

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 23 期 Vol.32 No.23 **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 23 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

中国石龙子母体孕期调温诱导幼体表型:母体操纵假说的实验检测	李 宏,周宗师,吴延庆,等 (7255)
同种或异种干扰对花鼠分散贮藏点选择的影响	申 圳,董 钟,曹令立,等 (7264)
曝气充氧条件下污染河道氨挥发特性模拟	刘 波,王文林,凌 芬,等 (7270)
贵州草海越冬斑头雁日间行为模式及环境因素对行为的影响	杨延峰,张国钢,陆 军,等 (7280)
青藏高原多年冻土区积雪对沼泽、草甸浅层土壤水热过程的影响	常 娟,王根绪,高永恒,等 (7289)
长沙城市斑块湿地资源的时空演变	恭映璧,靖 磊,彭 磊,等 (7302)
基于模型数据融合的干烟洲亚热带人工林碳水通量模拟	任小丽,何洪林,刘 敏,等 (7313)
农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例	张 印,周羽辰,孙 华 (7327)
用 PFU 微型生物群落监测技术评价化工废水的静态毒性	李朝霞,张玉国,梁慧星 (7336)
京郊农业生物循环系统生态经济能值评估——以密云尖岩村为例	周连第,胡艳霞,王亚芝,等 (7346)
基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究	冯晓刚,石 辉 (7355)
海南岛主要森林类型时空动态及关键驱动因子	王树东,欧阳志云,张翠萍,等 (7364)
不同播种时间对吉林省西部玉米绿水足迹的影响	秦丽杰,靳英华,段佩利 (7375)
黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化	王小林,张岁岐,王淑庆,等 (7383)
密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响	李宗新,陈源泉,王庆成,等 (7391)
沙地不同发育阶段的人工生物结皮对重金属的富集作用	徐 杰,敖艳青,张璟霞,等 (7402)
增强 UV-B 辐射和氮对谷子叶光合色素及非酶促保护物质的影响	方 兴,钟章成 (7411)
不同产地披针叶茴香光合特性对水分胁迫和复水的响应	曹永慧,周本智,陈双林,等 (7421)
芦芽山林线华北落叶松径向变化季节特征	董满宇,江 源,王明昌,等 (7430)
地形对植被生物量遥感反演的影响——以广州市为例	宋巍巍,管东生,王 刚 (7440)
指数施肥对楸树无性系生物量分配和根系形态的影响	王力朋,晏紫伊,李吉跃,等 (7452)
火烧伤害对兴安落叶松树干径向生长的影响	王晓春,鲁永现 (7463)
山地梨枣树耗水特征及模型	辛小桂,吴普特,汪有科,等 (7473)
两种常绿阔叶植物越冬光系统功能转变的特异性	钟传飞,张运涛,武晓颖,等 (7483)
干旱胁迫对银杏叶片光合系统 II 荧光特性的影响	魏晓东,陈国祥,施大伟,等 (7492)
神农架川金丝猴栖息地森林群落的数量分类与排序	李广良,丛 静,卢 慧,等 (7501)
碱性土壤盐化过程中阴离子对土壤中镉有效态和植物吸收镉的影响	王祖伟,弋良朋,高文燕,等 (7512)
两种绣线菊耐弱光能力的光合适应性	刘慧民,马艳丽,王柏臣,等 (7519)
闽楠人工林细根寿命及其影响因素	郑金兴,黄锦学,王珍珍,等 (7532)
旅游交通碳排放的空间结构与情景分析	肖 潇,张 捷,卢俊宇,等 (7540)
北京市妫水河流域人类活动的水文响应	刘玉明,张 静,武鹏飞,等 (7549)
膜下滴灌技术生态-经济与可持续性分析——以新疆玛纳斯河流域棉花为例	范文波,吴普特,马枫梅 (7559)
高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响	高桂珍,吕昭智,夏德萍,等 (7568)
桉树枝瘿姬小蜂虫瘿解剖特征与寄主叶片生理指标的变化	吴耀军,常明山,盛 双,等 (7576)
西南桦纯林与西南桦×红椎混交林碳贮量比较	何友均,覃 林,李智勇,等 (7586)
长沙城市森林土壤 7 种重金属含量特征及其潜在生态风险	方 晰,唐志娟,田大伦,等 (7595)
专论与综述	
城乡结合部人-环境系统关系研究综述	黄宝荣,张慧智 (7607)
陆地生态系统碳水通量贡献区评价综述	张 慧,申双和,温学发,等 (7622)



封面图说: 麋鹿群在过河——麋鹿属于鹿科,是中国的特有动物。历史上麋鹿曾经广布于东亚地区,到 19 世纪时,只剩下在北京南海子皇家猎苑内一群。1900 年,八国联军攻陷北京,麋鹿被抢劫一空。1901 年,英国的贝福特公爵用重金从法、德、荷、比四国收买了世界上仅有的 18 头麋鹿,以半野生的方式集中放养在乌邦寺庄园内,麋鹿这才免于绝灭。在世界动物保护组织的协调下,1985 年起麋鹿从英国分批回归家乡,放养到北京大兴南海子、江苏省大丰等地。这是在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区放养的麋鹿群正在过河。

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

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 380 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 38 * 2012-12

DOI: 10.5846/stxb201112261976

冯晓刚, 石辉. 基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究. 生态学报, 2012, 32(23): 7355-7363.

Feng X G, Shi H. Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7355-7363.

基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究

冯晓刚¹, 石 辉^{2,*}

(1. 西安建筑科技大学, 建筑学院, 建筑勘测研究所, 西安 710055;

(2. 西安建筑科技大学, 市政与环境工程学院, 西安 710055)

摘要: 城市公园景观作为城市绿洲区对城市生态环境特别是局地热环境的调节和改善起着极其重要的作用。以热红外遥感数据为信息源, 以遥感定量反演和地理信息空间分析技术为支撑, 对西安市城区 7 个主要公园对周边区域热环境的降温效应进行了研究。结果表明: 降温幅度(ΔT)与远离公园的距离(L)两者间呈现非线性的关系特征; 不同形态参数的公园对其周边区域的热环境影响不同, 公园降温范围与公园绿地面积和水体面积呈现较强的正相关关系; 公园水体面积比例 $\geq 30\%$ 时, 其平均降温影响范围和降温幅度均高于水体面积比例低于 30% 的公园。因此, 城市公园建设, 不仅要考虑公园面积和形状, 亦要考虑水体比例, 一般说来, 水体面积占公园面积 30% 以上为佳。基于热红外遥感数据对城市公园影响周边区域的范围和强度进行了定量探讨, 所得结论对指导城市公园的规划与建设具有实用价值和参考意义。

关键词: 公园; 冷岛效应; 地表温度; 降温; 西安市

Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing

FENG Xiaogang¹, SHI Hui²

1 College of Architecture, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China

2 College of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China

Abstract: The park landscape as the Oases in the city played an important role to the overall and partial urban eco-environment. Based on the thermal infrared remote sensing data, this paper analyzed the relationship between the land surface temperature of seven parks in Xian and the surrounding areas by using the technology of Mono-window algorithm and the spatial analysis based on RS and GIS. The results showed that: the temperature differences between the surrounding areas and boundaries of park rise with the distances further away from the park boundaries and growth mode for nonlinear. The parks with the different parameters have different effect on surrounding area of the thermal environment, and park area were decisive factor to the average temperature of parks. The average temperature decreasing range around parks has a positive relationship with the park area of green and water. Specially, when the water proportion over 30% in park, the average temperature decreasing range and the distance far away from the parks were higher than the park with the water proportion less than 30% in the Xi'an city. Therefore, we should not only consider the shape of the parks, but also should make the water proportion over 30% for the new park construction. In this study we got the features of the parks to the surrounding areas based on the thermal inferred data, which provides a reference and theory basis for the new parks design and construction.

基金项目: 陕西省教育厅基金项目(11JK0756); 西安建筑科技大学人才基金项目(RC1214)

收稿日期: 2011-12-26; **修订日期:** 2012-08-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shihui06@163.com

Key Words: Park; Cooling Island Effect; Land surface temperature; temperature cooling; Xi'an

城市气候环境是区域气候背景条件下,由于城市化的影响而形成的局地气候环境;城市下垫面性质、空气组成的变化和人为热的影响,使得城市中的气温高于周围乡村形成热岛效应^[1]。随着城市不断地“摊大饼”一样的蔓延以及人口进一步向城市集中,城市的热岛现象变得愈来愈重,对城市的生态环境产生多方面的影响^[2]。城市绿地和水域通过蒸腾和蒸发作用,吸收大量的潜热,对于减缓热岛效应具有重要的作用,但不同的绿地类型其作用的强度不同^[3]。

城市公园是城市绿地的核心组成,是城市绿化美化、改善生态环境的重要载体,不仅在视觉上给人以美的享受,而且对局部小气候的改善有明显效果。城市公园对小气候的影响不仅表现在公园的内部,同时对周边区域也有显著的影响^[4]。Jauregui 在墨西哥城的研究表明,大型绿地对周围建筑有降温的影响,在 Chapultepec 公园的冷却可以达到 2km 以外的距离^[5]。Chang 等根据台北 61 个公园的研究,发现公园的平均气温低于周围环境,认为公园是一个与“热岛”相对应的“冷岛”区域;大的公园比小的公园冷却效应强烈^[6]。Spronken-Smith 和 Oke 在美国加利福尼亚的研究发现,具有灌溉的绿地和高大乔木的公园其降温效应较强^[7]。Saito 等在日本的研究表明,城市空气温度分布与绿地区域密切相关,甚至约 60m×40m 的小块绿地也可显示降温效果^[8]。Upmanis 等在高纬度的瑞典 Göteborg 的研究表明,在夏季公园和城市建筑区域的最大温差可达 5.9℃,其凉爽的环境可以从公园边界延伸到 1100m 之外;其影响范围大小取决于公园的大小和距离公园的远近^[9]。苏泳娴等研究了广州市 17 个公园,发现水体面积比例较大的公园,比同等条件下水体面积较小的公园降温效果好;而长宽比较大(≥ 2)的公园,即使公园面积较小,降温效果也较明显^[10]。

目前关于城市公园对周边环境降温的影响以及降温变化规律还没有比较确定的定量研究,同时这些研究大多集中在热带亚热带气候环境下的城市,对于湿润半湿润地区城市的研究涉及较少。西安随着城市面积的扩大、产业结构的调整,城市的景观格局发生了巨大的变化,同时城市的热岛效应愈来愈强^[11-12];发挥城市绿地对热岛效应的减缓作用,是城市建设面临的关键性问题;对城市公园绿地降温效应的研究,则有利于合理规划公园布局、发挥公园的生态及服务功能,从而改善局部人居环境。

遥感方法通过对长尺度、大范围遥感数据的分析,为研究城市地表覆被的景观格局和热岛效应的时空分布特征提供了技术支撑^[13-15]。本文以西安市规模较大的 7 个最主要公园为分析对象,探讨具有不同形态参数的城市公园夏季平均温度低于周边区域温度的影响特征,以为城市公园规划设计和建设提供理论依据和实际参考。

1 研究区概况

西安市地处西北部关中盆地中部秦岭北麓,地跨渭河南北两岸,位于北纬 33°39'—34°45',东经 107°40'—109°49'。所辖 9 区 4 县,总面积 9983 km²,其中市区面积 1066 km²,城市建城区面积为 375 km²,常住人口 870 万。属暖温带半湿润季风气候,平均海拔高 424m,1 月份平均气温 0.4℃,7 月份平均气温 26.6℃,年平均气温 13.3℃。年平均降水量 613.7mm,年平均湿度 69.6%^[16]。本文选取兴庆公园、长乐公园、丰庆公园、革命公园、莲湖公园、大唐芙蓉园、城市运动公园等 7 个规模最大的公园为对象,其空间位置分布见图 1,公园特征见表 1。

2 数据源与研究方法

2.1 数据来源

地表温度由 2006 年 6 月 3 日 Landsat TM 卫星数据

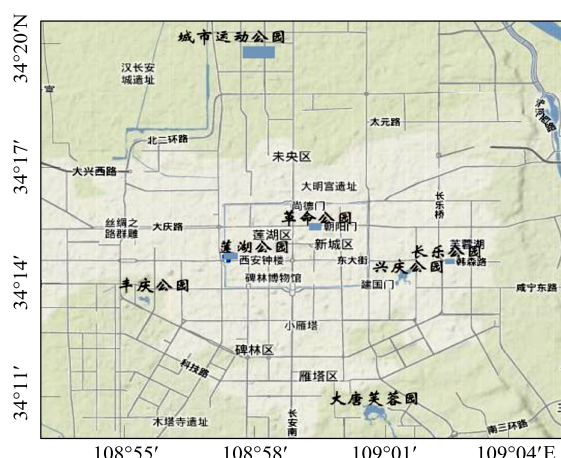


图 1 西安市公园位置分布图

Fig. 1 The location of parks of Xi'an

的热红外波段反演得到,公园下垫面类型组成由 2006 年 5 月 12 日高空间分辨率 IKONOS 卫星数据直接目视解译获取。辅助数据包括西安市 1:10000 比例尺地形图和历史气象数据资料。并借助遥感数据处理平台 Erdas、eCognition 和地理信息系统软件 ArcGIS 和 Arcview 及相关统计分析软件 SPSS 等。

表 1 西安市各公园特征参数表

Table 1 Detailed information about the parks of Xi'an

公园名称 Park name	绿地面积/m ² Green land area	绿地比例/% Green land rate	水域面积/m ² Water area	水域比例/% Water rate	长宽比 Length-width rate	形状指数 Shape index	平均温度/K Average temperature
兴庆宫公园	323100	52.17%	171900	27.75%	1.05	1.12	300.40
长乐公园	185780	91.12%	16000	7.85%	1.62	1.16	301.80
丰庆公园	252000	88.27%	32400	11.35%	1.20	1.16	303.00
革命公园	89100	50.07%	0	0	1.22	1.12	302.20
莲湖公园	43018	47.89%	8100	9.025	3.43	1.42	301.60
大唐芙蓉园	336311	55.56%	238873	39.46%	1.04	1.09	302.20
西安城市运动公园	333020	87.29%	35000	9.17%	1.19	1.19	301.10

2.2 研究方法

2.2.1 研究采用的技术路线

首先对获取的 2006 年 Landsat TM 热红外波段数据,采用 6S 模型进行大气校正和辐射校正,以 1:10000 比例尺地形图为准采用三次多项式模型对 TM 数据进行几何校正,校正误差在 0.5 个像元内,然后根据西安市行政边界范围进行图像裁剪。在此基础上利用单窗算法反演得到西安市主城区地表温度数据(图 2);利用 2006 年 5 月 12 日的 IKONOS 卫星数据经与 TM 数据配准后,通过目视解译的方法获取公园面域范围及公园内下垫面数据类型。对公园面域范围数据经空间重采样后利用叠置统计分析功能得到各公园平均地表温度(Land surface temperature, LST)数据。借助 ArcGIS 空间分析模块获取公园内平均地表温度及公园外不同缓冲区域内(缓冲距离分别为:30、60、90、120、210、420、600、900 m 及 1200 m)的平均地表温度。在计算公园冷岛指数(PCI)的基础上,构建了 PCI 指数与远离公园距离(L)间的定量模型,研究技术路线如图 2 所示。

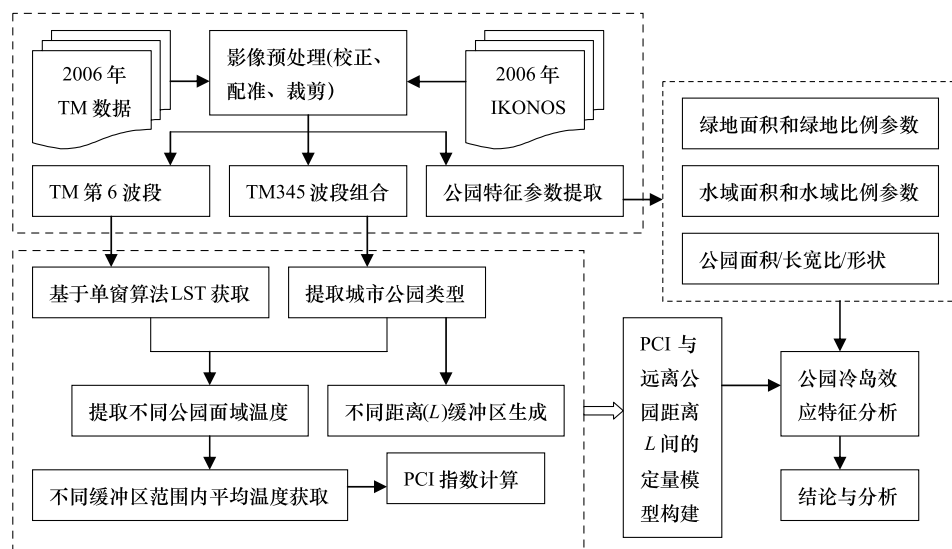


图 2 研究技术路线图

Fig. 2 Framework of study technology

2.2.2 地表温度定量反演

利用 TM/ETM+数据的热红外波段反演地表温度过程主要包括辐射亮温计算和地表温度计算两个步骤。

从 TM、ETM+影像的第 6 波段计算辐射亮温主要包括辐射定标,即利用定标系数(增益和偏移系数)将 DN 值转化为相应的辐射强度值,后根据辐射强度值推算相应的亮度温度。其计算公式参考 Landsat 手册:

(1) 辐射亮温计算

$$L_{\lambda} = \text{gain} \times \text{DN} + \text{offset} \quad (1)$$

$$L_{\lambda} = \frac{\text{DN} \times (L_{\max} - L_{\min})}{255} + L_{\min} \quad (2)$$

$$T_6 = K_2 / \ln(K_1 / L_{\lambda} + 1) \quad (3)$$

式中, L_{λ} 为热辐射强度值, T_6 为辐射亮温, K_1 、 K_2 均为校正系数(K_1 取值 TM 为 $60.776 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, ETM+ 为 $666.09 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$; K_2 取值 TM 为 1260.56 K , ETM+ 为 1282.71 K)。gain 为波段增益系数, offset 为偏移系数,两者均可由影像头文件获得。如果缺少定标参数 gain 和 offset 的资料,那么某一波段的 L_{λ} 值可以根据定标常数 $L_{\max}$ 和 $L_{\min}$ 计算获取(公式 2)。

(2) 地表温度计算

覃志豪等^[17]提出了仅适用于一个热红外波段、具有较高精度的地表温度反演方法单窗算法。本文选择单窗算法(式 4)作为地表温度提取的研究方法,其核心参数包括:地表比辐射率、大气透射率和大气作用平均温度 3 个。

$$T_s = \frac{1}{C} \{a(1 - C - D) + [b(1 - C - D) + C + D] \times T_b - D \times T_a\} \quad (4)$$

式中, T_s 为地表实际温度; T_b 为卫星高度上遥感器所观测到的亮度温度(K); T_a 是大气平均作用温度(K); C 和 D 是中间变量,其计算分别为: $C = \varepsilon\tau$, $D = (1 - \tau)[1 + (1 - \varepsilon)\tau]$; a 和 b 是根据热辐射强度和亮温拟合出来的系数,当温度介于 $0-70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, a 的取值为 -67.355351 , b 的取值为 0.458606 ; ε 和 τ 分别为热红外波段的地表比辐射率和大气透射率。

地表比辐射率的计算参照覃志豪的方法 $\varepsilon = f\varepsilon_v + (1 - f)\varepsilon_t + d\varepsilon$, 式中 ε_v 为 TM 热红外波段范围内植被的比辐射率取值为 0.985 , ε_t 为裸露地表的比辐射率取值为 0.960 。 f 为植被盖度, $d\varepsilon$ 为地表几何分布和内散射效应,由于所选研究区域比较平坦,故 $d\varepsilon = 0$, 植被盖度可用下式计算:

$$F = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) \quad (5)$$

式中, $NDVI$ 为归一化植被指数, $NDVI_{\max}$ 、 $NDVI_{\min}$ 分别为研究区域裸土和植被的 $NDVI$ 值。

大气平均作用温度主要取决于大气剖面气温分布和大气状态。但由于卫星飞过研究区上空的时间很短,因此,一般很难获取实时大气剖面数据和大气状态的直接观测数据。由于本文所用数据均为夏季获取,故借鉴覃志豪等^[18]人提出的针对中纬度夏季平均大气的大气平均作用温度的估算方法: $T_a = 16.0110 + 0.92621T_0$ (T_0 为近地面高 2m 处的大气温度,单位:K), 获取大气平均作用温度参数。大气透射率是地表温度遥感反演的又一关键参数,它的影响因素较多,且通常难以获取,因此文中借鉴覃志豪^[19]等提出的 TM6 的大气透射率估算方程, $\tau = 1.031412 - 0.11536\omega$ (ω 为大气水分含量), 查找历史气象数据的基础上,进行本文大气透射率的估算。最终地表温度反演结果如图 3 所示。

3 结果分析

3.1 城市公园地表温度特征分析

根据地表温度反演结果得到兴庆公园、长乐公园、丰庆公园、革命公园、涟湖公园、大唐芙蓉园、城市运动公园等 7 个公园的地表平均温度分别为 300.4 、 301.8 、 303.0 、 302.2 、 301.6 、 302.2 、 301.1K ; 与此相对应的每个公园周边 1200m 处的地表温度分别为 304.4 、 304.3 、 304.2 、 305.1 、 304.2 、 303.1 、 302.3K , 通过成对 t 检验,发现两者之间达到了极显著的差异($P=0.006$),表明夏季西安城市公园内平均温度低于周边地区,即存在显著的“冷效应”。

为了进一步分析公园地表温度与公园状态参数间的相关关系,将公园斑块与地表温度数据空间叠加,通

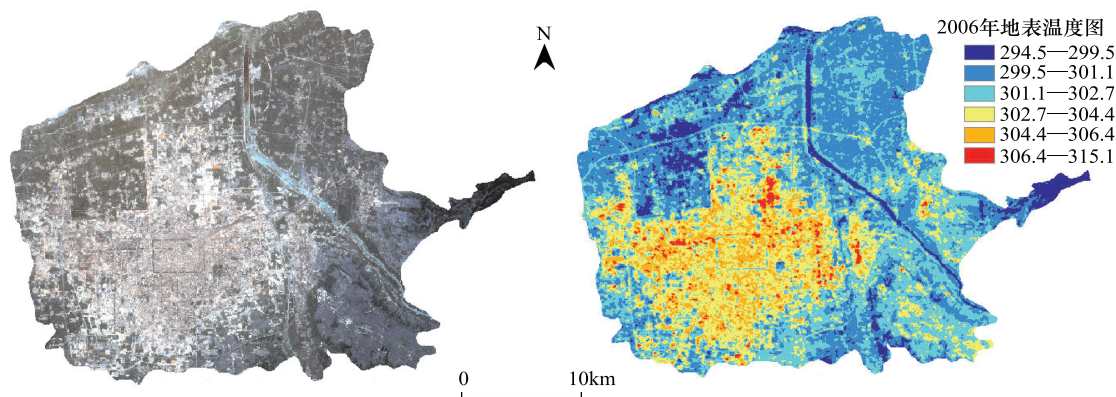


图3 研究区原始影像图及地表温度反演图

Fig. 3 The TM images and the LST of research area

过计算公园景观面积、长宽比和形状指数与对应的平均地表温度数据做 Pearson 相关性分析,得到相关系数分别为 -0.258 、 -0.043 、 -0.096 ,表明公园面积与公园地表温度两者呈现较低程度的负相关关系,公园长宽比及形状指数与其平均地表温度呈现极低的负相关关系;将植被面积与对应的公园地表温度数据作 Person 相关性分析,得到相关系数分别为 -0.254 ,表明植被面积与公园地表温度呈现较低程度的负相关关系;将水体面积与对应的公园地表温度数据作 Person 相关性分析,得到相关系数分别为 -0.233 ,表明公园水体面积与公园地表温度亦呈现较低程度的负相关关系。综上分析,可以得出公园面积是影响公园平均地表温度最主要的影响因子;植被面积及水体面积两个要素是仅次于公园面积对公园平均地表温度起重要作用的影响因素。因此,新建公园或者扩建公园从人居热生态环境的角度出发,除去考虑公园面积大小外,植被面积及水体面积是其规划与设计亦应考虑的重要影响因素。

3.2 城市公园冷效应的影响范围和强度分析

为了分析公园冷效应对周边温度的影响范围,首先对 7 个公园按照 30、60、90、120、210、420、600、1200 m 的距离分别进行缓冲区分析,将各缓冲区域与地表温度反演结果相叠置,得到各缓冲区域内的平均地表温度。以远离公园的距离为横坐标参数,以不同缓冲区域内平均地表温度为纵坐标进行对数曲线拟合,结果如图 4 和所示。

从图 4 可以看出,各公园均表现为随远离公园距离的增加地表温度出现上升趋势这一特点,但当距离达到一定范围之后,随着距离的增加地表温度的变化呈现出平稳渐变的特点;这一现象说明了城市公园的“冷”效应具有一定的影响范围;同时,各公园曲线拐点变化的不同则说明了不同公园的“冷”效应具有不同的影响距离。由图 4 可知,长乐公园、兴庆公园、革命公园和莲湖公园的温度变化曲线表现为相近的特征,即随着距离的增加(0—200m),温度有一个较大幅度变化的过程,之后呈现为缓慢增加的趋势,整体而言,随着远离公园距离的增加,温度变化幅度比较大。究其原因:①公园历史比较悠久,周边建筑多以古旧老建筑为主,且景观类型及其景观格局较为单一;②公园周边植被状况良好,主要以高大的乔木和灌木为主,街道较窄,直接裸露地表较少。因此,其温度变化特点表现为缓慢增加的趋势;与此同时,丰庆公园、大唐芙蓉园和城市运动公园的温度变化曲线表现为相近的特征,即随着短距离温度的增加(0—100m),温度在一个较小的幅度内迅速变化,之后当距离增大时,温度曲线呈现平稳变化的趋势,整体而言,随着远离公园距离的增加,温度变化幅度比较小。究其原因:①上述公园要么历史不长或者属于新建公园,要么是面积较小,多以地表灌草为主,少水或者无水;②周边地区均属于近年来高强度开发地区,地表覆被较少,街道宽敞,直接裸露面积较大,均表现为较高的地表反射率,因此,其温度变化特点表现为短距离迅速增加的趋势。

为了进一步分析夏季公园对其周边地区的降温影响,以构建的公园冷岛指数(PCI 指数是指公园平均温度与周边一定区域内平均温度的差值)为因变量,以公园周边平均温度点远离公园边界线的距离为自变量进

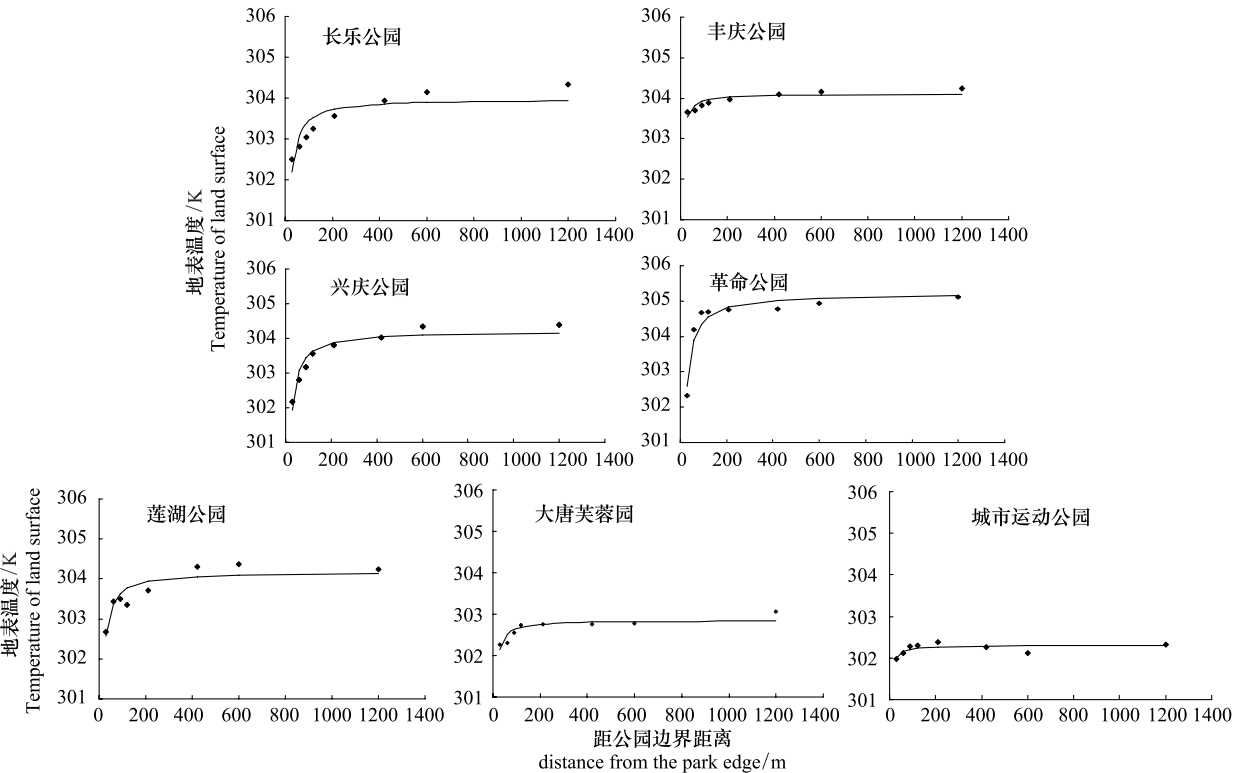


图 4 距公园不同距离地表温度变化特征

Fig.4 The characteristics of LST change of different distance far away from the parks

行对数拟合,结果如表 2。由表 2 可知:构建的 PCI 指数与距离两者间的相关系数除了西安城市运动公园比较低为 0.2683 外,其余的相关系数 R^2 值均大于 0.7,由此表明:这些公园的 PCI 指数与距离呈现为较强的非线性相关。进一步分析发现:西安城市运动公园地处北郊新市政府所在地,系 2004 年新建,是 7 个公园中唯一一个开放式公园,对其进行三次多项式拟合结果为: $y=5\times10^{-9}x^3-9\times10^{-6}x^2+0.0039x+0.7767$, $R^2=0.872$ 。以长乐公园为例,以构建的 PCI 指数为纵坐标、以远离公园的距离为横坐标,构建了 PCI 指数与远离公园距离的变化曲线,结果如图 5 所示;当缓冲区越远离公园时,两者间的温度差表现为增加的趋势,此外丰庆公园、兴庆公园、城市运动公园皆表现为此特征。同时,以周边 30m 等距区域的平均温度与其相邻区域的温度差为纵坐标,以等距离 30m 为横坐标构建温度差变化曲线(图 6),由图 6 可知:公园对其周边热环境的影响是有一定范围的,当远离公园的距离增加到一定程度的时候,PCI 指数会逐渐趋近于一个基本稳定的常数。且当距离为 30m 时,温度差变化最大,原因是地表覆被类型急剧变化的结果;随着距离的增加,温度差曲线呈现小幅度起伏变化的趋势,分析原因是基于 TM 热红外波段的地表温度反演,由于其空间分辨率的原因,反映的不是单

表 2 PCI 与距离(L)的拟合关系式

Table 2 The model between PCI and L of xi'an 7 parks

公园名称 Park name	对数多项式 Logarithm polynomial	R^2
兴庆宫公园	$y = 0.6036\ln(x) + 0.0079$	0.9364
长乐公园	$y = 0.5263\ln(x) - 1.0579$	0.9927
丰庆公园	$y = 0.1721\ln(x) + 0.0762$	0.9864
革命公园	$y = 0.5427\ln(x) - 0.5944$	0.5629
莲湖公园	$y = 0.4369\ln(x) - 0.1948$	0.8710
大唐芙蓉园	$y = 0.1447\ln(x) - 0.3801$	0.7194
西安城市运动公园	$y = 0.0568\ln(x) + 0.7789$	0.2683

一地表覆被类型的温度数据,而是混合像元的地表覆被温度。统计其它公园的相关数据会发现均存在上述规律。由此可见,公园对其周边热环境的影响是有一定范围的,当远离公园的距离增加到一定程度时,PCI 指数会逐渐趋近于一个基本稳定的常数,此处将这一常数定义为 $\Delta T_{\max}$,当 PCI 指数由 0 增加到最大 $\Delta T_{\max}$ 时,所对应的距离就是公园对周边环境温度影响的最大距离 $L_{\max}$ 。为了定量获取 7 个公园对周边环境的最大影响距离,基于拟合的三次多项式采用求极值的办法,获得得到 $\Delta T_{\max}$ 和 $L_{\max}$ 的值,结果如图 7 和图 8 所示。

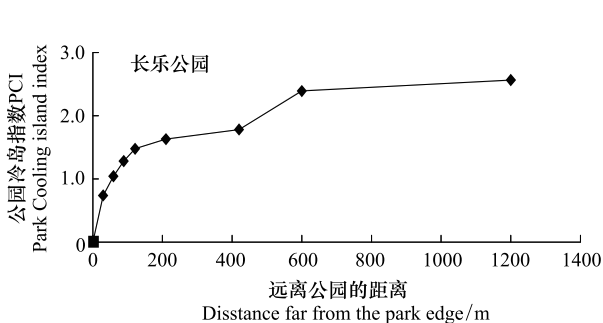


图 5 距公园不同距离 PCI 变化特征

Fig. 5 The characteristics of PCI change of different distance far away from the park

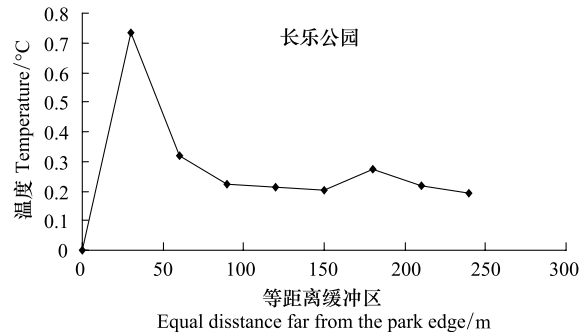


图 6 等距离缓冲区温度差变化特征

Fig. 6 The characteristics of temperature difference by the equal buffer distance far away from the park

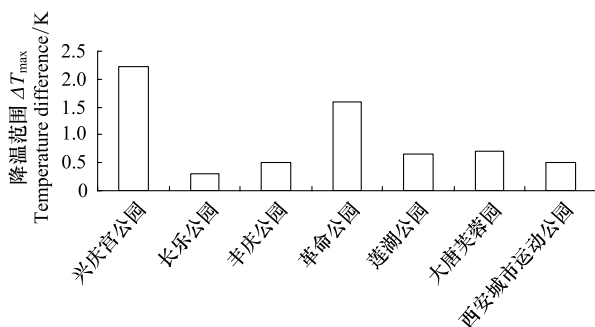


图 7 7 个公园的 $\Delta T_{\max}$ 直方图

Fig. 7 Histogram of the 7 park's temperature difference/ $\Delta T_{\max}$

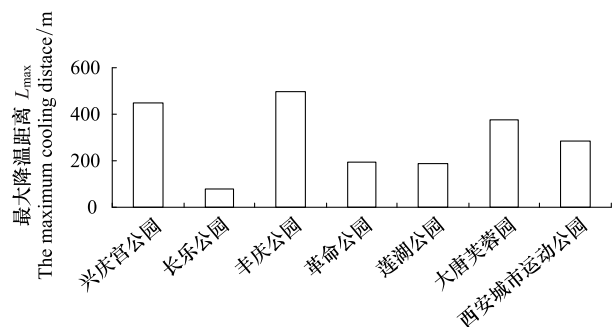


图 8 7 个公园的 $\Delta L_{\max}$ 直方图

Fig. 8 Histogram of the 7 park's the maximum cooling distance/ $\Delta L_{\max}$

由图 7 和图 8 可知,不同公园的平均降温影响范围及平均降温幅度均不相同。通过极值计算,所选的 7 个公园对周边环境温度影响的最大距离范围为 78.93—500.00m 之间,最大影响距离相差近 421m;同时,降温温差最小为长乐公园的 0.31℃,最大为兴庆宫的 2.21℃,最大温差范围相差 1.90℃。分析可知,造成这种差异的根本原因在于不同的公园具有不同的特征参数。

3.3 城市公园“冷”效应的影响分析

为了进一步分析城市公园不同冷效应的影响因素,从公园特征参数(绿地面积、水体面积、公园长宽比、形状指数等因子)与公园最大降温范围和最大降温温差间的相关关系入手,对获取的公园特征参数与相对应的降温范围与降温温差基于 SPSS18.0 进行地学统计分析。

(1) 所选公园的最大降温范围与绿地面积的相关系数为 0.632,与水域面积的相关系数为 0.543,与公园长宽比的相关系数为 -0.473,与公园形状指数间的相关关系为 0.068,由此表明:公园的降温范围与绿地面积和水域面积呈现较强的正相关关系,即公园绿地面积越大对其周边温度影响越明显,同时,水域面积亦呈现此特征;而与构建的公园长宽比呈现较弱的负相关关系,与公园形状指数相关关系微弱。当长宽比接近 1 时(如兴庆公园、大唐芙蓉园),其温度影响距离越远。

(2)最大降温 $\Delta T_{\max}$ 值与绿地面积的相关系数为 0.051,与水域面积的相关系数为 0.151,与公园长宽比的相关系数为-0.279,与公园形状指数间的相关关系为-0.313。表明公园最大降温幅度与公园绿地面积、水域面积呈现较低程度的正相关关系,同时水体对降温幅度的影响比植被要明显。进一步分析发现,对于水体面积比例较高($\geq 30\%$)的兴庆公园、大唐芙蓉园,其平均降温影响范围 $L_{\max}$ 及 $\Delta T_{\max}$ 整体略高于其它公园。究其原因这是由于水体热容较大,在同等太阳辐射条件下,升温较慢,同时水体具有较强的蒸散发能力及空气对流作用,从而使得其对周边地区的降温比较明显的缘故。

4 结论与讨论

本研究以 2006 年 6 月 Landsat TM 和 2006 年 5 月 12 日高分辨率 IKONOS 卫星数据为信息源,采用单窗算法获取地表温度基础上,以公园周边不同缓冲区域地表平均温度与公园区域平均温度之差构建 PCI 指数为因变量,并以远离公园边界的距离为自变量,分析了西安市城区兴庆公园等 7 个主要公园对周边热环境的降温效应,研究发现:(1)基于热红外遥感研究城市热岛效应的同时,亦可用于具有“冷效应”的城市公园景观等对城市热环境响应机制的研究;(2)通过对西安市主要公园降温幅度与距离的影响分析表明:PCI 随着距离的增加而增加,且增长方式呈现非线性特征,研究区所选公园最大降温范围介于 78.93—500.00m 之间,最大影响距离相差近 421m;降温温差最小为长乐公园的 0.31℃,最大为兴庆公园的 2.21℃,最大温差范围相差 1.90℃。(3)不同形态参数(面积、长宽比、形状指数等)的公园对其周边区域的热环境影响不同,公园平均降温范围与公园绿地面积和水体面积呈现较强的正相关关系;对降温幅度而言,水体比植被的影响更加明显,水体面积比例较高($\geq 30\%$)的兴庆公园、大唐芙蓉园,其平均降温影响范围 $L_{\max}$ 以及 $\Delta T_{\max}$ 整体略高于其它公园。因此,城市公园建设,不仅要考虑其形状,亦要考虑水体所占公园面积,一般说来,水体面积占公园面积 30% 以上为佳。

本文以西安市城区最主要的 7 个公园对其周边温度的影响为出发点,定量研究了夏季城市公园的“冷”效应特征及其影响因素,由于所选的样本数量较少,部分结论尚需进一步统计验证;同时,研究所选区域仅局限于西安市,因此,研究结果仅适用于与研究区域有类似情景的地区。

References:

- [1] Shi H. Urban Environment. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2010.
- [2] Peng S L, Zhou K, Ye Y H, Su J. Research progress in urban heat island. Ecology and Environment, 2005, 14(4): 574-579.
- [3] Tang L Z, Li Z Q, Yan C F, Sun C H, Xu X, Xiang H R. Mitigative effects of different vegetations on heat island effect in Nanjing. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(1): 23-28.
- [4] Yu C, Hien W N. Thermal benefits of city parks. Energy and Buildings, 2006, 38(2): 105-120.
- [5] Jauregui E. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. Energy and Buildings, 1990/1991, 15(3/4): 457-463.
- [6] Chang C R, Li M H, Chang S D. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. Landscape and Urban Planning, 2007, 80(4): 386-395.
- [7] Spronken-Smith R A, Oke T R. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(11): 2085-2104.
- [8] Saito I, Ishihara O, Katayama T. Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area. Energy and Buildings, 1990/1991, 15(3/4): 493-498.
- [9] Upmanis H, Eliasson I, Lindqvist S. The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). International Journal of Climatology, 1998, 18(6): 681-700.
- [10] Su Y X, Huang G Q, Chen X Z, Chen S S. The cooling effect of Guangzhou City parks to surrounding environments. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(18): 4905-4910.
- [11] Liu Z N, Yin X J. Urban heat island effect and meteorologic factors in Xi'an. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(22): 87-90.
- [12] Liu J P, Lin X D, Liu Y F, Sun Z Y. Survey on winter urban heat island in Xi'an. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2007, 28(8): 912-917.

- [13] Chen Y H, Li J, Li X B. Analyses on Spatial Thermal Environment Based on Remote Sensing-Pattern, Function, Simulation and Affection. Beijing: Science Press, 2004: 1-3.
- [14] Yue W Z. Research on the Landscape Pattern and the Urban Heat Island Effect Based on the Remote Sensing Data. Beijing: Science Press, 2008.
- [15] Li F J, Ma A Q, Ding Y D, Yang J J, Jiao J C, Liu L J. Research on urban heat island effect based on Landsat Data. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(4): 553-558.
- [16] Feng X G, Li R. Research on the urban expansion and driving factor — a case study of Xi'an and Xianyang city. Science of Surveying and Mapping, 2011, 36(1): 102-104, 72-72.
- [17] Qin Z H, Zhang M H, Karnieli A, Berliner P. Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from landsat TM6 data. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 456-466.
- [18] Qin Z H, Li W J, Zhang M H, Karnieli A, Berliner P. Estimating of the essential atmospheric parameters of mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from landsat TM6. Remote Sensing for Land and Resources, 2003, 56(2): 37-43.
- [19] Qin Z H, Li W J, Xu B, Chen Z X, Liu J. The estimation of land surface emissivity for landsat TM6. Remote Sensing for Land and Resources, 2004, 61(3): 28-32, 36-36, 41-41.

参考文献:

- [1] 石辉. 城市环境学. 西安: 陕西科学技术出版社, 2010.
- [2] 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.
- [3] 唐罗忠, 李职奇, 严春风, 孙储华, 徐新, 相恒让. 不同类型绿地对南京热岛效应的缓解作用. 生态环境学报, 2009, 18(1): 23-28.
- [10] 苏泳娴, 黄光庆, 陈修治, 陈水森. 广州市城区公园对周边环境的降温效应. 生态学报, 2010, 30(18): 4905-4910.
- [11] 刘转年, 阴秀菊. 西安城市热岛效应及气象因素分析. 干旱地区资源环境, 2008, 22(2): 87-90.
- [12] 刘加平, 林宪衡, 刘艳峰, 孙振义. 西安冬季城市热岛调查研究. 太阳能学报, 2007, 28(8): 912-917.
- [13] 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. 北京: 科学出版社, 2004: 1-3.
- [14] 岳文泽. 基于遥感影像的城市景观格局及其热环境效应研究. 北京: 科学出版社, 2008.
- [15] 李福建, 马安青, 丁原东, 杨俊杰, 焦俊超, 刘乐军. 基于 Landsat 数据的城市热岛效应研究. 遥感技术与应用, 2009, 24(4): 553-557.
- [16] 冯晓刚, 李锐. 西安咸阳一体化进程中城市扩展及驱动力研究. 测绘科学, 2011, 26(1): 102-104, 72-72.
- [17] 覃志豪, Zhang M H, Karnieli A, Berliner P. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.
- [18] 覃志豪, Li W J, Zhang M H, Karnieli A, Berliner P. 单窗算法的大气参数估计方法. 国土资源遥感, 2003, 56(2): 37-43.
- [19] 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 陈仲新, 刘佳. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计. 国土资源遥感, 2004, 61(3): 28-32, 36-36, 41-41.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 23 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Maternal thermoregulation during gestation affects the phenotype of hatchling Chinese skinks (<i>Eumeces chinensis</i>): testing the maternal manipulation hypothesis	LI Hong, ZHOU Zongshi, WU Yanqing, et al (7255)
Effects of conspecific and interspecific interference competitions on cache site selection of Siberian chipmunks (<i>Tamias sibiricus</i>)	SHEN Zhen, DONG Zhong, CAO Lingli, et al (7264)
Characterization of ammonia volatilization from polluted river under aeration conditions: a simulation study	LIU Bo, WANG Wenlin, LING Fen, et al (7270)
Diurnal activity patterns and environmental factors on behaviors of Bar-headed Geese <i>Anser indicus</i> wintering at Caohai Lake of Guizhou, China	YANG Yanfeng, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (7280)
Impacts of snow cover change on soil water-heat processes of swamp and meadow in Permafrost Region, Qinghai-Tibetan Plateau	CHANG Juan, WANG Gengxu, GAO Yongheng, et al (7289)
Spatial-temporal changes of urban patch wetlands in Changsha, China	GONG Yingbi, JING Lei, PENG Lei, et al (7302)
Modeling of carbon and water fluxes of Qianyanzhou subtropical coniferous plantation using model-data fusion approach	REN Xiaoli, HE Honglin, LIU Min, et al (7313)
Ecological compensation standard for controlling nitrogen non-point pollution from farmland: a case study of Yixing City in Jiang Su Province	ZHANG Yin, ZHOU Yuchen, SUN Hua (7327)
Static toxicity evaluation of chemical wastewater by PFU microbial communities method	LI Zhaoxia, ZHANG Yuguo, LIANG Huixing (7336)
Emergy evaluation of an agro-circulation system in Beijing suburb: take Jianyan village as a case study	ZHOU Liandi, HU Yanxia, WANG Yazhi, et al (7346)
Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing	FENG Xiaogang, SHI Hui (7355)
The dynamics of spatial and temporal changes to forested land and key factors driving change on Hainan Island	WANG Shudong, OUYANG Zhiyun, ZHANG Cuiping, et al (7364)
Impact of different sowing dates on green water footprint of maize in western Jilin Province	QIN Lijie, JIN Yinghua, DUAN Peili (7375)
The dynamic variation of maize (<i>Setaria mays</i> L.) population growth characteristics under cultivars-intercropped on the Loess Plateau	WANG Xiaolin, ZHANG Suiqi, WANG Shuqing, et al (7383)
Effect of different planting methods on root-shoot characteristics and grain yield of summer maize under high densities	LI Zongxin, CHEN Yuanquan, WANG Qingcheng, et al (7391)
Heavy metal contaminant in development process of artificial biological Soil Crusts in sand-land	XU Jie, AO Yanqing, ZHANG Jingxia, et al (7402)
Effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen on photosynthetic pigments and non-enzymatic protection system in leaves of foxtail millet (<i>Setaria italica</i> (L.) Beauv.)	FANG Xing, ZHONG Zhangcheng (7411)
Photosynthetic response of different ecotype of <i>Illicium lanceolatum</i> seedlings to drought stress and rewating	CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin, et al (7421)
Seasonal variations in the stems of <i>Larix principis-rupprechtii</i> at the treeline of the Luya Mountains	DONG Manyu, JIANG Yuan, WANG Mingchang, et al (7430)
Influence of terrain on plant biomass estimates by remote sensing: a case study of Guangzhou City, China	SONG Weiwei, GUAN Dongsheng, WANG Gang (7440)
Effects of exponential fertilization on biomass allocation and root morphology of <i>Catalpa bungei</i> clones	WANG Lipeng, YAN Ziyi, LI Jiyue, et al (7452)
Effects of fire damages on <i>Larix gmelinii</i> radial growth at Tahe in Daxing'an Mountains, China	WANG Xiaochun, LU Yongxian (7463)
A model for water consumption by mountain jujube pear-like	XIN Xiaogui, WU Pute, WANG Youke, et al (7473)
Specificity of photosystems function change of two kinds of overwintering broadleaf evergreen plants	ZHONG Chuanfei, ZHANG Yuntao, WU Xiaoying, et al (7483)

- Effects of drought on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Ginkgo biloba* WEI Xiaodong, CHEN Guoxiang, SHI Dawei, et al (7492)
- Numerical classification and ordination of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve LI Guangliang, CONG Jing, LU Hui, et al (7501)
- Impact of inorganic anions on the cadmium effective fraction in soil and its phytoavailability during salinization in alkaline soils WANG Zuwei, YI Liangpeng, GAO Wenyan, et al (7512)
- Photosynthetic adaptability of the resistance ability to weak light of 2 species *Spiraea* L. LIU Huimin, MA Yanli, WANG Baichen, et al (7519)
- Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe Bournei* plantation ZHENG Jinxing, HUANG Jinxue, WANG Zhenzhen, et al (7532)
- Analysis on spatial structure and scenarios of carbon dioxide emissions from tourism transportation XIAO Xiao, ZHANG Jie, LU Junyu, et al (7540)
- The hydrological response to human activities in Guishui River Basin, Beijing LIU Yuming, ZHANG Jing, WU Pengfei, et al (7549)
- Socio-economic impacts of under-film drip irrigation technology and sustainable assessment: a case in the Manas River Basin, Xinjiang, China FAN Wenbo, WU Pute, MA Fengmei (7559)
- Effects of pattern and timing of high temperature exposure on the mortality and fecundity of *Aphis gossypii* Glover on cotton GAO Guizhen, LÜ Zhaozhi, XIA Deping, et al (7568)
- Physiological responses of *Eucalyptus* trees to infestation of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle WU Yaojun, CHANG Mingshan, SHENG Shuang, et al (7576)
- Carbon storage capacity of a *Betula alnoides* stand and a mixed *Betula alnoides* × *Castanopsis hystrix* stand in Southern Subtropical China: a comparison study HE Youjun, QIN Lin, LI Zhiyong, et al (7586)
- Distribution and ecological risk assessment of 7 heavy metals in urban forest soils in Changsha City FANG Xi, TANG Zhijuan, TIAN Dalun, et al (7595)
- Review and Monograph**
- The relationship between humans and the environment at the urban-rural interface: research progress and prospects HUANG Baorong, ZHANG Huizhi (7607)
- Flux footprint of carbon dioxide and vapor exchange over the terrestrial ecosystem: a review ZHANG Hui, SHEN Shuanghe, WEN Xuefa, et al (7622)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 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

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 23 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 23 (December, 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:1000717	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