

# 广州兰圃环境因子及人体舒适度研究

## Research on Environmental Factors and Human Comfort in Canton Orchid Garden

李冰敏 马绵英 谢伟文 董晨露 谭广文\*

LI Bingmin, MA Mianying, XIE Weiwen, DONG Chenlu, TAN Guangwen\*

### 摘要

为探索华南地区适合开展康养保健活动的公园绿地的建设, 基于实地调查, 选取广州兰圃内部不同景观分区, 监测其空气温度、相对湿度、负氧离子浓度、空气颗粒物浓度及声环境因子, 并分析人体舒适度。结果表明: 兰圃的景观空间具有显著的降温效果, 其中最明显的为兰园区, 其次为芳华园区、明镜阁区, 能够在一定程度上缓解人体的不舒适程度; 兰圃空气负氧离子平均浓度为 689 个/cm<sup>3</sup>, 对人体健康的影响处于正常水平; 园内空气颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 及 PM<sub>10</sub> 的日均浓度分别为 36.95 μg/m<sup>3</sup> 和 76.80 μg/m<sup>3</sup>, 均达到国家二类标准; 兰圃昼间等效声级为 60.82 dB (A), 仅芳华园区达到国家昼间环境噪声限值的 2 类标准。兰圃内的环境因子受到多方面的干扰, 需通过景观手法改善不利条件对环境因子的影响, 提升园内的康养质量与效果。

### Abstract

In order to explore the construction of parks suitable for recreational activities in South China, based on the field survey, different landscape zones inside Canton Orchid Garden were selected to monitor the air temperature, relative humidity, anion concentration, air particulate concentration and acoustic environmental factors. Human comfort analysis was also carried out. The results show that Canton Orchid Garden has a significant cooling effect, of which the most obvious area is the orchid garden, followed by the Fanghua Garden and the Mingjingge area, which can alleviate the discomfort of the human body to a certain extent. The average concentration of negative oxygen ions in the Orchid Garden is 689 ions/cm<sup>3</sup>, and the impact on human health is normal. The average concentration of airborne particulate matter in the orchid garden is about 36.95 μg/m<sup>3</sup> for PM<sub>2.5</sub> and 76.80 μg/m<sup>3</sup> for PM<sub>10</sub>, and the daily average of the concentrations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> have reached the national standard of Class II. The average daytime sound in Orchid Garden is 60.82dB (A), and only the average daily sound level in Fanghua Park reaches the national daytime ambient sound level 2. The environmental factors in the Canton Orchid Garden are disturbed in many ways, and it is necessary to control the impact of unfavourable conditions on the environmental factors through landscape practices to enhance the quality and effectiveness of recreation in the garden.

### 文章亮点

1) 从负氧离子及 PM<sub>2.5</sub> 等空气颗粒物入手进行量化研究; 2) 对城市公园的康养保健研究具有重要影响。

### 关键词

岭南园林; 园林康养; 负氧离子; 空气颗粒物; 人体舒适度; 声环境

### Keywords

Lingnan Garden; Garden therapy; Negative oxygen ion; Airborne particulate matter; Human comfort; Acoustic environment

收稿日期: 2024-05-08

修回日期: 2024-07-18

在经济社会快速发展的过程中，人类面临着环境污染与传染病蔓延等问题，全世界约有75%的人正处在亚健康状态<sup>[1-2]</sup>。2022年《“十四五”国民健康规划》提出全面推进健康中国建设，加快实施健康中国行动。接触自然环境能激发人们开展身体锻炼，缓解人们精神压力，改善生理与心理健康问题<sup>[3-5]</sup>。绿地空间中的空气负氧离子浓度、温度、湿度、空气颗粒物及声音等能够对人体健康产生一定的影响<sup>[6-8]</sup>。在绿色景观中开展5 min低强度的身体锻炼，能够有效提升人的情绪及自尊感，时间越长，便能更大程度提升人的认知能力<sup>[9-10]</sup>。

而伴随着城市化的快速发展，城市人口规模迅速扩大，城市用地日益紧张。如何高效利用城市绿地空间，产生较高的生态效益，满足人们的康养保健需求，成为有关学者研究的重点。潘剑彬等<sup>[11]</sup>认为，绿地的负氧离子含量与绿地的组成类型及群落建群种的乔木种类、规格等具有显著相关性。顾康康等<sup>[12]</sup>利用ENVI-met软件研究道路植物群落对PM<sub>2.5</sub>的削减作用，结果表明乔木-树篱-灌木群落类型的削减作用高于纯乔木群落与乔木-树篱群落。赵庆等<sup>[13]</sup>对广东云勇国家森林公园6种林分以不同时间维度进行体感舒适度、负氧离子释放等的综合评价研究，结果表明每年5月份阴香 *Cinnamomum burmanni* 林和灰木莲 *Manglietia glauca* 林的综合保健功能最佳。晏琪等<sup>[14]</sup>通过筛选并构建森林康养空间评价指标体系，认为在森林环境中环境保健性的关键性因素是空气负氧离子浓度，主要影响因素为气候舒适度及空气中的氧气浓度。目前对城市绿地空间在康养保健方面的研究较多，但对华南地区公园绿地空间的康养保健研究仍较缺乏。

广州市的旅游人流量大，兰圃作为闹市中的绿洲，成为人们旅游、休闲的首选之地。通过有效手段提高公园的游人体验感，从公园内部空间入手开展关于人体健康的相关研究十分必要。因此以广州兰圃作为研究对象，对其内部的空气负氧离子、空气温度、相对湿度等环境因子进行定量研究，

分析不同景观空间对人体舒适度影响及微气候调节等方面的差异，以探究更适合人们开展康养活动的景观空间，为岭南园林的生态保健功能建设提供一定的参考借鉴。

## 1 研究区概况

广州位于广东省中南部，珠江三角洲北部，处于南亚热带，为季风性海洋气候，年均气温在2.17~23.1℃，最冷月为12月一次年2月，最热月为7—9月，年均降水量1923 mm，4—6月为雨季，全年平均相对湿度达到74.8%，具有雨季明显，温差较小，光热充足的特点。兰圃（23.260° E，113.144° N）位于广州市越秀区，建于1951年，前身为植物标本园，后发展为以兰花为主的专类园<sup>[15]</sup>，是现代岭南园林的代表作之一，也是广州第一批历史名园之一。兰圃的占地面积约5 hm<sup>2</sup>，水陆比为2：9，整

体呈南北走向的长方形布局。兰圃以国兰为主题，在造园上延续了岭南造园艺术风格，在一定程度上体现岭南的生活特征，如选择冠大荫浓的大乔木以满足人们在亚热带气候条件下对舒适休闲空间的需求<sup>[16]</sup>。园内景点兰园位于东侧，于1961年建成，内有3个栽培观赏兰花的兰棚；芳华园位于西侧，建于1982年，为中国参加德国慕尼黑国际园艺展的作品，总面积540 m<sup>2</sup>，布局以水为中心，水体占总面积的22.22%；明镜阁位于西南侧，建于1984年，整体风格古朴素雅<sup>[17-18]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样点及对照点设置

根据兰圃的布局及园内主要景点的建设时间，分为兰园区、芳华园区及明镜阁区3个分区，在每个分区内各设置3个样点进行监测（图1），测



图1 样点分布及部分样点照片

Fig.1 Distribution of sample points and photos

点相对集中以减少干扰。同时在公园外设置 1 个下垫面为硬质水泥铺装的对照点。依据各个分区上层乔木的覆盖度与占地面积之比估算郁闭度（表 1）。

## 2.2 试验方法

本研究测量仪器主要有 HD32.3TC 热指数仪、ONETEST-502XP 负氧离子检测仪及 SL720B 数字噪声计（表 2），试验时间为 2024 年 4 月 10 日，试验期间天气晴朗。实测中试验仪器的测定高度为 1.3~1.5 m，每个样地的测量点固定，采用移动观测法对每个样点进行测量，从 8:00 到 18:00 每 2 h 进行 1 次数据测量记录，每个样点停留 3 min，间隔 30 s 读取 1 次数据，同时每个样点的测量都在 1 h 内完成，以减少误差。

## 2.3 数据分析方法

各个分区的降温效果采用日均空气降温率  $D_t$  表示<sup>[19]</sup>，计算公式如下：

$$D_t = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{D_{ci} - D_i}{D_{ci}}}{n} \times 100\% \quad (1)$$

式（1）中： $D_{ci}$  为对照点第  $i$  时刻的温度值（℃）； $D_i$  为样点第  $i$  时刻的温度值（℃）； $n$  为记录的时间段（ $n=5$ ）。

人体对周边环境的感受受到气候因素如空气温度、相对湿度及风速等的影响，其中空气温度、相对湿度 2 项生态指标对人体感受的影响较为直接，因此本研究以 Thom E.C. 提出的不舒适指数  $DI$ （Discomfort Index）作为评价的指标对人体舒适度进行量化分析<sup>[11, 20]</sup>。本研究以实际测得的数据对兰圃各分区的人体不舒适指数  $DI$  进行计算比较，计算公式为：

$$DI = T - 0.55 \times (1 - 0.01 \times RH) \times (T - 14.5) \quad (2)$$

式（2）中： $T$  为空气温度（℃）； $RH$  为相对湿度（%）。 $DI$  能够反映人体在不同的温度、湿度条件下对空气环境感觉舒适的程度。根据 Anastasia Poupkou<sup>[21]</sup> 对  $DI$  的等级划分，将人体感受程度分为 6 个等级（表 3）。

参考空气负氧离子在自然环境中的浓度分布等级与健康的关系进行分析，负氧离子浓度越高，等级越高，对人体的健康越有利<sup>[22]</sup>（表 4）。

对于空气颗粒物的评价参考环境保护部发布的《环境空气质量》（GB 3095-2012）的分级标准进行。其中日平均的空气颗粒物浓度分级为： $PM_{10} < 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  为一级， $PM_{10} < 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  为二级； $PM_{2.5} < 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  为一级， $PM_{2.5} < 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  为二级，等级越高，空气质量越好。

对于声环境的评价，根据《声环境质量标准》（GB 3096-2008）对应分类级别对实测数据进行分析。最后利用皮尔逊相关性分析对各个环境因子进行分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 温湿度及人体舒适度变化

各个分区及对照点的平均空气温度变化均呈现先上升后下降的规律，且 3 个分区的空气温度在各个时间段均低于对照点（图 2），可见公园内部的景观空间具有一定的降温

表 1 分区样点情况

Tab.1 Situation of sample points in the sub-district

分区	空间开合程度	铺装占比 /%	水体占比 /%	郁闭度
兰园区	半封闭	18.0	22.0	0.65
芳华区	半封闭	16.0	12.0	0.50
明镜阁区	半封闭	23.0	15.0	0.40
对照点	开敞	100.0	0	0.05

表 2 试验仪器及参数

Tab.2 Experimental instruments and parameters

仪器名称	型号	测量指标	量程	精度
热指数仪	HD32.3	空气温度	-40 ~ 100 °C	±0.25 °C
		相对湿度	0%~100%	±2%
负氧离子检测仪	ONETEST-502XP	负氧离子浓度	0~1 999 000 个 /cm <sup>3</sup>	±20%
		空气颗粒物浓度	0~1 000 μg/m <sup>3</sup>	
数字噪声计	SL720B	噪声等效声级	30~130 dB(A)	±1.5 dB(A)

表 3 人体舒适程度等级

Tab.3 Human comfort level

等级	不舒适指数 $DI$	人体感受程度
1	$DI < 21.0$	没有人感觉不舒适
2	$21.0 \leq DI < 24.0$	不到一半的人感到不舒适
3	$24.0 \leq DI < 27.0$	超过一半的人感到不舒适
4	$27.0 \leq DI < 29.0$	大多数人感到不舒适
5	$29.0 \leq DI < 32.0$	所有人都感到不舒适
6	$DI \geq 32.0$	所有人都感到非常不舒适

表 4 空气负氧离子浓度等级与健康关系

Tab.4 Negative oxygen ion concentration levels in air in relation to health

等级	负氧离子浓度 / (个 /cm <sup>3</sup> )	身体效应	对健康的影响
1	0~50	诱发形成各种疾病	极不利
2	51~200	易诱发生理障碍等	很不利
3	201~500	诱发生理障碍边缘	不利
4	501~900	维持人体健康基本需要	正常
5	901~1 200	增强人体免疫力抗菌力	有利
6	1 201~1 500	杀灭、减少疾病传染	相当有利
7	1 501~2 000	具有自然痊愈力	很有利
8	> 2 001	具有治疗和康复功效	极有利

效果。平均空气温度最高的为对照点 (28.06 °C)，接着为明镜阁区 (26.75 °C)、芳华园区 (26.45 °C)、兰园区 (26.07 °C)。相对于对照点，园内日均空气降温率表现为：兰园区 (6.89%) 的降温率最高，其次为芳华园区 (5.68%)，最后是明镜阁区 (4.64%)。

各个分区及对照点的相对湿度整体呈现先下降后上升的趋势，相对湿度最低的时段出现在 12:00—13:00 (图 3)，该时段的温度为当日最高，高温使水分蒸发，导致空气湿度有所降低。

不舒适度指数越高，人体对环境的感受越不舒服，反之越舒服。园内的不舒适度指数整体呈现先上升后缓慢下降的趋势 (图 4)。结合温湿度测量结果可知，8:00—9:00 公园内部及对照点的舒适指数最低，均处在 21.0~23.9，属于等级 2，而后不舒适指数逐渐上升，在 14:00—16:00 达到最高，但基本处在等级 3 ( $24.0 \leq DI < 27.0$ )。与对照点相比，兰圃内部的景观空间能在一定程度上降低人体在热环境中的

不舒适度，指数可降低 0.80~1.18。

### 3.2 空气负氧离子浓度

不同分区的空气负氧离子浓度日变化不同，但总体来看，上午 8:00—11:00 园内空气负氧离子浓度相对较高；11 点之后开始下降，直到 12:00—13:00 达到谷值，浓度相对较低；13:00 后开始上升，到达峰值，且该时段负氧离子浓度园内整体高于园外 (图 5)。测量日园内日平均负氧离子浓度为 689 个/cm<sup>3</sup>，处于 4 级 (501~900 个/cm<sup>3</sup>)，能够满足维持人健康的基本需求，对人体健康的影响也处在正常的水平。兰园区平均空气负氧离子浓度最高 (833 个/cm<sup>3</sup>)，接着为芳华园区 (656 个/cm<sup>3</sup>)、明镜阁区 (579 个/cm<sup>3</sup>)。将空气负氧离子浓度与空气温度及相对湿度分别进行皮尔逊相关性分析 (表 5)，结果显示空气负氧离子浓度与空气温度呈现极显著性负相关 ( $P < 0.01$ )，空气温度上升，空气负氧离子浓度随之减少；空气负氧离子浓度与相对湿度呈现极显著性正相关 ( $P < 0.01$ )，相对湿度增加，空气负氧离子浓度相应提高。

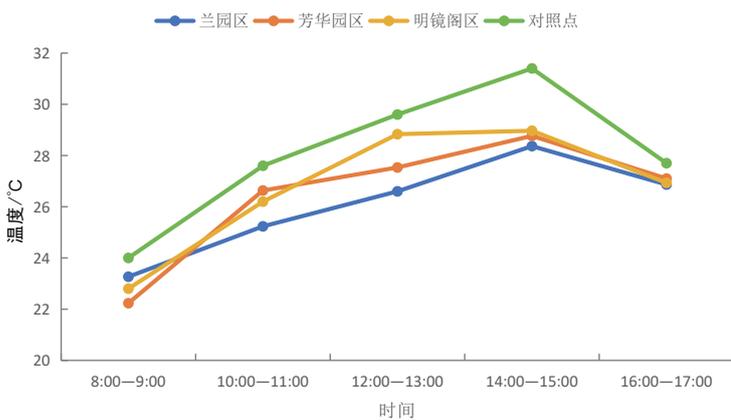


图 2 空气温度日变化

Fig.2 Daily change in air temperature

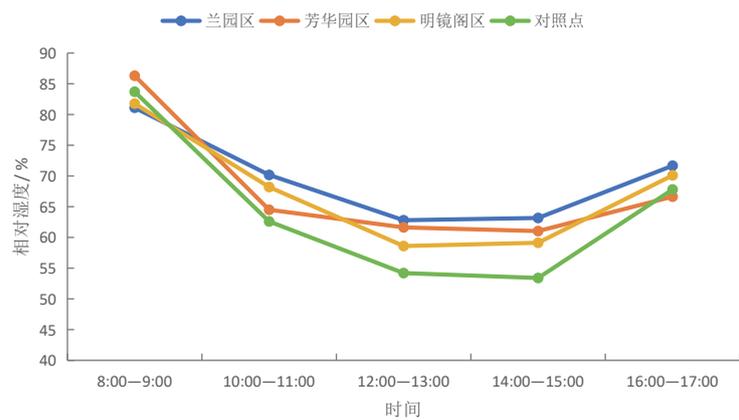


图 3 相对湿度日变化

Fig.3 Daily change in relative humidity

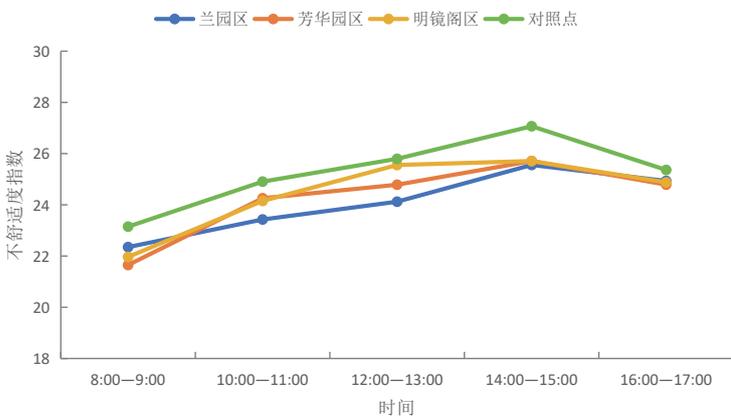


图 4 不舒适度指数日变化

Fig.4 Daily change in discomfort index

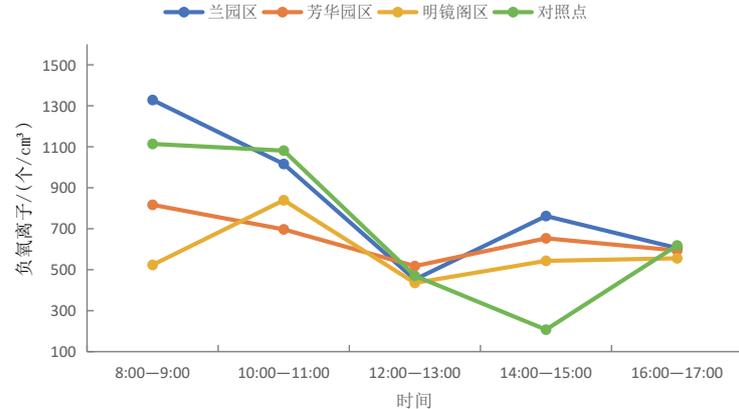


图 5 空气负氧离子日变化

Fig.5 Daily change in negative oxygen ions in the air

### 3.3 空气颗粒物浓度

根据测量结果, 兰圃的日平均  $PM_{2.5}$  及  $PM_{10}$  浓度分别为  $36.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $76.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  的浓度日变化趋势较为复杂(图 6~7)。在上午 8:00—9:00, 空气颗粒物的浓度最低, 随着时间的推移, 浓度逐渐上升, 一定程度上是因为光的化学反应会影响空气颗粒物的浓度变化<sup>[23]</sup>。各个分区的  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  最高点及最低点位置相对一致, 园内空气颗粒物浓度最高点出现在明镜阁区, 仅次于对照点, 且时间段均为 16:00—17:00。

$PM_{2.5}$  与  $PM_{10}$  的比值在污染严重的城市为 0.5~0.7, 在污染较轻的城市为 0.3~0.5<sup>[24]</sup>。明镜阁区、兰园区、芳华园区的  $PM_{2.5}$  与  $PM_{10}$  比值的日平均值分别为 0.482、0.481 和 0.480, 均低于 0.5, 说明兰圃受到的污染较轻。根据《环境空气质量》标准中对  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  的 24 h 均值的分类, 园内  $PM_{2.5}$  与  $PM_{10}$  浓度的日均值均符合国家二类标准限值 ( $PM_{2.5} < 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_{10} < 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )。

将空气颗粒物  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  与空气温度及相对湿度分别进行皮尔逊相关性分析(表 5), 结果显示  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  与空气温度呈现极显著性正相关 ( $P < 0.01$ ), 空气温度上升,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度均随之增加;  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  与相对湿度呈现显著性负相关 ( $P < 0.01$ ), 相对湿度上升,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度均降低。

### 3.4 声环境

根据测量结果(表 6), 兰圃昼间等效声级为 60.82 dB(A), 3 个区的最小等效声级均出现在 8:00—9:00。《声环境质量标准》将环境的噪声限制划分为 5 类, 其中 2 类声环境功能区(需要维护住宅安静的区域)的昼间环境噪声的限值为 60 dB(A), 园内仅芳华园区的昼间等效声级级别符合 2 类标准。

表 5 空气负氧离子、颗粒物与空气温度及相对湿度相关性

Tab.5 Correlation between air negative oxygen ions, particulate matter, air temperature, and relative humidity

变量	相关性	空气温度	相对湿度
空气负氧离子	皮尔逊相关性	-0.610 **	0.594 **
	Sig (双尾)	0.004	0.006
$PM_{2.5}$	皮尔逊相关性	0.585 **	-0.453 *
	Sig (双尾)	0.007	0.045
$PM_{10}$	皮尔逊相关性	0.582 **	-0.449 *
	Sig (双尾)	0.007	0.047

注: \*\*相关性在 0.01 层面上显著(双尾); \*相关性在 0.05 层面上显著(双尾)。

## 4 讨论

### 4.1 降温效果影响因素

复杂的群落结构、高郁闭度以及高大的植株是植物群落能够达到明显降温效果的重要条件<sup>[25]</sup>。在植物配置上, 兰园区以榕树 *Ficus microcarpa*、蒲桃 *Syzygium jambos*、龙牙花 *Erythrina corallodendron*、棕竹 *Rhapis excelsa*、黄花夹竹桃 *Thevetia peruviana*、锦绣杜鹃 *Rhododendron × pulchrum*、文殊兰 *Crinum asiaticum var. sinicum*、肾蕨 *Nephrolepis cordifolia* 等具有高大型冠幅的植物群落类型为主; 而芳华园区及明镜阁区多以大花紫薇 *Lagerstroemia speciosa*、水石榕 *Elaeocarpus hainanensis*、海桐 *Pittosporum tobira*、肾蕨等冠层较稀疏的植物群落类型为主。兰园区的植物群落更高、层次结构更为复杂, 降温效果更为明显, 这与人关于植物群落高度、分层数量与微气候舒适度存在极显著正相关关系的研究结果基本一致<sup>[26]</sup>。因此, 华南湿热地区的公园植物配置时, 建议以阴香、榕树、假苹婆 *Sterculia lanceolata*、樟 *Camphora officinarum* 等常绿、大冠幅

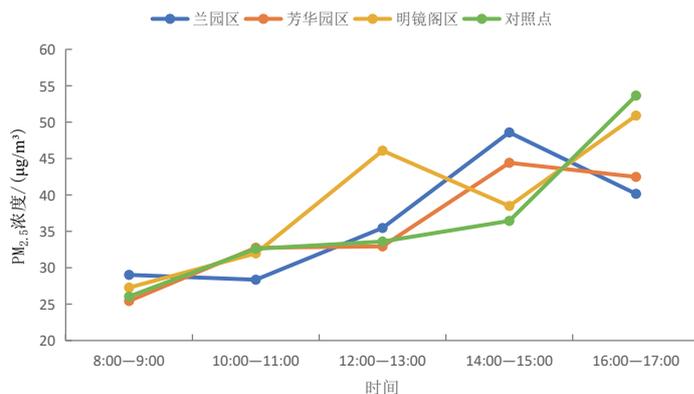


图 6  $PM_{2.5}$  浓度日变化

Fig.6 Daily change in  $PM_{2.5}$  concentration

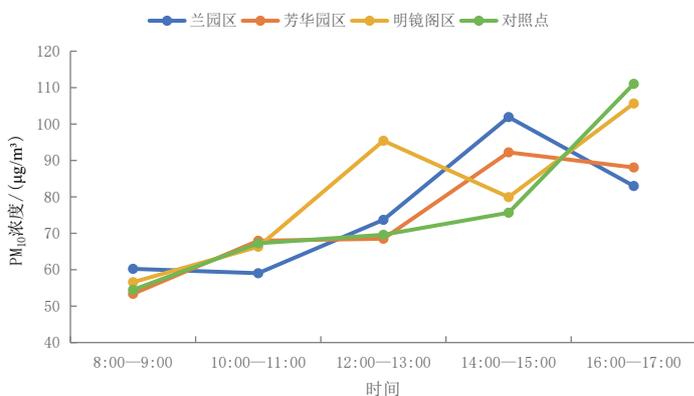


图 7  $PM_{10}$  浓度日变化

Fig.7 Daily change in  $PM_{10}$  concentration

表6 声环境监测记录

Tab.6 Records of acoustic environment monitoring

单位: dB (A)

分区名称	8:00—9:00	10:00—11:00	12:00—13:00	14:00—15:00	16:00—17:00	平均值
兰园区	57.71	60.74	64.38	61.88	63.03	61.55
芳华园区	56.47	61.49	56.58	60.90	58.92	58.87
明镜阁区	57.09	63.33	64.46	63.90	61.42	62.04
对照点	63.65	62.86	72.11	59.57	64.19	64.47

的乡土乔木作为上层结构,结合丰富的中下层植物,在快速形成稳定的群落生态的基础上达到更好的降温效果。

#### 4.2 空气负氧离子和颗粒物浓度影响因素

已有研究证实,不同群落结构条件下,乔灌木群落结构对空气负氧离子的影响明显优于简单植物群落结构<sup>[27]</sup>。本次研究结果显示兰园区的空气负氧离子高于其他分区,再次验证了群落结构更为复杂的区域空气负氧离子浓度更高。监测时间段内,测得的PM<sub>2.5</sub>与PM<sub>10</sub>的浓度变化随空气温度上升而增加,随相对湿度增加而降低,这进一步验证了部分学者关于温度及湿度对PM<sub>2.5</sub>与PM<sub>10</sub>浓度影响的研究结果<sup>[28-29]</sup>,但仍存在一定差异,需要进一步深入研究。

#### 4.3 声环境影响因素

芳华园区地势比兰园区高约5 m,且两分区边缘种植鱼尾葵 *Caryota maxima*,有效减弱了兰园区噪声对芳华园区的干扰,这与李哲锋对景观地形能够缓解噪声的研究基本一致<sup>[30]</sup>。空间的封闭程度对声环境也具有一定影响。兰园区在不同边界处种植了大量青皮竹 *Bambusa textilis*、棕竹,形成一定的封闭空间,一定程度上减弱了马路外侧噪声对园内的影响。但由于园墙基本为镂空墙体,并不能起到完全阻隔噪声的作用。

## 5 结论

本研究发现兰圃景观空间能够起到降温、改善人体舒适度的效果,空气负氧离子能够满足康养需求,空气质量较好。与对照点相比,兰圃内部不舒适指数降低0.80~1.18,能够在一定程度上提升人体舒适度。测量日兰圃的兰园区日均降温效果最好。接着为芳华园区、明镜阁区,说明高温天气兰园区比其他两个分区更适合游人停留。园内日平均负氧离子浓度为689个/cm<sup>3</sup>,整体处于正常水平。基于研究结果,建议在公园的植物景观提升上重视营造植物群落结构,以乡土植物丰富群落的上层结构,以达到更好的遮荫降温效果。根据监测结果,兰圃的PM<sub>2.5</sub>与PM<sub>10</sub>的浓度日均值均符合国家二类标准限值。在后续的公园提升中,建议将园墙改为封闭的墙体,或者在园墙外增设绿地,以丰富的植物群落减少噪声的干扰,降低空气污染物浓度。

本文对岭南园林兰圃内部环境因子展开研究,探索了岭南地区公园绿地的景观空间的康养保健功能建设要点。但本研究采取的移动观测方式,在一定程度上会受到外部干扰,在后续的研究上应充分利用仪器设备,在多时段进行定点观测,以提高数据的准确性。同时,研究仅针对单一园林环境,在后续的研究中可增加多个园林进行对比研究,或针对南方与北方地区的园林环境因子展开对比研究。此外,研究主要针对大区域的景观空间环境因子,而影响环境因子的要素有建筑、植物、水体等,后续将结合多方面、多学科的研究方法,为传统园林的环境优化提供更加科学、合理的建议。

注:图片均由作者自摄自绘。

#### 参考文献:

- [1] 洪志猛,兰思仁,战韵竹.城市生态风景林公众康养效益评价[J].中国城市林业,2023,21(6):91-97.
- [2] 柏方敏.森林康养对人体健康的促进作用[J].林业与生态,2018(1):17-19.
- [3] 李树华,康宁,史舒琳,等.“绿康城市”论[J].中国园林,2020,36(7):14-19.
- [4] 罗蓝,姜斌.接触自然——有潜力的物质成瘾缓解和恢复策略:理论机制及关键问题[J].中国园林,2024,40(1):33-39.
- [5] 姜斌,张恬,威廉·C·苏利文.健康城市:论城市绿色景观对大众健康的影响机制及重要研究问题[J].景观设计学,2015,3(1):24-35.
- [6] 房城,王成,郭二果,等.城市绿地与城市居民健康的关系[J].东北林业大学学报,2010,38(4):114-116.
- [7] 李成,王波.城市物理环境与人体健康[J].工业建筑,2003(7):89-90.
- [8] 段敏杰,王月容,刘晶.北京紫竹院公园绿地生态保健功能综合评价[J].生态学杂志,2017,36(7):1973-1983.
- [9] COHEN J A, BURETT R, BRAUER M, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015[J].The Lancet, 2017, 389(10082):1907-1918.
- [10] BARTON J, PRETTY J. What is the best dose of nature and green exercise for improving mental health? A multi-study analysis[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(10):3945-3955.

- [11] 潘剑彬, 李树华. 北京城市公园绿地负氧离子效益空间格局特征研究[J]. 中国园林, 2015, 31 (6) : 100-104.
- [12] 顾康康, 钱兆, 方云皓, 等. 基于 ENVI-met 的城市道路绿地植物配置对 PM<sub>2.5</sub> 的影响研究[J]. 生态学报, 2020, 40 (13) : 4340-4350.
- [13] 赵庆, 钱万惠, 唐洪辉, 等. 云勇森林公园典型林分保健功能季节变化趋势研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39 (11) : 132-140.
- [14] 晏琪, 刘苑秋, 文野, 等. 基于因子分析的森林康养空间评价指标体系研究[J]. 中国园林, 2020, 36 (1) : 81-86.
- [15] 李敏. 广州公园建设[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001: 292.
- [16] 邱巧玲, 刘爽, 程晓山. 广州植物专题公园植物造景特色分析——以广州兰圃、晓港公园和珠江公园为例[J]. 中国园林, 2018, 34 (S2): 155-159.
- [17] 君, 小赖. 广州兰圃[J]. 城市住宅, 2000 (12) : 84-87.
- [18] 吴泽椿. “芳华园”规划设计[J]. 中国园林, 1985, 1 (2) : 1-2.
- [19] 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.
- [20] 晏海, 王雪, 董丽. 华北树木群落夏季微气候特征及其对人体舒适度的影响[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34 (5) : 57-63.
- [21] POUPOUKOU A, NASTOS P, MELAS D, et al. Climatology of Discomfort Index and Air Quality Index in a Large Urban Mediterranean Agglomeration[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2011, 222: 163-183.
- [22] 朱舒欣, 崔杰, 刘起雨, 等. 石门国家森林公园负氧离子浓度等级评价及其与环境因素的相关性分析[J]. 林业与环境科学, 2019, 35 (5) : 14-22.
- [23] KULMALA M. How Particles Nucleate and Grow[J]. Science, 2003, 302 (5647) : 1000-1001.
- [24] 徐敬, 丁国安, 颜鹏, 等. 北京地区 PM<sub>2.5</sub> 的成分特征及来源分析[J]. 应用气象学报, 2007 (5) : 645-654.
- [25] 张明丽, 秦俊, 胡永红. 上海市植物群落降温增湿效果的研究[J]. 北京林业大学学报, 2008 (2) : 39-43.
- [26] 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.
- [27] 潘剑彬, 董丽, 廖圣晓, 等. 北京奥林匹克森林公园空气负氧离子浓度及其影响因素[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33 (2) : 59-64.
- [28] 闫珊珊, 洪波. 公园绿地不同景观空间 PM<sub>2.5</sub> 分布特征及其影响因素研究[J]. 风景园林, 2019, 26 (7) : 101-106.
- [29] 路琛, 张祥, 邱玲, 等. 不同植被结构校园绿地对空气颗粒物浓度影响研究[J]. 中国园林, 2020, 36 (8) : 113-118.
- [30] 李哲锋, 杨宇超, 侯百慧, 等. 基于声景学的城市公园中控制环境噪音的分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2020, 41 (4) : 34-40.

---

## 作者简介:

李冰敏/1992年生/女/广东潮州人/硕士/广州普邦园林股份有限公司(广州 510600)/风景园林工程师/专业方向为园林植物、风景规划设计

马绵英/1994年生/女/广东汕头人/仲恺农业工程学院园艺园林学院在读硕士研究生/广州普邦园林股份有限公司(广州 510600)/专业方向为园林植物应用

谢伟文/1996年生/男/广东茂名/硕士/广州普邦园林股份有限公司(广州 510600)/专业方向为园林植物与景观生态

董晨露/1994年生/女/河南焦作人/硕士/广州普邦园林股份有限公司(广州 510600)/工程师/专业方向为风景园林

(\* 通信作者) 谭广文/1959年生/男/广东广州人/硕士/广州普邦园林股份有限公司(广州 510600)/教授级高级工程师/研究方向为园林植物、风景园林规划设计/E-mail: 1002871592@qq.com