

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2024.04.05

王妍妍,刘斌,韩健,任俊儒,程腾辉. 2024. 2013—2022年承德市生态环境质量遥感评价[J]. 华北地质, 47(4): 47-56.

Wang Yanyan, Liu Bin, Han Jian, Ren Junru, Cheng Tenghui. 2024. Remote sensing evaluation of eco-environmental quality in Chengde City from 2013 to 2022[J]. North China Geology, 47(4):47-56..

2013—2022年承德市生态环境质量遥感评价

王妍妍^{1,2,3}, 刘斌^{1,2,3*}, 韩健^{1,2,3}, 任俊儒^{1,2,3}, 程腾辉^{1,2,3}(1. 华北地质勘查局五一四地质大队, 河北承德 067000; 2. 河北华勘资环勘测有限公司, 河北承德 067000;
3. 河北省地质资源勘探开发与生态保护重点实验室, 河北承德 067000)

摘要:【研究目的】生态环境是人类赖以生存发展的基础,利用遥感技术对承德市生态环境质量和状况进行评价及分析,为承德市生态环境保护和治理提供科学依据和技术支持。【研究方法】本研究基于Landsat系列遥感影像,利用ENVI软件计算得到反映生态环境的绿色、湿度、干度和热度四个指标,并采用主成分分析法构建遥感生态指数模型,对承德市生态环境质量进行评价。【研究结果】通过利用2013年、2016年、2019年和2022年四期承德市遥感影像计算的四个指标构建遥感生态指数模型,并对其进一步分析,结果表明:(1)使用主成分分析结果中的第一主成分指标来构建RSEI模型,代表绿色的NDVI和代表湿度的WET对生态环境质量起到正面作用,代表干度的NDBSI和代表热度的LST对生态环境质量起到负面作用;(2)2013—2022年,承德市RSEI均值由0.625上升至0.640,生态环境质量总体呈现上升趋势,生态环境得到基本改善;(3)2013—2022年,承德市生态环境变差的面积为2 405.562 3 km²,约占总面积的6.07%;不变面积为28 769.067 km²,约占总面积的75.54%;变好的面积为8 483.188 5 km²,约占总面积的21.39%。【结论】在2013至2022年的十年间,承德市的生态环境质量总体上呈现出显著的初步改善趋势。本次研究可为承德市区域环境保护工作提供可参考的依据。

关键词:生态环境;遥感影像;遥感生态指数(RSEI);主成分分析;承德市

创新点:基于遥感技术,利用RSEI对承德市2013—2022年的生态环境质量进行了时间序列分析,通过比较不同年份的RSEI值,揭示了生态环境的动态变化趋势,结合降雨、气温因素分析评价结果变化原因,提出区域环境保护措施建议,有助于了解承德市生态环境的长期变化,为制定长期的生态保护政策提供了科学依据。

中图分类号:TP79 文献标志码:A 文章编号:2097-0188(2024)04-0047-10

Remote sensing evaluation of eco-environmental quality in Chengde City from 2013 to 2022

WANG Yanyan^{1,2,3}, LIU Bin^{1,2,3,*}, HAN Jian^{1,2,3}, REN Junru^{1,2,3}, CHENG Tenghui^{1,2,3}

(1. 514 Brigade Of North China Geological Exploration Bureau, Chengde Hebei 067000, China; 2. Hebei Huakan Resource Environmental Survey Co., Ltd, Chengde Hebei 067000, China; 3. Hebei Key Laboratory of Geological Resources Exploration and Ecological Protection, Chengde Hebei 067000, China)

Abstract: This paper is the result of ecological environment.

[Objective] Ecological environment is the foundation for the survival and development of human beings. Remote sensing

收稿日期:2024-07-16

基金项目:天津华北地质勘查局项目:“林草智慧防火综合管理系统研发项目(HK2022-B41)”

作者简介:王妍妍(1997—),女,硕士研究生,助理工程师,主要从事定量遥感研究,E-mail:1053395707@qq.com。

*通讯作者:刘斌(1992—),男,硕士研究生,工程师,主要从事农业遥感研究,E-mail:email.liubin@foxmail.com。

technology is used to evaluate and analyze the quality and status of the ecological environment in Chengde City provides scientific basis and technical support for the protection and governance of the ecological environment in Chengde City. **[Methods]** This study is based on Landsat series remote sensing images, and uses ENVI software to calculate four indicators reflecting the ecological environment: greenness, wetness, dryness, and heat. In addition, the principal component analysis method is used to construct a remote sensing ecological index model to evaluate the ecological environment quality of Chengde City. **[Results]** The remote sensing ecological index model was constructed by using four indicators calculated from remote sensing images of Chengde City in 2013, 2016, 2019, and 2022, and further analyzed, showing that: (1) The first principal component index in the principal component analysis was used to construct the RSEI model. NDVI (representing greenness) and WET (representing wetness) had a positive effect on the ecological environment quality, while NDBSI (representing dryness) and LST (representing heat) had a negative effect on the ecological environment quality. (2) From 2013 to 2022, the average RSEI value of Chengde City increased from 0.625 to 0.640, and the ecological environment quality showed an overall upward trend, and the ecological environment was basically improved. (3) From 2013 to 2022, the area of ecological environment deterioration in Chengde city is 2 405.562 3 km², accounting for about 6.07% of the total area; The unchanged area is 28 769.067 km², accounting for 75.54% of the total area. The improved area is 8 483.1885 km², accounting for 21.39% of the total area. **[Conclusions]** From 2013 to 2022, the overall ecological environment quality of Chengde City has shown a significant initial improvement trend. This study can provide a reference basis for regional environmental protection work in Chengde City.

Key words: ecological environment quality; remote sensing image; Remote Sensing Ecological Index (RSEI); principal component analysis; Chengde City

Highlights: Based on remote sensing technology, RSEI was used to conduct a time series analysis of the ecological environment quality in Chengde City from 2013 to 2022. By comparing the RSEI values of different years, the dynamic changes in the ecological environment were revealed. Combined with rainfall and temperature factors, the reasons for the changes in the evaluation results were analyzed, and regional environmental protection measures were proposed. This helps Chengde City understand the long-term changes in the ecological environment and provides a scientific basis for formulating long-term ecological protection policies.

About the first author: WANG Yanyan, female, born in 1997, Master, assistant engineer, mainly engaged in quantitative remote sensing research, E-mail: 1053395707@qq.com.

About the corresponding author: LIU Bin, male, born in 1992, Master, engineer, mainly engaged in agricultural remote sensing research, E-mail: email.liubin@foxmail.com.

Fund support: Tianjin North China Geological Exploration Bureau Project (HK2022-B41)

生态环境是人们赖以生存发展的最基本条件(施智勇等,2023;叶博文等,2024)。随着社会的发展,人类活动与生态环境的密切关系使得人口、资源、环境的矛盾越来越突出。正确评估区域生态环境质量有助于决策者了解区域生态环境现状并采取积极措施实现更好的区域可持续发展(宋慧敏等,2016)。

当前,随着卫星遥感技术的快速发展,对地观测卫星系统正以其快速、实时、大尺度观测的优势,在生态领域得到大规模应用,利用多种遥感指标来监测和评估森林、草原、城市、河流等,成为评估区域生态环境质量的有效工具(张志军等,2023)。然而,应用遥感技术评估不同的生态系统也存在一定的弊

端,最典型的便是利用的生态环境指标相对单一,如利用地表温度评估城市热岛效应、选择植被指数监测森林系统,仅通过水体指数变化估计气候状况,使用归一化植被指数和地表温度进行干旱监测等(郭超凡等,2024;杨江燕等,2019;赵娜等,2024)。由于生态系统的产生和发展受到多种因素的影响,单一的生态因子无法客观、全面地反映环境变化,因此需要对生态系统的状况进行全面的综合描述(徐涵秋,2013a;杨江燕等,2019;黄垒等,2023)。

徐涵秋(2013a)提出了遥感生态指数(Remote sensing ecological index, RSEI),用于快速监测和评估区域环境质量。这一指数综合了代表绿度的植被指数、代表湿度的湿度分量、代表热度的地表温度和

代表干度的裸土建筑指数来反映区域环境质量。该指数利用主成分变换集成各个指标,与常用的多指标加权集成方法相比,优势在于各个指标对RSEI的影响是通过数据本身的性质而不是人为加权来确定的,更具有客观性。RSEI的构建完全基于遥感影像,指标获取容易且能够全面、快速、客观地定量评价区域生态环境质量,还可以对生态环境质量评价结果进行可视化表达,很好地弥补了现有技术可视化方面的缺失与不足,因此在区域生态环境评价中得到了广泛的应用(陈丽红等,2021;何盈利等,2021;李尧等,2021;吕大伟等,2021;章程焱等,2023)。

随着遥感技术的不断发展,RSEI的计算方法和应用也在不断改进。例如,在计算所需的各个指标以及进行主成分分析时,采用更精确的算法和更优化的数据处理技术,以提高RSEI的计算精度和效率;针对不同的生态环境和地理条件时,RSEI的计算方法和参数也可进行相应的调整,以更好地反映不同地区的生态环境状况(崔阳等,2024;杨惠麟等,2024)。此外,RSEI不仅在生态环境质量评价、生态风险评估等方面广泛应用,其研究领域也在不断拓展,在农业、林业、水利等领域也开始尝试应用RSEI进行生态环境监测和评价(陈创等,2024)。

承德市位于华北和东北的过渡地带,是京津冀地区的重要生态屏障,对承德市生态环境质量进行动态监测与评估不仅可对该区域生态环境状况进行客观定量的评价,为承德市区域环境保护工作提供可参考的依据,同时对于保障京津冀地区的生态安全具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

承德市地处河北省东北部,总面积为39 500 km²,横跨115°54′~119°15′ E,纵跨40°11′~42°40′ N。全市辖3个市辖区、1个县级市、4个县、3个自治县,如图1为承德市行政区划范围。承德市位于华北和东北两个地区的连接过渡地带,南面与北京、天津市相邻,北面与赤峰市和锡林郭勒盟接壤,东西方向与朝阳市、秦皇岛、唐山、张家口市相邻,是连接京津冀辽蒙的重要节点,具有“一市连五省”的独特区位优势(许新国,2023)。承德境内地形复杂,山脉河流纵横交

错,地势西北高、东南低,海拔约200~1 200 m,平均海拔350 m,如图1中DEM所示;地域面积39 500 km²,林地面积占比超过72%。承德市属于温带、半干旱向半湿润过渡的大陆性季风型气候,具有四季分明、雨热同期、昼夜温差大的特点,年平均气温在9℃左右,年降水量395~897 mm,降水量南高北低,时空分布差异明显(郝灿等,2023)。

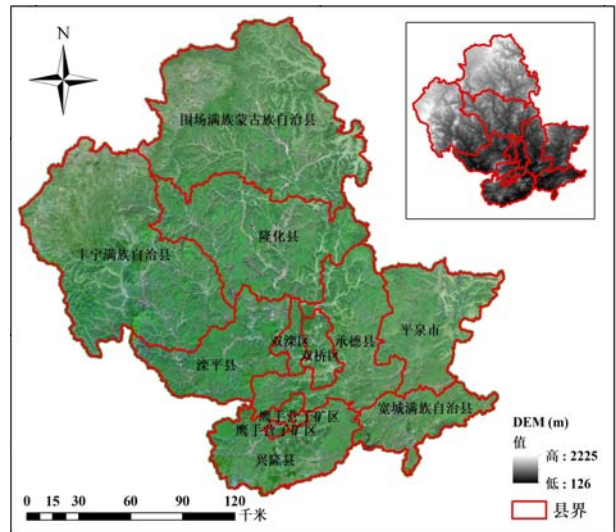


图1 承德市行政区划

Fig.1 Administrative divisions of Chengde

1.2 数据来源

本研究所使用遥感影像数据来自地理空间数据云官网(<http://www.gscloud.cn/>),主要是Landsat8影像和Landsat9影像产品(LC09-L2SP-TI)。

本文选取了2013、2016、2019和2022年共4期的遥感影像数据。除2022年选取的为Landsat9的LC09-L2SP-TI影像产品外,其他年份均为Landsat8影像。所有影像选取的月份集中在7—9月,选取时相云覆盖度较低(小于10%),影像质量较好。LC09-L2SP-TI影像产品无需进行预处理,可以直接用于本研究,Landsat8影像则需利用ENVI 5.6对其进行辐射定标、大气校正等预处理来得到研究区所需影像。

行政区划矢量数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>),其他统计数据来源于《承德市统计年鉴》与《承德市水资源公报》。

1.3 研究方法

遥感生态指数(Remote Sensing Ecological Index, RSEI)模型中的四个指标绿度(greenness)、湿

度(wetness)、干度(dryness)和热度(heat)分别用在遥感影像中能够获取的归一化植被指数(NDVI)、湿度分量(Wet)、裸土建筑指数(NDBSI)和地表温度(LST)来代表(徐涵秋,2013b)。具体为,首先依据遥感影像计算绿色、湿度、干度和热度四个指标的单一分量;其次对四个单一指通过主成分分析技术(PCA)进行集成,以第一主成分(PC1)来构建RSEI。整体的技术流程如图2所示。

1.3.1 分量指标计算

(1) 绿色指标

植被覆盖状况是评价一个地区生态环境质量的关键,归一化植被指数(NDVI)是反映植物生长状况和植被密闭分布的最佳指标(程志峰等,2019),因此选用NDVI作为绿色指标。

NDVI通过测量近红外波段和红波段之间的差异来量化植被。NDVI值越高,植被越健康、越茂密;

NDVI值越低,植被越稀疏;NDVI值接近零和负值的区域指的是非植被覆盖区域(王妍妍等,2022)。NDVI的计算公式为:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (1)$$

其中, ρ_R 、 ρ_{NIR} 分别表示红光波段和近红外波段的反射率。

(2) 湿度指标

缨帽变换是一种对数据压缩和去冗余的技术,其中绿色、湿度、亮度分量与地表物理参数直接相关,在生态环境监测中应用广泛(Crist,1985;王丽春等,2019;Huang等,2002)。湿度分量与土壤水分和植被密切相关,能较好地反映土壤和植被的水分状态。所以,本研究中的湿度指标采用缨帽变换的Wet分量来表示。

不同的影像所对应的变换模型公式不同,对于Landsat系列OLI和OLI-2传感器采用以下公式进行计算Wet分量(李博伦等,2016):

$$Wet = 0.1511\rho_B + 0.1973\rho_G + 0.3283\rho_R + 0.3407\rho_{NIR} - 0.7117\rho_{SWIR1} - 0.4559\rho_{SWIR2} \quad (2)$$

其中, ρ_B 、 ρ_G 、 ρ_R 、 ρ_{NIR} 、 ρ_{SWIR1} 、 ρ_{SWIR2} 分别表示Landsat8 OLI和Landsat9 OLI-2蓝色、绿色、红色、近红外、短波红外1和短波红外2的波段反射率。

(3) 干度指标

土壤干化会给区域生态环境造成严重污染,土壤干化越严重,其危害越大。造成土壤干化的除了裸土(如:岩石、沙地等)还有城市建设用地,因此,干度指标可以由裸土指数和建筑指数二者合成(朱贞榕,2017)。其中采用A.Rikimaru(2022)的模型计算裸土指数SI,采用H.Xu(2008)的模型计算建筑指数IBI:

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

$$SI = [(\rho_{SWIR1} + \rho_R) - (\rho_{NIR} + \rho_B)] / [(\rho_{SWIR1} + \rho_R) + (\rho_{NIR} + \rho_B)] \quad (4)$$

$$IBI = \{ 2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) - [\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_R) + \rho_G / (\rho_G + \rho_{SWIR1})] \} / \{ 2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) + [\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_R) + \rho_G / (\rho_G + \rho_{SWIR1})] \} \quad (5)$$

(4) 热度指标

目前热污染已经成为城市主要污染之一,然而热度指标在中国生态环境监测中还未引起足够重视,也未纳入环境统计年报中。热度指标由地表温

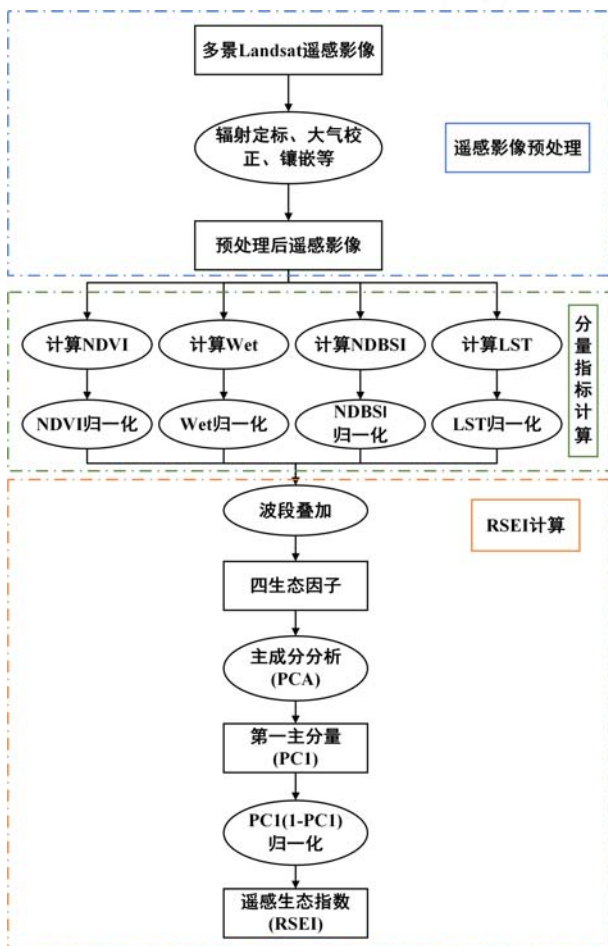


图2 获取RSEI技术流程图

Fig.2 Technical flow chart of acquiring RSEI

度(Land Surface Temperature, LST)来代表,通过Landsat用户手册的模型(NASA, 2012)和Chander(2009)等最新修订的参数来计算LST:

$$L_{10} = \text{gain} \times \text{DN} + \text{bias} \quad (6)$$

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L_{10} + 1) \quad (7)$$

式中, L_{10} 为TIRS及TIRS-2热红外10波段在传感器处的辐射值; T 为传感器处的温度值; DN 为灰度值; gain 和 bias 为10波段的增益和偏置; K_1 和 K_2 为定标参数,它们都可以从用户手册获得。

通过公式(7)计算得到的温度 T 要用比辐射率转换为地表温度LST:

$$LST = T / [1 + (\lambda T / \rho) \ln \varepsilon] \quad (8)$$

式中, λ 为TIRS及TIRS-2第10波段的中心波长; ρ 和 ε 的取值见Nichol J(2005)。

1.3.2 遥感生态指数模型构建

由于四个分量指标单位的不一致性,需要对这四个指标利用公式(9)进行归一化处理以实现单位统一。

$$NI_i = (I_i - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min}) \quad (9)$$

式中, NI_i 为某一指标归一化处理后的结果; I_i 为第*i*个像元值; $I_{\min}$ 和 $I_{\max}$ 分别为整景影像像元的最小值和最大值(张晓山等,2023)。

RSEI模型可以简略地表示为公式(10),通过进行主成分分析并保留第一主成分得到初始值RSEI₀。

$$RSEI_0 = PC1[f(NDVI, Wet, NDBSI, LST)] \quad (10)$$

对RSEI₀利用公式(11)进行归一化处理,得到RSEI,

$$RSEI = \frac{RSEI_0 - RSEI_{0\min}}{RSEI_{0\max} - RSEI_{0\min}} \quad (11)$$

式中,RSEI为归一化后的遥感生态指数,值处于[0-1]之间,值越接近于1,说明该区域生态环境质量越好,反之,越接近于0,则说明该区域生态环境质量越差(杭鑫等,2020);RSEI_{0min}、RSEI_{0max}分别为RSEI₀的最小值和最大值。

根据RSEI的结果,采用等间隔法将其分为差(0~0.2)、较差(0.2~0.4)、一般(0.4~0.6)、良(0.6~0.8)和优(0.8~1)共5个等级(农兰萍等,2020),用以分析承德市的生态环境变化情况。

2 结果与分析

2.1 生态环境指标主成分分析结果

承德市2013年、2016年、2019年及2022年所选四期遥感影像的绿色、湿度、干度和热度进行主成分分析,其主成分分析结果见表1。

从表1可知,在2013年、2016年、2019年和2022年这四个不同时期中,第一主成分的贡献率分别为73.695%、72.694%、71.354%和72.888%,都达到了70%以上,且各个指标相对稳定,这一现象说明了第一主成分已经集中了四个分量指标的大部分特征。在第一主成分中,代表绿度的NDVI和代表湿度的WET都呈现正值,说明它们对生态环境质量起到正向作用;代表干度的NDBSI和代表热度的LST都呈现负值,说明二者共同对生态环境起到负向影响。在四个不同的时期中,第一主成分中绿度指标的系数均为最大,说明绿度相比于其他指标对生态环境质量的影响更大。第二、三、四主成分中各个指标的符号和大小不稳定,难以解释生态现象,因此使用第一主成分的指标来构建RSEI模型。

表1 主成分分析结果

Table 1 Principal component analysis results

年份	指标	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
2013年	绿度	0.645	0.463	-0.153	-0.589
	湿度	0.483	0.364	0.088	0.792
	干度	-0.387	-0.611	-0.680	0.121
	热度	-0.449	-0.530	0.711	-0.109
	特征值	0.283 9	0.082 6	0.011 8	0.007 0
	贡献率%	73.70%	21.44%	3.06%	1.81%
2016年	绿度	0.638	0.355	-0.314	0.607
	湿度	0.519	0.444	0.197	-0.703
	干度	-0.357	-0.643	-0.602	-0.311
	热度	-0.443	-0.514	0.707	0.201
	特征值	0.254 0	0.112 1	0.011 5	0.005 6
	贡献率%	72.70%	23.69%	2.44%	1.18%
2019年	绿度	0.572	0.630	-0.136	-0.507
	湿度	0.378	0.347	-0.001	0.859
	干度	-0.544	-0.612	-0.573	0.007
	热度	-0.483	-0.328	0.808	-0.079
	特征值	0.254 0	0.085 2	0.013 1	0.003 8
	贡献率%	71.35%	23.92%	3.67%	1.06%
2022年	绿度	0.551	0.437	-0.455	0.546
	湿度	0.512	0.478	0.304	-0.646
	干度	-0.418	-0.618	-0.546	-0.383
	热度	-0.509	-0.447	0.635	0.372
	特征值	0.334 1	0.105 5	0.010 0	0.008 9
	贡献率%	72.89%	23.01%	2.17%	1.93%

2.2 承德市生态环境质量时空变化分析

为了能够对不同年份的生态环境质量进行比较,对主成分分析结果的第一主成分的各个指标进行标准化,构建RSEI分布图(图3)。从图3中可以看出,在这四个不同的时期中,承德市整体生态环境质量均较好,承德市中部地区RSEI值较高,西北部地区RSEI值呈现较低的状态。从图3(b)2016年的RSEI分布图到图3(c)2019年的RSEI分布图可以明显看出,围场满族蒙古族自治县的北部和丰宁满族自治县的西北部地区由蓝黄色调变成红黄色调,RSEI值明显变低,生态环境质量急剧下降,到图3(d)2022年,此区域变回蓝黄色调,可以看出生态环境有明显的回转迹象。从2013、2016、2019、2022年这四年的RSEI分布图中,可以直观地感受到生态环境质量最好的年份是2016年,最差的年份是2019年。

为了便于从整体上定量分析近10年来承德市的生态环境质量,本研究统计了这4个不同时期反映生态环境质量的各项分量指标以及遥感生态指

数RSEI的均值(表2)。从表2中可以得到,承德市2013年、2016年、2019年和2022年的RSEI均值分别为0.625、0.674、0.589、0.640,2016年生态环境质量最好,2019年生态环境质量最差。

对比四个不同标准化后的分量指标,起到正面影响的绿度指标和湿度指标,除了2013年的湿度指标系数0.751大于绿度指标系数0.659外,其余三个时期都是绿度指标系数大于湿度指标系数;起到负面作用的干度指标和热度指标中,除了2019年干度指标系数0.566大于热度指标系数0.474外,其余三个时期都是热度指标系数大于干度指标系数。在大多数情况下,绿度指标对承德市生态环境质量正面影响较大,热度指标对承德市生态环境质量负面影响较大。

结合承德市实际的气象统计数据对通过遥感影像反演得到的指标及RSEI进行简单验证与分析。查阅承德市历史气象数据,见表3,2013年全市平均降水量487.1 mm,2016年全市平均降水量为556.5 mm,2019年全市平均降水量为449.7 mm,2022年全

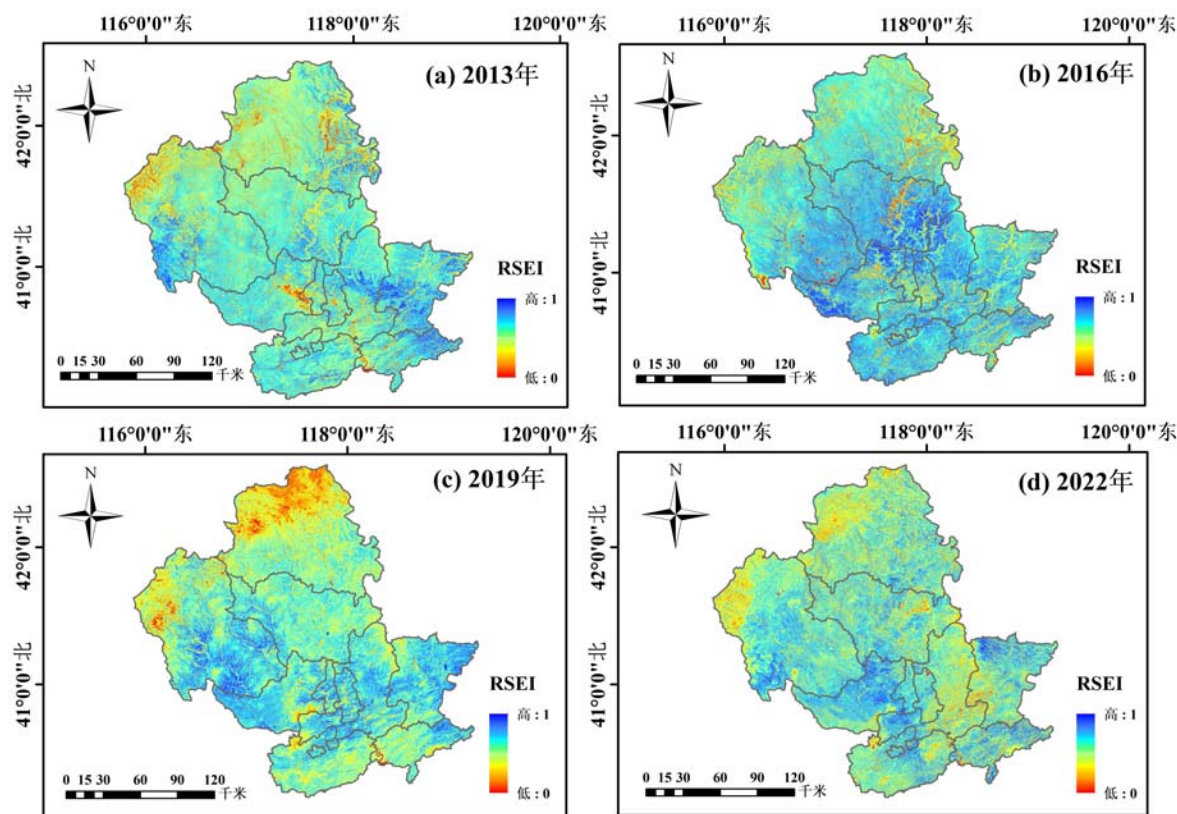


图3 承德市2013—2022年RSEI分布图

Fig.3 RSEI distribution map of Chengde City from 2013 to 2022

表 2 各项指标与 RSEI 均值
Table 2 The average value of each index and RSEI

年份	指标				RSEI
	绿度	湿度	干度	热度	
2013 年	0.659	0.751	0.454	0.483	0.625
2016 年	0.704	0.697	0.486	0.543	0.674
2019 年	0.560	0.523	0.566	0.474	0.589
2022 年	0.612	0.563	0.522	0.591	0.640

表 3 承德市历史气象数据
Table 3 Historical meteorological data of Chengde

	平均降水量 (mm)	水资源总量 (亿 m ³)	平均高温 (°C)
2013 年	487.1	19.858 3	28.5
2016 年	556.5	23.262 8	29.5
2019 年	449.7	15.520 4	30
2022 年	380.7	21.489 8	29

市平均降水量为 380.7 mm;2013 年全市水资源总量 19.858 3 亿 km³,2016 年全市水资源总量 23.262 8 亿 km³,2019 年全市水资源总量 15.520 4 亿 km³,2022 年全市水资源总量 21.489 8 亿 km³。可以看出,降水量、水资源总量对 RSEI 起到一定的正向作用。

查阅承德市历史气象数据得到,2013 年全市平均高温 28.5 °C,2016 年全市平均高温 29.5 °C,2019 年全市平均高温 30 °C,2022 年全市平均高温 29 °C。可以看出,温度对 RSEI 起到一定的负向作用。

通过对降水量、水资源总量、温度等气象数据与遥感反演得到的指标及 RSEI 进行比较,验证了本文方法的可靠性。

2.3 承德市 RSEI 分级与级差变化分析

为了更好地分析近十年来承德市生态环境质量情况,根据等间隔法的分级标准,将四个不同时期的 RSEI 值划分成 1(0~0.2),2(0.2~0.4),3(0.4~0.6),4(0.6~0.8),5(0.8~1)五个等级,分别代表生态环境质量差、较差、中等、良、优。承德市 2013、2016、2019、2022 年各年份 RSEI 等级分布图如图 4 所示,可以看出,生态环境质量为差、较差以及优等级的区域所占比例较少,绝大部分地区的生态环境质量等级均为中等以及良。

为了定量分析承德市在这四个不同时期中 RSEI

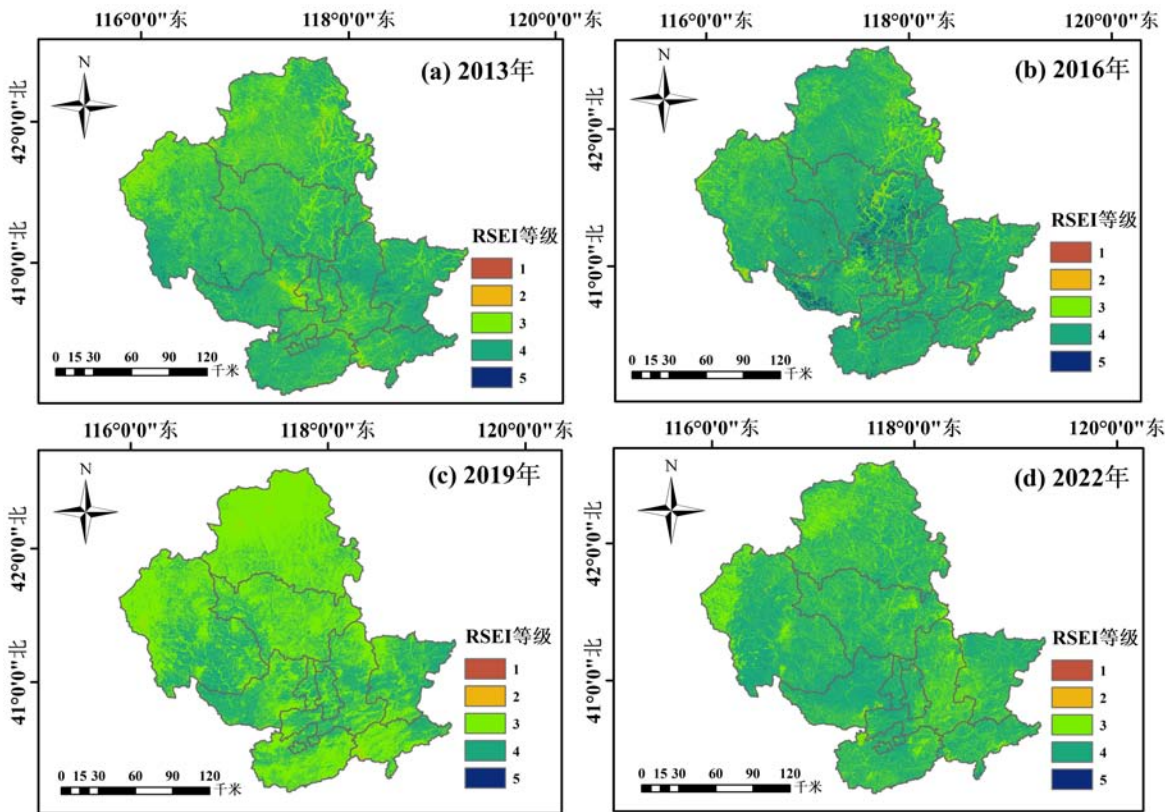


图 4 承德市 2013—2022 年 RSEI 等级分布图
Fig.4 RSEI grade distribution map of Chengde City from 2013 to 2022

各等级分布情况,对2013—2022年承德市RSEI各等级所占百分比进行了统计(表4)。从表4可以看出,RSEI等级为中等及以下所占面积之和与所占比例之和2013年分别为13 439.715 km²、33.884%,2016年分别为8 381.953 km²、21.239 7%,2019年分别为25 211.453 km²、63.885 4%,2022年分别为12 188.757 km²、30.886%,呈现先下降后上升再下降的趋势;良及以上等级2013年、2016年、2019年、2022年所占面积之和与比例之和分别为26 224.216 km²、66.12%,31 081.541 km²、78.76%,1 432.041 km²、36.11%,27 274.966 km²、69.11%,呈现先上升后下降再上升的趋势。结合RSEI各等级百分比变化情况可以得到,2013—2022年期间承德市遥感生态指数RSEI总体上呈现先上升后下降再上升的趋势,说明承德市生态环境质量总体上先逐渐变好,后出现下降,之后又逐渐恢复得到改善的情况。从总体上来看,2013—2022年承德市生态环境质量呈现上升趋势,生态环境越来越好。

在对承德市2013、2016、2019、2022年RSEI分级的基础上,对2013—2022年近十年间的RSEI整体进行差值变化处理统计,通过统计数据进而分析承德市近十年来生态环境质量的时空变化。按照级差符

号为负、0、正依次分为生态环境变差、不变和变好3类,其统计数据见表5。

根据表5可以得到,2013—2022近十年间生态环境变差的面积为2 405.5623 km²,约占总面积的6.07%。在生态环境变差的区域内,级差为-1所占面积最大,为2 307.2643 km²,级差为-2、-3、-4的面积之和接近100 km²,说明生态环境变差的区域是逐渐变差,并没有遭受自然灾害等极大的破坏使得生态环境质量突变。生态环境质量不变的面积为28 769.067 km²,约占总面积的75.54%,说明近十年间承德市生态环境质量整体来看较为平稳。生态环境变好的面积为8 483.1885 km²,约占总面积的21.39%,级差为1所占面积最大,为8 373.7917 km²,级差为2、3、4的面积之和接近110 km²,说明生态环境变好的区域也是逐渐得到改善。综上统计分析,2013—2022近十年间承德市生态环境质量总体上得到初步改善。

根据2013—2022年间承德市RSEI级差变化情况得到RSEI等级变化情况分布图,如图5所示。可以看出,生态环境变差的区域主要分布在承德县与平泉市交界处,丰宁满族自治县西部,围场满族蒙古族自治县北部以及其他县区的零星分布;生态环境变好的区域主要分布在滦平县与双滦区交界处,丰

表4 2013—2022年承德市RSEI各等级所占面积百分比

Table 4 Area percentage of each grade of RSEI in Chengde City from 2013 to 2022

等级	2013年		2016年		2019年		2022年	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
差	0.075	0.000 2	6.939	0.017 6	0.451	0.001 1	0.236	0.000 6
较差	289.663	0.730 3	301.914	0.765 0	111.260	0.281 9	50.940	0.129 1
中等	13 149.977	33.153 5	8 073.100	20.457 1	25 099.742	63.602 4	12 137.581	30.756 3
良	26 080.221	65.753 0	29 846.245	75.630 0	1 429.412	36.107 8	27 238.923	69.022 7
优	143.995	0.363 0	1 235.296	3.130 2	2.629	0.006 7	36.043	0.091 3

表5 2013—2022年间承德市RSEI级差变化情况

Table 5 Changes of RSEI level difference in Chengde City from 2013 to 2022

类别	级差	级面积/km ²	类面积/km ²	类比例/%
变差	-4	0.009 0	2 405.562 3	6.065 8
	-3	7.830 9		
	-2	90.458 1		
	-1	2307.264 3		
不变	0	28 769.067 0	28 769.067 0	72.543 2
变好	1	8 373.791 7	8 483.188 5	21.391 0
	2	108.464 4		
	3	0.931 5		
	4	0.000 9		

宁与围场大部分地区等。整体来看,生态环境保持不变的区域占据主要部分,但总体上生态环境得到改善,在向好的方向发展。

3 讨论

3.1 区域环境保护措施建议

基于以上对承德市近十年生态环境质量时空变化的分析,针对生态环境存在变差或潜在下降风险的区域,需要采取自然恢复和人工抚育等更新措施,加强环保政策与法规、调整与优化产业结构、加强城

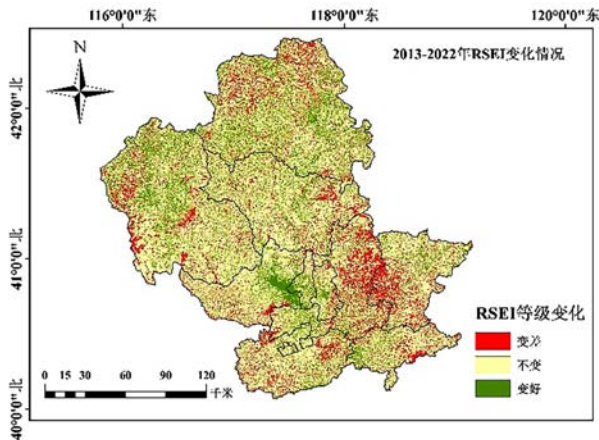


图5 承德市2013—2022年间RSEI等级变化情况分布图
Fig.5 Distribution of RSEI level change in Chengde from 2013 to 2022

市基础设施建设等,注重生态修复和保护工作,通过实施植树造林、退耕还林等生态工程,提高生态系统的稳定性和生态效率。针对生态环境已经变好或持续改善的区域,应该巩固治理成果,继续实施有效的治理措施,防止生态环境质量下降,在保持生态环境稳定的基础上,进一步提升生态品质,推动生态旅游、生态农业等绿色产业的发展,实现生态与经济的双赢。针对生态环境保持不变的区域,进行合理的土地规划,适度开发和保护相结合的方式,且要进行开发活动的生态影响评估,确保不会超过生态承载力,维持生态环境与经济社会协调发展,维持生态平衡,加强监测和预警。

3.2 不足与展望

本研究以承德市为研究区域,选取2013、2016、2019年和2022年Landsat系列影像,基于主成分分析法,在绿度、湿度、干度和热度4个指标的基础上,构建RSEI模型,对生态环境质量时空变化进行了分析,为区域环境保护工作提供了参考依据。但RSEI主要基于遥感光谱指数进行构建,无法充分考虑气候、土壤、地形等非生物因素对生态系统的影响。因此,在后续的研究中,要加强指标层面的分析,在RSEI的构建和应用过程中,加强对各个评价指标之间相互作用和关系的分析。同时,为了更全面地反映生态系统的健康状况,生态环境质量评价过程中应充分考虑气候、土壤、地形等非生物因素的影响。此外,需引入高时效卫星遥感数据,深入分析影响生态环境质量的驱动因素,揭示当前生态环境质量时空变化。

4 结论

本文以承德市为研究区域,选取2013、2016、2019年和2022年Landsat系列影像,基于主成分分析法,在绿度、湿度、干度和热度4个指标的基础上,构建RSEI模型,对2013—2022年承德市生态环境质量进行评价,得到以下结论:

(1)从主成分分析结果来看,在2013年、2016年、2019年和2022年这四个不同时期中,第一主成分的贡献率都达到了70%以上,且各个指标相对稳定,说明第一主成分集中了四个分量指标的大部分特征,其他主成分中各个指标的符号和大小不稳定,难以解释生态现象,因此使用第一主成分的指标来构建RSEI模型。且代表绿度的NDVI和代表湿度的WET对生态环境质量起到正面作用,代表干度的NDBSI和代表热度的LST对生态环境质量起到负面作用,其中,绿度分量指标对生态环境质量的影响较大。

(2)2013—2022年,承德市RSEI均值由0.625上升至0.640,生态环境质量总体呈现上升趋势,生态环境得到基本改善。2013年、2016年、2019年和2022年的RSEI均值分别为0.625、0.674、0.589、0.640,说明2016年生态环境质量最好,2019年生态环境质量最差,且这4个不同时期的RSEI均值呈现先上升、后下降、再上升的趋势,说明承德市生态环境质量先变好、后变差、再变好。

(3)通过对RSEI进行等间隔分级以及级差变化情况的分析,2013—2022近十年间生态环境变差的面积为2 405.5623 km²,约占总面积的6.07%;不变的面积为28 769.067 km²,约占总面积的75.54%;变好的面积为8 483.188 5 km²,约占总面积的21.39%,承德市的生态环境质量总体上呈现出显著的初步改善趋势。

中文参考文献

- 陈创,聂平静,黄凤寸,等. 2024. 基于RSEI改进模型的生态环境质量评价及驱动机制研究:以湖南省桃江县为例[J]. 水土保持通报, 44(03):159-170.
- 陈丽红,刘善幸,花亚萍. 2021. 基于RSEI的疏勒河流域生态质量综合评价及其成因分析[J]. 土壤通报, 52(01):25-33.
- 程志峰,何祺胜. 2019. 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, 34(03):531-539.

崔阳,孙洪泉,夏积德. 2024. 杨陵区 1990—2020 年生态环境时空演变分析[J]. 地理空间信息, 22(06):43-47.

郭超凡,马点明,袁玥,等. 2024. 基于 RSEI 的交通枢纽城市生态环境质量动态评价:以郑州市为例[J]. 云南大学学报(自然科学版), 46(05):896-906.

杭鑫,罗晓春,曹云,等. 2020. 基于 RSEI 模型的生态质量评估及城镇化影响:以南京市为例[J]. 应用生态学报, 31(01):219-229.

郝灿,陈义忠,高田源,等. 2023. 基于生态足迹理论的承德市水资源利用均衡性及影响因素[J]. 河北工业大学学报, 52(05):85-96.

何盈利,尤南山,崔耀平,等. 2021. 2000 年来中国生态状况时空变化格局[J]. 自然资源学报, 36(05):1176-1185.

黄垒,李磊,王威. 2023. 基于 GIS 的华北地区自然资源综合评价区划研究[J]. 华北地质, 46(4): 83-88.

李博伦,遆超普,颜晓元. 2016. Landsat 8 陆地成像仪影像的缨帽变换推导[J]. 测绘科学, (04):102-107.

李尧,袁红,罗建松,等. 2021. 基于 RSEI 模型的生态环境质量评价研究[J]. 测绘与空间地理信息, (04):117-119+124.

吕大伟,蔡海生,张学玲,等. 2021. 基于遥感生态指数的弋阳县生态安全格局构建及优化[J]. 农业现代化研究, (03):545-556.

衣兰萍,王金亮. 2020. 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, (06):2042-2050.

施智勇,胡晓婷,谢慧黎,等. 2023. 基于 RSEI 的生态环境质量评价及驱动力分析——以闽江流域(福州段)为例[J]. 测绘通报, (02):28-33.

宋慧敏,薛亮. 2016. 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, 27(12):3913-3919.

王丽春,焦黎,来风兵,等. 2019. 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, 39(08):2963-2972.

王妍妍,张霞,尚国珩. 2022. 2013—2020 年北京市植被覆盖时空变化特征分析[J]. 河北地质大学学报, 45(01): 99-105.

徐涵秋. 2013a. 区域生态环境变化的遥感评价指数[J]. 中国环境科学, 33(05):889-897.

徐涵秋. 2013b. 水土流失区生态变化的遥感评估[J]. 农业工程学报, 29(07): 91-97+294.

许新国. 2023. 承德市乡村旅游发展区域特征与区划研究[J]. 河北旅游职业学院学报, 28(04):12-18.

杨惠麟,张存波,赵祺. 2024. 基于 RSEI 模型的成都市生态环境遥感评价[J]. 科学技术创新, (08):38-41.

杨江燕,吴田,潘肖燕,等. 2019. 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, 30(01):277-284.

叶博文,孙标,赵云靓,等. 2024. 2000 ~ 2022 年内蒙古生境质量时空演变及驱动力分析[J/OL]. 环境科学.

章程焱,杨少康,董晓华,等. 2023. 基于 RSEI 指数的长江上游流域生态环境质量时空演变及影响因子研究[J]. 水土保持研究, 30(01): 356-363.

张晓山,张旺锋,高新宇,等. 2023. 基于 RSEI 的张掖市甘州区生态环境质量动态评估[J]. 人民黄河, 45(02):114-120.

张志军,陈楚,王琳,等. 2023. 天津北部山区典型地质灾害遥感监测应用[J]. 华北地质, 46(4):76-82.

赵娜,王冰,王子昊,等. 2024. 基于遥感生态指数的内蒙古生态环境质量时空演化及生态管理分区[J/OL]. 环境科学.

朱贞榕. 2017. 基于遥感生态指数(RSEI)的南昌市生态环境质量评价[D]. 东华理工大学.

References

- Chander G, Markham B L, Helder D L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors [J]. Remote Sensing of Environment, 113: 893-903.
- Crist E P. 1985. A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data. Remote Sensing of Environment, 17(3): 01-306.
- Huang C, Wylie B, Yang L, et al. 2002. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. International Journal of Remote Sensing, 23(8): 1741-1748.
- NASA. Landsat 7 Science Data Users Handbook [EB/OL]. <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>, 2012-09-05.
- Nichol J. 2005. Remote sensing of urban heat islands by day and night [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 71(6): 613-621.
- Rikimaru A, Roy P S, Miyatake S. 2002. Tropical forest cover density mapping[J]. Tropical Ecology, 43(1): 39-47.
- Xu H Q. 2008. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 29(14): 4269-4276.