

钦州市城市扩张的生态响应^{*}

刘文良,李伟^{**},郝连成

(中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心,山东烟台 264004)

摘要:为量化分析评价钦州市城市扩张对生态环境的影响,选取2000年、2009年和2017年的Landsat系列影像数据,提取绿度、湿度、热度、干度4个评价指标,用基于ENVI平台的主成分分析方法构建遥感生态指数(RSEI),评价该地区的生态环境状况。结果表明,2000年、2009年、2017年钦州市的RSEI均值分别为0.676,0.698和0.725,生态状况有改善的趋势,说明城市的扩张给钦州市整体生态带来的负面影响不大,钦州市仍有很大的发展潜力。对该地区而言,植被覆盖对生态环境起决定作用。低生态等级区的平均中心随城市扩张的方向迁移,表明城市的扩张对生态有一定的负面影响。部分建筑用地的生态等级由差变好,表明绿化工程能改善区域的生态质量。

关键词:生态变化 城市扩张 主成分分析 遥感生态指数 生态环境评价 钦州市

中图分类号:X826,TP79 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2020)06-0667-09

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20210119.009

0 引言

城市化是指人口向城市聚集,并由此引起一系列社会变化的过程^[1]。城市向郊区扩张是这一过程最为直观的特征。随着城市的扩张出现了一些无法避免的生态环境问题,例如城市热岛、水污染等。城市建设和生态保护之间的矛盾一直是科学研究的重要内容。客观、准确地评价城市生态环境的变化并发现其存在的问题,为城市的规划和建设提供建议,有利于区域的持续发展。

当前遥感技术以大面积、快速、周期性观测的优

点,在生态环境监测领域^[2,3]得到了广泛的应用。但目前以单一指标评价居多,如使用植被指数监测地表覆被及其对气候的响应^[4],利用地表温度估测城市热岛效应^[5],通过反演不透水面分析城市扩张变化^[6],等等。这种单一指标的评价相对片面,不能完整地反映城市生态的变化。综合多个指标的生态环境评价方法有层次分析法(AHP)^[7]、模糊数学评判法^[8]、压力-状态-响应(PSR)模型法^[9]等,这些方法存在人为确定权重的问题,且要使用大量的统计数据,模型构建相对复杂。徐涵秋^[10]提出的遥感生态指数(Remote Sensing Ecological Index, RSEI)基于遥感技术,用主成分分析的方法集成了多个指标,能够简单、

^{*} 中国地质调查局项目“广西钦州湾海岸带综合地质调查”(DD20191024)资助。

【作者简介】

刘文良(1990—),男,硕士,助理工程师,主要从事环境遥感研究。

【**通信作者】

李伟(1985—),男,硕士,工程师,主要从事海岸带地质调查工作,E-mail:670095930@qq.com。

【引用本文】

刘文良,李伟,郝连成.钦州市城市扩张的生态响应[J].广西科学,2020,27(6):667-675.

LIU W L, LI W, HAO L C. Urban Expansion in Qinzhou City and Its Ecological Response [J]. Guangxi Sciences, 2020, 27(6): 667-675.

快速、客观、定量地评价区域整体的生态环境状况,还可以进行长时间序列的可视化空间表达,目前已经在许多城市^[11,12]和地区^[13,14]得到了应用。

钦州市是我国大西南的一个典型港城分离型城市。自20世纪90年代以来,钦州市城区和钦州港港区规模有了大幅度的增长,且有进一步扩大的趋势,快速的城市扩张是否影响了该市的生态环境是一个值得关注的问题。对钦州市进行整体的生态评价,研究制约生态环境变化的驱动因子是非常有必要的。本文基于RSEI,对钦州市2000—2017年的生态环境变化进行量化分析评价,发掘影响该市生态环境状况的关键因子,为城市建设和生态保护工作提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

钦州市位于广西南部沿海,在北部湾经济区居中心位置,是面向东盟开放的重要窗口之一。该地区属海洋季风气候,夏季高温多雨,冬季温和少雨。境内地貌以低山丘陵为主,地势自北向南倾斜。1996年,经广西壮族自治区人民政府批准,钦州市成立钦州港经济技术开发区,2010年升级为国家级开发区。2019年8月,中国(广西)自由贸易试验区钦州港片区获批。自钦州港开发区成立以来,港口的建设和发展推动了钦州市城市化的进程,现已形成以老城区为核心的生活中心和以钦州港为核心的工业中心。本研究选取老城区和钦州港所在的钦南区作为研究区,该区域是近20年来钦州城市发展最快的区域,能集中反映城市生态变化的状况,其地理跨度为 $21^{\circ}36' - 22^{\circ}08'N, 108^{\circ}24' - 109^{\circ}09'E$,总面积约为 $2\,383\text{ km}^2$ 。

1.2 数据来源

本研究选取Landsat系列影像作为数据源,包括2000年11月6日的ETM+影像、2009年10月6日的TM影像和2017年10月28日的OLI/TIRS影像。影像获取季节一致,避免季相差异所带来的影响。为保证各指数计算的准确性,首先分别对3期影像进行辐射定标、大气校正、几何校正等预处理,再在此基础上进行研究区的裁剪和各指标分量的计算。

1.3 方 法

遥感生态指数(RSEI)基于遥感技术,利用主成分分析的方法集成绿度、湿度、干度、热度4个指标,以综合客观反映区域的生态环境状况。

1.3.1 指标提取

1.3.1.1 绿度指标

绿度指标用归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)来表示,该指数是最常用的反映植被覆盖和生长状况的参量,其计算公式为

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

式(1)中, ρ_R 、 ρ_{NIR} 分别为影像红波段和近红波段的反射率,分别对应TM/ETM+影像的第3,4波段,OLI影像的第4,5波段。

1.3.1.2 湿度指标

缨帽变换技术获取的湿度分量能够反映植被和土壤的湿度状况,广泛应用于生态监测^[15],故用来表示湿度指标,其计算公式为

$$Wet = c_1\rho_B + c_2\rho_G + c_3\rho_R + c_4\rho_{NIR} + c_5\rho_{SWIR1} + c_6\rho_{SWIR2}, \quad (2)$$

式(2)中,Wet表示湿度分量, ρ_B 、 ρ_G 、 ρ_R 、 ρ_{NIR} 、 ρ_{SWIR1} 、 ρ_{SWIR2} 在TM/ETM+影像中分别对应第1,2,3,4,5,7波段的反射率,在OLI影像中分别对应第2,3,4,5,6,7波段的地表反射率。 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 、 c_6 为缨帽变换中各波段的系数,不同传感器的系数不同;对于TM影像,Crist^[16]推导的系数依次为0.0315,0.2021,0.3102,0.1594,-0.6806和0.6109;对于ETM+影像,Huang等^[17]推导的系数为0.2626,0.2141,0.0926,0.0656,-0.7629,-0.5388;对于OLI影像,李博伦等^[18]推导的系数依次为0.2651,0.2367,0.1296,0.0590,-0.7506,-0.5386。

1.3.1.3 干度指标

自然环境中,造成地表干化的地物主要是建筑物和裸土,归一化建筑-土壤指数(Normalized Difference Building-Soil Index, NDBSI)能表征建筑物和裸土的信息,由IBI和SI组合而来,本文用两者的均值来表示干度指标,其计算公式为

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

$$IBI = [2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) - \rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_R) - \rho_G / (\rho_G + \rho_{SWIR1})] / [2\rho_{SWIR1} / (\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}) + \rho_{NIR} / (\rho_{NIR} + \rho_R) + \rho_G / (\rho_G + \rho_{SWIR1})], \quad (4)$$

$$SI = \frac{(\rho_{SWIR1} + \rho_R) - (\rho_{NIR} + \rho_B)}{(\rho_{SWIR1} + \rho_R) + (\rho_{NIR} + \rho_B)}. \quad (5)$$

1.3.1.4 热度指标

地表温度(Land Surface Temperature, LST)在城市热环境研究、生态环境监测以及灾害预警等领域

具有广泛的应用,用来表征热度指标。Landsat 系列卫星一直是地表温度反演的重要数据来源之一,其中,Landsat 5 和 Landsat 7 各有一个热红外波段(TM 6、ETM+ 6),Landsat 8 TIRS 传感器有两个热红外波段(TIRS 10,11),由于 TIRS 11 波段的定标参数存在误差,美国地质调查局(United States Geological Survey,USGS)不鼓励使用该波段进行地表温度反演^[19]。综合考虑,本文使用普适性强,需求参数少的单通道算法对地表温度进行反演。单通道算法由 Jiménez-Munoz 等^[20]于 2003 年提出,经过多次改进^[21,22],适用于 Landsat 系列卫星传感器,并且可以取得 1.5 K 的精度^[23,24]。该算法主要公式为

$$LST = \gamma [\varepsilon^{-1}(\varphi_1 L + \varphi_2) + \varphi_3] + \delta, \quad (6)$$

$$\gamma = T^2 / (b_\gamma L), \quad (7)$$

$$\delta = T - T^2 / b_\gamma, \quad (8)$$

公式(6)–(8)中,LST 为地表温度,单位为开尔文(K);对于 TM 6、ETM+ 6、TIRS 10 波段,参数 b_γ 分别为 1 256,1 277 和 1 324; L 为 TM 6、ETM+ 6、TIRS 10 波段辐射亮度值,可根据影像头文件中的 gain 和 offset 参数定标得到。 φ_1 、 φ_2 、 φ_3 用下列公式计算:

$$\varphi_1 = 1/\tau, \quad (9)$$

$$\varphi_2 = -L \downarrow - L \uparrow, \quad (10)$$

$$\varphi_3 = L \downarrow, \quad (11)$$

式(9)–(11)中, τ 、 $L \downarrow$ 、 $L \uparrow$ 分别为大气透过率、大气下行辐射和大气上行辐射,这些参数可以由网站 <http://atmorr.gsfc.nasa.gov> 查询而来; T 为热红外波段在传感器处的亮度温度,其公式为

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L + 1), \quad (12)$$

式(12)中, K_2 、 K_1 为常数,对于 TM 6、ETM+ 6、TIRS 10 波段, K_1 的数值分别为 607.76,666.09,774.89,单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$, K_2 数值分别为 1 260.56,1 282.71,1 321.08,单位为 K; ε 为地表比辐射率,本文使用覃志豪等^[25]提出的方法进行反演。

1.3.2 遥感生态指数构建

1.3.2.1 指标分量标准化处理

上述公式计算的 4 个指标量纲是不一致的,因此在计算遥感生态指数之前需要进行标准化处理,将各指标的量纲都统一到 $[0,1]$ 之间。其公式为

$$NI_i = (I_i - I_{\max}) / (I_{\max} - I_{\min}), \quad (13)$$

式(13)中, NI_i 为经过标准化处理之后的像元值, I_i 为指标分量在 i 像元处的值, I_{\max} 、 I_{\min} 为该指标分量

的最大和最小像元值。

1.3.2.2 指标分量的水体掩膜处理

遥感生态指数中湿度分量(Wet)研究的是与植被和土壤湿度有关的参量,因此在计算时需要将大面积的水体提取出来并掩膜掉,以避免水域对主成分分析的载荷造成影响。本文对水体的提取采用徐涵秋^[26]提出的归一化差异水体指数(Modified Normalized Difference Water Index,MNDWI),其公式为

$$MNDWI = (\rho_G - \rho_{SWIR1}) / (\rho_G + \rho_{SWIR1}). \quad (14)$$

1.3.2.3 计算遥感生态指数

遥感生态指数(RSEI)是可以综合以上 4 个指标信息的参量。主成分分析方法(Principal Component Analysis,PCA)可以去除波段之间多余信息,将多波段的图像信息压缩到少数几个波段,其中第一主成分(PC1)包含了绝大多数的信息。该方法的最大优点是各指标对主分量的贡献值客观地确定各指标的权重,避免人为误差,将经过标准化和水体掩膜处理的指标分量重新合成一幅新的影像。使用 ENVI 的主成分分析模块进行计算,得出 PC1 和相关统计数据。然后依次将 PC1 进行正负值转换、标准化处理,得到遥感生态指数(RSEI),主要公式为

$$RSEI_0 = 1 - PC1, \quad (15)$$

$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI_{0_min}) / (RSEI_{0_max} - RSEI_{0_min}), \quad (16)$$

式(15)中, $RSEI_0$ 为初始生态指数,PC1 为 ENVI 计算得到的第一主成分 PC1。式(16)中, $RSEI$ 数值介于 $[0,1]$ 之间,值越大,生态越好,反之越差; $RSEI_{0_min}$ 、 $RSEI_{0_max}$ 为初始生态指数 $RSEI_0$ 的最小值和最大值。

1.3.3 建模分析

分别在研究区 3 个时期的 NDVI、Wet、NDBSI、LST 和 RSEI 影像随机选取了 3 000 个样点,基于样点数据进行逐步多元回归分析,并绘制散点图,分析 4 个变量因子及其与生态环境之间的关系。

2 结果与分析

2.1 生态变化整体分析

表 1 统计了研究区 4 个指标分量和 RSEI 的均值,以及各指标对第一主成分(PC1)的载荷。由表 1 可以看出,NDVI 和 Wet 对 PC1 的载荷均为正值,说明两者对生态起正面作用;NDBSI 和 LST 对 PC1 的载荷为负值,两者对生态起负面作用,与客观实际一致。2000 年、2009 年、2017 年各分量对 PC1 的贡献

率分别为 73.94%、74.59%、87.66%，表明 PC1 已经集成了 4 个分量的绝大多数信息。统计表明，2000 年、2009 年和 2017 年研究区的 RSEI 均值分别为 0.676、0.698 和 0.725，整体增长了 7.2%，生态环境有变好的趋势。分析表 1 中 4 个指标对 PC1 的载荷可知，NDVI 和 Wet 对 PC1 载荷的绝对值之和远大于 NDBSI 和 LST 的绝对值之和，说明在该地区植被覆盖和土壤湿度对生态环境的优化作用大于地面建

筑和地表温度对生态环境的破坏作用。4 个指标中，又以 NDVI 对 PC1 载荷的绝对值最大，说明植被的覆盖是影响该地区生态的主要因素。2000 年、2009 年、2017 年 NDBSI 对 PC1 载荷的绝对值呈先增长后稳定不变的趋势，表明 2009 年以前研究区地表的“干化”对生态环境的负面作用在增加，2009 年以后趋于稳定。

表 1 研究区 4 个指标和 RSEI 统计表

Table 1 Statistics of 4 indicators and RSEI in study area

参量 Parameters	2000 年 The year of 2000		2009 年 The year of 2009		2017 年 The year of 2017	
	均值 Mean value	对 PC1 载荷 Contribution to PC1	均值 Mean value	对 PC1 载荷 Contribution to PC1	均值 Mean value	对 PC1 载荷 Contribution to PC1
NDVI	0.758	0.764	0.850	0.776	0.840	0.924
Wet	0.651	0.580	0.798	0.272	0.896	0.104
NDBSI	0.441	-0.230	0.408	-0.257	0.422	-0.257
LST	0.574	-0.164	0.262	-0.508	0.143	-0.265
RSEI	0.676		0.698		0.725	

为量化分析生态状况，将 RSEI 以 0.2 为间隔分成差(0—0.2)、较差(0.2—0.4)、中(0.4—0.6)、良(0.6—0.8)和优(0.8—1.0)5 个等级(界限值属于前一级)。图 1 显示了研究区 2000—2017 年地表景观的变化和 RSEI 等级的空间变化情况。整体来看钦州市植被覆盖率高，生态等级以良为主。2000 年为钦州港建设的初期，港口处出现小规模填海，城区规模较小，生态质量差和较差的区域集中在港口的北部，其他区域有零星分布，主要地物类型为建筑用地、裸地等，城区的生态等级以中为主；2000—2009 年，城区和港口的范围都有了一定规模的扩张，生态等级差和较差的区域大都集中在这两个区域，城区的生态等级转变为以较差为主；2009—2017 年，城区和港口的范围虽然出现较大规模的扩张，但是部分区域建设初期破坏的自然表面得到了修复，如钦州港西部和老城区的一些区域，生态等级差和较差的区域得到稀释，港口的生态等级以较差为主，城区生态等级以中为主，说明生态保护的观念逐步深入人心。

表 2 统计了 3 个时期 RSEI 各等级的面积及其所占比例，3 个时期的总面积各不相同且比钦州市总面积稍小，主要是因为计算 RSEI 时对水体进行了剔除。结果表明：1)2000 年、2009 年、2017 年研究区的

生态质量等级以优、良为主，二者之和均占总面积的 70% 以上，且二者所占的比例之和有增长的趋势，由 2000 年的 74.97% 增长到 2017 年的 84.08%，二者面积之和增长 247.1 km²，同比增长 14.07%；2)生态质量等级较差和差的区域面积和比例先增加后降低。2000 年，二者所占面积之和为 45.33 km²，约占研究区当期总面积的 1.94%；2009 年，面积之和为 59.38 km²，约占研究区当期总面积的 2.52%；到 2017 年，面积为 53.82 km²，约占当期总面积的 2.26%。

2.2 生态环境变化监测

为分析研究区域 18 年来生态质量的差异变化，在 RSEI 分级的基础上，对研究区 2000 年和 2017 年的 RSEI 指数做差值运算，并将结果划分为变差、不变、变好三大类，结果如图 2 所示。经统计，钦州市的总面积由 2000 年的 2 342.19 km² 增长至 2017 年的 2 382.31 km²，面积增长了约 1.7%，主要是围填海(图 2 紫色图斑)的原因，且 95% 以上的围填海区域都集中在南侧的钦州港。由图 2 可知，生态环境恶化的区域主要集中在城区和钦州港东北部，城区的扩张和钦州港工业园的建设是生态恶化的主要原因。生态环境有所改善的区域分布较广，其中以城区东北部为典型，这些区域的地貌以低山丘陵为主，地物类型

主要是林地和园地。

经统计(不含围填海区),大部分区域生态质量无明显变化(图2淡黄色图斑),占总面积的58.21%;生态质量变差的区域(图2橙色图斑)面积为282.75

km²,占总面积的12.72%;生态环境有所改善的区域(图2浅绿色图斑)面积为646.44 km²,占占面积的29.07%。

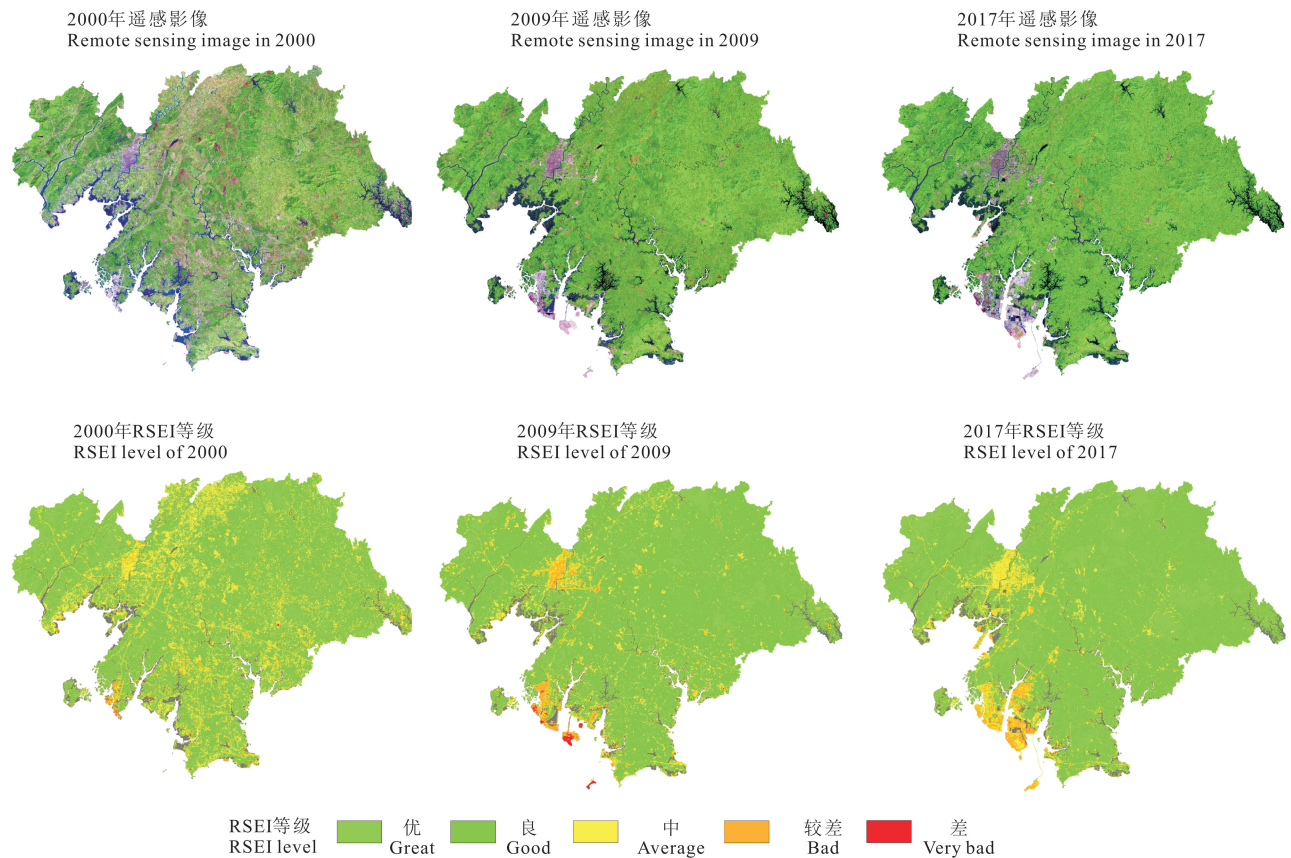


图1 研究区2000年、2009年、2017年遥感影像和RSEI等级分布图

Fig.1 Remote sensing image and RSEI grade distribution map of the study area in 2000,2009 and 2017

表2 研究区生态环境评价等级统计表

Table 2 Statistical table of ecological environment evaluation gradas in the study area

RSEI 等级 RSEI level	2000年 The year of 2000		2009年 The year of 2009		2017年 The year of 2017	
	面积 Area (km ²)	占比 Percentage (%)	面积 Area (km ²)	占比 Percentage (%)	面积 Area (km ²)	占比 Percentage (%)
优 Great	241.93	10.33	211.69	8.98	435.80	18.29
良 Good	1 514.21	64.64	1 766.20	74.90	1 567.44	65.79
中 Average	423.97	18.10	191.30	8.11	190.17	7.98
较差 Bad	44.18	1.89	54.15	2.30	53.63	2.25
差 Very bad	1.15	0.05	5.23	0.22	0.19	0.01

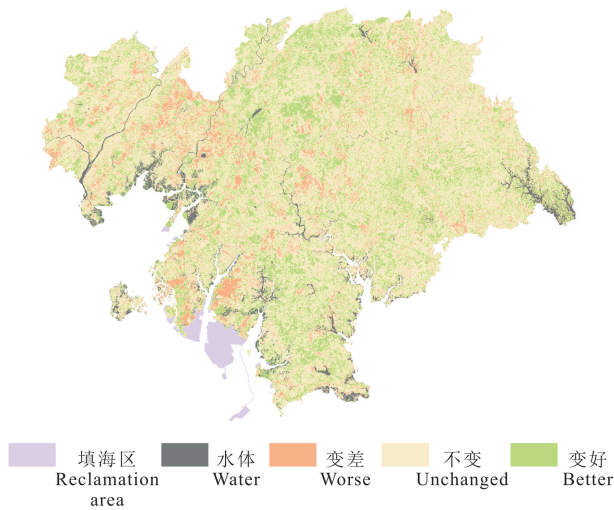


图2 研究区 2000—2017 年 RSEI 等级变化空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of RSEI level change from 2000 to 2017 in study area

2.3 城市建成区扩张对生态的影响

分别对 2000 年、2009 年、2017 年的钦州市城区和钦州港建成区进行解译,其建筑面积由 2000 年的 17.07 km² 增长到 2017 年的 107.27 km²,增加了 5 倍多。为研究城市的扩张对生态质量等级重心的影响,用 ArcGIS 分别将 3 期的 RSEI 栅格影像转换为矢量要素点。由前文可知,建筑用地的生态质量等级大都为差和较差,因此分别提取城区和钦州港生态等级差和较差的要素点,并利用 ArcGIS 分别计算这些要素点的加权平均中心(紫色点为城区的,红色点为钦州港的),如图 3 所示。图 3 反映了城市建筑面积扩张和低生态等级区域中心的迁移关系。平均中心迁移的方向和距离反映了低生态等级区域的分布状况,平均中心基本上随建筑用地扩张的方向迁移,以上情况进一步表明,城市的扩张对生态有一定的负面影响。从迁移距离来看,钦州港平均中心大于城区,说明钦州港区域的建设力度比城区大。

2.4 建模分析

建模结果如下:

$$RSEI = 0.5167 + 0.5069NDVI + 0.8191Wet - 0.1019NDBSI - 0.0033LST, R^2 = 1 \text{ (2000 年);}$$

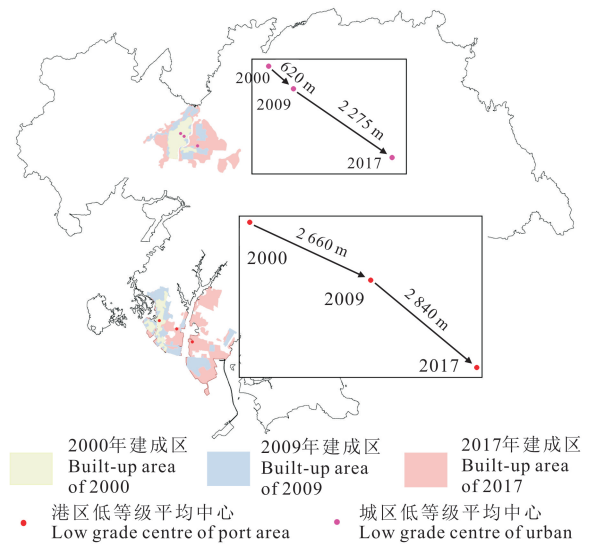


图3 城市扩张及低生态等级平均中心迁移图

Fig. 3 Map of urban expansion and migration of low ecological grade regional centres

$$RSEI = 0.9410 + 0.5079NDVI + 0.2583Wet - 0.1339NDBSI - 0.0213LST, R^2 = 1 \text{ (2009 年);}$$

$$RSEI = 0.5413 + 0.5883NDVI + 0.0438Wet - 0.1277NDBSI - 0.0080LST, R^2 = 1 \text{ (2017 年).}$$

从建模情况来看,3 个方程的 R^2 均为 1,模型拟合度高,建模过程中,在 4 个变量都保留的情况下,标准误差 RMSE 的值最低,说明这 4 个因子都是必要的。其中,NDVI 和 Wet 的系数为正,与 RSEI 成正相关关系;NDBSI 和 LST 系数为负,与 RSEI 成负相关关系,与主成分分析的结果相一致。

散点图能直观地反映自变量与因变量的相关性,以 2017 年为例(图 4),NDVI、NDBSI 与 RSEI 之间的线性关系较强,Wet、LST 对 RSEI 的线性趋势较弱。从 2017 年的建模方程和图 4a 来看,NDVI 是影响研究区生态状况的关键因子,建模系数的绝对值远大于其他因子,散点图趋势线的斜率达到 0.68,这表明当地植被一旦遭到规模性破坏,其生态环境将迅速恶化。

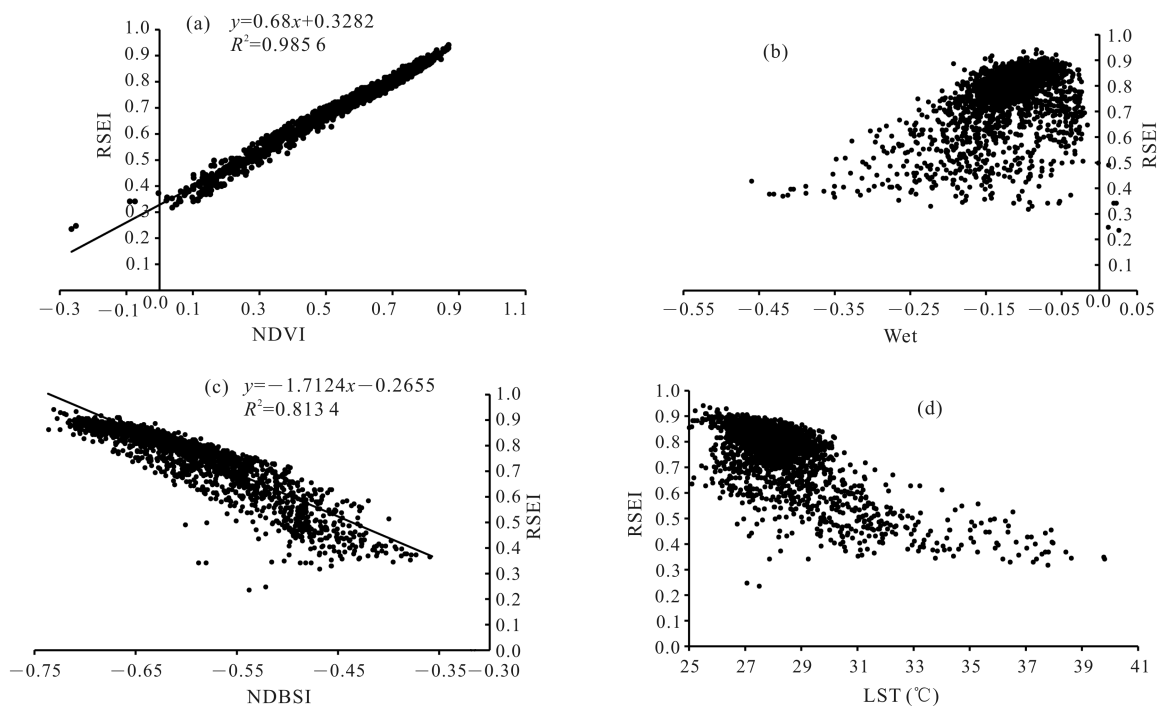


图4 2017年4个因子与RSEI的相关性散点图

Fig. 4 Scatter plot graph of correlation between 4 factors and RSEI in 2017

3 结论

本研究基于RSEI,对钦州市2000—2017年的生态环境状况进行定量分析评价,从时间和空间两个角度直观地表达了近20年来钦州城市扩张的生态效应。结果表明:1)2000—2017年间,钦州市RSEI均值均在0.7左右,生态等级以良(RSEI 0.6—0.8)为主,且2017年的遥感生态指数均值最大,表明钦州市的生态环境质量在改善,城市的扩张给钦州市整体生态状况带来的负面影响不大。从这方面来看,钦州市仍有很大的发展潜力。2)从主成分分析和建模方程的系数来看,绿色对钦州市的RSEI贡献程度最大,是影响生态的关键因子。3)从城市建成区扩张对低生态等级平均中心的影响结果来看,平均中心的迁移方向随城市扩张方向移动,从迁移距离来看,钦州港的建设力度大于城区。4)生态等级的分布和变化监测结果表明,部分城市建设区域的生态等级由差变好,建设初期破坏的自然生态表面后期得到了修复,表明恢复植被覆盖的园林绿化工程能有效地改善生态环境状况。

参考文献

[1] 邱国玉,张晓楠. 21世纪中国的城市化特点及其生态环境挑战[J]. 地球科学进展, 2019, 34(6): 640-649.

- [2] 陈思源,程海梅,吴水亭. 基于遥感的喀斯特地区水体景观格局演化定量分析[J]. 广西科学, 2020, 27(2): 195-202.
- [3] 曹庆先. 基于遥感影像的红树林虫害监测模型[J]. 广西科学, 2017, 24(2): 144-149.
- [4] 王永锋,靖娟利. 广西近15a植被覆盖变化及其对气候因子的响应[J]. 农业现代化研究, 2017, 38(6): 1086-1096.
- [5] 胡平. 基于Landsat 8的成都市中心城区城市热岛效应研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [6] 聂芹,陈明发,李晖,等. 厦门市不透水面的时空演变[J]. 遥感信息, 2019, 34(3): 99-106.
- [7] 孙金辉,谢忠胜,陈欢,等. 基于层次分析法的北川县环境地质承载力评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 125-128.
- [8] 陈磊,王家鼎,谷天峰,等. 大西沟铁矿生态环境模糊综合评价研究[J]. 土壤通报, 2017, 48(4): 794-799.
- [9] 程锐辉,范群杰,汪昱昆,等. 基于PSR模型的上海地区河网脆弱性探讨[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2019(3): 144-154.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 邢丽玮,牛振国,张海英. 不同湿度指数在湿地分类中的对比研究[J]. 地理与地理信息科学,2015,31(6):35-40,46.
- [16] CRIST E P. A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data [J]. *Remote Sensing of Environment*,1985,17(3):301-306.
- [17] HUANG C, YANG L, HOMER C, et al. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance [J]. *International Journal of Remote Sensing*,2002,23(8):1741-1748.
- [18] 李博伦,遆超普,颜晓元. Landsat 8 陆地成像仪影像的缨帽变换推导[J]. 测绘科学,2016,41(4):102-107.
- [19] BARSİ J A, SCHOTT J R, HOOK S J, et al. Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration [J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(11): 11607-11626.
- [20] JIMÉNEZ-MUNOZ J C, SOBRINO J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2003, 108 (D22): 4688. DOI:10.1029/2003JD003480.
- [21] JIMÉNEZ-MUNOZ J C, CRISTOBAL J, SOBRINO J A, et al. Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal infrared data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*,2009,47(1):339-349.
- [22] JIMÉNEZ-MUNOZ J C, SOBRINO J A, SKOKOVIĆ D, et al. Land surface temperature retrieval methods from Landsat 8 thermal infrared sensor data [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*,2014,11(10):1840-1843.
- [23] CHATTERJEE R C, SINGH N, THAPA S, et al. Retrieval of land surface temperature (LST) from Landsat TM6 and TIRS data by single channel radiative transfer algorithm using satellite and ground-based inputs [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*,2017,58:264-277.
- [24] 徐涵秋. 新型 Landsat 8 卫星影像的反射率和地表温度反演[J]. 地球物理学报,2015,58(3):741-747.
- [25] 覃志豪,李文娟,徐斌,等. 陆地卫星 TM 6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感,2004(3):28-32,36,41.
- [26] 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.

Urban Expansion in Qinzhou City and Its Ecological Response

LIU Wenliang, LI Wei, HAO Liancheng

(Yantai Geological Survey Center of Coastal Zone, China Geological Survey, Yantai, Shandong, 264004, China)

Abstract: In order to quantitatively analyze and evaluate the impact of Qinzhou's urban expansion on the ecological environment, the image data of Landsat series in 2000, 2009 and 2017 were selected. Four evaluation indicators, which were normalized vegetation index (Greenness), humidity component (Wetness), land surface temperature (Heat) and normalized difference building-soil index (Dryness), were extracted. And the principal component analysis method was used to construct Remote Sensing Ecological Index (RSEI) to evaluate the ecological environment of the area. The results showed that in 2000, 2009, and 2017, the mean values of RSEI in Qinzhou City were 0.676, 0.698 and 0.725, respectively. The ecological situation trended to improve, which indicated that the expansion of city had little negative impact on the overall ecology of Qinzhou City. The city still had great potential for development. For this area, vegetation coverage played a decisive role in the ecological environment. The average center of the low ecological grade area moved with the direc-

tion of the urban expansion, which indicated that the urban expansion had a certain negative effect on the ecology. The ecological grade of some building land changed from bad to good, which indicated that greening projects could improve regional ecological quality.

Key words: ecological environment changes, urban expansion, principal component analysis, Remote Sensing Ecological Index (RSEI), ecological evaluation, Qinzhou City

责任编辑: 符支宏

《广西科学》致谢 2019—2020 年审稿专家

《广西科学》在主办单位以及主编、编委和审稿专家的大力支持下, 圆满完成了 2020 年 1—6 期的编辑和出版工作。专家们在百忙中承担繁重的审稿任务, 你们严谨治学的态度及奉献精神保证了《广西科学》的学术质量。同时, 编辑和投稿作者也有幸得到了审稿专家的帮助。《广西科学》编辑部在此谨向以下审稿专家致以诚挚的敬意和谢意! 并祝各位在新的一年里身体健康, 万事如意! (致谢名单按姓氏笔画排列)

丁兰平	万 中	马艳弘	王 芳	王 非	王一兵	王红瑞	王祥红
韦 霄	韦宇拓	牛建峰	方志杰	方建安	孔 韧	邓雁如	卢立华
申友利	申玉春	史晓翀	成央金	吕跃进	朱志斌	任治坤	任景玲
伊力塔	刘 峰	刘布鸣	刘洪波	刘鹰翔	江 涛	许 冲	农旭华
杜丽琴	李 健	李广原	李先琨	李秉正	李陶深	李瑞杰	李鹏飞
李慧慧	杨 勇	杨 键	杨 磊	杨克迪	杨秀芳	杨登峰	杨献文
吴海一	何 维	何龙飞	何铁光	何斌源	沈振萍	宋金明	张全斌
张彦东	张晓勇	张鸿雁	张维冰	陈 波	陈仁旭	陈伟海	陈安泽
陈军辉	陈振雄	陈鹭真	招礼军	罗 奇	罗 明	周本杰	周浩郎
周雪峰	庞 浩	郑 江	郑 路	赵 桦	赵志刚	郝林华	胡小波
哈 斯	侯小涛	侯西勇	袁华茂	倪士峰	徐泽水	徐智广	高 隼
高天翔	高英俊	高学鲁	高建平	高晓清	郭 慧	黄 凯	黄 慨
黄廷磊	黄宏兴	黄建荣	黄胜阳	黄维平	庾韦花	梁 英	董永峰
蒋文举	韩树民	湛永钟	温 放	谢能中	鲍献文	蔡泽富	管卫兵
廖 馨	廖国莲	谭宗琨	魏毅强				



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxkx@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>