

DOI:10.11937/bfyy.201617020

九种木兰科常绿树种的光合与固碳特性研究

莫亚鹰, 余金良, 黎念林, 张鹏翀

(杭州植物园, 浙江 杭州 310013)

摘 要:以杭州植物园栽植的 9 种木兰科常绿树种为研究对象, 利用 LI-6400XT 便携式光合仪测定其光合日变化和光响应曲线, 计算日净固碳量, 拟合和比较光响应参数, 并进行因子分析, 计算综合得分, 全面对比和分析其适应性。结果表明:杂交金叶含笑(日净固碳量最大为 $12.944 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 云南拟单性木兰($9.543 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)和川含笑($6.333 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)也较大, 而峨眉含笑最小($2.223 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$);光响应参数进一步反映了其适应性和固碳潜能, 并依据因子分析的结果得出, 杂交金叶含笑、川含笑和云南拟单性木兰适应性较强。建议在杭州城市园林中, 选用杂交金叶含笑、川含笑和云南拟单性木兰营造碳汇林。

关键词:木兰科; 日净固碳量; 光响应曲线; 因子分析

中图分类号:S 687 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)17-0082-05

植物通过光合作用吸收二氧化碳, 具有良好的碳汇功能, 通过森林碳汇来减少大气中二氧化碳的浓度已成为国际公认的缓解气候变暖的有效途径^[1-2]。我国于 2010 年 11 月启动碳汇林试点工作, 成为我国应对气候变化的重要内容。城市绿地是城市生态系统的重要组成部分, 发挥着重要的生态功能^[3]。园林植物是城市绿地的主体, 通过众多的生态功能维持着城市生态系统的稳定和健康^[4]。随着高速的城市化进程, 人们对城市环境的要求越来越高, 以自然、生态为主导的园林代替视觉景观为主的园林是未来城市发展的必然趋势。如何科学地选择、配置和管理城市园林植物已成为城市园林建设中亟待解决的问题。

木兰科被认为是显花植物中较原始或最原始的类群, 也是地史上分布最广泛的科。我国是木兰科植物种质资源最丰富的国家, 有“木兰王国”的美誉, 其主要分布于我国的东南部至西南部。木兰科植物大多树姿端正, 花大而美丽, 叶片和果实也各具特色, 并具有良好的适应性和抗逆性, 被广泛用于城市园林绿化中^[5]。目前, 有关树木光合生理和固碳能力方面做了许多研究^[6-12], 但是, 对于木兰科常绿树种在相同条件下的光合

及固碳能力研究尚鲜见报道。现从光合特性及日净固碳量 2 个方面, 对杭州植物园内栽植的 9 种木兰科常绿树种进行分析和比较, 以期为其在城市园林中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在杭州植物园进行, 其地处杭州西湖西北角, 地理坐标为北纬 $30^{\circ}15'$, 东经 $120^{\circ}07'$, 海拔 $10 \sim 165 \text{ m}$, 土壤为红壤和黄壤, pH $4.9 \sim 6.5$, 属亚热带季风气候, 气候温和, 雨量充沛。全年平均降水量为 1500 mm , 全年平均气温约 16.2°C , 全年日照时数约 1800 h 。

1.2 试验材料

试验选取了杭州植物园内栽植的 9 种木兰科常绿树种, 分别为峨眉含笑(*Michelia wilsonii*)、川含笑(*Michelia wilsonii* subsp. *szechuanica*)、灰绒含笑(*Michelia foveolata* var. *cinerascens*)、野含笑(*Michelia skimmeriana*)、平伐含笑(*Michelia cavaleriei*)、观光木(*Michelia odora*)、毛桃木莲(*Manglietia moto*)、云南拟单性木兰(*Parakmeria yunnanensis*)和杂交金叶含笑(*Michelia foveolata* \times *figo*), 植株全部为多年地栽实生苗, 立地和管理条件较一致, 生长健康, 无明显病虫害。

1.3 试验方法

1.3.1 光合日变化测定 试验于 2015 年 7 月中下旬进行, 选择光照充足的晴天, 选取长势相近的植株, 测定的叶片选取朝向一致、无病虫害、从枝顶展开叶向下数第 5~7 片的成熟叶, 采用 LI-6400XT 便携式光合仪(Li-

第一作者简介:莫亚鹰(1982-), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为植物保育。E-mail:behindfar@aliyun.com.

责任作者:余金良(1971-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为植物资源保护与系统进化。E-mail:Yu700001@126.com.

基金项目:浙江省“十二五”花卉新品种选育重大科技专项资助项目(2012C12909-2)。

收稿日期:2016-04-26

COR,USA)的透明叶室,使用开放式气路,空气流速为 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$,于 06:00—18:00 每隔 2 h 测 1 次净光合速率(P_n),重复 3 次。

1.3.2 固碳量计算 绘制各树种的净光合速率日变化曲线,其碳同化量是净光合速率曲线与时间轴围合的面积,可使用简单的积分方法计算植物在测定当日的净同化量^[13], $P = \sum_{i=1}^j \left(\frac{P_{i+1} + P_i}{2} \right) (t_{i+1} - t_i) \times 3\ 600 / 1\ 000(1)$, 式中, P 为单位叶面积的日同化量($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), P_i 为初始点的瞬时净光合速率($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), P_{i+1} 为 $i+1$ 测定点时的瞬时净光合速率($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), t_{i+1} 为 $i+1$ 测定点的时间(h), j 为测定的次数,3 600 为 3 600 s,1 000 为 1 000 μmol 。一般情况下,植物夜晚暗呼吸消耗的能量按照白天同化量的 20% 来计算^[14],则单位叶面积的日净固碳量 $W_{\text{CO}_2} = P \times (1 - 0.2) \times 44 / 1\ 000(2)$ 。式中 W_{CO_2} 为单位叶面积的日净固碳量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), 44 为 CO_2 的摩尔质量 ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

1.3.3 光响应曲线的测定 利用 LI-6400XT 便携式光合仪的 LED/红蓝光源叶室,于 2015 年 7 月下旬至 8 月初测定光响应曲线。选取成熟叶的中上部进行测量,每个树种重复 3 次。使用开放式气路,空气流速为

$500 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$,光响应曲线的测定光强依次为 2 000、1 800、1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、100、50 和 $0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,测定前以 $2\ 000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的光强诱导 30 min,每个光强下适应 3~5 min,待稳定后记录数据。光响应曲线的光饱和点由直角双曲线修正模型计算得出^[15],光响应曲线的各个参数由光合计算 4.1.1 软件计算得出。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 软件进行表格、图表处理,运用 SPSS 16.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同树种的净同化量与日净固碳量

根据公式(1)、(2)计算得出的 9 种木兰科常绿树种的净同化量和日净固碳量如表 1 所示,净同化量和日净固碳量分别在 $63.145 \sim 367.716 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $2.223 \sim 12.944 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,杂交金叶含笑的最大,其次分别为云南拟单性木兰、川含笑、观光木、灰绒含笑、平伐含笑、野含笑、毛桃木莲和峨眉含笑,其中除灰绒含笑与平伐含笑、野含笑与毛桃木莲无显著差异外($P=0.05$),其它树种之间均存在显著差异。此外,净同化量和日净固碳量具有一致的变化顺序和显著性差异。

表 1 9 种木兰科常绿树种日净固碳量

Table 1 Net diurnal carbon fixation of 9 evergreen Magnoliaceae species

序号 Number	树种 Species	净同化量 Net assimilation rate/($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	日净固碳量 Net diurnal carbon fixation/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
1	峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	$63.145 \pm 4.621\text{g}$	$2.223 \pm 0.163\text{g}$
2	川含笑 <i>Michelia wilsonii</i> subsp. <i>szechuanica</i>	$179.903 \pm 12.247\text{c}$	$6.333 \pm 0.431\text{c}$
3	灰绒含笑 <i>Michelia foveolata</i> var. <i>cinerascens</i>	$125.992 \pm 7.202\text{de}$	$4.435 \pm 0.253\text{de}$
4	野含笑 <i>Michelia skimmeriana</i>	$84.430 \pm 8.770\text{f}$	$2.972 \pm 0.309\text{f}$
5	平伐含笑 <i>Michelia cavaleriei</i>	$118.208 \pm 8.298\text{e}$	$4.161 \pm 0.292\text{e}$
6	观光木 <i>Michelia odora</i>	$141.306 \pm 19.005\text{d}$	$4.974 \pm 0.669\text{d}$
7	毛桃木莲 <i>Manglietia moto</i>	$83.805 \pm 5.319\text{f}$	$2.950 \pm 0.187\text{f}$
8	云南拟单性木兰 <i>Parakmeria yunnanensis</i>	$271.110 \pm 13.886\text{b}$	$9.543 \pm 0.489\text{b}$
9	杂交金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i> \times <i>figo</i>	$367.716 \pm 8.824\text{a}$	$12.944 \pm 0.311\text{a}$

注:同列不同小写字母表示在 $P=0.05$ 水平上显著差异。下同。

Note: Different lowercase letters in line show significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 不同树种光响应曲线参数

2.2.1 各拟合参数分析 光响应曲线的光饱和点(L_{SP})、光补偿点(L_{CP})、最大净光合速率(P_{max})、表观量子效率(N_{AQY})和暗呼吸速率(R_d)等参数,是描述其光合特性的重要生理指标。植物的光饱和点和光补偿点反映了植物对光照的需求及利用的范围,代表了植物的需光特性。由表 2 可知,观光木的光饱和点最高($2\ 913.926 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),显著高于其它树种,而光补偿点较低($13.301 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),对光的利用范围较大;光饱和点其次为川含笑($2\ 394.058 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

和杂交金叶含笑($2\ 124.076 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),二者的光补偿点也较高($35.638 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $41.286 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),这二者之间无显著差异;随后分别为云南拟单性木兰、灰绒含笑、平伐含笑、野含笑、毛桃木莲和峨眉含笑,灰绒含笑、平伐含笑和野含笑三者之间无显著差异。光补偿点从大到小的次序为杂交金叶含笑、峨眉含笑、毛桃木莲、川含笑>灰绒含笑、云南拟单性木兰、平伐含笑、野含笑>观光木,每组之间存在显著差异,而组内各树种间无显著差异。最大净光合速率表明了植物对光能的利用潜力。杂交金叶含笑的

最大,为 $12.751 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而峨眉含笑的最小,为 $2.103 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,最大净光合速率的大小依次为杂交金叶含笑、云南拟单性木兰、川含笑、野含笑>观光木、毛桃木莲、灰绒含笑、平伐含笑>峨眉含笑,每组之间存在显著差异,而组内各树种间无显著差异,此外,野含笑与观光木、平伐含笑与峨眉含笑之间也无显著差异。表观量子效率是植物同化 CO_2 的光量子效率,

反映了植物光合作用对弱光的利用效率。9种木兰科常绿树种的表观量子效率在 $0.034 \sim 0.080 \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,除平伐含笑较低外,其它种类之间无显著差异。暗呼吸速率表明了植物在无光照条件下的呼吸速率以及对有机物的消耗。9种木兰科常绿树种的暗呼吸速率在 $0.593 \sim 2.142 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,且所有种类之间无显著差异。

表 2 9 种木兰科常绿树种光响应曲线参数

Table 2 The light response parameters of 9 evergreen Magnoliaceae species

序号 Number	树种 Species	光饱和点 L_{SP} $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	光补偿点 L_{CP} $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	最大净光合速率 P_{max} $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	表观量子效率 NA_{QY} $/(\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	暗呼吸速率 R_d $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
1	峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	$461.320 \pm 64.354f$	$39.528 \pm 3.483a$	$2.103 \pm 1.335c$	$0.064 \pm 0.028a$	$1.674 \pm 0.355a$
2	川含笑 <i>Michelia wilsonii</i> subsp. <i>szechuanica</i>	$2394.058 \pm 243.139b$	$35.638 \pm 6.572a$	$9.431 \pm 1.835a$	$0.061 \pm 0.043a$	$1.860 \pm 0.487a$
3	灰绒含笑 <i>Michelia foveolata</i> var. <i>cinerascens</i>	$1401.415 \pm 92.213d$	$25.883 \pm 3.927b$	$6.115 \pm 2.149b$	$0.069 \pm 0.029a$	$1.483 \pm 0.521a$
4	野含笑 <i>Michelia skimmeriana</i>	$1155.371 \pm 114.458de$	$18.318 \pm 3.435bc$	$9.101 \pm 2.434ab$	$0.062 \pm 0.031a$	$1.051 \pm 0.443a$
5	平伐含笑 <i>Michelia cavaleriei</i>	$1347.727 \pm 39.796d$	$18.653 \pm 5.320b$	$5.422 \pm 0.655bc$	$0.034 \pm 0.013b$	$0.593 \pm 0.385a$
6	观光木 <i>Michelia odora</i>	$2913.926 \pm 154.180a$	$13.301 \pm 2.873c$	$6.180 \pm 0.193b$	$0.075 \pm 0.024a$	$0.879 \pm 0.238a$
7	毛桃木莲 <i>Manglietia moto</i>	$900.373 \pm 241.300e$	$39.076 \pm 5.765a$	$6.158 \pm 1.196b$	$0.037 \pm 0.011ab$	$1.295 \pm 0.324a$
8	云南拟单性木兰 <i>Parakmeria yunnanensis</i>	$1746.418 \pm 292.459c$	$20.529 \pm 3.982b$	$12.461 \pm 1.192a$	$0.080 \pm 0.017a$	$1.493 \pm 0.479a$
9	杂交金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i> \times <i>figo</i>	$2124.076 \pm 120.435b$	$41.286 \pm 7.728a$	$12.751 \pm 4.702a$	$0.060 \pm 0.026a$	$2.142 \pm 0.545a$

2.2.2 各拟合参数综合分析 光响应曲线的 5 个参数仅能从某一个方面表示其适应性,对树种的整体优劣不能进行全面评价。为此,进行了因子分析,提取主因子、计算主因子综合得分,从而对 9 种木兰科常绿树种在杭州地区生长的整体适应性进行比较。对 9 种木兰科常绿树种的 5 个光响应曲线拟合参数进行因子分析,通过分析旋转后的因子载荷矩阵,提取特征值大于 0.7 的 3 个因子作为公因子(表 3),此 3 个公因子的累计方差贡献率为 91.137%,能够反映 5 个参数绝大部分的信息,可以近似地代替所有的参数信息。由表 4 可知,第 1 个公因子与光补偿点和暗呼吸速率密切相关,相关系数分

别为 0.938 和 0.934,反映了植物的能量消耗;第 2 个公因子与光饱和点和最大净光合速率密切相关,相关系数分别为 0.806 和 0.880,反映了植物的最大光合能力;第 3 个公因子与表光量子效率密切相关,相关系数为 0.972,反映了植物对弱光的利用效率。利用因子分析得到的 3 个公因子得分,并根据各自权重,计算出 9 种木兰科常绿树种的综合得分(表 5),在杭州地区杂交金叶含笑与川含笑的生长适应性最好,其次为云南拟单性木兰,随后分别为灰绒含笑、毛桃木莲、峨眉含笑、野含笑和观光木,平伐含笑的生长适应性最差,这与所测定的生理参数基本一致。

表 3 总方差解释

Table 3 Total variance explain

公因子 Common factor	特征值 Total	因子分析初始解 Initial eigenvalues		特征值 Total	旋转载荷贡献率 Rotating load contribution rate	
		方差贡献率 Variance devoting rate/%	累计贡献率 Total cumulative/%		方差贡献率 Variance devoting rate/%	累计贡献率 Total cumulative/%
1	2.016	40.316	40.316	1.856	37.115	37.115
2	1.831	36.618	76.935	1.545	30.909	68.024
3	0.710	14.202	91.137	1.156	23.113	91.137

表 4 旋转后的因子载荷矩阵

Table 4 Rotated component matrix

参数 Parameter	公因子 Common factor		
	1	2	3
光饱和点 L_{SP}	-0.218	0.806	0.267
光补偿点 L_{CP}	0.938	-0.160	-0.244
最大净光合速率 P_{max}	0.234	0.880	0.090
表观量子效率 NA_{QY}	0.110	0.223	0.972
暗呼吸速率 R_d	0.934	0.217	0.269

表 5 9 种木兰科常绿树种综合得分

Table 5 Composite score of 9 evergreen Magnoliaceae species

树种 Species	综合得分 Composite score
峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	-0.276
川含笑 <i>Michelia wilsonii</i> subsp. <i>szechuanica</i>	0.608
灰绒含笑 <i>Michelia foveolata</i> var. <i>cinerascens</i>	-0.101
野含笑 <i>Michelia skimmeriana</i>	-0.285
平伐含笑 <i>Michelia cavaleriei</i>	-0.838
观光木 <i>Michelia odora</i>	-0.289
毛桃木莲 <i>Manglietia moto</i>	-0.209
云南拟单性木兰 <i>Parakmeria yunnanensis</i>	0.377
杂交金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i> \times <i>figo</i>	1.013

3 讨论

不同树种的净光合速率在一日内会表现出不同的变化规律,在一致的光照条件下,各树种净光合速率的变化反映出其光合能力的大小,也表明了其固碳能力的差异^[7]。对于日净固碳量而言,在杭州地区营造碳汇林,可优先选用日净固碳量较高的杂交金叶含笑、云南拟单性木兰和川含笑,同时,也可以适当将观光木、灰绒含笑和平伐含笑进行配置,来满足园林景观和树种多样性的需求。

光饱和点和光补偿点表明植物对光照强度的适应范围,光饱和点越高,光补偿点越低即二者的差值越大,说明对光照的有效利用范围越广,净光合同化量越大。观光木的光饱和点最高,且光补偿点最低,对光照的有效利用范围最大;峨眉含笑的光饱和点最低,而光补偿点较高,对光照的有效利用范围最小。一般而言,具有较低光饱和点的树种其光补偿点也较低。

最大净光合速率是植物光能利用潜能的重要指标,是表征植物生长速度的一个重要参数,而暗呼吸速率的大小指示着植物消耗有机物的多少^[16]。杂交金叶含笑、云南拟单性木兰和川含笑的最大净光合速率较高,光饱和点也较高,所以日净固碳量也最大;虽然野含笑也具有较高的最大净光合速率,但由于光饱和点较低,在夏季光照强烈的情况下容易产生光抑制,日净固碳量反而较低。9个树种的暗呼吸速率无显著差异,所以采用能量最大传递效率20%得出的日净固碳量的结果也较为准确,能够较真实地反映出实际固碳能力的差异。

表观量子效率反应了植物对弱光的利用效率,与吸收和转换光能的色素蛋白复合体的含量有关^[17],其值越大证明植物对弱光的利用能力越强。对于生长良好的植物,表观量子效率一般在0.04~0.07^[18]。9个树种的表观量子效率在0.034~0.080,除平伐含笑和毛桃木莲外都具有较高的表观量子效率,但为达到最大的固碳效果,还需结合其光饱和点的特性进行园林配置。

光响应曲线拟合参数只能反映某一方面的特性,且各参数的变化趋势也并非完全一致,不能完全反映出树种的适应性。利用因子分析的方法,提取主因子、计算主因子综合得分,能够较客观、全面地描述树种的适应性,且与日净固碳量的结果较为一致。建议在杭州地区全光照条件下利用杂交金叶含笑、川含笑和云南拟单性

木兰营造碳汇林,不仅可以发挥良好的固碳效果,还能凸显树种的特色。其次可以适当配置灰绒含笑和观光木来满足景观和多样性的需求。该试验只研究了夏季各树种的固碳和光合表现,不能代表其年固碳能力,需要进一步地研究来更加准确地反映其光合与固碳特性。

参考文献

- [1] 张小全,武曙红. 中国 CDM 造林再造林项目指南[M]. 北京:中国林业出版社,2006:1.
- [2] RAVINDRANATH N H, OSTWALD M. 林业碳汇计量[M]. 北京:中国林业出版社,2009:1-2.
- [3] 毛齐正,罗上华,马克明,等. 城市绿地生态评价研究进展[J]. 生态学报,2012,32(17):5589-5600.
- [4] 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,2002:75-83.
- [5] 莫亚鹰,余金良,黎念林. 杭州植物园木兰科植物资源及其园林应用[J]. 杭州植物园,2014(4):12-14.
- [6] 黎清,何秀云,修小娟,等. 16 种木兰科树种光合特性比较[J]. 绿色科技,2014(7):46-48.
- [7] 张娇,李海明,施拥军,等. 30 种平原绿化乔木树种光合固碳特性分析[J]. 西南林业大学学报,2012,32(6):6-12.
- [8] 姜霞. 基于光合生理指标的黔中地区造林树种选择研究[D]. 贵阳:贵州大学,2006.
- [9] 姜霞,张喜,谢双喜,等. 木兰科主要树种幼苗的光合生理特征比较[J]. 贵州农业科学,2005,33(3):12-15.
- [10] 蒋华伟,罗红雨,李欣,等. 苏州主要园林树种的光合固碳能力对比分析[J]. 江苏林业科技,2014,12(6):7-11.
- [11] 姜卫兵,李刚,翁忙玲,等. 五种木兰科树种在南京地区冬春季的光合特征[J]. 应用生态学报,2007,18(4):749-755.
- [12] 张娇,施拥军,朱月清,等. 浙北地区常见绿化树种光合固碳特征[J]. 生态学报,2013,33(6):1740-1750.
- [13] 刘嘉君,王志刚,阎爱华,等. 12 种彩叶树种光合特性及固碳释氧功能[J]. 东北林业大学学报,2011,39(9):23-26.
- [14] 王丽敏,秦俊,高凯,等. 室内植物的固碳放氧研究[C]//张启翔. 2007 年中国园艺学会观赏园艺专业委员会论文集. 北京:中国林业出版社,2007.
- [15] 叶子飘,王建林. 植物光合-光响应模型的比较分析[J]. 井冈山学院学报(自然科学版),2009,30(4):9-13.
- [16] 谢会成,姜志林,李际红. 栓皮栎林光合特性的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2004,28(5):83-85.
- [17] GREGORIOU K, PONTIKIS K, VEMMOS S. Effects of reduced irradiance on leaf morphology, photosynthetic capacity and fruit yield in olive (*Olea europaea* L.)[J]. Photosynthetica, 2007, 45(2):172-181.
- [18] LONG S P, HUMPHRIES S, FALKOWSKI P G. Photo-inhibition of photosynthesis in nature[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1994, 45(1):633-662.

Photosynthetic and Carbon Fixation Characteristics of 9 Evergreen Magnoliaceae Species

MO Yaying, YU Jinliang, LI Nianlin, ZHANG Pengchong
(Hangzhou Botanical Garden, Hangzhou, Zhejiang 310013)

DOI:10.11937/bfyy.201617021

种球冷藏处理对欧洲水仙花期调控的影响

仇恒佳^{1,2}, 林菁^{1,2}, 梁丽建³, 周玉珍^{1,2}, 叶晓青³

(1. 苏州农业职业技术学院, 江苏 苏州 215008; 2. 江苏省农业种质资源保护与利用平台, 江苏 苏州 215008;

3. 江苏省农业科学院 生物技术所, 江苏 南京 210014)

摘要:在苏南气候条件下,以欧洲水仙“小矮人”与“塔希提”2个品种的自繁种球为试材,探讨了不同时间低温(5~9℃)处理对欧洲水仙生长发育的影响与低温处理间鳞片与花芽的可溶性蛋白质与糖类的变化规律。结果表明:欧洲水仙种球在完成花芽分化后,早花品种“小矮人”在9月1日之前进行鳞茎冷藏处理,晚花品种“塔希提”在8月18日之前进行鳞茎冷藏处理,10月20日冷藏结束,可以实现元旦之前开花观赏;低温处理时间越长,开花越早,花茎越高。低温处理阶段,鳞片和花芽中的可溶性蛋白质含量随着低温处理时间的增加逐渐增加,且花芽中的可溶性蛋白质含量明显高于鳞片;鳞片和花芽中的可溶性糖含量均明显高于对照,且随着低温处理时间的增加,鳞片和花芽中的可溶性糖含量不断变化。该研究对欧洲水仙种球花期调控提供了理论和技术参考。

关键词:欧洲水仙;冷藏处理;可溶性蛋白质;可溶性糖;花期调控

中图分类号:S 682.2⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)17-0086-05

欧洲水仙(*Narcissus* spp.)属石蒜科水仙属多年生草本植物,又称洋水仙,世界上约有40个原生种,大多原产于地中海沿岸及欧洲中部^[1]。与中国水仙相比,欧洲水仙花型、花色较为丰富,种球可以连年开花,近年来极受国内市场的欢迎,主要应用于花坛和花境的布置。目前,国内一些学者对欧洲水仙进行了引种栽培研究^[2],但对其冷处理、花期调控及生理生化变化等研究报道较少,且不同的鳞茎收获时间、贮藏条件等都能影响开

花期^[3]。据报道,欧洲水仙在上海地区7月份基本完成雄蕊和雌蕊的分化,但其在花茎伸长生长之前需要接受一段时间5~7℃低温,鳞茎完成相应的生理生化过程才能开花^[4]。现以2008年从国外引种繁殖的栽培品种为试材,对其进行冷藏处理,探讨不同冷藏时间对开花的影响及其种球冷藏过程中的生理生化变化,以期对欧洲水仙种球的生产与应用提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试欧洲水仙种球为早花品种“小矮人”(‘Young dawrf’)、晚花品种“塔希提”(‘Tahiti’),由课题组在苏州农业职业技术学院相城农业科技园种植、收获。2014年6月初收获,之后用清水冲洗并晾干,放置在避免直射

第一作者简介:仇恒佳(1964-),男,安徽寿县人,博士,副教授,现主要从事观赏植物栽培技术科研与教学等工作。E-mail: qhj010519@163.com.

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金资助项目(CX(14)2064);江苏省“青蓝工程”资助项目(苏教师(2014)23号)。

收稿日期:2016-04-15

Abstract: Taking nine evergreen Magnoliaceae tree species planted in Hangzhou Botanical Garden as the research materials, the diurnal change of net photosynthetic rate and light response curve were measured by LI-6400 XT. The results showed that *Michelia foveolata* × *figo* had the highest net diurnal carbon fixation ($12.944 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) followed by *Manglietia moto* ($9.543 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) and *Michelia wilsonii* subsp. *szechuanica* ($6.333 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), while *Michelia wilsonii* was the lowest ($2.223 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). The light response curve parameters reflected the growth adaptability and carbon sequestration capacity. According to the results of factor analysis, *Michelia foveolata* × *figo*, *Michelia wilsonii* subsp. *szechuanica* and *Manglietia moto* had higher adaptability. Combining with two aspects of characters, *Michelia foveolata* × *figo*, *Michelia wilsonii* subsp. *szechuanica* and *Manglietia moto* could be used as afforesting species in Hangzhou.

Keywords: Magnoliaceae; net diurnal carbon fixation; light response curve; factor analysis