

## 安庆江滩公园不同下垫面夏季温湿度调节效应研究

丁元春<sup>1,2</sup>, 范志强<sup>3</sup>, 杨荣<sup>3</sup>, 宗梅<sup>3</sup>

1. 水生生物保护与水生态修复安徽省高校工程技术研究中心, 安徽 安庆 246011

2. 皖西南生物多样性研究与生态保护安徽省重点实验室, 安徽 安庆 246011

3. 安庆师范大学 生命科学学院, 安徽 安庆 246011

**摘要:**目的 为定量分析城市滨水带状绿地不同下垫面温湿度调节效应, 选取安庆滨水带状绿地江滩公园为研究对象, 分析不同下垫面与降温增湿强度之间的关系, 旨在为城市滨水带状绿地规划提供理论依据。方法 于天气晴朗夏季, 选取6种下垫面(草地、乔草、乔灌草、水体、硬质铺装、建筑)为研究对象, 以开阔的无植被区域作为对照, 测定温度、相对湿度、风速, 比较不同下垫面之间降温增湿作用的差异。结果 6种下垫面均具有降温增湿作用, 温度日变化呈现出“单峰型”变化规律, 湿度日变化呈现出U型变化, 且各类型下垫面均在中午11:00—13:00达到高温低湿状态, 其中乔灌草与乔草两种下垫面与对照点之间的温湿度差异显著, 水体与对照点之间的湿度差异极显著, 温度差异不显著, 草地、硬质铺装、建筑与对照点之间的温湿度差异均不显著。此外, 不同类型林地中常绿阔叶林降温增湿作用最为明显。结论 不同类型下垫面表现出不同的调节作用, 植物群落与水体能有效改善周边环境小气候, 该结果对合理配置滨水带状绿地植物具有实践指导意义。

**关键词:** 江滩公园; 下垫面; 夏季; 小气候; 降温增湿

中图分类号: S731.2 文献标识码: A doi: 10.16055/j.issn.1672-058X.2023.0005.009

### Study on Summer Temperature and Humidity Regulation Effect of Different Underlying Surfaces in Anqing Jiangtan Park

DING Yuanchun<sup>1,2</sup>, FAN Zhiqiang<sup>3</sup>, YANG Rong<sup>3</sup>, ZONG Mei<sup>3</sup>

1. Technology Research Center of Aquatic Organism conservation and Water Ecosystem Restoration in University of Anhui Province, Anhui Anqing 246011, China

2. Provincial Key Laboratory of the Biodiversity Study and Ecology Conservation in Southwest Anhui, Anhui Anqing 246011, China

3. School of Life Sciences, Anqing Normal University, Anhui Anqing 246011, China

**Abstract: Objective** In order to quantitatively analyze the temperature and humidity regulation effect of different underlying surfaces of urban waterfront belt green space, Jiangtan Park, a waterfront green area in Anqing, was selected

收稿日期: 2022-03-05 修回日期: 2022-05-18 文章编号: 1672-058X(2023)05-0064-08

基金项目: 安徽省教育厅重点项目(KJ2019A0560, KJ2019A0574); 皖西南生物多样性与生态保护安徽省重点实验室开放基金项目(2020ZD04, 2020ZD05); 水生生物保护与水生态修复安徽高等学校工程技术研究中心开放研究项目(SZ2021001); 安徽省大学生创新创业训练项目(S202110372109)。

作者简介: 丁元春(1984—), 女, 安徽巢湖人, 硕士, 副教授, 从事风景园林规划设计与园林植物造景研究。

通讯作者: 范志强(1974—), 男, 山西偏关人, 博士, 副教授, 从事园林生态与城市生态研究。Email: 654539271@qq.com.

引用格式: 丁元春, 范志强, 杨荣, 等. 安庆江滩公园不同下垫面夏季温湿度调节效应研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2023, 40(5): 64—71.

DING Yuanchun, FAN Zhiqiang, YANG Rong, et al. Study on summer temperature and humidity regulation effect of different underlying surfaces in Anqing Jiangtan park[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2023, 40(5): 64—71.

as the research object to analyze the relationship between different underlying surfaces and the intensity of cooling and humidifying, with the aim of providing a theoretical ground for the planning of urban waterfront green areas. **Methods** In sunny summer, six kinds of underlying surfaces (grassland, arbor grass, arbor shrub grass, water body, hard pavement, and building) were selected as the research objects, and the open area without vegetation was used as the control. The temperature, relative humidity, and wind speed were measured to compare the difference in cooling and humidifying effects between different underlying surfaces. **Results** These six types of underlying surfaces all had the function of cooling and humidifying. The daily change in temperature presented a “single peak” pattern, and the daily change in humidity presented a U-shaped pattern. Moreover, all types of underlying surfaces reached a high temperature and low humidity state from 11:00 to 13:00 at noon. Among them, there were significant differences in temperature and humidity between the underlying surface of the arbor shrub grass and the control site, there were significant differences in temperature and humidity between the underlying surface of the arbor grass and the control site, there were highly significant differences in humidity and non-significant differences in temperature between the underlying surface of water bodies and the control sites, and there were no significant differences in temperature and humidity between the underlying surface of grassland, hard surfacing, and buildings and control sites. In addition, the cooling and humidifying effects of evergreen broad-leaved forests were most obvious in different types of forest land. **Conclusion** Different types of underlying surfaces show different regulatory effects, and plant communities and water bodies can effectively improve the microclimate of the surrounding environment. The results are of practical significance for the rational allocation of waterfront belt green plants.

**Keywords:** Jiangtan Park; underlying surface; summer; microclimate; cooling and humidification

## 1 引言

随着城市的不断发展,城市下垫面性质的改变、大气污染以及人工废热的排放等使城市温度日益升高<sup>[1-3]</sup>,尤其是在夏季,城市热岛问题尤为突出。大量研究表明,城市绿地能有效缓解城市热岛效应。目前,国内外对于城市绿地降温增湿效应的研究主要集中在城市公园绿地、居住区绿地、校园绿地,比如郑钰旦等<sup>[4]</sup>研究了杭州城北体育公园3种不同植物配植类型绿地温湿效应,发现乔灌草型绿地优于乔草型与草坪型;范舒欣等<sup>[5]</sup>通过对北京地区居住区绿地不同类型下垫面温湿效应差异研究,发现高郁闭度植被、水体与中郁闭度植被的降温、增湿效应无明显差异;王晶懋等<sup>[6]</sup>对西安建筑科技大学雁塔校区5处典型绿地进行温湿效应观测,发现绿量越大、乔木层郁闭度越高复层结构的绿地降温增湿效应显著。大量研究证实了城市绿地降温增湿效应及其限制因子。

但目前针对城市滨水带状绿地与降温增湿效益的关系研究并不多见,已有的研究多集中于河流两侧绿带结构类型、绿地群落结构类型、绿地郁闭度等方面<sup>[7-9]</sup>,较少涉及下垫面类型小尺度方面定量化的深入研究。因此,本研究以安庆滨水带状绿地中6种常见下垫面为对象,分析每种下垫面类型在1d中的温湿度日变化规律,比较不同时段不同下垫面之间降温增湿

作用的差异,旨在探明城市滨水带状绿地的下垫面类型与温湿效应之间的关系,以期为城市滨水绿带规划和建设提供理论依据。

## 2 研究地概况与研究方法

### 2.1 研究地概况

安庆地处安徽省西南部,长江下游上段北岸,属北亚热带湿润季风气候,夏季炎热、日最高气温超过35℃的高温天气比较常见。江滩公园位于安庆江滩防洪景观带,毗邻长江,占地约18万平方米,是典型的城市滨水带状绿地。作为安庆滨江风光带的重要组成部分,目前已成为安庆市民休闲游憩的重要场所。公园内乔木主要有香樟、垂柳、乌桕、杨树、桑树、枫杨等,灌木主要有夹竹桃、大叶女贞、大叶黄杨、红叶石楠等,地被植物以马尼拉为主。靠近江堤附近主要种植垂柳和芦苇,形成滨江自然植被风貌。

### 2.2 样地选择

选取江滩公园内6种不同类型的下垫面为研究对象进行观测。6种下垫面类型分别为草坪下垫面、乔草下垫面、乔灌草下垫面、水体下垫面、硬质铺装下垫面和建筑下垫面。样地内植物生长正常、养护现状和养护措施基本一致(见表1),并且在样地附近选择一块开阔的无植被区域作为对照。

表 1 江滩公园绿地观测点信息  
Table 1 Information of green space observation points in Jiangtan Park

观测点编号	下垫面类型	优势种/材质	观测次数
1	草地(1)	马尼拉( <i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr.)	3
2	草地(2)	马尼拉( <i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr.)	3
3	草地(3)	马尼拉( <i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr.)	3
4	乔灌草(1)	杨树( <i>Populus</i> L.)、夹竹桃( <i>Nerium indicum</i> Mill)、马尼拉( <i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr.)	3
5	乔灌草(2)	乌桕( <i>Sapium sebiferum</i> (L.) Roxb.)、夹竹桃( <i>Nerium indicum</i> Mill)、马尼拉( <i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr.)	3
6	乔灌草(3)	杨树( <i>Populus</i> L.)、大叶女贞( <i>Ligustrum compactum</i> (Wall. ex G. Don) Hook. f.)、麦冬( <i>Ophiopogon japonicus</i> (Linn. f.) Ker-Gawl.)	3
7	乔草(1)	垂柳( <i>Salix babylonica</i> L.)、马尼拉( <i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr.)	3
8	乔草(2)	杨树( <i>Populus</i> L.)、马尼拉( <i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr.)	3
9	乔草(3)	香樟( <i>Cinnamomum camphora</i> )、马尼拉( <i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr.)	3
10	水体(1)	垂柳( <i>Salix babylonica</i> L.)、芦苇( <i>Phragmites communis</i> )	3
11	水体(2)	垂柳( <i>Salix babylonica</i> L.)、芦苇( <i>Phragmites communis</i> )	3
12	水体(3)	芦苇( <i>Phragmites communis</i> )	3
13	硬质铺装(1)	花岗岩	3
14	硬质铺装(2)	广场砖	3
15	硬质铺装(3)	花岗岩	3
16	建筑(1)	亭	3
17	建筑(2)	亭	3
18	建筑(3)	亭	3

### 2.3 观测方法

试验采用四合一风速/温度/湿度/照度计(LM-8000A 中国台湾路昌电子企业股份有限公司),于 2022 年 7-8 月进行。排除阴天、大风和下雨等非典型夏季气候<sup>[10]</sup>,选择晴朗无风或微风的高温天同步观测各样地和对照地的温度、相对湿度和风速,测量时间为每天的早上 9:00 至 19:00,时间间隔为 2 h,尽可能确保样地测定时期的气候条件基本一致。

本研究中建筑类型为亭,观测时,在亭周边无阴影处设置观测点。硬质铺装的温湿度测量主要选择广场,沿着广场中心点进行观测。水体主要是沿着江岸设置观测点。林地和草坪的观测选择其中心点,林地主要选择乔草群落与乔灌草群落的林下空间进行观测。

### 2.4 数据处理

(1) 采用 Microsoft Excel 2010 软件计算各类样地的平均温度和相对湿度,并与对照组的平均温度与相对湿度进行差值计算比较<sup>[11]</sup>,具体计算方法如下:

$$T_p = (T_{ci} - T_i) / T_{ci} \times 100\%$$

$$H_p = (H_i - H_{ci}) / H_{ci} \times 100\%$$

其中, $T_{ci}$ 是第*i*时刻对照点的温度(°C); $T_i$ 为第*i*时刻样地的温度(°C); $H_{ci}$ 是第*i*时刻对照点的湿度(%); $H_i$ 为第*i*时刻样地的湿度(%)。

(2) 使用 SPSS 22.0 软件计算每种下垫面与对照点相比降温增湿效应的显著性差异。

(3) 根据陆鼎煌提出综合舒适度指数(*S*),以空气温度、相对湿度和风速 3 个要素为主要评价指标进行人体舒适度评价<sup>[12-14]</sup>。

$$S = 0.6|T - 24| + 0.07|H - 70| + 0.5|V - 2|$$

其中,*S*为综合舒适度指数;*T*为气温(°C);*H*为相对湿度(%);*V*为 2 m 高处风速(m/s)。*S*值与人体舒适度划分标准见表 2。

表 2 人体舒适度指数分级

Table 2 Classification of human comfort index

指数类型	综合舒适指数范围	体感舒适程度等级
VC	$S \leq 4.55$	很舒服
C	$4.55 < S \leq 6.95$	舒适
U	$6.95 < S \leq 9.00$	不舒适
VU	$S > 9.00$	极不舒适

## 3 结果与分析

### 3.1 不同下垫面的温湿度日变化

6 种下垫面空气温度、相对湿度的变化情况如图 1—图 2 所示。不同下垫面的温度日变化趋势为先上升后下降,呈单峰型变化(图 1),最高温度出现在中午 13:00,是建筑下垫面,温度达到 42.5 °C;乔草下垫面和

乔灌草下垫面的温度最低,为 38.1 °C;草地下垫面与硬质铺装下垫面温度比较接近,分别是 42.0 °C、41.9 °C,仅低于建筑下垫面 0.5~0.6 °C,温度偏高。晚上 19:00 时各类型下垫面内温度都达到最低值,这与太阳辐射规律大体一致。在 9:00 至 13:00 时段,水体相对建筑、硬质铺装以及草地下垫面来说升温较慢,主要原因在于长江作为城市天然的通风廊道,会减缓温度升高的速度,使水面升温速度低于陆地升温速度。

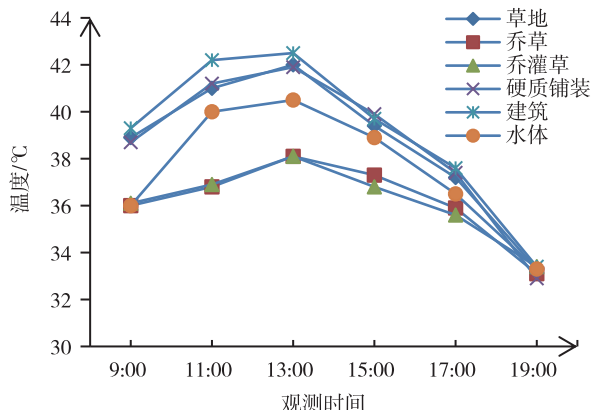


图 1 不同下垫面温度日变化特征

Fig. 1 Daily variation characteristics of temperature on different underlying surfaces

从 6 种下垫面的湿度日变化特征可以看出(见图 2),湿度日变化趋势表现为先下降后回升,呈 U 型变化,在 11:00 至 13:00 时段,湿度达到一天中最低值,这可能是因为这一时段太阳辐射造成环境气温升高,气体蒸发速率随之增高。在 11:00 至 17:00 时段,水体相对湿度最高,其次是绿地,其中乔灌草的相对湿度与乔草比较接近,都明显高于草地。硬质铺装与建筑下垫面相比其他四种下垫面,相对湿度较低,且建筑下垫面的相对湿度要略低于硬质铺装。与建筑相比,水体下垫面的相对湿度比其高 1.3%~10.1%,平均为 6.4%。在 17:00 至 19:00 时段内,基本没有太阳光照,伴随长江水体的作用,此时各种类型下垫面的湿度都大幅上升。

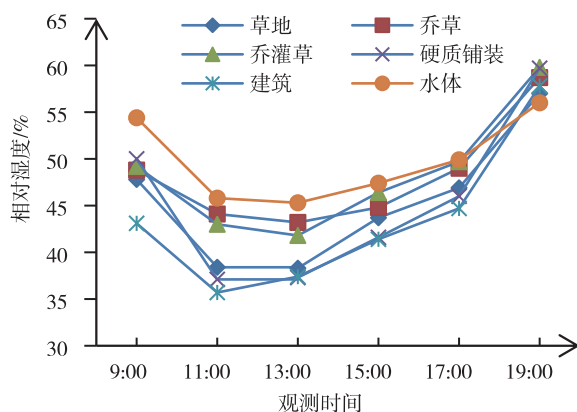


图 2 不同下垫面湿度日变化特征

Fig. 2 Daily variation characteristics of humidity on different underlying surfaces

由上述分析可以看出,夏季绿地下垫面的温湿效应明显,与建筑相比,乔灌草下垫面一天中各时刻的温度比建筑低 0~6 °C,相对湿度比建筑高 2.0%~7.3%。

### 3.2 不同下垫面的降温增湿作用比较

由观测数据分别算出 6 种下垫面及对照点的日均空气温度,并进行单因素方差分析(见表 3)。结果表明,在 9:00 至 19:00 时段,夏季江滩公园 6 种下垫面内的空气温度均低于对照点温度,其中,乔灌草下垫面日均温度(36.1±0.4) °C,显著低于对照点的日均温度(40.9±1.8) °C,使观测日空气温度降低 11.74%(相当于观测日空气温度降低了 4.8 °C),与对照点的日均温度相比具有极显著差异( $P<0.01$ )。乔草下垫面与对照点相比,使空气温度降低了 4.7 °C,温度降低 11.49%,与对照点的日均温度相比具有显著性差异,说明夏季白天植物群落对林下环境具有明显的降温作用。其他四种下垫面,草地、硬质铺装、建筑与水体,与对照地日均温度相比均无显著性差异。同时在不同下垫面之间进行多重比较(Turkey HSD 多重比较)发现,乔草、乔灌草下垫面的降温作用与草地、硬质铺装、建筑之间均存在显著差异,而与水体的差异不显著,草地与硬质铺装、建筑、水体的日均降温作用无显著差异,说明草地、硬质铺装、建筑具有不明显的降温作用。

表 3 6 种下垫面及其对照点的空气温度

Table 3 Air temperature of 6 kinds of underlying surfaces and their control points

下垫面类型	平均值/°C	最大值/°C	最小值/°C	降温作用/°C	降温率/%	P 值	显著性
草地	38.6±1.7	40.1	37.0	2.3a	5.62	0.179	不显著
乔草	36.2±0.5	36.8	35.8	4.7b	11.49	0.011	显著
乔灌草	36.1±0.4	36.5	35.8	4.8b	11.74	0.009	极显著
硬质铺装	38.7±0.5	39.2	38.3	2.1a	5.13	0.098	不显著
建筑	39.2±0.6	39.9	38.7	1.7a	4.16	0.178	不显著
水体	37.6±1.8	39.6	36.2	3.3ab	8.07	0.081	不显著
对照点	40.9±1.8	42.9	39.5				

注:  $P>0.05$  表示差异不显著;  $0.01<P<0.05$  表示差异显著;  $P<0.01$  表示差异极显著。

6 种下垫面及对照点的平均相对湿度,单因素方差分析结果(表 4)表明,水体、乔草、乔灌草这三种下垫面与对照点的日均相对湿度差异均达到了显著水平,说明水体和植物群落对周围环境具有明显的增湿作用。其他三种下垫面与对照点的日均相对湿度差异性并不显著,说明其增湿作用并不明显。与对照点相比,6 种下垫面白天日均增湿 2.9%~7.3%,平均为 4.3%,增湿率 2.59%~11.74%,平均为 7.7%。不同下垫面之间结构的差异导致增湿作用各不相同。其中水体下垫面的日均增湿作用最大,为 7.3%,乔灌草和乔草下垫面次

之,分别是 6.0%和 5.7%,再次是草地和硬质铺装下垫面,分别是 3.0%和 2.9%,而建筑下垫面的日均增湿作用最小,为 1.1%。不同下垫面之间进行多重比较发现,水体的增湿作用与草地、硬质铺装、建筑均存在显著性差异,乔灌草和乔草的增湿作用与建筑之间差异显著,而与草地、硬质铺装的差异性不显著。

因此,在夏季白天观测时间内,综合 6 种下垫面的日均温湿度来看,不同类型下垫面降温排序为乔灌草>乔草>水体>>硬质铺装>建筑,增湿排序为水体>乔灌草>乔草>草地>硬质铺装>建筑。

表 4 6 种下垫面及其对照点的相对湿度

Table 4 Relative humidity of 6 kinds of underlying surfaces and their control points

下垫面类型	平均值/%	最大值/%	最小值/%	增湿作用/%	增湿率/%	P 值	显著性
草地	45.4±2.8	48.2	42.6	3.0abc	7.08	0.143	不显著
乔草	48.1±1.8	50.2	46.6	5.7bd	13.44	0.007	极显著
乔灌草	48.4±2.8	51.6	46.7	6.0bd	14.15	0.022	显著
硬质铺装	45.3±2.4	47.1	42.6	2.9bc	6.84	0.107	不显著
建筑	43.3±0.3	43.6	43.1	1.1c	2.59	0.051	不显著
水体	49.7±1.4	51.1	48.4	7.3d	17.22	0.000 1	极显著
对照点	42.4±0.5	42.9	41.8				

注:  $P>0.05$  表示差异不显著;  $0.01<P<0.05$  表示差异显著;  $P<0.01$  表示差异极显著。

### 3.3 不同类型林地的降温增湿作用比较

为进一步研究滨水绿地中不同类型林地的温湿效应,分别观测以垂柳为优势种的疏林、以杨树与乌桕为优势种的混交林、以香樟为优势种的纯林以及孤植大树桑树四种林地类型环境内温湿度变化情况。

由表 5 可以看出,与对照点相比,4 种林地均具有一定的降温增湿作用。从不同观测时段来看,林地对

空气温湿度影响有明显差异,夏季白天时段(9:00—15:00)林地对温度和湿度的影响明显高于傍晚时段(17:00—19:00),在中午观测时段(11:00—13:00)林地的降温增湿效应更为明显,可能是因为该时段夏季树冠遮阴功能更容易发挥,而到了下午以后时段随着太阳辐射的减弱,植物冠幅的遮阴效果有所下降。

表 5 4 种林地的温湿日变化

Table 5 Daily variation of temperature and humidity in four forest lands

观测时间	疏林		混交林		纯林		孤植树	
	降温率/%	增湿率/%	降温率/%	增湿率/%	降温率/%	增湿率/%	降温率/%	增湿率/%
9:00	12.17	3.44	14.08	10.75	15.75	15.27	12.65	0.65
11:00	15.33	40.98	19.78	55.74	19.78	55.08	12.22	37.38
13:00	18.30	47.28	18.51	47.96	20.21	52.38	18.30	45.24
15:00	7.28	9.85	11.17	16.41	9.95	22.98	7.04	13.38
17:00	-0.55	-0.60	3.28	4.23	3.01	3.22	-1.64	-7.85
19:00	2.97	-1.73	1.19	3.92	0.89	0.51	0.89	-2.04

由图 3 可以看出,群植树夏季平均可降温 11.49%,增加空气湿度 16.75%,孤植树夏季平均可降温 8.97%,增加空气湿度 9.91%,可见单棵树木的小气候调节效应不如群植树的明显。群植树中香樟纯林降温增湿效果最佳,平均可降温 12.37%,增加空气湿度 19.76%,其次是杨树与乌桢的混交林,平均可降温 12.10%,增加空气湿度 18.47%,说明落叶阔叶林的温湿度调节效应不如常绿阔叶林。疏林种植的垂柳降温增湿效果相对较低,平均可降温 9.95%,增加空气湿度 12.03%,说明疏林的温湿度调节效应不如纯林和混交林。

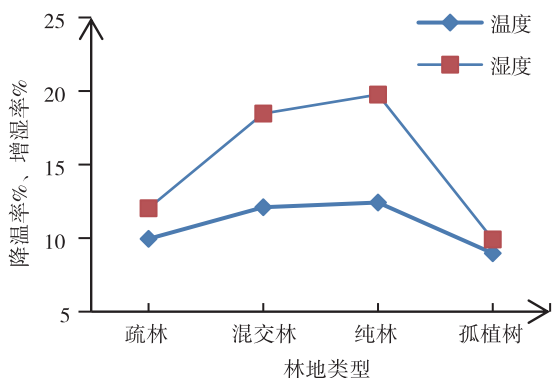


图 3 不同林地温湿度日均变化

Fig. 3 Daily change of average temperature and humidity in different forest lands

### 3.4 不同下垫面对人体舒适度的影响

分别计算 6 种下垫面各个时刻与日均的综合舒适度指数,对其舒适度程度进行分析发现(图 4):6 种下垫面人体舒适度大体呈现出乔灌木>乔木>水体>草地>硬质铺装>建筑的规律。在 9:00—17:00 时段内,S 值偏高,高于 8,说明夏季气温偏高造成人体不舒适。乔灌木下垫面与乔木下垫面内环境由于植物冠幅的遮阴作用可明显改善人体的舒适度;水体因为热容量大,具有良好的降温增湿作用,因此水体下垫面相对草地、建筑、硬质铺装下垫面而言舒适度更高。所以在 9:00—17:00 这一时段人们可以选择在乔灌木型、乔木型绿地中或水体周边进行户外活动。从 19:00 开始,S 值降低,其中乔灌木 S 值最小,为 6.35,人体感觉舒适。

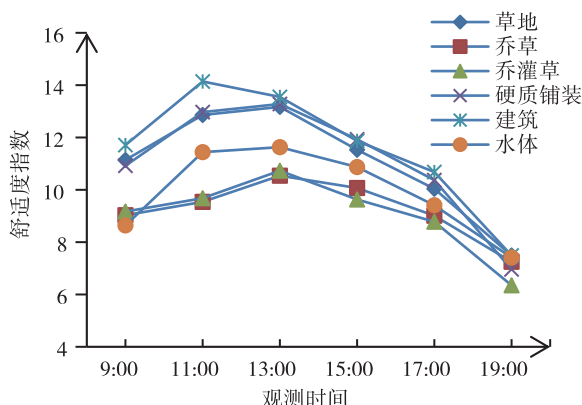


图 4 不同下垫面人体舒适度变化特征

Fig. 4 Change characteristics of human comfort of different underlying surfaces

## 4 讨论

### 4.1 不同下垫面夏季温湿度调节能力的差异

不同下垫面对太阳辐射的吸收、反射和热量再分配方式的不同<sup>[14]</sup>,以及自身结构的差异,是影响降温增湿效应的主要原因。综合以上分析结果发现,与对照点相比,草地、乔灌木、乔木、水体、硬质铺装及建筑 6 种下垫面均具有降温增湿效应,说明滨水带状绿地对局地小气候环境有一定改善作用,这与多数研究的结果相符。下垫面中乔灌木、乔木及草地型下垫面降温增湿效应均大于硬质铺装与建筑,可见不同类型下垫面对局地小气候的影响存在差异。

该研究结果表明:水体的增湿作用显著高于其他类型的下垫面,降温作用仅次于乔灌木与乔木,白天可使环境气温平均降低 3.3 °C,这一结果高于多数公园内水体温湿度研究结果<sup>[16-17]</sup>,主要原因是该研究中水体对象为长江,作为大面积水域,在水面蒸发时会大量吸收周边环境中的热量并释放水汽,从而影响周围环境温湿度,表现出较为明显的温湿效应。

铺装的不透水特点降低了其降温和增湿作用,说明铺地的材质类型会影响局部环境的小气候<sup>[18]</sup>。建筑的降温效应最低,但增湿幅度略高于硬质铺装,这与吴思佳等<sup>[19]</sup>下垫面类型对其温湿效应研究结果有一定出入,原因可能是本研究中建筑为亭,其四周开敞,且周边种植有垂柳、乌桢等乔木,有利于湿度的增加,所以虽然其温度降幅最低,但由于湿度增幅相对草地与硬质铺装来说较高,在一定程度上提高了人体舒适度,这也是为什

么夏季高温时仍有市民在公园亭中休憩的原因。

#### 4.2 不同林地结构对降温增湿能力的影响

夏季林地降温增湿效应显著高于草地,草地的小气候调节能力较弱,主要因为林地可以通过植物冠层结构吸收、反射和遮挡太阳辐射以及叶片的蒸腾作用,从而调节林下小气候环境。而不同林地结构在夏季表现出的温湿效应也有一定差异,其中群植树的降温增湿效应大于孤植树,而群植树中常绿阔叶林的降温增湿效应明显大于其他结构林地,混交林与纯林的温湿效应差异不明显,但都明显高于疏林。因此,在滨水绿地建设中,应进一步提高绿地面积,多种植冠大荫浓乔木,提高绿地覆盖率,充分发挥其降温作用,此外,应合理配置园林植物,充分考虑乔灌木复层结构<sup>[20]</sup>,合理搭配常绿树和落叶树,有效提升局地小气候调节功能。

### 5 结 论

(1) 江滩公园夏季不同下垫面的温度日变化趋势为先上升后下降,呈单峰型变化,湿度日变化趋势为先下降后回升,呈 U 型变化。

(2) 草地、乔灌木、乔木、水体、硬质铺装、建筑均具有降温增湿效应,降温幅度由高到低依次是:乔灌木>乔木>水体>草地>硬质铺装>建筑,增湿幅度由高到低依次是:水体>乔灌木>乔木>建筑>草地>硬质铺装。

(3) 不同林地结构的温湿度调节效应有明显的差异,在中午时段的降温增湿效应最明显,其降温增湿效应依次为常绿阔叶纯林>落叶阔叶混交林>落叶阔叶疏林>孤植树。

(4) 江滩公园夏季不同下垫面人体舒适度大体呈现出乔灌木>乔木>水体>草地>硬质铺装>建筑的规律。

#### 参考文献(References):

[1] 金苏毅,江洪.基于遥感手段的城市热岛效应研究[J].安徽农业科学,2008,36(5):2141—2142,2146.  
JIN Su-yi,JIANG hong. Study on city heat island effect based on remote sensing[J]. Journal of Anhui Agri. Sci. 2008, 36 (5): 2141—2142, 2146.

[2] 李宇,周德成,闫章美.中国 84 个主要城市大气热岛效应的时空变化特征及影响因子[J].环境科学,2021,42(10):5037—5045.

LI Yu, ZHOU De-cheng, YAN Zhang-mei. Spatiotemporal variations in atmospheric urban heat island effects and their driving factors in 84 major Chinese cities[J]. Environmental Science, 2021, 42(10): 5037—5045.

[3] 李外宾,汤军,高贤君,等.石家庄市主城区热岛特征及变化分析[J].科学技术与工程,2021,21(27):11858—11867.  
LI Wai-bin, TANG Jun, GAO Xian-jun, et al. Analysis of the characteristics and changes of heat island in the main urban area of Shijiazhuang[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(27): 11858—11867.

[4] 郑钰旦,朱思媛,方梦静,等.城市公园不同植物配植类型与温湿效应的关系[J].西北林学院学报,2020,35(3):243—249.  
ZHENG Yu-dan, ZHU Si-yuan, FANG Meng-jing, et al. Relationships between different types of plant arrangement and temperature-humidity effects in urban parks[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(3): 243—249.

[5] 范舒欣,李坤,张梦园,等.城市居住区绿地小微尺度下垫面构成对环境微气候的影响——以北京地区为例[J].北京林业大学学报,2021,43(10):100—109.  
FAN Shu-xin, LI Kun, ZHANG Meng-yuan, et al. Effects of micro scale underlying surface type and pattern of urban residential area on microclimate: taking Beijing as a case study[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(10): 100—109.

[6] 王晶懋,刘晖,梁闯,等.校园绿地植被结构与温湿效应的关系[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2017,49(5):708—713.  
WANG Jing-mao, LIU Hui, LIANG Chuang, et al. Relationship between campus green space vegetation structure and temperature-humidity effect[J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology (Natural Science Edition), 2017, 49(5): 708—713.

[7] 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.  
JI Peng, ZHU Chun-yang, LI Shu-hua. Selected vertical structures of green belts along urban rivers affect seasonal temperature and humidity[J]. Acta Agrestia Sinica, 2012, 20 (3): 456—463.

[8] 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.

- JI Peng, ZHU Chun-yang, LI Shu-hua. Effects of the different structures of green belts on the temperature and humidity in river corridors[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2012, 48(3): 58—65.
- [9] 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.  
JI Peng, PENG Dong-jun, ZHANG Tao, et al. Effects of the different canopy density of green belts on the temperature and humidity in river corridor within a year[J]. *Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University*, 2013, 25(4): 4—9.
- [10] 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, 52(1): 37—47.  
QING Zhong, LI Zhan-dong, CHENG Fang-yun, et al. Cooling and humidifying effects of five landscape plant communities on summer days in Beijing[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2016, 52(1): 37—47.
- [11] 范志强, 徐佳敏, 杨荣, 等. 安庆秦潭湖公园不同植物配置类型湿温效应研究[J]. *佳木斯大学学报(自然科学版)*, 2021, 39(6): 105—107.  
FAN Zhi-qiang, XU Jia-min, YANG Rong, et al. Study on humidity and temperature effects of different plant configuration types in Anqing Qintan lake park[J]. *Journal of Jiamusi University (Natural Science Edition)*, 2021, 39(6): 105—107.
- [12] 董建华, 何奇江, 高月, 等. 典型城市森林和湿地的小气候效应及人体舒适度影响——以杭州市为例[J]. *环境保护科学*, 2019, 45(6): 101—107.  
DONG Jian-hua, HE Qi-jiang, GAO Yue, et al. The microclimate effects of typical urban forests and wetland and its effects on human comfort degree——taking Hangzhou as an example[J]. *Environmental Protection Science*, 2019, 45(6): 101—107.
- [13] 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, 38(6): 1028—1038.  
GAO Ji-xi, SONG Ting, ZHANG Biao, et al. The relationship between urban green space community structure and air temperature reduction and humidity increase in Beijing[J]. *Resources Science*, 2016, 38(6): 1028—1038.
- [14] 陆鼎煌. 颐和园夏季小气候[M]. 北京: 气象出版社, 1989.
- LU Ding-huang. Summer microclimate of the summer palace [M]. Beijing: Meteorological Publishing House, 1989.
- [15] 董振国. 下垫面与城市温度环境[J]. *环境保护*, 1987(10): 21—23.  
DONG Zhen-guo. Underlying surface and urban temperature environment[J]. *Environmental Protection*, 1987(10): 21—23.
- [16] 吴菲, 朱春阳, 李树华. 北京市 6 种下垫面不同季节温湿度变化特征[J]. *西北林学院学报*, 2013, 28(1): 207—213.  
WU Fei, ZHU Chun-yang, LI Shu-hua. Seasonal changes of temperature and humidity of six urban underlying surfaces in Beijing[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2013, 28(1): 207—213.
- [17] 张彪, MAJID A B, 史芸婷, 等. 北京奥林匹克公园夏季绿地小气候及人体环境舒适度效应分析[J]. *生态学*, 2018, 37(5): 77—86.  
ZHANG Biao, MAJID A B, SHI Yun-ting, et al. The summer microclimate of green spaces in Beijing Olympic Park and their effects on human comfort index[J]. *Ecological Science*, 2018, 37(5): 77—86.
- [18] 曾颖, 温小军, 李能琛, 等. 赣州某高校典型区域下垫面温湿度监测研究[J]. *山西建筑*, 2021, 47(15): 27—29.  
ZENG Ying, WEN Xiao-jun, LI Neng-chen, et al. Study on temperature and humidity monitoring of underlying surface in typical area of a university in Ganzhou[J]. *Shanxi Architecture*, 2021, 47(15): 27—29.
- [19] 吴思佳, 董丽, 范舒欣. 下垫面类型对其温湿效应及人体舒适度的影响[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2020, 49(4): 532—539.  
WU Si-jia, DONG Li, FAN Shu-xin. Effect of land cover types on lowering air temperature and increasing humidity and human comfort level[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2020, 49(4): 532—539.
- [20] 商茹, 李嘉乐, 李薇, 等. 北京城市绿地不同下垫面对环境微气候影响研究[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(22): 77—83.  
SHANG Ru, LI Jia-le, LI Wei, et al. Different underlying surfaces of urban green space in Beijing: effects on environmental microclimate[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(22): 77—83.