

36种欧美观赏海棠生长与光合生理特性分析

刘凤栾¹, 房义福^{1*}, 孙居文², 白世红², 姜莉华³, 吴晓星¹, 姜楠南¹, 王翠香¹

¹山东省林业科学研究院, 济南250014; ²山东农业大学林学院, 山东泰安271018; ³光合园林股份有限公司, 济南250100

摘要: 以36种8年生欧美观赏海棠为研究对象, 测量其树高和地径指标, 用CIRAS-2光合仪测定并计算其净光合速率 P_n 、饱和光强SL、光补偿点LCP、暗呼吸速率 R_d 、表观量子效率AQY等光合参数, 以了解供试海棠的光合生理特性。结果显示, 供试欧美观赏海棠树高和地径生长量、光合生理特性存在明显差异。在36种海棠中, ‘奈微利考伯曼’、‘珠穆朗玛’和‘红丽’等9种海棠 P_n 较高, 对应树高和地径也表现出较大生长量; ‘珠穆朗玛’和‘奈微利考伯曼’等8种海棠SL较高, 表明对强光的适应性较强, 为喜光性品种; ‘印第安魔力’和‘绚丽’海棠AQY最高, 说明其叶片转化光能的效率高, 并且对弱光的利用能力较强。这些数据为欧美观赏海棠在园林绿化中的合理配置与栽培提供了理论依据。

关键词: 观赏海棠; 生长; 光合生理特性; 光合速率

Analysis on the Growth and Photosynthetic Characteristics of 36 Euramerican Ornamental Crabapples

LIU Feng-Luan¹, FANG Yi-Fu^{1*}, SUN Ju-Wen², BAI Shi-Hong², JIANG Li-Hua³, WU Xiao-Xing¹, JIANG Nan-Nan¹, WANG Cui-Xiang¹

¹Shandong Institute of Forestry Science, Jinan 250014, China; ²School of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; ³Grehar Landscape Incorporated Company, Jinan 250100, China

Abstract: To probe into light requirement for 36 species of Euramerican ornamental crabapples, the growth indexes, height and ground diameter, and photosynthetic parameters such as maximum photosynthetic rate (P_n), saturation light intensity (SL), light compensation point (LCP), dark respiration (R_d) and apparent quantum yield (AQY) were measured and analyzed. There were obvious differences in the height and ground, photosynthetic characteristics among the materials. For the 36 crabapples, nine species including ‘Neville Copeman’, ‘Evereste’ and ‘Red Splendor’ were possessed of higher P_n , and the mass of growth were also more than other species. The higher SL of the eight crabapples, such as ‘Neville Copeman’ and ‘Evereste’, suggested that they were adapted to high-intensity light and belonged to sun-loving species. The highest AQY of ‘Indian Magic’ and ‘Radiant’ implied that the efficiency of light energy conversion was high and low-intensity light could be used effectively in their leaves. These data will be useful to the reasonable allocation and cultivation of Euramerican ornamental crabapples in the landscape.

Key words: ornamental crabapples; growth; photosynthetic characteristics; photosynthetic rate

观赏海棠属蔷薇科(Rosaceae)苹果属(*Malus*)植物, 在我国城乡绿化中应用历史悠久、广泛(俞德浚和阎振茏1956; 李育农2001; 楚爱香和汤庚国2008)。目前, 国内外市场流行的观赏海棠多为欧美国家培育品种(Dirr 1983; 陈恒新等2007), 其主要观赏特点为: 在树型上, 从小乔木到垂枝型演变出了数个类型; 在叶色上, 从绿色到红色、紫色等; 在花型上, 单瓣之外, 重瓣类型也较多; 在花色上, 存在白色、红色、深红色、深紫红色等多种色彩; 在果色上, 表现出红色、黄色、紫红色等多种颜色; 且观赏景观可贯穿一年四季。因此, 欧美观赏海棠的观赏价值较高、品种繁多, 可适当引种驯化、自

主选育, 以提高和丰富我国的园林景观层次。

植物对环境的适应性主要受环境因素和自身生理反应调控, 其中光照是影响植物光合作用、良好生长的决定性环境因子(Xu 2001; 李丽芳等2007; 平晓燕等2010; 唐辉等2010)。因此, 在植物引种驯化过程中, 分析所引种植物的光合生理特性, 了解其需光特点, 可指导不同光环境下栽培品种的合理选择, 以及不同需光品种的合理配置, 达

收稿 2013-03-20 修定 2013-05-03

资助 山东省农业良种工程(鲁科农社字2007-217)。

* 通讯作者(E-mail: fyf7741@163.com; Tel: 0531-88557741)。

到植物与环境的统一,进而发挥植物群落的整体生态功能。目前,关于观赏海棠的物种起源(成明昊等2002;石胜友等2006)、遗传多样性和品种分类(Ranney和Eaker 2004;郭翎等2009;沈红香等2011)、逆境生理(Lloyd等2006;胡玉净等2012)及性状分析(刘志强和汤庚国2004;文樵夫等2010)等已有报道,但针对大样本量的欧美观赏海棠生长及光合生理特性方面尚未有研究。

本研究以经8年筛选的36种欧美观赏海棠为对象,分析和探讨其光合作用的光合生理特点,从而为有效引种、合理栽植提供理论依据,也为培育不同需光特性的观赏海棠新品种提供参考资料。

材料与方 法

1 试验地概况

供试8年生欧美观赏海棠栽植于山东济南市章丘白云湖镇和历城区西营镇。白云湖镇,北纬36°40',东经117°00'。年均气温14.7℃,极端低温-19.7℃,极端高温42.7℃。年均降水量665.7 mm。全年无霜期218 d。该区域为轻度盐碱地,半淋溶类型潮褐土。历城区西营镇,北纬36°30',东经117°10'。年均气温14.7℃,极端低温-22.3℃,极端高温41℃。年均降水量650~700 mm。全年

无霜期230 d。该区域土壤为褐土类型。

2 试验材料

课题组自2004年由荷兰、美国引进观赏海棠品种(种)46个,分别定植白云湖镇和西营镇。经过8年的综合调查比较,于2012年初步筛选出适应性良好、观赏价值较高的36份种质(表1),并对其生长量和光合生理特性进行分析。

3 试验方法

2011年秋季,调查36种欧美观赏海棠的树高、地径,重复10株。在2012年5月10日至25日期间,选择晴朗或少云天气的上午7:30~11:30,利用英国PP-Systems公司便携式CIRAS-2光合测定仪,测定欧美观赏海棠叶片光合作用的光合响应曲线。所有试材选择南向、长势一致、当年生25 cm枝条、中部完全展开叶片,每个品种3个重复,取平均值。测定时,CO₂浓度为(390±20) μmol·mol⁻¹,利用LED光源设置模拟光辐射强度,梯度为1 800、1 500、1 200、900、600、300、200、100、50和10 μmol·m⁻²·s⁻¹,测定净光合速率P_n。根据Farquhar方程(Farquhar和Caemmerer 1982;Graham 2001)用SPSS 13.0分析软件拟合出饱和光强下P_n、表观量子效率AQY、光补偿点LCP和饱和光强SL暗呼吸速率R_d。

将36份观赏海棠的树高、地径指标与光合参

表1 供试的欧美观赏海棠36种品种(种)

Table 1 Thirty six ornamental crabapples tested in the study

品种	拉丁名	品种	拉丁名
‘爱丽’	<i>M. ‘Eleyi’</i>	‘霹雳贝贝’	<i>M. ‘Thunderchild’</i>
‘草莓果冻’	<i>M. ‘Strawberry Parfait’</i>	平枝海棠	<i>M. sargentii</i> Rehder
‘春雪’	<i>M. ‘Spring Snow’</i>	森林苹果	<i>M. sylvestris</i> Miller
‘道格’	<i>M. ‘Dolgo’</i>	‘盛花’	<i>M. ‘Profusion’</i>
‘冬红’	<i>M. ‘Winter Red’</i>	‘王族’	<i>M. ‘Royalty’</i>
‘冬金’	<i>M. ‘Winter Gold’</i>	‘希尔’	<i>M. ‘Hillieri’</i>
多花海棠	<i>M. floribunda</i> Siebold	‘绚丽’	<i>M. ‘Radiant’</i>
‘范爱塞尔亭’	<i>M. ‘Van Eseltine’</i>	‘雪坠’	<i>M. ‘Snowdrift’</i>
‘粉芽’	<i>M. ‘Pink spire’</i>	‘印第安魔力’	<i>M. ‘Indian Magic’</i>
‘红宝石’	<i>M. ‘Red Jade’</i>	‘约翰东’	<i>M. ‘John Downie’</i>
‘红珠宝’	<i>M. ‘Jewelcole’</i>	‘珠穆朗玛’	<i>M. ‘Evereste’</i>
‘琥珀’	<i>M. ‘Hopa’</i>	‘红丽’	<i>M. ‘Red Splendor’</i>
‘莱姆’	<i>M. ‘Lemoinei’</i>	‘金黄蜂’	<i>M. ‘Golden Homet’</i>
‘里赛特’	<i>M. ‘Liset’</i>	‘罗宾逊’	<i>M. ‘Robinson’</i>
‘鲁道夫’	<i>M. ‘Rudolph’</i>	‘当娜’	<i>M. ‘Donald Wyman’</i>
‘马凯米克’	<i>M. ‘Makamik’</i>	‘蒂娜’	<i>M. ‘Tina’</i>
‘斯普伦格教授’	<i>M. ‘Professor Sprenger’</i>	‘美丽’	<i>M. ‘Gorgeous’</i>
‘奈微利考伯曼’	<i>M. ‘Neville Copeman’</i>	钟诺斯海棠	<i>M. tschonoskii</i> (Maxim.) C.K.Schneid.

数进行相关性分析, 筛选2~3个与生长量显著相关的光合参数, 以用于杂交育种中进行苗期估测欧美观赏海棠生长量。

实验结果

1 不同观赏海棠生长量和光响应曲线特征参数的比较

比较36种欧美观赏海棠的生长量发现, ‘奈微

利考伯曼’、‘红丽’、‘琥珀’、钟诺斯海棠和‘约翰东’等5种海棠生长势好, 生长量大; ‘范爱塞尔亭’、‘蒂娜’、‘金黄蜂’、‘道格’、‘红宝石’、平枝海棠和森林苹果等7种海棠生长量相对较小(表2), 两类海棠生长量差异明显。

净光合速率 P_n 是反映植物光合能力的一个重要指标。36种欧美观赏海棠中, ‘奈微利考伯曼’、‘珠穆朗玛’和‘红丽’等9种海棠 P_n 较大, 均在19.3

表2 36种欧美观赏海棠生长量和光响应曲线特征参数差异

Table 2 The variation of growth and characteristic parameters of light response curves among 36 ornamental crabapples

品种(种)	树高/cm	地径/cm	净光合速率/ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$	暗呼吸速率/ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$	饱和光强/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	光补偿点/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	表观量子效率/ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$
‘奈微利考伯曼’	320 ^a	9.4 ^{abc}	23.5	0.753	1 780	174.5	0.051
‘爱丽’	310 ^{ab}	9.2 ^{abcd}	20.5	0.947	1 600	126.3	0.045
‘琥珀’	310 ^{ab}	9.8 ^a	19.8	0.760	1 500	126.0	0.051
‘约翰东’	300 ^{abc}	9.1 ^{abcd}	20.0	0.744	1 710	125.2	0.038
钟诺斯海棠	300 ^{abc}	8.7 ^{abcde}	19.3	0.651	1 300	135.2	0.041
‘红丽’	290 ^{abcd}	9.2 ^{abcd}	19.6	0.940	1 500	120.5	0.055
‘冬红’	290 ^{abcd}	9.5 ^{ab}	19.0	0.729	1 600	128.6	0.045
‘绚丽’	285 ^{abcd}	8.6 ^{abcde}	19.0	0.719	1 510	128.4	0.062
‘草莓果冻’	280 ^{abcde}	8.0 ^{bdefg}	17.4	0.830	1 290	145.1	0.050
‘印第安魔力’	276 ^{bdef}	8.0 ^{bdefg}	19.6	0.798	1 760	109.3	0.067
‘斯普伦格’	275 ^{bdef}	7.8 ^{defgh}	17.1	0.919	1 500	121.8	0.054
‘当娜’	275 ^{bdef}	8.0 ^{bdefg}	13.1	1.316	1 190	179.1	0.027
‘盛花’	270 ^{bdefg}	7.7 ^{defgh}	16.5	0.956	1 400	131.7	0.046
‘冬金’	270 ^{bdefg}	8.0 ^{bdefg}	16.5	0.729	1 200	119.4	0.037
‘粉芽’	270 ^{bdefg}	8.0 ^{bdefg}	13.2	0.752	1 490	149.7	0.037
‘春雪’	265 ^{cdefgh}	7.8 ^{defgh}	18.9	0.829	1 500	169.0	0.031
‘美丽’	265 ^{cdefgh}	7.7 ^{defgh}	16.8	0.861	1 660	129.3	0.057
‘马凯米克’	265 ^{cdefgh}	7.9 ^{cdefgh}	16.8	1.177	1 200	175.4	0.046
‘鲁道夫’	265 ^{cdefgh}	7.7 ^{defgh}	13.5	0.741	1 060	139.9	0.038
‘珠穆朗玛’	260 ^{cdefgh}	8.0 ^{bdefg}	22.2	0.859	1 800	177.0	0.059
多花海棠	260 ^{cdefgh}	7.7 ^{defgh}	19.3	0.819	1 690	127.6	0.046
‘罗宾逊’	260 ^{cdefgh}	7.8 ^{defgh}	15.6	0.955	1 090	157.1	0.045
‘里赛特’	260 ^{cdefgh}	7.4 ^{efgh}	13.4	1.211	1 100	132.2	0.025
‘雪坠’	255 ^{defgh}	8.3 ^{abcdef}	14.6	1.112	1 340	165.4	0.027
‘霹雳贝贝’	255 ^{defgh}	7.5 ^{efgh}	14.2	0.955	1 560	177.4	0.032
‘红珠宝’	250 ^{defgh}	6.9 ^{fgh}	17.1	0.709	1 208	148.5	0.047
‘莱姆’	250 ^{defgh}	7.5 ^{efgh}	11.5	1.352	1 110	183.6	0.021
‘希尔’	245 ^{efghi}	7.3 ^{efgh}	17.6	0.745	1 290	125.6	0.043
‘王族’	240 ^{efghij}	7.8 ^{defgh}	15.5	0.752	1 120	134.6	0.046
‘金黄蜂’	230 ^{efghij}	7.2 ^{efgh}	17.5	0.732	1 500	143.7	0.035
‘道格’	225 ^{fghij}	6.9 ^{fgh}	16.2	0.835	1 500	118.6	0.040
森林苹果海棠	220 ^{ghij}	6.6 ^{gh}	14.2	0.946	1 100	154.5	0.049
平枝海棠	220 ^{ghij}	6.6 ^{gh}	12.5	0.828	1 300	174.0	0.027
‘红宝石’	215 ^{hij}	7.0 ^{fgh}	14.4	0.810	1 300	134.2	0.043
‘范爱塞尔亭’	190 ^{ij}	6.6 ^{gh}	12.0	1.156	1 070	188.3	0.047
‘蒂娜’	190 ⁱ	6.4 ^h	10.1	1.471	1 080	188.5	0.013
均值	261	7.9	16.6	0.900	1 386	146.2	0.042

图中不同的小写字母表示各个品种(种)之间在 $P<0.05$ 水平是否存在显著差异。

$\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$ 以上, 而‘莱姆’和‘蒂娜’ P_n 较低, 约为前者的一半(表2)。即在饱和光强下, 前9种海棠光合产物高于后者近一倍, 相比具有一定速生性, 这也与其表现出较大的树高和地径生长量相对应。

36种海棠的暗呼吸速率 R_d 同样存在明显差异, 其范围为 $0.651\sim 1.471 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$ (表2)。其中, ‘莱姆’和‘蒂娜’海棠 R_d 偏高[$\geq 1.352 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$], 维持自身生命活动所消耗有机物量大, 这也可能是导致两者 P_n 较低的原因之一。反之, 钟诺斯海棠 R_d 最小, P_n 较高, 表现出较强的有机物积累能力。

饱和光强SL(光饱和点)与光补偿点LCP分别体现了植物对强光和弱光的利用能力。‘珠穆朗玛’和‘奈微利考伯曼’等8种海棠SL较高($\geq 1\ 600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)(表2), 说明其对强光的适应性较强, 为喜光性品种。‘冬金’、‘道格’和‘印第安魔力’海棠LCP较低($\leq 120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 是供试海棠中对低光强适应力强的品种。

表观量子效率AQY反映植物光合作用对光能的转化效率。‘印第安魔力’和‘绚丽’海棠AQY最高[$\geq 0.060 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$](表2), 说明其叶片转化光能的效率高, 在低光强下仍可保持较高的净光合速率。而‘当娜’、平枝海棠和‘雪坠’等6种海棠AQY较低[$\leq 0.027 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$], 属于光能转化效率低和利用弱光能力较差的品种。

2 不同观赏海棠生长量指标与各光合参数的相关性分析

分析供试海棠生长量指标和光合参数的相关性显示, 36种欧美观赏海棠树高、地径均与 P_n 呈极显著正相关, 与LCP呈极显著负相关, 与AQY呈显著相关; R_d 与树高显著负相关, 与地径相关性不显著; 而SL与树高、地径均无显著相关性。5个光合参数仅SL与生长量指标相关不显著, 说明环境因素中的光照因子对观赏海棠生长势有着显著的影响。

讨 论

了解各欧美观赏海棠的光合性能和需光性, 对今后选择适宜推广品种及制定相应技术措施,

具有重要的指导意义。本研究表明, 36种欧美观赏海棠的光合生理特性存在较大差异, 因此, 根据其各自光合特性和需光特点进行有针对性的使用是十分重要的。以净光合速率 P_n 为例, ‘奈微利考伯曼’、‘珠穆朗玛’和‘红丽’等9种海棠光合生产力高, 生长势好, 树型较大, 园林应用中, 应控制栽植密度和预留适当的生长空间。‘范爱塞尔亭’和‘蒂娜’ P_n 小, 生长势较弱, 且饱和光强偏低, 可作为盆栽海棠新品种培育的亲本。36种供试海棠 P_n 分布范围为 $10.1\sim 20.5 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$, 平均 P_n 为 $16.6 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$, 大于‘红富士’苹果的 P_n $14.87 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$ (王瑜等2010), 说明多数供试海棠光合能力高于‘红富士’苹果。

植物对光照环境的适应能力可由其饱和光强(光饱和点)与光补偿点LCP进行初步判断。光补偿点较低、光饱和点较高的植物对光环境的适应性较强, 而光补偿点较高、光饱和点较低的植物对光照的适应范围较窄(冷平生等2000)。在36种欧美观赏海棠中, ‘莱姆’、‘蒂娜’和‘范爱塞尔亭’均为低SL高LCP类型, 属于对光照适应范围较窄的品种, 推广应用中应首先考虑光强对其影响。‘印第安魔力’和‘约翰东’为高SL低LCP类型, 是36种海棠中对光强适应范围最广的品种, 表现出较高的光强适应性和可塑性, 即其对光照要求低, 可栽植的地区和位置比较广泛、灵活。而‘珠穆朗玛’和‘奈微利考伯曼’的SL和LCP均较高, 为喜光型观赏海棠, 应栽植于阳光充足地区。与苹果品种相比, 供试海棠平均SL为 $1\ 386 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 接近‘富士’苹果的SL ($1\ 300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)(赵德英等2009)和‘烟富1号’苹果的SL ($1\ 330 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)(吴亚维等2010)。其中‘珠穆朗玛’和‘奈微利考伯曼’海棠SL较高, 与‘寒富’苹果的SL(赵德英等2009)较为接近; ‘范爱塞尔亭’和‘蒂娜’海棠SL较低, 接近‘新嘎啦’和‘凯密欧’苹果的SL(吴亚维等2010), 但大于‘新红星’、‘红星’苹果(杨建民和王中英1993)。这表明, 多数供试欧美观赏海棠品种SL与不同苹果品种SL存在一定的相似性。但与已报道苹果品种LCP(杨建民和王中英1993; 赵德英等2009; 吴亚维等2010)相比, 供试海棠LCP均显著偏高, 暗示欧美观赏海棠利用弱光能力和耐阴性较

苹果品种差。

36种供试海棠表观量子效率AQY在0.013~0.067 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\mu\text{mol}^{-1}(\text{photon})$ 之间。其中,‘印第安魔力’和‘绚丽’AQY最高,具有较强的弱光利用能力,并且两者LCP均较低,对低光强有一定适应性,在园林应用中可尝试与其他树种混植。

在定向引种或培育特定生长量或树型大小观赏海棠过程中,利用与其有内在相关性的生理生化参数作为早期衡量的参考指标,可提高此环节的效率。通过植物光合作用的光响应曲线得到的生理参数,既可反映植物对环境的适应性状况,也可作为评价植物适应性提供基础(靳甜甜等2008)。在本研究中,供试36种海棠树高、地径两个生长量指标均与 P_n 、LCP和AQY存在(极)显著相关性。因此,我们认为,可将净光合速率 P_n 、光补偿点LCP和表观量子效率AQY作为早期估测(欧美)观赏海棠生长量的参考指标之一,以指导观赏海棠良种的园林应用、新品种选育等。

参考文献

陈恒新,刘连芬,钱关泽,汤庚国(2007). 海棠(*Malus* spp.)品种分类研究进展. 聊城大学学报, 20 (2): 57~61

成明昊,张云贵,周志钦,李晓林(2002). 变叶海棠居群分化与多毛海棠起源研究. 西南农业大学学报, 24 (6): 515~517

楚爱香,汤庚国(2008). 观赏海棠品种分类研究进展. 生物学通报, 43 (7): 15~17

郭翎,周世良,张佐双,沈向,曹颖,张东林,束怀瑞(2009). 苹果属种、杂交种及品种之间关系的AFLP分析. 林业科学, 45 (4): 33~40

胡玉净,邓丽娟,张杰,沈红香,姚允聪(2012). 干旱胁迫下外源ABA对观赏海棠叶片可溶性蛋白和脱水素积累的影响. 林业科学, 48 (4): 35~42

靳甜甜,刘国华,胡婵娟,苏常红,刘宇(2008). 黄土高原常见造林树种光合蒸腾特征. 生态学报, 28 (11): 5758~5765

李丽芳,吴晓敏,王立峰(2007). 植物光合生理生态学研究进展. 山西师范大学学报, 21 (3): 71~75

李育农(2001). 苹果属植物种植资源研究. 北京: 中国农业出版社, 201~266

冷平生,杨晓红,胡悦,朱慧盈(2000). 5种园林树木的光合和蒸腾特

性的研究. 北京农学院学报, 15 (4): 13~18

刘志强,汤庚国(2004). 南京地区垂丝海棠品种分类研究. 南京林业大学学报, 28 (1): 101~106

平晓燕,周广胜,孙敬松(2010). 植物光合产物分配及其影响因子研究进展. 植物生态学报, 34 (1): 100~111

沈红香,赵天田,宋婷婷,姚允聪,高俊平(2011). 观赏海棠‘王族’自然杂交后代的遗传多样性分析. 园艺学报, 38 (11): 2157~2168

石胜友,成明昊,梁国鲁,郭启高,李晓林,周志钦(2006). 变叶海棠遗传多样性的AFLP分析. 园艺学报, 33 (2): 381~384

唐辉,王满莲,韦记青,韦霄,蒋运生,柴胜丰(2010). 林下与全光下地枫皮叶片形态和光合特性的比较. 植物生理学通讯, 46 (9): 949~952

王瑜,向青云,吴亚维,乔光,蔡永强,文晓鹏(2010). 贵州中部地区苹果的光合特性及其对产量和品质的影响. 园艺学报, 37 (6): 984~990

文樵夫,沈红香,姚允聪,田佳,宋婷婷(2010). 苹果属观赏海棠McDFR的克隆及不同叶色品种间的表达差异. 林业科学, 46 (11): 16~24

吴亚维,王瑜,向青云,蔡永强,丰佩明,刘涛(2010). 贵州中部地区不同苹果品种光合特性研究. 种子, 29 (9): 30~37

杨建民,王中英(1993). 新红星与红星苹果幼树光合特性研究. 果树科学, 10 (1): 1~5

俞德浚,阎振茏(1956). 中国之苹果属植物. 植物分类学报, 5 (2): 77~110

赵德英,吕德国,刘国成,秦嗣军,马怀宇,成文博(2009). 冷凉气候区‘寒富’苹果及其亲本光合特性的研究. 园艺学报, 36 (7): 945~952

Dirr MA (1983). Manual of Woody Landscape Plants: Their Identification, Ornamental Characteristics, Culture, Propagation, and Uses. Champaign: Stipes Publishing Company, 715~745

Farquhar GD, Caemmerer SV (1982). Modelling of photosynthetic response to environmental conditions. In: Lange OL, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler H (eds). Physiological Plant Ecology II: Encyclopedia of Plant Physiology. Berlin: Springer Press, 550~582

Graham DF (2001). Models of photosynthesis. Plant Physiol, 125: 42~45

Lloyd JE, Herma DA, Rose MA, Van Wagoner J (2006). Fertilization rate and irrigation scheduling in the nursery influence growth, insect performance, and stress tolerance of ‘Sutyzam’ crabapple in the landscape. HortScience, 41 (2): 442~445

Ranney T, Eaker T (2004). Variation in ploidy levels and reproductive pathways among flowering crabapples. HortScience, 39 (4): 773

Xu DQ (2001). Progress in Photosynthesis Research: From Molecular Mechanisms to Green Revolution. Acta Phytophysiol Sinica, 27 (2): 97~108