4~0.6)、良好(4级:0.6~0.8)和优(5级:0.8~1.0)5个生态等级.

松宜矿区各生态等级面积与比例如表3所示.由表3可以看出:2007年松宜矿区总体生态质量良好,面积占比62.23%,其次为优和中等等级,2个级别分别占比19.87%和14.47%,生态状况差的区域占比1.32%;2017年松宜矿区生态状况发生了变化,整体来说中和良好等级的面积减少,占比分别为11.92%和37.41%,差、较差和优等级别的面积增加,占比分别为2.75%、2.27%、45.66%,优等级别的增加说明在从事矿业开发活动过程中,生态保护得到了重视,使得生态环境有所改善.由于2007年—2017年新增矿山的煤矿山等导致了生态质量差和较差等级的面积增加,分别增加1.546和0.171 km².

表3 松宜矿区各生态等级面积与比例

RSEI等级	2007年		2017年		面积增减/km ²	增减百分比/%
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%		
差:(0.0~0.2)	1.426	1.32	2.972	2.75	1.546	108.46
较差:(0.2~0.4)	2.275	2.11	2.446	2.27	0.171	7.54
中:(0.4~0.6)	15.627	14.47	12.871	11.92	-2.756	-17.64
良好:(0.6~0.8)	67.213	62.23	40.402	37.41	-26.811	-39.89
优:(0.8~1.0)	21.459	19.87	49.308	45.66	27.849	129.78

2007年—2017年矿区生态变化统计如表4所示.由表4可以看出:研究区在2007年—2017年期间,

生态质量改善的面积为 41.49 km², 占总面积的 38.42%, 其中生态面积改善以增加一级为主, 增加面积为 39.878 km², 生态质量退化的面积为 13.10 km², 占总面积的 12.13%, 其中生态退化以减少一级为主, 减少的面积为 10.158 km².

表4 2007年—2017年矿区生态变化统计

生态变化类型	变化极差	变化面积	类面积/km ²	合计/%
生态改善	(+4)	0.010	41.49	38.42
	(+3)	0.132		
	(+2)	1.469		
	(+1)	39.878		
生态不变	0	53.411	53.41	49.45
生态退化	(-1)	10.158	13.10	12.13
	(-2)	1.976		
	(-3)	0.730		
	(-4)	0.235		

2007年—2017年松宜矿区生态环境质量变化如图5所示.由图5可以看出:研究区非采矿区的生态质量主要保持不变或生态质量改善一级.采矿区生态质量大部分逐步退化,但位于矿区东部松树坪镇杨树坪石灰石矿的生态质量明显改善,由于2014年华新水泥(宜昌)有限公司杨树坪石灰石矿边坡滑移进行了治理,种植了一排排3m多高的刺槐树,使得生态质量有很大的改善.生态环境退化的集中区域位于矿区西北部、东北部、西南部、东南部,西北部主要以开采高岭土矿、煤矿扩建的排土场、露天采场、煤矸石堆、中转场地为主,强烈的人类工程活动破坏了生态原始状态,造成生态退化.东北部主要以开采石灰石矿、铁矿扩建的排土场、中转场地为主,使得土地裸露,植被覆盖减少,造成生态退化.西南部主要以开采煤矿为主,大量的煤矸石堆造成了生态质量的下降.东南部刘家场镇主要是采矿的工业园区,人类活动较为密集,造成了生态退化.

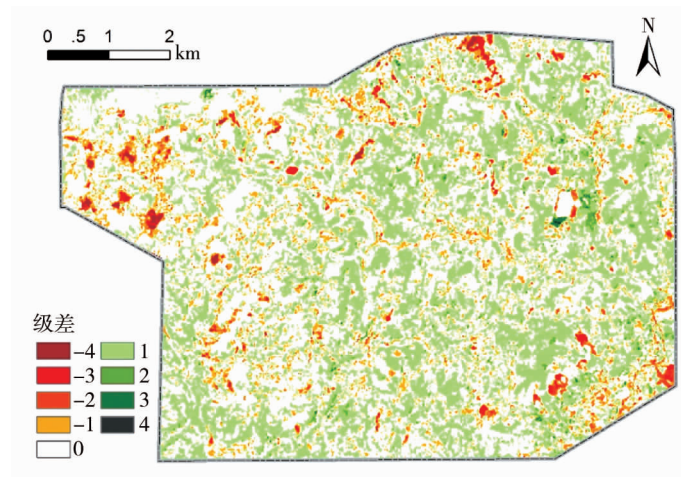


图5 2007年—2017年松宜矿区生态环境质量变化

2.3 主要矿权区内生态状况分析

根据湖北省地质环境总站提供的数据统计,松宜矿区共有114个矿权区,通过阈值分割,矿权区范围内的RSEI值小于0.4的区域面与采矿区的面边界较为一致,因此,把RSEI小于0.4的区域作为采矿区,采矿区包括在遥感影像上可识别的矿井、露天采场以及固废堆积场地,除此之外为非采区.

为了更好地监测矿区生态质量随时间的变化情况,选取与起始研究时间相近的2006年闭矿的董家冲煤矿、2008年闭矿的鸽子潭煤矿以及2007年开采的茶树湾煤矿、2009年开采的盛源高岭土矿、2009年开采的桃丰泥炭矿进行研究分析.2007年—2017年主要矿权区内RSEI分布如图6所示.

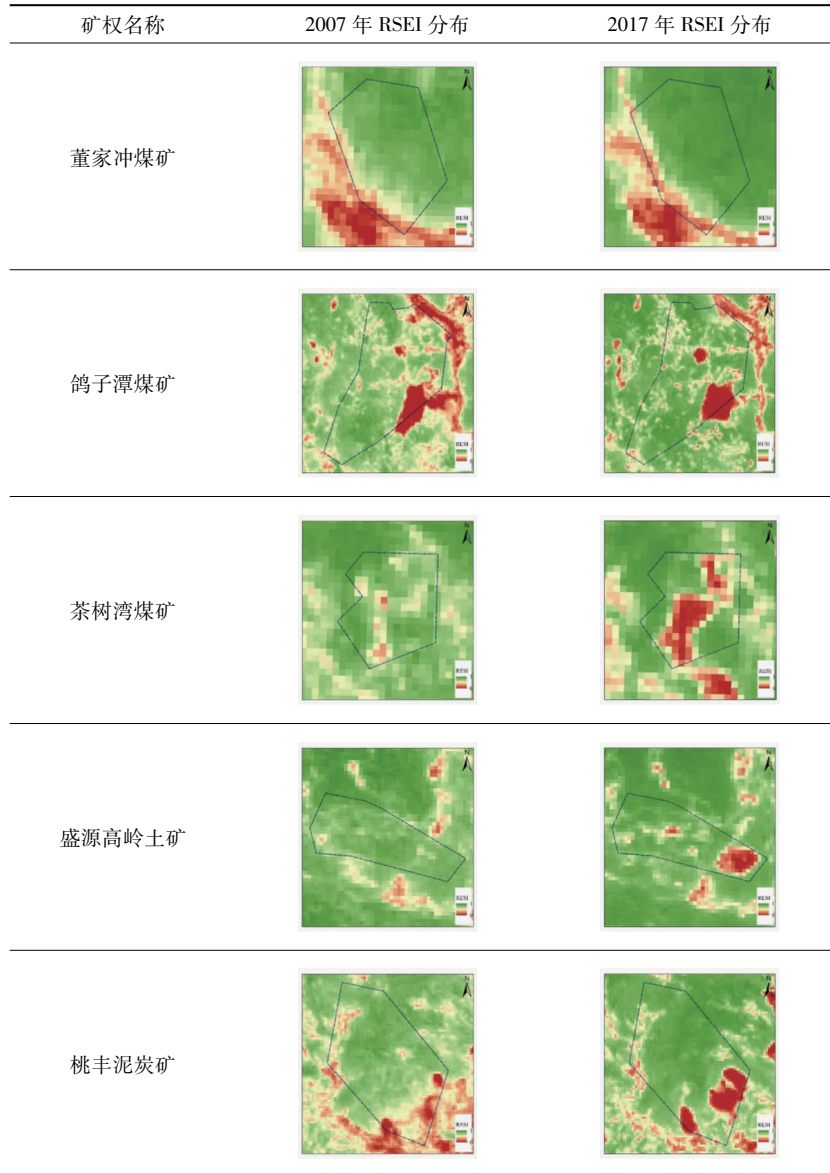


图6 2007年—2017年主要矿权区内RSEI分布

由图6可以看出:2007年—2017年,董家冲煤矿RSEI的分布情况无明显变化;鸽子潭煤矿矿权区内的RSEI变化差异较明显,由于对关闭的矿井进行生态恢复治理使RSEI值提高,新增矿井的开采使原来较低RSEI值的区域扩大;2007年,茶树湾煤矿、盛源高岭土矿权区内的生态状况较好,植被生长情况优良,到2017年,RSEI低值区域的范围扩大,生态状况变差;2007年桃丰泥炭矿权区内的整体状况较好,边缘处有强烈人工活动,到2017年RSEI低值区域明显扩大,开采区生态状况较差。

松宜煤矿区各矿井开采区和非采区RSEI均值变化如表5所示.由表5可以看出:董家冲煤矿、鸽子潭煤矿自2006年、2008年闭矿以来,在研究期间内采矿区和非采矿区RSEI指数均值逐渐增大,生态质量得到了改善;茶树湾煤矿、盛源高岭土矿2007年还未进行开采,为无采矿区,因此采矿区RSEI均值为空,茶树湾煤矿到2017年非开采区RSEI均值为0.746,大于开采区RSEI均值0.315,说明开采区质量较差,又小于2007年的非采矿区RSEI均值为0.813,说明开采活动使得生态质量退化;盛源高岭土矿到2017非采矿区的RSEI均值为0.779,大于开采区的RSEI均值0.217,开采区与非开采区生态环境质量差异较大,非开采区生态质量良好,但相比2007年非采矿区RSEI均值,生态质量有所下降;2007年—2017年,桃丰泥炭矿采区RSEI均值下降为0.156,说明矿采活动的加剧使得生态状况恶化,非采矿区RSEI均值从0.769到0.763,说明了非采矿区生态质量状况相对平衡。

表5 松宜煤矿区各矿井开采区和非开采区 RSEI 均值变化

矿区	年份	开采区	非开采区
董家冲煤矿	2007年	0.294	0.713
	2017年	0.306	0.800
鸽子潭煤矿	2007年	0.166	0.681
	2017年	0.210	0.744
茶树湾煤矿	2007年	/	0.813
	2017年	0.351	0.746
盛源高岭土矿	2007年	/	0.838
	2017年	0.217	0.779
桃丰泥炭矿	2007年	0.256	0.769
	2017年	0.156	0.763

2.4 遥感生态指数模型适用性检验

各分量指标以及 RSEI 相关系数如表 6 所示.由表 6 可以看出:RSEI 和 NDVI(绿色)、WET(湿度)正相关,RSEI 和 NDBSI(干度)、LST(热度)为负相关,平均相关系数最高的是 NDBSI(干度)为 0.897,最低的是 LST(热度)为 0.788.RSEI 与各分量指标的平均相关系数为 0.920,均高于各分量指标的平均相关系数,表明 RSEI 与各分量指标间的相关度更高,能很好地综合表达各分量指标信息,用 RSEI 来综合反映松宜矿区生态质量状况更准确.

表6 各分量指标以及 RSEI 相关系数

类型	指标	NDVI	WET	NDBSI	LST	RSEI
2007年	NDVI	1.000	0.849	-0.977	-0.859	0.983
	WET	0.859	1.000	-0.855	-0.804	0.883
	NDBSI	-0.977	-0.855	1.000	0.859	-0.989
	LST	-0.859	-0.804	0.849	1.000	-0.912
	平均相关度	0.918	0.855	0.919	0.851	0.942
2017年	NDVI	1.000	0.726	-0.975	-0.776	0.986
	WET	0.726	1.000	-0.804	-0.622	0.777
	NDBSI	-0.975	-0.804	1.000	0.762	-0.989
	LST	-0.776	-0.622	0.762	1.000	-0.844
	平均相关度	0.873	0.758	0.876	0.725	0.899

3 结论

1) 泥炭矿、煤矿、石灰石、铁矿与城镇建设用地相似,干度指数、热度指数较高对生态环境质量有负面作用,因此,遥感生态指数(RSEI)也可对煤矿区的生态环境质量进行监测.

2) 2007年—2017年,松宜矿区 RSEI 均值逐年升高,表明研究区生态质量状况整体得到了改善,主要原因是矿山的生态修复治理,植被覆盖度增加以及一些大中型矿山的关闭.

3) 从 RSEI 变化结构分析,研究区内主要是中和良等级向优等级转变,说明矿区的开发没有破坏生态优质区,反而更加注重全区的生态环境保护,使得矿山开采周围的环境质量提高,但也有小部分区域转化为较差和差等级,说明新增的矿山开采对生态环境具有一定的破坏.

4) 从矿权区看,不同矿权区的生态环境质量存在差异,采矿区和非采矿区之间又有差别,各个矿权区内非采矿区的生态环境质量优于采矿区,董家冲煤矿、鸽子潭煤矿自闭矿以来,矿区内的生态质量得到明显改善,茶树湾煤矿非采矿区、桃丰泥炭矿采矿区的生态质量最差,利用 RSEI 构建的模型监测矿区和非采矿区的生态状况与实际情况更加贴近.

参考文献:

- [1] 胡玉玲,王萍,张丽萍,等.遥感技术在矿区生态环境评价中的应用[J].资源开发与市场,2021(7):584-586.
- [2] 成金华,陈军,易杏花.矿区生态文明评价指标体系研究[J].中国人口·资源与环境,2013(2):1-10.
- [3] 周敏,齐增湘,吕婧玮,等.废弃工矿区生态修复潜力分析——以水口山镇为例[J].西北林学院学报,2021(4):273-281.
- [4] Ochoa-Gaona S, Kampichler C, Jong B H J D, et al. A multi-criterion index for the evaluation of local tropical forest conditions in Mexico[J]. Forest Ecology and Management, 2010, 260(5):618-627.
- [5] 章勇,姚志强.基于遥感生态指数的贵池区生态环境评价[J].池州学院学报,2018(3):75-77.
- [6] 潘洪义,李加安,张琴.基于RSEI的地震区生态环境质量恢复研究——以汶川县为例[J].长江流域资源与环境, 2021, 30(3):745-757.
- [7] Xu H, Ding F, Wen X. Urban Expansion and Heat Island Dynamics in the Quanzhou Region, China[J]. IEEE Journal of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing, 2009, 2(2):74-79.
- [8] Gupta K, Kumar P, Pathan S K, et al. Urban Neighborhood Green Index -A measure of green spaces in urban areas[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 105(3):325-335.
- [9] 邢龙飞,黄超,雷少刚,等.锡林浩特市胜利矿区近30a植被覆盖度变化研究[J].河南理工大学学报(自然科学版), 2019,38(3):68-76.
- [10] 郑优男,王晓辉,彭书传.基于RS与GIS技术分析淮南矿区土地利用变化[J].环境工程,2017(s1):764-768.
- [11] 李方方.基于多植被指数时空变化的矿区生态环境监测[D].焦作:河南理工大学,2012.
- [12] 徐涵秋.城市遥感生态指数的创建及其应用[J].生态学报,2013,33(24):7853-7862.
- [13] 徐涵秋.区域生态环境变化的遥感评价指数[J].中国环境科学,2013,33(5):889-897.
- [14] 岳辉,刘英,朱蓉.基于遥感生态指数的神东矿区生态环境变化监测[J].水土保持通报,2019,39(2):101-107.
- [15] 吴志杰,王猛猛,陈绍杰,等.基于遥感生态指数的永定矿区生态变化监测与评价[J].生态科学,2016,35(5):200-207.
- [16] 周玄德,窦文章,李国栋.西山煤田生态变化的遥感监测与评价[J].中国矿业,2019,28(1):108-114.
- [17] 何雄.湖北松宜矿区与湖北大冶市转型对比研究[J].湖北师范大学学报(哲学社会科学版),2017,37(1):92-98.
- [18] 刘小平,邓孺孺,彭晓鹏.基于TM影象的快速大气校正方法[J].地理科学,2005(1):87-93.
- [19] 程志峰,何祺胜.基于RSEI的苏锡常城市群生态环境遥感评价[J].遥感技术与应用,2019,34(3):531-539.
- [20] 孙从建,张文强,李新功,等.基于遥感影像的黄土高原沟壑区生态效应评价[J].农业工程学报,2019,35(12):165-172.
- [21] 王勇,王世东.基于RSEI的生态质量动态变化分析——以丹江流域(河南段)为例[J].中国水土保持科学,2019,17(3):57-65.
- [22] 王丽春,焦黎,来风兵,等.基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价[J].生态学报,2019,39(8):2963-2972.
- [23] 单薇,金晓斌,孟宪素,等.基于多源遥感数据的土地整治生态环境质量动态监测[J].农业工程学报,2019,35(1):234-242.
- [24] 宋慧敏,薛亮.基于遥感生态指数模型的渭南市生态环境质量动态监测与分析[J].应用生态学报,2016,27(12):3913-3919.
- [25] 弓盛洋.基于遥感生态指数(RSEI)的濮阳市生态变化评估[J].能源与环境,2015(1):62-64.
- [26] 徐志刚,高鹏.永定客家土楼世界遗产地土地覆盖与生态变化遥感评价[J].国土资源遥感,2018,30(1):102-108.
- [27] 杨江燕,吴田,潘肖燕,等.基于遥感生态指数的雄安新区生态质量评估[J].应用生态学报,2019,30(1):277-284.