

# 基于 GEE 云计算的南宁市生态环境质量时空分异监测

刘秋华<sup>1,2</sup>, 谢余初<sup>1,2</sup>, 覃宇恬<sup>1,2</sup>, 张宇<sup>1,2</sup>, 杨坤士<sup>1,2</sup>

(1. 南宁师范大学 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西 南宁 530001;

2. 南宁师范大学 地理科学与规划学院 广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西 南宁 530001)

**摘要:** [目的] 利用遥感技术及时、动态、客观地监测和评估城市生态环境质量变化, 为城市生态环境规划与管理提供参考。[方法] 以南宁市为案例, 利用 Google Earth Engine(GEE)平台对 2000—2020 年 Landsat 系列遥感影像进行像元级融合、消除色彩、去云等预处理, 计算绿度、湿度、干度和热度这 4 个遥感指标, 并采用主成分分析法构建遥感生态指数, 定量评价南宁市生态环境质量动态变化及空间分异特征。[结果] 南宁市 RSEI 多年平均值为 0.615, 总体呈现“下降—上升—稳定”的波动上升趋势。生态环境质量较好的区域主要是自然保护区、山林地、草地和水域, 生态环境质量较差的区域则集中于人类活动频繁, 土地利用强度较大的城镇及城乡交错区、农耕区。生态环境质量与植被绿度和湿度指标呈正相关, 与干度和热度指标呈负相关, 且干度指标因子对 RSEI 影响程度最大。[结论] 南宁市 2000—2020 年生态环境质量总体处于良好水平且呈上升趋势。结合 GEE 和 RSEI 指数能够较好地反映城市生态环境质量, 为城市生态环境质量长时间序列监测提供计算平台。

**关键词:** Google Earth Engine; 遥感生态指数; 主成分分析; 生态环境质量; 南宁市

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2023)05-0121-07

**中图分类号:** X87, X826, TP79

**文献参数:** 刘秋华, 谢余初, 覃宇恬, 等. 基于 GEE 云计算的南宁市生态环境质量时空分异监测[J]. 水土保持通报, 2023, 43(5): 121-127. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.05.015; Liu Qiuhua, Xie Yuchu, Qin Yutian, et al. Dynamic monitoring and spatio-temporal pattern of ecological environmental quality in Nanning City based on Google Earth Engine [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(5): 121-127.

## Dynamic Monitoring and Spatio-temporal Pattern of Ecological Environmental Quality in Nanning City Based on Google Earth Engine

Liu Qiuhua<sup>1,2</sup>, Xie Yuchu<sup>1,2</sup>, Qin Yutian<sup>1,2</sup>, Zhang Yu<sup>1,2</sup>, Yang Kunshi<sup>1,2</sup>

[1. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in

Beibu Gulf (Ministry of Education), Nanning Normal University, Nanning,

Guangxi 530001, China; 2. Key Laboratory of Earth Surface Process and Intelligent Simulation,

School of Geography and Planning, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 530001, China]

**Abstract:** [Objective] Remote sensing technology is used to monitor and evaluate the change of urban ecological environment quality timely, dynamically and objectively, in order to provide reference for urban ecological environment planning and management. [Methods] Landsat TM/ETM<sup>+</sup>/OLS historical images of the same season from 2000 to 2020 were collected. The Google Earth Engine (GEE) platform was used to perform pixel-level cloud removal and chromatic aberration correction. The median value composite was used to calculate four remote sensing indicators including greenness, wetness, dryness, and heat. The remote sensing ecological index (RSEI) was constructed by principal component analysis (PCA) to evaluate the dynamic changes and spatial differentiation characteristics of urban ecological environmental quality in Nanning City with the help of the parallel cloud computing ability in GEE. [Results] The average value of RSEI was 0.615 in Nanning City,

收稿日期: 2022-11-22

修回日期: 2023-01-10

资助项目: 国家自然科学基金项目“北部湾经济区南流江流域生态系统服务时空变化与权衡研究”(41761039), “喀斯特峰丛洼地土壤养分过程及其生态系统服务权衡”(42071135); 广西科技基地与人才专项(桂 AD20159065); 广西特聘专家人才项目(2019B16)

第一作者: 刘秋华(1998—), 女(汉族), 广西壮族自治区桂平市人, 硕士研究生, 主要研究方向为环境遥感与 GIS 应用。Email: 210080688@nnnu.edu.cn.

通信作者: 谢余初(1983—), 男(汉族), 广西壮族自治区南宁市人, 博士, 副研究员, 主要从事遥感 GIS 应用与景观生态学方面的研究。Email: xiehcxh2004@126.com.

and its ecological environmental quality was observed to follow an overall fluctuating upward trend of “decreasing-increasing-stable”. The spatial heterogeneity of ecological environmental quality in Nanning City was obvious. The areas with better ecological environmental quality were mainly concentrated in the nature reserves, forest lands, grasslands and water areas, while the degraded areas of ecological environmental quality were mainly located in the cities, urban-rural transition zones and farming areas with frequent human activities and greater land use intensity. RSEI was positively correlated with greenness and wetness indicators, and negatively correlated with dryness and heat, and dryness index factor had the greatest influence on RSEI. [Conclusion] The ecological environmental quality of Nanning City was well characterized by RSEI, and the overall ecological environmental quality was at a good level from 2000 to 2020. The combination of GEE and RSEI could effectively improve the use of remote sensing images, and therefore could be used for long-term monitoring and assessing of ecological environmental quality in the urban region.

**Keywords: Google Earth Engine; remote sensing ecological index; principal component analysis; ecological environmental quality; Nanning City**

生态环境是人类生存发展的物质基础和空间,其质量状况直接反映着区域生态环境的优劣程度,是生态系统及其要素过程一格局的综合表现<sup>[1-2]</sup>。随着卫星遥感技术的发展,遥感能及时、快速、动态地监测生态环境质量变化的特点和趋势,目前已成为大中尺度区域生态环境质量变化评估的重要手段<sup>[3-4]</sup>。

徐涵秋<sup>[1,5]</sup>提出的基于卫星遥感影像信息耦合植被绿度、湿度、干度、热度 4 个指标的遥感生态指数(remote sensing ecological index, RSEI),具有指标计算简便,现势性强、无人为主观因素影响等优点,是一种能快速、客观、可视化、简便的区域生态环境质量变化监测和评价技术,并在多个地区生态环境质量变化监测案例得到了广泛应用。Hu Xisheng 等<sup>[6]</sup>通过构建和应用 RSEI 指数模型定量分析和评价了 2000—2016 年中国福州市生态环境变化及其空间异质性。Hang Xin 等<sup>[7]</sup>利用遥感生态指数评估和探讨中国南京市生态环境质量变化及其城镇化过程的影响。王渊等<sup>[8]</sup>基于 Google Earth Engine(GEE)平台构建和计算遥感生态指数,定量监测和评价了粤港澳大湾区城市群生态环境质量长时序动态变化过程。陈炜等<sup>[9]</sup>借助 GEE 的并行云端计算获得三江源地区的遥感生态指数 RSEI,评价了 1990—2015 年三江源地区的生态环境时空变化及其差异特征。

由此可见,基于遥感 GIS 技术的 RSEI 指数模型能为大尺度、快速、综合性地监测和评价区域生态环境提供可行的途径<sup>[10-11]</sup>,尤其是在借助 Google Earth Engine 平台强大的云计算能力<sup>[12-14]</sup>,在处理大范围长时间序列的遥感影像数据中具有明显的优势。

南宁市地处喀斯特山地向非喀斯特盆地交错过渡带上,地形地貌复杂,景观异质性高,人类活动频繁,且常年云量覆盖较多,致使该区域生态环境监测

难度大<sup>[15]</sup>。同时,南宁市作为中国—东盟的桥头堡、西南陆海新通道综合交通枢纽和北部湾城市群最重要的核心城市,近年来随着北部湾经济区社会经济的不断发展,城市生态环境正面临着巨大挑战。然而,目前基于遥感生态指数和 GEE 平台对南宁市进行长时间序列的生态环境质量变化的监测评价及其时空分异特征研究鲜有报道。

因此,本文拟结合 GEE 云计算平台和多时相 Landsat 系列遥感数据源,构建和计算南宁市遥感生态指数,及时、客观地评估生态环境质量状况及其时空分异特征,旨在为快速城市化背景下,城市建设与生态环境保护提供科学依据。

## 1 研究区概况

南宁市地处中国华南地区、广西南部,大致范围介于 107°45′—108°51′E, 22°13′—23°32′N, 总体地形呈现以邕江河谷为中心的盆地形态,区内喀斯特地貌与非喀斯特地貌交错分布,类型复杂多样<sup>[15]</sup>,水系发达,年径流量达  $4.18 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。南宁市属于亚热带季风气候,夏季高温多雨,冬季温暖湿润,全年光照时间长、热量充足、雨量充沛,多年平均相对湿度约 79%。年平均气温为 21.6 °C, 1 月平均温度 12.8 °C, 7 月平均温度约 28.6 °C, 年均降雨量约 1 280 mm,主要集中在 4—10 月。植被资源丰富,以壳斗科(Fagaceae Dumort.)、木兰科(Magnoliaceae)、樟科(Lauraceae Juss.)、杜鹃花科(Ericaceae Juss.)、大戟科(Euphorbiaceae Juss.)等优势常绿阔叶林分布最为广泛,有多个国家级或自治区级自然保护区。

南宁市辖管 7 区 5 县,国土面积将近  $2.20 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其中林地面积占 56.89%,耕地面积占 21.99%,城镇及工矿交通建设用地和水域分别占 8.45%和 5.03%。2020 年全市常住人口约 875 万人,

城镇化率达 68.91%，建成区绿化覆盖率 41.1%，人均公园绿地面积 11.82 m<sup>2</sup>。

## 2 数据与研究方法

### 2.1 数据来源与预处理

遥感影像数据主要来源于美国地质调查局 (USGS) 的 2000—2020 年 Landsat 系列影像数据 (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), 包括了 Landsat TM/ETM<sup>+</sup>, Landsat 8 OLS 和 TIRS 数据, 其空间分辨率均为 30 m。在 Google Earth Engine 云计算平台上, 通过 JavaScript API 在线访问和选取研究区范围内的遥感无云或最少云量的遥感影像, 所选影像时相尽量一致(9—11 月), 最大跨度在 10 d 范围内。预处理, 首先利用 CFMASK 算法对少量云覆盖遥感影像进行减弱云像元影响、消除去云图像之间的色差等问题<sup>[9,16]</sup>。同时, 以研究区已校正好的遥感影像作为基准影像, 采用二次多项式法进行几何校正(精度控制在 0.5 个像元内)。然后, 进行大气校正和辐射定标, 并将图像的亮度灰度值转换为地表反射率, 以进行不同传感器遥感影像间的对比<sup>[17]</sup>。最后, 对影像进行合并与融合, 利用研究区边界进行裁剪; 并根据徐涵秋<sup>[18]</sup>提出的归一化水体指数(MNDWI)对水体进行掩膜处理。

### 2.2 研究方法

2.2.1 遥感生态指数分量指标的计算 基于遥感与 GIS 技术, 选取与城市生态环境状况直接相关的植被绿度、湿度、干度和热度 4 个分量指标, 通过主成分分析集成构建遥感生态指数模型(RSEI)<sup>[6]</sup>。这 4 个分量指标通常可用缨帽变化所得的湿度指数(WET)、归一化植被指数(NDVI)、地表温度(LST)和干度指数(NDSI)来表征<sup>[19-20]</sup>, 各分量指标运算公式为:

(1) 绿度(NDVI):

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

(2) 湿度(WET):

$$WET_{TM} = 0.031 5\rho_{blue} + 0.202 1\rho_{green} + 0.310 2\rho_{red} + 0.159 4\rho_{nir} - 0.680 6\rho_{swir1} - 0.610 9\rho_{swir2}$$

$$WET_{OLI} = 0.151 1\rho_{blue} + 0.197 3\rho_{green} + 0.328 3\rho_{red} + 0.340 7\rho_{nir} - 0.711 7\rho_{swir1} - 0.455 9\rho_{swir2} \quad (2)$$

(3) 干度(NDBSI):

$$IBI = \frac{2\rho_{swir1} - \rho_{nir} - \rho_{green}}{\rho_{swir1} + \rho_{nir} + \rho_{green}} / (\rho_{green} + \rho_{swir1})$$

$$SI = \frac{(\rho_{swir1} + \rho_{red}) - (\rho_{nir} + \rho_{blue})}{(\rho_{swir1} + \rho_{red}) + (\rho_{nir} + \rho_{blue})}$$

$$NDBSI = (IBI + SI) / 2 \quad (3)$$

(4) 热度(LST):

$$LST = \frac{T}{1 + (\lambda \cdot T / \rho) \ln \epsilon}$$

$$T = \frac{K_2}{\ln(K_1 / L_{tir} + 1)} \quad (4)$$

$$\epsilon = 0.004f + 0.986$$

式中:  $\rho_{blue}$ 、 $\rho_{green}$ 、 $\rho_{red}$ 、 $\rho_{nir}$ 、 $\rho_{swir1}$ 、 $\rho_{swir2}$  分别为蓝波段、绿波段、红波段、近红外波段、短波红外 1、短波红外 2 反射率; SI 为裸土指数; IBI 为建筑指数。LST 为经过比辐射率校正后的地表温度;  $\lambda$  为热红外波段的中心波长;  $\epsilon$  为地表比辐射率;  $T$  为传感器处温度值;  $K_1$  和  $K_2$  为定标参数;  $\rho = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ 。

2.2.2 遥感生态指数评价模型的构建与计算 由于各分量指标的量纲不一致, 采用标准化处理方法对各分量指标运算结果原始值进行归一化处理, 将各分量指标运算的量纲统一在  $[0, 1]$ <sup>[21]</sup>, 具体计算如公式(5)。在此基础上, 将归一化处理后的分量指标合成一幅新的影像, 对新的影像进行主成分分析及处理, 计算获得遥感生态指数 RSEI[公式(6)]<sup>[20,22-23]</sup>。

$$I_{(ND)} = \frac{(I - I_{min})}{(I_{max} - I_{min})} \quad (5)$$

$$RSEI = PCA[f(NDVI, WET, NDBSI, LST)] \quad (6)$$

式中:  $I_{(ND)}$  为某一指标因子归一化的像元值;  $I$  为某个指标因子的像元值;  $I_{max}$  和  $I_{min}$  为该指标因子的最大值和最小值。RSEI 为区域遥感生态环境质量状况指数, 其值处于  $[0, 1]$ , RSEI 值越接近 1, 表明研究区生态环境质量越好, 反之越接近 0, 生态环境质量越差。NDVI, WET, NDBSI 和 LST 分别为绿度、湿度、干度、热度。

## 3 结果与分析

### 3.1 生态环境质量时空变化特征

结合前人研究成果和南宁市生态环境实际状况, 将 RSEI 值由低到高划分为 5 个等级水平, 即差  $[0, 0.2)$ 、较差  $[0.2, 0.4)$ 、中等  $[0.4, 0.6)$ 、良好  $[0.6, 0.8)$ 、优  $[0.8, 1.0)$ , 并统计分析不同时期各等级面积及占比变化特征。由图 1 可知, 2000—2005 年南宁市生态环境质量略有增长, 主要表现在生态环境质量差和较差等级区间面积规模均呈现下降减少的趋势, 两者面积从 6 300.39 km<sup>2</sup> 减至 6 009.44 km<sup>2</sup>; 而中等和良好等级区间的面积增加相对明显, 其面积比例分别从 24.16% 和 25.27% 增至 24.24% 和 26.71%。2005—2010 年生态环境质量呈现下降减弱的趋势, RSEI 指数由 2005 年的 0.580 下降至 0.562, 主要是: ①生态环境质量中等、良好和优等级区间面积均有所减少,

减少幅度分别为 89.43, 321.26, 22.42 km<sup>2</sup>; ②是生态环境质量较差和差等级区间面积不断增大, 面积比例由 2005 年的 27.47% 增加至 2010 年的 29.49%。2010—2015 年南宁市生态环境质量明显趋好的态势, 至 2015 年 RSEI 值达 0.677。南宁市生态环境质量良好和优的等级区间面积比例由 2010 年的 46.70% 增加至 2015 年的 61.33%; 中等、较差和差区间面积规模均有不同程度的减少, 其年均减少速率分别为 -2.07%, -6.63% 和 -10.50%。2015—2020 年生态环境质量变化趋势与 2010—2015 年的相似, 总体呈现趋好改善的态势, 较差和差等级区间面积规模持续减少。整个研究期间, 南宁市 RSEI 值从 2000 年的 0.571 增至 2020 年的 0.677, 年均增长速率约为 0.93%, 生态环境质量呈现“轻微下降—快速提升—稳步改善”的态势, 生态环境质量总体趋好改善。生态环境质量良好和

优的等级区间面积占比由 2000 年的 47.05% 增加至 2020 年的 61.79%; 而差和较差等级区间面积减少量达 2 619.94 km<sup>2</sup>。生态环境质量中等等级区间呈现波动减少趋势。

在空间上, 2000—2020 年南宁市生态环境质量分布格局大致稳定, 总体呈现“四周高, 中间低”的特征(图 2)。生态环境质量优等级的区域主要集中在土地利用强度较弱的自然保护区、森林公园和山地林场, 如大明山自然保护区、龙虎山自然保护区、高峰林场以及凤凰山、镇龙山等山林地。生态环境质量中等等级区域主要聚集在农林交错带和农业生产区。生态环境质量指数较低的区域则主要分布在人类活动频繁、工农业发展相对较好的城镇区及城乡接合部, 如南宁市主城区、县城、里建东盟经济开发区、六景工业园区等。

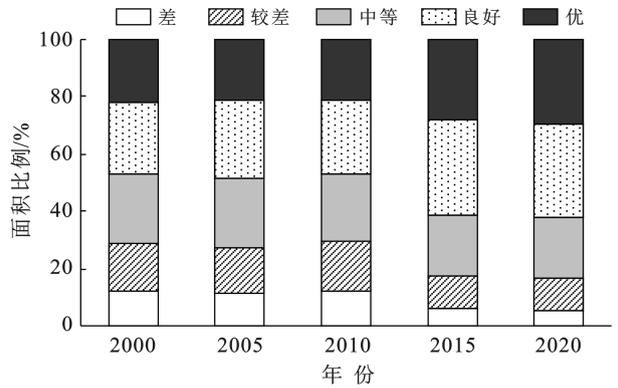
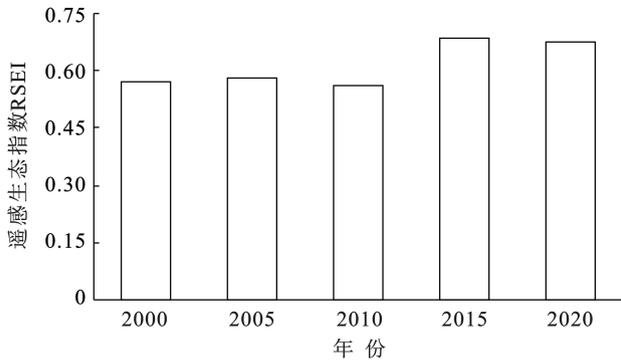


图 1 2000—2020 年南宁市生态环境质量变化和等级面积比例

Fig.1 Changes and percentage in ecological environment quality of Nanning City from 2000 to 2020

### 3.2 不同等级生态环境质量动态转化特征

利用转移矩阵法和桑基图直观地监测和反映 2000—2020 年南宁市生态环境质量各等级区间彼此相互转化关系和动态变化。由图 3 可知, 2000—2005 年南宁市生态环境质量各等级区间面积相互转化主要表现为: 生态环境质量较差等级区间向中等等级区间转移, 转移面积达 50.29%; 生态环境质量中等和良好区间分别向良好和优等级区间转移, 转移面积达 2 672.57 km<sup>2</sup>。空间上, 南宁市约 27.27% 的区域生态环境质量趋向于变好, 主要分布在上林县、宾阳县、武鸣县等农林交错带和农业生产区。2005—2010 年南宁市生态环境质量良好等级区间向中等区间转移面积最大(约 1 488.20 km<sup>2</sup>), 其次是优等级转为良好等级, 转化面积约 1 264.72 km<sup>2</sup>。生态环境质量中等等级区间相互转化剧烈, 其中转出减少面积主要是向良好和优等级转出(占 54.39%), 转入增加的面积主要来自良好等级转入(占 48.11%)。整体上生态环境质量变差区域面积占 28.66%, 趋于改善的区域约占 25.22%。

2010—2015 年南宁市生态环境质量中等等级转化为良好等级最为明显, 其转化面积占比达 22.02%; 其次, 良好等级区间转化为优等级区间、较差等级区间转化为中等等级区间的面积紧随其后, 两者转化面积分别为 1 905.47 km<sup>2</sup> 和 1 460.39 km<sup>2</sup>。整体上, 生态环境质量改善变好趋势明显, 变好区域的面积占比达 43.73%。2015—2020 年南宁市生态环境质量良好等级向优等级区间转移面积最大(1 634.95 km<sup>2</sup>), 中等等级区间向良好等级区间转移面积规模次之(1 455.36 km<sup>2</sup>), 较差等级向中等等级转化以及优等级向良好等级转化也相对频繁, 整体生态环境质量趋向于稳定改善。

整个研究期间, 南宁市生态环境质量以较差和中等等级区间向良好等级区间转化为主, 良好等级向优等级转化次之, 整体生态环境质量改善面积约占 43.08%, 集中以自然保护区、山林地和生态恢复治理工程区, 例如上林—马山—隆安县石漠化综合治理区等。

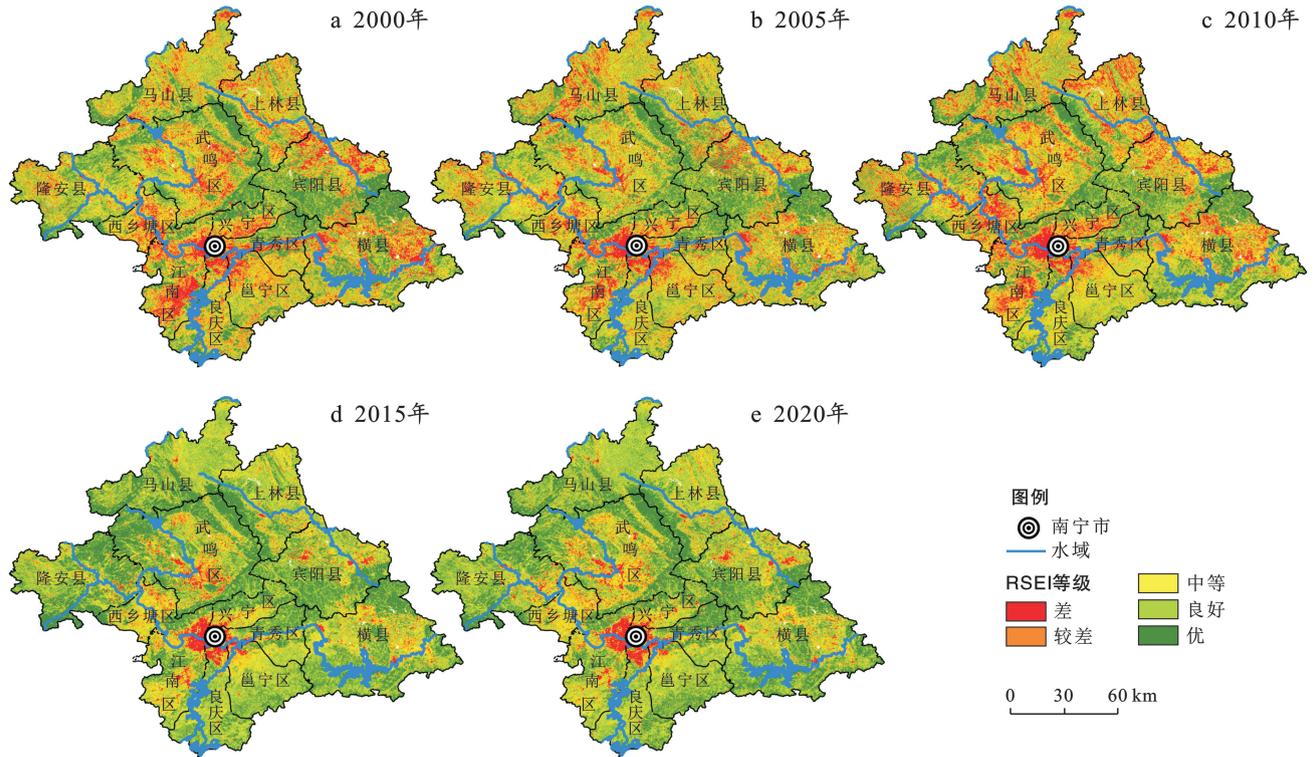


图 2 2000—2020 年南宁市生态环境质量空间分布

Fig.2 Distribution of RSEI change in Nanning City from 2000 to 2020

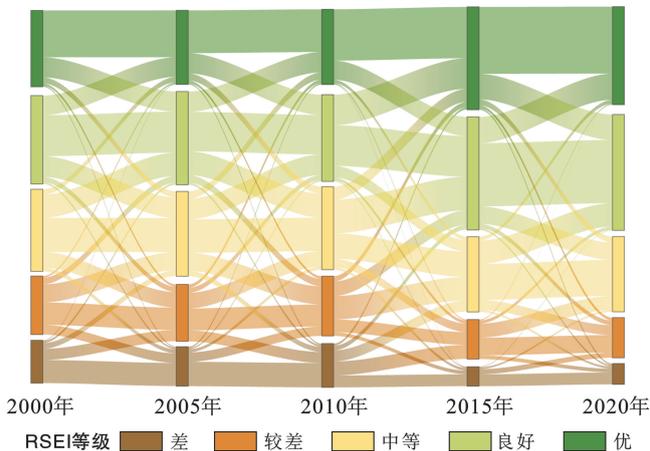


图 3 2000—2020 年不同等级生态环境质量面积转移

Fig.3 Area transfer map of ecological environment quality grade in Nanning City from 2000 to 2020

### 3.3 RSEI 各分量指标的影响效应关系

利用逐步回归分析方法<sup>[24]</sup>,通过 1 km×1 km 网格采样获得 4 359 个样本点,以 RSEI 为因变量,以 NDVI,WET,NDBSI 和 LST 为自变量,构建和分析

各分量指标参数与 RSEI 的关系模型〔公式(7)–(11)〕。从各年份回归模型上看,各个方程的  $R^2$  均大于 0.99,并通过了 1% 的显著性检验,模型拟合度较高,且 NDVI 和 WET 的回归系数为正,LST 和 NDBSI 则为负向指标,表明 NDVI 和 WET 对 RSEI 起正效应,LST 和 NDBSI 对 RSEI 起负向作用。与此同时,正向指标中 NDVI 系数逐年增加,且 RSEI 均随着 NDVI 和 WET 的增大而增大。这表明植被覆盖在生态环境质量的提升中愈发重要,植被覆盖度越高和水分条件越好,生态环境质量越高。在负向指标中,LST 指标的系数逐年减小,说明热度指标对南宁市生态环境质量的影响力在减弱。NDBSI 的绝对值最大,说明干度因子是影响生态环境质量最重要因素。这可能是由于随着南宁市人口持续增长和不透水面扩张,建设用地面积的不断扩大会对生态环境造成的巨大压力,制约着南宁市生态环境质量的提升。这也间接反映出南宁城市 RSEI 低值区主要集中在高密度不透水面建筑区和高地表温度区。

$$RSEI_{2000} = 0.265x_1 + 0.260x_2 - 0.281x_3 - 0.397x_4 + 0.586 \quad (R^2 = 0.995) \quad (7)$$

$$RSEI_{2005} = 0.273x_1 + 0.300x_2 - 0.252x_3 - 0.402x_4 + 0.540 \quad (R^2 = 0.993) \quad (8)$$

$$RSEI_{2010} = 0.273x_1 + 0.290x_2 - 0.253x_3 - 0.374x_4 + 0.528 \quad (R^2 = 0.995) \quad (9)$$

$$RSEI_{2015} = 0.283x_1 + 0.280x_2 - 0.193x_3 - 0.370x_4 + 0.490 \quad (R^2 = 0.999) \quad (10)$$

$$RSEI_{2020} = 0.279x_1 + 0.264x_2 - 0.190x_3 - 0.393x_4 + 0.509 \quad (R^2 = 0.999) \quad (11)$$

其中,  $x_1, x_2, x_3$  和  $x_4$  分别代表 NDVI, WET, LST 和 NDBSI 的值。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

本文基于 GEE 平台耦合绿度、湿度、热度和干度 4 个生态环境指标,采用主成分分析法构建遥感生态指数对南宁市 2000—2020 年生态环境质量进行动态变化监测和评价,发现南宁市生态环境质量总体处于优良水平,近 20 a 里生态环境质量呈现波动趋好的态势,空间上城市区和农耕区 RSEI 值较高、山地林区 RSEI 值低。这与其他学者<sup>[15]</sup>通过构建综合生态环境评价指标体系获得南宁市生态环境质量的评价结果相一致。从 RSEI 模型建模结果上看,4 个分量指标与生态环境质量密切相关,且绿度和湿度指标与南宁市生态环境质量呈正相关,热度和干度则表现为负效应,这与其他学者在昆明市<sup>[2]</sup>、成都市<sup>[25]</sup>、粤港澳大湾区<sup>[8]</sup>和苏锡常城市群<sup>[17]</sup>等区域研究结果一致。同时,干度(NDBSI)回归系数的绝对值最大,即各指标分量中 NDBSI 对 RSEI 的影响最大,而 NDBSI 反映建设用地及裸土所造成的土地干化。2000—2020 年里南宁市城镇化率由 37.81% 上升为 68.91%,建成区面积增加了 301.2 km<sup>2</sup>,年均增长率高达 13.67%,表明城市扩张在一定程度上影响着区域生态环境质量,因此在未来城市规划与建设中,南宁市应切实控制裸露地表和建设用地的土地干化,减少不透水面扩张,增加城市绿地空间、提高建成区绿化率。同时,要加强保护森林和自然保护区的力度,继续实施退耕还林、天然林保护工程、石漠化综合治理工程等生态恢复工程项目,加大区域碳汇能力。

本研究通过 Google Earth Engine 的云计算平台,采用去云、图像中值均衡化等方法改善原始影像质量,较好地解决遥感影像数据缺失、色差、多云、时间不一致等问题,使得 RSEI 模型计算结果更具有真实性、客观性<sup>[8,26-27]</sup>,并系统分析 2000—2020 年南宁生态环境质量时空变化特征,表明利用 GEE 平台能监测长时间序列的城市生态环境质量的信息。城市生态环境质量变化是一个复杂的过程,今后在监测和评估生态环境质量时空变化基础上,加强探究其变化背后的机理及驱动力。

### 4.2 结论

本文基于 Google Earth Engine 平台和 Landsat 系列遥感影像,耦合绿度、湿度、干度和热度等生态环境指标,构建南宁市生态环境质量评估体系,定量分析了 2000—2020 年南宁市生态环境质量的动态演变

特征及空间格局。

(1) 2000—2020 年南宁市生态环境质量变化过程呈现“轻微下降—快速上升—稳定改善”,整体呈现上升变好的趋势。总体上南宁市生态环境质量较高,等级为优和良好的区间面积占比较高,其生态环境质量趋好改善区域的面积为 9 429.9 km<sup>2</sup>,约占总面积的 43.08%,且集中在石漠化综合治理区、退耕还林区、人工林区和水源涵养地等生态恢复区和山林地;变差的面积约占总面积的 20.27%,以城乡接合部最为集中。生态环境质量各等级变化均以变化 1 个等级为主。

(2) 在空间分布上,南宁市生态环境质量空间分布格局大致呈现“四周高,中间低”的特征,生态环境质量较好的区域主要分布在土地利用强度较低的自然保护区、山林地及草地生态系统,生态环境质量较差的区域主要分布在人类活动频繁,土地利用强度较大的城镇及城乡过渡区、农耕区。

(3) 利用主成分分析法和绿度、湿度、干度和热度 4 个指数构建 RSEI 指数模型,可较好地监测南宁市生态环境质量及其动态变化。绿度和湿度对生态环境质量起正向作用,热度和干度指标则为负向作用。

### [参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 农兰萍,王金亮.基于 RSEI 模型的昆明市生态环境质量动态监测[J].生态学杂志,2020,39(6):2042-2050.
- [3] Liao Weihua, Jiang Weigu. Evaluation of the spatio-temporal variations in the eco-environmental quality in China based on the remote sensing ecological index [J]. Remote Sensing, 2020,12(15):2462.
- [4] Wen Xiaole, Ming Yanli, Gao Yonggang, et al. Dynamic monitoring and analysis of ecological quality of Pingtan comprehensive experimental zone: a new type of sea island city, based on RSEI [J]. Sustainability, 2020,12(1):21.
- [5] 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.
- [6] Hu Xisheng, Xu Hanqiu. A new remote sensing index for assessing the spatial heterogeneity in urban ecological quality: a case from Fuzhou City, China [J]. Ecological Indicators, 2018,89:11-21.
- [7] Hang Xin, Luo Xiaochun, Cao Yun, et al. Ecological quality assessment and the impact of urbanization based on RSEI model for Nanjing, Jiangsu Province, China [J]. The journal of applied ecology, 2020,31(1):

- 219-229.
- [8] 王渊,赵宇豪,吴健生.基于 Google Earth Engine 云计算的城市群生态质量长时序动态监测:以粤港澳大湾区为例[J].生态学报,2020,40(23):8461-8473.
- [9] 陈炜,黄慧萍,田亦陈,等.基于 Google Earth Engine 平台的三江源地区生态环境质量动态监测与分析[J].地球信息科学学报,2019,21(9):1382-1391.
- [10] Ji Jianwan, Wang Shixin, Zhou Yi, et al. Spatio-temporal change and landscape pattern variation of eco-environmental quality in Jing-Jin-Ji urban agglomeration from 2001 to 2015 [J]. IEEE Access, 2020, 8:125534-125548.
- [11] 李红星,黄解军,梁友嘉等.基于遥感生态指数的武汉市生态环境质量评估[J].云南大学学报(自然科学版),2020,42(1):81-90.
- [12] 岳奕帆,陈国鹏,王立,等.基于 Google Earth Engine 云平台的甘肃舟曲县生态环境质量动态监测与评价[J].应用生态学报,2022,33(6):1608-1614.
- [13] 付东杰,肖寒,苏奋振等.遥感云计算平台发展及地球科学应用[J].遥感学报,2021,25(1):220-230.
- [14] Noel Gorelick, Matt Hancher, Mike Dixon, et al. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone [J]. Remote Sensing of Environment, 2017,202:18-27.
- [15] 吴婧.基于 GIS 及 RS 的南宁市生态环境质量评价研究[D].广西南宁:南宁师范大学,2021.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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,2005,9(5):589-595.
- [19] 钟欣呈,许泉立.基于 RSEI 模型的玉溪市生态环境变化监测与评价[J].水土保持研究,2021,28(4):350-357.
- [20] 刘林甫,盛艳,秦富仓,等.基于 RSEI 模型的砭砂岩区生态环境质量演变研究[J].水土保持通报,2022,42(1):233-239.
- [21] 王丽春,焦黎,来风兵,张乃明.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.
- [22] Shan Wei, Jin Xiaobin, Ren Jie, et al. Ecological environment quality assessment based on remote sensing data for land consolidation [J]. Journal of Cleaner Production, 2019,239:118126.
- [23] Xu Hanqiu, Wang Yifan, Guan Huade, et al. Detecting ecological changes with a remote sensing based ecological index (RSEI) produced time series and change vector analysis [J]. Remote Sensing, 2019,11(20):2345.
- [24] 吴可人,高祺,王让会等.基于 RSEI 模型的石家庄生态环境质量评价[J].地球物理学进展,2021,36(3):968-976.
- [25] 王志超,何新华.基于植被覆盖度和遥感生态指数的成都市锦江区生态质量评估[J].生态与农村环境学报,2021,37(4):492-500.
- [26] Guo Beibei, Fang Yelin, Jin Xiaobin, et al. 2020. Monitoring the effects of land consolidation on the ecological environmental quality based on remote sensing: a case study of Chaohu Lake basin, China [J]. Land Use Policy, 2020,95:104569.
- [27] Wang Le, Diao Chunyuan, Xian George, et al. A summary of the special issue on remote sensing of land change science with Google Earth Engine [J]. Remote Sensing of Environment, 2020,248:112002.

(上接第 120 页)

- [26] 李越.滦河流域(承德市境内)典型污染物超标原因解析研究[D].河北 邯郸:河北工程大学,2021.
- [27] 徐文.西南涌农业面源污染特征与控制[D].广东 广州:广东工业大学,2011.
- [28] 刘贤梅,周忠发,张昊天,等.基于主成分分析的喀斯特山区河流水质评价及水质时空特征分析:以贵州省张维河为例[J].环境工程,2019,37(10):49-54.
- [29] 张馨月,马沛明,高千红,等.三峡大坝上下游水质时空变化特征[J].湖泊科学,2019,31(3):633-645.
- [30] 唐磊,刘彦鹏,王宝明,等.常州滨江区域城镇径流污染对河道水质的影响[J].中国给水排水,2022,38(12):53-60.
- [31] 陈洪森,叶春,李春华,等.入湖河口区水生植物群落衰亡分解释放营养盐过程模拟研究[J].环境工程技术学报,2020,10(2):220-228.
- [32] 汪欣,何尚卫,潘继征,等.水生植物恢复对宛山荡水质及水体微生物代谢功能多样性的影响[J].生态与农村环境学报,2021,37(10):1352-1360.