

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 24 期 Vol.33 No.24 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 24 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策 赵其国, 黄国勤, 马艳芹 (7615)
- 《生态学基础》: 对生态学从传统向现代的推进——纪念 E.P. 奥德姆诞辰 100 周年
..... 包庆德, 张秀芬 (7623)
- 食物链长度理论研究进展 张 欢, 何 亮, 张培育, 等 (7630)

个体与基础生态

- 天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择 李 叶, 余玉群, 史 军, 等 (7644)
- 松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用 张 晓, 李秀玲, 李新岗, 等 (7651)
- 菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系 魏宏农, 潘建林, 赵 凯, 等 (7661)
- 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性 黄林芳, 李文涛, 王 珍, 等 (7667)
- 四年 O₃ 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响 吴芳芳, 郑有飞, 吴荣军, 等 (7679)
- 重金属 Cd²⁺ 和 Cu²⁺ 胁迫下泥蚶消化酶活性的变化 陈肖肖, 高业田, 吴洪喜, 等 (7690)

种群、群落和生态系统

- 不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异 郑思宁 (7699)
- 亚热带樟树-马尾松混交林凋落物量及养分动态特征 李忠文, 闫文德, 郑 威, 等 (7707)

景观、区域和全球生态

- 中国陆地生态系统通量观测站点空间代表性 王绍强, 陈蝶聪, 周 蕾, 等 (7715)
- 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系 李海东, 沈渭寿, 蔡博峰, 等 (7729)
- 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应 张庆印, 樊 军 (7739)
- 高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化 蔡晓布, 于宝政, 彭岳林, 等 (7748)
- 芦芽山亚高山草甸、云杉林土壤有机碳、全氮含量的小尺度空间异质性
..... 武小钢, 郭晋平, 田旭平, 等 (7756)
- 湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征 孙伟军, 方 晰, 项文化, 等 (7765)
- 东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响 姜义亮, 郑粉莉, 王 彬, 等 (7774)
- 滇西北高原纳帕海湿地土壤氮矿化特征 解成杰, 郭雪莲, 余磊朝, 等 (7782)
- 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价 杨尚东, 吴 俊, 谭宏伟, 等 (7788)
- 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等 (7798)
- 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 等 (7807)

暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析 袁志良,陈 云,韦博良,等 (7819)

不同生境和去趋势方法下的祁连山柏径向生长对气候的响应..... 张瑞波,袁玉江,魏文寿,等 (7827)

资源与产业生态

大小兴安岭生态资产变化格局..... 马立新,覃雪波,孙 楠,等 (7838)

生态环境移动数据采集系统研究与实现..... 申文明,孙中平,张 雪,等 (7846)

城乡与社会生态

城市遥感生态指数的创建及其应用 徐涵秋 (7853)

研究简报

大明竹属遗传多样性 ISSR 分析及 DNA 指纹图谱研究 黄树军,陈礼光,肖永太,等 (7863)

干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价 卢广超,许建新,薛 立,等 (7872)

基于 ITS2 和 16S rRNA 的西施舌群体遗传差异分析..... 孟学平,申 欣,赵娜娜,等 (7882)

两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制..... 徐军田,王学文,钟志海,等 (7892)

北京山区侧柏林冠层对降雨动力学特征的影响..... 史 宇,余新晓,张建辉,等 (7898)

学术信息与动态

景观生态学研究:传统领域的坚守与新兴领域的探索——2013 厦门景观生态学论坛述评
..... 杨德伟,赵文武,吕一河 (7908)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说:黄土丘陵农牧交错带——黄土丘陵是中国黄土高原的主要地貌形态,由于黄土质地疏松,加之雨季集中,降水强度较大,地表流水冲刷形成很多沟谷,斜坡所占的面积很大。这里千百年来的农牧交错作业,地表植被和生态系统均遭受了严重的破坏。利用高精度影像对小流域景观的研究表明,这里耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201208301223

徐涵秋.城市遥感生态指数的创建及其应用.生态学报, 2013, 33(24): 7853-7862.

Xu H Q. A remote sensing urban ecological index and its application. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7853-7862.

城市遥感生态指数的创建及其应用

徐涵秋^{*}

(福州大学环境与资源学院 福州大学遥感信息工程研究所, 福州 350108)

摘要:城市生态与人类生活息息相关,快速、准确、客观地了解城市生态状况已成为生态领域的一个研究重点。基于遥感技术,提出一个完全基于遥感技术,以自然因子为主的遥感生态指数(RSEI)来对城市的生态状况进行快速监测与评价。该指数利用主成分分析技术集成了植被指数、湿度分量、地表温度和建筑指数等 4 个评价指标,它们分别代表了绿度、湿度、热度和干度等 4 大生态要素。通过在福州主城区的应用表明,RSEI 指数可以定量地评价和对比城市的生态质量,方便地进行时空动态变化分析。由于所选的指标完全基于遥感信息,容易获得,且计算过程无需人工干预,因此结果客观可靠、可比性强。

关键词:城市生态;遥感;RSEI 指数;主成分分析;福州

A remote sensing urban ecological index and its application

XU Hanqiu^{*}

College of Environment and Resources, Fuzhou University; Institute of Remote Sensing Information Engineering, Fuzhou University; Fuzhou 350108, China

Abstract: Urban ecological status is closely related to the quality of human life. Timely, precisely and objectively understanding urban ecological status has become an increasing concern in the world. To meet this requirement, this paper develops a remote sensing based ecological index (RSEI) for the measure of urban ecology. As an index for the assessment of urban ecological status, the RSEI aims to integrate four important ecological indicators which are frequently used in evaluating urban ecology. These are greenness, wetness, dryness, and heat. The four indicators can be represented respectively by four remote sensing indices or components, which are the normalized difference vegetation index (NDVI), normalized difference built-up and soil index (NDBSI), wetness component of the tasseled cap transformation (Wet), and land surface temperature (LST). Instead of a simple addition or weighted addition of the four indicators, the principal component analysis (PCA) was utilized to compress the four indicators into one to construct the index for assessing overall urban ecological status. After careful comparison of the four principal components (PC1 to PC4) derived from the four indicators, the first principal component (PC1) was found to have integrated most of the information of the four indicators. This suggested that the PC1 can more effectively represent the four indicators than any of the other three components, i.e., PC2, PC3 and PC4. Accordingly, the new index, RSEI, was formed using the PC1 derived from the four factors and thus can measure greenness, wetness, dryness and heat of an urban ecosystem. Obviously, the RSEI is entirely based on remote sensing data and mostly on natural ecological factors. The calculation of the index is totally free of artificial interference, such as assigning a threshold value or weight value during the computing procedure. Therefore, the RSEI can assess the urban ecological status more objectively and easily. With the change detection technique, the proposed index can also be used to monitor the change of the ecological status of an urban area between different years. In practice, the index was successfully applied in a multi-temporal ecological status assessment of Fuzhou's urban area in Fujian province,

基金项目:福建省自然科学基金资助项目(2011J01269);福建省教育厅重点资助项目(JK2009004)

收稿日期:2012-08-30; **修订日期:**2013-01-11

*** 通讯作者** Corresponding author. E-mail: hxy@fzu.edu.cn

southeastern China. Results show that Fuzhou has witnessed ecological degradation during the study period from 2001 to 2009. This is indicated by a decline of the RSEI value from 0.579 in 2001 to 0.529 in 2009. The fast expansion of the Fuzhou's urban area was attributed to the ecological degradation in the study duration, which caused the increase in NDBSI and LST and the decrease in NDVI and Wet. This in turn resulted in the decline of the RSEI as the index is the function of the four factors. Nevertheless, a RSEI-based change detection has revealed that the ecological quality of the urban center of Fuzhou was improved in spite of the overall ecological degradation in the urban area during the study years.

Key Words: urban ecology; remote sensing; RSEI; principal component analysis; Fuzhou City

人类的活动已经给全球的生态系统带来了很大的破坏,并引起了广泛的关注。及时地监测多尺度生态系统的变化并发现所存在的问题,已成为保护生态系统的重要手段。当前卫星遥感对地观测系统以其大面积、实时、快速、周期性重复观测的优点,已在生态领域得到广泛的应用,利用各种遥感指数来对森林^[1]、草地^[2]、城市^[3-4]、河流^[5]乃至整个流域^[6]的生态系统进行监测和评价,已经是生态遥感领域的重要组成部分。但是当前的遥感监测技术大多基于单一的指标进行评测,如在城市生态系统中利用植被指数^[4,7]、不透水地表盖度^[8-10]评价城市生态、利用地表温度评测城市热环境^[11-12]等。但这种每个指标单独分割的评价,只能片面地解释某一方面的生态特征。而实际上在整个生态系统中,每个指标的互动综合影响着整个生态系统,它们是无法被单独分割的。近年来,利用温度和植被负相关关系构成的特征空间及其衍生的温度-植被指数来评价生态系统的研究也逐渐增多^[13-14]。但它的应用面有较大的局限性^[6],其参数的确定复杂,有一定的人为性和不确定性。因此,需要一个既简便又能综合多种因素的指标来对生态系统进行快速、综合的测评。有鉴于此,本文以城市生态系统为例,提出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,以期客观、快速地评测城市生态质量。

1 基本原理

在反映生态质量的诸多自然因素中,绿色、湿度、热度、干度可谓是与人类生存息息相关的4个重要指标,也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^[4,7,11,15]。本研究拟建的遥感生态综合指数必须能够体现这4个指标。就遥感技术本身而言,它可以利用专题信息增强技术来从纷杂的遥感影像信息中提取这4个重要指标的信息,如采用植被指数、地表温度、缨帽变换的湿度分量就可以分别代表绿色、热度和湿度。由于建筑物是人工生态系统的重要组成部分,建筑不透水面的大量出现取代了地表原有的自然生态系统,导致了地表的“干化”,而裸土也是地表“干化”的原因之一,因此可用建筑和裸土指数来代表“干度”。这样,拟建的遥感生态指数(RSEI)就可以表示为这4个指标的函数,即:

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

其遥感定义为:

$$RSEI=f(VI, Wet, LST, NDBSI) \quad (2)$$

式中,G为绿色,W为湿度,T为热度,D为干度,VI为植被指数,Wet为湿度分量,LST为地表温度,NDBSI为建筑和裸土指数。

1.1 指标的构建

以 Landsat-7 ETM+遥感影像为例,分别说明4个指标的构建及其公式。

(1) 湿度指标 缨帽变换是一种有效的数据压缩和去冗余技术,其亮度、绿色、湿度分量与地表物理参量有直接的关系^[16-17],因此已被广泛地应用于生态监测中^[18]。由于其中的湿度分量与植被和土壤的湿度紧密相关,因此本研究的湿度指标以湿度分量 Wet 来代表,其表达式为^[17]:

$$Wet = 0.2626 \rho_1 + 0.2141 \rho_2 + 0.0926 \rho_3 + 0.0656 \rho_4 - 0.7629 \rho_5 - 0.5388 \rho_7 \quad (3)$$

式中, $\rho_i (i = 1, \dots, 5, 7)$ 分别为 ETM+影像各对应波段的反射率。

(2) 绿色指标 归一化差值植被指数(NDVI)无疑是应用最广泛的植被指数,它与植物生物量、叶面积指

数以及植被覆盖度都有密切的关系^[13]。因此,选用 NDVI 来代表绿色指标,公式为:

$$NDVI = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3) \quad (4)$$

(3) 热度指标 代表热度指标的地表温度可采用 Landsat 用户手册的模型^[19]以及 Chander 等最新修订的定标参数^[20]进行计算:

$$L_6 = gain \times DN + bias \quad (5)$$

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L_6 + 1) \quad (6)$$

式中, L_6 为 ETM+热红外 6 波段的象元在传感器处的辐射值; DN 为象元灰度值, $gain$ 和 $bias$ 分别为 6 波段的增益值与偏置值, 可以从影像的头文件获得; T 为传感器处温度值; K_1 和 K_2 分别为定标参数: $K_1 = 606.09 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2 = 1282.71 \text{ K}$ 。

经过公式(6)计算的温度 T 必须进行比辐射率纠正^[11]才能成为地表温度 LST:

$$LST = T / [1 + (\lambda T / \rho) \ln \varepsilon] \quad (7)$$

式中, λ 为 ETM+ 6 波段的中心波长 ($\lambda = 11.45 \mu\text{m}$); $\rho = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m K}$; ε 为地表比辐射率, 其取值见参考文献^[11]。

(4) 干度指标 代表干度指标的建筑指数选择的是 IBI 建筑指数^[21], 但在区域环境中, 还有相当一部分的裸土, 它们同样造成地表的“干化”, 因此干度指标 (NDBSI) 可由二者合成, 即由建筑指数 IBI 和土壤指数 SI^[22]合成:

$$NDBSI = (IBI + SI) / 2 \quad (8)$$

其中,

$$IBI = \{ 2\rho_5 / (\rho_5 + \rho_4) - [(\rho_4 / (\rho_4 + \rho_3) + \rho_2 / (\rho_2 + \rho_5))] \} / \{ 2\rho_5 / (\rho_5 + \rho_4) + [(\rho_4 / (\rho_4 + \rho_3) + \rho_2 / (\rho_2 + \rho_5))] \} \quad (9)$$

$$SI = [(\rho_5 + \rho_3) - (\rho_4 + \rho_1)] / [(\rho_5 + \rho_3) + (\rho_4 + \rho_1)] \quad (10)$$

1.2 综合指数的构建

拟建的生态指数应既能以单一指标的形式出现, 又可以综合以上 4 个指标的信息。因此如何以单一变量代表以上多个变量, 是本研究的关键。一种常用的方法是简单地将各个指标相加^[23], 或将指标分组求均值再相加^[24], 或分别乘上各自的权重后再相加^[1, 4, 25]。但是, 指标之间的相关性以及权重的人为确定, 都会影响这种方法的结果。当前, 多元统计方法中的主成份分析 (PCA) 是一种将多个变量通过线性变换来选出少数重要变量的多维数据压缩技术。它采取依次垂直旋转坐标轴的方法将多维的信息集中到少数几个特征分量, 每个特征分量往往代表一定的特征信息。因此, 本研究拟采用主成分变换来构建遥感综合生态指数。通过对特征光谱空间坐标轴的旋转来去掉各指标间的相关性, 把主要的信息集中到前面的 1—2 个主成分上。采用主成分分析的另一优点就是各指标的权重不是人为确定, 而是根据各个指标对各主分量的贡献度来自动、客观地确定, 从而在计算时, 可以避免因人而异、因方法而异的权重设定造成的结果偏差。

表 1 是福州研究区 3 个年份 4 个指标的主成分分析。从表中可以看出第一主成分 (PC1) 具有以下特征: (1) 在 3 个年份中, PC1 的特征值所占的比例都已大于 85%, 表明已集中了 4 个指标的大部分特征; (2) 4 个指标对 PC1 中都有一定的贡献度 (荷载), 而不会像在其它特征分量 (PC2—PC4) 中会出现忽大忽小的现象, 从而丢失某些指标; (3) 在 PC1 中, 代表绿度的 NDVI 和代表湿度的 Wet 指标呈正值, 说明它们对生态系统起正面的贡献, 而代表热度和干度的 LST、NDBSI 则呈负值, 说明它们对生态系统起着负面的影响, 这与实际情况相符。而在其它特征分量中, 这些指标忽正忽负, 难以解释。因此, 较之于其它几个分量, PC1 有明显的优势, 它能够很好地集成每个指标的信息, 合理地进行解释, 因此, 可用于创建综合生态指数。

表 1 指标主成分分析

Table 1 Principal component analysis of four factors

	2001				2003				2009			
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4
湿度 Wet	0.303	0.723	0.179	0.650	0.331	-0.268	-0.889	0.319	0.313	-0.207	-0.829	-0.495
植被指数 NDVI	0.677	-0.556	0.135	0.415	0.612	-0.266	0.431	0.608	0.605	-0.382	0.503	-0.485
建筑-裸土指数 NDBSI	-0.577	-0.354	-0.376	0.632	-0.555	0.409	0.017	0.724	-0.505	0.443	0.225	-0.720
地表温度 LST	-0.478	-0.208	0.899	0.072	-0.531	-0.831	0.157	0.059	-0.611	-0.784	0.100	-0.040
特征值 Eigenvalue	0.058	0.005	0.004	0.001	0.058	0.006	0.003	0.001	0.058	0.004	0.003	0.001
特征值贡献率 Percent eigenvalue/%	85.29	7.35	5.88	1.47	85.29	8.82	4.41	1.47	87.88	6.06	4.55	1.52

必须注意的是,由于公式(2)~(8)计算的4个指标的量纲不统一,如果直接用其计算PCA,会导致各指标的权重失衡,因此在做主成分变换前,必须先对这些指标进行正规化,将它们的量纲统一到[0, 1]之间,然后再计算PCA(表1)。各指标的正规化公式为:

$$NI_i = (I_i - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min}) \quad (11)$$

式中, NI_i 为正规化后的某一指标值, I_i 为该指标在象元*i*的值, $I_{\max}$ 为该指标的最大值, $I_{\min}$ 为该指标的最小值。

经过正规化后的4个指标就可以用于计算PC1。为使PC1大的数值代表好的生态条件,可进一步用1减去PC1,获得初始的生态指数RSEI₀:

$$RSEI_0 = 1 - \{PC1 [f(NDVI, Wet, LST, NDBSI)]\} \quad (12)$$

为了便于指标的度量和比较,可同样对RSEI₀进行正规化:

$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI_{0_{\min}}) / (RSEI_{0_{\max}} - RSEI_{0_{\min}}) \quad (13)$$

RSEI即为所建的遥感生态指数,其值介于[0, 1]之间。RSEI值越接近1,生态越好,反之,生态越差。

2 研究区和影像处理

以福州主城区为研究区,选取2001-05-23、2003-05-29和2009-06-06的3幅Landsat影像进行实验。影像晴空无云,质量完好。影像的时相基本相同,最多相差不到半个月,因此,植被具有相近的生长状态,保证了实验结果的可比性。2001和2003年的影像为ETM+影像,2009年的影像为TM影像。

首先对3幅影像进行辐射校正、几何校正和配准,然后从中切出福州主城区作为研究区,面积约为252 km²(图1)。辐射校正采用Chander等^[20]和Chavez^[26]的模型和参数将原始影像的灰度值转换为传感器处反射率,以减少不同年份的影像在地形、光照和大气等方面的差异;不同时相影像之间的配准采用二次多项式和最邻近象元法,配准的均方根误差小于0.5个象元。

利用以上公式(2)~(8)分别求出各影像的4个指标,然后对它们进行正规化,并将它们合成为一幅新影像;由于研究区有闽江横贯而过,为使湿度指标能够真正代表地面的湿度条件,避免大片的水域影响PCA的荷载分布,采用MNDWI水体指数^[27]掩膜掉水体信息,然后采用公式(12~13)对新的影像进行PC1变换、正负值转置、正规化,最后获得各时相的遥感生态指数RSEI影像(图1)。

必须指出的是RSEI指数虽然可以方便地通过遥感软件来计算,但其处理必须严格按照遥感影像处理规范进行,即:(1)必须做大气校正,这对不同时相影像之间的RSEI对比尤为重要;(2)必须将原始影像的DN值转换为反射率,这对不同类别影像之间的RSEI对比(如TM和ETM+的对比)尤为重要;不提倡用原始DN值来计算;(3)进行缨帽变换的湿度计算时,要选对公式,不能用TM的公式来计算ETM+的湿度,不能将基于DN值的公式来计算基于反射率的数据,反之亦同。

3 结果和讨论

3.1 RSEI指数的代表性

表2是各年份4个指标和遥感生态指数RSEI的统计值。统计结果表明,2001—2009年间,研究区的生态指数RSEI呈逐渐下降的趋势,从2001年的0.579,下降到2009年的0.529,总体下降了约9.5%。已有研究

表明,福州城区在改革开放以来快速扩展^[28],并给生态环境造成了一定的影响^[29-30],其最典型的表现就是福州多次登上了媒体评出的“新三大火炉城市”的榜首。从图 1 也可以大致看出,从 2001 年至 2009 年,福州主城区沿西南部和北部快速扩展,破坏了原有的绿被,生态状况有一定的退化。

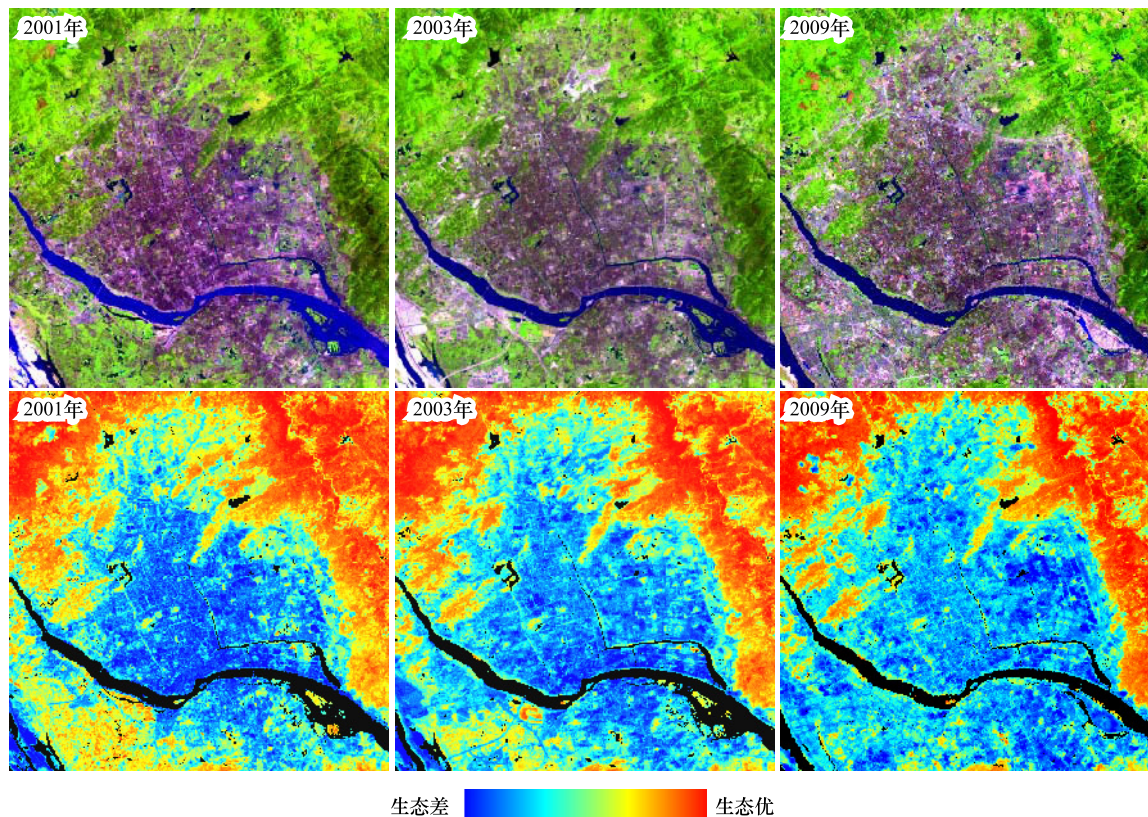


图 1 福州主城区遥感影像(上, RGB: 543 合成)和 RSEI 遥感生态指数影像(下,图中黑色部分为掩膜的水体)

Fig.1 Images of Fuzhou's urban area (upper, RGB: 543) and the corresponding RSEI images (lower, black tone represents water area)

表 2 各年份 4 个指标和遥感生态指数 RSEI 的统计值

Table 2 Statistics of four indicators and RSEI

	2001					2003					2009				
	湿度 Wet	植被 指数 NDVI	建筑裸 土指数 NDBSI	地表 温度 LST	遥感生 态指数 RSEI	湿度 Wet	植被 指数 NDVI	建筑裸 土指数 NDBSI	地表 温度 LST	遥感生 态指数 RSEI	湿度 Wet	植被 指数 NDVI	建筑裸 土指数 NDBSI	地表 温度 LST	遥感生 态指数 RSEI
最小值 Minimum	-0.053	-0.494	-0.555	17.952	0.000	-0.016	-0.917	-1.000	17.557	0.000	-0.254	-0.852	-0.714	19.600	0.000
最大值 Maximum	0.232	0.872	0.531	35.508	1.000	0.298	0.980	0.663	33.326	1.000	0.298	0.947	0.778	36.900	1.000
均值 Mean	-0.116	0.392	-0.033	23.396	0.579	-0.247	0.371	0.024	23.661	0.553	-0.371	0.313	0.185	26.250	0.529
标准差 Std Dev	0.133	0.283	0.132	2.034	0.215	0.156	0.356	0.156	2.310	0.227	0.193	0.304	0.141	2.743	0.219

从表 2 中的各指标变化情况来看,对生态有利的绿色(NDVI)和湿度(Wet)指标的均值在研究期间都表现为逐次下降,而代表生态条件差的热度(LST)和干度(NDBSI)指标的均值则逐渐上升。由于温度的日间变化性大,基于每日绝对温度值之间的 LST 对比可能不可靠,因此,只有将其正规化,才能进行比较^[3,9]。经正规化后的 2001、2003、2009 年的 LST 均值分别为:0.328、0.333、0.406,同样说明了代表热度的 LST 呈逐渐上升的趋势。以上 4 个指标的各自表现都说明了研究区的生态质量呈下降趋势,因此,所建的 RSEI 生态指数得到的结果与 4 个指标各自表述的结果吻合,可以综合代表 4 个指标。如果是靠各指标的单独评判,就无法顾及及各指标之间的互动,无法做到多指标的综合评判。而采用新建的综合指标不仅可以把原本分隔的各个指标集成起来,综合地考察城市生态质量,且可以定量地刻画生态质量的变化程度,因此比单个指标的分析更具有

优势。

为了更好地分析新建 RSEI 生态指数的代表性,进一步将各年份的生态指数以 0.2 为间隔分成 5 级,分别代表差、较差、中等、良、优 5 个等级(表 3)。通过考察各生态条件等级间 4 个指标的变化趋势,来考察 RSEI 的合理性。

表 3 各生态级别及其对应的正规化指标均值

Table 3 Leveled RSEI and the means of the corresponding level of the four factors

RSEI 级 Level	2001				2003				2009			
	湿度 Wet	植被 指数 NDVI	建筑裸 土指数 NDBSI	地表 温度 LST	湿度 Wet	植被 指数 NDVI	建筑裸 土指数 NDBSI	地表 温度 LST	湿度 Wet	植被 指数 NDVI	建筑裸 土指数 NDBSI	地表 温度 LST
1: (0.0—0.2)	0.588	0.420	0.663	0.530	0.617	0.430	0.648	0.612	0.587	0.401	0.693	0.707
2: (0.2—0.4)	0.696	0.467	0.565	0.420	0.675	0.551	0.576	0.463	0.635	0.455	0.604	0.508
3: (0.4—0.6)	0.732	0.609	0.460	0.354	0.705	0.665	0.461	0.365	0.722	0.605	0.513	0.400
4: (0.6—0.8)	0.762	0.779	0.312	0.270	0.747	0.808	0.340	0.249	0.758	0.757	0.398	0.285
5: (0.8—1.0)	0.782	0.905	0.223	0.185	0.786	0.916	0.248	0.157	0.778	0.890	0.292	0.185

从表 3 可以看出,在所研究的 3 个年份中,各个指标的均值都随着生态级别的变化而有规律的变化,即 NDVI 和 Wet 的均值皆表现为随着生态级别的升高而升高,而 LST 和 NDBSI 的均值则无一例外地表现出随着生态级别的升高而降低,并没有出现生态级别升高,而 NDVI、Wet 却下降,或 LST、NDBSI 上升的异常现象,这进一步说明所建的生态指数确实能够综合代表生态条件的变化情况。

新建的生态指数的综合代表性还可以从它和各指标之间的相关性来分析。表 4 是各指标和新建生态指数的相关系数以及各指标自身之间的相关系数。就单指标而言,各指标相互之间的平均相关度最高的为 NDBSI,在 2009 年达到 0.808,3 个年份平均为 0.802。而新建生态指数与这 4 个指标的各年份平均相关系数都大于 0.85,3 个年份的平均值达 0.864,比单指标最高的 NDBSI 的 0.802 高出了 7.7%,比 4 个指标的平均值(0.709),高出了 21.9%。显然,新建的生态指数除了集成了各指标的信息外,还比任一单指标更具代表性,能比任一单指标更好地综合代表城市生态状况。

表 4 各指标和 RSEI 指数的相关性统计表

Table 4 Correlation matrix of RSEI and four factors

	2001					2003					2009				
	湿度 Wet	植被 指数 NDVI	建筑裸 土指数 NDBSI	地表 温度 LST	遥感生 态指数 RSEI	湿度 Wet	植被 指数 NDVI	建筑裸 土指数 NDBSI	地表 温度 LST	遥感生 态指数 RSEI	湿度 Wet	植被 指数 NDVI	建筑裸 土指数 NDBSI	地表 温度 LST	遥感生 态指数 RSEI
Wet	1	0.467	-0.690	-0.528	0.601	1	0.578	-0.683	-0.490	0.651	1	0.502	-0.675	-0.528	0.606
NDVI	0.467	1	-0.919	-0.803	0.978	0.578	1	-0.952	-0.796	0.973	0.502	1	-0.925	-0.846	0.967
NDBSI	-0.690	-0.919	1	0.793	-0.971	-0.683	-0.952	1	0.759	-0.964	-0.675	-0.925	1	0.823	-0.954
LST	-0.528	-0.803	0.793	1	-0.868	-0.490	-0.796	0.759	1	-0.892	-0.528	-0.846	0.823	1	-0.939
平均相关度 mean *	0.562	0.730	0.801	0.708	0.855	0.584	0.775	0.798	0.682	0.870	0.568	0.758	0.808	0.732	0.867
3a 平均值 Mean of 3 years	Wet = 0.571, NDVI = 0.754, NDBSI = 0.802, LST = 0.707, RSEI = 0.864														

* 平均相关度是以某一指标与其它指标相关系数的绝对值来计算,以 2001 年 Wet 为例: $\text{Mean}_{\text{wet},2001} = (|0.467| + |-0.690| + |-0.528|)/3 = 0.562$

3.2 RSEI 指数的变化检测应用

在以上 5 个生态指数分级的基础上,可对研究区各年份生态指数影像进行分级面积统计(图 2)和差值变化检测(图 3,表 5),以对不同年份的生态状况进行时空变化分析。

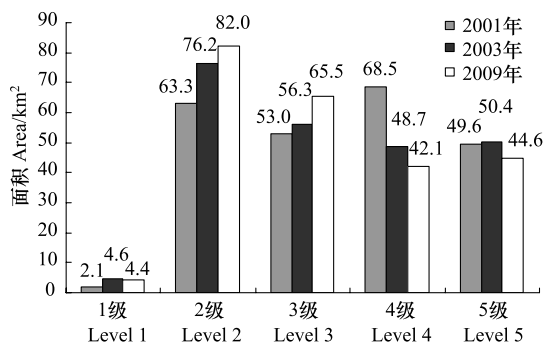


图2 2001—2009年各级生态指数面积的变化

Fig.2 The area change of each RSEI level from 2001 to 2009

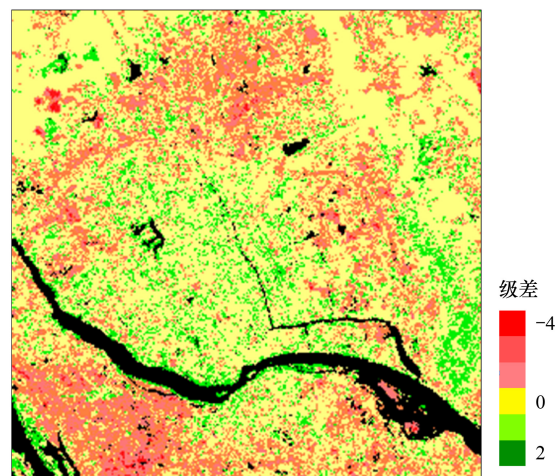


图3 福州主城区2001—2009年RSEI变化检测图

Fig.3 Chang map of Fuzhou's urban area between 2001 and 2009

从时间来看,从2001年到2009年,生态级别为差—中级(1—3级)所占的面积上升了28.5%,而优、良等级(4—5级)所占的面积则下降了26.5%(图2),说明研究区生态质量出现下降。从变化检测的结果来看(表5),2001—2009年间,生态条件变差的面积达69.32 km²,约占研究区面积的28%,而生态转好的面积为25.96 km²,仅占10%。从空间上看,生态条件变差的地点主要分布在城区的西南边和北边(图3中的橙、红色图斑),而生态条件变好的地点主要分布在城市中心(图3中的蓝、青色图斑)。说明,城市在向周边扩展,造成生态退化的同时,其中心部分的老城区经过不断改造,生态却在改善^[31-32]。

表5 变化检测

Table 5 Change detection

类别 Class	级差 Level	级面积 Level area/km ²	类面积 Class area/km ²
变差 Degraded	-4	0.04	69.32
	-3	1.17	
	-2	13.27	
	-1	54.84	
不变 No change	0	138.69	138.69
变好 Improved	1	25.19	25.96
	2	0.77	

3.3 RSEI 的建模与预测

为了进一步定量刻画城市生态条件,可建立城市生态模型,用于模拟和预测城市生态变化趋势。首先对各年份的NDVI、Wet、LST、NDBSI、RSEI专题影像进行采样,然后以生态指数RSEI为因变量,以NDVI、Wet、LST、NDBSI为自变量进行逐步回归分析,建立它们的关系模型。采用3×3网格贯穿全影像的采样方法,每幅影像采集30000个样点。足够多的样点和贯穿全影像的采样方法可以避免少量样点和局域性地抽样所带来的结果不确定性。以下为研究区3个年份的回归模型(模型都通过了1%的显著性检验):

$$2001 \text{ 年 } RSEI = 0.136 \text{ Wet} + 0.634 \text{ NDVI} - 0.517 \text{ NDBSI} - 0.339 \text{ LST} + 0.414 \quad (R^2 = 0.919)$$

$$2003 \text{ 年 } RSEI = 0.181 \text{ Wet} + 0.579 \text{ NDVI} - 0.524 \text{ NDBSI} - 0.502 \text{ LST} + 0.406 \quad (R^2 = 0.933)$$

$$2009 \text{ 年 } RSEI = 0.133 \text{ Wet} + 0.578 \text{ NDVI} - 0.443 \text{ NDBSI} - 0.532 \text{ LST} + 0.470 \quad (R^2 = 0.989)$$

从所获得的模型可以看出,4个指标在3个年份的逐步回归中都被保留下来,没有一个被剔除,说明所选的4个指标都是城市生态的关键指标。从各指标回归系数的绝对值来看(表6),4个指标对生态指数贡献度

最大的是 NDVI, 然后依次为 NDBSI、LST 和 Wet。其中 NDVI 和 Wet 的系数为正值, 说明对生态起正面影响, 而 LST 和 NDBSI 为负值, 说明对生态起负面作用。这与表 1 中 4 个指标对第一主成分 PC1 的贡献情况相吻合。进一步分析回归模型的系数变化可以看出, 虽然 NDVI 具有最大的正面影响力, 但由于 Wet 的影响力较弱, 所以对生态起正面影响的 NDVI 和 Wet 的综合影响力不及起负面影响的 NDBSI 和 LST。对生态起负面影响的 NDBSI 和 LST 的系数的绝对值之和要大于起正面影响的 NDVI 与 Wet 的系数之和, 其 3 年平均差距可达 27.77%, 且表现出随着生态质量的下降而增大的趋势(表 6)。

表 6 回归模型系数比较

Table 6 Coefficient comparison of regression models

年份 Year	湿度 Wet	植被指数 NDVI	建筑裸土指数 NDBSI	地表温度 LST	差距 Difference *	
2001	0.136	0.634	-0.517	-0.339	0.086	11.17%
2003	0.181	0.579	-0.524	-0.502	0.266	35.00%
2009	0.133	0.578	-0.443	-0.532	0.264	37.13%
均值 Mean	0.150	0.597	-0.495	-0.458	0.205	27.77%

* 差距值 = $(|NDBSI| + |LST|) - (Wet + NDVI)$; 差距比例 = $[(|NDBSI| + |LST|) / (Wet + NDVI) - 1] \times 100$

图 4 是从各指标的散点在 3 维特征空间的分布情况来考察它们与 RSEI 指数的关系。左图是对生态起正面影响的 NDVI、Wet 与 RSEI 的 3 维投影图; 右图是对生态起负面影响的 NDBSI、LST 与 RSEI 的投影图。散点群的顶端为代表生态条件好的散点的集聚区, 主要为高覆盖植被区; 散点群的底端则为生态条件差的散点的集聚区, 代表高密度建筑区。从图中可以看出, 对生态起负面影响的 NDBSI、LST 与 RSEI 的投影散点的斜度要大于起正面影响的 NDVI 和 Wet, 这表明 NDBSI 和 LST 的综合作用会导致生态条件急剧下降, 其对生态所起的负面影响超过了起正面影响的 NDVI 和 Wet 之和, 从而也证实了上述基于回归模型系数分析得出的结论。

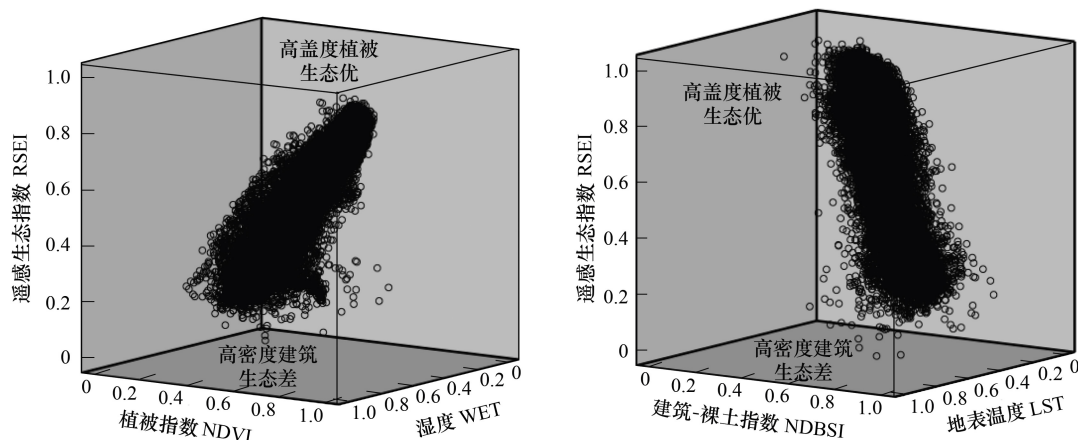


图 4 三维散点特征图

Fig.4 3D-scatterplots of feature space

综合来看, 以 NDVI 为代表的植被和以 NDBSI 为代表的建筑用地对城市生态的影响力最大, 且 NDVI 大于 NDBSI。以最新的 2009 年模型预测, 未来只要每增加 0.173 单位的 NDVI 或减少 0.226 单位的 NDBSI, 就能使研究区的 RSEI 提升 0.1 单位, 生态质量得以提高。但是, 不可忽视的是, 代表热度的 LST 的负面影响在 2009 年已经凸现出来。无论是从 2009 年回归模型的系数或对 PC1 的贡献度都可以看出, LST 在 2009 年的影响已超过了 NDBSI。这也说明了福州市为什么自 2007 年以来会相继被媒体称为“火炉城市”的原因。由于 NDBSI 所代表的建筑不透水面对城市地表温度具有正相关关系^[8,12], 且与植被具有互为消长的关系, 因此, 控制建筑不透水面的比例对福州城市生态质量的改善至关重要。

4 结论

绿度、湿度、热度和干度是城市生态系统的重要组成部分,在此基础上建立的遥感生态指数 RSEI 可以很好地集成它们的信息,综合反映、定量刻画城市生态质量及其变化。在这 4 个指标中,代表绿度的 NDVI 对生态指数 RSEI 的贡献最大,说明植被是城市生态系统最重要的影响因素,但是不可忽视的是,代表热度和干度的 LST 和 NDBSI 的综合作用可以抵消植被的影响。

所建立的 RSEI 生态指数完全基于遥感信息技术,以自然因素指标为主,指标容易获得,且计算简便,没有任何人为的权重、阈值的设定,为城市生态质量的监测和评价提供了一种客观、快速、简便的技术。基于该指数评测结果显示,福州主城区 2001—2009 年间的生态质量有一定程度的下降。

RSEI 主要应用于陆地为主的地区,不适宜大面积的水域地区(如海洋)。因为缨帽变换的湿度分量(wet)主要和植被和土壤的湿度有关。如果研究区中有大片水域,会使得水的比重加大,所计算的 wet 不能真正反映植被和土壤的湿度。在这种情况下,必须掩膜掉大片的水体。

References:

- [1] Ochoa-Gaona S, Kampichler C, de Jong B H J, Hernández S, Geissen V, Huerta E. A multi-criterion index for the evaluation of local tropical forest conditions in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 2010, 260(5): 618-627.
- [2] Sullivan C A, Skeffington M S, Gormally M J, Finn J A. The ecological status of grasslands on lowland farmlands in western Ireland and implications for grassland classification and nature value assessment. *Biological Conservation*, 2010, 143(6): 1529-1539.
- [3] Xu H Q, Ding F, Wen X L. Urban expansion and heat island dynamics in the Quanzhou region, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2009, 2(2): 74-79.
- [4] Gupta K, Kumar P, Pathan S K, Sharma K P. Urban Neighborhood Green Index-A measure of green spaces in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 105(3): 325-335.
- [5] Ivits E, Cherlet M, Mehl W, Sommer S. Estimating the ecological status and change of riparian zones in Andalusia assessed by multi-temporal AVHRR datasets. *Ecological Indicators*, 2009, 9(3): 422-431.
- [6] Moran M S, Peters-Lidard C D, Watts J M, McElroy S. Estimating soil moisture at the watershed scale with satellite-based radar and land surface models. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2004, 30(5): 805-826.
- [7] Yuan F, Bauer M E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 106(3): 375-386.
- [8] Xu H Q. Analysis of impervious surface and its impact on urban heat environment using the normalized difference impervious surface Index (NDISI). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2010, 76(5): 557-565.
- [9] Carlson T N, Arthur S T. The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and Planetary Change*, 2000, 25(1/2): 49-65.
- [10] Zhang Y S, Odeh I O A, Han C F. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDSI, using a sub-pixel image analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2009, 11(4): 256-264.
- [11] Nichol J. Remote sensing of urban heat islands by day and night. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2005, 71(6): 613-621.
- [12] Imhoff M L, Zhang P, Wolfe R E, Bounoua L. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(3): 504-513.
- [13] 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. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79(2/3): 225-242.
- [14] Feng H H, Liu H P, Zhu S D, Bai M. Influence analysis of urbanization on land surface temperature in Dongguan city. *Geography and Geo-Information Science*, 2010, 26(3): 87-90.
- [15] Zhao Y L, Zhang L J. Study on method of quantitative assessment of fragile environment. *Scientia Geographica Sinica*, 1998, 18(1): 73-79.
- [16] Crist E P. A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data. *Remote Sensing of Environment*, 1985, 17(3): 301-306.
- [17] Huang C, Wylie B, Yang L, Homer C, Zylstra G. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(8): 1741-1748.
- [18] Todd S W, Hoffer R M. Responses of spectral indices to variations in vegetation cover and soil background. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1998, 64(9): 915-921.

- [19] NASA. Landsat 7 Science Data Users Handbook [2012-08-05]. <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>.
- [20] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(5): 893-903.
- [21] Xu H Q. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(14): 4269-4276.
- [22] Rikimaru A, Roy P S, Miyatake S. Tropical forest cover density mapping. *Tropical Ecology*, 2002, 43(1): 39-47.
- [23] Kearney M S, Rogers A S, Townshend J R G. Developing a model for determining coastal marsh "health" // Third Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments. Seattle, Washington, 1995: 527-537.
- [24] Wang Z H, Ma H Z, Zhou D J, Sha Z J. Integrated evaluation of eco-environment based on RS/GIS: a case study of the South-to-north Water Transfer Project in Yalongjiang River. *Journal of Salt Lake Research*, 2007, 15(1): 1-4.
- [25] Williams M, Longstaff B, Buchanan C, Llansó R, Dennison W. Development and evaluation of a spatially-explicit index of Chesapeake Bay health. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 59(1/3): 14-25.
- [26] Reza M I H, Abdullah S A. Regional Index of Ecological Integrity: a need for sustainable management of natural resources. *Ecological Indicators*, 2011, 11(2): 220-229.
- [27] Chavez P S Jr. Image-based atmospheric corrections-Revisited and revised. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1996, 62(9): 1025-1036.
- [28] Xu H Q. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(14): 3025-3033.
- [29] Xu H Q. Urban expansion process in the center of the Fuzhou Basin, Southeast China in 1976—2006. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(3): 351-357.
- [30] Liu Q L, Chen Y F. An assessment of the urban eco-environment quality in Fuzhou city. *Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition*, 2006, 22(1): 112-116.
- [31] Xu H Q. Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(14): 3890-3901.
- [32] Tang F, Xu H Q. The relationship between urban reconstruction and urban heat island effect based on remote sensing technology: Cangxia District of Fuzhou city, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(10): 1228-1234.

参考文献:

- [14] 冯微微, 刘慧平, 朱寿东, 白穆. 城市扩张对东莞市陆表温度的影响分析. *地理与地理信息科学*, 2010, 26(3): 87-90.
- [15] 赵跃龙, 张玲娟. 脆弱生态环境定量评价方法的研究. *地理科学*, 1998, 18(1): 73-79.
- [24] 王振华, 马海州, 周笃珩, 沙占江. Rs 和 Gis 支持下的自然生态环境评价——以南水北调雅砻江工程区为例. *盐湖研究*, 2007, 15(1): 1-4.
- [29] 徐涵秋. 近 30a 来福州盆地中心的城市扩展进程. *地理科学*, 2011, 31(3): 351-357.
- [30] 刘清丽, 陈友飞. 福州城市生态环境质量评价及问题分析. *福建师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 22(1): 112-116.
- [31] 徐涵秋. 基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析. *生态学报*, 2011, 31(14): 3890-3901.
- [32] 唐菲, 徐涵秋. 旧城改造与城市热岛效应关系的遥感研究——以福州市苍霞片区为例. *地理科学*, 2011, 31(10): 1228-1234.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.24 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures ZHAO Qiguo, HUANG Guoqin, MA Yanqin (7615)
- Fundamentals of Ecology: promoting ecology from tradition to modern: To Commemorate The 100th Anniversary of E. P. Odum's Birthday BAO Qingde, ZHANG Xiufen (7623)
- Food chain length theory: a review ZHANG Huan, HE Liang, ZHANG Peiyu, et al (7630)

Autecology & Fundamentals

- Foraging and bed site selection of Tianshan argali (*Ovis ammon karelini*) in Central Tianshan Mountains in Summer LI Ye, YU Yuqun, SHI Jun, et al (7644)
- Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis* ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang, et al (7651)
- Response of periphyton to nutrient level and relationships between periphyton and decay degree of *Potamogeton crispus* WEI Hongnong, PAN Jianlin, ZHAO Kai, et al (7661)
- Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant HUANG Linfang, LI Wentao, WANG Zhen, et al (7667)
- Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O₃ WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (7679)
- Changes of digestive enzyme activity of *Tegillarca granosa* exposed to cadmium and copper CHEN Xiaoxiao, GAO Yetian, WU Hongxi, et al (7690)

Population, Community and Ecosystem

- Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats ZHENG Sining (7699)
- Litter fall production and nutrient dynamic of *Cinnamomum camphora* and *Pinus massoniana* mixed forests in subtropics China LI Zhongwen, YAN Wende, ZHENG Wei, et al (7707)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Assessing the spatial representativeness of eddy covariance flux observation stations of terrestrial ecosystems in China WANG Shaoqiang, CHEN Diecong, ZHOU Lei, et al (7715)
- The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China LI Haidong, SHEN Weishou, CAI Bofeng, et al (7729)
- Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone ZHANG Qingyin, FAN Jun (7739)
- The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe CAI Xiaobu, YU Baozheng, PENG Yuelin, et al (7748)
- Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain WU Xiaogang, GUO Jinping, TIAN Xuping, et al (7756)
- Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in Central Hunan, China SUN Weijun, FANG Xi, XIANG Wenhua, et al (7765)
- The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China JIANG Yiliang, ZHENG Fenli, WANG Bin, et al (7774)
- Net nitrogen mineralization in soils of Napahai wetland in Northwest Yunnan XIE Chengjie, GUO Xuelian, YU Leichao, et al (7782)

- Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation YANG Shangdong, WU Jun, TAN Hongwei, et al (7788)
- The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010 YUAN Lihua, JIANG Weiguo, SHEN Wenming, et al (7798)
- Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al (7807)
- Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone YUAN Zhiliang, CHEN Yun, WEI Boliang, et al (7819)
- Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province ZHANG Ruibo, YUAN Yujiang, WEI Wenshou, et al (7827)
- Resource and Industrial Ecology**
- The pattern of ecological capital in Daxiaoxinganling, Heilongjiang Province, China MA Lixin, QIN Xuebo, SUN Nan, et al (7838)
- Research and implementation of mobile data collection system for field survey of ecological environment SHEN Wenming, SUN Zhongping, ZHANG Xue, et al (7846)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- A remote sensing urban ecological index and its application XU Hanqiu (7853)
- Research Notes**
- Genetic diversity and DNA fingerprint of *Pleioblastus* by ISSR HUANG Shujun, CHEN Liguang, XIAO Yongtai, et al (7863)
- Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, et al (7872)
- Stock difference of *Coelomactra antiquata* based on nuclear (ITS2) and mitochondrial (16S rRNA) DNA sequence and secondary structure MENG Xueping, SHEN Xin, ZHAO Nana, et al (7882)
- The mechanism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two *Ulva* species XU Juntian, WANG Xuwen, ZHONG Zhihai, et al (7892)
- Research on changes of dynamic characteristics of rainfall though *Platycladus Orientalis* plantation canopy in Beijing Mountain Area SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jianhui, et al (7898)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 丁 平

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 24 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 24 (December, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元