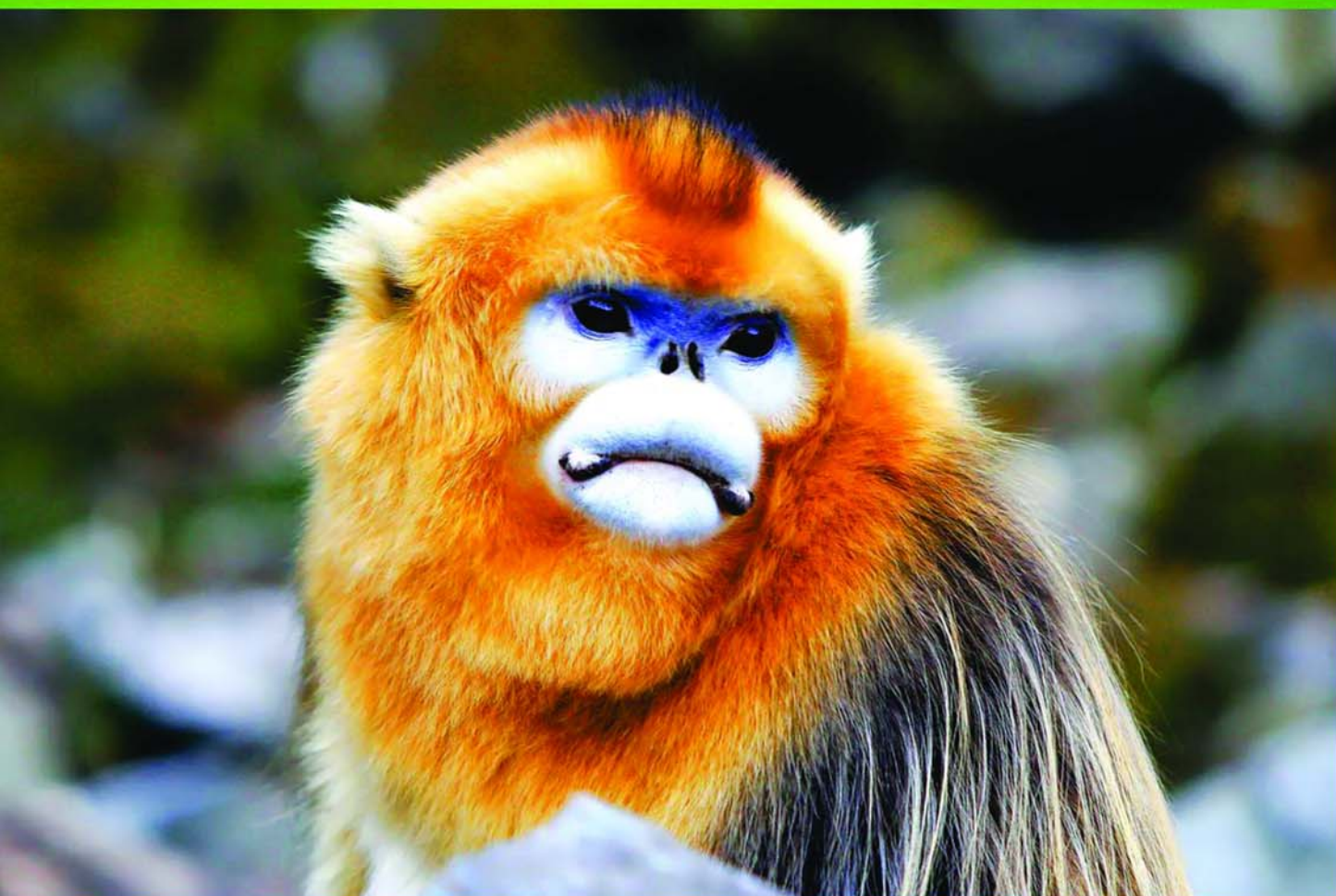


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

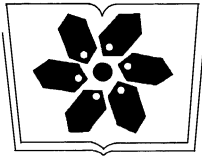
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第2期 Vol.32 No.2 **2012**

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 32 卷 第 2 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势	王雪辉,邱永松,杜飞雁,等 (333)
中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异	丁晶晶,刘定震,李春旺,等 (343)
粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较	王国红,刘 勇,戈 峰,等 (351)
君主绢蝶的生物学及生境需求	方健惠,骆有庆,牛 犇,等 (361)
西南大西洋阿根廷滑柔鱼生物学年间比较	方 舟,陆化杰,陈新军,等 (371)
城市溪流中径流式低坝对底栖动物群落结构的影响	韩鸣花,海燕,周 斌,等 (380)
沉积再悬浮颗粒物对马氏珠母贝摄食生理影响的室内模拟	栗志民,申玉春,余南涛,等 (386)
太平洋中西部海域浮游植物营养盐的潜在限制	徐燕青,陈建芳,高生泉,等 (394)
几株赤潮甲藻的摄食能力	张清春,于仁成,宋静静,等 (402)
高摄食压力下球形棕囊藻凝聚体的形成	王小冬,王 艳 (414)
大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征	张必新,王建柱,王乙富,等 (421)
链状亚历山大藻生长衰亡相关基因的筛选	仲 洁,隋正红,王春燕,等 (431)
太湖春季水体固有光学特性及其对遥感反射率变化的影响	刘忠华,李云梅,吕 恒,等 (438)
程海富营养化机理的神经网络模拟及响应情景分析	邹 锐,董云仙,张祯祯,等 (448)
沙质海岸灌化黑松对蛀食胁迫的补偿性响应	周 振,李传荣,许景伟,等 (457)
泽陆蛙和饰纹蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性	施林强,赵丽华,马小浩,等 (465)
麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析	赵紫华,王 颖,贺达汉,等 (472)
镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响	郑爱珍 (483)
生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响	韩春梅,李春龙,叶少平,等 (489)
九州虫草菌丝体对 Mn 的耐性及富集	罗 毅,程显好,张聪聪,等 (499)
土霉素暴露对小麦根际抗生素抗性细菌及土壤酶活性的影响	张 昊,张利兰,王 佳,等 (508)
氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响	沈芳芳,袁颖红,樊后保,等 (517)
火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化	张明如,温国胜,张 瑾,等 (528)
湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能	潘春翔,李裕元,彭 亿,等 (538)
祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响	赵锦梅,张德罡,刘长仲,等 (548)
沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应	刘任涛,赵哈林 (557)
腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征	张 威,章高森,刘光琇,等 (567)
塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应	李 磊,李向义,林丽莎,等 (578)
内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征	高 凯,谢中兵,徐苏铁,等 (588)
不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应	张明娟,刘茂松,徐 驰,等 (595)
环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响	任学敏,杨改河,王得祥,等 (605)
海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	栾 霞,陈振德,汪东风,等 (614)
城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例	黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等 (622)
基于遥感和 GIS 的川西绿被时空变化研究	杨存建,赵梓健,任小兰,等 (632)
亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例	常 杰,任 远,史 琰,等 (641)
研究简报	
不同水分条件下毛茛苔草枯落物分解及营养动态	侯翠翠,宋长春,李英臣,等 (650)
大山雀对巢箱颜色的识别和繁殖功效	张克勤,邓秋香,Justin Liu,等 (659)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-01	



封面图说: 雄视——中国的金丝猴有川、黔、滇金丝猴三种,此外还有越南和缅甸金丝猴两种。金丝猴是典型的森林树栖动物,常年栖居于海拔 1500—3300m 的亚热带山地、亚高山针叶林、针阔叶混交林,常绿落叶阔叶混交林中,随着季节的变化,只在栖息的生境中作垂直移动。川金丝猴身上长有柔软金色长毛,十分漂亮。个体大,嘴角处有瘤状突起的是雄性金丝猴的特征。川金丝猴只分布在中国的四川、甘肃、陕西和湖北省。属国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201012071745

黄聚聪, 赵小锋, 唐立娜, 邱全毅. 城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例. 生态学报, 2012, 32(2): 0622-0631.

Huang J C, Zhao X F, Tang L N, Qiu Q Y. Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0622-0631.

城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征 ——以厦门市为例

黄聚聪^{1,2,3}, 赵小锋^{1,2,*}, 唐立娜^{1,2}, 邱全毅^{1,2}

(1. 中国科学院城市环境与健康重点实验室, 中国科学院城市环境研究所, 厦门 361021;

2. 厦门市城市代谢重点实验室, 厦门 361021; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:热岛效应作为城市化过程中产生的特有环境问题, 对其形成和演变规律的研究有助于人们提出有效的应对措施。以厦门市为研究对象, 利用 1987—2007 年等时间间隔、同时相的 5 景 Landsat TM/ETM+遥感影像数据进行地表温度反演, 在此基础上使用景观格局指数分析厦门城市热岛景观格局随城市化进程演变趋势。结果表明: 随着厦门城市化进程加深, 整个热岛景观在逐渐变得更加破碎化, 高等级热岛景观斑块个数、类型面积和个体面积都增大; 新的高等级热岛景观斑块都出现在原有高等级斑块附近, 致使高等级类型的邻近度增加而各类型之间相互接触的程度也增加; 景观总体的聚合度逐渐下降, 而高等级热岛景观类型的聚合度则呈上升趋势; 景观水平的蔓延度总体呈下降趋势, 优势度高的低等级热岛景观所占的比重下降, 优势度逐渐降低; 多样性指数、均匀度指数总体呈上升趋势, 各热岛景观面积在各类型间的分配逐渐趋于均匀; 热岛景观斑块的转化方面, 在 20 a 间低等级斑块类型(1、2、3 级)向高等级斑块类型(4、5、6 级)转化的面积总体上呈增加趋势, 而高等级斑块类型向低等级斑块类型转化的面积总体上呈减小趋势, 且等级升高的面积明显大于同期等级降低的面积; 就高等级热岛景观斑块而言, 他们与 3 级热岛景观斑块间的相互转化最容易发生, 远比高等级斑块内部各类型之间的相互转化来得容易, 尤其 6 类和 5 类的转化是最为困难的热岛景观变化之一; 从空间上看, 各高等级热岛景观斑块都经历了数量增加、面积扩大、等级升高三个方面的变化, 形成了海沧、新阳、杏林、厦门岛西北港口区和机场 5 个高温组团。利用景观指数分析城市热环境, 可探明热岛景观随城市化演变的趋势, 并为有效的热岛效应减缓措施提供直接的理论依据。

关键词:城市热岛; 景观格局; 城市化; 厦门市

Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City

HUANG Jucong^{1,2,3}, ZHAO Xiaofeng^{1,2,*}, TANG Lina^{1,2}, QIU Quanyi^{1,2}

1 Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 Xiamen Key Laboratory of Urban Metabolism, Xiamen 361021, China

3 Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Cities are centers of political, economic, cultural and social life. It is a symbol of human civilization and development, and urbanization is a common trend in many countries. Nowadays, world urbanization accelerates greatly, especially in developing countries. While providing great economic and social benefits, urbanization has also created some environmental problems, including the Urban Heat Island (UHI) effect. UHI has deep impacts on material cycles and energy transfers within urban ecosystems, and has become an important issue in urban climate and environmental research. Xiamen is one of the special economic zones, and its rapid urbanization induced the UHI becoming much more intense and

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(40901218); 福建省科技计划重点项目(2010H0020)

收稿日期:2010-12-07; **修订日期:**2011-05-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xfzhao@iue.ac.cn

extensive. To study UHI from a viewpoint of landscape is a new method in urban thermal environment research. Analyzing the dynamics of the urban thermal landscape in the context of urbanization will provide support for environmental protection, energy use policy making, and urban planning and management.

This study analyzed the spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the main area of Xiamen City. Firstly, Landsat Thematic Mapper (TM) and Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) thermal images, which were acquired on similar dates in the winter of 1987, 1992, 1997, 2002 and 2007, were used to retrieve brightness temperature. Then a relative brightness temperature (R) was calculated and the thermal patches were classified into 6 grades by temperature difference. Landscape metrics were used here at both landscape and class level to quantify changes in the urban thermal landscape pattern. And they can describe the changes of thermal landscape pattern in 3 aspects, including quantity, shape and structure. Finally, we investigated the distribution of thermal pollution sources in Xiamen.

The results showed that: 1) In terms of quantity, with the rapid urbanization of Xiamen City between 1987 and 2007, the thermal landscape became more fragmented, and was more and more dominated by high-grade thermal landscape patches. 2) The shape of high-grade thermal patches even the whole landscape tends to complex. 3) For structure, each grade of thermal landscape became well-distributed and even. The new high-grade thermal patches were found close to the old ones that induced the proximity index (PROX_MN) of high-grade thermal patches increased; the aggregation index (AI) of the whole landscape decreased while the high-grade thermal patches increased; the contagion index (CONTAG) of the whole landscape also decreased so that dominance of high-grade thermal patches gradually increased. 4) The area of thermal patches which converted from low-grade to high-grade is bigger than the area converted from high-grade to low-grade. According to statistical analysis, we found that it is much easier that the high-grade thermal landscape patches converted into the middle-grade thermal landscape than converted among high grades. 5) The high-grade thermal patches mainly distributed in the industry area, and they were increased remarkably. All the high-grade thermal patches experienced three kinds of changes (increasing number, expanding area and increasing grade), and grouped into five high temperature zones (Haicang, Xinyang, Xinglin, seaport of Xiamen island and airport), especially in the industrial districts of Xinyang and Xinglin.

Key Words: urban heat island; landscape pattern; urbanisation; Xiamen City

城市化是世界各国发展的共同趋势,是人类文明和进步的标志^[1]。随着城市化快速推进,越来越多的人将居住在城市,截止至2008年,全世界生活在城市中的人口首次超过50%^[2]。世界城市化给人类带来经济效益的同时,也产生了一系列生态环境问题^[3]。城市热岛效应就是其中极为重要的问题之一,已经并将继续影响城市气候^[4]。由于城市热岛效应的产生及演变与城市地表覆被变化、人类社会经济活动密切相关,是城市生态环境状况的综合概括与体现,因而,对于城市热岛的分布特征、形成演变机制等问题的研究受到了众多学科领域的广泛关注^[5]。1993年Gallo等^[6]首次利用植被指数估测了城市热岛效应在引起城乡气温差异方面的作用,表明植被指数和城乡气温之间存在明显的线性关系;李延明等^[7]利用1987年至2001年的北京遥感影像,分析了城市绿空间专题图(NDVI)和热岛分布的关系;Xiao等^[8]从多个尺度研究了北京市不透水面空间格局对地表温度的影响发现,不透水面与地表温度呈正相关;徐涵秋^[9-10]指出不透水面比例高的地区升温效应要明显高于低不透水面比例地区,二者呈正指数相关关系,且多元统计分析表明不透水面是引发城市热岛的最重要因子。人为热也是导致城市导致城市热岛效应产生的重要因子,He等^[11]研究发现2002年南京人为热排放对城市热岛的贡献率为29.6%。根据上述分析,目前国内外对城市热岛的研究多采用一些单一的数学指数来表征热岛强度和空间规模^[12-13],如NDVI、植被盖度和不透水面盖度等,这些单一数学指数难以描述热岛格局的全貌。

景观生态学的蓬勃发展给城市热岛研究带来了新的思路,已有学者使用景观格局指标来对城市热岛进行

表征和描述^[14-15]。陈云浩通过借鉴景观生态的研究方法,提出“热力景观”的概念,对城市热环境的空间格局进行分析,并创建了热力景观空间格局的评价体系,在此基础上,为研究城市热环境的变化过程,采用转移矩阵法对 1990 年、1995 年和 1998 年上海城市多时相热力景观的转移概率进行计算,分析了热力景观的动态变化和热力景观类型的组分转移过程^[16]。此后陆续有学者利用遥感影像反演的地表温度数据,从景观格局的角度对城市热环境进行分析,江学顶等^[17]采用数值模拟(MM5)与遥感(RS)反演的热力景观的空间格局指数,研究了珠江三角洲城市群城市热力景观及其日变化规律;贡璐等^[18]以乌鲁木齐市为例,在地表温度反演和景观分类的基础上,通过划分温度景观类型,计算景观指数,对温度景观变化进行分析;孟丹等^[19]在利用 ASTER 数据进行地表温度反演的基础上,计算不同粒度下的景观格局指数,对北京地区热力景观格局及其尺度效应进行分析。由于景观格局指数多样^[20],能够从斑块、类和景观 3 个层次对热岛格局进行全面的表征,有望在城市热岛研究中得到广泛应用。

厦门是我国五个经济特区之一,快速的城市化导致热岛范围不断扩大,强度亦不断增强。本文详细分析了 20 a 间城市化过程中城市热岛景观格局的演变特征,并尝试将其应用于城市热污染源调查中。研究结果可以为改善城市生态环境、促进城市可持续发展和建设低碳城市提供决策支持。

1 研究区概况

厦门市地处闽东南沿海,是我国最早建立的经济特区之一。经济的迅速发展,加快了厦门的城市化进程,使得厦门城市扩展迅猛,建成区面积由 1989 年的 34.01 km²增加到 2000 年的 94.25 km²^[21],2009 年更是达到 197 km²^[22],比 1989 年增加了 4 倍多,土地利用发生了巨大的变化;与此同时,城市热岛的空间范围也逐渐扩大^[23-24],从而对居民生活和城市发展产生了重要的影响。因此,研究厦门城市热岛具有一定的代表性和示范意义。本文选取厦门市 2007 年建成区边界作为研究区范围,以避免郊野热异常对城市热岛效应分析的干扰,其在厦门市域的位置如图 1 所示。

2 研究材料与方法

2.1 数据源

本文使用的遥感数据是厦门市 1987—2007 年间(时间间隔 5 a)冬季时间序列的 Landsat TM/ETM+影像 5 景(表 1),轨道号为 117/43。所选用的 5 景影像数据成像质量较好,研究区内晴朗无云,大气可见度高。所有影像均采用 WGS-84 椭球和基准面,精纠正到 UTM 投影坐标系(N50 带),并通过重采样统一分辨率。研究采用的软件包括 ArcGIS 9.2、ENVI 4.5 和 Fragstats 3.3。

2.2 研究方法

2.2.1 温度反演

使用 TM 和 ETM+热红外波段反演地表温度。对于 TM,热波段是 6 波段;对于有两个热波段的 ETM+,这里使用的是 62 波段,该波段适用于海湾等低反射率地区^[25]。首先使用公式(1)将 DN 值转化为辐射亮度,然后利用公式(2)将辐射亮度转化为亮度温度:

$$L_{\lambda} = Gain_{\lambda} \cdot DN_{\lambda} + Bias_{\lambda} \quad (1)$$

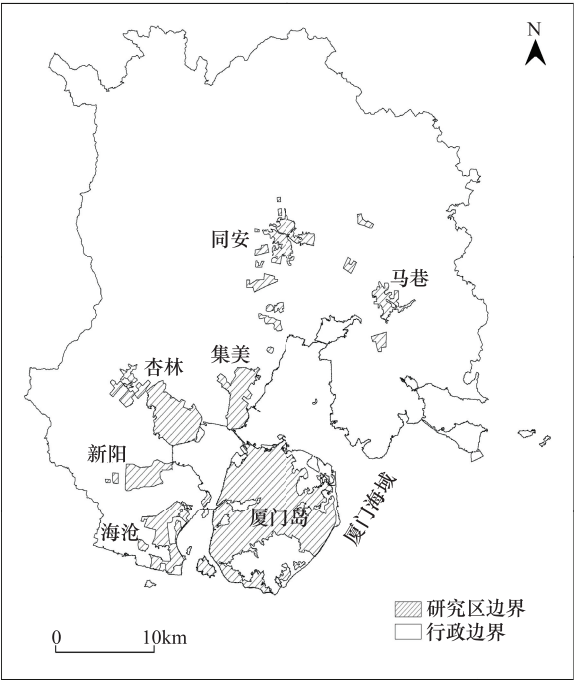


图 1 研究区位图
Fig. 1 Location of study area

表 1 本研究所用影像

Table 1 Images used in this study	
传感器 Sensor	日期 Date
Landsat-5 TM	1987-1-17
Landsat-5 TM	1992-1-15
Landsat-5 TM	1997-1-12
Landsat-7 ETM+	2002-1-2
Landsat-5 TM	2007-1-8

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

式中, T_b 是亮度温度(K), L_λ 是辐射亮度, $Gain_\lambda$ 是该转换函数的斜率, $Bias_\lambda$ 是截距, 两者均可在 TM/ETM+影像自带的元数据中获得。 K_2 是定标常数 2, 对于 TM 取值为 1260.56, 对于 ETM+取值为 1282.71; K_1 是定标常数 1, 对于 TM 取值 607.76, 对于 ETM+取值 666.09^[26]。按照相关研究惯例, 由于城市热岛研究的是温度的相对差异而非绝对值, 且研究区内大气状况均一, 土地利用类型以城市建设用地为主, 没有对亮度温度进行大气纠正和发射率纠正。

2.2.2 热岛等级划分

热岛等级划分方法是: 首先根据公式(3)使用反演得到的亮度温度计算相对亮温 R , 然后根据 R 值进行阈值分割, 划分热岛景观斑块等级, 其中所使用的阈值如表 2 所示。

$$R = \frac{T_{ui} - T_a}{T_a} \quad (3)$$

式中, T_{ui} 为研究区第 i 个像元的亮温, T_a 为厦门市陆域平均亮温。

2.2.3 热岛景观指数

本研究借鉴景观生态学的研究方法, 通过景观指数的计算, 分析近 20 a 厦门市热岛景观格局的演变特征。计算采用景观空间格局分析软件 Fragstats 3.3。

本研究从斑块类型水平和景观水平两方面选取景观指数, 其中景观水平的指数用于描述热岛的整体特征, 斑块类型水平的指数着重用于对热岛效应起主导作用的高等级斑块类型(4、5、6 类)的数量和结构进行分析。这是因为, 热岛效应在城市建成区是普遍存在的, 但真正构成环境问题的是具有较高强度和一定规模的高等级热岛景观斑块。所选取的景观指数包括类型水平的类型面积(CA)、类型比例(PLAND)、斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、平均斑块面积(AREA_MN)、面积加权形状指数(SHAPE_AM)、平均邻近指数(PROX_MN), 景观水平的斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、平均斑块面积(AREA_MN)、面积加权形状指数(SHAPE_AM)、聚合度(AI)、蔓延度(CONTAG)、散布与并列指数(IJI)、多样性指数(SHDI)、均匀度指数(SHEI)。以上指数从 3 个方面表征厦门城市热岛空间格局特征及变化, 具体如下:

(1) 数量特征 类型面积(CA)和比例(PLAND)分别描述了热岛景观斑块类型面积和各类型所占的面积比; 斑块数(NP)和斑块密度(PD)描述各类型的斑块数量和破碎度。最大斑块指数(LPI)和平均斑块面积(AREA_MN)分别描述各类中最大斑块占研究区面积的比例和斑块的面积平均值。

(2) 形态特征 面积加权平均形状指数(SHAPE_AM)反映了斑块形状的复杂程度, 当斑块形状接近正方形时其值为 1, 当斑块形状越来越复杂时其数值上升。

(3) 结构特征 平均邻近指数(PROX_MN)从类型水平上反映了各斑块间的邻近关系, 当在一定的搜索半径内无同类斑块时, 平均邻近指数为 0, 当同类斑块的距离越近时, 其值增大; 聚合度(AI)从景观水平上刻画同一斑块类型的像素间聚合成斑块的邻接关系; 蔓延度(CONTAG)则从景观水平上反映不同斑块类型的聚合程度, 当景观由许多小斑块组成时, 蔓延度值较低, 当景观中的优势斑块类型有较好的连通性时, 其值较高; 散布与并列指数(IJI)反映景观中各类斑块散布与并列的状况, 即各斑块类型混合分布的程度, 当各斑块都仅与一种其它类型斑块相邻接时, IJI 趋向于 0, 当各斑块与其它所有斑块类型邻接概率相同时, IJI 趋向于 100; 多样性(SHDI)和均匀度(SHEI)指数分别描述斑块类型的丰富程度和均匀分布程度。

2.2.4 景观类型转移矩阵

采用 ArcGIS 空间分析工具 Zonal 的 Tabulate 操作建立 1987—2007 年间(间隔 5a)4 个阶段各级热岛景观

表 2 热岛等级划分中所使用的阈值

Table 2 Thresholds used in the segmentation of thermal patches

R	热岛景观斑块等级 UHI grade	代表意义 Meaning
<0	1	无
0.000—0.005	2	弱
0.005—0.010	3	中等
0.010—0.015	4	强
0.015—0.020	5	很强
>0.020	6	极强

等级变化的转移矩阵,并在此基础上统计分析各级热岛景观之间面积互相转化的规律。

3 结果与分析

3.1 类型水平热岛景观格局演变特征分析

利用前述方法分析对热岛效应起主导作用的高等级热岛景观类型(6、5、4类)的演变趋势,20 a的变化如图2所示,4、5、6级热岛斑块面积总体上呈明显的上升趋势,其中4级热岛斑块面积从1987年的0.03 km²增加到2007年的19 km²;5、6级热岛景观斑块自1992年出现,面积分别为0.04 km²和0.05 km²,之后逐渐增长,2002年至2007年增长幅度最大,面积分别增加为3.98 km²和1.37 km²。4、5、6级热岛景观斑块数量(NP)均呈逐年递增趋势,斑块密度(PD)也随之增大。由于景观范围保持不变,CA与PLAND, NP与PD曲线形状完全相同,这里仅列其中之一。1987—2002年,各热岛景观斑块类型的最大斑块指数(LPI)、平均斑块面积(AREA_MN)变化起伏平缓,到2007年则有大幅增长,说明厦门城市热岛高温斑块的单体面积整体上在逐渐增加,至2007年,各高等级热岛斑块外部相互连接形成大片,导致最大斑块指数和平均斑块面积大幅增加。其中1992年第6类的AREA_MN出现异常偏高经查证是由于当年只有一个6类斑块,该异常同样出现在后面一些指数(如SHAPE_AM)中,但不影响整体变化趋势的判断。

对于面积加权平均形状指数SHAPE_AM,高等级的6、5、4类总体上呈现震荡上升的趋势,以4、5级尤为明显,2007年突增至2002年的2倍左右,说明高等级热岛景观斑块边界形状的复杂性也在逐渐增加。平均邻近指数PROX_MN指示了同类热岛景观斑块间的邻近程度,1987—2002年,4、5、6级热岛景观斑块平均邻

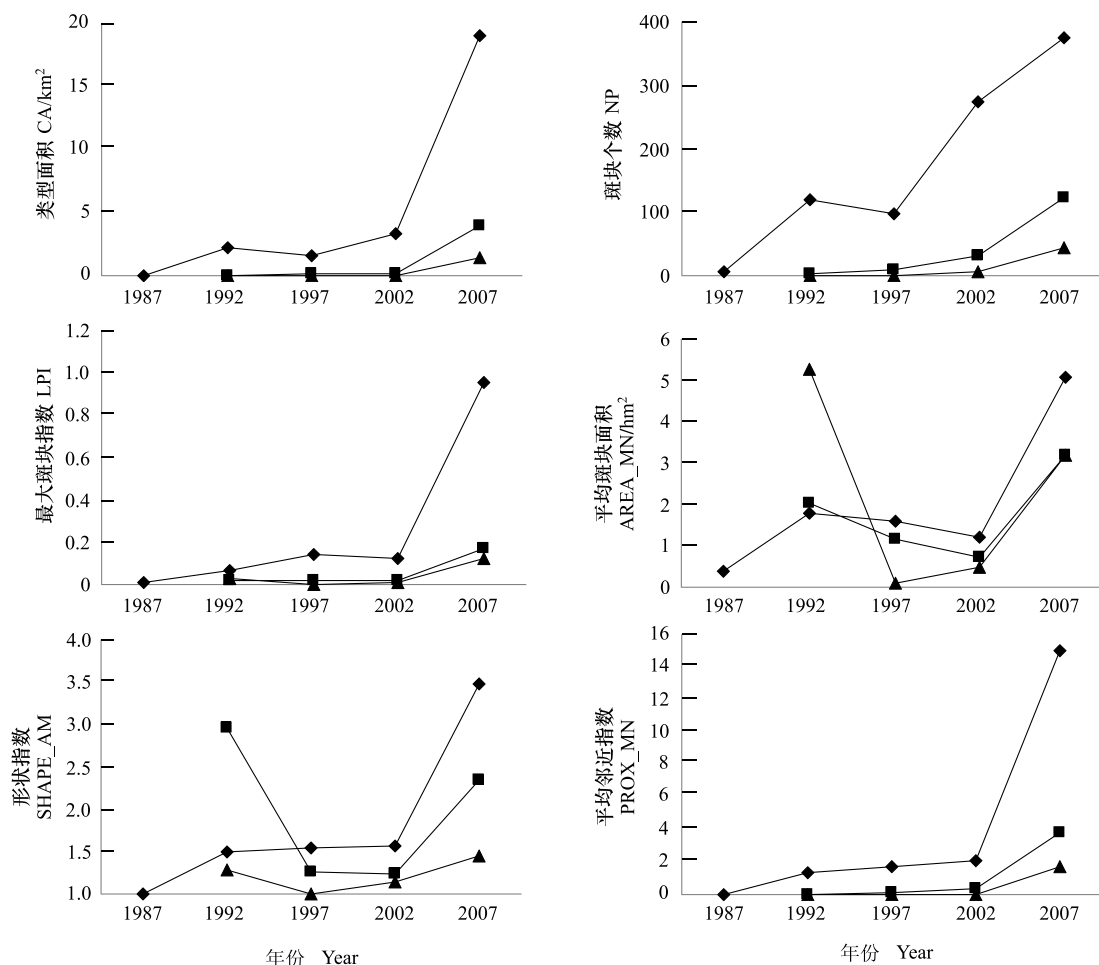


图2 类型水平景观指数变化

Fig. 2 Changes of landscape metrics at class level

—◆—, —■—, —▲—分别表示4, 5, 6级热岛

近指数均缓慢上升,2002 年后则大幅增加,说明在厦门城市化进程中,各高等级类型内部各斑块之间在逐渐靠近,朝着形成高等级热岛景观斑块“群簇”的方向发展,且这种趋势在近几年来增幅加大。

3.2 景观水平热岛景观格局演变特征分析

对 20 a 间景观水平上各景观指数的变化趋势进行分析,结果如图 3 显示。1987—2007 年的 20 a 间,热岛景观斑块数量(NP)总体呈增加趋势,1997—2002 年增幅最大,同时景观的斑块密度(PD)增大,平均斑块面积(AREA_MN)减小,热岛景观总体上逐渐破碎化。在热岛景观斑块的形状方面,1987—2002 年间面积加权平均形状指数 SHAPE_AM 变化不大,2002 年后增加明显,斑块形状显著趋向复杂。散布并列指数 IJI 呈上升趋势,说明各类斑块混合分布的程度随着城市化进程而增大。景观水平的聚合度指数 AI 呈下降趋势,说明景观中各像素间呈分散分布趋势。蔓延度指数 CONTAG 反映了景观中各类斑块间的蔓延趋势,当某种优势斑块有较好的连通性时,则蔓延度值较高,1987—1992 年,厦门城市热岛景观的蔓延度上升,1992 年后蔓延度呈下

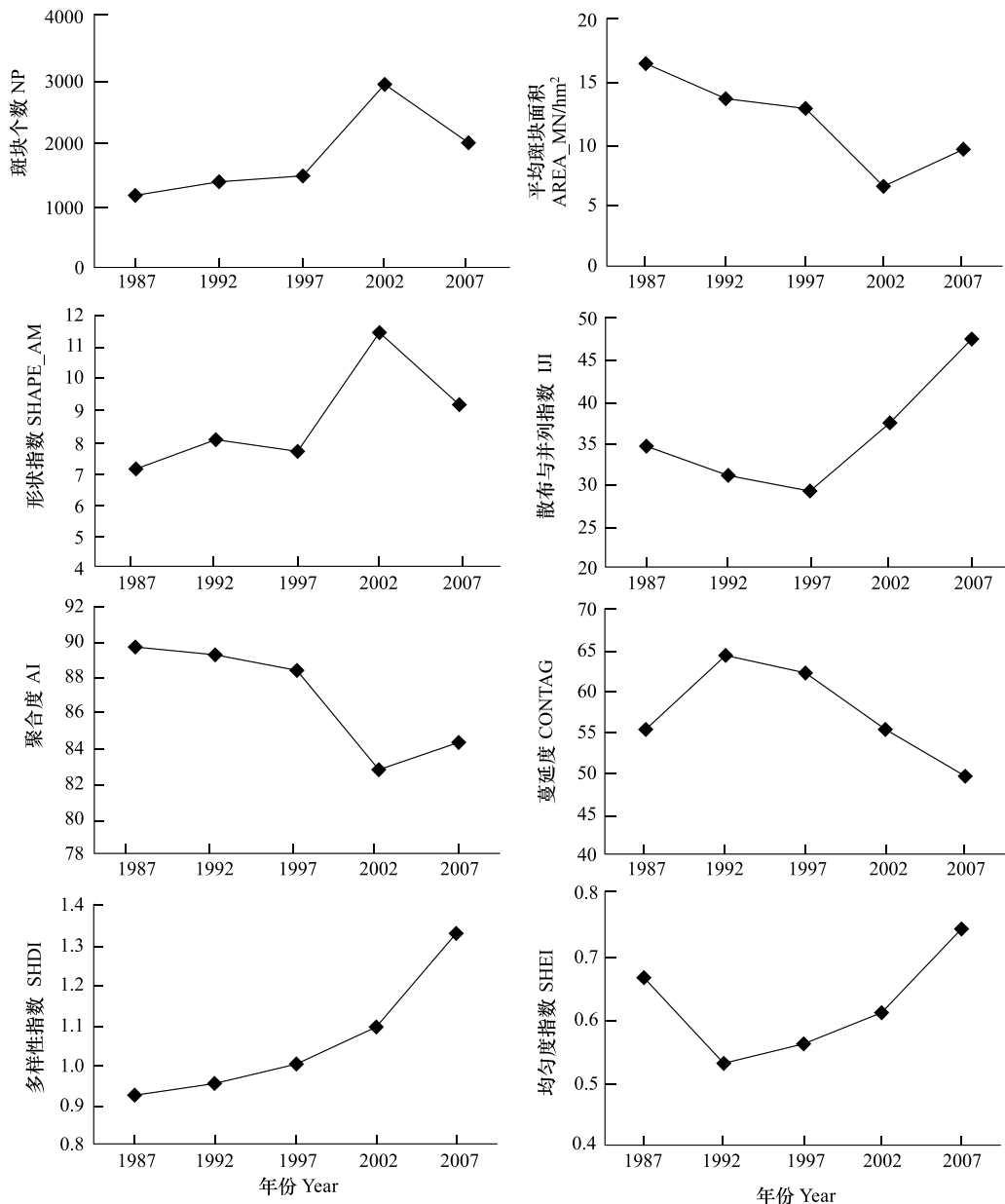


图3 景观水平景观指数变化

Fig.3 Changes of landscape metrics at landscape level

降趋势,说明总体上优势度高的低等级热岛景观所占的比重下降,优势度逐渐降低。多样性指数(SHDI)和均匀度指数(SHEI)呈上升趋势,说明 20 a 间随着城市化进程,厦门城市热岛景观斑块类型增加,同时景观面积在各类型间的分配趋向均匀。

3.3 热岛景观格局演变的转移矩阵分析

利用热岛景观类型转移矩阵的统计分析结果,可以发现不同热岛景观类型之间的转化规律,进而理解城市化进程对热岛等级变化的作用机制。本研究计算了 20 a 间 4 个阶段的热岛景观类型转移矩阵,分析结果如下:(1)各阶段的热岛景观等级转化中,主要以中低等级(1、2、3 级)斑块内部的等级升高为主,研究区热岛景观最主要的变化是无热岛区向弱热岛区或弱热岛区向中等热岛区的转变,这种转变发生频率最高,这是因为从面积和规模上研究区均以中低等级热岛景观类型为主。(2)低等级斑块类型向高等级斑块类型转化的面积总体上呈增加趋势(图 4),高等级斑块类型向低等级斑块类型转化的面积变化平缓,但基本上各阶段等级降

低的面积都小于等级升高的区域面积。(3)高等级热岛斑块与 3 级热岛斑块间的相互转化远比高等级斑块内部各类型之间的相互转化来得容易,尤其 5、6 级之间的相互转化是最为困难的热岛景观变化之一。(4)5、6 级热岛核心向 1 级或 2 级的转化在各阶段均未出现。(5)就 3 级斑块而言,其最大去向是降为 2 级和 1 级,升级为 4、5、6 的比例依然是少数。

这些转化规律说明:(1)随着城市化推进,厦门热岛效应整体全面增强,这与城市化进程中不透水地面的扩张和人为废热排放的增加直接相关。(2)若要削弱热岛效应,把最强的热岛核心一步到位削减为非热岛区是不现实的;由于热岛核心最容易被直接削弱为中级热岛,并且中级热岛很容易转化为 2 级和 1 级,削弱热岛核心一般要以 3 级热岛为桥梁,分两步实施。因此在实际制定热岛效应减缓措施时,对于作为高等级热岛斑块主体的工业企业,应先通过提高能源利用效率、减少废热排放、采用环境友好型建筑材料等将其降为中级,再通过生态绿化分隔和加强通风散热等手段进一步削弱其热岛效应。

3.4 热岛景观格局演变的空间对比分析

通过遥感信息分析,结合历史资料和地面调查,对热岛景观指数变化分析的结果进行实证分析。图 5 给出了这 5 个时相的热岛景观等级分类图。从图上可以看出,1987 年几乎没有高等级热岛景观斑块出现。1992 年杏林出现 6 级高温斑块,为厦门电厂冷却水池,5、4 级热岛景观斑块依然很少。1997 年高等级热岛景观斑块有所增加,在研究区内零星分布,这些斑块包括海沧嵩屿电厂、杏林三家工厂、岛内西北部的煤炭码头等。2002 年,5 级、6 级斑块明显增加,特别在杏林,原有的中等强度热岛景观均升级为 5 级热岛核心,3、4 级斑块在海沧、杏林、集美、同安、翔安等地较 1997 年扩张明显,有连成片生长的趋势。到 2007 年,研究区内高等级热岛景观斑块个数、面积、覆盖范围急剧增加,新阳、杏林几个原来 4、5 级的斑块加强为 6 级,更多的则是从低等级转化为高等级斑块,例如海沧的明达玻璃工业园,新阳的正新轮胎、柯达,杏林的正新橡胶、厦工机械等成为大块的 6 级热岛景观斑块,同时高温热岛景观斑块大片连接趋势明显,尤其在新阳、杏林两大工业区。总体上,随着厦门城市化进程,各高等级热岛景观斑块都经历了数量增加、面积扩大、等级升高 3 个方面的变化,形成了海沧、新阳、杏林、厦门岛西北港口区和北部机场 5 个高温组团。

4 结论与讨论

本文以 Landsat TM/ETM+时间序列遥感影像为数据源,在地表温度反演的基础上,运用景观指数对厦门城市热岛景观格局随城市化进程演变的规律进行分析,并结合历史资料和地面调查,得出如下结论:

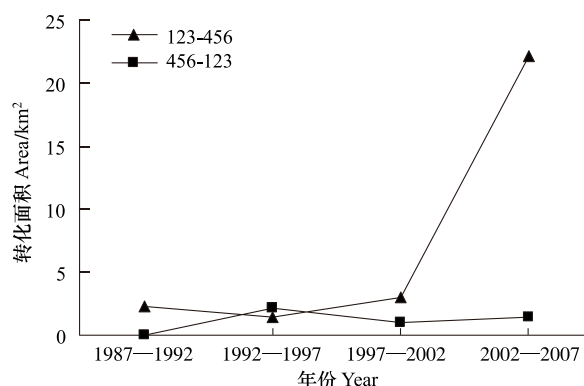


图 4 高等级与低等级热岛斑块间转化面积的变化

Fig. 4 Changes of area conversions of thermal patches between high and low classes

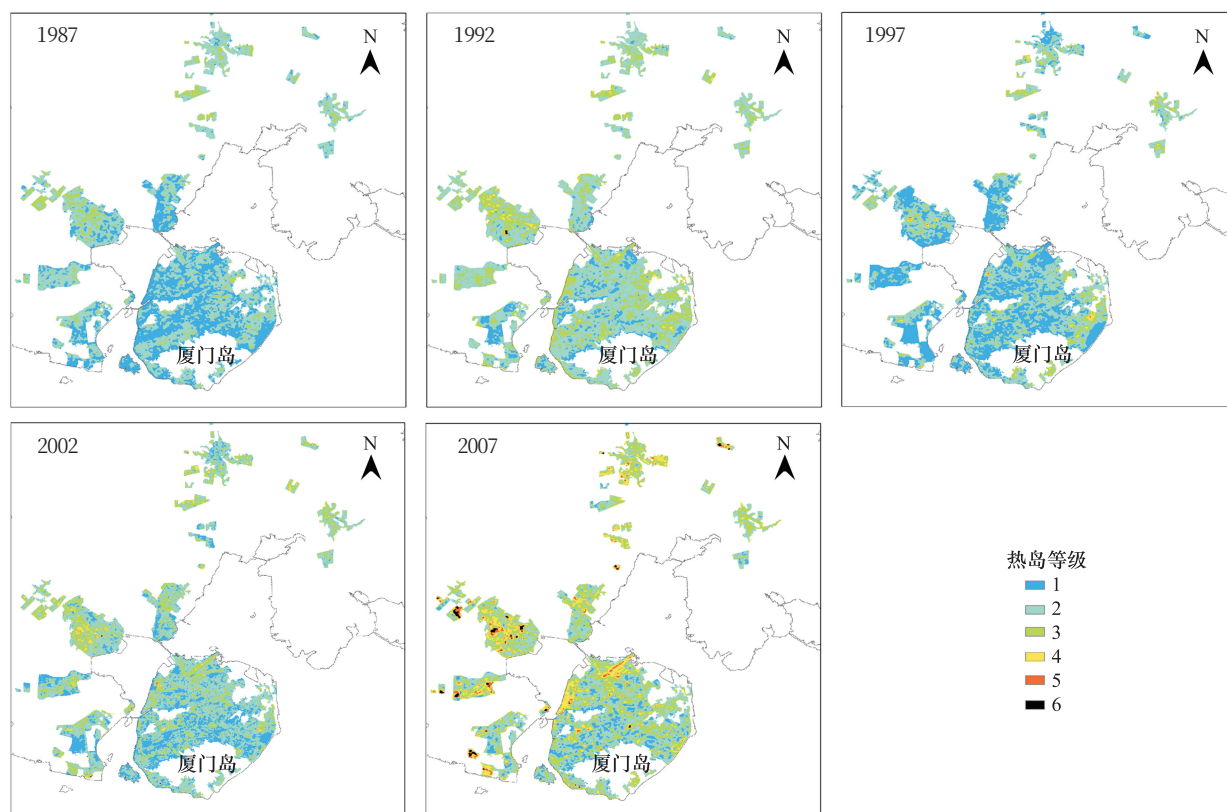


图5 1987—2007年5景影像热岛景观斑块等级分类

Fig. 5 UHI patch grade maps of 5 images from 1987 to 2007

(1)数量方面 随着20 a厦门城市化进程,热岛景观斑块总数及密度呈增加趋势,整个热岛景观逐渐变得更加破碎化。其中对热岛效应更为重要的高等级(4、5、6级)热岛景观类型的面积、比例、斑块个数、密度及斑块个体的平均面积均呈上升趋势,在整个景观中的优势度逐渐提高。

(2)形态方面 高等级热岛景观类型乃至整个热岛景观的斑块形状趋向复杂。

(3)结构方面 各类型之间均匀接触的程度增加,同时高等级景观斑块类型内部各斑块之间在互相接近,造成这两种趋势并存的原因是不不断涌现的新的等级斑块都出现在已有的高等级斑块附近,逐渐形成团簇状。景观总体的聚合度逐渐下降,高等级热岛景观类型的聚合度则呈上升趋势,这与平均斑块大小的变化趋势相互印证。景观水平的蔓延度总体呈下降趋势,优势度高的低等级热岛景观所占的比重下降,优势度逐渐降低。热岛景观面积在各类型间的分配逐渐趋于均匀。

(4)转化方面 在20 a各阶段的热岛景观等级转化中,低等级斑块类型(1、2、3级)向高等级斑块类型(4、5、6级)转化的面积总体上呈增加趋势,而高等级斑块类型向低等级斑块类型转化的面积总体变化平缓,且各阶段等级升高的面积明显大于等级降低的面积。高等级热岛斑块(6、5、4级)与3级热岛斑块间的相互转化最容易发生,远比高等级斑块内部各类型间的相互转化容易,尤其6类和5类的相互转化是最为困难的热岛景观变化之一。

(5)空间方面 随着厦门城市化进程,各高等级热岛景观斑块都经历了数量增加、面积扩大、等级升高三个方面的变化,形成了海沧、新阳、杏林、厦门岛西北港口区和北部机场5个高温组团。高温斑块大片连接趋势明显,尤其在新阳、杏林两工业区。

利用景观指数分析城市热岛景观格局变化特征,是近年来一个新兴的研究领域。景观分析得出的结论可以为探明热岛景观随城市化演变的趋势,并为有效的热岛效应减缓措施提供直接的理论依据。本文通过大量

的分析已经初步得出了一些相关的结论,未来将在继续深入研究热岛景观分析方法的基础上,在热岛效应减缓措施方面做出深入的探讨,以便为改善城市生态环境、促进城市可持续发展和建设低碳城市提供决策支持。

References:

- [1] Li B C. Problems of municipal ecological environment and the sustainable development in China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(2): 1-6.
- [2] United Nations Population Fund. State of world population 2007: unleashing the potential of urban growth. [2010-12-07]. <http://www.unfpa.org/public/publications/pid/408>.
- [3] Shi Z M, Chen T. Research advance of urbanization and its effect on urban eco-environment. *Chinese Journal of Ecology*, 1996, 15(1): 35-41.
- [4] Peng S L, Zhou K, Ye Y H, Su J. Research progress in urban heat island. *Ecology and Environment*, 2005, 14(4): 574-579.
- [5] Dai X Y, Zhang L Q, Guo Z Y, Wu J P, Li X D, Zhu Y L. Mechanism of formation of urban heat island effect and its spatial pattern in Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3995-4004.
- [6] Gallo K P, McNab A, Karl T R, Brown J F, Hood J J, Tarpley J D. The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. *Journal of Applied Meteorology*, 1993, 32(5): 899-908.
- [7] Li Y M, Guo J, Feng J Y. Urban green space and its effect on urban heat island effect. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2004, 17(1): 1-4.
- [8] Xiao R B, Ouyang Z Y, Zheng H, Li W F, Schienke E W, Wang X K. Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(2): 250-256.
- [9] Xu H Q. Quantitative analysis on the relationship of urban impervious surface with other components of the urban ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2456-2462.
- [10] 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.
- [11] He X F, Jiang W M, Chen Y, Liu G. Numerical simulation of the impacts of anthropogenic heat on the structure of the urban boundary layer. *Chinese Journal of Geophysics*, 2007, 50(1): 74-82.
- [12] Sun S M, Lu C Y. Study on monitoring intensity of urban heat island and taking it as an indicator for urban ecosystem by remote sensing. *Journal of Xiamen University(Natural Science)*, 2002, 41(1): 66-70.
- [13] Streutker D R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(13): 2595-2608.
- [14] Chen Y H, Shi P J, Li X B. Research on spatial thermal environment in Shanghai city based on remote sensing and GIS. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, 31(2): 139-144.
- [15] Chen Y H, Li X B, Shi P J, He C Y. Study on spatial pattern of urban heat environment in Shanghai city. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(3): 317-323.
- [16] Chen Y H, Shi P J, Li X B. Research on spatial thermal environment in Shanghai city based on remote sensing and GIS. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002, 31(2): 139-144.
- [17] Jiang X D, Xia B C. Spatial characteristics and dynamic simulations of urban heat environment of cities in Pearl River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1461-1470.
- [18] Gong L, Lu G H. Study on urban heat island effect based on landscape distribution in arid area — taking Urumqi in China as example. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(5): 982-988.
- [19] Meng D, Li X J, Gong H L, Zhao W J. The thermal environment landscape pattern and typical urban landscapes effect linked with thermal environment in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(13): 3491-3500.
- [20] Chen L D, Liu Y, Lu Y H, Feng X M, Fu B J. Landscape pattern analysis in landscape ecology: current, challenges and future. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [21] Chen B Q, Xu H Q. Urban expansion and its driving force analysis using remote sensed data — a case of Xiamen city. *Economic Geography*, 2005, 25(1): 79-83.
- [22] Xiamen Bureau of Statistics. Yearbook of Xiamen Spatial Economic Zone 2008. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [23] Xu H Q, Chen B Q. A study on urban heat island and its spatial relationship with urban expansion: Xiamen, SE China. *Urban Studies*, 2004, 11(2): 65-70.
- [24] Zhao X F, Huang J C, Ye H, Wang K, Qiu Q Y. Spatiotemporal changes of the urban heat island of a coastal city in the context of urbanisation.

International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2010, 17(4): 311-316.

- [25] Xian G, Crane M. An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. Remote Sensing of Environment, 2006, 104(2): 147-156.
- [26] Landsat Project Science Office. Landsat 7 science data user's handbook. [2010-12-07]. http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf.

参考文献:

- [1] 李秉成. 中国城市生态环境问题及可持续发展. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 1-6.
- [3] 史作民, 陈涛. 城市化及其对城市生态环境影响研究进展. 生态学杂志, 1996, 15(1): 35-41.
- [4] 彭少麟, 周凯, 叶有华, 栗娟. 城市热岛效应研究进展. 生态环境, 2005, 14(4): 574-579.
- [5] 戴晓燕, 张利权, 过仲阳, 吴健平, 栗小东, 朱燕玲. 上海城市热岛效应形成机制及空间格局. 生态学报, 2009, 29(7): 3995-4004.
- [7] 李延明, 郭佳, 冯久莹. 城市绿色空间及对城市热岛效应的影响. 城市环境与城市生态, 2004, 17(1): 1-4.
- [9] 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. 生态学报, 2009, 29(5): 2456-2462.
- [12] 孙飒梅, 卢昌义. 遥感监测城市热岛强度及其作为生态监测指标的探讨. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(1): 66-70.
- [14] 陈云浩, 史培军, 李晓兵. 基于遥感和 GIS 的上海城市空间热环境研究. 测绘学报, 2002, 31(2): 139-144.
- [15] 陈云浩, 李晓兵, 史培军, 何春阳. 上海城市热环境的空间格局分析. 地理科学, 2002, 22(3): 317-323.
- [16] 陈云浩, 史培军, 李晓兵. 基于遥感和 GIS 的上海城市空间热环境研究. 测绘学报, 2002, 31(2): 139-144.
- [17] 江学顶, 夏北成. 珠江三角洲城市群热环境空间格局动态. 生态学报, 2007, 27(4): 1461-1470.
- [18] 贡璐, 吕光辉. 基于景观的干旱区城市热岛效应变化研究——以乌鲁木齐市为例. 中国沙漠, 2009, 29(5): 982-988.
- [19] 孟丹, 李小娟, 宫辉力, 赵文吉. 北京地区热力景观格局及典型城市景观的热环境效应. 生态学报, 2010, 30(13): 3491-3500.
- [20] 陈利顶, 刘洋, 吕一河, 冯晓明, 傅伯杰. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来. 生态学报, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [21] 陈本清, 徐涵秋. 城市扩展及其驱动力遥感分析——以厦门市为例. 经济地理, 2005, 25(1): 79-83.
- [22] 厦门市统计局, 国家统计局厦门调查队. 厦门经济特区年鉴 2009. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [23] 徐涵秋, 陈本清. 城市热岛与城市空间发展的关系探讨——以厦门市为例. 城市发展研究, 2004, 11(2): 65-70.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.2 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea	WANG Xuehui, QIU Yongsong, DU Feiyan, et al (333)
Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China	DING Jingjing, LIU Dingzhen, LI Chunwang, et al (343)
Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of <i>Cotesia glomerata</i>	WANG Guohong, LIU Yong, GE Feng, et al (351)
Biological characteristics and habitat requirements of <i>Parnassius imperator</i> (Lepidoptera: Parnassidae)	FANG Jianhui, LUO Youqing, NIU Ben, et al (361)
Annual variability in biological characteristics of <i>Illex argentinus</i> in the southwest Atlantic Ocean	FANG Zhou, LU Huajie, CHEN Xinjun, et al (371)
The impact of run-of stream dams on benthic macroinvertebrate assemblages in urban streams	HAN Minghua, YU Haiyan, ZHOU Bin, et al (380)
Effect of suspended sediment on the feeding physiology of <i>Pinctada martensii</i> in laboratory	LI Zhimin, SHEN Yuchun, YU Nantao, et al (386)
Potential nutrient limitation of phytoplankton growth in the Western and Central Pacific Ocean	XU Yanqing, CHEN Jianfang, GAO Shengquan, et al (394)
Ingestion of selected HAB-forming dinoflagellates	ZHANG Qingchun, YU Rencheng, SONG Jingjing, et al (402)
Formation of aggregation by <i>Phaeocystis globosa</i> (Prymnesiophyceae) in response to high grazing pressure	WANG Xiaodong, WANG Yan (414)
Growth and reproduction of the green macroalga <i>Ulva prolifera</i>	ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, et al (421)
Screening of growth decline related genes from <i>Alexandrium catenella</i>	ZHONG Jie, SUI Zhenghong, WANG Chunyan, et al (431)
Analysis of inherent optical properties of Lake Taihu in spring and its influence on the change of remote sensing reflectance	LIU Zhonghua, LI Yunmei, LU Heng, et al (438)
Neural network modeling of the eutrophication mechanism in Lake Chenghai and corresponding scenario analysis	ZOU Rui, DONG Yunxian, ZHANG Zhenzhen, et al (448)
The compensatory growth of shrubby <i>Pinus thunbergii</i> response to the boring stress in sandy coast	ZHOU Zhen, LI Chuanrong, XU Jingwei, et al (457)
Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (<i>Fejervarya limnocharis</i> and <i>Microhyla ornata</i>) acclimated under different thermal conditions	SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, et al (465)
Effects of landscape structure and key landscape factors on aphids-parasitoids-hyper parasitoids populations in wheat fields	ZHAO Zihua, WANG Ying, HE Dahan, et al (472)
Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (<i>Brassica alboglabra</i> Bailey) roots	ZHENG Aizhen (483)
Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings	HAN Chunmei, LI Chunlong, YE Shaoping, et al (489)
Manganese tolerance and accumulation in mycelia of <i>Cordyceps kyusyuensis</i>	LUO Yi, CHENG Xianhao, ZHANG Congcong, et al (499)
Influence of oxytetracycline exposure on antibiotic resistant bacteria and enzyme activities in wheat rhizosphere soil	ZHANG Hao, ZHANG Lilan, WANG Jia, et al (508)
Effects of elevated nitrogen deposition on soil organic carbon mineralization and soil enzyme activities in a Chinese fir plantation	SHEN Fangfang, YUAN Yinghong, FAN Houbao, et al (517)
Differences in clonal growth between female and male plants of <i>Rhus typhina</i> Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence	ZHANG Mingru, WEN Guosheng, ZHANG Jin, et al (528)
Soil water holding capacity under four typical ecosystems in Wuyunjie Nature Reserve of Hunan Province	PAN Chunxiang, LI Yuyuan, PENG Yi, et al (538)
The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains	ZHAO Jinmei, ZHANG Degang, LIU Changzhong, et al (548)
Responses of soil macro-fauna to land desertification in sandy grassland	LIU Rentao, ZHAO Halin (557)
Characteristics of cultivable microbial community number and structure at the southeast edge of Tengger Desert	ZHANG Wei, ZHANG Gaosen, LIU Guangxiu, et al (567)
Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Taramakan desert	LI Lei, LI Xiangyi, LIN Lisha, WANG Yingju, et al (578)
Characterization of caloric value in fifteen plant species in <i>Leymus chinensis</i> steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia	GAO Kai, XIE Zhongbing, XU Sutie, et al (588)
Spatial pattern responses of <i>Achnatherum splendens</i> to environmental stress in different density levels	ZHANG Mingjuan, LIU Maosong, XU Chi, et al (595)
Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an <i>Abies fargesii</i> - <i>Betula utilis</i> mixed forest	REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, et al (605)
Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress	LUAN Xia, CHEN Zhende, WANG Dongfeng, et al (614)
Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City	HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (622)
The analysis of the green vegetation cover change in western Sichuan based on GIS and Remote sensing	YANG Cunjian, ZHAO Zijian, REN Xiaolan, et al (632)
An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area	CHANG Jie, REN Yuan, SHI Yan, et al (641)
Scientific Note	
Litter decomposition and nutrient dynamics of <i>Carex lasiocapa</i> under different water conditions	HOU Cuicui, SONG Changchun, LI Yingchen, et al (650)
Nest-box color preference and reproductive success of great tit	ZHANG Keqin, DENG Qiuxiang, Justin Liu, et al (659)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 2 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 2 2012

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元