

蔡惠文,董立凡,周孟樵,等. 基于遥感生态指数的高陵区生态环境质量评估[J]. 陕西气象,2026(2):70-77.

文章编号:1006-4354(2026)02-0070-08

基于遥感生态指数的高陵区生态环境质量评估

蔡惠文^{1,2},董立凡³,周孟樵⁴,金丽娜⁴,薛文华⁴,杨睿⁴

(1. 高陵区气象局,陕西高陵 710200;

2. 中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放实验室,西安 710016;

3. 咸阳市气象局,陕西咸阳 712000;4. 西安市气象局,西安 710016)

摘要:基于长时序 Landsat 系列卫星遥感影像,计算绿度、湿度、干度及热度指标,构建遥感生态指数(remote sensing based ecological index,RSEI),定量评估了高陵区 2013—2024 年生态环境质量时空变化。结果表明:高陵区 RSEI 均值从 2013 年的 0.570 增加至 2024 年的 0.632,增幅 10.8%。生态环境质量优良区主要分布于西北和偏东部地区(农田与湿地区域),较差区域集中在西南部工业与建筑用地区域以及东北偏中部的主城区。2013—2024 年影响高陵区 RSEI 的分指标植被指数(normalized difference vegetation dex,NDVI)、湿度指数(wetness component of the tasseled cap transformation,WET)和建筑-裸土指数(normalized difference built-up and soil index,NDBSI)均呈减小趋势,地表温度(land surface temperature,LST)呈微弱增大趋势,NDBSI 显著下降(下降速率分别为 NDVI 和 WET 的 4.6 倍和 1.1 倍)是生态质量向好的主要原因。高陵区生态环境质量在降水增加和气温升高的气候因子与人类活动共同驱动下整体呈改善趋势,但局部仍存在退化现象,需进一步加强土地利用规划与农田、湿地资源保护,以协调经济发展与生态平衡。

关键词:Landsat 卫星;遥感生态指数;生态环境质量;高陵区

中图分类号:X87

文献标识码:A

生态环境是人类生存和社会发展的基础,对生态环境质量进行监测与评价,掌握其状况和变化趋势,有利于协调区域社会经济发展与生态环境保护的关系^[1]。遥感技术具有时效性高、覆盖范围广、信息丰富等优势,因此遥感数据已被广泛应用于生态环境监测与评价。目前,国内常用的生态环境质量评价方法包括 EI 指数^[2]、压力-状态-响应(pressure-state-response,PSR)模型^[3]、遥感生态指数分析等^[4]。遥感生态指数(remote sensing ecological index,RSEI)^[5]是通过

对绿度、湿度、干度、热度 4 个关键生态指标进行主成分分析,得到无量纲的、能够综合反映区域生态环境状况的遥感监测指数,该指数能够直观、全面、精确地揭示区域生态环境的空间分布格局和时空演变规律,因而被广泛应用于区域生态环境质量评估^[6-9]。

随着我国生态文明建设的深入推进,统筹高质量发展与高水平环境保护已成为国家战略的重点。西安国家中心城市建设等重大战略的实施,对区域生态环境质量提出了更高要求。高陵区位

于西安市渭河两岸,是关中平原重要的生态节点和“菜篮子”基地,也是西安市“北跨”发展战略的主要承载地。在推进制造业发展、城市空间结构优化和综合能级提升的过程中,高陵区不仅面临

收稿日期:2025-06-05

作者简介:蔡惠文(1988—),女,汉族,陕西西安人,硕士,副高级工程师,主要从事气象服务与应用气象研究工作。

通信作者:董立凡(1991—),男,汉族,陕西西安人,硕士,工程师,主要从事应用气象方向研究工作。

基金项目:秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2023Y-11);西安市气象局 2025—2026 年度自立科研项目(2025-07)

着产业集聚、人口增长与城市扩展带来的资源压力,生态环境与经济社会协调发展同样面临严峻挑战。城市生态空间被挤占、水环境质量波动等问题对生态系统结构和功能稳定性构成潜在威胁。尽管国内外学者已就关中及西安地区的生态问题开展大量研究,但对高陵区开展多维度、长时序的系统性生态环境质量综合评价仍较为缺乏。本研究基于长时序 Landsat 系列卫星遥感影像,构建 RSEI 指数,分析高陵区生态环境变化趋势及驱动机制,以期为区域生态保护与修复、资源合理利用提供科学依据。

1 研究区域概况

高陵区位于陕西省西安市北部(108°56'16"~109°11'15"E, 34°25'00"~34°37'30"N),区内辖7个街道,东西长20.5 km,南北宽19.4 km,总面积294 km²,全境自西北微向东南倾斜,海拔357.5~414.0 m,相对高差56.5 m。属暖温带半湿润大陆性季风气候,冷暖干湿四季分明。年平均气温14.1℃,年降水量506.9 mm,年日照时数2 068.9 h,年平均风速1.9 m/s,年主导风向为东北偏东风。近10 a高陵区生态环境质量发展呈现显著改善趋势,通过系统治理与生态修复,逐步实现了从工业扩张到绿色转型的跨越发展^[10-11]。

2 资料来源与研究方法

2.1 资料来源与处理

研究所用遥感影像来源于国家地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>),采用2013—2021年Landsat 8影像及2022—2024年Landsat 9影像,空间分辨率均为30 m。2022年后由于同期Landsat 8影像云量较高,难以满足分析需求,故使用Landsat 9影像资料。美国地质调查局(united states geological survey, USGS)及相关研究指出Landsat 8与Landsat 9的地表反射率产品具有良好的一致性,可相互替代用于时序分析^[12-14]。选择每年8—9月影像,该时期处于植被生长季,有利于反映植被季节性特征。覆盖研究区的影像轨道号为127/36,获取日期与云量信息见表1。研究中所有影像均按研究区矢量边界完成裁剪,得到的影像数据云量较低,且时间集中于每年相近物候期,确保时序分析结果的可比性。

表1 遥感影像获取时间及云量

获取时间	云量/%	获取时间	云量/%
2013-09-13	0.1	2019-08-31	2.1
2014-08-15	9.1	2020-08-31	34.9
2015-08-27	5.7	2021-08-20	5.4
2016-08-20	52.3	2022-08-13	8.1
2017-08-23	6.6	2023-08-16	11.6
2018-08-26	37.8	2024-09-03	30.2

将遥感影像在ENVI5.3软件中进行辐射定标,再利用FLAASH模型进行大气校正,消除大气吸收和散射造成的误差^[15],用ArcGIS软件计算绿度、干度、湿度、热度,构建RSEI。

高陵区地表覆盖以农用地、建设用地和自然保护用地为主^[16],生态环境变化主要受政策和规划调控主导,呈渐进式长期演变特征。为有效捕捉区域中长期演变趋势,参考已开展的长期(≥10 a)生态环境评估研究^[17-23],采用2013年(初期)、2019年(中期)和2024年(末期)三个时间节点对比分析RSEI长期变化趋势。

2.2 遥感生态指数模型

按年提取与生态环境密切相关的绿度、干度、湿度、热度4个分量评价指标,为使4个指标具有统一的量纲,先进行归一化处理再采用主成分分析法构建高陵区遥感生态指数,定量评价区域生态环境质量。选取2013、2019和2024年三个年份进行RSEI的对比,以呈现研究区生态环境质量空间格局与等级差异的总体演变趋势。对2013—2024年逐年绿度、干度、湿度、热度四个分指标进行相互关系分析,进一步识别生态环境质量变化的主导驱动因子。

2.2.1 绿度指数 用归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)来表示绿度指数,NDVI是反映植被覆盖程度的指标,数值范围在-1~1之间,数值越高,表示地表覆盖的植被越茂盛;数值越低,则表示植被覆盖度越低。公式如下:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_r}{\rho_{nir} + \rho_r}, \quad (1)$$

式中 ρ_{nir} 、 ρ_r 分别为Landsat遥感影像近红外和红光的波段反射率。

2.2.2 湿度指数 用归一化湿度分量 WET 来表示湿度指数, WET 用来衡量土壤和植被的含水量,通过缨帽变换计算得到,公式如下。

$$WET = C_1 \rho_b + C_2 \rho_g + C_3 \rho_r + C_4 \rho_{nir} + C_5 \rho_{swir1} + C_6 \rho_{swir2}, \quad (2)$$

式中 ρ_b 、 ρ_g 、 ρ_r 、 ρ_{nir} 、 ρ_{swir1} 、 ρ_{swir2} 分别对应蓝光、绿光、红光、近红外、短波红外 1、短波红外 2 的波段反射率。Landsat 卫星 OLI 传感器参数数据 $C_1 = 0.1511$, $C_2 = 0.1973$, $C_3 = 0.3283$, $C_4 = 0.3407$, $C_5 = 0.7117$, $C_6 = 0.4559$ 。

2.2.3 干度指数 研究区地表包含建筑用地和部分裸土,因此用裸土指数(soil index, SI)和建筑指数(index-based indicator, IBI)的合成值作为建筑裸土指数,用来表示干度指数。公式如下。

$$NDBSI = \frac{SI + IBI}{2}, \quad (3)$$

$$SI = \frac{[(\rho_{swir} + \rho_r) - (\rho_{nir} + \rho_b)]}{[(\rho_{nir} + \rho_b) + (\rho_{swir} + \rho_r)]}, \quad (4)$$

$$IBI = \frac{2 \frac{\rho_{swir}}{(\rho_{swir} + \rho_{nir})} - (\frac{\rho_{nir}}{\rho_{nir} + \rho_r} + \frac{\rho_g}{\rho_g + \rho_{swir}})}{2 \frac{\rho_{swir}}{(\rho_{swir} + \rho_{nir})} + (\frac{\rho_{nir}}{\rho_{nir} + \rho_r} + \frac{\rho_g}{\rho_g + \rho_{swir}})}. \quad (5)$$

2.2.4 热度指数 地表温度(land surface temperature, LST)与植被生长、地表水循环和水汽蒸发等有着密切联系,可用来表示热度指数。地表温度的反演可以通过多种算法利用热红外波段来实现^[24]。采用 Landsat C2L2 数据集已经反演好的地表温度产品 B_{10} , 该产品单位为 K, 根据 USGS 提供的缩放系数和偏移量,通过公式转化为 $^{\circ}C$,公式如下:

$$LST = T_{10} \times 0.00341802 + 149 - 273.15. \quad (6)$$

T_{10} 表示地表在 $10.9 \mu m$ 波长附近的热红外辐射能量经大气校正后转换的物理量,单位为 K,系数为缩放系数和偏移量。

2.3 气候因子与生态指标的关联性分析

皮尔逊相关系数(R)^[25]是研究变量之间线性相关程度的量,可用来对 NDVI 与降水量以及 LST 与气温进行两两相关性分析,研究气候变化因子与生态环境指标间的驱动关系。公式如下:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}. \quad (7)$$

X_i 、 Y_i 分别为第 i 个样本的 X 和 Y 的值。相关系数 R 的取值范围从 $-1 \sim 1$, 接近 1 表示正相关,接近 -1 表示负相关。

3 生态质量变化分析

3.1 生态质量时空分布及变化

采用主成分分析法,对第一主成分 PC1 进行标准化计算得到高陵区生态指数 RSEI 图(图 1), 统计研究区 2013、2019、2024 年 RSEI 均值和 4 个分指标均值及其对 PC1 荷载值(表 2)。从表 2 可以看出,高陵区 2013、2019、2024 年 RSEI 均值分别为 0.57、0.64、0.63, 2013—2024 年 RSEI 均值总体增长 10.80%, 其中 2013—2019 年增长 12.14%, 2019—2024 年略降 1.17%, 表明该地区生态环境呈现逐渐改善的趋势。从空间看(图 1), 生态环境质量优良区主要分布在西北部及偏东部, 较差区位于西南部、东北偏中部及东南部。计算得到 2024 年各街办 RSEI 值分别为: 鹿苑 0.68、张卜 0.75、通远 0.69、耿镇 0.61、泾渭 0.55、

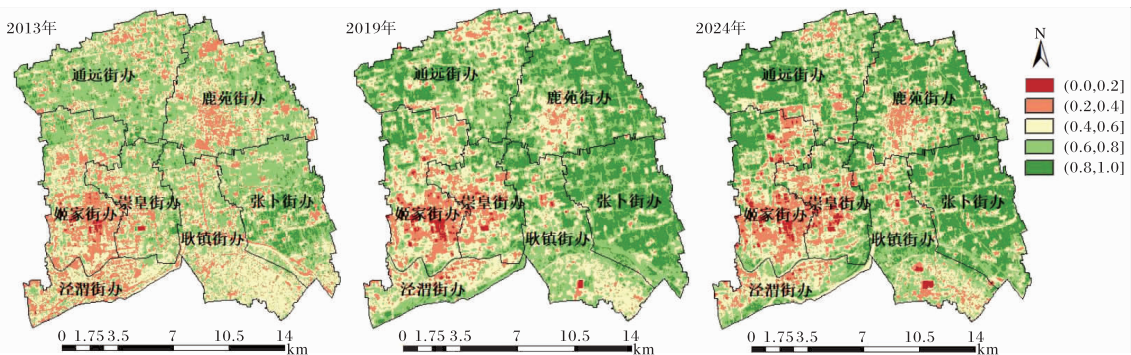


图 1 高陵区 2013、2019、2024 年生态环境等级空间分布图(审图号 GS(2019)1822)

崇皇 0.54、姬家街道 0.51,与城市功能布局一致:西南部(泾渭、崇皇、姬家街道)为工业与建设用地,东北偏中部(鹿苑街道)为主城区,多居民建筑;其余区域(张卜、通远、耿镇街道)分布农田用地与湿地。

从高陵区 2013、2019、2024 年主成分分析(表 2)可以看出,3 个年份的 PC1 特征值贡献率分别为 81.27%、75.75%、79.95%,均高于 75.0%,表明 PC1 可有效代表四个指标信息,可以真实反映高陵区生态环境状况。3 个年份的 PC1 中,

NDVI 和 WET 的特征向量均为正,表明绿度和湿度对研究区生态环境起到正面影响;NDBSI 和 LST 的特征向量均为负,表明干度和热度起到负面影响,符合实际。对比 4 个指标对 PC1 荷载值的绝对值,发现 2013、2024 年 NDVI、建筑—裸土指数(normalized difference built-up and soil index, NDBSI)绝对值均高于 LST、WET 绝对值,2019 年 NDVI、LST 绝对值均高于 NDBSI、WET 绝对值,表明高陵区 NDVI、NDBSI 对 RSEI 变化影响更大。

表 2 高陵区 2013、2019、2024 年各指标归一化均值和主成分分析

年份	指标					
	主成分	NDVI	WET	NDBSI	LST	RSEI
2013	均值	0.69	0.79	0.46	0.47	
	特征值贡献率	81.27	12.50	5.68	0.54	0.57
	对 PC1 荷载值	0.72	0.16	-0.64	-0.21	
2019	均值	0.69	0.66	0.28	0.38	
	特征值贡献率	75.75	20.25	3.97	0.01	0.64
	对 PC1 荷载值	0.61	0.15	-0.01	-0.78	
2024	均值	0.65	0.62	0.33	0.38	
	特征值贡献率	79.95	16.19	4.86	0.01	0.63
	对 PC1 荷载值	0.75	0.19	-0.64	-0.01	

进一步分析四个指标的变化趋势,2013—2019 年对 RSEI 呈正面影响的 NDVI 和 WET 分别下降了 0.09% 和 15.60%,而呈负面影响的 NDBSI 和 LST 则分别下降了 39.75% 和 20.50%。负面影响因子的下降幅度是正面影响因子的 1.5 倍以上,这种变化共同促使 RSEI 均值出现一定幅度上升;2019—2024 年间,正面影响因子 NDVI 和 WET 继续下降,降幅分别为 0.05%、6.40%,而负面影响因子 NDBSI 和 LST 则分别上升 17.70%、0.08%,导致 RSEI 均值的增幅略有降低。整体上,2013—2024 年,四项指标因子均呈下降趋势,且负面影响因子的下降幅度大于正面影响因子。

3.2 生态质量变化分析

按照《生态环境评价技术规范》对研究区生态环境质量进行分类,将 RSEI 以 0.2 为间隔划分为

5 个等级^[26](表 3),并统计各等级面积比例(表 4)。从表 4 可以看出:2013 年,良等级面积占比最大,为 40.84%;差等级次之,占比 34.25%;优和一般等级面积占比较小,分别为 0.62%、6.70%。2019 年较差等级面积占比最高,为 36.68%,其次是良和差等级占比分别为 26.93%、24.88%。2024 年较差等级面积占比最大,为 29.36%;较差和一般等级面积占比分别为 27.30% 和 26.15%。2013—2024 年,良和差等级面积占比分别下降了 61.63%、14.28%,优、一般和较差等级面积占比分别增长 1.46 倍、2.90 倍和 0.56 倍。生态等级变好、不变和变差的面积分别为 184.12 km²、74.30 km² 和 29.24 km²,所占比例分别为 64.78%、25.27% 和 9.85%。研究区差和较差等级面积占比较大,均超过 50.00%,可能与当地经济建设活动增多导致农业用地向建

设用地转变、工业用地表面占比变多有关。2013—2024年,高陵区虽然优等级的生态环境质量面积占

比较少,但等级变好面积超过 60.00%,表明区域生态环境质量状况整体向好发展。

表 3 遥感生态指数等级划分表

指数范围	级别	描述
(0.0,0.2]	差	植被覆盖度低,环境恶劣,土壤干化,岩石裸露,人类生活受限
(0.2,0.4]	较差	植被覆盖度较低,土壤较干,裸土地较多,雨量较少,物种较少,人类生活受限
(0.4,0.6]	一般	植被覆盖度中等,较适合人类生活,雨量适中,土壤湿度中等
(0.6,0.8]	良	植被覆盖度较高,气候适宜,环境良好,生物量丰富,适合人类居住
(0.8,1.0]	优	植被覆盖度高,气候适宜,生物多样性丰富,生态环境稳定,极适合生物生存

表 4 高陵区 2013、2019、2024 年各等级生态环境指数面积和比例

RSEI 等级	2013 年		2019 年		2024 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
差	100.70	34.25	73.16	24.88	86.31	29.36
较差	51.70	17.59	107.85	36.68	80.25	27.30
一般	19.72	6.70	30.56	10.40	76.89	26.15
良	120.06	40.84	79.17	26.93	46.07	15.67
优	1.82	0.62	3.26	0.77	4.48	1.52
合计	294.00	100.00	294.00	100.00	294.00	100.00

由 2013—2024 年高陵区 RSEI 变化(图 2)可以看出,生态环境改善的区域主要位于西北部的农田区(通远街道),受城市发展影响较小,生态环境质量持续改善。生态环境变差的区域主要集中在工业密集区(西南部姬家、崇皇街道),生态环境质量常年较差且呈持续退化趋势。东北偏中的主

城区鹿苑街道以及位于东南部多农业用地的张卜、耿镇街道的生态环境质量在转好—略变差之间波动。高陵区生态环境质量整体向好,但局部退化明显,若要持续改善生态环境状况,需加强土地资源规划^[27](如控制建设用地扩张)、保护农田与湿地资源,协调经济发展与生态保护。

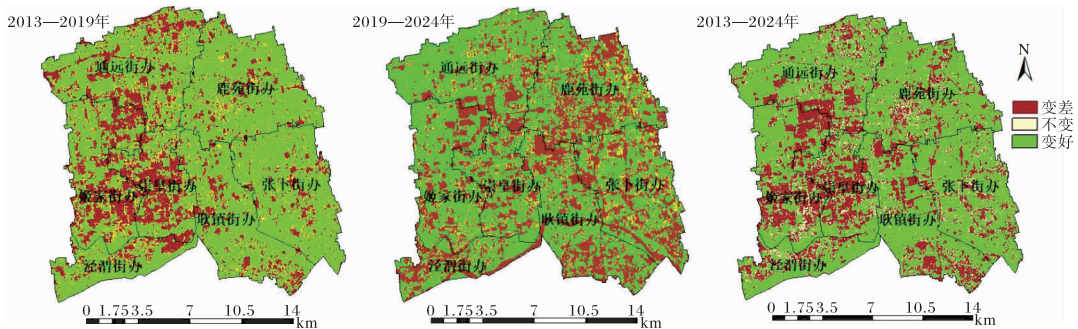


图 2 2013—2024 年高陵区 RSEI 变化图

3.3 RSEI 分指标的变化特征及其相互关系分析 为进一步探讨高陵区生态环境质量的变化原因及未来趋势,对 RSEI 各指标变化趋势展开分

析,2013—2024 年高陵区 RSEI 各分指数逐年变化趋势(图 3)为:NDVI、WET、NDBSI 分别以 0.002 2/a、0.009 4/a、0.010 2/a 的速率减小,

LST以 $0.0004/a$ 的速率增加。上述变化表明,在研究时段内,研究区植被覆盖度略有下降,水分条件有所减弱,地表温度略有升高,但裸土地面的扩张及地表退化状况(以NDBSI表示)得到一定抑制。值得注意的是,NDBSI作为RSEI的负向指标,其减小速率显著高于正向指标NDVI和WET的减小速率,分别为NDVI和WET减小速率的4.6倍和1.1倍。由于NDBSI对RSEI具有负向贡献,其显著下降反映干度胁迫的缓解是推动RSEI上升的主导因素。尽管NDVI和WET的降低可能对生态质量产生一定的不利影响,但作为关键负向因子,NDBSI的大幅度改善在RSEI的综合计算中起到关键作用,促使高陵区整体生态环境质量呈改善趋势。

生态环境质量受气候变化与人类活动共同影响^[28],为进一步识别其相互关系,对研究区域的月降水量与NDVI、气温数据与LST进行相关性

分析,揭示水分条件对植被长势的影响及气温对地表热环境的驱动作用(图3)。分析表明,2013—2024年,研究区年降水量以 2.1182 mm/a 的速率呈显著增加趋势。然而,逐年NDVI与年降水量、春季及夏季降水量均呈负相关关系,仅与8月降水量呈弱正相关,相关系数为0.2。这种异常的相关特性可能源于三个方面:一是研究区以夏玉米为主要作物,其生长依赖人工灌溉,自然降水对作物长势的影响被削弱;二是区域内乔木、灌木因根系较深或抗旱性较强,对降水响应不明显;三是城市化进程中土地利用(如耕地、绿地转为建设用地)变化削弱了植被与降水的自然关联。同时,2013—2024年8月高陵区平均气温以 $0.0276\text{ }^\circ\text{C/a}$ 的速率上升,气温升高通过增强地表长波辐射,导致LST呈微弱上升趋势。气候因素与人类活动的交互作用共同塑造了高陵区生态环境的演变格局。

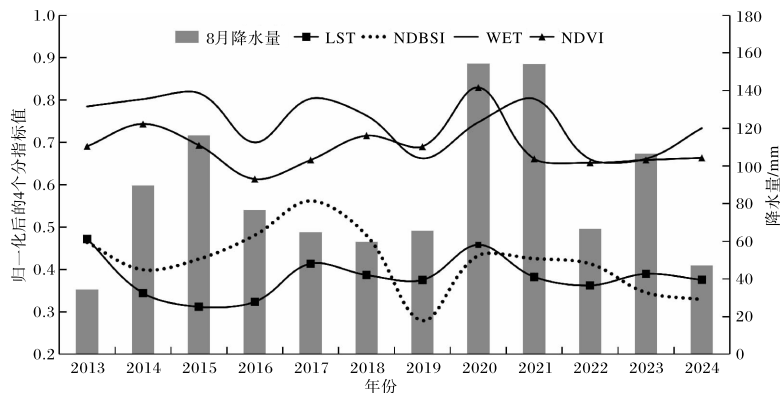


图3 2013—2024年高陵区归一化的RSEI各分指数及8月降水量逐年变化趋势图

4 结论

(1)2013—2024年,高陵区RSEI均值增长10.80%,生态环境质量总体改善。影响高陵区RSEI的指标NDVI、WET、NDBSI分别以 $-0.0022/a$ 、 $-0.0094/a$ 、 $-0.0102/a$ 的速率呈减小趋势,LST微弱上升趋势($0.0004/a$)。NDVI和WET的下降给高陵区生态环境质量带来一定的负面影响,但NDBSI的大幅改善主导了区域生态质量向好的发展趋势,表明高陵区在土地退化防治方面取得一定成效。

(2)空间分布上,生态环境质量优良区主要集中于西北部和偏东部地区(农田、湿地分布区),较

差区位于西南部(工业/建筑用地)和东北偏中部主城区。生态质量转好区域面积占比64.78%,优和一般等级面积显著增加,但差和较差等级仍占主导($>50\%$),西南部生态质量持续退化,主城区和东南部主要农业区及西北部整体改善,反映局部区域生态质量波动变化。

本研究采用RSEI模型,揭示了2013—2024年西安市高陵区生态环境质量总体改善与局部退化并存的时空演变格局,为区域生态保护与可持续发展提供了一定参考。研究发现,NDBSI的大幅下降是驱动生态质量向好的主导因素,反映了高陵区在城市扩张与生态治理过程中的成效。然

而,本文仍存在以下局限。首先,研究采用的时间断面“切片式”监测虽能勾勒长期趋势,但掩盖了年际动态过程,难以精准识别生态质量的突变节点及其驱动事件。未来研究,可利用现有 Landsat 数据档案,构建 2013—2024 年逐年 RSEI 数据集,精细化识别生态质量变化。其次,驱动力分析在归因上尚显笼统,未能分离自然与人为因素的复杂交互作用,下一步研究中可引入土地利用矩阵,定量分析生态环境质量变化的驱动机制问题。

参考文献:

- [1] 韩正芳,袁瑛,李博. 试论生态环境与气候变化对我国西部经济社会的影响[J]. 陕西气象,2010(3):27-29.
- [2] 周满迷. 东莞市生态环境状况遥感评价研究[D]. 广州:华南农业大学,2018.
- [3] 胡雅平,王春玲,陈小平等. 基于景观格局分析的太原市生态系统健康评价[J]. 湖北农业科学,2025,64(3):66-73.
- [4] 周辉. 陕北地区生态环境质量评价[J]. 陕西气象,2007(6):34-37.
- [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] 胡洋,高伟,杨杰. 基于多时相遥感影像的天津市中心城区生态环境质量评价[J]. 大气与环境光学学报,2023,18(2):168-180.
- [7] 周振宏,汤伟宏,刘东义,等. 基于改进的遥感生态指数的合肥市生态环境质量评价[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版),2023,46(2):218-227.
- [8] 张浩,杜培军,罗洁琼,等. 基于遥感生态指数的南京市生态变化分析[J]. 地理空间信息,2017,15(2):58-62.
- [9] 姚闯,赵海燕,任玉欢,等. 基于遥感生态指数分析太原市城市生态环境质量变化[J]. 气象与环境科学,2024,47(6):85-91.
- [10] 西安市高陵区地方志编纂中心. 高陵年鉴[M]. 西安:世界图书出版公司,2023:32-33.
- [11] 西安市统计局. 2013 西安统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2013.
- [12] SAYLER K. Landsat 9(L9) Data Users Handbook[EB/OL]. [2026-01-08]. <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/paladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-2082-L9-Data-Users-Handbook-v1.pdf>.
- [13] NICLÒS R, PERELLÓ M, PUCHADES J, et al. Evaluating Landsat-9 TIRS-2 calibrations and land surface temperature retrievals against ground measurements using multi-instrument spatial and temporal sampling along transects[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2023,125:103576.
- [14] XU H Q, REN M J, YANG L J. Evaluating the consistency of surface brightness, greenness, and wetness observations between Landsat-8 OLI and Landsat-9 OLI2 through underfly images[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2023,124:103488.
- [15] CHANDER G, MARKHAM B L, HELDER D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors[J]. Remote Sensing of Environment,2009,113(5):893-903.
- [16] 刘媛媛,王天琪. 高陵区国土空间规划用地分析:以 2009—2019 年为例[J]. 农业与技术,2022,42(8):66-68.
- [17] 孙永康. 基于遥感生态指数的达州市生态环境质量评估[J]. 地矿测绘,2023,39(1):7-12.
- [18] 莫嘉怡,许贵林. 基于植被覆盖度的梧州市龙圩区生态环境质量评估[J]. 大众科技,2023,25(1):40-44.
- [19] 杨鸿魁,杨明新,朱兴明,等. 干旱区湿地生态环境质量评估及驱动力分析——以苏干湖湿地为例[J]. 湿地科学,2025,23(3):458-472.
- [20] 李文艳,兰安军,范泽孟,等. 黔中城市生态功能区生态环境质量动态评估及其驱动因素分析[J]. 地球物理学进展,2024,39(5):1749-1762.
- [21] 向万淋,姬翠翠,周伟. 2000—2020 年三峡库区生态环境质量综合评估[J]. 环境污染与防治,2024,46(1):99-103.
- [22] 权文婷,张树誉,刘艳,等. 基于遥感生态指数的陕西省东庄水库流域生态环境变化监测与评价[J]. 水土保持通报,2022,42(5):96-104.
- [23] 赵敏. 生态文明视角下崇明生态环境状况评估[J]. 环境与可持续发展,2019,44(1):48-52.
- [24] 王娟敏,孙娴,毛明策,等. 西安市城市热岛效应

- 卫星遥感分析[J]. 陕西气象, 2011(3): 23-25.
- [25] ZHOU H M, DENG Z H, XIA Y Q, et al. A new sampling method in particle filter based on pearson correlation coefficient [J]. Neurocomputing, 2016, 216: 208-215.
- [26] 黄锦彦, 孙天成, 马梓程, 等. 基于多时相遥感生态指数的大悟县生态环境质量评估[J]. 能源与环保, 2022, 44(8): 57-63.
- [27] 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.
- [28] 王宇白, 耿佳, 周宇宇, 等. 中国北方地区生态环境质量时空变化及其对气候变化与人类活动的响应[J]. 测绘通报, 2022(8): 14-21.