DOI: 10.5846/stxb201611252416
刘畅,徐宁,宋靖达,胡尚春.城市森林公园游人热舒适感受与空间选择的研究.生态学报,2017,37(10): - .
Liu C, Xu N, Song J D, Hu S C.Research on visitors′ thermal sensation and space choices in an urban forest park.Acta Ecologica Sinica,2017,37(10): - .

城市森林公园游人热舒适感受与空间选择的研究

刘 畅,徐 宁,宋靖达,胡尚春*
东北林业大学园林学院,哈尔滨 150040

摘要:选择黑龙江省森林植物园内景观差异性较大的 4 个样地。实地测量各样地空气温度、相对湿度、风速等小气候要素数据,问卷调查游人热舒适感受,观察记录游人空间选择及行为特征。旨在寻找小气候要素与人体热舒适感受的关系,以及游人空间选择与热舒适感受评价的关联程度。结果表明:各小气候要素均对游人热舒适感受有一定的影响,其中空气温度对游人热舒适感受影响最大,其次是相对湿度和风速;不同样地内游人对热舒适感受变化的敏感程度不同,水体和植物群落除了通过增湿降温作用调节空间热舒适感受外,其观赏作用也可以降低人们对热舒适感受变化的敏感性;遮荫是夏季游人选择休憩空间的主要因素。

关键词:小气候要素;热舒适感受;空间选择;相关性

Research on visitors′ thermal sensation and space choices in an urban forest park

LIU Chang, XU Ning, SONG Jingda, HU Shangchun*
College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, *China*

Abstract: In this study, we investigated summer microclimate elements (air temperature, relative humidity, and wind speed), as well as visitors′ thermal sensation, space choices, and activities, at four representative sites in Heilongjiang Forest Botanical Garden. Site 1 was a paving square located at the park entrance, with a few trees and benches. Site 2 was a lakefront area with trees, shrubs, and herbaceous plants, which also had pavilions and benches. Site 3 was a woodland landscape with a canopy density of 0.93. No passive recreational facilities were provided at this site. Site 4 was a flower garden containing herbaceous flowerbeds. With the aim of exploring associations among individuals' thermal sensation and visitor populations in different space categories, we conducted measurements of meteorological variables, survey interviews, and observations of human activities. At each of the four sites, a Kestrel 4500 weather meter was used to measure air temperature, relative humidity, and wind speed. The measurements were taken from 09:00 to 17:00 over a period of 3 d. During the measurements, surveys were conducted at each site to collect information on visitors′ thermal sensation. A total of 500 questionnaires were distributed, of which 471 (463 being valid) were returned. Observations of visitor activities were recorded for 20 min per hour during the site measurements. The results showed that outdoor microclimate parameters played important roles in visitors′ thermal sensation. Among these microclimate parameters, air temperature was the most influential, followed by relative humidity and wind speed. In summer, the visitors to Heilongjiang Forest Botanical Garden generally felt more comfortable with cooler air, higher air humidity, and a stronger breeze. Visitors in different garden sites were not equally sensitive to changes in thermal comfort conditions. Visitors in the square area with a large amount pavement were most sensitive to changes in thermal comfort conditions. Visitors in the herbaceous flower garden area were the next

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(2572015BX06);国家级大学生创新创业训练项目(201610225098)
收稿日期:2016-11-25; **网络出版日期**:2017-03-17
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: noblespring@ outlook.com

most sensitive. In the waterfront area containing leisure facilities, the correlation between the number of visitors and change in thermal sensation was minimal. In the woodland area, there was essentially no association between the number of visitors and the change in thermal sensation. Therefore, shade was the dominant factor influencing visitors′ selection of recreational space in summer. Scenery and functionality of landscapes could also potentially decrease people's sensitivity to a change in thermal comfort conditions, thereby affecting their space choices. In addition, visitors′ age and visiting frequency were also associated with their thermal comfort. Considering that the elderly tend to visit the park more frequently than people of any other age category, their thermal comfort needs in summer should be of primary concern to landscape designers. For example, the elderly tend to choose park spaces with more leisure facilities.

Key Words: microclimate elements; thermal sensation; space choice; association

近年来,随着城市建设规模的扩大和用能的增加,城市热岛效应在不断增强[1]。城市公园是绿色基础设施的重要构成,提供一系列重要的生态系统服务功能,比如小气候调节和居民游憩环境的提升。人们通常根据自己的生理和心理需求选择户外空间活动场地,高质量的户外空间往往吸引更多的游人[2]。如何营建城市公园环境使其改善居民户外热舒适感受,从而提升民众对生态环境的接触和喜爱,进而促进生态文明建设的可持续发展,是城市生态系统领域值得研究的一个方向。

室外热舒适感受评价目前有两种较具代表性的方法:一种是基于人体热平衡的机理模型,例如生理等效温度(Physiological Equivalent Temperature, PET)模型[3]、通用热气候指数(Universal Thermal Climate Index, UTCI)模型[4]等;另一种是以人的主观感受或生理反应作为评价依据,基于经验或统计学方法构建的经验模型[5]。不同于机理模型评价,经验模型输入参数少、结构简单且数据易于获取。当前国内研究者多选择经验模型中的温湿指数(Temperature- Humidity Index, THI)反映夏季湿热的气候环境下人体的热舒适感受程度。李树华等[6]运用温湿指数,对比了林下广场、无林广场和草坪 3 种空间的增湿降温作用。结果发现林下广场调节城市小气候的功能最佳,人体舒适度最好,是夏季人们户外活动的较佳选择。吴芳芳等[7]采用温湿指数,以北京北护城河为对象探讨具有不同结构的河岸带对温湿度的调节效应。研究发现河岸带具有明显的温湿度调节效应,不同类型河岸带的温湿度调节效应也存在差异:南岸对温湿度的调节效应强于北岸,能有效地改善人体的舒适度。但是由于 THI 经验模型的构建是以静止饱和大气(风速为 0,相对湿度 100%)作为参照标准,并没有考虑到风速等小气候要素对人体热舒适感受的影响。

有研究表明热舒适感受在游人户外空间的选择中起着重要作用[8-10]。游人行为是公园环境最真实的反映,是检验公园设计水平的重要参考依据。近年来,对公园游人行为的研究得到国内外研究者及设计人员的关注[11]。但至今国内对城市公园中的游人行为研究较少,尤其在关于游人空间选择的定量研究方面。因此,本研究选取位于哈尔滨市内的黑龙江省森林植物园为研究对象,探索各小气候要素与人体热舒适感受的关系,以及游人空间选择与热舒适评价的关联程度,为今后城市空间小气候环境设计的研究提供参考。

1 实验方法及内容

1.1 研究区概述

黑龙江省森林植物园位于哈尔滨市香坊区(45°45′N,126°16′E),占地面积 136 hm^2,是国内唯一地处市区的国家级森林公园。哈尔滨属中温带大陆性季风气候,冬长夏短,全年平均降水量 569.1 mm,降水主要集中在 6—9 月,夏季约占全年降水量 60%,集中降雪期为每年 11 月至次年 1 月。四季分明,冬季 1 月平均气温约为-19℃;夏季 7 月平均气温约为 23℃。

1.2 样点设置

本研究选择黑龙江省森林植物园内景观差异性较大的 4 个景观点为样地(图 1、图 2)。如表 1 所示,样地 1 为硬质铺装广场,空间开敞,仅散植几株乔木;样地 2 为湖岸地块,植物群落结构以乔、灌、草结合为主,场地

内有较多的休憩设施;样地 3 为以乔木为主、郁闭度高的常绿落叶混交林;样地 4 是以草本花卉为主的开敞地块。

1.3　实验方法

小气候要素测量:在各样地分别设置测点一处,从 9:00 到 17:00 使用 KESTREL 4500 小型气象站每隔 20 min 定点、同步测量距地面 1.3 m 处的空气温度、相对湿度、风速等小气候要素。测量在晴朗天气进行,于 2016 年 8 月开始,共测 3 d。

游人行为观测:根据 Adinolfia[12] 的行为注记法对 4 个区域的游人进行每小时 20 min 的观察,记录各区域内的游人数量、活动类型、年龄层次等信息。

游人问卷调查:在对小气候数据测量的同时,随机抽取各测点游人进行问卷调查,共发放问卷 500 份,收回 471 份,有效问卷 463 份。通过问卷调查游人的基本信息、游园频率、热舒适感受以及对遮荫、湿热的偏好选择等。其中热舒适感受评价采用 ASHRAE 7 点热感受投票(-3 冷,-2 凉,-1 稍凉,0 刚好,1 稍暖,2 暖,3 热),游人湿度感受评价(-2 太干,-1 干,0 刚好,1 湿,2 太湿)、风感受评价(0 无风,1 微风,2 和风,3 大风,4 狂风)、遮荫偏好(希望有遮阴,无遮阴,无所谓)及风力偏好(希望风力变得更弱,不变,更强)参考 Chow[13] 的分级方法对游人进行调查。

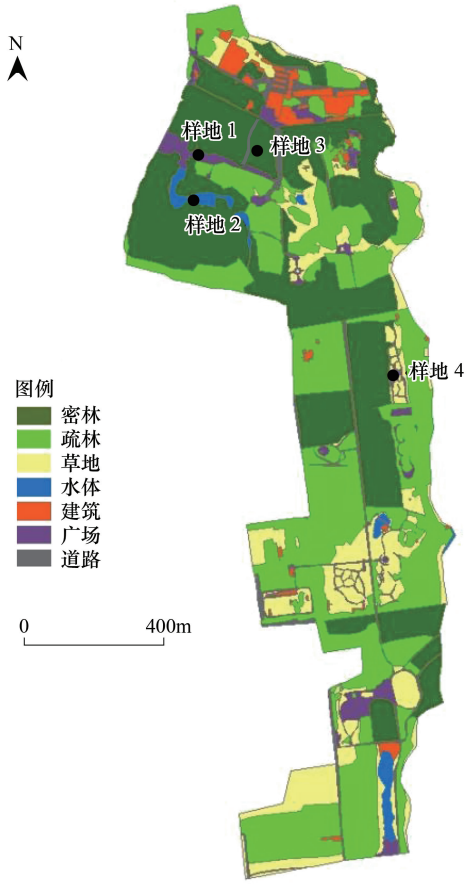

图 1　样地区位图

Fig.1　Location of selected sites

图 2　样地图

Fig.2　Pictures of selected sites

1.4 数据分析

运用软件 Excel 2003 和 SPSS 20.0 对样本数据进行整理和处理,得出小气候要素与人体热舒适感受的关系以及游人空间选择与热舒适感受评价的关联程度。

表 1 样地特征描述表

Table 1 The land cover characteristics of selected sites

样地 Selected sites	1-广场 Paving Square	2-湖岸 Lakefront area	3-林地 Woodland	4-草地 Flower garden
样地特征 Characteristics of selected sites	位于公园入口处,占地 1.5 hm^2,地面以硬质铺装为主,样地内散植几株乔木,郁闭度 0.07,具少量座椅,不含水体。	位于广场南侧,占地 2 hm^2,内具人工湖两个,四周种有大量柳树,郁闭度 0.57,凉亭、座椅等设施齐全。	位于广场北侧,占地 2.3 hm^2,园内以林地为主,郁闭度 0.93,无休憩设施或水体。	位于广场东侧,占地 1.7 hm^2,园内以草本观赏花卉为主,散植几株乔木,郁闭度 0.13,无休憩设施或水体

2 结果与分析

2.1 不同空间小气候日变化规律

由图 3 可以看出 4 种样地的温度日变化差异。日平均温度最低的是湖岸,其次为林地、草地,广场日平均温度最高。不同样地在 14:00 左右达到一天气温的最高值,随后气温开始下降。虽然广场和草地空间环境相似,但草地的日平均温度及日最高温度都比广场低,这可能是各样地下垫面性质不同引起的。广场上的硬质材料相比于草本地被热容量大,导热率高,白天吸收辐射能多,因而两个样地内温度变化存在差异。紧邻大面积水体的湖岸和植物群落丰富、郁闭度大的林地内温度上升缓慢,气温日振幅小,这可能是由于水体较大的热容量以及植物蒸腾作用。湖岸相比于林地平均气温低 0.7℃,这说明在温度调节上,大面积水体的降温作用强于林地。因此,不同样地群落结构以及内部局地下垫面的性质对小环境温度日变化均有不同程度的影响。

各样地平均相对湿度的曲线基本以同位相波动,9:00 相对湿度最高,13:00—14:00 为湿度最低时段。湖岸日平均湿度最大,其次为林地和草地。广场各时段的相对湿度在 4 块样地中均为最低(图 4)。

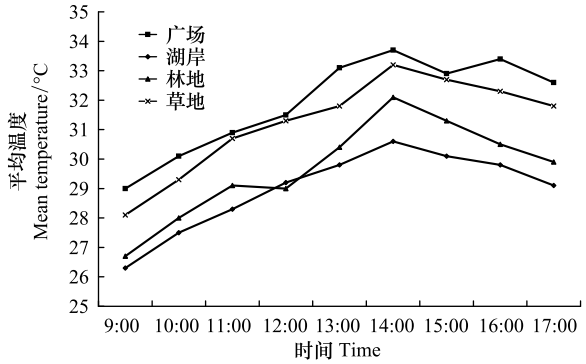

图 3 日平均温度变化图

Fig.3 Hourly mean air temperature

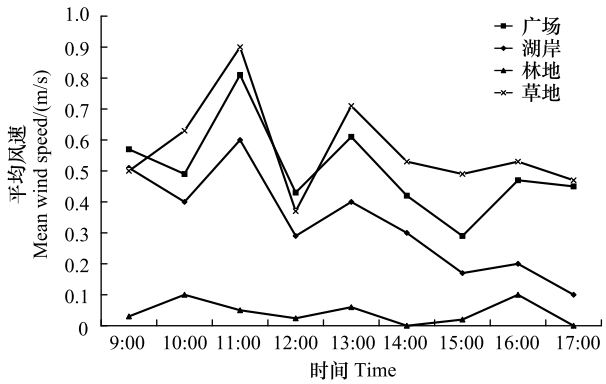

图 4 日平均相对湿度变化图

Fig.4 Hourly mean relative humidity

从图 5 可以看出,虽然各区域风速日变化波动较大,但各时段草地的风速均最大,其次是广场、湖岸。林地由于为封闭空间,观测期间基本无风。虽然广场与草地均为开敞空间,但是广场位于湖岸与林地之间,两边均种植高大乔木,所以广场日风速比草地小,在 11:00、13:00 左右出现峰值。这些表明,有大量树木的围合空间能较好地降低风速。

2.2 小气候与游人热舒适感受评价的相关性分析

各样地游人热舒适问卷统计发现:各场地空间的游人湿度感受、遮荫偏好选择差异不大,大部分游人湿度感觉“刚好”(图 6)、“希望有遮荫”(图 7);此外各样地风速均小于 2 m/s,所以游人感受不到大风或狂风(图

8);在风速的偏好选择上,大部分游人“希望风力不变”或“希望风力更强”(图 9);图 10 是各区域游人热感受投票比对图,虽然在各区域中人们的热感受投票均无“稍凉”、“凉”、“冷”,但是对“暖”、“热”有不同感受。有超过 50%的被调查者认为林地的热感受投票集中于“稍暖”和“刚好”,其中认为热感受“刚好”所占的比例为 38%,为 4 个区域中最高。广场热感受投票则与之相反,超过 50%的游人对广场的热感受投票为“热”,仅有最低 4%的游人认为热舒适感受“刚好”。湖岸的热感受投票主要集中于“暖”和“稍暖”,其中感受“暖”所占比例为 46%。草地中的热感受投票集中于“暖”和“热”,其中评价“热”的比例为 43%。综上所述,各区域的热舒适感受舒适度评价排序依次是林地、湖岸、草地和广场,反映出绿化和水体对人体热舒适感受的影响。

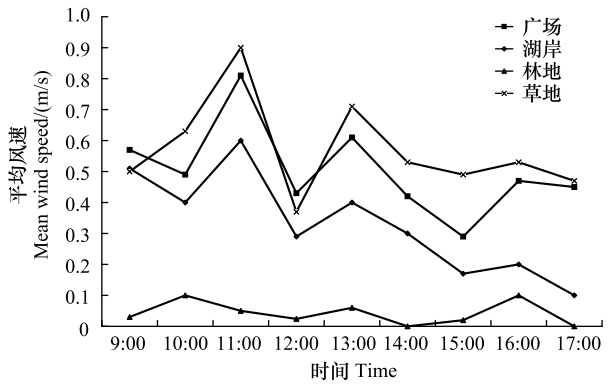

图 5　日平均风速变化图

Fig.5　Hourly mean wind speed

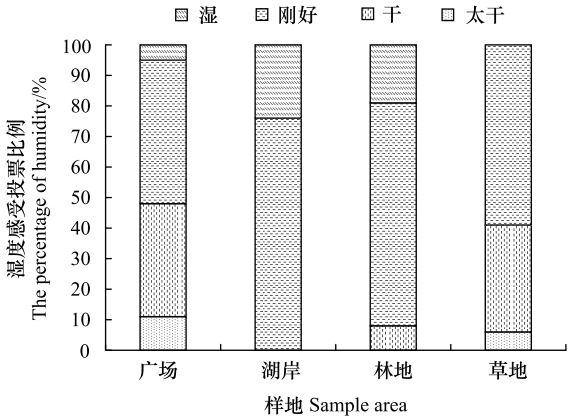

图 6　各样地游人湿度感受比对图

Fig.6　Visitors′ humidity sensation comparison chart

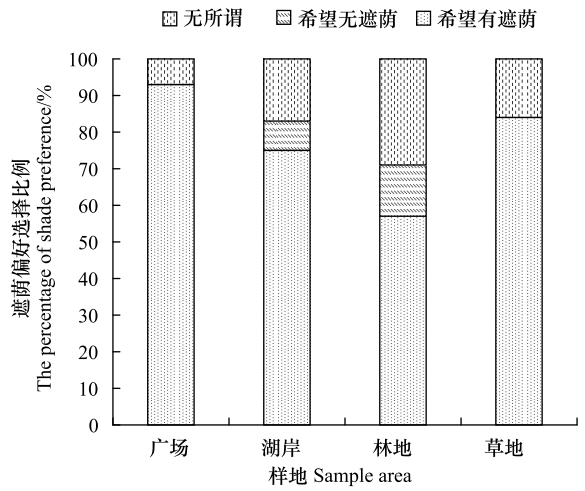

图 7　各样地游人遮荫偏好比对图

Fig.7　Visitors′ shade preference comparison chart

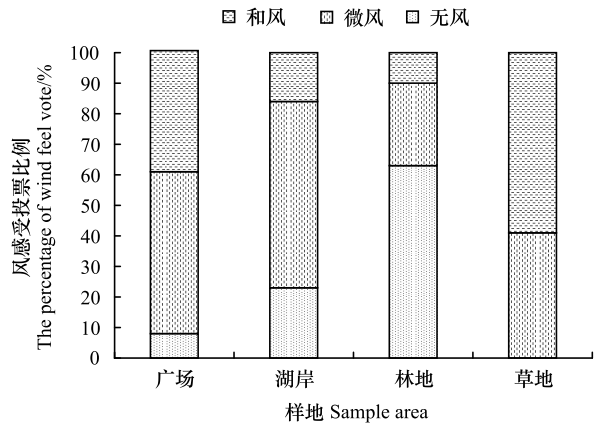

图 8　各样地游人风感受比对图

Fig.8　Visitors′ wind sensation comparison chart

游人热舒适感受评价是各小气候要素共同作用的结果。因此,可使用多因素方差分析来评价空气温度、相对湿度以及风速等小气候要素对热感受投票的影响大小。该模型定义热感受投票由空气温度、相对湿度以及风速决定。通过 SPSS 软件分析最后得到模型:

$$TSV = 0.131 \times Ta - 0.030 \times RH + 0.787 \times V - 0.878 \quad R^2 = 0.763 \quad P < 0.01$$

Ta 代表空气温度(℃),RH 代表相对湿度(%),V 代表风速(m/s),TSV 代表热感受投票值

此模型 R^2 值为 0.763,这与 Liu 等[14]人对长沙四季小气候模型的研究结果相似,其春、夏、秋、冬模型中 R^2

值分别为 0.630、0.777、0.608 和 0.718。根据此模型,空气温度是影响人们热舒适感受的最重要小气候要素,其次为相对湿度和风速。因此,夏季最有效调节空间舒适度的方法是通过植物、水体以及结合亲水设施的应用来降低温度,提高相对湿度。

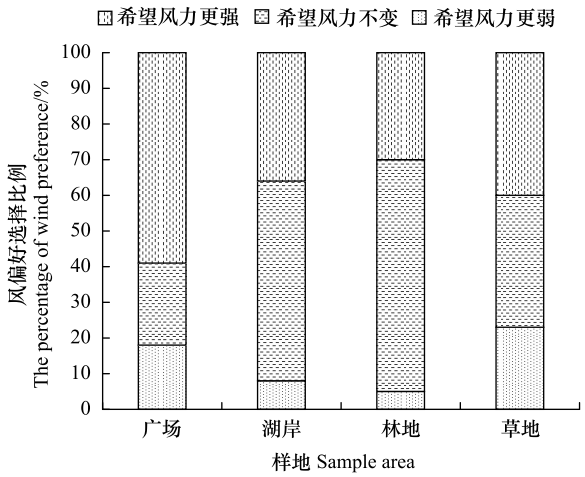

图 9 各样地游人风偏好比对图

Fig.9 Visitors′ wind preference comparison chart

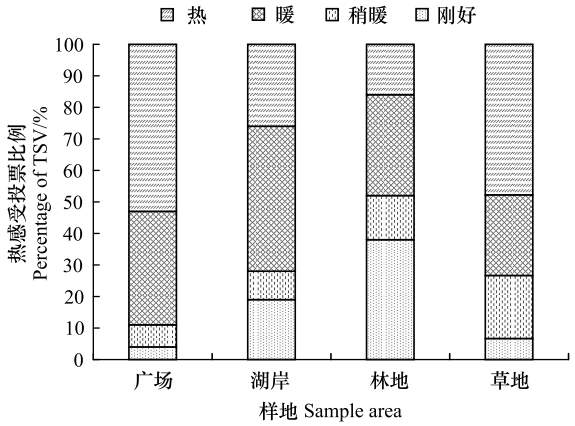

图 10 各样地游人热感受投票(TSV)比对图

Fig.10 Visitors′ thermal sensation vote comparison chart

2.3 游人空间选择与热舒适感受评价相关性分析

通过每小时 20 min 的游人观察分析各时间段 4 个区域游人数量变化。如图 11 所示,广场人数分别在 10:00—11:00、16:00—17:00 之间达到高峰,草地游人数在 9:00—10:00 最少,这是由各样地在园中地理位置不同所造成。广场位于公园一号门出入口处,游人在 10:00 左右达到进园高峰,从 16:00 逐渐开始离园。而湖岸与林地分别在广场两侧,相比于草地离公园出入口较近,所以 9:00 左右草地基本无游人。从各样地的游人数日变化整体趋势来看,10:00 以后广场、草地、湖岸等场地游人数成整体下降趋势,并在温度最高的 14:00 左右达到最低值,林地中游人数则基本不变。热舒适感受评价最舒适的林地内游人最多,而热舒适感受评价最不舒适的广场内游人最少。

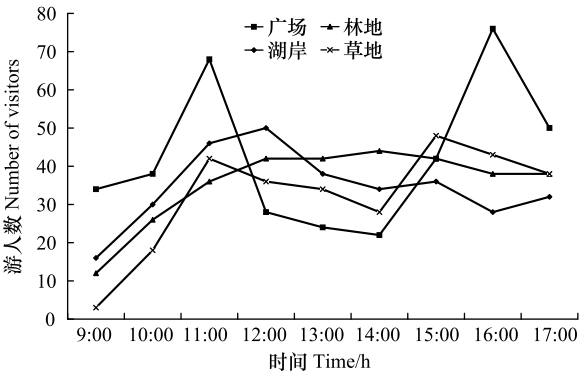

图 11 日平均游人数变化图

Fig.11 Hourly mean number of visitors

为更进一步研究热舒适感受评价对游人空间选择的影响,选取游人入园稳定期 11:00—16:00 时段,以单因素方差分析游人活动、休憩以及散步的总人数(N)与热感受投票(TSV)之间的关系。通过 SPSS 分析最终得到各区域游人数与游人热舒适感受散点图,并生成线性拟合线(图 12—图 15)。

通过回归分析(表 2)表明,对于林地环境,预测变量热舒适感受评价指标不能够显著预测该区域游人活动人数($P > 0.05$)。而在广场、湖岸和草地环境,游人数与热舒适感受关系显著($P < 0.01$)。在 4 个样地中,林地郁闭度高达 0.93,遮荫最好。观察发现游人活动以野营为主且持续时间多为 1 天,因此林地内游人数基本不受热感受变化的影响。对比广场、湖岸和草地的线性回归方程斜率,广场中游人对热舒适感受变化的敏感程度大于草地,而湖岸的游人对热舒适感受变化敏感程度最小。这可能因为相比于草地和广场,湖岸场地内游人热舒适感受较佳、具有较多的休憩设施,游人活动多以休憩为主、逗留时间较长,所以游人对热舒适感受变化的敏感程度最小。虽然草地与广场内游人热舒适感受评价相似,但是广场中游人对热舒适感受变化的敏感程度大于草地。这可能是因为植物的观赏性可以降低人们对热舒适感受变化的敏感性;调查期间正值草

地中花卉开放,游人活动多以拍照、欣赏美景为主。

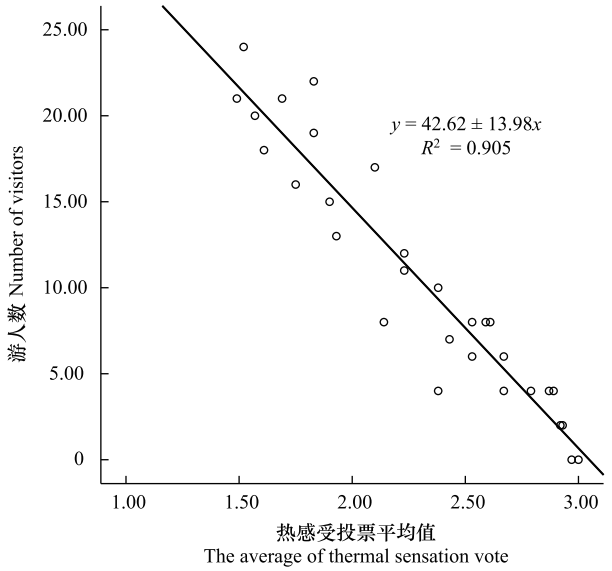

图 12　广场游人热感受投票与游人数拟合曲线图

Fig.12　Fitting curves between TSV and the number of visitors in sample 1

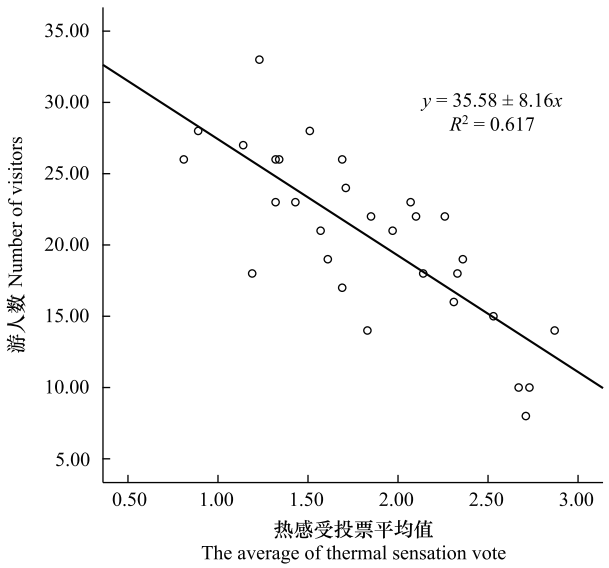

图 13　湖岸游人热感受投票与游人数拟合曲线图

Fig.13　Fitting curves between TSV and the number of visitors in sample 2

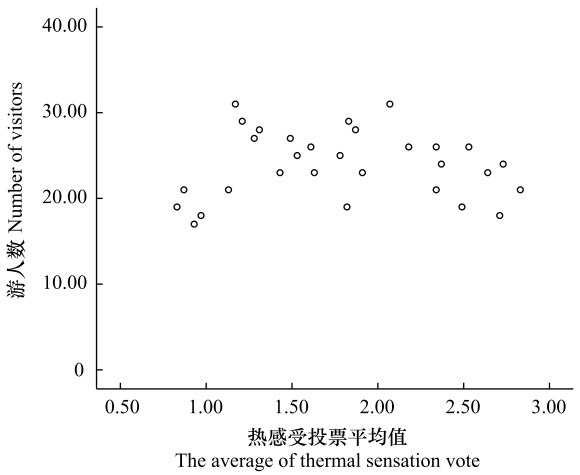

图 14　林地游人热感受投票与游人数散点图

Fig.14　Scatter plots of the relationship between TSV and the number of visitors in sample 2

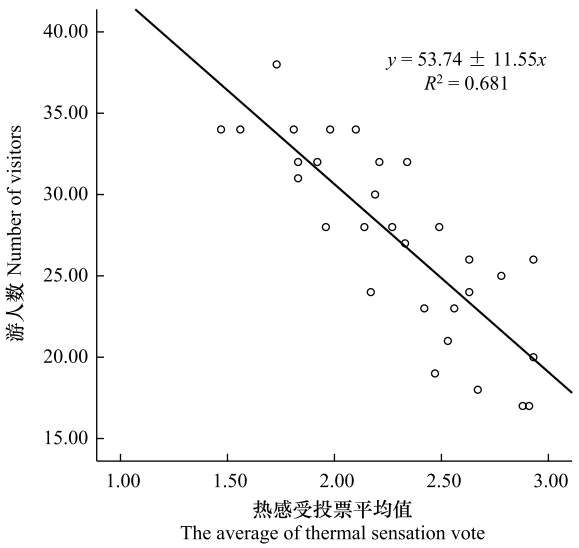

图 15　草地游人热感受投票与游人数拟合曲线图

Fig.15　Fitting curves between TSV and the number of visitors in sample 4

为进一步明确空间郁闭度与游人特征和行为之间可能存在的关联性(及其关联程度),采用统计分析方法对二者进行相关分析。通过相关性分析(表 3)表明,空间郁闭度与游人数及活动时间呈显著正相关,即空间郁闭度越大,游人数越多且持续时间较长。可见,遮荫是夏季游人选择休憩空间的主要因素。在各年龄段中,老年人数与空间郁闭度呈正相关,儿童数与空间郁闭度呈负相关,但相关性并不显著。此外,中青年人数与空间郁闭度成显著正相关。通过观察发现,中青年在植物园中多以野餐为主,遮荫最好的林地成为他们的主要活动场地。

表 2 回归分析

Table 2 Regression analysis

	模型 Model		未标准化系数 Unstandardized coefficients		标准化系数 Standardized coefficients	t	*Sig.*	R^2	F
			B	Std.Error	Beta				
游人数 Number of visitors	1	常数	42.618	2.014	−0.951	21.159	0.000	0.905	266.031
		TSV	−13.983	0.857		−16.310	0.000		
	2	常数	35.582	2.339	−0.785	15.213	0.000	0.617	45.038
		TSV	−8.613	1.216		−6.711	0.000		
	3	常数	23.979	2.300	−0.004	10.428	0.000	0.000	0.000
		TSV	−0.026	1.215		−0.021	0.983		
	4	常数	53.739	3.472	−0.825	15.480	0.000	0.681	59.848

预测因素:常数,游人数 Predictors: (Constant), N; 因变量:热感受投票 Dependent Variable: TSV

表 3 空间郁闭度与游人个人特征相关性分析

Table 3 The correlation between canopy density and visitors′ characteristic

项目 Item	N	N_E	N_Q	N_Z	N_L	N_T
空间郁闭度的 pearson 相关系数 Pearon correlation of coverage	0.747**	−0.112	0.642**	0.556*	0.420	0.826**
P	0.000	0.639	0.002	0.011	0.065	0.000

* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; N:游人总人数,Total number of visitors; N_E:儿童人数,Number of children; N_Q:青年人数,Number of youth; N_Z:中年人数,Number of middle age; N_L:老年人数,Number of elderly; N_T:活动时间大于 15min 的游人数,Number of people whose activity time is greater than 15min

3 结论与讨论

研究发现在黑龙江省森林植物园内,不同小气候要素对夏季人体热舒适感受的影响程度不同,其中空气温度对游人热舒适感受影响最大。热舒适感受评价模型中 R^2 值为 0.763,表明在黑龙江省森植物园中热舒适感受变化受其它非气候因素影响较小,只有不到 30%的热舒适感受评价不能够被该模型解释。通过回归模型表明夏季室外空气温度的改变会显著影响人体热舒适感受,且温度越高人体热舒适感受越不舒适。这与 Correa 等[15]研究结果相似,阿根廷门多萨市室外热舒适感受评价与空气温度具有高相关性,相关系数高达 0.9 以上。而夏季黑龙江省森林植物园内风速越大,人体热舒适感受越不舒适,这与 Lai 等[16]统计分析的武汉热感受投票值与风速呈负相关结果不同。在武汉居民热舒适感受调查中,有超过 10%的居民热舒适感受投票值为-1"稍凉",而哈尔滨森林植物园内没有游人的热感受投票值在 0"刚好"以下,这可能是调查区域的居民中性生理等效温度(Neutral Physiological Equivalent Temperature, NPET)不同所造成的。一些学者研究了不同气候地区的生理等效温度(PET),发现人自身对气候具有一定的适应性,不同地区人们热感受最舒适的温度有所不同[17-19]。例如,在亚热带地区的埃及开罗,夏季居民中性生理等效温度能够达到 23.9℃[20],而在温带地区德国卡塞尔则会降到 21.5℃[21]。

通过对黑龙江省森林植物园内 4 个样地游憩人数变化以及各区域游人活动类型的分析,发现水体和植物除了通过增湿降温作用调节空间热舒适感受外,其观赏作用也可以降低人们对热舒适感受变化的敏感性。李树华等[22]研究发现植物群落景观、水际景观相比于铺装广场景观对人身心放松的促进作用更强。此外,空间功能性对游人空间选择也起到了重要的影响。分析各年龄层游人空间选择可知,儿童因为好动偏向于选择开敞的室外活动空间,与 Kyttä 等[23]研究结果相似。而在黑龙江省森林植物园中,各样地中老人分布比例为:湖岸 > 草地 > 林地 > 广场。这与 Sugiyama 等[24]得出老年人趋向于在植物种类丰富、郁闭度较高环境活动的研究结果不一致。这可能是由于湖岸地块具有较多凉亭、座椅等游憩设施,而林地中少有。

为满足不同年龄段人群的活动需求,设计改造游憩空间时应将小气候要素和游憩功能结合起来考虑,从

而营造不同年龄段游人选择使用的景观场所。在小气候要素方面,可采用调节乔木种植密度、选择乔木种类(如考虑乔木株高、分枝点、冠形和叶形等可能影响遮荫效果的特征),以及增添人工遮荫设施的方法,来营造具有不同遮荫度的景观场所。同时,对于一些易使游人热感受欠佳、但又是公园中必不可少的场所类型(比如为了满足人群聚集和人流交通功能而营建的广场这类硬质铺装面积大、遮荫少的场地),可以通过栽植有韵律感的花卉、应用有丰富色彩和图案的铺装、设置雕塑艺术小品等方式,调节游人的心理情绪,降低人们对热舒适感受变化的敏感性,提高空间使用率。未来应当加强上述内容的定量研究,从社会和环境生态两个方面探索可持续城市生态系统的建设。由于本文只研究了夏季不同空间的小气候变化和人体热舒适感受对游人的影响,其它季节小气候要素和游人行为的观测也应在今后的研究中得到关注。

参考文献(References):

[1] 阳文锐, 李锋, 何永. 2003—2011 年夏季北京城市热景观变化特征. 生态学报, 2014, 34(15): 4390-4399.

[2] Knez I, Thorsson S. Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. International Journal of Biometeorology, 2006, 50(5): 258-268.

[3] Höppe P. The physiological equivalent temperature-a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology, 1999, 43(2): 71-75.

[4] Jendritzky G, De Dear R, Havenith G. UTCI-why another thermal index? International Journal of Biometeorology, 2012, 56(3): 421-428.

[5] Kariminia S, Shamshirband S, Motamedi S, Hashim R, Roy C. A systematic extreme learning machine approach to analyze visitors′ thermal comfort at a public urban space. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 58: 751-760.

[6] 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. 生态学报, 2007, 27(7): 2964-2971.

[7] 吴芳芳, 张娜, 陈晓燕. 北京北护城河河岸带的温湿度调节效应. 生态学报, 2013, 33(7): 2292-2303.

[8] Chen L, Ng E. Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. Cities, 2012, 29(2): 118-125.

[9] Rapoport A. An approach to designing Third World environments. Third World Planning Review, 1979, 1(1): 23- 40.

[10] Andrade H, Alcoforado M J, Oliveira S. Perception of temperature and wind by users of public outdoor spaces: relationships with weather parameters and personal characteristics. International Journal of Biometeorology, 2011, 55(5): 655-680

[11] 余汇芸, 包志毅. 杭州太子湾公园游人时空分布和行为初探. 中国园林, 2011, 27(2): 86-92.

[12] Adinolfi C, Suárez-Cáceres G P, Cariñanos P. Relation between visitors′ behaviour and characteristics of green spaces in the city of Granada, south-eastern Spain. Urban Forestry & Urban Greening, 2014, 13(3): 534-542.

[13] Chow W T L, Akbar S N A B A, Heng S L, Roth M. Assessment of measured and perceived microclimates within a tropical urban forest. Urban Forestry & Urban Greening, 2016, 16: 62-75.

[14] Liu W W, Zhang Y X, Deng Q H. The effects of urban microclimate on outdoor thermal sensation and neutral temperature in hot-summer and cold-winter climate. Energy and Buildings, 2016, 128: 190-197.

[15] Ruiz M A, Correa E N. Adaptive model for outdoor thermal comfort assessment in an Oasis city of arid climate. Building and Environment, 2015, 85: 40-51.

[16] Lai D, Zhou C, Huang J, Jiang Y, Long Z, Chen Q. Outdoor space quality: A field study in an urban residential community in central China. Energy and Buildings, 2014, 68(9): 713-720.

[17] Cohen P, Potchter O, Matzarakis A. Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments. Applied Geography, 2013, 37: 1-10.

[18] Ng E, Cheng V. Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. Energy and Buildings, 2012, 55: 51-65.

[19] Lin T P. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. Building and Environment, 2009, 44(10): 2017-2026.

[20] Mahmoud A H A. Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. Building and Environment, 2011, 46(12): 2641-2656.

[21] Tseliou A, Tsiros I X, Lykoudis S, Nikolopoulou M. An evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban outdoor areas under real climatic conditions. Building and Environment, 2010, 45(5): 1346-1352.

[22] 康宁, 李树华, 李法红. 园林景观对人体心理影响的研究. 中国园林, 2008, 24(7): 69-72.

[23] Kyttä M. The extent of children′s independent mobility and the number of actualized affordances as criteria for child-friendly environments. Journal of Environmental Psychology, 2004, 24(2): 179-198.

[24] Sugiyama T, Thompson C W. Older people′s health, outdoor activity and supportiveness of neighbourhood environments. Landscape and Urban Planning, 2007, 83(2/3): 168-175.