

基于遥感生态指数的阿克苏地区生态质量时空变化及其驱动力

李娟^{1,2}, 张永福^{1,2}, 余婷婷^{1,2}, 闫瑞齐^{1,2}

(1.新疆大学地理与遥感科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2.新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 为及时全面地监测阿克苏地区生态环境质量的时空变化, 基于谷歌地球引擎(GEE)平台, 利用 MODIS 多光谱传感器 2005 年、2010 年、2015 年、2020 年的遥感数据构建遥感生态指数(RSEI), 运用 Moran 指数、地理探测器等方法探究阿克苏地区生态环境质量时空演变及影响因素检测。结果表明: (1) 2005—2020 年阿克苏地区 RSEI 由 0.24 增至 0.27, 生态环境质量呈波动上升趋势, RSEI 高值区主要分布于阿克苏地区北缘以及中部绿洲区, 低值区主要分布于沙漠、戈壁等地。 (2) 2005—2020 年, RSEI 全局 Moran 指数为 0.80~0.87, 表明阿克苏地区 RSEI 呈较强的正相关; 其聚集分布以高一高(H—H)和低—低(L—L)分布为主。 (3) 各因子对空间异质解释力(q 值)在 2005—2020 年存在不同程度变化, 土地利用和降水为关键影响因素。同时, 相比单因子, 交互探测的影响力均大于单一因子的作用强度。研究结果可为当地生态环境保护提供数据支撑及方法借鉴。

关键词: 遥感生态指数; 阿克苏地区; 地理探测器

中图分类号: X821

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2023)06-0333-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2023.06.042

Assessment of Spatial-Temporal Changes of Ecological Environment Quality and Its Driving Force in Aksu Region Based on Remote Sensing Ecological Index

LI Juan^{1,2}, ZHANG Yongfu^{1,2}, YU Tingting^{1,2}, YAN Ruiqi^{1,2}

(1. College of Geography and Remote Sensing Science, Xinjiang University, Urumqi 830046;

2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830046)

Abstract: In order to monitor the spatiotemporal variations of ecological environment quality in the Aksu region comprehensively and timely, this study utilized the Google Earth Engine (GEE) platform to construct a remote sensing ecological index (RSEI) based on MODIS multispectral sensor data from 2005, 2010, 2015, and 2020. Additionally, the Moran index and Geo-detector were employed to investigate the spatial and temporal evolution of ecological quality and identify impact factors in the Aksu region. The findings indicated that: (1) The RSEI in the Aksu area increased from 0.24 to 0.27 between 2005 and 2020, exhibiting a fluctuating upward trend in ecological environmental quality. The high RSEI values were predominantly observed in the northern edge and central oasis region, while the low values were concentrated in the desert and Gobi region. (2) Throughout 2005—2020, the overall Moran index of the RSEI ranged between 0.80 and 0.87, signifying a strong positive correlation in the Aksu region, with high—high (H—H) and low—low (L—L) clusters being dominant. (3) From 2005 to 2020, the explanatory power of various factors in spatial heterogeneity (q -value) varied to different extents, with land use and rainfall identified as key drivers. Furthermore, the influence of interaction detection surpassed that of individual factors. This research provides valuable data and methodological references for the protection of the local ecological environment.

Keywords: remote sensing ecological index; Aksu region; geodetector

收稿日期: 2023-05-19

资助项目: 国家自然科学基金项目(41961024)

第一作者: 李娟(2000—), 女, 新疆伊犁人, 硕士研究生, 主要从事干旱区资源环境与遥感应用研究。E-mail: Lijuan1426@163.com

通信作者: 张永福(1964—), 男, 新疆乌鲁木齐人, 副教授, 主要从事国土资源评价研究。E-mail: 870587570@qq.com

生态环境作为社会经济可持续发展的基础,与人类生产生活密切相关,其质量可以反映区域人类生产活动与生态环境的协调程度^[1]。生态环境质量评价研究起源于 20 世纪 60 年代,现已有众多学者^[2-4]提出多种生态环境质量的评价指标,如归一化植被指数、干旱指数、叶面积指数等。但是,单一指标难以全面、客观地评价生态环境^[2-3]。综合指数通过多个指标来监测生态状况,因此更有优势。其中生态环境状况指数(ecological environment index, EI)^[4]被广泛用于流域和城市的生态环境质量评价;森林扰动指数^[5]结合 3 个缨帽分量,提供森林扰动信息。但是,在实际监测中仍存在调整权重特征,指标提取困难等问题。因此,如何开展区域生态环境质量动态监测仍是亟待解决的问题。

遥感技术的快速发展极大地促进区域尺度对地观测研究,也为生态环境质量监测提供新方法;2013 年徐涵秋^[6]提出基于遥感技术的生态环境质量监测模型—遥感生态指数(remote sensing ecological index, RSEI),集成 4 种代表人类直观感受生态质量优劣的最重要指标^[7-8],RSEI 可反映人类活动、环境状态和气候变化对环境造成的压力。因此,RSEI 有利于客观定量评价区域生态环境质量的变化。由于 4 种因子具有相同遥感数据源,利用 RSEI 评价生态环境质量可以避免因主观因素导致权重定义的误差^[9]。此外,研究^[10-11]发现,RSEI 在不同时空尺度上具有可视化、可扩展性和可信度,对于大区域尺度,监测面临数据量大、预处理繁杂等困难。谷歌地球引擎(google earth engine, GEE)的数据分析能力和海量

数据源可以解除数据获取的时间和空间限制,同时也避免繁琐数据预处理问题,如校正、去云、镶嵌等。

阿克苏地区是新疆南北东西要冲的重要节点,也是新疆推进丝绸之路经济带核心区建设不可或缺的一环。由于当地干旱少雨,沙漠戈壁较为广阔,虽然生态空间大,但环境脆弱,城市扩张和环境保护之间存在一定的矛盾。以往研究^[10]多集中在区域生态环境质量的时空变化分析和动态监测,但生态环境空间异质性驱动分析较少。因此,以阿克苏地区为研究对象,以 2005—2020 年 MODIS 数据为数据源,基于谷歌地球引擎构建遥感生态指数进行生态环境质量评价,利用空间自相关分析阿克苏地区生态环境质量的空间集聚特征,并进一步通过地理探测器测度阿克苏地区生态环境质量的影响因素。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

阿克苏地区位于南疆的中心位置,地理坐标为 78°03′—84°07′E, 39°30′—42°41′N。当地区位独特,是国家“一带一路”向西开放和连通欧亚国际经贸大通道的桥头堡,是辐射亚欧大陆的门户。地势北高南低,由西北向东南倾斜。属于暖温带干旱型气候,降雨量少,日照长。农业资源异常丰富,素有“瓜果之乡”之美誉,是全国最大的棉花主产区、国家优质商品棉基地。研究区概况及土地利用类型见图 1。地区各县市的经济发展水平差距显著,一二产业占主导地位;但生态质量较低,生态环境脆弱,沙化、水土流失严重。

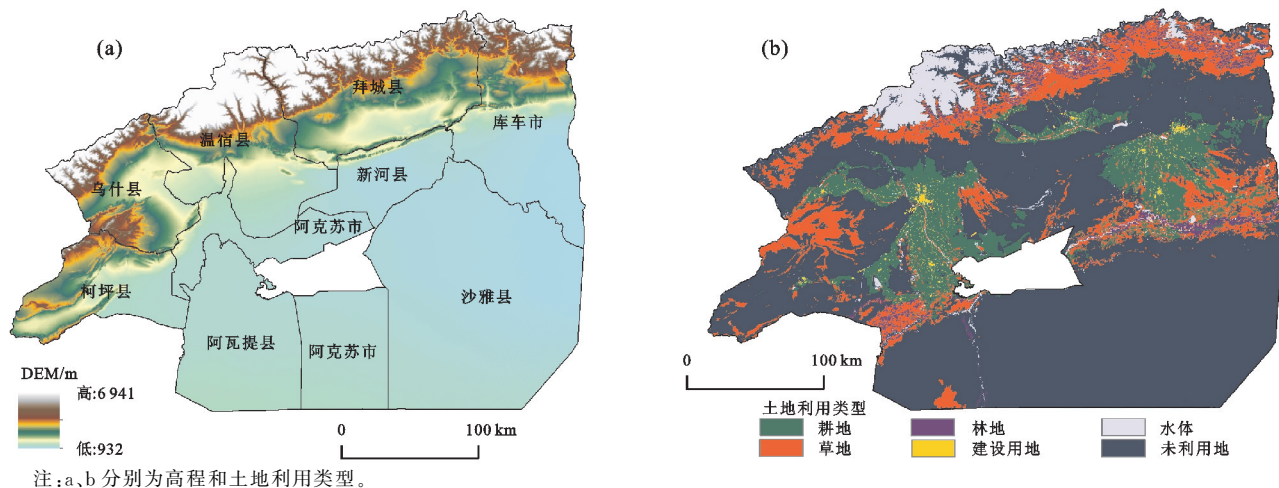


图 1 研究区概况

1.2 数据源及预处理

1.2.1 MODIS 数据 选取 2005—2020 年夏季(6—8 月) MODIS 数据集 MOD09A1、MOD13A1 和 MOD11A2,产品数据均来自美国地质调查局,由 GEE 平台集成,其中湿度和干度选取 2005—2020 年 MODIS 500 m 地表反射率合成产品(MOD09A1),

该产品已对气溶胶和瑞利散射等大气效应进行了校正^[12];使用 MOD13A1 影像集中的 500 m 分辨率植被指数数据来计算绿度分量^[13];热度分量采用 MOD11A2 LST 合成产品,提供每 8 天收集的所有 MOD11A1 LST 像素的平均值,空间分辨率为 1 km^[14]。为避免大面积水体对结果造成影响,采用徐

涵秋^[15]提出的归一化水体指数去除水体信息;为保持分辨率一致,将其重采样至 1 km。

1.2.2 其他数据 研究使用全球人口普查数据来源于 WorldPop(<https://hub.worldpop.org>),结合中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)的国内 GDP、DEM 和土地利用数据,夜间灯光数据来自国家青藏高原科学数据中心(<https://data.tpdc.ac.cn/>),以及国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn/>)提供的逐年年降水量、年均气温数据,空间分辨率均为 1 km。

1.3 研究方法

1.3.1 遥感生态指数的构建 RSEI 是新开发的综合指数,该方法基于压力—状态—响应(pressure-state-response, PSR)框架,考虑 4 个生态指标构建模型,利用遥感数据快速监测生态状况^[16],并通过主成分分析整合 4 个指标,分别选取 NDVI、NDBSI、LST 和 WET 来代表绿度、干度、热度以及湿度,即:

$$RSEI = f(G_{NDVI}, W_{WET}, D_{NDBSI}, H_{LST}) \quad (1)$$

式中:RSEI 为遥感生态指数;G、W、D、H 分别为绿度、湿度、干度以及热度;NDVI 为归一化植被指数;WET 为湿度指数;LST 为地表温度;NDBSI 为建筑指数和土壤指数。

湿度分量以 WET 来代表,其计算公式为^[17]:

$$WET = 0.1147\rho_1 + 0.2489\rho_2 + 0.2408\rho_3 + 0.3132\rho_4 - 0.3122\rho_5 - 0.6416\rho_6 - 0.5087\rho_7 \quad (2)$$

式中: $\rho_1 \sim \rho_7$ 分别为 MOD09A1 的红波段、近红外 1 波段、蓝波段、绿波段、近红外 2 波段、短波红外 1 波段和短波红外 2 波段。

干度分量包括建筑指数和土壤指数,其计算公式为^[18]:

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

$$IBI = \frac{2SWIR1 / (SWIR1 + NIR) - [NIR / (NIR + RED) + GREEN / (GREEN + SWIR1)]}{2SWIR1 / (SWIR1 + NIR) + [NIR / (NIR + RED) + GREEN / (GREEN + SWIR1)]} \quad (4)$$

$$SI = \frac{(SWIR1 + RED) - (NIR + BLUE)}{(SWIR1 + RED) + (NIR + BLUE)} \quad (5)$$

式中:RED、GREEN、BLUE、NIR、SWIR1 分别为 MODIS 产品的红波、绿波、蓝波、近红外和短波红外 1 波段。

热度由 MODIS LST 产品数据表示,其计算公式为^[19]:

$$LST = DN \times 0.02 - 273.15 \quad (6)$$

式中:DN 为地表温度波段对应的灰度值。

绿度采用 MOD13A1 数据集,其增强型植被指数用于提取 RSEI 中的绿度分量。

由于 4 个指标计算量纲不唯一,故需对其进行归

一化处理,将其范围统一至 0~1 的区间内^[20];通过主成分分析计算初始 RSEI₀:

$$RSEI_0 = PC1 [f(NDVI, LST, WET, NDBSI)] \quad (7)$$

$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI_{0_min}) / (RSEI_{0_max} - RSEI_{0_min}) \quad (8)$$

式中:PC1 为第 1 主成分,对其进行归一化后得 RSEI, RSEI 的值与生态环境质量为正相关,即越接近于 1,生态越好。

1.3.2 空间自相关分析 空间自相关分析是通过观察地理现象或变量的总体离散程度来确定其空间是否存在聚集的方法,可反映要素与其相邻要素属性值之间是否关联^[21]。采用全局莫兰指数(Global Moran's I)分析阿克苏地区生态环境质量的空间相关性,其取值范围是 -1~1;采用 LISA 指数(Local Moran's I)衡量单元自相关程度,揭示局部地区 RSEI 是否存在显著的高高集聚区和低低集聚区^[22],其计算公式为:

$$\text{Global Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

$$\text{Local Moran's } I = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

式中:n 为样本数; x_i 和 x_j 为 x 在第 i 个和第 j 个空间位置的观测值, $\bar{x}$ 为各元素生态环境质量的平均值; W_{ij} 为空间权重。

1.3.3 地理探测器 地理探测器是分析因变量和自变量空间分布格局一致性的工具,以度量因变量对自变量的解释能力(q 值), q 的取值范围为 0~1, q 值越接近于 1,因子的解释力越强^[23]。根据科学性、可用性的原则选择影响因子,以人口密度(POP)、GDP、年降水量、土地利用数据、DEM、年均气温以及夜间灯光数据 7 个影响因素作为自变量 X,以研究区 RSEI 值作为因变量 Y,利用地理探测器进行探测分析。计算公式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (11)$$

式中:L 为因子的分层; N_h 和 N 表示层 h 和研究区的单元数; σ^2 和 σ_{h2} 表示层 h 和全区 Y 值的方差。

2 结果与分析

2.1 生态环境指标主成分分析

由表 1 可知,第 1 主成分(PC1)的贡献率均大于

70%，最大达 77.65%，最小为 73.26%，表明 PC1 能更好地集中 4 个指标的特征信息；PC2~PC4 的大小与正负表现不一致，难以解释生态现象，故采用 PC1 来建立综合遥感生态指数。其中 NDVI 和 WET 的载荷为正，NDBIS、LST 载荷为负，与实际情况相符。

表 1 各指标在第 1 主成分的贡献度

年份	指标	PC1	PC2	PC3	PC4
2005	NDVI	0.50	-0.76	0.36	-0.22
	WET	0.31	0.05	-0.71	-0.63
	NDBSI	-0.33	0.26	0.53	-0.74
	LST	-0.74	-0.60	-0.29	-0.85
	贡献率	73.26	19.73	5.94	1.07
	NDVI	0.57	-0.82	0.10	-0.02
2010	WET	0.27	0.07	-0.96	-0.03
	NDBSI	-0.02	0.01	0.29	-1.00
	LST	-0.78	-0.57	-0.26	0
	贡献率	77.65	18.79	3.55	0.01
	NDVI	0.66	-0.51	-0.47	0.29
	WET	0.27	0.13	0.67	0.68
2015	NDBSI	-0.46	0.26	-0.53	0.66
	LST	-0.52	-0.81	0.23	0.14
	贡献率	77.20	16.23	5.33	1.24
	NDVI	0.62	0.49	0.51	0.33
	WET	0.25	-0.07	-0.68	0.69
	NDBSI	-0.48	-0.34	0.50	0.63
2020	LST	-0.57	0.80	-0.16	0.13
	贡献率	75.60	19.09	4.15	1.16

2.2 阿克苏地区遥感生态指数的时空变化

由图 2 可知，阿克苏地区 2005—2020 年 RSEI 数值分布及均值，各年份下四分位值均>0.05，2010 和 2020 年上四分位高于 0.40，2005 年和 2015 年上四分位均>0.35。2005—2020 年阿克苏地区 RSEI 均值呈上升—下降—上升趋势，2005 年至 2010 年改善较为明显，2010 年至 2020 年波动较小(<0.01)，并于 2020 年达到最高(0.27)，说明阿克苏地区生态环境质量总体呈改善趋势。

对区域生态环境质量评价结果进行分类，按 0.2 为 1 个区间将其划分为差(0.0~0.2)、较差(0.2~0.4)、一般(0.4~0.6)、良好(0.6~0.8)、优秀(0.8~1.0)5 个等级^[24]。各 RSEI 等级的面积见表 2。16 年间生态环境质量良好和极好的等级区域面积增加 7 608 km²，较差和差的等级区域面积减少 4 629 km²。由图 3 可知，各年度差和较差的生态环境质量区域均占总面积的 70% 以上，与阿克苏地区生态本底中沙漠戈壁占总面积较大密不可分，各年度生态环境质量为中等、良好和极好的区域比例之和分别为 22.48%，

26.56%，23.49%和 26.19%。综合可见，2005—2020 年，阿克苏地区生态环境质量有所改善。

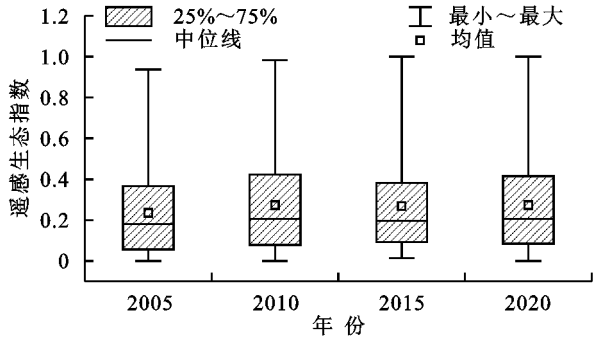


图 2 阿克苏地区 2005—2020 年 RSEI 均值及其分布

表 2 阿克苏地区 2005—2020 年 RSEI 等级面积

单位: km²

RSEI 等级	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
差	67103	61007	63569	60880
较差	29546	30553	31825	31140
中	20378	15465	15503	17395
良好	7491	17135	10746	14058
极好	163	521	3041	1204

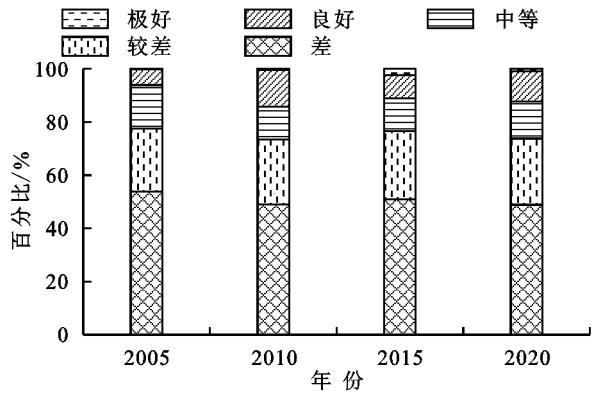


图 3 阿克苏地区 2005—2020 年 RSEI 等级分布百分比

由图 4 可知，阿克苏地区 2005—2020 年 RSEI 值的空间分布。总体来看，阿克苏地区生态环境质量为极好和好的区域主要集中在其北缘和中部绿洲区，土地利用类型包括草地、林地以及集中连片的耕地，其中草地和林地起到生态调节作用，而连片耕地的农田生态系统更加稳定。生态环境质量为中等区域大多分布于绿洲边缘，差的区域主要集中在南部塔克拉玛干沙漠地区以及中部的戈壁。

2.3 阿克苏地区生态环境质量等级演变

为分析研究区 2005—2020 年间生态环境质量时空差异变化，基于 RSEI 分级结果，对 2005—2010 年、2010—2015 年、2015—2020 年及 2005—2020 年的 RSEI 值分别进行差值变化监测，依据其变化多少将其分为退化(-3,-2,-1)，不变(0)以及改善(+1,+2,+3,+4) 3 种类型^[25]。由表 3 可知，阿克苏地区大部分区域生态环境质量保持稳定，不变比例分别占 77.79%，72.79%，

78.73%,均>70%;对 2005—2020 年改善及退化类型面积进行平均,退化为-3,-2,-1 的平均面积分别为 44 740,11 052 km²,而+1,+2,+3,+4 的平均面积分

别为 17 254,553,47,1 km²。整体来说,阿克苏地区改善面积达 23 330 km²,占总面积 18.71%,退化面积为 7 919 km²,占总面积 6.35%。

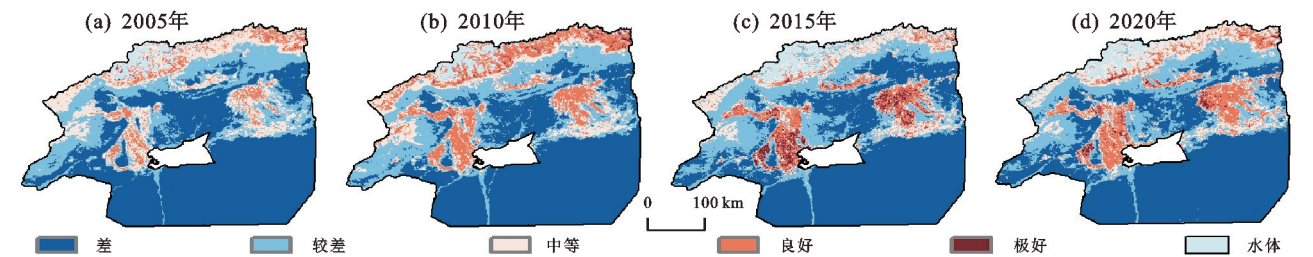


图 4 阿克苏地区 2005—2020 年 RSEI 等级分布
表 3 阿克苏地区 2005—2020 年生态环境级别变化

年份	面积/km ²	恶化			不变	改善		
		-3	-2	-1		1	2	4
2005—2010	类面积	0	33	3210	96981	24092	349	10
	级面积		3243		96981		24451	
	占比/%		2.60		77.79		19.61	
2010—2015	类面积	5	1174	19527	90750	12383	756	81
	级面积		20706		90750		13222	
	占比/%		16.61		72.79		10.60	
2015—2020	类面积	7	203	10418	98157	15287	553	50
	级面积		10628		98157		15890	
	占比/%		8.52		78.73		12.75	
2005—2020	类面积	3	198	7718	93423	19728	2930	652
	级面积		7919		93423		23330	
	占比/%		6.35		74.94		18.71	

2.4 阿克苏地区生态环境质量空间自相关

在保证区域尺度内信息完整以及定量评价精确的情况下,为更好地理解阿克苏地区生态环境质量的空间相关性,结合景观格局特点,采用 5 km×5 km 的网格对其进行空间采样,将样本投影至三维空间中。由图 5(a)

可知,NDVI 和 WET 的值越高,RSEI 亦越高,说明绿度和湿度与生态环境质量呈正相关,对生态环境起正向影响作用;由图 5(b)可知,LST 和 NDBSI 的值越高,RSEI 的值越低,说明干热与生态环境质量呈负相关关系,对生态环境起负向影响作用。

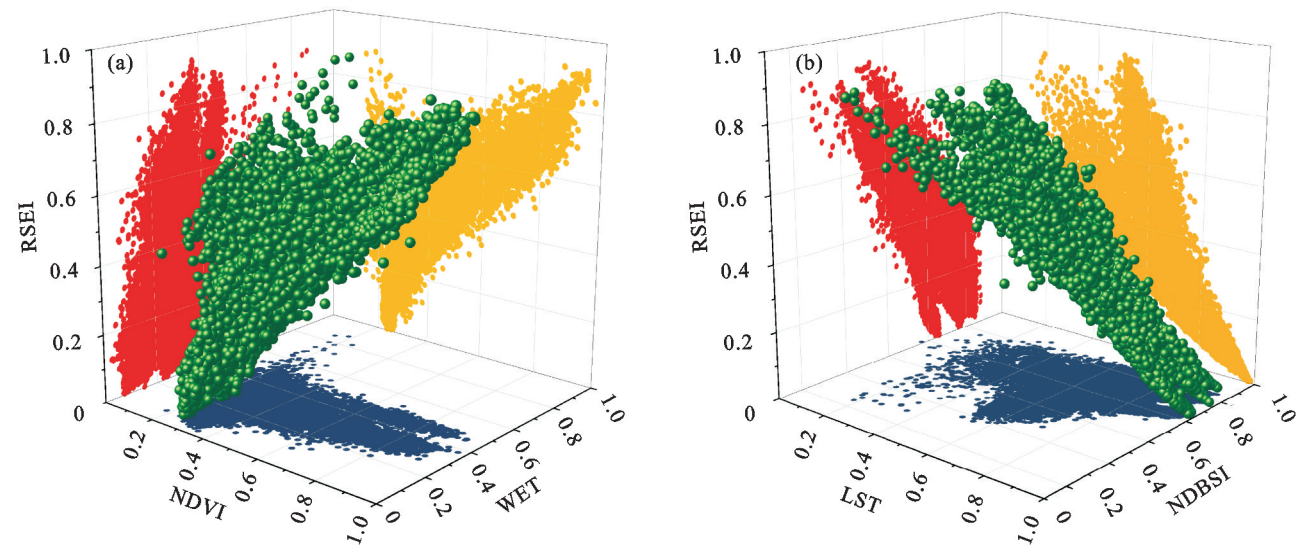


图 5 阿克苏地区 RSEI 与各指标三维散点

通过莫兰指数确定变量是否存在空间相关性及其相关性的程度(图 6)。由图 6 可知,2005—2020 年

的 Moran's I 指数分别为 0.87,0.86,0.80 和 0.82,在 2015 年出现略微下降后于 2020 年又得以提升,表明

阿克苏地区的生态环境质量存在较强的空间相关性,散点主要分布于第 1 象限,说明 RSEI 存在显著的聚集状态,而非随机分布。

利用局部莫兰指数得到 RSEI 的聚散类型分布图,即低—低(L—L)、高—高(H—H)空间聚集类、高—低(H—L)、低—高(L—H)空间聚集类不显著。由图 7 可知,阿克苏地区生态环境质量空间自相关特

征以高 RSEI 值和低 RSEI 值集聚为主,说明 RSEI 的空间分布相互联系紧密。其中 H—H 类在 2005—2020 年分别占 25.76%,25.63%,23.57%,25.18%,分布区域与 RSEI 高值区相一致。2005—2020 年 L—L 类型面积比例不断减少,分别占 37.09%,37.08%,35.69%,34.21%。总体来说,L—L 和 H—H 所占面积大,L—H 和 H—L 分布面积较小。

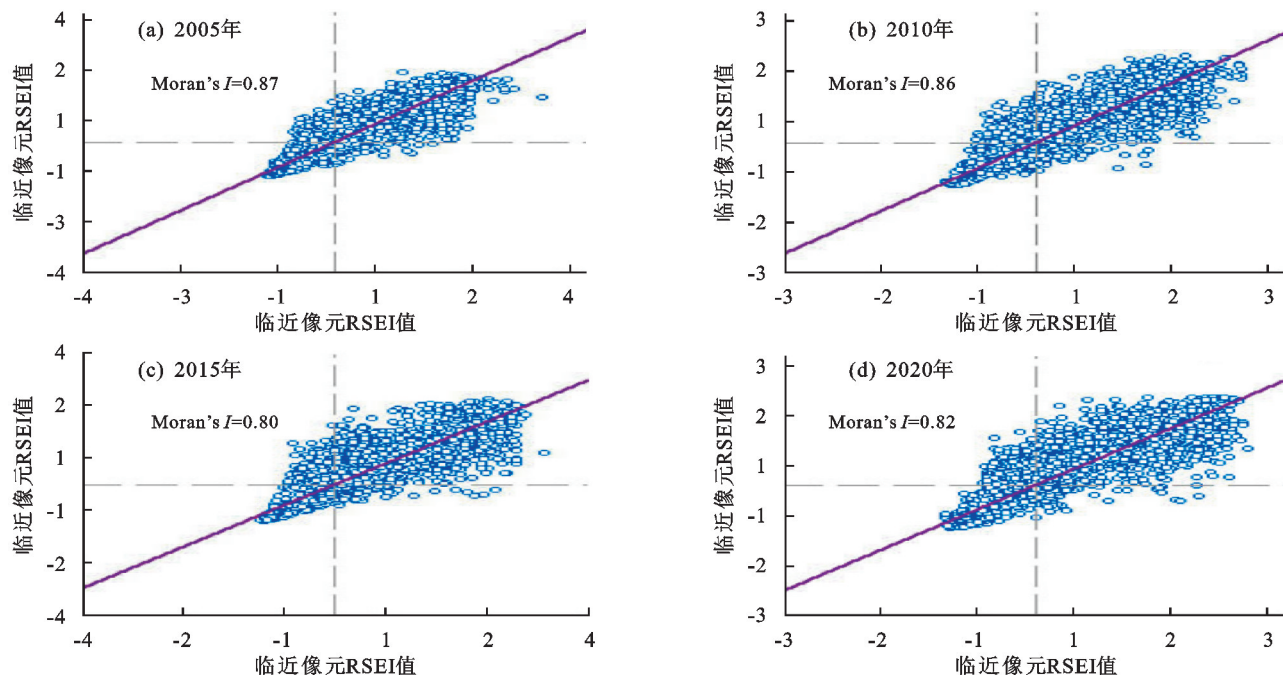


图 6 阿克苏地区 2005—2020 年 Moran 指数散点

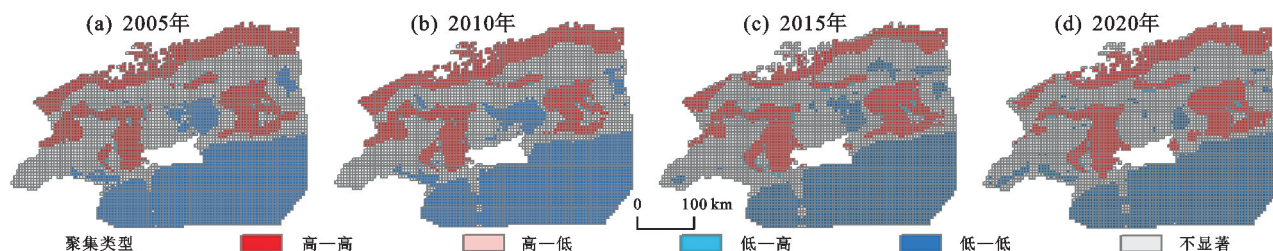


图 7 阿克苏地区 2005—2020 年 LISA 聚类

2.5 阿克苏地区生态环境质量驱动力分析

从单因子探测结果来看,各要素的 p 值均 <0.01 ,说明所选要素对 RSEI 的空间分异影响显著,但影响程度不一(表 4)。各影响因素中土地利用的解释力最大,是阿克苏地区生态环境质量的主控因子。生态修复工作的开展和柯柯牙绿化工程等人类活动改变地表植被类型,一定程度上改善生态环境。年降水量的解释力次之,降水对植被覆盖率、土壤湿度等自然因素产生影响,进而影响生态环境质量。总体来看,国土资源的合理开发是当地生态保护的关键。

由图 8 可知,各影响因子相互作用对 7 个影响因子的交互探测结果表明,因子间交互作用表现出双因子增强和非线性增强的效果,不存在相互独立及减弱的情况,其中降水和土地利用的交互作用力最大,对研究区生态环境质量的空间分异性具有最强的解释

力。综合单因子探测结果,阿克苏地区生态环境质量的空间分异性不是单一因子独立作用的结果,而是各要素相互作用、增强的综合作用导致的,单因子和双因子交互探测结果的差异反映出各因子对阿克苏地区生态环境质量的影响,可通过与其他要素协同作用更好地反映出来。

表 4 因子探测结果

q 值	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	均值
POP	0.11	0.11	0.20	0.16	0.15
GDP	0.18	0.20	0.27	0.25	0.22
年降水量	0.52	0.47	0.21	0.32	0.38
土地利用	0.47	0.48	0.58	0.61	0.53
DEM	0.38	0.37	0.13	0.17	0.26
年均气温	0.41	0.39	0.14	0.19	0.28
夜间灯光	0.01	0.01	0.03	0.04	0.02

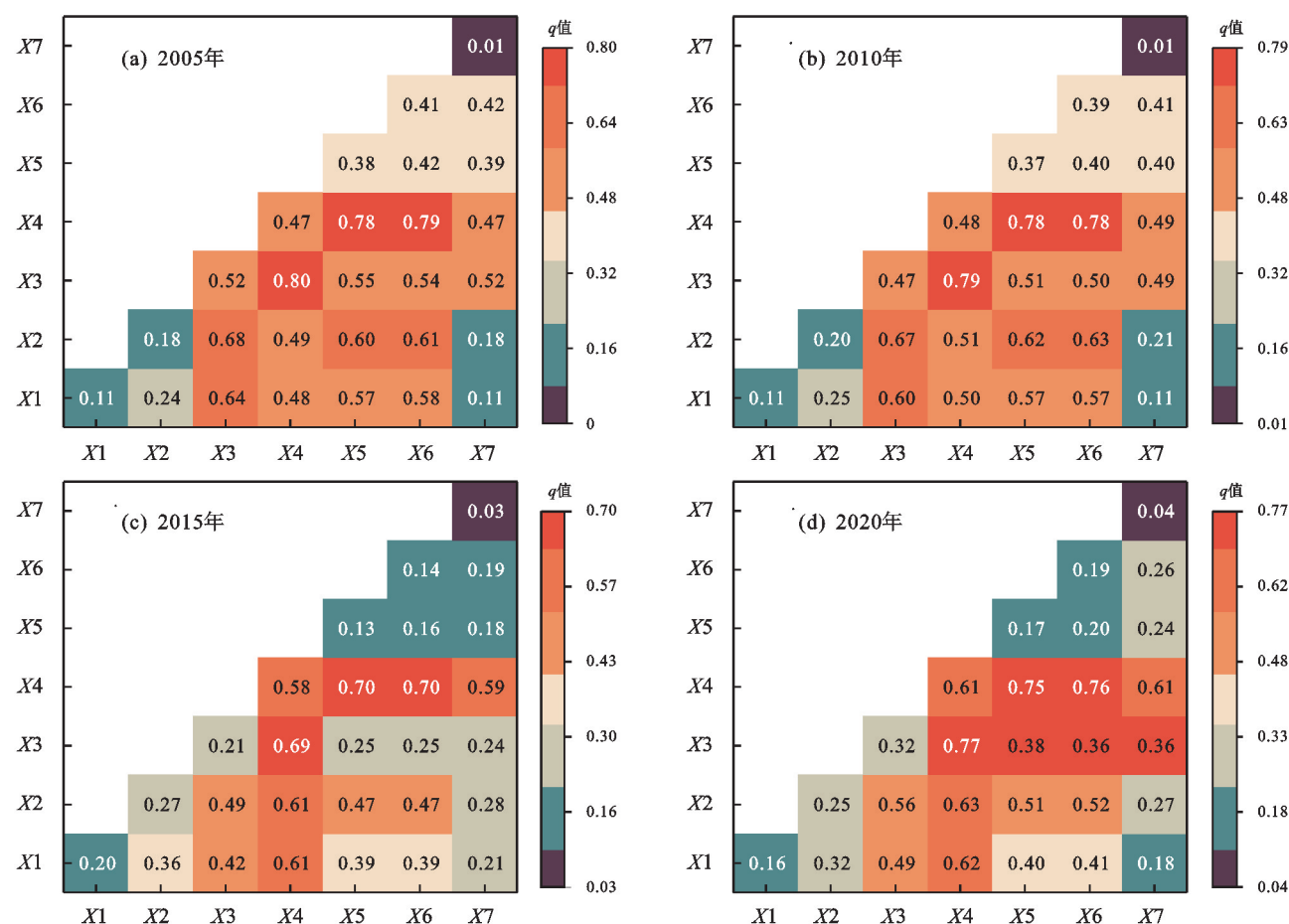


图 8 阿克苏地区 2005—2020 年影响因子交互探测

3 讨论

研究区 RSEI 均值整体偏低,与荒漠系统占研究区面积较大有关;16 年间阿克苏地区生态环境质量整体呈上升趋势,降水和土地利用是最主要的影响要素。在国家 and 自治区的大力支持下,阿克苏地区积极实施生态修复治理工程,推进生态文明建设,探索一条具有阿克苏特色、生态优先的创新之路。其中,最具代表性的是被联合国列入“全球 500 佳境”之一的“柯柯牙绿化工程”,阿克苏地区地表植被盖度整体呈改善状态,地区植被覆盖明显提升,与前人^[26]研究成果相一致。自 2000 年起,新疆采用人工种植方法来构建生态系统层次,以恢复和改善生态系统;并采取禁牧制、退化草场休牧制、基本草原划区轮牧制等退牧还草措施来保护沙漠草地、沙化草地和退化草地等生态环境较脆弱的区域;采用提质改造保护优质连续耕地,保护耕地生态从而更好地保护该地区的整体生态环境^[27]。故土地资源的合理利用在一定程度上改善生态环境质量。

相比于传统处理工具,GEE 可以快速处理影像,有效地解决大范围研究区时面临的问题。虽然,RSEI 在生态环境质量的时空变化评价中已被证明其有效性,但仍存在一些局限性。基于 RSEI 的生态环

境质量评价方法侧重于绿色、湿度、干度和热度 4 个关键指标,可以考虑增加更多指标,如气溶胶、盐度指标等来提升指标对研究区生态环境质量评价的代表性。未来研究中应综合人为因素、自然因素等多种要素对生态环境质量进行更全面的评价。

4 结论

- (1)2005—2020 年 RSEI 整体呈波动上升趋势。其中,阿克苏地区中部绿洲区域生态环境质量较好,南部沙漠地区及中部戈壁生态环境质量较差。虽然阿克苏地区的城规划建设如火如荼,总体生态环境质量却没有大规模下降,与科学的国土空间规划密不可分。
- (2)2005—2020 年 Moran 指数分别为 0.87, 0.86,0.80 和 0.82,表明生态环境质量存在较强的空间自相关性,空间分布呈聚集性,以 H—H、L—L 为主,而 H—L、L—H 分布较少且较为分散。
- (3)阿克苏地区的生态环境质量提升除受降水、DEM 等自然因素的影响外,主要得益于当地土地资源的合理利用。
- 参考文献:
- [1] 张静,杨丽萍,贡恩军,等.基于谷歌地球引擎和改进型遥感生态指数的西安市生态环境质量动态监测[J].生

- 态学报, 2023, 43(5): 2114-2127.
- [2] Alcaraz-Segura D, Lomba A, Sousa-Silva R, et al. Potential of satellite-derived ecosystem functional attributes to anticipate species range shifts[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2017, 57: 86-92.
- [3] Chen J, Shen M G, Zhu X L, et al. Indicator of flower status derived from in situ hyperspectral measurement in an alpine meadow on the Tibetan Plateau[J]. *Ecological Indicators*, 2009, 9(4): 818-823.
- [4] 李粉玲, 常庆瑞, 申健, 等. 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.
- [5] 杨辰, 沈润平, 郁达威, 等. 利用遥感指数时间序列轨迹监测森林扰动[J]. *遥感学报*, 2013, 17(5): 1246-1263.
- [6] 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.
- [7] Mishra N B, Crews K A, Neeti N, et al. MODIS derived vegetation greenness trends in African Savanna: Deconstructing and localizing the role of changing moisture availability, fire regime and anthropogenic impact[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 169: 192-204.
- [8] Coutts A M, Harris R J, Phan T, et al. Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 186: 637-651.
- [9] 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.
- [10] Gorelick N, Hancher M, Dixon M, et al. Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 18-27.
- [11] Xiong Y, Xu W H, Lu N, et al. Assessment of spatial-temporal changes of ecological environment quality based on RSEI and GEE: A case study in Erhai Lake Basin, Yunnan Province, China[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 125: e107518.
- [12] 吴小波, 范晓雨, 刘晓敬, 等. 基于 GoogleEarthEngine 云平台的成渝城市群生态环境质量时空变化[J]. *生态学杂志*, 2023, 42(3): 759-768.
- [13] 章程焱, 杨少康, 董晓华, 等. 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*, 2023, 30(1): 356-363.
- [14] Hwang T, Song C H, Bolstad P V, et al. Downscaling real-time vegetation dynamics by fusing multi-temporal MODIS and Landsat NDVI in topographically complex terrain[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(10): 2499-2512.
- [15] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. *遥感学报*, 2005, 9(5): 589-595.
- [16] 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.
- [17] Lobser S E, Cohen W B. MODIS tasselled cap: Land cover characteristics expressed through transformed MODIS data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(22): 5079-5101.
- [18] Yuan B D, Fu L N, Zou Y A, et al. Spatiotemporal change detection of ecological quality and the associated affecting factors in Dongting Lake Basin, based on RSEI[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 302: e126995.
- [19] 田浩, 刘琳, 张正勇, 等. 2001—2020 年中国地表温度时空分异及归因分析[J]. *地理学报*, 2022, 77(7): 1713-1729.
- [20] Jing Y Q, Zhang F, He Y F, et al. Assessment of spatial and temporal variation of ecological environment quality in Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve, Xinjiang, China[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 110: e105874.
- [21] Shan Y F, Dai X A, Li W L, et al. Detecting spatial-temporal changes of urban environment quality by remote sensing-based ecological indices: A case study in Panzhihua city, Sichuan Province, China[J]. *Remote Sensing*, 2022, 14(17): e4137.
- [22] Geng J W, Yu K Y, Xie Z, et al. Analysis of spatio-temporal variation and drivers of ecological quality in Fuzhou based on RSEI[J]. *Remote Sensing*, 2022, 14(19): e4900.
- [23] 李妍, 张国钦, 吝涛, 等. 乡镇遥感生态指数时空变化及影响因子研究: 以天津市蓟州区为例[J]. *生态学报*, 2022, 42(2): 474-486.
- [24] Yue H, Liu Y, Li Y, et al. Eco-environmental quality assessment in China's 35 major cities based on remote sensing ecological index[J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 51295-51311.
- [25] 周玲美, 王世航. 内蒙古杭锦旗生态环境时空变化的遥感监测与评价[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(6): 1999-2006.
- [26] 方贺, 严佩文, 石见, 等. 阿克苏地区植被生态质量时空变化及其驱动机制[J]. *干旱区研究*, 2022, 39(6): 1907-1916.
- [27] 周紫燕, 汪小钦, 丁哲, 等. 新疆生态质量变化趋势遥感分析[J]. *生态学报*, 2020, 40(9): 2907-2919.