引文格式：赵颖,张睿,范琳,等. 黄河流域中东部区域生态质量时空变化分析[J]. 地理空间信息, 2024, 22(9): 29-32. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.09.006

黄河流域中东部区域生态质量时空变化分析

赵　颖[1]，张　睿[1*]，范　琳[2]，朱玉香[3]
（1. 青海省测绘质量监督检验中心，青海 西宁 810001；2. 青海省自然资源遥感中心，青海 西宁 810000；
3. 河南测绘职业学院，河南 郑州 451464）

摘　要：以 1986—2021 年 Landsat TM/OLI 卫星遥感影像为主要数据源，基于 Google Earth Engine（GEE）遥感云计算平台，利用遥感生态指数（RSEI）分析了研究区生态环境质量的时空变化特征；并利用 Theil-Sen 结合 Mann-Kendall 检验来评估 RSEI 变化趋势的方向和显著性。结果表明，近 35 a 来黄河流域中东部区域 RSEI 均值为 0.48~0.62，每 10 a 增加 0.024；在空间分布上四周高、中间低，RSEI 低值区主要分布于中原城市群西部、中部和西南部地区，高值区主要分布于城市群南部、东北部等地区；研究期内大部分区域的 RSEI 值增加，其中显著增加区域面积占比为 11.48%，显著减少区域面积占比仅为 5.76%，不显著变化区域面积占比为 33.16%。在黄河流域中东部的核心城区，由于城市扩张、城市建设用地增加和热岛效应的影响使得该部分区域生态环境质量变差和显著退化。

关键词：RSEI；GEE；时空分布；黄河流域中东部区域
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）09-0029-04

Spatio-temporal Change Analysis of Ecological Quality in the Central and Eastern Regions of the Yellow River Basin

ZHAO Ying[1], ZHANG Rui[1], FAN Lin[2], ZHU Yuxiang[3]
(1. Qinghai Surveying and Mapping Quality Supervision and Inspection Center, Xining 810001, China;
2. Natural Resources Remote Sensing Center of Qinghai Province, Xining 810000, China;
3. Henan Vocational College of Surveying and Mapping, Zhengzhou 451464, China)

Abstract: Taking the Landsat TM/OLI satellite remote sensing images from 1986 to 2021 as the main data source, based on Google Earth Engine (GEE) remote sensing cloud computing platform, we used the remote sensing ecological index (RSEI) to analyze the spatio-temporal change characteristics of ecological environment quality in the study area, and used the Theil-Sen and Mann-Kendall test to evaluate the direction and significance of RSEI trend. The results show that in the past 35 years, the average RSEI in the central and eastern regions of the Yellow River basin ranged from 0.48 to 0.62. The spatial distribution of RSEI generally shows a distribution pattern of high around, low in the middle. The low-value areas of RSEI are mainly distributed in the western, central and southwestern regions of the Central Plains urban agglomeration, and the high-value areas are mainly distributed in the south and northeast of urban agglomeration. During the study period, the RSEI in most regions show an increasing trend. Among them, 11.48% of the area shows a significant increase, and only 5.76% of the area shows a significant decreasing trend. The area of regions with no significant change accounts for about 33.16%. In the core urban areas of central and eastern regions of the Yellow River basin, the ecological environment quality has deteriorated and significantly degraded due to urban expansion, urban construction land increase and the impact of heat island effect.

Key words: RSEI, GEE, spatio-temporal distribution, central and eastern regions of the Yellow River basin

近年来人类日益增加的经济活动对生态环境和自然景观造成了强烈干扰[1-2]，大规模的生态系统扰动对全球碳循环有相当大的影响。因此，客观有效地监测和量化某一区域的生态环境质量具有重要意义[3]。黄河流域中东部区域的生态环境质量监测对整个黄河流域的绿色健康发展具有重要现实意义。遥感生态指数（RSEI）是一种高效、实用的生态评价指标[4-8]，能反映多个环境参数的变化情况。相较于传统方法，利用 RSEI 监测生态质量具有以下优势：①分指标计算完全基于遥感数据，因此所需数据容易获取，能完成实

收稿日期：2022-12-26。
项目来源：河南省高等学校重点科研资助项目（20B170002）。
第一作者简介：赵颖（1988—），硕士，工程师，研究方向为测绘成果质量检验、遥感应用，E-mail：zhaoying060618@163.com。
通信作者：张睿（1986—），本科，工程师，研究方向为测绘质量检验、遥感应用，E-mail：zhangrui123@163.com。

时、像素级别的生态质量监测；②RSEI的绿度、湿度、热度、干度与人类生存息息相关，也是人类能直观感觉到生态条件优劣的重要因素，且前人已经证明绿度、湿度、热度分别与实际生态系统中的生态因子具有较强的相关性[9]。目前基于精细尺度的黄河流域周边核心城市群生态质量研究较少，因此本文基于Landsat TM/OLI卫星影像和土地利用数据，以黄河流域中东部区域为研究区，基于Google Earth Engine（GEE）遥感云计算平台，采用RSEI分析了1986—2021年黄河流域中东部区域生态环境质量的时空变化特征；并找出其中生态环境易受破坏的区域和生态改善区域，予以重点关注和预警。

1 数据来源和研究方法

1.1 研究区概况

黄河流域中东部区域是区域经济发展以及黄河流域人口、生产力布局的重要区域[10]，位于黄河流域的东部，北京、武汉、济南、西安之间，包括5省30个地级市，占地面积约为28.7万km^2。其中，河南省包括郑州、开封、洛阳、南阳、安阳、商丘、新乡、平顶山、许昌、焦作、周口、信阳、驻马店、鹤壁、濮阳、漯河、三门峡、济源18个地级市，山西省包括长治、晋城、运城3个地级市，河北省包括邢台、邯郸两个地级市，山东省包括聊城、菏泽两个地级市，安徽省包括淮北、蚌埠、宿州、阜阳、亳州5个地级市。研究区地势西高东低，地形以平原为主，经济发展受自然条件限制较小。

1.2 数据来源与预处理

黄河流域中东部区域矢量数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心。遥感数据利用GEE平台编程（Javascript API），在线调用经过辐射校正、大气校正的Landsat5/8地表反射率数据集，选取中原城市群1986—2021年生长季（5—10月）的Landsat TM/OLI影像进行RSEI计算。首先对Landsat TM/OLI影像进行云量筛选，镶嵌合成黄河流域中东部区域最小云量影像；然后在GEE平台进行运算，得到各年份绿度、干度、热度与湿度指标，并通过主成分分析得到第一主成分参与RSEI计算；最后利用ArcGIS分析与制图。用于土地利用分类的影像数据包括2000年、2010年的Landsat5 TM影像和2021年的Landsat8 OLI影像。本文将研究区影像分为耕地、林地、草地、湿地、水域、城镇建设用地和其他用地7种类型。

1.3 相关指标计算

根据徐涵秋[3]提出的改进RSEI，本文选取归一化差值植被指数（NDVI）表示绿度，反映区域内植被生长情况；由建筑指数（IBI）与土壤指数（SI）组合形成干度指标（NDSI），反映土地荒漠化与城镇化光谱响应；由单窗算法反演得到的地表温度（LST）表征热度，反映城市等不透水面热平衡；由缨帽变换计算得到湿度指标（Wet），通过土壤含水量反映土地退化情况，各因子计算公式和说明见表1。

表1 生态指标计算方法

指标	计算公式
NDVI	$\mathrm{NDVI}=\dfrac{(\rho_{\mathrm{NIR}}-\rho_{\mathrm{red}})}{(\rho_{\mathrm{NIR}}+\rho_{\mathrm{red}})}$
Wet	$\mathrm{Wet}=0.262\,6\rho_{\mathrm{blue}}+0.214\,1\rho_{\mathrm{green}}+0.092\,6\rho_{\mathrm{red}}+0.065\,6\rho_{\mathrm{NIR}}-0.762\rho_{\mathrm{SWIR1}}-0.538\,8\rho_{\mathrm{SWIR2}}$
LST	$\mathrm{LST}=\dfrac{BC_2}{C_2+B\lambda\ln\varepsilon}$
NDSI	$\mathrm{NDSI}=\gamma\,\mathrm{IBI}+(1-\gamma)\mathrm{BSI}$ $\mathrm{IBI}=\dfrac{\frac{2\rho_{\mathrm{SWIR1}}}{\rho_{\mathrm{SWIR1}}+\rho_{\mathrm{NIR}}}-\left(\frac{\rho_{\mathrm{NIR}}}{\rho_{\mathrm{NIR}}+\rho_{\mathrm{red}}}+\frac{\rho_{\mathrm{green}}}{\rho_{\mathrm{green}}+\rho_{\mathrm{SWIR1}}}\right)}{\frac{2\rho_{\mathrm{SWIR1}}}{\rho_{\mathrm{SWIR1}}+\rho_{\mathrm{NIR}}}+\left(\frac{\rho_{\mathrm{NIR}}}{\rho_{\mathrm{NIR}}+\rho_{\mathrm{red}}}+\frac{\rho_{\mathrm{green}}}{\rho_{\mathrm{green}}+\rho_{\mathrm{SWIR1}}}\right)}$ $\mathrm{BSI}=\dfrac{(\rho_{\mathrm{SWIR1}}+\rho_{\mathrm{red}})-(\rho_{\mathrm{NIR}}+\rho_{\mathrm{blue}})}{(\rho_{\mathrm{SWIR1}}+\rho_{\mathrm{red}})+(\rho_{\mathrm{NIR}}+\rho_{\mathrm{blue}})}$

注：ρ为Landsat TM/OLI对应波段的地表反射率；B为DN值经过辐射定标和转换后的亮度温度；C_2为普朗克函数常量；ε为计算得到的比辐射率；λ为波段有效波长，不同传感器的有效波长不同。

1.4 RSEI计算与标准化处理

由于各指标的数值单位和大小不同，因此需对各指数进行归一化处理，再通过主成分分析计算初始RSEI_0。标准化公式为：

$$N=\frac{I-I_{\min}}{I_{\max}-I_{\min}} \tag{1}$$

式中，I为该指标在某像元的值；$I_{\min}$、$I_{\max}$为该指标的最小值、最大值。

利用主成分分析法计算RSEI_0，则有：

$$\mathrm{RSEI}_0=1-\mathrm{PC}_1\left[f(\mathrm{NDVI},\mathrm{NDSI},\mathrm{LST},\mathrm{Wet})\right] \tag{2}$$

式中，PC_1为第一主成分；f为对各指标进行标准化处理。

为便于指标的度量和比较，也需对RESI_0进行归一化处理，值越大表示生态质量越好，反之生态质量越差。

1.5 趋势检验分析

本文利用Theil-Sen趋势分析结合Mann-Kendall检验来分析1986—2021年研究区RSEI的变化趋势。利用Theil-Sen Median趋势分析方法计算变量斜率，即

$$S=\mathrm{median}\left(\frac{x_i-x_j}{i-j}\right) \quad (3)$$

式中，S 为Sen趋势分析的斜率；x_i、x_j 为第 i、j 年的RSEI值（$1\leqslant j<i\leqslant n$）；median为中位数。

2　研究结果与分析

2.1　RSEI整体分析

主成分分析结果见表2，可以看出，在研究年份中PC_1特征值的占比最大，约为76.83%~86.36%，相较于其他主成分，PC_1集中了各指标主要的特征信息。根据符号PC_1中的4个指标载荷可分为两类：NDVI和Wet、LST和NDSI，NDVI和Wet符号为正，表明绿度和湿度的升高有助于改善生态环境质量；LST与NDSI符号为负，表明热度和干度的升高将会恶化生态环境质量。

表2　4个变量的PC_1贡献与载荷

指标	1986年	1994年	1998年	2002年	2017年	2021年
Wet载荷	0.341	0.283	0.522	0.319	0.224	3.08
NDVI载荷	0.812	0.851	0.626	8.816	0.848	0.825
NDSI载荷	−0.334	−0.305	−0.402	−0.326	−0.303	−0.332
LST载荷	−0.341	−0.322	−0.416	−0.355	−0.373	−0.338
协方差特征值百分比/%	78.26	78.36	80.01	79.33	76.83	86.36

2.2　RSEI年际变化分析

本文基于像元对1986—2021年黄河流域中东部区域的RSEI值进行均值统计，结果见图1，可以看出，中东部区域的RSEI均值在0.48~0.62之间，最大值出现在2015年，达到0.63，超过平均值0.06，最小值则出现在1986年，为0.48，低于平均值0.07；黄河流域中东部区域RSEI总体呈波动上升趋势，每10 a增加0.024，个别年际变化波动性较大；研究期间出现了3个明显的减少阶段（1990—1992年、1996—2004年和2015—2021年）和3个增加阶段（1986—1990年、1992—2002年和2004—2015年），黄河流域中东部区域生态环境质量整体好转。

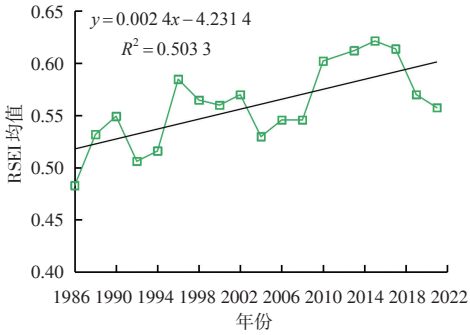


图1　1986—2021年RSEI均值年际变化和偏离分析

2.3　RSEI空间分布特征

黄河流域中东部区域RSEI在空间上呈现四周高中间低的分布格局。RSEI低值区主要分布于研究区西部、中部和西南部的运城市、南阳市、郑州市、平顶山市和漯河市等地区，高值区主要分布在城市群南部的信阳市和阜阳市以及东北部的聊城市和菏泽市等地区。1986—2021年黄河流域中东部区域的整体生态环境质量有所改善。本文将研究结果分为显著改善区、改善区、稳定区、退化区和显著退化区5个等级，大部分区域生态环境质量在明显改善。通过对黄河流域中东部区域RSEI不同变化程度所占面积与比例进行统计（表3）可知，1986—2021年研究区大部分区域RSEI变化呈改善趋势，其中显著增加区域面积占比为11.48%，显著减少区域面积占比仅为5.76%，不显著变化区域的面积占比为33.16%，大部分区域轻微增加。

表3　1986—2021年RSEI变化状况统计

S_{RESI}	$\lvert Z\rvert$	变化状况	面积/km²	占比/%
> 0.000 5	⩾1.96	显著改善区	38 753.21	11.48
> 0.000 5	< 1.96	改善区	107 586.22	31.88
−0.000 5~0.000 5	< 1.96	稳定区	111 888.71	33.16
< −0.000 5	< 1.96	退化区	59 730.45	17.70
< −0.000 5	⩾1.96	显著退化区	19 464.67	5.76

2.4　土地利用类型对生态质量的影响分析

分析黄河流域中东部区域3个时期的土地利用状况发现（图2），耕地占据了研究区大部分区域，其次是林地。2000—2021年研究区土地利用类型变化主要体现为城镇建设用地增加而耕地减少，核心城区由于

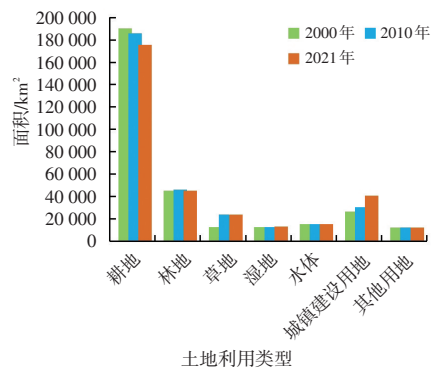


图2　黄河流域中东部区域土地利用面积统计

城市扩张、建筑用地增加以及热岛效应影响，使得这些区域生态环境变差和显著退化。

本文以黄河流域中东部区域为研究区，利用Landsat TM/OLI卫星遥感数据，对中东部区域生态环境质量进行研究。首先，本文利用RSEI监测了黄河流域中东部区域的生态质量，拓展了利用RSEI方法研究生态质量的广度；其次，利用前沿的GEE遥感云平台进行遥感数据获取、处理与分析，极大地提高了研究效率；再次，明确了1986—2021年黄河流域中东部区域生态质量的时空变化特征，为黄河流域中东部区域城市发展与生态环境的协调健康发展提供了政策启示。绿度和热度对RSEI的贡献较大，说明植被覆盖度和地表温度对当地的生态质量影响较大，应增加绿地面积或减少建设用地面积来提高当地生态环境质量。黄河流域中东部区域生态质量较差的地区主要分布在西部和中部的中心城区群，当地应重视改善这些区域的生态环境。2000—2021年黄河流域中东部区域的土地利用类型变化主要表现为城镇建设用地面积不断增加，耕地面积不断缩减。城市建设会对当地的生态环境造成一定的影响，在推进城市化进程的同时，政府当局应注重生态环境的修复和治理[11]。退耕还林还草、草地改良和植树造林等生态工程建设对当地生态环境质量具有明显改善作用，当地政府应因地制宜、继续推动研究区的生态环境治理[12-13]。

3 结 语

本文基于时序Landsat TM/OLI遥感影像，利用RSEI方法和GEE平台快速计算得到黄河流域中东部区域遥感生态环境质量，并分析了其时空变化特征。

1）RSEI综合了绿度、湿度、干度和热度信息，可有效评价黄河流域中东部区域的生态环境质量。

2）1986—2021年黄河流域中东部区域的RSEI均值在0.48~0.62之间，平均值为0.56，总体呈波动上升趋势，每10 a增加0.024。RSEI在空间上呈现四周高、中间低的分布格局。

3）1986—2021年黄河流域中东部大部分区域RSEI变化呈现改善趋势，其中显著增加区域面积占比为11.48%，显著减少区域面积占比仅为5.76%，不显著变化区域面积占比为33.16%。

参考文献

[1] Xu H, Wang M, Shi T, et al. Prediction of Ecological Effects of Potential Population and Impervious Surface Increases Using a Remote Sensing Based Ecological Index (RSEI)[J]. Ecological Indicators, 2018, 93(1):730-740

[2] 徐涵秋，施婷婷，王美雅，等. 雄安新区地表覆盖变化及其新区规划的生态响应预测[J]. 生态学报，2017，37(19):6 289-6 301

[3] 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):7 853-7 862

[4] Dubinin V, Svoray T, Dorman M, et al. Detecting Biodiversity Refugia Using Remotely Sensed Data[J]. Landscape Ecology, 2018, 33(10):1 815-1 830

[5] 刘晶，党星海，陈丽丽，等. 基于MODIS数据的黄河源区植被覆盖度反演研究[J]. 地理空间信息，2021，19(11):57-62

[6] Huang G, Cadenasso M L. People, Landscape, and Urban Heat Island: Dynamics Among Neighborhood Social Conditions, Land Cover and Surface Temperatures[J]. Landscape Ecology, 2016, 31(10):2 507-2 515

[7] 石春艳，张连蓬，赵清. 徐州市城市不透水面变化及其影响因素分析[J]. 地理空间信息，2021，19(10):33-39

[8] Behling R, Bochow M, Foerster S, et al. Automated GIS-based Derivation of Urban Ecological Indicators Using Hyperspectral Remote Sensing and Height Information[J]. Ecological Indicators, 2015, 48(1):218-234

[9] 孔玲玲，冯险峰，武爽，等. 拉萨城市圈1994—2017年生态质量的时空动态监测及驱动力分析[J]. 地理科学进展，2022，41(3):437-450

[10] 赫晓慧，徐雅婷，范学峰，等. 中原城市群区域碳储量的时空变化和预测研究[J]. 中国环境科学，2022，42(6):2 965-2 976

[11] Nicolai-shaw N, Zscheischler J, Hirschi M, et al. A Drought Event Composite Analysis Using Satellite Remote-sensing Based Soil Moisture[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 203:216-225

[12] Long D, Scanlon B R, Longuevergne L, et al. GRACE Satellite Monitoring of Large Depletion in Water Storage in Response to the 2011 Drought in Texas[J]. Geophysical Research Letters, 2013, 40(13):3 395-3 401

[13] Dubinin V, Svoray T, Dorman M, et al. Detecting Biodiversity Refugia Using Remotely Sensed Data[J]. Landscape Ecology, 2018, 33(10):1 815-1 830