

武汉市 65 个园林树种的生态功能研究

郑鹏^{1,4}, 史红文³, 邓红兵¹, 廖建雄^{2*}

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院武汉植物园水生植物与流域生态重点实验室, 武汉 430074;

3. 武汉市园林科学研究所, 武汉 430081; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 园林树种是建设生态园林城市的主体,其生态功能的定量研究是园林植物筛选、配置和管理的重要依据。本研究通过测量武汉市 65 个常见园林树种的光合、蒸腾日变化及冠幅、叶面积指数等指标,发现树种间、乔木与灌木、常绿与落叶植物之间的水分利用、固碳释氧、蒸腾降温及滞尘能力均有显著差异。根据分层聚类分析,可将它们划分为 5 大功能类群。其中低固碳低滞尘型 26 种;高固碳高降温型 8 种(分别为垂柳 *Salix babylonica*、火棘 *Pyracantha fortuneana*、栾树 *Koelreuteria paniculata*、木芙蓉 *Hibiscus mutabilis*、枇杷 *Eriobotrya japonica*、西府海棠 *Malus micromalus*、银木 *Cinnamomum septentrionale* 和重阳木 *Bischofia javanica*);高滞尘低降温型 9 种(分别为枫杨 *Pterocarya stenoptera*、桂花 *Osmanthus fragrans*、夹竹桃 *Nerium indicum*、马褂木 *Liriodendron chinense*、石楠 *Photinia serrulata*、悬铃木 *Platanus hispanica*、雪松 *Cedrus deodara*、银杏 *Ginkgo biloba* 和樟树 *Cinnamomum camphora*);低水分利用高蒸腾型 11 种;高水分利用型 11 种。

关键词: 园林树种; 水分利用效率; 固碳释氧; 蒸腾降温; 滞尘

中图分类号: Q945.79; S731.2

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2012)05-0468-08

Study on the Ecological Functions of Sixty-five Garden Species in Wuhan City, China

ZHENG Peng^{1,4}, SHI Hong-Wen³, DENG Hong-Bing¹, LIAO Jian-Xiong^{2*}

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 3. Wuhan Landscape Architecture Institute, Wuhan 430081, China; 4. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Garden species are the main component in the construction of ecological garden cities. Quantitative studies on their ecological functions provide an important basis for selection, configuration, and management of garden species. In this study, we estimated water use efficiency (WUE), and the capacities of carbon fixation (W_{CO_2}) and oxygen release (W_{O_2}), temperature reduction (ΔT) and dust detention (W_{dust}) of 65 garden species in Wuhan City by measuring the diurnal changes of photosynthesis and transpiration, and the crown width and leaf area index. The results showed there were significant differences in WUE , W_{CO_2} , W_{O_2} , ΔT , and W_{dust} among species, shrubs and trees, and deciduous and evergreen species. Based on the values of these ecological functions, the species studied were divided into five functional groups: low carbon fixation and low dust detention species (26 species), high carbon fixation and high temperature reduction species (8 species), high dust detention and low temperature reduction species (9 species), low water use and high transpiration species (11 species), and

收稿日期: 2012-04-05, 修回日期: 2012-05-22。

基金项目: 武汉市园林局资助项目(武园 200817); 国家自然科学基金项目(31070465)。

作者简介: 郑鹏(1983-), 男, 博士研究生, 主要从事流域生态环境研究。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: liaojx@wbgcas.cn)。

high water use species (11 species).

Key words: Garden species; Water use efficiency; Carbon fixation and oxygen release; Temperature reduction; Dust detention

随着高速城市化及人们对城市环境的高要求,以自然、生态为主导的园林代替以往以视觉景观为主的园林是未来城市发展的必然趋势^[1,2]。城市园林树种是构建城市园林绿地的主体。如何正确选择、配置和管理城市园林树种已成为生态园林城市绿地建设过程中迫切需要解决的问题^[3]。

在城市园林树种选择中,大量使用生态效益较好的植物(如固碳释氧、蒸腾降温、滞尘能力等)已成为目前生态园林城市建设的共识^[4,5]。然而,以往园林研究过分强调色带和色块,或盲目引种并仅限于研究其在当地城市的适应性^[6,7]。这些研究不但不能定量评价城市绿地的生态效益,而且使各城市之间没有植被差别,也就没有特色。因此,对园林树种各项生态功能进行系统的量化研究并进行分类,是建设生态园林城市首先要解决的问题,它不但是研究城市绿化生态效益的一个重要基础,同时也可作为合理配置园林植物的主要依据。

经过多年不懈努力,武汉市园林绿化事业取得了巨大的进步,并于2006年获得了“国家园林城市”的称号。截止2009年底,武汉市建成区绿地率、绿化覆盖率和人均公共绿地面积分别达到32.16%、37.46%和9.22 m²,基本形成了形式多样、物种丰富、布局合理,与自然环境相协调的园林绿化格局^[8]。然而,根据“国家生态园林城市标准”,武汉市还需进一步提高绿化质量。目前武汉市园林树种的选择主要停留在是否生长发育良好等定性评价的基础上,它们的生态效益如何还缺乏系统的研究。因此,定量研究园林植物的生态功能,是武汉市向“生态园林城市”迈进过程中急需解决的问题。本研究首次对武汉市常见65个园林树种的水分利用、固碳释氧、蒸腾降温及滞尘能力等进行了测定和计算,并利用分层聚类方法对它们的综合功能进行了分类,旨在为武汉市园林树种的选择、配置和管理提供科学依据和物种库。

1 材料和方法

1.1 武汉市自然概况

武汉市(29°58'~31°22' N, 113°41'~115°05' E)位于江汉平原东部,长江中游与汉水交汇处,是华中地区的中心城市。该市地带性植被属于常绿阔叶阔叶混交林,植物区系属中亚热带常绿阔叶林向北亚热带落叶阔叶林过渡的地带^[9]。气候属北亚热带季风性湿润气候,雨量充沛,日照充足,四季分明。年平均气温15.8~17.5℃,年降水量1100 mm,年无霜期240 d,年日照总时数2000 h。由于武汉市处于内陆,距海洋远,周围地形如盆地,集热容易散热难,河湖多,晚上水汽多,加上城市热岛效应和伏旱时受副热带高压控制,因而夏季时间长,达135 d,闷热,最高气温可达42℃。

1.2 测试植物

选取在武汉市园林绿化中应用多、生长好的65个园林树种作为研究对象,它们分别隶属于33科、49属(表1)。其中乔木33种,灌木32种;常绿植物32种、落叶植物33种(表2)。测试时,乔木选取胸径大于10 cm、灌木选取基径大于5 cm的健康个体。

1.3 研究方法

1.3.1 光合和蒸腾日变化、滞尘量、叶面积指数和冠幅测量

光合和蒸腾日变化测量于2009年植物生长盛期(8月)在武汉市园林科普公园内进行。测量仪器为CIRAS-2便携式光合作用测定系统(PP systems, Amesbury, USA)。测量时每物种选3个个体,每个体选3片向阳且健康的功能叶,于晴朗少云日的全天(8:00—18:00),每隔1~2 h测量1次。

植物叶滞尘采样也在2009年8月进行。采样地点为武汉市中心城区园林树种应用较多的道旁绿地、街头游园、城市小森林等邻近道路,车流、人流较为密集的地段,同时避开施工工地。具体路段为:和平大道、中山路、临江大道、友谊大道、园林路、三弓路、建设一路、四美塘公园以及南干渠游园等。采样

表 1 武汉市 65 个园林树种的日水分利用效率 (WUE)、

固碳量 (W_{CO_2})、释氧量 (W_{O_2})、降温度数 (ΔT) 和滞尘量 (W_{dust})

Table 1 Species studied, habit, life form, diurnal average water use efficiency (WUE), carbon fixation (W_{CO_2}), oxygen release (W_{O_2}), temperature reduction (ΔT) and dust detention (W_{dust})

物种名 Species	科 Family	习性 Habit	生活型 Life form	水分利用效率 WUE (mg/g)	固碳量 W_{CO_2} (g/d)	释氧量 W_{O_2} (g/d)	降温度数 ΔT (°C)	滞尘量 W_{dust} (g)
八角金盘 <i>Fatsia japonica</i>	五加科 Araliaceae	E	S	3.68	5.75	4.18	0.24	2.32
八仙花 <i>Lydlangea macrophylla</i>	虎耳草科 Saxifragaceae	D	S	4.78	12.39	9.01	0.40	1.46
白玉兰 <i>Magnolia denudata</i>	木兰科 Magnoliaceae	D	T	4.95	262.69	191.05	0.53	238.43
碧桃 <i>Amygdalus persica</i> cv. Duplex	蔷薇科 Rosaceae	D	S	2.51	23.04	16.76	0.19	20.48
茶梅 <i>Camellia sasanpua</i>	山茶科 Theaceae	E	S	5.87	4.61	3.35	0.14	11.40
垂柳 <i>Salix babylonica</i>	杨柳科 Salicaceae	D	T	10.67	733.12	533.18	0.23	95.46
垂丝海棠 <i>Malus halliana</i>	蔷薇科 Rosaceae	D	S	7.70	65.09	47.34	0.20	14.66
大叶黄杨 <i>Euonymus japonicus</i>	卫矛科 Celastraceae	E	S	7.65	18.17	13.21	0.28	30.97
杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	杜鹃花科 Ericaceae	E	S	2.96	3.33	2.42	0.26	8.83
杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i>	杜英科 Elaeocarpaceae	E	T	6.38	95.19	69.23	0.19	81.55
枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	胡桃科 Juglandaceae	D	T	4.38	334.05	242.94	0.19	301.74
枸骨 <i>Ilex cornuta</i>	冬青科 Aquifoliaceae	E	S	17.64	64.72	47.07	0.40	22.35
广玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	木兰科 Magnoliaceae	E	T	5.97	508.15	369.57	0.39	258.88
桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	木犀科 Oleaceae	E	S	11.71	300.57	218.59	0.19	462.76
海桐 <i>Pittosporum tobira</i>	海桐花科 Pittosporaceae	E	S	16.29	90.55	65.85	0.50	78.53
含笑 <i>Michelia figo</i>	木兰科 Magnoliaceae	E	S	10.56	24.78	18.02	0.22	14.99
合欢 <i>Albizia julibrissin</i>	豆科 Leguminosae	D	T	4.33	216.86	157.71	0.14	56.25
红枫 <i>Acer palmatum var. atropurpureum</i>	槭树科 Aceraceae	D	T	7.26	19.79	14.40	0.10	33.77
红榿木 <i>Loropetalum chinense var. rubrum</i>	金缕梅科 Hamamelidaceae	E	S	7.86	43.86	31.90	0.40	47.16
花榈木 <i>Ormosia henryi</i>	豆科 Leguminosae	E	T	13.27	202.63	147.36	0.15	29.32
花叶蔓长春 <i>Vinca major</i> cv. Variegata	夹竹桃科 Apocynaceae	E	S	10.85	61.61	44.81	0.34	17.22
黄心夜合 <i>Michelia bedinieri</i>	木兰科 Magnoliaceae	E	T	11.51	41.98	30.53	0.12	3.37
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	蔷薇科 Rosaceae	E	S	14.00	225.68	164.13	0.98	44.74
夹竹桃 <i>Nerium indicum</i>	夹竹桃科 Apocynaceae	E	S	9.94	117.36	85.35	0.25	607.51
蜡梅 <i>Chimonanthus praecox</i>	蜡梅科 Calycanthaceae	D	S	14.24	275.55	200.40	0.51	59.79
乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	木兰科 Magnoliaceae	E	T	4.06	117.95	85.78	0.22	134.52
连翘 <i>Forsythia suspensa</i>	木犀科 Oleaceae	D	S	12.17	79.06	57.50	0.57	15.34
龙爪槐 <i>Sophora pendula</i>	豆科 Leguminosae	D	T	9.29	105.72	76.89	0.50	19.16
栾树 <i>Koelreuteria paniculata</i>	无患子科 Sapindaceae	D	T	5.74	922.14	670.65	0.39	214.67
椴木石楠 <i>Photinia davidsoniae</i>	蔷薇科 Rosaceae	E	T	2.17	206.53	150.20	0.82	194.96
马褂木 <i>Liriodendron chinense</i>	木兰科 Magnoliaceae	D	T	1.37	193.44	140.68	0.12	475.67
梅花 <i>Armeniaca mume</i>	蔷薇科 Rosaceae	D	S	6.97	41.03	29.84	0.31	25.08
木芙蓉 <i>Hibiscus mutabilis</i>	锦葵科 Malvaceae	D	S	12.30	835.50	607.64	0.43	49.94
木槿 <i>Hibiscus syriacus</i>	锦葵科 Malvaceae	D	S	3.26	48.57	35.32	0.77	34.74
南天竹 <i>Nandina domestica</i>	小檗科 Berberidaceae	E	S	6.52	20.95	15.23	0.32	32.31
女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	木犀科 Oleaceae	E	T	10.35	157.26	114.37	0.23	152.39
枇杷 <i>Eriobotrya japonica</i>	蔷薇科 Rosaceae	E	T	8.33	739.01	537.46	0.41	254.10
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	榆科 Ulmaceae	D	T	6.94	364.05	264.76	0.42	100.84

续表 1

物种名 Species	科 Family	习性 Habit	生活型 Life form	水分利用效率 WUE (mg/g)	固碳量 W _{CO₂} (g/d)	释氧量 W _{O₂} (g/d)	降温度数 ΔT (°C)	滞尘量 W _{dust} (g)
楸树 <i>Catalpa bungei</i>	紫葳科 Bignoniaceae	D	T	3.66	323.09	234.97	0.28	16.95
洒金桃叶珊瑚 <i>Aucuba japonica</i> cv. Variegata	山茱萸科 Cornaceae	E	S	8.12	21.33	15.52	0.41	13.02
三角枫 <i>Acer buergerianum</i>	槭树科 Aceraceae	D	T	3.47	170.26	123.83	0.38	66.80
伞房决明 <i>Cassia corymbosa</i>	豆科 Leguminosae	D	S	5.89	84.08	61.15	0.50	11.80
珊瑚朴 <i>Celtis julianae</i>	榆科 Ulmaceae	D	T	5.40	470.51	342.19	0.45	95.22
珊瑚树 <i>Viburnum awabuki</i>	忍冬科 Caprifoliaceae	E	S	11.41	122.27	88.92	0.21	71.19
十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i>	小檗科 Berberidaceae	E	S	9.41	33.32	24.24	0.40	21.04
石楠 <i>Photinia serrulata</i>	蔷薇科 Rosaceae	E	T	6.73	166.48	121.08	0.28	790.22
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	杉科 Taxodiaceae	D	T	5.13	369.63	268.82	0.31	106.15
无患子 <i>Sapindus mukurossi</i>	无患子科 Sapindaceae	D	T	4.56	552.72	401.98	0.34	303.96
西府海棠 <i>Malus micromalus</i>	蔷薇科 Rosaceae	D	S	11.24	1196.51	870.19	0.85	221.94
喜树 <i>Camptotheca acuminata</i>	珙桐科 Nyssaceae	D	T	4.30	39.64	28.83	0.09	18.61
悬铃木 <i>Platanus hispanica</i>	悬铃木科 Platanaceae	D	T	2.48	973.55	708.03	0.31	774.01
雪松 <i>Cedrus deodara</i>	松科 Pinaceae	E	T	3.12	382.55	278.22	0.29	449.97
野黄桂 <i>Cinnamomum jensenianum</i>	樟科 Lauraceae	E	T	2.84	76.66	55.75	0.13	131.39
银木 <i>Cinnamomum septentrionale</i>	樟科 Lauraceae	E	T	10.01	1421.61	1033.90	0.18	250.50
银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	银杏科 Ginkgoaceae	D	T	5.95	347.72	252.89	0.22	737.20
樱花 <i>Cerasus serrulata</i>	蔷薇科 Rosaceae	D	T	4.58	25.75	18.73	0.10	36.21
月季 <i>Rosa chinensis</i>	蔷薇科 Rosaceae	D	S	6.80	16.36	11.90	0.37	7.75
云南黄馨 <i>Jasminum mesnyi</i>	木犀科 Oleaceae	E	S	14.00	74.65	54.29	0.42	13.80
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	樟科 Lauraceae	E	T	8.25	491.23	357.26	0.12	400.36
梔子花 <i>Gardenia jasminoides</i>	茜草科 Rubiaceae	E	S	5.26	8.74	6.35	0.22	16.45
重阳木 <i>Bischofia javanica</i>	大戟科 Euphorbiaceae	D	T	8.42	941.82	684.96	0.46	350.99
紫荆 <i>Cercis chinensis</i>	豆科 Leguminosae	D	S	4.71	341.92	248.67	0.71	463.13
紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	千屈菜科 Lythraceae	D	S	6.98	46.72	33.98	0.42	52.13
紫叶李 <i>Prunus ceraifera</i> cv. Pissardii	蔷薇科 Rosaceae	D	S	8.13	67.33	48.96	0.24	13.69
棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>	棕榈科 Palmae	E	T	14.35	19.88	14.46	0.03	20.48

注：D—落叶；E—常绿；S—灌木；T—乔木。
Notes: D—Deciduous; E—Evergreen; S—Shrub; T—Tree.

选择在雨后第 5 d 进行。取植物朝向道路一侧的叶 10~20 片,先称取附着粉尘的叶重(m_1 ,精确到 0.001 g),然后用棉布擦去灰尘,再称取除去粉尘后的叶重(m_2), $(m_1-m_2)/A$ 即为单位叶面积滞尘量, A 为叶面积,采用扫描像素法^[10]测量。

叶面积指数(LAI)和冠幅(C)测量与光合蒸腾日变化及滞尘采样同时进行。其中 LAI 采用植物冠层分析仪(CI-110,CID,USA)进行测定,测定时每株植物分别测定两个不同方向的 LAI 值,然后取平均值; $C(m^2)$ 测定采用量取植物东西和南北冠幅直径然后相乘的方法。

1.3.2 植株水分利用效率、固碳释氧、蒸腾降温和滞尘能力计算

在植物光合、蒸腾日变化曲线中,其日同化量和日蒸腾量分别为净光合速率曲线和蒸腾速率曲线与时间横轴围合的面积。以此为基础,可利用简单积分法计算植物叶日净同化总量 $P(mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1})$ 和蒸腾总量 $E(g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1})$:

$$P = \sum_{i=1}^n [(p_{i+1} + p_i) / 2 \times (t_{i+1} - t_i) \times 3600 / 1000] \times 44 \quad (1);$$

$$E = \sum_{i=1}^n [(e_{i+1} + e_i) / 2 \times (t_{i+1} - t_i) \times 3600 / 1000] \times 18 \quad (2)。$$

式(1)和式(2)中, p_i 和 e_i 分别为初测点瞬时光合速率($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)和蒸腾速率($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), p_{i+1} 和 e_{i+1} 分别为下一测点瞬时光合速率和蒸腾速率; t_i 为初测点的测量时间(h), t_{i+1} 为下一测点的时间; j 为测量次数; 44 和 18 分别为二氧化碳和水的摩尔质量。

根据式(1)和式(2), 可计算植株的水分利用效率($WUE = P/E, \text{mg/g}$)、固碳($W_{\text{CO}_2} = P \times LAI \times C/1000, \text{g/d}$)和释氧($W_{\text{O}_2} = P \times 32/44 \times LAI \times C/1000, \text{g/d}$)能力。同理, 植株滞尘能力($W_{\text{dust}}, \text{g}$)可用下式计算:

$$W_{\text{dust}} = (m_1 - m_2) / A \times LAI \times C.$$

蒸腾降温能力参照杨士弘^[11]叶蒸腾降温估计方法并加以改进。考虑到空气的湍流与对流, 空气与叶面之间及空气微气团之间不断地进行热量扩散和交换, 故取底面积为 10 m^2 , 厚度为 100 m 的空气柱作为计算单元。 100 m 代表现代城市覆盖层(屋顶至地面)的高度, 10 m^2 为小气候的水平尺度。在此体积为 1000 m^3 空气柱中, 植株蒸腾散热可使其气温下降, 气温下降值 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ 为:

$$\Delta T = E \times LAI \times L \times 4.18 / (P_c \times 1000 \times 12) \quad (3).$$

式(3)中, L 为蒸腾散热系数($=597-0.57 \times T$, T 为测定日气温, 武汉市 8 月份日平均气温约为 33.5°C); 4.18 为 $1\text{ cal}=4.18\text{ J}$ 。 P_c 为空气的容积热容量, 其值为 $1256\text{ J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$; 1000 指 1000 m^3 空气柱, 12 指白天时间, 以 12 h 计算。

1.4 统计分析

所有数据处理与分析均利用 SPSS 15.0 软件 (SPSS Inc., Chicago, USA) 完成。数据分析前, 先对数据进行 $\log_{10}$ 对数转换。65 个园林树种的聚类采用分层聚类法, 以离差平方和法和平方欧氏距离为基本选项, 利用每一物种的 WUE 、 W_{CO_2} 、 ΔT 、 W_{dust} 等平均值执行聚类。灌木和乔木间、落叶与常绿植物间以及聚类类型间的差异采用单因素方差分析 (One-way ANOVA)。

2 结果

武汉市 65 个常见园林树种的日平均水分利用效率分布在 $1.37 \sim 17.64\text{ mg/g}$ 之间, 平均 7.56 mg/g (表 1, 表 2)。其中灌木的水分利用效率显著高于乔木。与常绿植物相比, 落叶植物具有更低的水分利用效率 (表 2)。

65 个园林树种的日固碳量分布在 $3.33 \sim 1421.61\text{ g/d}$ 之间, 平均 251.83 g/d (表 1, 表 2)。日释氧量分布范围为 $2.42 \sim 1033.90\text{ g/d}$, 平均 183.15 g/d 。不同园林树种间, 日固碳量与释氧量具有类似的差异。其中银木 (*Cinnamomum septentrionale*) 和西府海棠 (*Malus micromalus*) 的固碳释氧能力强, 而杜鹃 (*Rhododendron simsii*)、茶梅 (*Camellia sasanpua*)、栀子花 (*Gardenia jasminoides*) 等的固碳释氧能力弱。乔木的日固碳量和释氧量显著高于灌木, 常绿树种虽低于落叶树种但差异不显著。

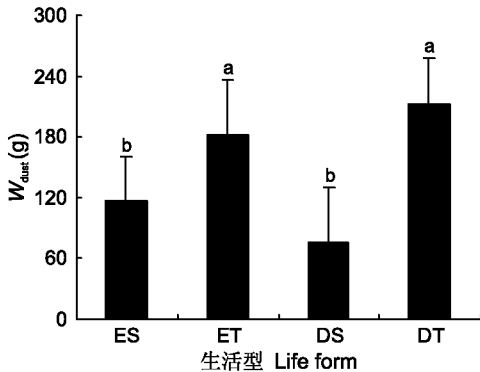
表 2 不同生活型和不同习性植物叶面积指数 (LAI)、冠幅 (C)、水分利用效率 (WUE)、固碳 (W_{CO_2})、释氧 (W_{O_2})、降温度数 (ΔT) 的单因素方差分析结果
Table 2 Differences in leaf area index (LAI), crown width (C), water use efficiency (WUE), carbon fixation (W_{CO_2}), oxygen release (W_{O_2}), and temperature reduction (ΔT) between shrub vs. tree, and deciduous vs. evergreen species, tested by one-way ANOVA

物种类别 Species group	<i>n</i>	冠幅 <i>C</i> (m^2)	叶面积指数 <i>LAI</i>	水分利用效率 <i>WUE</i> (mg/g)	固碳量 W_{CO_2} (g/d)	释氧量 W_{O_2} (g/d)	降温度数 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$
生活型 Life form							
灌木 Shrub	32	2.72***	3.29**	8.79**	136.73**	99.44**	0.40*
乔木 Tree	33	21.35	2.42	6.37	363.44	264.32	0.28
习性 Plant habit							
落叶 Deciduous	33	15.96 ^{ns}	2.70 ^{ns}	6.38**	318.17 ^{ns}	231.40 ^{ns}	0.36 ^{ns}
常绿 Evergreen	32	8.28	3.00	8.78	183.42	133.39	0.30
所有数据 Overall	65	12.18	2.85	7.56	251.83	183.15	0.34

注: *n* 为物种数。ns 表示差异不显著 ($p>0.05$), * $p<0.05$, ** $p<0.01$ 。
Notes: *n*, Number of species. ns not significant at $p>0.05$, * $p<0.05$, ** $p<0.01$.

不同园林树种的蒸腾降温能力差别很大(表1)。植株日降温度数以火棘(*Pyracantha fortuneana*)最明显,将近1℃,棕榈(*Trachycarpus fortunei*)的降温度数最小,仅为0.03℃。灌木的日降温度数显著大于乔木,而落叶植物的降温效果与常绿植物相比没有显著差异(表2)。

65个园林树种滞尘量分布于1.46~790.22 g之间,其中石楠(*Photinia serrulata*)、悬铃木(*Platanus hispanica*)、银杏(*Ginkgo biloba*)的滞尘能力强,八仙花(*Lydlangea macrophylla*)、八角金盘(*Fatsia japonica*)、黄心夜合(*Michelia bedinieri*)等的滞尘能力弱(表1)。不同生活型间,乔木显著大于灌木,落叶与常绿树种间差异不显著(图1)。



ES: 常绿灌木; ET: 常绿乔木; DS: 落叶灌木; DT: 落叶乔木。
不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。
ES: Evergreen shrub; ET: Evergreen tree; DS: Deciduous shrub; DT: Deciduous tree. Different letters above bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

图1 不同生活型树种的滞尘量 (W_{dust})

Fig. 1 Differences in dust detention (W_{dust}) among life forms

基于以上结果,我们将表1数据进行了分层聚类分析(图2)。因为释氧量是固碳量的换算,为避免共线性相关,进行聚类分析时将植株释氧量排除在外。即用于聚类分析的数据有:水分利用效率(WUE)、固碳量(W_{CO_2})、降温度数(ΔT)和滞尘量(W_{dust})。通过图2的结合线L及表3的进一步统计分析,可将所测的65个园林树种划分为5大功能类群:①低固碳低滞尘型26种,平均固碳量和滞留量仅为49.05 g/d和33.05 g;②高固碳高降温型8种,分别为垂柳(*Salix babylonica*)、火棘、栾树(*Koelreuteria paniculata*)、木芙蓉(*Hibiscus mutabilis*)、枇杷(*Eriobotrya japonica*)、西府海棠、银木和重阳木(*Bischofia javanica*),它们的平均固碳量

和降温度数可达876.92 g/d和0.49℃;③高滞尘低降温型9种,分别为枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、桂花(*Osmanthus fragrans*)、夹竹桃(*Nerium indicum*)、马褂木(*Liriodendron chinense*)、石楠、悬铃木、雪松(*Cedrus deodara*)、银杏和樟树(*Cinnamomum camphora*),它们的平均滞尘量可达555.49 g,但平均降温度数仅为0.22℃;④低水分利用高蒸腾型11种,平均水分利用效率仅为4.75 mg/g,但平均降温度数可达0.49℃;⑤高水分利用型11种,平均水分利用效率高达13.25 mg/g。

3 讨论

经济高速发展及全球气候变化引起的生态环境恶化、热岛效应加剧、空气质量超极限等现象已严重影响城市居民的工作、生活及身心健康。因此,如何应对发展挑战又能利用有限的绿化用地改善环境是城市园林建设迫切需要解决的问题^[12]。2012年2月,国务院同意发布新修订的《环境空气质量标准》增加了PM 2.5监测指标。几乎同一时间,武汉市在致力于打造“国家生态园林城市”的基础上,提出了“武汉市绿道系统建设规划”。这些政策和规划的出台,都与城市园林树种息息相关。不同的园林树种,由于其生物学、生态学特性的不同,它们在固碳释氧^[8,13]、缓解城市热岛效应^[14,15]及滞尘^[16,17]等方面具有明显的差异。因此,定量研究不同园林树种的各种生态功能,因地制宜地进行树种选择以发挥绿化用地的最大生态效益,是目前园林绿化建设的重要内容和研究热点。

本研究所选择的65个园林树种皆为武汉市园林建设中常用的植物种类,都属于基调树种或骨干树种,在整个园林绿地系统中属于优势种类。这些植物中常绿和落叶树种的比例约为1:1,与武汉市地带性植被类型的性质也相一致,因此反映了该市园林绿化的基本面貌。但是通过水分利用、固碳释氧、蒸腾降温及滞尘能力的估算,我们发现这些树种中一半以上的生态功能较差(低固碳低滞尘型26种和低水分利用高蒸腾型11种)。滞尘能力强的植物只有9种,且其蒸腾降温能力低。高固碳释氧且蒸腾降温能力强的植物仅8种,但除垂柳、火棘和栾树应用较多外,其余5种(木芙蓉、枇杷、西府海棠、银木和重阳木)武汉市应用还很少,建议在以后

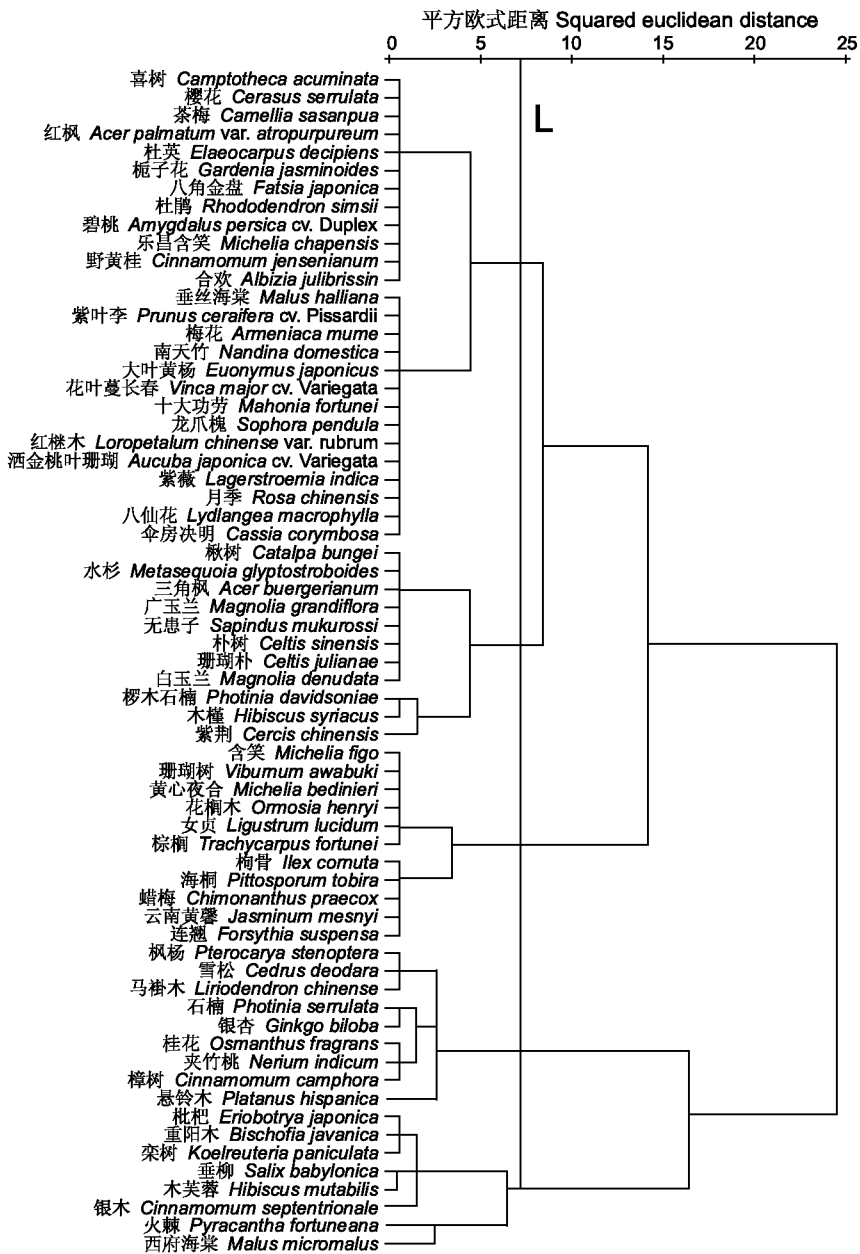


图 2 武汉市 65 个园林树种综合功能的分层聚类分析

Fig. 2 Dendrogram of hierarchical cluster analysis of 65 garden species in Wuhan City

表 3 武汉市 65 个园林树种聚为 5 大功能类群后水分利用效率 (WUE)、固碳 (W_{CO_2})、降温度数 (ΔT)、滞尘量 (W_{dust}) 的差异

功能类群 Functional group		<i>n</i>	水分利用效率 <i>WUE</i> (mg/g)	固碳量 W_{CO_2} (g/d)	降温度数 ΔT (°C)	滞尘量 W_{dust} (g)
低固碳低滞尘型 Low carbon fixation and low dust detention		26	6.19 ^c	49.05 ^c	0.27 ^b	33.05 ^c
高固碳高温型 High carbon fixation and high temperature reduction		8	10.09 ^b	876.92 ^a	0.49 ^a	185.29 ^b
高滞尘低温型 High dust detention and low temperature reduction		9	5.99 ^c	367.44 ^b	0.22 ^b	555.49 ^a
低水分利用高蒸腾型 Low water use and high transpiration		11	4.57 ^c	328.92 ^b	0.49 ^a	170.91 ^b
高水分利用型 High water use		11	13.25 ^a	104.85 ^c	0.31 ^b	43.78 ^c

注: *n* 为物种数。同一列不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。
Notes: *n*, Number of species. Means in each column followed by different letters indicate significant difference ($p < 0.05$).

的绿地建设中增加比重。对于武汉市的市树——水杉(*Metasequoia glyptostroboides*),它在本研究中属于低水分利用高蒸腾型,这在降水较多且大多用于湖边行道树的武汉是合适的。而市花——梅花(*Armeniaca mume*)在本研究中属于低固碳低滞尘型,即生态功能较差,建议减少应用或多种植于风景名胜、公园等以观赏为目的绿地。其它一些常见的树种,如悬铃木,虽然在本研究中属于低降温型,但是其巨大的冠幅可为人们遮阳庇荫,同样可以达到降温的效果。而且其高滞尘能力及落叶(冬季不会遮蔽阳光)等特点,适于在居民区、商业区等生活和经商场所进行栽植。

由于武汉市园林科普公园是本研究园林树种光合、蒸腾日变化的主要测量地点,因此其固碳释氧、蒸腾降温结果可能不能代表整个武汉市。而且,除水分利用、固碳释氧、蒸腾降温及滞尘能力外,园林树种还有其它生态功能,如降低噪音^[18]、吸污杀菌^[19,20]、保持水土^[21,22]等。因此,武汉市园林树种生态功能的定量研究还需进一步深入。另外,如何合理配置和管理这些园林树种,以更大限度地利用绿地资源并保证生态功能的有效发挥也应该是近年来武汉市园林部门急需研究的课题。

致谢: 感谢江明喜老师的建议及段庆明、黄汉东在野外测试工作中给予的帮助。

参考文献:

- [1] 张浩,王祥荣,包静晖,闫水玉.上海与伦敦城市绿地的生态功能及管理对策比较研究[J].城市环境与城市生态,2000,13(2):29-32.
- [2] 廖建雄,史红文,鲍大川,段庆明.武汉市51种园林植物的气体交换特性[J].植物生态学报,2010,34(9):1058-1065.
- [3] 何兴元,宁祝华.城市森林生态研究进展[M].北京:中国林业出版社,2002.
- [4] 李海梅,刘常富,何兴元,胡志斌,金莹杉,张粤.沈阳市行道树树种的选择与配置[J].生态学杂志,2003,22(5):157-160.
- [5] 张粤,陈玮,何兴元,苏道岩,孙雨.中国东北城市森林树种选择与气候的关系[J].生态学杂志,2003,22(6):173-176.
- [6] Kabir M E, Webb E. Productivity and suitability analysis of social forestry woodlot species in Dhaka Forest Division, Bangladesh [J]. *Forest Ecol*

- Manag*, 2005, 212: 243-252.
- [7] Sendo T, Kanechi M, Uno Y, Inagaki N. Evaluation of growth and green coverage of ten ornamental species for planting as urban rooftop greening [J]. *J Jap Soc Hortic Sci*, 2010, 79: 69-76.
- [8] 史红文,秦泉,廖建雄,陈桂桥,丁昭全.武汉市10种优势园林植物固碳释氧能力研究[J].中南林业科技大学学报,2011,31(9):87-90.
- [9] 史红文,丁昭全.武汉城区古树资源与园林树种规划[J].中国城市林业,2008,6(8):64-68.
- [10] 杨劲峰,陈清,韩晓日,李晓林, Liebig H P. 数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用[J].农业工程学报,2002,18(4):155-158.
- [11] 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(4):74-80.
- [12] Wang X J. Analysis of problems in urban green space system planning in China[J]. *J Forest Res*, 2009, 20: 79-82.
- [13] 王丽勉,胡永红,秦俊,高凯,黄娟.上海地区151种绿化植物固碳释氧能力的研究[J].华中农业大学学报,2007,26:399-401.
- [14] 陆贵巧,谢宝元,谷建才,张锁成,白顺江.大连市常见绿化树种蒸腾降温的效应分析[J].河北农业大学学报,2006,29(2):65-67.
- [15] 焦绪娟,赵文飞,张衡亮,姜成平,王华田.几种绿化树种降低城市热岛效应的研究[J].江西农业大学学报,2007,29(1):89-93.
- [16] 柴一新,祝宁,韩焕金.城市绿化树种的滞尘效应——以哈尔滨市为例[J].应用生态学报,2002,13(9):1121-1126.
- [17] Wang Z H, Li J B. Capacity of dust uptake by leaf surface of *Euonymus japonicus* Thunb. and the morphology of captured particle in air pollution city [J]. *Ecol Environ*, 2006, 15: 327-330.
- [18] 秦耀民,刘康,王永军.西安城市绿地生态功能研究[J].生态学报,2006,25:135-139.
- [19] 刘世忠,薛克娜,孔国辉,胡袭聪,陆耀东,吴芝扬.大气污染对35种园林植物生长的影响[J].热带亚热带植物学报,2003,11:329-335.
- [20] 陈卓梅,杜国坚,缪宇明.浙江省38种园林绿化植物对氟化氢气体的抗性及其吸收能力[J].浙江林学院学报,2008,25(4):475-480.
- [21] Singh A N, Singh J S. Biomass, net primary production and impact of bamboo plantation on soil redevelopment in a dry tropical region[J]. *Forest Ecol Manag*, 1999, 119: 195-207.
- [22] 任玉彬.园林树木胡枝子在水土保持中的作用分析[J].现代园艺,2011,21:37.