



Google Earth Engine平台支持下的南流江流域生态环境质量动态监测

杨坤士, 卢远, 翁月梅, 韦丽珍

引用本文:

杨坤士, 卢远, 翁月梅, 等. Google Earth Engine平台支持下的南流江流域生态环境质量动态监测[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, 38(6): 1112–1121.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0536>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于改进遥感生态指数的海南岛生态环境质量动态变化](#)

付杰, 王萍, 张清, 李兴荣, 田燕芹

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 1102–1111 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0482>

[江流域耕地土壤重金属分布及生态风险评价](#)

黄维恒, 包立, 林健, 熊荟菁, 邓洪, 张乃明

农业资源与环境学报. 2017, 34(5): 456–465 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0113>

[基于MCE-CA耦合模型的嘉兴市土地利用预测情景下生态敏感性评价](#)

荣月静, 张慧, 赵显富

农业资源与环境学报. 2015(4): 343–353 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0359>

[基于SDI校正指数的滨海平原盐渍化生态风险评价](#)

潘肖燕, 崔江慧, 杨江燕, 关瑜, 孟泽, 刘田书, 门明新, 陈影

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 709–718 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0286>

[铁矿生态修复区生态系统服务价值增量评估](#)

叶尔纳尔·胡马尔汗, 马伟波, 徐向华, 迪丽努尔·托列吾别克, 方颖, 李海东

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 594–600 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0197>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

杨坤士, 卢远, 翁月梅, 等. Google Earth Engine 平台支持下的南流江流域生态环境质量动态监测[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(6): 1112-1121.

YANG K S, LU Y, WENG Y M, et al. Dynamic monitoring of ecological and environmental quality of the Nanliu River basin, supported by Google Earth Engine[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(6): 1112-1121.



开放科学 OSID

Google Earth Engine 平台支持下的南流江流域生态环境质量动态监测

杨坤士¹, 卢远^{1,2*}, 翁月梅¹, 韦丽珍¹

(1. 南宁师范大学地理科学与规划学院, 南宁 530001; 2. 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001)

摘要:为探究南流江流域2000—2019年生态环境质量的时空变化,利用Google Earth Engine(GEE)平台对2000—2019年南流江流域Landsat影像进行优化重构,并耦合植被绿度、湿度、地表温度、土壤干度等生态环境指标,构建遥感生态指数(RSEI)模型对南流江流域生态环境质量进行监测和评价。结果表明:2000—2019年南流江流域生态环境质量呈现逐年好转的态势,RSEI均值从2000年的0.543 4增长至2019年的0.636 4;南流江流域生态环境质量面积变化主要以中等生态风险等级向良生态等级转移为主,其中流域上游的中生态等级面积占比减少29.90个百分点,下游的良生态等级面积占比增加28.11个百分点。研究表明,使用GEE平台重构年度无云影像,可以对常年多云覆盖区的生态环境质量进行长时序的监测和评价。

关键词:南流江流域;Google Earth Engine;区域生态环境评价;遥感生态指数;生态风险等级

中图分类号:X826;X835 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2021)06-1112-10 doi: 10.13254/j.jare.2020.0536

Dynamic monitoring of ecological and environmental quality of the Nanliu River basin, supported by Google Earth Engine

YANG Kunshi¹, LU Yuan^{1,2*}, WENG Yuemei¹, WEI Lizhen¹

(1. School of Geography Science and Planning, Nanning Normal University, Nanning 530001, China; 2. The Key Laboratory of Beibu Gulf Environmental Change and Resource Utilization of the Ministry of Education, Nanning 530001, China)

Abstract: To explore the temporal and spatial changes of the ecological and environmental quality in the Nanliu River basin from 2000 to 2019, the Google Earth Engine (GEE) platform was used to optimize the reconstruction of Landsat images of the Nanliu River basin from 2000 to 2019. Coupling the vegetation greenness, humidity, temperature of the earth's surface, soil dryness, and other ecological environment indicators facilitated the construction of a remote sensing ecological index (RSEI) to monitor and evaluate the ecological and environmental quality of the Nanliu River basin. The ecological and environmental quality of the Nanliu River basin showed an improvement year on year from 2000 to 2019. The average RSEI increased from 0.543 4 in 2000 to 0.636 4 in 2019. The transfer of area in the ecological and environmental quality of the Nanliu River basin change was mainly a shift from medium ecological risk grade to good ecological grade. In the upper reaches of the basin, the area of medium ecological grade decreased by 29.90 percent points, and the area of good ecological grade downstream increased by 28.11 percent points. Studies have shown that the use of the GEE platform to reconstruct annual, cloud-free images can facilitate long-term monitoring and evaluation of the ecological environment quality in areas of perennial cloud cover.

Keywords: Nanliu River basin; Google Earth Engine; regional ecological environmental assessment; remote sensing ecological index; ecological risk grade

收稿日期:2020-09-22 录用日期:2021-01-18

作者简介:杨坤士(1994—),男,硕士研究生,从事生态遥感研究。E-mail:251215314@qq.com

*通信作者:卢远 E-mail:luyuan.gx@qq.com

基金项目:国家自然科学基金项目(41661043);广西自然科学基金项目(2015GXNSFAA139234);广西科技重点研发计划(AB16380318);广西研究生教育创新计划项目(YCSW2020192)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China (41661043); The Natural Science Foundation of Guangxi, China (2015GXNSFAA139234); Special Fund for Key Program of Science and Technology of Guangxi, China (AB16380318); Innovation Project of Guangxi Graduate Education (YCSW2020192)

区域生态环境质量评价是在特定时间、空间范围内,对人类活动及社会经济发展下生态环境的优劣程度进行定性或定量分析和判别^[1-2]。当前,生态环境质量评价技术方法已经从20世纪60年代初期对生态环境的单要素调查,发展为综合多源数据、多环境要素的指标评价^[3-5]。随着我国对生态文明建设重视程度的提高,国家对生态环境保护的投入和治理力度不断加大,生态环境质量监测受到社会的广泛关注。卫星遥感技术拥有快速有效获取地表信息的能力,已被广泛用于生态环境监测领域^[6-7]。遥感生态指数(Remote Sensing Ecological Index, RSEI)是徐涵秋^[8-9]于2013年提出的基于卫星遥感影像信息耦合植被绿度、湿度、地表温度、土壤干度4个指标,通过主成分分析法对区域生态环境质量进行客观评价的一种生态环境监测方法,同时也是当前区域生态环境监测研究的热点。刘智才等^[10]运用遥感生态环境指数对杭州市1989—2010年城市发展引发的生态环境质量变化进行长时间的监测评价;周玲美等^[11]通过获取内蒙古杭锦旗荒漠地区1992—2017年遥感影像数据,综合构建遥感生态指数模型,对杭锦旗荒漠地区的生态环境变化进行监测评价;缪鑫辉等^[12]选取2000、2009、2017年遥感影像数据构建遥感生态指数模型,对宁波市甬江流域进行生态环境变化分析和动态监测。遥感生态指数集成了遥感影像反演出的各类生态环境指标,对区域生态环境质量监测具有较高的参考性^[13-16]。

南流江流域是广西南部众多独流入海河流中流域面积最大的一条河流,地处北部湾经济区,经济区的建立给流域带来了前所未有的发展机遇,同时也给南流江流域生态环境质量带来巨大挑战^[17-19]。发展带来的问题严重影响该地区生态环境质量,流域生态系统遭受巨大挑战^[20]。当前,运用Google Earth Engine(GEE)平台对我国南方地区进行高分辨、长时间序列的遥感生态环境监测评价及时空分布特征研究尚属少见,因此研究南流江流域生态环境质量的监测评价方法具有重要的理论和现实意义。

近年来,一些具有高性能计算能力和大数据处理工具的地理空间数据云计算平台被广泛用于地球科学研究^[21]。遥感云计算平台的出现大大改变了传统地理空间数据存储、管理和分析方式^[22]。鉴于此,借助GEE平台遥感图像数据处理优势,对南流江流域2000—2019年Landsat TM/OLI卫星遥感图像进行指标运算,构建各个年份遥感生态环境指数模型,对研究

区20年来生态环境质量进行监测和评价,及时、准确地掌握南流江流域生态环境质量状况和变化态势,以期期为南流江流域水土保持、生态治理建设提供参考依据,促进地区资源环境的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南流江是广西南部入海河流中流域面积最大、服务人口最多、水量最丰富的独流入海河流,地处21°21'~23°04'N、105°47'~107°41'E之间,发源于北流市与玉林市交界处的大容山区,流域流经玉林市博白县、钦州市浦北县以及北海市合浦县,流域面积9 270 km²(图1)。南流江流域是以低山丘陵和冲积平原为主构成的地貌形态,地势西北部较高,自北向西南倾斜,属亚热带季风气候,多年平均气温稳定在21~23℃之间,受沿海季风气候影响,流域夏季高温多雨,冬季降雨少而温凉。

1.2 数据来源

影像数据来源于美国地质调查局(USGS)发布的2000—2019年Landsat影像数据卫星计划(<https://earthexplorer.usgs.gov/>),空间分辨率为30 m,对地观测重访周期16 d。在GEE平台上,Landsat数据可以通过JavaScript API在线访问研究区范围内2000—2012年的Landsat 5 TM地表反射率数据集和2013—2019年的Landsat 8 OLI地表反射率数据集,并且GEE平台内的Landsat数据均采用了LaSRC方法对影像进行大气表面反射率校正,并对所有影像数据波段进行正射校正,降低了其他要素(云、水体、冰雪、大气等)对影像的影响,使得影像数据具有良好的辐射度。

由于南流江流域地处低纬度地区,年度影像质量受云、雨遮罩影响较大,无云影像多集中于秋、冬季节,其他时期影像云量覆盖率高。因此,在GEE平台上筛选影像时间阈值为9—12月之间的最少云量影像作为基准影像,并将受云遮罩影响的部分影像替换为该年度无云的图像,并对图像进行中值提取,消除云图像之间的色差等问题,以保障影像数据来源的可靠性。

矢量数据主要包括流域边界和行政区划边界,本研究通过采用ArcMap10.4的Hydrology模块获取了研究区的流域边界,行政区划边界来源于2017年版的1:250 000全国基础地理数据库(<http://www.web-map.cn/>)。研究区2000—2019年数据来源、处理情况如表1所示。

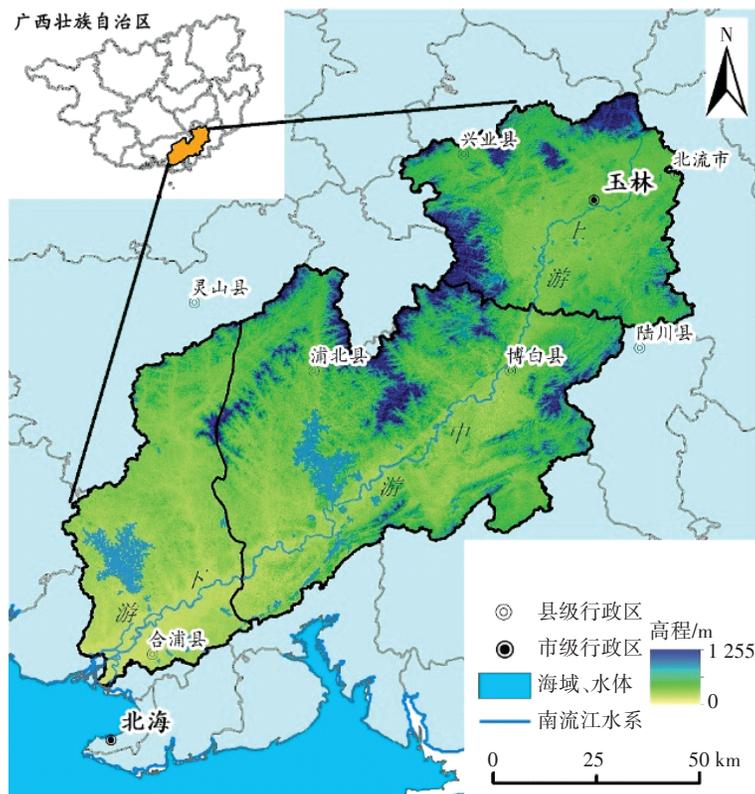


图1 南流江流域示意图

Figure 1 Schematic diagram of Nanliujiang River basin

表1 数据来源与处理平台

Table 1 Data source and processing platform

数据 Data	来源 Origin	处理平台 Processing platform
Landsat 5、Landsat 8	美国地质调查局(https://earthexplorer.usgs.gov/), 年度时间范围9—12月	Google Earth Engine
流域边界	地理空间数据云下载的数字高程模型 DEM(http://www.gscloud.cn/)	ArcMap10.4的Hydrology模块
行政区划边界	2017年版的1:250 000全国基础地理数据库(http://www.webmap.cn/)	ArcMap10.4

1.3 研究方法

1.3.1 GEE平台分量指标计算

GEE平台是由美国肯塔基大学与美国地质调查局联合开发的一个能够实现PB级地理信息大数据在线分析及可视化的平台^[21]。该平台具有海量的遥感图像存档,包括长时间序列影像集(如Landsat、MODIS等)及其派生的数据产品,并基于JavaScript和Python语言的API接口实现在线处理、分析和可视化等工作的开展,相对于传统的遥感图像处理方式,可更快速有效地实现大尺度、长时序的地理数据处理和信息挖掘。

由于研究区地处多云雨纬度带,年度Landsat序列影像集内无云的图像较少且无云影像时间段也不固定,为此,在GEE平台上通过遍历年度时间序列影像集,过滤最小云量影像,调用GEE中Landsat云

掩膜算法,对年度时间序列内的图像进行云像元、云阴影检测并去除,对去云后影像区域填充年度中无云的图像,并进行均值拟合得到研究区内年度的最优Landsat图像数据^[23-24]。遥感生态指数技术路线如图2所示。

本研究采用徐涵秋^[9]所创建的遥感生态指数对南流江流域生态环境质量进行监测与评价,该生态指数是将遥感图像衍生出的植被绿度、湿度、地表温度、土壤干度4个直观反映研究区生态环境状况的指标,耦合构建遥感生态指数(RSEI)模型。表达式如下:

$$I(RSEI) = f(NDVI, WET, NDBSI, LST) \quad (1)$$

式中:NDVI代表植被绿度指标^[25];WET代表湿度指标^[26];LST代表地表温度指标^[27-28];NDBSI代表土壤干度指标,该指标为土壤指数(SI)和建筑指数(IBI)的平均值^[29]。各类生态环境分量运算如表2所示。

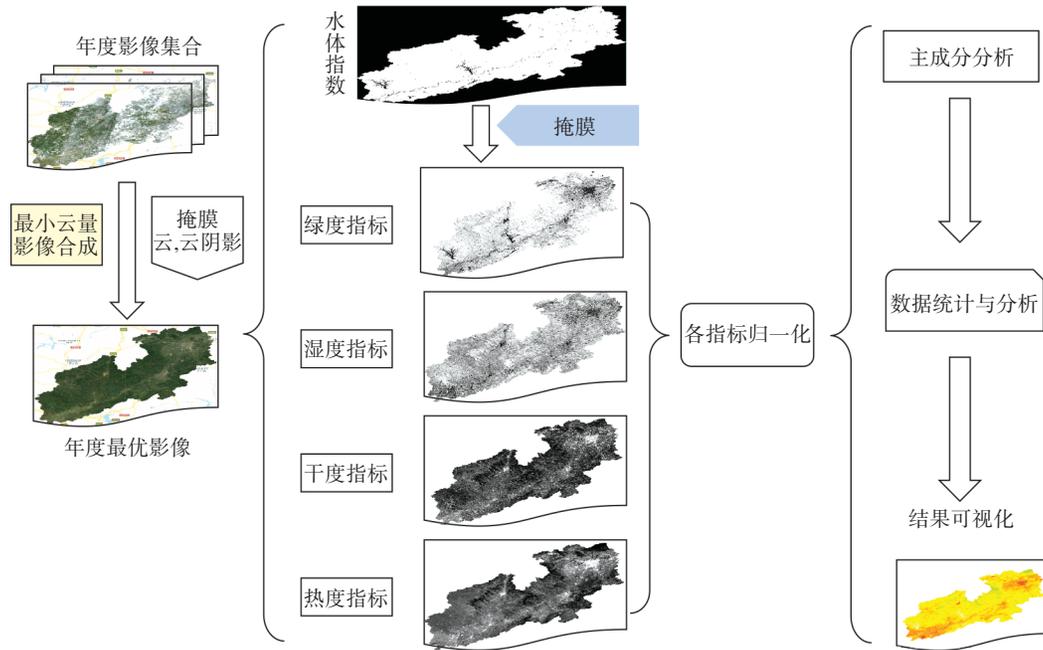


图2 GEE平台下构建遥感生态指数(RSEI)模型技术路线

Figure 2 The technical route of constructing the remote sensing ecological index (RSEI) under the GEE platform

1.3.2 遥感生态指数模型构建

主成分分析是考察多个变量之间相关性的一种多元统计方法,可以有效地将众多具有一定关联性的变量重新组合成少数保留初始变量信息的几个波段。由于多波段数据之间存在关联性,主成分分析可以使各波段之间的方差达到最大,从而实现数据降维,达到隔离噪声的效果。通常而言,第一主成分(PC1)包含各波段数据最大方差百分比,第二主成分(PC2)包含各波段数据第二大方差百分比,依此类推。即PC1包含了各波段之间关联性最高的信息量。考虑到4个分量指标之间量纲的不一致性,因此,本研究对上述4个分量指标先进行归一化,将运算的量纲统一为

[0, 1]之间,其公式为:

$$I(NI) = (I - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min}) \quad (2)$$

式中: $I(NI)$ 为分量指标归一化后的结果; I 为分量指标值; I_{\max} 为分量指标的最大值; I_{\min} 为分量指标的最小值。

以各指标之间相关性最优的PC1信息量作为遥感生态指数RSEI的信息量来源。通过GEE平台的主成分分析拓展模块(https://developers.google.com/earth-engine/guides/arrays_eigen_analysis)剔除水体指数^[30]运算得到的研究区水域后,采用主成分分析方法对归一化后的4个分量指标构建遥感生态指数模型。提取2000、2005、2010、2015、2019年PC1信息量,并通过归

表2 各类生态环境分量运算公式和说明

Table 2 Calculation formulas and descriptions of various ecological environment components

生态环境指标 Ecological environment indicators	运算公式 Calculation formula	公式说明 Formula description
植被绿度	$NDVI = (B_{NIR} - B_{Red}) / (B_{NIR} + B_{Red})$	B_{Red} 、 B_{Green} 、 B_{Blue} 、 B_{NIR} 、 B_{SWIR1} 、 B_{SWIR2} 分别对应 TM/OLI 影像中各个波段的反射率; B_T 为传感器温度; L 为辐射定标后的热红外波段反射率;对于 TM 传感器, $K_1=607.76 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, $K_2=12 \text{ 60.56 K}$;对于 OLI 传感器, $K_1=774.89 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, $K_2=1 \text{ 321.08 K}$; λ 为热红外波段中心波长; $\lambda_{TM}=11.435 \mu\text{m}$; $\lambda_{OLI}=10.9$; $\rho=1.438 \times 10^{-2} \text{ mK}$; ϵ 为地表比辐射率 ^[27]
湿度	$WET_{TM} = 0.031 \ 5 \times B_{Blue} + 0.202 \ 1 \times B_{Green} + 0.310 \ 2 \times B_{Red} + 0.159 \ 4 \times B_{NIR} - 0.680 \ 6 \times B_{SWIR1} - 0.610 \ 9 \times B_{SWIR2}$ $WET_{OLI} = 0.151 \ 1 \times B_{Blue} + 0.197 \ 3 \times B_{Green} + 0.328 \ 3 \times B_{Red} + 0.340 \ 7 \times B_{NIR} - 0.711 \ 7 \times B_{SWIR1} - 0.455 \ 9 \times B_{SWIR2}$	
地表温度	$LST = B_T / [1 + (\lambda \times B_T / \rho) \ln \epsilon] - 273.15$ $B_T = K_2 / \ln(K_1 / L + 1)$	
土壤干度	$NDBSI = (SI + IBI) / 2$ ① $SI = [(B_{SWIR1} + B_{Red}) - (B_{Blue} + B_{NIR})] / [(B_{SWIR1} + B_{Red}) + (B_{Blue} + B_{NIR})]$ ② $IBI = [2 \times B_{SWIR1} / (B_{SWIR1} + B_{NIR}) - B_{NIR} / (B_{NIR} + B_{Red}) - B_{Green} / (B_{Green} + B_{SWIR1})] / [2 \times B_{SWIR1} / (B_{SWIR1} + B_{NIR}) + B_{NIR} / (B_{NIR} + B_{Red}) + B_{Green} / (B_{Green} + B_{SWIR1})]$	

一化公式处理得到5个年份的遥感生态指数(表3)。

2 结果与分析

2.1 南流江流域生态环境质量整体状况

通过GEE平台计算得出南流江流域2000、2005、2010、2015年和2019年的RSEI,对5个不同时期的RSEI进行线性回归分析,采用最小二乘法进行参数估计,拟合精度达到0.8785,表现出极显著的正相关性。由图3分析可得,2000—2005年期间RSEI均值出现短暂的下降趋势,随后在2010—2019年持续升高。整体而言,2000—2019年南流江流域RSEI指数均值呈现出逐年升高的态势,表明南流江流域近20年来整体生态环境变化持续向好发展。

为进一步了解南流江流域遥感生态环境质量的空间分布情况,对RSEI进行定量化与可视化分析,依据RSEI值越接近1生态环境越好的原则^[8,31],将5个时期南流江流域RSEI以等间距(0.2)划分为差(0~0.2)、较差(0.2~0.4)、中(0.4~0.6)、良(0.6~0.8)、优(0.8~1)共5个等级,并分别对5个时期各生态等级的面积及其占比进行统计,结果见图4。

由2000—2019年南流江流域RSEI等级分布情况(图5)可知,2000—2010年研究区总体生态结构变化不大。2010年之前,研究区总体生态质量以中生态等级为主,面积占比超过60%,其次为生态状况良等级,面积占比超过25%,其他等级占比均小于15%;但2010年之后,研究区生态质量等级以良生态等级为主,面积占比超过60%。2000—2019年研究区生态质量等级变化主要从中等级变为良等级,且优生态等级面积逐年增加。综合而言,2000—2019年RSEI生态等级变化呈现出持续向好的趋势。

空间上,依据流域分水岭将研究区划分为上、中、下游流域,探究其生态环境质量变化情况,结果(图6)显示:上游地区自2000年以来,优生态等级逐年稳定增加;良生态等级面积在2000—2005年下降约5个

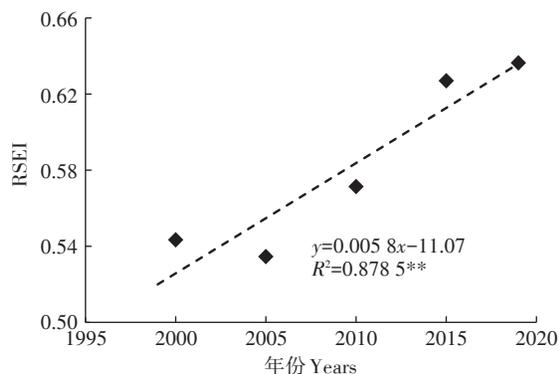


图3 2000—2019年南流江流域遥感生态指数(RSEI)线性拟合图

Figure 3 Remote sensing ecological index (RSEI) linear fitting diagram of Nanliujiang basin from 2000 to 2019

百分点,并在2010年开始逐年增加;中、较差生态等级在2000—2005年面积变化不明显,但2010年以后逐年减少;差生态等级面积在2000—2019年减少了一半,5个时期变化呈波动状态。中游地区较差生态等级面积逐年下降,但2019年面积较2015年有少量增加;中生态等级面积在2000—2005年呈增加趋势,之后逐年减少,面积占比从2000年的48.15%下降到2019年的21.53%;良生态等级面积呈现逐年增加的趋势,2000—2019年面积占比增加了27.93个百分点;优生态等级面积变化呈现先下降后增加趋势,2000—2019年面积增加261.31 km²,占比提高了5.55个百分点。下游地区优生态等级面积在2000—2019年上升了51.33 km²,呈先减少后增加趋势;生态良等级20年间呈先减后增的趋势,2000—2019年面积增加了584.01 km²,占比提高了28.11个百分点;中、较差等级面积在2000—2015年变化不明显,但2015—2019年中生态等级面积比例下降了20.49个百分点,较差生态等级面积下降9.89个百分点;差生态等级20年间面积占比比较低,变化趋势不明显。

2.2 南流江流域生态环境质量演变分析

由于区域内各等级生态风险区面积减少与增加

表3 各年份第一主成分(PC1)特征值信息

Table 3 Characteristic value information of the first principal component (PC1) in each year

项目 Items	2000	2005	2010	2015	2019
NDVI	0.4159	0.4185	0.3439	0.4440	0.4047
WET	0.7800	0.8192	0.8616	0.8067	0.8379
LST	-0.0785	-0.0527	-0.1287	-0.2043	-0.0714
NDBSI	-0.4609	-0.3885	-0.3505	-0.3321	-0.3592
特征值	0.0358	0.0327	0.0274	0.0246	0.0419
特征贡献率/%	66.79	67.01	66.02	68.91	76.46

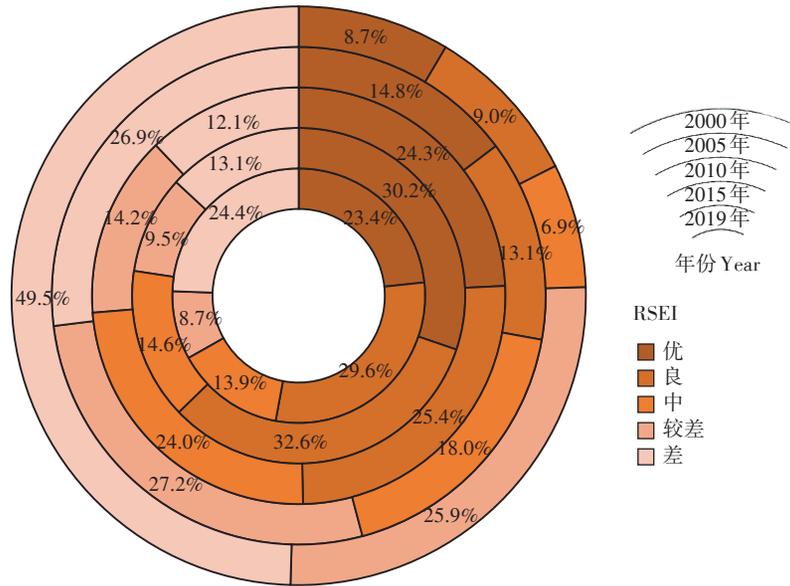


图4 2000—2019年各时期生态等级面积占比

Figure 4 The proportion of each ecological grade area in from 2000 to 2019

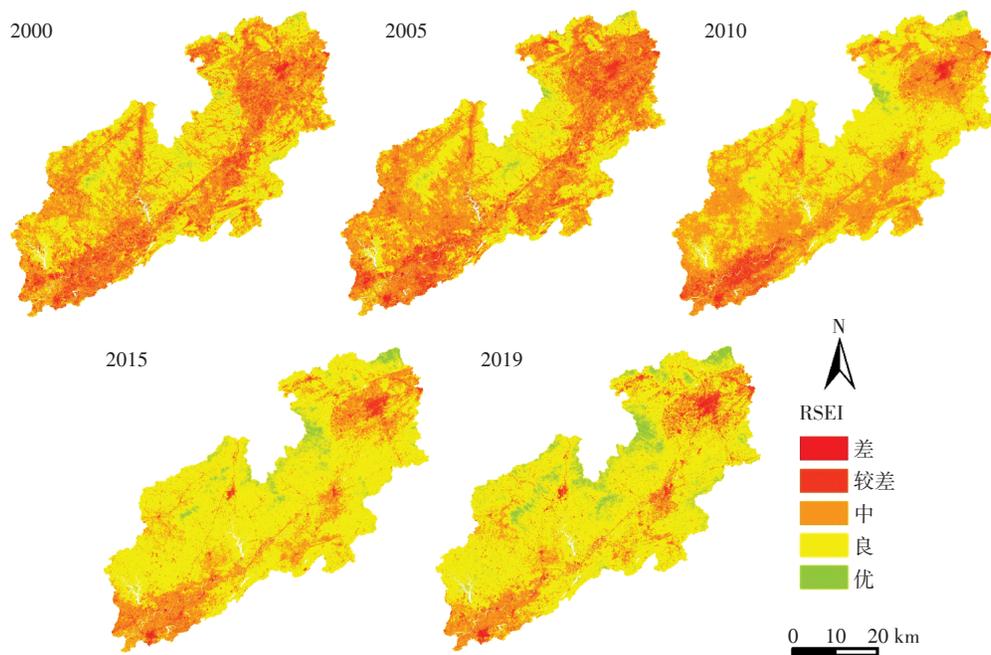


图5 2000—2019年南流江流域RSEI等级分布

Figure 5 Distribution of RSEI ratings in Nanlijiang basin from 2000 to 2019

之间存在相互关联、相互转换的方式不是单向性转移,转换面积不能定量直观反映。因此,为了更好地研究各生态等级之间相互转移的关系,以10年为间隔周期,采用桑基图方式,直观分析2000—2010、2010—2019年间南流江流域的生态环境质量等级面积演变情况(图7)。

由图7可以得出,2000—2019年南流江流域生态环境质量总体上呈现持续向好的态势。2000—2010年南流江流域生态等级面积变化主要表现为:2010年较2000年差生态等级面积减少了8.37 km²,较差生态等级减少了609.24 km²,主要向中生态等级转移,转移面积最多的是由中等级转为良等级,转移面积为

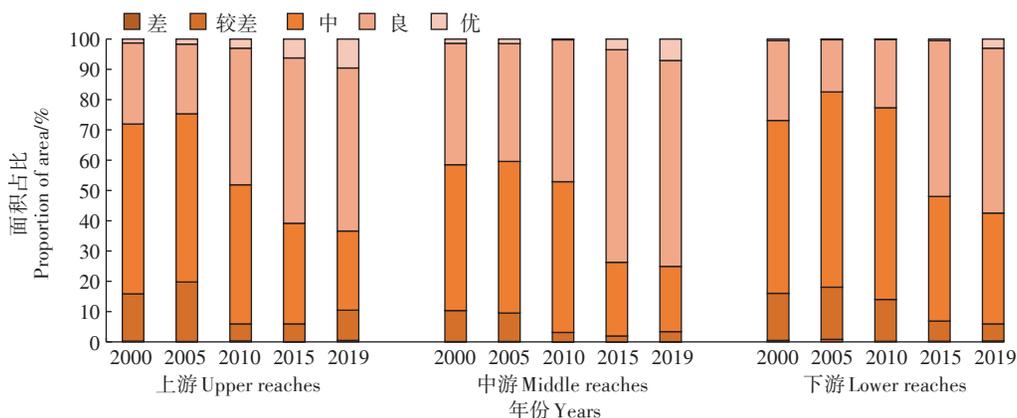


图6 2000—2019年南流江流域上、中、下游生态环境质量分级

Figure 6 The ecological environment quality grade of the upper, middle and lower reaches of the Nanliu River basin from 2000 to 2019

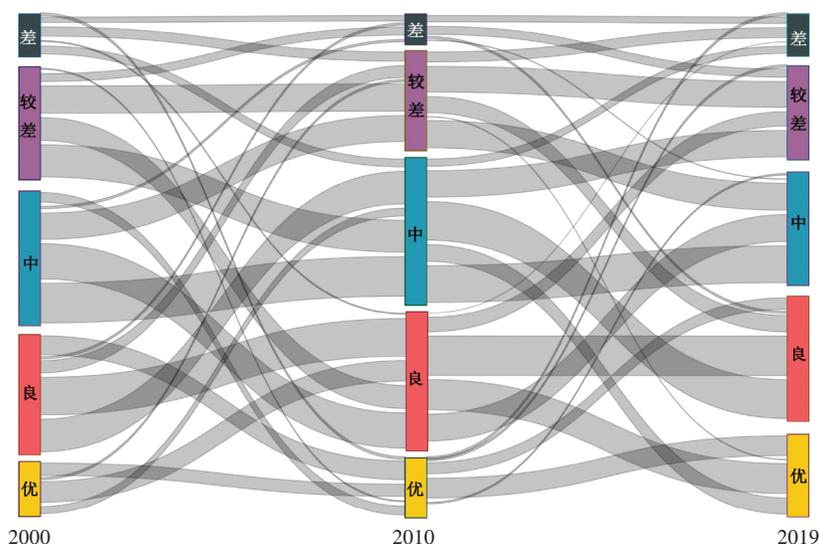


图7 南流江流域2000—2010、2010—2019年生态环境质量等级面积转移图

Figure 7 The area transfer map of the ecological environment quality grade in Nanliujiang basin from 2000 to 2010 and 2010 to 2019

1 371.87 km², 中生态等级面积变化不明显, 良生态等级面积增加 681.35 km², 转移面积次之的为良生态等级转为中生态等级, 面积为 833.63 km², 优生态等级面积较 2000 年减少了 20.53 km², 2000—2010 年南流江流域生态质量转移主要聚集在中生态等级和良生态等级之间的内部转移交换, 表现出生态质量变好趋势。2010—2019 年, 随着《广西北部湾经济区发展规划》的编制出台, 北部湾经济区建设进入快速发展的阶段, 与此同时南流江流域生态质量变化也随之加快。自 2010 年起, 差生态等级面积呈现持续减少的变化态势, 较差生态等级主要是与中生态等级之间进行面积转移, 中生态等级面积变化剧烈, 相较 2010 年, 2019 年中生态等级向良生态等级面积转移为 2 611.62 km², 占流域总面积的 28.59%, 良生态等级面积变化来源主要是由中生态等级转移而来, 面积增加

1 852 km², 优生态等级面积变化 534.97 km², 主要是由良生态等级转移而来。南流江流域近 20 年来生态环境质量面积变化情况如表 4 所示。等级变差的面积占比减少 6.62 个百分点, 变好的面积占比增加 12.83 个百分点, 不变的情况占流域面积均超过 50%, 流域生态环境质量在保持原有的基础上逐年提升。

总体而言, 2000—2019 年南流江流域生态环境质量变化主要呈现“缓慢变化—快速变化”的过程, 生态环境质量改善明显。2000—2019 年南流江流域整体生态环境质量逐渐好转。如图 8 所示, 生态退化区域主要集中在城市建成区及其缓冲地带, 以人类聚集区和作物耕种区为主, 其次在流域下游河口三角洲地势较为开阔、平坦的地带。2010 年国家住建部批复《广西北部湾经济区城镇群规划纲要》中指出, 将北部湾城镇群建设成为中国南部地区有影响力和竞争力

表4 南流江流域各年份生态环境质量面积变化

Table 4 Changes in the area of ecological environment quality in each year in the Nanlijiang River basin

变化情况 Changes	级差 Differential	2000—2010		2010—2019	
		等级面积 Grade area/km ²	占比 Proportion/%	等级面积 Grade area/km ²	占比 Proportion/%
变差	-3	0.14		0.67	
	-2	23.96		32.88	
	-1	1 169.81		555.36	
	总计 Total	1 193.91	13.07	588.91	6.45
不变	0	5 610.47	61.42	5 043.13	55.21
变好	1	2 178.58		3 424.47	
	2	149.61		77.65	
	3	2.19		0.61	
	4	0.01		0	
	总计 Total	2 330.39	25.51	3 502.73	38.34

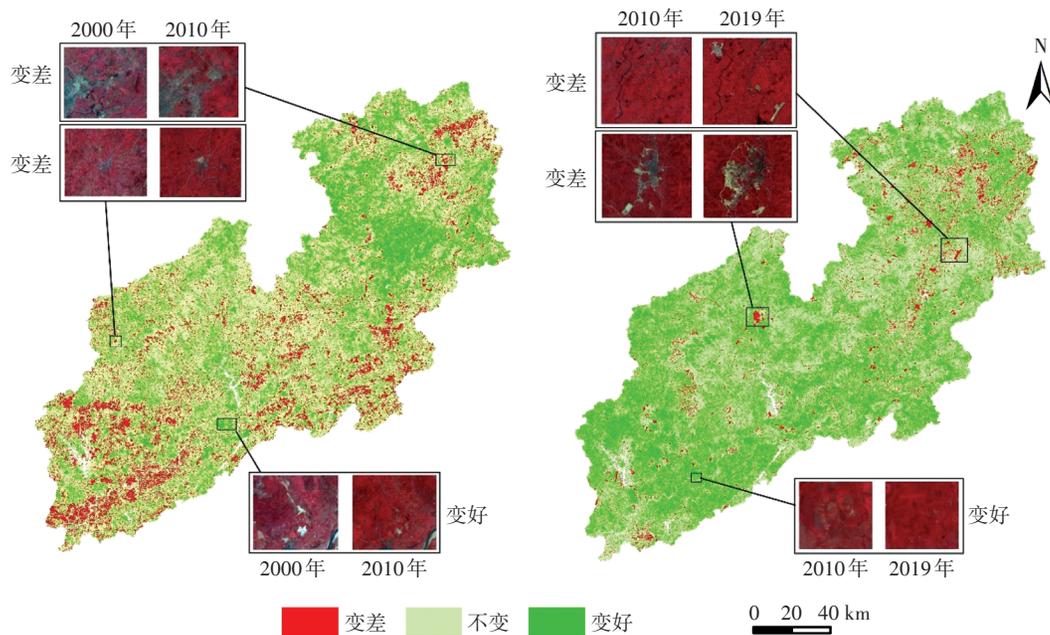


图8 2000—2010、2010—2019年南流江流域RSEI变化检测

Figure 8 Detection of RSEI changes in Nanlijiang basin from 2000 to 2010 and 2010 to 2019

的城镇群,南流江流域正是处于玉林-北海都市区建设的重点地区,流域城镇化建设投入逐年提高,城镇建设面积也在不断增加,进而影响了原有生态质量平衡,对生态环境质量退化造成了负面影响。而生态退化不明显且有好转的区域主要位于流域六万大山、大容山南部等地势相对较高的山区,该地区以天然林地为主要植被覆盖类型,边缘地区得益于近年来生态治理建设的有效实施,人类活动影响降低,并推广种植了大量的人工经济林(桉树),植被恢复明显。2018年广西壮族自治区印发了《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》,此后全区

着力解决生态环境问题,生态环境质量得到改善,实现生态环境保护水平同全面建成小康社会目标相适应。由此可见,实施生态环境保护举措对于生态环境质量有明显的促进作用。

3 讨论

本研究通过耦合南流江流域绿色、湿度、热度、干度四个生态环境指标,采用主成分分析方法构建遥感生态指数(RSEI)模型,研究表明,南流江RSEI生态风险总体处于低生态风险水平,生态环境质量空间上呈现西南山区高、东北平原地区低的分布,且20年来生

态环境质量改善明显。通过查阅统计年鉴及相关研究文献可知,2000—2010年南流江流域陆续出现水体氨氮超标等问题,生态治理基础工程(污水处理厂、水环境治理工程等)加快建设,人类活动和农业生产对自然资源的不合理开发导致流域水土流失加重,流域生态环境质量问题严峻,这与本研究得到的2000—2005年南流江流域生态环境质量先下降、2005—2010年逐步改善的变化趋势基本吻合^[17-18]。2010年以来,随着南流江流域生态治理工程的不断推进,流域生态环境逐年变好,2013年起广西开展了“美丽广西·清洁乡村”活动,进一步提升了乡村生态环境质量,尤其在2016年,中央环保督察将南流江污染列入广西9个生态环境损害责任追究问题之一,南流江生态治理纳入自治区重大项目,出台了《2018年南流江流域水环境综合治理攻坚方案》后,流域生态环境逐年得到改善^[19-20],也从侧面验证了采用主成分分析构建的遥感生态指数模型能够较好地反映20年间南流江流域生态环境质量变化情况。但本研究未考虑到流域土地利用与生态环境质量之间的驱动因素评估,这也是今后研究的重点。

此外,在采用遥感生态指数对区域生态环境质量进行监测时,各类指标多采用年度观测影像中质量最优且季节相近的影像数据^[11-12],对受云覆盖较多的低纬度地区的影像,往往会以邻近年份的优质图像进行替代^[15],这使年度的RSEI的准确性、可比性及研究范围和尺度受到一定程度的影响。本研究通过Google Earth Engine的云计算平台,对20年来南流江流域各年份遥感图像设定时间阈值筛选年度无云或云量最低的影像,采用去云、图像中值均衡化等改善原始图像质量,使年度RSEI计算更具有真实性、客观性。

关于遥感生态指数的4个生态环境指标是否能够全面代表区域生态质量还有待商榷,可以考虑在今后的研究中增加生态环境的其他指标并进行优化,这也是今后遥感生态指数研究的改进方向。

4 结论

本研究基于Google Earth Engine平台合成年度南流江流域无云影像,耦合遥感影像绿度、湿度、热度、干度四个生态环境指标,利用主成分分析法构建南流江流域遥感生态指数模型,并定量分析了2000—2019年广西南流江流域生态环境质量时空变化特征和空间格局。主要结论如下:

(1)遥感生态指数耦合的4类生态环境指标的特

征值贡献率均超过65%,表明遥感生态指数包含了4个生态环境指标的主要特征信息,且植被绿度指标和湿度指标与南流江生态环境质量呈正相关,地表温度指标和土壤干度指标与南流江生态环境质量呈负相关。

(2)2000—2019年南流江流域生态环境质量整体呈现逐年好转的趋势,遥感生态指数均值由2000年的0.543 4增长至2019年的0.636 4,流域生态质量等级较高的区域主要分布在西南山区、东北部山区,等级较低的区域分布在流域南部入海河口及中部平原。

(3)南流江流域优、中生态等级面积在流域上游变化最为明显,良、较差生态等级面积变化最明显区域是流域下游,差生态等级面积变化不明显。

(4)Google Earth Engine平台能够快速、高效地对遥感影像进行预处理,并能够较好地解决遥感图像受云覆盖、影像缺失、色差等问题,在长时间、大尺度的遥感监测研究中具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 徐燕,周华荣.初论我国生态环境质量评价研究进展[J].干旱区地理,2003(2):166-172. XU Y, ZHOU H R. A preliminary study on advances in assessment of eco-environmental quality in China[J]. *Arid Land Geography*, 2003(2):166-172.
- [2] 田佳良.区域生态环境质量评价研究综述[J].环境保护与循环经济,2013,33(11):63-66. TIAN J L. A review of regional ecological environment quality evaluation research[J]. *Environmental Protection and Circular Economy*, 2013, 33(11):63-66.
- [3] STROBEL C J, BUFFUM H W, SANDRA J. Environmental monitoring and assessment program: Current status of Virginian Province (U.S.) estuaries[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1999, 56:1-25.
- [4] 谢宏斌.环境质量评价与预测方法的现状[J].四川环境,1998,17(3):37-40. XIE H B. A review on the methods of assessment and prediction of environmental quality[J]. *Sichuan Environment*, 1998, 17(3):37-40.
- [5] 环境保护部.生态环境状况评价技术规范:HJ 192—2015[S].北京:环境保护部,2015. Ministry of Environment Protection of the PRC. Technical criterion for ecosystem status evaluation: HJ 192—2015[S]. Beijing: Ministry of Environment Protection, 2015.
- [6] 郑勇.基于TM数据的生态环境指数提取及变化分析[D].南京:南京林业大学,2014. ZHENG Y. Eco-environment index extraction and change analysis based on the TM data[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2014.
- [7] 肖明. GIS在流域生态环境质量评价中的应用[D].海口:海南大学,2011. XIAO M. The application of GIS in watershed ecological quality evaluation[D]. Haikou: Hainan University, 2011.
- [8] 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. XU H Q. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes[J]. *China Environmental Science*, 2013, 33(5):889-897.

- [9] 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. XU H Q. A remote sensing urban ecological index and its application[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(24): 7853-7862.
- [10] 刘智才, 徐涵秋, 李乐, 等. 基于遥感生态指数的杭州市城市生态变化[J]. 应用基础与工程科学学报, 2015, 23(4): 728-739. LIU Z C, XU H Q, LI L, et al. Ecological change in the Hangzhou area using the remote sensing based ecological index[J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2015, 23(4): 728-739.
- [11] 周玲美, 王世航. 内蒙古杭锦旗生态环境时空变化的遥感监测与评价[J]. 应用生态学报, 2020, 31(6): 1999-2006. ZHOU L M, WANG S H. Remote sensing monitoring and evaluation of spatial and temporal changes of ecological environment in Hangjin Banner, Inner Mongolia, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(6): 1999-2006.
- [12] 缪鑫辉, 梁勤欧. 基于遥感生态指数的甬江流域生态环境变化分析[J]. 长江流域资源与环境, 2021(2): 427-438. MIAO X H, LIANG Q O. Analysis of ecological environment changes in Yongjiang River basin based on remote sensing ecological index[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021(2): 427-438.
- [13] 杨海燕, 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. YANG J Y, WU T, PAN X Y, et al. Ecological quality assessment of Xiong' an new area based on remote sensing ecological index[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(1): 277-284.
- [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, 114. YUE H, LIU Y, ZHU R. Monitoring ecological environment change based on remote sensing ecological index in Shendong mining area[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2019, 39(2): 101-107, 114.
- [15] 陈炜, 黄慧萍, 田亦陈, 等. 基于Google Earth Engine平台的三江源地区生态质量动态监测与分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(9): 1382-1391. CHEN W, HUANG H P, TIAN Y C, et al. Monitoring and assessment of the eco-environment quality in the Sanjiangyuan region based on Google Earth Engine[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2019, 21(9): 1382-1391.
- [16] 周玄德, 郭华东, 孜比布拉·司马义, 等. 干旱区绿洲城市遥感生态指数变化监测[J]. 资源科学, 2019, 41(5): 1002-1012. ZHOU X D, GUO H D, ZIBIBULA-SIMAYI, et al. Change of remote sensing ecological index of an oasis city in the arid area[J]. *Resources Science*, 2019, 41(5): 1002-1012.
- [17] 王丹媛. 基于SWAT模型的南流江流域非点源污染时空特征分析[D]. 南宁: 南宁师范大学, 2019. WANG D Y. Spatial-temporal analysis of non-point source pollution in Nanliu River basin based on SWAT model[D]. Nanning: Nanning Normal University, 2019.
- [18] 段扬, 伍世希. 南流江污染源水落石出 造纸厂停产将被索赔[N]. 八桂都市报, 2004-04-06(1版). DUAN Y, WU S X. The source water of pollution in Nanliu River is revealed and the paper mill will be compensated for suspension of production[N]. *Bagui Metropolis Daily*, 2004-04-06(1st Edition).
- [19] 王子. 广西南流江流域生态风险评价研究[D]. 南宁: 广西师范大学, 2014. WANG Z. Research on ecological risk assessment for the drainage basin of Nanliu River in Guangxi[D]. Nanning: Guangxi Normal University, 2014.
- [20] 李彪. 基于GIS和InVEST模型的南流江流域生态系统服务评估[D]. 南宁: 广西师范大学, 2017. LI B. Ecosystem services evaluation of Nanliu River basin based on GIS and InVEST model[D]. Nanning: Guangxi Normal University, 2017.
- [21] GORELICK N, HANCHER M, DIXON M, et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 18-27.
- [22] SHELESTOV A, LAVRENIUK M, KUSSUL N, et al. Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping[J]. *Frontiers in Earth Science*, 2017, 5: 17.
- [23] FOGA S, SCARAMUZZA P L, GUO S, et al. Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 194: 379-390.
- [24] ZHU Z, WANG S X, WOODCOCK C E. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: Cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4-7, 8, and Sentinel 2 images[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 159: 269-277.
- [25] 罗春, 刘辉, 戚陆越. 基于遥感指数的生态变化评估——以常宁市为例[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(4): 145-150. LUO C, LIU H, QI L Y. Ecological changes assessment based on remote sensing indices: A case study of Changning City[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2014, 26(4): 145-150.
- [26] BAIG M H A, ZHANG L, SHUAI T, et al. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance[J]. *Remote Sensing Letters*, 2014, 5: 423-431.
- [27] YU X L, GUO X L, WU Z C. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS: Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method[J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(10): 9829-9852.
- [28] SEKERTKIN A, BONAFONI S. Land surface temperature retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over rural areas: Assessment of different retrieval algorithms and emissivity models and toolbox implementation [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(2): 294.
- [29] 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]. 南昌: 东华理工大学, 2017. ZHU Z R. Evaluation of ecological environment quality of Nanchang based on remote sensing based ecological index[D]. Nanchang: East China University of Technology, 2017.
- [30] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005(5): 589-595. XU H Q. A Study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI) [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005(5): 589-595.
- [31] 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. SONG H M, XUE L. Dynamic monitoring and analysis of ecological environment in Weinan City, northwest China based on RSEI model[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(12): 3913-3919.