

# 皖江城市带近 20a 生态环境变化遥感指数分析<sup>\*1</sup>

张立伟 张运 黄晨

(安徽师范大学国土资源与旅游学院, 安徽芜湖 241003)

**【摘要】**:随着城市化进程的不断加快,环境保护问题越来越突出,加强生态文明建设也越来越成为城市发展的重心之一,因此快速监测城市生态环境变化显得尤为重要。选取 1995 年、2005 年、2015 年 LandsatTM/OLI 影像为主要数据源,分别提取绿度、湿度、干度、热度 4 个生态因子作为评估指标,结合主成分分析,生成遥感生态指数(RSEI),客观、迅速、定量地对皖江城市带近 20a 生态环境变化进行分析。结果表明:1995~2015 年皖江城市带生态环境质量先降后升,总体呈上升趋势。其中 RSEI 从 1995 年的 0.710 下降至 2005 年的 0.683 再升至 2015 年的 0.728,总共上升了 2.54%;1995~2015 年生态环境恶化区域面积比例由 20.03%到 14.56%,减少了 26.86%;生态环境改善区域面积比例由 21.87%到 29.39%,增加了 34.39%。生态环境恶化区域主要集中在长江沿岸经济发达的扩张型城市和地区;生态环境改善区域主要集中在植被覆盖、注重环境整治、绿化效果显著地区。总的来说,城市生态质量与植被覆盖情况(NDVI)和不透水建筑面积(NDBSI)关系最为密切,城市扩张发展的同时,应该加强生态文明建设,注重环境保护,增加绿化面积,实现城市的可持续发展。

**【关键词】**:皖江城市带; RSEI 指数; 城市生态; 变化检测; 主成分分析

**【中图分类号】**:X171 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1004-8227(2018)05-1061-10

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201805013

皖江城市带地处安徽省中部,是促进中部地区崛起和长三角城市群加速扩展的重点区域。2010 年国务院批复《皖江城市带承接产业转移示范区规划》,这是全国唯一以产业转移为主题的区域规划,皖江城市带成为长三角等沿海发达城市向中部地区辐射转移的最佳区域。随着产业转移不断推进,皖江城市带经济实力日益增强,生态环境质量问题也越来越突出,《规划》明确提出,示范区要把资源节约和环境保护放到重要位置,加强生态建设和环境保护。目前诸多学者对皖江城市带的关注大多集中在经济视野,对其生态环境的研究相对较少,因此对皖江城市带生态环境变化的监测、可视化分析尤为重要。

目前遥感技术在生态环境质量监测方面的运用已相当广泛,国内外专家学者已经做了大量研究<sup>[1~5]</sup>,但是这些遥感监测生态变化的技术多是侧重于单一指标进行的,例如利用植被指数、不透水面信息指数评价城市生态状况<sup>[6]</sup>,利用地表温度研究城市热环境<sup>[7]</sup>。这些基于单一指标的评价,只能片面的反映研究区的生态特征,而生态系统的复杂性,需要各个指标的综合影响,才能解释其特征变化。徐涵秋<sup>[8,9]</sup>提出一个完全基于遥感技术、指标易获取、权重无人设定并且能耦合多种指标因素的综合遥感生态指数,可以很好的对生态环境质量进行客观、快速、可视化分析。因此,本文将选取 RSEI 指数对皖江城市带生态环境变化进行快速监测分析。

## 1 研究区与数据处理

<sup>1</sup> 收稿日期:2017-07-07; 修回日期:2017-09-04

作者简介:张立伟(1992~),男,硕士研究生,主要从事环境遥感研究. E-mail:zlw921127@163.com

### 1.1 研究区概况

皖江城市带是迄今全国唯一以产业转移为主题的发展规划区域，是泛长三角地区的重要组成部分。主要包括合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、池州、滁州、宣城8市全境，共59个县(市、区)，土地面积6万多平方公里，常住人口3165万人。

本研究区(图1)主要是长江干支流在安徽省内的汇水区域,约占安徽省面积的一般,其地理位置为 $29^{\circ}32' \sim 33^{\circ}13'N$ ,  $115^{\circ}43' \sim 119^{\circ}36'E$ ,属于北亚热带湿润季风气候,年平均降水量1673.5mm,夏季多雨,河流汛期较长,地形为江淮丘陵、沿江平原和皖南山区,地势南北高、中间低,整体上自西南向东北倾斜。

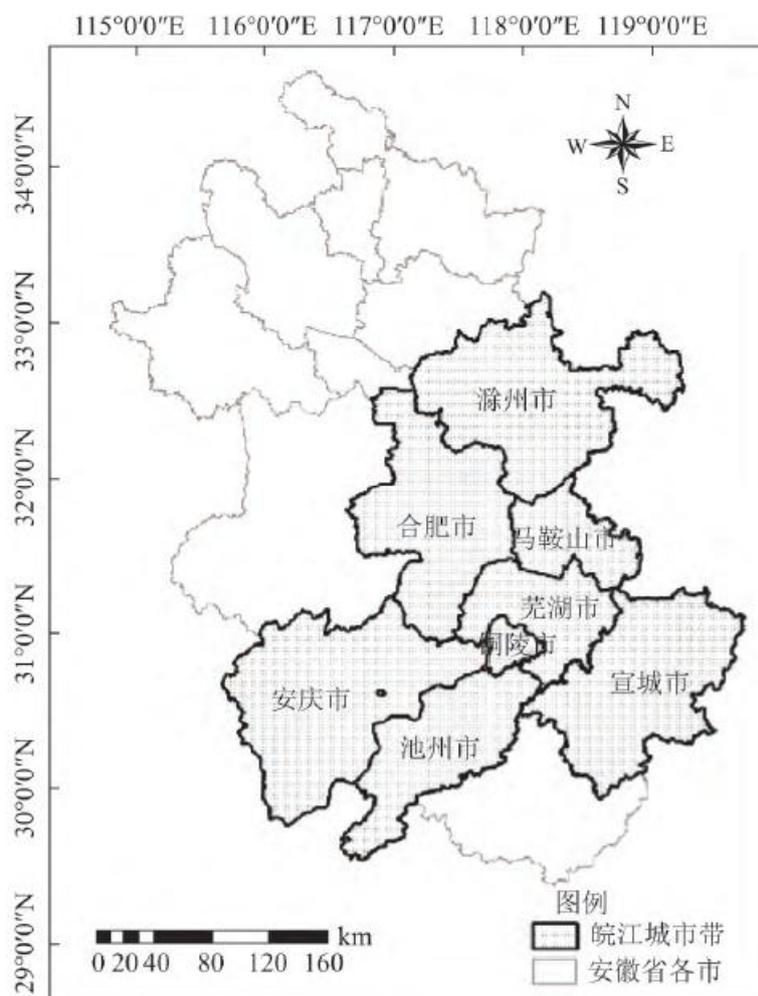


图1 研究区位置示意图

Fig. 1 Sketch map of study area

### 1.2 遥感影像预处理

本文选取 Landsat5TM 和 Landsat8OLI/TIRS 遥感影像作为主要数据源,影像获取的日期分别为1995、2005、2015年的6~9月份,3期共24景影像,所选影像云量较少,季相相同,质量完好,避免因为四季差异,植物生长状态不同而给结果造成影响,使实验结果更具可比性。

影像预处理过程如下:①运用 ICM 模型<sup>[10~13]</sup>将影像的 DN 值转换为传感器处的反射率,进行辐射校正,以纠正大气影响以及由光照、地形不同所造成的影响;②对影像进行辐射匀光校正,消除由于影像获取时间差异而造成的亮度分布不均匀、反差不均匀以及色彩不一致等不均匀光照现象;③对影像进行几何校正,不同时相的影像采用二次多项式和最邻近像元法进行配准,保证均方根误差小于 0.5 像元。

## 2 研究方法

采用遥感生态指数(RSEI)对皖江城市带生态变化进行定量分析,利用遥感影像衍生出 4 个生态指标绿度、湿度、干度、热度,来评价生态环境质量,4 个指标分别通过植被指数、湿度分量、裸土建筑指数和地表温度反演获取,无需人工干预,能快速客观的反应研究区生态环境的时空变化。

(1) 绿度指标(NDVI):归一化植被指数 NDVI 是反映土地覆盖植被状态的一种遥感指标,能检测植被生长状况、植被覆盖度,并能反映植物冠层的背景影响。其公式:

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

(2) 湿度指标(Wet):通过缨帽变换提取的湿度分量能较好的反映地面的水分条件,特别是土壤和植被的湿度状态。其公式<sup>[14]</sup>:

$$Wet = C_1 \rho_B + C_2 \rho_G + C_3 \rho_R + C_4 \rho_{NIR} + C_5 \rho_{SWIR1} + C_6 \rho_{SWIR2} \quad (2)$$

式中:对于 TM 影像  $C_1=0.0315$ 、 $C_2=0.2021$ 、 $C_3=0.3102$ 、 $C_4=0.1594$ 、 $C_5=-0.6806$ 、 $C_6=-0.6109$ ;对于 OLI 影像  $C_1=0.1511$ 、 $C_2=0.1973$ 、 $C_3=0.3283$ 、 $C_4=0.3407$ 、 $C_5=-0.7117$ 、 $C_6=-0.4559$ 。

(3) 干度指标(NDBSI):综合造成区域环境地表干化的因素,选取最具代表性的裸土指数 SI<sup>[15]</sup>和建筑指数 IBI<sup>[16]</sup>,合成干度指标(NDBSI)。其公式:

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

(4) 热度指标(LST):对地表温度进行反演来代表热度指标(LST)。其公式<sup>[17, 18]</sup>:

$$LST = T / [1 + (\lambda T / \rho) \ln \varepsilon] \quad (4)$$

式中:LST 为反演的地表温度;T 为传感器处温度值; $\lambda$  热红外波段的中心波长(11.5  $\mu\text{m}$ ); $\rho=1.438 \times 10^{-2} \text{m} \cdot \text{K}$ ;  $\varepsilon$  为地表比辐射率,可以通过 Sobrino 模型<sup>[19]</sup>和 NDVI 指数计算获得。

运用主成分分析(PCA)<sup>[20]</sup>计算各指标权重,在主成分分析之前对这些指标进行归一化处理。需要注意的是,由于研究区内

存在长江、巢湖等大面积水体，为使湿度指标更好反应湿度条件，避免大面积水体对 PCA 的荷载分布，采用 MNDWI 水体指数掩膜水体信息<sup>[21]</sup>。为使 PC1 大的数值代表好的生态条件，可用 1 减去 PC1，获得初始生态指数 RSEI<sub>0</sub>：

$$RSEI_0 = 1 - \{PC1 [f(NDVI, Wet, NDBSI, LST)]\} \quad (5)$$

为了便于指标的度量和比较，对 RSEI<sub>0</sub> 进行正规化处理：

$$RSEI = \frac{(RSEI_0 - RSEI_{0\_min})}{(RSEI_{0\_max} - RSEI_{0\_min})} \quad (6)$$

RSEI 即为生成的遥感生态指数，其值范围为 [0, 1]，当值越接近于 1，代表生态环境质量越好；反之，值越接近于 0，则生态环境质量越差。

表 1 是皖江城市带各年份 4 个指标的主成分分析情况，从表中可以看出，4 个指标的 PC1 的贡献率都达到 70%以上，说明其已经集中了各个分量的大部分特征。从各年份的第一主成分可以发现，代表绿度的 NDVI 和代表湿度的 Wet 的 PC1 荷载值成正值，说明这两个指标对生态环境质量的贡献是正面的；而代表干度的 NDBSI 和热度的 LST 的 PC1 荷载值呈负值，说明这两个指标对生态环境质量的贡献是负面的。综上，PC1 集成各个指标信息，适合遥感生态指数的应用。

表 1 1995 ~ 2015 年皖江城市带 RSEI 指标主成分分析

	1995				2005				2015			
	PCI	PC2	PC3	PC4	PCI	PC2	PC3	PC4	PCI	PC2	PC3	PC4
湿度 Wet	0.383	0.788	-0.419	-0.400	0.449	0.636	-0.540	-0.320	0.257	0.658	-0.645	-0.291
绿度 NDVI	0.469	0.038	0.748	-0.468	0.512	-0.185	0.523	-0.088	0.698	0.192	0.615	-0.312
干度 NDBSI	-0.413	-0.163	-0.275	0.405	-0.568	-0.449	-0.591	0.580	-0.568	-0.470	-0.401	0.415
热度 LST	-0.325	0.591	0.434	0.676	-0.336	0.601	0.291	0.291	-0.212	0.556	0.212	0.804
特征值 Eigenvalue	0.0213	0.0034	0.0024	0.0007	0.0321	0.0065	0.0043	0.0005	0.0302	0.0033	0.0026	0.0003
Percent eigenvalue (%)	76.76	12.15	8.70	2.39	74.10	14.96	9.86	1.08	83.06	9.02	7.12	0.80

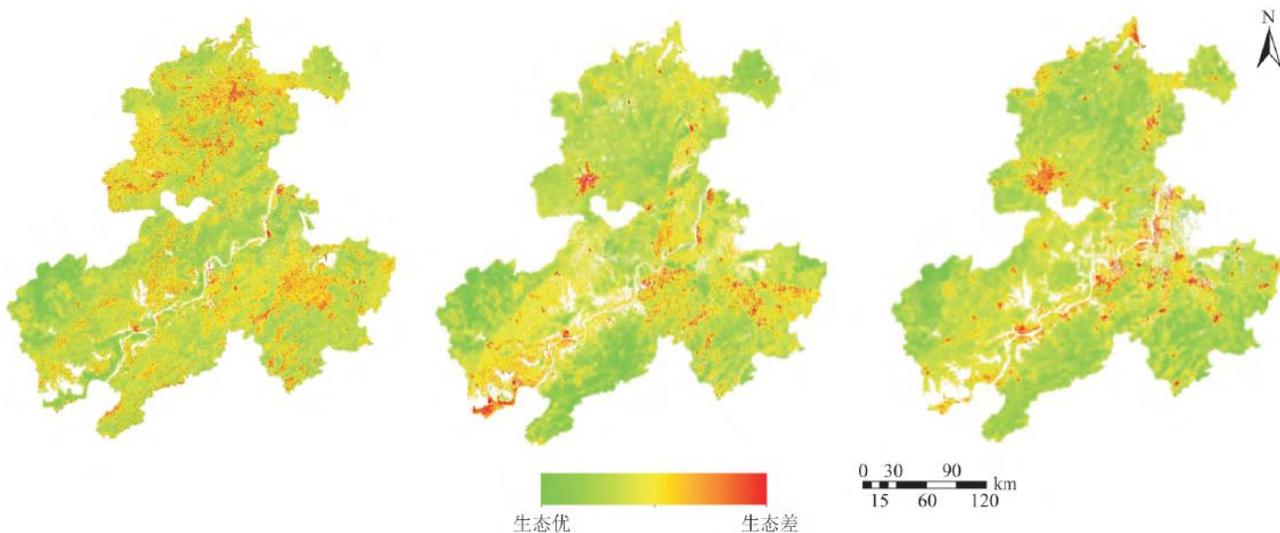


图2 1995~2015年皖江城市带遥感生态指数

Fig. 2 Remote sensing ecological index of Wanjiang City Belt from 1995 to 2015

图2是通过公式(1)~(11)计算得到的皖江城市带遥感生态指数(RSEI),表2是各年份4个指标和RSEI指数的相关系数,以及各指标自身之间的相关性统计。从表2中可以看出,4个指标之间平均相关性最高的是干度指标(NDBSI),3a平均相关度达0.673,接着依次为湿度(Wet)、绿度(NDVI)、热度(LST),它们3a平均相关度分别是0.630、0.6、0.584。而RSEI指数与4个指标之间的平均相关度均在0.83以上,3a平均值达到0.856;这比相关度最高的NDBSI高出了27.19%,比相关度最低的LST高出了46.58%,同时也比4个指标相关度平均值(0.622)高出了37.62%。综上,RSEI指数集成了各指标的信息,并且比任一单一指标更具代表性,更能综合反映生态环境变化状况。

表2 各年份指标和RSEI指数相关性统计表

	1995					2005					2015				
	Wet	NDVI	NDBSI	LST	RSEI	Wet	NDVI	NDBSI	LST	RSEI	Wet	NDVI	NDBSI	LST	RSEI
湿度 Wet	1.000	0.472	-0.767	-0.488	0.876	1.000	0.631	-0.577	-0.514	0.887	1.000	0.724	-0.873	-0.626	0.915
绿度 NDVI	0.472	1.000	-0.668	-0.478	0.932	0.631	1.000	-0.536	-0.624	0.892	0.724	1.000	-0.689	-0.576	0.922
干度 NDBSI	-0.767	-0.668	1.000	0.515	-0.813	-0.577	-0.536	1.000	0.698	-0.734	-0.873	-0.689	1.000	0.732	-0.825
热度 LST	-0.488	-0.478	0.515	1.000	-0.784	-0.514	-0.624	0.698	1.000	-0.821	-0.626	-0.576	0.732	1.000	-0.876
平均相关度	0.576	0.539	0.650	0.494	0.851	0.574	0.597	0.604	0.612	0.833	0.741	0.663	0.765	0.645	0.885
3a 平均值	Wet = 0.630, NDVI = 0.600, NDBSI = 0.673, LST = 0.584, RSEI = 0.856														

### 3 结果与分析

#### 3.1 皖江城市带生态变化时空分析

表 3 是 1995~2015 年 4 个指标的和遥感生态指数的统计值, 从统计结果不难发现, 皖江城市带的遥感生态指数 RSEI 虽然在 1995~2005 年间有小幅度的下降, 但在 2005~2015 年间又有所上升, 总体呈上升趋势。从 1995 年的 0.710, 到 2005 年的 0.683, 下降了 3.95%, 再到 2015 年的 0.728, 又上升了 6.59%, 总体上 RSEI 指数上升了 2.54%。同时, 对 4 个指标的年变化进行比较, 在对比之前, 由于温度日间变化比较大, 基于每日绝对温度值的热度指标的对比需要先对 LST 进行正规化, 再进行对比。经过处理的 LST 指标均值分别是 0.439、0.516、0.392。比较 4 个指标的年变化趋势可以发现, 对生态起正向作用的湿度指标和绿度指标的均值在 1995~2005 年呈下降趋势, 在 2005~2015 年呈上升趋势; 反之, 对生态起负向作用的干度指标和热度指标在 1995~2005 年呈上升趋势, 在 2005~2015 年呈下降趋势, 这与 RSEI 指数在 1995~2015 年间先降后升的变化结果吻合。综上, 3a 间 4 个指标均值的变化基本与 RSEI 指数的变化趋势一致。

表 3 各年份遥感生态指标和 RSEI 指数统计值

	1995					2005					2015				
	湿度 Wet	绿度 NDVI	干度 NDBSI	热度 LST	RSEI	湿度 Wet	绿度 NDVI	干度 NDBSI	热度 LST	RSEI	湿度 Wet	绿度 NDVI	干度 NDBSI	热度 LST	RSEI
最小值 Min	-0.334	-0.601	-0.554	16.100	0.000	-0.372	-0.382	-0.596	24.062	0.000	-0.490	-0.507	-0.719	18.866	0.000
最大值 Max	0.148	0.926	0.160	35.998	1.000	0.084	0.770	0.140	38.590	1.000	0.192	0.878	0.221	41.075	1.000
均值 Mean	-0.048	0.451	-0.215	26.412	0.710	-0.051	0.386	-0.255	29.078	0.683	0.015	0.524	-0.273	28.932	0.728
标准差 Std Dev	0.043	0.186	0.088	1.231	0.124	0.043	0.199	0.090	1.633	0.123	0.042	0.276	0.112	1.673	0.107

再对表 1 中 4 个指标 PC1 载荷值的绝对值进一步分析, 可以看出对 RSEI 贡献最大的是 NDVI 和 NDBSI, 其中 NDVI 的贡献要大于 NDBSI 的贡献(除 2005 年), 这与 RSEI 指数先降后升的趋势相符。所以对皖江城市带生态环境变化影响最大的是植被覆盖情况(NDVI)和建设用地等不透水面情况(NDBSI), 在城市建设发展的同时要增加绿化的建设才能保证生态环境质量的提升。

为了对 RSEI 指数进行定量和可视化分析以及不同时期生态环境的对比, 将遥感生态指数以 0.2 为间隔分为 5 个生态等级<sup>[8]</sup>(图 3), 分别为差、较差、中等、良好、优。再对 3 个年份各生态等级所占的面积及比例进行统计, 如表 4。

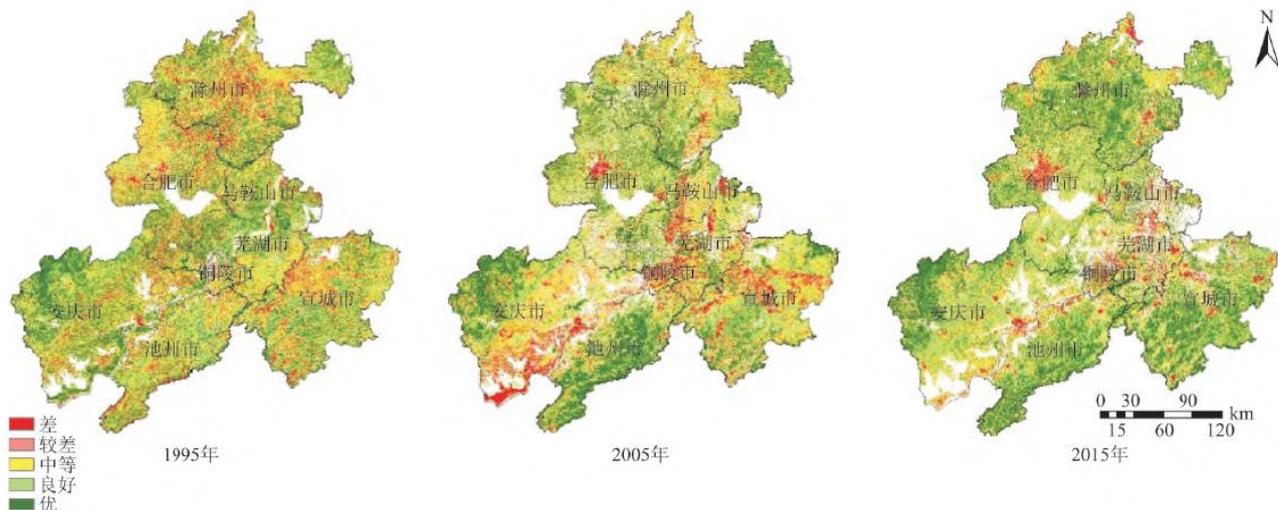


图3 1995~2015年皖江城市带RSEI分级图

Fig. 3 RSEI classification image of Wanjiang City Belt in 1995 to 2015

表4 1995 ~ 2015 年各 RSEI 等级面积及其百分比

RSEI 级别	1995		2005		2015	
	面积 (km <sup>2</sup> )	百分比 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	百分比 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	百分比 (%)
1:差 (0.0~0.2)	5 592.68	8.46	6 544.69	10.82	3 661.45	6.08
2:较差 (0.2~0.4)	8 939.09	13.51	7 030.50	11.63	5 119.60	8.5
3:中等 (0.4~0.6)	12 834.57	19.4	11 821.05	19.55	9 616.23	15.96
4:良 (0.6~0.8)	19 291.58	29.17	18 166.84	30.04	19 737.17	32.75
5:优 (0.8~1.0)	19 486.29	29.46	16 903.88	27.96	22 131.21	36.72
合计	66 144.21	100	60 466.96	100	60 265.66	100

从表4的统计情况可以看出,1995年,RSEI等级在1~2(差~较差)级时面积所占比例为21.97%,在中等情况时面积比例为19.40%,在RSEI等级为4~5(良~优)级时面积所占比例为58.63%。2005年时,RSEI等级为1~2级时面积比例为22.45%,比上一期同等等级略有上涨,在RSEI等级是中等情况和4~5(良~优)级时面积比例分别为19.55%、58%,与上一期同等等级基本持平,说明2005年相比1995年,生态环境质量有所下降。2015年,RSEI等级在1~2(差~较差)级和中等情况时面积对比上一期同等状态时都有所下降,面积比例分别为14.58%、15.96%,而RSEI等级为4~5(良~优)级时面积所占比例为69.47%,相比上一期同等等级呈上涨的趋势,说明2015年生态环境状况有所好转。总体来看,近20a来,生态状况差~较差级别的面积减少了39.57%,生态状况良~优级别的面积增长了7.97%,说明近20a生态环境的发展呈良好的态势,虽然期间存在生态环境略

有下降(2005年)的情况,但总体趋势是向良好的方向发展。从空间上(图3)大体可以看出,RSEI生态环境良好(4~5级)的地方主要集中在西南、正南等林地茂密的地区,以及中北部草地、农田发达的平原地区。而生态环境较差(1~2级)的区域主要集中在长江沿岸居民居住及建设用地,以及其他迅速扩张的中心城市区域。

为了更好的进行空间分析,计算1995~2015年研究区内各城市的RSEI指数等级分布情况(表5),结合图3可以更清晰的看出西南区域的安庆市,南部的池州市、宣城市,以及中北部的滁州市等区域由于存在大面积的山林、草地、农田等绿色植被的覆盖,所以RSEI指数在4~5(良~优)级的面积比例也较高,均达到50%以上,以典型的池州市来说,1995~2015年4~5(良~优)级的面积比例分别为59.74%、73.59%、77.40%。另一方面铜陵市、芜湖市、马鞍山市等沿江城市以及合肥市等中心城市,生态环境质量较低,1995~2015年其RSEI等级差、较差的比例均在10%以上,比其他城市差、较差区域面积比例略高,以典型的铜陵市为例,其1995年1、2(差、较差)级面积比例分别为11.37%、16.19%,到2005年分别达到了30.24%、14.19%,虽然2015年这个比例略有下降但仍然很高,分别为22.35%、17.29%。说明城市在发展的同时没有很好的完成环境整治工作,应该加强对矿区等环境恶劣地区的治理,大力推进绿化建设。

表5 1995 ~ 2015 年各城市 RSEI 分级比例统计表

地区	1995					2005					2015				
	差 (%)	较差 (%)	中等 (%)	良好 (%)	优 (%)	差 (%)	较差 (%)	中等 (%)	良好 (%)	优 (%)	差 (%)	较差 (%)	中等 (%)	良好 (%)	优 (%)
安庆市	5.17	11.44	16.22	27.00	40.17	13.42	15.62	23.90	23.64	23.42	4.09	9.35	19.24	34.71	32.61
池州市	7.88	12.90	19.49	34.41	25.32	6.19	7.54	12.68	25.86	47.73	3.99	6.63	11.98	33.51	43.89
滁州市	9.35	15.40	20.35	27.66	27.24	7.43	10.75	19.14	32.06	30.62	4.73	7.28	14.55	29.55	43.89
铜陵市	11.37	16.19	23.14	29.59	19.71	30.24	14.19	20.82	27.06	7.69	22.35	17.29	17.70	24.23	18.43
宣城市	8.87	14.31	20.15	30.24	26.43	13.04	11.99	21.07	32.19	21.71	5.56	6.60	12.44	31.22	44.18
合肥市	11.53	15.33	20.87	28.47	23.80	11.13	12.22	15.24	36.15	25.26	10.52	11.07	18.05	32.83	27.53
芜湖市	15.35	11.13	20.67	31.27	21.58	15.47	14.18	20.73	28.58	21.04	14.00	13.44	21.34	30.98	20.24
马鞍山市	15.64	11.16	18.70	26.79	27.71	19.21	12.87	14.88	29.59	23.45	10.31	10.39	16.09	32.23	30.98

对皖江城市带内 8 个城市的 RSEI 指数(图 4)进一步分析,发现近 20a 间各市县的 RSEI 指数呈现一定动态变化。其中安庆市、铜陵市、宣城市、芜湖市、马鞍山市生态环境质量在 2005 年有所下降,但 2015 年又有所回升,总体上是持平的;20 世纪 90 年代初,安徽作出“开发皖江,呼应浦东”的决策,逐步形成以芜湖为突破口、沿江城市全面开发开放的新局面,导致生态环境质量下降,而后 2010 年国家批复成立皖江城市带承接产业转移示范区,把节约资源和环境保护放到重要位置,加强生态环境建设,推进节能减排,发展循环经济和低碳经济,所以才有现在生态环境质量的显著提升。另外滁州市、合肥市的 RSEI 指数一直呈上升趋势;池州市生态环境质量也一直保持较高水平,虽然在 2015 年略有下降,但是总体质量很高,3a 平均值为 0.675;说明城市没有盲目扩张,在发展的同时注重环境保护和整治工作。从 3a 平均值可以看出生态环境最差的 3 个区域为铜陵市、芜湖市、合肥市,其 RSEI 指数分别是 0.478、0.584、0.619,不难看出这 3 个城市是皖江城市带经济最发达的城市,虽然从图 3 中可以看出后期 3 个城市的生态环境有所改善,但城市修复的速度赶不上城市发展的速度,导致生态环境持续恶化;而生态环境较好的城市主要为池州市、滁州市和安庆市,这些区域依托植被茂密,农田发达,努力打造“国家森林城市”,加快推进城市生态文明建设。

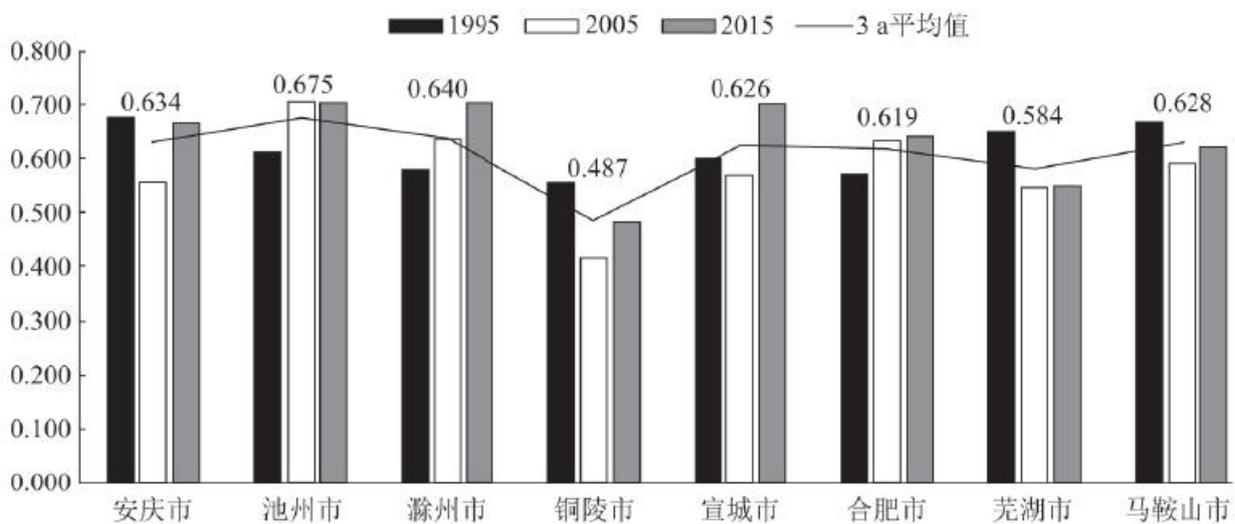


图 4 各城市 RSEI 指数统计图

Fig. 4 RSEI statistical graph of cities

### 3.2 RSEI 指数变化检测分析

为了对不同年份的生态状况进行时空变化分析,在上述 5 个生态等级的基础上,对各年份的 RSEI 指数进行差值变化检测,以绿色代表生态环境质量得到改善的区域,以黄色代表生态环境质量变化不大的区域,以红色代表生态环境质量恶化的区域,如图 5 所示。

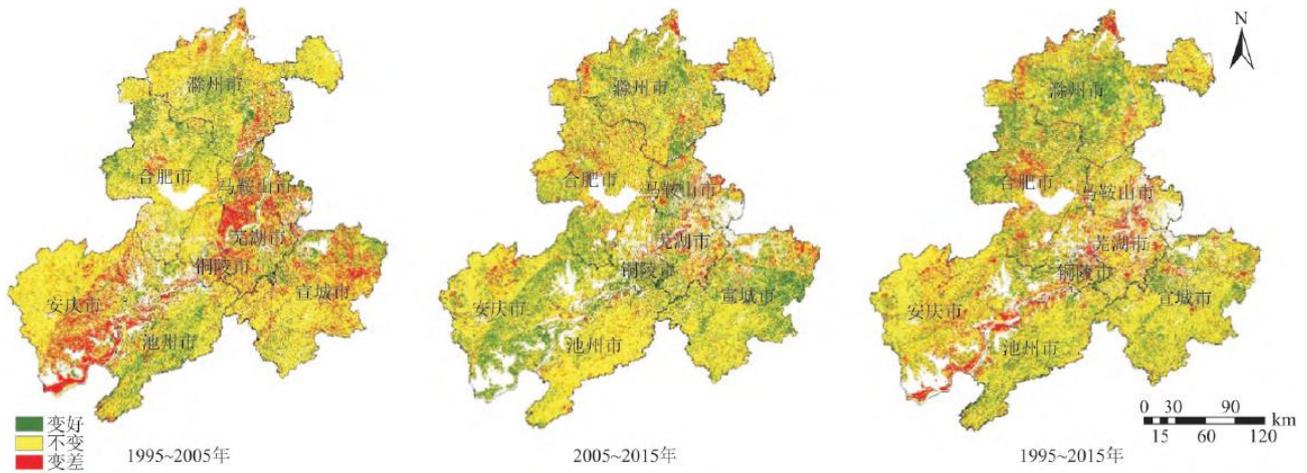


图 5 1995~2015 年 RSEI 变化检测图

Fig. 5 Change map of RSEI in 1995 to 2015

结合表 6 的变化检测的结果来看,近 20a 来,皖江城市带生态环境状况改善的区域面积为 17722.15km<sup>2</sup>,占区域总面积的 29.39%,生态环境状态恶化的区域面积为 8833.26km<sup>2</sup>,占区域总面积的 14.65%;其中,前 10a 环境生态质量恶化的区域面积为 12059.48km<sup>2</sup>,占总面积的 20.03%,生态环境改善的区域面积为 13171.74km<sup>2</sup>,占总面积的 21.87%;后 10a 生态环境状态恶化的区域面积为 6785.33km<sup>2</sup>,占总面积的 11.25%,与上一期恶化区域面积相比减少了 43.73%;生态环境质量改善的区域面积为 18759.55km<sup>2</sup>,占总面积的 31.11%,与上一期改善区域面积相比增长了 42.42%。综上说明近 20a 来皖江城市带虽然有部分区域生态环境恶化,但生态环境总体质量呈上升趋势,并且后 10a 的皖江城市带生态环境质量的提升速度要优于前 10a。

表 6 1995 ~ 2015 年变化检测统计表

类别	级差	1995~2005 年			2005~2015 年			1995~2015 年		
		级面积 (km <sup>2</sup> )	类面积 (km <sup>2</sup> )	比例 (%)	级面积 (km <sup>2</sup> )	类面积 (km <sup>2</sup> )	比例 (%)	级面积 (km <sup>2</sup> )	类面积 (km <sup>2</sup> )	比例 (%)
变差	-4	736.06			187.94			368.85		
	-3	1 523.04	12 059.48	20.03	741.12	6 785.33	11.25	1 162.15	8 833.26	14.65
	-2	3 086.92			1 631.67			2 309.15		
	-1	6 713.46			4 224.60			4 993.11		
不变	0	34 985.99	34 985.99	58.10	34 753.27	34 753.27	57.64	33 745.73	33 745.73	55.96
	+1	8 904.66			9 822.13			10 514.78		
	+2	2 940.48			4 271.46			4 637.03		
	+3	1 119.61	13 171.74	21.87	2 604.41	18 759.55	31.11	1 775.83	17 722.15	29.39
变好	+4	206.99			2 061.55			794.51		

从空间上来看(表7), 1995~2005年各城市生态环境绝大部分处于不变的状态, 其面积比例为42.57%~73.09%, 生态环境恶化区域的比例也相对较高, 前三位的比例都在30%以上, 分别是铜陵市、马鞍山市、芜湖市, 其恶化区域的比例分别为38.09%、32.22%、31.4%。生态环境改善比例最高的区域分别是池州市、合肥市、滁州市, 其比例分别是33.49%、28.21%、25.88%。2005~2015年生态环境处于不变状态的区域任占绝大部分比例, 其面积比例为45.07%~75.01%, 另外除合肥市生态环境恶化面积持续扩展, 其他环境恶化区域的比例相对前10a有了明显的下降, 其中仍居前三位的分别是马鞍山市、芜湖市、合肥市, 其恶化区域面积比例分别为23.82%、20.62%、14.54%。反之, 生态环境改善区域的面积比例, 后10a相对于前10a有了明显的上升, 除了池州市本身生态环境较好, 绝大部分区域保持不变, 其他各城市生态环境改善区域的比例都达到了30%左右, 尤以宣城市、安庆市改善区域面积比例最高, 分别为37.40%、36.44%。总观1995~2015年的生态变化情况, 各城市绝大部分区域的环境状况处于不变状态, 面积比例为47.84%~62.45%, 另外除铜陵市、芜湖市、马鞍山市, 生态环境恶化比例为28.04%、29.11%、21.57%高于生态环境改善的比例, 其他各城市生态环境改善的比例都要高于恶化的比例。所以, 近20a来生态环境质量虽然有部分区域处于较低的水平, 但总体趋势是上升的, 并且生态环境质量恶化的区域主要集中在长江沿岸的城市带, 以及以合肥为典型区域的中心城市, 虽然后10a皖江城市带在加快城市化进程时大力发展生态文明、开展城市生态环境的整治工作, 使得长江沿岸城市带等区域的环境有所改善, 但积重难返, 近20a长江沿岸城市及主要中心城市的迅速扩张成为生态环境恶化的主要原因。而生态环境不变区域主要分布在南部、西南部如安庆市、池州市等一些森林茂密, 植被丰富的地区, 生态环境改善的区域主要集中在中北部的滁州市及其周边城镇, 东部宣城市等地区, 这类区域在注重城市经济发展的同时, 提倡生态文明建设并举, 对生态城市建设的理念不断提高, 退耕还林、植树造林等效果显著, 植被指数增长, 生态环境质量有所改善。

表7 1995 ~ 2015 年各城市变化检测统计表

地区	1995~2005			2005~2015			1995~2015		
	变差 (%)	不变 (%)	变好 (%)	变差 (%)	不变 (%)	变好 (%)	变差 (%)	不变 (%)	变好 (%)
安庆市	28.88	60.24	10.88	6.67	56.89	36.44	18.29	62.45	19.27
池州市	11.46	55.05	33.49	7.91	75.01	17.08	10.37	59.08	30.56
滁州市	12.03	62.09	25.88	11.29	56.17	32.54	11.24	50.84	37.92
铜陵市	38.09	50.32	11.59	12.17	69.96	17.87	28.04	49.10	22.86
宣城市	22.67	58.85	18.48	7.68	54.92	37.40	8.29	60.45	31.26
合肥市	9.74	62.05	28.21	14.54	57.15	28.31	16.22	47.84	35.94
芜湖市	31.40	51.09	17.51	20.62	50.53	28.85	29.11	52.18	18.71
马鞍山市	32.22	42.57	25.21	23.82	45.07	31.11	21.57	59.93	18.50

## 4 结论

遥感生态指数 RSEI 集成了湿度、绿度、干度、热度 4 个指标的信息, 基于主成分分析方法客观、快速的确定各指标权重, 综合反应了皖江城市带生态环境质量的变化情况:

(1) 4 个指标中, 对生态环境贡献最大的是绿度指标 (NDVI) 和干度指标 (NDBSI), 主要是因为皖江城市带多山林、草地、农田等植被覆盖度高, 经济发展迅速, 城市建筑面积不断扩张, 同时说明生态环境质量的变化与植被覆盖度和建筑用地等不透水面积的变化密切相关, 要提高皖江城市带生态 RSEI 指数, 需要合理配置土地资源, 在城市扩张、发展的同时也要加强城市绿色生态的建设。

(2) 近 20a 来皖江城市带生态环境呈先降后升的趋势, RSEI 指数由 1995 年 0.710 下降至 2005 年 0.683 再逐渐上升至 2015 年的 0.728, 总体上升了 2.54%。研究区内生态环境差、较差区域主要集中在铜陵市、芜湖市、马鞍山市等沿江城市以及合肥市等中心城市, 其面积比例由 1995 年的 21.97% 至 2015 年的 14.58%, 整体减少了 33.64%; 而良、优区域主要集中于西南区域的安庆市, 南部的池州市、宣城市, 以及中北部的滁州市, 其面积比例由 1995 年的 58.63% 至 2015 年的 69.47%, 整体上升了 18.49%, 近 20a 来, 皖江城市带生态环境正在不断改善。

(3) 变化检测表明, 1995~2015 年生态环境恶化区域面积比例由 20.03% 到 14.65%, 减少了 26.86%, 生态环境改善区域面积比例由 21.87% 到 29.39%, 增加了 34.39%。生态环境恶化区域主要集中在铜陵市、芜湖市、马鞍山市等城市不断扩展, 经济发达地区, 生态环境改善区域主要集中在安庆市、宣城市、滁州市等城市整治加强, 绿化效果显著, 环境不断改善地区, 而池州市等地区森林覆盖、农田发达地区生态环境保持稳定, 变化幅度小。

在城市高速发展的当今, 城市生态环境质量与城市发展规划密切相关, 城市扩展应该加强生态文明建设, 完善最严格的耕地保护制度、水资源管理制度、环境保护制度; 加强生态文明宣传教育, 增强全民节约意识、环保意识、生态意识; 推进森林城市、绿色城镇创建、推广绿色建筑; 合理配置土地资源, 优化城市空间分布; 着力发展循环经济和低碳经济, 实现城市的可持续发展。

### 参考文献:

[1] SHAO H Y, LIU M, SHAO, Q F, et al. Research on eco-environmental vulnerability evaluation of the Anning River Basin in the upper reaches of the Yangtze River [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 72(5) : 1555—1568.

[2] SULLIVAN C A, SKEFFINGTON M S, GORMALLY M J, et al. The ecological status of grasslands on lowland farmlands in western Ireland and implications for grassland classification and nature value assessment [J]. *Biological Conservation*, 2010, 143(6) : 1529—1539.

[3] WANG S Y, ZHANG B, YANG C J, et al. Temporal change and suitability assessment of cropland in the Yellow River Basin during 1990—2005 [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26(3) : 519—539.

[4] WANG S Y, LIU J S, YANG C J. Eco-environmental vulnerability evaluation in the Yellow River Basin, China [J]. *Pedosphere*, 2008, 18(2) : 171—182.

- 
- [5] ZHOU G J, CHENG X B. Remote sensing estimation of vegetation coverage in guangzhou based on the correction of atmospheric radiation [J]. The journal of applied ecology, 2007, 18(3) :575—580.
- [6] 徐涵秋. 城市不透水面与相关城市生态要素关系的定量分析 [J]. 生态学报, 2009, 29(5) : 2456—2462.
- XU H Q. Quantitative analysis on the relationship of urban impervious surface with other components of the urban ecosystem [J]. Acta Ecological Sinica, 2009, 29(5) : 2456—2462.
- [7] 徐涵秋. 基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析 [J]. 生态学报, 2011, 31(14) : 3890—3901.
- XU H Q. Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors [J]. Acta Ecological Sinica, 2011, 31(14) : 3890—3901.
- [8] 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 Ecological Sinica, 2013, 33(24) : 7853 —7862.
- [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.
- XU H Q. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes [J]. China Environmental Science, 2013, 33(5) : 889—897.
- [10] MARKHAM B L, BARKER J L. Landsat MSS and TM Postcalibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-satellite Temperature [J]. EOSAT Landsat Technical Notes, 1986(1) : 3—8.
- [11] HUANG C, YANG L, HOMER C, et al. At-satellite Reflectance:a First Order Normalization of Landsat 7 ETM+ Images [C]. USGS Science for a Changing World, EROS Data Center, Sioux Falls, USA, 2001.
- [12] HUANG C, WYLIE B, 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.
- [13] CHANDER G, MARKHAM B. Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(11) : 2674—2677.
- [14] CRIST E P. A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data [J]. Remote Sensing of Environment, 1985, 17: 301—306.
- [15] RIKIMARU A, ROY P S, MIYATAKE S. Tropical forest cover density mapping [J]. Tropical Ecology, 2002, 43 (1) : 39 —47.
- [16] XU H Q. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(14) : 4269—4276.

---

[17] NICHOL J. Remote sensing of urban heat islands by day and night [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2005, 71(6) : 613—621.

[18] 徐涵秋. Landsat 8 热红外数据定标参数的变化及其对地表温度反演的影响 [J]. 遥感学报, 2016, 20(2) : 229—235.

XU H Q. Change of Landsat 8 TIRS calibration parameters and its effect on land surface temperature retrieval [J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(2) : 229—235.

[19] SOBRINO J A, JIMENEZ-MUNOZ J C, PAOLINI L. Land surface temperature retrieval from Landsat TM5 [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(5) : 434—440.

[20] ABDI H, WILLIAMS L J. Principal component analysis. Wiley Inter-disciplinary Reviews: Computational Statistics [J]. 2010, 2: 433—459.

[21] 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.

XU H Q. A Study on Information Extraction of Water Body with the Modified Normalized Difference Water Index(MNDWI) [J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(5) : 589—595.