

基于 RSEI 模型的砒砂岩区生态环境质量演变研究

刘林甫¹, 盛艳^{1,2}, 秦富仓^{1,2}, 李龙^{1,2}, 李艳¹

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院 内蒙古 呼和浩特 010018;

2.荒漠生态系统保护与修复国家林业和草原局重点实验室 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要: [目的] 探究砒砂岩区生态环境质量状况,为当地生态环境治理工作提供科学依据。[方法] 基于 GIS 和 RS 技术,利用遥感生态指数 RSEI 模型,分析砒砂岩区 2001—2020 年生态环境质量时空演变。[结果] ①基于砒砂岩区 4 期影像数据提取的遥感生态指数 RSEI 呈现先下降后上升的趋势,表明生态环境质量在缓慢改善;②绿度生态指标与湿度生态指标对砒砂岩区生态环境质量起正向作用,干度生态指标与热度生态指标会起到负面作用,并且绿度生态指标对生态环境质量改善的贡献率更高;③在 2001—2020 年间,生态环境质量改善区域占到研究区总面积的 36.79%;生态环境质量恶化区域占 15.68%,多为轻度退化。[结论] 砒砂岩区 2001—2020 年间生态环境质量总体呈现出上升趋势,且生态环境质量对人为活动高度敏感,因此在改善生态环境的同时还需融入生态保护理念,做到人与自然和谐共生。

关键词: RSEI 生态指数;生态环境质量;主成分分析;砒砂岩区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)01-0233-07

中图分类号: F301.23

文献参数: 刘林甫, 盛艳, 秦富仓, 等. 基于 RSEI 模型的砒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. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.01.031; Liu Linfu, Sheng Yan, Qin Fucang, et al. Evolution of ecological environmental quality in feldspathic sandstone area based on RSEI model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 233-239.

Evolution of Ecological Environmental Quality in Feldspathic Sandstone Area Based on RSEI Model

Liu Linfu¹, Sheng Yan^{1,2}, Qin Fucang^{1,2}, Li Long^{1,2}, Li Yan¹

(1. Desert Science and Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University,

Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. Key Laboratory of National Forestry and Grassland

Administration on Desert Ecosystem Conservation and Restoration, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

Abstract: [Objective] The ecological environmental quality of a feldspathic sandstone area was investigated in order to provide a scientific basis for local ecological environmental management. [Methods] The spatial-temporal evolution of ecological environmental quality in a feldspathic sandstone area was analyzed using GIS and remote sensing technology, and a remote sensing ecological index (RSEI) model. [Results] ① RSEI extracted from the four-stage imaged data of a feldspathic sandstone area showed a trend of initially decreasing and then increasing, indicating that the ecological environmental quality was slowly improving. ② Greenness ecological index and humidity ecological index were positively related to ecological environmental quality in a feldspathic sandstone area, while dryness ecological index and heat ecological index were negatively related. Greenness ecological index had a higher contribution rate to ecological environmental quality improvement. ③ From 2001 to 2020, 36.79% of the total study area improved in ecological environmental quality. Over that same period, 15.68% of the total area deteriorated in ecological environmental quality, and the ecological degradation area was mostly classified as mild degradation. [Conclusion] The ecological environmental

收稿日期: 2021-08-02

修回日期: 2021-10-05

资助项目: 内蒙古科技计划项目“黄河流域砒砂岩区抗蚀控沙与脆弱生态系统精准修复技术集成与示范”(2020GG0075); 内蒙古自治区研究生科研创新项目“砒砂岩区坡面微地貌变化与侵蚀产沙的响应关系”(SZ2020085)

第一作者: 刘林甫(1998—), 男(汉族), 山西省晋城市人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源管理。Email: fuzlzz@emails.imau.edu.cn.

通信作者: 盛艳(1979—), 女(汉族), 内蒙古自治区乌兰察布市人, 博士, 副教授, 主要从事水土保持与土地利用方面的研究。Email: shengyan315@126.com.

quality of a feldspathic sandstone area increased from 2001 to 2020. Ecological environmental quality was highly sensitive to human activities. The concept of ecological protection should be integrated into management practices to improve the ecological environment in order to achieve harmonious coexistence between man and nature.

Keywords: remote sensing ecological index; ecological environmental quality; principal component analysis; feldspathic sandstone area

砒砂岩区位于黄河流域鄂尔多斯高原,其水土流失极其严重,是中国典型的生态环境脆弱区,被誉为“世界水土流失之最”,黄河的粗泥沙主要来源于此^[1]。当地水土流失、土壤侵蚀和土地荒漠化等生态问题不仅带来了不可预估的财产损失,还时时刻刻威胁着当地人的生命安全^[2-4]。近些年来,黄河流域生态环境保护上升为重大国家战略,有关砒砂岩区水土流失治理与环境修复工作刻不容缓,同时,对当地生态环境质量变化进行监测和评价工作备受政府重视^[5]。随着科学技术的不断发展进步,遥感影像操作简便,可以精确定位实现大范围监测的优势也逐渐进入了人们视野,被广泛应用于生态环境领域,成为监测区域生态环境的有效手段^[6-8]。

2006 年,国家环境保护总局发布了《生态环境状况评价技术规范(试行)》^[9],在规范中生态环境状况指数(ecological index, EI)被广泛应用于生态环境质量评估,但 EI 对数据要求较高,在数据采集上存在着很大难度,并且由于不同评价对象所造成的数据差异,使评价结果中存有指标合理性的问题,难以形成统一^[10]。对此,徐涵秋^[11-12]在 2013 年将 4 个与人类关系密切的生态指标进行耦合归一,集成遥感生态指数(remote sensing based ecological index, RSEI)模型,该模型利用第一主成分来代表各个指标,用来评价一个地区的生态环境。RSEI 完全基于遥感信息,绿度、湿度、干度、热度这 4 项指标对于生态环境的影响取决于指标本身,可以避免人为的干扰,从而实现区域生态环境的快速监测与评价,具有一定的实践意义与较高的参考价值^[13]。当前,很多学者也采用 RSEI 模型进行了生态环境质量评价工作,何盈利等^[14]完整刻画了中国 2000 年来生态状况的时空变化格局;刘索玄等^[15]通过 RSEI 模型得出对于长江水利枢纽建设区环境恢复的关键是提高植被覆盖度;李冠稳等^[16]利用 RSEI 模型分析了整个黄河流域近 20 a 生态系统质量变化情况及变化趋势,得出黄河流域生态质量整体处于上升趋势。但是利用该模型进行砒砂岩区生态环境质量评价研究甚少,因此,本研究通过遥感生态指数(RSEI)快速、定量获取砒砂岩区近 20 a 来的生态环境质量状况及时空演变规律,开展生态环境质量监测与评价,有利于该区域

进行生态环境治理,促进该地区社会经济可持续发展,为今后砒砂岩区生态环境修复与治理工作提供依据。

1 研究区概况

研究区位于晋陕蒙 3 省的交界地带,处于鄂尔多斯高原地区,位于北纬 38°10′—40°10′,东经 108°45′—111°31′,行政区划主要涉及 3 省 10 县,主要包括内蒙古自治区的达拉特旗、东胜区、康巴什区、伊金霍洛旗、准格尔旗、杭锦旗,陕西省的神木县、府谷县,山西的河曲县和保德县,总分布面积为 $1.67 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。研究区内的气候类型属中温带干旱气候,年降雨量相对较少,约为 350 mm,且多以夏季(6—8 月)暴雨出现,大陆性强。气温冬冷夏热,四季分明。土壤基岩为砒砂岩,此种岩石成岩程度低,结构为小颗粒状,pH 值为 8~9,有遇水成泥,遇风成砂,极易溃散的特点。由于当地频繁的暴雨风沙活动,致使水土流失严重,造成千沟万壑景象。砒砂岩区植被以耐旱性的草原植被以及部分乔灌木为主,主要人工植被有油松(*Pinus tabulaeformis*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

通过地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),选取 2001,2007 年的 Landsat 5 TM 和 2014,2020 年的 Landsat 8 OLI 共 4 期卫星遥感影像数据作为基础数据源,具体数据如表 1 所示。为了减少影像对实验结果的影响,使得实验结果具有可比性,影像的成像时期选择在 6—10 月,是自然植被生长茂盛的时期,且云量多为 5% 以下。遥感影像的空间分辨率为 30 m,时间分辨率为 16 d。

2.2 研究方法

将 Landsat 影像作为研究数据源(表 1),进行多波段合成、影像镶嵌、表观反射率定标。研究区裁剪等预处理操作,以得到的多光谱表观反射率数据。随后提取相关生态因子,通过运用较成熟的遥感生态指数(RSEI),对研究区的生态环境质量进行评价。

表 1 20001—2020 年砒砂岩区遥感影像数据			
年份	传感器类型	轨道号	采集日期
2001	Landsat 5 TM	126—32	0905
		127—32	0624
		127—33	0624
		128—32	0919
2007	Landsat 5 TM	126—32	0906
		127—32	0812
		127—33	0812
		128—32	0920
2014	Landsat 8 OLI	126—32	0824
		127—32	0815
		127—33	0730
		128—32	0806
2020	Landsat 8 OLI	126—32	0925
		127—32	1002
		127—33	0831
		128—32	0907

注:影像分辨率皆为 30 m。

2.2.1 绿度 绿度指标(NDVI),选取与植物生物量、叶面积指数等有着密切关联的归一化植被指

$$SI=[(B_{swirl}+B_{red})-(B_{blue}+B_{nir})]/[(B_{swirl}+B_{red})+(B_{blue}+B_{nir})]$$
 (5)

$$IBI=\left\{\frac{2B_{swirl}}{(B_{swirl}+B_{nir})}-\left[\frac{B_{nir}}{B_{nir}+B_{red}}+\frac{B_{green}}{B_{green}+B_{swirl}}\right]\right\}/\left\{\frac{2B_{swirl}}{B_{swirl}+B_{nir}}+\left[\frac{B_{nir}}{B_{nir}+B_{red}}+\frac{B_{green}}{B_{green}+B_{swirl}}\right]\right\}$$
 (6)

2.2.4 热度 用地表温度(LST)代表热度指标。本文采用的是 Landsat 反演地表温度,它的工作原理是通过估计大气对地表热辐射的影响,然后用卫星传感器所观测到的热辐射总量中减去这部分大气影响,得到地表热辐射强度,再将这一热辐射强度转化为地表温度(L_{λ})^[20]。其计算公式为:

$$L_{\lambda}=[\epsilon B(T_s)+(1-\epsilon)L_{\downarrow}]\tau+L_{\uparrow}$$
 (7)

式中: ϵ 为地表比辐射率; T_s 为地表真实温度(K); $B(T_s)$ 为黑体辐射亮度; L_{\downarrow} , L_{\uparrow} 分别为大气向下,向上辐射亮度; τ 为大气在热红外波段的透过率。其中,黑体辐射亮度 $B(T_s)$ 的计算公式为:

$$B(T_s)=[L_{\lambda}-L_{\uparrow}-\tau(1-\epsilon)L_{\downarrow}]/\tau\epsilon$$
 (8)

式中: T_s 可以用普朗克公式的函数获取。

$$T_s=K_2/\ln\left[\frac{K_1}{B(T_s)}+1\right]$$
 (9)

式中:定标系数 K_1 , K_2 是从 * _MTL.txt 源数据文件中获取。

2.2.5 RSEI 模型构建

(1) 指标归一化。各个评价因子生成之后,由于绿度、干度、热度、湿度 4 项指标项的量纲不同,因此需对它们进行归一化处理,使各项指标数值范围统一到(0~1)范围之间后再进行生态指数的计算^[21]。归

数^[17]。因此,选用 NDVI 代表绿度指标。

$$NDVI=(B_{nir}-B_{red})/(B_{nir}+B_{red})$$
 (1)

式中: B_{nir} 与 B_{red} 为 Landsat 影像中的近红外波段与红波段。

2.2.2 湿度 湿度指标(WET)选取遥感缨帽变换所得的湿度分量,湿度分量与生态环境极为密切,它反映了土壤、植被和水体的湿度^[18]。

$$WET_{TM}=0.151\ 1B_{blue}+0.197\ 3B_{green}+0.328\ 3B_{red}+0.340\ 7B_{nir}-0.711\ 7B_{swirl}-0.455\ 9B_{swirl2}$$
 (2)

$$WET_{OLI}=0.031\ 5B_{blue}+0.202\ 1B_{green}+0.310\ 2B_{red}+0.159\ 4B_{nir}-680\ 6B_{swirl}-0.610\ 9B_{swirl2}$$
 (3)

式中: B_{blue} , B_{green} , B_{red} , B_{nir} , B_{swirl} , B_{swirl2} 为 Landsat 影像中不同波段的光谱反射率。

2.2.3 干度 干度指标(NDSI)通常用来描述的是地表干化^[19],通过裸土指数 SI 和建筑指数 IBI 二者合成:

$$NDSI=(SI+IBI)$$
 (4)

其中,

$$N_{li}=(l_i-l_{min})/(l_{max}-l_{min})$$
 (10)

式中: N_{li} 为归一化之后某一指标的值; l_i 为该指标在像元 i 的值; l_{min} 和 l_{max} 表示该指标的最大值和最小值。

(2) 主成分分析。主成分分析(PCA)是将多个变量重新组合,得到几个综合变量来比较全面地反映整个数据集。本文采用主成分分析方法可以在一定程度上减少人工设定权重带来的误差。

(3) 遥感生态指数计算。主成分分析的结果第一波段即为 RSEI', 加载显示主成分分析的第一分量,值越大,代表生态环境越好^[22-23]。为了便于指标的度量与比较,对 RSEI' 进行归一化处理,得到遥感生态指数 RSEI,其计算公式为:

$$RSEI=(RSEI'_i-RSEI'_{min})/(RSEI'_{max}-RSEI'_{min})$$
 (11)

3 结果与分析

3.1 砒砂岩区生态环境质量时空演变特征

由表 2 可知,在 2001,2007,2014,2020 年这 4 a 间第一主成分的特征值分别为 0.326 4,0.324 1,0.338 2,0.316 0,其特征值贡献率分别为 81.52%,79.69%,84.23%,79.22%,表明第一主成分集成了 4 个指标

的大部分的信息特征^[24]。因此,此次试验中主成分变换后的第一主成分分量可以代表各项生态质量指数。分析 4 个指标的特征分量,代表绿度和代表湿度的指标同为正值,表明绿度生态指标和湿度生态指标在改善砒砂岩区的生态环境质量过程中起到积极作用;代表干度的 NDSI 和代表热度的 LST 这两项指标均为负值,表明两者为砒砂岩区的生态环境质量共同起到了负面作用。从各项生态指标的第一主成分来看,在对区域生态环境起正面效果的绿度指标和湿度指标中,绿度指标的贡献率更高,可以说明植被恢复在对砒砂岩区生态环境质量变好过程中起到关键作用。

表 2 2001—2020 年砒砂岩区生态环境质量 4 个指标主成分分析

年份	指标	PC ₁	特征值	贡献率/%
2001	绿度	0.531 2	0.326 4	81.52
	湿度	0.292 9		
	干度	−0.496 2		
	热度	−0.234 6		
2007	绿度	0.580 6	0.324 1	79.69
	湿度	0.179 8		
	干度	−0.371 1		
	热度	−0.251 1		
2014	绿度	0.501 4	0.338 2	84.23
	湿度	0.318 5		
	干度	−0.507 1		
	热度	−0.501 7		
2020	绿度	0.645 8	0.316 1	79.22
	湿度	0.201 1		
	干度	−0.313 8		
	热度	−0.695 8		

对计算得到的各个评价因子进行归一,使各项指标的数值范围统一到 0~1 之间(图 1),可以分析各项指标对砒砂岩区的生态环境质量的变化以及影响情况。2001—2020 年,NDVI 平均值呈现先下降后上升趋势,在 2007 年 NDVI 达到最低值 0.132 4;热度指标 LST 与绿度指标 NDVI 波动趋势呈反向状况,在 2007 年达到峰值 0.291 1;湿度指标 WET 也是先下降后上升的趋势,在 2014 年达到最低;干度指标 NDSI 总体呈现下降趋势。

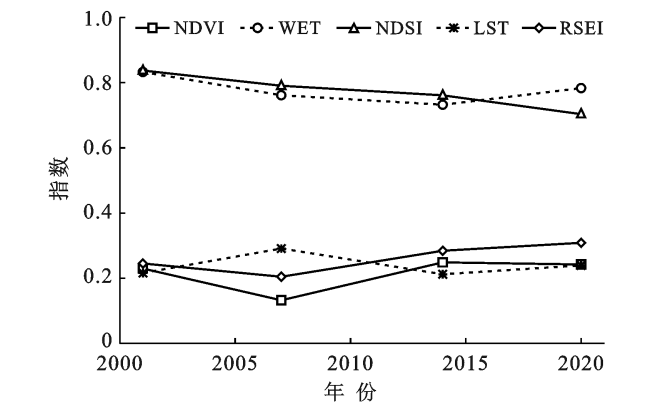


图 1 2001—2020 年砒砂岩区各指数及遥感生态指数(RSEI)归一化均值

为了更直观地了解砒砂岩区生态环境质量分布情况,参考徐涵秋^[11-12]的分级标准,结合 2015 年重新修订的《生态环境状况评价技术规范》,将研究结果分为极差[0,0.2],差等(0.2,0.4],中等(0.4,0.6]、良好(0.6,0.8]和优等(0.8,1]5 个生态质量等级,并且根据上述分类,可以得到 4 期数据各个等级面积及其比例(表 3)和面积分布特征(图 2)。

表 3 2001—2020 年砒砂岩区遥感生态指数 RSEI 各等级面积比例

RSEI 等级	2001 年		2007 年		2014 年		2020 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
极差	59.46	0.35	287.18	1.69	35.44	0.21	66.60	0.39
差等	2 089.50	12.29	2 052.71	12.07	2 044.06	12.02	2 003.92	11.79
中等	12 755.40	75.02	10 803.60	63.54	9 352.28	55.01	7 909.33	46.52
良好	2 084.94	12.26	3 818.43	22.46	4 925.42	28.97	6 191.84	36.42
优等	12.99	0.08	40.28	0.24	644.39	3.79	830.64	4.89

从时间格局上来看,在 2001—2020 的 4 期数据的生态等级中,生态质量主要以中与良为主,两项生态环境质量面积之和分别为 87.28%,86.00%,83.9%,82.94%,都占到了总面积的 80.00% 以上,但可以明显看出,随着时间推移,生态中等面积比例正在不断降低,已经由 2001 年的 12 755.40 km² 减少至 2020 年的 7 909.33 km²;与之相反,生态良好区域面积呈现逐渐提升趋势,在 2001 年砒砂岩区生态良

好区域面积为 2 084.94 km²,占总面积的 12.26%;至 2020 年,砒砂岩区生态良好区域面积已达 6 191.84 km²,占到了砒砂岩区总面积的 36.42%。在 4 期数据中,生态质量极差在 20 a 间有小幅波动,在 2007 年达到峰值,生态质量极差面积为 287.18 km²,占到总面积的 1.69%。在近 20 a 间,生态质量优等级也有提升,共增加了 817.65 km²。总体来看,近些年来砒砂岩区治理效果显著,生态质量得到提升。

从空间格局图 2 上来看,2001,2007 年的生态质量分布中,研究区以质量中等为主,空间分布较为复杂,呈斑块状分散于整个研究区内;至 2014 年后,生态质量水平得以改善,整个范围内出现生态良好区域,生态中等与生态良好相伴穿插分布于整个研究区,且在 2020 年也出现零碎的生态优秀区域。在 2001 年,生态良好区域出现在研究区的西北侧以及南部区域,其主要原因这两部分区域靠近河道,降雨充沛条件下,植物生长更有优势,对于生态质量较好。到了 2007 年,砭砂岩区的北部区域出现明显的生态质量良好区,经过人为改善,这一区域有了成片

的林地、草地;南部区域出现较为明显的生态质量极差区域,部分生态环境遭到了破坏,表明在生态环境治理过程中也要兼顾生态环境的保护。至 2014 年,生态环境质量分布改善更为明显,生态环境良好区域已经分布于整个砭砂岩区域中。2020 年生态质量环境相较 2014 年差别不大,但在砭砂岩区的西南部已经出现零碎生态环境优秀区域,原因是 2020 年间降雨较为充足,且西南部为砭砂岩区主要的水域以及耕地所在地。总体来看,20 a 来砭砂岩区的生态环境改善已发生明显转变,RSEI 等级已经由生态中等为主主导转变为生态良好占主导部分。

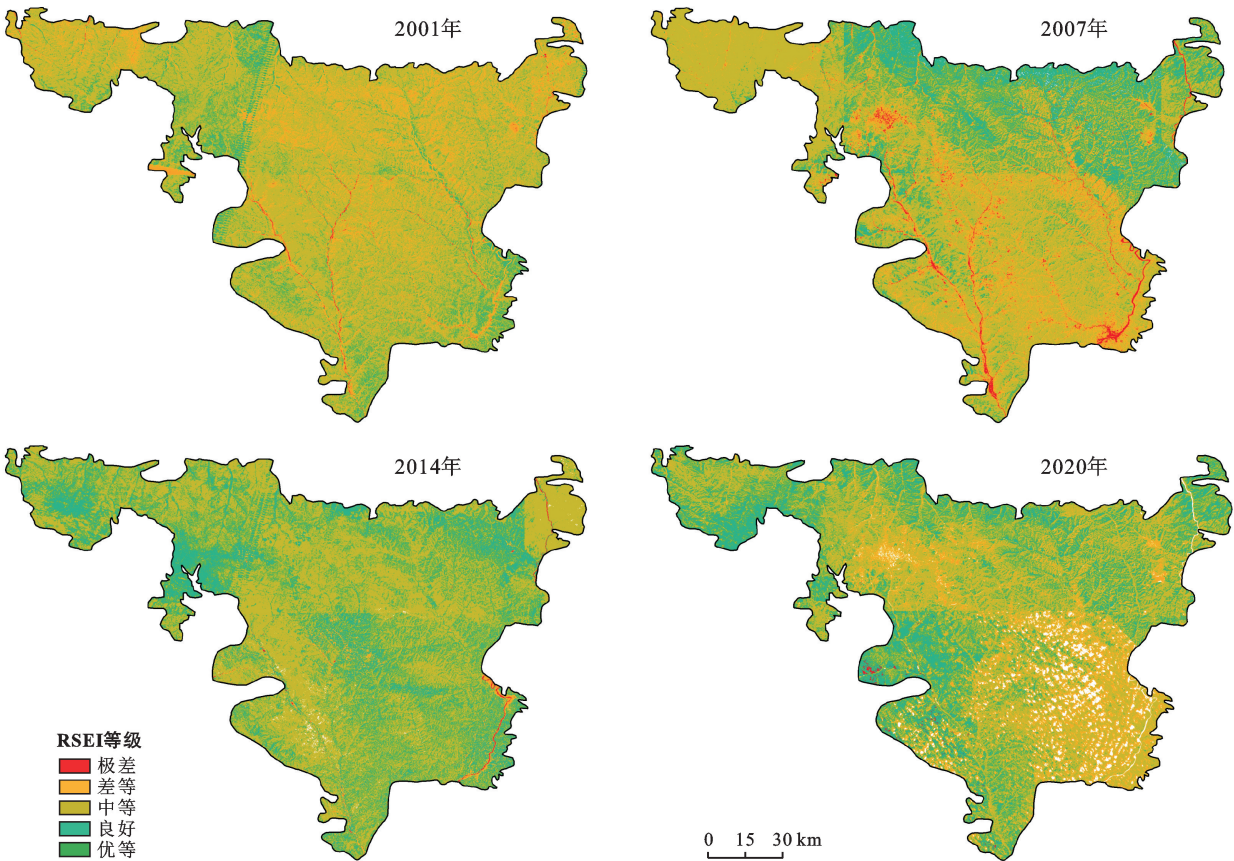


图 2 砭砂岩区 2001—2020 年 RSEI 等级空间分布

分析砭砂岩区在 2001—2020 年间 RSEI 不同等级移动路径(图 3),在近 20 a 间,RSEI 等级为优的迁移幅度最大,在研究区北部向中南部迁移;“极差”、“差等”和“良好”迁移幅度适中,在小范围内活动,其中“极差”等级的运动范围也在中南部,结合图 3 在 2020 年砭砂岩区中南部各种等级交错分布。RSEI 等级为中的移动路径范围波动最不明显,在近 20 a 间只是小范围内迁移。

3.2 砭砂岩区生态环境质量差值分析

为了直观表达砭砂岩区近 20 a 生态质量动态变

化,基于砭砂岩区 RSEI 生态质量等级分布图,利用 ArcGIS10.7 对砭砂岩区生态环境质量做差值分析。根据生态质量 RSEI 变化,生态等级类型划分为明显改善、轻微改善、生态未变化、轻微退化和明显退化 5 个等级(表 4)。

砭砂岩区 20 a 间各个等级 RSEI 面积及比例变化如表 4 所示。从表 4 中可以看出砭砂岩区在 2001—2007 年间生态质量变差区域为 2 871.20 km²,占总面积的 16.89%,其中轻微退化较多,面积为 2 747.17 km²,占总面积的 16.16%,明显退化区域较小,占总面积

的 0.73%；在这一阶段，生态质量不变区域为 9 728.25 km²，占总面积的 57.24%；生态轻微改善区域和明显改善区域共有 4 397.28 km²，表明在这几年间，生态治理略有成效。在 2007—2014 年间，生态退化面积共为 4 054.96 km²，共占总面积的 23.85%，其中以轻微退化为主；生态未退化区域面积为 5 828.59 km²，占总面积的 34.28%；在这一阶段，生

态改善较为明显，轻微改善面积为 6 202.19 km²，明显改善区也大幅提高至 916.45 km²，占到总面积的 5.39%。在 2014—2020 年间，明显退化、轻微退化、生态未退化、轻微改善和明显改善面积分别为 264.14, 5 039.82, 5 377.54, 6 076.18, 243.90 km²。在此 20 a 间生态改善区域与生态退化区域都在增加，但改善区域增长幅度均大于退化区域长势。

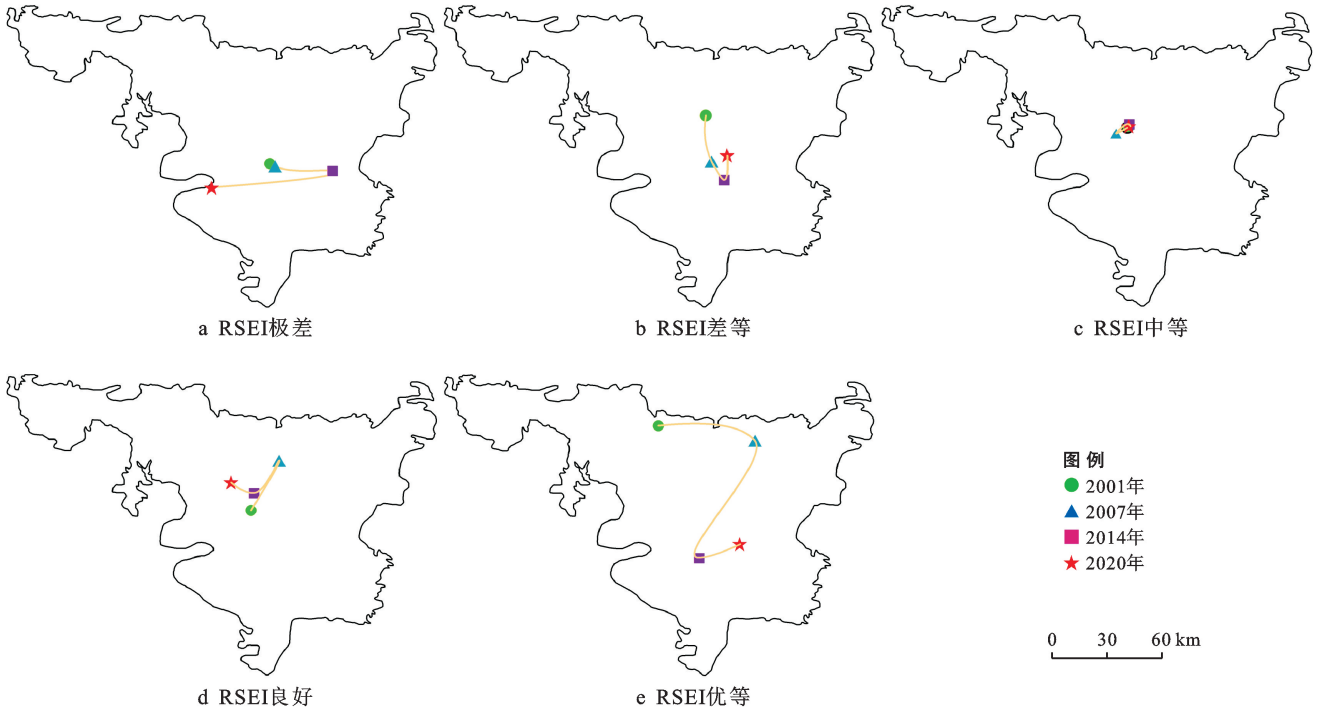


图 3 砭砂岩区 2001—2020 年 RSEI 不同等级移动路径

表 4 砭砂岩区 2001—2020 年 RSEI 等级变化

类 型	2001—2007 年		2007—2014 年		2014—2020 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
明显退化	124.03	0.73	91.99	0.54	264.14	1.55
轻微退化	2 747.17	16.16	3 962.97	23.31	5 039.82	29.64
生态未变化	9 728.25	57.24	5 828.59	34.28	5 377.54	31.63
轻微改善	4 366.90	25.69	6 202.19	36.48	6 076.18	35.74
明显改善	30.37	0.18	916.45	5.39	243.90	1.43

图 4 为砭砂区 20 a 间生态质量总体变化图。从图 4 中可以看出研究区的东南部以及西北部分区域生态质量退化与改善间隔分布，结合砭砂岩区土地利用图(图 5)，该区域多为建设用地，人为活动较多，在近 20 a 间，建设用地由 2001 年的 193 km² 上升至 2020 年的 969 km² 且多向中部以及南部靠拢，人为活动的不利影响是造成环境退化的主要原因；在砭砂岩区北部、东北部、西北部以及西南部为主要的生态改善区，这部分区域多为林地、草地，在北部及东北地区多为人工林，这部分区域受到当地的高度重视及严格保护，使得生态得到了一定程度的改善。

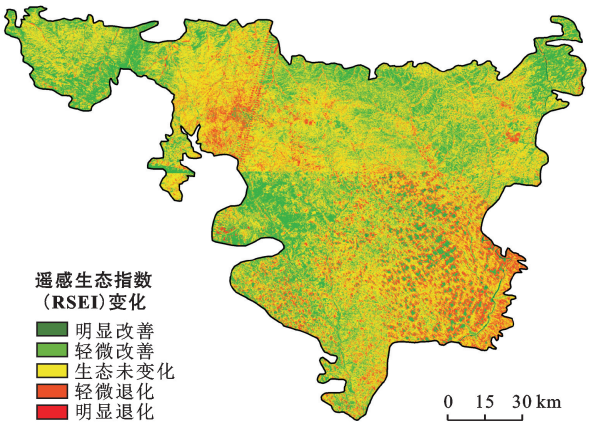


图 4 砭砂岩区 2001—2020 年 RSEI 等级变化

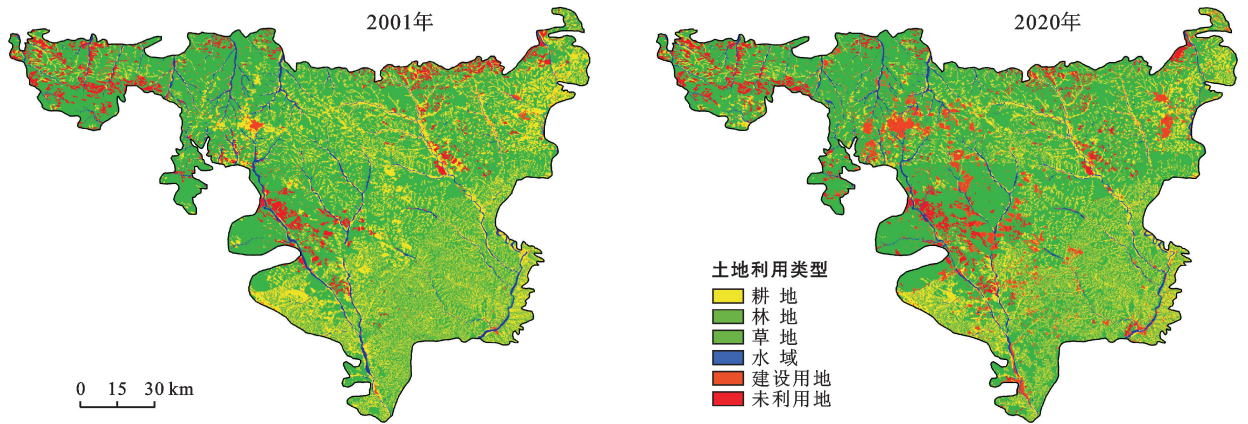


图 5 砒砂岩区 2001—2020 年土地利用类型变化

4 结论

本文讨论了砒砂岩区作为中国水土流失最为严重的区域,其生态环境质量在近 20 a 间状况,采用遥感生态指数 RSEI 模型对砒砂岩区 2001,2007,2014,2020 年生态环境质量进行动态监测,分析生态环境质量优劣分布情况。

(1) 砒砂岩区在 4 期影像数据中提取的遥感生态指数 RSEI 均值分别为 0.245 38, 0.204 68, 0.284 32, 0.308 64, 呈现出先下降后上升趋势,但整体性的生态质量等级并不高,生态质量良好与生态质量优秀在 4 a 间分别为 2 097.93, 3 858.71, 5 569.81, 7 022.48 km², 占研究区面积的 50% 以下。表明在肯定已有工作的同时,砒砂岩区生态环境仍需治理,还需要政府重视。

(2) 通过生态指数各项分指标进行相关性分析,得出绿度生态指标与湿度生态指标对砒砂岩区生态质量起积极作用,干度生态指标与热度生态指标会起到负面作用。其中,绿度生态指标在砒砂岩区对生态环境质量的积极效应更大,表明在提高区域的生态质量,既要着眼于降低区域的干度和热度指标,同时也要做好水土保持措施,积极做好植被保护工作。

(3) 在 2001—2020 年间,生态质量改善区域共有 6 253.05 km², 占到研究区总面积的 36.79%; 生态质量退化区共有 2 665.07 km², 共占 15.68%, 生态退化区多为轻微退化。

(4) 人为活动会对砒砂岩区生态质量敏感性较高,重点保护治理区域生态质量发生了明显改善,但在建设用地区域也对生态质量产生一些负面影响,在改善生态环境的同时还需融入生态保护理念,以全球视野、长远眼光、系统思维看待生态环境问题,从而实现人与自然和谐共处。

[参 考 文 献]

[1] 杨振奇,秦富仓,李龙,等.砒砂岩区小流域土壤有机质空

间分布特征及其影响因素[J].农业工程学报,2019,35(17):154-161.

[2] 杨玉春.砒砂岩区土壤侵蚀强度时空变异特征[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2020.

[3] 白雪莲,郑海颖,王理想,等.砒砂岩黄土区植被盖度对土壤侵蚀的影响[J].生态学报,2020,40(11):3776-3784.

[4] 石迎春,叶浩,侯宏冰,等.内蒙古南部砒砂岩侵蚀内因分析[J].地球学报,2004,25(6):659-664.

[5] 张攀,姚文艺,刘国彬,等.土壤复合侵蚀研究进展与展望[J].农业工程学报,2019,35(24):154-161.

[6] 杨江燕,吴田,潘肖燕,等.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,2019,30(1):277-284.

[7] Hang Xin, Li Yachun, Luo Xiaochun, et al. Assessing the ecological quality of Nanjing during its urbanization process by using satellite, meteorological, and socioeconomic data [J]. Journal of Meteorological Research, 2020,34(2):280-293.

[8] 马广文,何立环,李宝林,等.基于多时相遥感数据的典型区生态格局变化分析[J].中国环境监测,2021,37(5):185-193.

[9] 国家环境保护总局.生态环境状况评价技术规范(试行) HJ/T192-2006 [S].北京:中国环境科学出版社,2006.

[10] 岳昂,张赞.基于 EI 值的生态状况变化分析研究[J].绿色科技,2018(14):182-184.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 木哈代思·艾日肯,张飞,刘康,等.基于天宫二号及 Landsat8 城镇生态环境现状评价[J].国土资源遥感,2020,32(4):209-218.

[14] 何盈利,尤南山,崔耀平,等.2000 年来中国生态状况时空变化格局[J].自然资源学报,2021,36(5):1176-1185.

[15] 刘索玄,袁艳斌,赵峰,等.基于遥感生态指数(RSEI)的水电开发区生态环境变化分析:以清江中下游地区为例[J].生态与农村环境学报,2019,35(11):1361-1368.

(下转第 334 页)

- Analysis of the Sultanate of Oman(1992—2015)[C]// 2nd International Water Conference on Water Resources in Arid Areas (WRAA2020). Muscat, Oman; Springer, 2020.
- [6] 胡宁科,李新.历史时期土地利用变化研究方法综述[J].地球科学进展,2012,27(7):758-768.
- [7] 满苏尔·沙比提,楚新正.新疆渭干河—库车河三角洲绿洲土地利用时空变化特征分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):12-18.
- [8] 卫建军,李新平,杨勤科,等.基于遥感的土地利用与退耕还林时空变化研究:以延河流域下游地区为例[J].水土保持通报,2007,27(2):87-90.
- [9] 马帅,程浩,林晨,等.江淮生态经济区土地利用景观格局时空变化[J].水土保持研究,2021,28(1):292-299.
- [10] 朱丽东.青海河湟区水土资源的问题与对策[J].青海师范大学学报(自然科学版),2004,20(1):73-77.
- [11] 李世荣,李文忠,李福源,等.青海大通退耕还林生态功能综合评价[J].水土保持研究,2006,13(3):252-254.
- [12] 霍健.“河湟谷地”工业发展问题研究[J].西部金融,2007,28(9):70-71.
- [13] 罗静,张懿锂,刘峰贵,等.青藏高原东北部河湟谷地 1726 年耕地格局重建[J].地理研究,2014,33(7):1285-1296.
- [14] 朱杰,龚健,李靖业.青藏高原东部生态敏感区生境质量时空演变特征:以青海省河湟谷地为例[J].资源科学,2020,42(5):193-205.
- [15] 陈琼,张懿锂,刘峰贵,等.黄河流域河源区土地利用变化及其影响研究综述[J].资源科学,2020,42(3):446-459.
- [16] 徐新良,刘纪远,张树文,等.中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集[Z].中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统(<http://www.resdc.cn/DOI>),2020.
- [17] 齐师杰,张行南,夏达忠,等.嘉陵江流域土地利用/覆被变化特征及其驱动力分析[J].长江科学院院报,2013,30(1):1-7.
- [18] 侍昊,薛建辉,马婉丽.1991—2006 年无锡市土地利用变化动态度及转换参数分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(6):63-68.
- [19] 王瑾,周忠发,胡九超,等.石漠化地区现代烟草农业基地单元工程配置对土地利用的影响[J].江苏农业科学,2015,000(2):381-383,384.
- [20] 满苏尔·沙比提,陆吐布拉·依明.新疆南疆地区土地利用变化及其生态效应[J].地理科学,2011,31(4):59-65.
- [21] 张丽,杨国范,刘吉平.1986—2012 年抚顺市土地利用动态变化及热点分析[J].地理科学,2014,34(2):60-66.
- [22] 王劲峰,廖一兰,刘鑫.空间数据分析教程[M].北京:科学出版社,2010.
- [23] 陆铭,陈钊.城市化、城市倾向的经济政策与城乡收入差距[J].经济研究,2004,39(6):50-58.
- [24] 李生存.1985—1995 年青海草地执法建设成就[J].青海草业,1996,5(4):47-50.
- [25] 张海峰,刘峰贵,周强,等.青海南部高原高寒草场退化机理及生态重建[J].自然灾害学报,2004,13(4):115-120.
- [26] 王大超.大通河径流变化特征及其影响因素探析[D].甘肃兰州:兰州大学,2019.
- [27] 王占红.青海省河湟谷地统筹城乡产业发展研究[D].青海西宁:青海师范大学,2013.
- [28] 温生辉,邵春益,梁明海.青海退耕还林还草试点情况的调查[J].柴达木开发研究,2001,15(1):30-35.
- [29] 万成亿.关于贵德县发展生态畜牧业的战略思考和对策[J].养殖技术顾问,2010,38(9):153-154.
- [30] 王生峰.湟中县粮油作物结构调整现状及对策[J].青海农技推广,2016,23(3):53-55.
- [31] 青海省国土规划研究院.2020 年度土地变更调查工作取得阶段性成果[J].青海国土经略,2019,28(1):76-76.
- [32] 李姗姗.基于 RS 与 GIS 的祁连山南坡水源涵养量估算系统研究与实现[D].青海西宁:青海师范大学,2015.

(上接第 239 页)

- [16] 李冠稳,高晓奇,肖能文.基于关键指标的黄河流域近 20 年生态系统质量的时空变化[J].环境科学研究,2021,34(12):2945-2953.
- [17] Goward S N, Xue Yongkang, Czajkowski K P. Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements [J]. Remote Sensing of Environment, 2002,79(2):225-242.
- [18] 黄苍平.厦门市同安区土地利用变化与生态安全格局研究[D].广东广州:中国科学院大学(中国科学院广州地球化学研究所),2018.
- [19] 吴志杰,赵书河.基于 TM 图像的“增强的指数型建筑用地指数”研究[J].国土资源遥感,2012,93(2):50-55.
- [20] 彭擎,王让会,蒋烨林,等.植被—地温指数(NDVI-LST)在新疆干旱监测中的适用性[J].生态学报,2018,38(13):4694-4703.
- [21] 占昕,潘文斌,郑鹏,等.闽江河口湿地自然保护区及其周边区域景观自然性评价[J].生态学报,2017,37(20):6895-6904.
- [22] 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.
- [23] 陈晓辉,曾晓莹,赵超超,等.基于遥感生态指数的道路网络生态效应分析:以福州市为例[J].生态学报,2021,41(12):4732-4745.
- [24] 王丽春,焦黎,来风兵,等.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.