

1994—2014 年连云港市赣榆区生态变化评估

佟光臣¹, 林杰¹, 陈杭², 顾哲衍², 唐鹏¹, 程建敏³, 张金池¹

(1. 南京林业大学 林学院, 江苏省南方现代林业协同创新中心, 江苏省水土保持与生态修复重点实验室, 南京 210037;
2. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127; 3. 江苏省水文水资源勘测局连云港分局, 江苏 连云港 222004)

摘 要:利用遥感生态指数(RSEI)进行区域生态变化评估,可以及时、快速地获取水土流失区生态环境变化状况。以赣榆为研究区,采用 1994 年的 Landsat TM 5 影像和 2014 年的 Landsat 8 OLI 影像,评估指标选择可以反映生态质量条件的绿度、湿度、热度及干度 4 个生态因子,运用主成分分析方法集成上述指标,分析研究区域 20 a 间生态状况时空变化。结果表明:研究期间,赣榆区 RSEI 从 1994 年的 0.577 上升到 2014 年的 0.639,增幅为 10.75%;生态为优良等级所占的面积比例从 1994 年的 42.7% 上升到 2014 年的 50.41%,增幅为 18.06%,主要发生在西北部丘陵山区。通过对赣榆区的调查分析,以植树造林为主的小流域综合治理措施对生态质量的改善起到了重要作用。

关键词:生态评价; 遥感生态指数(RSEI); 赣榆区

中图分类号:TP79; X87; S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)06-0352-06

Ecological Change Assessment in Ganyu of Lianyungang City From 1994 to 2014

TONG Guangchen¹, LIN Jie¹, CHEN Hang², GU Zheyang²,

TANG Peng¹, CHENG Jianmin³, ZHANG Jinchi¹

(1. College of Forestry, Collaborative Innovation Center of Sustainable Forestry in Southern China of Jiangsu Province, Nanjing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Ecological Restoration of Jiangsu Province, Nanjing 210037, China; 2. Jiangsu Surveying and Design of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu 225127, China; 3. Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Lianyungang, Jiangsu 222004, China)

Abstract: Using the remote sensing ecological index (RSEI) to evaluate the regional ecological changes, we can obtain the ecological environment changes of soil erosion area in time and quickly. Choosing Ganyu as the study area, we also chose 1994 Landsat TM remote sensing images and 2014 Landsat OLI remote sensing images as the data sources. Green degree, humidity, heat and dry degree were extracted as indicators of evaluation model. Combined with principal component analysis method, we analyzed the ecological changes of study area quantitatively and objectively in the past 20 years. The results showed that during the whole study period, the remote sensing ecological index which was 0.577 in 1994 and rose to 0.639 in 2014, an increased by 10.75%; excellent grade of eco-area which accounted for 42.7% of the area in 1994 and rose to 50.41% in 2014, and increased by 18.06%, mainly in the hills and mountains in the northwest. Through the investigation and analysis of the Ganyu District, the comprehensive management of small watershed based on forest planting has played an important role in the improvement of the ecological quality.

Keywords: ecological assessment; remote sensing based ecology index; Ganyu District

水土流失是全世界范围内影响很多地区的一种复杂的动态现象,它不仅直接造成大量的水、土资源流失,影响粮食生产、饮用水质量安全,还造成泥石流、生物多样性减少、水体污染、碳储量减少等生态环境问题^[1-3]。影响水土流失的因素有地形因子、土壤性质、

可蚀性降雨、土地管理措施及土地利用/覆被等,其中土地利用/覆被变化对水土流失影响较大。当前,生态环境监测与评价的方法有很多,但是大多局限于使用单一指标进行评价,如利用植被指数及其衍生的植被覆盖度评估生态环境^[4-5]、利用建筑指数或不透水面指

收稿日期:2016-01-04

修回日期:2016-01-23

资助项目:国家自然科学基金(31200534);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

第一作者:佟光臣(1987—),男,江苏邳州人,硕士研究生,研究方向:土壤侵蚀遥感监测。E-mail:969714589@qq.com

通信作者:林杰(1976—),女,副教授,辽宁丹东人,硕士生导师,研究方向:土壤侵蚀遥感监测。E-mail:jielin@njfu.edu.cn

数、地表温度评估城市热环境^[6-8]、利用水体指数对水环境开展评估^[9-10]。如何全面快速简便地评价与获取生态环境状况成为亟待解决的现实问题。徐涵秋^[11]于 2013 年创建了一个全部基于遥感信息并集成多种指标因素的新型综合生态评价指数——遥感生态指数(RSEI),其先后被成功应用于福建的福州、平潭、长汀、莆田,湖南的长宁等地的生态评价,结果表明,该指数综合性较强,权重客观,可信度高,从而快速成功地监测了水土流失区的生态质量变化。

赣榆区是江苏省水土流失重点治理区之一,也是苏北土石山区的典型水土流失区,研究其生态状况变化对提高赣榆区生态环境和评估水土流失治理效果具有重要的意义。鉴于此,本文采用遥感生态指数(RSEI)评价方法对赣榆区 20 a 间的生态状况开展客观、快速地评价,为今后“生态赣榆”的进一步建设提供科学的决策。

1 研究区与数据源

1.1 研究区概况

赣榆区是连云港市新规划的三个主城区之一,位于江苏省东北部,苏鲁两省交界中心。地理坐标为东经 119°18′,北纬 34°50′。下辖 15 个镇,2 个省级经济开发区,427 个行政村、42 个社区,人口 118 万。境内山区、平原、沿海各占 1/3,自西向东梯次布局。土地利用方式以农用地为主,此外含有丘陵山地、城市建设用地及农村居民点用地。全区总面积 1 412.5 km²,其中丘陵山区 529 km²,水土流失面积 414 km²,占山丘区面积的 78.3%。

自 1984 年赣榆县(2014 年撤县设区)被列为江苏省水土流失重点治理区以来,不断加大水土流失治理力度,坚持以小流域治理为单元,以经济效益为中心,山水田林路全面规划、综合治理,水土保持生态建设取得显著成效^[12]。2003 年 8 月,赣榆县被评为“全国水土保持生态环境建设示范县”。

1.2 数据源及其预处理

研究数据选用美国地质调查局(USGS)官网下载的 1994-5-19 号的 Landsat5TM 影像及 2014-5-26 号的 Landsat8 OLI 影像,行列号为 120/36,2 幅影像无云覆盖,季相相近,因此植被的生长状态也相近,便于研究结果的对比。

遥感数据预处理主要有 3 个步骤:首先在 ENVI 中进行遥感图像几何纠正,采用二次多项式和最邻近像元法,配准的均方根误差小于 0.5 个像元;其次,由于植被指数对大气很敏感,因此必须做辐射校正和大气纠正,其中大气校正应用的是 ENVI Flaash 大气

校正模型;最后,依照行政区界线进行图像裁剪(见图 1—2)。以上操作均在 ENVI5.1 中进行。

2 研究方法

2.1 RSEI 计算方法

本研究所采用的 RSEI 指数方法是徐涵秋^[11]提出的一个新型的遥感生态指数。该方法使用归一化植被指数(NDVI)^[13]、缨帽变换的湿度分量(WET)^[14]、裸土指数(NDSI)^[15-16]、地表温度(LST)^[17]分别代表绿度、湿度、热度、干度四个指标来快速监测和评价区域生态环境质量。这四个指标是评判生态条件优劣的重要因素,而且可以从遥感影像中快速提取,一经提出后,先后在多地应用^[18-20]。遥感生态指数函数表达式如下:

$$RSEI = f(G, W, T, D) \quad (1)$$

式中:G 为绿度;W 为湿度;T 为热度;D 为干度。

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (2)$$

$$WET = 0.0315\rho_1 + 0.2021\rho_2 + 0.3102\rho_3 + 0.1594\rho_4 - 0.6806\rho_5 - 0.6107\rho_7 \quad (3)$$

$$LST = \frac{T}{\left[\left(1 + \left(\lambda \frac{T}{z} \right) \ln \epsilon \right) \right]} \quad (4)$$

$$NDSI = \frac{(SI + IBI)}{2} \quad (5)$$

式中: ρ_i ($i=1, 2, \dots, 7$) 分别为影像对应各波段的反射率;公式(4)中 T 为亮温,根据 NASA 提供的 Landsat 用户手册的模型^[21-22]进行计算, λ 为 TM6 波段的中心波长($\lambda=11.5 \mu\text{m}$), $z=hc/K=1.438 \times 10^{-2} \text{ mK}$ (其中, h 为普朗克常数,取值为 $6.26 \times 10^{-34} \text{ J/s}$; c 为光速,取值为 2.998 亿 m/s; K 为斯忒藩—玻尔兹曼常数,取值为 $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$; ϵ 为地表比反射率,其取值参见文献^[23]); SI 为裸土指数; IBI 为建筑指数。

提取以上 4 个指标后,首先对它们进行正规化,即将以上图像值归一化到 0~1 之间,这一步既解决了各个指标由于量纲不同而引起的权重失调问题,也可以减弱遥感影像季相之间的差异;然后通过波段叠加合并成一幅图像,最后采用主成分变换对上述合成图像进行变换(注意:主成分变换时,对水体进行掩膜,防止大片水域影响 PCA 的载荷),得到合成图像的主成分矩阵(表 1),再以归一化后的第 1 主成分(PC1)来生成 RSEI,公式如下:

$$RSEI_0 = 1 - \{PC1[f(NDVI, WET, LST, NDSI)]\} \quad (6)$$

式中:RSEI₀ 为主成分计算获得的初始遥感生态指

数。为了使指标便于度量和比较,对 $RSEI_0$ 进行归一化处理:

$$RSEI = \frac{(RSEI_0 - RSEI_{0-min})}{(RSEI_{0-max} - RSEI_{0-min})} \tag{7}$$

经过归一化处理后, $RSEI$ 的值介于 $[0,1]$ 。值越接近于 1,代表生态条件越好,越接近于 0,代表生态条件越差。通过上述运算后,获得两个时相的遥感生态指数 $RSEI$ 影像(图 3—4)。

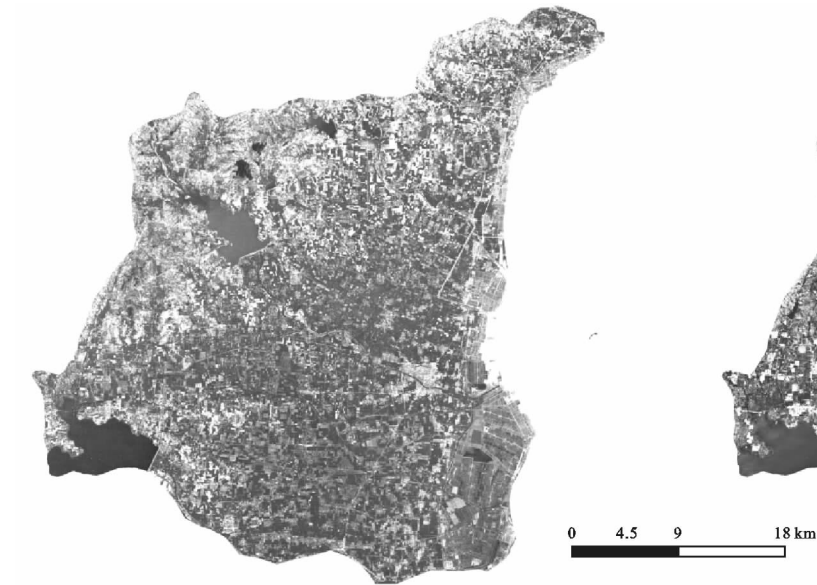


图 1 1994 年 TM 影像

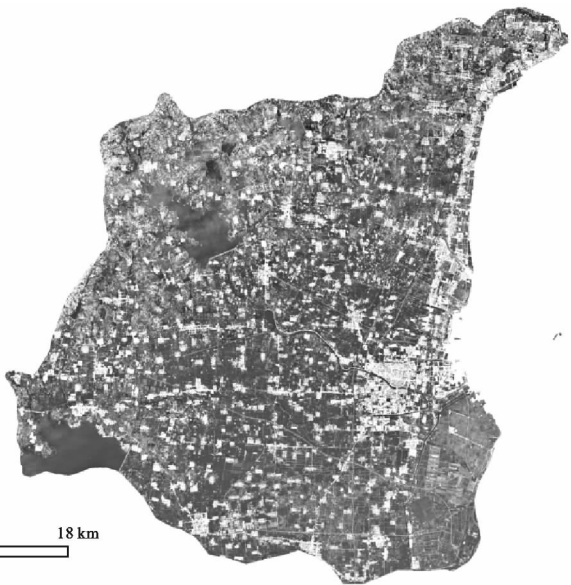


图 2 2014 年 OLI 影像

2.2 植被覆盖度提取

归一化植被指数(NDVI)是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子^[24]。本文利用像元二分模型估算研究区的植被覆盖度,计算公式如下:

$$f = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \tag{8}$$

式中: $NDVI_{max}$ 为完全由植被所覆盖像元的 NDVI 值, $NDVI_{min}$ 为裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值。

计算植被覆盖度时,通常根据图像大小、图像清晰度等情况,以置信度截取 NDVI 的上下限阈值分别近似代表 $NDVI_{max}$ 和 $NDVI_{min}$,可以在一定程度上

消除遥感影像年际波动所带来的误差^[25]。本研究通过分析 2 个时期 NDVI 数据,考虑时空差异,最终采用 0.5% 和 99.5% 的累计百分比为置信区间来确定 NDVI 最大值与最小值。

然后对上述计算出的植被覆盖度,参考《土壤侵蚀分类分级标准》(sl190—2007),并结合研究区实际情况,将植被覆盖度划分为:低植被覆盖度($fc < 30\%$)、中低植被覆盖度($30\% \leq fc < 45\%$)、中植被覆盖度($45\% \leq fc < 60\%$)、中高覆盖度($60\% \leq fc < 75\%$)和高覆盖度($fc \geq 75\%$)5 个等级。

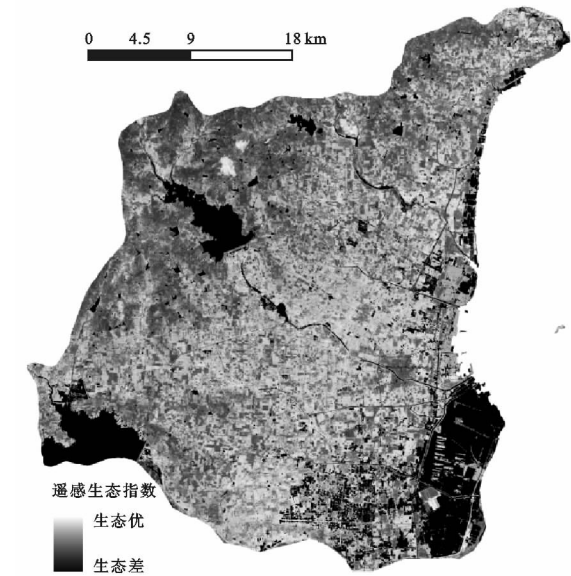


图 3 1994 年 RSEI 影像

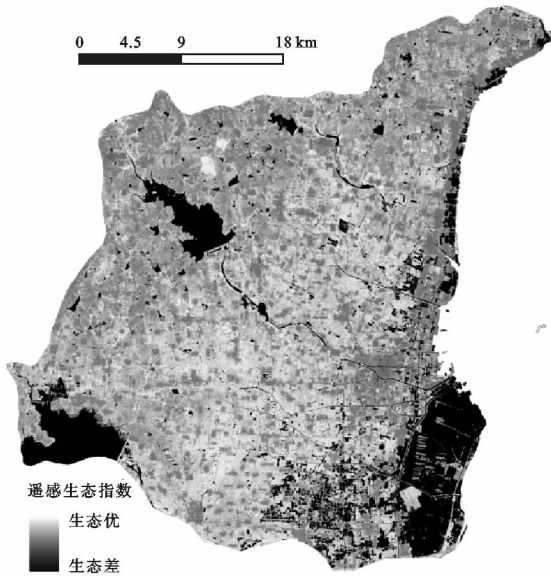


图 4 2014 年 RSEI 影像

表 1 指标主成分分析

年份	参数	第 1 主成分 PC1	第 2 主成分 PC2	第 3 主成分 PC4	第 4 主成分 PC5
1994	WET	0.447	0.110	0.860	0.220
	NDVI	0.364	0.690	-0.400	0.481
	NDSI	-0.370	-0.381	0.025	0.847
	LST	-0.728	0.606	0.316	-0.055
	特征值	0.0380	0.0046	0.0020	0.0001
	特征值贡献率/%	85.12	10.22	4.43	0.23
2014	WET	0.183	0.004	-0.615	0.767
	NDVI	0.619	0.413	0.586	0.320
	NDSI	-0.566	-0.320	0.520	0.554
	LST	-0.513	0.853	-0.086	0.049
	特征值	0.0279	0.0025	0.24	0.02
	特征值贡献率/%	89.22	8.06	2.37	0.35

3 结果与分析

3.1 赣榆区 RSEI 时空变化

从表 1 中各生态指标的 PC1 载荷来看,对生态起正面影响的绿度和湿度指标中,1994 年湿度的贡献率高,而 4 个指标中热度(LST)的贡献率最高;而到 2014 年绿度的贡献最高,且为 4 个指标中最大,说明植被对改善生态的影响更大,而对生态起负面影响的热度和干度指标中,2 个年份都是干度的贡献率更高,说明生态状况的下降与干度的变化有关。

表 2 是研究区各年份 4 个指标和生态遥感指数 RSEI 的均值。从表 2 可以看出:1994—2014 年,赣榆区 RSEI 从 1994 年的 0.577 上升到 2014 年的 0.639,增幅为 10.75%。研究区整体生态环境的改善从侧面反映了当地水土保持建设取得了一定成效。从各指标变化可知,代表生态条件好的湿度均值在这 20 a

中有大幅上升,绿度变化不大,而代表生态条件差的热度和干度的均值都明显下降。考虑到研究区沿海城镇近 20 a 城市化建设的发展,绿度指数能近似保持平稳也从侧面反映了丘陵山区植被的改善,以上 4 个指标的各自表现说明了研究区的总体生态质量呈上升趋势。从图 3、4 也可以看出研究区生态条件具有明显的梯度性:中部农田区生态条件较好,西部丘陵山区和东部沿海城镇建设区生态条件较差。整体遥感生态指数的提高得益于丘陵区生态条件的改善超过了东部城市建设区生产建设活动对生态环境的破坏。因此,所建的 RSEI 生态指数得到的结果与 4 个指标表述的结果相吻合,可以综合代表 4 个指标。

表 2 各年份 4 个指标和遥感生态指数 RSEI 的均值

年份	湿度 Wet	绿度 NDVI	干度 NDSI	热度 LST	遥感生态指数 RSEI
1994	0.573	0.730	0.534	0.573	0.577
2014	0.831	0.726	0.364	0.411	0.639

3.2 赣榆区生态质量等级时空变化

为了进一步分析指数的合理性,将各年份的 RSEI 指数以 0.2 的间隔分成 5 级,分别代表生态差、较差、中等、良、优 5 个等级(表 3)

从表 3 中可以看出,生态级别为优良等级(4—5 级)所占的面积比例从 42.7% 上升到 50.41%,而等级为差到中等的面积比例则相应下降。总体表明赣榆地区的生态质量得到了明显的改善。为了对不同年份的生态状况进行时空变化分析,利用差值原理,分 9 个等级对赣榆区的生态状况进行变化检测。其中,“0 级”为基本未变级,“变好”和“变差”都各分 4 级。得到的变化等级统计表见表 4。

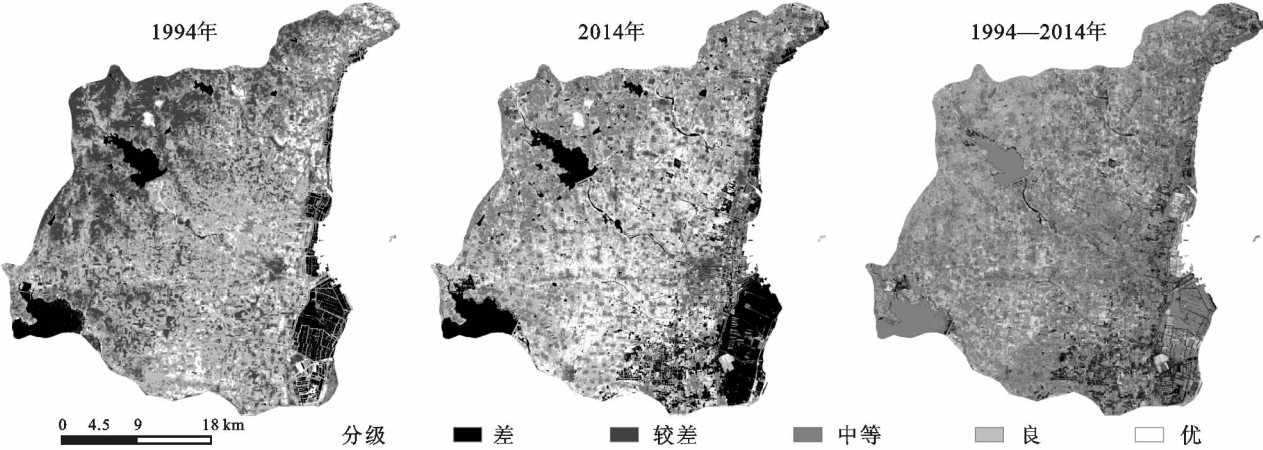


图 5 1994—2014 年 RSEI 变化分级影像

从表 4 可以得出:1994—2014 年间,从变化结果及其幅度来看,该区生态条件变差、等级下降的面积为 305.2 km²,约占总面积的 21.61%,其变差中级差为 1 的等级所占面积比重较大,占到整个变差的

56.75%;而生态变好的面积达 559.5 km²,占到了 39.61%,其变好中级差为 1 的等级所占面积比重较大,占到整个变好的 71.33%;从空间上看,生态条件变好的地点主要分布在西部丘陵山区(图 5)。生态条件

变差的主要是集中在东部一些新增的城市建设用地和新开挖农田进行水产养殖地区(图 5)。不变区主要分布在中部生态条件一直较好的农田和部分生态条件一直较好的西部林地。

表 3 赣榆区的生态级别面积和比例

RSEI 级别	1994		2014	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
1:差(0~0.2)	130.72	9.25	227.67	16.12
2:较差(0.21~0.4)	233.72	16.55	55.76	3.95
3:中等(0.41~0.6)	445.02	31.51	417.09	29.53
4:良(0.61~0.8)	511.29	36.20	506.53	35.86
5:优(0.81~1)	91.75	6.50	205.46	14.55
合计	1412	100	1412	100

3.3 赣榆水土流失区植被覆盖度时空变化

针对赣榆区水土流失主要分布在西北丘陵山区的坡耕地上这一情况,本文根据研究区 DEM 图提取高程 45 m 以上范围进行植被覆盖度变化研究(见图 6),探究近 20 a 来坡耕地还林还草措施成效。结果表明,该区域平均植被覆盖度从 1994 年的 32% 上升到 2014 年

的 40%;从变化等级来看,中低植被覆盖等级均有不同程度增长。仿照前文生态状况差值变化监测,也对两个时期植被覆盖情况进行变化监测分析,结果发现,植被覆盖度降低、等级下降的面积为 311.29 km²,而等级上升的面积有 507.84 km²,级差为 1 的等级面积所占比重最大。这说明退耕还林还草措施取得了一定成效,但仍存在陡坡开垦种粮、采砂等破坏植被的活动,水土流失治理仍然不能放松。

表 4 变化检测

类别	级差	级面积/km ²	类面积/km ²
变差	-4	23.7	305.2
	-3	58.7	
	-2	49.6	
	-1	173.2	
不变	0	547.8	547.8
	1	399.1	559.5
变好	2	131.5	
	3	27.9	
	4	1.0	

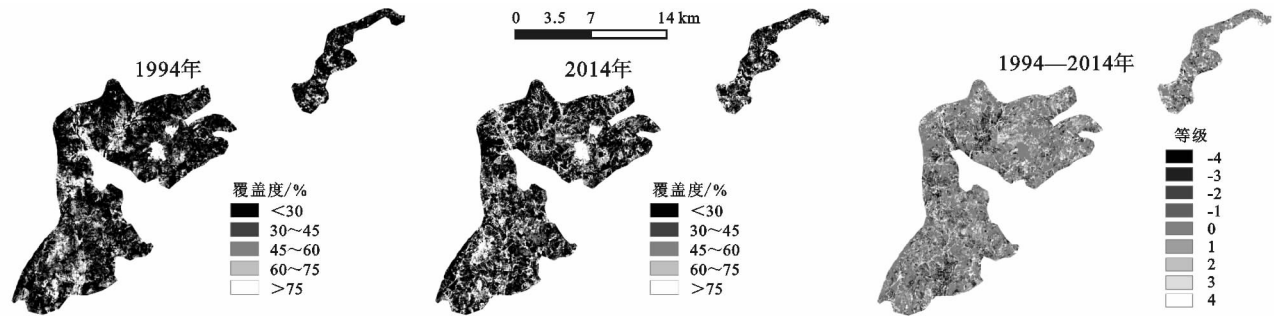


图 6 1994—2014 年丘陵区植被覆盖等级分布与变化

3.4 RSEI 指数的综合代表性分析

综合代表性的定量分析可以从 RSEI 和各指标之间的相关度看出。相关度越强,说明它越能综合代表各个指标。表 5 是各指标和 RSEI 的相关系数以及各指标相互之间的相关系数。从单一指标来讲,NDSI 的平均相关度最高,为 0.867,而新建的 RSEI 指标的 2

个年份的平均值高达 0.908,比单一指标最高的 NDSI 高出 4.7%,比最低的 LST 高出了 21.4%,比 4 个指标的平均值(0.799)高出了 13.6%。可以明显看出,新指标与各指标之间更高的相关度说明了它对各指标的信息能够很好地集成,它比其他单一指标更具代表性,能够综合代表赣榆地区的生态状况。

表 5 4 个指标和 RSEI 的相关矩阵

指数	1994 年					2014 年				
	WET	NDVI	NDSI	LST	RSEI	WET	NDVI	NDSI	LST	RSEI
WET	1.000	0.690	-0.864	-0.799	0.910	1.000	0.767	-0.889	-0.750	0.855
NDVI	0.690	1.000	-0.938	-0.596	0.792	0.767	1.000	-0.952	-0.783	0.969
NDSI	-0.864	-0.938	1.000	0.767	-0.924	-0.889	-0.952	1.000	0.793	-0.974
LST	-0.799	-0.596	0.767	1.000	-0.948	-0.750	-0.783	0.793	1.000	-0.894
平均相关度 *	0.784	0.741	0.856	0.721	0.894	0.802	0.834	0.878	0.775	0.923
2 年份平均	WET=0.793;NDVI=0.788;NDSI=0.867;LST=0.748;RSEI=0.908									

注:平均相关度是以某一指标与其他指标相关系数的绝对值来计算,以 1994 年 WET 为例:mean=(|0.690|+|-0.864|+|-0.799|)/3=0.793。

4 结论

在整个研究区域中,对 RSEI 指数贡献最大的指

标从 1994 年的热度指标(LST)变成 2014 年的绿度指标(NDVI),这说明以植树造林为主的小流域综合治理措施对研究区生态环境质量的改善起到了重大

作用,RSEI值从1994年的0.577上升到2014年的0.639,增幅为10.75%。

从具体变化来看,20 a来,赣榆区生态为优良等级所占的面积比例从1994年的42.7%上升到2014年的50.41%,增幅为18.06%;该区生态条件变差、等级下降的面积为305.2 km²,约占总面积的21.61%,而生态转好的面积达559.5 km²,占到了39.61%。

从空间分布上来看,生态条件变好的地点主要分布在西部丘陵山区;生态条件变差的地点主要是集中在东部一些新增的城市生产建设用地和新开挖农田进行水产养殖地区;不变区域主要分布在中部生态条件一直较好的农田和部分生态条件一直较好的西部林地。

新建立的遥感生态指数RSEI与各指标之间具有较高的的相关度,相比其他单一指标更具代表性,能够客观综合地代表赣榆地区的生态环境状况,研究结论对于赣榆区今后的水土流失治理提供了参考。

参考文献:

- [1] Poesen J, Vanwalleghem T, Vente J D, et al. Soil Erosion in Europe[M]. Chichester:Wiley, 2006.
- [2] Zhang X, Walling D E, Quine T A, et al. Use of reservoir deposits and caesium 137 measurements to investigate the erosional response of a small drainage basin in the rolling loess plateau region of China[J]. Land Degradation & Development, 1997,8(1):1-16.
- [3] 齐晓君,王恩德,贾三石.基于GIS和RS的抚顺市土壤侵蚀动态研究[J].东北大学学报:自然科学版,2008,129(9):1342-1345.
- [4] 王朗,傅伯杰,吕一河,等.生态恢复背景下陕北地区植被覆盖的时空变化[J].应用生态学报,2010,21(8):2109-2116.
- [5] 成军锋,贾宝全,赵秀梅,等.干旱半干旱地区植被覆盖度的动态变化分析:以毛乌素沙漠南部为例[J].干旱区资源与环境,2009,23(12):172-176.
- [6] 李昕瑜,杜培军,阿里木·赛买提.南京市地表参数变化与热岛效应时空分析[J].国土资源遥感,2014,26(2):177-183.
- [7] 李润林,时永杰,姚艳敏,等.基于Landsat TM/ETM+的张掖市甘州区绿洲冷岛效应时空变化研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(9):139-144.
- [8] 岳文泽,徐丽华,徐建华.20世纪90年代上海市热环境变化及其社会经济驱动力[J].生态学报,2010,30(1):155-164.
- [9] Ivits E, Cherlet M, Mehl W, et al. Estimating the ecological status and change of riparian zones in Andalusia assessed by multi-temporal AVHRR datasets[J]. Ecological Indicators, 2009,9(3):422-431.
- [10] 温小乐,徐涵秋.福州城市扩展对闽江下游水质影响的遥感分析[J].地理科学,2010,30(1):624-629.
- [11] 徐涵秋.水土流失区生态变化的遥感评估[J].农业工程学报,2013,29(7):91-98.
- [12] 赵敬贤,张文海,樊继岭.坚持小流域综合治理促进赣榆经济可持续发展[J].中国水土保持,2001(11):37-39.
- [13] Goward S N, Xue Y, Czajkowski K P. Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements: An exploration with the simplified simple biosphere model [J]. Remote Sensing of Environment, 2002,79(2):225-242.
- [14] Crist E P. A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data[J]. Remote Sensing of Environment, 1985,17(3):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 Hanqiu. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008,29(14):4269-4276.
- [17] Jimenez-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 & Remote Sensing, 2009,47(1):339-349.
- [18] 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.
- [19] 温小乐,林征峰,唐菲.新兴海岛型城市建设引发的生态变化的遥感分析:以福建平潭综合试验区为例[J].国土资源遥感.2015,26(2):541-547.
- [20] 郑勇.基于TM数据的生态环境指数提取及变化分析[D].南京:南京林业大学硕士学位论文.2014.
- [21] NASA. Landsat7Science Data Users Handbook [EB/OL]. <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>, 2012-09-05.
- [22] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1ALSI sensors[J]. Remote Sensing of Environment, 2009,113(5):893-903.
- [23] Nichol J. Remote sensing of urban heat islands by day and night [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2005,71(6):613-621.
- [24] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.
- [25] 李登科,范建忠,王娟.陕西省植被覆盖度变化特征及其成因[J].应用生态学报,2010,21(11):2896-2903.