

秋冬季节植物群落结构对口袋公园微气候的影响——以昆明市口袋公园为例

Effects of Plant Community Structure in Autumn and Winter on the Microclimate of Pocket Park: A Case Study from Kunming

文秀 魏雯*

WEN Xiu, WEI Wen*

基金项目: 国家自然科学基金项目“国家公园建设背景下亚洲象生境网络识别与优化研究”(编号: 52468010)

摘要

随着城市化进程的加快,热岛效应严重威胁城市生态环境,而公园绿地可有效改善城市生态环境。在“存量型”发展背景下,口袋公园将成为城市公园建设的新趋势。以昆明市住宅型口袋公园——六和园为研究对象,随机选取4个不同植物配置类型的测点与1个对照点进行实测,以温湿指数评估人体舒适度,利用SPSS分析微气候因子与温湿指数的相关性。结果表明:秋冬两季植物群落的降温增湿效应在下午时间段较为明显;复合型植物群落的降温增湿效果优于单层型植物群落;乔-灌-草复合型植物群落对太阳辐射的削减作用最强;秋冬季节植物群落反而降低了人体舒适度。基于研究结果,建议根据当地气候特点,因地制宜,在口袋公园绿色空间营造时适当配置单层型植物群落与落叶乔木。

Abstract

With the accelerating urbanization, the urban heat island effect increasingly threatens ecological well-being. Green spaces such as pocket parks play a vital role in mitigating these effects. Under the background of 'Stock Type' development, pocket parks are becoming a key strategy for enhancing urban livability. This study investigates how different plant community structures influence microclimate regulation in autumn and winter, using Liuhe Garden in Kunming as a case study. Field measurements were conducted at four types of plant configurations and one control site. The temperature-humidity index was used to evaluate thermal comfort, and correlations with microclimate variables were analyzed. Results indicated that cooling and humidifying effects are more pronounced in the afternoon, especially under multi-layered plants communities. Tree-shrub-herb composite communities were most effective in reducing solar radiation. However, in autumn and winter, dense vegetation may reduce human comfort. Based on these findings, in the construction of green space in pocket parks, planning should be based on the local climate characteristics, tailoring interventions to local conditions. Specifically, the appropriate configuration of single-layer plant communities and deciduous trees should be considered.

文章亮点

1) 通过对昆明市口袋公园秋冬季节进行实测,探究了植物群落在生理活性受抑制时对微气候的调节作用;2) 对比了植物群落不同垂直层级对微气候调节作用的差异。

关键词

植物群落结构;口袋公园;微气候;降温增湿;人体舒适度;热岛效应

Keywords

Plant community structure, Pocket parks, Microclimate; Cooling and humidifying, Human comfort; Heat island effect

收稿日期: 2025-01-22

修回日期: 2025-03-04

随着城市化进程加快, 城市绿地空间减少, 城市热岛效应已逐渐成为全球重大城市生态环境问题^[1]。恶劣的城市热环境与人们对舒适宜人户外活动空间需求之间的矛盾日益突出^[2]。公园绿地作为城市重要户外活动空间, 对改善城市热环境起着重要作用。现有研究表明, 公园绿地对微气候的改善作用主要受植物群落调控, 植物群落通过枝叶遮挡与拦截、蒸腾以及光合作用, 起到降温增湿、降低风速及净化空气的作用^[3]。

2023 年提出的“十四五”纲要标志着我国城市发展趋势将由“增量型”转变为“存量型”, 口袋公园将成为今后城市公园建设的新趋势^[4]。口袋公园又称袖珍公园, 是一种面积为 0.04~1 hm² 的小型城市公共空间^[5], 面向并服务广大公众, 为人们提供休闲游憩的便利场所。现有研究表明, 口袋公园的微气候主要受内部绿化配置、绿化面积、建筑物尺寸、天空可视因子等能够有效改变公园内部阴影面积的因素影响^[6]。L.Shashua-Bar 等^[7]研究发现, 影响公园降温效果的最主要指标是阴影面积, 公园内约 80% 的降温效果都是由树木遮荫产生的。R.Giridharan 等^[8]通过对比实验发现, 在面积为 0.1 hm² 的口袋公园中, 当树木覆盖率较低 (10%~15%) 时, SVF (天空视野因子, Sky View Factor) 较低 (0.10~0.25) 的植物群落的降温效果优于 SVF 较高 (不低于 0.40) 的植物群落。

近年来, 国外对微气候的研究多集中在口袋公园或社区公园的微气候调节作用、公园与街道改善微气候的差异性及协同作用等方面^[9], 研究方法侧重于实测与数值模拟相结合。由于地质构造及地表过程的复杂性, 国内外气候环境差异较大; 同时由于气候类型与耕作方式等差异, 国内外土壤在肥力、酸碱度等方面存在显著差异, 因此国外微气候研究存在跨地域适用性不足的问题。近 20 年来, 国内微气候研究侧重在大型城市公园、街道、广场等地开展^[10]。2019 年陶影^[11]以重庆市渝中区微绿空间 (即口袋公园) 为研究对象, 将微气候研究范围从大型城市公园进一步拓展至口袋公园; 之后刘文静^[12]、杨佳明^[13]、杨畅^[14]、陈子瑜^[15]等分别对不同地区口袋公园微气候进行研究, 推动了口袋公园微气候研究进一步发展。尽管如此, 我国口袋公园微气候研究仍较为匮乏, 存在着长期监测与动态数据缺乏、量化模型普适性不足、研究区域与季节集中化等问题, 即研究多基于短期内的定点观测, 针对极端天气或夜晚的实测不足。多数研究采用基于西方气候条件研发的人体舒适度模型, 该模型在国内的普适性有限。用于微气候模拟的软件如 ENVI-met 等也缺乏中国本土化植被数据。多数研究集中于夏季和冬季, 研究城市主要集中在严寒地区与湿热地区, 对具有特殊季节特征与地貌特征的高原山地城市少有涉猎。本研究选取典型高原山地城市——昆明市的口袋公园为研究对象, 以期拓宽我国微气候研究地域范围, 进一步弥补我国在口袋公园微气候研究

的不足, 进而为高原山地城市口袋公园规划设计提供理论支撑与实践指导。

此外, 徐小双等^[16]研究发现昆明市近年来热岛效应显著, 尤其在冬季, 表现出降雨量过低, 温度短时段变, 居民舒适感降低等问题。同时, 秋冬季节较低的气温和光照强度等因素也导致植物群落的生理活动减弱, 其微气候效应相较于其他季节明显减弱。因此, 本研究通过在秋冬季节对昆明市口袋公园的微气候进行实测, 探究热岛效应影响最为显著的时段, 和植物群落结构对微气候因子的影响, 以及人体舒适度与微气候因子相关性, 并基于实测结果提出口袋公园绿色空间优化策略, 以期对昆明市城市绿化建设提供参考, 促进城市人居环境可持续发展。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象概况

昆明市位于云南省中部地区, 海拔高, 地势起伏大, 是典型的高原山地城市。昆明市属北纬低纬度亚热带-高原季风气候^[17], 气候温和, 夏无酷暑, 冬无严寒, 四季区分不明显, 常年紫外线指数偏高, 干湿季雨量区别大, 雨季集中在 5—10 月, 降雨量占全年的 85%, 干季集中在 11 月至次年 4 月, 降雨量仅占全年的 15% 左右^[18]。

2022 年, 云南省住房和城乡建设厅印发了《云南省绿美城市建设三年行动实施方案 (2022—2024 年) 》, 并在全省全面积极推进口袋公园建设^[19]。截至 2023 年 9 月, 昆明市共建成 196 个口袋公园^①。通过对昆明市 30 余个口袋公园开展走访调研, 发现昆明市口袋公园在气候适应性方面存在如下问题: 1) 为提升有限面积内绿色空间的多样性, 公园设置阳光草坪、低矮灌木群等单层型植物群落以提高其绿色空间的观赏性, 这导致乔木覆盖率偏低, 场地内遮荫效果较差; 2) 维护投入不足等原因导致后期植物维护效果不佳, 公园植被退化程度较高, 场地整体绿化效果较差, 景观效果与遮荫效果也欠佳; 3) 昆明雨季降雨量大且集中, 而多数口袋公园透水铺装率不足 40%, 耐涝植物运用也不足; 4) 根据《关于推进“口袋公园”建设提升昆明城市品质的建议》, 昆明市口袋公园普遍存在宣传度低、空间可达性差、同质化现象突出、功能缺失等一系列问题, 这导致昆明市口袋公园使用频率较低, 游客停留时间较短。

住宅型口袋公园指位于开放型社区周围, 可为居民提供休闲游憩、儿童嬉戏等多种功能的公共空间^[20], 其使用频率相对较高, 且辐射范围较广, 故选定昆明市呈贡区最新建设的住宅型口袋公园——六和园为研究对象。六和园 (图 1) 位于昆明市呈贡区洛龙社区民族文化体育广场前, 紧邻彩云中路, 总面积为 5 530.83 m², 能够满足休闲娱乐、儿童游憩等多种功能, 集中体现了住宅型口袋公园的特点。深入研究六和园, 旨在为优化住宅型口袋公园的绿色空间、改善口袋公园微气候提供参考。

① 数据来源于“昆明发布”公众号推文: https://mp.weixin.qq.com/s/E_5mf_-a8N7kTFLazuGNPA。

1.2 研究方法

1.2.1 测点的选择与分布

本研究基于实地调研，结合植物配置形式，按照典型选样原则与方法，即从个人主观需求出发，在口袋公园的不同区域任意、不规则地取样^[21]。最终选择测点共4个，同时在研究区外选取无植被覆盖的硬质铺装作为空白对照（图1，表1）。

1.2.2 微气候测定方法

测量在晴朗无风或微风的天气条件下进行，秋季和冬季各选3天，采用DJL-18温湿度光照度三参数记录仪（表2），在距地面1.5 m高度测定空气温度、相对湿度、光照强度3类气象因子指标。实测时段为8:30—17:30，每隔1 h对5个测点依次进行测量，每个测点重复测量3次，单次测量间隔30 s，全部测点需在15 min内完成测量。最后指标取3天测试数据的算术平均值，以消除个别数据造成的误差。

1.2.3 评价指标选取

温湿指数（Temperature-Humidity index, THI）作为评价人体热舒适度的主要指标^[22]，在植物群落微气候效应评估中被广泛应用。林莹^[23]、胡海辉^[24]、王丽雯^[25]等利用温湿指数评估了植物群落对人体舒适度的调节作用，为相关研究提供了丰富理论与数据支撑。运用温湿指数来评估人体舒适度（表3），可为提出具有针对性的植物群落设计策略提供依据，提升研究的实践价值。温湿指数*I*的计算公式如下：

$$I = T_m - 0.55(1 - RH_m)(T_m - 14.5)$$
 (1)

式中，*T_m*为第*m*时刻测点的平均温度，*RH_m*为第*m*时刻测点平均相对湿度。

1.2.4 数据处理

研究采用 Excel、Origin、SPSS 软件进行数据统计及相关性分析。由于各个测量日天气状况不同，为便于对比分析，将空气温度、相对湿度、光照强度及温湿指数进行标准化处理，用降温率（*d_T*）、增湿率（*d_{RH}*）和遮光率（*d_L*）3个指标量化植物群落降温增湿效果及遮光效果，用温湿指数降低率（*d_I*）量化植物群落对温湿指数的调节作用，计算公式如下^[26-27]：

$$d_{Tm} = (T_{m1} - T_{m2}) / T_{m1}$$
 (2)

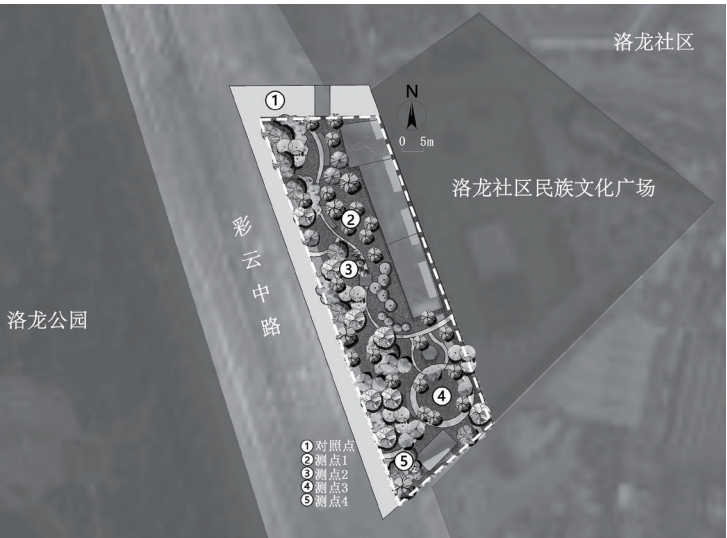


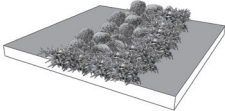
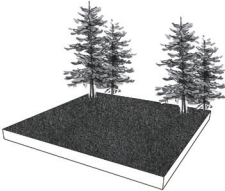
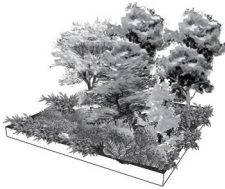
图1 六和园区位及测点分布
Fig.1 Location and sampling layout of Liuhe Garden

表1 各测点植物配置形式
Tab.1 Plant community composition structural types of sampling sites

测点	测点照片	群落结构示意图	群落结构类型	群落组成	样地特点
对照点			无	无	靠近人行道及车行道
测点1			乔-草复合型	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> 、樟 <i>Camphora officinarum</i>	地形平坦，临近民族文化体育广场建筑

表 1 各测点植物配置形式 (续)

Tab.1 Plant community composition structural types of sampling sites (Continued)

测点	测点照片	群落结构示意图	群落结构类型	群落组成	样地特点
测点 2			灌木单层型	肾蕨 <i>Nephrolepis cordifolia</i> 、 杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	靠近园路, 灌木较为低矮
测点 3			草本单层型	狗牙根	地形平坦
测点 4			乔-灌-草复合型	狗牙根、肾蕨、沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i> 、 朱蕉 <i>Cordyline fruticosa</i> 、 朴树 <i>Celtis sinensis</i> 、樟、 溪畔白千层 <i>Melaleuca bracteata</i>	位于公共卫生间附近, 受人为影响较小

$$d_{RHm} = (RH_{m2} - RH_{m1}) / RH_{m1} \quad (3)$$

$$d_{Lm} = (L_{m1} - L_{m2}) / L_{m1} \quad (4)$$

$$d_{Im} = 1/3 [\sum_{i=1}^3 (I_{m2} - I_{m1}) / I_{m1}] \times 100\% \quad (5)$$

式中, d_{Tm} 为第 m 时刻降温率, T_{m1} 为第 $m1$ 时刻对照点平均温度, T_{m2} 为第 $m2$ 时刻测点平均温度。 d_{RHm} 为第 m 时刻增湿率, RH_{m2} 为第 $m2$ 时刻测点平均湿度, RH_{m1} 为第 $m1$ 时刻对照点平均湿度。 d_{Lm} 为第 $m2$ 时刻遮光率, L_{m1} 为第 $m1$ 时刻对照点平均光照强度, L_{m2} 为第 $m2$ 时刻测点平均光照强度。 d_{Im} 为第 m 时刻温湿指数降低率, I_{m1} 为第 $m1$ 时刻对照点温湿指数, I_{m2} 为第 $m2$ 时刻测点温湿指数。

2 结果与分析

2.1 植物群落结构对空气温度的影响

秋季各测点降温率整体呈“W”型变化(图2), 数值在-18%~7.5%波动; 9:30—10:30这一时间段内, 各测点降温率均为负值, 11:30各测点的降温率达到最大值, 降温效应最强, 其中测点4降温效应优于其他3个测点; 11:30—17:30各测点均起到一定的降温作用, 但降温效果逐

表 2 实测仪器及参数

Tab.2 Specifications of instruments and measurement parameters

仪器	测定数据	传感器名称	传感器型号	测量误差	测量范围	精度
DJL-18 温湿度光照度三参数记录仪	空气温度 / $^{\circ}\text{C}$	温湿度传感器	TP-TRHDP-1	± 0.4	-40~120	0.1
	相对湿度 /%			± 3	0~100	0.1
	光照强度 /Lux	光照度传感器	TP-PT-1	± 2	0~200 000	1.0

表 3 温湿指数评价标准

Tab.3 Classification of temperature-humidity index

等级	温湿指数 I	感受程度	健康人群感觉的描述
1	< 14.0	寒冷	感觉很冷, 不舒服
2	14.0~16.9	冷	偏冷, 较不舒服
3	17.0~25.4	舒适	感觉舒适
4	25.5~27.5	热	有热感, 较不舒服
5	> 27.5	闷热	闷热难受, 不舒服

渐减弱。冬季各测点降温率整体呈“W”型变化（图3），数值在-22%~27%波动；8:30各测点降温率达到最大值，其中测点4降温效应优于其他3个测点；随着时间推移，各测点降温率逐渐减小，降温效果逐渐减弱，9:30—12:30各测点降温率为负值，13:00—17:30各测点降温率呈先上升后下降再缓慢上升的趋势，这说明各测点降温效果不稳定。对比秋冬两季降温率可知，冬季植物群落降温效果优于秋季。综上，植物群落在秋冬两季均能起到降温作用，多在下午时段发挥作用，秋季植物群落在中午时段降温效果最强，冬季则在早晨时段降温效果最强。

在秋季，测点2的日均温度最高，其次为对照点和测点3、4、1；对照点的温度最大值最高，其次为测点3、2、1、4；测点3的温度日变幅最大，其次为对照点和测点1、4、2；以对照点与测点的逐时温差最大值来衡量各测点降温作用，测点4的降温效果最强，其次为测点1、3、2。在冬季，对照点的日均温度最高，其次为测点2、3、1、4；对照点的温度最大值最高，其次为测点1、2、3、4；对照点的温度日变幅最大，其次为测点2、1、3、4；测点4的降温效果最强，其次为测点3、2、1（表4）。综上，乔-灌-草复合植物群落在秋冬季节的降温效果最佳，且复合型群落在秋季的降温效果优于单层型群落。综合考虑游客在秋冬季节的实际需求，由于秋冬季节过度降温可能影响户外活动的舒适度，可适当降低复合型植物群落的比例。

2.2 植物群落结构对相对湿度的影响

秋季各测点增湿率上午整体呈“U”型变化，下午整体呈“W”型变化，数值在-15%~12.5%波动（图4）；9:30—10:30除测点1外其余测点增湿率均为负值，11:30各测点的增湿率达到最大值，增湿效应最强；11:30—14:30各测点均起到一定的增湿作用，但增湿效果逐渐减弱；14:30—17:30各测点增湿率有所回升，增湿效果逐渐增强。冬季各测点增湿率上午呈“V”型变化，下午呈“几”字型变化，数值在-15%~20%波动（图5）；8:30—10:30各测点增湿效果逐渐减弱，10:30除测点2外其余测点增湿率达到最小值且为负值，10:30—14:30各测点增湿率呈波动上升的趋势，13:30测点1、2增湿率达到最大值，14:30测点3、4增湿率达到最大值；14:30—17:30各测点增湿率呈先下降再缓慢上升的趋势，这说明各测点增湿效果不稳定。对比植物群落秋冬增湿率可知，冬季植物群落增湿效果优于秋季。综上，植物群落在秋冬两季均能起到增湿作用，并多在下午时段发挥作用，随着时间的推移，增湿效果逐渐减弱。

在秋季，测点1的日均湿度最高，其次为测点2、4、对照点和测点3；测点3的相对湿度最大值最高，其次为测点2、4、1和对照点，这说明植物群落在秋季能很好地起到增湿作用；测点3的相对湿度日变幅最大，其次为测点2、1、4和对照点；测点4的增湿效果最佳，其次为测点3、1、2。在冬季，测点4的相对湿度日均值最高，其次为测点1、2、3和对照点；测点4的相对湿度最大值最高，其次为测点3、2、对照点和测点1；对照点的相对湿度日变幅最大，其次为测

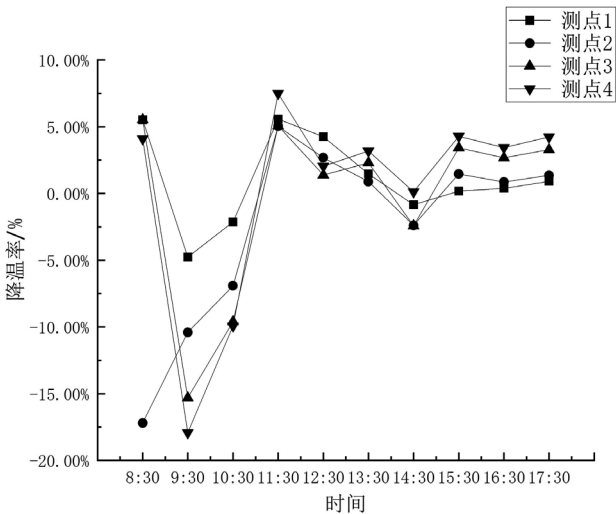


图2 秋季降温率日变化
Fig.2 Diurnal cooling rate of different vegetations types in autumn

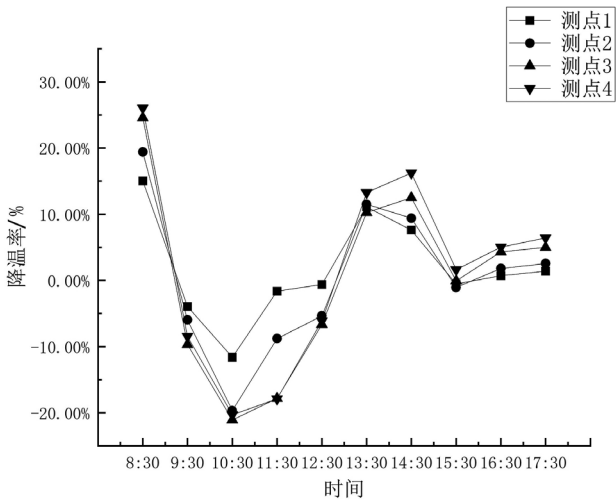


图3 冬季降温率日变化
Fig.3 Diurnal cooling rate of different vegetations types in winter

表4 各测点秋冬两季空气温度统计
Tab.4 Descriptive statistics of air temperature in autumn and winter at each measuring point

测点	单位: °C							
	日均值		最大值		日变幅		降温效果	
	秋季	冬季	秋季	冬季	秋季	冬季	秋季	冬季
对照点	22.10	15.36	26.51	21.89	11.01	12.58	0	0
测点1	21.84	14.97	25.32	20.22	10.68	11.12	1.48	2.28
测点2	22.44	15.13	25.71	19.83	7.92	11.20	1.33	2.36
测点3	22.08	15.12	25.72	19.16	11.08	11.08	1.34	2.73
测点4	21.93	14.86	25.08	18.33	10.21	10.41	1.99	3.56

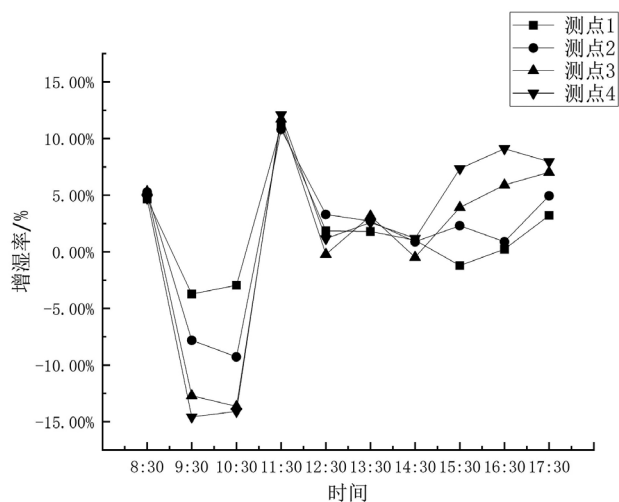


图 4 秋季增湿率日变化

Fig.4 Diurnal variation in relative humidity in autumn

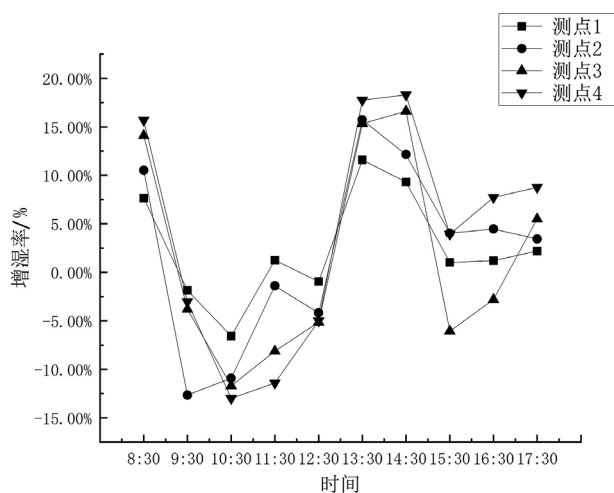


图 5 冬季增湿率日变化

Fig.5 Diurnal variation in relative humidity in winter

表 5 各测点秋冬两季相对湿度统计

Tab.5 Descriptive statistics of relative humidity in autumn and winter at each measuring point

测点	日均值 /%		最大值 /%		日变幅 /%		增湿作用 /%	
	秋季	冬季	秋季	冬季	秋季	冬季	秋季	冬季
对照点	49.78	52.30	74.00	78.97	34.86	45.19	0	0
测点 1	50.42	53.18	75.64	77.50	36.10	40.58	4.37	5.49
测点 2	50.12	52.47	76.09	79.30	36.60	41.42	1.42	2.07
测点 3	49.74	52.46	76.13	81.87	37.18	44.53	4.62	10.12
测点 4	49.97	53.47	75.70	83.01	36.09	43.06	4.77	11.27

点 3、4、2、1；以测点与对照点的逐时湿度差最大值来衡量各测点增湿作用，其中测点 4 的增湿效果最强，其次为测点 3、1、2（表 5）。综上，乔-灌-草复合型植物群落 in 秋冬季节增湿效果最佳，其次为草本单层型植物群落。

2.3 植物群落对光照强度的影响

秋季各测点遮光率波动较大，除测点 4 外，其余测点遮光率在 10:30—11:30 为负值，说明此时这些测点光照强度大于对照点。结合现场勘查，对照点紧邻高大门楼建筑，清晨时段门楼处于背光位置，大面积遮挡了阳光，导致对照点在早晨的光照强度严重偏低。其中测点 1 的遮光率相对较高，可能是被周边建筑物遮挡较多；测点 3 的遮光率波动最大，说明其位于部分遮荫区域，受太阳高度角及云层变化影响较大；测点 4 遮光率最值最大，说明其遮光效果最佳（图 6）。冬季各测点遮光率波动较大，其中测点 3 的遮光率波动最大，说明其光照环境较不稳定；测点 2 遮光率最值最大，说明其遮光效果最佳，测点 4 遮光率最值次之（图 7）。综上所述，在秋冬两季，测点 4 光照强度变化幅度最小，可能是因为树冠的遮挡作用，使得测点内太阳辐射较稳定；测点 3 光照强度波动最大，可能是因为缺乏高大乔木的遮挡，测点受太阳高度角和云层变化的影响较大，光照环境不稳定。

2.4 温湿指数分析

各测点在秋冬季节 9:30—10:30 的温湿指数降低率为负值（图 8~9），说明各测点温湿指数小于对照点，这可能是夜间植物的蒸腾、呼吸作用协同调节了群落内部微气候，导致早晨时段的人体舒适度降低。测点 2 的温湿指数降低率波动较小，说明其光照环境较为稳定，群落内部的温度与湿度也较为稳定；测点 3 的温湿指数降低率波动最大，说明其对温湿指数的调节作用较弱，受外界环境影响较大；测点 4 温湿指数降低率最值最大，说明其降低温湿指数的效果最强。综上，植物群落能够有效降低温湿指数值，并使其保持在较为稳定的水平。

利用 IBM SPSS Statistics 26 软件对温湿指数与微气候因子进行相关性分析可知，温湿指数与空气温度呈极显著正相关 ($P < 0.01$)，与相对湿度呈极显著负相关 ($P < 0.01$)，与光照强度没有显著相关性（表 6）。因此在营造口袋公园绿色空间时，要充分考虑空气温度与相对湿度对人体舒适度的影响，通过合理的植物群落配置来调节空气温度与相对湿度，进而优化口袋公园微气候环境。

3 讨论

3.1 植物群落在秋冬季节降温增湿效应的差异

植物群落在秋冬季节的降温增湿效应主要在下午时段发挥作用，并随着时间推移，作用强度逐渐减弱。秋季植物群落在 11:30 的降温增湿效应最强，冬季植物群落在 14:30 的降温增湿效应最强。这与贾晨凯等^[28]在夏季实测所得结果不一致，即夏季植物群落在上午和下午均能发挥良好的降温增湿效果。这可能是由于秋冬季节光照强度及温度降低，植物的光合作用、蒸腾作用等生理活动减弱，加之叶片脱落，

其整体降温增湿效应减弱；而秋冬季节下午时段的温度与光照强度较上午及傍晚有所升高，植物群落的生理活动增强，故降温增湿效果在中午及下午时段较好。因此在进行口袋公园植物配置时，要注意常绿树种与落叶树种的合理配置，确

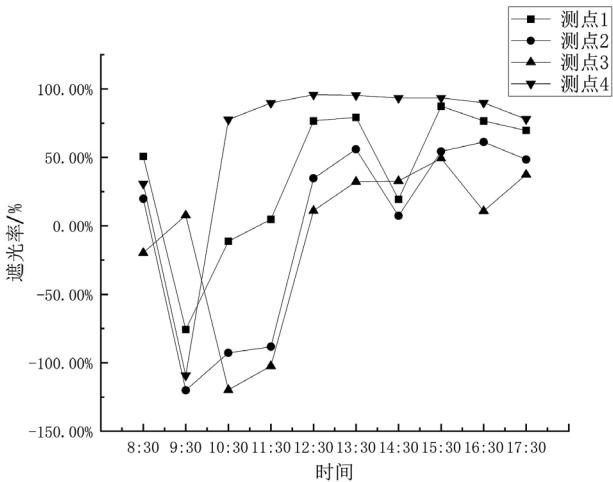


图6 秋季遮光率日变化
Fig.6 Shading performance by plant community in autumn

保植物群落能够长期发挥微气候调节作用，同时可在春季适当补种速生乔木。速生乔木生长速度快，能较快形成一定冠幅，在落叶树种无法发挥气候调节作用时，增强植物群落降温增湿效果。

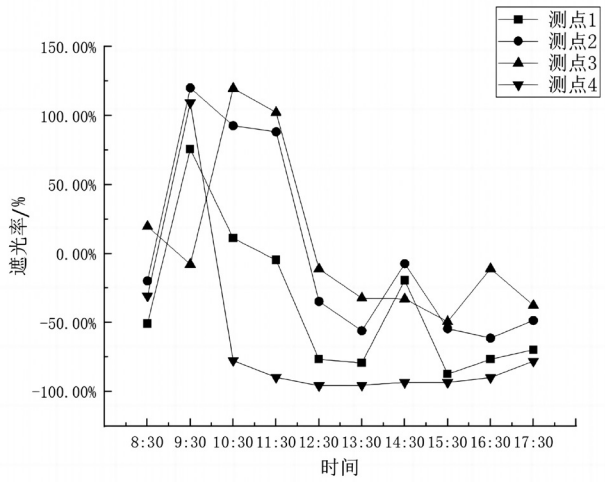


图7 冬季遮光率日变化
Fig.7 Shading performance by plant community in winter

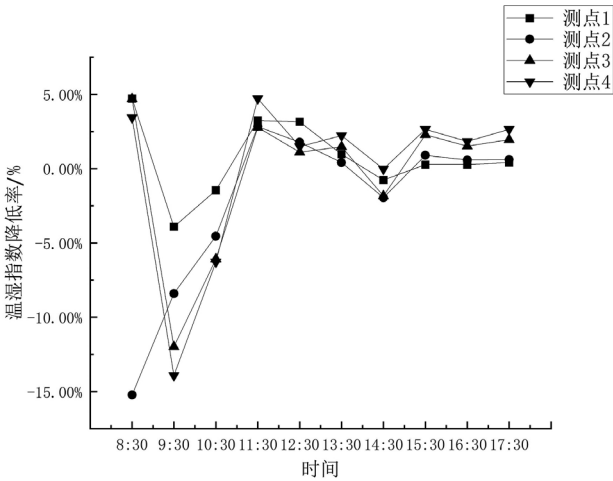


图8 秋季温湿指数降低率日变化
Fig.8 Diurnal variation of THI reduction rate in autumn

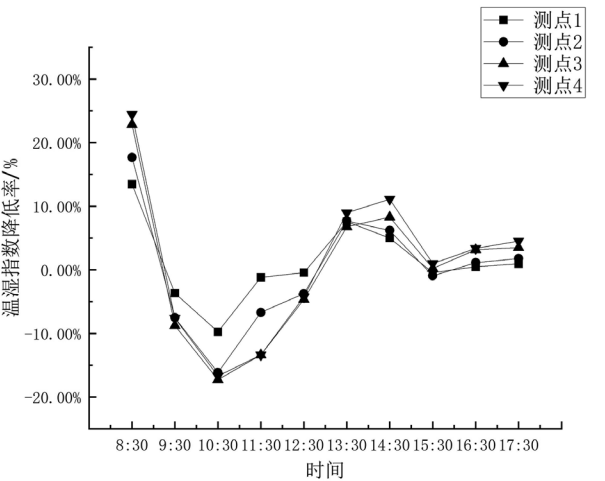


图9 冬季温湿指数降低率日变化
Fig.9 Diurnal variation of THI reduction rate in winter

表6 各测点温湿指数与微气候因子相关性分析

Tab.6 The analysis of the correlation between THI and microclimate factors at each site

微气候因子	THI									
	对照点		测点 1		测点 2		测点 3		测点 4	
	皮尔逊相关性	Sig. (双尾)	皮尔逊相关性	Sig. (双尾)	皮尔逊相关性	Sig. (双尾)	皮尔逊相关性	Sig. (双尾)	皮尔逊相关性	Sig. (双尾)
空气温度	0.997 **	0	0.996 **	0	0.997 **	0	0.996 **	0	0.996 **	0
相对湿度	-0.971 **	0	-0.960 **	0	-0.922 **	0	-0.959 **	0	-0.964 **	0
光照强度	0.661 *	0.037	0.403	0.248	0.578	0.080	0.674 **	0.033	-0.237	0.510

注: **表示在0.01级别 (双尾) 的相关性显著, *表示在0.05级别 (双尾) 的相关性显著。

3.2 不同结构的植物群落降温增湿效应的差异

单层型植物群落的降温增湿效果并不明显,这与郑钰旦^[29]实验结论一致,这是因为单层型群落缺少丰富的垂直层级结构,对微气候调节能力较弱。复合型植物群落的垂直层级更复杂,物种多样性更高,因此其降温增湿效果远强于单层型植物群落。因此,在进行口袋公园配置时,应优先选用以乔-灌-草复合型与乔-草复合型为主的配置形式,适当降低单层型群落的比例。同时,需因地制宜,充分利用当地植物资源,多选用乡土树种,如乔木首选高盆樱桃 *Prunus cerasoides*、红花木莲 *Manglietia insignis*、云南松 *Pinus yunnanensis*、复羽叶栎 *Koelreuteria bipinnata*、湖北紫荆 *Cercis glabra* 等,灌木首选云南含笑 *Michelia yunnanensis*、野扇花 *Sarcococca ruscifolia*、冬青卫矛 *Euonymus japonicus*、云南杜鹃 *Rhododendron yunnanense* 等,草本植物首选云南鸢尾 *Iris forrestii*、五味子 *Schisandra chinensis*、野迎春 *Jasminum mesnyi* 等。

3.3 不同植物群落对太阳辐射削减作用的差异

复合型植物群落对太阳辐射的削减作用优于单层型植物群落,这与 Perry J. Hardin^[30]实验结论一致。其中,乔-灌-草复合型植物群落的削弱作用最强,这可能是因其具有更丰富的垂直层级结构:乔木层提供了大面积的树冠遮荫,灌木层进一步提升了植被覆盖度,多层结构能够有效阻挡太阳直射,减少到达地面的太阳辐射量。高原山地城市海拔高,大气对于紫外线的吸收和散射作用减弱,加之城市地势起伏大、山峰陡峭,少云天气多,导致紫外线强,热岛效应严峻。因此在进行高原山地城市口袋公园建设时,可以选用高大、冠荫浓密的云南乡土乔木,如头状四照花 *Cornus capitata*、山木兰 *Liriodendron delavayi*、云南樟 *Camphora glandulifera* 等,削弱太阳辐射,减少地面对太阳辐射的吸收,缓解周围环境热岛效应。

3.4 不同季节植物群落对人体舒适度影响的差异

在秋季的 9:30—10:30、13:30—14:30,以及冬季的 9:00—12:30,无植被覆盖的硬质铺装区域的人体舒适度优于有植物群落覆盖的区域,说明在秋冬季节,植物群落在调节人体舒适度上起到了相反的作用,这与胡海辉等^[31]实测结果一致。在秋冬季节,无植被覆盖的硬质区域可充分接收阳光,升温快,会使人感到温暖;在有植被覆盖的区域,植物会遮挡阳光,导致地面吸收的热量少,升温慢,人便会感到冷,舒适度降低。因此,在进行口袋公园建设时,应充分考虑不同季节游人的使用需求及舒适度需要,合理布置绿色空间,合理配置常绿植物与落叶植物,使口袋公园在秋冬季节既能满足遮荫需求,又能提供日照,改善局部热环境。

3.5 其他要素对植物群落降温增湿效应的影响

口袋公园面积小,其微气候受周围环境影响较大,以测点 1 为例,若以温度日均值差值衡量植物群落降温效应,则秋季乔-草复合型的降温效果优于乔-灌-草复合型,这与纪鹏等^[32]通过实验得出的乔-灌-草复合型植物群落降温效果优于乔-草复合型群落的结论存在差异。测点 1 一侧有

高大建筑的遮挡,早晨太阳辐射多被其遮挡,导致该测点升温速度慢于测点 4,故空气温度日均值低于测点 4。由此可见,口袋公园周围的建筑等环境因素对其内部微气候影响较大,需合理配置公园内建筑物及园林构筑物的密度、面积、高度、空间朝向等,充分发挥其微气候改善作用。同时,下垫面材质、水体、绿化空间大小及形状等也会对植物群落降温增湿效应产生一定的影响,如绿地面积越大,形状越方正,降温效果越好;线性绿地位于狭长街道时,其降温效果最佳^[33]。此外,水的比热容远高于大多数常见材料,可吸收大量辐射且升温较慢,从而有效降低周围环境温度,加之水的蒸发作用,水体能够增加空气湿度,缓解环境干燥。因此,可在口袋公园内适当营造小体量水体,根据需要合理打造绿色空间。

4 结论

本研究对高原山地城市昆明市住宅型口袋公园六和园的空气温度、相对湿度和光照强度进行实测,通过数据分析发现:1) 秋冬两季植物群落的降温增湿效应在下午时间段较为明显,并随着时间的推移逐渐减弱。2) 不同配置类型的植物群落的降温增湿效果存在显著差异,在秋冬两季,复合型植物群落的降温增湿效果远优于单层型植物群落。3) 乔-灌-草复合型植物群落对太阳辐射的削减作用最强,有利于缓解高原山地城市中高强度紫外线对于人体的伤害。4) 植物群落能够有效降低温湿指数,但在秋冬季节,反而降低人体舒适度。

综上,口袋公园设计应充分考虑植物群落的季节性调节作用,合理配置植物群落,可适当引入单层型植物群落,以减缓秋冬季节植物群落对于人体舒适度的消极作用。在构建乔-灌-草复合型植物群落时,可选用落叶乔木作为优势树种,在春夏季节发挥降温增湿作用;在秋冬季节落叶乔木的生理活性受抑制,降温增湿效应大幅减弱,有助于减少植物群落对于人体舒适度的负面作用;同时落叶乔木可增加植物群落的季相变化,提升景观的时序性,满足了游客在不同季节的审美和游憩需求。

本研究通过对高原山地城市昆明市住宅型口袋公园的实测,在一定程度上拓宽了我国微气候研究的地理范围,补充了微气候效应的季节性研究,为昆明市口袋公园植物群落配置提供参考。然而,由于实测未能完全排除园林构筑物、下垫面材质等其他因素对局部微气候的潜在干扰,当前结论仅对秋冬季节植物群落的微气候效应进行定性评价。同时,受时间限制,本研究仅在秋冬季节进行实测,后续将继续对春夏季节进行实测,并运用数值模拟软件定量分析植物群落结构对微气候的影响。

注:图片均由作者自摄自绘。

参考文献:

- [1] 谢启蛟. 武汉城市热岛特征及其影响因素分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25 (3): 462-469.

- [2] 常猛, 崔莉娜, 葛波, 等. 长三角地区麻栎林生长季小气候调节效应研究[J]. 西北林学院学报, 2020, 35 (5): 16-22.
- [3] 周烨. 植物营造微气候效应研究综述[J]. 低温建筑技术, 2022, 44 (12): 51-54, 60.
- [4] 新华社. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要[J]. 人民日报, 2021: 03-13.
- [5] 住房和城乡建设部办公厅. 关于推动“口袋公园”建设的通知[EB/OL]. (2022-07-29) [2025-01-22]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/09/content_5704766.htm.
- [6] LAU S S, LIN P, QIN H. A preliminary study on environmental performances of pocket parks in high-rise and high-density urban context in Hong Kong[J]. International Journal of Low-Carbon Technologies, 2012, 7 (3): 215-225.
- [7] 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.
- [8] GIRIDHARAN R, LAU S S Y, GANESAN S, et al. Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence[J]. Building and Environment, 2008, 43 (10): 1583-1595.
- [9] 季坡. 基于 ENVI-met 的郑州市城市公园冬季微气候优化研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2023.
- [10] 侯欣欣, 张巧明, 陈茜, 等. 基于 CiteSpace 的城市微气候研究热点与展望[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2024, 37 (3): 12-17.
- [11] 陶影. 高温下微绿空间的热舒适性测评与优化研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2019.
- [12] 刘文静. 广州地区口袋公园环境热舒适研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2022.
- [13] 杨佳明. 厦门口袋公园微气候及使用状况研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2022.
- [14] 杨畅. 哈尔滨市口袋公园冬季舒适度评价及优化策略[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2023.
- [15] 陈子瑜. 高密度城区口袋公园热舒适性优化研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2023.
- [16] 徐小双, 王志浩, 邓诗涵, 等. 城市热岛与昆明市气候特征变化的关系[J]. 科技通报, 2021, 37 (12): 101-108.
- [17] 向峰, 杨良, 李爱军, 等. 昆明市主城区三种温室气体的月份和干、湿季的小时变化规律及原因分析[J]. 环境科学导刊, 2013, 32 (2): 16-19.
- [18] 常爽. 昆明气候特点与云南省图书馆古籍保护[J]. 玉溪师范学院学报, 2023, 39 (5): 35-41.
- [19] 云南省住房和城乡建设厅. 云南省绿美城市建设三年行动实施方案(2022—2024 年) 政策解读[EB/OL]. (2022-09-01) [2025-01-22]. https://www.yn.gov.cn/ztgg/ynghgkzl/mtgz/202303/t20230324_256858.html.
- [20] 张爽爽. 住宅型口袋公园声景质量及优化策略研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2024.
- [21] 杨持. 生态学实验与实习[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [22] 中国国家标准化管理委员会. 人居环境气候舒适度评价: GB/T27963—2011[S]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [23] 林莹. 居住区绿地主要植物群落类型人体舒适度评价初探[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [24] 胡海辉, 张思琪, 杜佳月. 校园绿地春季小气候及人体舒适度效应分析[J]. 科学技术与工程, 2021, 21 (4): 1536-1542.
- [25] 王丽雯. 植物群落空间特征对微气候的影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2022.
- [26] 高仰驰, 余坤勇, 刘艳芬, 等. 冠顶式步道秋季微气候效应研究——以福州“福道”为例[J]. 西北林学院学报, 2021, 36 (1): 266-272.
- [27] 杨岑, 彭尽晖, 胡茜雅. 植物群落调节微气候舒适度能力及其影响因子——以湖南省怀化市公园绿地为例[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42 (12): 183-191.
- [28] 贾晨凯, 王小德. 城市公园不同绿地植物群落结构对夏季小气候的影响[J]. 浙江林业科技, 2021, 41 (4): 39-44.
- [29] 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.
- [30] HARDIN P J, JENSEN R R. The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: A Terre Haute case study[J]. Urban forestry & urban greening, 2007, 6 (2): 63-72.
- [31] 胡海辉, 刘帅, 张思琪. 城市公园植物群落小气候效应及人体热舒适度——以哈尔滨三座公园为例[J]. 科学技术与工程, 2021, 21 (23): 10021-10028.
- [32] 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.
- [33] ZHOU W, YU WD, ZHANG ZY, et al. How can urban green spaces be planned to mitigate urban heat island effect under different climatic backgrounds? A threshold-based perspective[J]. Science of the Total Environment, 2023, 890: 164422.

作者简介:

文秀/2000 年生/女/湖南益阳人/昆明理工大学建筑与城市规划学院(昆明 650500)/在读硕士研究生/专业方向为园林技术与植物应用

魏雯(*通信作者)/1982 年生/女/甘肃兰州人/博士/昆明理工大学建筑与城市规划学院(昆明 650500)/副教授/研究方向为地景规划与生态修复/E-mail: 35331892@qq.com