

文章编号:1001-7380(2015)05-0044-06

## 城市绿地降温增湿效应研究进展

田 婷,李静会,蒋华伟,靖 晶,姜红卫,李 欣,江 君

(江苏太湖地区农业科学研究所,江苏 苏州 215155)

**摘要:**城市的快速发展给城市生态环境带来了严重的负面影响,城市绿地是城市生态系统的重要组成部分,在改善城市生态环境、降温增湿等方面发挥着重要作用。科学合理地规划和配置城市绿地,对于改善城市小气候、建设生态城市具有重要的现实意义。该文从城市绿地的降温效应、增湿效应和人体舒适度3个方面,对国内外学者的相关研究进行评述,进而展望该领域未来的研究方向,为今后深入研究城市绿地降温增湿效应提供参考。

**关键词:**城市绿地;降温增湿效应;人体舒适度;生态环境

**中图分类号:**S718.51 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2015.05.013

## Research progress in temperature and humidity effects of urban green space

TIAN Ting, LI Jing-hui, JIANG Hua-wei, JING Jing, JIANG Hong-wei, LI Xin, JIANG Jun

(Institute of Agricultural Sciences in Taihu Area of Jiangsu, Suzhou 215155, China)

**Abstract:** The rapid development of city has brought about serious negative effects to its ecological environment. Urban green space is an important part of the urban ecosystem, and plays an important role in improving the ecological environment, and temperature and humidity effect. Scientism and rationality of urban green space design has an important practical significance for improving the city microclimate and eco-city building. This paper involves with three aspects, i. e., the cooling effect, humidification effect and human comfort degree of urban green space. And the relevant research progress of domestic and foreign scholars is reviewed, and the future research directions are also offered.

**Key words:** Urban green space; Temperature and humidity effect; Human comfort degree; Ecological environment

城市是人口、政治、经济、文化、宗教等高度密集的载体,是人类活动与自然环境高度复合的独特生态系统。由于城市的开放性、复合性、脆弱性等特征,城市生态系统极易受到人为活动的干扰和破坏<sup>[1-2]</sup>。改革开放36 a来,我国的城市化率由1978年的17.92%提高到2014年的54.77%,人们生活条件不断改善的同时也对城市生态环境造成了巨大的压力,人口剧增、气象灾害频发、水土流失、热岛效应、生物多样性丧失等各种生态环境问题日益严重。

城市绿地作为城市生态系统的重要组成部分,通过影响大气、水、热循环等过程,在改善城市生态

系统中起着不可或缺的作用,维持着整个城市生态系统平衡、健康发展<sup>[3]</sup>。城市绿地不仅具有平衡碳氧、减菌灭菌、吸污滞尘、消减噪音等净化环境的作用,还有遮荫、降温、增湿等改善局部小气候等多种效能,从而能够补偿一部分由于城市化而受到损害的自然环境功能。城市绿地与人类生活关系极其密切,随着城市热岛效应越来越显著,城市绿地的温湿效应越来越受到学者的普遍关注<sup>[4-5]</sup>。本文从城市绿地的降温效应、增湿效应和人体舒适度这3个方面,对国内外现有城市绿地温、湿效应的研究进行总结,分析目前研究的重点和难点,以期为深入研究城

收稿日期:2015-07-20;修回日期:2015-08-13

**基金项目:**江苏省林业三新工程项目“环太湖湿地生态修复关键技术示范与推广”(LYSX[2013]35);江苏太湖地区农业科学研究所基金项目“苏州市姑苏区温湿场特征空间分布及生态评价”(1431)

**作者简介:**田 婷(1988-),女,江苏金坛人,研究实习员,硕士,主要从事植物生态评价。E-mail:491016158@qq.com。

市绿地的降温增湿效应、构建良好生态城市提供参考依据。

## 1 降温效应

### 1.1 城市热岛效应

“城市热岛效应”是指城市区域温度高于城市郊区和农村的现象,它是城市区域的特有气候特征,需要对城市进行降温干预。自从19世纪初首次发现城市热岛效应后,世界上大小许多城市都发现了类似的现象,这表明城市热岛效应随着城市的发展已成为一个普遍的环境问题。城市热岛是一种城市公害,它对城市的经济发展、公共健康等都产生不利影响。城市绿地作为城市环境的过滤器,能够吸收太阳辐射能,通过遮荫和蒸散作用降低周围环境的温度,从而改善城市热岛效应。

### 1.2 城市绿地降温效应的影响因素

早在19世纪30年代,Howard<sup>[6]</sup>提出了伦敦市中心的温度要高于郊区,并分析了原因,这是国际上有关城市热岛效应的最早报道。1971年,国外学者Federer<sup>[7]</sup>发现,城市植被通过光合作用、蒸腾作用能够有效地缓解城市热岛效应。国内对城市绿地降温效应的研究始于20世纪70年代,蒋美珍<sup>[8]</sup>于1979年比较分析了城市绿地的降温作用,指出植被覆盖区相比于非植被覆盖区温度低1.1~1.5℃。城市绿地降温效应受多种因素的影响,包括绿地自身的特征因子如面积、形状、景观结构、树木类型、下垫面构成、郁闭度等因子;同时,城市绿地降温强度的大小还受到天气、季节和时间等外部因素的影响。

(1)下垫面构成:不同的下垫面类型具有不同的热效应,通常城市绿地植被下垫面具有较好的降温效应,而水泥、沥青等硬化路面由于是一些特殊的化学材料铺装,具有强烈的吸热效应,反而使得硬化地面附近的温度增高<sup>[9]</sup>。Ca等<sup>[10]</sup>研究表明,正午时刻,公园草地下垫面地表最高温度比周边停车场或商业区沥青下垫面低19℃,比混凝土下垫面低15℃;草地上方1.2m处的大气温度,相比于同时刻、同高度的周边要低2℃。宫阿都等<sup>[11]</sup>利用TM热红外遥感影像反演城市地表温度,分析了北京市热岛效应与城市土地利用覆盖的关系,结果表明城市水体、林地和耕地对缓解城市热岛效应有着明显的效果。徐心馨等<sup>[12]</sup>通过对林地、草地、水体、石材地面和水泥路面这5类下垫面1.5m高度大气温度

观测,认为林地、草地、水体对热岛效应有不同程度的缓解,其中林地的降温作用最为明显。城市绿地不同下垫面的组成比例对其降温效应也产生影响。Chang等<sup>[13]</sup>通过对台北61个城市公园内部和周围的空气温度进行测量,发现夏天正午时刻,铺装地面覆盖率大于50%且乔灌木稀少的公园,其平均温度竟比公园外部环境的温度高。肖捷颖等<sup>[14]</sup>认为在绿地规划设计时,水体面积比例不低于19%,不透水面比例不超过50%时,能够有效地增加降温幅度和提高降温速率。因此,在规划城市绿地布局时,维护好原有的河流、湖泊,保护自然下垫面,减少水泥、沥青等人工硬化下垫面的铺设,有利于缓解城市热岛效应。

(2)绿地结构类型:城市绿地不同植被类型的降温效果也不尽相同。朱春阳等<sup>[15]</sup>对北京典型的城市带状绿地进行研究,结果表明,与对照相比,草坪的降温效应不显著,而灌-草、乔-草和乔-灌-草绿地的降温效果显著。郑芷青等<sup>[16]</sup>对广州市不同的园林绿地类型的温湿效应进行比较研究,结果表明:城市园林绿化有明显的降温效应,其中林地降温效应最为明显。吴志能等<sup>[17]</sup>研究认为,乔木复合林地降温效果最好,且降温程度与郁闭度、乔木胸高断面积和植物三维绿量呈正相关关系。蔺银鼎等<sup>[18]</sup>的研究结果表明,成年林的降温效应要大于其他类型的绿地,原因可能是成年林绿量大,叶面积综合指数高,树干部分比较高,空气流通性较好。纪鹏等<sup>[19]</sup>认为,随着郁闭度的增加,降温效应逐渐增强,不同绿量强烈影响降温效应的发挥。秦仲等<sup>[20]</sup>主张,植物群落的降温效应与群落的郁闭度、平均冠幅、叶面积指数呈正相关关系。闫伟姣等<sup>[21]</sup>发现绿地叶面积指数、天空可见度和高程等因子对绿地降温效应在不同时段会产生不同程度的影响。其他学者进行的研究也得出了类似的结果<sup>[22-27]</sup>。总的来说,群落丰富、绿量大、郁闭度高、绿地叶面积指数高的城市绿地具有较好的降温效应。

(3)绿地面积、形状:城市绿地面积、形状对其降温强度和降温范围有着重要的影响。城市绿地斑块面积和绿化覆盖率对其降温作用存在影响<sup>[28]</sup>。武小刚等<sup>[29]</sup>研究认为,在水平方向上,绿地降温效应与绿地面积、绿量呈显著正相关,与绿地周长面积比值呈显著负相关。王红娟<sup>[30]</sup>认为,一定规模的绿地(0.13 km<sup>2</sup>以上)降温效应趋于稳定,其降温效应

随形状指数变大而增强。李海峰<sup>[31]</sup>的研究认为,降温效果最佳的绿地斑块面积是 2 hm<sup>2</sup>,在面积不变的前提下,形状越复杂降温效果越明显。贾刘强等<sup>[32]</sup>认为,1.5 hm<sup>2</sup>左右的绿地对周边温度影响范围最大,而 1.68 hm<sup>2</sup>左右的绿地对周边环境降温效率最大;在保证面积的前提下尽量增加周长,使绿地边界尽量复杂,对于降温程度起到积极作用。王娟等<sup>[33]</sup>认为绿地面积和绿地性状都影响着热岛效应的减弱,面积越大,降温效益越大;边缘率越高,降温效益越大,具体形状的降温能力顺序为圆形 < 矩形 < 环状 < 带状。部分学者还研究了城市带状绿地的降温效应,认为随着绿带宽度的增加,降温效应越强<sup>[34-36]</sup>。对于城市绿地的降温范围,人们也得出了相关的研究结果,如不论公园面积多大,其周围 60 m 降温作用最明显;120 m 以内的区域,绿地的降温作用有显著差异;距离大于 120 m 时,大小公园的降温效应没有显著的差别<sup>[37]</sup>。绿地降温的作用距离大概在 100 ~ 200 m 之间,越远离市中心的城市绿地,其降温的作用距离越大<sup>[38]</sup>。

可见,对于城市绿地降温效应的最佳作用面积,由于选取研究的对象不一以及其他影响因素的复杂性,所得结论有一定差异,但总体是降温效应随着绿地面积的增大而增强,当绿地面积达到一定值时,降温效应趋于稳定;对于一定面积的城市绿地,边界越复杂,边缘率越高,降温效益越强;城市带状绿地的降温效应,随着绿带宽度的增加,降温效应越强,当达到一定宽度,降温效应趋于稳定;城市绿地降温的作用范围随着距离的增大逐渐降低。

(4)其他因素:城市绿地的降温效应在不同区域、不同天气条件、不同季节、不同时段都表现出一定的差异。

墨西哥学者 Jauregui<sup>[39]</sup>的研究发现,城市绿地在干旱季节时降温强度达 4 ℃,而在潮湿季节仅有 1 ℃,因此他认为空气湿度是影响城市绿地发挥降温作用的重要因素之一。Sugawara 等<sup>[40]</sup>通过实地调查研究,认为白天公园的冷岛强度夏季强于冬季,而夜间的冷岛强度季节变化不明显。Shuko 等<sup>[41]</sup>的研究结果显示,绿地和其周边温度差异夏季大,冬季小;在夜晚冷岛效应的影响范围延伸 200 ~ 300 m,在白天尤其是 8 ~ 10 月,范围可以超过 500 m。有研究认为,春、夏、秋 3 季 1 d 中降温效应最强的时段是在环境温度最高的时段(14:00 ~ 16:00),环

境温度是降温效应的主要影响因素<sup>[42]</sup>。

## 2 增湿效应

城市绿地植物从土壤中吸收大量水分,通过叶片蒸腾作用,挥发大量的水分,从而提高周围空气的湿度。相比于对城市绿地降温效应进行不同城市尺度的研究,增湿效应更多的是进行小尺度的实地调查研究。不同于城市绿地降温效应影响因素研究的多元化和复杂性,对于城市绿地增湿效应的研究还处于初步阶段,相关影响因素主要集中在绿地结构类型、面积和形状等参数。

### 2.1 绿地结构类型

绿地结构类型是影响增湿效应的重要因素之一。Bernatzky<sup>[43]</sup>早在 1982 年就指出,城市植被覆盖区较非植被覆盖区的空气相对湿度高 5% ~ 10%。林荫等<sup>[27]</sup>研究认为,绿地有显著的增湿效果,且增湿效果为乔-灌-草绿地 > 乔-草绿地 > 灌-草绿地 > 草坪。吴菲等<sup>[44]</sup>研究表明在 1 d 中的任何时刻,林下广场和无林广场的相对湿度差异都达到了极显著水平,林下广场调节城市小气候的功能最佳。夏繁茂等<sup>[45]</sup>认为,在硬化地面的湿度差异性比较中,灌木绿篱、乔灌木、密林、草坪、灌草差异显著,其中灌木绿篱增湿效应最为明显。王红娟等<sup>[46-49]</sup>分析认为,增湿效应由强到弱依次为灌木林、乔-草林、河流、水泥路面。另外,复合型绿地的增湿效果要优于单一植被。

### 2.2 其他特征参数

绿地面积、形状、植被覆盖状况、天气条件等因素也会影响绿地的增湿效应。Koh 等<sup>[50]</sup>发现,绿地增湿效应和风速、风向有很大的关系。吴志能等<sup>[17]</sup>发现增湿程度均随着郁闭度、乔木胸高断面面积和植物三维绿量的增加均呈现增大的趋势。吴菲等<sup>[51]</sup>认为,1 ~ 2 hm<sup>2</sup>的城市绿地具有一定的增湿效应,3 hm<sup>2</sup>的绿地增湿效果较明显,5 hm<sup>2</sup>的绿地增湿效果极其明显,大于 5 hm<sup>2</sup>的绿地增湿效果极其明显且恒定。闫淑君等<sup>[34]</sup>认为,亚热带河岸,宽度达到 30 m 的绿带可以显著调节湿度,宽度达到 60 m 的绿带增湿效应达到极显著水平。臧亭等<sup>[52]</sup>以为,城市高密度中心区,规模在 103 ~ 104 m<sup>2</sup>,形状为条带状或组团状,且边缘较为复杂的单个绿地斑块获最佳降温增湿效应。

### 3 城市绿地降温增湿效应对人体舒适度的影响

城市绿地的降温增湿效应,使得人们能够在城市里生活得更加舒适,舒适的程度可以通过人体舒适度来评价。人体舒适度是以人类机体与大气环境之间的热交换原理为基础,从气象角度评价人体在不同气候条件下舒适感的一项生物气象指标。

#### 3.1 人体舒适度指数

人体舒适度指数能够直接表达人体所感受到的小气候信息。影响人体舒适度的2个最主要的因素就是温度与湿度,学者们提出了许多基于这2个因子的指标,其中应用最多的是由 Thom<sup>[53]</sup> 在1959年提出的不舒适指数:  $DI = 0.72(Ta + Tw) + 40.6$ , 式中  $DI$  为炎热指数,  $Ta$  为气温,  $Tw$  为湿球温度。此后美国国家气象局用于夏季舒适度及工作时数预报的温湿指数  $THI$  (Thermal Humidity Index) 即源于此<sup>[54]</sup>。Kyle 发展并完善了温湿指数,并给出计算公式<sup>[55]</sup>:  $THI = T - 0.55(1 - RH)(T - 14.5)$ , 式中  $T$  是环境空气温度(℃),  $RH$  是空气相对湿度(%)。无论是不舒适指数( $DI$ )还是温湿指数( $THI$ ),数值越高,人体感受越不舒适。1984年,陆鼎煌等<sup>[56]</sup>提出了基于温度、湿度和风速的综合舒适度指数:  $S = 0.6 \times |Ta - 24| + 0.07 \times |R - 70| + 0.5 \times |V - 2|$ , 式中  $Ta$  为日均温度(℃),  $R$  为相对湿度(%) ,  $V$  为1.5 m处风速(m/s)。

#### 3.2 温湿效应对人体舒适度的影响

钱妙芬等<sup>[57]</sup>在1996年提出了一个基于气压、日照、降水、雾日、风速、气温、相对湿度7个气候因素和3个大气污染物的“气候宜人度”评价数学模型,并对四川省不同旅游区进行宜人度评价,认为春、秋季宜人度最好,夏季次之,冬季最差。有人应用温湿指数对当地高温期的热环境及对人体舒适度的影响进行了研究评价,认为当地夏季具有高温、高湿的特征,舒适度较低<sup>[58-59]</sup>。李兴荣等<sup>[60]</sup>通过研究分析与数据实证,结合深圳特殊的地理环境位置,提出了一个更适合深圳的舒适度评价指标,并对深圳城市、海洋、丘陵、山地等4个小气候区进行舒适度评价,认为白天海洋区域最舒适,夜间山地区域最舒适。郑敬刚等<sup>[61]</sup>针对不同类型的绿化区域,认为以乔木绿化为主的绿地人体舒适度最好。姜宗香<sup>[62]</sup>认为郁闭度在60%以上、消光度达到50%的

公园植物群落对人体舒适度有非常明显的改善作用。王晓磊等<sup>[63]</sup>通过对济南4种典型的游憩林(侧柏纯林、侧柏黄栌混交林、刺槐纯林和经济林)的人体舒适度研究分析,认为侧柏黄栌混交林调节小气候和改善人体舒适度的作用最大。

### 4 结论与展望

对于城市绿地温湿效应的研究,主要的方法为实地观测法和遥感反演法。传统实地观测法可以较为精确比较不同结构绿地、不同位置的温湿差异,但受人力物力限制难以同时获取大面积的数据。遥感监测法能够很好弥补地面观测的不足,可以在较短时间内获取大面积、同步和动态地覆盖研究区的数据,同时又能实现快速更新,但是由于受大气状况等复杂因素的影响,准确反演实际温湿度存在困难,而且只能反演卫星过境时刻的地面温度场,无法表现温湿度的动态变化规律<sup>[64-65]</sup>。鉴于2种研究方法都存在一定的限制性,可根据不同的研究内容和目的,选择合理的试验方案。将传统定时定点观测与3S技术相结合,可提高数据的准确性和可靠性,是今后研究的热点之一。

城市绿地具有较强的降温增湿效应,能够减轻或者消除城市热岛效应带来的负面影响,改善城市小气候,增强人体舒适感。但因其面积、形状、景观结构、下垫面构成、覆盖度、郁闭度等自身特征因子以及天气、季节等外部因素的不同,产生的差异也较大。目前,大多数研究考虑单方面的因素,还没有明确影响城市绿地温湿效应的最主要因素。对于城市绿地温湿效应的研究多是定性的,现有的研究结果尚没有明确量化降温增湿效应与不同影响因素之间的关系,甚至由于影响因素的复杂性,相关研究结果间还存在着很大差异,更谈不上能够有效地指导城市绿地生态建设。而城市绿地特征与温湿度效应的定量关系研究,对城市绿地规划和设计至关重要。因此,为了合理规划和管理城市,改善城市环境,构建生态文明城市,如何布局城市绿地,实现降温增湿效应最大化,也是今后研究的方向之一。

人体舒适度最能反映城市绿地改善小气候,是城市绿地设计和城市降温增湿效应的重要连接纽带,也是今后同降温增湿效应紧密联系的重点研究部分。由于不同地区气候差异较大,各个地区应当结合当地的地理环境位置,对已有的温湿指数进行

适当修正,形成更符合当地气候条件的人体舒适度计算方法。

#### 参考文献:

- [1] 苏泳娟,黄光庆,陈修治,等. 城市绿地的生态环境效应研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7287-7300.
- [2] 刘 新. 合肥市城区绿地系统小气候效应及景观生态建设研究[D]. 合肥:安徽农业大学, 2004.
- [3] Gill S E, Handley J F, Ennos A R, et al. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure [J]. Built Environment, 2007, 30(1): 115-133.
- [4] Hamada S, Ohta T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2010, 9(1): 15-24.
- [5] Chen Y, Wong N H. Thermal benefits of city parks [J]. Energy and Buildings, 2006, 38(2): 105-120.
- [6] Howard L. The climate of London deduced from meteorological observations [M]. London: harvey and Darton, 1833.
- [7] Federer C A. Effects of trees in modifying urban microclimates[C] //Proceedings of the Symposium on Trees and Forests in an Urbanizing Environment. Co-operative Extension Service, Amherst: University of Massachusetts, 1971.
- [8] 蒋美珍. 城市绿化的降温增湿灭菌效应[J]. 环境保护, 1979(4): 16-18.
- [9] 邢会文,杜芬芬,张 浩,等. 庆阳城市小区园林绿地对小气候的影响[J]. 园林绿地, 2014(1): 43-45.
- [10] Ca V T, Asadea T, Abu E M. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park [J]. Energy and Buildings, 1998, 29(1): 83-92.
- [11] 宫阿都,陈云浩,李 京,等. 北京市城市热岛与土地利用/覆盖变化的关系研究[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(8): 1476-1482.
- [12] 徐心馨,李小娟,孟 丹. 北京市不同下垫面类型对热岛效应及人体舒适度的影响[J]. 首都师范大学学报:自然科学版, 2013, 34(3): 47-52.
- [13] Chang C R, Li M H, Chang S D. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks [J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 80(4): 386-395.
- [14] 肖捷颖,季 娜,李 星,等. 城市公园降温效应分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(2): 75-79.
- [15] 朱春阳,李树华,纪 鹏. 城市带状绿地结构类型与温湿效应的关系[J]. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1255-1260.
- [16] 郑芷青,蔡莹洁,陈城英. 广州不同园林绿地温湿效应的比较研究[J]. 广州大学学报, 2006, 5(1): 37-41.
- [17] 吴志能,邹 敏,艾丽皎,等. 重庆市公园绿地夏季的热岛调控效应[J]. 中国农学通报, 2014, 30(22): 238-245.
- [18] 蔺银鼎,韩学孟,武小刚,等. 城市绿地空间结构对绿地生态场的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(10): 3339-3346.
- [19] 纪 鹏,彭东君,张 涛,等. 沿河绿带不同郁闭度四季温湿效应研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2013, 25(4): 4-9.
- [20] 秦 仲,巴成宝,李湛东. 北京市不同植物群落的降温增湿效应研究[J]. 生态科学, 2012, 31(5): 567-571.
- [21] 闫伟姣,孔繁花,尹海伟,等. 紫金山森林公园降温效应影响因素[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3169-3178.
- [22] 马秀枝,李长生,陈高娃,等. 校园内行道树不同树种降温增湿效应研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2011, 32(1): 125-130.
- [23] 雷江丽,刘 涛,吴艳艳,等. 深圳城市绿地空间结构对绿地降温效应的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(4): 218-223.
- [24] 黄承标,文祥凤,黄 丹,等. 大学校园不同绿地结构类型的小气候特征[J]. 广州大学学报:自然科学版, 2010, 9(1): 37-41.
- [25] 蔡园园,闫淑君,陈 英,等. 亚热带城市河流廊道绿带结构的温湿效应[J]. 福建林学院学报, 2013, 33(4): 357-362.
- [26] 刘娇妹,李树华,杨志峰. 北京公园绿地夏季温湿效应[J]. 生态学杂志, 2008, 27(11): 1972-1978.
- [27] 林 荫,鲁小珍,张 静,等. 城市不同绿地结构夏季小气候特征研究[J]. 浙江林业科技, 2013, 33(5): 25-30.
- [28] 陈 辉,古 琳,黎燕琼,等. 成都市城市森林格局与热岛效应的关系[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4865-4874.
- [29] 武小刚,蔺银鼎,闫海冰,等. 城市绿地降温增湿效应与其结构特征相关性研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1469-1473.
- [30] 王红娟. 石家庄市绿地秋季温湿效应研究[D]. 石家庄:河北师范大学, 2014.
- [31] 李海峰. 多源遥感数据支持的中等城市热环境研究[D]. 成都:成都理工大学, 2012.
- [32] 贾刘强,邱 建. 基于遥感的城市绿地斑块热环境效应研究——以成都市为例[J]. 中国园林, 2009(12): 97-101.
- [33] 王 娟,蔺银鼎,刘清丽. 城市绿地在减弱热岛效应中的作用[J]. 草原与草坪, 2006(6): 56-59.
- [34] 闫淑君,蔡园园,陈 莹,等. 亚热带城市河岸绿带宽度的温湿效应[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(11): 36-40.
- [35] 纪 鹏,朱春阳,高玉福,等. 河流廊道绿带宽度对温湿效益的影响[J]. 中国园林, 2012(5): 109-112.
- [36] 朱春阳,李树华,纪 鹏,等. 城市带状绿地宽度与温湿效益的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(2): 383-394.
- [37] 周东颖,张丽娟,张 利,等. 城市景观公园对城市热岛调控效应分析——以哈尔滨市为例[J]. 地域研究与开发, 2011, 30(3): 73-78.
- [38] 邱海玲. 北京城市热岛效应及绿地降温作用研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.
- [39] Jauregui E. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city [J]. Energy and Buildings, 1990-1991, 15(3/4): 457-463.
- [40] Sugawara H, Narita K, Mikami T, et al. Cool island intensity in a large urban green: seasonal variation and relationship to atmospheric conditions [J]. Tenki, 2006, 53(5): 3-14.

- [41] Shuko H, Takeshi O. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2010, 9(1):15-24.
- [42] 纪 鹏, 朱春阳, 李树华. 城市沿河不同垂直结构绿带四季温湿效应的研究[J]. 草地学报, 2012, 20(3): 456-463.
- [43] Bernatzky A. The contribution of trees and green spaces to a town climate [J]. Energy and Buildings, 1982, 5(1):1-10.
- [44] 吴 菲, 李树华, 刘娇妹. 林下广场、无林广场和草坪的温湿度及人体舒适度[J]. 生态学报, 2007, 27(7):2964-2971.
- [45] 夏繁茂, 季孔庶, 杨宜东. 植物不同配置模式对绿地小气候温湿度的影响[J]. 林业科技开发, 2013, 27(5):75-78.
- [46] 王红娟, 黄华芳, 王 健, 等. 石家庄市滨河湿地公园秋季增湿效应[J]. 生态学报, 2014, 34(17): 5077-5086.
- [47] 纪 鹏, 朱春阳, 李树华. 河流廊道绿带结构的温湿效应[J]. 林业科学, 2012, 48(3):58-65.
- [48] 祝 宁, 李 敏, 柴一新. 城市绿地综合生态效应场[J]. 中国城市林业, 2004, 2(1):26-28.
- [49] 王艳霞, 董建文, 王衍楨, 等. 城市绿地与城市热岛效应关系探讨[J]. 亚热带植物科学, 2005, 34(4): 55-59.
- [50] Koh I, Kim S, Lee D. Effects of biosoop plantation on wind speed, humidity, and evaporation in a traditional agricultural landscape of Korea: field measurements and modeling [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2010, 135(4): 294-303.
- [51] 吴 菲, 李树华, 刘娇妹. 城市绿地面积与温湿效益之间关系的研究[J]. 中国园林, 2007(6): 71-74.
- [52] 臧 亭, 谭 瑛. 高密度中心区绿地与温湿综合生态效应关联研究[J]. 现代城市研究, 2014(8): 67-73.
- [53] Thom E C. The discomfort index [J]. Weather wise, 1959, 12(1):57-60.
- [54] John R M. Climatology: Fundamentals and Applications [M]. New York: McGraw-Hill Book Com. 1974:245-295.
- [55] Unger J. Comparisons of urban and rural bio-climatological conditions in the case of a Central-European city [J]. International Journal of Biometeorology, 1999, 43(1):139-144.
- [56] 陆鼎煌, 崔 森. 北京城市绿化夏季小气候条件对人体的适宜度[C]//中国农学会农业气象研究会, 中国林学会. 林业气象论文集. 北京:气象出版社, 1984:144-152.
- [57] 钱妙芬, 叶 梅. 旅游气候宜人度评价方法研究[J]. 成都气象学院学报, 1996, 11(3): 128-134.
- [58] 王远飞, 沈 愈. 上海市夏季温湿效应与人体舒适度[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 1998, 9(3):60-66.
- [59] 吴 麟, 王天阳, 孙华东, 等. 金华夏季高温闷热特征分析与人体舒适度评价[J]. 资源环境与发展, 2011(2):36-39.
- [60] 李兴荣, 张小丽, 隋高林, 等. 深圳夏季典型晴天不同小气候区温湿及舒适度特征[J]. 气象, 2010, 36(10): 62-66.
- [61] 郑敬刚, 张景光, 李 有. 郑州市热岛效应研究与人体舒适度评价[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1838-1842.
- [62] 姜宗香. 重庆城市公园植物群落游人舒适度探讨[D]. 重庆:西南大学, 2011.
- [63] 王晓磊, 许景伟, 李传荣, 等. 济南南部山区夏季典型游憩林人体舒适度的研究[J]. 林业科学研究, 2013, 26(5): 616-621.
- [64] 肖荣波, 欧阳志云, 张兆明, 等. 城市热岛效应监测方法研究进展[J]. 气象, 2005, 31(11): 3-6.
- [65] 李国栋, 张俊华, 王乃昂, 等. 典型河谷型城市春季温湿场特征及其生态环境效应[J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3792-3804.

## · 征订启事 ·

### 欢迎订阅 2016 年度《江苏林业科技》

《江苏林业科技》为国内外公开发行的综合性林业科学技术刊物。1974 年创刊。为《中国学术期刊(光盘版)》入编期刊、全国优秀期刊、江苏省优秀期刊、全国优秀农业期刊、华东地区优秀期刊。加入“万方数据——数字化期刊群”和中国期刊网等。

《江苏林业科技》主要刊登良种选育、育苗造林、园林绿化、林副特产、森林经营、森林保护、调查设计、野生动物等方面的学术论文、科研报告、经验总结,以及林业新成果、新技术,有较强的指导性、技术性、实用性,是林业科研、教学工作者、管理部门及广大林业生产者不可少的参考资料。欢迎订阅,欢迎投稿,欢迎刊登广告,宣传产品等。

《江苏林业科技》为双月刊,大 16 开本,国内外公开发行。国内统一刊号:CN 32-1236/S,国际标准刊号:ISSN 1001-7380,每期定价 6.00 元,全年订费 36.00 元。全年办理订阅手续,需订阅者请到当地邮局订阅或将订款汇至南京市江宁区东善桥江苏省林业科学研究院本刊编辑部,邮政编码 211153。电话(025) 52745438,52744011。由银行或邮局汇寄均可。开户银行:南京市农业银行金鹰支行,户名:江苏省林业科学研究院,帐号:10105101040000010。邮发代号:28-303。