

陈小丽,姜卫兵,魏家星,等. 南京地区观赏海棠树种固碳释氧与降温增湿效益[J]. 江苏农业科学,2017,45(24):123-128.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.24.031

南京地区观赏海棠树种固碳释氧与降温增湿效益

陈小丽¹,姜卫兵¹,魏家星¹,张艳秋²

(1. 南京农业大学园艺学院,江苏南京 210095; 2. 南京市莫愁湖管理处,江苏南京 210029)

摘要:以南京莫愁湖公园中的 30 个观赏海棠种质资源为研究对象,运用 LI-6400XT 便携式光合测定仪进行光合生理生态指标的测定,着重选取了固碳释氧、降温增湿水分利用效率等生态指标进行量化研究。结果发现,各树种间植物的生态效益具有很大的差异。其中苹果属的日平均固碳释氧能力、夏季降温能力、日平均增湿、水分利用效率都高于木瓜属的;乔木类的固碳释氧能力高于灌木类;乔木类夏季降温能力和日平均增湿能力略低于灌木类;乔木类水分利用效率明显高于灌木类;彩叶类的基本生态效益都高于非彩叶类。为缓解城市环境问题,重视园林植物在环境中的生态效益,应优先选用高原之火、冬红果、红丽、红宝石、重瓣垂丝海棠、紫雨滴、鲁道夫、紫叶垂丝海棠这些优良的海棠品种。

关键词:观赏海棠;生态指标;固碳释氧;降温增湿;水分利用效率

中图分类号: S731.2; Q945.79

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2017)24-0123-06

随着经济的高速发展,城市也在不断向前发展,人们对城市环境的期望愈来愈高,园林建设相应进入了高速发展的阶段。海棠是中华民族的传统名花,具有悠久的栽培历史^[1],可以追溯到公元前 800 年。笔者所论述的观赏海棠即是指观赏价值较高的海棠类树种资源^[2],包括苹果属(*Malus*)中果实直径≤5 cm 的种类和木瓜属(*Chaenomeles*)中的一系列种和品种^[3],作为园林绿化中一个非常重要的观赏集群,在城市园林建设中广泛应用。近年来城市所面临的生态环境问题愈发突出,而园林绿化建设,作为解决城市环境问题的重要手段,通过科学合理的植物种植,可以最大限度地发挥园林植物的生态价值,这也是当今园林从业者所面临的巨大挑战^[4]。

目前有关观赏海棠的研究主要集中于海棠品种资源分类与利用研究、景观价值评价、基础生物学研究、海棠专类园规划设计理论研究、品种资源及园林绿化应用、部分果实的观赏特性研究,还未见关于固碳释氧、降温增湿等生态效益的研究及报道。本研究以南京莫愁湖公园中的 30 个观赏海棠种质资源为研究对象,通过运用 LI-6400XT 便携式光合测定仪对试验植株进行光合速率和蒸腾速率的试验测定,对其固碳释氧、降温增湿、水分利用效率等基本生态功能进行了研究,以期能够指导观赏海棠在南京地区城市绿地空间中的科学应用,为促进生态园林城市的绿化建设,提出一定的参考依据。

1 研究地概况和研究材料

莫愁湖公园位于江苏省南京市秦淮河西,距今已有 1 500

多年的悠久历史,是六朝胜迹,又因丰富的人文内涵,奠定了其江南古典名园的地位。园中的海棠类树种资源从种植初始以来,已有多年的栽培历史,海棠在莫愁湖公园扮演着极为重要的角色,园内园林相关从业者每年都会引进不同的海棠类树种,丰富莫愁湖海棠现状景观,至今有将近 50 多种不同的海棠树种资源,累计约万株海棠,规模宏大^[5-7]。

结合南京的气候和地理条件,根据对观赏海棠园林应用的现状调查,选取立体条件和小气候一致的莫愁湖公园内的 30 种(品种)观赏海棠类树种作为研究对象(表 1)。其中欧美海棠主要是从国外引进的,由美国和加拿大的苗圃和植物研究人员从自然杂交的海棠中选育出来的观赏价值极高的树种资源,将这类在欧美园林中广泛应用多年的观赏海棠叫做欧美海棠。国外已经培育出千余种欧美海棠品种,近年来,我国已经从国外成功引进百余种观赏价值极高的欧美海棠品种^[8-12]。

2 研究方法

2.1 生态价值的试验方法

植物的固碳释氧、降温增湿、水分利用效率等生态指标是植物光合作用的具体反映,可通过植物的光合和蒸腾速率测量得到。由于观赏海棠树种都是落叶树种,因此本次试验测定时间选在 2015 年 5 月底、7 月底和 9 月底,在南京市莫愁湖公园,于自然光照条件下的无风晴天,从 08:00 到 18:00,运用特定仪器 LI-6400XT 型光合仪每间隔 2 h 对试验树种进行试验测定。具体操作为选取冠型均匀、生长良好、枝叶茂盛的健康植株,以郭太君等的研究原则进行叶片的选择:每次测量均随机选取植物向阳面健康枝条上中部的 4~6 叶位的 3 张符合条件的功能叶进行叶片的光合速率和蒸腾速率的试验测定,待系统稳定后,读取瞬时速率值^[13-17],取平均值作为换算固碳释氧量和降温增湿量等生态指标的基础数值;以此对观赏海棠树种 3 季的光合和蒸腾作用速率进行测定,并通过定量计算研究试验树种的固碳释氧、降温增湿、水分利用

收稿日期:2016-06-26

基金项目:江苏省优势学科建设工程(编号:2011PAPD)。

作者简介:陈小丽(1989—),女,湖北孝感人,硕士研究生,主要从事园林景观规划和植物应用的研究。E-mail:631701257@qq.com。

通信作者:姜卫兵,教授,主要从事园艺园林树种资源、植物生理生态和园林规划设计等相关教学与研究。E-mail:weibingj@njau.edu.cn

表 1 研究材料

科名	属	种	序号	试验材料	拉丁学名	类型
蔷薇科	苹果属	垂丝海棠	1	重瓣垂丝海棠	<i>Malus halliana</i> var. <i>parkmanii</i> Rehd	落叶小乔木
			2	白花垂丝海棠	<i>M. halliana</i> var. <i>spontanea</i> Rehd	落叶小乔木
			3	紫叶垂丝海棠	<i>M. halliana</i> ‘Ziye’	落叶小乔木
		湖北海棠	4	黄果茶海棠	<i>M. hupehensis</i> ‘Huangguo’	落叶小乔木
			5	绿丰	<i>M. micromalus</i> ‘Lüfeng’	落叶小乔木
		西府海棠	6	冬红果	<i>M. micromalus</i> ‘Winter Red Fruit’	落叶小乔木
			7	毛山荆子	<i>M. manshurica</i>	落叶小乔木
		楸子	8	楸子	<i>M. prunifolia</i>	落叶小乔木
			9	钻石	<i>M.</i> ‘Sparkler’	落叶小乔木
		欧美海棠	10	红丽	<i>M.</i> ‘Red splendor’	落叶小乔木
			11	高原之火	<i>M.</i> ‘Prairifire’	落叶小乔木
			12	紫雨滴	<i>M.</i> ‘Royal raindrop’	落叶小乔木
			13	雪球	<i>M.</i> ‘Snow drift’	落叶小乔木
			14	鲁道夫	<i>M.</i> ‘Rudolph’	落叶小乔木
			15	红宝石	<i>M.</i> ‘Jewelberry’	落叶小乔木
			16	木瓜	<i>Chaenomeles sinensis</i>	落叶乔木
	木瓜属	木瓜	17	木瓜海棠	<i>C. cathayensis</i>	落叶灌木
			18	成都木瓜海棠	<i>C. cathayensis</i> ‘Chengdu’	落叶灌木
		木瓜海棠	19	蒙山木瓜海棠	<i>C. cathayensis</i> ‘Mengshan’	落叶灌木
			20	牡丹海棠	<i>C. cathayensis</i> ‘Mudanhaitang’	落叶灌木
			21	红牡丹	<i>C.</i> ‘Hong Mudan’	落叶灌木
			22	莫愁红	<i>C. cathayensis</i> ‘Mochouhong’	落叶灌木
			23	红艳贴梗海棠	<i>C. speciosa</i> ‘Hongyan’	落叶灌木
		贴梗海棠	24	多彩	<i>C. speciosa</i> ‘Toyo Nishiki’	落叶灌木
			25	单白倭海棠	<i>C. japonica</i> ‘Chojubai White’	落叶灌木
			26	矮红倭海棠	<i>C. japonica</i> Pygmaeus	落叶灌木
		日本海棠	27	大富贵	<i>C. superba</i> ‘Da Fugui’	落叶灌木
			28	长寿乐	<i>C. superba</i> ‘Changshou Le’	落叶灌木
			29	长寿冠	<i>C. superba</i> ‘Hong Baoshi’	落叶灌木
			30	绿宝石	<i>C. superba</i> ‘Lu Baoshi’	落叶灌木
		做大贴梗海棠				

效率。

2.2 固碳释氧量的计算

(1)通过简单积分求和法求得每个试验对象的叶片在 1 d 内的净同化量。公式如下：

$$P = \sum_{i=1}^j [(p_{i+1} + p_i) \div 2 \times (t_{i+1} - t_i) \times 3\,600 \div 1\,000]。$$

式中, P 代表的是某植物的日同化总量,mmol/($\text{m}^2 \cdot \text{s}$); p_i 为该植物初测点的瞬时光合速率; p_{i+1} 为下一测量时间点的瞬时光合速率, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; t_i 相应的为初测点的瞬时时间, h; t_{i+1} 则为该植物下一个测定点对应的时间, h; j 为试验测量的次数。3 600 指的是每小时 3 600 s;1 000 则是 1 mmol 为 1 000 μmol 。

(2)用测定日的同化总量换算出测定日固定 CO_2 量为

$$W_{\text{CO}_2} = p \cdot 44 \div 1\,000。$$

式中,44 代表的是 CO_2 的摩尔质量; W_{CO_2} 代表的是植物单位叶面积固定 CO_2 的质量, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

(3)另外根据植物的光合作用反应方程式: $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$,能够计算出该植物在测定日的单位叶面积释放 O_2 的量:

$$W_{\text{O}_2} = p \cdot 32 \div 1\,000。$$

(4)某植物单位叶面积日平均吸收 CO_2 和释放 O_2 量的计算公式如下:

$$W_{\text{CO}_2\text{平均}} = P_{\text{平均}} \times 44 \div 1\,000;$$

$$W_{\text{O}_2\text{平均}}(\text{g}) = P_{\text{平均}} \times 32 \div 1\,000;$$

$$P_{\text{平均}}(\text{g}) = (P_{\text{春}} + P_{\text{夏}} + P_{\text{秋}}) \div 3。$$

式中; W_{CO_2} 平均代表的是某种植物单位叶面积日固定的 CO_2 量, g; W_{O_2} 平均代表的是某种植物单位叶面积日平均释放 O_2 的量, g; P 平均为代表的是某种植物单位叶面积日同化总量, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

2.3 降温增湿量的计算

植物降温增湿主要是通过蒸腾作用实现的,也是植物光合作用的体现,因此降温增湿相关数据的测定具体方法同固碳释氧的测定。

(1)用简单积分法求得每个试验对象的叶片在 1 d 内的单位叶面积降温增湿的量即蒸腾总量 E 。计算公式如下:

$$E = \sum_{i=1}^j [(e_{i+1} + e_i) \div 2 \times (t_{i+1} - t_i) \times 3\,600 \div 1\,000]。$$

式中, E 为植物在测定当日的蒸腾总量, $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; e_i 为该植物初测点的瞬时蒸腾作用速率, $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; e_{i+1} 为下一测点的瞬时蒸腾作用速率, $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; t_i 为初测点的测试时间, h; t_{i+1} 为下一测点的测试时间, h; j 为当天测试的总次数。3 600 指的是每小时 3 600 s;1 000 指的是 1 mol 为 1 000 mmol。

(2)通过测定日的蒸腾总量能够换算出测定日释放水的

质量:

$$W_{H_2O}(g) = E \times 18。$$

式中,18 为水的摩尔质量。

每平方米叶片在 1 d 中因蒸腾作用散失水分而吸收的热量 Q 为

$$Q = W \times L \times 4.18。$$

式中, Q 为单位叶面积每日吸收的热量, $J/(m^2 \cdot d)$; W 代表植物日蒸腾总量, $mol/(m^2 \cdot d)$; L 代表蒸发耗热系数 ($L = 597 - 0.57 \times t$, t 为温度); $4.18 J = 1 Cal$ 。2015 年测定日的 t 值 5 月为 $27.52^\circ C$, 7 月为 $36.29^\circ C$, 10 月为 $29.52^\circ C$ 。

(3) 某植物单位叶面积的日平均降温增湿量:

$$W_{H_2O平均} = E \times 18;$$

$$Q = W \times L \times 4.18;$$

$$E_{平均} = (E_{春} + E_{夏} + E_{秋})/3。$$

式中: $W_{H_2O平均}$ 代表某植物单位叶面积平均每天释放的 H_2O 的质量, g ; Q 代表某植物单位叶面积平均每天吸收的热量, $kJ/(m^2 \cdot d)$; E 平均代表某植物单位叶面积的日平均蒸腾量, $mol/(m^2 \cdot d)$ 。

(4) 由于空气的湍流、对流和辐射等作用的影响, 采用对空气柱的方法来计算植物的降温作用, 即以 $10 m^2 \times 100 m$ 的空气柱, 在 $1\ 000 m^3$ 的体积内, 使气柱温度下降。气温下降值用如下公式计算:

$$\Delta T = Q/(pc \times 1\ 000 \times 12)。$$

式中, Q 代表植物通过蒸腾作用使单位体积空气损失的热量, $J/(m^3 \cdot h)$; pc 为空气的容积热容量, $1\ 256 J/(m^3 \cdot h)$ 。

2.4 水分利用效率计算

植物水分利用效率 (water use efficiency, WUE) 能够体现植物协调碳同化和水分耗散之间的关系能力, 是其生存的较关键的影响因子。根据上述固碳释氧和降温增湿的相关计算公式, 可以计算出每个试验对象在 1 d 内日平均的水分利用效率。

$$WUE = P/E。$$

式中, WUE 代表植株水分利用效率, $mmol/mol$; P 为植物叶片净同化总量, $mmol/(m^2 \cdot d)$; E 为蒸腾总量, $mol/(m^2 \cdot d)$ 。

2.5 数据处理

所有试验数据均采用 Microsoft Excel 2016 软件进行数据处理, 并运用 SPSS 软件对各试验树种的固碳释氧、降温增湿和水分利用率进行聚类分析^[18-21]。

3 结果与分析

3.1 固碳释氧能力分析

植物通过光合作用吸收空气中的 CO_2 , 释放出氧气, 这对改善城市空气质量、实现环境中的碳氧平衡具有重要的意义。

选取的 30 种观赏海棠的试验树种, 在单位叶面积下, 植物的日平均固碳释氧能力差异显著, 且同一植株单位叶面积下春、夏、秋 3 季所呈现的日平均固碳释氧能力也有很大的差异; 其中苹果属中的重瓣垂丝海棠、白花垂丝海棠、紫叶垂丝海棠、黄果茶海棠、绿丰、钻石、高原之火以及木瓜属中的木瓜、木瓜海棠、成都木瓜海棠、蒙山木瓜海棠、红牡丹、莫愁红、红艳贴梗海棠、多彩、大富贵、长寿乐这 17 种试验树种 3 季中春季的能力是最强的; 另外 13 种试验树种夏季能力普遍比

各自其他 2 季的能力强; 除了矮红倭海棠这一种试验树种秋季的固碳释氧能力比其春季高以外, 其他树种春季能力都普遍高于秋季, 研究结果表明观赏海棠生长期 3 季的日平均固碳释氧能力并没有一个很明显的规律 (表 2), 和韩俊永等的夏季 > 秋季 > 春季这一结论^[17,20] 有出入, 这说明其固碳释氧能力与植物自身以及环境均有很大的关联。植物光合作用是个十分复杂的生理过程, 其光合效率不仅和植物叶片的叶绿素含量、叶片厚度等因素有关, 也和其所处的生态环境, 以及光强、气温、空气相对湿度等因素有关。

在有效的生长期中, 日平均固碳释氧能力最低的是木瓜属的长寿乐海棠, 最高的是苹果属中的欧美海棠鲁道夫, 分别为 4.24 、 $3.08 g/(m^2 \cdot d)$ 和 17.00 、 $12.36 g/(m^2 \cdot d)$, 固碳量相差 $12.76 g/(m^2 \cdot d)$, 释氧量相差 $9.28 g/(m^2 \cdot d)$, 相差 3 倍, 差距较大。通过聚类分析将其分为了 4 类, 其中能力最强的有 2 种: 鲁道夫 > 紫叶垂丝海棠; 较高的有 11 种, 分别为红宝石 > 紫雨滴 > 重瓣垂丝海棠 > 红丽 > 蒙山木瓜海棠 > 高原之火 > 白花垂丝海棠 > 冬红果 > 绿丰 > 单白倭海棠 > 成都木瓜海棠; 能力一般的有 15 种, 分别为楸子 > 钻石 > 雪球 > 毛山荆子 > 多彩 > 矮红倭海棠 > 莫愁红 > 黄果茶海棠 > 牡丹海棠 = 长寿冠 > 红牡丹 > 红艳贴梗海棠 > 木瓜海棠 > 木瓜 > 大富贵; 能力较弱的有 2 种, 为绿宝石 > 长寿乐。因此在城市绿化建设中, 为了营造更加舒适怡人的景观环境, 在同等情况下, 可以大力推广固碳释氧能力比较强的这 13 种海棠资源 (表 2)。

3.2 降温增湿能力分析

城市热岛效应对人居环境产生了很大的影响。尤其是炎热的夏季, 不仅造成用电压力增大, 也会让人感到不适、心情烦躁, 甚至会引起其他疾病^[17]。而植物在进行光合作用的过程中, 会生成一部分水, 蒸发并释放到周围的大气环境中, 在此过程中, 蒸发会吸收环境中的一部分热量, 进而降低局部温度, 增加空气湿度, 改善周围的小气候。这也就是植物在环境中所起的降温增湿作用的基本原理^[22]。

对于降温能力的分析, 本试验着重研究夏季试验树种的降温能力试验, 结果发现, 在同一个季节, 不同的树种资源夏季的降温能力差异明显, 夏季降温能力最强的是红艳贴梗海棠, 其降温值是 $0.76^\circ C$, 最弱的是木瓜, 其降温值是 $0.17^\circ C$, 两者夏季降温值相差约 $0.59^\circ C$, 接近 4 倍, 差距明显。夏季单位叶面积日平均降温值根据聚类分析的结果, 其中有 4 种海棠树种降温能力最强, 分别是红艳贴梗海棠 > 高原之火 > 红丽 > 多彩; 较高的有 13 种, 分别是红牡丹 > 紫叶垂丝海棠 > 楸子 > 钻石 > 绿丰 > 成都木瓜海棠 > 莫愁红 > 绿宝石 > 紫雨滴 > 鲁道夫 > 红宝石 > 木瓜海棠 > 重瓣垂丝海棠 > 冬红果; 能力一般的有 11 种, 分别为毛山荆子 = 单白倭海棠 > 大富贵 > 蒙山木瓜海棠 = 牡丹海棠 > 白花垂丝海棠 = 雪球 > 长寿乐 > 矮红倭海棠 > 长寿冠; 降温能力较弱的有 2 种, 为黄果茶海棠 > 木瓜 (表 3)。因此, 在城市绿化中, 可优先考虑聚类分析中 17 种降温能力比较强的海棠树种资源, 降低局部小气候气温, 缓解城市热岛效应。

从试验植株各季节日平均增湿能力来看, 不同植物同一季节表现出不同的差异性, 同一植物在各个季节的增湿能力也有明显的差异, 具体表现为夏季增湿能力明显高于春秋 2

表 2 30 种试验树种各季节单位叶面积的日平均固碳释氧量 g/(m²·d)

试验树种	固碳量				释氧量				聚类分析
	春	夏	秋	日平均	春	夏	秋	日平均	
重瓣垂丝海棠	16.99	15.78	9.58	14.12	12.36	11.47	6.97	10.27	Ⅱ
白花垂丝海棠	15.39	13.64	10.60	13.21	11.19	9.92	7.71	9.61	Ⅱ
紫叶垂丝海棠	19.53	15.57	12.00	15.70	14.21	11.32	8.73	11.42	Ⅰ
黄果茶海棠	11.10	10.17	8.15	9.81	8.07	7.39	5.93	7.13	Ⅲ
绿丰	16.55	14.99	7.69	13.08	12.04	10.90	5.59	9.51	Ⅱ
冬红果	13.82	14.39	11.24	13.15	10.05	10.47	8.17	9.56	Ⅱ
毛山荆子	11.09	12.87	9.43	11.13	8.07	9.36	6.85	8.09	Ⅲ
楸子	12.37	13.73	9.20	11.77	9.00	9.98	6.69	8.56	Ⅲ
钻石	13.55	13.30	7.49	11.45	9.85	9.68	5.45	8.33	Ⅲ
红丽	15.43	16.65	9.18	13.75	11.22	12.11	6.67	10.00	Ⅱ
高原之火	17.14	14.23	8.34	13.24	12.46	10.35	6.06	9.63	Ⅱ
紫雨滴	6.89	14.09	—	14.50	5.01	10.25	—	10.55	Ⅱ
雪球	11.77	13.21	9.27	11.42	8.56	9.61	6.74	8.30	Ⅲ
鲁道夫	17.37	18.80	14.83	17.00	12.64	13.67	10.78	12.36	Ⅰ
红宝石	15.88	17.14	10.66	14.56	11.55	12.46	7.75	10.59	Ⅱ
木瓜	11.59	7.79	5.72	8.37	8.43	5.67	4.16	6.09	Ⅲ
木瓜海棠	12.63	9.07	5.28	9.00	9.19	6.60	3.84	6.54	Ⅲ
成都木瓜海棠	19.07	12.04	6.51	12.54	13.87	8.75	4.73	9.12	Ⅱ
蒙山木瓜海棠	18.74	15.62	6.39	13.58	13.63	11.36	4.65	9.88	Ⅱ
牡丹海棠	10.34	12.91	6.17	9.81	7.52	9.39	4.49	7.13	Ⅲ
红牡丹	14.06	10.58	4.22	9.62	10.22	7.69	3.07	7.00	Ⅲ
莫愁红	15.19	10.93	4.70	10.28	11.05	7.95	3.42	7.47	Ⅲ
红艳贴梗海棠	12.63	9.30	5.30	9.07	9.18	6.76	3.86	6.60	Ⅲ
多彩	15.43	11.49	5.20	10.71	11.22	8.36	3.78	7.79	Ⅲ
单白倭海棠	12.46	18.14	8.19	12.93	9.06	13.19	5.95	9.40	Ⅱ
矮红倭海棠	9.55	11.98	9.87	10.46	6.94	8.71	7.18	7.61	Ⅲ
大富贵	11.45	5.06	—	8.25	8.33	3.68	—	6.00	Ⅲ
长寿乐	6.22	4.57	1.92	4.24	4.53	3.32	1.39	3.08	Ⅳ
长寿冠	8.94	10.58	—	9.76	6.50	7.70	—	7.10	Ⅲ
绿宝石	6.34	7.45	—	6.89	4.61	5.42	—	5.01	Ⅳ

季,春秋差异不大,这充分说明植物的增湿能力和温度、光强有很大的关系,温度、光强越高,增湿能力越强。生长期中单位叶面积日平均增湿能力最低的是木瓜属的木瓜,最高的是木瓜属的红艳贴梗海棠,分别为 784.09、2 959.85 g/(m²·d),相差 2 175.76 g/(m²·d),接近 3 倍,差距也十分明显;根据聚类分析的结果,其中能力强的有 11 种,从高到低依次为红艳贴梗海棠>多彩>成都木瓜海棠>紫叶垂丝海棠>高原之火>红丽>莫愁红>鲁道夫>蒙山木瓜海棠>红牡丹>绿丰;较高的也有 11 种,分别为重瓣垂丝海棠>钻石>楸子>单白倭海棠>紫雨滴>大富贵>木瓜海棠>冬红果>红宝石>白花垂丝海棠>牡丹海棠;能力一般的有 6 种,分别为毛山荆子>长寿冠>矮红倭海棠>绿宝石>雪球>长寿乐;能力弱的有 2 种,为黄果茶海棠>木瓜(表 3)。所以绿化建设中,尤其是热岛效应比较显著的绿地环境,应优先选择增湿能力较强的这些海棠树种进行植物景观配置,美化环境的同时,也增加了局部小气候湿度。

3.3 水分利用效率分析

植物水分利用效率指的是植物消耗单位水分所生产的同化物质的量,反映了植物耗水与其干物质生产之间的关系,是能够用来评价植物生长适宜程度的生态指标。其中蒸腾效率反映了作物本身的性能,本研究不涉及对土壤和水进行科学

管理方面的相关研究,只是粗略测量,比较研究各观赏海棠树种间的水分利用效率。

试验结果发现,30 种试验树种在生长季中,3 季的水分利用效率最高的是春季,夏秋 2 季的水分利用效率差异不大。而且 3 季中,秋季除去落叶较早的紫雨滴、大富贵、长寿冠、绿宝石这 4 个树种外,木瓜的水分利用效率是最高的,3 季的数值分别是春天 5.56 mmol/mol,夏天 2.98 mmol/mol,秋天 5.47 mmol/mol,3 季中利用效率最低的春季是绿宝石,为 2.09 mmol /mol,夏季为红艳贴梗海棠和大富贵,均为 0.81 mmol/mol,秋天是长寿乐,为 0.61 mmol/mol,与最高的差值分别为春季 3.47 mmol/mol、夏季 2.17 mmol/mol、秋季 4.86 mmol/mol,差距较大(表 4)。

生长期中日平均水分利用效率最低的是木瓜属中的长寿乐,为 1.51 mmol/mol,最高的是木瓜属中的木瓜,为 4.67 mmol/mol,相差 3.16 mmol/mol,相差 2 倍有余,且绿宝石为 1.52 mmol/mol,红艳贴梗海棠为 1.53 mmol/mol,和长寿乐效率几乎相当,根据聚类分析的结果,水分利用效率最高的有 3 种,为木瓜>黄果茶海棠>雪球;较高的有 11 种,为红宝石>毛山荆子>鲁道夫>白花垂丝海棠>矮红倭海棠>冬红果>紫雨滴>楸子>重瓣垂丝海棠>紫叶垂丝海棠>红丽;效率一般的也有 11 种,为单白倭海棠>高原之火>钻石>绿

表 3 30 种试验树种各季节单位叶面积的日增湿量和夏季日平均降温

试验树种	夏季降温值 (℃)	聚类分析	增湿量[g/(m ² ·d)]				聚类分析
			春	夏	秋	日平均	
重瓣垂丝海棠	0.47	Ⅱ	1 762.82	2 926.30	1 868.57	2 185.90	Ⅱ
白花垂丝海棠	0.36	Ⅲ	1 690.38	2 235.82	1 727.73	1 884.65	Ⅱ
紫叶垂丝海棠	0.58	Ⅱ	2 345.97	3 615.02	1 837.16	2 599.38	Ⅰ
黄果茶海棠	0.24	Ⅳ	822.65	1 470.63	8 90.26	1 061.18	Ⅳ
绿丰	0.54	Ⅱ	1 798.72	3 323.15	2 009.74	2 377.20	Ⅰ
冬红果	0.45	Ⅲ	1 442.40	2 806.34	1 820.64	2 023.13	Ⅱ
毛山荆子	0.43	Ⅲ	1 038.36	2 643.17	1 218.37	1 633.30	Ⅲ
楸子	0.57	Ⅱ	1 068.52	3 567.63	1 896.83	2 177.66	Ⅱ
钻石	0.55	Ⅱ	1 521.21	3 431.13	1 590.35	2 180.90	Ⅱ
红丽	0.66	Ⅰ	1 676.65	4 104.61	1 587.33	2 456.20	Ⅰ
高原之火	0.69	Ⅰ	1 909.21	4 276.56	1 571.63	2 585.80	Ⅰ
紫雨滴	0.51	Ⅱ	1 577.23	3 170.49	—	2 080.69	Ⅱ
雪球	0.36	Ⅲ	1 006.97	2 227.80	1 078.07	1 437.61	Ⅲ
鲁道夫	0.51	Ⅱ	1 742.11	3 139.55	2 369.68	2 417.11	Ⅰ
红宝石	0.49	Ⅱ	1 454.79	3 063.43	1 493.88	2 004.03	Ⅱ
木瓜	0.17	Ⅳ	853.01	1 070.84	428.42	784.09	Ⅳ
木瓜海棠	0.49	Ⅱ	1 184.81	3 026.85	1 895.79	2 035.82	Ⅱ
成都木瓜海棠	0.53	Ⅱ	2 413.80	3 306.19	2 220.55	2 646.85	Ⅰ
蒙山木瓜海棠	0.39	Ⅲ	3 022.25	2 438.53	1 696.22	2 385.67	Ⅰ
牡丹海棠	0.39	Ⅲ	1 216.91	2 415.40	1 880.16	1 837.49	Ⅱ
红牡丹	0.59	Ⅱ	1 410.15	3 681.56	2 056.96	2 382.89	Ⅰ
莫愁红	0.52	Ⅱ	2 172.84	3 226.43	1 941.10	2 446.79	Ⅰ
红艳贴梗海棠	0.76	Ⅰ	1 809.63	4 690.77	2 379.15	2 959.85	Ⅰ
多彩	0.63	Ⅰ	2 199.32	3 923.92	2 374.74	2 832.66	Ⅰ
单白倭海棠	0.43	Ⅲ	2 247.67	2 647.40	1 446.59	2 113.89	Ⅱ
矮红倭海棠	0.34	Ⅲ	1 261.59	2 094.08	1 261.35	1 539.01	Ⅲ
大富贵	0.41	Ⅲ	1 566.97	2 563.02	—	2 064.99	Ⅱ
长寿乐	0.35	Ⅲ	830.55	2 166.56	1 284.31	1 427.14	Ⅲ
长寿冠	0.31	Ⅲ	1 528.15	1 943.48	—	1 632.92	Ⅲ
绿宝石	0.52	Ⅱ	1 239.14	3 243.89	—	1 494.34	Ⅲ

丰>牡丹海棠>长寿冠>木瓜海棠>蒙山木瓜海棠>红牡丹>成都木瓜海棠>大富贵;能力比较弱的有 5 种,分别是莫愁红>多彩>红艳贴梗海棠>绿宝石>长寿乐(表 4)。水分利用效率越高,说明他们相较于其他海棠树种具有较强的环境适应能力,在同等情况下,在环境条件相对较差,养护成本不高的情况下,它们占有绝对的优势,因此在这样的立地环境下,可以大量推广。

4 结论与讨论

本试验所选的 30 种试验树种苹果属观赏海棠与木瓜属观赏海棠的比例为 1:1,在南京城市公园中相对应用较为广泛,是具有一定代表性的观赏海棠类树种资源。通过对这些试验树种整个有效生长周期春、夏、秋 3 个季节的光合特性进行研究,结果表明,不同树种资源其单位叶面积的日平均固碳释氧、降温增湿、水分利用效率差异明显,且同一树种不同季节的单位叶面积日固碳释氧、降温增湿、水分利效率等生态效益也存在明显的差异,这充分说明,各树种间植物的生态效益具有很大的差异。30 种试验树种中,通过聚类分析,生长期日平均固碳释氧能力最强的有 2 种,分别为鲁道夫>紫叶垂丝海棠;夏季日平均降温能力比较强的有 4 种,分别是红艳贴梗海棠>高原之火>红丽>多彩;生长期日平均增湿能

力强的有 11 种,为红艳贴梗海棠>多彩>成都木瓜海棠>紫叶垂丝海棠>高原之火>红丽>莫愁红>鲁道夫>蒙山木瓜海棠>红牡丹>绿丰;日平均水分利用效率最高的有 3 种,为木瓜>黄果茶海棠>雪球(表 5)。园林工作人员在进行海棠的植物造景、园林绿化中可根据具体的城市环境选择合适的植株进行植物配置,使城市生态效益和环境美化取得最佳效果。

另外,30 种试验树种中苹果属的观赏海棠单位叶面积下的日平均固碳释氧能力、夏季日平均降温能力、日平均增湿能力和水分利用效率都高于木瓜属的试验树种;且不同生活型的基本生态效益也有明显的区别,乔木类的固碳释氧能力要高于灌木类的,这和董延梅等的研究结果^[14]一致;夏季降温能力乔木类的平均水平稍微低于灌木类的试验树种,但大体相当,这和陈少鹏等的研究结果^[23]大致相同,但日平均增湿能力乔木类略低于灌木类的;而不同生活型的 WUE 也不同,这和胡化广等的研究结论^[24]一致,乔木类的水分利用效率明显高于灌木类的,这和渠春梅等的研究结论^[25]不一致,这主要是因为植物的 WUE 除了受到植物自身的因子调节和影响,同时也受到环境的影响;另外彩叶类的观赏海棠树种资源这几个方面的基本生态效益都高于非彩叶类的海棠树种资源,具有明显的规律性。

表 4 30 种试验树种各季节单位叶面积的日水分利用效率

试验树种	水分利用效率(mmol/mol)				聚类分析
	春	夏	秋	日平均	
重瓣垂丝海棠	3.94	2.21	2.10	2.75	Ⅱ
白花垂丝海棠	3.72	2.50	2.51	2.91	Ⅱ
紫叶垂丝海棠	3.41	1.76	2.67	2.61	Ⅱ
黄果茶海棠	5.52	2.83	3.74	4.03	Ⅰ
绿丰	3.76	1.84	1.57	2.39	Ⅲ
冬红果	3.92	2.10	2.52	2.85	Ⅱ
毛山荆子	4.37	1.99	3.16	3.18	Ⅱ
楸子	4.74	1.57	1.98	2.77	Ⅱ
钻石	3.64	1.59	1.93	2.39	Ⅲ
红丽	3.77	1.66	2.37	2.60	Ⅱ
高原之火	3.67	1.36	2.17	2.40	Ⅲ
紫雨滴	3.66	1.92	—	2.79	Ⅱ
雪球	4.78	2.43	3.52	3.58	Ⅰ
鲁道夫	4.08	2.45	2.56	3.03	Ⅱ
红宝石	4.47	2.29	2.92	3.22	Ⅱ
木瓜	5.56	2.98	5.47	4.67	Ⅰ
木瓜海棠	4.36	1.23	1.14	2.24	Ⅲ
成都木瓜海棠	3.23	1.49	1.20	1.97	Ⅲ
蒙山木瓜海棠	2.54	2.62	1.54	2.23	Ⅲ
牡丹海棠	3.48	2.19	1.34	2.34	Ⅲ
红牡丹	4.08	1.18	0.84	2.03	Ⅲ
莫愁红	2.86	1.39	0.99	1.75	Ⅳ
红艳贴梗海棠	2.85	0.81	0.91	1.53	Ⅳ
多彩	2.87	1.20	0.90	1.65	Ⅳ
单白倭海棠	2.27	2.80	2.32	2.46	Ⅲ
矮红倭海棠	3.10	2.34	3.20	2.88	Ⅱ
大富贵	2.99	0.81	—	1.90	Ⅲ
长寿乐	3.06	0.86	0.61	1.51	Ⅳ
长寿冠	2.39	2.23	—	2.31	Ⅲ
绿宝石	2.09	0.94	—	1.52	Ⅳ

表 5 各类别试验树种生长期内基本生态效益比较

类别	日平均 固碳量 [g/(m ² ·d)]	日平均 释氧量 [g/(m ² ·d)]	夏季日平 均降温值 (℃)	日平均 增湿量 [g/(m ² ·d)]	日平均水分 利用效率 (mmol/mol)
苹果属	13.19	9.59	0.49	2 073.65	2.90
木瓜属	9.70	7.05	0.46	2 038.96	2.20
乔木	12.89	9.38	0.47	1 993.05	3.01
灌木	9.80	7.12	0.48	2 128.59	2.02
彩叶	13.57	9.87	0.52	2 138.53	2.96
非彩叶	10.67	7.76	0.46	2 026.41	2.40

在现阶段生态问题日益突出的背景下,关于园林植物的科学应用,更应该有新的视角,探索生态效益最佳的植物树种资源,为生态城市做贡献。本试验只针对部分观赏海棠树种资源的最基本生态指标(固碳释氧、降温增湿、水分利用效率等)进行了相关的研究,植物还有吸滞粉尘、杀菌防病、净化空气、消除噪音、水土保持等方面的作用与意义。因此,未来不仅可以扩大生态效益指标的研究规模,也可以对更多的植物资源进行生态效益方面的量化研究,以期为构建生态园林城市,在植物配置方面提供理论和数据参考依据,为城市绿化提供更好、更科学合理、优质的园林服务。

参考文献:

[1]孙若惜. 积极推动观赏海棠栽培品种国际登录[J]. 中国花卉园艺,2014(9):36-37.

[2]姜楠楠. 中国海棠花文化研究[D]. 南京:南京林业大学,2008.

[3]胡 琴. 世界第一部全面系统介绍观赏海棠的专著——《观赏海棠》简评[J]. 中国林业,2010,24:37.

[4]闫文军. 现代城市生态园林建设与植物配置[J]. 现代科技:现代物业下旬刊,2009,8(10):40-41.

[5]吴福林. 莫愁湖史话[M]. 南京:南京出版社,2009.

[6]王 睿. 莫愁湖公园植物景观配置赏析[J]. 吉林农业,2013(16):76,90.

[7]庞斐慧. 海棠专类园规划设计理论初探[D]. 保定:河北农业大学,2008.

[8]陈恒新. 山东海棠品种分类与资源利用研究[D]. 南京:南京林业大学,2007.

[9]楚爱香. 河南观赏海棠品种分类研究[D]. 南京:南京林业大学,2009.

[10]郑 林. 中国木瓜属观赏品种调查和分类研究[D]. 泰安:山东农业大学,2008.

[11]王明荣. 引进 33 种欧洲海棠品种繁殖栽培研究及景观应用价值评价[D]. 南京:南京林业大学,2005.

[12]吴晓星,刘凤桢,房义福,等. 36 个欧美观赏海棠品种(种)应用价值的综合评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2015,39(1):93-98.

[13]蒲晓蓉. 八种观赏竹在城市园林中的生态效应研究[D]. 雅安:四川农业大学,2007.

[14]董延梅,章银柯,郭 超,等. 杭州西湖风景名胜区 10 种园林树种固碳释氧效益研究[J]. 西北林学院学报,2013,28(4):209-212.

[15]王丽勉,胡永红,秦 俊,等. 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(3):399-401.

[16]赵 萱,李海梅. 11 种地被植物固碳释氧与降温增湿效益研究[J]. 江西农业学报,2009,21(1):44-47.

[17]韩俊永. 深圳市主要园林植物生理生态特性与生态效益研究[D]. 南京:南京林业大学,2005.

[18]史红文,秦 泉,廖建雄,等. 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.

[19]郑 鹏,史红文,邓红兵,等. 武汉市 65 个园林树种的生态功能研究[J]. 植物科学学报,2012,30(5):468-475.

[20]张艳丽,费世民,李智勇,等. 成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益[J]. 生态学报,2013,33(12):3878-3887.

[21]于鑫鑫. 12 种木兰科乔木的固碳释氧和降温增湿能力以及景观评价研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2013.

[22]杨丽英. 园林绿化对降低城市热岛效应的作用[J]. 现代园艺,2014(10):173-174.

[23]陈少鹏,庄倩倩,郭太君,等. 长春市园林树木固碳释氧与降温效应研究[J]. 湖北农业科学,2012,51(4):750-756.

[24]胡化广,张振铭,吴生才,等. 植物水分利用效率及其机理研究进展[J]. 节水灌溉,2013(3):11-15.

[25]渠春梅,韩兴国,苏 波,等. 云南西双版纳片断热带雨林植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的特点及其对水分利用效率的指示[J]. 植物学报,2001,43(2):186-192.