

引用格式:周玄德,郭华东,孜比布拉·司马义,等.干旱区绿洲城市遥感生态指数变化监测[J].资源科学,2019,41(5):1002-1012. [Zhou X D, Guo H D, Zibibulla·Simayi, et al. Change of remote sensing ecological index of an oasis city in the arid area[J]. Resources Science, 2019, 41(5): 1002-1012.] DOI: 10.18402/resci.2019.05.16

干旱区绿洲城市遥感生态指数变化监测

周玄德¹,郭华东²,孜比布拉·司马义³,邓祖涛¹,梁 滨¹

(1. 湖北经济学院旅游与酒店管理学院,武汉 430205;

2. 中国科学院对地观测与数字地球科学中心数字地球重点实验室,北京 100094;

3. 新疆大学资源与环境科学学院,乌鲁木齐 830046)

摘 要:新疆是典型的干旱地区,生态环境极为脆弱,及时准确地了解其生态环境变化具有重要意义。本文选择干旱区绿洲城市乌鲁木齐市为研究区,利用2004年、2016年的同月份遥感影像数据,通过计算遥感生态指数(RSEI),分别从现状、空间分布、重心、景观特征、驱动因素等角度展开分析。结果表明:①2004—2016年,遥感生态指数从0.341增长至0.400,上升了17.24%,其中绿度(NDVI)、湿度(WET)和地表温度(LST)表现一定程度的上升,干度(NDBSI)表现为下降趋势;②生态指数等级划分中,主要以较低、中等水平为主,该类区域面积增长明显;生态指数等级变化,主要以不变、变好为主,其中生态指数增长的区域以上升1个等级为主;③不同类型的生态指数重心发生了偏移,低生态指数区重心转移距离最长,达到2.82 km,较低生态指数区和高生态指数区重心转移距离相对较短;④不同类型的遥感生态指数景观格局发生变化,斑块形状复杂性增强,空间连接性和集聚性显著。本文分析了乌鲁木齐市生态指数空间特征及变化规律,指出整个城市生态系统在近13年中没有出现大范围生态环境恶化的现象,总体向好的趋势发展,但仍有较大的上升空间。生态指数的变化与城市扩张联系紧密。

关键词:城市生态;遥感;生态指数;景观;干旱区绿洲;乌鲁木齐市

DOI: 10.18402/resci.2019.05.16

1 引言

随着中国经济和社会的高速发展和城市化进程的加快,生态环境问题日益突出,已严重影响经济发展和人们的身体健康^[1]。新疆是典型的干旱地区,生态环境极为脆弱,其绿洲是土地承载人口的主体^[2],及时准确地了解绿洲城市的生态环境变化情况显得尤为重要。在此背景下,研究干旱区绿洲城市的生态环境时空格局及演变,有利于全面了解生态环境整体状况与空间分布,对有针对性地进行生态环境建设与保护具有重要的现实意义。

当前,遥感技术以其快速、实时等优势被广泛应用到生态环境流域,遥感技术已成为生态环境评价的重要手段^[3,4]。国内外学者基于遥感手段对生

态环境监测评价开展了大量的研究工作^[5]。在生态环境遥感监测指标选择上,通常分为2种情况:①以单一指标评价生态环境。如Badreldin等^[6]利用干扰指数和土壤调整指数对埃及西奈半岛区域的土地荒漠化进行动态监测;Franke等^[7]利用归一化差异植被指数、归一化红边指数对草地退化动态过程进行了研究;Xu^[8]利用不透水面盖度评价城市生态环境。单一指标优点是易于理解、计算方便,但难以很好地把握生态环境的系统性。②采用多个指标经综合计算形成生态环境指数,以该指数区分生态环境的区域差异。该类指数包括以下2类:一类是完全由遥感数据构成的生态环境评价模型,如刘庆芳等^[9]以MODIS数据为基础提取植被覆盖度、

收稿日期:2018-07-19,修订日期:2019-04-12

基金项目:国家自然科学基金项目(41661036);国家社会科学基金项目(14BJY225;15BJY128)。

作者简介:周玄德,男,安徽宿州人,博士,讲师,主要研究方向:资源利用与城乡规划。E-mail: zxd850706@163.com

通讯作者:孜比布拉·司马义, E-mail: zibibulla3283@sina.cn

2019年5月

生物丰度、土地退化指数等构建评价模型,分析陕西省生态环境变化情况;徐涵秋^[10]通过植被指数、湿度分量、地表温度、干度指数构建遥感生态指数模型,用于生态环境质量的变化监测并推广应用^[11-13]。另一类是遥感数据与其他类型数据的融合构成的综合评价模型,如原国家环境保护总局2006年发布《生态环境状况评价技术规范(试行)》(HJ/T192-2006)提出生态环境指数EI,并将其作为区域生态环境评价和考核依据,该指数^[10]既包含遥感数据,也涵盖地表监测数据及年度统计数据;王志杰等^[14]通过TM影像提取的植被指数、土地利用类型数据与人口密度、人均GDP、降水量、气温等数据,运用主成分分析构建生态脆弱性指数,对汉中市生态情况进行评价。多指标综合生态环境指数可以包含更多与研究目标相关的生态环境特征。其中完全由遥感数据构成的生态环境评价模型具有及时性、快速性特征^[5];而包含其他类型数据的生态环境指数,由于监测数据、统计数据等较难获取,一定程度上限制了该类指数的应用^[10]。目前,关于生态环境监测方法主要有综合指数法^[15]、层次分析法^[16]、主成分分析法^[17]、物元评价法^[18]等。综合而言,生态环境的监测多基于统计数据、监测数据或遥感数据,采用综合指数法,围绕研究区的某个时段开展的定性或定量分析,描述生态环境的时空特征变化,但结合景观生态学理论研究的相对较少,而且在研究尺度的针对性、数据来源的客观性、评价指标的有效性等方面还有待提升^[16]。

西北干旱区生态环境基础十分脆弱,是全球气候变化下的最敏感地区^[19,20]。绿洲是干旱区人口活动的主要场所,特别是绿洲城市时刻面临着人口大量增加和人类高强度的生产活动,从不同的层面上给生态环境造成严重压力^[2]。乌鲁木齐市是典型干旱区绿洲城市,为新疆政治、经济、文化和科技中心,也是经济高速发展、人口密集的特大城市^[21]。随着西部大开发战略的深入实施,该市在振兴经济过程中,自觉或不自觉地干扰和破坏了资源与环境的生态平衡,引起了许多生态环境问题^[2]。目前,针对乌鲁木齐市生态环境的分析主要集中于水资源^[21]、不透水面^[22]、大气污染^[23]等方面,而通过遥感手段的综合监测研究尚不多。基于此,本文选取乌鲁木齐市作为

研究对象,构建遥感生态指数,对研究区的生态环境进行定量评价,揭示研究区生态环境空间分布及景观指数特征,以期干旱区绿洲城市的生态建设和恢复提供科学依据。

2 研究数据与方法

2.1 研究区概况

乌鲁木齐市位于中国西北,为新疆维吾尔自治区的首府,新疆经济、社会、文化中心,也是天山北坡经济带的中心,在新疆的经济发展中具有非常重要的作用。然而由于典型的温带大陆干旱性气候,水资源匮乏、生态环境脆弱等问题对乌鲁木齐市的发展带来了巨大挑战。本文以乌鲁木齐市人类活动剧烈的主城区作为研究对象,范围为87°27'3"E—87°43'15"E, 43°44'20"N—43°58'1"N,总面积540.65 km²(图1),通过对其生态时空变化特征进行分析,可为干旱区绿洲城市生态调控发挥指导借鉴作用。

2.2 数据来源与研究方法

研究区数据选用Landsat系列影像,依次为2004年7月27日Landsat5 TM数据,2016年7月28日Landsat8 OLI数据,轨道号142/030,成像时间较接近,数据云量覆盖较少。

本文以获取的TM、OLI数据为基础,通过计算遥感生态指数,分析研究区生态指数的时空变化特征。对生态指数进行等级划分,从不同生态指数类型的角度出发,借助景观生态学理论,测算不同类型的生态指数的景观指数特征^[24]。通过计算2个不同时相的生态指数的重心,研究各类生态指数重心转移的距离及方向,揭示生态指数的变动规律^[25]。同时,研究不同时相的绿度、湿度、热度、干度对遥感生态指数的贡献度情况,为优化生态环境提供参考。

关于生态指数的计算采用徐涵秋提出的遥感生态指数(RSEI)方法^[26]。该方法通过遥感手段,提取多个能体现生态状况的指标,包括植被指数、湿度分量、地表温度、建筑指数、裸土指数,并将其进行合成,通过主成分分析实现降维,采用包含多个指标信息的主成分作为表征生态状况的指标。具体的计算公式如下^[27,28]:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (1)$$

$$WET = C_1 \rho_B + C_2 \rho_G + C_3 \rho_R + C_4 \rho_{NIR} + C_5 \rho_{SWIR_1} + C_6 \rho_{SWIR_2} \quad (2)$$

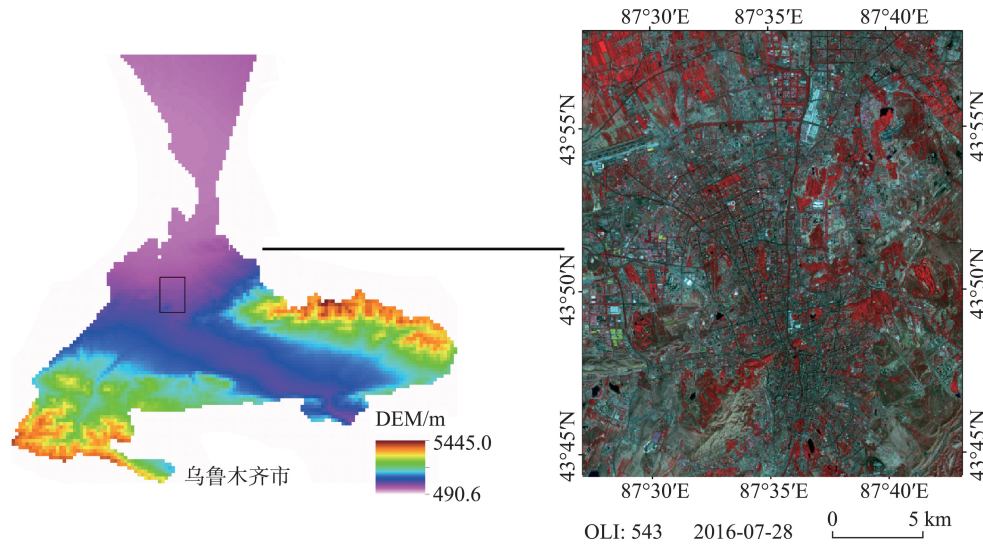


图1 研究区位置

Figure 1 Location of the study area in Urumqi City

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

$$IBI = \frac{\left[\frac{2\rho_{SWIR_1}}{\rho_{SWIR_1} + \rho_{NIR}} - \rho_{NIR}(\rho_{NIR} + \rho_R) - \frac{\rho_G}{\rho_G + \rho_{SWIR_1}} \right]}{\left[\frac{2\rho_{SWIR_1}}{\rho_{SWIR_1} + \rho_{NIR}} + \rho_{NIR}(\rho_{NIR} + \rho_R) + \frac{\rho_G}{\rho_G + \rho_{SWIR_1}} \right]} \quad (4)$$

$$SI = \frac{[(\rho_{SWIR_1} + \rho_R) - (\rho_{NIR} + \rho_B)]}{[(\rho_{SWIR_1} + \rho_R) + (\rho_{NIR} + \rho_B)]} \quad (5)$$

式中: $NDVI$ 、 WET 、 $NDBSI$ 分别代表绿度、湿度、干度; IBI 为建筑指数; SI 为裸土指数; 通过波段运算得到 ρ_B 、 ρ_C 、 ρ_R 、 ρ_{NIR} 、 ρ_{SWIR_1} 、 ρ_{SWIR_2} , 分别为 Blue、Green、Red、NIR、SWIR₁、SWIR₂ 等波段的反射率; C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_6 为计算湿度的系数, 在 TM 影像中取值为: $C_1=0.0315$, $C_2=0.2021$, $C_3=0.3102$, $C_4=0.1594$, $C_5=-0.6806$, $C_6=-0.6109$; 而在 OLI 影像中取值分别为: $C_1=0.1511$, $C_2=0.1973$, $C_3=0.3283$, $C_4=0.3407$, $C_5=-0.7117$, $C_6=-0.4559$ 。

$$LST = T / [1 + (\lambda T / \rho) \ln \varepsilon] \quad (6)$$

$$T = K_2 / \ln \left(\frac{K_1}{L_{6/10}} + 1 \right) \quad (7)$$

$$L_{6/10} = gain \times DN + bias \quad (8)$$

式中: LST 为地表温度; T 为传感器温度值; λ 为热红外波段的中心波长; ρ 为波尔兹曼常数 ($1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$); ε 为地表比辐射率, 采用 $NDVI$ 阈值法获取地

表比辐射率, 算法详见文献^[29,30]; K_1 、 K_2 为定标系数; $L_{6/10}$ 分别为 TM/TIRS 的热红外波段的辐射值, 对应 B6、B10 波段; DN 为像元灰度值; $gain$ 、 $bias$ 分别为波段增益值、偏置值。在 TM 影像中: $K_1=607.76 \text{ w}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2=1260.56 \text{ K}$, $gain=0.055$, $bias=1.18243$, $\lambda=11.4350 \mu\text{m}$; 在 TIRS 影像中: $K_1=774.89 \text{ w}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2=1321.08 \text{ K}$, $gain=3.342$, $bias=0.10000$, $\lambda=10.9000 \mu\text{m}$ 。

$$RSEI = f(NDVI, WET, LST, NDBSI) \quad (9)$$

$$RSEI_0 = 1 - \{PC1[f(NDVI, WET, LST, NDBSI)]\} \quad (10)$$

式中: $RSEI$ 为遥感生态指数, 是通过 4 个指标综合得到, 取值范围为 $[0, 1]$, 取值越大, 表示生态环境越好, 反之, 表示生态环境越差。 $PC1$ 代表通过主成分分析后得到的第 1 主成分, $RSEI_0$ 为遥感生态指数初始值, 即对 $PC1$ 进行正规化处理后的值。 $RSEI$ 为 $RSEI_0$ 归一化后的值, 其关系如下式所示:

$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI_{0-\min}) / (RSEI_{0-\max} - RSEI_{0-\min}) \quad (11)$$

式中: $RSEI_{0-\min}$ 、 $RSEI_{0-\max}$ 分别代表 $RSEI_0$ 的最小值、最大值。

首先对 2 期影像进行辐射校正、大气校正、图像配准等预处理, 对相关波段进行重采样保持与热红外波段的分辨率一致。在对 $NDVI$ 、 WET 、 LST 、 $NDBSI$ 进行主成分分析之前, 考虑到它们之间的量纲不统

2019年5月

一,需要进行归一化处理,然后再进行主成分分析,结果见表1。研究发现PC1的贡献率均在85%以上,即PC1可以体现指标的综合信息,因此可以用于创建遥感生态指数。

3 结果分析

3.1 遥感生态指数基本统计值

根据上述的研究方法,获得2个年份的指标的

统计值,见表2。研究发现,2004年研究区RSEI的均值为0.341,2016年达到了0.400,增长17.24%,表现为研究区的生态指数向好的趋势发展。从图2中也可以发现,在研究区的周边区域生态指数有了明显的改善,该区域2004年生态指数相对较低,2016年该区域的生态环境质量有了很大的提升,从而带动了整个研究区生态环境质量整体水平的提高。

表1 各主成分特征值

Table 1 Principal component eigenvalues

| | 2004 | | | | 2016 | | | |
|----------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|
| | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 |
| 特征值 | 0.058 | 0.005 7 | 0.003 2 | 0.000 8 | 0.059 6 | 0.005 3 | 0.004 | 0.000 4 |
| 特征值贡献率/% | 85.66 | 8.36 | 4.79 | 1.19 | 85.94 | 7.7 | 5.76 | 0.61 |

表2 乌鲁木齐市遥感生态指数及相关指标统计值

Table 2 Remote sensing ecological index and related indicator value statistics, 2004 and 2016

| | 2004年 | | | | 2016年 | | | |
|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
| | 最小值 | 最大值 | 均值 | 标准差 | 最小值 | 最大值 | 均值 | 标准差 |
| NDVI | -0.540 | 0.809 | 0.219 | 0.163 | -0.383 | 0.769 | 0.264 | 0.143 |
| WET | -0.627 | 0.071 | -0.138 | 0.053 | -0.848 | 0.155 | -0.039 | 0.042 |
| LST | 19.333 | 49.749 | 38.365 | 3.680 | 25.540 | 52.903 | 40.906 | 2.806 |
| NDBSI | -0.502 | 0.386 | 0.115 | 0.091 | -0.360 | 0.504 | 0.111 | 0.081 |
| RSEI | 0.000 | 1.000 | 0.341 | 0.165 | 0.000 | 1.000 | 0.400 | 0.140 |

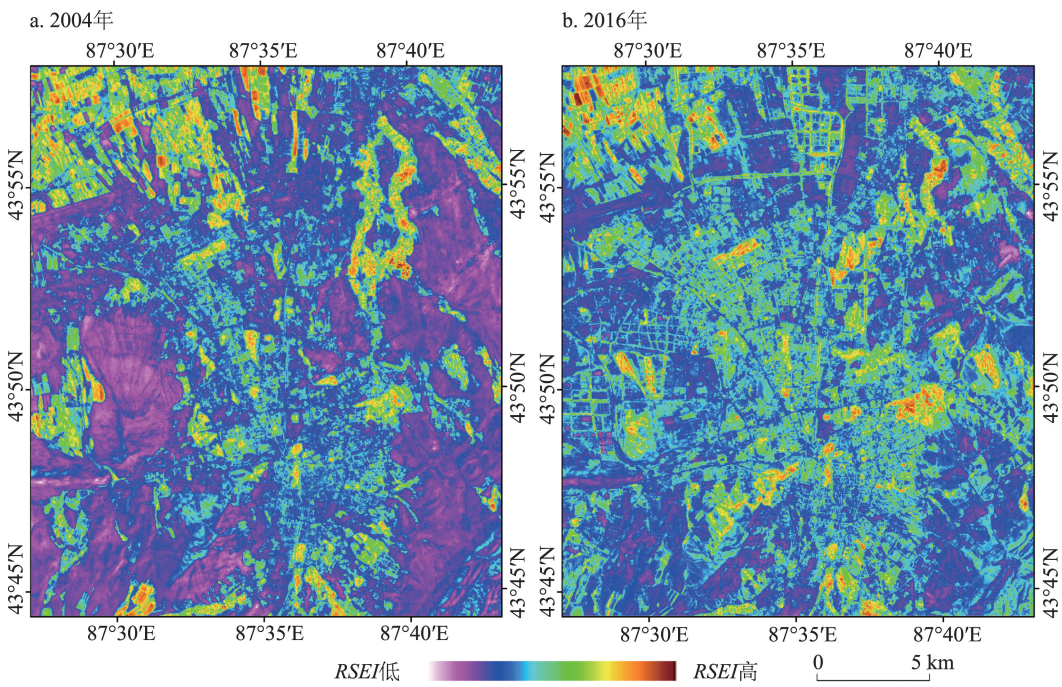


图2 乌鲁木齐市遥感生态指数空间分布

Figure 2 Spatial distribution of remote sensing ecological index values, 2004 and 2016

在表2的生态指数构成指标中,对生态指数起到正面影响的绿度和湿度指标,均表现为不同程度的增长。其中绿度指标从2004年的0.219上升到2016年0.264,增长20.75%;湿度指标从-0.138上升到0.042,增长71.92%;对生态指数起到负面作用的热度指标表现为上升趋势,从38.365上升到40.906,上升6.62%;干度指标则表现为一定程度的下降,从0.115下降为0.111,下降了4.15%。通过分析得出,总体表现为绿度、湿度、干度的变化对生态环境质量正面影响增强,热度对生态环境质量的负面作用加剧,但是正面因素的作用相对较强,促使研究区生态指数的提升,即研究区的生态环境质量有所改善。

3.2 遥感生态指数空间等级变化

为了更加深入地分析研究区生态指数 *RSEI* 的空间变化,参照前人的相关研究^[10],将 *RSEI* 按照 0.2 的间隔,划分为 5 个等级,包括生态指数低(0.0~0.2)、生态指数较低(0.2~0.4)、生态指数中等(0.4~0.6)、生态指数较高(0.6~0.8)、生态指数高(0.8~1.0),同时为了方便给予编号,依次标为 A、B、C、D、E,具体计算结果见图3和表3。研究区的生态指数高值区集中在城市中心,低值区主要分布在城市周边区域,其中西北农田区域生态指数一直较高,生态环境较好。

2004年,研究区周边被大面积的生态指数低的区域所覆盖;向城市中心方向,生态指数在逐渐上升,

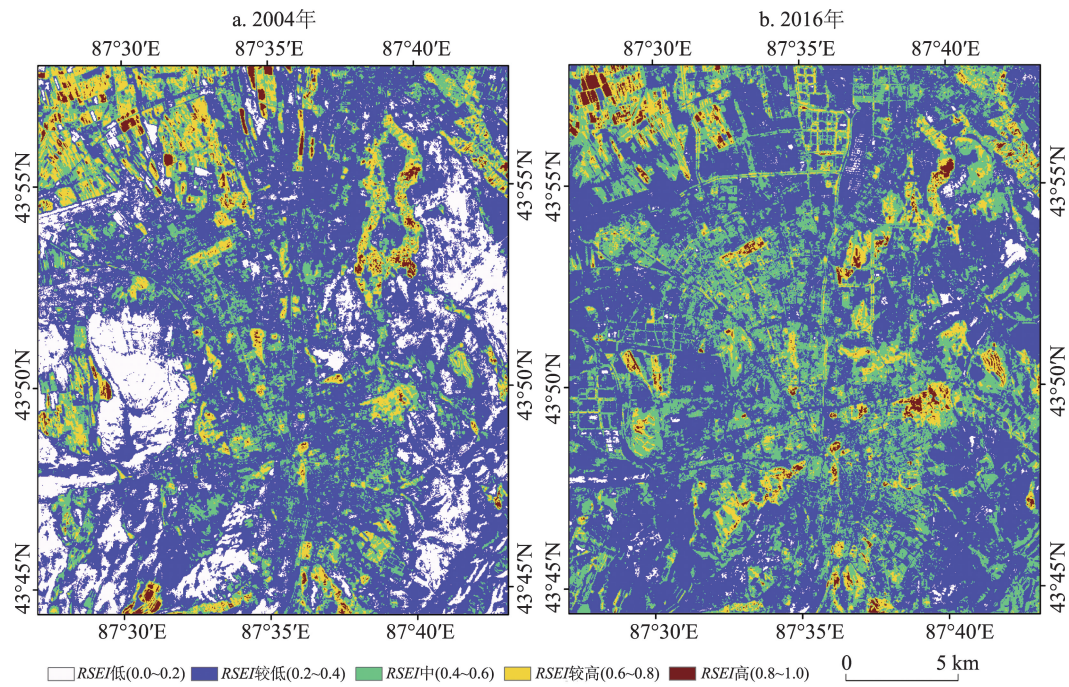


图3 乌鲁木齐市遥感生态指数的等级分布

Figure 3 Spatial distribution of remote sensing ecological index value classes, 2004 and 2016

表3 乌鲁木齐市遥感生态指数各等级面积及占比

Table 3 Percentage of areas of remote sensing ecological index value classes, 2004 and 2016

| <i>RSEI</i> 等级 | 2004年 | | 2016年 | |
|----------------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | 面积/km ² | 百分比/% | 面积/km ² | 百分比/% |
| A | 90.04 | 16.65 | 7.53 | 1.39 |
| B | 301.90 | 55.84 | 312.51 | 57.80 |
| C | 93.40 | 17.28 | 165.92 | 30.70 |
| D | 48.19 | 8.91 | 46.78 | 8.65 |
| E | 7.12 | 1.32 | 7.91 | 1.46 |
| 合计 | 540.65 | 100.00 | 540.65 | 100.00 |

2019年5月

但生态指数中等及以上的区域也只是零散的分布。

2016年,大面积的生态指数低值区域得到提升,特别是研究区的西部、东部区域;同时在城市中心,生态指数在中等以上水平区域连片出现,生态指数高值区域也明显增多。由此说明,研究区生态指数表现为变好。

表3给出了研究区生态指数各等级面积及占比。2004年,生态指数为A级的区域面积90.04 km²,占比16.65%,到2016年,该类面积仅7.53 km²,占比1.39%,下降幅度非常大,说明了生态环境差的区域在大量消失、变好;生态指数为B级的区域在整个研究区占绝大比重,2004年该类面积301.90 km²,占总面积的55.84%,到2016年该类增加了10.61 km²,占比57.80%,变化幅度不大;生态指数为C级的区域的面积从2004年的93.40 km²增长到165.92 km²,占比从17.28%增至30.70%,增幅显著;生态指数在D、E级的区域面积较小,占比较低,将其合并计算时,两者面积从2004年的55.31 km²变化为54.70 km²,相应占比从10.23%变为10.12%,基本处于稳定。研究区各类等级的生态指数的统计值表明生态环境正在得到改善,但从比例来看整个研究区的生态指数依然仍以较低和中等水平为主,2016年两者占总面积的88.49%;生态指数为较高和高等级的面积较小,因而整体的生态环境水平仍不高。

为进一步分析研究区生态指数的变化特征,对2个时相的生态指数进行比较,从下降、不变、上升3个层面进行分类,得出研究区生态指数空间变化图(图4)。研究发现:生态指数不变区主要集中在城市的中心区,与城市的建成区重叠度较高;生态指数下降区主要分布在城市的郊区、外围;生态指数上升区域多位于城市中心与郊区的过渡带。

表4分别对各等级的具体变化情况进行统计。结果显示,2004年以来,研究区有259.84 km²的区域生态指数维持原状,占总面积的48.06%;生态指数等级处于下降的区域面积71.70 km²,占总面积的13.26%,其中69.96%的区域生态指数下降1个等级;生态指数等级上升的区域209.12 km²,占总面积的38.68%,其中82.60%的区域生态指数上升1个等级。因此,研究区生态指数的变化主要集中在1个等级范围内,表明整个城市生态系统在近13年来相对

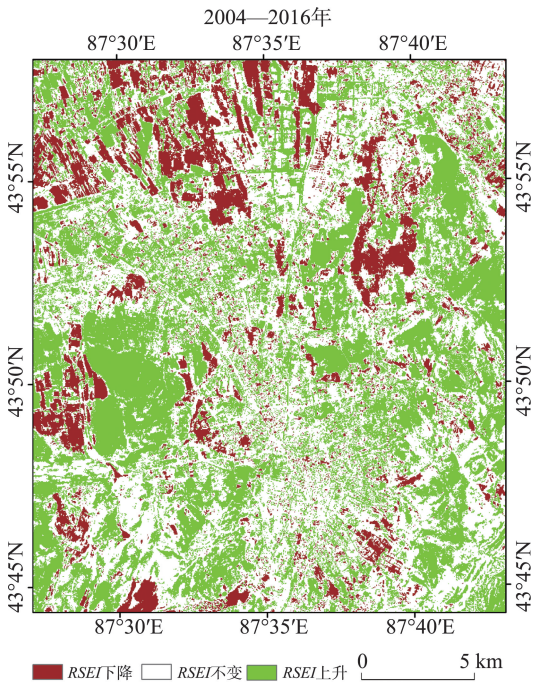


图4 乌鲁木齐市遥感生态指数等级变化

Figure 4 Spatial change of remote sensing ecological index value classes in Urumqi City, 2004–2016

表4 乌鲁木齐市生态指数面积变动情况

Table 4 Change of ecological index classes in Urumqi City

| 生态指数变化 | 级差 | 级面积/km ² | 比重/% | 类面积/km ² |
|--------|----|---------------------|-------|---------------------|
| 下降 | -4 | 0.01 | 0.02 | 71.70 |
| | -3 | 3.19 | 4.45 | |
| | -2 | 18.33 | 25.57 | |
| | -1 | 50.16 | 69.96 | |
| 不变 | 0 | 259.84 | - | 259.84 |
| 上升 | 1 | 172.72 | 82.60 | 209.12 |
| | 2 | 31.28 | 14.96 | |
| | 3 | 4.70 | 2.25 | |
| | 4 | 0.42 | 0.20 | |

稳定,并没有出现大范围生态环境恶化的现象,总体向好的趋势发展。

3.3 不同类型遥感生态指数重心偏移变化分析

前文将研究区整体的生态指数划分为5类,即研究区由5类生态指数构成。为研究各类要素的重心转移变动情况,利用ArcGIS 10,将5类要素转化为矢量点,分别计算各类要素的重心,分析其在2004年和2016年的位置变动情况,计算结果如图5所示。

图5给出了乌鲁木齐市不同等级生态指数重心

转移的方向及距离。A等级区域的重心位于研究区的南部,生态指数高的重心位于研究区的北部,基于生态指数从低到高的顺序,对应的重心由南向北依次分布。生态指数低的重心转移距离最长,达2.82 km,方位角60.21°;D等级区域的重心转移距离次之,达2.21 km,方位角154.33°;C等级区域的重心转移距离1.22 km,方位角146.87°;B等级区域、E等级区域的区域重心转移距离相对较少,依次为0.70 km、0.48 km,方位角分别为259.61°、177.56°。综上,生态指数较低的区域提升比较明显,该类区域的变化较大;生态指数较高的区域变化不大,转化为其他类型的比重较少,其重心转移的距离较小。

重心转移距离的大小也从侧面反映了该类区域空间分布的集聚和分散特征,转移距离越大,波动转化较明显。相比2004年重心分布位置,2016年的重心集聚性更为明显。

3.4 不同类型遥感生态指数景观格局变化分析

在结合生态指数等级划分的基础上,将生态指数斑块A、B、C、D、E视为5种景观类型,借助景观指数深入研究各等级生态指数,选取景观总面积、斑块数量、斑块密度、蔓延度指数、斑块结合度、聚集度指数、Shannon多样性指数等指标,利用Fragstats

4.2对各指标进行计算,具体计算结果见表5和表6。

从表5和表6可以看出,研究区总面积为540.65 km²,斑块数量2004年为10602,2016年达到了11361,其中D等级区域的斑块数量从1511增长到3044,是斑块数量增加主要来源,说明D等级区域的景观破碎度增大。在生态指数各等级斑块中,在面积、平均斑块面积、最大斑块面积占比及景观面积占比上,B等级区域的斑块各项指标均最大,其最大斑块面积占比2016年高达52.193%,表明生态指数较低的斑块规模的主导地位,即研究区出现了较大面积连片的生态指数较低的区域。斑块形状指数从73.500增加到76.774,略微上升,说明了研究区生态指数各等级的形状复杂性增强、不规则化明显。Shannon多样性指数、Shannon均匀度指数均表现为一定程度的下降,说明了同等类型的生态指数异质性降低,空间分布上均匀性减弱。分维数一直维持在0.09,相对较低,表明研究区整体的生态指数斑块形状的复杂性一直不高。研究区整体的生态指数的斑块结合度接近于100,表明斑块间的结合度较好,其中A等级区域的斑块结合度降低明显,与其较高的景观分离度相对应,即A等级区域的斑块空间分布零散、不均匀性。蔓延度指数2004年为45.911,2016年为51.117,表现为增长,体现了生态指数景观中某类斑块的较强的连接性。斑块聚集度指数在研究区整体分析中表现为轻微的下降,说明许多小斑块的出现,其中A等级区域和D等级区域的斑块聚集度指数下降明显,分别从81.103、

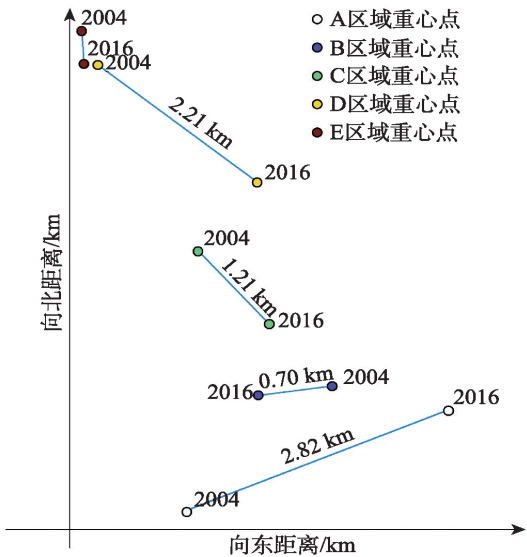


图5 2004—2016年乌鲁木齐市不同生态指数区域的重心偏移

Figure 5 Shift incenter of gravity of various ecological index classics in Urumqi City, 2004-2016

表5 2004—2016年乌鲁木齐市景观格局特征值变化

Table 5 Changes of landscape pattern characteristics in Urumqi City, 2004-2016

| 景观指标 | 2004 | 2016 |
|------------------------------|--------|--------|
| 景观总面积/km ² | 540.65 | |
| 斑块数量/个 | 10 602 | 11 361 |
| 斑块密度/(1/100hm ²) | 19.610 | 21.014 |
| 斑块形状指数 | 73.500 | 76.774 |
| 蔓延度指数 | 45.191 | 51.117 |
| 斑块结合度 | 99.616 | 99.602 |
| 分维数 | 0.009 | 0.009 |
| Shannon多样性指数 | 1.200 | 1.013 |
| Shannon均匀度指数 | 0.746 | 0.629 |
| 聚集度指数 | 81.354 | 80.490 |

2019年5月

表6 2004—2016年乌鲁木齐市景观斑块类型特征值变化

Table 6 Change in landscape patch characteristic values in Urumqi City, 2004-2016

| 景观 编号 | 斑块数量/个 | | 面积/km ² | | 平均斑块面积/km ² | | 最大斑块面积百分率/% | |
|----------|--------|-------|--------------------|-----------|------------------------|--------|-------------|--------|
| | 2004 | 2016 | 2004 | 2016 | 2004 | 2016 | 2004 | 2016 |
| A | 2 930 | 1 104 | 9 004.14 | 752.94 | 3.073 | 0.682 | 3.266 | 0.140 |
| B | 1 975 | 2 653 | 30 189.78 | 31 250.97 | 15.286 | 11.779 | 52.089 | 52.193 |
| C | 3 476 | 3 837 | 9 339.84 | 1 6591.68 | 2.687 | 4.324 | 1.295 | 6.276 |
| D | 1 511 | 3 044 | 4 819.23 | 4 678.11 | 3.189 | 1.537 | 0.623 | 0.576 |
| E | 710 | 723 | 712.17 | 791.46 | 1.003 | 1.095 | 0.048 | 0.065 |

| 景观 编号 | 景观面积百分率/% | | 斑块结合度 | | 景观分割度 | | 聚集度指数 | |
|----------|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | 2004 | 2016 | 2004 | 2016 | 2004 | 2016 | 2004 | 2016 |
| A | 16.654 | 1.393 | 97.460 | 80.519 | 0.998 | 1.000 | 81.103 | 62.088 |
| B | 55.890 | 57.802 | 99.918 | 99.896 | 0.729 | 0.726 | 87.495 | 88.071 |
| C | 17.275 | 30.688 | 96.387 | 98.860 | 0.999 | 0.994 | 66.919 | 71.681 |
| D | 8.914 | 8.653 | 95.145 | 93.485 | 0.999 | 0.999 | 73.311 | 66.207 |
| E | 1.317 | 1.464 | 82.301 | 83.391 | 1.000 | 1.000 | 67.945 | 67.753 |

73.311下降到62.088、66.207,表明A等级区域和D等级区域的小斑块增加明显。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文以干旱区绿洲城市乌鲁木齐市为例,采用遥感生态指数模型定量分析了2004年和2016年研究区生态指数现状及空间分布特征。结果表明:

(1)乌鲁木齐市的遥感生态指数2016年比2004年有所上升,其中植被指数、湿度分量、热度均表现为一定程度的上升,干度指数有所下降。乌鲁木齐市遥感生态指数主要维持在0.2~0.6之间。2004年以来,研究区48.06%的区域生态指数保持不变,13.26%的区域生态指数下降,38.68%的区域生态指数有所上升,主要集中在1个等级的提升。由此也表明,生态环境的提升是循序渐进的过程。

(2)随着时间的推移,不同类型的生态斑块的重心均发生了变化。从南向北依次分布着生态指数低、较低、中、较高、高斑块的重心,说明在研究区的北部的生态环境质量整体好于南部,主要是由于北部集聚着大片的农田区域。随着生态指数高值区域斑块向南偏移,表明南部区域的生态环境质量也在得到改善。

(3)不同等级的生态指数景观格局发生了很大的变化。通过对不同类型的生态指数的分析,斑块形状指数上升反映了不同等级的生态指数形状越

来越复杂;蔓延度指数的增加,说明了斑块之间的连接性较好,即不同类型的生态指数集聚明显。

4.2 讨论

许多研究表明^[10,31],以NDVI为代表的绿度和以WET为代表的湿度对生态指数起正面影响,以LST为代表的热度和以NDBSI为代表的干度对生态指数起负面作用。这与本文结果相一致。本文中与生态环境呈正相关的绿度对生态指数的贡献度增大,可能与2016年乌鲁木齐市新建街旁绿地、绿道^[22],在道路、广场、交通环岛等重要节点摆放花卉,增加地表植被面积密切相关。

本文从整体区域出发,得出了研究区中心区域生态质量稳定、远郊区域生态质量较差、近郊区域生态质量优化明显的结论。该结论也从侧面印证了城市发展状态。城市中心主要被大量的道路、建筑所覆盖,现状相对较稳定,生态系统相对均衡,并维持着一定的水平。伴随城市化的扩张,建成区向外扩张,扩张区域将承担部分城市功能,特别是人类居住的功能。城乡结合部原本生态指数较低,经过新型城镇发展规划后,通常对园林绿化、生态环境质量更为重视,体现出生态指数升高的趋势。而远郊区原本农田或自然植被占很大比重,经过城市的不断扩张,原有植被遭到破坏,使其生态指数降低。

结合研究区生态指数的空间变化,可以发现生

态指数随着人类活动逐渐演变。生态系统在维持内部稳定性的同时,人类活动一方面可起到改善生态环境作用,如研究区中部偏东的集中连片的变好区域主要由于植被恢复措施的作用;另一方面随城市的扩展给生态环境带来压力,如研究区西北部大面积生态指数下降,主要由于城市化过程中农田面积被侵占、建设用地增加所致。

乌鲁木齐市是新疆的首府,为政治、经济中心,人口从2004年的235万人增长到2016年的352万人,国内生产总值相应地从478亿元增长到2459亿元。国内外已有研究表明,经济、农业生产水平的提高,生活方式的转变以及劳动力转移都可能影响到生态环境的变化^[32,33]。综上分析,生态环境的变化是多种因素共同作用的结果。

在研究方法上,本文立足于研究区2期遥感生态指数空间分布对比分析,揭示研究区生态环境现状及空间分布特征,探讨了生态环境的空间变化规律,并尝试从生态指数类型的视角分析景观格局特征,从而进一步细化了生态环境的变化研究,一定程度上弥补了现有研究在景观格局分析上的不足。但由于本文仅选取2年数据,对生态环境演变分析上略显单薄,今后应在更加深入开展城市遥感生态研究的基础上,深层次挖掘城市生态环境好转的影响因素,同时结合人类活动的变化规律,寻求人与自然的和谐共处。

参考文献(References):

- [1] 赵亚莉,刘友兆,龙开胜.城市土地开发强度变化的生态环境效应[J].中国人口·资源与环境,2014,24(7):23-29.[Zhao Y L, Liu Y Z, Long K S. Eco-environmental effects of urban land development intensity change across capital Cities in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(7): 23-29.]
- [2] 林紫荣,张小雷,朱自安,等.干旱区绿洲生态环境与新疆城市化研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(12):6-14.[Lin Z R, Zhang X L, Zhu Z A, et al. Study on Arid Region Oasis Eco-environment and Xinjiang Urbanization[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(12): 6-14.]
- [3] 赵其国,黄国勤,马艳芹.中国生态环境状况与生态文明建设[J].生态学报,2016,36(19):6328-6335.[Zhao Q G, Huang G Q, Ma Y Q. The ecological environment conditions and construction of an ecological civilization in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(19): 6328-6335.]
- [4] 汤旭,冯彦,鲁莎莎,等.基于生态区位系数的湖北省森林生态安全评价及重心演变分析[J].生态学报,2018,38(3):1-14.[Tang X, Feng Y, Lu S S, et al. Forest ecological security evaluation based on ecological location coefficient and gravity center transfer analysis in Hubei province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 1-14.]
- [5] 柳钦火,吴俊君,李丽,等.“一带一路”区域可持续发展生态环境遥感监测[J].遥感学报,2018,22(4):686-708.[Liu Q H, Wu J J, Li L, et al. Ecological environment monitoring for sustainable development goals in the Belt and Road region[J]. Journal of Remote Sensing, 2018, 22(4): 686-708.]
- [6] Badreldin N, Goossens R. A satellite-based disturbance index algorithm for monitoring mitigation strategies effects on desertification change in an arid environment[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2015, 20(2): 263-276.
- [7] Franke J, Keuck V, Siegert F. Assessment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes[J]. Journal for Nature Conservation, 2012, 20(3): 125-134.
- [8] Xu H Q. Analysis of impervious surface and its impact on urban heat environment using the normalized difference impervious surface Index [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2010, 76(5): 557-565.
- [9] 刘庆芳,徐建辉,陈磊,等.退耕还林区生态环境监测与评价:以陕西省为例[J].黑龙江工程学院学报,2018,32(1):20-26.[Liu Q F, Xu J H, Chen L, et al. The monitoring and evaluation of ecological environment in the returned forestlands : A case study of Shaanxi province[J]. Journal of Heilongjiang Institute of Technology, 2018, 32(1): 20-26.]
- [10] 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.]
- [11] 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.[Zhang H, Du P J, Luo J Q, et al. Ecological change analysis of Nanjing city based on remote sensing ecological index[J]. Geospatial Information, 2017, 15(2): 58-62.]
- [12] 吴志杰,王猛猛,陈绍杰,等.基于遥感生态指数的永定矿区生态变化监测与评价[J].生态科学,2016,35(5):200-207.[Wu Z J, Wang M M, Chen S J, et al. Monitoring and evaluation of ecological environment's spatio-temporal variation in mine based on RSEI in Yongding Mine[J]. Ecological Science, 2016, 35(5): 200-207.]
- [13] 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.[Liu Z C, Xu H Q, Li L, et al. Ecological change in the Hangzhou area using the remote sensing based ecological index[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2015, 23(4): 728-739.]

2019年5月

- [14] 王志杰, 苏娜. 南水北调中线汉中市水源地生态脆弱性评价与特征分析[J]. 生态学报, 2018, 38(2): 1–12. [Wang Z J, Su Y. Analysis of eco-environmental vulnerability characteristics of Hanzhong City, near the water source midway along the route of the south-to-north water transfer project, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(2): 1–12.]
- [15] 王千. 基于农业生产风险的关中地区土地整治分区研究[D]. 南京: 南京大学, 2012. [Wang Q. The Research of Land Consolidation Sub-zoning based on Risk Assessment of Agricultural Production of Guanzhong Region[D]. Nanjing: Nanjing University, 2012.]
- [16] 单薇, 金晓斌, 孟宪素, 等. 基于多源遥感数据的土地整治生态环境质量动态监测[J]. 农业工程学报, 2019, 35(1): 234–242. [Shan W, Jin X B, Meng X S, et al. Dynamical monitoring of ecological environment quality of land consolidation based on multi-source remote sensing data[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(1): 234–242.]
- [17] Huang P H, Tsai J S, Lin W T. Using multiple-criteria decision-making techniques for eco-environmental vulnerability assessment: A case study on the Chi-Jia-Wan Stream watershed, Taiwan [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, 168(1): 141–158.
- [18] 欧阳彦, 刘秀华. 基于熵权物元可拓模型的土地整理生态环境影响评价: 以老河口市孟楼镇基本农田整理项目为例 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2009, 34(6): 67–73. [Ouyang Y, Liu X H. Eco-environment impact assessment on land consolidation based on entropy-weighted matterelement model: A case study of the land consolidation project in Menglou Town, Laohekou City[J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 2009, 34(6): 67–73.]
- [19] 王丽春, 焦黎, 来凤兵, 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): 1–10. [Wang L C, Jiao L, Lai F B, et al. Evaluation of ecological changes based on a remote sensing ecological index in a Manas Lake wetland, Xinjiang [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(8): 1–10.]
- [20] Huang J P, Y u H P, Dai A G, et al. Drylands face potential threat under 20°C global warming target[J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7(6): 417–422.
- [21] 唐宏, 夏富强, 杨德刚, 等. 干旱区绿洲城市发展与水资源需求预警分析: 以乌鲁木齐市为例[J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1168–1174. [Tang H, Xia F Q, Yang D G, et al. Scenario warning for urban development and water resource demand in the arid oasis city of Urumqi[J]. *Resources Science*, 2014, 36(6): 1168–1174.]
- [22] 周玄德, 郭华东, 孜比布拉·司马义. 城市扩张过程中不透水空间格局演变及其对地表温度的影响: 以乌鲁木齐市为例[J]. 生态学报, 2018, 38(20): 7336–7347. [Zhou X D, Guo H D, Zibibula·Simayi. Spatial pattern evolution of impervious surfaces and its influence on surface temperature in the process of urban expansion: A case study of Urumqi[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(20): 7336–7347.]
- [23] 李霞, 郭宇宏, 卢新玉, 等. 乌鲁木齐市大气污染治理成效的综合评估分析[J]. 中国环境科学, 2016, 36(1): 307–313. [Li X, Guo Y H, Lu X Y, et al. Evaluation and analysis on the effects of air pollution control in Urumqi[J]. *China Environmental Science*, 2016, 36(1): 307–313.]
- [24] 罗春, 刘辉, 戚陆越. 基于遥感指数的生态变化评估: 以常宁市为例[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(4): 145–150. [Luo C, Liu H, Qi L Y. Ecological changes assessment based on remote sensing indices: A case study of Changning City[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2014, 26(4): 145–150.]
- [25] 王俊祺, 潘文斌. 生态环境变化遥感评价指数的应用研究: 以敖江流域为例[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(12): 186–190. [Wang J Q, Pan W B. Application of remote sensing index in assessing ecological changes of Aojiang watershed[J]. *Environmental Science and Management*, 2014, 39(12): 186–190.]
- [26] 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. [Xu H Q. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes[J]. *China Environmental Science*, 2013, 33(5): 889–897.]
- [27] 牛安逸, 马姣娇, 陈志云. 基于遥感技术及综合指数法的广州市自然生态环境评价[J]. 中国城市林业, 2015, 13(6): 11–15. [Niu A Y, Ma J J, Chen Z Y. Natural ecological environment evaluation in Guangzhou based on remote sensing technology and comprehensive index method[J]. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2015, 13(6): 11–15.]
- [28] 周玄德. 新疆典型城市不透水面及其地表温度的分形研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2018. [Zhou X D. Fractal study of urban impervious surfaces and its surface temperature of Typical city in Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2018.]
- [29] Yu X, Guo X, Wu Z. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS: Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method [J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(10): 9829–9852.
- [30] Sobrino J A, Jimenez-Munoz J C, Paolini L. Land surface retrieval from LANDSAT TM5[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 90(4): 434–440.
- [31] 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, Xue 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.]
- [32] Ostwald M, Chen D L. Land-use change: impacts of climate variations and policies among small-scale farmers in the Loess Plateau, China[J]. *Land Use Policy*, 2006, 23(4): 361–371.

[33] Vicente-Serrano S M, Lasanta T, Romo A. Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish central Pyre-

nees: Role of human management[J]. Environmental Management, 2004, 34(6): 802-818.

Change of remote sensing ecological index of an oasis city in the arid area

ZHOU Xuande¹, GUO Huadong², Zhibibula·Simayi³, DENG Zutao¹, LIANG Bin¹

(1. School of Tourism and Hospitality Management, Hubei University of Economics, Wuhan 430205, China;

2. Key Laboratory of Digital Earth, Center for Earth Observation and Digital Earth, CAS, Beijing 100094, China;

3. College of Resource and Environmental Science of Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: Xinjiang Uyghur Autonomous Region is a typical arid area, and its ecological environment is extremely fragile. It is of great significance to understand its ecological environment changes in a timely and accurate manner. This study chose the oasis city Urumqi in Xinjiang as the research area and used the remote sensing images from the same month of 2004 and 2016 to calculate the remote sensing ecological index (RSEI), and analyze the present situation, spatial distribution, center of gravity, landscape features, and driving factors of change of RSEI. The results show that: (1) In 2004—2016, the average remote sensing ecological index value increased from 0.341 to 0.400, an increase of 17.24%. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Wetness (WET), and Land Surface Temperature (LST) showed a certain degree of increase, and Normalized Difference Build-up Soil Index (NDBSI) showed a downward trend; (2) With the classification of ecological index values, the main part of the study area fell within poor and medium ecological index classes. The total area of these classes is obviously growing. The classes mainly remained unchanged or improved, and the areas with improvements of ecological index mainly moved up for one class; (3) The center of gravity of all types of ecological index classes shifted, and the distance of gravity center shift of the poor ecological index class was the longest, reaching 2.82 km. The distance of shift was relatively small for other classes; (4) Landscape pattern of different types of remote sensing ecological indices changed, complexity of shape of patches increased, the spatial connectivity and agglomeration were significant. This study analyzed the spatial characteristics and changes of the ecological index and found that the process of gradual change of the ecosystem under the premise of maintaining stability with human activities is closely related to urban expansion.

Key words: urban ecology; remote sensing; ecological index; landscape; oasis in arid area; Urumqi City