

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **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 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 营,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

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

DOI: 10.5846/stxb201106280965

陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 基于景观格局的城市热岛研究进展. 生态学报, 2012, 32(14): 4553-4565.

Chen A L, Sun R H, Chen L D. Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4553-4565.

基于景观格局的城市热岛研究进展

陈爱莲^{1,2}, 孙然好^{1,*}, 陈利顶¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:首先对城市热岛效应的研究历史、大气城市热岛(AUHI)和地表城市热岛(SUHI)等概念、以及数据获取方式等方面进行简要地概述;随之着重综述从景观格局角度对城市热岛效应进行的研究。统计描述、传统景观格局指数分析和模型模拟法是目下该方向研究的主要方法,统计和景观格局指数分析的研究方法相似,主要统计地表参数或地表景观格局指数与地表温度的相关关系,在SUHI的研究中用得较多;AUHI和SUHI的数据源和机理不尽相同,其研究方法也不同;AUHI一般使用固定气象站点的数据和精细的局部移动气象站数据,较难和景观格局指数结合;模型模拟法则既可以使用地表温度也可以使用大气温度,其结果具体可靠,但目前模型模拟中涉及的景观格局参数,尤其是二维或多维的格局参数并不多;最后从数据源和景观格局参数的参与两个角度讨论了该方向研究存在的问题并提出今后研究的重点,包括(1)针对研究目标,选取或生产最合适的高质量数据;(2)深入从景观格局角度模拟城市热岛效应的研究,尤其是二维和三维景观格局的模拟,并发展多维度的景观格局指数;(3)中尺度上充分利用多光谱遥感和热红外遥感数据,结合小尺度的测量和模拟,建立基于机理的景观模型或格局指数以评价中尺度的城市热岛效应;(4)多领域数据的融合和多学科方法的交叉研究 and 应用。

关键词:城市热岛;景观格局;景观设计;地表温度;土地利用与土地覆盖;AUHI;SUHI

Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review

CHEN Ailian^{1,2}, SUN Ranhao^{1,*}, CHEN Liding¹

1 State Key Laboratory of Urban Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Urban heat island (UHI) as a worldwide urban climate issue has long been studied. It was found as a phenomenon at first and its intensity were then quantified and even simulated. Nowadays people are more concerned about the mitigation of UHI effects. Suggested mitigation methods include (1) advocating energy conservation to reduce excessive anthropogenic heat emissions, (2) using appropriate building materials to construct so-called "cool roofs" or "green roofs" to alter urban landscape matrix and (3) reasonable urban planning and landscape design. With a still on-going propaganda of a 'low-carbon' life style, the study of landscape matrix alteration has been well documented and applied. The changing of landscape pattern to mitigate UHI effects is however poorly carried out, partly due to theoretical and computational weakness. The problem with new building materials is that most of them are either expensive or need to renovate in a short period, so a good landscape planning and a better landscape design might be more constructive and efficient for mitigating UHI effects, especially in developing countries, where urbanization is still very fast. But a good landscape planning concerning UHI effects relief asks for a reasonable landscape pattern analysis with respect to UHI, and besides, appropriate configuration of the landscape matrix requires sound landscape pattern analysis, too, thus, it is important to carry out

基金项目:国家自然科学基金项目(40925003);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501002);城市与区域生态国家重点实验室自主项目(SKLURE2008-1-02)资助

收稿日期:2011-06-28; 修订日期:2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: rhsun@rcees.ac.cn

landscape pattern analysis for urban heat island mitigation. However to date, the landscape pattern analysis provides not much advices for landscape planning. In this paper, we first reviewed the research of the urban heat island history and related concepts briefly, such as Atmospheric UHI (AUHI) and Surface UHI (SUHI), and then focused on those studies mostly of the past decade dealing with UHI from the view of landscape pattern. Generally, two methods were used to analyze UHI effects; one is the traditional landscape metrics and statistical method-they are similar, the other is the simulation method. Different UHIs were treated because of data sources and mechanisms. SUHI were often related to landscape metrics and statistics of land surface temperature were made simultaneously, while meteorological data is used in AUHI analysis which is either coarse or fine in spatial resolution, so it was rarely related to landscape metrics. However, landscape metrics and statistical results are less helpful to landscape design of the unclear ecological meaning. Simulation methods provided convective results, but they were scarcely done from the view of landscape pattern. As a result, less landscape pattern parameter was put into or derived from simulation model. The difficulties and shortcomings of these studies were discussed from viewpoint of the data source and the methods or the involvement of landscape pattern parameter. The future trends on urban heat island were finally proposed: (1) to collect or derive appropriate data based on the purpose of the study; (2) to conduct more landscape pattern simulation research rather than statistics, and furthermore to simulate 2 D (Dimensional) and 3 D and to construct 2/3D landscape indexes in UHI simulation models; (3) to use more multi-spectral and the thermal remote sensing data, and in-situ or simulated data as a verification to build mechanic meso-scale landscape model or index, in the purpose of evaluating or predicting the UHI effects in a meso-scale; (4) to integrate more socio-economic data and interdisciplinary methods during UHI analysis with landscape pattern.

Key Words: urban heat island; landscape pattern; landscape design; land surface temperature; land use and land cover; AUHI; SUHI

城市是人类在改造和适应自然环境的过程中建立起来的人工生态系统,也是自然-经济-社会复合系统。城市化是人类社会发展的必然趋势,给人类生产生活带来了极大的便利,因此尽管人们一再强调城市问题,仍阻挡不了城市化的进程。从 1800 年到 2007 年短短的 200 多年全世界城市人口所占比例由 2% 上升到 50%^[1]。而据预测,我国在未来的 20a 里还将涌现 15 个人口超过 250 万的大都市^[2]。虽然城市所占面积并不多,但是城市人口占全球总人口的比例却超过一半,因此城市气候问题直接影响着城市的生活和生产活动、也影响着城市人口的健康。作为所有城市的最主要的且共有的气候特征——城市热岛效应影响着城市水体、土壤理化环境和城市居民健康等;在中纬度地区的夏季,为了对抗热岛效应需要耗费很多能源^[3-5];而随着城市化进程的不断推进,城市的可持续性发展受到更多的重视^[6],如何缓解城市热岛效应备受关注。已有的缓解对策包括减少人为热排放、增加城市绿地和水体、建设高反照率屋顶和道路、以及建造绿色屋顶等^[4, 7-9]。对于很多发展中国家和地区来说,改变建筑物表面或城市冠层的材料显得昂贵,因此,除了尽量减少人为排放外,更可行的办法仍然是充分发挥城市绿地和水体等景观的降温作用。可是,聚集的城市能够更有效地发挥市政设施的效率,因而也不能无限制地增大城市绿地和水体的面积。所以,需要探讨不同大小、形状和不同组合的景观对城市热岛效应的影响。这就是重要的景观格局问题。景观格局包括景观组成的多样性和空间配置,景观格局分析所分析的是景观斑块特征以及各斑块之间的空间构型,它是景观生态学的重要研究内容^[10],是景观规划的参考依据^[11]。能否找到城市建筑地表、植被和水体等景观的最佳空间配置模式,使得城市、经济和自然实现和谐统一呢?针对这个问题,本文从城市热岛的相关概念及研究历史出发,对近十多年来城市热岛和景观格局两者之间的相关研究进行综述,分析其进展和不足,试图从景观格局分析和景观设计的角度提出今后的研究重点和方向。

1 城市热岛 (Urban Heat Island, UHI) 的监测历史及相关概念

以“城市热岛效应”为主题、“城市热岛”作为关键字,在中国学术期刊网络出版总库中进行搜索,会得到

180 个结果,最早的可追溯到 1979 年;而以“Urban Heat Island”在 Google scholar 中搜索摘要,则会得出 865000 个结果^[12],可见国内外学者对城市热岛效应的重视程度。这些文献除了数量巨大外,城市热岛的概念也不统一,本文先对城市热岛的研究进行溯源,再讨论几个易混淆的专有名词的内涵,最后着重从景观格局分析的角度进行已有研究的总结。

1.1 城市热岛的监测历史

一般认为对城市热岛现象的监测已有 200 多年,Howard 从 1811 年到 1841 年对伦敦市及其郊区做的观察记录^[13],被后来的学者认为是最早的关于城市热岛现象的记录,但城市热岛(Urban Heat Island, UHI)作为专有名词是在 1958 年被 Manley 正式提出^[14],Manley 的研究面向下雪频率问题,而“热岛”只作为其影响因子。这个时期对热岛的研究或描述用的皆是大气温度数据,所研究的城市热岛即大气城市热岛(Atmospheric UHI, AHUI)。因大气温度在时间上的连续性,可以用于年际对比、月份对比、历史性的对比等^[15-17],但 AUHI 的研究主要依靠固定或在局部移动的气象站,所得的数据常常是离散的点数据或线性数据。1972 年 Rao^[18]提出了用热红外遥感进行城市热岛的研究,标志着城市热岛研究进入了一个新阶段。热红外遥感数据(尤其是卫星遥感)所得的温度为地表的辐射温度,它与气温存在相互作用,能够大面积覆盖地表,具有空间的连续性和较高的空间分辨率^[19-20],它的应用,使得城市热岛的涵义也随之发生了变化,出现了用地表温度(Land Surface Temperature, LST)来表征的地表城市热岛(Surface UHI, SUHI)。有趣的是,从热红外遥感所得的 SUHI 现象常常表现为白天比夜晚明显,而 AUHI 常常相反。导致出现这两个相反的 UHI 现象主要是由于气温计和热红外遥感不同的工作机理^[21]。此外,利用气候模型模拟城市气温,并分析城市热岛效应的研究也有近 30a 的历史^[7],用模型模拟出的城市热岛既有大气城市热岛(AUHI)也有地表城市热岛(SUHI),这取决于模型所用的温度数据。这些气候模型已经从一维小尺度模型发展到三维中尺度模型^[22-23]。

1.2 大气城市热岛和地表城市热岛

大气城市热岛指的是城区与郊区大气温度的差异,它是热探测器与空气直接接触的结果。大气温度依据不同层次一般又分城市冠层(Urban Canopy Layer, UCL)和城市边界层(Urban Boundary Layer, UBL)^[19]。城市冠层大气温度如固定气象站(百叶箱)或在街道内、建筑物平均高度处的温度等,而城市上空的气球、高塔等气温计所测得的则是边界层大气温度^[23],是边界层气候模型的输入参数^[3]。热红外遥感是一种间接的测量方法^[19],它可以测量地下乃至地上三维的地表温度^[3],是地表辐射热红外光的能力的表征量,所得的地表温度差异被称为 SUHI。长期以来区域尺度及更大尺度上的城市热岛研究使用的主要是卫星热红外遥感数据^[19],航空遥感相对较少。这可能是因为卫星具有大面积的周期性观测和具有相对统一的数据处理标准等特征,而若要使航空遥感也具周期性且大面积观测则很昂贵。

卫星热红外所得的温度在应用中又分为直接的星上温度和做了大气、地表比辐射率等校正的地表温度(LST)^[19]。陈云浩等人采用了星上亮温,沿用范心圻“城市亮温热场”的名称,对上海市的亮温进行过详细的分析,并借助景观生态学的概念引出“热力景观”的概念^[24]。总的来说,用遥感反演的地表温度比直接用星上温度进行城市热岛的研究要广泛。虽然这种反演所得地表温度也与实际地表温度也存在一定的误差,但反演所得的地表温度消除了大气影响、考虑了地表辐射特性差异,可以用作地表过程等模型输入参数或用于其他科学研究。根据已有综述文献^[19-20],2000 年以前用的卫星热红外遥感数据多是 AVHRR、TM/ETM+。2000 之后,随着 TERRA/AQUA 卫星的发射,ASTER 数据^[25]和 MODIS 数据,因为它们的时间分辨率或空间分辨率较高、且利于不同尺度的综合分析被越来越多地使用;TM/ETM+数据因可免费获取而仍然被广泛应用于一些中尺度的区域^[26]。我国自主发射的环境减灾卫星 HJ-1B 星^[27]和中巴资源卫星也有一个热红外波段,也被用来做地表温度分析^[28],但分辨率较 TM 和 ASTER 低一些,且数据质量方面也略显逊色。微波遥感用于地表温度反演的一般是微波辐射计,即被动微波,但由于微波复杂的机理和较晚的起步使其应用极少^[29-30]。对于各种热红外遥感数据的地表温度反演皆可以采用地表辐射传输模型,但由于其所需地表参数较多而应用受限^[31]。较为普适的反演算法包括针对单波段 Landsat TM/ETM+等的普适性单窗算法^[31-33],针对多波段热红

遥感数据的劈窗算法^[34]、多波段回归法^[35-36]等,这些算法在不同区域的陆地和海洋中都得到了广泛的应用^[37],已经成为地表温度研究的基础。正在规划中的新型热红外传感器,如高光谱热红外成像仪等^[25],有望在将来的应用中弥补当前热红外遥感数据精度的不足。

1.3 城市热岛强度与城市热岛效应

城市热岛效应一般用城市热岛强度 UHI(UHI Intensity)表示,总体上就是城市热岛效应在温度上的量化表现。对于大气城市热岛,UHI 指城区气温与郊区气温的差^[38-39]。由于城市与郊区的边界本身不好界定,且在时间维上界限不明确,使得 UHI 的概念存在不同的提法,比如城区与郊区常用稠密城区与稀疏城区来替代^[7];又由于气象站或移动样带等数据空间分布不均等原因,出现了平均热岛强度与最大热岛强度的概念^[7]。而对于连续的热红外地表温度来说,定义的方式则更依赖于地表的分类^[40],人们一般把热斑块当成热岛。

除了城市热岛强度外,城市热岛效应还可多种表达方式,其中最常用的是通过地表能量平衡公式来表达,即

$$Q^* + QF = QH + QE + \Delta QS + \Delta QA \quad (1)$$

式(1)中, Q^* 指的是全波长净辐射能量, QF , QH , QE 分别指人为释放的热量、大气显热通量(使大气增温的能量)、潜热通量(可以使地表增发、蒸腾的热量),而 $\Delta QS + \Delta QA$ 则分别是地表储存的显在热量和大气热量水平对流净通量^[7]。式(1)在模型模拟中用得最多,用它可以模拟出地表显热、潜热通量,而不再局限于温度差异,甚至还能够体现城市的湿度特征^[41]。有一些文章或研究将其看作一种综合效应,当提到城市热岛效应时,不仅提及热岛强度,还进行地表能量平衡的分析,如^[7, 42]。而另一些在分析热岛强度时则直接用热岛效应的概念^[39, 43]。城市热岛效应可以分为广义与狭义两个方面。广义的城市热岛效应除了热岛强度外,还指热岛现象所带来的各种环境效应,包括城市热岛强度和其他气候特征和环境特征^[3],如城市“浊岛”、“干岛”、“湿岛”等在由城市热岛带来的、或与城市热岛相互促进的城市特有的气候特征^[23],以及城市水文、土壤理化特征、动植物习性、物质循环能量代谢和居民健康等环境效应^[4]。而狭义的城市热岛效应就是指城市热岛强度。城市热岛强度具有明显的时空异质性,给不同地区带来了独特的热岛环境效应,而热岛的环境效应又有可能加大热岛强度,因此缓解城市热岛效应首先需研究城市热岛的起因和机理特征。

1.4 城市热岛的起因及缓解对策

引起城市热岛有两大因素:一是城区土地利用和覆盖不同于郊区,二是城区人为释放的交通、生产、生活的废气、废热远高于郊区。这两个因素也是被当前科学界认为是全球变暖的始作俑者,而两者对全球变暖贡献的重要性存在较大争议。以 IPCC 的部分人员为代表的科学家倾向于将全球变暖归咎于温室气体,而近年来,研究发现土地利用变化导致的全球变暖也不容忽视^[44]。因此,人们认为缓和热岛现象最好的办法既要减少人为排放,又要通过改变建筑物、道路的材料和结构或城市冠层来优化土地利用和覆盖的格局^[4, 22]。欧美现在比较流行的是采用高反射率材料建设房屋。比如英国南安普顿大学的可持续能源研究组为应对气候变化而进行的房屋结构和建筑材料的设计和试验^[45-46],美国环保局提倡多项“白屋顶”、或“绿”屋顶的措施来缓解热岛效应^[9],美国劳伦斯伯克利国家实验室的热岛研究小组,近年来偏向于研究提高地表反照率起到的降温作用^[47-48]。Oleson 等模拟了增加“白色”屋顶所带来的效益,其研究称若全世界的城市都用白色屋顶,则年平均热岛强度降低 33%^[49],类似从改变地表反照率(Albedo)方面的模拟研究还有^[50-52]等。而从卫星所得的地表反照率数据确实能在大尺度上反映出城市化的进程,即随着城市化的进程推进,地表反照率有较明显增大趋势^[53-54]。增加 Albedo 不仅可以从温度方面缓解热岛强度,还可以缓和城市热岛的环境效应,如提高城市空气质量、减少臭氧的聚集等^[47, 55]。只是,此类建筑材料^[46]目前未得到推广,尤其在发展中国家,人们更提倡用合理增加或规划城市公园绿地、水体等方式来相对地增加反照率、增加潜热通量来缓解城市热岛效应。

许多研究都证实了公园绿地的“冷效应”和不透水层的“热效应”^[8, 56-59],在城区增加树木所降低的温度以及由此带来人的体感温度的变化也得到了模拟^[60]。树木不仅能增加潜热,还可以吸收 CO_2 以减缓温室效

应,在降温方面具有双重作用^[51, 61]。Shashua-Bar 等在微小尺度(庭院)上测量了分别由树木、草地、人工纤维遮蔽的院子的气温和地表温度,发现树木地表温度的调节作用显著,对大气温度也有一定的调节作用,而草地和热岛效应的作用,也就是从景观基质层面与城市热岛效应做了相关分析,但是针对一定面积的绿地或水体具体的影响范围的量化研究不多,而绿地和水体的结构、配置等如何对调节温度做调节作用,也需要进一步的研究,这些就是重要的景观格局问题。

2 景观格局统计、景观格局指数与城市热岛

一般认为,生态过程决定景观格局,而景观格局反过来影响着生态过程。对于一个城市来说,城市内部不同规模和属性的景观要素,以斑块、廊道和基质三个景观结构成分,重复地镶嵌在一起,形成一定的城市景观格局。这些景观格局影响着城市内部水文、气候、动植物包括人类的活动。因此,分析景观格局与城市热岛过程之间的相互作用对理解城市热岛效应、缓解城市热岛等都具有重要的意义。景观格局分析方法包括景观指数法、空间统计法、景观模型模拟方法^[62],其基础一般是详细的景观分类数据。地表热岛和大气热岛有明显的区别,因而景观格局分析方法对两者的研究也不尽相同。

2.1 与 SUHI 相关的景观分类

对地表进行明确的土地利用与覆盖类型(LULC)划分是景观与城市热岛分析乃至景观生态学其他研究中最常见的做法。目前景观分类通常基于(航空、航天等)遥感图像,采用人工目视解译或人机交互的方法进行分类,如利用商业软件进行监督、非监督分类、目标识别、决策树分类等(如 ENVI 软件、ERDAS 等)。这种景观分类是一种离散化的分类方法,以这些景观类型来统计地表温度,会发现不同类型,如建筑用地、森林、耕地、道路,确实具有明显不同的温度^[63-64],但是分类结果和精度受分类体系和数据精度的影响,影响因素包括数据的尺度和粒度特征、数据质量、分类规则、分类人员的专业素质等。当采用高分辨率影像(如 IKONOS)把绿地细分成草地、树林和灌木时,草地并没有降温作用^[56],可是在很中等分辨率卫星遥感数据中,草地、树木常常被笼统化成绿地,这会在分析中带来很大的误差。因此这种离散的景观类型的确定应该综合尺度、其自身理化性质及它们对城市热岛效应的影响。

不同于离散的景观分类,连续的地表参数也可以用来表现地表景观特征。这些地表参数包括植被指数、建筑指数、湿度指数、裸土指数或不透水层的所占比例等^[65]。多数统计描述和相关性分析表明,地表温度与植被指数如 NDVI,湿度指数(NDWI)甚至于裸土指数(NDBaI)显著负相关^[66],而与不透水面积或地表建筑指数(NDBI)呈现正相关^[57, 59, 66],但 NDVI 与地表温度的相关关系并不是在所有研究中都明显^[57, 66],而不透水面积或其所占百分比与地表温度的正相关关系却未见有极不明显的研究。选取这些连续地表参数作为模型的输入参数时,需首先针对研究区域的数据做一番分析。因此这些连续性的地表景观参数与传统的景观格局分析方法并不匹配,它们主要是针对离散的景观类型的参数,景观格局角度的研究又将这些连续性的参数分级分类、或用于辅助景观分类^[67]。

除了 LULC 这种景观分类和连续的地表参数分级外,一些学者在研究城市热岛时还引入了一些新的景观分类法。如“源汇景观”^[68]、“热力景观”^[24]、“热景观”^[69]等。“源汇景观”根据不同景观类型对城市热岛强度的不同影响而定义,Xu^[40]结合 Chen 等提出的“源汇景观”理论,以地物波谱特征、NDVI、NDBI 为参考标准,将建筑用地作为夏季白天地表热岛强度的“源”景观,而水体和植被当做“汇”景观,以“汇”景观和“源”景观的平均温度与面积之积的比值来构建景观格局指数,来评价北京市夏季白天的热岛强度,对“源”“汇”景观理论的扩展有一定的探索意义。陈云浩等将景观生态学的“基质-斑块-廊道”模式直接应用到遥感所得的星上亮度温度(也称辐射亮温)图上,加入下垫面热惯量、建筑容积率等因子,引出“热力基质、热力廊道、热力斑块”等概念^[24],并阐明这些概念如何表现城市热辐射温度场的结构和动态在热力学上的特征^[69]。另外,一些研究也援引这个“热力景观”的概念,但所指的内容或分类方法发生了变化^[70]。田国良等所提出的“热景观”,是按地表辐射特性相对均质性而定义,即根据瞬时地表温度进行分类,可以认为是地物热特性。可是,

由于异物同温像元的存在,地物不同时间热辐射特征存在很大差异,这些概念所体现的是地物的瞬时性特征,当时间和空间改变了,这些“热力景观”等也改变了,涉及到应用于景观设计的景观找不到固定的参照物,因此这些概念在景观格局与城市热岛的相互研究中较难广泛应用。

2.2 与 SUHI 相关的景观格局分析和尺度分析

地表城市热岛与景观格局的相关研究一般被转化为 LULC 和 LST 的相关研究。对 LST 与景观格局的相关关系分析分为两类,一类是简单的描述性统计,即采用遥感影像进行土地利用覆盖分类和温度反演,统计出不同覆盖类型的温度差异、制图显示 LST 的分布^[71-72],或再加入其他时相的遥感数据,分析城市化过程中温度异常区(热岛)的迁移特征^[73-75]。另一类是在 LULC 分类基础之上,采用传统景观格局指数分析方法,从 O'Neill、McGarigal^[76-77]等提出的景观格局指数中选取几个指数来描述城市土地利用以及地表温度分级图的格局特点^[78]。Weng 等将景观格局指数与地表温度结合进行了多项研究,一是采用 ETM+数据研究了美国印第安纳波利斯城的 LULC 的景观格局指数和地表温度(LST)的关系^[67],二是基于此研究分析了 LULC 与 LST 格局的景观格局指数的相关关系以及各自的景观格局指数随季节的变化情况^[79],接着又探讨了这些指数及两者的相关关系的尺度效应^[80]。国内类似的研究也较多^[81-83]。这一系列研究表明 LULC 与 LST 不仅自身存在季节性变化,两者的相关性也存在季节性变化;而尺度效应的研究则表明通过景观格局指数研究两者关系,需要注意数据分辨率的影响,有些指数,如斑块百分比,基本不随数据分辨率变化而变化,有些指数(如形状指数等)在尺度变大时而变小,通过尺度分析可以找到研究两者关系最佳的分辨率^[84]。除了数据的尺度(分辨率)外,研究区域的空间尺度也会影响土地利用和地表温度的关系探讨。陈云浩等也直接采用传统的景观指数对“热力景观”进行过格局分析^[24],其研究方法与 Weng 等人的相似,不同之处就在于景观的分类。但是,这些研究仍很少对格局指数的生态含义做进一步解释,而这些景观格局指数的多数已被证明缺少生态学含义^[10],因而此类研究不仅影响其在景观设计中的应用,也很难评价区域性的景观格局对城市热岛效应的影响。

2.3 与 AUHI 相关的景观格局分析和尺度分析

大气城市热岛(AUHI)的研究采用的数据来自气象站点,包括固定气象站和移动气象站^[38]。城市尺度上的 AUHI 研究常采用固定气象站数据,由于气象站的分布比较有限,大气温度数据空间分辨率低,局部地区景观之间的相互作用难以得到表达,与景观格局的相关分析一般限于定性描述气温等温线的分布特征或时间特征。对固定气象站的温度数据进行插值,形成等温线格局再进行分析是 AUHI 主要的分析方法,其结果是 AUHI 体现出城市热岛的岛状和梯度整体特征,虽然随着一些城市不断向外围扩张,AUHI 出现单个中心向多中心扩张的形式^[17, 38, 85],但各个中心的岛状和梯度特征仍明显,这与地表热岛呈现“群岛”特征^[86]不同。而移动气象站可以从很小的尺度(居民小区、街道社区)上研究不同的景观组成所带来的温度日变化特征等^[38, 51],对小尺度的景观设计的参考价值很大;又因为人的体感温度与大气温度息息相关^[60],因此从小尺度上分析景观格局对大气热岛的影响具有多方面的实用价值。此外,大气温度具有较高的时间分辨率,常被用于研究热岛的时间振荡周期特征^[87],从广义上来说^[62],把时间看成景观的话,它也是一种景观格局分析,分析的是热岛的时间结构。除了将上述这种热岛的时间变化特征看成是一种景观格局研究外,其他将时间结构当成景观,再对其进行格局分析的研究目前还未见有公开发表的成果。总体来看,从景观格局分析角度分析 AUHI 和 SUHI 的研究方法相差较大,景观格局统计或景观格局指数在 AUHI 相关的景观格局分析中用得很少,但用模型模拟大气热岛的研究较多。

3 景观格局模拟与城市热岛

不同于利用统计方法或格局指数进行景观格局分析,景观模型是近年来开展得较多的、利用数学方法定量模拟生态过程的手段,是景观格局和生态过程的模拟研究。

3.1 城市热岛相关模型的分类

景观生态学的核心是景观异质性,因此,景观模型根据其对空间异质性的假设分为:非空间景观模型、半

空间景观模型和空间显式景观模型^[62]。认为城市景观异质的模型都属于空间显式模型,即认为城市地表覆盖的不同会导致其微气候过程不同的气候模型都是空间显式模型,这些气候模型对空间异质性的假设要依赖于模型的研究尺度和分辨率。

常用的气候模型分两类,一类是基于地表热量平衡方程(式1)而建的能量平衡模型,另一类是主要基于纳维叶-斯托克斯(Navier-Stokes)方程而建的计量流体动力模型,其中比较可靠且成本较低的是基于地表能量收支平衡(式1)而建的模型,计量流体动力模型的优点是精度高,但所需参数多,参数获取与模拟计算成本高而使其推广相对受限^[22]。许多学者基于这两类理论模型来研究城市热岛的预测与对策,即预测城市温度、城市热岛可能出现的区域、模拟缓解城市热岛方案的成效等,又提出了各种应用模型^[22],这些应用模型除了按理论模型分为两类外,按其维度可分为一、二、三维模型,其维度指的是对热传导所接触的面的假设维度,若使用一维热传导方程,如城市冠层和大气之间的传导,则该模型为一维模型。二维模型假设街道长度足够,只模拟该街道的宽度和高度上的热传导信息,而三维模型则考虑街道、街区长度。此外,按其模拟区域大小分为微尺度、中尺度模型。我国已建成的有限区域数值天气预报业务系统中,北京气象局和天津气象局等采用的是MM5模型。MM5模型及之前的各个版本(MM4等)都是计量流体动力学中尺度模型,但目前MM5的服务已基本被中断,并被其开发者用WRF(Weather Research and Forecasting Model)模型取代,而WRF模型不再单纯依据计量流体动力学,它也加入了基于能量平衡模型的模块^[22, 88]。Mirzaei等^[22]总结的15个城市热岛应用模型中,基于能量平衡的应用模型居多,但具体选择那个模型还是要依据研究的最终目的而定。若要为城市规划和景观设计服务,则需要考虑模型的维度、所能模拟的区域、模型精度及模型参数获取的难易程度。

3.2 城市热岛相关模型与景观格局模拟

从景观格局的角度看,很多模型都将地表覆盖作为模型的输入参数,可以模拟地表景观基质改变之后的城市热岛变化,但不同维度的模型所反映的景观格局涵义和维度不同。一般来说,一维模型的研究区域可以从小社区到整个城市,考虑地表覆盖的单个属性,如辐射率^[89]、蒸发量^[90],或地表覆盖类型百分比^[91]。一维模型能涉及的景观格局参数也只要一维,且一般是景观组成百分比这个水平,这个水平对城市绿地规划、城市绿地用水等很有借鉴意义。Gober等^[91]用LUMPS模型做了美国Phoenix的情景模拟,模拟地表覆盖发生改变时的情况,其结论表明在Phoenix这样一个水资源缺乏的城市,增加植被虽然会使夜晚气温下降得更快,但因植被灌溉和蒸腾而丧失的大量的水却不利于水资源的利用^[41]。但是一维模型考虑不了建筑物之间的温度传递现象,而建筑物又与城市居民生活最密切相关,忽略它会导致较大的模拟误差^[52],因此二维和三维模型更值得推荐。二维和三维模型不仅以地表覆盖类型及其理化等属性作为输入数据,还考虑城市建筑物的高度和墙体等与大气之间的相互作用,如二维的城镇能量守恒方案TEB(Town Energy Balance Scheme)^[92],三维的社区土地模型CLM(Community Land Model)^[93]、WRF、MM5模型等。二维、三维模型因为考虑了建筑物高度,涉及了二维的城市景观格局,但由于建筑物高度和样式参差不齐,不易测量,在大尺度的模拟时常以统一值代替^[22]。小尺度的模拟则可以使用详尽的建筑物结构特征,它对于社区的设计很有借鉴意义。

可见,一维的城市热岛相关模型仍旧会用到传统的景观格局指数,即斑块百分比,但二维和三维的模型则不用,或者说目前景观生态学中还缺少二维指数可供城市热岛模型使用。另外,这些模型多从直接研究城市气候或城市空气质量^[94]等角度出发,而从景观格局角度进行城市热岛模型的相关研究较少。佟华等用三维的MM5模拟了具体形状和特定类型,即“楔形绿地”在缓解北京城市热岛中的作用^[95],此类研究对城市规划的具有较大的参考意义;江学顶等^[70]则用该模型模拟城市温度,并采用传统的景观指数将其与遥感图像所得的温度图进行景观格局分析,对模拟结果做肯定的评价,这种做法又回归了传统景观格局分析的方法。其实,从景观格局角度研究城市热岛的最终目的也是为良好的城市气候和城市人居环境服务,但是以景观格局为中间环节,明确了景观组成、斑块形状、景观连接度等,可能更有利于指导城市规划和景观设计。

4 从景观格局角度研究城市热岛的难点

综上所述,很多研究采用定性或定量的方法分析了土地利用/覆盖类型及其变化与城市热岛效应的关系,

并提出了概化的建议,如增加植被、水体等景观,以及采用合适的建筑材料等方式来缓解热岛效应。可以看出,通过改变景观基质来缓解城市热岛得到了较普遍的认可,而通过改变景观配置和结构来缓解热岛的研究则相对少得多。如何最优化绿地的面积、类型(甚至树种)、及其空间配置,以及如何设计小区建筑物高度等缺少定量化的研究,因而难以直接服务于景观格局评价与景观设计。

4.1 景观类型与温度数据源的问题

(1) 景观类型数据的来源 景观类型数据来源于遥感数据,而地表参数,如反照率、地表温度、湿度等的反演精度的提高一直是定量遥感研究的难点;而遥感影像的分类也是一个难题,遥感数据“同物异谱”、“异物同谱”现象的存在影响其分类,研究人员的专业素质和对遥感影像的认知也存在差异。

(2) 温度数据的主要两个来源 气象站监测和遥感监测都各有优缺点,两者的结合实属不易。气象站点的数据总体来说时间分辨率高、监测参数丰富,但空间分辨率低。气象观测数据还可以分为固定站点和小尺度的移动站点,固定站点常被用来制作等温图,进行统计分析,难以与景观格局进一步联系,小尺度的移动观测常被用于模型模拟及其参数验证。而遥感监测数据的空间分辨率以 100m 左右或以上的热红外卫星遥感数据为主,所监测的是地表温度,热红外遥感数据本身的精度无法满足城市景观设计的精度要求,而且数据质量受到云和其他大气状况的严重影响。地表温度与大气温度的关系错综复杂^[2, 19],两者难以结合。此外,数学模型模拟的精度也受其输入数据源的控制,因而也受数据源的尺度和维度的制约。

4.2 利用景观格局分析城市热岛效应的问题

(1) 景观分类方法 遥感的强项其实在于它能够对地表进行连续的观测和制图,而我们常常用离散(有明显界限)的景观类型对连续的景观类型进行分类,丢失了很多信息,也忽略了边缘效应^[96]。

(2) 景观格局指数的尺度和维度 不同的尺度和维度下,景观格局的形式不同,所影响的过程也不同。城市内部的几何结构、天空可见系数是重要的能体现城市三维特征的景观格局参数,但这个参数在很多研究中都得不到体现^[52]。如何构建或者选择这些能够反映相应的维度和尺度下的过程的景观格局参数也是一大挑战。

(3) 传统景观格局指数的生态学含义和多维景观格局的描述 传统的景观格局指数对景观类型图进行分形几何分析,只能得出一些分形的描述,对于某一个指数值是由何种景观基质以何种方式构成则无法体现。寻找能体现生态过程的景观格局分析方法是一个关键。对于中尺度的景观分析,Xu 的探讨^[40]能将源汇景观细化,并算得各种景观在不同时期的贡献作用,极有可能提出一个能够跨尺度且包含机理的景观指数。因为已有研究利用“源汇景观”理论及其引出的景观指数^[97-98],在农业非点源污染等研究中皆体现出了景观过程和跨尺度意义,但 Xu 的研究未试图对热岛机理进行描述,限于统计分析;更何况城市并非都是热“源”,还有研究表明城市有时候也是一个热“汇”^[86];城市绿地对热岛效应的作用不单是负作用,有时也表现出正作用^[56, 68],用不同时相、不同地区、不同详细程度的景观类型数据对指数的普适性的验证不可或缺。

而从景观模拟的角度看,仅少数传统的景观指数可以在一维模型中应用,对于加入了地表建筑物高度、间距等特征的二维、三维模型,目前还没有合适的描述二维乃至三维特征的景观格局指数或方法,使之既能在城市热岛应用模型中使用,又能使模拟结果直接应用于城市景观设计。

(4) 社会经济数据的应用不足 若要指导城市景观设计,城市气候是需要考虑的一方面,城市其他因子,如水电能耗、人口密度等也是需要考虑的因子。在我国北京^[99]、上海^[16]等大城市中,影响城市热岛演变的因素主要有城市 GDP、人口、建筑规模、总运输量、总耗电量城区总绿地面积;国际上对 Phoenix 城的研究表明除植被与硬化地表外,加入居民收入能更好地解释白天地表热岛的格局^[86],此外,城市绿化的生态服务功能与其耗水量之间的权衡也是值得研究的问题^[41, 51, 100]。可见如何将地表因子和社会经济因素同时考虑是对热岛研究和景观规划的另一大挑战。

5 从景观格局角度研究城市热岛的重点

城市热岛效应研究以良好的城市人居环境为最终目的,城市规划和景观设计是达到这个目的的有效有

段。从景观格局角度对城市热岛效应的研究中存在一些不足与难点,然而如何合理利用城市绿地、水体景观及其他城市景观的设计来调节城市气候又急需景观生态学的理论指导^[11],因此,基于以上综述和讨论提出该方向今后研究的4个要点:

(1)针对研究目标,选取或生产最合适的高质量数据。在评价或预测城市热岛效应的研究或模型中,选取最合适的高质量遥感数据和气象数据。在景观分类和野外实测时,严格设计实验、控制实验步骤。根据需要,在离散的景观分类中加入连续性的、具有生态学意义的地表参数,或将两者结合起来构建景观格局指数,使之更便利城市规划和景观设计。

(2)深入从景观格局角度模拟城市热岛效应的研究,尤其是二维和三维景观的模拟,并发展多维度的景观格局指数。不仅模拟小尺度、多维度的景观格局,也模拟更具体的景观基质,如新兴的建筑物材料等,为小尺度生态社区建设提供参考依据。

(3)中尺度上充分利用多光谱遥感和热红外遥感数据,结合小尺度的测量和模拟,建立基于机理的景观模型或格局指数以评价区域热岛效应。

(4)多领域数据的融合和多学科方法的交叉。城市热岛效应研究涉及到生态学、气候学、城市规划、社会经济学等多个学科,不同学科的数据存在着时、空尺度的差异,恰当地对其进行融合是城市热岛效应研究的基础;而多学科的研究方法的集成则更有助于景观格局与热岛研究取得新进展,为城市规划和设计提供更具体可靠的参考依据。

References:

- [1] Wu J. Urban sustainability: an inevitable goal of landscape research. *Landscape Ecology*, 2010, 25(1): 1-4.
- [2] Nichol J E, Fung W Y, Lam K S, Wong M S. Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and 'in situ' air temperature. *Atmospheric Research*, 2009, 94(2): 276-284.
- [3] Oke T. The heat island of the urban boundary layer: Characteristics, causes and effects, in *Wind climate in cities*, E. Cermak, Springer, 1995: 81-107.
- [4] Xiao R B, Oyang Z Y, Li W F, Zhang Z M, Gregory T J, Wang X K, Miao H. A review of the eco-env ironmental consequences of urban heat islands. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2055-2060.
- [5] Changnon S A, Kunkel K E, Reinke B C. Impacts and Responses to the 1995 Heat Wave: A Call to Action. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996, 77(7): 1497-1506.
- [6] Wu J. Urban sustainability: an inevitable goal of landscape research. *Landscape ecology*, 2010, 25(1): 1-4.
- [7] Rizwan A M, Dennis L Y C, Liu C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(1): 120-128.
- [8] Heidt V, Neef M. Benefits of Urban Green Space for Improving Urban Climate, 2008:84-96.
- [9] Epa. Urban Heat Island Mitigation. 2009. [2010-03-11], <http://www.epa.gov/hiri/mitigation/index.htm>.
- [10] Chen L D, Liu Y, Lü Y H, Feng X M, Fu B J. Landscape Pattern Analysis In *Landscape Ecology: Current, Challenges and Future*, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [11] Opdam P, Luque S, Jones K B. Changing landscapes to accommodate for climate change impacts: a call for landscape ecology. *Landscape Ecology*, 2009, 24(6): 715-721.
- [12] Google Scholar. Searching for "urban heat island". [2010-03-11]. http://scholar.google.com/scholar?hl=zh-CN&q=Urban+heat+island&btnG=%E6%90%9C%E7%B4%A2&lr=&as_ylo=&as_vis=1.
- [13] Howard L. The climate of London, deduced from meteorological observations. Vol. 2. 1818, 1820, 1833, London: W. PHILLIPS, GEORGE YARD.
- [14] Manley G. On the frequency of snowfall in metropolitan England. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1958, 84: 70-72.
- [15] Li G C, Li G P, Liu F H, Miao Z C. Characteristics of precipitable water vapor and their relationship with surface vapor pressure in north china. *Journal of Tropical Meteorology*, 2009, 25(4): 488-494.
- [16] Cao A L, Zhang H, Zhang Y, Ma W C. Decadal changes of air temperature in Shanghai in recent 50 years and it's relation tourbanization. *Chinese Journal of Geophysics*, 2008, 51(6): 1663-1669.
- [17] Jiang X D, Xia B C, Guo L, Li N. Character istics of multiscale temporalspatial distribution of urban heat island in Guang Zhou. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 133-139.
- [18] Rao P. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1972, 53(7): 647-648.

- [19] Voogt J A, Oke T R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(3): 370-384.
- [20] Arnfield A J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 2003, 23(1): 1-26.
- [21] Roth M, Oke T, Emery W. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 1989, 10(11): 1699-1720.
- [22] Mirzaei P A, Haghighat F. Approaches to Study Urban Heat Island-Abilities and Limitations. *Building and Environment*, 2010, 45(10): 2192-2201.
- [23] Hu J C, Zhu Q J. Urban heat island: progress of the field. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2010, 46(2): 186-193.
- [24] Chen Y H, Li J, Li X B. *Urban Spatial Thermal Environment Remote Sensing Analysis Pattern, Process, Modeling and Effects*. 1 ed. Beijing: Science press. 2004
- [25] Weng Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2009, 64(4): 335-344.
- [26] Qin Z, Karnieli A. Progress in the remote sensing of land surface temperature and ground emissivity using NOAA-AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20(12): 2367-2393.
- [27] Duan S B, Yan G J, Qian Y G, Li Z L, Jiang X G, Li X W. Two Mono-Channel algorithm for land surface temperature retrieval using HJ-1B simulating data. *Progress in Natural Sciences*, 2008, 18(9): 1001-1008
- [28] Zhang Y, Yu T, Gu X F, Zhang Y X, Chen L F, Yu S S, Zhang W J, Li X W. Land Surface Temperature Retrieval from CBERS-02 IRMS Thermal Infrared Data and Its Applications in Quantitative Analysis of Urban Heat Island. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(5): 789-797.
- [29] Wang Z Z, Li Y. Geophysical parameters retrieving algorithm of AMSR-E. *Journal of Remote Sensing*, 2009, 13(3): 363-370.
- [30] Mao K B, Shi J C, Li Z L, Qin Z H, Li M C, Xu B. A physics-based statistical algorithm for retrieving land surface temperature from AMSR-E passive microwave data, *Science in China (Series D)*, 2006(12): 1170-1176.
- [31] Sobrino J, Jimenez-Munoz J, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 90(4): 434-440.
- [32] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(18): 3719-3746.
- [33] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108(D22): 4688-4695.
- [34] Mao K B, Tang H J, Chen Z X, Qiu Y B, Qin Z H, Li M C. A Split-window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from ASTER Data. *Remote Sensing Information*, 2006(5): 7-11.
- [35] Gillespie A, Rokugawa S, Matsunaga T, Cothren J, Hook S, Kahle A. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1998, 36(4): 1113-1126.
- [36] Mao K, Shi J, Li Z, Tang H. An RM-NN algorithm for retrieving land surface temperature and emissivity from EOS/MODIS data. *Journal of Geophysical Research*, D, 2007, 112: 1-17.
- [37] Zhang J H, Li X, Yao F M, Li X H. The Progress in Retrieving Land Surface Temperature Based on Thermal Infrared and Microwave Remote Sensing Technologies. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, 29(8): 2103-2107.
- [38] Saaroni H, Ben-Dor E, Bitan A, Potchter O. Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 48(1/2): 1-18.
- [39] Lin X C, Yu S Q. Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48(1): 39-45.
- [40] Xu S. An approach to analyzing the intensity of the daytime surface urban heat island effect at a local scale. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 151(1): 289-300.
- [41] Gober P, Brazel A, Quay R, Myint S, Grossman-Clarke S, Miller A, Rossi S. Using Watered Landscapes to Manipulate Urban Heat Island Effects: How Much Water Will It Take to Cool Phoenix? *Journal of the American Planning Association*, 2010, 76(1): 109-121.
- [42] Tran H, Uchiyama D, Ochi S, Yasuoka Y. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2006, 8(1): 34-48.
- [43] Xiao R B, Ouyang Z Y, Zhang Z M, Wang X K, Li W F, Zheng H. Advances in Methodology of Urban Heat Island. *Meteorology*, 2005(11): 4-7.
- [44] Stone B. Land Use as Climate Change Mitigation. *Environmental Science & Technology*, 2009, 43(24): 9052-9056.
- [45] Jentsch M, Bahaj A, James P. Climate change future proofing of buildings-Generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Buildings*, 2008, 40(12): 2148-2168.
- [46] Bahaj A. Photovoltaic roofing: issues of design and integration into buildings. *Renewable energy*, 2003, 28(14): 2195-2204.
- [47] Akbari H, Menon S, Rosenfeld A. Global cooling: effect of urban albedo on global temperature. 2008.
- [48] Taha H, Akbari H. Cool roofs as an energy conservation measure for federal buildings. 2003-04-07. <http://escholarship.org/uc/item/9nh9n203>
- [49] Oleson K, Bonan G, Feddema J. Effects of white roofs on urban temperature in a global climate model. *Geophysical research letters*, 2010, 37(3):

- L03701.
- [50] Menon S, Et Al. Radiative forcing and temperature response to changes in urban albedos and associated CO₂ offsets. *Environmental Research Letters*, 2010, 5(1): 014005.
 - [51] Shashua-Bar L, Pearlmutter D, Erell E. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 92(3/4): 179-186.
 - [52] Krayenhoff E, Voogt J. Impacts of urban albedo increase on local air temperature at daily through annual time scales: Model results and synthesis of previous work. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2010.
 - [53] Zhou X, Zhang B, Lei L, Liu L, Chen Z, Fan J, Liu H. Variation of albedo with the increased impervious surface in Beijing-Tianjin area of China. 2010. IEEE.
 - [54] Jin M, Dickinson R. The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS. *Journal of Climate*, 2005, 18: 1551-1565.
 - [55] Taha H. Meso-urban meteorological and photochemical modeling of heat island mitigation. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(38): 8795-8809.
 - [56] Cao X, Onishi A, Chen J, Imura H. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 96(4): 224-231.
 - [57] Zhang Y, Odeh I, Han C. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 2009, 11: 256-264.
 - [58] Weng Q, Lu D. A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 2008, 10(1): 68-83.
 - [59] 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(In Press, Corrected Proof)(3): 504-513
 - [60] Bruse M. Modelling and strategies for improved urban climates. in Invited paper. In: *Proceedings International Conference on Urban Climatology and International Congress of Biometeorology*, Sydney, November 8-12. 1999.
 - [61] Akbari H. Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environmental Pollution*, 2002, 116: S119-S126.
 - [62] Wu J G, *Landscape Ecology-Pattern, Process, Scale and Hierarchy* (2ed). Beijing: Higher Education Press. 2007.
 - [63] Peng Z, Liao H P, Guo Y T, Li Q. Influence of land cover change on land surface temperature in the mountainous city. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 673-684.
 - [64] Liu Z W, Dang A R, Lei Z D, Huang L G. A Retrieval Model of Land Surface Temperature with ASTER Data and Its Application Study. *Progress In Geography*, 2003, 22(5): 507-515.
 - [65] Qian L X, Cui H S. Relationship between normalized difference moisture index and land surface temperature. *Geographical Research*, 2008, 27(6): 1358-1366+1483.
 - [66] Chen X L, Zhao H M, Li P X, Yin Z Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 104(2): 133-146.
 - [67] Weng Q, Liu H, Lu D. Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States. *Urban Ecosystems*, 2007, 10(2): 203-219.
 - [68] Chen L D, Fu B J, Zhao W W. Source-sink landscape theory and its ecological significance. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1444-1449.
 - [69] Tian G L, *Thermal Infrared Remote Sensing*. 1ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry. 2006: 428.
 - [70] Jiang X D, Xia B C. Spatial Characteristic Dynamic Simulations Of Urban heat Environment Of Cities In Pearl Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1461-1470.
 - [71] Jiang Y Z, Chen Z H, Li J. Heat Island Effect Of Beijing Based On Landsat TM Data. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(2): 120-123.
 - [72] Cheng H H, Yeng H, Wang Z S, Jian X. Relationships Between Types, Pattern Urban Green Space And Land Surface Temperature-A Case Study In Shenzhen Special Economic Zone, *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*. 2009, 45(3): 495-501.
 - [73] Wang J K, Wang K C, Wang P C. Urban Heat (or Cool) Island Over Beijing From Modis Land Surface Temperature. *Journal of Remote Sensing*, 2007, 11(3): 330-339.
 - [74] Weng Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2003, 69(5): 555-566.
 - [75] Huang C D, Shao Y, Li J. A Temporal And Spatial Analysis of Land Surface Temperature in Beijing Utilizing Remote Sensing Techniques. *Remote Sensing for land & Resources*, 2008(3): 64-68.
 - [76] Mcgarigal K, Marks B. FRAGSTATS. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Version 2.0. Oregon State University, Corvallis, 1994.
 - [77] O'Neill R, Krummel J, Gardner R, Sugihara G, Jackson B, Deangelis D, Milne B, Turner M, Zygmunt B, Christensen S. Indices of landscape pattern. *Landscape ecology*, 1988, 1(3): 153-162.
 - [78] Riitters K, O'Neill R, Hunsaker C, Wickham J, Yankee D, Timmins S, Jones K, Jackson B. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape ecology*, 1995, 10(1): 23-39.
 - [79] Liu H, Weng Q. Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis, USA.

- Environmental Monitoring and Assessment, 2008, 144(1): 199-219.
- [80] Liu H, Weng Q. Scaling Effect on the Relationship between Landscape Pattern and Land Surface Temperature: A Case Study of Indianapolis, United States. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2009, 75(3): 291-304.
- [81] Wang P. Multi-scale Analysis of Urban landscape Pattern and UHI effects[B]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2007.
- [82] Chen H, Gu L, Li Y Q, Ge C L. Analysis on relations between the pattern of urban forests and heat island effect in Chengdu, Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4865-4874.
- [83] Mi J T, Study On Landscape Pattern Change And Urban Heat Island In Macau[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [84] Zhang X F, Wang Y L, Wu J S, Li W F, Li Z G. Study on land surface temperature vegetation cover relationship in urban region; a case in Shenzhen City. Geographical Research, 2006, 25(3): 369-377, 561.
- [85] Wang Y, Hu F. Variations Of The Urban Heat Island In Summer Of The Recent 10 Years Over Beijing And Its Environment Effect. Chinese Journal of Geophysics, 2006, 29(1): 1663-1669.
- [86] Buyantuyev A, Wu J. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. Landscape ecology, 2010, 25(1): 17-33.
- [87] Zheng Z F, Liu W D, Wang Y C. Distributive Character of Urban Heat Island Effect in the Beijing Region. Journal of Nanjing Institute of meteorology, 2006, 29(5): 694-699.
- [88] Mesoscale Consultation for the MM5 Modeling System. 2008. DOI: <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/support/consult.html>.
- [89] Arnfield A J, Grimmond C S B. An urban canyon energy budget model and its application to urban storage heat flux modeling. Energy and Buildings, 1998, 27(1): 61-68.
- [90] Tanimoto J, Hagishima A, Chikklai P. An approach for coupled simulation of building thermal effects and urban climatology. Energy and Buildings, 2004, 36(8): 781-793.
- [91] Grimmond C, Oke T. Turbulent heat fluxes in urban areas: Observations and a local-scale urban meteorological parameterization scheme (LUMPS). Journal of applied meteorology, 2002, 41(7): 792-810.
- [92] Masson V, Grimmond C, Oke T. Evaluation of the Town Energy Balance (TEB) scheme with direct measurements from dry districts in two cities. Journal of applied meteorology, 2002, 41(1011-1026).
- [93] Oleson K W, Bonan G B, Feddesma J, Jackson T. An examination of urban heat island characteristics in a global climate model. International Journal of Climatology, 2010; n/a-n/a.
- [94] Mirzaei P A, Haghighat F. A novel approach to enhance outdoor air quality: Pedestrian ventilation system. Building and Environment, 2010, 45(7): 1582-1593.
- [95] Tong H, Liu Z H, Li Y M, Sang J G, Hu F. Actuality of summer urban heat island and the impact of urban planning "wedge-shaped greenland" to reducing the intensity of urban heat island in Beijing. Journal of applied meteorology science, 2005, 16(3): 357-366.
- [96] Chen L D, Xu J Y, Fu B J, Lv Y H. Quantitative assessment of patch edge effects and its ecological implications. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(9): 1827-1832.
- [97] Chen L D, Fu B J, Xu J Y, Gong J. Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on "Source-Sink" ecological processes. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [98] Chen L, Tian H, Fu B, Zhao X. Development of a new index for integrating landscape patterns with ecological processes at watershed scale. Chinese Geographical Science, 2009, 19(1): 37-45.
- [99] Huang J, Wang R, Shi Y. Urban climate change: A comprehensive ecological analysis of the thermo-effects of major Chinese cities. Ecological Complexity, 2009, In Press, Corrected Proof.
- [100] Manning W. Plants in urban ecosystems: Essential role of urban forests in urban metabolism and succession toward sustainability. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2008, 15(4): 362-370.

参考文献:

- [4] 肖荣波, 欧阳志云, 李伟峰, 张兆明, Gregory T J, 王效科, 苗鸿. 城市热岛的生态环境效应. 生态学报, 2005, 25(8): 2055-2060.
- [10] 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.
- [15] 李国翠, 李国平, 刘凤辉, 苗志成. 华北地区水汽总量特征及其与地面水汽压关系. 热带气象学报, 2009, 25(4): 488-494.
- [16] 曹爱丽, 张浩, 张艳, 马蔚纯. 上海近 50 年气温变化与城市化发展的关系. 地球物理学报, 2008, 51(6): 1663-1669.
- [17] 江学顶, 夏北成, 郭砾, 李楠. 广州城市热岛空间分布及时域-频域多尺度变化特征. 应用生态学报, 2007, 18(1): 133-139.
- [23] 胡嘉骥, 朱启疆. 城市热岛研究进展. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(2): 186-193.
- [24] 陈云浩, 李京, 李晓兵. 城市空间热环境遥感分析-格局、过程、模拟与影响. 1 版. 北京: 科学出版社. 2004.
- [27] 段四波, 阎广建, 钱永刚, 李召良, 姜小光, 李小文. 利用 HJ-1B 模拟数据反演地表温度的两种单通道算法. 自然科学进展, 2008, 18(9): 1001-1008.
- [28] 张勇, 余涛, 顾行发, 张玉香, 陈良富, 余姗姗, 张文君, 李小文. CBERS-02 IRMSS 热红外数据地表温度反演及其在城市热岛效应定量分析中的应用. 遥感学报, 2006, 10(5): 789-797.
- [29] 王振占, 李芸. 利用星载微波辐射计 AMSR-E 数据反演海洋地球物理参数. 遥感学报, 2009, 13(3): 363-370.

- [30] 毛克彪,施建成,李召良,覃志豪,李满春,徐斌. 一个针对被动微波 AMSR-E 数据反演地表温度的物理统计算法. 中国科学. D 辑:地球科学, 2006(12): 1170-1176.
- [34] 毛克彪,唐华俊,陈仲新,邱玉宝,覃志豪,李满春. 一个从 ASTER 数据中反演地表温度的劈窗算法. 遥感信息, 2006(5): 7-11.
- [37] 张佳华,李欣,姚凤梅,李先华. 基于热红外光谱和微波反演地表温度的研究进展. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(8): 2103-2107.
- [39] 林学椿,于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应. 地球物理学报, 2005, 48(1): 39-45.
- [43] 肖荣波,欧阳志云,张兆明,王效科,李伟峰,郑华. 城市热岛效应监测方法研究进展. 气象, 2005(11): 4-7.
- [62] 邬建国. 景观生态学-格局、过程、尺度与等级(第二版)2007, 北京: 高等教育出版社.
- [63] 彭征,廖和平,郭月婷,李清. 山地城市土地覆盖变化对地表温度的影响. 地理研究, 2009, 28(3): 673-684.
- [64] 刘志武,党安荣,雷志栋,黄聿刚. 利用 ASTER 遥感数据反演陆面温度的算法及应用研究. 地理科学进展, 2003, 22(5): 507-515.
- [65] 钱乐祥,崔海山. 归一化水汽指数与地表温度的关系. 地理研究, 2008, 27(6): 1358-1366+1483.
- [68] 陈利顶,傅伯杰,赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义. 生态学报, 2006, 26(5): 1444-1449.
- [69] 田国良. 热红外遥感. 1 版. 北京: 电子工业出版社, 2006:428.
- [70] 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.
- [71] 江樟焰,陈云浩,李京. 基于 Landsat TM 数据的北京城市热岛研究. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(2): 120-123.
- [72] 程好好,曾辉,汪自书,简霞. 城市绿地类型及格局特征与地表温度的关系——以深圳特区为例. 北京大学学报(自然科学版), 2009(03): 495-501.
- [73] 王建凯,王开存,王普才. 基于 MODIS 地表温度产品的北京城市热岛(冷岛)强度分析. 遥感学报, 2007(03): 330-339.
- [75] 黄初冬,邵芸,李静. 北京城市地表温度的遥感时空分析. 国土资源遥感, 2008(03): 64-68.
- [81] 王鹏. 城市景观格局与城市热岛效应的多尺度分析[B]. 成都:四川农业大学, 硕士论文, 2007.
- [82] 陈辉,古琳,黎燕琼,慕长龙. 成都市城市森林格局与热岛效应的关系. 生态学报, 2009, 29(9): 4865-4874.
- [83] 米金套. 澳门城市景观格局变化与热岛效应研究[D]. 北京:北京林业大学, 博士学位论文, 2010.
- [84] 张小飞,王仰麟,吴健生,李卫锋,李正国. 城市地域地表温度-植被覆盖定量关系分析——以深圳市为例. 地理研究, 2006, 25(3): 369-377+561.
- [85] 王郁,胡非. 近 10 年来北京夏季城市热岛的变化及环境效应的分析研究. 地球物理学报, 2006, 29(1): 1663-1669.
- [87] 郑祚芳,刘伟东,王迎春. 北京地区城市热岛的时空分布特征. 南京气象学院学报, 2006, 29(5): 694-699.
- [95] 佟华,刘辉志,李延明,桑建国,胡非. 北京夏季城市热岛现状及楔形绿地规划对缓解城市热岛的作用. 应用气象学报, 2005, 16(3): 357-366.
- [96] 陈利顶,徐建英,傅伯杰,吕一河. 斑块边缘效应的定量评价及其生态学意义. 生态学报, 2004, 24(9): 1827-1832.
- [97] 陈利顶,傅伯杰,徐建英,巩杰. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数. 生态学报, 2003, 23(11): 2406-2413.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态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 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 14 (July, 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:100071	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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csppg.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