

基于遥感生态指数模型(RSEI)的新安江流域(宣城段)生态环境质量状况分析

石磊¹, 夏敏¹, 唐婷¹, 贾蔡²

(1.安徽省地质矿产勘查局311地质队, 安徽安庆 246003; 2.安徽师范大学, 安徽芜湖 241003)

摘要:本文以新安江流域(宣城段)为研究对象,以 Landsat-8 OLI 遥感数据为数据源,基于遥感和地理信息空间分析技术,利用主成分分析法将湿度分量(Wet)、绿度分量(NDVI)、干度分量(NDSI)和热度分量(LST)4个分量指标耦合构建了遥感生态指数(RSEI),并基于RSEI对新安江流域(宣城段)的生态环境质量进行了评价与分析,探索流域生态环境变化规律,为流域生态规划建设和生态保护提供决策依据。

关键词:遥感生态指数;新安江流域;主成分分析;生态环境质量

中图分类号:P641

文献标志码:B

0 引言

良好的生态环境是社会可持续发展的基础保障,在环境保护中谋发展才是长久之计^[1]。随着遥感技术的快速发展,基于遥感的地表生态状况监测取得了显著进展,对改善区域生态环境、促进可持续发展目标的实现具有积极贡献。其中,遥感生态指数(remote sensing based ecological index, RSEI)是一种以自然因子为主能对区域生态状况进行快速监测与评价的新型遥感生态指数,因其具有能客观、高效、定量、快速、准确地评价城市或区域的生态环境等特点,成为当前基于遥感的地表生态状况监测中应用最广泛的模型^[2-5]。

RSEI的基本原理是利用湿度分量(Wet)、绿度分量(NDVI)、干度分量(NDSI)和热度分量(LST)4个分量指标来计算。4个分量指标通过标准化处理和采用主成分分析法赋权重,可以最大程度保持数据完整性和客观性,避免因人为赋权重而产生的误差。通过遥感影像和RSEI模型,可以快速直观地反映区域生态环境质量以及动态变化状况^[6]。

新安江流域是一个跨越皖、浙两省的重要流域,流域生态系统服务功能对区域经济发展具有重要影响,对新安江流域的生态环境质量状况进行评估和分析,进而探索流域地区合理化规划发展和可持续发展是非常必要的。本文选取新安江流域(宣城段)为研究区,以遥感技术为手段,基于 Landsat-8 OLI 影像数

据构建RSEI指数,综合评价了2022—2023年新安江流域(宣城段)的生态环境质量状况。

1 研究区概况和数据源

1.1 研究区概况

新安江流域(宣城段)位于宣城市绩溪县范围内(图1),以西起大会山经过仙人岩尖和社母娘娘尖东至黄毛尖的分水岭为界,主要支流为登源河、大源河、扬之河、大障河。流域涉及8个乡镇,分别为华阳镇、临溪镇、瀛洲镇、长安镇、上庄镇、扬溪镇、伏岭镇、板桥头乡。



图1 研究区位置图

Figure 1. Location map of the study area

收稿日期:2024-09-20

项目来源:中央财政专项资金项目“新安江流域(宣城段)生态安全调查与评估”(编号:XCS-CG-GK-2022035)资助

作者简介:石磊(1983—),男,辽宁葫芦岛人,高级工程师,主要从事遥感解译、地理信息系统应用、地质矿产勘查及项目管理工作。E-mail: 348744483@qq.com

1.2 数据源

本次研究所用的遥感数据为 Landsat-8 OLI 影像,分辨率为 30 m,时间为 2022 年 8 月—2023 年 8 月,影像在研究区范围云量少,符合要求。对获取的 Landsat-8 OLI 影像进行辐射定标、大气校正、几何校正、影像裁剪等预处理工作。

2 研究方法

2.1 四个分量指标计算

(1) 湿度指标。湿度分量通过对遥感数据进行缨帽变换获取,用以反映植被和土壤的湿度状况,以 Wet 表示:

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

式中: ρ_{blue} 、 ρ_{green} 、 ρ_{red} 、 ρ_{nir} 、 ρ_{swir1} 、 ρ_{swir2} 分别代表遥感数据的蓝、绿、红、近红外、短波红外 1 和短波红外 2 波段的反射率。

(2) 绿度指标。绿度指标通过计算 NDVI 指数得到,用以直观反映研究区植被的生长情况与植被叶面积指数和生物量之间的关系,以 NDVI 表示:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

式中:RED、NIR 分别代表遥感数据的红、近红外波段的反射率。

(3) 干度指标。造成城市区域“干化”的主要原因是建筑用地的扩展以及大面积的裸地,为此选用裸土指数(SI)和建筑指数(IBI)合成作为干度指标,表示为(NDSI),SI 采用 A.Rikimaru'S0^[7]的模型计算,IBI 利用 HXu151^[8]的模型计算:

$$\text{SI} = \frac{(\rho_{\text{mir}} + \rho_{\text{red}}) - (\rho_{\text{mir}} + \rho_{\text{blue}})}{(\rho_{\text{mir}} + \rho_{\text{red}}) + (\rho_{\text{mir}} + \rho_{\text{blue}})}$$

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

$$\text{NDSI} = \frac{\text{SI} + \text{IBI}}{2}$$

式中: ρ_{green} 、 ρ_{red} 、 ρ_{nir} 、 ρ_{mir} 分别代表遥感数据的绿、红、近红外、中红外波段的反射率。

(4) 热度指标。热度指标用地表温度(LST)表示,通常被称为地表的皮肤温度。首先获取影像的 T-sensor 传感器处亮度温度值 T ,方法是通过选择影像的热红外波段,在辐射定标对话框中选择亮温,从而一步得到影像的传感器处亮度温度值,再计算影像的比辐射率。为了获得更准确的地表比辐射率的数据,将地表分为水体、自然表面和城镇区,其中当 NDVI<0 时, ε 取 1(水体的发射率接近于 1);当 NDVI 为 0~0.157

时,植被覆盖度很低, ε 取 0.92;当 NDVI>0.727 时, ε 取 1^[9],公式为:

$$\varepsilon = 1.009 - 0.047\ln\text{NDVI}$$

最终的地表温度计算公式为:

$$\text{LST} = \frac{T}{1 + (\lambda \times T/\rho)\ln \varepsilon}$$

2.2 主成分分析

主成分分析是一种将线性相关的变量转化为非线性相关的变量。变量过多会导致数据冗余,计算复杂,因此在保证完整性的基础上对原有变量进行降维,尽可能将原有数据的主要信息集中在 1~2 个主成分上,可以保留变量的大部分有效信息^[10]。

将 4 个指标合成一幅新影像,对其进行主成分分析,保留特征值贡献率较大的主成分。为了使变化后影像中的数值大小代表生态环境的优劣程度(数值越大生态环境越好),利用下式进行转换,获得初始生态指数 RSEI₀:

$$\text{RSEI}_0 = 1 - \text{PC}[f(\text{NDVI}, \text{Wet}, \text{NDSI}, \text{LST})]$$

式中:PC 为主成分分析。

通过统计 RSEI₀ 的最大值和最小值进行标准化处理:

$$\text{RSEI} = \frac{B1 - \min}{\max - \min}$$

式中:B1 为归一化数据值。

基于 RSEI 值进行等级分类^[11-12]:0~0.2 表示生态环境极差;0.2~0.4 表示生态环境较差;0.4~0.6 表示生态环境一般;0.6~0.8 表示生态环境良好;0.8~1.0 表示生态环境极好(图 2)。

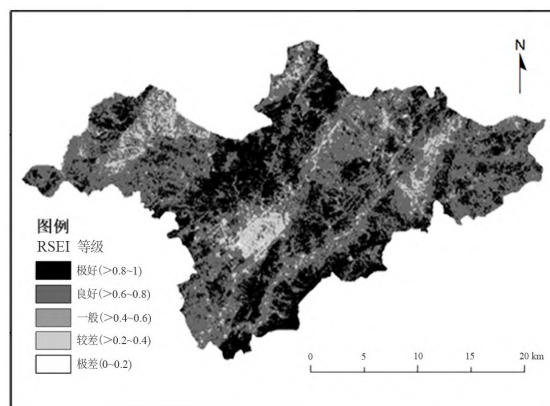


图2 新安江流域(宣城段)2022—2023年RSEI等级分布图
Figure 2. RSEI grade distribution map of Xin'an River Basin (Xuancheng section) from 2022 to 2023

2.3 成果分析

通过采用主成分分析方法耦合生成的遥感生态指数,RESI(遥感生态指数模型)等级分布图显示(图2),新安江流域(宣城段)生态环境质量整体较为

优秀,植被覆盖度高,土壤和地表植被湿度大,在未来发展中,可通过合理规划土地利用方式,实现流域经济与自然环境协同发展。

3 结论与建议

综上所述,新安江流域(宣城段)生态环境质量整体较为优秀,植被覆盖度高,土壤和地表植被湿度大,在未来发展中,通过合理规划土地利用方式,可以实现流域经济与自然环境协同发展。

(1) 基于 Landsat 影像数据,提取湿度、绿度、干度和热度指标,并采用主成分分析方法耦合生成遥感生态指数,分析 2022—2023 年新安江流域(宣城段)生态环境时空变化特征,得到主要结论如下:根据上述分级得到新安江流域(宣城段)2022—2023 年 RESI 等级分布图,通过 RESI 等级分布图可以得到,超过 91.8% 的新安江流域(宣城段)区域的 RESI 等级为良好,其中有 32.98% 的区域的 RESI 等级达到极好。

(2) 该结果与实地采样调查结果吻合^[13],这不仅验证了 RSEI 模型的可靠性,也表明遥感技术在生态环境评估中具有巨大潜力,卫星遥感数据不仅能够获得丰富的生态环境信息,还能实现更大尺度的覆盖,为科学决策提供更有深度的支持。

(3) 随着遥感技术的迅速发展,基于遥感的地表生态状况监测正迈向新的台阶,对于改善区域生态环境、推动可持续发展目标的达成,起到了积极的引领作用。建议地方加大遥感生态监测投入,积极采用卫星遥感技术等新兴监测手段,以实现更准确、高效的生态环境评价,为可持续发展目标的实现提供强有力的支持。

参考文献:

- [1] 方云祥. 安徽省典型流域生态系统健康评价及管理对策研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2020.
- [2] 杨惠麟,张存波,赵祺. 基于 RSEI 模型的成都市生态环境遥感评价[J]. 科学技术创新,2024(8):38-41.
- [3] 姜祥乐,吴天振,李代伟,等. 基于改进遥感生态指数的金寨县生态环境质量评价[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版),2024,23(1):75-85.
- [4] 任洪兵,杜崇,杜关记. 基于遥感生态指数的阿什河流域生态环境质量动态监测[J]. 甘肃水利水电技术,2023,59(12):27-32.
- [5] 辛文杰,马姜明,王永琪. 基于遥感生态指数的桂林市生态环境质量评价[J]. 广西师范大学学报(自然科学版),2023,41(1):200-212.
- [6] 陈宜欣,宁晓刚,张翰超,等. 遥感生态指数(RSEI)模型及应用综述[J]. 自然资源遥感,2024,36(3):28-40.
- [7] RIKIMARU A, ROY P S, MIYATAKE S. Tropical forest cover density mapping[J]. Tropical Ecology, 2002, 43(1): 39-47.
- [8] XU H Q. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(14):4269-4276.
- [9] 潘正华. 基于改进遥感生态指数的西北干旱荒漠区东部煤炭开采生态影响评价研究[D]. 北京:中国地质大学,2020.
- [10] 杨泽康,田佳,李万源,等. 黄河流域生态环境质量时空格局与演变趋势[J]. 生态学报,2021,41(19):7627-7636.
- [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. 水土流失区生态变化的遥感评估[J]. 农业工程学,2013,29(7):91-97,294.
- [13] 唐婷,石磊,岳阳军,等. 新安江流域(宣城段)生态安全调查与评估报告[R]. 安庆:安徽省地质矿产勘查局 311 地质队,2023.

Analysis of the eco-environmental quality of the Xin'an River basin (the Xuancheng section) based on remote sensing ecological index model (RSEI)

SHI Lei¹, XIA min¹, TANG Ting¹ and JIA Cai²

(1. No.311 Unit, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Anqing, Anhui 246003, China; 2. Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003, China;)

Abstract: Focusing on the Xin'an River basin (the Xuancheng section), the remote sensing ecological index (RSEI) was constructed by coupling four components, namely, moisture component (Wet), greenness component (NDVI), dryness component (NDSI) and temperature component (LST) using Landsat-8 Oli remote sensing data, remote sensing and geo-information spatial analysis technology, and principal component analysis (PCA). Further on the basis of RSEI, the eco-environmental quality of the study area was evaluated and analyzed, and the variation law of the eco-environment was explored, which provided a decision-making basis for eco-planning and eco-protection of the basin.

Keywords: remote sensing ecological index; Xin'an River basin; principal component analysis; eco-environmental quality