

屋顶绿化缓解城市热岛效应的浅析

王 薇, 范义荣

(浙江农林大学 园林学院, 浙江 临安 311300)

摘 要:从分析城市热岛效应产生的原因入手,在考察城市热环境的特点和绿化植物的生命特征的基础上,指出屋顶绿化建设和研究应以发挥其最大生态价值为根本点,建设屋顶绿化的首要目标是增加绿化植物生物量;屋顶绿化植物的生态价值主要体现在其蒸腾能力;植物栽培位置应尽可能的遮盖有阳光直射的建筑表面;屋顶绿化生态效益的发挥潜力在于新型栽培技术的突破。

关键词:屋顶绿化;城市热岛效应;蒸腾;生态效益

中图分类号:TU 985.12⁺5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)10-0086-06

随着城市的不断扩张,引起了一系列城市化问题,其中热岛效应严重影响着城市居民的幸福指数。生态环境意识已经逐渐深入人心,绿色环保、节能减排、环境友好等理念也影响到了当代社会生产、生活、科研的方方面面。屋顶绿化不但可以增加城市绿地面积,还可以发挥植物的生态效应,减缓城市热岛效应,并且改善建筑屋面的热阻系数,延长屋顶寿命,因而在近年来得到了长足发展。

然而,目前我国有关屋顶绿化的研究和实践还存在着许多问题与不足,主要体现在以下几个方面:第一,缺乏有效的政策法规与资金的支持。我国现在出台的屋顶绿化相关政府管理性文件很少,且实施力度不够。比如深圳早在1999年就颁布了《深圳市屋顶美化绿化实施办法》,但至今无明显成效。北京市园林局表示,在北京进行屋顶绿化最大的困难在于没有相应政策性文件来指导该工作的进行。而在日本东京,法律明确规定凡新建建筑物占地面积达1 000 m²,其屋顶绿化面积必须达到20%^[1]。而且,由于没有明确的规定指明屋顶绿化的规划设计、建造施工和后期养护费用该由谁承担,大大影响了屋顶绿化的发展;第二,对屋顶绿化的认识不足。尽管近年来有一些专业的屋顶绿化公司在技术上日趋成熟,但由于缺乏统一规范和强有力的宣传,市民对屋顶绿化的意识和重视度不够,致使其推广缓慢。不少业主认为屋顶绿化与否无关紧要,有些认为对屋顶进行绿化改造不但要投资还要增加养护工作,也有人认为屋顶

第一作者简介:王薇(1985-),女,浙江舟山人,硕士,研究方向为园林植物应用与生态效益。E-mail: VIVI-WW78@hotmail.com。

责任作者:范义荣(1948-),男,本科,教授,现主要从事园林植物良种选育和应用与园林规划和城市林业及农村集镇园林建设方面的研究工作。E-mail: yr-fan@zjfc.edu.cn。

基金项目:浙江省科技重点资助项目(001102206)。

收稿日期:2011-02-22

Application of Zingiberaceae Plants and its Prospect

LU Guo-hui, WANG Ying-qiang

(Key Laboratory of Ecology and Environment Science in Guangdong Higher Education, Guangdong Provincial Key Laboratory of Biotechnology for Plant Development, College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631)

Abstract: This paper summarized the current situation of flowers application, including varieties and forms of flowers application, reproduction of the plants, management and available techniques for cultivating plants as well as the common disease and insect pests were introduced. Fifty-seven species that had been proposed to be of relatively high ornamental value were listed in this paper. At last, some suggestions about the further application and utilization of the wild Zingiberaceous plants were given.

Key words: Zingiberaceae; flowers; introduction; cut flower

绿化会引起屋顶漏水、裂缝等问题。只有使市民理解屋顶绿化带来的生态、社会和经济效益,才能带动屋顶绿化高速发展;第三,屋顶绿化技术水平落后。屋顶绿化在规划设计和施工技术上与地面绿化有很大区别,屋顶设计必须满足绿化要求,要有足够的承载力,确保防渗漏,并且具备完善的排灌设施。我国屋顶绿化起步晚,技术水平相对落后,这也是影响屋顶绿化推行与发展的关键因素;第四,屋顶绿化类型结构失调,植物选择有缺陷。当前我国的屋顶绿化建设主要集中在简单型屋顶绿化,多应用景天科植物,比如佛甲草、垂盆草等,而考虑到屋顶荷载等技术和资金问题,以乔灌木结合配植的复合型屋顶绿化相对较少,使得其生态效益得不到最大程度的发挥;第五,在屋顶绿化的生态环境效益评测方面,存在认识和设计偏差。许多研究者仅仅测量了有屋顶绿化的屋面和水泥屋面的夏季表面温度差,就简单的得出屋顶绿化能有效的降低建筑能耗和减缓城市热岛效应的结论,其实在不同尺度上所得出的结论很可能不同,甚至有可能相反,而它们之间真正的直接因果关系并没有得到深入的研究。

以上种种原因局限了屋顶绿化的发展,该文旨在以屋顶绿化的生态效益为着重点,分析屋顶绿化在缓解城市热岛方面的作用,探讨在当前有限的财力物力条件下,如何使屋顶绿化更多的开展,并发挥出更大的生态效益、经济效益和社会效益。

1 城市热岛效应

城市热岛效应(Urban Heat Island Effect)指的是城市中的气温明显高于外围郊区的现象。近 100 a 来,全球平均气温持续上升,全球变暖、温室效应等威胁人类生存与居住的现象已经引起了国内外研究者的高度重视^[2]。城市热岛是城市人类活动对气温影响的突出表现,与全球变暖相辅相成。因此,为了提高居民的生活环境,达到生态和谐,如何减缓城市热岛问题成为当前普遍关注和研究的课题。

引起城市热岛的因素很多,且交互作用^[3],导致城市热岛日益加重。研究分析发现主要有以下几个原因。一是人类活动的人为放热^[4]。比如空调的使用、煤炭的消耗、机动车的增多等人为活动排放大量的温室气体加重了城市热岛效应;二是城市下垫面热物理性质的改变。因为城市的扩张与发展,城市地表被大量建筑物和构筑物所覆盖,吸收了大量的太阳辐射,白天储热,夜间释放,从而加剧城市热岛,是城市热岛产生的主要原因^[5-7]。城市与乡村地区的地表覆盖不同,导致二者下垫面的热环境属性有着明显的差异^[8];三是绿地和水体“热环境改善体”等因素的大量减少是城市热岛加剧的

重要因素。随着城市化的进程,城市中建筑越来越拥挤,城市绿地覆盖率减低,大量水塘、湖池、作物水田、湿地等被填埋,加剧了城市热岛效应。构成绿地的植物具有明显的降温增湿、削弱太阳辐射的作用,对于减缓城市热岛具有显著的作用。而且,屋顶和铺装地面等人工下垫面在太阳照射下升温速度较快,对热岛效应的影响也较大;而树冠和草坪等绿地下垫面的升温速度较慢,在白天的温度一般也低于人工下垫面,可以有效的减缓城市热岛效应^[9]。可见,屋顶绿化不仅增加了城市绿量和蒸腾量,还改善了城市中建筑构筑物下垫面的物理性质。此外,建筑布局、道路规划以及气候气象要素的改变都会影响热岛效应。

2 绿色植物对热岛效应的缓解作用

2.1 绿色植物具有良好的降温增湿作用

城市热岛形成的一个重要因素就是城市植被的减少,因而增加城市植被覆盖,对城市热岛效应具有较明显的削弱作用。绿色植物能够降温增湿的作用机理应该从其在城市中发挥生态效益的本质上进行探讨,主要体现在以下几个方面。

2.1.1 绿色植物可以削弱到达城市的太阳辐射 通过光合作用,植物吸收太阳能并转化成光能,同时叶片能够反射并遮挡太阳辐射,使得到达地面及树冠下面的太阳辐射显著减少,从而在一定程度上减轻沥青、水泥等建筑材料铺设地面的辐射热。并且由此可以得出在单位面积上的枝叶越多,减少的太阳辐射热也越多。

2.1.2 植物的蒸腾作用可以显著降温增湿 植物叶面蒸腾将水分以气态形式散发到大气中,带走热量的同时也增加了空气湿度。白天处在日照下的绿地表面有很旺盛的水分蒸发,其蒸发热为 40.66 kJ/mol(540 cal/g),亦即每蒸发 1 g 水就会从该位置带走 540 cal 的热量。Yu 等^[10]研究表明,建造城市大型公园绿地,可以降低公园周边地区的温度,从而使周边建筑的降温能耗减少 10%。综合国内外学者研究发现,绿化能使局部地区气温降低 3~5℃,最大可降低 12℃,相对湿度增加 3%~12%,最大可增加 33%^[3]。

2.1.3 绿色植物可以吸收并固定 CO₂(碳汇作用) 植物主要通过光合作用吸收大气中 CO₂,从而减少温室气体,间接降低空气温度。据估算,如果按成年人每人每天呼吸消耗 0.75 kg O₂,排出 0.9 kg CO₂ 计,则绿化面积达到人均 10 m²,就可以吸收全部呼出的 CO₂。Jo 等^[11]进行了城市植被减少大气中 CO₂ 浓度的研究,在考虑了遮蔽度、土壤水分蒸发、蒸腾损失总量、风速减小等影响因素后,发现城市绿化植被确实具有降低大气中 CO₂ 浓度的作用。

2.2 植被覆盖的降温作用

在城市尺度下,植物覆盖主要通过地表的植物覆盖和建筑物的植物覆盖进行。研究表明,城市中地表温度与植被覆盖度具有明显的负相关性,即植被覆盖度高的地区,地表温度明显低于植被覆盖度低的区域。集中的绿地在城市热岛中形成一个个“低谷”,使该区域本身的温度比其它地表覆盖类型的温度低,也使周边环境温度在一定程度上得到降低,缓解了城市中的热源形成的城市热岛中的“高峰”。此外,通过屋顶绿化、墙体绿化、阳台绿化等形式增加建筑物的植物覆盖面积,给建筑降温,减少建筑体及其构件的放热进而缓解城市热岛效应。Donkyu Y^[12]评价了城市植被和树木遮荫效应对缓解城市热环境恶化的重要作用,并用模型分析了城市植被的表面温度与热岛效应的关系,指出城市植被的面积大小和数量是改善城市热环境的重要因素。有学者研究表明,无植被覆盖区如果能够将植被覆盖水平提高到25%,其降温效果可达1.5℃以上^[13]。Giridharan 等^[14]研究将树木覆盖从25%增加到40%,可以使香港沿海居住区日间城市热岛强度降低0.51℃。Tong 等^[15]研究表明,如果用绿地和灌木代替城市发展用地,温度将可能降低1.6℃。可见,加大植被覆盖区域对缓减城市热岛具有显著的贡献。

3 屋顶绿化的生态效益

屋顶绿化不仅仅是增加城市绿地面积,更重要的作用在于改善城市热岛,本质是植物材料对减缓热岛效应的影响机理,而这个机理主要集中在两方面,其一是植物的蒸腾作用大量消耗环境中的热量从而降温;其二是植物材料对建筑表面的覆盖,以减少其受太阳直射。如果一座城市50%的建筑物实现屋顶绿化,城市市区全年平均气温将下降0.7℃左右,气温超过30℃的天数也将减少约21%,绿化与非绿化屋顶温差见表1^[16]。所以屋顶绿化的规划和建造要尽可能多的增加植物蒸腾量和尽量使植被遮盖建筑表面,减少阳光直射。

表1 绿化与非绿化屋顶温差 ℃

	屋顶外表温度	屋顶内表温度	室内温度
绿化屋顶	32.6	30.1	28
非绿化屋顶	40	36.2	32.5
温差	7.4	6.1	4.4

此外,据加拿大多伦多屋顶绿化研究团体的一项研究表明^[17],如果对多伦多市屋顶面积的6%(650万m²)进行绿化,其直接的效益是:热岛效应降低1~2℃;直接来自建筑物的温室气体排放每年减少1.56Mt,间接由于热岛效应的减少而少排放的温室气体每年少0.56Mt;减少灰霾天气5%~10%;通过植物吸附灰尘每年30t;每年通过屋顶截留雨水360万t;创造了650万m²

的公共和私人绿色空间。所以,城市中进行屋顶绿化并且能够达到一定规模,将对城市生态环境的改善起到举足轻重的作用,符合当前人们宜居生活环境的价值追求。

3.1 屋顶绿化增加城市绿地面积

随着城市不断发展与城市化进程的加快,城市用地紧张、绿地覆盖率不达标等问题,以及由此引发的城市热岛效应、大气污染等严重威胁了城市人居环境。根据国际生态和环境组织提出的指标,人均占有绿地面积需达到60m²以上才能使城市获得最佳环境。联合国对城市规划要求的人均绿化面积为30~40m²^[18]。而我国绝大多数城市的绿化面积与国际相差甚远。就全国城市而言,人均拥有公共绿地仅6.49m²,绿化率不足30%的城市还为数不少。而且有研究者^[19]对上海市热岛与绿地分布的关系进行检测和评估,结果得出一片约7hm²的绿地相当于1385台左右的空调机的制冷效果。因此,缓解城市热岛,改善我国城市生态环境,扩大城市绿地面积、提高绿化率是主要手段之一。而随着城市扩张,在绿地面积和建筑面积的争夺战中,屋顶作为城市的第五立面,面积约占城市用地面积1/5左右^[18],无疑成为这有限的城市空间中利用潜力巨大的资源。所以,屋顶绿化因这些特有的优势在近年来越来越受到园林、城市规划设计、景观生态、建筑等相关领域研究者的重视。进行屋顶绿化已经被多数城市作为增加绿地覆盖面积切实有效的手段之一。

3.2 屋顶绿化增加建筑物表面的植物遮盖面积

城市中引起气温迅速升高的主要原因是不透水的地面、建筑材料受太阳辐射后散发的热量,太阳辐射直接加温空气的作用是很小的,每小时仅能上升0.02℃^[20]。而城市中的建筑屋顶多数直接暴露于太阳照射下,因此大量的热量通过屋顶转移到建筑物内部并通过屋顶及墙面反射到周围环境中,夏季尤为突出,这也是城市热岛产生并日益加剧的重要因素。屋顶绿化首先使建筑屋顶表面增加了植物覆盖度,阻挡太阳辐射热直接到达屋顶表面,二是通过植物活体吸收并反射,在很大程度上减少城市建筑储热并不断释放热量导致的大气升温。

换言之,对屋顶进行绿化本质上就是改善水泥下垫面的物理性质,本来建筑屋顶在太阳的照射下,通过表面吸收太阳辐射,整个建筑物变成一个蓄能体,在晚上变成一个热源,从而造成热岛效应。而植物材料可以改善辐射的接受面的热性质,从而改善城市下垫面的性质,形成热力差异,由此影响大气低层结构,形成与以前不同的城市气候^[21]。下垫面由水泥面变成绿地面后,对

气象要素场的影响过程可用图 1 表示^[22]。Eleftheria A^[23]研究了 Montre'al 有绿化的水泥屋顶与没有绿化的水泥屋顶在对流换热、热传导、热辐射和蒸发方面的差异,大量的试验数据表明,绿化屋顶相对水泥屋顶能带来较低的表面和空气温度。

所以,在进行屋顶绿化时,选择遮盖度强的植物材

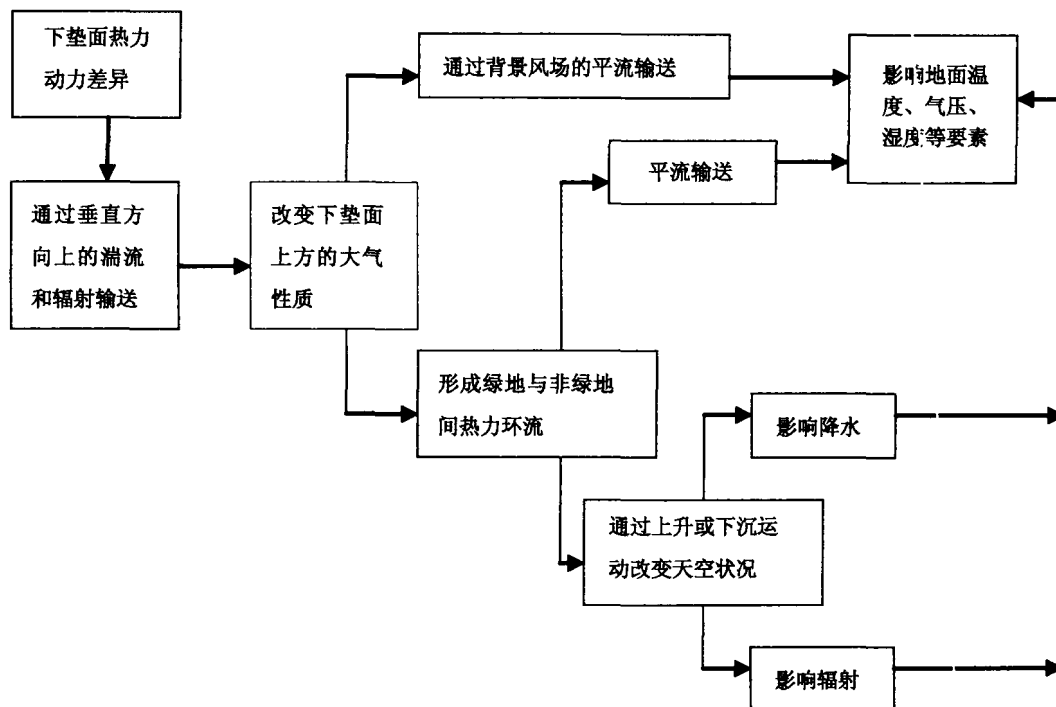


图 1 下垫面性质改变后对气象要素的影响过程

3.3 屋顶绿化增加植物蒸腾量,给城市降温

植物的蒸腾作用指植物体内的水分以气态方式从植物的表面向外界散失的过程。陆生植物吸收的水分只有约 1%用来作为植物体的构成部分,绝大部分都通过地上部分散失到大气中^[24]。植物蒸腾要使植物中的水分由液相变为气相,需要从环境吸收大量的热量,从而降低气温。屋顶绿化可以增加城市中植物的蒸腾量,达到降低气温,缓解城市热岛的作用。

蒸腾强度大的树木消耗热量多,转化的水分也较多,导致周围空气降温明显,其增加的空气相对湿度和水汽压差相应也较大。所以屋顶绿化时选择蒸腾作用强的植物对于调节小环境,进而减缓城市热岛具有事半功倍的作用。有研究者在成都屋顶绿化建筑上测试了几种植物的蒸腾强度^[25],结果显示木芙蓉、贴梗海棠等均具有很强的蒸腾强度和耗热量,对一定范围内环境的降温效果明显。可见,屋顶绿化中选择蒸腾作用强的植物对减轻城市热岛的作用更为显著。

当然,植物的蒸腾作用受很多因素相互影响,且共同作用于植物体内。植物的气孔运动直接控制着蒸腾

作用,因此影响植物蒸腾作用的因素多是通过影响气孔运动来进行的。比如,气孔的构造特征。气孔下腔体积大,内蒸发面积大,则可使气孔下腔保持较高的相对湿度,提高扩散力,使得蒸腾速率较快。由此可见,在屋顶绿化植物的选择上,要选择气孔下腔体积大的植物,蒸腾速率快,吸热能力强。此外,植物叶片内部面积与外表面积之比大的植物则其叶内外蒸汽压差大,蒸腾速率也大。另外,光照、大气相对湿度、温度、风速、土壤条件等都会影响植物的蒸腾作用。

3.4 屋顶绿化具有固碳释氧的功能

屋顶绿化可以有效增加城市绿地面积和城市中的植物生物量,通过绿色植物的光合作用,吸收 CO_2 ,同时释放 O_2 ,维持城市大气中的碳氧平衡。联合国环境署的一项研究表明,如果一个城市的屋顶绿化率达到 70%以上,城市上空 CO_2 含量将下降 80%,热岛效应会彻底消失。据估算,1 000 万 m^2 的屋顶绿地可吸收 100 万 kg 的 CO_2 ,制造 75 万 kg 的 O_2 ,满足 30 万人碳氧平衡需求,并可有效降低城市温度^[26]。

但事实上,从我国目前屋顶绿化的发展阶段来看,

屋顶绿化在固定 CO_2 方面的贡献还是很少的。首先因为大部分非木质化植物构件很快就被腐化分解,尤其是 1 a 生草类,其 CO_2 封固时间极短,最后全部回归到 CO_2 的形式上。屋顶绿化若达不到树木的茂盛程度就谈不上 CO_2 封固效果^[27];其次,屋顶由于荷载要求高,高大乔木往往应用的较少,而通常体量越大的植物固定 CO_2 就越多。这样的矛盾导致屋顶绿化通过植物固定 CO_2 而降低气温的效益并不显著。

4 结论与讨论

屋顶绿化由于能够有效节约土地资源,增加绿化面积,美化建筑周围环境,使城市更加自然,更加人性化,同时还能够缓解城市热岛效应,调节温湿度,节约建筑能耗,吸收空气中的污染物质;此外,屋顶绿化在蓄收雨水,减轻城市排水系统的压力方面也具有重要作用^[28-29]。作为一种促进人与自然的和谐发展的新型绿化形式,已经得到各级政府、科研部门和市民们的高度重视。经过几十年的发展,我国屋顶绿化已在植物选择、屋顶荷载、蓄排水设施、轻质材料选择以及生态效益评估等方面取得了阶段性的成果,但是作为一种相对新型的产业,其发展有自身的规律性和阶段性,综合分析过去的经验和未来城市化的发展趋势,屋顶绿化应从以下四方面入手,以实现新形势下的发展转变。

4.1 屋顶绿化的“奥卡姆剃刀法则”

“奥卡姆剃刀法则”是一种重要的科学思维理念,它常用于 2 种假说的取舍上:“如果对于同一现象有 2 种不同的假说,应该采取比较简单的那一种”。屋顶绿化作为一种涉及植物栽培、生态环境、建筑工程等众多方面的系统统一体,在许多地方需要运用“奥卡姆剃刀法则”进行权衡取舍(trade-off),特别是在植物的选择和栽培方面更需要思维方式的转变。一般认为屋顶绿化植物要抗性强,要先保证能在屋顶绿化中活下来,但是抗性适应性强的植物通常其惰性也强,导致其生态效益也相对较差。以乔木为主的复层结构绿地的生态效应最佳^[30],如果屋顶上大量种植改善生态能力强的植物,并且达到生态效应最佳的群落配置,则需要耗费很高的建造和维护费用,然而改善生态效益又是屋顶绿化的一个重要目标,这是彼此互为消长的矛盾统一体。所以要运用“奥卡姆剃刀法则”来权衡取舍,首先要设定一个时期内对屋顶绿化的期望,然后在能实现这个期望的途径中选择最简单的那个。需要指出的是“奥卡姆剃刀法则”虽然强调越简单越好,但是也不能过于简单,简单的前提是必须能满足期望。所以在相当长的一段时间里,以景天科植物为主的简单型屋顶绿化得到了长足的发展,但是随着人们对屋顶绿化的生态效益期望的不断提高,

以乔木为主的复层结构屋顶绿地将越来越为人们所向往。

4.2 以目标为导向来建设屋顶绿化

屋顶绿化作为一种伴随着城市化进程而出现的新生事物,目前还处于初级阶段,没有非常完善成熟的模式,这就需要分清“重要的事”与“紧迫的事”是什么。由于屋顶绿化紧密的综合了园林景观、建筑工程和城市生态环境,它在许多方面有着多种多样的效益,然而在现阶段缓解城市热岛效应和节约城市用地可能是建设屋顶绿化最首要目标。所以只要明确了屋顶绿化的首要目标,就可以此为导向设计建造屋顶绿化项目,从而少走弯路,加快屋顶绿化的进一步发展。

4.3 栽培技术的革新

屋顶绿化本质上是一种特殊的观赏植物应用形式,其最大特点是栽培方式脱离了地面,同时作为栽培环境的屋顶各种生长条件较差。所以从根本上说,屋顶绿化的各个环节的进步,归根到底要取决于栽培技术的革新。例如,相关高抗性新品种的培育、根系和株型的调控、水肥保障设备、新型栽培基质、防根隔热蓄排水材料等相关技术的整体突破,才是屋顶绿化进一步发展的根本推动力。

4.4 展开屋顶绿化的生态补偿理论研究

屋顶绿化作为一种重要的生态公益林,在城市生态环境的维护方面起着重要的作用。但是屋顶绿化又不同于普通的林分,它造价维护费用高、产权难以划分、生态价值难以评估,这严重影响了城市建设决策者和市民大众对屋顶绿化的认识,甚至左右了相关规章政策的制定。目前基于经济效益、社会效益和生态效益的生态补偿机制在人工林和天然林产权方面得到了很好的应用,然而在屋顶绿化方面相关的研究还没有真正的起步,这已经成为制约屋顶绿化产业发展的一个重要因素。

随着我国城市化进程的不断深入,人们对城市生活质量需求的不断增高,屋顶绿化已经是城市生态环境建设的必然趋势。尽管屋顶绿化并不能在源头上彻底阻止城市热岛效应的发生(因为热岛效应是自然与人为交互作用下产生的现象,影响因素复杂且综合性强),而且城市屋顶绿化只有达到一定大规模才能对生态环境产生显著的影响,但是屋顶绿化的发展已经是 21 世纪绿化美化城市的重要手段。拥有巨大的市场潜力,它可以带动园林设计、建筑施工、园林资材、绿化苗木等市场的发展,同时它能节省高昂的地面绿化土地占用费,优化美化环境,提高楼盘附加值,促进节能建筑、生态建筑的发展,必将产生巨大的生态效益、经济效益与社会效益。

参考文献

- [1] 陈辉,任珺,杜忠. 屋顶绿化的功能及国内外发展状况[J]. 环境科学

- 与管理,2007(2):23-24.
- [2] 黄大田. 全球变暖、热岛效应与城市规划及城市设计[J]. 城市规划, 2002,26(9):77-79.
- [3] Qihao W, Shihong Y. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city[J]. Journal of Environmental Management, 2004, 70:145-156.
- [4] Taha H. Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat[J]. Energy and Buildings, 1997, 25(2):99-103.
- [5] Younghae S. Influence of new town development on the urban heat island-The case of the Bundang area[J]. Journal of Environmental Sciences, 2005, 17(4):641-645.
- [6] Hanqiu X, Benqing C. Remote Sensing of The Heat Island and its Changes in Xiamen City of Se China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2004, 16(2):276-281.
- [7] Qihao W, Dengsheng L, Jacquelyn S. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island[J]. Remote Sensing of Environment studies, 2004, 89:467-483.
- [8] Brian S, Joho M N. Land use Planning and surface heat island formation: A parcel-based radiation flux approach[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(19):3561-3573.
- [9] 李延明, 张济和, 古润. 北京城市绿化与热岛效应的关系研究[J]. 中国园林, 2004(1):5-8.
- [10] Yu C, Hien W N. Thermal benefits of City Parks [J]. Energy and Buildings, 2006, 38(2):105-120.
- [11] Jo H K, Mc Pherson E G. Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago USA[J]. Environmental Management, 2001, 61(2):165-177.
- [12] Yun K. Evaluation of vegetation of urban area by numerical simulation of heat balance[J]. Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering(Transactions of AIJ), 1999, 6(520):69-75.
- [13] 张小飞, 王仰麟, 吴健生, 等. 城市地域地表温度-植被覆盖度量关系分析—以深圳市为例[J]. 地理研究, 2006, 25(3):369-378.
- [14] Giridharan R, Lau S S Y, Ganesan S, et al. Lowering the outdoor temperature in high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence [J]. Building and Environment, 2008, 43(10):1583-1595.
- [15] Tong N H, Yu C. Study of green areas and urban heat island in a tropical city [J]. Habitat international, 2005, 29(3):547-558.
- [16] 黄金锦. 屋顶花园设计与营造[M]. 北京:中国林业出版社, 2003: 24-25.
- [17] Peck S, Callaghan C, Peck & Associates, et al. Greenbacks from Green Roofs: forging a new industry in Canada. Prepared for Canada Mortgage and Housing Corporation Ottawa[M]. CMHC SCHL Canada, 1999.
- [18] 边晓明. 城市屋顶资源的综合利用[J]. 科技情报开发与经济, 2004, 14(2):118-119.
- [19] 周红妹, 丁金才, 徐一鸣, 等. 城市热岛效应与绿地分布的关系监测和评估[J]. 上海农业学报, 2002, 18(2):83-88.
- [20] 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.
- [21] Cheong D K W. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore[J]. Energy and Buildings, 2003(14): 353-364.
- [22] 骆高远. 城市“屋顶花园”对城市气候影响方法研究[J]. 长江流域资源与环境, 2001(4):373-379.
- [23] Eleftheria A, Phil J. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates [J]. Building and Environment, 2008, 43(4):480-493.
- [24] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社, 2002:164.
- [25] 刘维东. 成都市屋顶绿化植物的选择及其生态效益研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2006.
- [26] 骆高远, 冯利华, 黄淑玲. 城市屋面绿化对城市气候影响预评价[J]. 热带地理, 1994, 14(1):56-62.
- [27] 胡连荣. 屋顶绿化PK室内空调——都市热岛现象的克星[J]. 知识就是力量, 2007(1):22-24.
- [28] Gates D M. Transpiration and leaf temperature [J]. Ann. Rev. Plant Physiol., 1968, 19:211-238.
- [29] Mihalakakou G, Santamouris M, Papanikolaou N, et al. Simulation of the urban heat island phenomena in Mediterranean climates [J]. Pure Appl Geophys, 2004, 161(2):429-451.
- [30] 王春彦, 陆信娟, 吴锦华. 屋顶薄层绿化对环境条件的影响[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3):192-195.

Analysis of Green Roofs on Decreasing Urban Heat Island Effect

WANG Wei, FAN Yi-rong

(College of Landscape Architecture, Zhejiang Agricultural and Forestry University, Lin'an, Zhejiang 311300)

Abstract: Based on the analysis of some reasons for what bring about urban heat island effect and the investigation of the characteristics of urban thermal environment and the life of plants, the paper pointed out that the construction and the research of green roofs should regard maximizing the ecological value as the essential fundamentality. The results showed that the first and foremost goal of green-roof construction was increasing urban green volume; The transpiration capability was the most important indication of the ecological value of plants applied to green roofs; The surface of buildings should be covered by plants as much as possible, especially where receives solar radiation directly; The breakthrough in new culture technology would considerably contribute to exploiting the potential ecological value of green roofs.

Key words: green roofs; urban heat island effect; transpiration; ecological value