

# 地表覆盖对局部环境热效应的贡献

郑焱, 李素艳, 孙向阳, 李啸冲, 周伟, 范志辉, 田琴

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

**摘要:** [目的] 分析3种下垫面(裸露砂壤土、红色摩奇覆盖和黄色摩奇覆盖)夏季(6—8月)的地表温度和气温之间的变化规律,为减缓城市环境热效应和优选有机覆盖材料提供科学参考。[方法] 采用地表气象资料观测法,使用手持红外热像仪对3种下垫面的地表温度进行观测,同时记录实时温湿度仪的气温数据;分析它们对局部环境热效应贡献的影响情况和变化特征。[结果] ①夏季3种下垫面的地表温度与气温变化较为同步,它们对局部环境热效应贡献大小依次为:裸露砂壤土>红色摩奇覆盖>黄色摩奇覆盖。②7月期间,摩奇覆盖虽然一定程度上减缓了热效应但不显著。6月和8月期间表现为黄色摩奇覆盖对热效应减缓作用显著,红色摩奇覆盖减缓作用不显著( $p<0.01$ )。③对3种下垫面地表温度和气温进行回归分析,发现它们之间存在很明显的线性关系( $R^2>0.95$ ),可利用模型检验预测下垫面地表温度。[结论] 对城市环境中土质较差且难以形成绿地的裸露砂壤土采取有机覆盖措施,可减缓夏季局部环境的热效应,建议选择黄色等浅色覆盖材料。

**关键词:** 覆盖; 热效应; 下垫面; 裸露砂壤土; 有机覆盖材料

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2020)04-0199-05

**中图分类号:** S731.2

**文献参数:** 郑焱, 李素艳, 孙向阳, 等. 地表覆盖对局部环境热效应的贡献[J]. 水土保持通报, 2020, 40(4): 199-203. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.04.027; Zheng Yi, Li Suyan, Sun Xiangyang, et al. Contribution of land mulching to local environmental thermal effects [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(4): 199-203.

## Contribution of Land Mulching to Local Environmental Thermal Effects

Zheng Yi, Li Suyan, Sun Xiangyang, Li Xiaochong, Zhou Wei, Fan Zhihui, Tian Qin

(College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** [Objective] In order to provide scientific references for mitigating urban thermal effect and optimizing organic mulch materials, effects of three kinds of land surfaces (bare sandy loam, red mulch, and yellow mulch) on local temperature during summer (June to August) were analyzed. [Methods] Using the surface meteorological data observation method, land surface temperature of the three underlying surfaces was measured with a handheld thermal image camera, and air temperature was recorded by a real-time thermohyrometer. The influence and variation characteristics of their contribution to local environmental thermal effect were analyzed. [Results] ① Temperature dynamics of local air and the three land surfaces were synchronized. Thermal effect on local environment was ranked in the following order: bare sandy loam > red mulch > yellow mulch. ② During July, the mulch moderated the thermal effect to some extent but not significantly. While both yellow mulch and red mulch could reduce heat, significant differences ( $p<0.01$ ) was only found with yellow mulch for the months of June and August, when compared to bare sandy loam. ③ Regression analysis to the surface temperature and air temperature of the three underlying surfaces indicated a linear relationship between land surface and air temperature ( $R^2>0.95$ ), and land surface temperature of the three materials could be predicted by model testing. [Conclusion] For urban areas where soil quality is poor and vegetation is difficult to establish, such as places with bare sandy loams, organic mulch can mitigate the thermal

收稿日期: 2020-04-02

修回日期: 2020-05-08

资助项目: 北京市科技计划课题“北京市绿地林地土壤质量提升关键技术与示范”(Z161100001116061); 北京市园林绿化局项目“有机覆盖物在园林绿化建设中的应用关键技术与示范”(HXLID-2019-037)

第一作者: 郑焱(1995—), 男(汉族), 河北省廊坊市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤资源与环境。Email: 1254572802@qq.com。

通讯作者: 李素艳(1968—), 女(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤生态的研究工作。Email: lisuyan@bjfu.edu.cn。

effect of the local environment in summer. It is suggested to choose yellow and other light color mulch materials.

**Keywords:** cover; thermal effect; land surface; bare sandy loam; organic mulch materials

随着全球气候变暖和城市化进程的加快,城市中水泥、沥青等不透水下垫面的增多,土地利用类型的改变,一步步加剧了城市的热岛效应<sup>[1-2]</sup>。热岛效应是城市化过程带来的一种生态环境效应,主要表现为城市温度高于相邻郊区温度,它严重影响了城市居民的生活环境<sup>[3]</sup>。一方面,当今城市环境中林地、绿地和水域面积不断减少,土地利用和覆盖的改变,加剧了热岛效应<sup>[4-5]</sup>。另一方面,城市环境中裸露土地面积不断增多。以北京市为例,2017年冬季五环以内裸土面积高达 99.33 km<sup>2</sup>,裸露现象极为明显<sup>[6]</sup>。这些裸露土地由于土壤紧实,缺少养分,不生杂草,更难以形成绿地,这也变相地加剧了热岛效应<sup>[7-8]</sup>。目前在城市环境中,多采用有机覆盖物这种生态型的“地膜”对裸露土壤进行覆盖,美化环境的同时也节约养护成本。虽然不少学者先后研究了常见下垫面(水泥地、草地和裸地等)地表温度的变化特征及热效应的贡献情况<sup>[9-10]</sup>,但至今还未有关于裸土有机覆盖后对局部环境热效应的变化研究。为此,本文将 2 种染色的有机覆盖材料铺设于城市园林中的部分裸露砂壤土,以未铺设的裸土为对照,通过气象资料观测法记录夏季(6—8 月)3 种下垫面地表温度和气温的变化,研究它们对局部环境热效应的贡献情况。旨在优化城市环境中裸土覆盖材料,改善下垫面热属性以及减缓局部环境热效应提供一定的参考。

## 1 研究区概况

试验区位于北京市海淀区圆明园遗址公园文源阁(地理坐标为 40°01'56"N,116°30'42"E)南侧的空旷裸露地块,试验区土壤物理、化学性质较差,几乎不生杂草。周边无高大乔木遮挡,面积约 1 600 m<sup>2</sup>,气候为温带季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,年平均降水量约为 630 mm,主要集中在 6—9 月,年平均气温约为 11.6 °C,最热月 7 月平均气温 25.9 °C。试验区土壤的质地名称为砂壤土<sup>[11]</sup>,各粒级土粒含量为:砂粒(1~0.05 mm)36.67%,粗粉粒(0.05~0.01 mm)39.04%,细黏粒(<0.001 mm)24.29%。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

有机覆盖物,英文为“mulch”,音译为“摩奇”,购于北京荔驰有机覆盖物公司,它以园林绿化产生的剩余有机物为原料,经过粉碎、杀虫灭菌、拉丝和染色加工后,得到的一种彩色有机覆盖材料,规格约为 5 cm

× 2 cm × 1 cm。铺设于裸露砂壤土的摩奇覆盖材料分为红色和黄色 2 种,采用美国环保、无毒植物颜料将其染色,是为了美化园林景观。

### 2.2 试验设计

2019 年 4 月,将 2 种颜色摩奇覆盖材料,分别铺设在试验区的部分裸露砂壤土,铺设厚度为 5 cm,对照为裸露砂壤土。每个区域面积约 500 m<sup>2</sup>且保持相近,最大程度地保证了观测尺度和气温的稳定。摩奇覆盖材料和覆盖试验区如图 1 所示。

### 2.3 研究方法

2.3.1 地表气象资料观测法 以下垫面的地表温度来反映对局部热效应的贡献程度<sup>[12-13]</sup>。

2.3.2 观测方法 气象观测时间为 2019 年 6—8 月期间的晴朗日子,具体时间为每天 09:15—16:45,测量间隔 30 min。具体观测方法为,随机选择较平整的下垫面,在离地面 1 m 高度处使用手持红外热像仪(型号 HT-02,浙江衢州艾普计量仪器有限公司,测量精度:0.1 °C)对其垂直拍照,记录其温度,重复 5 次;同时记录对应时刻的气温,气温数据由距离试验覆盖区约 50 m 处的实时温湿度仪获得,由于距离较近,认定实时温湿度仪显示的气温与试验区气温相同,即各种因素影响下的混合气温。

2.3.3 数据分析处理 采用 Excel 2003 处理数据并绘制图表。用 SAS 8.0 进行单因素方差分析,不同处理间多重比较采用 Tukey 法,并用字母法进行标记( $p < 0.01$ )。用 R 语言对 3 种下垫面地表温度与气温变化建立一般线性模型。

## 3 结果与分析

### 3.1 夏季(6—8 月)3 种下垫面地表温度和气温的日均温度变化情况

由表 1 可以看出,夏季 3 种下垫面地表日均温极显著地高于日均温( $p < 0.01$ ),对局部环境产生了较强的热效应。3 种下垫面在吸收了等量的太阳辐射后,地表日均温越高就说明对局部环境热效应的贡献越大,其贡献大小依次为:裸露砂壤土 > 红色摩奇覆盖 > 黄色摩奇覆盖。具体来看,6 月份 3 种下垫面地表日均温分别比日均温高了 15.3、13.2 和 11.3 °C,7 月份为 18.6、17.6 和 15.8 °C,8 月份为 17.1、15.5 和 13.3 °C。7 月由于气温最高,太阳辐射强,导致 3 种下垫面地表日均温之间差异并不显著( $p < 0.01$ );而 6 和 8 月期间,裸露砂壤土的地表日均温虽然极显

著地高于黄色摩奇覆盖的地表日均温,但与红色摩奇覆盖的地表日均温之间的差异不显著( $p < 0.01$ ),说

明红色摩奇覆盖虽然一定程度上减缓了局部环境热效应,但不显著( $p < 0.01$ )。



摩奇覆盖材料



摩奇覆盖试验区

图1 摩奇覆盖材料和覆盖试验区

表1 试验区3种下垫面地表温度和气温

项目	日均温度/℃		
	6月	7月	8月
裸露砂壤土	49.2±1.4 <sup>A</sup>	53.5±1.6 <sup>A</sup>	49.9±1.0 <sup>A</sup>
黄色摩奇覆盖	45.2±1.4 <sup>B</sup>	50.7±1.6 <sup>A</sup>	46.1±1.0 <sup>B</sup>
红色摩奇覆盖	47.1±1.4 <sup>AB</sup>	52.5±1.6 <sup>A</sup>	48.3±1.0 <sup>AB</sup>
气温	33.9±1.4 <sup>C</sup>	34.9±1.6 <sup>B</sup>	32.8±1.0 <sup>C</sup>

注:数据为平均值±标准误;不同大写字母表示同列数据之间的差异性( $p < 0.01$ )。

### 3.2 夏季(6—8月)不同时刻3种下垫面地表温度与气温的均值对比

如图2所示,夏季(6—8月)3种下垫面地表日均温度随气温升高而升高,在午后时刻达到峰值,之后随气温缓慢降低而降低,趋势较为同步;3种下垫面地表温度由高到低分别为:裸露砂壤土>红色摩奇覆盖>黄色摩奇覆盖。摩奇覆盖作为城市环境中裸露土壤的覆盖材料,应用后表现为降温效应,一定程度上减缓了局部环境的热效应。具体来看,通过3种下垫面6月份的地表日均温度变化曲线可以看出,最低温度出现在初始测量时间09:15,随后与气温同步、迅速上升,说明气温升高,太阳辐射增强,下垫面吸收太阳辐射也逐渐增温;14:15时裸露砂壤土地表温度达到峰值,为53.9℃,并保持到14:45;而14:45时,红色、黄色2种摩奇覆盖地表温度才达到各自的峰值,分别为52.9和50.1℃,出现了延迟效应;16:45时,3种下垫面的地表日均温度和气温逐渐回落。7月份,由于月平均气温这一主导因素的升高,太阳辐射极强,除了3种下垫面地表日均温度整体较高以外,其变化趋势与6月份相似;不同的是在14:15时3种下垫面地表日均温度都达到峰值,由高到低分别为59.6、58.7和56.6℃。8月,整体变化趋势与6和7月大致相

似,不同的是直至14:45时3种下垫面地表日均温度才达到峰值,由高到低分别为55.8、54.5、52.4℃。

### 3.3 夏季3种下垫面地表温度与气温变化的回归模型

6、7和8月分别对应的晴朗观测时间为26、19、22d。以气温为自变量,以下垫面地表温度为因变量,建立线性回归模型(见表2)。结果表明,夏季3种下垫面地表日均温度与气温均存在较为显著的线性函数关系。同时,回归方程的拟合度 $R^2$ 均大于0.95,拟合程度较高,其中7月份的拟合度 $R^2$ 大于0.99,拟合效果非常好。影响下垫面地表温度的因子多种多样,包括自身因素(材料组成、结构等)、气象因素(气温、降水等)以及其它复杂因素。在相同条件下,在已知气温数据的情况下,可以通过模型检验估算其下垫面的月均地表温度。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

城市环境热效应的产生是多种因素叠加导致,在局部环境条件下,地表覆盖改善了下垫面的热力学特征<sup>[14]</sup>,从而影响下垫面地表与大气的热交换作用,达到减缓局部环境热效应的目的。6月期间摩奇覆盖地表日均温度的峰值相比裸露砂壤土出现较晚,是因为裸露砂壤土中砂粒配比较高,使其热容量减小<sup>[15]</sup>,传导率和热扩散率大<sup>[16]</sup>,其接受充足太阳辐射后达到储热饱和,剩余热量向周围及大气上方扩散,通过热交换作用加剧了热效应<sup>[17]</sup>。相反,摩奇覆盖材料属于生物质资源,热容量相对较大,热导率小,且铺设后材料之间未形成十分致密的结构,其内部孔隙反射了部分太阳辐射,导致了吸热滞后现象。这与历华<sup>[16]</sup>利用遥感技术发现裸土指数升高会导致城市热岛效应加剧的研究较一致,即土地利用与覆盖变化一

定程度上会改变城市环境的热效应。除此之外,还有一种可能性的原因是砂壤土持水能力较差,水分下渗较迅速,当土壤所持水分暴露在太阳辐射下,迅速蒸发,导致地表温度升高。而有机覆盖材料类似自然凋

落物,具有较强的持水能力,水分持续蒸发时间较长,阻碍了下垫面地表温度的上升。这与刘寒晓的研究比较相似,即使用透水性铺装材料可以让雨水发挥蒸发吸热的作用,从而减缓停车场的热效应<sup>[12]</sup>。

表 2 3 种下垫面地表温度与月均温的线性模型

月份	项目	裸露砂壤土 $y_1$	黄色摩奇覆盖 $y_2$	红色摩奇覆盖 $y_3$	样本数
6 月	气温( $x$ )	$y_1 = 3.232\ 9x - 60.618$	$y_2 = 3.216\ 9x - 64.069$	$y_3 = 3.451\ 3x - 69.533$	$n = 26$
	$R^2$	0.991 9	0.983 9	0.984 8	
7 月	气温( $x$ )	$y_1 = 2.883\ 3x - 46.740$	$y_2 = 2.846\ 8x - 48.238$	$y_3 = 2.947\ 5x - 49.990$	$n = 19$
	$R^2$	0.994 9	0.993 1	0.993 8	
8 月	气温( $x$ )	$y_1 = 3.191\ 7x - 55.558$	$y_2 = 3.347\ 8x - 64.553$	$y_3 = 3.35x - 62.371$	$n = 22$
	$R^2$	0.994 4	0.989 6	0.988 7	

注: $y_1$ ,  $y_2$  和  $y_3$ , 分别代表裸露砂壤土、黄色摩奇覆盖和红色摩奇覆盖的地表温度。

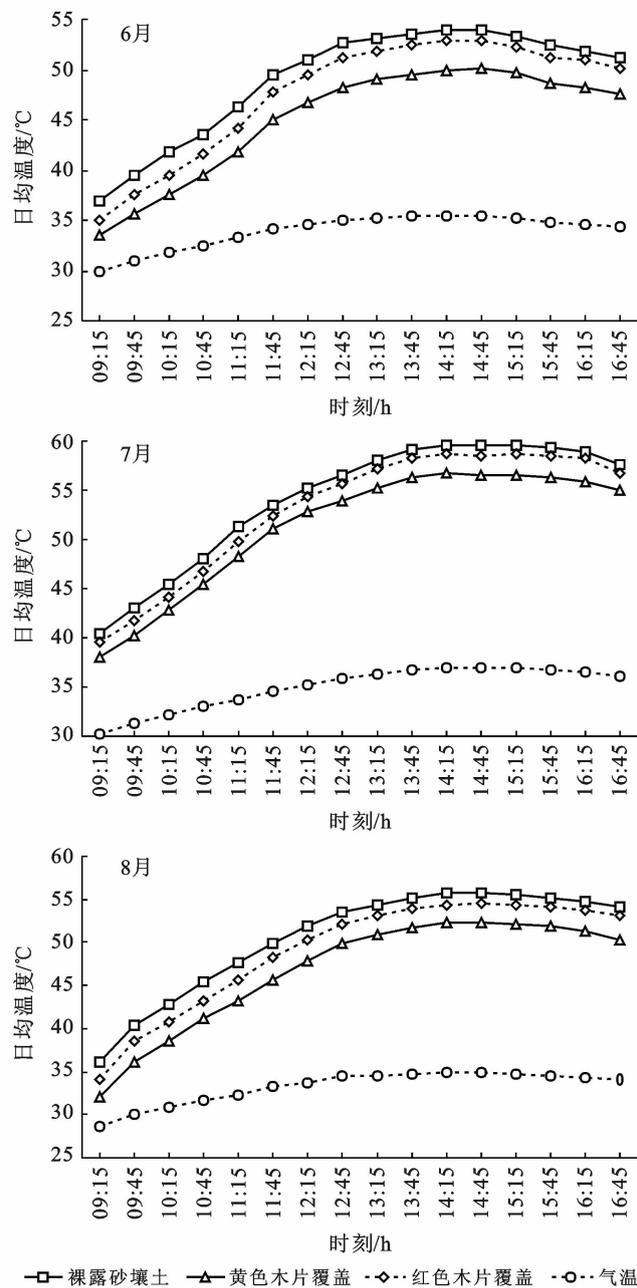


图 2 夏季不同时刻 3 种下垫面地表温度与气温的均值变化

红色摩奇覆盖的降温效果不如黄色摩奇覆盖,主要是由于红色摩奇覆盖材料对太阳辐射的吸收率大,反射率低<sup>[18]</sup>,在相同太阳辐射条件下,吸收了更多的热量。这与王大鹏等<sup>[19]</sup>的研究相一致,即刚修补过的深黑色沥青路面其地表温度要高于使用年限较长的浅黑色沥青路面,前者产生的热效应更大。此外,丁金才等<sup>[20]</sup>研究发现,上海部分地区屋顶和墙面的颜色多为暗黑色,吸收太阳辐射热量多且不易散发,从而导致局部热效应的产生。

裸露砂壤土经地表覆盖后,其下垫面介质发生改变,虽然材料之间具有复杂的空间分散性,但使用手持红外热像仪多点多次测定下垫面地表温度,可以根据红外热像照片分析区域内平均温度,使数据更加准确。摩奇覆盖材料源于园林自然凋落或人工修剪的剩余物,经粉碎、消毒、拉丝和染色加工后应用到城市环境中,可以起到改良土壤、抑制杂草和扬尘以及美化环境的积极作用。本研究之所以采用供应商提供的染色“摩奇”覆盖原料,是因为圆明园公园有景观需求,其生产的原木色原生覆盖材料属于浅色材料,在无景观需求的地方应进行推广。优化城市环境中铺装布局,合理改善下垫面介质结构,对减缓城市热岛以及可持续发展具有重要的现实意义<sup>[21-23]</sup>。

## 4.2 结论

(1) 夏季(6—8月)3种下垫面对局部环境热效应的贡献大小依次为:裸露砂壤土>红色摩奇覆盖>黄色摩奇覆盖,其中黄色摩奇覆盖对减缓局部环境热效应的效果最显著。3种下垫面地表温度与气温存在显著的线性回归关系,可通过一般线性模型来估算3种下垫面地表温度。

(2) 将城市园林环境中自然或人工修剪产生的剩余物简单加工,覆盖于土质较差且难以形成绿地的裸露砂壤土,起到减缓夏季局部环境热效应的作用,

综合考虑,黄色等浅色覆盖材料效果最佳,更能提升人们的舒适感。

#### [参 考 文 献]

- [1] 李昕瑜,杜培军,阿里木·赛买提.南京市地表参数变化与热岛效应时空分析[J].国土资源遥感,2014,26(2):177-183.
- [2] 杨小山,胡振宇,赵立华.生态型铺装系统热效应的研究现状与展望[J].建筑科学,2015,31(8):31-37.
- [3] 闫少锋,张金池,张波,等.2008年南京市热岛效应演变特征及其对城市居民生活影响[J].气象与环境学报,2011,27(1):14-20.
- [4] 刘勇洪,轩春怡,权维俊.基于卫星资料的北京陆表水体的热环境效应分析[J].湖泊科学,2013,25(1):73-81.
- [5] 江晓燕,张朝林,高华,等.城市下垫面反照率变化对北京市热岛过程的影响:个例分析[J].气象学报,2007,65(2):301-307.
- [6] 张骅,王心语,张骏达,等.北京地区五环内冬季园林绿地中裸土调研及其分布特征[J].中国水土保持科学,2017,15(2):79-84.
- [7] 邹明珠,王艳春,刘燕,等.北京城市绿地土壤研究现状及问题[J].中国土壤与肥料,2012,9(3):5-10.
- [8] 彭保发,石忆邵,王贺封,等.城市热岛效应的影响机理及其作用规律:以上海市为例[J].地理学报,2013,68(11):1461-1471.
- [9] 刘霞,王春林,景元书,等.4种城市下垫面地表温度年变化特征及其模拟分析[J].热带气象学报,2011,27(3):373-378.
- [10] 黄良美,黄海霞,项东云,等.南京市四种下垫面气温日变化规律及城市热岛效应[J].生态环境,2007,16(5):1411-1420.
- [11] 邓时琴.关于修改和补充我国土壤质地分类系统的建议[J].土壤,1986,18(6):304-311.
- [12] 刘寒晓,孙永康,张艳,等.草坪砖植草退化后对热效应的贡献变化[J].草业科学,2016,33(6):1077-1083.
- [13] 白杨,王晓云,姜海梅,等.城市热岛效应研究进展[J].气象与环境学报,2013,29(2):101-106.
- [14] 孙永康,刘寒晓,张艳,等.不同铺装材料地面停车场的热效应[J].水土保持通报,2014,34(1):144-148.
- [15] 李毅,邵明安,王文焰.质地对土壤热性质的影响研究[J].农业工程学报,2003,19(4):62-65.
- [16] 历华,曾永年,柳钦火.基于遥感的长沙市城市热岛与土地利用/覆盖变化研究[J].国土资源遥感,2008,20(4):47-52.
- [17] 曾胜兰.道路建设对成都市热岛效应的影响[J].生态环境学报,2014,23(10):1622-1627.
- [18] 彭少麟,周凯,叶有华,等.城市热岛效应研究进展[J].生态环境,2005,14(4):574-579.
- [19] 王大鹏,傅智,房建宏,等.太阳辐射对青藏高原不同路面类型表面热状况及其下伏多年冻土的影响[J].公路交通科技,2008,25(3):38-43.
- [20] 丁金才,张志凯,奚红,等.上海地区盛夏高温分布和热岛效应的初步研究[J].大气科学,2002,26(3):412-420.
- [21] 郭艳明.沥青路面材料吸放热测试方法及吸放热特性研究[D].陕西西安:长安大学,2010.
- [22] 孙顺杰,杨文颐,冯晓杰,等.彩色热反射隔热涂料的研制与性能研究[J].涂料工业,2013,43(4):17-22.
- [23] 杨小山,胡振宇,赵立华.生态型铺装系统热效应的研究现状与展望[J].建筑科学,2015,31(8):28-34.