

# 基于无人机影像的华南农业大学不同下垫面地表降温效益研究

The Cooling Amplitude of Different Surface Underlying Surfaces in South China Agricultural University Based on Unmanned Aerial Vehicles Images

黄婷 孙思 唐光大\*

HUANG Ting, SUN Si, TANG Guang-da\*

**摘要:** 以华南农业大学校园为研究对象, 通过携带热成像传感器的无人机, 获取了校园中心区域不同下垫面的热成像图片, 分析不同下垫面的日地表温度变化, 探讨其地表降温效果的影响因素。结果表明, 一天中总体降温幅度从大到小的下垫面依次为水体、林地、乔-灌-草绿地/乔-草绿地、道路、建筑, 水体和绿地尤其是林地的地表降温效益显著。林地的周长为0~600 m, 面积为0~7 000 m<sup>2</sup>时, 与林地的地表降温幅度呈正相关; 林地的周长面积比、景观形状指数、分维数与地表降温幅度呈负相关, 林地形状和边缘越简单, 形状接近圆形, 地表降温效益越好。

**关键词:** 校园绿地; 下垫面; 林地; 无人机遥感; 降温效益

**中图分类号:** TU986

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2641 (2023) 03-0052-04

**收稿日期:** 2022-06-17

**修回日期:** 2022-08-19

**Abstract:** Taking the campus of South China Agricultural University as the research object, thermal imaging images of different underlying surfaces in the central area of the campus are obtained through drones carrying thermal imaging sensors. The daily surface temperature changes of different underlying surfaces are analyzed, and the influencing factors of their surface cooling effect are explored. The results indicate that the underlying surface with the overall cooling amplitude from large to small in a day is water body, forest land, tree shrub grass green space/tree grass green space, road, building. Among them, the surface cooling benefits of water body and green space, especially forest land, are significant. When the perimeter of a forest land is between 0~600 m and the area is between 0~7 000 m<sup>2</sup>, they are positively correlated with the surface cooling amplitude of the forest land. The perimeter area ratio, landscape shape index and fractal dimension of forest land are negatively correlated with the magnitude of surface cooling. The simpler the shape and edge of forest land, the closer the shape is to a circular shape, and the better the surface cooling efficiency.

**Key words:** Campus green space; Underlying surface; Woodland; UAV remote sensing; Cooling efficiency

在城市化越来越快的今天, 城市“热岛效应”受到广泛关注<sup>[1]</sup>, 对城市热环境的研究也越来越多。校园舒适环境对学生和教职工的身心健康和学习工作效率具有重要影响。而在极端炎热气候的情况下, 如何优化校园热环境显得尤为关键。本文拟通过研究华南农业大学不同下垫面类型的地表降温效益, 为校园热环境的优化提供科学依据。

测量地面热环境的方法主要包括地面气象站观测法、定点现场观测、移动样带法、数值模拟法和卫星遥感监测法<sup>[2]</sup>。气象站观测容易受到站点

数量和分布、站点间的距离等差异影响<sup>[3]</sup>; 定点现场观测工作量大, 并且仅能获取局部数据<sup>[4]</sup>; 移动样带法在时间上不同步, 且花费时间长<sup>[5]</sup>; 数值模拟法无法代替真实的环境<sup>[6]</sup>; 卫星遥感法容易受到天气影响, 并且周期长, 分辨率低, 不适用于中小尺度空间的研究<sup>[7]</sup>。近年来, 有研究利用无人机提取三维绿量<sup>[8-10]</sup>、城市绿地信息<sup>[11-12]</sup>等, 或利用搭载热红外相机的无人机分析地表温度的日变化与月变化<sup>[13]</sup>。无人机受天气影响小, 分辨率高, 精度为0.1 m, 操作较为简单, 获取数据方便快捷, 周期短,

提高了测量效率, 同时可获取不同下垫面的地表温度数据, 并且差异结果清晰直观, 对获取城市绿地的热环境数据有极大帮助。虽然无人机热红外遥感在获取地表温度时精度会受到高度的影响, 但在100 m以下的误差较小, 且反射强的人工下垫面的获取数据精度高于自然下垫面的<sup>[14]</sup>。本文将通过使用无人机在100 m高空获取高精度影像数据, 结合地理信息系统(GIS)技术和热红外成像技术, 对华南农业大学不同下垫面类型的地表降温效益进行分析和比对, 研究影响因素, 以期校园绿地的空

间布局、大小和形状等生态规划和设计提供参考。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究地概况

华南农业大学位于广东省广州市，属南亚热带季风气候，具有光照充足、多雨、温差小的气候特点。其有“园林式大学”的美誉，校园植物丰富，主要园林植物共有 223 种<sup>[15]</sup>。本次研究选取华南农业大学校园中心区域为研究对象，包括行政楼区域、嵩山教工住宿区、六一教工住宅区、树木园和果园等，拍摄总面积为 61 hm<sup>2</sup>。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 无人机影像获取

使用大疆 Mavic 2 行业双光进阶版热成像无人机于 2022 年 4 月，选取天气晴朗微风的日子，于 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00 进行拍摄，重复 3 次。拍照模式为等时间间隔拍摄，拍摄时长为 25 min，飞行高度 100 m，起飞速度为 15 m/s，航线速度为 15 m/s，边距为 20 m，航向重叠率为 80%，旁向重叠率为 70%。平均每个时间点共可获取约 250 张照片，可见光和热红外照片各一半，共获取 6 237 张照片。其中可见光照片像素分辨率为 8 000 × 6 000，热红外照片像素分辨率为 640 × 512。

#### 1.2.2 影像图处理

所获取的影像利用 Pix4Dmapper 进行拼接，分为可见光和热红外 2 个部分。将每个时间段的热红外影像进行拼接，获得反射影像 (Reflectance Map)，将可见光影像拼接，获得数字正射影像 (Digital Orthophoto Map, DOM)。在大疆的热成像分析软件 DJI Thermal Analysis Tool 中对热红外图片进行信息查询，读取每张图片最高地表温度和最低地表温度。

在 ArcGIS 中对反射影像图进行处理，将不同温度波段分别提取出来，用栅格计算器合成一个波段，再用栅格计算器代入温度的最大值和最小值进行换算，可得到地表温度灰度图。将灰度图与拍摄所得的可见光图进行地理配准，利用“值提取到点”工具获取地表温度数据。

### 1.3 样地选择和温度数据提取

在数字正射影像内选取 17 个样地和 1 个对照区作为分析对象 (表 1, 图 1)。对照区是无植被遮挡且远离水体的硬质铺装空地，避免了水体和遮荫造成的误差。对于每个样地和对照区，在东、南、西、北、中 5 个位置中各选 3 个点获取地表温度数据，以 15 个点的地表温度平均值作为其地表温度。最后取相同下垫面类型的不同样地的平均地表温度，作为各下垫面类型的平均地表温度。

### 1.4 数据分析方法

为探究影响绿地地表降温的因素，选取了周长 ( $P$ )、面积 ( $A$ )、周长面积比 ( $PA$ )、景观形状指数

( $LSI$ )、还有分维数 ( $F_d$ ) 等指标，作为绿地几何特征的描述参数<sup>[16]</sup>。其中，周长、面积利用 ArcGIS 软件计算得出，周长面积比、景观形状指数和分维数利用以下公式计算得出。

$$PA = P/A \quad (1)$$

$$LSI = P / 2\sqrt{\pi A} \quad (2)$$

$$F_d = \frac{2 \ln \frac{P}{k}}{\ln A} \quad (3)$$

$PA$  指示绿地的平均几何形状。 $LSI$  最小值为 1，此时绿地形状为圆形，当绿地越接近圆形时， $LSI$  越接近 1。式 (3) 中， $k$  为常数，通常取值为 4<sup>[16]</sup>， $F_d$  的取值在 1~2， $F_d$  越接近 1，斑块边缘越简单，接近一条直线， $F_d$  越接近 2，斑块边缘越复杂。

此外，本文将地表降温强度定义为对照区与样地绿地之间的地表温度差值。

将不同下垫面的地表温度数据导入 Excel，生成图表，开展几何因素与地表降温幅度之间的相关性分析。



图 1 研究区正射影像与样地分布

## 2 结果与分析

### 2.1 不同下垫面类型的地表温度变化

在7个时间点中,林地、乔-灌-草绿地和乔-草绿地区域在反射影像图中的颜色均为黄色或绿色,地表温度较低,说明植被可降低地表温度,降温效益明显,且地表温度越高,绿地地表降温幅度越大。在10:00—20:00,建筑、道路和对照区的地表温度和降温强度均比其他下垫面高。8:00—12:00,建筑与道路地表温度上升,12:00—20:00地表温度下降,地表升温和降温速率也大于其他下垫面(图2)。乔-草绿地与乔-灌-草绿地的地表温度差异较小。8:00—10:00,乔-灌-草绿地的地表温度略高于乔-草绿地;10:00—12:00,乔-草绿地的地表升温速率大于乔-灌-草绿地,在12:00二者的地表温度差为1.4℃;14:00—20:00,这两类下垫面的地表温度都逐渐下降。而林地的地表温度在白天低于乔-灌-草绿地和乔-草绿地,在8:00—10:00下降了2.43℃,10:00—12:00上升速率为3.4℃/h。林地的地表温度在一天之中稳定在25℃左右,林地是地表温度波动幅度小的绿地类型。水体的地表温度在一天中保持在25℃左右,但在夜间地表温度上升了约3.0℃。

### 2.2 不同下垫面类型降温效益比对

不同下垫面类型在一天之中的总体降温幅度从大到小为水体、林地、乔-灌-草绿地/乔-草绿地、道路、建筑。在8:00,绿地下垫面的降温幅度大小接近一致。12:00—16:00,下垫面降温幅度从大到小依次为水体、林地、乔-灌-草绿地/乔-草绿地、道路、建筑。在18:00—20:00,下垫面降温幅度从大到小依次为乔-灌-草绿地、乔-草绿地、林地、水体、道路、建筑。绿地下垫面和水体的降温幅度大小均在14:00达到峰值(图3)。

### 2.3 林地降温影响因素分析

分析7个林地样地(表2)的形状对其地表降温效果的影响,结果表明,7个林地的周长和面积与其地表降温幅度之间的关系并非是简单的线性关系,林地的周长为0~600m时,与其地表降温幅度呈高度正相关( $0.8 \leq |R| < 0.95$ ,  $R > 0$ ,图4),周长越大,地表降温效益越明显。林地的面积为0~7000m<sup>2</sup>时,与其地表降温幅度呈中度正相关( $0.5 \leq |R| < 0.8$ ,  $R > 0$ ,图5),面积越大,地表降温效益越明显。但是林地的周长和面积超过一定的范围后,林地的地表降温效益不一定会随着两者的增加而增大。林地的周长面积比、景观形状指数、分维数与其地表降温效益呈低度负相关( $0.3 \leq |R| < 0.5$ ,  $R < 0$ )。周长面积比和景观形状指数是林地斑块形状的重要参数,当周长面积比、分维数和景观形状指数越低,绿地形状和边缘越简单,形状接近圆形,绿地斑块的地表降温效益越好。

表1 样地与对照区基本信息

	序号	下垫面类型	面积 /m <sup>2</sup>
对照区	A	硬质铺装	929.16
	B、C	乔-草绿地	8 105.09
	D、E	乔-灌-草绿地	5 036.24
样地	F、G、H、I、J、K、L	林地	62 687.97
	M、N	水体	11 574.32
	O、P	道路	1 288.50
	Q、R	建筑	13 487.90

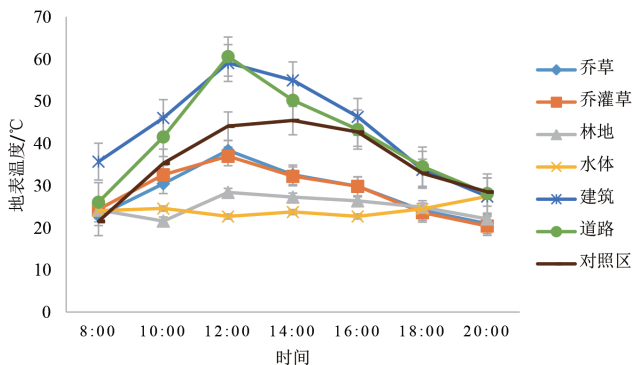


图2 不同下垫面类型在各时间点的地表温度

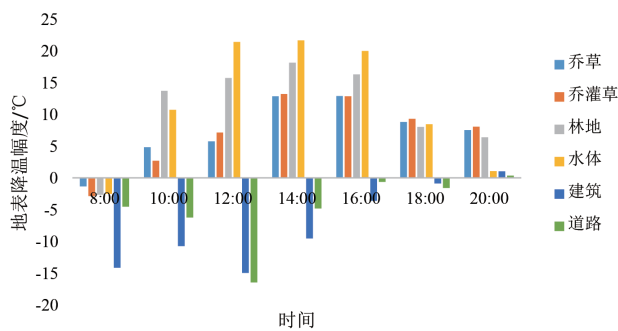


图3 不同下垫面类型在各时间点的降温效益

表2 研究林地的几何特征参数

序号	下垫面类型	周长 /m	面积 /m <sup>2</sup>	PA	LSI	F <sub>d</sub>
F	林地	248.90	3 667.57	0.07	1.16	1.006
G	林地	445.67	4 070.30	0.11	1.97	1.134
H	林地	573.89	5 568.82	0.103	1.67	1.152
I	林地	186.43	1 554.99	0.12	1.33	1.045
J	林地	516.87	6 860.48	0.07	1.76	1.101
K	林地	277.38	2 744.65	0.10	1.49	1.071
L	林地	1 290.78	60 438.83	0.02	1.48	1.049

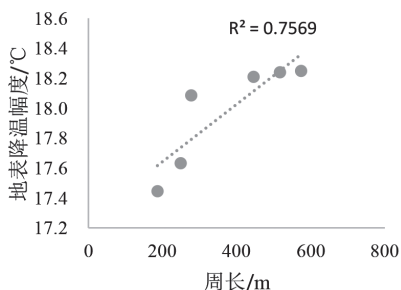


图4 前6个林地周长与降温之间的相关性

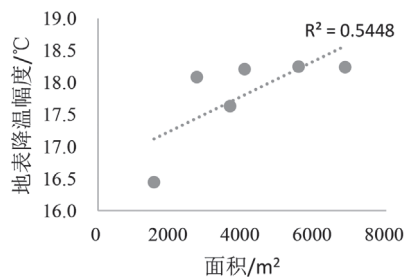


图5 前6个林地面积与降温之间的相关性

### 3 结论与讨论

不同下垫面类型在一天之中的地表温度变化从大到小依次为建筑、道路、乔-草绿地/乔-灌-草绿地、林地、水体。水体的温度在一天中最稳定，变化幅度最小，在晚上20:00左右温度略有上升。各绿地类型中，林地地表降温效果最佳，在白天温度越高的时间段地表降温效益越好，地表温度最稳定。林地的周长面积比、景观形状指数和分维数与林地的降温效益呈负相关性，林地的形状越接近圆形，边缘越规则，林地斑块的地表降温效益越好。在本研究中，面积为1 000~7 000 m<sup>2</sup>的林地，面积每增加1 000 m<sup>2</sup>，地表降温约0.3 °C；然而面积超过60 000 m<sup>2</sup>的树木园林地的地表降温效益并没有比其他面积较小林地的明显，甚至在夜间地表温度略有上升，说明林地在一定面积范围内降温效果明显，但并非面积越大，地表降温效果越好。基于水体和绿地尤其是林地的地表降温效益显著的结论，笔者建议在城市规划和建筑设计中，应注重增加绿化和水面面积，减少裸地和建筑密度，以达到缓解热岛效应、改善城市环境的目的。

此外，本文在研究过程中采用了无人机影像和GIS技术相结合的方法，其具有操作简便、数据精度高、效率快等优点，可以为城市中小尺度热环境提供一种有效的研究途径。无人机技术的应用不仅可以提高地表温度的测量精度和效率，还可以为城市

规划和建筑设计提供更多的数据支持。因此，在城市规划中应加强对无人机技术的应用和发展，将其作为一种重要的数据采集手段和分析工具。但无人机技术在实际应用中也存在一些限制，如无人机影像的采集和处理需要一定的技术和设备支持，需要一定的成本；同时，数据的分析和解释也需要一定的专业知识和技能。因此，在应用方法时需要权衡成本和效益，根据具体的需求和条件选择合适的方法和工具。

致谢：感谢广州沛森园林景观设计有限公司赞助本研究使用的大疆 Mavic 2 行业双光进阶版热成像无人机。

注：图片均为作者自绘自摄

#### 参考文献：

- [1] 黄焕春, 严思平. 城市热岛效应研究热点与前沿的可视化分析——基于CiteSpace聚类分析[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2021, 20(6): 94-110.
- [2] 肖荣波, 欧阳志云, 张兆明, 等. 城市热岛效应监测方法研究进展[J]. 气象, 2005(11): 4-7.
- [3] 王喜全, 王自发, 郭虎. 北京“城市热岛”效应现状及特征[J]. 气候与环境研究, 2006(5): 627-636.
- [4] 吴菲, 李树华, 刘娇妹. 城市绿地面积与温湿效益之间关系的研究[J]. 中国园林, 2007, 23(6): 71-74.
- [5] 范舒欣, 李坤, 张梦园, 等. 城市居住区绿地小微尺度下垫面构成对环境微气候的影响——以北京地区为例[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(10): 100-109.
- [6] 张常旺, 孟飞, 于琦人. 基于ENVI-met的校园热环境数值模拟研究[J]. 山东建筑大学学报, 2018, 33(3): 50-55.
- [7] 仇宽彪, 张慧, 高吉喜, 等. 上海城市林地斑块冷岛效应的城乡梯度变化[J]. 生态学杂志, 2021, 40(5): 1409-1418.

2021, 40(5): 1409-1418.

[8] 陈菽, 李卫正, 孔文丽, 等. 基于低空高分辨影像的三维绿量计算方法——以南京林业大学校园为例[J]. 中国园林, 2015, 31(9): 22-26.

[9] 周雯慧. 基于无人机遥感技术的沈阳某高校三维绿量量化研究[D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2018.

[10] 罗嘉贝, 周莹菲, 冷寒冰, 等. 基于无人机影像的城市复杂三维绿量快捷估算——以上海植物园为例[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2022(1): 122-134.

[11] 吴卓恒, 徐霞, 陶帅. 基于无人机影像的城市绿地提取分析[J]. 四川林业科技, 2019, 40(6): 65-70.

[12] 张敏霞, 梅丹英, 高伟俊, 等. 无人机遥感技术在城市绿地监测中的应用进展[J]. 中国城市林业, 2019, 17(5): 5-11.

[13] 田慧慧, 冯莉, 赵瑞瑞, 等. 无人机热红外城市地表温度精细特征研究[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(3): 553-563.

[14] 金蓉, 赵立华, 郑林涛, 等. 无人机低空热红外遥感观测高度对地表温度反演的影响[J]. 建筑科学, 2022, 38(2): 89-98.

[15] 林月明. 《华南农业大学校园植物组成与利用分析》翻译报告[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.

[16] 秦仲. 北京奥林匹克森林公园绿地夏季温湿效应及其影响机制研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.

#### 作者简介：

黄婷/1997年生/女/江西赣州人/华南农业大学林学与风景园林学院(广州510642)/在读硕士研究生/专业方向为风景园林植物

孙思/1980年生/男/重庆人/博士/华南农业大学林学与风景园林学院(广州510642)/副教授/硕导/研究方向为林业灾害遥感、林木与园林植物病害诊断与防治

(\*通信作者)唐光大/1982年生/男/贵州普安人/博士/华南农业大学林学与风景园林学院(广州510642)/副教授/硕导/研究方向为植物系统进化、森林植物资源、森林生态学/E-mail: tgd1101@126.com