

3个芍药品种光合特性比较

孔 芬¹, 刘小勇¹, 陶 俊²

(1. 甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 以芍药品种大富贵、黄金轮和杨妃出浴为试材, 利用LI-6400便携式光合仪测定其光合日变化、光强和CO₂浓度的响应曲线。结果表明, 3个品种净光合速率(Pn)日变化均呈“双峰”曲线, 最高值出现在8:00时, 存在光合“午休”现象; 光强与CO₂响应曲线表明, 黄金轮较另外两个品种的光合能力更强, 而杨妃出浴有更好的弱光响应。CO₂浓度对Pn值的效应高于光强, 光合有效辐射(PAR), Pn值的增加主要受CO₂供应的限制, CO₂加富可提高芍药叶片的净光合速率。

关键词: 芍药; 品种; 光合特性; 净光合速率

中图分类号: S682.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-1463(2015)06-0041-06

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2015.06.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2015.06.013)

Comparison of Photosynthetic Characteristics Among Three *Paeonia lactiflora* Cultivars

KONG Fen¹, LIU Xiaoyong¹, TAO Jun²

(1. Institute of Fruit and Floriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu 225009, China)

Abstract: The LI-6400 Portable Photosynthesis System is used to determine diurnal photosynthetic changes, light-response curves and CO₂-response curves of different species in three *Paeonia lactiflora* varieties. The result indicates that diurnal changes of net photosynthetic rates (Pn) in leaves of the three cultivars presented a typical bimodal curve and had ‘midday depression’ phenomenon; According to the light and CO₂ response curve can be obtained Huangjinlun than the other two species of photosynthetic ability is stronger, Yangfei bathing has a better response. CO₂ concentration on the effect of Pn value is higher than that of PAR, increase Pn value is mainly affected by CO₂ supply constraints, therefore, CO₂ enrichment can improve the net photosynthetic rate of *Paeonia lactiflora*.

Key words: *Paeonia lactiflora*; Cultivar; Photosynthetic characteristics; Net photosynthetic rate

芍药(*Paeonia lactiflora*)是我国传统名花, 栽培历史悠久, 在我国华北、华东、华中以及甘肃兰州等地区均有种植^[1-2], 其作为观赏使用可追溯到4 000多年以前^[3]。有关观赏芍药的研究多集中在品种、栽培管理以及切花生产等方面^[4-8]。

近年来, 学者对芍药的光合特性、叶绿素荧光特性、碳水化合物代谢等方面展开了相关研究^[9-13], 但对观赏芍药不同品种间光合作用生理生态特性未做深入阐述。我们以常见栽培的3个芍药品种为材料, 通过测定大田条件下不同芍药品种叶片

收稿日期: 2015-03-02

基金项目: 甘肃省农业科学院科技创新项目(2012GAAS11-2); 甘肃省科技重大专项(1203NKDK019)部分内容

作者简介: 孔 芬(1983—), 女, 山东曲阜人, 研究实习员, 主要从事园艺生理研究工作。联系电话: (0)18919929192。

E-mail: kongfen917@163.com

通讯作者: 刘小勇(1964—), 男, 甘肃甘谷人, 研究员, 主要从事园艺作物的高效栽培研究。E-mail: liuxy6607@163.com

[5] 黄利权, 张吕强. 中西兽医结合治疗犬三氮脒中毒[G]//中国畜牧兽医学会小动物医学分会, 中国畜牧兽医学会兽医外科学分会. 中国畜牧兽医学会小动物医学分会第四次学术研讨会暨中国畜牧兽医学会兽医外科学分会第十六次学术研讨会论文集. 呼和浩特: 出版社, 2009.

[6] 龚大春, 杨玉莹, 彭本英, 等. 血虫净致犬慢性中毒的病理学观察[J]. 中国兽医杂志, 2007, 43(7): 24.

[7] ROPPER A H, ADAMS R D, VICTOR M, et al. Adams and Victor's principles of neurology[M]. New York: Mc Graw Hill, 2005: 959-982.

光合速率日变化和响应曲线,分析光合速率与生态因子的相关性,探寻影响芍药生长发育的主要环境因子,为芍药高效、精确栽培及优良品种的引进筛选提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 3 a 生芍药品种大富贵、黄金轮、杨妃出浴。

1.2 试验地概况

试验地选在扬州大学芍药园基地,位于东经 119° 42', 北纬 32° 38', 属于亚热带湿润气候区,四季分明,光照充足,气候温和,雨量充沛,自然条件优越。试验园年平均气温为 14.8 °C, 年均日照时数为 2 140 h, 年均降水量 1 020 mm, 无霜期 220 d。

1.3 试验方法

采用 LI-6400 型便携式光合系统 (LI-COR, Lincoln, USA), 6 月上旬选择晴朗无风天气进行, 光合日变化测定时间为 6:00 ~ 18:00 时, 每整点测量 1 次, 为消除时间上的误差, 每次重复测定时, 各品种间采取随机测定, 每次各参数取 4 ~ 6 个有效数值。仪器同时记录各品种气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (Tr)、胞间 CO_2 浓度 (C_i) 等光合生理因子变化及光合有效辐射 (PAR)、气温 (T_a)、叶温 (T_l)、相对湿度 (RH) 等相关光合生态因子的变化。水分利用效率 (WUE) 采用 Fischer and Turner 的方法 $WUE = P_n / Tr$ 进行计算^[14]。

光响应曲线利用 LI-6400 自动光曲线程序来测定, 选择晴天 9:00 ~ 11:00 时期间, 光源为 LI-6400 配置的红蓝光 LED 光源, 控制 LI-6400 参比室的 CO_2 浓度为 400 $\mu mol/mol$, 控制叶片温度为 (25 ± 1) °C。分别在光合有效辐射 (PAR) 依次为 2 000, 1 800, 1 600, 1 400, 1 200, 1 000, 800, 600, 400, 200, 100, 50, 20, 0 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ 下测定 3 个芍药品种叶片的净光合速率 (P_n)、 Tr 、 G_s 、 C_i 等光合参数。设定 PAR 为 1 000 $\mu mol CO_2/(m^2 \cdot s)$ 作为测定光强, 利用 LI-6400 标配液化 CO_2 钢瓶提供不同的 CO_2 体积分数, 分别在 CO_2 浓度为 400、300、200、150、100、50、20、400、400、600、800、1 000、1 200 $\mu mol/mol$ 的条件下测定叶片的 P_n 值。测定前使用 1 200 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ 冷光源诱导 10 min, 在每个 CO_2 浓度下平衡 120 s 后测定 P_n , 当测量变异率小于 0.05 时由红外气体分析仪自动记录。测定时每品种选 3 ~ 5 个典型植株, 每植株选取南部枝条自顶端向下数第 4 枚复

叶的中间小叶为测定部位, 重复 3 次, 结果取平均值。

采用 SPSS17.0 及 Excel 软件进行数据处理分析和作图。

2 结果与分析

2.1 3 个芍药品种光合日变化的规律

从图 1 可以看出, 3 个芍药品种的净光合速率变化的趋势一致, 均呈双峰曲线, 3 个芍药品种叶片 P_n 值在 6:00 ~ 8:00 时增加最为迅速, 8:00 时出现第 1 个峰值, 分别是 16.43、18.25、17.82 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$, 随后呈下降趋势, 在 13:00 时大富贵和杨妃出浴出现低谷, 黄金轮在 14:00 时谷值为 7.78 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$, 也就是出现了光合“午休”现象, 经过午休之后, P_n 值又开始上升, 到 16:00 时大富贵和黄金轮达到第 2 个峰值, 分别为 9.49、8.88 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$, 杨妃出浴则在 15:00 时达到第 2 个峰值为 8.36 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$, 随后, 净光合速率迅速下降, 到 18:00 时达到全天最低值, 分别是 3.91、3.06、3.59 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$ 。

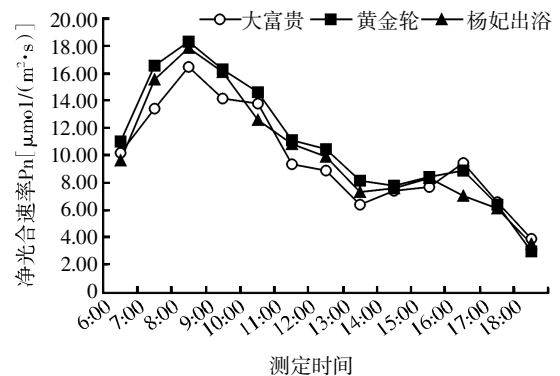


图 1 3 个芍药品种的净光合速率日变化

图 2 可以看出 3 个品种 G_s 日变化呈不明显的双峰曲线, 植物通过改变气孔的开度控制与外界的 CO_2 和水汽交换, 从而调节光合速率和蒸腾速率^[15], G_s 第 1 个峰值出现在 8:00 时, 黄金轮为 0.31 $mol/(m^2 \cdot s)$, 明显高于大富贵和杨妃出浴, 到 16:00 时均达到第 2 个峰值, 均为 0.07 $mol/(m^2 \cdot s)$ 。3 个品种 C_i 日变化呈现下降的趋势, 杨妃出浴变化幅度比较大, 在 9:00~14:00 时期间 3 个品种保持在 105~216 $\mu mol/(m^2 \cdot s)$; 光照可引起气孔开放, 提高大气和植物体温度, 增加叶内外蒸汽压差加速蒸腾。图 2 可看出, 3 个品种的 Tr 均在中午之前达到一天中的最大值, 其中大富贵在 10:00 时, 为 4.37 $mmol/mol$, 黄金轮在 11:00 时, 为 4.76 $mmol/mol$, 随后, 迅速下降, 16:00 时小幅升高后迅速下降。3 个品种的 WUE 总体上呈“倒抛物线”

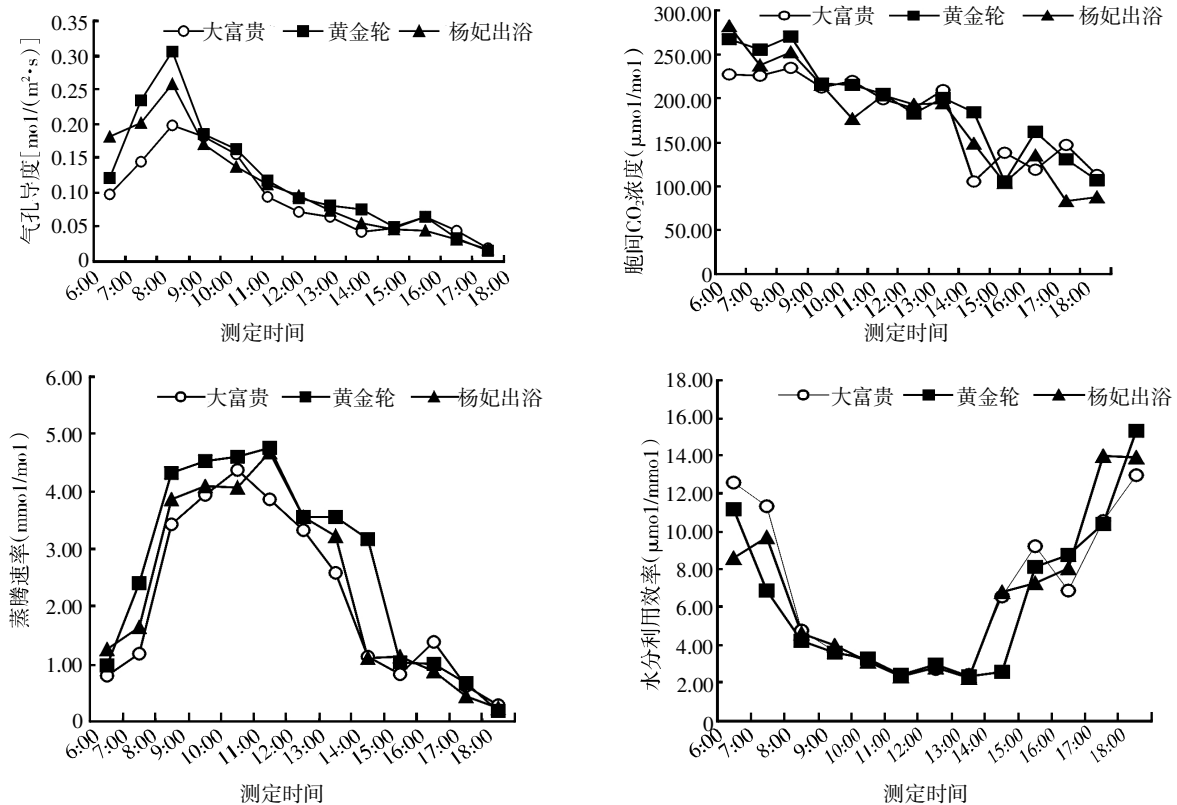


图2 3个芍药品种光合生理因子日变化

形状,从6:00时开始,大富贵和黄金轮2个品种的WUE从较高的数值随着蒸腾速率的升高而持续下降,杨妃出浴则在7:00时略有升高,中午前后3个品种的WUE维持在很低的水平,随后又随着蒸腾速率的下降而迅速升高。

2.2 光合速率与环境因子的相关性分析

从表1可以看出,Pn与PAR和Tr呈显著正相关($r=0.752^{**}$, $r=0.642^{**}$),与Ta、Tl呈负相关;当PAR增强时,大气温度(Ta)和叶片温度(Tl)随着升高,导致叶肉细胞间隙的水汽压与叶表面大气压差增大,蒸腾速率(Tr)随之提高;Tr与RH呈显著负相关($r=-0.733^{**}$),与Ta、Tl呈正相关,这是由于Ta、Tl与RH呈显著负相关($r=-0.958^{**}$, $r=-0.626^{**}$),过高的RH将导致Ta和Tl的降低,进而降低了蒸腾速率。PAR和Tr呈极

显著相关($r=0.899^{**}$),Tl的变化受Ta的直接影响($r=0.991^{**}$),同时Ta与RH呈极显著正相关($r=-0.958^{**}$),表明芍药的净光合速率可随光照和大气相对湿度的增大、温度的下降而提高。影响芍药光合的主要因子为Tr和PAR,RH通过别的因子间接影响光合速率。

2.3 3个芍药品种光合-光响应特征

如图3所示,3个芍药品种的PAR在0~500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,Pn随着PAR的增加迅速增大,之后升幅较为平缓。PAR在500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 之后,大富贵与杨妃出浴的Pn值较为接近,但明显低于黄金轮,差值约2 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$;表明黄金轮较另外2个品种的光合能力强,其光能利用率最高。

表1 光合速率与环境因子的相关性分析^①

指标	Pn	Tr	RH	Tl	PAR	Ta
Pn	1.000					
Tr	0.642**	1.000				
RH	0.395	-0.733**	1.000			
Tl	-0.354	0.375	-0.626**	1.000		
PAR	0.752**	0.899**	-0.672**	0.569*	1.000	
Ta	-0.463	0.352	-0.958**	0.991**	0.458	1.000

①*、**分别为0.05及0.01水平的显著性差异。

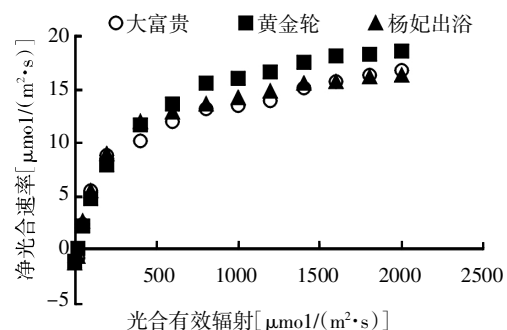


图3 3个芍药品种的光响应曲线

从图 4 可以看出,随着 PAR 的增大, G_s 、 Tr 迅速升高,在 PAR 为 $1\ 000\sim 2\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 左右时,黄金轮呈迅速上升趋势,之后的上升趋势则较为缓慢,3 个品种的 G_s 自大从小依次为黄金轮、大富贵、杨妃出浴。3 个品种 C_i 的变化趋势均是随 PAR 的增大而迅速减小,而后逐渐趋于平衡,当 PAR 大于 $1\ 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时, C_i 又略有上升,随着 PAR 的增大,黄金轮的 C_i 值始终较大富贵与杨妃出浴大,而大富贵与杨妃出浴之间差异则不明显;水分利用效率决定于植物光合与蒸腾速率作用的比例。在 PAR 为 $0\sim 400\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,3 个芍药品种的 WUE 呈直线迅速上升趋势,大富贵与黄金轮在 PAR 为 $800\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 左右时达到最大值,分别是 3.87 、 $3.59\ \mu\text{mol}/\text{mmol}$,而杨妃出浴则是在 PAR 为 $600\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 左右时达到最大值,为 $4.18\ \mu\text{mol}/\text{mmol}$,3 个品种的 WUE 值从大到小依次为杨妃出浴、大富贵、黄金轮。

2.4 3 个芍药品种光合作用的 CO_2 响应曲线特征

从图 5 可以看出,3 个品种的 P_n 值变化趋势一致,随着 CO_2 浓度的增加, P_n 值呈逐渐增大的趋势,当 CO_2 浓度在 $0\sim 400\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 变幅内, P_n 值增幅比较大,两者呈直线相关,相关系数都在 0.98 以上;当 CO_2 浓度大于 $400\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 之后,

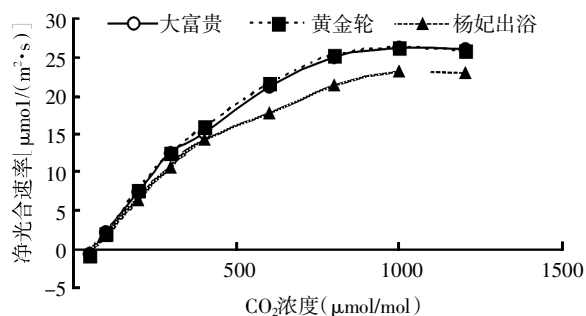


图 5 3 个芍药品种的光合- CO_2 响应曲线

P_n 值增加幅度逐渐减少, CO_2 浓度在 $800\sim 1\ 200\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 时, P_n 值逐渐趋于稳定,此时的净光合速率达到最大,即最大净光合速率(P_{max}),这时的光合速率反映了光合能力的强弱,此时环境中的 CO_2 浓度则为该植物的 CO_2 饱和点,3 个芍药品种的 CO_2 饱和点介于 $800\sim 1\ 200\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。杨妃出浴较之其它 2 个品种, P_n 值一直较低。3 个品种均在 CO_2 浓度 $1\ 000\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 时达到最大值,黄金轮和大富贵的 P_n 最大值分别为 26.1 、 $26.2\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,杨妃出浴较低,为 $23.2\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

3 小结与讨论

1) 光合作用日变化是植物生产过程中物质积累与生理代谢的基本过程,也是分析环境因素影响植物生长和代谢的重要手段,不同种类、不同品种之间的

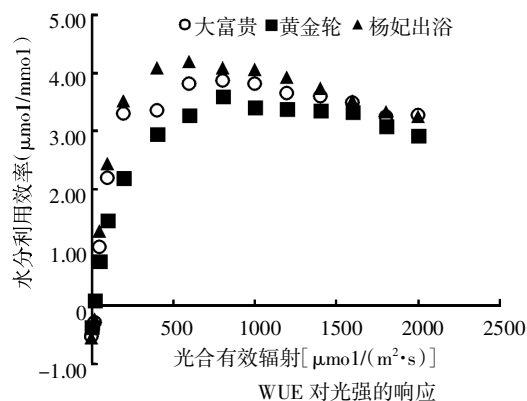
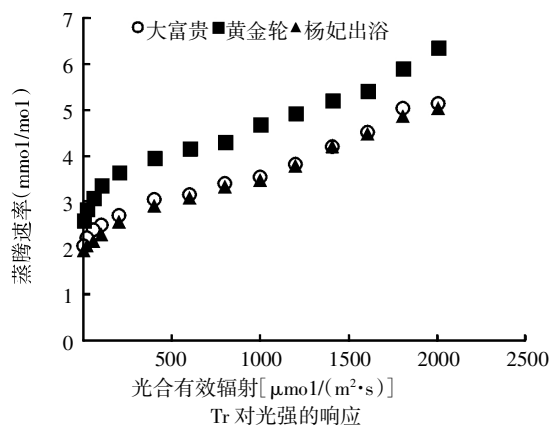
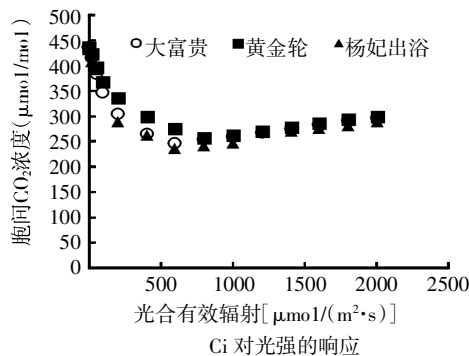
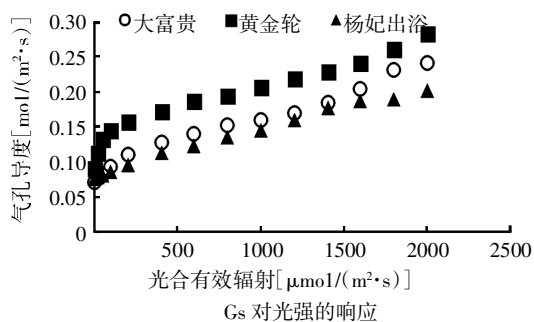


图 4 3 个芍药品种 G_s 、 C_i 、 Tr 、WUE 对光强的响应

光合特性都存在明显差异,如国兰、樱桃、牡丹品种等^[16-18]。本试验3个芍药品种净光合速率日变化均呈双峰型曲线,第1个峰值都出现在8:00时,第2个峰值出现的时间不相同,这一结果与前人的研究结果存在一定差异。刘海琴和张玉对芍药的研究表明,光合速率日变化均呈单峰曲线,峰值分别出现在9:00时和11:00时^[11,19],这可能是由植物本身的生理特性、生长环境及测定的时间不同而导致的。对同属植物牡丹的研究表明,夏季晴天大田栽培牡丹净光合速率日变化多呈明显的双峰曲线,最高峰华北和东北地区出现在9:00~11:00时,长江中下游地区在8:00~9:00时,次高峰东北地区则出现在16:00时左右^[20-21]。此外3个品种的Ci、Gs、Tr、以及WUE方面均存在差别,在上午,Ci、Gs、Tr 3个指标的数值均为黄金轮最高,大富贵和杨妃出浴数值比较接近。而WUE却相反,随着蒸腾速率的升高而下降,3个品种间黄金轮最低,说明黄金轮较另外两个品种的光合能力更强,在强光下具有较高的光合速率,杨妃出浴则对弱光的利用能力要高于黄金轮和大富贵。

植物叶片Pn下降的自身因素主要是气孔的部分关闭以及叶肉细胞光合活性的下降。Ci的大小是评判气孔限制和非气孔限制的依据之一。判断叶片Pn下降究竟是气孔因素还是非气孔因素的方法是:若Gs降低的同时,Ci降低,则为气孔限制;若Ci升高,则为非气孔限制^[15]。本试验3个品种,杨妃出浴的Pn、Gs和Ci同时下降,可认为Pn的下降为气孔限制,而大富贵和黄金轮在上午为气孔限制而下午Gs降低的同时Ci升高,构成非气孔限制,这表明芍药叶片光合(午休)不仅受来自气孔因素的限制也受非气孔因素的限制。有关气孔限制与非气孔限制的具体原因有待进一步研究。

2) 植物的光合作用是一个对生态因子敏感的复杂生理过程,生态因子不仅直接影响光合作用,而且还通过影响植物的生理因子进而影响光合作用,各种因子间有着错综复杂的关系^[22]。针对不同的植物,学者们得到结论也不一致。林金科认为茶园生态系统中光温因子是第1主成分,空气相对湿度和环境CO₂浓度是第2主成分,阴天,叶温、环境CO₂浓度是第1成分,光、空气相对湿度是第2主成分^[23];对苜蓿的研究中表明,Pn与PAR与气孔导度呈极显著正相关,而与田间CO₂浓度呈极显著负相关^[24]。本研究表明,Pn与PAR和Tr呈显著正相关,与Ta、Tl呈负相关,这与前人研究结果相一致^[12,25]。影响光合的主要因子在不

同的环境和条件下也是变化的,关于生理生态因子对不同芍药品种光合过程影响的机制有待于进一步研究。

3) 植物的光响应曲线反映出植物光合生理特性的差异及其对不同生长光强的适应潜力^[26]。本试验3个芍药品种的光响应曲线中黄金轮的Pn值一直高于大富贵和杨妃出浴,CO₂的响应曲线中杨妃出浴Pn值最低,这说明黄金轮在强光、低浓度CO₂条件下,如夏季的上午及午后,具有较高的净光合速率,而杨妃出浴则对光的反应能力最快,即对光更敏感,具有较好的利用弱光的能力。从光合速率对光及CO₂响应曲线来看,CO₂对Pn值的效应要高于PAR,这说明强光下(接近或超过光饱和点)芍药Pn值的增加主要是受CO₂供应的限制,即CO₂加富可以显著提高芍药叶片的净光合速率。

参考文献:

- [1] 李嘉珏. 中国牡丹与芍药[M]. 北京: 中国林业出版社: 1999: 13-14.
- [2] 秦魁杰. 芍药[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [3] 王彦卓, 姜卫兵, 魏家星, 等. 芍药的文化意蕴及其园林应用[J]. 广东农业科学, 2013(20): 58-61.
- [4] 郭先锋, 臧德奎, 袁涛, 等. 我国栽培芍药溯源[J]. 山东农业大学学报, 2008, 39(3): 388-392.
- [5] 刘玉梅. 观赏芍药生态习性及其栽培技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(12): 4965-4967.
- [6] 黄国京, 贾清华, 李旻, 等. 我国观赏芍药栽培基质及施肥技术研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2012, (1): 148-150.
- [7] 王历慧, 郑黎文, 于晓南. 观赏芍药促成栽培技术与休眠解除的研究进展[J]. 北方园艺, 2011(6): 201-204.
- [8] 袁燕波, 王历慧, 于晓南. 低温和外源GA₃对芍药切花品种花期调控的影响[J]. 东北林业大学学报, 2014(1): 98-103.
- [9] 简在友, 王文全, 孟丽, 等. 芍药组内不同类群间光合特性及叶绿素荧光特性比较[J]. 植物生态学报, 2010, 34(12): 1463-1471.
- [10] 王秋玲, 魏胜利, 王文全. 野生和栽培芍药植株形态特征与光合生理特性的比较研究[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(1): 32-36.
- [11] 刘海琴, 王康才, 罗庆云, 等. 叶面喷施铜肥对芍药光合及荧光动力学参数的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(5): 982-986.
- [12] 周盛茂, 段净亚, 李明, 等. 华北高寒区芍药光合特性的研究[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 148-150.
- [13] 宋焕芝. 芍药光合特性及碳水化合物代谢研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [14] PEÑUELAS J, FILELLA I, LLUSIÀ J, et al. Compar-

