

基于可持续发展减缓城市热岛效应的实验研究

王吉苹^{1,2}

(1. 厦门理工学院 水资源环境研究所, 福建 厦门 361024; 2. 厦门大学 环境与生态学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 提出了基于对城市低冲击开发影响(low impact development, LID)下的可持续发展策略思想, 通过对不同路面(花岗岩路面、水泥路面、透水路路面及草坪地面)和传统平屋顶与生态屋顶实地进行的地表温度监测对比实验, 定量地阐述了透水路路面、草坪地面及生态屋顶 LID 措施在缓解城市“热岛效应”方面的效能。结果表明, 透水路路面与草坪地面对地表降温较明显, 生态屋顶尤其是种植灌木的屋顶相对传统平屋顶降温显著。一天中随着时间的推移, 所有下垫面地表温度呈现由低到高, 再由高到底的抛物线趋势, 地表最高温度均出现在中午 12 点。平屋顶与花岗岩路面的升温速率最高, 草坪地面、透水路路面与生态屋顶升温速率较低。

关键词: 城市热岛; LID; 透水路路面; 生态屋顶; 草坪地面

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0100-04

中图分类号: X22

Experimental Study of Mitigation on Urban Heat Island Effect Based on Sustainable Development

WANG Ji-ping^{1,2}

(1. Institute of Water Resources and Environment, Xiamen University of Technology, Xiamen, Fujian 361024, China; 2. College of Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract: A sustainable development strategy was put forward based on low impact development (LID). An experimental study of surface temperature monitoring on spot was implemented through the different road surfaces (granite road, cement road, permeable pavement and green ground) with the traditional flat roof and ecological roof. The performances of permeable pavement, green ground, ecological roof and other LID measures to alleviate the urban "heat island" were quantitatively described. The experiment showed that permeable pavement and green ground could cool the surface temperature more obviously. Ecological roof, especially planting shrubs roof, brought a significant decrease in temperature, as compared with the traditional flat roof. As time goes on of the day, all the underlying surface temperatures showed a parabolic trend from low to high and then high to low, and the maximum surface temperature occurred at 12:00. The heating rates of flat roof and granite road were higher than those of green ground, permeable pavement and ecological roof.

Keywords: urban heat land; LID; permeable pavement; ecological roof; green ground

经济的迅速发展加快了城市化进程的步伐和建成区扩展的速度。伴随着城市的扩展, 区域的土地利用发生了巨大的变化, 大量绿地消失, 水域面积减少, 城市水泥建筑物和不透水铺装面积剧增。这些人工构筑物具有较小的比热容, 在相同的环境条件下, 比绿地或其他自然下垫面升温快, 且大气与土壤间无法进行水、气和能量交换, 因而其表面的温度明显高于自然下垫面, 形成了城市中以人工构筑物为中心的高

温区域, 这就是城市热岛效应^[1-3]。

目前, 对于城市热岛效应的强度、影响及分布情况的研究日趋完善^[4-7]。对于如何减缓热岛效应大多研究仅限于理论上, 例如增加绿地与水体面积等, 但是对于寸土寸金的城市, 真正开展这些措施存在很大困难。再者, 种植绿地与增加水体面积实地降温实验研究较少^[8]。本文基于可持续发展的理念, 提出了在尽量减少对环境的冲击和破坏前提下, 通过分散的、

收稿日期: 2012-08-02

修回日期: 2012-09-14

资助项目: 福建省教育厅科技项目(A类和B类)“采用LID型城市道路控制城市雨水与面源污染的研究”(JA10252), “基于RS与GIS减缓厦门市热岛效应与水源涵养的研究”(JB10144); 厦门市科技计划项目“城市水危机控制若干关键技术研究”(3502Z20110016); 中国科学院开放基金项目“城市化进程与九龙江流域水资源演化关系的研究”(KLUEH201109)

作者简介: 王吉苹(1980—), 女(汉族), 山东省济南市人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为环境科学与管理。E-mail: wangjp@xmut.edu.cn.

小规模源头措施达到对环境的最低影响,起到降低城市地表温度的作用,这就是低冲击影响开发策略(low impact development, LID)^[9]。这些措施包括了透水路面、小范围绿地、生态屋顶等。本研究通过对几种路面(花岗岩路面、水泥路面、透水路面及草坪地面)和传统平屋顶与生态屋顶的地表温度进行了实地监测对比实验,定量地阐述了透水路面、绿地及生态屋顶等 LID 措施在缓解城市热岛效应方面的效能。

1 实验方法

实验参照宋志斌等^[10]的方法,进行了停车场透水路面、花岗岩路面、水泥路面和草坪地面以及平屋顶与生态屋顶地表温度对比实验,以计量透水路面、小范围绿地和生态屋顶等 LID 措施在缓解城市热岛效应方面的成效。由于这些 LID 措施在降低地表最高温度时表现更为显著^[11],故在实验中主要进行了地表最高温度对比测定,只对逐时温度进行了 1 d 的跟踪测量对比。

1.1 研究区概况及实验场地

研究区位于福建省厦门市厦门大学思明校区校园内。受亚热带季风气候影响,厦门温和多雨,年平均气温约 21 °C,常年平均降雨量 1 315.2 mm。近 15 a 来,厦门全年平均气温呈上升趋势,尤其是厦门极端最高气温上升迅速,从 1989 年的 35.1 °C 上升到 2008 年的 39.2 °C,升幅达 4.1 °C。以上数据反映了厦门市热岛效应日益显著。

路面实验场地选定为厦门大学嘉庚楼群前花岗岩广场和附近的草坪地面,离广场不远处的逸夫楼前停车场透水路面及附近车道的水泥路面。嘉庚广场

随着嘉庚楼群于 2001 年建成,面积达 9 000 km² 多,广场均为荔枝面花岗岩石板铺砌;逸夫楼停车场采用透水的植草砖(也称草坪砖)铺设,由厦门大学资产处于 2003 年修建,共有 27 个车位。各路面监测点位均选取于无行道树覆盖地,因此可忽略树木遮荫的影响。

屋顶实验场地选择厦门大学国家传染病诊断试剂与疫苗工程技术研究中心建筑的生态屋顶(该建筑共 3 层,高约 9 m)。该生态屋顶由厦门市鑫盛海绿化工程有限公司负责设计修建,种植草皮和低矮灌木。结构从下到上:5—10 cm 厚的陶粒(有利于排水和保水)、一层无纺布、泥炭土与红土以及肥料的混合物、绿化植物。建筑荷载、植物种类选择、防水和排蓄水系统、灌溉系统等技术详细信息见参考文献^[12]的描述。

各场地距离较近,测定地面最高温度可忽略天气等因素的影响。各场地符合《地面气象观测规范》^[13]的规定。

1.2 实验仪器及安装

参照《地面气象观测规范》第 15 章关于地温测定方法规程,采用玻璃液体地温表和铂电阻地温传感器。本实验仪器采用从河北省气象厅购买的地面最高温度计,温度计所测温度为地表以上 1 cm 的地面温度。

1.3 实验数据测定及整理

数据测定按照《地面气象观测规范》中关于地温测定方法的要求进行。对于最高地表的温度,选取 2011 年夏季 8 月测量 1 周时间(8 月 22—28 日)不同路面及屋顶的最高地表温度。对于逐时温度,只在 8 月 24 日进行了 1 d 的测定。数据每次采样平行测量 3 遍,取平均值,测量数据经整理后如表 1—2 所示。

表 1 不同路面的地表最高温度

°C

不同路面	观测日期						
	0822	0823	0824	0825	0826	0827	0828
花岗岩路面	34.5	41	40.5	42	42	41.0	40.5
水泥路面	34.0	39	38.0	41	41	38.0	38.0
透水路面	33.0	39	37.0	38	36	36.5	36.5
草坪地面	31.0	37	36.0	36	35	36.0	35.0

表 2 不同屋顶的地表最高温度

°C

不同屋顶	观测日期						
	0822	0823	0824	0825	0826	0827	0828
平屋顶	34.0	42.0	40	41.5	40	40	38.0
生态屋顶(草坪)	31.5	36.0	36	37.5	37	36	35.5
生态屋顶(灌木)	29.0	34.5	33	31.0	33	33	34.0

2 结果与分析

2.1 不同路面的地表最高温度

从表 1 可以看出,花岗岩路面的地表温度最高,草坪地面对降低路面地表最高温度有着显著的效果,相对于花岗岩路面,降温幅度在 3.5~7 °C;透水路面次之,相对于花岗岩路面,降温幅度在 1.5~6 °C。不同路面在不同日期降温差异显著是因为 8 月 25—26 日 2 d 监测时间为大雨刚过,太阳重新出来,由于草地与透水砖的特殊透水结构,雨水能快速渗透到地表以下,从而大幅度降低近地面地表温度。水泥路面与花岗岩路面相比,地表温度稍低(0.5~3 °C),这可能是因为花岗岩相对于水泥路面质地更为坚硬紧密,完全不能通透地气。

2.2 不同屋顶的地表最高温度

从表 2 可以看出,不同屋顶的最高地表温度差异显著。平屋顶的地表温度最高,生态屋顶(草坪)次之,生态屋顶(灌木)最低。可见,在平屋顶上栽种灌木类植物,可有效降低地表温度,相对于平屋顶,降温幅度可达 4~10.5 °C。不同屋顶在不同日期降温差异显著,原因同上。

2.3 不同路面地表逐时温度对比测量实验

不同路面的地表温度变化规律基本相同(图 1),从图 1 可看出,随着时间的推移,地表温度呈现由低到高,再由高到底的抛物线趋势,不同路面的地表最高温度均出现在中午 12 点。

不同下垫面的温度变化幅度差异不大,如花岗岩路面 1 d 中的温差为 8 °C,草坪地面和透水砖路面的温差为 7 °C,水泥路面为 6.5 °C。在最高温度时,草坪地面与透水砖地面降温效果比较显著,比花岗岩路面温度依次低 4.5 °C 和 3.5 °C。

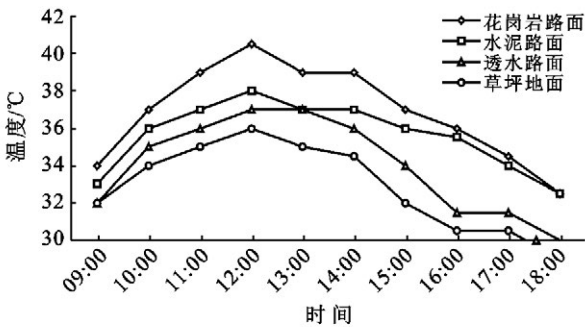


图 1 不同路面地表逐时温度

2.4 不同屋顶地表逐时温度对比测量实验

不同屋顶温度的变化趋势相同,由图 2 可见,上午开始,屋顶温度开始逐渐上升,至中午 12:00 达最高峰,此后温度逐渐下降。不同下垫面的温度变化幅

度有较明显差异,如平屋顶温度变化较剧烈,一天中的表面温差可达 8 °C,而生态屋顶(灌木)表面全天的温差只有 4 °C。

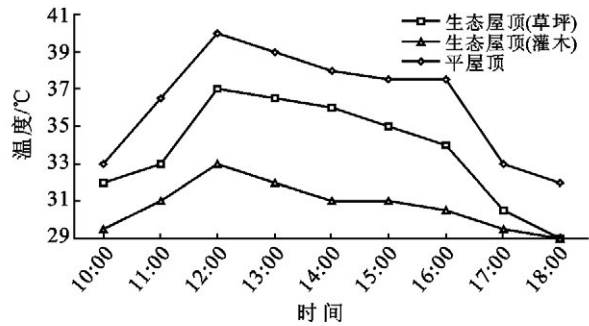


图 2 不同屋顶地表逐时温度

2.5 不同路面的升温速率

对各类路面温度变化曲线的升温段进行线性回归,曲线的斜率即下垫面的升温速率(表 3)。可以看出,花岗岩路面升温速率最高,透水路面和水泥路面升温速率次之,草地升温速率最低。以上说明,铺设透水路面和种植绿地可明显缓解城市的热岛效应。

表 3 阳光下不同路面升温速率比较

不同路面	花岗岩路面	水泥路面	透水路面	草坪地面
升温速率/(°C·h ⁻¹)	2.15	1.60	1.60	1.30
决定系数 R ²	0.98	0.91	0.91	0.97

2.6 不同屋顶的升温速率

对各类屋顶温度变化曲线的升温段进行线性回归,曲线的斜率即下垫面的升温速率(表 4)。可以看出,平屋顶升温速率最高,比花岗岩路面升温速率还快,说明对热岛效应的影响也最大;生态屋顶(草坪)升温速率次之,生态屋顶(灌木)升温速率最低。以上说明,生态屋顶相较传统的平屋顶,可明显缓解城市的热岛效应。

表 4 阳光下不同屋顶升温速率比较

不同屋顶	平屋顶	草坪屋顶	灌木屋顶
升温速率/(°C·h ⁻¹)	3.50	2.50	1.75
决定系数 R ²	1.00	0.89	0.99

3 结论

(1) 草坪地面、透水路面、生态屋顶与花岗岩路面、水泥路面、平屋顶相比确实具有降温效果,说明在条件允许的情况下,例如停车场、生活区活动场所、办公区域、路旁人行道等区域铺设大面积草坪、绿地、透

水砖和生态屋顶,在不改变原有都市道路布局的前提下,可营造美丽风景并通透地气,明显降低地面温度,减缓热岛效应。

(2) 在夏季降雨时,草坪地面与透水路面的降温效果比较明显,这是由于草坪与透水砖具有较大的透水性,雨水能迅速渗入地下,从而能较快地降低地表温度。

(3) 在日最高温度时,草坪地面与透水砖地面的降温效果相对显著一些。这是由于透水路面自身与外部空气及下部透水垫层相连通的多孔构造所致,透水砖地面内部及下部垫层中的水分可通过太阳辐射下的蒸发作用,使地表温度和近地层空气温度降低,草地亦然,而花岗岩路面、水泥路面与下部土体无法连通。

(4) 种植绿色植物与铺设透水路面缓解热岛效应是可行的,但要在 LID 理念的前提下,在适宜种植与铺装的区域就地插缝进行,不一定局限于铺设草地。可以考虑在街道中央种植绿色植物、栽种行道树形成绿色街道,在生活小区里营建小范围的雨水花园及铺设生态屋顶,达到一定规模时形成以 LID 措施为中心的低温区,这样可在低温区域与周围的高温区域之间形成温差,从而形成局地空气小环流,主动削减周围地段的热岛效应。

(5) 有必要在今后进一步开展长时间范围的降温实验,进一步获取不同下垫面区域的太阳辐射强度、地面辐射强度以及气温等更详细的参数,进一步量化 LID 措施在减缓城市热岛效应方面的效能。

[参 考 文 献]

- [1] Bründl W, Höpfe P. Advantages and disadvantages of the urban heat island; An evaluation according to the hygro-thermic effects[J]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1984,35(1/2):55-66.
- [2] Santamouris M, Paraponiaris K, Mihalakakou G. Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece[J]. *Climatic Change*, 2007,80(3/4):265-276.
- [3] 徐涵秋,陈本清.城市热岛与城市空间发展的关系探讨:以厦门市为例[J].*城市发展研究*,2004,11(2):65-70.
- [4] He Jianfeng, Liu Jiyuan, Zhuang Dafang, et al. Assessing the effect of land use / land cover change on the change of urban heat island intensity[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2007,90(3/4):217-226.
- [5] Gedzelman S D, Cermak R. Mesoscale aspects of the urban heat island around New York City[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2003,75(1/2):29-42.
- [6] Weng Qihao. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta China[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001,22(10):1999-2014.
- [7] Weng Qihao, Yang Shihong. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city[J]. *Journal of Environmental Management*, 2004,70(2):145-146.
- [8] Khaikine M N, Kuznetsova I N, Kadygrov E N, et al. Investigation of temporal-spatial parameters of an urban heat island on the basis of passive microwave remote sensing [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2006,84(1/3):161-169.
- [9] Dietz M E. Low Impact Development practices: A review of current research and recommendations for future directions[J]. *Water Air and Soil Pollution*, 2007,186(1/4):351-363.
- [10] 宋志斌,张梅芳,王保春.透水性混凝土路面砖减缓城市热岛效应的试验研究[J].*混凝土*,2008(6):94-95.
- [11] Akbari H, Pomerantz M, Taha H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas[J]. *Solar Energy*, 2001,70(3):295-310.
- [12] 刘保莉.雨洪管理的低影响开发策略研究及在厦门岛实施的可行性分析[D].厦门:厦门大学,2009.
- [13] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003:85-87.