

doi: 10.6046/gtzyyg.2014.04.23
引用格式: 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.)

基于遥感指数的生态变化评估 ——以常宁市为例

罗 春¹, 刘 辉^{1,2}, 戚陆越³

(1. 福州大学环境与资源学院,福州 350108; 2. 福州大学遥感信息工程研究所,福州 350108;
3. 福州大学福建省空间信息工程研究中心,福州 350108)

摘要: 利用遥感技术进行区域生态变化评估,能够得到周期长、现时性强的结果。以常宁市为例,采用遥感生态指数方法来监测水土流失区的生态变化,选取 1990 年,2002 年及 2009 年的 Landsat TM 遥感图像,分别提取绿度、湿度、热度和干度 4 个生态因子作为评估指标,结合主成分分析方法,定量、客观地评估研究区域 20 a 间生态变化。结果表明,遥感生态指数方法能够很好地评价水土流失区生态修复的效果,其中,遥感生态指数值上升了 22.39%,生态为优良等级所占的面积比例先从 1990 年的 13.086% 下降到 2002 年的 4.006%,再上升到了 2009 年 16.699%,说明常宁市经过 20 a 的水土流失治理,该区域的生态质量先急剧下降再有了较大的改善。通过对常宁市调查分析,以植树造林和施工预防为主的措施对生态质量的改善有较好的效果。

关键词: 生态; 水土流失; 遥感生态指数(RSEI); 常宁市

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001–070X(2014)04–0145–06

0 引言

目前遥感技术已在生态环境领域得到广泛应用,利用各种遥感指数对流域^[1]、城市^[2]、森林^[3]、湖泊^[4]和土地^[5]等进行动态监测,但是大多数的监测仍基于单一的指标进行评测,如利用植被指数监测森林生态系统的变化^[6],利用不透水地表指数^[7]评价城市生态环境,利用地表温度评测城市热环境^[8]等,这些单指标评价往往只能解释某一方面的生态特征。徐涵秋在水土流失区生态变化的遥感评估中提出了多指标的遥感生态指数(remote sensing ecology index, RSEI),这是一个完全基于遥感信息、能够集成多种指标因素的遥感综合生态指数,并用其快速地监测福建省长汀盆地水土流失区的生态质量,为政府采取保持水土流失政策提供依据,取得了良好的效果。

常宁市是湖南省水土流失重点治理区之一,探讨其生态变化对改善常宁市生态环境和评估水土流失治理效果具有非常重要的意义。鉴于此,本文以常宁市为例,采用遥感生态指数和数理统计学方法,定量评估其生态系统的变化状况。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

常宁市位于 N26°07′~26°36′,E112°07′~112°41′之间,地质环境复杂,出露岩石种类多且风化强烈,土壤侵蚀潜在危险性较大;属中亚热带季风湿润性气候,市区年平均气温 18.5~20.2℃,年降水量 1 005.1~1 836.2 mm,6—9 月为汛期,期间雨量占全年总降雨量的 60% 左右。汛期高强度降雨是该区水土流失的主要外营力。

湖南省湘资沅澧中游治理区是 2006 年 19 个国家级水土流失重点治理区之一。常宁市地处该治理区内,是湖南省水土保持修复试点市。多年来当地政府一直大力宣传植树种草治理水土流失的重要性,出台了相应的政策法规,实施了一些治理措施。

1.2 数据源及其预处理

研究所用的 Landsat TM 遥感数据来源于中国科学院对地观测与数字地球中心,图像获取日期分别为 1990–12–07,2002–10–13 及 2009–10–24,季相基本相同,质量较好。

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素法,配准的均方根误差 $RMSE < 0.5$ 个像素;其次,由于植被指数对大气很敏感,因此必须做辐射校正,辐射校正采用 Chander 等^[9]和 Chavez^[10]的模型;最后,依照行政区界线进行图像裁剪。

2 遥感生态指数及其指标

徐涵秋^[11]指出,在反映生态质量的诸多自然因素中,绿度、湿度、热度及干度是人类直观感觉生态条件优劣的重要因素,因此常被用于评价生态系统^[4,12-13],而且这 4 个指标可以从遥感图像中快速

$$WET = 0.031\ 5\rho_1 + 0.202\ 1\rho_2 + 0.310\ 2\rho_3 + 0.159\ 4\rho_4 - 0.680\ 6\rho_5 - 0.610\ 9\rho_7,$$

(2)

式中: WET 为湿度指标; $\rho_i (i = 1, \cdots, 5, 7)$ 为 TM 图像各对应波段的反射率。

2.2 绿度指标

归一化植被指数 (normorolized difference vegetable index, NDVI) 与植物生物量、叶面积指数以及植被覆盖度都有密切的关系^[15]。因此,可选其来代表绿度指标,即

$$NDVI = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3)。$$

(3)

2.3 热度指标

本研究采用地表温度 (land surface temperature, LST) 代表热度,先用 Landsat 用户手册的模型计算出亮温 T ^[9,16],再对其进行比辐射率校正,获得 LST ^[17],即

$$LST = T / [1 + (\lambda T / z) \ln \varepsilon],$$

(4)

式中: λ 为 TM 6 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 $2.998 \times 10^8\ \text{m/s}$; K 为斯忒藩 - 玻耳兹曼常数,取值为 $1.38 \times 10^{-23}\ \text{J/K}$); ε 为地表比辐射率,其取值见文献 [12]; T 和 LST 的单位为 K。

2.4 干度指标

在水土流失区,干度指标 (normalized difference soil index, NDSI) 通常选用裸土指数 (bare soil index, BI) 来代表。但由于研究区还有相当多的建筑用地,建筑指数 (index - based built - up index, IBI) 同样代表地表的干度,因此干度指标最后由二者合成。可分别采用 Rikimaru 和徐涵秋^[18]的模型计算出 BI ^[18]和 IBI ^[19],然后计算 $NDSI$,即

$$NDSI = (SI + IBI) / 2。$$

(5)

2.5 构建遥感生态指数

主成分分析 (principal component analysis,

地提取,如采用植被指数、裸土指数、湿度分量、地表温度就可以分别代表绿度、干度、热度和湿度。这样,拟建的遥感生态指数就可以表示为这 4 个指标的函数,即

$$RSEI = f(G, W, T, D),$$

(1)

式中: G 为绿度; W 为湿度; T 为热度; D 为干度。

2.1 湿度指标

缨帽变换中的亮度、绿度、湿度分量与地表物理参量有直接关系。其中湿度分量反映了土壤和植被的湿度,与生态密切相关。因此,本研究的湿度指标采用这一湿度分量来代表。以 Landsat TM 图像为例,其表达式为^[14]

PCA) 方法是一种将多个变量通过正交线性变换来选出少数重要变量的多维数据压缩技术^[20]。它将多维的信息集中到少数几个特征分量上,不仅可以减少原始多变量间的信息重叠,且简化了变量个数,其中的第一个主分量是对原始多变量数据集方差贡献最大的新变量,用这一新变量来构建遥感生态指数可以降低计算的复杂度,且具有一定的代表性。因此,本研究采用主成分变换来集成以上 4 个变量。首先分别计算 3 个时相图像的 4 个指标,对它们进行归一化后将它们合成为一幅新图像,再对新的图像进行主成分变换,得到 4 个指标的主成分矩阵 (表 1)。

表 1 指标主成分分析

Tab. 1 Principal component analysis of 4 indicators

年份	指标	PC1	PC2	PC3	PC4
1990 年	WET	0.277 3	0.640 1	0.715 6	0.035 9
	$NDVI$	0.960 5	-0.203 8	-0.189 5	-0.006 5
	LST	-0.024 6	0.740 5	-0.671 5	-0.010 9
	$NDSI$	-0.003 4	-0.016 2	-0.034 3	0.999 3
	特征值	0.342 8	0.004 8	0.002 3	0
	贡献率/%	97.99	1.36	0.65	0
2002 年	WET	0.226 9	0.438 4	0.722 7	0.484 4
	$NDVI$	0.109 8	0.888 4	-0.423 6	-0.176 9
	LST	-0.802 4	-0.136 5	-0.430 7	0.389 8
	$NDSI$	-0.551 9	-0.002 5	-0.336 7	0.762 9
	特征值	0.372 3	0.004 0	0.002 6	0.000 2
	贡献率/%	98.23	1.06	0.67	0.04
2009 年	WET	0.229 0	0.554 8	0.786 1	0.147 6
	$NDVI$	0.329 6	0.817 3	-0.466 9	-0.073 6
	LST	-0.915 7	-0.155 0	0.368 7	0.039 8
	$NDSI$	-0.021 9	-0.015 8	-0.167 5	-0.022 9
	特征值	0.314 8	0.005 0	0.001 8	0
	贡献率/%	97.89	1.55	0.56	0

从表 1 可以看出：第一主成分(PC1)的贡献率都大于 95% ,表明它已集中了 4 个指标的大部分特征；在 PC1 中,代表湿度的 *WET* 和代表绿度的 *NDVI* 呈正值,说明二者共同对生态起正面的贡献；而代表热度和干度的 *LST* ,*NDSI* 呈负值,说明二者协同对生态起负面影响,这与实际情况相符。为使 PC1 大的数值代表好的生态条件,可进一步用 1 减去计算出的 PC1 ,获得初始的生态指数 $RSEI_0$,然后

同样对 $RSEI_0$ 进行正规化,以便于指标的度量和比较,得到 $RSEI$ (图 1) ,其值介于[0,1]之间,即

$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI_{min}) / (RSEI_{max} - RSEI_{min})。$$

(6)

式中： $RSEI_{min}$ 表示生态指数 $RSEI$ 中最小值； $RSEI_{max}$ 表示生态指数 $RSEI$ 中的最大值。 $RSEI$ 值越接近 1 ,表示生态越好,反之则越差。

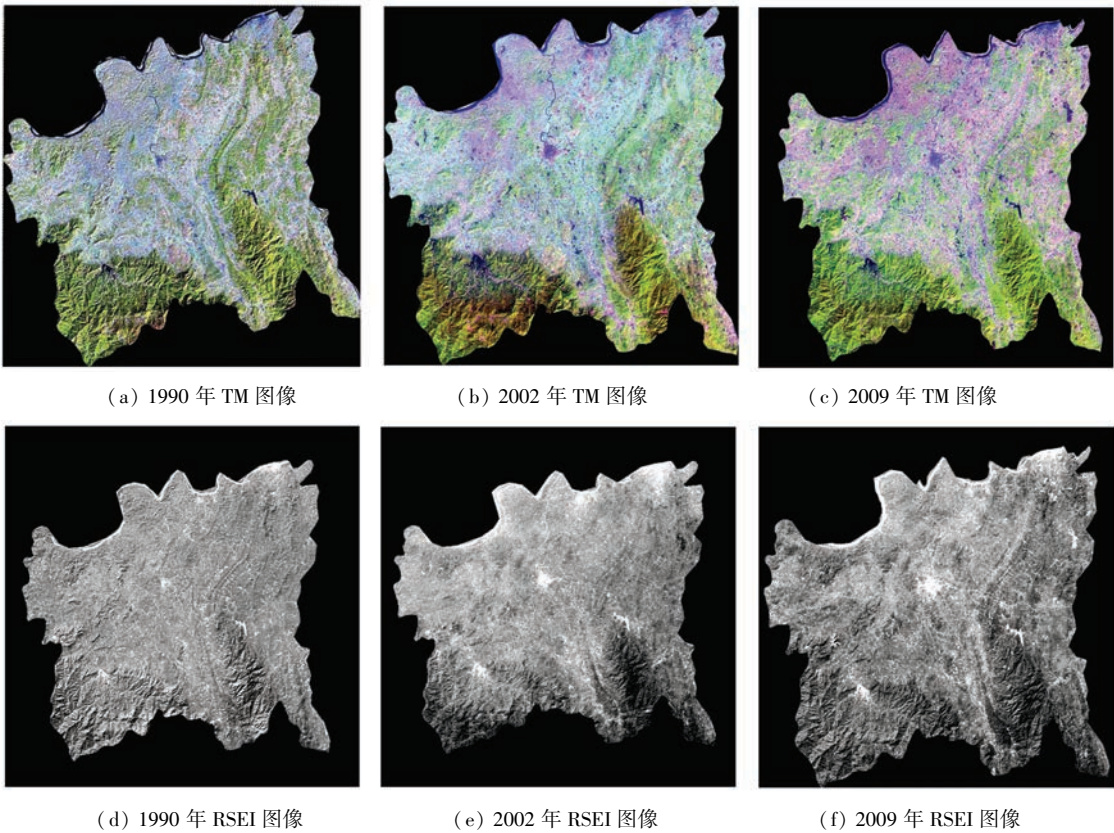


图 1 常宁市的遥感图像(R(5) ,G(4) ,B(3) 合成) 和遥感生态指数(RSEI) 图像

Fig.1 Images of Changning City (R(5) ,G(4) ,B(3))and corresponding RSEI images

3 结果分析

3.1 常宁市的生态变化

表 2 是研究区各年份 4 个指标和遥感生态指数 $RSEI$ 均值。

表 2 各年份 4 个指标和 $RSEI$ 的均值
Tab.2 Mean values of 4 indicators and $RSEI$

年份	指标				$RSEI$
	<i>WET</i>	<i>NDVI</i>	<i>NDSI</i>	<i>LST</i>	
1990 年	0.318	0745	0.587	0.843	0.317
2002 年	0.274	0.532	0.492	0.888	0.184
2009 年	0.256	0.794	0.568	0.890	0.388

从表 2 各指标变化可知,代表生态变好的绿度和代表生态差的干度均值在这 20 a 中都是先下降

后上升,而代表生态变差的热度有稍微的上升和代表生态变好的湿度反而有稍微的下降,这与常宁市的人为不合理的开发建设活动加剧了水土流失有关,在城区基础设施、大规模房地产开发建设过程中,工程施工时间跨度大,规划用地类型多样,水土流失出现了某些新特点；另一个原因是,常宁市处内陆,近年来全球气候变暖的影响,干度和热度也在一定程度上有所上升。以上 4 个指标总体上反映研究区植被覆盖有所改善,水土流失势头有所抑制,也表明所建的 $RSEI$ 生态指数可以综合代表 4 个指标。

为了更好地分析新指数的合理性,进一步将各年份的 $RSEI$ 指数以 0.2 为间隔分成 5 个级别,分别代表生态差、较差、中等、良、优 5 个等级,对应的 $RSME$ 指数范围分别为[0,0.2) , [0,0.4) , [0,0.6) , [0,0.8) 和 [0.8,1.0] (表 3)。

表 3 1988—2010 年间常宁市各 *RSEI* 级别面积及其百分比

Tab. 3 Area and percentage change of each *RSEI* level from 1988 to 2010 in Changning City

<i>RSEI</i> 级别	1990 年		2002 年		2009 年	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
差	126.24	6.131	296.94	14.422	22.50	1.093
较差	1 261.59	61.271	1 274.73	61.910	1 195.27	58.052
中等	401.73	19.511	402.79	19.562	497.38	24.156
良	240.94	11.702	67.66	3.186	311.24	15.116
优	28.50	1.384	16.88	0.820	32.60	1.583

从表 3 中看出,生态级别为优和良等级所占的面积比例先从 13.086% 下降到 4.006%,再上升到 16.699%;而等级为差的面积比例也从小到大再到小变化。总体表明,常宁市的生态质量有了非常大的提高。利用差值原理,分 7 个等级对常宁市的生态进行变化检测。其中“0 级”为基本未变级,“变好”和“变差”都各分 3 级。得到的变化等级统计表见表 4。

表 4 变化检测

Tab. 4 Change detection

类别	级差	级面积/km ²	类面积/km ²
变差	-3	1.02	250.52
	-2	16.34	
	-1	233.16	
不变	0	1 280.10	1 280.10
变好	+1	474.74	528.38
	+2	49.33	
	+3	4.31	

变化检测分级图 and 变化趋势图见图 2。

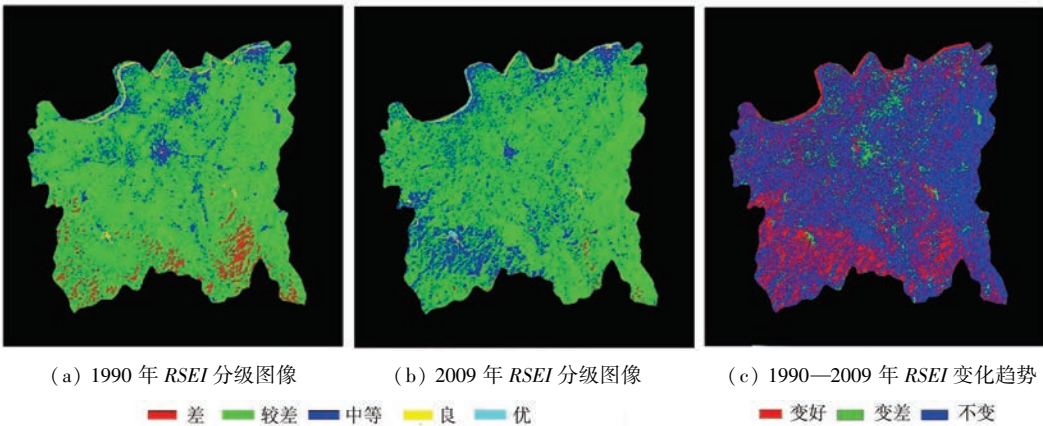


图 2 常宁市 1990,2009 年生态分级图 and 基于差值法的变化检测图

Fig. 2 5 - leveled *RSEI* images of Changning City in 1990 and 2009 and their change detection

1990—2009 年间,从变化幅度看,该区生态条件变差、等级下降的面积为 250.52 km²,约占总面积的 12.167%,而生态转好的面积达 528.38 km²,占到了 25.662%;从空间分布看,生态条件变好的地点主要分布在郊区中水域周围(图 2 (c) 中的红色图斑)。生态变差的主要是一些新增的城区基础设施和大规模房地产开发建设(图 2 (c) 中的绿色

图斑),而林业周围变化不大,以蓝色调为主。

3.2 *RSEI* 综合代表性分析

从 *RSEI* 和各指标之间的相关度来进行综合代表性的定量分析。*RSEI* 与各指标的相关度越强,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自身之间的相关系数。

表 5 4 个指标和 *RSEI* 的相关矩阵

Tab. 5 Correlation matrix of *RSEI* and 4 indicators

指数	1990 年					2002 年					2009 年				
	<i>WET</i>	<i>NDVI</i>	<i>NDSI</i>	<i>LST</i>	<i>RSEI</i>	<i>WET</i>	<i>NDVI</i>	<i>NDSI</i>	<i>LST</i>	<i>RSEI</i>	<i>WET</i>	<i>NDVI</i>	<i>NDSI</i>	<i>LST</i>	<i>RSEI</i>
<i>WET</i>	1.000	0.907	0.910	0.910	0.899	1.000	0.931	0.877	0.942	0.847	1.000	0.811	0.889	0.900	0.904
<i>NDVI</i>	0.907	1.000	0.986	0.986	0.982	0.931	1.000	0.943	0.964	0.845	0.811	1.000	0.921	0.923	0.944
<i>NDSI</i>	0.910	0.985	1.000	0.992	0.998	0.877	0.943	1.000	0.966	0.925	0.889	0.921	1.000	0.997	-0.995
<i>LST</i>	0.910	0.986	0.992	1.000	0.992	0.942	0.964	0.966	1.000	0.942	0.901	0.923	0.997	1.000	0.997
平均相关度 ^①	0.909	0.95	0.962	0.962	0.967	0.917	0.946	0.928	0.957	0.890	0.867	0.885	0.936	0.940	0.960
3 年份平均	<i>WET</i> =0.898; <i>NDVI</i> =0.930; <i>NDSI</i> =0.942; <i>LST</i> =0.953; <i>RSEI</i> =0.939														

①以某一指标与其他指标相关系数的绝对值来计算,以 1990 年 *WET* 为例: $Mean = (|0.907| + |0.911| + |0.910|)/3 = 0.909$ 。

4 结 论

本文利用遥感生态指数,研究了常宁市 1990—2009 年间生态环境状况和变化趋势,得到如下结论:

1)在整个研究区域中,代表植被覆盖状况的绿色指标(NDVI)在 4 个指标中对生态指数 RSEI 的贡献最大,说明植被是十分重要的影响因素,以植树造林为主的水土流失治理工程已显示正在改善该区的生态质量。

2)20 a 来,常宁市存在湿度下降而热度有所升高的现象,是由于该市在基础设施建设和房地产开发过程中,某些不当的人为活动破坏了地貌、植被和水土保持设施,产生了大量的废土弃渣,使城市环境在短期内急剧变坏。

3)RSEI 变化检测表明,常宁市的生态环境质量在 20 a 内,先有所下降,但是在政府的高度重视下,相继出台了绿化、水土保持治理等多项政策,在城市建设的施工过程中,根据具体情况采取了一些相应措施控制水土流失,防治结合,生态环境又有了较明显的改善。

4)从空间上看,生态条件变好的地点主要分布在区内水域周围,生态变差的则主要为一些新增的城区基础设施和大规模房地产开发建设工地,而林区及其周围生态变化不大。这些结论可为常宁市今后进一步做好水土保持工作提供参考。

志谢: 特别感谢谢天文师兄对实验及论文写作的指导。

参考文献(References):

[1] 吴炳方,卢善龙. 流域遥感方法与实践[J]. 遥感学报,2011,15(2):201-223.

Wu B F, Lu S L. Watershed remote sensing: Methodology and a paradigm in Hai Basin[J]. Journal of Remote Sensing, 2011, 15(2):201-223.

[2] 潘卫华,徐涵秋. 泉州市城市扩展的遥感监测及其城市化核分析[J]. 国土资源遥感,2004,16(4):36-40.

Pan W H, Xu H Q. A study of urban spatial expansion of Quanzhou City on the basis of remote sensing technology and urbanization core analysis[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2004, 16(4):36-40.

[3] 杨存建,欧晓昆,党承林,等. 森林植被动态变化信息的遥感检测[J]. 地球信息科学,2000(4):71-75.

Yang C J, Ou X K, Dang C L, et al. Detecting the change information of forest vegetation dynamics for remote sensing[J]. Geo-Information Science, 2000(4):71-75.

[4] 王海波,马明国. 基于遥感的湖泊水域动态变化监测研究进展[J]. 遥感技术与应用,2009,24(5):674-684.

Wang H B, Ma M G. A review of monitoring change in lake water areas based on remote sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(5):674-684.

[5] 汤世华,樊风雷,王云鹏,等. 土地利用变化的遥感监测及其与经济发展关系的研究——以增城市 1998—2003 土地利用为例[J]. 农业现代化研究,2005,26(5):378-381.

Tang S H, Fan F L, Wang Y P, et al. Change of land-use remote sensing monitoring and relationship of economic development; Taking land-use of Zengcheng from 1998 to 2003 as an example[J]. Research of Agricultural Modernization, 2005, 26(5):378-381.

[6] 范建忠,李登科,董金芳. 陕西省重点生态建设工程区植被恢复状况遥感监测[J]. 农业工程学报,2012,28(7):228-234.

Fan J Z, Li D K, Dong J F. Remote Sensing analysis of vegetation restoration in key ecological construction areas of Shaanxi Province [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(7):228-234.

[7] 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 Ecologica Sinica, 2009, 29(5):2456-2462.

[8] 周 榕,徐涵秋,林云彬. 城市建成区地表热通量的遥感研究——以泉州市区为例[J]. 遥感信息,2006(6):50-54.

Zhou R, Xu H Q, Lin Y B. Remote sensing study on the surface heat flux and its relationship with the urban heat island; Taking Quanzhou City as an example[J]. Remote Sensing Information, 2006(6):50-54.

[9] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113:893-903.

[10] Chavez P S Jr. Image-based atmospheric corrections: Revisited and revised[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1996, 62(9):1025-1036.

[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.

Xu H Q. Assessment of ecological change in soil loss area using remote sensing technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(7):91-98.

[12] Nichol J. Remote sensing of urban heat islands by day and night [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2005, 71(5):613-621.

[13] 赵跃龙,张玲娟. 脆弱生态环境定量评价方法的研究[J]. 地理科学进展,1998,17(1):67-72.

Zhao Y L, Zhang L J. A study on index and method of quantitative assessment of fragile environment[J]. Progress in Geography, 1998, 17(1):67-72.

[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] Goward S N, Xue Y K, 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(2/3):225-242.

[16] NASA. Landsat7 science data user's handbook[EB/OL]. http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov,2012-09-05.

[17] Janet N. Remote sensing of urban heat islands by day and night[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,2005(5):613-621.

[18] Rikimaru A, Roy P S, Miyatake S. Tropical forest cover density mapping[J]. Tropical Ecology,2002,43(1):39-47.

[19] 徐涵秋,杜丽萍. 遥感建筑用地信息的快速提取[J]. 地理信息科学学报,2010,12(4):574-579.

Xu H Q, Du L P. Fast extraction of build-up land information from remote sensing imagery[J]. Journal of Geo-Information Science,2010,12(4):574-579.

[20] 徐涵秋. 基于压缩数据维的城市建筑用地遥感信息提取[J]. 中国图象图形学报,2005,10(2):223-229.

Xu H Q. Remote sensing information extraction of urban built up land based on a data dimension compression technique[J]. Journal of Image and Graphics,2005,10(2):223-229.

Ecological changes assessment based on remote sensing indices: A case study of Changning City

LUO Chun¹, LIU Hui^{1,2}, QI Luyue³

(1. College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China; 2. Institute of Remote Sensing and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China; 3. Spatial Information Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Using remote sensing methods to assess regional ecological change can achieve a long cycle and immediate results. The authors employed remote sensing eco index (RSEI) method to monitor the erosion of the ecological changes, with Changning City as the study area. 1990, 2002 and 2009 Landsat TM remote sensing images were chosen as data sources, from which 4 ecological factors were extracted, i. e. , green degree, humidity degree, heat degree and dry degree, as indicators of evaluation model. Combined with principal component analysis, the authors quantitatively and objectively assessed regional ecological changes in the past 20 years. The results show that remote sensing Eco Index (RSEI) method seems to be a good method for evaluating the effect of ecological restoration in soil erosion area. It is proved that RSEI eco-index value increased by 22.39%; nevertheless, excellent level of eco-area ratio decreased from 13.086% in 1990 to 4.006% in 2002 and then rose to 16.699% in 2009, which indicates that the ecological quality of this region has been greatly improved after 20 years' soil erosion control. Through the investigation and analysis of Changning City, the authors have found that main prevention measures, such as afforestation and construction, have exerted greater effects on the improvement of the ecological quality.

Key words: ecology; soil erosion; remote sensing ecology index (RSEI); Changning City

第一作者简介: 罗 春(1988-),女,研究生,主要从事土地遥感方面的研究。Email: 234386421@qq.com。
(责任编辑: 李 瑜)