

# “双碳”目标下森林公园植被空间配置对降温效果的影响

## ——以福州森林公园为例

刘东兰<sup>1</sup>, 戴忠炜<sup>2</sup>

1. 福建农业职业技术学院园艺园林学院, 福州 350002

2. 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092

**摘要** 以福州森林公园为例, 使用微气候模型 ENVI-met 模拟分析不同植被空间配置类型对降温效果的影响, 旨在提出森林公园植被降温成效的提升策略。根据不同植被空间配置和降温效果的相关性, 设计了 18 种理想化场景。这 18 种场景代表了具有 3 种不同碎片化程度的植被空间配置类型(块状绿地、稀疏点状绿地、密集点状绿地)和 6 种植被类型(裸地、草地、灌木、小乔木+草地、大乔木+草地、大乔木+灌木)。结果显示, 大乔木是影响降温效果的重要因素, 而草地和灌木由于热辐射的累积, 并不会导致周围空气降温; 此外, 对于乔木, 植被空间配置类型的碎片化程度越高, 会导致降温效果的显著降低, 而对于草地和灌木, 植被空间配置类型影响不显著。进而得出结论, 在森林公园的植被营建和管理过程中, 应重视乔木所发挥的降温作用, 同时避免乔木组团空间碎片化, 应让乔木组团高度聚集。

**关键词** “双碳”目标; 植被空间配置; 降温效果; ENVI-met; 森林公园

党的二十大报告提出, “促进人与自然和谐共生”是中国式现代化的本质要求之一, 强调: “中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化”<sup>[1]</sup>。为实现“双碳”目标, 城乡要积极开展绿色低碳建设, 提升城市园林作用, 推动城市生态修复, 完善城市生

态系统和城市公园体系建设<sup>[2]</sup>。

随着城市化进程快速推进, 现代城市面临着诸多严峻的挑战。快速城市化的过程带来土地利用类型的变化、人工热源、人口迁移、绿地覆盖面积减少等问题, 进而引发热岛效应<sup>[3-4]</sup>。同时, 全球极端

收稿日期: 2024-04-02; 修回日期: 2024-06-13

基金项目: 福建省习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心项目(FJ2023XZB004)

作者简介: 刘东兰, 副教授, 主要研究方向为森林公园健康游憩、风景园林规划设计, 电子信箱: 244752114@qq.com

引用格式: 刘东兰, 戴忠炜. “双碳”目标下森林公园植被空间配置对降温效果的影响——以福州森林公园为例[J].

科技导报, 2024, 42(15): 82-90; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2024.04.00326

气候频发,许多城市面临城市热岛和热浪的双重威胁<sup>[5]</sup>。因此,城市热岛效应成为影响城市健康和可持续发展的主要威胁,尤其会带来城市热舒适度变差、城市居民遭受健康威胁、空气污染和对城市生物多样性的破坏等诸多问题<sup>[6]</sup>。当前研究主题已经从宏观监测其时空变化规律和影响机制转向如何去具体缓解城市热岛的方向发展<sup>[7]</sup>。应对热岛效应这个棘手的问题,已经有多种可行的方案,增加城市绿地是被论证为较有效的措施<sup>[8]</sup>。绿地具有独特的优越性,通过发挥蒸腾作用,可以提高空气湿度,降低空气温度,进而改善局部微气候,大大缓解城市热岛效应的进一步恶化<sup>[9]</sup>。

城郊森林公园作为森林生态旅游的主要目的地,游客在出行时除了考虑游憩需求,也同样关注目的地的生态服务效果,以及从中获取的健康收益<sup>[10]</sup>。植被是森林公园里的重要组成要素,通过深入研究植被不同空间配置类型对微气候的影响,可以为森林公园的营建提供指导。植物空间配置发挥着微气候调节和完善城市生态系统功能的作用,因此,在城市绿地的设计和管理中扮演着至关重要的角色<sup>[11]</sup>。植物空间配置影响着城市绿地的热舒适性,通过选择不同类型、高度和密度的植被,可以调节城市绿地的温度和湿度,创造出更为宜人的气候条件<sup>[12]</sup>。不同树种因其冠层结构和生理特征不同,则其所具有的微气候调节能力也不同,研究表明,树木的冠层特征(LAI和冠层盖度)对群落的微气候具有重要的调节作用<sup>[13]</sup>。目前植物群落的微气候效应研究多集中在郁闭度、叶面积指数、绿量、垂直层级结构等方面,郁闭度大、叶面积指数大、绿量大、垂直层级结构丰富的群落,对于微气候的改善效果显著<sup>[14-15]</sup>。当前在植被空间配置上对微气候影响的研究多集中在群落竖向结构上<sup>[16]</sup>,水平布局形式方面的研究还较为欠缺,并且不同学者得出的结论各不相同:是碎片化程度高的植被配置类型有利于降温,还是聚集度高的植被配置类型有利于降温,一直有待实证。

本研究以福州国家森林公园为例,探究植被不同空间配置类型对微气候的影响,研究的主要目的:一是探究福州国家森林公园建成区的6种植被

类型的降温效果;二是分析森林公园植被空间配置的碎片化程度对降温效果的影响。有助于福州森林公园植被的降温成效提升和森林公园精细化科学管理策略构建。

## 1 数据与研究方法

### 1.1 研究区概况

福州国家森林公园位于福州北郊新店镇赤桥村,距福州市区仅6 km,是福建地区重要的森林生态旅游地。园内亚热带海洋性季风气候特征明显,年均降水量为1712 mm,年均日照时数为1630 h,年均气温为19.9℃,最热月份为7月和8月,最高温度达39℃,热舒适性较差,故选取当地夏季典型时段进行室外微气候模拟研究。园内根据植被群落结构划分为植物大观园、生态游览区、森林游憩区、特色经济林区、季相林带等功能分区<sup>[17]</sup>。图1所示为园内6种常见植被空间配置。

### 1.2 研究方法

ENVI-met是由德国波鸿大学地理研究所开发的基于计算流体动力学(CFD)和热力学原理的城市微气候三维模拟软件,主要用于模拟实际城市不同场景中中小范围区域内构筑物表面—植被—空气三者之间互相产生的影响和作用,进而输出相关的微气候指标<sup>[18]</sup>,目前已经广泛应用于国内外城市环境、中小尺度的城市街区、公园绿地的模拟,以及微环境影响因素的分析<sup>[19]</sup>。该软件功能有大气、辐射、土壤、植物和建筑5个子模块,由三维主模型、土壤模型、一维边界模型及嵌套网格组成(图2)<sup>[20]</sup>。本研究以福州国家森林公园为例,采用ENVI-met微气候模拟软件建立园内常见的植被空间类型,对其夏季典型炎热时间段进行模拟,探究不同植被类型和植被空间配置的不同碎片化程度对降温效果的影响。

### 1.3 模型创建与模拟

通过使用ENVI-met的SPACES模块,构建了18个理想绿地场景,3种不同碎片化程度的植被空间配置类型和6种植被类型,如表1所示。植被空

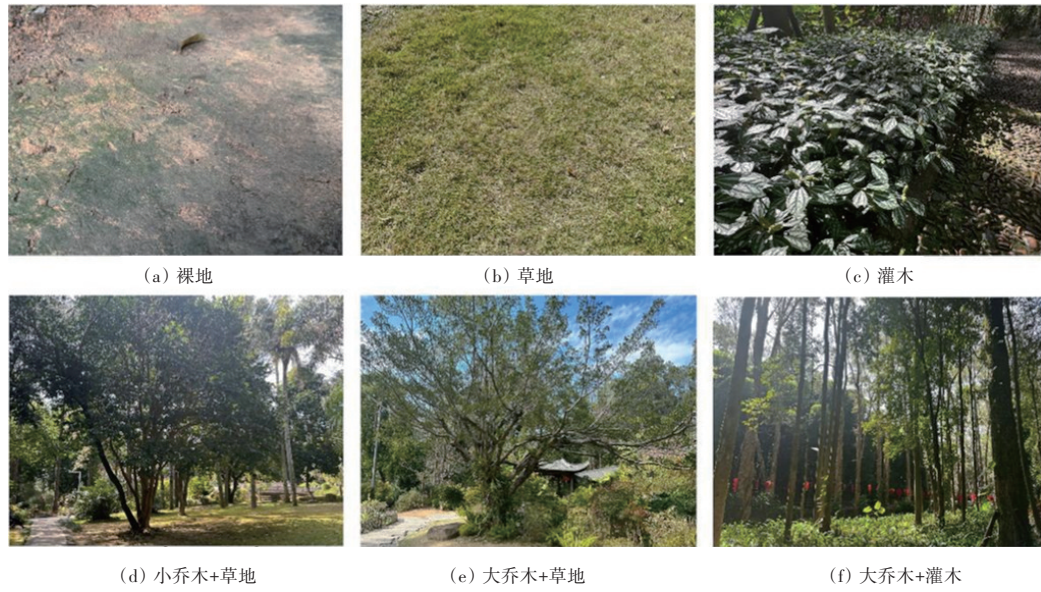


图1 福州森林公园6种常见植被空间配置

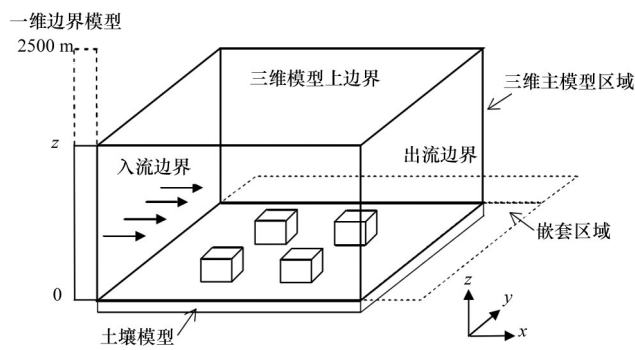


图2 ENVI-met模型结构示意图

间配置类型包括配置1:一个块状绿地;配置2:4个稀疏点状绿地;配置3:16个密集点状绿地。每个场景的整个区域面积为10000 m<sup>2</sup>,所有场景中总的绿地面积为2500 m<sup>2</sup>。这6种植被空间配置类型是:裸地、草地(高度0.1 m)、灌木(高度0.5 m)、小乔木(高度/冠幅:4 m/3 m)+草地、大乔木(高度/冠幅:8 m/5 m)+草地、大乔木(高度/冠幅:8 m/5 m)+灌木,以上植被空间类型的建模对象来源如表2所示。在场景中的绿地之外的空间,铺设沥青以模拟城市区域。

表1 18个模拟场景示意

| 绿地类型   | 布局模式      |               |                    |
|--------|-----------|---------------|--------------------|
|        | 50 m×50 m | 4 m×25 m×25 m | 16 m×12.5 m×12.5 m |
| 裸地     |           |               |                    |
| 草地     |           |               |                    |
| 灌木     |           |               |                    |
| 小乔木+草地 |           |               |                    |

表1 18个模拟场景示意(续)

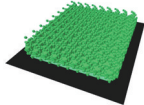
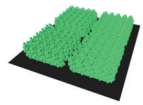
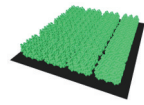
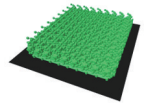
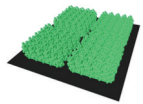
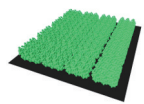
| 绿地类型   | 布局模式  |  |   |
|--------|---|--|---|
|        | 50 m×50 m   | 4 m×25 m×25 m  | 16 m×12.5 m×12.5 m  |
| 大乔木+草地 |  |  |  |
| 大乔木+灌木 |  |  |  |

表2 植被空间类型的建模对象

| 植被空间配置类型 | 植被种名  | 基本指标           |
|----------|-------|----------------|
| 大乔木      | 白千层   | 高度 8 m, 冠幅 5 m |
| 小乔木      | 木荷    | 高度 4 m, 冠幅 3 m |
| 灌木       | 红背桂   | 高度 0.5 m       |
| 草地       | 早熟禾   | 高度 0.1 m       |
| 裸地       | 无植被覆盖 | 泥土、沙石          |

使用ENVI-met 4.0模拟了18个绿地的微气候条件。模拟设置于2023年7月15日的福州,此时的福州气候正处于一年中最炎热的时间段。根据研究区域的气象条件和设计的场景,设置相关气象数据如下:经纬度为北纬25°15′、东经119°37′,海拔为643 m,风速为1.94 m/s,温度为25.4~35.6℃,湿度为79%,场景面积为10000 m<sup>2</sup>,植被面积为2500 m<sup>2</sup>,植被类型为6个,布局类型为3种,场景粗糙度为0.1,参考高度距地面10 m。单次模拟时长为24小时,每1小时输出1组数据。通过模拟得出来的气温数据,是位于场地1.5 m处的气温,此高度比较接近人体热感知的接收范围。

## 2 结果与分析

### 2.1 18个场景的平均气温总体情况

利用ENVI-met软件基于微气候效应,模拟森林公园植被不同空间配置对降温效果的影响。在此次模拟对比模型中,主要依靠多个植被要素作为变量,不同空间配置则为定量,以获得具有逻辑性

的对比数据。本次设置的模拟时间从日出的7:00至日落的19:00,并选取了3个时间段进行观察,即10:00、14:00和17:00。进一步观察分析森林公园不同植被空间配置对周围环境的降温情况,最终得出单个不同植被空间配置要素和多个植被空间要素组合对森林公园微气候的影响程度。在上述的分析探讨过程中,选用最常见的“裸地”“草地”“灌木”“小乔木+草地”“大乔木+草地”“大乔木+灌木”6种组合类型作为研究对比,设置不同的碎片化空间配置类型,以达到具有普遍性的研究效果。在软件的相同初始边界和定量要素的基础上,建立相应的模型进行对比分析,最终分析出植被不同空间配置类型对降温效果的影响,进而得出最优的解决组合方略,为后期森林公园植被配置更新提供参考。

表3显示了18个场景在10:00、14:00和17:00的平均温度总体情况布局模式。图3所示为18个场景在不同时间段的平均气温。森林公园植被不同空间配置对微气候的降温效果的影响分析如下。(1)在设定的时间内,6种植被类型的空气温度在模拟结果中遵循了同步变化的规律,符合太阳辐射变化的趋势。在各个场景中,14:00的温度达到最高,在17:00的时候慢慢下降。随着太阳辐射的变化,不同物体或者空间之间的热传导介质不同,进而导致产生温差效果。(2)在18种模拟对比中,“大乔木+草地”“大乔木+灌木”的空气温度基本趋于一致,在所有场景里保持最低值水平,可分析推断乔木是降低空气温度的重要影响因素之一。(3)“裸地”的空气温度相对最高,由于其上空缺乏乔木类遮挡物,太阳辐射的热量不断累积,其降温效果相对不理想。(4)根据空气温度模拟结果可知,影

表3 18个场景的平均温度总体情况布局模式

| 绿地类型   | 时间    | 温度/°C | 布局模式      |       |               |       |                    |  |
|--------|-------|-------|-----------|-------|---------------|-------|--------------------|--|
|        |       |       | 50 m×50 m | 温度/°C | 4 m×25 m×25 m | 温度/°C | 16 m×12.5 m×12.5 m |  |
| 裸地     | 10:00 | 33.86 |           | 33.88 |               | 33.91 |                    |  |
|        | 14:00 | 39.51 |           | 39.56 |               | 39.67 |                    |  |
|        | 17:00 | 37.61 |           | 37.63 |               | 37.67 |                    |  |
| 草地     | 10:00 | 33.17 |           | 33.65 |               | 34.06 |                    |  |
|        | 14:00 | 38.62 |           | 38.96 |               | 39.30 |                    |  |
|        | 17:00 | 36.95 |           | 37.12 |               | 37.38 |                    |  |
| 灌木     | 10:00 | 32.68 |           | 33.20 |               | 33.82 |                    |  |
|        | 14:00 | 38.12 |           | 38.36 |               | 38.87 |                    |  |
|        | 17:00 | 36.40 |           | 36.51 |               | 36.87 |                    |  |
| 小乔木+草地 | 10:00 | 31.15 |           | 31.57 |               | 32.09 |                    |  |
|        | 14:00 | 36.91 |           | 37.74 |               | 37.87 |                    |  |
|        | 17:00 | 34.82 |           | 35.79 |               | 35.64 |                    |  |
| 大乔木+草地 | 10:00 | 28.72 |           | 29.72 |               | 29.97 |                    |  |
|        | 14:00 | 34.13 |           | 34.68 |               | 34.70 |                    |  |
|        | 17:00 | 33.56 |           | 34.35 |               | 33.92 |                    |  |
| 大乔木+灌木 | 10:00 | 28.53 |           | 29.46 |               | 29.58 |                    |  |
|        | 14:00 | 33.98 |           | 34.68 |               | 34.70 |                    |  |
|        | 17:00 | 33.37 |           | 34.19 |               | 33.81 |                    |  |

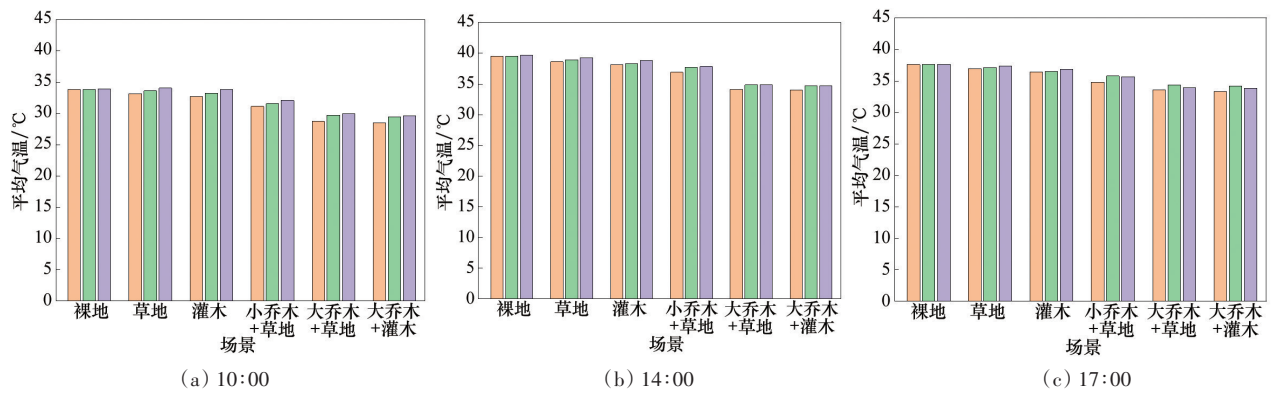


图3 18个场景在不同时间段的平均气温图






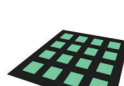






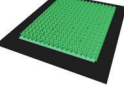
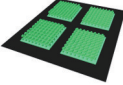
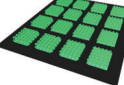

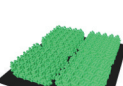
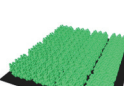



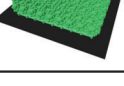
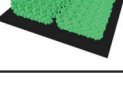
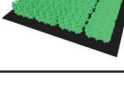
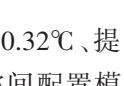
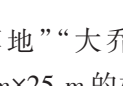
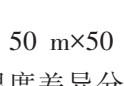
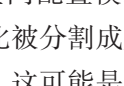

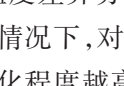
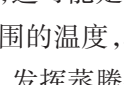
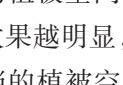
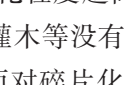
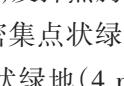
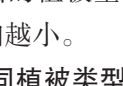
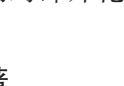
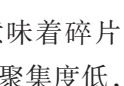
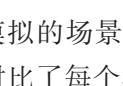
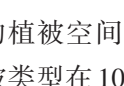
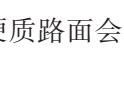
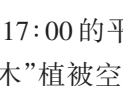
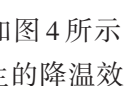
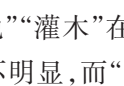
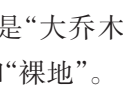
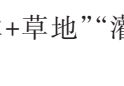
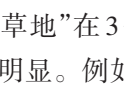
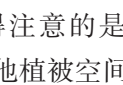
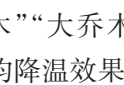
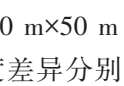
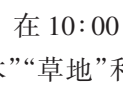
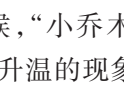
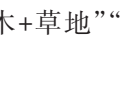
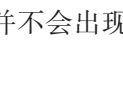
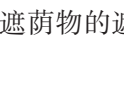
响强弱依次为：“大乔木+灌木”>“大乔木+草地”>“小乔木+草地”>“灌木”>“草地”>“裸地”。

## 2.2 植被不同空间配置模式对降温效果影响显著

在此次模拟过程中,共设置了3种空间配置类型,分别是块状绿地(50 m×50 m)、稀疏点状绿地

(4 m×25 m×25 m)、密集点状绿地(16 m×12.5 m×12.5 m),植被的面积都是2500 m<sup>2</sup>。由表4可以看出,随着空间配置类型的碎片化程度越高,植被的降温效果越差。例如,“大乔木+灌木”在14:00时的气温模拟,植被空间区块数从1个,再到4个,最

表4 18个场景的平均降温情况布局模式

| 绿地类型   | 时间    | 温度/°C | 布局模式  |       |   |       |   |
|--------|-------|-------|---|-------|---|-------|---|
|        |       |       | 50 m×50 m   | 温度/°C | 4 m×25 m×25 m   | 温度/°C | 16 m×12.5 m×12.5 m  |
| 裸地     | 10:00 | 5.16  |    | 5.15  |    | 5.21  |    |
|        | 14:00 | 5.21  |    | 5.26  |    | 5.37  |    |
|        | 17:00 | 2.61  |    | 2.63  |    | 2.67  |    |
| 草地     | 10:00 | 4.47  |    | 4.95  |    | 5.36  |    |
|        | 14:00 | 4.32  |    | 4.66  |    | 5.00  |    |
|        | 17:00 | 1.95  |    | 2.12  |    | 2.38  |    |
| 灌木     | 10:00 | 3.98  |   | 4.50  |   | 5.12  |   |
|        | 14:00 | 3.82  |  | 4.06  |  | 4.57  |  |
|        | 17:00 | 1.40  |  | 1.51  |  | 1.87  |  |
| 小乔木+草地 | 10:00 | 2.45  |  | 2.87  |  | 3.39  |  |
|        | 14:00 | 2.61  |  | 3.44  |  | 3.57  |  |
|        | 17:00 | -0.18 |  | 0.79  |  | 0.64  |  |
| 大乔木+草地 | 10:00 | 0.02  |  | 1.02  |  | 1.27  |  |
|        | 14:00 | -0.17 |  | 0.57  |  | 0.61  |  |
|        | 17:00 | -1.44 |  | -0.65 |  | -1.08 |  |
| 大乔木+灌木 | 10:00 | -0.17 |  | 0.76  |  | 0.88  |  |
|        | 14:00 | -0.32 |  | 0.38  |  | 0.40  |  |
|        | 17:00 | -1.63 |  | -0.81 |  | -1.19 |  |

后达到16个,降温效果分别为降低0.32°C、提高0.38°C和提高0.4°C。在相同的植被空间配置模式下,单一块状植被空间配置模式普遍比被分割成更小块块的植被空间配置具有更低的温度,这可能是因为大片连续的绿地能更有效地降低周围的温度,植被聚集度高,相互交错,提高遮荫效果,发挥蒸腾作用,有效降低空气温度。同样地,与密集点状绿地(16 m×12.5 m×12.5 m)相比,稀疏点状绿地(4 m×25 m×25 m)通常有更低的温度,这意味着碎片化程度越高,降温效果越差,推测是植被聚集度低,无法相互提供遮挡,散热作用差,并且硬质路面会加剧热量的吸收。

通过深入分析发现,“裸地”“草地”“灌木”在3个不同的植被空间配置的降温差异不明显,而“大乔木+灌木”“大乔木+草地”“小乔木+草地”在3个不同的植被空间配置的降温差异较为明显。例如,在14:00,“裸地”“草地”“灌木”,在50 m×50 m与4 m×25 m×25 m的植被空间配置温度差异分别为0.05、0.34、0.24°C;而在14:00,“小乔木+草地”“大

乔木+草地”“大乔木+灌木”,在50 m×50 m与4 m×25 m×25 m的植被空间配置温度差异分别为0.83、0.68、0.70°C。这就说明,相同情况下,对于具有乔木的植被空间配置模式,碎片化程度越高,它的降温效果越明显,而对于草地和灌木等没有遮荫乔木遮挡的植被空间配置模式反而对碎片化所带来的影响越小。

### 2.3 不同植被类型的降温差异显著

在模拟的场景中有6种常见的植被空间配置类型。对比了每个场景中不同植被类型在10:00、14:00和17:00的平均降温效果,如图4所示。“大乔木+灌木”植被空间配置类型产生的降温效果最优,其次是“大乔木+草地”“小乔木+草地”“灌木”“草地”和“裸地”。

值得注意的是,“大乔木+灌木”“大乔木+草地”和其他植被空间类型之间的平均降温效果差异特别大。在10:00和14:00的时候,“小乔木+草地”“灌木”“草地”和“裸地”均呈现升温的现象,在1.5 m处并不会出现降温,由于没有遮荫物的遮挡,

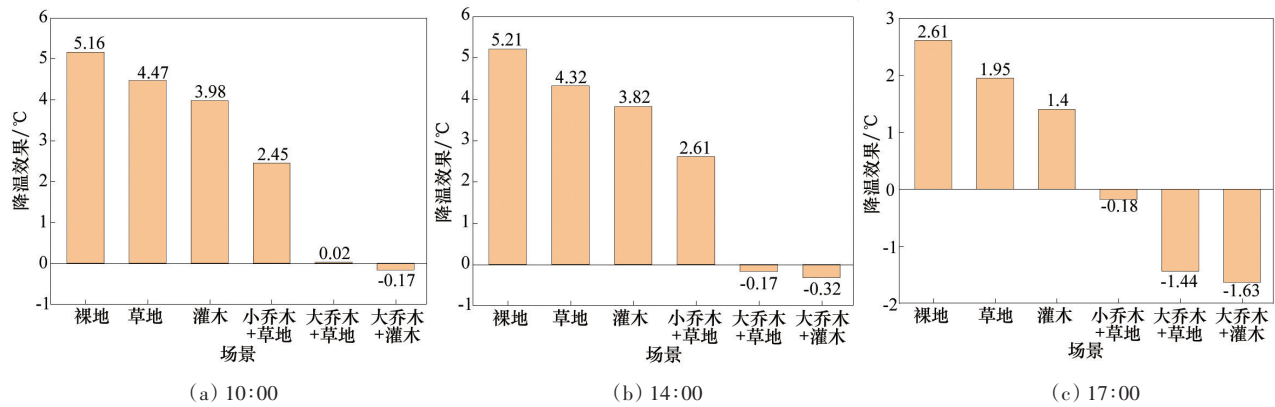


图4 不同植被类型在块状绿地(50 m×50 m)空间配置的降温效果

太阳直射,导致热辐射处于累积的状态,并且不断向空气散发热量,于是气温升高。相比之下,其他4种植被类型之间的差异不够明显。“大乔木+灌木”呈现了最佳的降温效果,在3个时间段均带来降温效应,分别降低0.17、0.32和1.63℃。“大乔木+草地”在14:00降低了0.17℃,在17:00降低了空气温度1.44℃,而在10:00提高了0.02℃。“小乔木+草地”在10:00和14:00均呈现升温的效应,仅在17:00点呈现降温的效应,降低了0.18℃。这些结果表明,在考虑植被类型对降温效果的影响时,植被冠层是最有效的因素,直接阻挡太阳辐射,从而减少热量。

另外,在没有植被冠层遮挡的情况下,叶面积指数越高的植被空间配置类型降温效果越好。例如,灌木的降温效果会比草地更好,由于灌木的叶面积指数更高,树叶直接相互交织导致形成更多的阴影和具有更好的蒸腾效应。在没有冠层明显差异的情况下,随着叶面积指数的增加,植被的降温效果增强<sup>[21-22]</sup>。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

通过ENVI-met软件对福州城郊森林公园不同植被空间配置类型进行模拟,分析了“裸地”“草地”“灌木”“小乔木+草地”“大乔木+草地”“大乔木+灌木”6种植被空间配置类型在3个不同时段对周围局部环境的降温效果。主要得出结论如下,(1)不

同植被空间配置类型对微气候的影响存在显著的差异,复合型植被空间类型的降温效果明显优于单一的植被空间配置类型。(2)“大乔木+草地”“大乔木+灌木”的降温效果最优,“小乔木+草地”的降温效果次之,“裸地”“草地”“灌木”的降温效果最差。(3)草地和灌木对上空的局部温度无法形成降低效应。草地和灌木无法提供遮荫面,太阳辐射持续照射,热量会持续累积,无法达到降低局部空气温度的效果。(4)植被空间配置的碎片化程度会影响降温效果。当植被类型为高大乔木时,空间配置的碎片化程度越高,降温效果越会显著地下降;而当植被类型为草地或灌木时,空间配置的碎片化程度越高,降温效果越不显著。

乔木在植被的空间配置中扮演着重要的角色,由于乔木具有较大的叶面积指数,遮荫作用主要体现在树木冠层对太阳辐射形成遮挡,防止热辐射直射地表,进而形成良好的局部降温效果。而灌木和草地,无法产生遮荫作用,太阳辐射可以直达地面,因此对降低温度的效果比较有限。此外,乔木、灌木和草地都具有蒸腾作用,通过蒸散水气到空气里,实现热交换,增加空气湿度,进而降低周围的空气温度。

#### 3.2 建议

在当前我国推动“双碳”目标实现的背景下,森林公园具有巨大的发展潜力和责任。城市化进程中的碳排放问题日益凸显,森林公园可以通过生态系统服务的提供,助力“双碳”目标的实现。而城市热岛效应是城市面临的普遍问题之一,良好的植被

空间配置可以显著缓解这一问题。通过树木的遮荫作用和蒸腾作用,森林公园有效地降低了地表温度,改善了热环境,进而降低碳排放。植被配置不仅需要注重数量和密度,更需要考虑植被不同空间配置类型对降温效果的影响。通过此次研究,对森林公园植被的精细化更新与营造提出如下建议。

1) 重视乔木在森林公园中所扮演的降温角色。乔木具有良好的遮荫效果和蒸腾作用,降温效果良好。同时乔木可以创造阴凉的林下空间,为游人提供极佳的避暑休憩地;在森林公园植被营造过程中,应尽量选择冠层开阔的高大乔木,进而提供良好的局部降温效果。

2) 重视植被的空间层次搭配。例如,“乔木+灌木+草地”复合模式,可以极大地提高降温效果,植被的叶片之间相互交织,可以阻挡太阳辐射,并且植被的聚集度越高,局部降温效果越好,可以创造舒适的热环境。

3) 针对乔木聚集的绿化区域,减少其空间碎片化程度,保护好乔木组团形态。因为乔木的聚集度越高,对降温的效果越好;而对于草地和灌木植被空间类型,碎片化程度的增高,对降温效果并无太大的影响,在一定范围内可以适当采用碎片设计方式去营造草地和灌木。

### 参考文献(References)

- [1] 党的二十大报告全文公布[EB/OL]. [2023-10-26]. <https://www.163.com/dy/article/HKKPC6CT0514G4F8.html>.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府.住房和城乡建设部“国家发展改革委关于印发城乡建设领域碳达峰实施方案的通知”[EB/OL]. [2024-01-25]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-07/13/content\\_5700752.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-07/13/content_5700752.htm).
- [3] 贾刘强,舒波.城市绿地与热岛效应关系研究回顾与展望[J].中国园林,2012,28(4):37-40.
- [4] 寿亦莹,张大林.城市热岛效应的研究进展与展望[J].气象学报,2012,70(3):338-353.
- [5] Stewart I D, Oke T R. Local climate zones for urban temperature studies[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2012, 93(12): 1879-1900.
- [6] Yang L, Qian F, Song D X, et al. Research on urban heat-island effect[J]. Procedia Engineering, 2016, 169: 11-18.
- [7] 胡欣雨.南阳市主城区热岛效应及绿地降温作用研究[D].福州:福建农林大学,2022.
- [8] Cui Y P, Xiao X M, Doughty R B, et al. The relationships between urban-rural temperature difference and vegetation in eight cities of the Great Plains[J]. Frontiers of Earth Science, 2019, 13(2): 290-302.
- [9] 倪黎,沈守云,黄培森.园林绿化对降低城市热岛效应的作用[J].中南林业科技大学学报,2007,27(2):36-43.
- [10] 兰思仁,戴永务,沈必胜.中国森林公园和森林旅游的三十年[J].林业经济问题,2014,34(2):97-106.
- [11] 戴忠炜,吴姝婷,程惠珊,等.城郊森林公园植被对夏季微气候的影响:以福州国家森林公园为例[J].中国城市林业,2018,16(6):1-5.
- [12] Dimoudi A, Nikolopoulou M. Vegetation in the urban environment: Microclimatic analysis and benefits[J]. Energy and Buildings, 2003, 35(1): 69-76.
- [13] 王爱霞,任光淳,秦亚楠.半干旱区城市广场树木形态对微气候的影响研究[J].风景园林,2020,27(7):100-107.
- [14] Spangenberg J, Shinzato P, Johansson E, et al. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of são Paulo[J]. Revista Da Sociedade Brasileira De Arborização Urbana, 2019, 3(2): 1.
- [15] Yang Y J, Gatto E, Gao Z, et al. The “plant evaluation model” for the assessment of the impact of vegetation on outdoor microclimate in the urban environment[J]. Building and Environment, 2019, 159: 106151.
- [16] 张明娟,卫笑,苏晓蕾,等.南京市不同结构植物群落在冬夏两季的微气候调节作用[J].生态学杂志,2019,38(1):27-34.
- [17] 曹辉,兰思仁.福州国家森林公园森林景观游憩效益评价[J].林业经济问题,2001,21(5):296-298.
- [18] 徐欢,朱珈仪,李红.基于ENVI-met模拟的城市校园绿地夏季微气候适应性优化设计[J].现代城市研究,2023,38(7):101-106,114.
- [19] 庄莉娟,蔡莞镔,祁娟娟.基于ENVI-met的福州大学校区冬季热环境模拟与热舒适度变化分析[J].气象与

- 环境学报, 2021, 37(6): 44-52.
- [20] 杨小山. 室外微气候对建筑空调能耗影响的模拟方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [21] Zhang R F. Cooling effect and control factors of common shrubs on the urban heat island effect in a southern city in China[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 17317.
- [22] Rahman M A, Stratopoulos L M F, Moser-Reischl A, et al. Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis[J]. Building and Environment, 2020, 170: 106606.

## Impact of forest park vegetation spatial configuration on cooling effect under Double Carbon Target: Taking Fuzhou Forest Park as an example

LIU Donglan<sup>1</sup>, DAI Zhongwei<sup>2</sup>

1. Horticulture and Garden Institute of Fujian Agriculture Vocational and Technical College, Fuzhou 350002, China
2. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai, 200092, China

**Abstract** Taking the forest park located on the outskirts of Fuzhou, a typical high-density city on the southeast coast, as an example, this study used ENVI-MET software to simulate and analyze the impact of different vegetation spatial configuration types on the cooling effect, aiming to propose useful strategies to improve the cooling effect of forest park vegetation. The correlation between different vegetation spatial configurations and cooling effects was systematically clarified, 18 idealized scenarios were designed, and the microclimate model ENVI-MET was used for simulation analysis. These 18 scenes represent 3 vegetation spatial configuration types with different degrees of fragmentation (blocky green space, sparse point green space, dense point green space) and 6 vegetation types (bare land, grassland, shrub, small tree + grassland, large trees + grass, large trees + shrubs). The results show that large trees are an important factor affecting the cooling effect while grass and shrubs do not cause cooling of the surrounding air due to the reason of thermal radiation accumulation. In addition, the higher the degree of fragmentation of the spatial configuration type of tree vegetation, the lower the cooling effect will be, while the effect of spatial configuration types of grassland and shrub vegetation is not significant. It is further concluded that in the process of vegetation construction and management of forest parks, attention should be paid to the cooling effect of trees, at the same time, the fragmented design of space for tree clusters should be avoided, allowing the clusters of trees to be highly concentrated.

**Keywords** Double Carbon target; vegetation spatial configuration; cooling effect; ENVI-met; forest park ●



(责任编辑 王微)