

# 基于遥感生态指数的黄山世界遗产地生态环境评价

吴强<sup>1,2</sup>, 王心源<sup>1,3</sup>, 骆磊<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100094; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 联合国教科文组织国际自然与文化遗产空间技术中心, 北京 100094)

**摘要:** [目的] 定量评价黄山世界遗产地的生态环境质量, 为有关部门制定规划和管理决策提供科学依据。[方法] 以黄山世界遗产地核心区和缓冲区共同作为研究区, 基于 Landsat 卫星影像提取绿度、湿度、干度、热度指标分量, 并利用主成分分析方法构建遥感生态指数(RSEI)。结合地理信息系统空间分析和统计方法对研究区内生态环境质量进行定量评价。[结果] 1992—2017年研究区内 RSEI 指标数值由 0.573 上升为 0.638, 生态环境质量呈明显上升趋势。在 3 期数据中, RSEI 等级为中和良的比例均达到了 65% 以上, 占主导地位, 保护区内整体生态环境质量较好。RSEI 等级为差和较差的土地中, 有近 63.6% 的土地转变为 RSEI 等级更高的土地, 保护区内生态环境质量明显改善。[结论] 黄山世界遗产地生态环境质量稳步提升, 有关部门的保护措施初见成效, 需进一步协调发展与保护的关系, 实现黄山世界遗产地的可持续发展。

**关键词:** 遥感生态指数; 黄山世界遗产地; 生态环境质量; 主成分分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)03-0142-05

中图分类号: X821, X87

**文献参数:** 吴强, 王心源, 骆磊. 基于遥感生态指数的黄山世界遗产地生态环境评价[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 142-146. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.03.020; Wu Qiang, Wang Xinyuan, Luo Lei. Ecological environment assessment of Huangshan World Heritage Site based on remote-sensing ecological index [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 142-146.

## Ecological Environment Assessment of Huangshan World Heritage Site Based on Remote-Sensing Ecological Index

Wu Qiang<sup>1,2</sup>, Wang Xinyuan<sup>1,3</sup>, Luo Lei<sup>1,3</sup>

(1. *Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3. *International Centre on Space Technologies for Natural and Cultural Heritage Under the Auspices of UNESCO, Beijing 100094, China*)

**Abstract:** [Objective] The ecological environment quality of the Huangshan World Heritage Site was quantitatively evaluated to provide a scientific basis for making development and management decisions. [Methods] Taking the core area and buffer zone of Huangshan World Heritage Site as the study area, greenness, humidity, dryness, and heat index components were extracted based on Landsat satellite images, and the remote-sensing ecological index (RSEI) was constructed by principal component analysis. Geographic information system based spatial analysis and statistical methods were used to quantitatively evaluate the ecological environment quality of the study area. [Results] The value of the RSEI in the study area increased from 0.573 in 1992 to 0.638 in 2017, and the ecological environment quality of protected area showed a significant upward trend. In the three-year data analysis, the RSEI grades of good and medium reached more than 65%, which was dominant, and the overall ecological environment quality in the protected area was good. Among the lands with a poor and poorer RSEI grade, approximately 63.6% was converted into land with a high RSEI grade, and the ecological environment quality in the protected area was significantly

收稿日期: 2019-10-17

修回日期: 2020-01-06

资助项目: 国家重点研发计划重点专项“典型脆弱生态修复与保护研究”项目二“自然遗产地生态保护与管理技术”课题二“遗产地天—空地协同监测技术体系”(2016YFC0503302)

第一作者: 吴强(1995—), 男(汉族), 山西省吕梁市人, 硕士研究生, 研究方向为自然、文化遗产的保护与发展。Email: wuqiang@radi.ac.cn.

通讯作者: 王心源(1964—), 男(汉族), 安徽省六安市人, 研究员, 博士生导师, 主要从事数字自然与文化遗产保护, 空间考古等研究。Email: wangxy@radi.ac.cn.

improved. [Conclusion] The ecological environment quality of the Huangshan World Heritage Site steadily improved, and the protective measures of relevant departments achieved the initial objectives. It is necessary to further coordinate the balance between development and conservation to achieve sustainable development of Huangshan World Heritage Site.

**Keywords:** remote-sensing ecological index; Huangshan World Heritage Site; ecological environment quality; principal component analysis

生态环境是人类生存和发展的主要物质来源,它承受着人类活动产生的废弃物和各种作用结果<sup>[1]</sup>。良好的生态环境是人类发展最重要的前提,同时也是人类赖以生存、社会得以安定的基本条件<sup>[1]</sup>。近年来,中国的生态环境问题日趋严峻,环境污染、水土流失、森林退化等问题日益明显。如何有效提升生态环境质量,推动生态文明建设,生态环境监测无疑是至关重要的一步。

20 世纪 90 年代以来,伴随着 3S 技术的不断发展,生态环境质量监测与评价取得了大量成果,评价理论、方法和技术手段不断丰富和完善<sup>[2-3]</sup>。遥感技术因其观测范围广,时效性强,全天时全天候观测的特点,在生态环境监测中得到日益广泛的应用。国内外已有很多学者运用遥感技术对生态环境质量进行监测与评价,遥感成为评价生态环境质量的重要手段之一<sup>[4-8]</sup>。2006 年,国家环境保护部颁发了《生态环境状况评价技术规范》,推出了主要基于遥感技术的生态环境状况指数(ecological environment index, EI),旨在为评价生态环境状况提供国家标准。尽管该方法已得到大量的应用,但在应用过程中不可避免的出现一些问题,如应用范围的限制、归一化系数是否合理、指标是否易获取等<sup>[9-10]</sup>。徐涵秋<sup>[11-12]</sup>则提出了一种完全基于遥感信息,以自然因子为主要驱动力的新型遥感生态指数(remote sensing ecological index, RSEI)。该指数耦合了绿度、湿度、干度和热度 4 个指标,能够较为全面的反映区域生态环境质量水平;该指标容易获取,并且避免了人为确定权重系数导致的偏差,成为较为常用的评价区域生态环境质量的指数之一。

黄山于 1990 年列入世界自然和文化遗产名录,又分别于 2002 年和 2004 年被列入中国国家地质公园和首批世界地质公园,成为同时拥有 3 项最高荣誉的旅游胜地。生态环境质量对于维持世界遗产地的“真实性”和“完整性”具有极其重要的价值。从 20 世纪 90 年代开始,国家和地方投入了大量的人力、物力和财力对黄山世界遗产地的生态环境进行重点保护。本文通过建立 RSEI 指数对黄山世界遗产地的生态环境质量进行动态分析和定量评价,旨在为黄山管理部门提供有关环境治理、发展规划等相关决策的依据。

## 1 研究区概况

黄山世界遗产地位于安徽省黄山市内,地处太平、歙县、休宁和黟县 4 县交界处,是长江和钱塘江水系在安徽的分水岭。黄山不仅是著名的国家级风景名胜,也是世界文化和自然双重遗产地、世界地质公园和世界生物圈保护地 3 项桂冠的拥有者,具有极其重要的研究价值。按世界遗产地的划分,遗产地分为核心区和缓冲区,本研究将二者合并作为研究区域,统称为保护区,定量分析评价该区域内的生态环境质量。保护区地理位置位于北纬 29°58′—30°17′,东经 117°59′—118°22′,总面积约为 651 km<sup>2</sup>。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源及预处理

本文使用的影像数据为黄山世界遗产地 1992 年至 2017 年 Landsat 5 TM 和 Landsat 8 OLI 遥感影像,影像数据通过美国地质调查局、地理空间数据云等网站进行免费获取。所获取影像的成像时间均处于 9—10 月份,影像云量较少,质量较好。数据预处理主要包括辐射定标、大气校正、几何校正、影像配准等,配准的均方根误差控制在 0.5 个像元内。

### 2.2 遥感生态指数模型

遥感生态指数(RSEI)是基于遥感技术,以自然因子为主要驱动因素对某一区域的生态状况进行快速监测与评价的新型遥感生态指数。该指数耦合了绿度、湿度、干度和热度 4 个指标,利用主成分分析法进行构建,可对某一地区的生态环境状况进行定量评价。

(1) 绿度指标。归一化植被指数(NDVI)是常用的植物生长状态以及植被密度分布的最佳指示因子之一<sup>[13]</sup>,是反映植被长势、覆盖度及生物量的重要参数,故选用 NDVI 代表绿度指标,其表达式如下:

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

式中: $\rho_{nir}$ ,  $\rho_{red}$  分别表示 Landsat 数据的近红外波段和红色波段。

(2) 湿度指标。区域湿度是反映生态环境状况的一个重要参数,RSEI 中的湿度指标由缨帽变换中的湿度分量进行表达,主要反映区域内植被和土壤的

湿度。对于 Landsat 不同的传感器,其表达式分别如下:

①TM 数据:

$$\text{Wet} = 0.0315\rho_{\text{blue}} + 0.2021\rho_{\text{green}} + 0.3102\rho_{\text{red}} + 0.1594\rho_{\text{nir}} - 0.6806\rho_{\text{swir1}} - 0.6109\rho_{\text{swir2}} \quad (2)$$

②OLI 数据:

$$\text{Wet} = 0.1511\rho_{\text{blue}} + 0.1973\rho_{\text{green}} + 0.3283\rho_{\text{red}} + 0.3407\rho_{\text{nir}} - 0.7117\rho_{\text{swir1}} - 0.4559\rho_{\text{swir2}} \quad (3)$$

式中: $\rho_i$  为相应波段的光谱反射率。下同。

(3) 干度指标。土壤干化会给区域生态环境造成严重破坏,土壤干化越严重,其危害越大<sup>[13]</sup>。除土壤干化之外,区域建筑用地也会对生态环境造成一定破坏。因此干度指标(NDSI)可以采用裸土指数(SI)和建筑指数(ABI)的合成,其具体表达式如下:

$$\text{NDSI} = (\text{SI} + \text{ABI}) / 2 \quad (4)$$

$$\text{SI} = \frac{[(\rho_{\text{swir1}} + \rho_{\text{red}}) - (\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{blue}})]}{[(\rho_{\text{swir1}} + \rho_{\text{red}}) + (\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{blue}})]} \quad (5)$$

$$\text{ABI} = \frac{\left[ \frac{2\rho_{\text{swir1}}}{\rho_{\text{swir1}} + \rho_{\text{nir}}} - \left( \frac{\rho_{\text{nir}}}{\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}}} + \frac{\rho_{\text{green}}}{\rho_{\text{green}} + \rho_{\text{swir1}}} \right) \right]}{\left[ \frac{2\rho_{\text{swir1}}}{\rho_{\text{swir1}} + \rho_{\text{nir}}} + \left( \frac{\rho_{\text{nir}}}{\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}}} + \frac{\rho_{\text{green}}}{\rho_{\text{green}} + \rho_{\text{swir1}}} \right) \right]} \quad (6)$$

(4) 热度指标。本文选取地表温度来代表热度指标,依据辐射传输方程反演地表温度,其表达式如下:

$$L_\lambda = [\epsilon P(T_s) + (1 - \epsilon)L_\downarrow] \tau + L_\uparrow \quad (7)$$

$$P(T_s) = [L_\lambda - L_\uparrow - \tau(1 - \epsilon)L_\downarrow] / \tau\epsilon \quad (8)$$

$$T_s = K_2 / \ln[K_1 / P(T_s) + 1] \quad (9)$$

式中: $L_\lambda$  为热红外辐射亮度值; $\epsilon$  为地表比辐射率; $T_s$  为地表真实温度(K); $P(T_s)$  为黑体热辐射亮度; $\tau$  为大气在热红外波段的透过率; $K_1$  和  $K_2$  为定标参数。 $L_\uparrow$  和  $L_\downarrow$  为大气向上、下辐射亮度。其中  $\tau$ ,  $L_\uparrow$  和  $L_\downarrow$  均可根据遥感影像成像时间及中心经纬度信息在 NASA 网站查询得到。

(5) 构建遥感生态指数。为将 4 个指标纳入到同一体系下进行比较,将计算得到的 4 个指标分别进行标准化处理,将指标值约束在 0~1 范围内,使之统

一量纲,标准化公式如下:

$$\text{NI}_i = (I_i - I_{\text{min}}) / (I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) \quad (10)$$

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

采用主成分分析法对 4 个指标进行耦合,该方法可以避免人为对 4 个指标进行权重赋值,而是根据各个指标对第一主成分的贡献率来确定其权重,因而能避免人为确定权重值而导致的偏差,使得 RSEI 指标更加具有客观性。为使得输出的主成分信息中,数值较大的值代表生态环境状况较好,采用下式计算初始的 RSEI<sub>0</sub> 数值。

$$\text{RSEI}_0 = 1 -$$

$$\text{PCA}[f(\text{NDVI}, \text{WET}, \text{NDSI}, \text{LST})] \quad (11)$$

式中:PCA 为主成分分析,NDVI, WET, NDSI, LST 分别代表绿度、湿度、干度、热度。

同样,利用公式(10),对 RSEI<sub>0</sub> 进行标准化处理,得到最终的 RSEI 值。

$$\text{RSEI} = (\text{RSEI}_0 - \text{RSEI}_{0\text{min}}) / (\text{RSEI}_{0\text{max}} - \text{RSEI}_{0\text{min}}) \quad (12)$$

式中:RSEI<sub>0min</sub> 和 RSEI<sub>0max</sub> 分别表示计算得到的 RSEI<sub>0</sub> 的最小值和最大值;RSEI 为最终的遥感生态指数值。

## 3 结果与分析

### 3.1 黄山世界遗产地 RSEI 数值变化分析

由表 1 可知,黄山世界遗产地的 RSEI 数值逐渐升高,其中 2017 年最高,达到了 0.638,表明该年的生态环境质量最好。1992 年 RSEI 值最低,为 0.573,表明其生态环境质量相对较差。从 1992 年至 2007 年,生态环境改善较为明显,RSEI 值涨幅达 7.2%,2007 年至 2017 年涨幅相对较小,达到了 3.9%。就整体而言,黄山世界遗产地的生态环境质量在逐渐变好,且前 15 a 的改善效果要稍优于后 10 a 的改善效果,其原因与近 10 a 来黄山风景区旅游业的迅速发展有关。

表 1 1992—2017 年黄山世界遗产地各年份 4 个指标和遥感生态指数 RSEI 均值变化

年份	类别	绿度 NDVI	湿度 WET	干度 NDSI	温度 LST	遥感生态指数 RSEI
1992 年	均值	0.692	0.571	0.451	0.548	0.573
	PC1 载荷	0.515	0.566	-0.500	-0.405	
2007 年	均值	0.779	0.594	0.397	0.556	0.614
	PC1 载荷	0.523	0.543	-0.519	-0.403	
2017 年	均值	0.818	0.612	0.411	0.487	0.638
	PC1 载荷	0.503	0.557	-0.536	-0.386	

从4个子指标来看,绿度指标和湿度指标的PC1载荷值为正数,表明其对生态环境质量产生积极影响,干度指标与热度指标的PC1载荷值为负数,表明其对生态环境质量产生消极影响,这与实际状况相符。1992—2017年,绿度指标和湿度指标数值呈上升趋势,其原因主要是自入选“世界遗产名录”以来,地方政府投入大量资金用于生态环境保护,积极保护遗产地范围内的绿色植被,并控制人为破坏,从而使得保护区内植被覆盖稳中有升,促进了绿度和湿度指标数值的提升。温度指标数值先升高后降低,而

干度指标数值则先降低后升高,二者呈小幅度波动趋势。

### 3.2 黄山世界遗产地生态环境质量时空差异分析

为了更准确反映保护区内生态环境质量的动态变化,将RSEI指标数值以0.2为级差划分为5个等级,即0~0.2,0.2~0.4,0.4~0.6,0.6~0.8,0.8~1.0,分别对应差、较差、中、良、优5个生态环境等级(见封2附图7),并对各个生态环境级别分别统计其面积占比(见表2),进一步计算生态等级面积变化转移矩阵(见表3)。

表2 黄山世界遗产地1992—2017年生态等级和面积变化

RSEI 等级	1992 年		2007 年		2017 年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
差等	58.24	8.95	46.91	7.21	42.74	6.57
较差等	76.70	11.79	47.67	7.33	37.29	5.73
中等	168.72	25.93	138.02	21.21	121.66	18.70
良等	262.44	40.34	311.87	47.94	314.46	48.33
优等	84.50	12.99	106.13	16.31	134.45	20.67

由附图7(见封2)可以直观看出,1992—2017年黄山世界遗产地范围内的生态环境状况:①整体来看,保护区西北部、中部和东南部生态环境质量较好;保护区北部和东部部分区域,生态环境质量较差。②从局部来看,生态环境级别为差和较差的区域主要集中分布于保护区西部焦村镇,北部耿城镇、三口镇和仙源镇,东部谭家桥镇和南部汤口镇等城镇分布区域,以及遗产地内省道S103和高速G205沿线区域,此外还包括核心风景区内的裸岩分布区。在近25a的发展变化中,该类别区域面积明显变小,转化为更高的生态环境等级。生态环境级别为良和优的区域主要分布于保护区中部核心风景区、西北部松岭和阳边山周围、东南部岗村以南部分区域,以及东部G3高速公路衢黄段以东大部分区域,且东南部等级为优的面积逐渐变大,生态环境质量提升较为明显。结合遥感影像可知,植被覆盖度提高是区域生态等级提升的主要原因,而城镇化建设则是区域生态等级退化的主要影响因素。

结合表2可知,黄山世界遗产地范围内,3期数据中RSEI等级为中和良的面积占比均达到了65%以上,占据主导地位,表明保护区内整体生态环境质量较好。RSEI等级为差和较差的区域,其面积占比逐年下降,从20.74%降至12.30%,降幅达到8.4%;而RSEI等级为良和优的面积比例则稳步上升,从53.33%提升至69.0%,涨幅达到15.7%。统计结果表明,保护区内部分区域生态环境等级提升明显,生态环境质量得到显著改善。

依据表3的统计结果可知,从1992—2017近25a来,保护区内RSEI等级为差和较差的土地中,有接近63.6%的土地转变为RSEI等级更高的土地;RSEI等级为中、良、优的土地中,较好的保持了其生态环境质量水平,平均仅有约4.0%的土地其RSEI等级转化为差和较差。总体而言,近25a来,保护区内生态环境质量进一步变好。

表3 黄山世界遗产地生态等级面积转移矩阵 %

项目	1992年面积比例				
	差	较差	中	良	优
2017年					
面积	39.26	15.77	3.58	0.58	0.26
比例	17.97	17.75	5.84	1.13	0.47
较差等	23.20	33.01	31.70	10.22	3.00
中等	14.79	26.83	49.85	64.04	39.16
良等	4.79	6.64	9.03	24.03	57.12
优等					

为了较为直观的体现保护区内生态环境质量的时空差异,将1992年和2017年的RSEI指数进行差值变化检测(见封3附图8)。结合实际情况,将差值检测结果划分为5个等级(-1.0~-0.2,-0.2~-0.05,-0.05~0.05,0.05~0.2,0.2~1),分别对应显著退化区、轻微退化区、稳定区、轻微改善区、显著改善区<sup>[14]</sup>,综合分析黄山世界遗产地生态环境状况的时空变化。

由附图8(见封3)可以看出,保护区内北部耿城镇、三口镇、仙源镇,东部谭家桥镇西南部,以及南部G205高速沿线、阮溪山周围有部分区域呈现显著退化状,结合遥感影像得知,其原因主要与城镇化建设、旅游开发有关。保护区内北部大部分区域,南部岗村

周围以及核心风景区东南部等区域,其生态环境质量呈显著改善状态,其原因主要与退耕还林、植树造林等措施有关。黄山核心风景区内,绝大多数区域生态环境质量较好,保持相对稳定,个别区域有轻微退化,主要集中于旅游开发区、裸岩分布区域。整体来看,保护区内生态环境质量明显改善。

## 4 结论与讨论

本文基于遥感生态指数,对黄山世界遗产地保护区内生态环境质量进行了定量评价。结合 GIS 空间分析及统计方法,得出区域内生态环境质量的时空变化,研究成果对黄山世界遗产地的保护与可持续发展具有重要意义,能够为遗产地的管理、发展规划提供一定的参考。

(1) 在主成分分析中,绿色、湿度、干度、热度载荷值较为接近,表明 4 个分量对该区域内生态环境质量均有一定程度的贡献。且绿色和湿度对生态环境质量起积极作用,干度和热度对生态环境质量起消极作用。

(2) 黄山世界遗产地保护区内 RSEI 指标数值均在 0.5 以上,生态环境质量整体较好。区域内生态环境质量较好的区域主要集中于中部核心风景区、西北部和东南部等植被覆盖度较高的区域。生态环境较差区域则主要集中于北部和东部等城镇分布区以及公路沿线部分区域。

(3) 黄山世界遗产地保护区内 RSEI 指数在 1992—2017 呈显著上升趋势,生态环境质量稳步提升。整体来看,区域内生态环境质量明显改善,改善区域主要分布于保护区北部和南部山区,其原因主要与相关管理部门在黄山被列入世界遗产名录后加大生态环境保护力度有关。从局部来看,存在生态环境退化的区域,其原因主要与城镇化建设、旅游开发等因素有关。相关部门应进一步规范土地利用,继续贯彻退耕还林措施。合理进行城镇化建设,在生态承载力范围内适度进行旅游开发,实现黄山世界遗产地的可持续发展。

自 1990 年黄山被列入世界遗产名录以来,各级政府部门及相关管理单位投入了大量的人力、物力和财力对遗产地进行重点保护。本研究证明,保护举措初见成效,保护区范围内生态环境质量改善明显。生态环境退化区域既包含城镇化建设区域,也包括旅游开发区域,合理的城镇化建设、适度的旅游开发,对保护区内的生态环境质量具有重要意义。但必须指出,保护下的发展不等于不发展,应始终贯彻可持续发展的理念,协调发展与保护的关系,科学的推进保护区生态文明建设。

遥感生态指数多运用于城市生态环境的定量评价,本研究将该指数引入世界遗产地。本文研究成果对于遗产地的生态环境质量评价具有一定的参考价值,可以尝试在其它同类型案例地进行推广应用。尽管遥感生态指数较为全面的选择了 4 类影响生态环境的指示因子,且能够较好的反映研究区的生态环境变化,但生态环境是一个复杂的综合变量,全面的定量评价需依据研究区实际情况综合选择多种影响因素,这是研究其它案例地时需要注意的问题。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 赵其国,黄国勤,马艳芹. 中国生态环境状况与生态文明建设[J]. 生态学报, 2016, 36(19): 6328-6335.
- [2] Kennedy R E, Andréfouët S, Cohen W B, et al. Bringing an ecological view of change to Landsat-based remote sensing[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2014, 12(6): 339-346.
- [3] 廖鹏. 遥感技术在生态环境监测中的应用[J]. 环境与发展, 2018, 30(7): 90-91.
- [4] Lebed L, Qi J, Heilman P. An ecological assessment of pasturelands in the Balkhash area of Kazakhstan with remote sensing and models[J]. *Environmental Research Letters*, 2012, 7(2): 025203.
- [5] Smith W, Meredith T C, Johns T. Exploring methods for rapid assessment of woody vegetation in the Batemi Valley, North-central Tanzania[J]. *Biodiversity & Conservation*, 1999, 8(4): 447-470.
- [6] 施婷婷,徐涵秋,孙凤琴,等. 建设项目引发的区域生态变化的遥感评估:以散江流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(18): 6826-6839.
- [7] 潘明慧,袁轶男,王亚蕾,等. 基于 RSEI 的福州旗山国家森林公园生态环境质量变化研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2020, 51(1): 57-63.
- [8] 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.
- [9] 叶有华,梁永贤,沈一青,等. 《生态环境状况评价技术规范(试行)》中若干值得商榷的问题[J]. 热带地理, 2009, 29(4): 404-406.
- [10] 张媛,王靖飞,黄云龙,等. 关于生态环境状况评价指标计算的问题与探讨[J]. 河北工业科技, 2008, 25(6): 363-365.
- [11] 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.
- [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] 朱贞榕. 基于遥感生态指数(RSEI)的南昌市生态环境质量评价[D]. 江西 抚州: 东华理工大学, 2017.
- [14] 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.