

文章编号:1001—7380(2022)03—0015—07

校园景观空间冬季微气候分析和热舒适研究 ——以福建农林大学为例

董雨琴,宁春娇,杨喻明,彭兆翔,黄启堂*

(福建农林大学 风景园林与艺术学院,福建 福州 350100)

摘要:为探讨湿热地区校园冬季不同景观空间小气候和人群热舒适情况,在福建农林大学选取6个典型空间(竹林、中华园草坪、创新楼绿地、西门广场、金山路和观音湖小路),实地开展小气候监测及问卷调查,在3个测试日中共得到调查问卷302份(有效率为95.27%)。分析比较不同景观空间的小气候差异,并依据调查结果,运用热舒适评价指标,评价不同景观空间的热舒适度。结果表明:草坪空间在冬季表现出较好的热舒适度,竹林空间和建筑中庭空间(创新楼绿地)最不舒适;研究表明,近半数人希望冬季气温升高,风速减小,太阳辐射增大;采用回归分析法计算得出,冬季校园人体热感觉适中的生理等效温度(PET)为17.3℃,热感觉适中的PET范围在15.7—18℃;热舒适的PET范围为17.9—23.1℃;80%的人群热可接受率所对应的 $PET \geq 16.2$ ℃。该研究结果为优化校园景观空间的规划设计和后期管理提出了参考依据。

关键词:校园景观空间;冬季;微气候;生理等效温度;热舒适度

中图分类号:P412.1;X124;X16

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2022.03.003

Winter microclimate and thermal comfort in campus landscape space: A case study of Fujian Agriculture and Forestry University

Dong Yuqin, Ning Chunjiao, Yang Yuming, Peng Zhaoxiang, Huang Qitang*

(College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350100, China)

Abstract: To learn the microclimate of different landscape spaces and people's thermal comfort in humid areas in winter, 6 typical spaces were selected in the campus of Fujian agriculture and Forestry University to carry out microclimate monitoring and questionnaire survey. A total of 302 questionnaires (95.27% effective rate) were obtained in 3 test days. After the microclimate difference of landscape spaces analyzed, the thermal comfort of different landscape spaces was further evaluated by means of thermal comfort indices. The results showed: (1) According to the thermal comfort questionnaire, lawn space was shown as better thermal comfort environment in winter while bamboo forest space and building atrium space were least comfortable; (2) Nearly half of people in hope of air temperature rise, wind speed decrease and solar radiation increase in winter; (3) Regression analysis with 17.3℃ PET (physiological equivalent temperature) to thermal sensation neutrality, the PET range of 15.7—18℃ to thermal neutrality; 17.9—23.1℃ to thermal comfort, and at least 16.2℃ PET, corresponding to 80% acceptance rate. This research provides a reference for optimizing the planning, design and later management with campus landscape space.

Key words: Campus landscape space; Winter; Microclimate; Physiological equivalent temperature (PET); Thermal comfort

收稿日期:2022-03-31;修回日期:2022-04-25

基金项目:福建农林大学科技发展基金“因应气候变化的高密度城市生态屋顶规划应用研究”(CXZX2020126B)

作者简介:董雨琴(2000—),女,湖南怀化人,硕士研究生。主要从事园林与景观设计研究。

*通信作者:黄启堂(1963—),男,福建尤溪人,教授,硕士生导师。主要从事风景园林规划与设计研究。

户外空间是人们日常生活的重要组成部分。城市室外开放空间是人们户外活动的主要空间,一个良好的空间环境特别是热环境对提升公共健康水平,在减少一些非传染性疾病和精神疾病方面发挥着重要作用^[1]。校园户外空间是教师和学生学习、交流、休息的场所,其环境舒适性则是影响教师与学生学习沟通的外在条件,舒适的校园环境能促进师生交流,对学生的健康成长有积极影响^[2]。

针对校园公共空间热舒适的研究,多集中于哈尔滨、济南和广州等地区等高校^[3-5],对于福州地区高校的研究较少。虽说福州地区也逐渐开展着室外热舒适方面的研究,但对于校园人群在冬季情况下室外热舒适的特点还缺乏探究。因此,有必要针对福州市高校进行实地监测与问卷调查以获取更多数据。为此,本文采用小气候实测与主观问卷相结合的方法,对福州农林大学冬季校园不同景观空间热舒适水平进行了探讨,并对不同景观空间微气候及人群热舒适度进行分析,为提高校园景观空间

舒适性设计提供启发和理论依据。

1 研究方法

1.1 试验地选择

研究地选在福建农林大学金山校区,属典型亚热带季风气候,夏热冬暖,年均气温 19.6℃,1 月平均气温约 10℃,8 月平均气温约 27℃,年均降水量 1 350 mm 左右。据校园气象站资料显示,校园平均温度比福州市平均温度低 2.5℃左右,相对湿度比福州市区高 15%左右。校园外环境的主导风向为东南风,其次为北风、西北风,夏季多偏南风,秋冬季多西北风,夏季多台风暴雨^[6]。校园占地约 160 hm²,水面约 10 hm²,绿化覆盖率达 37.9%^[7]。研究选择了 6 种景观空间进行实地测试,即竹林(A)、中华园草坪(B)、创新楼绿地(C)、西门广场(D)、金山路(E)和观音湖小路(F)。具体测点分布如图 1 所示。

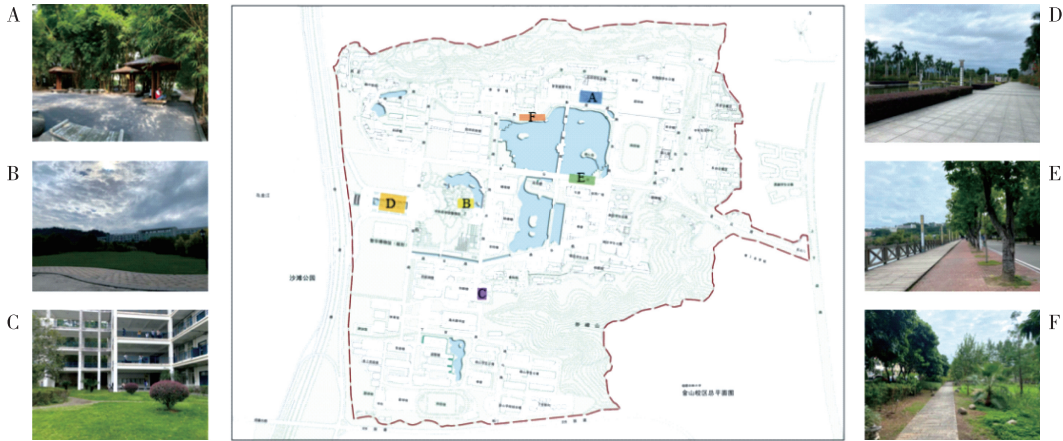


图 1 金山校区测点分布

1.2 测试方法

本研究采用小气候实地测量和现场人群问卷调查方法。在冬季,选择 3 d 具有代表性天气,即在晴朗少云、无风或微风的天气测量,将平均数据作为测试数据。小气候实测与问卷调研时间为 8:00—18:00。

1.2.1 小气候测量 本文利用 Kestrel 5400 热应力气象跟踪仪(见表 1),对各个景观空间的空气温度、相对湿度、风速和黑球温度小气候因子进行测量。每 2 h 进行 1 次,手持测量仪器,离地 1.5 m 处与地面垂直,通过移动观察,每个测量点至少保持 2 min。

表 1 测量参数

测量参数	感应设备名称	测量范围	精度
空气温度/℃	温度传感器	-29—70	±0.5
相对湿度/%	相对湿度传感器	5—95	±3
风速/(m/s)	叶轮	0.4—40	±0.1
黑球温度/℃	黑球传感器	-29—60	±1.4

1.2.2 问卷设计 本研究的问卷设计由 2 大部分组成,第 1 部分为个人信息,包括被调查者所处场所、性别、年龄、着装 4 个问题。第 2 部分为热舒适度评价调查,其主要包括热感觉投票(Thermal Sensation Votes, TSV)、热舒适投票(Thermal Comfort

Votes, TCV)、热可接受度(Thermal Acceptability Votes, TAV)及热期望(Thermal Preference)^[4]。热期望分别设置了冷热感、干湿感、风感、太阳辐射感投票^[4]。根据ASHARE^[8]的定义和福州当地的气候条件,热感觉投票使用修订后的7刻度量表(-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 分别代表冷、凉、稍凉、适中、稍暖、暖、热)。此外,请被调查者填写对气象参数的期望以及在测量点的总体热舒适度。热期望投票(-1, 0, 1 分别代表降低、不变、升高)、热舒适投票(-2, -1, 0, 1, 2 分别代表非常不舒适、不舒适、适中、舒适和非常舒适)和热可接受投票(1 完全不接受, 2 不接受, 3 适中, 4 接受, 5 完全接受)均采用5点刻度标准^[9]。现场测量气候数据与调查问卷同步进行,将问卷上传到问卷星平台,并对其进行初步分类和统计,每个景观空间的问卷不少于40份,每份调查问卷的填写需要2—3 min。问卷发放总计3 d,共发放问卷317份,回收有效问卷302份,有效率为95.27%。

1.3 热舒适指标

本文选取生理等效温度(Physiological Equivalent Temperature, PET)作为热舒适评价指标。PET在一定程度上弥补了其他指标的不足,除了气象信息外,它还充分考虑到人体的活动代谢率与服装热阻值,且PET更便于人们感知环境,没有气象学知识背景的人也可以对热环境做出评价。

1.4 数据处理

利用RayMan pro模型程序计算得出生理等效温度(Physiological Equivalent Temperature, PET)^[10],使用Rayman模型时需输入当地的时空信息、空气温度、湿度、风速、平均辐射温度等气象信息和身高、年龄等人体基础信息即可计算出对应的PET值。运用Excel 2016和spss 25.0进行统计分析实地测量的小气候因子与调查问卷等数据,为研究校园冬季小气候和评价热舒适度做充分准备。

2 结果与分析

2.1 不同景观空间小气候分析

2.1.1 空气温度 各景观空间区域的全天平均温度都呈现类似的趋势(见图2),都在14时许到达最高温度。平均空气温度金山路(E)最低(13.5℃),而中华园草坪(B)最高(14.3℃)。中华园草坪空间开敞,无植物或建筑遮荫,全天太阳直射,其平均温度比西门广场高的原因在于西门广场有植物遮

挡。平均空气温度的变化范围创新楼绿地(C)较大(8.3℃)。创新楼绿地为建筑中庭,空间在太阳直射时间段温度迅速上升,在被建筑遮挡时温度下降,全天温差较大。测点B和D的空气温度变化范围相等(8.2℃),仅次于C。这是因为2者都是开敞空间,在阳光直射下气温较高,而在太阳辐射较低时气温较低,所以2测点的日气温变化趋势基本一致。E温度变化最小(6.2℃)。且各测点间气温的差异源于不同形式的下垫面^[11-12]。

2.1.2 相对湿度 各测点的相对湿度如图2所示,测点相对湿度在31.8%—81.3%之间。全天各测点相对湿度随时间呈先降后升的变化趋势,中午时段相对湿度低于当日平均相对湿度,平均相对湿度E(58%)最高,观音湖小路邻近水体,且植物茂盛,空气温度较低,导致其相对湿度最高;其次D是57.8%,西门广场早晨与傍晚中心水池喷泉开放增加了空气湿度;平均相对湿度C为56.1%,最低。

2.1.3 风速 各景观空间之间的风速变化较为明显。风速范围为0—1.4 m/s,均处于软风状态(≤ 2 m/s)(如图2)。中华园草坪平均风速(0.4 m/s)最低,因为场地周边有植物围合,减弱了风力,降低了风速。平均风速为西门广场(0.7 m/s)最高。

2.1.4 黑球温度 如图2所示。对比各空间测点的黑球温度,结果为 $B>E>C>A>D>F$ 。中华园草坪平均黑球温度最高,表明空间越开敞的测点,其黑球温度往往越高。

2.2 不同景观空间热舒适分析

2.2.1 热感觉、热舒适和热期望 图3显示了福建农林大学冬季不同景观空间中热感觉的百分比。可以看出,冬季天气寒冷,各景观中都出现了较多的“凉”和“稍凉”的热感觉投票,“冷”也有一定的比例。但在中华园草坪、西门广场和金山路也出现了一定比例的“适中”评价。在6个景观空间中,“适中”(TSV=0)热感觉投票最多的是中华园草坪,占39.0%,西门广场次之(21.9%),金山路为12.1%。竹林与创新楼绿地的“适中”热感觉投票率最低,分别为6.1%和5.9%。在竹林空间和创新楼绿地的“凉”(TSV=-2)和“冷”(TSV=-3)的投票总占比也最大,分别是60.0%和58.8%,约是中华园草坪的2倍。分析各景观空间特征发现,西门广场、金山路、中华园草坪阳光没有被植物或建筑物遮挡,可以获得更多辐射热,所以身处在这3个空

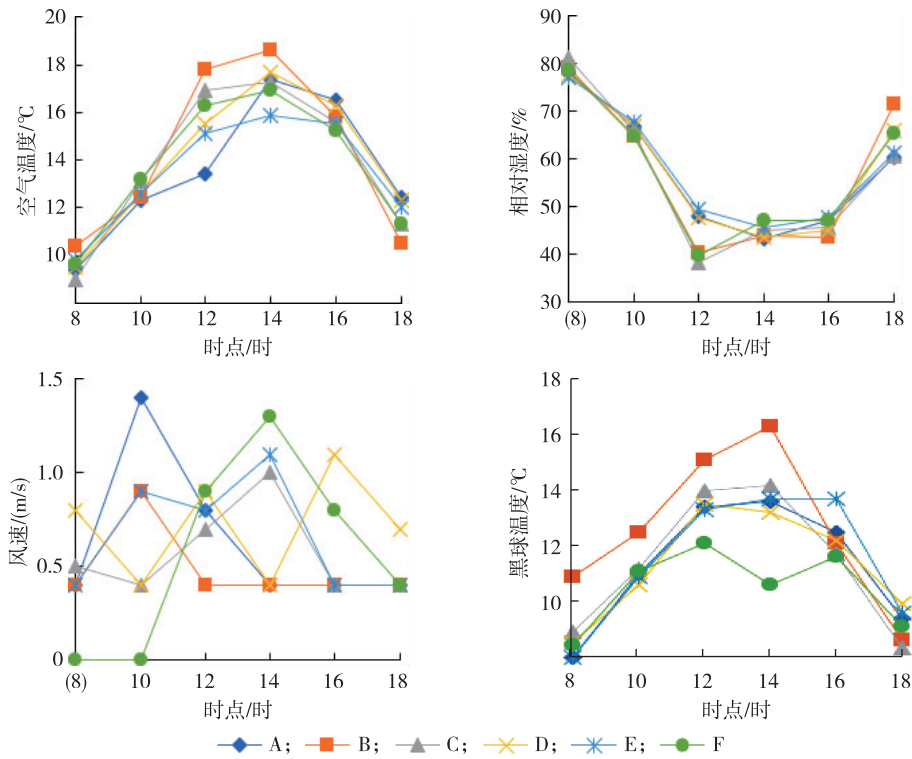


图 2 各测点小气候参数逐时变化

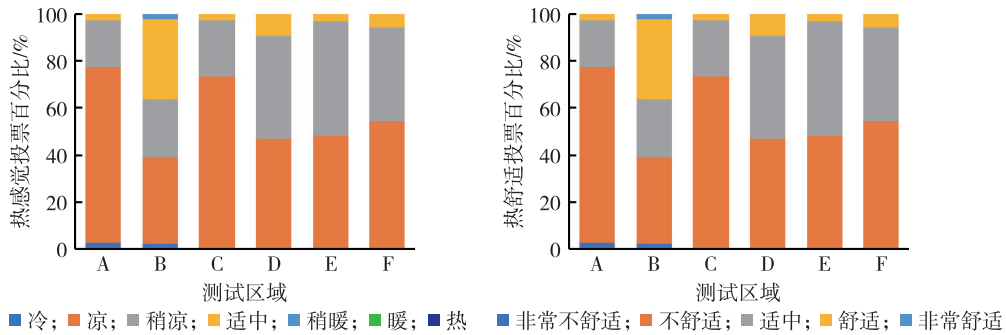


图 3 各测点热感觉、热舒适投票的占比情况

间受访者的热感觉升高。观音湖小路空间有大面积水体,水体蒸发吸热降低了热感觉。竹林空间较创新楼绿地具有更多的中性热感觉投票,这可能是由于下垫面的差异,竹林下垫面为混凝土,它吸收了大量的辐射并将其释放到环境中,这增加了环境中的辐射热,而创新楼绿地以草坪铺设又被建筑物遮蔽,从而使空气温度和热感觉下降。

冬天气温降低,不仅热感觉下降,还会使热舒适度下降。从图 3 可以看出,被调查者感觉中华园草坪是较为舒适的室外环境,只有 36.6% 的人群认为中华园草坪“不舒适”,即 63.4% 的人在該空间内无不舒适感。其次,西门广场和金山路也表现出

良好的热环境,54.6% 的人在金山路内没有不舒适感,46.9% 的人在西门广场内没有不舒适感。冬季竹林空间和创新楼绿地的不舒适百分比比较高,分别占各自总投票的 77.1% 和 73.5%,约为总热舒适投票的 2/3。竹林空间和创新楼绿地“不舒适”的原因在于植物与建筑抵挡了太阳辐射,导致场地温度降低。

如图 4,通过比较温度、太阳辐射、湿度和风速期望投票结果,发现测试区人群对湿度变化期望不显著;另外,测试区域人们期望温度升高,太阳辐射增加比较明显,而投票则表明想要风速减小的人更多。其中竹林及创新楼绿地希望提高场地温度及

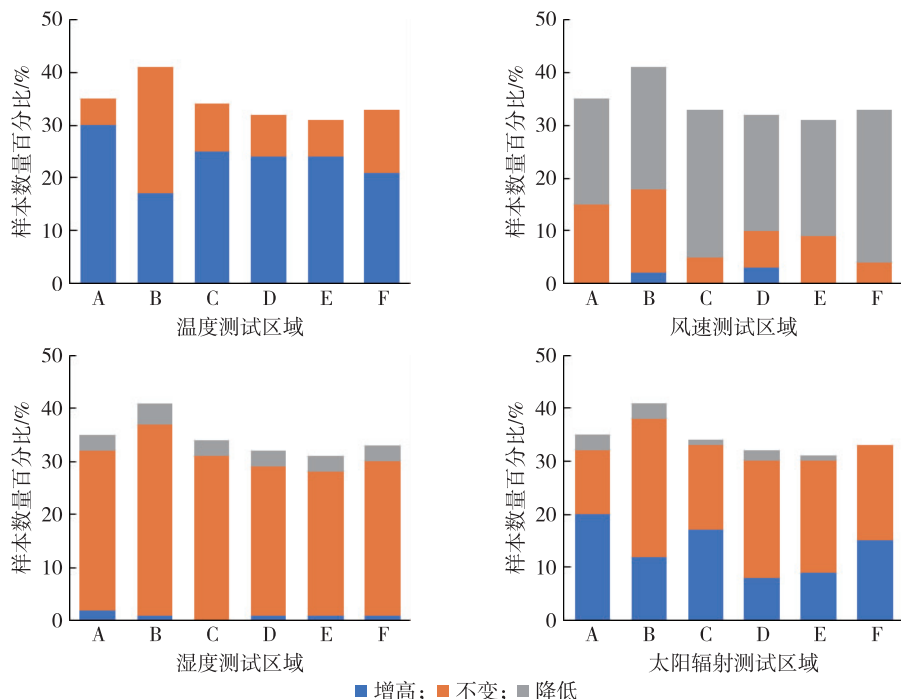


图4 各测点温度、风速、湿度、太阳辐射期望投票百分比

增加太阳辐射要求较高,观音湖小路希望降低风速要求较高。

小气候因子也可能影响校园户外空间的人体舒适度。为了解福建农林大学冬季气象参数对人体热舒适的影响,对小气候因子、TSV 和 TCV 进行了 Spearman 相关分析。空气温度、黑球温度与热感觉和热舒适显著正相关,风速与热感觉和热舒适显著负相关(见表2)。

表2 热感觉、热舒适与小气候因子的关系

	温度	相对湿度	风速	黑球温度
热感觉	0.583 **	不相关	-0.465 **	0.521 **
热舒适	0.540 **	不相关	-0.439 **	0.436 **

注:**表示在置信度(双侧)为0.01时,相关性显著。

2.2.2 热中性温度、热舒适温度和热可接受度 使用温度频率法(Bin法),把计算得来的PET值按照间隔1℃划分成多个区间,计算每个区间TSV的加权值平均值,TSV关于PET的散点图及拟合的函数如图5,函数关系为

$$y = 0.0243x^2 - 0.3812x - 0.5159, R^2 = 0.9556$$

平均热感觉投票(TSV)与PET存在较好的非线性关系,人群热感觉大多分布于0(适中)—2(凉)之间,在TSV等于0时,获得的人体中性PET在17.3℃,低于上海(22.3℃)^[13]和广州^[4](20.3

℃)。此时,PET每改变3.6℃将会使热感觉改变1级。TSV在-0.5—0.5时,计算出冬季的热中性范围为15.7—18℃,比上海(15—29℃)^[14]和台湾^[15](26—30℃)的范围窄,造成热感觉差异的原因可能是城市气候条件不同,人群已适应当地气候。

生理等效温度(PET)与热舒适投票的关系如图6所示,本文研究定义TCV≥0所对应的PET范围为冬季舒适PET值范围,在冬季舒适时其相应PET值为17.9—23.1℃。

ASHRAE^[8]建议80%的人群可以接受的热环境即为舒适的热环境。为了解冬季热可接受率PTA(Percentage of Thermal Acceptability)与PET之间的关系,采用与上述相似的Bin法将PET与PTA进行回归分析(见图7),得到回归方程

$$y = 0.0055x^2 - 0.0274x - 0.2067, R^2 = 0.9107$$

采用热可接受率PTA和PET回归拟合方程,计算出冬季80%的人群可以接受PET≥16.2℃。

3 讨论与结论

3.1 讨论

校园室外空间与师生日常活动有着密切联系,室外热环境是影响室外空间使用率的重要因素^[16],分析校园热舒适度具有显著意义。基于合理规划

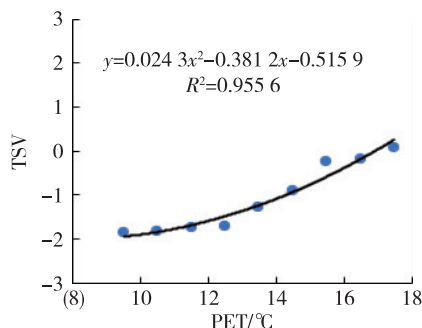


图 5 PET 指标与热感觉相关性

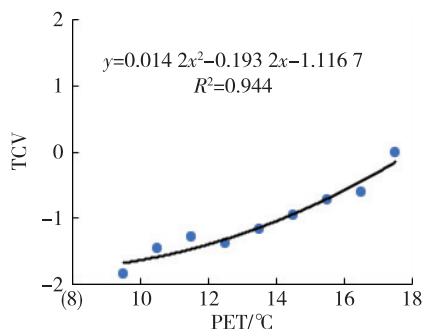


图 6 PET 指标与热舒适相关性

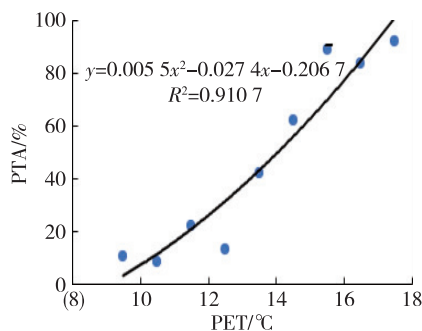


图 7 PET 指标与热可接受率相关性

设计校园户外空间可以提高使用率,因此可以提升校园热舒适以实现空间的可持续利用。从热舒适度的角度考虑,应考虑以下方面:

(1) 校园设计应考虑建筑、植被和阳光之间的关系。密集的建筑减少了太阳辐射,导致校园活动空间在冬天变得不舒服,研究建筑位置、空间形态以改善局部小气候。

(2) 可以通过植物配置、景观要素营造等提升校园热舒适度水平。具体措施如,注重植物配置,在休息区周围增加灌木的数量减弱风速,种植落叶乔木,夏季提供遮荫,冬季不遮阳光;改善铺装比例等。

本研究虽对福建农林大学校园景观空间热舒适度进行了分析,但仍存在一些需要探讨的问题:

(1) 研究可以选取更多的高校作为研究主体,使研究结果更具有代表性;

(2) 小气候和热舒适的调查天数少,不能代表福州复杂的实际气候条件,应进一步研究其他季节校园热环境及其对户外空间人体热舒适的影响;

(3) 应进一步研究不同人群、人群的行为习惯、活动与热舒适的关系,以改善湿热地区校园的室外热舒适性;

(4) 进一步研究应与气候模拟软件相结合,根据模拟结果,对影响校园小气候和热舒适度的内在因素和外在因素进一步细化,以改善不同规模和更广泛特征的校园热舒适度。

3.2 结论

本文基于福建农林大学不同景观空间热环境实测、热舒适问卷的调查结果,获得了不同景观空间的热环境和人体舒适度数据。实测结果表明,校园景观空间小气候和人体热舒适度与其空间结构、下垫面、遮荫情况和植物布局密切相关^[12]。经过对比分析,得出以下结论:

(1) 场地空气温度介于 9.0—18.6 °C 之间,相对湿度介于 38.1%—81.3% 之间,全天平均风速 0.4 m/s,空间越开阔的测量点黑球温度越高。

(2) 由于气候、环境、功能和热适应等诸多因素,使人们在不同空间中对于热环境的认识不能形成统一的标准。在环境因素中,绿化植被、水面及铺装都会影响到人们的热舒适度。在冬季,人们在不同空间的热感觉主要集中在稍凉与凉之间,且开阔空间“适中”的热感觉较多。不同的景观空间对室外热环境及人群热舒适影响显著,空间越开敞,获得太阳辐射就越大,从而提高冬季人群在户外的热舒适性,中华园草坪表现出了较好的热舒适环境。在对热期望的调查中近一半的人希望温度上升、太阳辐射增强、风速降低。

(3) 福建农林大学冬季热感觉与 PET 之间表现出强烈的非线性关系,热中性 PET 值为 17.3 °C,热中性 PET 范围为 15.7—18 °C;冬季热舒适 PET 范围为 17.9—23.1 °C;PTA 与 PET 之间存在二次多项式关系,冬季受访者可接受温度随 PET 升高而升高,其中 80% 可接受 PET ≥ 16.2 °C。

参考文献:

[1] 姚亚男,李树华.基于公共健康的城市绿色空间相关研究现状

- [J].中国园林,2018,34(1):118-124.
- [2] 陈 聪.校园环境 with 思想、意识、文化的融合[D].武汉:理工大学,2006.
- [3] 金 虹,乔 梁,崔 鹏.基于户外活动的严寒地区校园冬季热舒适度研究[J].建筑科学,2021,37(8):87-92.
- [4] 高云飞,余佳宁,刘 琳,等.湿热地区校园公共空间冬季热舒适研究[J].广东工业大学学报,2021,38(1):39-45.
- [5] 杨丽娜,刘吉营,任 婧,等.过渡季节特殊天气下校园室外热舒适研究[J].山东建筑大学学报,2021,36(1):75-82.
- [6] 薛秋华,余振辉,翁善波.校园绿地景观的营造与配置——以福建农林大学校园绿地植物配置为例[J].福建农林大学学报(哲学社会科学版),2007,10(3):125-128.
- [7] 翁羽西,朱玉洁,董嘉莹,等.校园绿地声景观对情绪和注意力的影响——以福建农林大学为例[J].中国园林,2021,37(2):88-93.
- [8] HEATING A S O. 2012 ASHRAE handbook [M]. Atlanta, GA: ASHRAE Research, 2012.
- [9] 许 敏.城市公园绿地不同景观空间热舒适研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [10] MATZARAKIS A, RUTZ F, MAYER H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model [J]. International Journal of Biometeorology, 2009, 54(2): 131-139.
- [11] 张 磊,孟庆林.湿热地区大学校园夏季热环境测试与分析[J].建筑科学,2011,27(2):48-51.
- [12] 彭海峰,杨小乐,金荷仙,等.校园人群活动空间夏季小气候及热舒适研究[J].中国园林,2017, 33(12): 47-52.
- [13] 刘滨谊,彭旭路.上海南京东路热舒适分析与评价[J].风景园林,2019, 26(4): 83-88.
- [14] 魏冬雪,刘滨谊.上海创智天地广场热舒适分析与评价[J].中国园林,2018, 34(2): 5-12.
- [15] LIN T P, MATZARAKIS A. Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan [J]. International Journal of Biometeorology, 2008, 52(4):281-290.
- [16] KLEMM W, HEUSINKVELD B G, LENZHOLZER S, et al. Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands [J]. Building and Environment, 2015, 83:120-128.

· 征订启事 ·

欢迎订阅 2022 年度、2023 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(网络版)》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 15.00 元,全年订费 90.00 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) 52745438,83602820,83602060。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。