

doi:10.3969/j.issn.1001-3776.2017.03.014

城市公共绿地降温增湿效益研究综述

高玉福, 荣立苹

(延边大学 农学院, 吉林 延吉 133002)

摘要: 国内外对城市公共绿地的研究主要集中在城市绿地对热岛效应的影响、调节局部环境的温湿度以及影响范围等方面, 也有学者采用遥感、GIS 等方法对不同城市或同一城市不同绿地温湿效益进行了大量系统的研究, 或用定点观测的方法从不同面积、形状、植被类型、植物种类对绿地温湿效益的影响提出了相应的建议, 如根据每个城市自身发展特点建设其适宜的绿地系统, 增加对居住区、企事业单位附属绿地的研究, 天气变化与绿地温湿效益之间关系有待于进一步的研究。

关键词: 城市公共绿地; 降温; 增湿; 综述

中图分类号: S731.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776 (2017) 03-0072-07

Reviews on Researches of Cooling and Humidifying of Urban Green Space

GAO Yu-fu, RONG Li-ping

(College of Agriculture, Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: Researches of urban green spaces have been focused on response of urban green space on heat island effect, on temperature and humidity in the surrounding and are. Many studies have done on cooling and humidifying of different types green spaces in the same city or in different cities by remote sensing and GIS. In addition, determinations were made on temperature and humidity changes of green spaces with different area, size, vegetation types and plant species. Suggestions were offered such as construction of appropriate green spaces based on its properties, more researches on green spaces at residential districts and enterprises, as well as on relation between cooling and humidifying with weather variation.

Key words: urban green space; lowering temperature; increasing humidity; reviews

城市公共绿地是城市现代化建设中重要的组成部分, 在美化环境、降低城市热岛效应、改善城市人居环境质量等方面其他用地无法替代, 并且对推动海绵城市建设、促进城市森林建设有着重要意义。城市绿地具有降低温度、增加空气相对湿度、减少噪音、吸收 CO₂、释放 O₂、滞尘、吸收有害气体 (SO₂, CL₂) 等多种生态功能。城市绿地的形状、类型、植被构成、所处位置、植物种类等因素对其生态价值有着重要的影响。

目前, 国内外学者对城市绿地温湿效应方面开展了一系列的研究, 并取得了一定的成果。从运用遥感、GIS 等方法大尺度分析到定点定位观测等方式进行小尺度研究, 再到植被群落构成、植物种类等微尺度观测, 从定性、半定量到定量研究逐步深入。但由于影响城市绿地温湿效应发挥的因素较多, 总结国内外城市绿地降温增湿方面的研究, 旨在为后续相关研究的顺利开展提供参考, 形成较为完整的城市绿地温湿效应评价体系。

收稿日期: 2016-12-22 ; 修回日期: 2017-03-30

基金项目: 延大科合字 (2015) 第 17 号课题; 国家自然科学基金项目(31300584)共同资助

作者简介: 高玉福, 讲师, 硕士, 从事园林景观规划及绿地生态效益研究; E-mail: gaoyufu2013@163.com。

1 城市绿地降温增湿效益研究的发展历程

城市公共绿地建设与经济发展息息相关, 经济发达地区的城市公共绿地建设水平普遍较高。欧美发达国家的城市化水平较高, 城市公共绿地相关的研究工作开展得相对较早。19 世纪 30 年代初, 美国学者最早提出城市温度高于郊区^[1]。100 多 a 以后, 日本学者通过对城市街道、林荫大道、城市广场等进行昼夜温度观测, 发现有植物覆盖的城市用地降温效果显著^[2]。1971 年 Federer^[3]研究发现城市绿地可有效改善周围小环境的空气温度, 从而降低城市热岛效应的发生几率。1985 年, Bernatzky^[4]研究发现, 城区绿地可提高周围环境空气相对湿度约为 8%。

随着社会的不断发展, 城市规模的迅速扩大, 原有植被破坏严重, 热岛效应、雾霾等城市病日益凸显, 部分学者对城市公共绿地的生态功能予以关注, 尤其是城市公共绿地的温湿效益, 对改善城市人居环境质量, 提高居民生活舒适度水平等方面效果明显^[5-6]。相关学者也陆续加入其中, 从大尺度上(城市绿地系统、区域绿地系统等)、小尺度上(城市道路绿化、公园、广场等)、微尺度上(绿化植物群落、植物种类等)以及城市公共绿地降温增湿机理和规律等方面展开了大量的研究工作。

2 从大尺度上对城市公共绿地降温增湿效益研究

随着 GIS、遥感等技术的不断成熟, 在城市绿地系统的降温增湿效益研究方面应用较为普遍。Imhoff 等^[7]使用遥感技术对 38 个城区展开研究发现, 夏季绿地的平均降温幅度为 4.3℃, 其中植被类型为阔叶林或针阔混交林的绿地降温幅度高达 8℃左右。Choi 等^[8]、应天玉等^[9]用遥感和 GIS 的方法研究发现, 随着城市绿地覆盖率的不断增加, 地表辐射温度不断降低, 当城市绿地面积不足 5 hm² 时, 地表辐射温度的变动区间为 15℃ ~ 30℃, 此时的地表辐射温度主要取决于城市绿地覆盖率, 而城市绿地面积的大小对其影响相对较小, 城市绿地覆盖率每增加 10%, 地表辐射温度降低约 2℃。当城市绿地面积超过 5 hm² 时, 城市绿地改善地表辐射温度的效果显著增强, 此时绿地面积与绿地覆盖率共同决定地表辐射温度。Odindi 等^[10]研究发现, 城区绿地在夏季 7 月份的降温能力明显高于冬季 1 月份, 植被覆盖率对绿地降温能力的发挥有一定的影响; 绿地的降温影响范围在夜间更为突出, 7 月份该公园的夜间降温能力约为 200 m, 10 月份降温影响范围约为 300 m, 是 1 a 中绿地降温影响范围最大的月份。Taha 等^[11]对加利福尼亚州的城市绿地白天和夜晚的降温能力研究发现, 白天绿地的降温能力明显高于夜晚, 绿地白天的降温幅度与夜晚的降温幅度相比明显高约 3℃。Kawashima^[12]、臧亭等^[13]研究发现, 城区植被覆盖率较高的城市绿地降温能力强于郊区相似的绿地, 而城区植被覆盖率较低的绿地降温能力弱于郊区相似的绿地。程好好等^[14]利用 TM 和 Quickbird 影像数据研究发现, 不同类型的城市绿地地表温度差异较大, 自然绿地的地表温度普遍低于各类人工绿地。随着测试地聚集度指数不断增长, 热岛效应指数逐渐增加; 而随着碎裂化指数和均匀度不断增长, 热岛强度指数呈下降趋势。李廷明等^[15-16]采用遥感技术与实地测定相结合的研究方法, 分析了 1987 年至 2001 年的北京市绿色空间及热岛效应的演变特点, 研究发现随着经济的发展, 城市规模不断扩大, 原有自然植被遭到严重破坏, 面积不断缩小, 而城市热岛效应的影响范围却日益扩大; 在城市发展中绿地系统建设增加了城市绿色空间, 对热岛效应起到了明显的缓解作用。同时, 研究发现尽可能的增加城市绿化用地、科学布局城市绿地系统、合理搭配园林植物, 对改善城市居民的生活环境、降低热岛效应有着重要意义^[17]。

闫秀婧等^[18]运用 GIS 技术对甘肃天水麦积区绿地分布与温湿效应进行了分析发现, 绿地系统的植被构成、覆盖率、周边温度对绿地降温增湿能力的发挥影响较大。Sevgi 等^[19]对土耳其埃尔祖鲁姆市内绿地和城郊绿地展开近一年的研究发现, 城中绿地内部空气相对湿度比裸露地面高 3% 以上, 而与郊区绿地相比, 城中绿地空气相

对湿度则低 3% 左右。相比而言,城郊绿地增湿效果明显优于城中绿地;植物树冠表面的空气相对湿度最大,明显优于其他高度空气相对湿度。Koh 等^[20]研究发现绿地增湿效果受风向和风速的影响较大,此外,有鸟类生活的城市绿地内部空气相对湿度明显高于绿地外部,约为 5%,绝对湿度高约为 $0.2 \sim 1.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

3 从小尺度上对城市公共绿地降温增湿效益研究

曹立颜等^[21]利用遥感数据对近百个公园展开研究发现,公园面积的大小对降温效果影响明显,并且绿地的形状影响着绿地降温能力的发挥^[22]。Jaganmohan 等^[23]对德国 62 个公园和城市森林研究发现,在形态结构相似的情况下,城市森林的降温增湿效益明显优于公园^[24]。Jauregui^[25]研究表明,墨西哥的 Chapultepec 公园在春季可降低环境温度高达 4°C ,而在夏季对环境温度的改善作用只有 1°C ,两个季节该公园对周围环境的平均降温幅度约为 2.5°C 。Ca 等^[26]研究发现,公园草地在中午时刻的温度比周边 1 m 处低约 2°C ,比商业街地面低约 15°C 。日本研究者入江彰昭等^[27]研究河流两侧绿地发现,200 m 宽的水边绿带,对城市热岛效应有明显的阻断效果;水边 100 m 宽的绿地,可以使其周围的温度降低 $5^{\circ}\text{C} \sim 7^{\circ}\text{C}$,对其 200 m 范围内起到降温作用。

黄良美等^[28]对南宁市 4 种不同下垫面绿地类型的增湿能力进行研究发现,绿地增湿能力强弱为:林荫>林隙>林缘>近旁草地。吴菲等^[29]研究发现,在夏季一天中的高温时段(12:00-14:00),与无林广场和草坪相比,林下广场的空气相对湿度最高;傍晚(18:00-20:00)草坪的空气相对湿度最高。全天任意时段,林下广场和无林广场的空气相对湿度差异均达到了极显著水平。马秀梅等^[30]研究发现,与草坪和广场相比,城市林荫道随着辐射强度的增强,空气相对湿度最大;在晴好无风的天气下,林荫道与草坪的空气相对湿度表现为:当辐射强度逐渐增强时,林荫道>草坪,当辐射强度逐渐减弱时,林荫道<草坪。朱春阳等^[31]对北京城市绿地研究发现,城市带状绿地宽度为 6 m 时具有一定的增湿能力,随着绿地宽度的不断增加,绿地增湿能力不断增强,当绿地宽度大于 40 m 时增湿效果逐渐趋于稳定。肖捷颖等^[32]对石家庄公园降温增湿效应研究表明,公园面积、水体比例和不透水面比例对公园降温增湿范围、幅度的影响效果显著,且公园面积为 32 hm^2 时降温增湿效果最佳。

4 从微尺度上对城市公共绿地降温增湿效益研究

蔺银鼎等^[33-34]对乔木林、灌木林、草坪研究发现,与绿地面积对其周围环境温度的影响能力相比,绿地垂直结构类型对其影响更为明显。午后(14:00-15:30)三种绿地的降温能力均达到最大值,绿地对周围环境的温度影响随距离的增加而减弱。乔木林的降温能力在垂直和水平方向均最强,灌木林次之,草坪最弱。武小钢等^[35]对太原市内不同结构类型的城市绿地研究发现,无论在水平方向还是垂直方向上,随着绿量的增加,绿地降温能力不断增强;叶面积指数越高,降温能力也越强。赵深^[36]等研究发现绿地郁闭度越高,缓解城市热岛效应的能力越强;绿地植物群落生长势越好,降温能力越明显。刘娇妹等^[37]研究发现,夏季一天中最热时段(12:00-14:00),城市绿地覆盖率超过 60% 时,降温效果较为显著,且绿地温度与覆盖率呈负相关,乔-灌-草搭配种植的城市绿地降温幅度明显优于其他绿地类型。Wong^[38]对山毛榉木林展开研究,发现该绿地可有效降低环境温度 $3^{\circ}\text{C} \sim 3.5^{\circ}\text{C}$ 。

王子芊等^[39]、高吉喜等^[40]基于北京市不同绿地群落夏季降温增湿效果的实测发现,北京城市绿地夏季日均降温幅度 $0.2 \sim 2.0^{\circ}\text{C}$,日均增湿幅度 $0.20\% \sim 8.26\%$;不同群落结构绿地降温效果上,乔灌草型>乔草或乔木型>灌草型>草地型;在绿地增湿效果上,乔木型>乔灌草>乔草型>灌草型>草地型。高玉福等^[41-42]研究发现,14:00-16:00 阔叶纯林、针叶纯林和针阔混交林的增湿能力均为最小值;各时段针阔混交林绿地增湿能力最强,明显优于纯林。混交林绿地与其他绿地类型的降温差异均到达显著水平;在宽度相同、郁闭度相似条件下,城市

带状绿地内部含河流的增湿效益最为显著, 明显优于内部含相同宽度道路的带状绿地。祝宁等^[43]、卿平勇^[44]研究发现, 乔-灌-草复合结构绿地的增湿能力强于其他结构类型绿地, 乔-灌-草型绿地与灌-草型绿地对绿地周边环境的增湿能力影响效果相近。郑芷青等^[45]对广州市城市绿地类型的增湿能力研究发现, 夏季林地周边环境空气相对湿度高于草地, 草地高于裸露地表。秦仲等^[46]对 5 种植物群落的温湿度在 24 h 中变化研究发现, 5 种植物群落都具有明显的降温增湿作用, 且均呈现出“单峰型”的变化规律, 日均降温 3.0℃ ~ 4.3℃; 日均增湿 10.2% ~ 12.8%。

5 城市公共绿地降温增湿机理和规律研究

贾刘强等^[47]、王娟等^[48]、蔺银鼎等^[49]研究发现, 城市绿地形状指数、面积、周长等因素对其降温增湿能力有直接影响, 随着上述因素数值的不断增加, 绿地的降温增湿能力不断增强。在其他因素相同或相近的情况下, 城市绿地的降温增湿能力与绿地面积呈正相关, 当绿地面积超过 1.5 hm² 时, 其对周围环境的降温增湿能力增速有所降低。城市公共绿地内部温湿效应不仅受绿量影响, 而且绿地的通透性、边缘性对其降温增湿能力的发挥影响较大。朱春阳等^[50]研究发现, 乔灌草组合的绿地结构绿量较大, 其降温增湿效果显著; 乔草绿地由于其分枝点高, 且无下层灌木遮挡, 通透性较强, 在空气对流、微风影响下其降温效果更好。植物通过蒸腾作用释放大量水分, 降低空气温度。郁闭度较大样地的绿量较大, 具有较强的蒸腾作用, 对绿地周围环境的降温效应显著。

Cosh 等^[51]利用遥感技术研究表明, 绿地周边的环境温度变化幅度明显小于裸露地面。Huang 等^[52]对不同地表的的城市用地相对空气湿度研究发现, 与裸露地面相比, 绿地表面的空气相对湿度相对较高。Shashua-Bar 等^[53]研究发现, 城市绿地降温影响范围与该绿地所占面积基本相同。纪鹏^[54]研究表明, 当河流宽度达到 40 m 时, 对周围的降温增湿能力趋于稳定, 且河流旁侧绿地的相对湿度每升高 1.0%, 温度约降低 0.3℃。朱春阳等^[50]研究发现, 城市绿地的郁闭度为 10% 时具有一定的增湿能力, 绿地郁闭度越高, 增湿能力越强; 当郁闭度超过 70% 时, 绿地增湿效果逐渐趋于稳定。Alexandri 等^[55]对高温干燥天气和低温潮湿天气下的城市绿地降温能力展开研究发现, 高温干燥天气下的城市绿地降温能力好于低温潮湿天气。

6 结论与展望

国内外研究城市公共绿地温湿效益, 主要集中在城市绿地对热岛效应的影响、调节局部环境的温湿度以及影响范围等方面。不仅在运用遥感、GIS 等方法在大尺度上对不同城市或同一城市的不同区域公共绿地温湿效益进行研究, 在小尺度上对公园、居住区、广场等城市公共绿地在不同季节、不同日期、不同时刻等方面进行有益的探讨, 再到微尺度上对植物群落构成、植物种类、植被覆盖率等方面进行了研究, 但由于城市绿地温湿效应影响因素较多, 有待于进一步深入研究, 形成较为完整的城市绿地评价体系。

(1) 大尺度上李延明等^[15-16]运用遥感技术等方法分析了 1987 年至 2001 年北京城市绿色空间及热岛效应的演变特点, 并得出适宜北京地区特点的城市绿地系统建设模式。但我国幅员辽阔, 东西、南北跨度大, 不同地区的绿地系统建设存在较大差异, 根据城市自身发展特点, 建设适宜当地的绿地系统模式有待进一步探讨。

(2) 目前, 小尺度上对城市公共绿化降温增湿能力的研究主要集中在公园、广场、道路等绿地形式, 缺乏对居住区、企事业单位等附属绿地的相关研究。

(3) 微尺度上, 韩焕金等^[56]、廖容等^[57]分别对哈尔滨、成都主要城市绿化树种降温增湿效应研究显示, 不同类型的植物, 其降温增湿效应有所不同。但城市绿化植物种类多样, 且不同地区的城市绿化植物中种类差异

较大,常绿或落叶、针叶或阔叶等植物形态特征都直接影响绿地降温增湿能力的发挥。

(4) 绿地降温增湿规律方面, Alexandri^[55]等研究认为低温潮湿天气时绿地降温增湿效果并不显著,这说明天气情况影响城市公共绿地的降温增湿作用的发挥。因此,天气变化与绿地温湿效益之间的关系有待进一步研究。

目前,“热岛效应频发”、“雾霾持续不散”等严重危害人们生活质量屡见报端,尤其是在人口较为密集的大城市问题更为突出,引起了社会各界的广泛关注。从城市森林建设到海绵城市建设理念的提出,可见人们对理想生活环境的渴望。城市公共绿地的生态功能突出、效果显著,对改善人居环境质量等方面意义重大。

参考文献:

- [1] Nikolopoulou M, Baker N, Steemers K. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter[J]. *Sol Energ*, 2001, 70 (3): 227–235.
- [2] Fujiwara K, Kusumoto Y. Vegetation Function in the Yokohama National University Campus: A Vegetation-Ecological Study for Protection against Disaster [J]. *Bull Insts Environ Sci Technol Yokohoma Natl Univ*, 2001, 27 (1): 49–56.
- [3] Federer C A. Effects of trees in modifying urban microclimates. Proceedings of the Symposium on Trees and Forests in an Urbanizing Environment. Co-operative Extension Service[M]. Amherst: University of Massachusetts, 1971.
- [4] Bernatzky A. The contribution of trees and green spaces to a town climate [J]. *Energy and Buildings*, 1982, 5 (1): 1–10.
- [5] Sun R H, Chen L D. Effects of green space dynamics on urban heat islands: Mitigation and diversification[J]. *Ecosystem Services*, 2017, 23 (2): 38–46
- [6] Kim J H, Yoon Y H. Effect of Green Space Type in Urban Park on Anions Distribution – Target to Seoul Forest in Seoul[J]. *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 2015, 16 (1): 17–34
- [7] Imhoff M L, Zhang P, Wolfe R E, et al. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114 (3): 504–513.
- [8] Choi H A, Lee W K, Byun W H. Determining the Effect of Green Spaces on Urban Heat Distribution Using Satellite Imagery[J]. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 2012, 6 (2): 127–135
- [9] 应天玉, 李明泽, 范文义, 等. 基于 GIS 技术的城市森林与热岛效应的分析[J]. *东北林业大学学报*, 2010, 38 (8): 63–67.
- [10] Odindi J O, Bangamwabo V, Mutanga O. Assessing the Value of Urban Green Spaces in Mitigating Multi – Seasonal Urban Heat using MODIS Land Surface Temperature (LST) and Landsat 8 data[J]. *International Journal of Environmental Research*, 2015, 9 (1): 131–139
- [11] Taha H, Akbari H, Rosenfeld A. Heat island and oasis effects of vegetative canopies: micro- meteorological field-measurements[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 1991, 44 (2): 123–138.
- [12] Kawashima S. Effect of vegetation on surface temperature in urban and suburban areas in winter[J]. *Energy and Buildings*, 1990–1991, 15(3/4): 465–469.
- [13] 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.
- [14] 程好好, 曾辉, 汪自书, 等. 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[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2009, 45 (3): 494–501.
- [15] 李延明, 郭佳, 冯久莹. 城市绿色空间及对城市热岛效应的影响[J]. *城市环境与城市生态*, 2004, 17 (1): 1–4.
- [16] 李延明, 徐佳, 张济和, 等. 城市绿化对北京城市热岛效应的缓解作用[J]. *北京园林*, 2002, (4): 12–16.
- [17] Maimaitiyiming M, Ghulam A, Tiyip T, et al. Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation[J]. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014, 89 (3): 59–66
- [18] 闫秀婧, 王顺彦. 基于 GIS 的城市绿地温湿效应分析[J]. *林业科技通讯*, 2015, (8): 83–87.
- [19] Sevgi Y, Suleyman T, Akifirmaka M, et al. Determination of climatic differences in three different land uses in the city of Erzurum[J]. *Building and Environment*, 2007, 42: 1604–1612.
- [20] Koh I, Kim S, Lee D. Effects of bibosop 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.
- [21] 曹立颜, 张宇, 盖力岩, 等. 保定市城市绿地植物多样性研究[J]. *河北林果研究*, 2009, 24 (1): 95–99.
- [22] DiGiovanni K, Montalto F, Gaffin S, et al. Applicability of Classical Predictive Equations for the Estimation of Evapotranspiration from Urban Green Spaces: Green Roof Results[J]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2013, 18 (1): 99–107.
- [23] Jaganmohan M, Knapp S, Buchman C M, et al. The Bigger, the Better? The Influence of Urban Green Space Design on Cooling Effects for Residential Areas[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2016, 45 (1): 134–145.
- [24] Madureira H, Nunes F, Oliveira J. Urban residents' beliefs concerning green space benefits in four cities in France and Portugal[J]. *URBAN FORESTRY & URBAN GREENING*, 2015, 14 (1): 56–64.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 入江 彰昭, 平野 侃三. ランドサット TM データ解析による都市気象緩和に効果的な緑地形態と規模に関する研究[C]. 日本都市計画学会学術研究論文集, 1999, 34: 7–2.
- [28] 黄良美, 黄玉源, 黎桦, 等. 城市不同绿地生境小气候的时空变异规律分析[J]. *城市环境与城市生态*, 2007, 20 (1): 29–34.
- [29] 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.
- [30] 马秀梅, 李吉跃. 不同绿地类型对城市小气候的影响[J]. *河北林果研究*, 2007, 22 (2): 210–226.
- [31] 朱春阳, 李树华, 纪鹏. 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.
- [32] 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.
- [33] 蔺银鼎, 武小钢, 郝兴宇, 等. 城市典型植物群落温度效应的时空格局[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16 (4): 952–956.
- [34] 蔺银鼎, 武小刚, 郝兴宇. 城市绿地边界温湿度效应对绿地结构的响应[J]. *中国园林*, 2006, 22 (9): 73–76.
- [35] 武小钢, 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.
- [36] 赵深, 刘克旺, 毕丽霞. 长沙不同绿地对缓解热岛效应的作用[J]. *江西农业学报*, 2007, 19 (9): 50–52.
- [37] 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.
- [38] Wong N H, Yu C. Study of green areas and urban heat island in a tropical city[J]. *Habitat International*, 2005, 29 (3): 547–558.
- [39] 王予芊, 李彬. 不同植物群落对北京城市绿地温湿变化影响的研究[J]. *山西建筑*, 2016, (29): 196–197.
- [40] 高吉喜, 宋婷, 张彪, 等. 北京城市绿地群落结构对降温增湿功能的影响[J]. *资源科学*, 2016, (6): 1028–1038.
- [41] 高玉福, 李树华, 纪鹏. 城市带状绿地内部环境类型与温湿效益的关系[J]. *中国园林*, 2013, 29 (10): 81–85.
- [42] 高玉福, 李树华, 朱春阳. 城市带状绿地林型与温湿效益的关系[J]. *中国园林*, 2012, 28 (1): 94–97.
- [43] 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.
- [44] 卿平勇. 校园不同绿地类型对温湿效应的影响[J]. *宜春学院学报*, 2014, (12): 111–114.
- [45] 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(自然科学版)*, 2006, 5 (1): 37–41.
- [46] 秦仲, 李湛东, 成仿云, 等. 北京园林绿地 5 种植物群落夏季降温增湿作用[J]. *林业科学*, 2016, (1): 37–47.
- [47] 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, 25 (12): 97–101.
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] Cosh M H, Stedinger J R, Ou S C, et al. Evolution of the variability of surface temperature and vegetation density in the great plains [J]. *Advances in Water Resources*, 2007, 30 (5): 1094–1104.
- [52] Huang H, Ooka R, Kato S. Urban thermal environment measurements and numerical simulation for an actual complex urban area covering a large district heating and cooling system in summer[J]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39 (34): 6362–6375.
- [53] Shashua-Bar L, Hoffman M E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees[J]. *Energy and Buildings*, 2000, 31 (3): 221–235.

-
- [54] 纪鹏, 朱春阳, 李树华. 夏季城市河流宽度对绿地温湿效益的影响[J].应用生态学报, 2012, 23(3): 679-684
- [55] Alexandri E, Jones P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates[J].Building and Environment, 2008, 43(3): 480-493.
- [56] 韩焕金, 周用武. 不同绿化树种的降温增湿效应[J]. 河北农业科学, 2007, 11(5): 28-30
- [57] 廖容, 崔洁, 卓春丽, 等. 成都市 32 种立体绿化植物降温增湿效应比较研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(6): 178-182.