

网络出版时间:2018-12-04 10:11

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2019.06.012

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20181204.1010.024.html

两种根砧嫁接‘洛阳红’光合特性与叶绿素 荧光参数的比较

常毅洪,赵鹏飞,王 锐,栗 燕,贺 丹,陈军洲

(河南农业大学 林学院,河南 郑州 450002)

【摘 要】【目的】对 2 种根砧嫁接的‘洛阳红’盆栽植株叶片的光合特性与叶绿素荧光参数季节性变化进行比较,筛选更适宜盆栽的嫁接‘洛阳红’砧木。【方法】以‘洛阳红’为接穗,芍药根和凤丹根为砧木,测定 2 种根砧嫁接‘洛阳红’叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)、单叶瞬时水分利用效率(WUE)、羧化速率(CE)等光合特性以及初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、PS II 的最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II 的有效量子产量 $[Y(II)]$ 、光化学淬灭系数(qP)、非光化学淬灭系数(qN)等叶绿素荧光参数,并分析 P_n 与其他参数的相关性。【结果】盛花期至夏季休眠期,芍药砧‘洛阳红’叶片的 P_n 始终高于凤丹砧‘洛阳红’。圆桃期至盛花期,芍药砧‘洛阳红’叶片的 P_n 、 CE 、 WUE 、 F_m 、 F_v/F_m 、 $Y(II)$ 分别增长了 145.86%,245.10%,60.68%,33.27%,8.45% 和 25.00%,增长幅度较凤丹砧‘洛阳红’大。花后生长期,芍药砧‘洛阳红’叶片 qN 显著高于凤丹砧‘洛阳红’。相关性分析表明,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 P_n 与 CE 、 T_r 均呈极显著正相关,芍药砧‘洛阳红’的 P_n 与 G_s 呈显著正相关,凤丹砧‘洛阳红’的 P_n 与 G_s 呈极显著正相关;芍药砧‘洛阳红’ P_n 与 F_v/F_m 呈极显著正相关,凤丹砧‘洛阳红’ P_n 与 F_v/F_m 呈显著正相关,2 种根砧‘洛阳红’ P_n 与 $Y(II)$ 均呈正相关关系,但均未达到显著水平。【结论】芍药砧嫁接‘洛阳红’叶片具有更高的光能利用效率,更适宜作为盆栽‘洛阳红’的砧木。

【关键词】根砧嫁接;‘洛阳红’牡丹;光合参数;叶绿素荧光参数

【中图分类号】S685.11

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2019)06-0089-08

Comparison of photosynthetic characteristics and fluorescence parameters of grafted ‘Luoyang Hong’ on two rootstocks

CHANG Yihong, ZHAO Pengfei, WANG Rui, LI Yan, HE Dan, CHEN Junzhou

(College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: 【Objective】Seasonal changes of photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of potted ‘Luoyang Hong’ grafted with two rootstocks were compared to select suitable potted rootstocks for grafted ‘Luoyang Hong’. 【Method】With the branches of *Paeonia suffruticosa* ‘Luoyang Hong’ as scion, roots of *Paeonia broteri* and *Paeonia ostii* were used as rootstocks to determine the photosynthetic characteristics including net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), intercellular CO_2 concentration (C_i), transpiration rate (T_r), and single leaf instantaneous water use efficiency (WUE) as well as chlorophyll fluorescence parameters including initial fluorescence (F_0), maximum fluorescence (F_m), maximum photochemical efficiency of PS II (F_v/F_m), effective quantum yield of PS II $[Y(II)]$, photochemical quenching coefficient (qP), and non-photochemical quenching coefficient (qN).

【收稿日期】2018-04-27

【基金项目】国家自然科学基金项目“牡丹、芍药远缘杂交不亲和性研究”(31600568);河南农业大学博士基金项目“牡丹韧皮部蔗糖转运机理研究”(30500565)

【作者简介】常毅洪(1993—),男,河南栾川人,在读硕士,主要从事园林植物栽培生理与生物技术研究。

【通信作者】栗 燕(1978—),女,河南方城人,高级实验师,博士,硕士生导师,主要从事园林植物栽培生理与生物技术研究。

The correlation of P_n with other parameters was also analyzed. 【Result】 From the full flowering stage to the summer dormancy stage, the P_n of ‘Luoyang Hong’ grafted on *Paeonia broteri* root was higher than that on *Paeonia ostii* root. From the round peach stage to the full flowering stage, P_n , CE , WUE , F_m , F_v/F_m , and $Y(II)$ of ‘Luoyang Hong’ grafted on *Paeonia broteri* root were increased by 145.86%, 245.10%, 60.68%, 33.27%, 8.45% and 25.00%, all were larger than that of *Paeonia ostii*. In the post-anthesis growth stage, qN of ‘Luoyang Hong’ grafted on *Paeonia broteri* root was significantly higher than that on *Paeonia ostii*. The correlation analysis showed that P_n of tree peony grafted on *Paeonia broteri* and *Paeonia ostii* was significantly and positively correlated with CE and T_r . P_n of tree peony grafted on *Paeonia broteri* was significantly positively correlated with G_s and P_n of tree peony grafted on *Paeonia ostii* was positively correlated with that of G_s . There was a significantly positive correlation between P_n and F_v/F_m of ‘Luoyang Hong’ grafted on *Paeonia broteri*, and P_n of tree peony grafted on *Paeonia ostii* was positively correlated with F_v/F_m . P_n of the two grafted ‘Luoyang Hong’ was positively related to $Y(II)$ insignificantly. 【Conclusion】 The leaves of ‘Luoyang Hong’ grafted on *Paeonia broteri* root had higher light energy utilization efficiency and *Paeonia broteri* roots are more suitable as rootstock for potted ‘Luoyang Hong’.

Key words: graft; ‘Luoyang Hong’ tree peony; photosynthetic characteristics; chlorophyll fluorescence parameters

嫁接是一种传统的繁殖技术,在蔬菜、果树以及观赏植物的栽培生产中应用广泛^[1]。研究表明,不同砧木对接穗生长发育有显著影响,优选砧木可以提高嫁接植株的叶绿素含量、净光合速率、生长势、果实产量和品质^[2-4],同时可以减少非光化学淬灭,优化光合原初反应激发能配比,改善植株对光能的吸收、传递和转化状况^[5-6]。光合特性指标和叶绿素荧光参数是反映植物光合作用能力的重要参数,在植物的生长发育^[7-8]、逆境生理^[9-10]和良种选育^[11-13]等研究中均有广泛应用。

牡丹(*Paeonia suffruticosa* Andr.),为芍药科芍药属植物,观赏栽培历史约有 1 600 年之久^[14]。生产实践表明,以播种、嫁接、分株等方式进行大田栽培,牡丹枝叶生长旺盛,开花繁茂;而盆栽种植后,牡丹植株矮小,开花数量减少甚至不开花^[15-16],很大程度上限制了盆栽牡丹的应用推广。生产中,盆栽牡丹的砧木多使用凤丹(*Paeonia ostii*),但本课题组成员经过长时间的砧穗互作筛选发现,以法国引进的芍药(*Paeonia broteri*)为根砧嫁接‘洛阳红’(*Paeonia suffruticosa* ‘Luoyang Hong’)进行盆栽培养后,其当年生新枝长度及成花数量均显著优于凤丹根砧嫁接的‘洛阳红’^[17]。为了解 2 种根砧‘洛阳红’开花差异的原因,本研究以引进的芍药砧和凤丹砧嫁接‘洛阳红’为试验材料,测定叶片的光合特性以及叶绿素荧光参数等生理指标,以探究不同根砧对牡丹生长的影响机制,为研究盆栽牡丹的生长发育调控机理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料购于河南郑风生态牡丹园,采用 3 年生芍药和凤丹实生苗的根作砧木,以 12 年生‘洛阳红’枝条作接穗,嫁接后地栽管养 5 年,然后盆栽(盆器规格为上口径 30 cm,下口径 18 cm,高 25 cm)种植于河南农业大学三区试验田,常规管理,以凤丹砧‘洛阳红’为对照开展研究。

1.2 试验方法

在圆桃期(2016-04-02)、盛花期(2016-04-11)、谢花期(2016-04-15)、花后生长期(2016-06-16)、夏季休眠期(2016-07-21)和秋后生长期(2016-09-12)的上午 09:00—11:00,分别选取芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’3 株,每株选花枝倒数第 3 片复叶的顶小叶 3 片进行光合与叶绿素荧光指标的测定。

参考王震等^[18]的方法,采用 Li-6400(Li-Cor,美国)便携式光合作用测定仪测定净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)以及蒸腾速率(T_r)等光合参数;计算单叶瞬时水分利用效率 $WUE = P_n/T_r$;羧化速率 $CE = P_n/C_i$ 。参考王佩舒等^[19]的方法,将叶片充分暗适应 30 min 后,利用 MINI-PAM(WALZ,德国)超便携式调制叶绿素荧光仪测定同一叶片的初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、PS II 的最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II 的有效量子产量 [$Y(II)$]、光化学淬灭系数(qP)和非光化学淬灭系数(qN)等叶绿素荧光参数。

1.3 数据分析

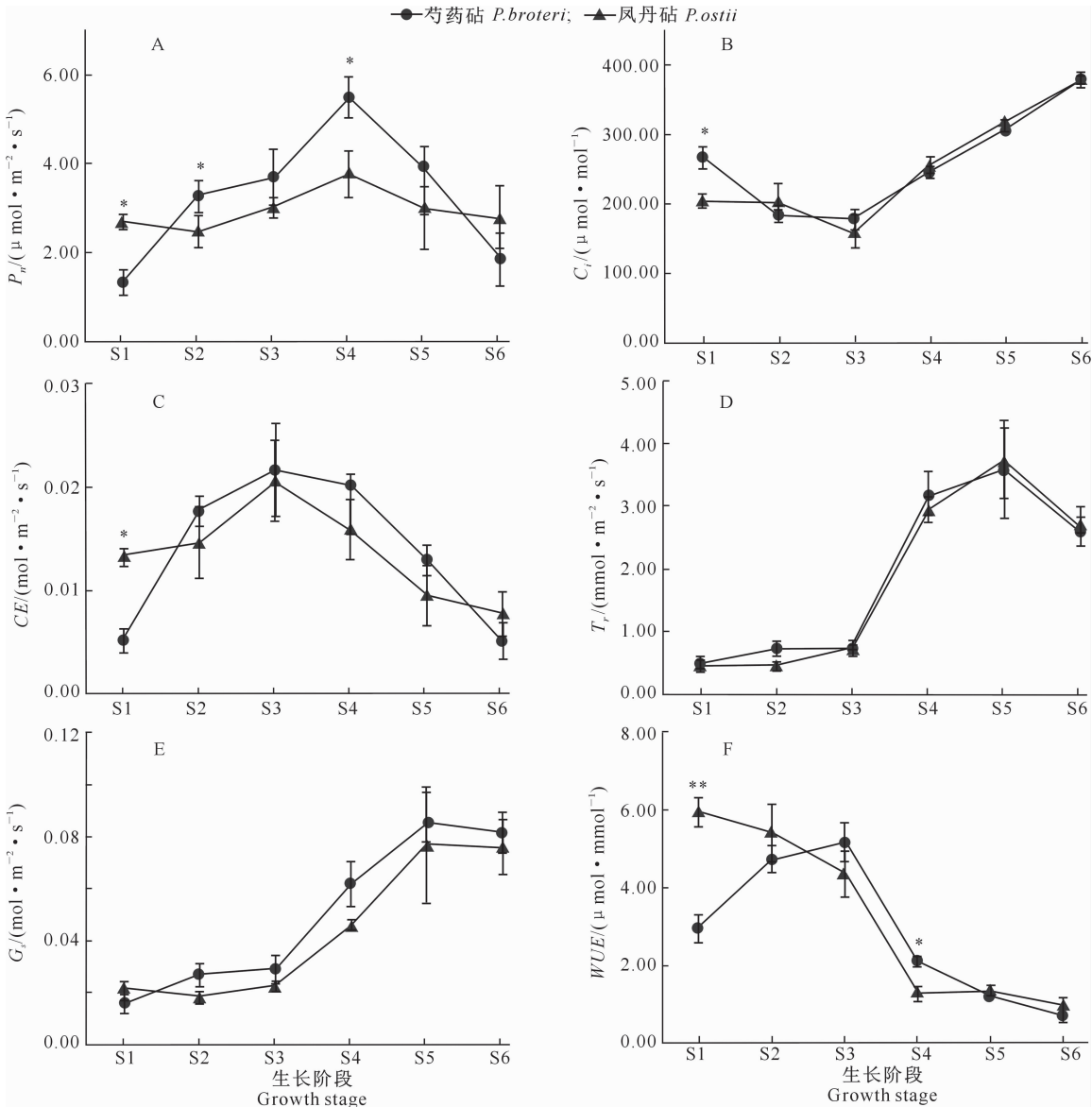
试验数据采用 SPSS 20.0 软件进行统计和差异性分析,用 Excel 2016 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 2 种根砧嫁接‘洛阳红’叶片光合特性的比较

2.1.1 P_n 的比较 图 1-A 显示,圆桃期至秋后生长期,芍药砧和风丹砧‘洛阳红’叶片的 P_n 均呈单峰变化趋势,且均在花后生长期达到峰值,说明在‘洛阳红’年生长周期中,花后生长期叶片的光合能力最

强,能够为此时牡丹植株快速生长提供充足的碳水化合物。圆桃期凤丹砧‘洛阳红’ P_n (2.71 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)显著高于芍药砧‘洛阳红’(1.33 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),圆桃期过后芍药砧‘洛阳红’ P_n 迅速升高,凤丹砧‘洛阳红’ P_n 缓慢降低,至盛花期芍药砧‘洛阳红’ P_n (3.27 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)显著高于凤丹砧‘洛阳红’(2.49 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),表明在开花过程中,芍药砧‘洛阳红’叶片的光合同化能力不断增强。



“*”和“**”分别表示差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。下同

S1. Round peach stage; S2. Full flowering stage; S3. Flowers falling stage; S4. Post-anthesis stage; S5. Summer dormancy stage; S6. Autumn growth stage. “*” and “**” indicate significant difference ($P<0.05$) and extremely significant difference ($P<0.01$), respectively. The same below

图 1 2 种根砧嫁接‘洛阳红’叶片光合特性的比较

Fig. 1 Comparison of photosynthetic characteristics of ‘Luoyang Hong’ leaves grafted on two kinds of rootstock

盛花期过后,2 种根砧‘洛阳红’叶片 P_n 均持续增长,到花后生长期达到峰值,且芍药砧‘洛阳红’ P_n ($5.49 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)显著高于凤丹砧‘洛阳红’($3.77 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),表明此时期芍药砧‘洛阳红’叶片具有更强的光合同化能力,可以更好地为植株的快速生长提供物质和能量来源。花后生长期过后,2 种根砧嫁接‘洛阳红’叶片 P_n 均持续降低,至秋后生长期,芍药砧‘洛阳红’ P_n 降至 $1.85 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,凤丹砧‘洛阳红’ P_n 降至 $2.79 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

2.1.2 C_i 和 CE 的比较 图 1-B 和 1-C 显示,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 C_i 从圆桃期至谢花期逐渐降低,在谢花期降至最低后又逐渐升高,至秋后生长期达到最高,而 CE 与 C_i 的变化趋势相反。圆桃期,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’的 C_i 和 CE 均呈现显著差异,芍药砧‘洛阳红’ C_i ($266.73 \mu\text{mol}/\text{mol}$)比凤丹砧‘洛阳红’($203.77 \mu\text{mol}/\text{mol}$)高出 30.90% ,但其 CE ($0.0051 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)比凤丹砧‘洛阳红’($0.0133 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)低 61.76% ,可能与该时期芍药砧‘洛阳红’ P_n 值较低有关。圆桃期至盛花期,伴随着 C_i 的降低,芍药砧‘洛阳红’ CE 增长 245.10% ,而凤丹砧‘洛阳红’ CE 仅增长了 9.02% ,表明开花过程中芍药砧‘洛阳红’叶片具有较强的羧化效率,有助于光合同化物的积累。谢花期后,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 CE 均不断降低,但芍药砧‘洛阳红’叶片的 CE 总体高于凤丹砧‘洛阳红’,表现出较强的羧化能力。

2.1.3 T_r 、 G_s 和 WUE 的比较 图 1-D—F 显示,圆桃期至秋后生长期,芍药砧与凤丹砧‘洛阳红’叶片的 T_r 和 G_s 的变化趋势相似,而 WUE 的变化趋势相反。圆桃期至谢花期,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 T_r 与 G_s 均保持平稳变化趋势。谢花期后,2 种根砧‘洛阳红’ T_r 与 G_s 均大幅升高,谢花期至夏季休眠期,芍药砧‘洛阳红’ T_r 与 G_s 分别升高 389.48% , 194.83% ,凤丹砧‘洛阳红’ T_r 与 G_s 分别升高 415.91% , 237.72% ,表明随着环境温度的升高,‘洛阳红’通过增大叶片气孔导度,增强蒸腾作用来调节叶片温度,以保证生命活动的正常进行。夏季休眠期过后,随着气温的降低,2 种根砧‘洛阳红’叶片的 T_r 与 G_s 均不断降低。圆桃期芍药砧‘洛阳红’ WUE ($2.95 \mu\text{mol}/\text{mmol}$)与凤丹砧‘洛阳红’($5.96 \mu\text{mol}/\text{mmol}$)差异极显著,这与该时期芍药砧‘洛阳红’较低的 P_n 有关。圆桃期至盛花期,芍药砧‘洛阳红’ WUE 增长 60.68% ,而凤丹砧‘洛阳红’

WUE 则降低 9.85% 。谢花期后,随着 T_r 的升高,2 种根砧‘洛阳红’ WUE 均大幅降低,花后生长期芍药砧‘洛阳红’ WUE ($2.09 \mu\text{mol}/\text{mmol}$)与凤丹砧‘洛阳红’($1.28 \mu\text{mol}/\text{mmol}$)差异显著,表明 2 种根砧‘洛阳红’在 T_r 相差不大的情况下,芍药砧‘洛阳红’能保持较高的 WUE 。随后 2 种根砧‘洛阳红’ WUE 变化平稳,且无显著差异。

2.2 2 种根砧嫁接‘洛阳红’叶片叶绿素荧光参数的比较

2.2.1 F_0 和 F_m 的比较 图 2-A 显示,圆桃期至盛花期,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 F_0 均有所升高,但芍药砧‘洛阳红’ F_0 始终低于凤丹砧‘洛阳红’,表明此时芍药砧‘洛阳红’具有更好的光化学转化能力。盛花期至花后生长期,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’ F_0 迅速降低,分别降低 107.57% , 94.33% ,表明随着‘洛阳红’光合能力的提高,叶片吸收的光能用于非光化学耗散的比例不断降低。花后生长期至秋后生长期,芍药砧‘洛阳红’ F_0 稍有升高,凤丹砧‘洛阳红’ F_0 先降低后稍有升高,但两者无显著差异。图 2-B 显示,圆桃期至秋后生长期,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 F_m 整体呈现双峰变化趋势,在盛花期和夏季休眠期均达峰值,且差异极显著,芍药砧‘洛阳红’ F_m 分别高出凤丹砧‘洛阳红’ 29.80% , 21.91% ,表明在‘洛阳红’年生长周期中的重要生育期(盛花期和高温胁迫下的夏季休眠期),芍药砧‘洛阳红’具有更强的电子传递能力,有利于光能转化并用于光合作用。其他生长期,2 种根砧‘洛阳红’叶片的 F_m 差异也不显著。

2.2.2 F_v/F_m 和 $Y(II)$ 的比较 图 2-C 显示,圆桃期至秋后生长期,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 F_v/F_m 整体无明显变化, F_v/F_m 值在 $0.66 \sim 0.81$ 。盛花期,2 种根砧‘洛阳红’ F_v/F_m 出现显著差异,芍药砧‘洛阳红’ F_v/F_m (0.77)显著高出凤丹砧‘洛阳红’(0.66) 16.67% ,表现出更好的环境适应能力。图 2-D 显示,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 $Y(II)$ 从圆桃期到夏季休眠期,整体呈现升高的变化趋势,夏季休眠期过后有所降低。圆桃期至谢花期,芍药砧‘洛阳红’ $Y(II)$ 始终高于凤丹砧‘洛阳红’,而从花后生长期到秋后生长期,芍药砧‘洛阳红’ $Y(II)$ 低于凤丹砧‘洛阳红’。在盛花期和谢花期,芍药砧‘洛阳红’ $Y(II)$ 显著高出凤丹砧‘洛阳红’ 25.00% 和 10.42% ,而在花后生长期,凤丹砧‘洛阳红’ $Y(II)$ (0.69)极显著高出芍药砧‘洛阳红’(0.62) 11.29% ,表明圆桃期至谢花期的开花过程

中,芍药砧‘洛阳红’叶片实际量子产量高,有助于积累光合产物,随后则相反。

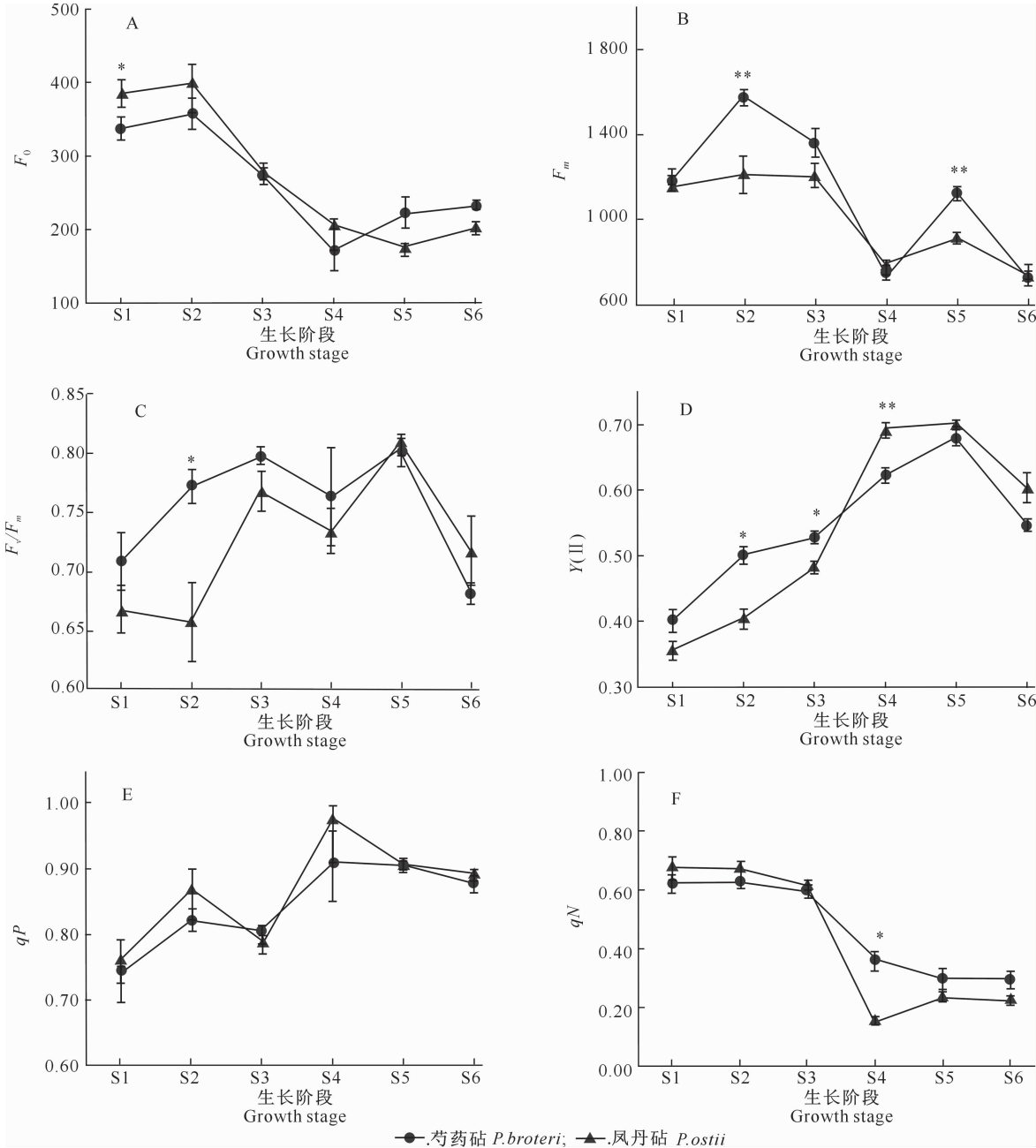


图 2 2 种根砧嫁接‘洛阳红’叶片叶绿素荧光参数的比较

Fig. 2 Comparison of chlorophyll fluorescence parameters of ‘Luoyang Hong’ leaves grafted on two kinds of rootstock

2.2.3 qP 和 qN 的比较 图 2-E 显示,圆桃期至秋后生长期,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 qP 稳定在 0.74~0.98,保证 PS II 反应中心开放的比例。图 2-F 显示, qN 整体表现为下降的变化趋势,反映了 PS II 反应中心以热耗散等途径消耗的光能不断减少,有利于光合电子传递。花后生长期,‘洛阳红’进入旺盛营养生长阶段,2 种根砧‘洛阳红’ qN 与谢花期相比明显降低,但芍药砧‘洛阳红’ qN (0.36) 仍显著高出凤丹砧‘洛阳红’ (0.15)

2.3 2 种根砧嫁接‘洛阳红’叶片 P_n 与其他参数的相关性

由表 1 可知,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 P_n 与 CE 、 T_r 均呈极显著正相关,芍药砧‘洛阳红’的 P_n 与 G_s 呈显著正相关,凤丹砧‘洛阳红’的 P_n 与 G_s 呈极显著正相关,说明 CE 、 T_r 和 G_s 均对 P_n 有

显著的正向调节作用,而 P_n 与 C_i 、 WUE 均呈负相关关系,且不显著。在 P_n 与叶绿素荧光参数的相关关系中,仅 P_n 与 F_v/F_m 达到显著水平,其中芍药砧

‘洛阳红’ P_n 与 F_v/F_m 呈极显著正相关,凤丹砧‘洛阳红’ P_n 与 F_v/F_m 呈显著正相关,2 种根砧‘洛阳红’ P_n 与 $Y(\text{II})$ 均呈正相关关系,且不显著。

表 1 2 种根砧嫁接‘洛阳红’叶片 P_n 与其他参数的相关性

根砧类型 Rootstocks	C_i	CE	T_r	G_s	WUE	F_0	F_m	F_v/F_m	$Y(\text{II})$	qP	qN
芍药砧 <i>P. broteri</i>	−0.305	0.879**	0.567**	0.429*	−0.010	−0.247	0.111	0.455**	0.190	−0.052	0.065
凤丹砧 <i>P. ostii</i>	−0.154	0.738**	0.580**	0.591**	−0.128	−0.030	−0.156	0.335*	0.187	0.326	−0.206

注:“*”和“**”分别表示相关性显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。
Note:“*”and“**” indicate significant correlation($P<0.05$) and extremely significant correlation($P<0.01$), respectively.

3 讨论与结论

光合作用是植物生长发育和物质积累的基础,直接影响植物的生长发育。李莉等^[20]对嫁接核桃的研究表明,‘中宁奇’砧木可以显著提高树体的光合能力与生长势。本研究中,盛花期至夏季休眠期,芍药砧‘洛阳红’的 P_n 始终高于凤丹砧‘洛阳红’,表明在开花过程乃至花后枝叶旺盛生长阶段,芍药砧‘洛阳红’具有较强的光合能力。圆桃期至盛花期,芍药砧‘洛阳红’的 P_n 、 CE 和 WUE 迅速升高, C_i 迅速降低,而凤丹砧‘洛阳红’ P_n 却有所降低,表明芍药砧‘洛阳红’叶片在开花过程中通过加强 CE 和 WUE 来增强光合作用,以便更好地向花蕾盛开提供必需的营养物质。进入花后生长期,2 种根砧‘洛阳红’ T_r 迅速升高,反映‘洛阳红’通过提高 T_r 以适应高温天气的变化,从而保证叶片进行光合作用最适的温度和水分条件;而此时芍药砧‘洛阳红’叶片仍能保持较高的 WUE ,表明其在较高的环境温度条件下,能通过维持水分代谢平衡来保证较高的光合能力,这与黄丽^[21]的研究结果一致。 P_n 与其他参数的相关性分析表明,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’叶片的 P_n 与 CE 、 T_r 均呈极显著正相关,芍药砧‘洛阳红’的 P_n 与 G_s 呈显著正相关,凤丹砧‘洛阳红’的 P_n 与 G_s 呈极显著正相关,这与张俊杰等^[22]的研究结果一致。

叶绿素荧光作为光合作用的有效探针^[23],被广泛应用于植物光能利用的相关分析。 F_0 反映 PSⅡ 天线色素吸收的光能用于非光化学转化的比例^[24]。 F_m 可以反映通过 PSⅡ 的电子传递情况^[25]。本研究中,圆桃期至盛花期,芍药砧‘洛阳红’ F_m 迅速升高,且此时 F_0 低于凤丹砧‘洛阳红’,表明芍药砧‘洛阳红’叶片具有较高的电子传递速率,能够较好地吸收光能并用于光化学反应。正常生理状态下,绝大

多数 C3 植物的 F_v/F_m 稳定在 0.8~0.85,本研究中,芍药砧和凤丹砧‘洛阳红’的 F_v/F_m 也相对稳定,但值偏低,这与洪森荣等^[26]的研究结果类似,可能是由于盆器栽培使其生长发育受到限制所致。光系统Ⅱ(PSⅡ)量子产量 $Y(\text{II})$ 反映光系统Ⅱ的有效量子产量,且最接近于光合作用的实际量子产量,较高的 $Y(\text{II})$ 有利于提高光能转化效率,促进光合碳同化^[27]。本研究中,圆桃期至谢花期,芍药砧‘洛阳红’ $Y(\text{II})$ 高于凤丹砧‘洛阳红’;花后生长期,凤丹砧‘洛阳红’ $Y(\text{II})$ 迅速升高,且极显著高于芍药砧‘洛阳红’,而此时其 P_n 却显著低于芍药砧‘洛阳红’,相关性分析表明, P_n 与 $Y(\text{II})$ 呈正相关关系,且不显著,这与韩瑞宏等^[28]的研究结果一致,但与李惠等^[6]的研究结果不同,这表明 P_n 与 $Y(\text{II})$ 的相关性较为复杂,因此,对于 P_n 与光系统Ⅱ的内在关系和作用机制还需进一步研究。非光化学淬灭系数 qN 代表天线色素吸收的光能中未用于电子传递,而以热能等形式耗散掉的过剩光能部分^[29]。唐敏等^[30]对茶树叶绿素荧光参数的季节性变化研究表明,品种(系)间不同的能量耗散调节机制,将影响其对伏旱天气的适应性程度。本研究中,圆桃期至秋后生长期,2 种根砧‘洛阳红’的 F_m 和 qN 在花后生长期均出现骤降现象,表明随着环境温度和光照强度升高,PSⅡ 通过非光化学转化的形式处理过剩光能,以保护 PSⅡ 的结构和反应中心的光化学活性,此时芍药砧‘洛阳红’ qN 显著高于凤丹砧‘洛阳红’,表明其具有更好的自我保护机制。

综上所述,芍药砧嫁接‘洛阳红’叶片具有更高的光能利用效率,更适宜作为盆栽‘洛阳红’的砧木。

[参考文献]

[1] Nawaz M A, Imtiaz M, Kong Q, et al. Grafting: a technique to modify ion accumulation in horticultural crops [J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7(7): 1457-1472.

- [2] 王磊,高方胜,徐坤.砧穗互作对越冬番茄生长及叶片碳氮同化能力的影响[J].植物生理学报,2017,53(9):1695-1702.
Wang L,Gao F S,Xu K. Effect of rootstock-scion interaction on plant growth and leaf carbon-nitrogen assimilation in overwintering tomato [J]. Plant Physiology Journal,2017,53 (9): 1695-1702.
- [3] 李超,白世践,耿新丽,等.不同砧木对‘赤霞珠’葡萄生长发育的影响[J].果树学报,2016,33(10):1241-1250.
Li C,Bai S J,Geng X L,et al. Effects of rootstocks on growth and development of ‘Cabernet Sauvignon’grape [J]. Journal of Fruit Science,2016,33(10):1241-1250.
- [4] 郑永强,邓烈,何绍兰,等.几种砧木对哈姆林甜橙植株生长、产量及果实品质的影响[J].园艺学报,2010,37(4):532-538.
Zheng Y Q,Deng L,He S L,et al. Effects of seven rootstocks on tree growth,yield and fruit quality of ‘Hamlin’ sweet orange in South China [J]. Acta Horticulturae Sinica,2010,37 (4):532-538.
- [5] 桑婷,杨冬艳,王学梅,等.不同砧木对日光温室秋冬茬嫁接西瓜产量品质及叶绿素荧光特性的影响[J].东北农业大学学报,2017,48(9):43-50.
Sang T,Yang D Y,Wang X M,et al. Effect of different rootstocks on yield, quality and chlorophyll fluorescence characters of grafted watermelon in greenhouse autumn-winter planted condition [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2017,48(9):43-50.
- [6] 李惠,梁曼曼,赵丹,等.不同砧木对‘绿岭’核桃叶片光合和叶绿素荧光特性的影响[J].西北林学院学报,2017,32(2):90-96.
Li H,Liang M M,Zhao D,et al. Effects of different rootstocks on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteritics in ‘Lyuling’ walnut [J]. Journal of Northwest Forestry University,2017,32(2):90-96.
- [7] 蔡仕珍,李西,潘远智,等.不同光照对蝴蝶花光合特性及生长发育研究[J].草业学报,2013,22(2):264-272.
Cai S Z,Li X,Pan Y Z,et al. A study on photosynthetic characteristics and growth and development of *Iris japonica* under different illumination [J]. Acta Prataculturae Sinica,2013,22 (2):264-272.
- [8] 邹长明,王允青,刘英,等.四种豆科作物的光合生理和生长发育对弱光的响应[J].植物生态学报,2015,39(9):909-916.
Zou C M,Wang Y Q,Liu Y,et al. Responses of photosynthesis and growth to weak light regime in four legume species [J]. Chinese Journal of Plant Ecology,2015,39(9):909-916.
- [9] 张志刚,尚庆茂.低温、弱光及盐胁迫下辣椒叶片的光合特性[J].中国农业科学,2010,43(1):123-131.
Zhang Z G,Shang Q M. Photosynthetic characteristics of pepper leaves under low temperature, weak light and salt stress [J]. Scientia Agricultura Sinica,2010,43(1):123-131.
- [10] 李泽,谭晓风,卢锐,等.干旱胁迫对两种油桐幼苗生长、气体交换及叶绿素荧光参数的影响[J].生态学报,2017,37 (5):1515-1524.
Li Z,Tan X F,Lu K,et al. Influence of drought stress on the growth,leaf gas exchange,and chlorophyll fluorescence in two varieties of tung tree seedlings [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017,37(5):1515-1524.
- [11] 李文华,张忠良,鲁周民,等.不同枇杷品种光合作用特性研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(11):29-33.
Li W H,Zhang Z L,Lu Z M,et al. Comparative study on photosynthetic characteristics of different loquat varieties [J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition),2005,33(11):29-33.
- [12] 王佩兰,康华荣,李柏海,等.乡土珍贵树种钩栗幼苗种源间光合生理特性研究[J].中南林业科技大学学报,2016,36(3):38-45.
Wang P L,Kang H R,Li B H,et al. Photosynthetic traits of the precious native species of *Castanopsis tibetana* seedlings among different provenances [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2016,36(3):38-45.
- [13] 武启飞,范俊俊,赵明明,等.5个观赏海棠品种光合特性的研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2017,41(4):64-70.
Wu Q F,Fan J J,Zhao M M,et al. Study on photosynthetic characteristics of five ornamental crabapple [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition),2017,41 (4):64-70.
- [14] 李嘉钰.中国牡丹与芍药[M].北京:中国林业出版社,1999:1-57.
Li J Y. Chinese tree and herbaceous peonies [M]. Beijing:China Forestry Publishing House,1999:1-57.
- [15] 翟敏,李永华,杨秋生.盆栽和地栽牡丹光合特性的比较[J].园艺学报,2008,35(2):251-256.
Zhai M,Li Y H,Yang Q S. Comparison of photosynthetic characteristics between potted and field *Paeonia suffruticosa* Andr. [J]. Acta Horticulturae Sinica,2008,35(2):251-256.
- [16] 刘晓娟,朱丽娟,杨秋生,等.根域限制对牡丹叶片碳代谢的影响[J].林业科学,2012,48(12):53-57.
Liu X J,Zhu L J,Yang Q S,et al. Effects of root restriction on carbohydrate metabolism in tree peony (*Paeonia suffruticosa*) leaves [J]. Scientia Silvae Sinicae,2012,48(12):53-57.
- [17] 栗燕.牡丹韧皮部蔗糖转运机理研究及关键基因挖掘[D].郑州:河南农业大学,2017.
Li Y. The phloem sucrose transporting mechanism and key genes mining on *Paeonia suffruticosa* [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University,2017.
- [18] 王震,朱磊,宋金亮,等.高温胁迫下2,4-表油菜素内酯对西葫芦幼苗生理及光合特性的影响[J].河南农业大学学报,2016(2):198-202.
Wang Z,Zhu L,Song J L,et al. Effects of 2,4-epibrassinolide on physiological characteristics and photosynthesis of zucchini seedlings (*Cucurbita pepo* L.) under high temperature stress [J]. Journal of Henan Agricultural University,2016 (2):198-202.
- [19] 王佩舒,赵薇,陈景玲,等.高温胁迫对冬小麦旗叶伤害的叶绿素荧光指标初探[J].河南农业大学学报,2016(1):25-32.

Wang P S, Zhao W, Chen J L, et al. Study on the index of chlorophyll fluorescence for the flag leaf of winter wheat suffering from high temperature stress [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2016(1): 25-32.

[20] 李 莉, 周贝贝, 徐慧敏, 等. 不同砧木品种对核桃树体生长及光合特性的影响 [J]. 林业科学研究, 2017, 30(3): 472-478.

Li L, Zhou B B, Xu H M, et al. Effects of different rootstock varieties on growth and photosynthetic characteristics of walnut [J]. Forest Research, 2017, 30(3): 472-478.

[21] 黄 丽. 福建省漳江口秋茄、桐花树、白骨壤和木榄光合作用季节动态研究 [J]. 湿地科学, 2013, 11(1): 82-89.

Huang L. The seasonal dynamics of photosynthesis of *Kandelia candel*, *Avicennia marina*, *Aegiceras corniculatum* and *Bruguiera gymnorrhiza* in Zhangjiang estuary [J]. Wetland Science, 2013, 11(1): 82-89.

[22] 张俊杰, 陈宗游, 韩 愈, 等. 不同砧木嫁接对‘桂栗一号’大果锥栗苗木生长及光合特性的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2018(3): 10-19.

Zhang J J, Chen Z Y, Han Y, et al. Effects of different rootstocks on growth and photosynthetic characteristics of large-fruit *Castanien henryi* ‘Guili 1’ [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2018(3): 10-19.

[23] Baker N R. A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis [J]. Physiologia Plantarum, 1991, 81(4): 563-570.

[24] 张春平, 周 慧, 何 平, 等. 外源 5-氨基乙酰丙酸对盐胁迫下黄连幼苗光合参数及其叶绿素荧光特性的影响 [J]. 西北植物学报, 2014, 34(12): 2515-2524.

Zhang C P, Zhou H, He P, et al. Effect of exogenous 5-aminolevulinic acid on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of *Coptis chinensis* Franch. seedlings under NaCl stress [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2014, 34(12): 2515-2524.

[25] Xu C, Li D, Zou Q, et al. Effect of drought on chlorophyll fluorescence and xanthophyll cycle components in winter wheat leaves with different ages [J]. Acta Photophysiolica Sinica, 1999, 25: 29-37.

[26] 洪森荣, 王 丽, 杨星鹏, 等. 江西地方特色山药盆栽试管苗叶绿素含量以及其光合荧光参数的变化 [J]. 基因组学与应用生物学, 2017(10): 4357-4366.

Hong S R, Wang L, Yang X P, et al. Gene expression profile of haloxylon branch under the stresses of drought and heat in summer season [J]. Genomics and Applied Biology, 2017(10): 4357-4366.

[27] Kramer D M, Johnson G, Kiirats O, et al. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation energy fluxes [J]. Photosynthesis Research, 2004, 79(2): 209-218.

[28] 韩瑞宏, 卢欣石, 高桂娟, 等. 紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 对干旱胁迫的光合生理响应 [J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5229-5237.

Han R H, Lu X S, Gao G J, et al. Photosynthetic physiological response of alfalfa (*Medicago sativa*) to drought stress [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5229-5237.

[29] 张其德, 张建华. 限水灌溉和不同施肥方式对冬小麦旗叶某些光合功能的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 24-29.

Zhang Q D, Zhang J H. Effects of limited irrigation and different fertilization ways on some photosynthetic functions of flag leaves in winter wheat [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2000, 6(1): 24-29.

[30] 唐 敏, 翟秀明, 姚永红, 等. 不同茶树品种(系)叶绿素荧光参数季节性差异研究 [J]. 西南农业学报, 2015(1): 79-83.

Tang M, Zhai X M, Yao Y H, et al. Research on seasonal variations of chlorophyll fluorescence parameter of different tea cultivars (lines) [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015(1): 79-83.