

文章编号: 1000-0534(2004)03-0297-08

城市生态环境与绿化植被相互作用研究

何云玲, 张一平 *

(中国科学院 西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223)

摘 要: 多年来城市生态环境和城市绿化植被研究一直是国内外学者关注的热点。本文从城市的气候、水文、土壤等环境特征发展变化以及城市绿化植被的生态环境效应等方面, 阐述了国内外在该领域的研究动态和取得的成果, 并指出了研究的不足和今后应该加强之处, 以期为推动和促进我国城市环境与城市生态动态研究提供参考依据。

关键词: 城市生态环境; 城市绿化植被; 都市气候

中图分类号: P463.3 **文献标识码:** A

1 引言

城市作为人口和工业高度集中的地方, 伴随着城市化进程, 城市面积不断扩大, 建筑物密度加大, 城市效应愈来愈明显。一方面原先植被覆盖的地表面变为不透水的混凝土或沥青覆盖的路面、屋顶面, 改变了下垫面的性质, 城市热岛强度迅速加强; 另一方面, 日益恶化的城市环境, 造成了大气、水、土壤、噪声等污染, 导致了“城市病”日益加剧, 如果防治措施跟不上, 对城市生态系统的破坏是十分严重的。而且人们随着生活水平的提高, 也越来越关心与自身健康息息相关的生存环境。城市的绿化植被作为城市生态系统中的还原组织, 已被世界各国的城市发展实践证实其在城市中的价值不可忽视, 且受到社会的普遍关注。城市绿化的基本功能就在于调节小区气候, 改善城市生态环境^[1]。对此国内外学者从不同的角度开展了研究工作, 本文就城市生态环境的主要特征和城市绿化植被的特点及生态效应进行系统阐述, 以期促进我国城市中二者相互关系研究的迅速发展。

2 城市生态环境研究状况

城市是广泛存在于地理环境中的具有特殊性质的地域, 在人类活动的长期影响下, 其形成了特殊的城市生态环境^[2]。大气、水和土壤的污染、城市热岛效应以及由此而导致的相对湿度的降低等, 均

是影响城市植物生态学特征的重要因子^[3]。就城市本身而言, 由于其土地利用状况和规划布局, 也易造成绿化与周围建筑物争夺空间, 从而破坏植物结构, 影响生长情况^[4]。在城市中, 无论是从建筑物周围到庭院、街谷, 还是就整个城市而言, 环境特征都与郊区有着明显的不同, 下面分别就城市气候、水文、土壤及其它环境因子特征的变化规律进行阐述。

2.1 城市气候研究

早在 19 世纪初, 由于城市下垫面改变而引起的城市内外的气温差异已引起人们的注意, 并开展了城市内外的比较研究。Howard 发现城市内的气温高于城郊的现象, 提出了城市气候中最具有代表性的特征——城市热岛效应^[5]。在 20 世纪 20—50 年代, 通过移动观测方法, 描述了城市气候的平面分布, 其中 Chandler 的伦敦日最低气温分布图, 作为城市热岛的典型例子被广泛引用^[5]。20 世纪后半叶, 由于城市环境污染日益加剧, 相关的城市气候的立体构造和数值模拟研究迅速地开展起来。到目前为止, 在城市气候特征方面的研究已探讨了城市区域下垫面的改变和人为热、废气等的排放所导致的城市气候要素(温、湿、风、雨、光、热)及尘、雾等的变化, 以及由此而引起的城市热岛效应、气候穹隆、逆温现象、雨影、温室效应、酸雨等。热岛现象和大气污染成为城市气候主要的两大特征; 同时研究了这些现象给城市居民的生产、生活带来

收稿日期: 2002-05-08; 改回日期: 2002-09-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(59836250)资助

作者简介: 何云玲(1978—), 女, 云南人, 博士研究生, 主要从事生态气候方面的研究。E-mail: elin1061@sina.com

联系人: 张一平, E-mail: yiping@public.km.yn.cn

的影响;同时探讨了城市规划与建设如何与气候条件相适应等一系列问题^[6]。具体来说,现阶段关于城市气候研究主要集中在以下几个方面。

第一,城市热岛效应。该方面的研究乃是开始最早、成果最多的领域。迄今为止,世界上许多国家都对城市热岛效应的特征作了大量研究^[5, 7~9],得出了城市热岛效应与城市人口、面积、房屋密度、天穹可见度、太阳辐射强度和风速、云量等有密切关系^[10~15];以及伴随城市化进程的继续发展,城市人为热排放量的增多;城市下垫面覆盖材料的特殊性质等因素都会导致城市热岛强度的增加^[16~20]。

第二,城市大气立体构造。以 Duckworth 等^[21]提出城市上空出现郊外气温高于城区的“交叉效应”(Cross-over effect)为代表,开展了大量研究。1976 年著名科学家 Oke^[22]定义了从地表面到建筑物屋顶面附近为城市覆盖层(Urban canopy layer),屋顶面附近到上空自由层为城市边界层(Urban boundary layer)之后,屋顶面附近高度对城市边界层和城市覆盖层的影响及其相互能量交换,以及气温、风速立体分布的研究成为城市气候领域研究的重点^[23~27]。由于城市大气的立体分布特征影响和制约着城市大气污染的浓度和时空分布,对污染状况起着关键作用;国内外学者为此进行了一系列城市大气立体构造的实际观测研究(如对大气边界层湍流特征的分析),以及应用流体力学方程、热力学方程、有时兼用辐射方程对城市边界层数学模式的建立作了大量工作,以反映其平均温度场、流场和湍流的特征及变化规律,例如对城市热岛环流的数值研究。研究表明,城市粗糙度和热岛的作用使得城市的湍流能量和垂直湍流交换系数大于郊区;城市热岛环流作为一种中尺度环流,其强度随高度增高而明显减弱;城市温度场分布与城市走向相一致,并存在多中心的现象;城市下风向处的温度要明显高于上风向处,出现“城市热羽”现象^[28~32]。

第三,城市的辐射与热量。城市中由于空气污染物多,云雾多,大气透明度小,以及建筑物互相遮挡,导致城市谷地中的日照时数和百分率均小于郊区^[7]。Pettersen 等^[33]对城内外太阳辐射特征及差异进行了较详细的对比研究;城市气候研究的著名科学家 Oke^[34]在总结以往的城市辐射研究时指出:在大城市,当太阳高度角小,空气污染浓度大时,城市的年平均总辐射可比郊区减少 30%以上;

并且太阳光中的光波波长越短越易被散射和吸收,城市紫外辐射仅为郊外的 77%,在污染严重时,竟减弱 90%以上。近年张一平等^[35, 36]在对低纬高原城市昆明的城市气候研究中也探讨了城市大气环境对不同波长辐射的影响,指出城市大气污染对城市不同波长辐射(特别是短波辐射)产生了不可忽视的影响;但是由于城市内外的辐射量在不同天气状况呈现相异的分布规律,晴天虽然城内总辐射和红外辐射小于城外,而在多云天城内的红外辐射量可明显大于城外,再加之城市中热岛效应及城市建筑物间的热力效应,使得城内的气温和大气长波逆辐射一般高于城郊^[37]。

第四,城市谷地(urban canyon)小气候特征及其形成机制研究是城市气候中的一个重点^[38~41],不同形状的街谷构造对城市区域小气候特征的形成有着重要作用^[42, 43]。研究表明,城市谷地中存在多个环流,其大气层结全天处于不稳定状态;并且各表面的温度及温度递减率、冷却率、蓄热、放热均具有不同特征^[44]。另外,在现代城市中,随着建筑物密度的加大和高层化,建筑物表面积急剧增加,由于各壁面的朝向不同,在太阳辐射的影响下,表面温度有很大差异,影响着建筑物近旁的大气温度,对城市小气候特征的形成和周围环境的热力效应有着不可忽视的作用^[45]。特别是屋顶面已占城市总表面积的很大比例,通过屋顶面与相同高度大气以及近旁地面上的辐射和热量平衡各分量的比较研究,表明昼间屋顶面附近的气温高于近旁道路上相同高度的气温,屋顶面是有别于地面的,也是影响城市区域大气的第二热力面^[46~49]。

第五,城市的风场特征也极为复杂,城市下垫面具有较大的粗糙度,可以形成更强的热力和机械湍流,加之热岛效应也会引起局地环流。就整体而言,城市的平均风速比同高度的空旷郊区小,但在城市内部,流场的局地差异很大。此外,综合多数学者所观测研究的结果,由于城市空气污染大,所含凝结核多、风速小,又有一定的人为水汽,因此城市的云、雾多于郊区;但市区内大部分为不透水的建筑物和道路面,加之植被覆盖少、气温高,因此相对湿度远比郊区低,这些特征在多个不同的城市气候研究中都有体现^[5, 7]。

2.2 城市水文特征研究

总的来说,城市的形成、扩大主要是对局地降雨及降雨机制产生影响,使城市区域降雨的分配与郊外显著不同,由此带来了城市区域水文特征的改

变：城市地区的降水量、径流总量、地表径流量及地表径流系数明显大于周围农村地区，但蒸发量、地下径流量及地下径流系数明显小于周围农村地区。

一般认为，城市对城区和下风方向有增加降雨的作用，使得城市区域降雨日数和降雨量增加^[50]。伴随城市建设的高速发展，一方面城市中兴建的大量房屋、道路等不透水面积迅速增加，形成连片化；另一方面水渠和下水管道的修建，缩短了汇流时间，增大了径流曲线的峰值，使城市内洪峰出现时间提前，洪峰流量加大，很容易发生水害^[51]；加之原有的下水管网如果跟不上城市地面上建筑的发展，使排水量更加集中，造成雨水囤积，增加了下水道的压力，容易出现过载，形成附近低洼地区漫水，也会形成水害。另外，大量的人口在生产和生活过程中的需水量增加，减少了地下水的补给，影响了地下水的空间分布；水源地常因水量补充不足形成缺欠，水体环境则因河流量减少，蒸发加大，净化作用减小^[51]；随着城市污染物排放量的增加而使水体受污染，水质下降的问题也十分严重，对城市中人类和动植物的生存发展造成了严重威胁。

2.3 城市土壤理化特征研究

城市里的土壤是城市化过程中受人类活动影响而形成的一种特殊土壤，伴随城市土地利用方式发生改变，会加剧土壤理化性质、营养元素的分解等的变化^[52]。原有的自然剖面已经被破坏，大多数为建筑废土所填充，其中常混杂有生活和生产活动中排放的废弃物，以及较多的砖瓦、石砾、垃圾等非自然的新生体^[53]。由于人类践踏或重物积压，土体紧实，团粒结构被破坏，土壤结构差，透水性不良，土壤湿度较小，易被侵蚀。

另外，随着城市范围的不断扩展以及乡镇工业的发展，城市土壤将不断受到污染：城市污水易引起土壤盐渍化、土壤板结现象；城市废气会导致土壤中氮氧化物、碳氢化物等的含量增加；有的地方由于尘埃、垃圾和废水的污染导致了土壤富营养化和碱化，以及含有大量重金属物质，或含有较多的微生物，不仅能吸收 CO，而且还能分解乙烯、SO₂ 等^[52]。而城市的酸雨会使土壤酸性增加，加速了土壤养分的淋失，特别是 Cu、Zn 等植物必需元素的淋失，对于受重金属污染的土壤，酸度增加会引起重金属活性提高，从而增加对植物的毒害；城市固体废弃物中的垃圾虽使土壤中植物养分明显增

加，但同时也使土壤渣砾化^[53]，不利于幼苗生长和耕作，使土壤的生产力下降。

2.4 其它环境特征研究

随着城市人口的迅猛增长和工业的迅速发展，城市噪音越来越强，妨碍了人们的休息与健康，是当今城市中人类生活面对的一大环境问题；另外，人们在日常生活、生产中产生的废弃物，随着城市人口的增加和生活水平的提高，数量越来越大，成分越来越复杂，不仅对空气、土壤、水体造成污染，同时也是苍蝇、蚊虫、鼠类以及病原菌的孳生地，也成为当今城市中的另一环境问题。围绕如何解决这些问题，已有许多的学者进行了研究^[53]。

3 城市生态环境与绿化植被的相互关系研究

3.1 城市生态环境变化对绿化植被的影响

城市植被概念的提出约有二十多年的历史^[2]，现已为越来越多的学者所关注。Bastin 等^[54]、Guan 等^[55]用景观生态学原理分析了城市植被的构成。结果表明，城市植被的类型和分布是不均匀的；城市植被具有和郊外自然植被不同的特点^[56]；随着人类活动的增加，城市植被景观类型多样性降低，趋于单一，斑块多样性增大；格局复杂化，结构不稳定性提高，自我组织调节能力削弱^[57]，所有这一切都是受到了城市这一特殊地域环境的影响。城市是适应人类生存和发展之需建立的，正是受城市内的人类活动影响并产生了特殊的城市环境，从而改变了城市地区植物赖以生存的环境条件，必然会产生植被类型分布、物候、遗传、生理功能等的变化^[2]，所以城市地区的植物无论是种类成分还是由它们组成的群落都不同于周围农村空旷地区。

首先，从种类分布上看，由于城市景观多样性，存在不同结构的居民点，不同用途的开敞空间；其中许多面积虽小，但环境异质性较大的生态环境，可为不同生态习性的植物提供生长地点^[53]；加之为绿化而人工引入的各种植物，就总体而言，导致城市植物种类比乡村地区还多，并多为孤岛状分布；但自然群落比例少，人工、半人工群落的比例增加，同时出现一些城市中特有的群落类型，如耐践踏的植物群落、一年生宅旁杂草群落、多年生宅旁高秆杂草群落、草坪群落以及墙面屋顶群落等^[53]。

其次，从生活习性上看，城市植物对光照、温度、氮肥、土壤 pH 值要求较高；对水分要求较低，

更为耐旱^[53]。

第三,从生理反应上看,城市热岛效应,可导致某些植物发芽、开花较早^[58]。江源等^[3]对城市土地利用下的植物物种资源特征进行了分析,指出城市人类活动不仅对植物种类的分布和植物区系特征的形成具有明显影响,而且典型城市植物种类旱生结构的发育和其平均热指标值的显著提高,是不可忽视的。一年生植物的增多是典型的人类活动驱动下的城市植被生活型谱变化特征;城市土地利用及其对生态环境的影响以及市政管理中除草剂使用等措施,对一些植物种类的生存已构成明显威胁。近年来城市中不断增多的各种建筑设施给绿化工作带来很大困难,建筑物主要影响周围的气象条件,其中最直接的是日照条件,城市密集的建筑物使周围地面日照时数缩短,光照强度减弱,影响了近旁植物的光合作用和正常的开花结实^[59]。另外,一些树木长势下降、提前落叶和一些树种(如灯台树、珊瑚木)异常增多,以及城市孤岛状自然植被具有顶级性先锋种的群落这一特征^[53],都与城市空气污染、鸟类减少、害虫增加、气候变化等综合影响有关,这些现象可以看作是城市生态系统对环境恶化的一种反映。

3.2 城市绿化植被的生态环境效应

植物的生长和分布既受城市环境的影响,也多方面作用于城市环境。城市植被作为城市生态环境的重要组成部分,在维持城市生态平衡方面起着重要的作用,它构成城市生态系统中唯一执行自然“纳污吐新”负反馈机制的子系统,是城市生态系统中的还原组织,也是优化环境、保证系统稳定性的必要条件。在现代化城市中的价值受到社会的普遍关注,城市生态学将城市绿化植被所产生的效益概括为生态效益、社会效益和经济效益;而其中最主要和最基本的功能就是改善城市环境^[1]。

3.2.1 改善城市小气候

城市气候作为城市生态系统的重要组成要素,是维持城市生态系统良性循环的至关重要的因素之一,因此改善城市气候已成为城市建设中的一个重要课题。而世界各国的城市发展实践已经表明,树木花草叶面的遮阳和蒸腾作用能降低气温、调节湿度、吸收太阳辐射,对改善城市小气候有积极作用^[60];而且其降温增湿效应是相当明显的^[61]。王丹妮等^[62]认为庭院绿化除了遮阳、降低室温改变环境温湿平衡外还有降低风速的效应,产生微气流,改变维护结构外表面的对流交换热量,影响建

筑和环境的热交换,改善城市热环境。Donkyu Yun^[63]综合评价了城市植被和树木的遮荫效应对缓解城市热力环境恶化有重要作用,并运用模型分析了城市植被的表面温度与热岛效应的关系,提出城市植被的面积大小和数量是改善城市热力环境的重要因子。Shashua-Bar 等^[64]指出,在城市规划设计时,考虑植被对城市气候的影响,也是一个不可缺少的组成部分,并且建立了城市绿化植被与降温关系的经验模式。Sailor^[65]认为城市植被在夏天不仅能够降低建筑物旁温度,减少空调等城市能量消耗,而且通过一系列气象学数值模拟量化了植被覆盖率增加对地区性降温的影响,描述了植被对城市气候影响的季节变化,提供了一个简单有用的植被气候效应的指标,而且在研究时考虑了不同纬度的城市,表明城市绿化植被确实对改善城市的热岛效应有重要作用。Tsuyoshi 等^[66]通过对城市绿化以及其周围区域的各气象要素特征的对比,指出绿化区气温明显低于未绿化的街区,绿化引起的降温在夏季白天和冬季夜晚较大,对影响的距离范围及空气温度、土壤温度、风向风速的变化也作了调查,虽然绿化区域和城市区域的日平均气温差别很小,但绿化区的土壤温度减小很明显。刘梦飞^[67]也探讨了城市绿化覆盖率与气温的关系,指出降温率与绿化率成正比。

近年来,随着城市发展,城市中建筑密度加大,建筑表面积已经占了城市总表面积的很大比例,在太阳辐射下,建筑表面向空气散热,特别是屋顶表面,昼间基本上都受太阳照射,具有独特的热力特性,因此对城市气候的影响不可忽视^[45]。屋顶质地的构成对城市生态环境的恶化起着很大作用,尤其在夏季高温天气,屋顶大量吸收和释放太阳辐射^[68],对环境整体热效应是加热空气,进行绿化的草坪屋面的整体热效应则是与空气基本达到平衡(昼间加热空气,夜间冷却空气,具有调节空气温度的作用)。草坪屋面通过植物旺盛的生机吸收化解,保持环境的生态热平衡,具有显著的生态热效应。所以开展城市屋面绿化是促进城市热环境生态平衡的一项有效措施,在改善城市气候和增加城市绿化覆盖率方面具有不可忽视的重要作用^[69]。近年来已成为众多学者进行城市气候与绿化关系研究的一个新热点^[70, 71]。

研究还表明:植被对气温、空气湿度、风速等的影响是同时存在,其效应的强度取决于群落类型、结构和面积的大小^[53]。

3.2.2 净化空气

绿化植被在城市复合生态系统中通过吸收二氧化碳,放出氧气,具有保持氧气和二氧化碳平衡的特征。Jo 等^[72]在对城市植被减少大气中二氧化碳浓度方面的研究中,应用计算机模拟量化植被对大气二氧化碳间接的调节作用,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降低了大气中二氧化碳的浓度。城市绿化植被还具有吸滞粉尘和有害气体^[73],减少空气含菌量而起到净化空气的作用^[74~76]。管东生等^[77]通过分析城市绿地植物的生物量和净生产量,以及绿地系统内硫的含量特征、贮量分布和年吸收量,结果表明,净生产量中的硫量接近城市上空的平均硫贮量,提出如果建城区绿地植物净生产量的硫量主要来自大气,植物的净化作用大约可使大气中的硫每年更新循环一次。因此,城市绿地的净化能力仍有发展潜力。冯建军等^[78]经研究指出,绿化模式对大气污染整体净化效果与绿化模式的配置方式密切相关,乔灌木立体结构明显,绿化带宽,则对大气污染的净化效果显著。沈家芬等^[79]通过城市道路绿化抗污染模式研究,指出植物种类相同,配置方式基本相似,则种植密度与净化效果密切相关,密度适宜,通风适当的林带,其净化效果最好。

3.2.3 其他效应

城市植被可吸收、阻挡、分散声音能量,从而起到减噪目的,以及防火、防震,增加透水面积、减少地表径流,改善水文循环和稳定洪流范围^[80],防止水土流失,对暴雨、河流泛滥、滑坡、崖崩等都有一定的防护效果,以及增加土壤有机质作用;还在保护生物多样性方面有重要作用^[81]。此外,城市绿化具有美化市容景观、衬托建筑、增加艺术效果的功能,在为市民提供休闲娱乐场所等方面具有不可替代的作用。

3.3 城市绿化植被对城市环境的指示性

植物的生长、发育受环境制约,因此可以利用植物生长、发育、分布等变化推测环境状况,即植物指示环境的作用^[53]。城市环境一般受到人为污染和干扰,植物本身具有吸收富集及指示污染物的能力,所以研究城市绿化植被对污染物的忍耐性、吸收、累积、指示性也成为众多学者研究的一个重点。如过去所熟知的利用地衣监测二氧化硫及其污染程度,利用早熟禾、矮牵牛监测光化学烟雾及其程度^[56];还有利用城市中植物物候期的差异进行

城市环境的分区^[53]等。Godde 等^[82]对明斯特城市植物研究表明,喜温植物分布与城市中温度分布是一致的。在自然和人为的因子共同作用下,城市植被的分布格局与城市的同心圈层结构相叠置^[53]。不同植物对污染物敏感程度不同,可以根据植物受害情况,判断环境质量;而且植物在生长过程中体内积累的有害物质数量与污染浓度有关,可以据此对环境质量进行分级。潘如圭等^[83]、薛皎亮等^[84]对城市大气硫污染与植物含硫量之间的关系进行了研究;蒋高明^[85]则建立了植物硫含量法监测大气污染数量模型;马跃良等^[86]对广州市植物叶片重金属元素含量及其大气污染评价,研究了植物大气环境污染指数,探讨了植物叶片重金属含量与城市环境污染之间的关系。结果表明,植物叶片中 Cu, Pb, Cd, Cr 元素污染严重,重污染区含量高于清洁对照区,表明用植物污染指数可以综合评价大气环境的质量状况。

4 结语

多年以来,城市环境工作者一直致力于对城市气候、水文、土壤等特征、成因、模拟应用等研究,取得了不少成果。城市植被学领域也对城市植被的特点进行了大量研究,充分肯定了城市绿化植被的生态环境效益。随着城市生态学研究的进一步深入,特别是各类专业背景的学者同时进入,由于研究视角不同,总结指导个案研究的理论显得非常迫切。例如对二氧化硫、氮氧化物净化效应的研究者,常常把绿地内和绿地外污染物浓度差异作为绿化的净化效应来阐述,这一结果忽视了局地气象状况、污染物扩散规律、统计学要求的最小样本等影响大气污染物浓度的因子而受到环境科学工作者的质疑^[6]。因此需要两方面的研究更进一步地有机结合起来,相互弥补自成体系的不足,对研究方法进行必要的总结、分析和提炼。目前城市植被建设多局限于理论研究上,具体实践刚起步,各学者还有不同理解,并且许多还囿于生物学领域,大多数研究是以植物体本身的分析为基本数据,如何与城市有机结合还有待进一步探讨^[74]。同时城市化的环境效应伴随城市的继续发展还需要深入细致的研究,从具体因子分析入手,明晰城市的生态环境与绿化植被相互作用的具体机制,探究具体作用过程和机理;协调二者的关系,迫切需要与诸多学科相结合,可以提高城市生态学解决实际问题的能力,促进现代化生态城市的建设和城市生态系统的可持

续发展。

城市可被认为是人类活动的顶级阶段,伴随着迅猛发展的城市化,由郊外自然公园经远郊、近郊到城市中心,人类活动的干扰性由弱逐渐加强(图1),自然景观越来越多的被人为景观所替代,所带来的环境污染、气候改变、资源损耗,以及由此引发的一系列人类和动植物生存环境的恶化,使如何发挥城市的积极有益方面,克服其消极不利影响,成为当今城市发展中面临的实际问题,对城市生态环境的改善与健康发展有着极其重要的作用。

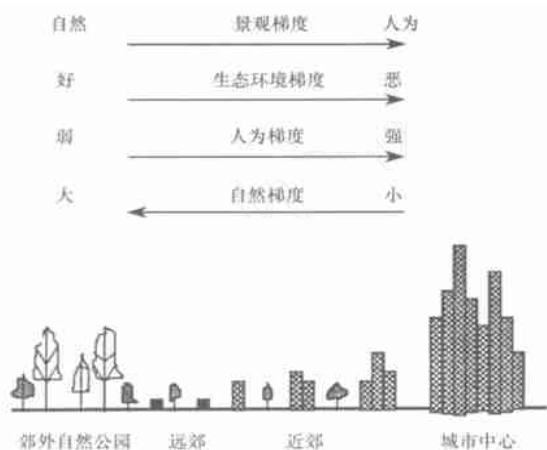


图1 城市区域景观结构变化示意图

Fig. 1 The variation of landscape structure in city

城市环境的改善除靠工程设施外,最终还得通过发展合适的植被才能达到目的,所以在评价城市的环境质量时,植被覆盖率是其中一个重要的指标。随着城市区域内人们经济收入的增加,生活水平的改善,人们对生活环境要求的提高,增加城市绿化面积的呼声越来越高,而在当前城市植被的一个显著特点就是覆盖率低,配置不合理,人工引入种较多。城市不同于郊区的环境特征提供了植被生存的特殊条件,植物对这种环境变异的反馈效应对绿化树种的选择和城市绿化管理是必要的,而且对合理开发利用城市光能资源,丰富城市绿化植物品种具有重要意义。如此看来城市环境的特征变化,对绿化树种的选择作用及在城市恶劣的环境条件下植物形态上和生理上有何反应、生长发育情况都是今后值得研究的问题。

在城市发展的不同阶段,其环境特征和城市植被生态环境是一交织发展过程,这种发展变化过程与植被生活史不同阶段的特征相结合,形成了城市绿化植被变化的系统动态过程。而且伴随着迅速发展的城市化进程,大量城市建筑物所形成的不同结

构的居民点,不同用途的开敞空间,势必增强了城市生态环境的空间异质性。因此只有将不同城市生态环境时空变化规律及不同植物的反应规律结合起来进行系统的分析,才能全面系统地认识城市生态的长期动态变化过程。

参考文献

- [1] 黄尚明. 充分发挥城市绿地的环境效益[J]. 当代建设, 2000, 2: 57
- [2] 杨小波, 吴庆书, 邹伟等. 城市生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 129 - 130
- [3] 江源, 刘硕. 城市土地利用下的植物物种资源特征分析[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 359 - 362
- [4] 马灵芳, 管东生, 郑淑颖. 广州新河浦小区庭院树木特征及其与环境空间的关系[J]. 城市环境与城市生态, 2000, 13(1): 25 - 27
- [5] Derek O Lee. Urban climates[M]. London: Hutchinson, 1982. 1 - 31
- [6] 阎水玉. 城市生态学学科定义、研究内容、研究方法的分析与探索[J]. 生态科学, 2001, 20(1, 2): 96 - 105
- [7] 周淑贞, 束炯编著. 城市气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1994. 244 - 344
- [8] 白虎志, 张焕儒, 张存杰. 兰州城市化发展对局地气候的影响[J]. 高原气象, 1997, 16(4): 410 - 416
- [9] 张一平, 彭贵芬, 李玉麟. 低纬高原城市昆明的气候特征[J]. 高原气象, 1997, 16(3): 319 - 325
- [10] Oke T R. City size and the urban heat island[J]. Atmospheric Environment Pergamon Press, 1973, 7: 760 - 790
- [11] Oke T R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observation[J]. J Climatol, 1981, 1: 237 - 254
- [12] Oke T R. The energetic basis of the urban heat island[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1982, 108: 1 - 24
- [13] Kidder S Q, O M Essenwanger. The effect of clouds and wind on the difference in nocturnal cooling rates between urban and rural areas[J]. J Appl Meteor, 1995, 34: 2440 - 2448
- [14] Morris C J G, I Simmonds. Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city[J]. J Appl Meteor, 2001, 40: 169 - 182
- [15] 周淑贞, 郑景春. 上海城市太阳辐射与热岛强度[J]. 地理学报, 1991, 46(2): 207 - 212
- [16] Arnfield A J. Canyon geometry, the fabric and nocturnal cooling: A simulation approach[J]. Phys Geog, 1990a, 11: 220 - 239
- [17] 董靓. 城市地表覆盖材料的热反应[J]. 城市环境与城市生态, 1995, 8(2): 18 - 20
- [18] 张一平, 彭贵芬, 李佑荣等. 低纬高原地区城市化对室内外气温的影响研究[J]. 高原气象, 2001, 20(3): 311 - 317
- [19] 张一平, 李佑荣, 王进欣等. 低纬高原城市冬季南北朝向室内温湿特征的初步分析[J]. 热带气象学报, 2001, 17(3): 265 - 272
- [20] Ichinose, Toshiaki, Hanaki et al. Impact of anthropogenic heat on

- urban climate in Tokyo[J]. *Atmos Environ*, 1999, 33(24): 3897 - 3909
- [21] Duckworth F S, J S Sandberg. The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1954, 35: 198 - 270
- [22] Oke T R. The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands[J]. *Atmosphere*, 1976, 14: 268 - 277
- [23] 张一平, 何云玲, 马友鑫等. 昆明城市热岛效应立体分布特征[J]. *高原气象*, 2002, 21(6): 604 - 609
- [24] 张一平, 何云玲, 马友鑫等. 城市的大气构造、环境污染和人类健康[J]. *气候与环境研究*, 1999, 4(1): 78 - 83
- [25] 桑建国, 刘万军. 冬季城市边界层中风场和温度场结构分析[J]. *气象学报*, 1990, 48(4): 459 - 468
- [26] 叶卓佳, 关虹. 夜间城市边界层发展的数值研究[J]. *大气科学*, 1986, 10(1): 80 - 88
- [27] 王存忠, 曹文俊. 天津市郊大气边界层湍流谱特征分析[J]. *气象学报*, 1994, 52(4): 484 - 491
- [28] Myrup L O. A numerical model of the urban heat island[J]. *J Appl Meteor*, 1969, 8: 896 - 907
- [29] Terjung H W, P A O'Rourke. Simulating the causal elements of urban heat islands[J]. *Boundary-Layer Meteor*, 1980, 19: 93 - 118
- [30] Baik, H - Y Chun. A dynamical model for urban heat island[J]. *Boundary-Layer Meteor*, 1997, 82: 463 - 477
- [31] Eliasson I, B Holmer. Urban heat island circulation in Goteborg, Sweden[J]. *Theor Appl Climatol*, 1990, 41: 187 - 196
- [32] 边海, 铁学熙. 天津市夜间城市热岛的数值模拟[J]. *地理学报*, 1988, 43(2): 150 - 158
- [33] Petterson J T, Stoffol T L. Analysis of urban-rural solar radiation data from St. Louis, Missouri[J]. *J Appl Meteor*, 1980, 19: 275 - 283
- [34] Oke T R. *Boundary layer climates* [M]. London/ New York: Methuen, (1990. 2nd ed.) 274
- [35] 张一平, 李玉麟, 张庆平. 低纬高原城市区域冬季的大气环境与不同波长辐射特征[J]. *城市环境与城市生态*, 1997, 10(3): 23 - 26
- [36] 张一平, 李玉麟, 张庆平. 城市区域大气环境与各天气状况下的辐射特征[J]. *长江流域资源与环境*, 1998, 7(1): 63 - 69
- [37] 张一平. 城市区域光热资源特征[J]. *城市环境与城市生态*, 1999, 12(1): 40 - 43
- [38] Arnfield A J, G M Mills. An analysis of the circulation characteristics and energy budget of a day, asymmetric, east - west urban canyon. I. Circulation characteristics[J]. *InterJ Climatol*, 1994, 14: 119 - 134
- [39] Atsumasa Yoshida, Kazuhide Tominaga, Shigeru Watatani. Field measurement on energy balance of urban canyon in the summer season[J]. *Energy and Building*, 1991, 15: 417 - 423
- [40] Paul Todhunter, Werner H Terjung. Intercomparison of three urban climate models[J]. *Boundary-Layer Meteor*, 1988, 42: 181 - 205
- [41] Hanna Swaid. The role of radiative-convective interaction in creating the microclimate of urban street canyons[J]. *Boundary-Layer Meteor*, 1993, 64: 231 - 259
- [42] Barring L, J O Mattsson, S Lindqvist. Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmo, Sweden[J]. *J Climatol*, 1986, 5: 433 - 444
- [43] Arnfield A J. Street design and urban canyon layer climate[J]. *Energy Build*, 1990, 14: 117 - 123
- [44] Nunez M, T R Oke. Modeling the daytime urban surface energy balance[J]. *Geographical Analysis*, 1980, 12: 373 - 386
- [45] 张一平. 城市区域内建筑物表面温度特征[J]. *城市环境与城市生态*, 1997, 10(1): 39 - 42
- [46] 张一平. 城市区域内不同下垫面的有效辐射特征[J]. *气象科学*, 1997, 17: 168 - 175
- [47] 张一平, 彭贵芬, 张庆平. 城市区域屋顶上与地上的风速和温度特征分析[J]. *地理科学*, 1998, 18(1): 45 - 52
- [48] 张一平, 彭贵芬, 张庆平. 城市内外屋顶面附近风温特征的初步分析[J]. *气象科学*, 1998, 18(1): 56 - 62
- [49] 张一平, 李佑荣, 刘玉洪等. 城市庭院小气候特征季节变化初探[J]. *高原气象*, 2002, 21(4): 381 - 389
- [50] Lowry W P. Urban effects on precipitation amount[J]. *Progress in Physical Geography*, 1998, 22: 477 - 520
- [51] 张一平. 城市化与城市水环境[J]. *城市环境与城市生态*, 1998, 11(2): 20 - 22
- [52] 廖金凤. 城市化对土壤环境的影响[J]. *生态科学*, 2001, 20(1, 2): 90 - 95
- [53] 宋文昌, 由文辉, 王祥荣主编. *城市生态学* [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2000. 99 - 119
- [54] Bastin L, CD Thomas. The distribution of plant species in urban vegetation fragments[J]. *Landscape Ecology*, 1999, 14(5): 493 - 507
- [55] Guan Dong-sheng, Wang Li-rong, Li Zhen. Landscape ecological analysis of urban vegetation in Guangzhou, China[J]. *J Envir Sci*, 1999, 11(2): 160 - 166
- [56] 李曼碧. 城市生态学研究中的城市植物[J]. *云南环境科学*, 2000, 19(1): 24 - 25
- [57] 宋树龙, 李贞. 广州市城市植被景观多样性分析[J]. *热带地理*, 2000, 20(2): 121 - 124
- [58] 柳孝图主编. *城市物理环境与可持续发展* [M]. 南京: 东南大学出版社, 1999. 8
- [59] 邵海荣, 周道荣. 建筑物的遮阳效应及对绿化的影响[J]. *北京林业大学学报*, 1996, 4: 37 - 44
- [60] 李丹燕. 广州城市绿地系统特征及其效益分析[J]. *生态经济*, 1999, 5: 43 - 45
- [61] 杨士弘. 城市绿化树木的降温增湿效应研究[J]. *地理研究*, 1994, 13(1): 74 - 80
- [62] 王丹妮, 狄洪发. 园林绿化与人居环境[J]. *中国园林*, 1998, 4: 9 - 12
- [63] Donkyu Yun. 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
- [64] Shashua-Bar L, M E Hoffman. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street, an empirical model for pre-

- dicting the cooling effect of urban green areas with trees[J]. *Energy and Buildings*, 2001, 31(3): 221 - 235
- [65] Sailor D J. Simulations of annual degree-day impacts of urban vegetative augmentation[J]. *Atmo Environ*, 1998, 32(1): 43 - 52
- [66] Tsuyoshi Honjo, Atsushi Mizutani, Tadashi Takakura. Micrometeorological measurement of urban vegetation and its surrounding area[J]. *J Agricul Meteor*, 1998, 54(4): 323 - 328
- [67] 刘梦飞. 城市绿化覆盖率与气温的关系[J]. *城市规划*, 1988, (3): 59 - 60
- [68] 索奎霖. 充分发挥城市绿化生态效益的关键[J]. *江苏林业科技*, 1998, 25: 80 - 83
- [69] 唐鸣放, 白雪莲. 城市屋面绿化生态热效应[J]. *城市环境与城市生态*, 2000, 13(4): 9 - 10
- [70] 刘建波, 秦光同. 屋顶绿化与城市生态环境的作用[J]. *建筑创作*, 2000, 2: 52 - 53
- [71] 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
- [72] Jo H - K, E G McPherson. Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago USA[J]. *Environmental Management*, 2001, 61(2): 165 - 177
- [73] Abdollahi K K, Z H Ning. Urban vegetation and their relation ability in intercepting partical pollution[J]. *American Meteorological Society*, 1999, 1(15): 127 - 128
- [74] 朱文泉, 何兴元, 陈纬. 城市森林研究进展[J]. *生态学杂志*, 2001, 20(5): 55 - 59
- [75] 张庆费, 庞名瑜, 姜义华等. 上海主要绿化树种抑菌物质和芳香成分分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2000, 9(2): 62 - 64
- [76] 戚继忠, 由士江, 王洪俊等. 园林植物清除细菌能力的研究[J]. *城市环境与城市生态*, 2000, 13(4): 36 - 38
- [77] 管东生, 莫大伦, 刘秋海. 广州城市建成区绿地对大气二氧化硫的净化作用[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 1999, 38(2): 109 - 113
- [78] 冯建军, 沈家芬, 苏开君. 广州市道路绿化模式环境效应分析[J]. *城市环境与城市生态*, 2001, 14(2): 4 - 6
- [79] 沈家芬, 苏开君, 冯建军. 道路绿化种植抗污染植物模式研究[J]. *城市环境与城市生态*, 2001, 14(6): 52 - 53
- [80] 吴人韦, 夏敏. 城市绿化的生态化[J]. *城市环境与城市生态*, 1999, 12(6): 32 - 35
- [81] 李团胜, 王萍. 绿道及其生态意义[J]. *生态学杂志*, 2001, 20(6): 59 - 61
- [82] Godde M, R Witting. A preliminary attempt at a thermal division of the town of Munster (North Rhine-Westphalia, West Germany) on a floral and vegetation basis[J]. *Urban Ecology*, 1983, 7: 255 - 256
- [83] 潘如圭, 江嘉熙, 柳福妹等. 城市大气二氧化硫与植物含硫量之间的关系研究[J]. *中国环境科学*, 1987, 7(7): 31 - 34
- [84] 薛皎亮, 谢映平, 李景平. 太原市空气中硫污染在植物体内积累的研究[J]. *城市环境与城市生态*, 2001, 14(1): 47 - 49
- [85] 蒋高明. 植物硫含量法监测大气污染数量模型[J]. *中国环境科学*, 1995, 15(3): 208 - 214
- [86] 马跃良, 贾桂梅, 王云鹏等. 广州市植物叶片重金属元素含量及其大气污染评价[J]. *城市环境与城市生态*, 2001, 14(6): 28 - 30

Studies on Interaction between Urban Eco-environment and Urban Afforestation

HE Yun-ling, ZHANG Yi-ping

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China)

Abstract: The great attentions have been paid to the studies on the urban eco-environment and urban afforestation vegetation by investigators from different fields for many years. Based on the discussion about variable characteristics of urban climate, water and soil environment, as well as the ecological effects of urban vegetation, this paper reviews the advances in this field, and the some points to be reinforced in future study. It is intended that through above-mentioned profound and comprehensive discussion will offer some valuable references for promoting the studies on urban environment and ecology in China.

Key words: Urban eco-environment; Urban vegetation cover; Urban climate