

基于遥感生态指数模型对雄安新区近十年生态环境评估

吴 可¹, 彭锦珍², 朱芮漪¹

¹自然资源部第四航测遥感院, 海南 海口

²海南天涯人力资源管理服务有限公司, 海南 海口

收稿日期: 2025年8月22日; 录用日期: 2025年10月9日; 发布日期: 2025年10月20日

摘 要

本文以雄安新区为研究对象, 基于2014年、2017年、2020年和2024年四个时期的Landsat-8 OLI遥感影像, 综合运用遥感与地理信息系统空间分析技术, 借助ENVI平台提取湿度(Wet)、绿度(NDVI)、干度(NDSI)和热度(LST)四个生态指标, 并采用主成分分析法耦合构建遥感生态指数(RSEI), 对雄安新区的生态环境质量进行动态监测与时空变化分析。研究结果表明, 新区生态环境质量整体良好, 但仍应持续加强生态建设, 尤其需进一步扩大绿化覆盖规模, 以推动生态环境保护与经济社会的协同发展。本研究可为雄安新区生态规划的制定与可持续发展策略的实施提供科学依据和决策参考。

关键词

雄安新区, 遥感生态指数(RSEI), 时空变化, 主成分分析

Ecological Environment Assessment of Xiong'an New Area in the Past Decade Based on the Remote Sensing Ecological Index Model

Ke Wu¹, Jinzhen Peng², Ruiyi Zhu¹

¹The Fourth Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, MNR, Haikou Hainan

²Hainan Tianya Human Resource Management Service Co., Ltd., Haikou Hainan

Received: August 22, 2025; accepted: October 9, 2025; published: October 20, 2025

Abstract

Taking Xiong'an New Area as the research object, this study uses Landsat-8 OLI remote sensing

文章引用: 吴可, 彭锦珍, 朱芮漪. 基于遥感生态指数模型对雄安新区近十年生态环境评估[J]. 地理科学研究, 2025, 14(5): 974-982. DOI: 10.12677/gser.2025.145094

images from four periods (2014, 2017, 2020, and 2024) as the data basis. It comprehensively applies remote sensing and geographic information system (GIS) spatial analysis technologies, extracts four ecological indicators—wetness (Wet), greenness (NDVI), dryness (NDSI), and heat (LST)—with the help of the ENVI platform, and constructs the Remote Sensing Ecological Index (RSEI) through coupling using principal component analysis (PCA). On this basis, dynamic monitoring and spatiotemporal change analysis of the ecological environment quality in Xiong'an New Area are conducted. The results show that the overall ecological environment quality of the New Area is good; however, continuous efforts should still be made to strengthen ecological construction, particularly to further expand the scale of green coverage, so as to promote the coordinated development of ecological environment protection and economic society. This study can provide a scientific basis and decision-making reference for the formulation of ecological planning and the implementation of sustainable development strategies in Xiong'an New Area.

Keywords

Xiong'an New Area, Remote Sensing Ecological Index (RSEI), Spatiotemporal Change, Principal Component Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生态环境质量评价是指通过定性或定量方法,对特定时空范围内人类活动及社会经济发展影响下的生态环境状况进行系统性评估的过程[1][2]。作为自然、社会与经济三要素相互作用的复合系统,生态环境不仅为人类提供生存所需的资源和空间条件,更是维系社会发展的重要物质基础,其质量变化直接关系到民生福祉。然而,在城市化进程中,高强度的人类活动加剧了生态系统的脆弱性,尤其是地表环境的破坏促使可持续发展理念成为全球共识。在此背景下,开展区域生态环境动态监测与多因子影响评估,对于制定科学的环境政策具有关键意义。目前,国内外研究已涵盖城市生态[3]、森林系统[4]、矿产开发[5]、保护区网络[6]及流域管理[7]等多个领域,但传统单一指标(如归一化植被指数[8]、增强型植被指数[9]或地表温度[10])的局限性促使多指标综合评价体系成为主流发展方向。以雄安新区为例,《国务院关于雄安新区和白洋淀生态保护工作情况的报告》指出这一国家级新区的建设明确提出“蓝绿空间占比70%”的生态目标,但其当前仍面临大气与水环境质量改善、生物多样性恢复等挑战[11]。本研究采用集成绿度、湿度、干度与热度的RSEI指数,结合2014~2024年遥感数据,通过ENVI平台实现多源指标提取,并运用主成分分析法定量赋权以避免主观偏差。通过时空动态可视化与专题制图,旨在揭示雄安新区生态质量演变规律,为新区环境保护政策优化[11]及白洋淀生态修复工程提供数据支持,同时为智慧城市建设的生态评估方法创新提供实践案例。

2. 研究区概况与数据处理

2.1. 研究区概况

雄安新区位于河北省保定市境内、太行山东麓,地处北京、天津、保定腹地,区位优势明显、交通便捷通畅。规划范围涵盖河北省雄县、容城、安新等3个县及周边部分区域,总面积为2000 km²,其地理坐标为38°43'~39°10'N、115°37'~116°19'E,地处中纬度地带,该区属暖温带半湿润季风气候,四季分明。

2.2. 数据源与预处理

2.2.1. 数据来源

(1) 遥感数据

本文的主要数据是从地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>)选取的遥感影像共选取 4 景 Landsat 8 OLI 影像, 时间跨度为 2014 年 7 月至 2024 年 8 月。为对比不同季节植被生长状况, 影像时间间隔设计为 3~4 个生长季, 具体包括 2014 年 7 月(夏季)、2017 年 7 月(夏季)、2020 年 8 月(夏季)和 2024 年 8 月(夏季)的数据。

(2) 行政区矢量数据

本文所涉及的行政区矢量来源于河北省土地利用现状更新库。

2.2.2. 数据预处理

遥感生态指数(RSEI)的构建依赖于严格的预处理流程。首先通过辐射定标将原始 DN 值转换为辐射亮度或表现反射率, 以消除传感器差异; 随后利用 FLAASH、6S 等模型进行大气校正, 去除气溶胶和水蒸气干扰, 确保地表反射率数据的可靠性。针对研究区域, 需裁剪影像边界并掩膜云层、阴影等噪声, 提升数据质量。对于多时相或多源数据, 需通过几何配准实现空间对齐, 并通过双线性插值等方法统一分辨率。最终预处理数据需满足 NDVI、湿度等生态参数的反演要求, 为 PCA 分析和 RSEI 计算提供标准化输入。

3. 研究方法

本研究采用遥感生态指数(RSEI)对区域生态环境质量进行综合评价。该方法基于 Landsat 等多源遥感数据, 通过整合湿度、绿度、热度和干度四个关键生态指标来量化生态环境状况, 各指标经归一化处理后, 运用主成分分析(PCA)技术提取第一主成分(PC1)作为初始 RSEI, 并通过极差标准化得到 0~1 范围的最终结果, 数值越大表示生态环境质量越好。该方法通过 PCA 自动确定指标权重, 避免了主观赋权的偏差, 具有较好的客观性和普适性, 适用于不同空间尺度的生态环境动态监测。在应用时需注意, 对于植被覆盖极端区域或长时间序列分析, 应验证指标适用性并保持数据处理方法的一致性。

3.1. 分量指标计算

指标计算基于 ENVI5.3 软件平台完成, 其中 NDVI、WET 和 NDBSI 通过波段运算直接获取, 而 LST 则采用特定的反演算法计算[12]。

1) 归一化植被指数(NDVI)表征绿度

归一化植被指数(NDVI)通过近红外与红波段差异量化植被覆盖, 是评价生态环境和植被生长状况的关键指标[13]。NDVI 值越高表明植被越茂密健康, 值低则植被稀疏, 接近零或负值代表非植被区域[14]。

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

2) 缨帽变换湿度分量(WET)反映湿度

缨帽变换(Tasseled Cap Transformation)是一种有效的数据压缩和特征提取方法, 其生成的湿度分量(Wet)能够准确反映植被和土壤的水分状况, 因此被广泛应用于生态环境监测[15] [16]。该变换通过线性组合多光谱波段, 提取与地表物理特征密切相关的绿度、湿度和亮度分量, 其中湿度分量尤其适用于土壤水分和植被含水量的分析[17]。

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

其中, ρ_B 、 ρ_G 、 ρ_R 、 ρ_{NIR} 、 ρ_{SWIR1} 、 ρ_{SWIR2} 分别表示 Landsat 8 OLI 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。该公式通过增强水分敏感波段(如短波红外)的贡献, 有效提取地表湿度信息, 适用于长时间序列的生态环境监测与分析。

3) 建筑-裸土指数(NDBSI)指示干度

区域生态环境受土壤干化影响显著, 其严重程度与危害呈正相关。土壤干化主要由裸土(如沙地、裸岩等)和城市建设用地共同导致。因此, 干度指标可通过整合裸土指数(SI)和建筑指数(IBI)来表征[18]。其中, 裸土指数采用[19]提出的模型计算, 建筑指数则基于[20]的模型构建。该综合方法能更全面地反映地表干化状况。公式为:

$$\begin{aligned} NDSI &= (SI + IBI)/2 \\ SI &= [(\rho_{SWIR1} + \rho_R) - (\rho_{NIR} + \rho_B)] / [(\rho_{SWIR1} + \rho_R) + (\rho_{NIR} + \rho_B)] \\ IBI &= \left\{ 2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) - [\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_R) + \rho_G / (\rho_G + \rho_{SWIR1})] \right\} \\ &\quad / \left\{ 2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) + [\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_R) + \rho_G / (\rho_G + \rho_{SWIR1})] \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

4) 地表温度(LST)代表热度

城市热污染已成为当前突出的环境问题, 但热度指标在我国生态环境监测体系中尚未得到充分重视, 也未被纳入常规环境统计报告。热度指标通常以地表温度(LST)作为核心表征参数, 其计算基于 Landsat 系列卫星的热红外波段数据, 并采用经[21]修订的辐射定标参数及[22]发布的标准化反演模型进行估算。该指标通过量化地表热辐射强度, 能够有效反映城市热岛效应及区域热环境状况, 为热污染评估提供科学依据。

地表温度(LST)反演方法基于 Landsat TIRS/TIRS-2 热红外数据, 主要计算步骤如下:

① 辐射亮度计算

$$L10 = gain \times DN + bias \quad (4)$$

其中, L10 为第 10 波段传感器处辐射值, gain 和 bias 为定标参数, DN 为像元灰度值。

② 传感器亮温计算

$$T = K2 / \ln(K1 / L10 + 1) \quad (5)$$

K1、K2 为波段特定定标常数。

③ 地表温度转换

$$LST = T / [1 + (\lambda T / \rho) \ln \varepsilon] \quad (6)$$

式中, λ 为第 10 波段中心波长(10.9 μm), ε 为地表比辐射率, ρ 为常数(14,380 $\text{m} \cdot \text{K}$), 参数取值参考[23]的研究成果。

3.2. 遥感生态指数(RSEI)构建

遥感生态指数(RSEI)模型的构建方法如下:

(1) 指标归一化处理

针对多源遥感数据中指标单位不一致的问题, 采用极差标准化方法对各指标进行无量纲化处理。具体计算公式为:

$$BI_i = (b_i - b_{\min}) / (b_{\max} - b_{\min}) \quad (7)$$

其中, BI_i 为某个因子归一化的像元值, b_i 为某个因子的像元值, $b_{\max}$ 和 $b_{\min}$ 分别为该因子的最大值、最

小值。

(2) 主成分分析降维

将标准化后的 NDVI (植被指数)、Wet (湿度分量)、NDBSI (建筑指数)和 LST (地表温度)四个生态指标作为输入变量，进行主成分分析(PCA)。通过特征值分解提取第一主成分(PC1)，该成分能够最大程度解释原始变量的方差信息，作为初始生态指数 RSEI₀。

$$RSEI_0 = PC1 [f(NDVI, Wet, NDBSI, LST)] \tag{8}$$

(3) 结果归一化

对初始生态指数 RSEI₀ 进行二次标准化处理，使其值域严格限定在[0, 1]范围内。计算公式为：

$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI0_min)/(RSEI0_max - RSEI0_min) \tag{9}$$

式中，RSEI₀_min 和 RSEI₀_max 分别代表研究区域内初始生态指数的最小值和最大值。

(4) 生态质量分级

基于归一化结果，采用等间距划分法将 RSEI 值划分为五个生态等级：0~0.2 为差，0.2~0.4 为较差，0.4~0.6 为一般，0.6~0.8 为良，0.8~1.0 为优。该分级体系可直观反映区域生态环境质量的时空分布特征及其变化趋势。

4. 结果与分析

4.1. 雄安新区生态环境质量概况

为评估雄安新区近十年生态环境质量的整体变化趋势，本次研究使用 ENVI 软件对 2014 年，2017 年，2020 年和 2024 年的原始遥感影像，统计了四个不同时期各分量指标(NDVI、Wet、NDBSI、LST)及其综合指数(RSEI)的均值(表 1)。

Table 1. Statistics of normalized mean values of various indicators in different years
表 1. 不同年份各指数归一化均值统计

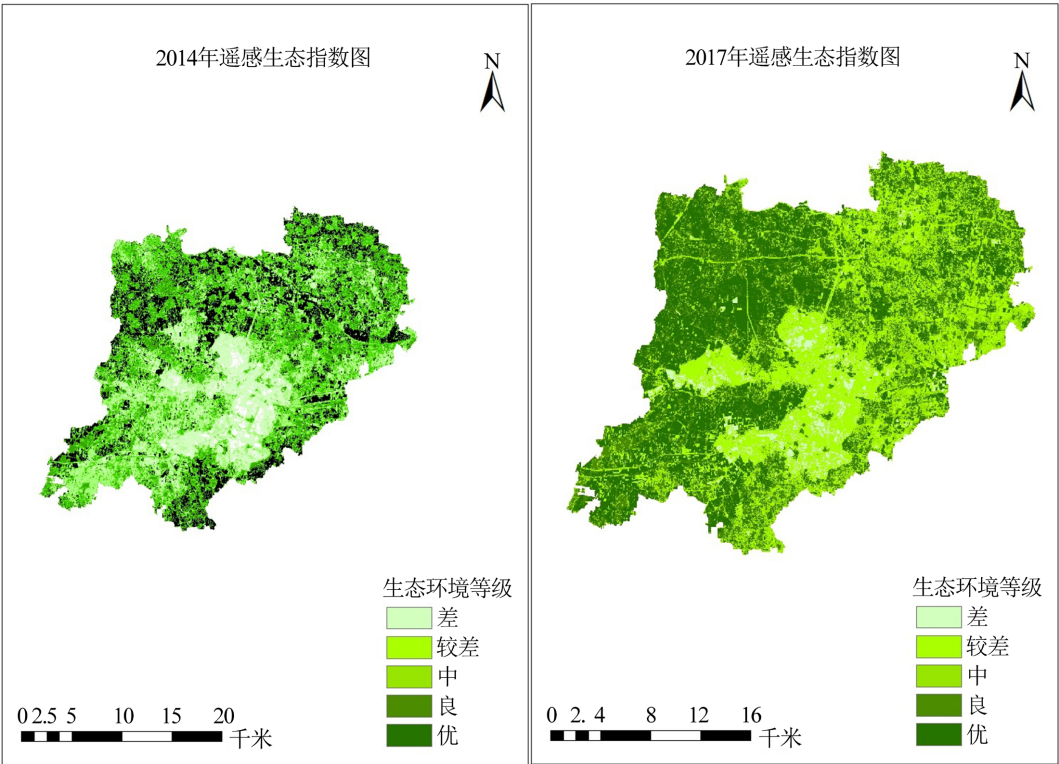
年份	NDVI	WET	NDSI	LST	RSEI
2014	0.410279	0.537066	0.593820	0.485934	0.513713
2017	0.588471	0.566702	0.539102	0.469987	0.416378
2020	0.696407	0.581189	0.653090	0.488691	0.684589
2024	0.703517	0.670341	0.415406	0.390509	0.810390

综合近年来相关官方媒体和政府部门报道，雄安新区的“千年秀林”工程和水系治理是其构建“蓝绿交织、清新明亮、水城共融”生态城市格局的核心举措。“千年秀林”工程自 2017 年启动，始终坚持“先植绿、后建城”的理念，采用异龄、复层、混交的近自然森林模式，累计完成造林 47 万多亩，使新区森林覆盖率从 11%提升至 35%，并运用“智慧秀林”系统进行高效管护，不仅发挥了城市“绿肺”的生态功能，也为发展生态旅游奠定了基础[24][25]。同时，白洋淀水系治理通过科学补水、生态清淤、百淀连通、退耕还淀、严密防洪等五大工程，实现了水质从曾经的劣Ⅳ类以下到连续四年稳定保持在Ⅲ类标准的历史性转变，水位稳定在 7 米左右，野生鱼类恢复至 48 种，野生鸟类增加至 295 种(较新区设立前增加 89 种)，有效恢复了“华北之肾”的生态功能，促进了淀区百姓生态旅游等“美丽经济”的发展[26][27]。这两大工程相辅相成，共同奠定了雄安新区的绿色生态底色，成为了生态文明建设的生动实践。

基于 2014~2024 年 Landsat 8 OLI 影像的 RSEI 分析表明,雄安新区生态指标呈现显著时空分异特征:NDVI(绿度)与 WET(湿度)持续上升,2024 年分别达峰值 0.703517 和 0.670341,印证了“千年秀林”工程和水系治理成效;LST(热度)在 2024 年降至 0.390509,反映建筑节能设计和生态廊道缓解了热岛效应;NDSI(干度)稳定在 0.5 左右,表明城市化与生态修复措施(如土壤覆盖、湿地恢复)处于动态平衡。RSEI 指数在 2014 年达 0.513713,2024 年达到峰值 0.810390,在这十年期间,整体呈现先下降后上升的趋势,2017 年达到最低值 0.4167378,之后迅速上升,这与大规模建设导致的临时性生态扰动相关,但随“绿色发展城市典范”政策推进(如 2030 年生态空间格局规划),长期生态质量有望改善。

4.2. 雄安新区生态环境的时空变化

为雄安新区生态环境等级分布图(如图 1),将 RSEI 分为 5 个等级,图中分为差(0~0.2)、较差(0.2~0.4)、中(0.4~0.6)、良(0.6~0.8)、优(0.8~1.0)五个等级。从图中可以看出,2014 年到 2017 年,雄安新区东北部的生态环境等级变差,西南部的较 2014 年变好,根据上表的 RSEI 指数也可看出 2017 年的生态环境较 2014 年整体变差;2020 年与 2017 年相比,雄安新区整体生态环境等级有了很大的改善,最优的区域集中在西北部;2020 年与 2024 年相比,雄安新区的生态环境质量整体来说较好,RSEI 等级以优和良为主,较好区域面积一直占总面积的 70%以上。从空间角度分析,雄安新区东北部 RSEI 等级有较大差异,RSEI 等级为优和良的区域主要集中在雄安新区南部,不同时段 RSEI 等级的变化有所差异,尤其在东北部变化较为明显,从 2017 年到 2020 年,正在逐步改善,从绿度、湿度、干度和热度四项指标着手,提高 RSEI 指数。2014~2024 十年时间,雄安新区 RSEI 均值分别约为 0.5137、0.4164、0.6846、0.8104,整体呈现先逐年降低再逐年上升的趋势,表明研究区生态质量状况整体呈先恶化后好转的趋势,主要原因是持续推进的城镇化建设对耕地的占用和白洋淀水域面积的锐减。从变化结构分析,研究区内主要先是优、良等级向中等、差等级转变,2017 年之后又从较差、中向良、优转变。



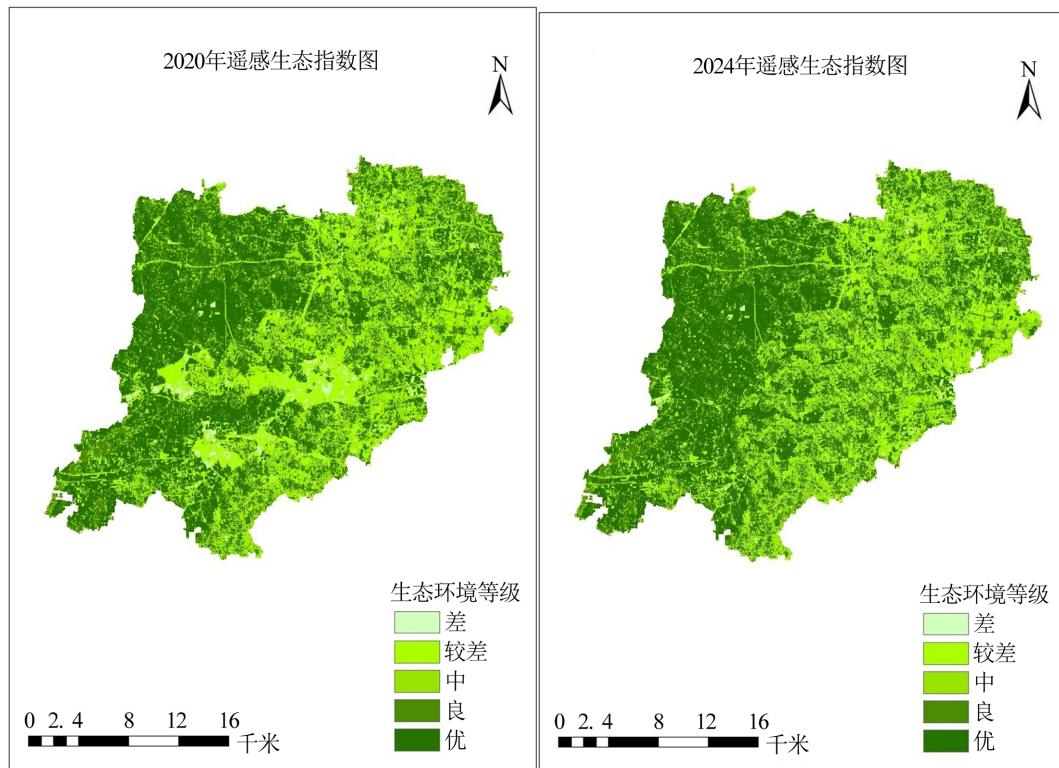


Figure 1. Remote sensing ecological index maps by year
图 1. 各年份遥感生态指数图

在生态质量降低区域，主要是因为建设用地的大面积转入导致其生态环境状比而言，建设用地对生态环境有更大的负面作用；相反地，在 RSEI 值提高的区域，主要是以耕地和水域地类的转入为主，其中耕地转入方式主要是通过建设用地复垦和水域地类转化而来的，水域主要是通过耕地这一地类转入的，耕地和水域的大面积转入使得该区域的地表植被覆盖度大幅度提高，水源涵养功能提高，从而使得区域生态质量得以提高，对区域生态环境起到了积极的正向影响。

5. 结论

1) 生态质量呈“V 型”演变趋势

结合相关研究[28]对雄安新区地表覆盖类型的统计结果，如表 2 所示。本研究监测到的 2014~2024 年间生态环境质量(RSEI)的演变趋势得到了有力的物理解释。RSEI 均值从 2014 年的 0.5137 先降至 2017 年的 0.4164，随后持续回升至 2024 年的 0.8104，这一“先恶化后改善”的态势与新区建设的阶段性特征高度吻合。

初期(2014~2017 年)，大规模城市建设导致建设用地急剧扩张(据文献[28]记载，2017~2020 年间即增加 60 km²)，侵占了大面积植被与耕地(同期减少约 69 km²)，这直接引发了东北部区域生态等级的显著下降与 RSEI 指数的恶化。后期(2017~2024 年)，在基础建设框架初步形成后，新区的生态修复工程效益开始凸显。通过大力实施“千年秀林”工程(累计造林 48.1 万亩)与白洋淀水系综合治理(水质显著提升至 III 类)[28]，不仅有效补偿了植被覆盖损失，水体环境也得到改善(表 2 可见 2017~2020 年间水体面积增加近 9 km²)，共同驱动了西南部及西北部生态质量的显著改善，并最终体现为 RSEI 指数的强势回升。由此可见，雄安新区的生态环境变化是人类建设活动与主动生态干预共同作用的结果。

Table 2. Statistical table of land use type changes in Xiong'an New Area (2017~2020)
表 2. 雄安新区土地利用类型变化情况统计表(2017 年~2020 年)

年份	土地利用类型	建筑用地	植被	水体
2017	面积/km ²	306.32	1195.54	51.03
	占比/%	19.42	75.87	3.23
2020	面积/km ²	366.33	1126.25	59.98
	占比/%	23.22	71.39	3.8
变化情况	面积/km ²	60.01	-69.29	8.95
	变化比例/%	19.59	-5.8	17.54

2) 空间分异特征显著

南北差异：优/良等级区(RSEI > 0.6)主要分布在南部，与白洋淀湿地及新增林地分布吻合；东北部因建设用地集中转入(以占用耕地为主)，生态等级长期偏低。

综上，雄安新区生态演变揭示了高强度开发中“保护 - 建设”平衡的复杂性，其“先降后升”的 RSEI 轨迹为类似新区规划提供了实证参考。未来需持续监测建设用地扩张与生态修复的博弈效应。

6. 不足与展望

本研究使用的四期遥感影像数据均来自 Landsat-8 OLI 传感器，其 30 米的空间分辨率在一定程度上限制了分析精度。未来研究可考虑引入更高分辨率的遥感数据(如 Sentinel-2 或高分系列卫星影像)，通过更精细的解译提升结果准确性，同时通过空间分析或变化矩阵等方法，将 RSEI 的时空变化与具体的土地利用转型进行定量关联分析。

在当前生态环境监测技术背景下，遥感生态指数凭借其多源遥感数据融合能力，成为雄安新区生态评估的重要工具。该区域作为国家级新区，其快速城市化进程对生态系统的压力显著，而 RSEI 通过整合绿度、湿度、干度、热度等指标，可量化评估植被恢复、热岛效应等变化。未来，结合更高分辨率数据与机器学习算法(如随机森林优化权重)，有望提升动态监测精度，加密时间序列(如逐年或每两年一期)，并适当扩展研究时段，以更全面地反映城市化进程中的生态演变规律为雄安新区生态规划提供更科学的决策支持。

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, 26(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.

[3] Geng, J., Yu, K., Xie, Z., Zhao, G., Ai, J., Yang, L., et al. (2022) Analysis of Spatiotemporal Variation and Drivers of Ecological Quality in Fuzhou Based on RSEI. *Remote Sensing*, **14**, Article 4900. <https://doi.org/10.3390/rs14194900>

[4] 潘明慧, 袁轶男, 王亚蕾, 等. 基于 RSEI 的福州旗山国家森林公园生态环境质量变化研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2020, 51(1): 57-63.

[5] 范雅慧, 刘英, 衡文静, 等. 基于遥感生态指数的神东矿区 1990-2022 年煤炭开采对生态环境的影响分析[J]. 绿色矿山, 2024, 2(1): 41-53.

[6] Jing, Y., Zhang, F., He, Y., Kung, H., Johnson, V.C. and Arikea, M. (2020) Assessment of Spatial and Temporal Variation of Ecological Environment Quality in Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve, Xinjiang, China. *Ecological Indicators*, **110**, Article 105874. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105874>

[7] 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.

[8] 李应鑫, 李石华, 彭双云. 云南省九大高原湖泊流域 NDVI 时空演变及其与气候的响应关系[J]. 水土保持研究,

- 2020, 27(4): 192-200.
- [9] 温旭丁, 罗赵慧, 符良刚. 气候与土地利用变化对粤港澳大湾区增强型植被指数时空变化影响[J]. 生态科学, 2023, 42(6): 222-232.
- [10] 伍明飞, 林杰. 基于 Landsat 影像的杭州市主城区地表温度和热岛效应研究[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(24): 10812-10817.
- [11] 徐尚昭, 陈斌, 周阳阳, 等. 矿区植被覆盖度时空变化遥感监测研究——以广东省大宝山矿区为例[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(5): 46-50.
- [12] 傅楷翔, 贾国栋, 余新晓, 等. 基于改进遥感生态指数的吐鲁番-哈密地区生态环境质量评价及驱动机制分析[J]. 生态学报, 2024, 44(9): 3911-3923.
- [13] 邓文慧, 温小乐, 徐涵秋, 等. 新区开发建设及其生态效应——以雄安新区为例[J]. 生态学报, 2023, 43(1): 263-273.
- [14] 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.
- [15] 王妍妍, 刘斌, 韩健, 等. 2013-2022 年承德市生态环境质量遥感评价[J]. 华北地质, 2024, 47(4): 47-56.
- [16] 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.
- [17] 王丽春. 玛纳斯湖湿地生态环境变化研究[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2019.
- [18] 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**, 1741-1748.
- [19] 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]: [硕士学位论文]. 抚州: 东华理工大学, 2017.
- [20] RiRikimar, A., Roy, P.S. and Miyatake, S. (2002) Tropical Forest Cover Density Mapping. *Tropical Ecology*, **43**, 39-47.
- [21] Xu, H. (2008) A New Index for Delineating Built-Up Land Features in Satellite Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, **29**, 4269-4276. <https://doi.org/10.1080/01431160802039957>
- [22] Chander, G., Markham, B.L. and Helder, D.L. (2009) Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. *Remote Sensing of Environment*, **113**, 893-903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- [23] NASA (2012) Landsat 7 Science Data Users Handbook.
- [24] Nichol, J. (2005) Remote Sensing of Urban Heat Islands by Day and Night. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **71**, 613-621. <https://doi.org/10.14358/pers.71.5.613>
- [25] 河北日报. 高标准高质量建设雄安新区③ 千年秀林铺染千年大计秀美底色[EB/OL]. 2025-04-02. <https://hbepb.hebei.gov.cn/hbhjt/xwzx/meitibobao/101739355734086.html>, 2025-07-13.
- [26] 河北日报. 高标准高质量推进雄安新区建设特别报道·春到雄安 | 生态如画[EB/OL]. 2025-04-01. <https://hbxw.hebnews.cn/news/521970.html>, 2025-07-13.
- [27] 澎湃新闻·澎湃号·政务. 今日雄安, 一湖碧水映照生态答卷[EB/OL]. 2025-03-29. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_30523815, 2025-07-13.
- [28] 人民网. 今日雄安, 一湖碧水映照生态答卷——雄安八周年系列评论③ [EB/OL]. 2025-03-27. <https://hbepb.hebei.gov.cn/hbhjt/xwzx/meitibobao/101739355733207.html>, 2025-07-13.