

基于遥感生态指数的治沟造地区生态环境质量演变研究

黎雅楠^{1,2,3}, 武丹^{1,2,3}

¹陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

²陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

³自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

收稿日期: 2023年4月1日; 录用日期: 2023年5月1日; 发布日期: 2023年5月8日

摘要

本研究以典型治沟造地区为研究对象, 选取两期Landsat8卫星影像数据, 基于ENVI5.3、ArcGIS10.5遥感数据处理平台和数据分析及制图工具, 利用生态环境质量遥感生态指数RSEI(Remote Sensing Based Ecological Index)模型估算方法, 综合分析评价研究区2013~2017年间生态环境质量状况。研究表明: 研究区两期RSEI指数均值分别为0.6949、0.7079; 研究区生态环境质量2013~2017年间, 以“一般”为主, 处于“较差”和“差”的比重下降, 处于“良”和“优”的比重增加, 生态等级由低级向中高级转变, 生态环境质量呈现变好的趋势; 研究区生态环境不变的面积占比过半, 生态环境变好面积大于变差面积, 生态环境质量总体呈现较好的状态, 研究结果可为今后黄土丘陵沟壑区生态环境建设提供科学依据和理论支撑。

关键词

遥感生态指数, 治沟造地区, 生态环境

Research on the Evolution of Ecological Environment Quality in Ditch Construction Area Based on Remote Sensing Ecological Index

Yanan Li^{1,2,3}, Dan Wu^{1,2,3}

¹Shaanxi Land Engineering Technology Research Institute Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Shaanxi Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degradation and Unused Land Consolidation Engineering,

Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

Received: Apr. 1st, 2023; accepted: May 1st, 2023; published: May 8th, 2023

Abstract

This study takes the typical ditch construction area as the research object, selects two phases of Landsat8 satellite image data, and uses remote sensing ecological index RSEI (Remote Sensing Based Ecological Index) model estimation method, comprehensive analysis and evaluation of the ecological environment quality status in the study area from 2013 to 2017. The research shows that: the average values of the RSEI indexes in the two periods of the study area are 0.6949 and 0.7079 respectively; the ecological environment quality of the study area from 2013 to 2017 is mainly "general", and the proportion of "poor" and "poor" decreases, and it is in "good". The proportion of "excellent" and "excellent" increased, the ecological level changed from low-level to medium-high level, and the ecological environment quality showed a trend of improvement; the area of the study area with the same ecological environment accounted for more than half, and the area with better ecological environment was greater than the area with poor ecological environment. The overall quality is in a good state, and the research results can provide scientific basis and theoretical support for the construction of the ecological environment in the loess hilly gully area in the future.

Keywords

Remote Sensing Ecological Index, Ditch Control Area, Ecological Environment

Copyright © 2023 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

黄土高原地区土质疏松, 沟壑纵横, 生态环境脆弱, 存在水土流失等生态问题, 作为中国农业文明的发源地, 国家十分重视黄土高原地区的可持续发展问题, 在该地区先后进行坡面治理、沟坡联合治理、小流域综合治理和退耕还林还草工程等生态治理工程。自退耕还林工程实施以来, 植被面积大幅度提高, 植被盖度从 1999 年的 31.6% 提高到 2013 年的 59.6%, 有效遏制了黄土高原土壤侵蚀, 使得入黄泥沙显著降低[1]。但伴随着大规模的退耕还林, 黄土高原地区人均耕地面积减少, 出现人口耕地面积紧张的局面, 为进一步解决可利用耕地面积减少的问题, 巩固退耕还林还草工程取得的成果, 2013 年国土资源部、财政部等批准在延安市实施治沟造地重大工程, 该工程总规模 50.67 万亩, 总投资 51.72 亿元, 截止 2015 年全市累计完成治沟造地面积 21 万亩, 成效显著[2]。现阶段, 对治沟造地的研究多集中于治沟造地项目综合效益分析、而针对治沟造地所带来的生态环境效应研究较少, 尤其是对项目区生态环境质量监测与分析尚不多见, 科学、快速测算治沟造地项目区域生态环境质量, 并掌握其发展趋势是目前有待关注和解决的一个重点方向。

遥感技术具有快速、实时并且可实现大范围监测的特点, 在生态环境领域被广泛应用, 成为评价区域生态环境的有效手段, 同时也为快速监测和评价治沟造地区域生态环境质量提供了一种途径。目前,

应用遥感技术对各类生态系统进行评价也存在一定不足, 最典型的不足便是选择的生态环境指标比较单一, 如利用地表温度测估城市热岛效应[3]、选取植被指数监测森林生态系统[4]、仅通过水体指数的变化对气候状况进行评价[5]、利用归一化植被指数和地表温度进行干旱监测[6]等。生态系统的形成和发展受多因素影响, 因而生态质量状况需要从多方面进行描述, 仅用单方面或者某两个方面的生态因子反映生态环境变化并不十分客观[7]。因此, 需要一个既简便又全面的指标体系和评价模型对生态系统进行准确、直观、综合的测评。遥感生态指数(remote sensing based ecological index, RSEI)完全基于遥感信息, 集成了包括绿度、湿度、热度、干度等多种生态因子[8] [9] [10] [11], 通过分析各指标的主成分贡献度对各指标进行赋权, 减少了人为加权的不确定性, 也发挥了遥感的优势。RSEI 不仅能定量评价区域生态质量, 还可以在时间、空间上对生态环境质量评价结果进行高精度的可视化表达, 很好地弥补了现有技术在这些方面的不足, 并且该指数在水土流失区[12] [13]和城市区域[14] [15] [16] [17] [18]同样适用。本研究基于遥感生态指数对研究区进行多指标、大范围、多时相的生态环境状况评价, 分析该地区生态环境质量变化规律。

本研究以陕西省延安市富县为研究对象, 利用遥感影像数据, 采用遥感生态指数(RSEI)模型估算方法, 基于 ENVI5.3 和 ArcGIS10.5 平台, 对研究区生态环境质量进行估算, 进一步研究分析治沟造地前后生态环境质量的时空变化特征和规律, 研究结果有助于该区治沟造地的生态效益的评估, 以期为黄土丘陵沟壑区治沟造地工程生态环境建设提供科学依据。

2. 研究区概况

富县(35°44'6"~36°23'23"N, 108°29'30"~109°42'54"E)位于陕西省北部, 延安市南部, 地处陕、甘、宁三省交界处。地处陕北高原沟壑区与丘陵沟壑区的过度地带。该县县域辽阔、资源丰富、四季分明、气候温和、日照充足、降水适中, 它属于大陆性暖温带季风气候, 年平均气温为 7~9℃左右, 年均降水量 500~600 mm。该区地形地貌包括以洛河和葫芦河为主的河流阶地、中部高原沟壑区、塬区北部的丘陵沟壑以及东部和西部的土石低山区。

3. 技术方法

3.1. 数据源及预处理

以美国地质调查局网站 USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>)选取的 2 景 Landsat 8 OLI 遥感影像作为主要数据源, 为了尽量减少因季节差异而造成的误差, 影像成像时间尽可能相同, 获取日期分别为 2013 年 6 月 25 日和 2017 年 6 月 20 日, 影像云量均在 0.5 以下, 质量完好。为了保证指标计算的准确性, 进行计算之前分别对 2 景影像进行辐射定标、大气校正、几何校正等预处理, 在此基础上利用富县行政区划矢量数据提取研究区内多波段遥感影像, 并进行后续遥感生态指数分量计算。

3.2. 研究方法

① 遥感生态指数分量指标计算方法

遥感生态指数(RSEI)是从遥感影像中提取绿度、湿度、热度、干度 4 个指标来实现快速客观地评价区域生态质量。其中, 绿度、湿度、热度和干度分别用归一化植被指数(NDVI)、湿度指数(Wet)、地表温度(LST)和干度指数(NDSI)来代表, 指标计算参考徐涵秋[11]的方法。

② 遥感生态指数模型构建方法

生态环境评价的关键是将由遥感技术获得的植被指数、湿度指数、地表温度和裸土指数转化为综合评价指数。将经过标准化处理的 4 个遥感分量指标波段重新组合成一幅新的影像, 借助 ENVI 软件主成

分分析模块进行主成分分析, 以主成分的方差贡献率为权重, 来构建遥感综合生态指数模型。

③ 生态环境质量时空变化研究方法

利用构建的遥感综合生态指数模型计算研究区 RSEI 值, 为了更好地考察生态状况变化, 参照已有分级标准(表 1), 进一步将 RSEI 值按等间隔分成 5 个等级来表示 5 种生态状况, 在生态质量指数 5 个等级的基础上, 对研究区的生态变化进行差值变化检测。通过制作专题图求取各等级面积及所占比例, 对研究区治沟造地前后生态环境质量的时空变化特征和规律进行研究分析。

Table 1. Eco-environmental status grading table

表 1. 生态环境状况分级表

级别	差	较差	一般	良	优
指数	$0 \leq RSEI \leq 0.2$	$0.2 \leq RSEI \leq 0.4$	$0.4 \leq RSEI \leq 0.6$	$0.6 \leq RSEI \leq 0.8$	$0.8 \leq RSEI \leq 1.0$
描述	条件较恶劣, 人类生活受到限制	植被覆盖度较差, 干旱少雨, 物种较少, 存在明显限制人类生活的因素	植被覆盖度中等, 较适合人类生活, 存在限制人类生活因子。	植被覆盖度较高, 生物多样性丰富, 适合人类居住。	植被覆盖度高, 生物多样性丰富, 生态环境稳定。

4. 研究结果

(1) 生态环境质量指数各指标分析

为了消除量纲以及不同指标数值大小对遥感生态指数结果的影响, 将绿度、湿度、热度和干度 4 个指标数值标准化为[0.1]之间的无量纲。从表 2 可以看出, 2013 年和 2017 年研究区 NDVI 均值分别为 0.7357、0.7503, 呈上升的趋势, 植被覆盖度增加, 生态环境总体是向好的方向发展的。植被覆盖度因受人类活动干扰的影响, 对生态环境质量的等级有明显影响, 退耕还林还草工程的实施和集雨工程的推广运用对生态环境质量的改善成效显著。在对研究区湿度指标研究中, 湿度指标主要指该地区土壤和地表植被的湿度, 从研究区 2013 年和 2017 年湿度指标数据可以看出, 均值由 0.7196 下降到 0.7109, 这说明研究区的土壤和植被湿度呈现下降态势。研究区 2017 年比 2013 年地表温度均值降低了 0.0195, 整体呈现下降趋势。研究区 2013 年和 2017 年的干度指数均值分别为 0.3368 和 0.3881, 呈上升的趋势。

Table 2. Grading statistics of remote sensing ecological index in Fu County

表 2. 富县遥感生态指数分级统计

指标	2013 年		2017 年	
	均值	标准差	均值	方差
NDVI	0.7357	0.2820	0.7503	0.2794
WET	0.7196	0.2770	0.7109	0.2812
LST	0.2893	0.2798	0.2698	0.2805
NDSI	0.3368	0.2910	0.3881	0.2886

由研究区 2013 年和 2017 年遥感数据 NDVI 的分布图(图 1)可以看出, 研究区变化最大的区域主要集中在西北方向和南部打马沟附近, 子午岭国家级自然保护区 NDVI 高值区发生了分布区域的东移和面积的缩小, 开展了植树造林、治沟造地等生态林的建造, 不同未利用地被尽可能的利用, 植被覆盖度得到了提高, 同时生态环境也得到了改善, 故呈现上述变化差异。从研究区遥感数据湿度指标分布图(图 2)可以看出湿度在空间上没有发生明显的变化。从图 3 可以看出研究区西北部的丘陵沟壑区、川子河沿岸和洛河河流阶地地表温度呈现出明显上升趋势。从研究区遥感数据干度指标分布图(图 4)可以看出变化最

大的部分出现在研究区西北部, 在城市建设快速发展的同时, 增加植被覆盖面积, 并且加强对沙地、荒地等裸露土地的治理, 降低裸露土地面积, 但是随着城市建设和各种交通设施建设工程的实施, 使得建筑面积呈现增长态势, 且增长的面积大于裸露土地减少的面积, 因此, 研究区的干度指数总体呈现上升的趋势。

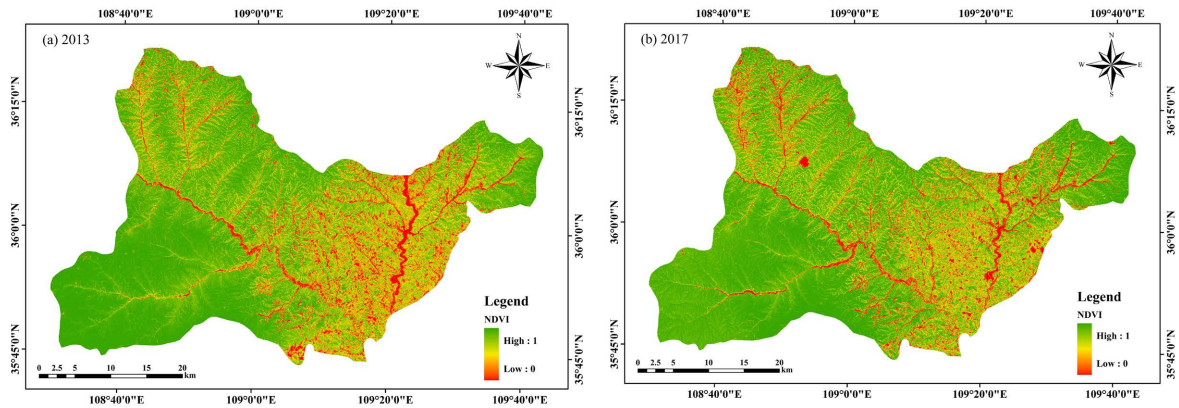


Figure 1. NDVI distribution map of remote sensing data in Fuxian County
图 1. 富县各期遥感数据 NDVI 分布图

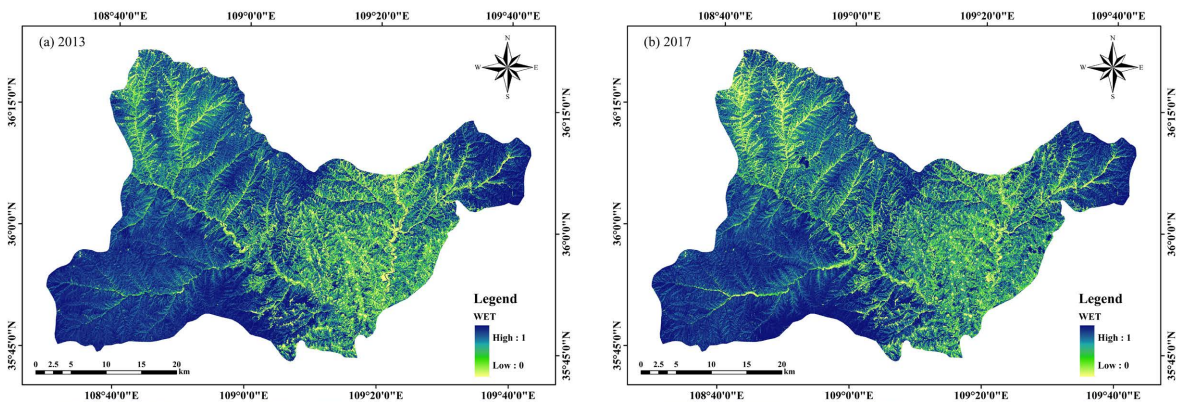


Figure 2. WET distribution map of remote sensing data in Fuxian County
图 2. 富县各期遥感数据 WET 分布图

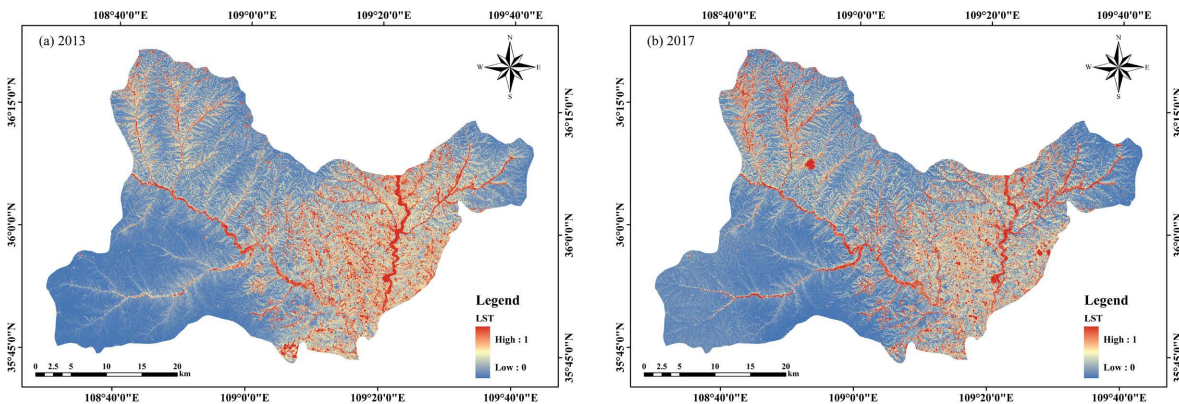


Figure 3. LST distribution map of remote sensing data in Fuxian County
图 3. 富县各期遥感数据 LST 分布图

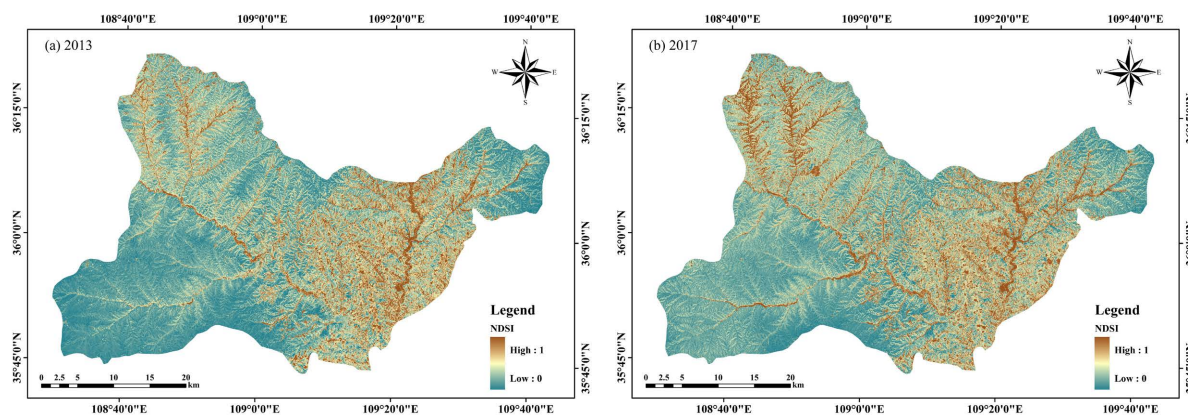


Figure 4. NDSI distribution map of remote sensing data in Fuxian County

图 4. 富县各期遥感数据 NDSI 分布图

(2) 研究区生态环境质量总体评价

生态环境质量评价的关键是将由遥感调查获得的植被指数、湿度指数、地表温度和裸土指数转化为综合评价指标, 本研究对标准化后的评价指标进行主成分分析, 以主成分的方差贡献率为权重。为了更好的分析研究区的生态环境质量状况, 将生态环境质量指数 RSEI 计算结果以 0.2 为间隔划分为 5 个等级见表 1。一级的数值区间为 $[0, 0.2]$, 代表生态环境质量“差”、二级数值区间为 $(0.2, 0.4]$, 代表生态环境质量“较差”、三级数值区间为 $(0.4, 0.6]$, 代表生态环境质量“一般”、四级数值区间为 $(0.6, 0.8]$, 代表生态环境质量“良”、五级数值区间为 $(0.8, 1.0]$, 代表生态环境质量“优”。

研究区 2013 年和 2017 年的遥感数据 RSEI 计算结果分级统计见表 3, 根据数据统计情况可以看出, 研究区生态环境质量指数在 0.6 和 0.8 之间, 属于级别中的第四级, 即“良”级占的比重较大; 数值在 0~0.2 之间的第 1 级, 即“差”级别的生态环境质量所占比重最小分别为: 2013 年占 2.8%、2017 年占 1.64%; 研究区生态等级为差和较差所占的面积比例下降, 一般级别的面积比例由 2013 年的 30.5% 上升到 2017 年的 33.1%; 而良等级所占的比例从 34.6% 下降到 33.7%。生态指数总体上呈上升趋势, 表明研究期间富县生态环境得到了一定的改善。

Table 3. 2013 and 2017 Fuxian remote sensing ecological index classification statistics

表 3. 2013 和 2017 年富县遥感生态指数分级统计

生态等级	2013 年		2017 年	
	面积(km ²)	百分比(%)	面积(km ²)	百分比(%)
差	114.20	2.8	66.02	1.6
较差	556.13	13.5	499.27	12.1
一般	1256.74	30.5	1365.77	33.1
良	1428.14	34.6	1390.53	33.7
优	770.98	18.7	804.61	19.5

图 5 为研究区 2013 年和 2017 年生态指数分级图, 结合研究区 RSEI 指数分级图分析可得, 研究区 RSEI 为“差”和“较差”等级的区域主要分布在生态环境较差的地区主要分布在县城以及各大塬面和河谷川道地, 土地利用以农耕地为主, 易受城镇乡村建设和农事活动的干扰。

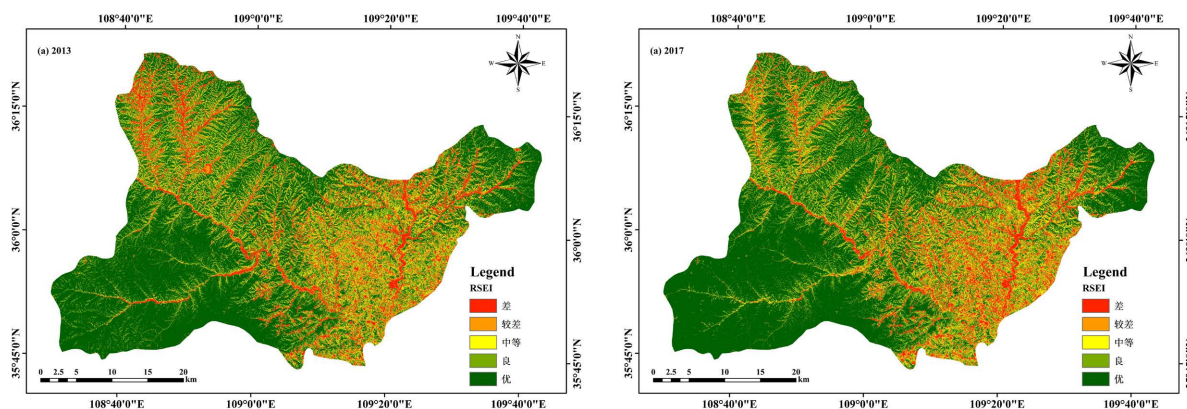


Figure 5. 2013 and 2017 remote sensing ecological index classification
图 5. 2013 和 2017 年遥感生态指数分级

(3) 生态环境状况变化分析

为了更好的了解研究区生态环境变化情况, 将对 2013~2017 年的生态环境状况进行变化分析。根据国家颁布的环境保护标准《生态环境状况评价技术规范》(HJ192-2015)生态环境状况变化度分级表, 再结合本文的研究情况, 将研究区生态环境质量变化幅度分为 3 个级别, 分别为变好、不变和变差, 分级情况见表 4 生态环境质量变化分级表。

Table 4. Ecological environment quality level change monitoring
表 4. 生态环境质量等级变化监测

类别	级差	级面积(km ²)	级比例(%)	类面积(km ²)	类比例(%)
变差	-4	1.62	0.04	688.26	16.7
	-3	7.10	0.2		
	-2	57.89	1.4		
	-1	621.65	15.1		
不变	0	2087.85	50.6	2087.85	50.6
变好	1	899.51	21.8	1349.63	32.7
	2	427.04	10.4		
	3	23.00	0.6		
	4	0.08	0		

研究区生态环境质量等级下降的面积为 688.26 km², 生态转好的面积则达 1349.63 km², 生态环境质量维持不变的面积有 2087.85 km², 约占研究区总面积的 50.6%。研究区生态环境等级为差的地区环境质量明显提高, 总体上等级上升的幅度和比例高于下降的幅度和比例, 生态环境质量一定程度上得到改善。

5. 结论

本研究以陕西省延安市富县典型黄土丘陵沟壑区为研究对象, 选取 2013 年和 2017 年两期 Landsat8 影像, 利用遥感生态指数的方法, 同时结合主成分分析法, 得到研究区的 RSEI 指数的计算值, 又集合研究区各期的统计数据, 分析研究区各期生态环境质量状况, 并结合各项数据计算研究区 2013~2017 年生态环境质量变化情况。主要结论如下:

(1) 通过对研究区 2013 年、2017 年两期遥感影像数据的分析和处理, 可以得出研究区各期的 RSEI

指数均值分别为 0.6949、0.7079, 总体呈现上升的趋势, 根据 RSEI 指数值分级表, 研究区生态环境质量大都处于“一般”和“良”级, 处于“较差”和“差”级别的比重有所下降, 处于“优”级别的比重略有增加, 总体来看 RSEI 指数值增大。

(2) 从遥感生态指数 RSEI 分级数据总体变化趋势来分析, 在 2013~2017 年间, 研究区生态环境质量以“一般”为主, 处于“较差”和“差”的比重下降, 处于“良”和“优”的比重增加, 生态等级由低级向中高级转变, 生态环境质量呈现变好的趋势。

(3) 从生态环境质量变化的整体情况来看, 研究区生态环境不变的面积占比过半, 生态环境变好面积大于变差面积, 生态环境质量总体呈现较好的状态。

项目基金

陕西省重点研发计划项目重点产业创新链(群)-农业领域(No.2022ZDLNY02-01); 陕西省土地工程建设集团内部科研项目(No.DJNY2022-19)。

参考文献

- [1] Chen, Y.P., Wang, K.B., Lin, Y.S., Shi, W., Song, Y. and He, X. (2015) Balancing Green and Grain Trade. *Nature Geosciences*, **8**, 739-741. <https://doi.org/10.1038/ngeo2544>
- [2] 陈怡平, 骆世明, 李凤民, 等. 对延安黄土沟壑区农业可持续发展的建议[J]. 地球环境学报, 2015, 6(5): 265-269.
- [3] 李柏延, 任志远, 李瑞宗, 王昀琛. 西安市地表温度反演及城市热岛强度定量化研究[J]. 资源科学, 2014, 36(12): 2631-2636.
- [4] Sullivan, C.A., Skeffington, M.S., Gormally, M.J. and Finn, J.A. (2010) The Ecological Status of Grasslands on Lowland Farmlands in Western Ireland and Implications for Grassland Classification and Nature Value Assessment. *Biological Conservation*, **143**, 1529-1539. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.035>
- [5] 魏善蓉, 金晓媚, 王凯霖, 梁华. 基于遥感的柴达木盆地湖泊面积变化与气候响应分析[J]. 地学前沿, 2017, 24(5): 427-433.
- [6] 彭擎, 王让会, 蒋烨林, 吴晓全. 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.
- [7] 宋慧敏, 薛亮. 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, 2016, 27(12): 3913-3919.
- [8] Crist, E.P. (1985) A TM Tasseled Cap Equivalent Transformation for Reflectance Factor Data. *Remote Sensing of Environment*, **17**, 301-306. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90102-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90102-6)
- [9] 姚雄, 余坤勇, 刘健, 等. 南方水土流失严重区的生态脆弱性时空演变[J]. 应用生态学报, 2016, 27(3): 735-745.
- [10] Imhoff, M.L., Zhang, P., Wolfe, R.E. and Bounoua, L. (2010) Remote Sensing of the Urban Heat Island Effect across Biomes in the Continental USA. *Remote Sensing of Environment*, **114**, 504-513. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008>
- [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. 水土流失区生态变化的遥感评估[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 91-97+294.
- [13] 李粉玲, 常庆瑞, 申健, 刘京. 黄土高原沟壑区生态环境状况遥感动态监测——以陕西省富县为例[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3811-3817.
- [14] 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.
- [15] 徐涵秋, 张好. 海岛型城市扩展的生态效应分析——以厦门岛为例[J]. 地理科学, 2015, 35(7): 867-872.
- [16] 林铎, 潘文斌. 莆田市城区生态环境评价研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(9): 179-183.
- [17] 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.
- [18] 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**, 893-899. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>