

基于遥感生态指数的阜新市生态环境变化分析

曹 辰¹, 杨国林^{1,2,3*}, 锁旭宏⁴, 刘 涛^{1,2,3}, 安旭伟¹, 胡 栋^{1,3}

(1. 兰州交通大学 测绘与地理信息学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 地理国情监测技术应用国家地方联合工程研究中心, 甘肃 兰州 730070;
3. 甘肃省地理国情监测工程实验室, 甘肃 兰州 730070; 4. 中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛 266071)

摘 要:以阜新市为研究区域,利用主成分分析法对影响生态环境的因素进行单因素分析和多重因素的交互作用分析。选取阜新市 2007、2013 年和 2019 年的 Landsat 遥感影像对湿度、绿度、干度和热度 4 个生态环境影响因素进行提取,并结合主成分分析将多重影响因素耦合为遥感生态指数 RSEI,从而对阜新地区进行生态环境质量评价。结果表明,2007—2019 年,阜新市 RSEI 指数总体呈上升趋势,由 2007 年的 0.671 增加到 2019 年的 0.687,生态环境指数上升 2.32%;研究区域内大部分 RSEI 等级为中和良的地区,面积占比提高到 90.58%;总体来看,生态环境整体向好发展。对于阜新市与 RSEI 指数相关度最高的是干度分量,因此应重点关注干度分量中建筑指数和土壤指数协同作用对生态环境的影响。

关键词:生态环境;生态环境质量;遥感生态指数;干度(NDBSI);阜新市

中图分类号:TP237

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2022)02-0200-08

An Analysis of Ecological Environment Change in Fuxin City Based on the Remote Sensing Ecological Index

CAO Chen¹, YANG Guo-lin^{1,2,3*}, SUO Xu-hong⁴, LIU Tao^{1,2,3}, AN Xu-wei¹, HU Dong^{1,3}

(1. Faculty of Geomatics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. National-Local Joint Engineering Research Center of Technologies and Applications for National Geographic State Monitoring, Lanzhou 730070, Gansu, China;
3. Gansu Provincial Engineering Laboratory for National Geographic State Monitoring, Lanzhou 730070, Gansu, China;
4. No. 2 Engineering Company Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Company Ltd., Qingdao 266071, Shandong, China)

Abstract: Taking Fuxin City as the research area, principal component analysis was used to analyze the single factor and multi-factor interaction which affect the ecological environment. Landsat remote sensing images of Fuxin City in 2007, 2013 and 2019 were selected to extract the four ecological environment influencing factors, including humidity, greenness, dryness and heat, which were coupled into remote sensing ecological index (RSEI) by principal component analysis method to evaluate the ecological environment quality of Fuxin area. The results showed that from 2007 to 2019, the RSEI index of Fuxin City was on the rise, from 0.671 to 0.687, and the ecological environment index rose by 2.32%. The area with good and medium RSEI level increased to 90.58%. Overall, the ecological environment is becoming better. The highest correlation with RSEI index is the dryness component for Fuxin City. Therefore, more attention should be paid on the synergistic effect of building index and soil index of dryness component on ecological environment.

Key words: ecological environment; ecological environment quality; remote sensing ecological index (RSEI); NDBSI; Fuxin City

气候的不规律变化对生态环境的影响日益加重,而生态环境的不断变化导致各地区社会与经济

收稿日期:2021-04-07 修回日期:2021-08-27

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0803106);国家自然科学基金项目(41764001);国家自然科学基金项目(41761088);兰州交通大学“兰州交通大学优秀平台支持”(201806);兰州交通大学“兰州交通大学天佑创新团队”(TY202001)。

第一作者:曹 辰。研究方向:遥感和地理信息系统在生态环境中的应用。E-mail:2380053753@qq.com

*通信作者:杨国林,博士,副教授。研究方向:测量数据处理、地壳形变监测理论与方法。E-mail:24980139@qq.com

的不协调发展加剧^[1]。我国对不同的环境问题选取了不同的监测方法,对生态环境变化进行分析和评价,由于遥感技术的快速性、实时性所以大多数都是采用遥感技术进行监测评价。由于生态环境的变化并不只是由单一的环境因素导致,大多环境问题都是由多种环境因素共同影响所造成的。因此在对生态环境问题进行分析研究时,不能只考虑单一的生态环境因素,需要对多个环境因素进行综合性分析,并进行总体性研究。徐涵秋^[2]提出的新型遥感生态指数(remote sensing based ecological index, RSEI)是集合了多种遥感信息所集合而成的遥感综合生态指数,利用植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)、地表温度(land surface temperature, LST)、湿度(Wet)、干度(normalized difference built-up and soil index, NDBSI)指标 4 个因素生成生态指数对生态环境进行综合性分析,近年来,在生态环境质量评价方向该方法被广泛地应用。刘智才等^[3]通过对遥感生态指数的反演,发现植被和水体的破坏是城市生态质量下降的主因。宋慧敏等^[4]对渭南市的生态指数进行分析,发现从 1995—2015 年生态环境有所好转。杨江燕等^[5]通过对 1995—2015 年雄安新区生态质量进行评估,发现雄安新区由于水体污染和植被遭到破坏,导致生态环境呈现恶化的趋势。杨永健等^[6]通过统计学方法讨论遥感生态指数聚集状态,得到植被指数和城市建筑裸土指数对遂宁市船山区生态环境影响最大。朱泓等^[7]通过对 1988—2018 年滇中湖泊流域生态环境进行分析,发现滇中湖泊各个流域生态环境整体向好发展。

遥感生态指数对生态环境的评价是将多种生态环境因素的单一作用与多因素间的协同作用,进行综合性分析。将植被指数、地表温度、湿度、干度指标 4 个因素相结合,用于研究区域生态环境质量概况评定、时空变化、建模与分析。因此,本研究对 Landsat 影像进行主成分分析与归一化处理,并进行各环境因素的耦合,对阜新市的生态环境进行综合性和系统性的评价,通过对 2007—2019 年间变化趋势与特征的分析,可以得出对生态环境治理和区域建设提供一定的理论依据。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域

阜新市是辽宁省西北部地区的中心城市,位于内蒙古高原和东北辽河平原的中间过渡带,与科尔沁沙地南缘相接壤,全区呈现长矩形,中轴斜交于 42°10'N,122°00'E 的交点上。东西长 170 km,南北

宽 84 km,总面积 10 445 km²。阜新市属于中温带半干旱半湿润大陆性季风气候区^[8],区域内降水时空分布不均衡,年降水量平均不足 500 mm,水资源状况较差。研究区域林草占地面积小,植被覆盖率较低,属于生态环境敏感脆弱区。阜新市行政区域如图 1 所示。

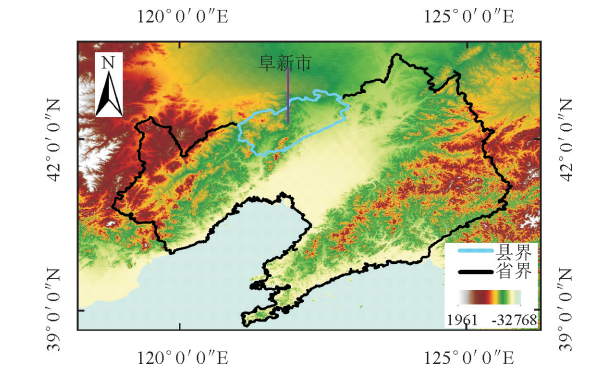


图 1 阜新市所在行政区域
Fig. 1 Administrative region of Fuxin city

1.2 数据来源

本研究以阜新市为研究区域,数据主要来源于 2007 年 9 月 4 日、2013 年 5 月 23 日和 2019 年 10 月 15 日 3 景 Landsat 影像。为了确保所选遥感影像的精度,尽量选取同一季节且云层含量较少的影像,详细信息见表 1。将辽宁省阜新市的行政区域规划矢量文件作为底图。

表 1 遥感影像数据				
Table 1 Remote sensing image data				
序号	成像日期	卫星/传感器	轨道号	云量/%
1	2007-09-04	Landsat7/EMT+	120-30	0.14
		Landsat7/EMT+	120-31	0.23
2	2013-05-23	Landsat8/OLI_TIRS	120-30	0.02
		Landsat8/OLI_TIRS	120-31	0.05
3	2019-10-15	Landsat8/OLI_TIRS	120-30	0.21
		Landsat8/OLI_TIRS	120-31	0.06

影像为了避免大气、地形和光照等因素对不同年份数据精度的影响,减少外在因素导致的差异,在 ENVI5.3 下根据 Landsat 系列卫星用户手册和大气校正模型分别进行辐射标定和大气校正,并根据阜新市的行政区域规划矢量文件进行不规则裁剪(图 2)。

2 指数选择及遥感生态指数

在对生态环境的分析中,其中湿度、绿度、干度和热度 4 个指标对生态环境的影响最大。根据这 4 个对生态环境影响最大的指标,对环境进行系统性评价,通过主成分分析并进行归一化处理,生成遥感生态指数,对生态环境进行整体性评价。由 4 个指

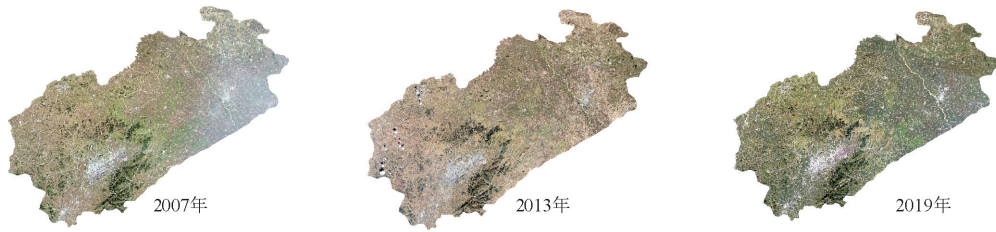


图2 阜新市 Landsat 影像

Fig. 2 Landsat Image of Fuxin city

标生成的遥感生态指数(RSEI,公式中用 R_{SEI} 表示)公式如下:

$$R_{SEI} = f(W_{et}, N_{DVI}, N_{DBSI}, L_{ST}) \quad (1)$$

式中: W_{et} 为温度; N_{DVI} 为植被指数; N_{DBSI} 为干度; L_{ST} 为地表湿度。

2.1 指标构建

2.1.1 湿度指标 缨帽变换是一种有效的数据压缩和去冗余技术,常被应用于生态监测中^[9-11]。由于湿度分量与植被和土壤的湿度紧密相关,因此本研究的湿度指标以湿度分量 W_{et} 来代表,其表达式为^[12]:

$$W_{et7} = 0.2626\rho_B + 0.2141\rho_G + 0.0926\rho_R + 0.0656\rho_{NIR} - 0.7629\rho_{SWIR1} - 0.5388\rho_{SWIR2} \quad (2)$$

$$W_{et8} = 0.1511\rho_B + 0.1973\rho_G + 0.3283\rho_R + 0.3407\rho_{NIR} - 0.7117\rho_{SWIR1} - 0.4559\rho_{SWIR2} \quad (3)$$

式中: ρ_B 、 ρ_G 、 ρ_R 、 ρ_{NIR} 、 ρ_{SWIR1} 、 ρ_{SWIR2} 分别代表经辐射定标后传感器 ETM+ 第 1、2、3、4、5、7 波段及 OLI 第 2、3、4、5、6、7 波段的反射率; W_{et7} 和 W_{et8} 代表 Landsat7 和 Landsat8 的湿度分量。

2.1.2 绿度指标 归一化的植被指数(NDVI)是被应用最广泛的植被指数,不仅能反映出植物冠层的背景影响并且与植被覆盖有关。因其能够较好地反应植被生长情况,故选用其作为绿度指标,其表达式为:

$$N_{DVI} = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (4)$$

2.1.3 干度指标 代表干度指标的建筑指数选择的是(index-based built-up index, IBI)建筑指数^[13-14],但在环境中裸土同样会造成地表的“干化”,因此干度指标(NDBSI)可由二者合成,即由建筑指数(IBI)和土壤指数(soil index, SI)^[15]合成,所以其表达式为:

$$S_I = [(\rho_{SWIR1} + \rho_R) - (\rho_{NIR} + \rho_B)] / [(\rho_{SWIR1} + \rho_R) + (\rho_{NIR} + \rho_B)] \quad (5)$$

$$I_{BI} = (2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) - (\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_R) + \rho_G / (\rho_G + \rho_{SWIR1}))) / (2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) + (\rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_R) + \rho_G / (\rho_G + \rho_{SWIR1}))) \quad (6)$$

$$N_{DBSI} = (S_I + I_{BI}) / 2 \quad (7)$$

2.1.4 热度指标 代表热度指标的地表温度可采用 Landsat 用户手册的模型,以及 Chander 等最新

修订的定标参数^[15]进行计算:

$$L = g_{ain} \times D_N + b_{ias} \quad (8)$$

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L + 1) \quad (9)$$

式中: L 为 TM 热红外波段在传感器处的辐射值; g_{ain} 、 b_{ias} 和 D_N 分别代表热红外波段的增益值、热红外波段的偏置值与像元的灰度值; K_1 和 K_2 为定标参数; T 为传感器处温度值。

经过式(9)得出的温度 T 可通过地表比辐射率转换为地表温度。因此热度公式为:

$$L_{ST} = T / (1 + (\lambda T / \rho) \ln \epsilon) \quad (10)$$

式中: L_{ST} 代表热度指数; λ 为热红外波段中心波长; $\rho = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$; ϵ 为地表辐射率。

2.2 遥感生态指数模型构建

生态指数应以单一指数形式出现^[17],可以通过对指数的分析得到各指数对环境的综合影响^[18-21]。本研究的 4 个不同指数由于量纲的不一致,如果直接进行主成分分析(principal components analysis, PCA)会导致系数间的权重失衡,因此在进行主成分分析之前应对 4 个指标进行归一化处理,将其量纲统一到 0~1,使其在相同的量纲下进行主成分分析^[22]。常用的归一化公式:

$$N_{li} = (I_i - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min}) \quad (11)$$

式中: N_{li} 为归一化后的某一指标值; I_i 为该指标在像元 i 的值; I_{\max} 为该指标的最大值; I_{\min} 为该指标的最小值。4 个指标经过归一化之后,对 PC1 进一步计算生成遥感生态指数(RSEI),可进一步用 1 减去 PC1,获得初始生态指数 R_{SEI0} (公式中用 R_{SEI0} 表示)。

$$R_{SEI0} = 1 - f(W_{et}, N_{DVI}, N_{DBSI}, L_{ST}) \quad (12)$$

为了便于指标的量纲统一和相互比较,可同样对 R_{SEI0} 进行归一化:

$$R_{SEI} = (R_{SEI0} - R_{SEI0 \rightarrow \min}) / (R_{SEI0 \rightarrow \max} - R_{SEI0 \rightarrow \min}) \quad (13)$$

所得 RSEI 即为所建立的遥感生态指数,其值越大表示生态环境越好,反之则生态环境越差。

3 结果与分析

3.1 阜新生态环境质量概况

选取 2007、2013 年和 2019 年的各项生态指数

特征值的贡献率进行研究。通过表 2 可以看出,由于湿度指数 Wet 与绿度指数 NDVI 均为正值,可以得出遥感生态指数 RSEI 与湿度和绿度成正相关,干度指数 NDBSI 与热度指数 LST 均为负值,所以与遥感生态指数 RSEI 呈负相关。2007、2013 年和 2019 年 PC1 的特征贡献率均超过 83%,说明 PC1 能集成 4 个指数的信息对生态环境进行准确的评价。由表 2 可以看出,Wet 的贡献率远小于 NDVI、NDBSI 和 LST 的贡献率,说明 Wet 对生态指数造成的直接影响较小。

由表 3 可以看出,在 4 个指标分量中 NDBSI 的平均值最大为 0.715,由此可知 NDBSI 对生态环境

的影响较大。因为近些年随着城市化进程的加速发展,城市建筑对生态环境的影响日益加重。NDVI 呈波动性变化,表明随着城市化进程的推进植被受到了破坏,但是随着对生态环境的日益重视,植被环境也在逐渐恢复。通过各个指数的平均值可以发现,RSEI 与生态环境的相关性比单一指标影响最高的 NDBSI 指数还要高 13.1%,RSEI 与生态环境的相关性逐年增强,从 2007 年的 0.828 一直增长到 2019 年的 0.865,增长了 3.7%。显然新建的生态指数除了集成了 4 个指数的信息外,还比其他 4 个指数更具有代表性,所以 RSEI 能更准确地反映出生态信息的变化。

表 2 指标主成分分析

Table 2 Index principal component analysis

指标	2007 年		2013 年		2019 年	
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2
Wet	0.159	-0.237	0.170	0.252	0.164	0.156
NDVI	0.589	0.573	0.575	0.672	0.593	0.720
NDBSI	-0.558	0.536	-0.544	-0.452	-0.503	-0.356
LST	-0.623	-0.658	-0.651	-0.668	-0.596	-0.564
特征值	0.068	0.01	0.056	0.01	0.072	0.01
特征值贡献率	83.84	9.36	84.97	8.59	84.57	8.79

表 3 各指标和 RSEI 指数的相关性统计

Table 3 Statistical table of correlation between each index and RSEI index

年份	指标	湿度	绿度	干度	热度	RSEI
2007	湿度	1	0.527	-0.784	-0.568	0.613
	绿度	0.527	1	-0.763	-0.740	0.863
	干度	-0.784	-0.763	1	0.793	0.956
	热度	-0.568	-0.740	0.793	1	0.878
	平均相关度	0.626	0.677	0.78	0.700	0.828
2013	湿度	1	0.459	-0.678	-0.475	0.623
	绿度	0.459	1	-0.632	-0.613	0.875
	干度	-0.678	-0.632	1	0.624	0.896
	热度	-0.475	-0.613	0.624	1	0.983
	平均相关度	0.504	0.568	0.611	0.570	0.844
2019	湿度	1	0.547	-0.739	-0.559	0.635
	绿度	0.547	1	-0.756	-0.729	0.942
	干度	-0.739	-0.756	1	0.768	0.965
	热度	-0.559	-0.729	0.768	1	0.918
	平均相关度	0.615	0.677	0.754	0.685	0.865
3 a 平均值		0.582	0.641	0.715	0.652	0.846

为了更准确地评价 RSEI 指数,对阜新的 RSEI 进行等级的划分,将 RSEI 以 0.2 为间隔进行划分,分别代表差(0~0.2)、较差(0.2~0.4)、中等(0.4~0.6)、良(0.6~0.8)、优(0.8~1)共分 5 个等级,如图 3 所示。阜新市地区的 RSEI 指数 2007 年平均为 0.671,2013 年平均为 0.597,2019 年平均为 0.687。由图 3 可知,阜新市各区域的 RSEI 等级情况,由 2007—2019 年的图像可知阜新市的环境较差地区主要集中在东北部和西南部。其主要原因是阜

新市的东北部与科尔沁沙地的南缘相接壤,虽然随着近年来沙地治理环境有所好转,但是东北部地区仍受到很大程度上的侵蚀,所以相对环境质量较差。由图 3 可知,阜新市的 RSEI 大部分为评价中等地区。

由表 4 可知,从 2007 年开始阜新市生态环境中等及以上地区占比超过 80%,其中中等地区占比最大。阜新市评价为差的地区逐年增长,证明对环境差地区的生态治理仍有不足。对于评价为良好和优秀的地区呈波动性趋势,但是整体趋势明显变好,从

2007年到2019年生态评价为良好的地区面积增加658.66 km², 占总面积的6.33%。由表4可以看出, 阜新市的生态环境虽然呈波动性变化, 但是整体环境向好的方向发展。

3.2 阜新市生态环境的时空变化

为获得阜新市2007—2019年的生态环境变化情况, 对阜新市3个时段RSEI指数进行差值计算, 根据差值结果判断阜新市生态环境的变化。如图4所示, 红色代表生态环境恶化地区, 表示为变差, 黄色代表生态环境未发生明显变化, 表示为不变, 绿色

代表生态环境有变好的趋势, 表示为变好。从时间上来说, 由2007—2013年的图像可知大部分地区生态环境未发生变化, 但是阜新市的东北部, 环境有恶化的趋势。表明近些年由于水土流失、土地沙化和植被破坏等问题, 导致环境遭到破坏, 尤其是阜新市东北部地区。在2013—2019年的图像可知, 环境质量在缓步提升, 阜新市的中部和西南部有明显的好转。从整体来看, 2007—2019年阜新市东北部环境整体发生好转, 表明近些年来对科尔沁沙地的治理有了明显的效果, 生态环境发生好转。

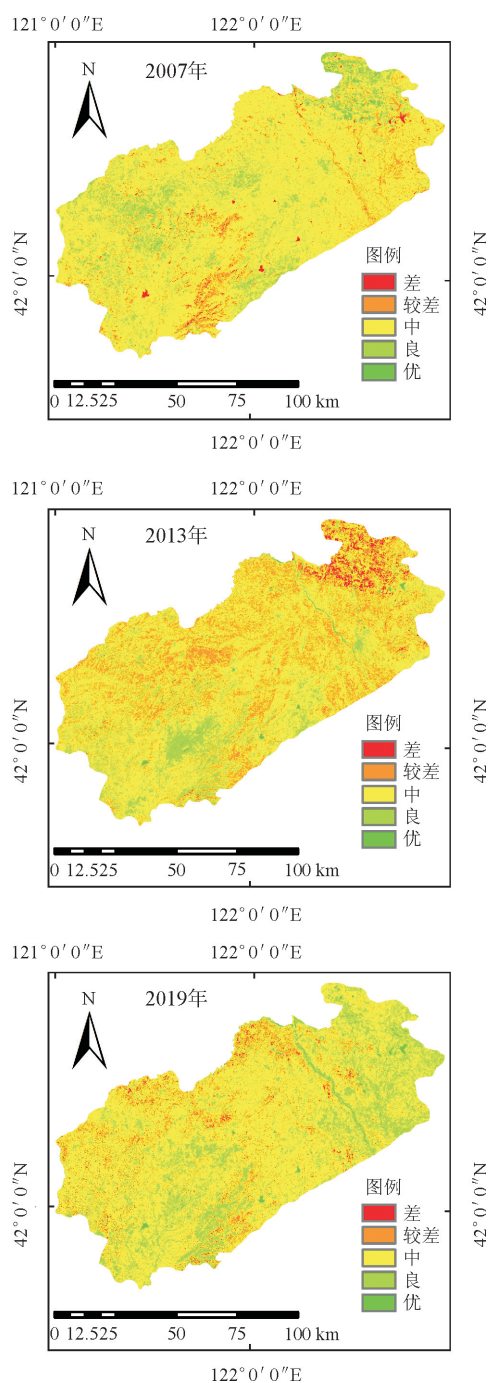


图3 阜新市遥感生态指数等级

Fig. 3 Remote sensing ecological index grade map of Fuxin city

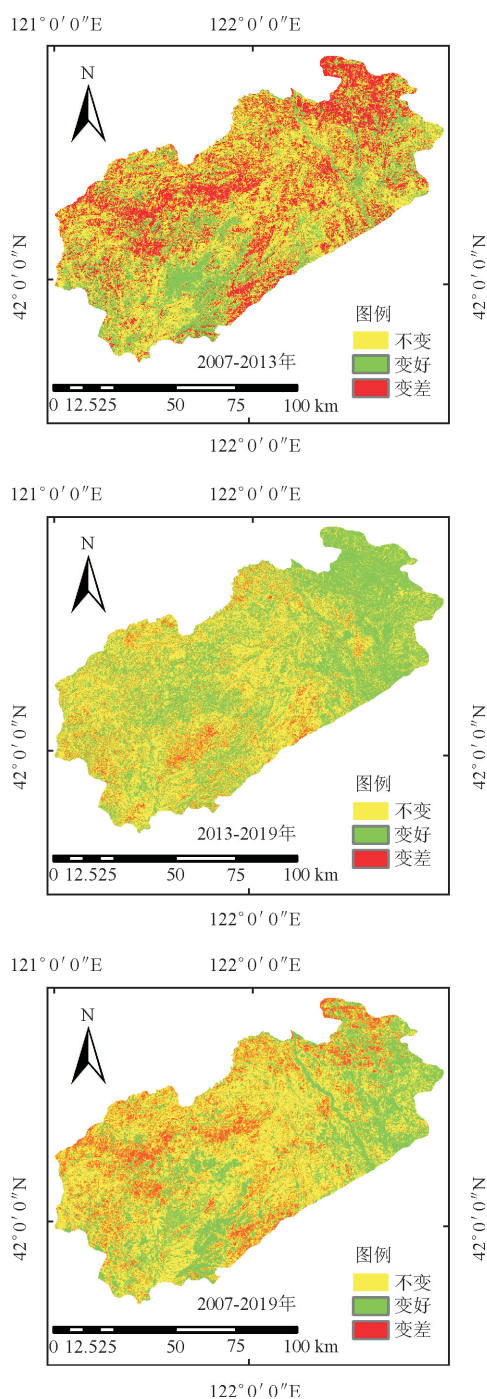


图4 阜新市生态环境变化

Fig. 4 Ecological environment change map of Fuxin city

由表 5 可以看出,2007—2019 年环境不变所占的比例最大,都在 50%以上;2007—2013 年环境有明显的恶化趋势,环境恶化地区面积为 3 193.56 km²,占总面积的 30.7%。随着社会的发展,对环境保护意识的增强,明显看出从 2013—2019 年的生态环境有变

好的趋势,变好的地区面积为 2 418.86 km²。从整体性来看 2007—2019 年生态环境呈现变好的趋势,由于对土地沙化的治理和退耕还林还草的政策,使得整体生态环境向好发展,整体变好面积为 3 541.29 km²,占总面积的 34.04%,比例明显上升。

表 4 阜新市不同时期 RSEI 等级面积及平均值

Table 4 Area and average value of rsei in different periods of Fuxin city

RSEI 等级	2007 年		2013 年		2019 年	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
差	87.28	0.84	159	1.52	159.17	1.53
较差	760.29	8.31	2 188.71	21.04	736.06	7.08
中等	7 823.69	74.21	6 634.28	63.78	7 112.15	68.37
良好	1 652.14	15.88	1 375.78	13.23	2 310.8	22.21
优秀	78.68	0.76	44.73	0.43	83.91	0.81
RSEI 平均值	0.671		0.597		0.687	

表 5 2007—2019 年阜新市生态环境变化情况

Table 5 Changes of ecological environment in Fuxin city from 2007 to 2019

类别	2007—2013 年		2013—2019 年		2007—2019 年	
	分类面积/km ²	比例/%	分类面积/km ²	比例/%	分类面积/km ²	比例/%
不变	5 408.33	51.99	5 697.76	54.78	5 623.29	54.06
变好	1 800.20	17.3	2 418.86	23.25	3 541.29	34.04
变坏	3 193.56	30.7	2 285.47	21.97	1 237.51	11.9

3.3 阜新市 RSEI 的建模与分析

将 4 000 个采样点随机分在阜新市,通过各个采样点获得阜新市 3 个年份指标参数与 RSEI 的关系,并按照各个指数因子对其赋值分析。为确定回归模型,将 4 个参数作为自变量,将 RSEI 作为因变量,通过回归分析确定阜新市 3 个年份的回归模型如下:

$$R_{SEI2007} = 0.576 + 0.241W_{ET} + 0.286N_{DVI} - 0.171L_{ST} - 0.531N_{DBSI} (R^2 = 0.947) \quad (14)$$

$$R_{SEI2013} = 0.467 + 0.259W_{ET} + 0.377N_{DVI} - 0.249L_{ST} - 0.432N_{DBSI} (R^2 = 0.936) \quad (15)$$

$$R_{SEI2019} = 0.507 + 0.211W_{ET} + 0.387N_{DVI} - 0.148L_{ST} - 0.422N_{DBSI} (R^2 = 0.969) \quad (16)$$

从各个年份的结果可以看出,4 个生态因素均在回归分析中保留,说明 4 个生态因素对环境质量具有代表性,模型拟合优度 R^2 都在 0.9 以上,并在 $\alpha=0.01$ 水平上显著。从各生态因子贡献率来看, NDBSI 的绝对值要显著高于其他 3 生态指数,所以 NDBSI 影响最大,说明随着城市化进程的加速,处理好建设用地的增加对生态环境的抑制作用是提高 RSEI 的重要解决方案。由于 NDVI 与 RSEI 成正相关,所以要提高 RSEI 应合理分配阜新地区的土地资源,抑制土地沙化,增加森林的覆盖率,减少水土流失,保证可持续性发展。

3.4 阜新市 RSEI 变化分析

由于构成 RSEI 的 4 个生态指标分别是 W_{et} 、NDVI、NDBSI、LST,所以 RSEI 能比较好地反映阜新市的生态环境质量状况。其中 W_{et} 和 NDVI 与 RSEI 成正相关,所以降雨量与地下水含量的多少直接影响着生态环境的质量。从图 5、图 6 可以看出,阜新的降水整体成下降趋势,而年平均气温呈上升趋势。

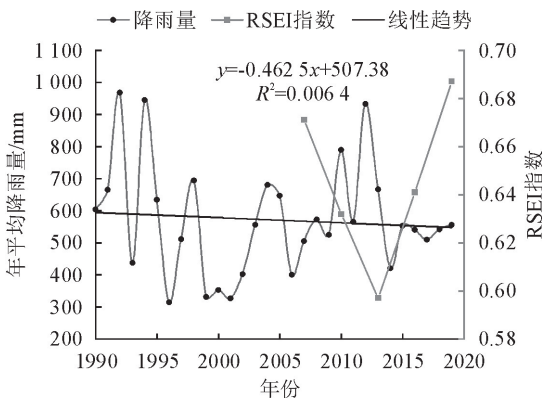


图 5 阜新市年平均降雨量

Fig. 5 Average annual rainfall in Fuxin city

研究表明,由于降雨量的减少导致 W_{et} 指数的下降,进一步影响植被的生长。由于 W_{et} 和 NDVI 与 RSEI 指数成正相关,而且降水量与温度会直接影响这 2 个生态因素,对环境造成影响。由图 5 可

知,在研究时段内,阜新市的气候条件以高温、干燥、降雨量偏少为主,水分条件和温度条件都是植被恢复的重要影响因子,在研究时段内的降雨量的变化不适合植被的恢复。从图 5 可以看出,随着降雨量的减少,RSEI 指数也随之到达了最低点,证明降雨量的增加有助于植被的恢复,对 RSEI 指数成正相关。

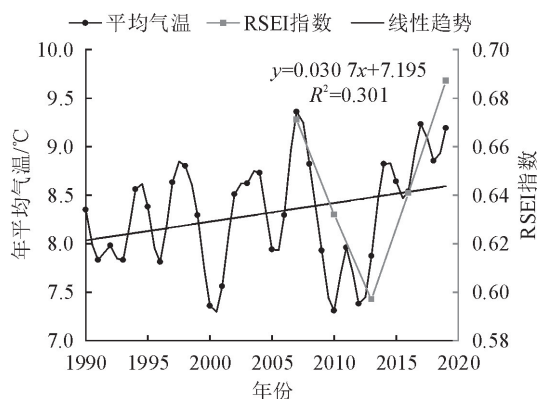


图 6 阜新市年平均气温

Fig. 6 Annual average temperature in Fuxin city

由图 6 可以看出,RSEI 指数随着温度的变化而变化,随着温度的降低 RSEI 指数明显呈下降趋势,随着气温的不断上升 RSEI 指数也随之上升。证明温度和降雨对 RSEI 指数有较大的影响。

近年来阜新市的城市化进程正迅速加快,以高铁为主导的交通建设项目正在迅速开展,由于各类项目的建设占用林地、耕地、建设用地等,在快速发展经济的同时也使生态环境仍遭到一定程度上的破坏。阜新市东北部与科尔沁沙地接壤,土地受到风沙的侵蚀,但是近些年来阜新市注重环境的保护,大力促进沙地的治理,实行退耕还林还草的政策,使土地沙化得到了一定程度上的缓解。截至 2019 年末,阜新市林地覆盖面积超过 27%;草地覆盖面积超过 8%,植被覆盖量明显上升,相比于 2007 年生态环境得到改善。

4 结论与讨论

基于遥感影像数据,对生态环境进行综合性分析,将湿度、绿度、干度和热度 4 个指标进行主成分分析并耦合成为遥感生态指数,对阜新市 2007—2019 年的生态环境进行分析。从时空分布、不同指标对生态环境的影响具有复杂性、生态环境变化的趋势等多个方面进行定量性的研究。

从时空分布来看,阜新市 2007 年、2013 年和 2019 年的遥感生态指数分别为 0.671、0.597 和 0.687,生态环境整体上呈上升趋势。RSEI 值由 2007 年的 0.671 下降到 2013 年的 0.597,下降了 11.2%,表明由于城市的发展生态环境有所恶化;但

到 2019 年又上升至 0.687,上升了 13.1%。12 a 来总体上涨了 2.32%,表明随着生态环境的治理与植被多样性的提高,生态环境总体向好发展。

不同指标对生态环境的影响具有复杂性。建模分析表明 Wet 和 NDVI 受年平均降雨量与年平均气温的影响并与 RSEI 成正相关;NDBSI 和 LST 与 RSEI 呈负相关。其中 NDBSI 的平均相关度为 0.715 对生态环境的影响最大,NDBSI 相关度系数比 NDVI 高 10.35%,相比于 Wet 高 18.6%,所以在城市发展的同时更应注意对建筑指数与土壤指数协同作用产生的 NDBSI 对环境造成的影响,合理规划城市布局减少裸土面积,增加植被覆盖度。

阜新市 78% 以上的地区都处在中、良和优 3 个等级中,其中评价等级为中等所占比例最大,平均占比为 68.79%,从 2007—2019 年的 12 a 差和优的面积几乎没发生变化,因此对生态环境较差地区的改造仍是改善生态环境的重点。从 2007—2019 年面积变好区域为 3 541.29 km²,占总面积的 34.04%。说明 2007—2019 年的 12 a 阜新市的生态环境整体呈变好的趋势发展。

通过对遥感影像的主成分分析与各环境因素的耦合,可以得到各主成分之间的交互作用对遥感生态指数的影响。但由于本次研究数据获取有限,所获取的只有阜新市的 Landsat 卫星影像,因此在后续的研究中可拓展不同的卫星影像进行多元数据融合,增强生态评定的维度,对生态环境进行更为系统性的评价。

参考文献:

- [1] 高焕霖,张廷龙,樊华烨,等.基于地理探测器的杨凌示范区生态环境质量影响因素定量分析[J].西北林学院学报,2020,35(5):185-194.
GAO H L,ZHANG T L,FAN H Y,et al. Quantitative analysis of the factors affecting ecological environment quality in Yangling demonstration Zone based on geographical detector[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(5): 185-194. (in Chinese)
- [2] 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.
XU H Q. A remote sensing urban ecological index and its application[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7853-7862. (in Chinese)
- [3] 刘智才,徐涵秋,林中立,等.不同城市规划用地类型的生态效应研究[J].地球信息科学学报,2016,18(10):1352-1359.
LIU Z C,XU H Q,LIN Z L,et al. Study on urban planning and its ecological effect[J]. Journal of Geo-information Science, 2016, 18(10): 1352-1359. (in Chinese)
- [4] 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.

- SONG H M, XUN L. Dynamic monitoring and analysis of ecological environment in Weinan City, Northwest China based on RSEI model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(12): 3913-3919. (in Chinese)
- [5] 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.
- YANG J Y, WU T, PAN X Y, *et al.* Ecological quality assessment of Xiongan new area based on remote sensing ecological index[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(1): 277-284. (in Chinese)
- [6] 杨永健, 李洪忠, 陈劲松, 等. 基于遥感生态指数的区域生态质量评价——以遂宁市船山区为例[J]. 人民长江, 2019, 50(7): 71-76, 82.
- TANG Y J, LI H Z, CHEN J S, *et al.* Dynamic calculation of watershed eco-compensation based on non-point pollution load estimation[J]. Yangtze River, 2019, 50(7): 71-76, 82. (in Chinese)
- [7] 朱泓, 王金亮, 程峰, 等. 滇中湖泊流域生态环境质量监测与评价[J]. 应用生态学报, 2020, 31(4): 1289-1297.
- ZHU H, WANG J L, CHENG F, *et al.* Monitoring and evaluation of eco-environmental quality of lake basin regions in central Yunnan Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 50(7): 71-76, 82. (in Chinese)
- [8] COSTANZA R, DARGE R, GROOT R D, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(1): 3.
- [9] SUN C J, LI X M, ZHANG W Q, *et al.* Evolution of ecological security in the tableland region of the Chinese Loess Plateau using a remote-sensing-based index[J]. Sustainability, 2020, 12: 8.
- [10] ROESCHMCNALLY G E, RABOTYAGOV S S. Paying for forest ecosystem services: voluntary versus mandatory payments[J]. Environmental Management, 2016, 57(3): 585.
- [11] 张洁, 杨燕琼. 珠江三角洲城市群生态状况变化遥感评价[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(1): 184-191.
- ZHANG J, YANG Y Q. Remote Sensing evaluation on the change of ecological status of pearl river delta urban agglomeration[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(1): 184-191. (in Chinese)
- [12] 黄钰涵, 闫浩文, 李小军, 等. 乌鲁木齐市遥感生态距离指数变化监测与评价[J]. 遥感信息, 2019, 34(6): 72.
- HUANG Y H, YAN H W, LI X J, *et al.* Monitoring and evaluation of remote sensing ecological distance index in Urumqi city[J]. Remote Sensing Information, 2019, 34(6): 72-77. (in Chinese)
- [13] 魏伟, 周陶, 郭泽呈, 等. 基于遥感指数的干旱内陆河流域土地生态敏感性时空演变特征——以石羊河流域武威市为例[J]. 生态学杂志, 2020, 39(9): 3068-3079.
- WEI W, ZHOU T, GUO Z C, *et al.* Advances for the new remote sensing technology in ecosystem ecology research[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 39(9): 3068-3079. (in Chinese)
- [14] 都彦廷, 张冬有. 大兴安岭地区 2001—2019 年地表温度时空分布及影响因素分析[J]. 森林工程, 2020, 36(6): 9-18.
- [15] 张乃明, 陈冬花, 邢菲, 等. 基于遥感生态指数的新疆干旱区博乐市生态变化分析[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 154-159, 166.
- ZHANG N M, CHEN D H, XING F, *et al.* Ecological change analysis of bole city in arid regions of Xinjiang Wei autonomous regions based on remote sensing ecological index[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1): 154-159, 166. (in Chinese)
- [16] 岳辉, 刘英, 朱蓉. 基于遥感生态指数的神东矿区生态环境变化监测[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 101-107, 114.
- YUE H, LIU Y, ZHU R. Monitoring ecological environment change based on remote sensing ecological index in Shendong mining area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(2): 101-107, 114. (in Chinese)
- [17] 王杰, 马佳丽, 解斐斐, 等. 干旱地区遥感生态指数的改进——以乌兰布和沙漠为例[J]. 应用生态学报, 2020, 31(11): 3795-3804.
- WANG J, MA J L, XIE F F, *et al.* Improvement of remote sensing ecological index in arid regions: taking ulan buh desert asan example[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(11): 3795-3804. (in Chinese)
- [18] 夏积德, 高焕霖, 李峰博, 等. 基于遥感生态指数模型的杨凌农业高新技术产业示范区生态环境评价[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 167-171.
- XIA J D, GAO H L, LI F B, *et al.* Evaluation on ecological environment of Yangling Agricultural Hi-tech Industries Demonstration Zone based on remote sensing ecological index model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 39(1): 167-171. (in Chinese)
- [19] 李耀明, 王玉杰, 王云琦. 基于 GIS 的北京地区生态风险评价[J]. 中国水土保持科学, 2017, 15(2): 100-106.
- LI Y M, WANG Y J, WANG Y Q. Ecological risk assessment in Beijing based on GIS[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2017, 15(2): 100-106. (in Chinese)
- [20] 张吕成, 张一帆, 董灵波. 基于 Landsat TM 数据的大兴安岭森林景观空间格局及其关联性[J]. 森林工程, 2021, 37(6): 1-9.
- [21] 吴强, 王心源, 骆磊. 基于遥感生态指数的黄山世界遗产地生态环境评价[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 142-146, 2, 325.
- WU Q, WANG X Y, LUO L. Ecological environment assessment of Huangshan world heritage site based on remote-sensing ecological index[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 142-146, 2, 325. (in Chinese)
- [22] 雷波, 焦峰, 王志杰, 等. 延河流域生态环境脆弱性评价及其特征分析[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(3): 161-167.
- LEI B, JIAO F, WANG Z J, *et al.* Eco-environment vulnerability evaluation and characteristics analysis in Yanhe river watershed[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(3): 161-167. (in Chinese)