

嫁接辣椒光合特性及其对产量和品质的影响

付 玲, 白小梅, 杨显贺, 吴帼秀, 艾希珍*

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 农业部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点开放实验室, 山东泰安 271018)

摘 要: 以‘卫士’(WS)、“部野丁”(BYD)辣椒为砧木, 以‘新丰2号’(XF)辣椒为接穗进行嫁接。以‘新丰2号’自根嫁接辣椒为对照, 研究了嫁接对辣椒的光合特性、产量和品质的影响。结果表明: 嫁接辣椒叶片的色素含量和净光合速率(P_n)多明显高于自根; ‘卫士’为砧木(XF/WS)和‘部野丁’为砧木(XF/BYD)的嫁接辣椒光补偿点分别为 38.1 和 50.9 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 均低于自根对照, 光饱和点分别为 981.0 和 903.0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 均高于对照; 嫁接与自根辣椒的表观量子效率(AQY)、 CO_2 补偿点和饱和点差异不显著, 但 XF/WS 的羧化效率(CE)显著高于对照; 与对照相比, XF/WS 和 XF/BYD 的产量分别提高了 14.9%和 8.5%, 其果实的大小、形状、颜色及蛋白质、氨基酸、维生素 C 和辣椒素含量等变化不显著, XF/WS 的干物质与可溶性糖含量分别升高了 7.1%和 9.7%。‘卫士’和‘部野丁’作为砧木具有较高的应用和推广价值。

关键词: 辣椒; 嫁接; 光合特性; 产量; 品质

中图分类号: S 641.3

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2013) 03-0449-09

Effects of Grafted on Photosynthetic Characteristics, Yield and Quality of Pepper

FU Ling, BAI Xiao-mei, YANG Xian-he, WU Guo-xiu, and AI Xi-zhen*

(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Key Laboratory of Horticultural Crop Biology and Germplasm Innovation of Agriculture Ministry, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: The photosynthetic characteristics, yield and quality in grafted (‘Xinfeng 2’ scion grafted onto ‘Weishi’ (XF/WS) and ‘Buyeding’ (XF/BYD) and own-root plants (‘Xinfeng 2’, the control) of pepper were investigated. The results showed that the pigment content and net photosynthetic rate (P_n) of grafted and own-root peppers were mostly higher in grafted leaves than in own-root leaves. The light compensation point of XF/WS and XF/BYD were 38.1 and 50.9 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively, which lower than that of the control. The light saturation point of XF/WS and XF/BYD were 981.0 and 903.0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively, both higher than that of control significantly. No differences were found in apparent quantum yield (AQY), CO_2 compensation point and saturation point between grafted and own-root plants. However XF/WS showed a markedly higher carboxylation efficiency (CE) than that

收稿日期: 2012-11-23; 修回日期: 2013-01-14

基金项目: 山东省科技发展计划项目 (2010GNC10901); 山东省农业重大应用技术创新项目; ‘十二五’国家科技支撑计划项目 (2011BAD12B03); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-25)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: axz@sdaa.edu.cn; Tel: 0538-8246218)

of the control. In comparison with own-root pepper, the yield of XF/WS and XF/BYD increased by 14.9% and 8.5% respectively, but no changes were observed in the fruit size, shape and color, and the contents of protein, amino acid, vitamin C and capsaicine in fruits of grafted plants. The contents of dry matter and soluble sugar in XF/WS fruits increased by 7.1% and 9.7% respectively compared with the control. These data suggest that ‘Weishi’ and ‘Buyeding’ have higher values of application and popularization.

Key words: pepper; grafted; photosynthetic characteristics; yield; quality

嫁接作为克服连作障碍, 提高植物抗性的一项有效措施, 已在瓜类和茄果类蔬菜中广泛应用 (Oda, 2006; Minuto et al., 2007; Davis et al., 2008)。前人研究表明, 嫁接不仅能够减轻蔬菜作物的土传病害 (Ioannou & Ιωάννου, 2001; Nelson et al., 2002; Bletsos et al., 2003), 而且可以提高作物的耐热性和耐冷性 (Bulder et al., 1991; Rivero et al., 2003), 同时对改善蔬菜产品品质也有较好的促进作用 (Oda et al., 1996; Colla et al., 2006)。近年来研究发现, 利用根系发达且抗病性强的半野生型辣椒 (*Capsicum annuum* L.) ‘卫士’、‘部野丁’为砧木嫁接, 可显著提高辣椒植株的耐冷性及对根腐病和青枯病的抗性 (郑楠 等, 2009; 姜飞 等, 2010; 王洪涛 等, 2010; 刘业霞 等, 2011), 但能否用于生产, 还取决于嫁接辣椒的产量和品质。

光合作用是作物产量形成的基础, 对产品品质也有较大影响。Khah 等 (2011) 的研究结果表明, 嫁接可使部分砧/穗组合的茄子叶片光合能力发生改变, 但有些砧/穗组合的变化不明显。乜兰春和陈贵林 (2000) 研究指出, 西瓜嫁接苗叶片具有较高的光能转化效率、 CO_2 传导能力和暗反应活性, 光合速率显著提高。郑阳霞等 (2009) 的研究结果显示, 嫁接茄子的光合速率、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率与气孔导度日平均值均明显高于自根茄子, 嫁接茄子的光补偿点和 CO_2 补偿点降低, 而光饱和点和 CO_2 饱和点提高。当前, 有关嫁接辣椒的研究报道较少, 且多集中在抗性砧木筛选及嫁接对作物抗逆性的影响上。为了进一步明确半野生型辣椒 ‘卫士’、‘部野丁’的应用价值, 本试验中以 ‘新丰 2 号’ 辣椒为接穗, 研究了嫁接辣椒的光合特性及嫁接对辣椒产量和品质的影响, 为嫁接辣椒高产、优质栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验于 2011 年在山东农业大学园艺试验站进行。供试砧木品种为 ‘富根卫士’ (简称 ‘卫士’, 代号 WS, 日本) 和 ‘部野丁’ (代号 BYD, 寿光新世纪种苗有限公司) 辣椒, 接穗为 ‘新丰 2 号’ 辣椒 (代号 XF, 薄皮类型, 安徽省萧县新丰辣椒研究所)。

12 月 25 日播种砧木, 1 月 5 日播种接穗, 用 50 孔穴盘基质育苗。砧木苗 7 ~ 8 片叶时 (2 月 10 日) 采用劈接法嫁接, 同时将接穗进行自根嫁接作为对照。嫁接成活后, 于 3 月 10 日将嫁接苗和对照定植于日光温室中, 采用大小行栽培, 大行距 70 cm, 小行距 50 cm, 株距 30 cm, 常规管理。小区面积 25.2 m², 重复 3 次。

1.2 测定方法

1.2.1 温光因子

于 4 月 5 日、4 月 25 日、5 月 15 日和 6 月 5 日分别用温度计和美国产 LI-18P 型量子辐射照度计测定日光温室内气温 (T_a) 和光量子通量密度 ($PF\!D$), 每小时测定 1 次, 重复测定温室中部的 3

个点, 取平均值。

1.2.2 色素含量

用丙酮法(赵世杰 等, 1998)测定不同时期嫁接与自根辣椒叶片(上数 3~4 叶)叶绿素和类胡萝卜素含量。

1.2.3 光合速率

晴天上午 10:00—11:30 用英国 PP-Systems 公司生产的 Ciras-1 型光合仪测定不同时期(4 月 5 日、4 月 25 日、5 月 15 日和 6 月 5 日)嫁接与自根辣椒叶片(上数 3~4 叶)的净光合速率(P_n), 并于盛果期(5 月 15 日)测定 P_n 、气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i)的日变化。

1.2.4 光响应曲线和表观量子效率

用 Ciras-1 型光合作用测定系统测定 CO_2 浓度 $380\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 叶温 $(30\pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度 70%~80%下的光合—光响应曲线($P_n - PFD$), PFD 范围 $50 \sim 1\,800\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 变化梯度为 $50\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ($300\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下)和 $100\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ($300\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上)。回归法求得光饱和点和光补偿点, 该曲线初始直线部分的斜率即为表观量子效率(AQY)(许大全, 1990)。

1.2.5 CO_2 响应曲线和羧化效率

用 Ciras-1 型光合作用测定系统测定 PFD 为 $1\,000\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下的光合— CO_2 浓度响应曲线($P_n - CO_2$), CO_2 浓度范围 $50 \sim 1\,600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 变化梯度为 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ($300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下)和 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ($300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上)。回归法求得 CO_2 补偿点和饱和点; 同时测定 P_n 对 C_i 的响应曲线($P_n - C_i$), 其初始直线部分的斜率即为羧化效率(CE)(许大全, 1990)。叶温和相对湿度同上。

1.2.6 产量与品质

5 月 6 日开始采收, 调查单株坐果数, 测定单果质量。6 月 20 日拉秧, 按小区计产, 统计产量。4 月 4 日开花当天挂牌, 32 d 后采收商品成熟果, 测定干物质含量; 蒽酮比色法测定可溶性糖含量(李合生 等, 2000); 考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白质含量(李合生 等, 2000); 茚三酮显色法测定游离氨基酸含量(李合生 等, 2000); 二甲苯萃取比色法测定维生素 C 含量(李合生 等, 2000); 高效液相色谱法测定辣椒素含量(赵仁邦 等, 2002)。

1.3 数据处理

数据均取 3 次重复的平均值, 分别用 Microsoft Excel、SigmaPlot 10.0 软件处理数据和作图, 用 DPS 软件对数据进行单因素方差分析, 并运用 Duncan's 检验法对显著性差异($P < 0.05$)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 嫁接与自根辣椒生长期间色素含量和光合速率的变化

从 4 月 5 日至 6 月 5 日, 每隔 20 d 测定 1 次嫁接与自根辣椒叶片的色素含量与 P_n , 可以看出, 二者的变化趋势相似, 前期快速增加, 5 月中旬达到最高, 之后趋于下降。除 6 月 5 日外, 两种砧木嫁接植株叶片的叶绿素 b 和类胡萝卜素含量均明显高于自根嫁接对照, ‘卫士’为砧木嫁接植株叶片的叶绿素 a 含量也显著高于对照, 但‘部野丁’为砧木的嫁接植株的多与自根嫁接对照差异不显著, 说明嫁接对辣椒色素的形成具有一定促进作用(图 1)。

两种砧木嫁接植株的 P_n 变化与自根嫁接对照相似(图 1)。4 月初辣椒定植不久, 叶片光合能力较弱, 温度偏低($16.2 \sim 22.0^\circ\text{C}$), 光合作用受到一定限制; 随着植株生长, 光合机构发育完全,

加上温光条件较适宜 ($25.7 \sim 32.3\text{ }^{\circ}\text{C}$), 因而 5 月中旬的 P_n 最高; 之后进入果实收获期, 下部叶片开始衰老, 此时气温渐高 ($32.5 \sim 35.3\text{ }^{\circ}\text{C}$), 植株长势渐弱, 所以 P_n 逐渐下降。与自根嫁接对照相比, 两种砧木嫁接植株的 P_n 在多数时间内较高, 前期表现尤其明显, 说明嫁接可改善辣椒的光合能力。

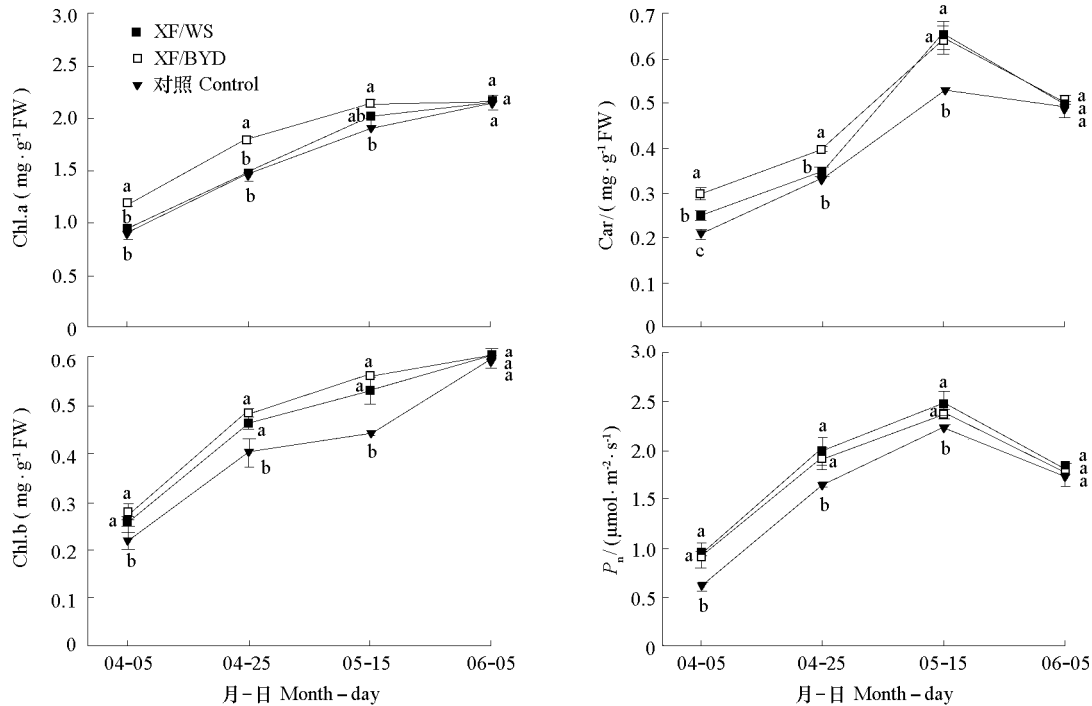


图1 嫁接与自根辣椒叶绿素 a (Chl.a)、叶绿素 b (Chl.b)、类胡萝卜素 (Car.) 含量和光合速率 (P_n) 变化

XF/WS: ‘新丰 2 号’ 接穗/ ‘卫士’ 砧木; XF/BYD: ‘新丰 2 号’ 接穗/ ‘部野丁’ 砧木;

对照: ‘新丰 2 号’ 自根嫁接。

Fig. 1 Changes of chlorophyll a (Chl.a), chlorophyll b (Chl.b), carotenoid content (Car.) and photosynthetic rate (P_n) of grafted and own-root pepper leaves at different stage

XF/WS: ‘Xinfeng 2’ scion / ‘Weishi’ rootstock; XF/BYD: ‘Xinfeng 2’ scion / ‘Buyeding’ rootstock;

Control: ‘Xinfeng 2’ scion / ‘Xinfeng 2’ rootstock.

2.2 日光温室温光因子及嫁接与自根辣椒光合速率日变化

5 月 15 日晴天条件下对日光温室 PFD 和 T_a 进行测定, 结果表明, PFD 和 T_a 日变化曲线为抛物线型 (图 2), 二者上午快速升高, 于 12: 00 达最高峰, 峰值分别为 $1\,816.0\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $34.2\text{ }^{\circ}\text{C}$; 之后逐渐下降, PFD 下降速度较快, 而 T_a 的降低幅度较小。

嫁接和自根辣椒的 P_n 日变化规律一致, 均呈双峰曲线型 (图 2), 上午随着 PFD 和 T_a 的升高而增加, 10: 00 达到高峰, 两种砧木嫁接植株的峰值显著高于自根嫁接对照 ($22.3\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。11: 00 之后 P_n 明显降低, 12: 00 降至低谷后又逐渐回升, 13: 00 出现第 2 次高峰, 以 ‘卫士’ 为砧木的嫁接植株峰值显著高于对照, 而以 ‘部野丁’ 为砧木的嫁接植株 P_n 与对照差异不显著。13: 00 后嫁接和自根辣椒的 P_n 均随着 PFD 和 T_a 的降低而减小。 G_s 和 C_i 的日变化规律 (图 2) 与 P_n 基本相似, 说明中午辣椒 P_n 降低的主要原因是气孔限制。

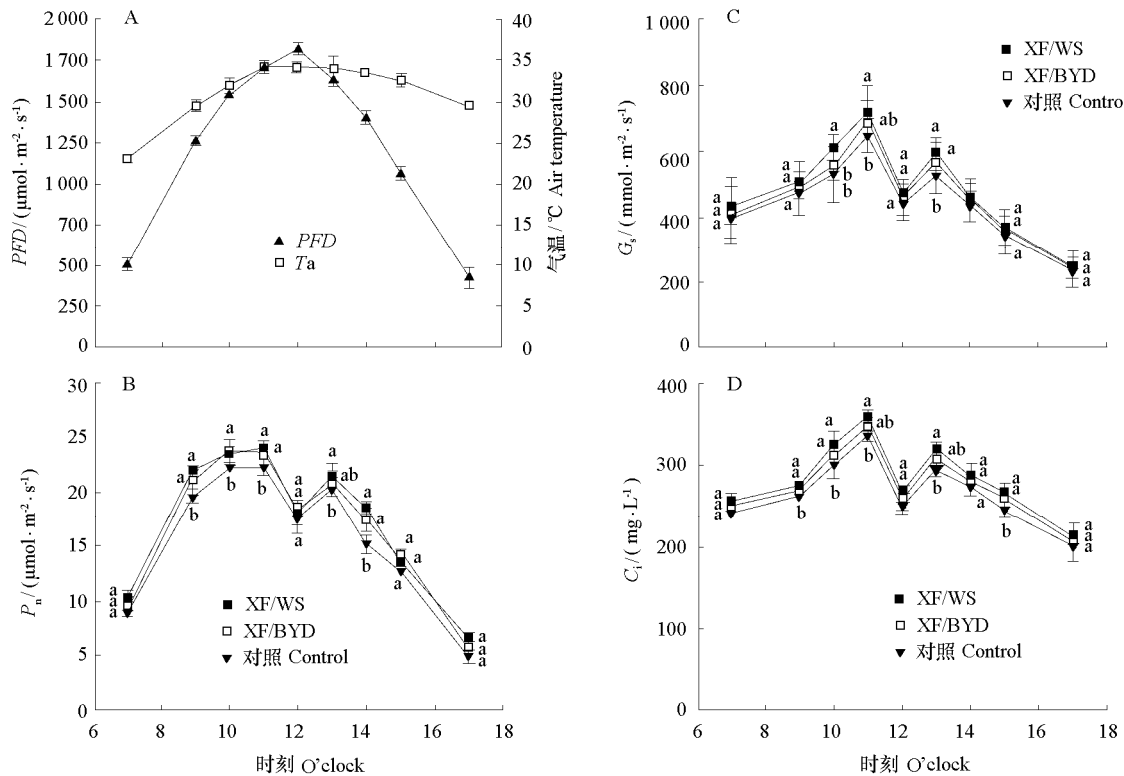


图2 日光温室温光因子(A)及嫁接与自根辣椒光合速率(B)、气孔导度(C)和胞间 CO_2 浓度(D)日变化

Fig. 2 Diurnal variation of temperature and light in solar-greenhouse (A), and the photosynthetic rate (B), stomatal conductance (C) and intercellular CO_2 concentration of grafted and own-root pepper leaves

2.3 嫁接辣椒对光强及 CO_2 浓度的响应

图3是5月20日测定的嫁接和自根辣椒功能叶 $P_n - PFD$ 和 $P_n - \text{CO}_2$ 曲线。可以看出,低光强下嫁接辣椒的 P_n 与对照差异不显著,但当 $PFD > 600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,嫁接辣椒的 P_n 随 PFD 的上升幅度显著大于对照。用计算机模拟运算,得出两种砧木嫁接植株的光补偿点分别为 $38.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $50.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光饱和点分别为 $981.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $903.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,对照的光补偿点(LCP)和饱和点(LSP)分别为 $57.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $858.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (表1)。可见,嫁接辣椒对强光和弱光的耐性较自根辣椒的强。表1结果显示,两种砧木嫁接植株的AQY与对照差异不显著,说明嫁接对弱光下辣椒的光能利用效率影响不大。

嫁接与自根辣椒 P_n 对 CO_2 浓度的响应如图3所示, CO_2 浓度在 $0 \sim 600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内,嫁接辣椒的 P_n 与对照差异不显著,而在高 CO_2 浓度下,两种砧木嫁接植株的 P_n 明显高于对照。根据 $P_n - \text{CO}_2$ 曲线求得两种砧木嫁接植株的 CO_2 补偿点(CCP)为 $53.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $54.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,饱和点(CSP)为 $1295.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1285.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,对照的 CO_2 补偿点和饱和点分别为 $58.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1222.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (表1)。可见,嫁接辣椒对 CO_2 的需求与对照差异不显著。从表1看出,‘卫士’为砧木的嫁接辣椒CE显著高于对照,‘部野丁’为砧木嫁接植株与对照差异不明显。

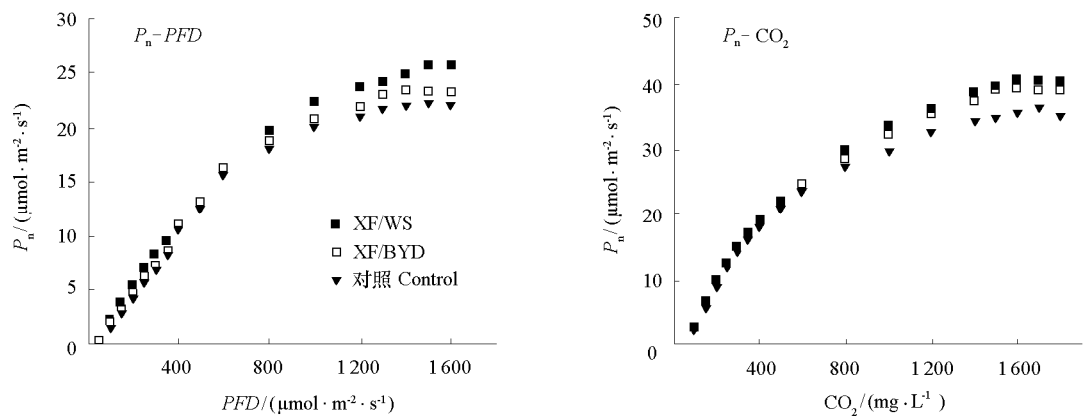


图 3 嫁接与自根辣椒光合速率对 PFD 和 CO₂ 浓度的响应

Fig. 3 Response of P_n to PFD and CO₂ concentration of grafted and own-root pepper leaves

表 1 嫁接对辣椒光补偿点和饱和点、CO₂ 补偿点和饱和点及光合效率的影响

Table 1 Effect of grafted on the light compensation points, light saturation point, CO₂ compensation points, CO₂ saturation point, and photosynthetic efficiency

处理 Treatment	光补偿点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) LCP	光饱和点/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) LSP	表观量子效率 AQY	CO ₂ 补偿点/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) CCP	CO ₂ 饱和点/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) CSP	羧化效率/ ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) CE
XF/WS	38.1 ± 9.9 b	981.0 ± 41.8 a	0.0322 ± 0.001 a	53.9 ± 9.6 a	1 295.0 ± 75.0 a	0.146 ± 0.022 a
XF/BYD	50.9 ± 8.8 ab	903.0 ± 34.8 a	0.0318 ± 0.003 a	54.8 ± 6.8 a	1 285.0 ± 55.2 a	0.133 ± 0.019 ab
对照 Control	57.8 ± 3.5 a	858.0 ± 38.8 b	0.0315 ± 0.002 a	58.6 ± 5.5 a	1 222.5 ± 111.3 a	0.121 ± 0.024 b

2.4 嫁接对辣椒产量和品质的影响

从表 2 看出, 嫁接辣椒 XF/WS 和 XF/BYD 的单株果数分别比对照多 13.8%和 11.9%, 虽然各处理单果质量差异不显著, 但两个砧木嫁接辣椒的小区产量和总产量均明显较高, 与对照相比, XF/WS 和 XF/BYD 的产量分别比对照高 14.9%和 8.5%。

表 2 嫁接对辣椒产量的影响

Table 2 Effect of grafted on the yield of pepper

处理 Treatment	单株果数 Fruits per plant	单果质量/g Mean fruit weight	产量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) Yield	增产/% Yield increase
XF/WS	12.4 ± 1.6 a	49.1 ± 4.5 a	3.39 ± 0.53 a	14.9
XF/BYD	12.2 ± 1.5 a	47.3 ± 3.9 a	3.20 ± 0.44 a	8.5
对照 Control	10.9 ± 1.7 b	48.9 ± 3.5 a	2.95 ± 0.38 b	-

两个砧木嫁接与自根嫁接辣椒商品果的长度和直径差异不显著 (表 3), 颜色也未发生明显变化 (数据未列), 说明嫁接未影响辣椒的外观品质。表 3 显示, 对照辣椒商品果的干物质含量为 59.3 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, ‘部野丁’为砧木嫁接辣椒的为 61.8 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 与对照差异不显著, 而‘卫士’为砧木的为 63.6 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 较明显高于对照。

‘部野丁’为砧木嫁接辣椒果实的可溶性糖含量与对照相比无显著差异, 而‘卫士’为砧木的较对照高 9.7%, 表明以‘卫士’为砧木嫁接可促进辣椒果实糖的形成和积累, 从而干物质含量显著增加。两个砧木嫁接辣椒的蛋白质含量略低于对照, 但方差分析结果显示三者差异不显著。嫁接辣椒的游离氨基酸、维生素 C 和辣椒素含量与对照相比均无显著差异。

表 3 嫁接对辣椒果实大小和干物质含量的影响
Table 3 Effect of grafted on the fruit size and dry matter content of pepper fruits

处理 Treatment	果长/cm Fruit length	直径/cm Diameter	干物质/ (mg · g ⁻¹) Dry matter	可溶性糖/ (mg · g ⁻¹ FW) Soluble sugar	蛋白质/ (mg · g ⁻¹ FW) Protein	游离氨基酸/ (mg · g ⁻¹ FW) Free amino acid	维生素 C/ (mg · g ⁻¹ FW) Vitamin C	辣椒素/ (mg · kg ⁻¹ DW) Capsaicin
XF/WS	9.62±0.98 a	4.56±0.33 a	63.6±3.5 a	39.5±1.6 a	2.02±0.24 a	0.34±0.02 a	2.20±0.08 a	75.2±5.8 a
XF/BYD	9.68±0.95 a	4.58±0.14 a	61.8±1.9 ab	37.9±0.9 ab	1.95±0.05 a	0.35±0.01 a	2.27±0.08 a	71.9±7.2 a
对照 Control	9.66±0.30 a	4.54±0.09 a	59.3±3.5 b	36.0±0.9 b	2.22±0.02 a	0.33±0.03 a	2.19±0.06 a	72.8±12.6 a

3 讨论

叶片光合作用主要取决于 3 个生理过程，即光合底物 CO₂ 的传导、光反应和暗反应。较强的 CO₂ 传导能力，较高的光反应和暗反应活性是叶片提高光合速率的生理基础（乜兰春和陈贵林，2000）。本试验中，嫁接辣椒叶片的色素含量和 P_n 在多数时间显著高于自根辣椒（图 1）， G_s 和 C_i 也明显较高（图 2），表明嫁接辣椒叶片具有较强的 CO₂ 传导能力和较高的光能转化速率。与对照相比，嫁接辣椒生长前期的 P_n 增加幅度显著大于生长后期，这是因为生长前期日光温室内的光照不足，温度较低，由于嫁接辣椒的耐冷性较强（郑楠 等，2009），因此，温度越低，嫁接与自根辣椒的 P_n 差异越大。逆境下引起光合速率降低的植物自身因素主要是气孔的部分关闭和叶肉细胞光合活性下降两类（许大全，1997；张振贤 等，1997）。Farquhar 和 Sharkey（1982）认为，当 G_s 与 C_i 同时下降时， P_n 下降主要是由气孔限制引起的，如果 P_n 降低伴随着 C_i 升高，光合作用的主要限制因素则是非气孔因素。本试验结果表明，5 月份晴天条件下测定的辣椒 P_n 日变化呈双峰曲线型，存在明显的“午休”现象。中午 G_s 和 C_i 与 P_n 同步下降，表明 P_n 降低的主要原因是气孔限制。

从 P_n - $PPFD$ 响应曲线看出，嫁接辣椒的光补偿点较自根的低，而饱和点较自根的高，光照越强，嫁接与自根辣椒 P_n 的差异越大，表明嫁接辣椒对强光和弱光的耐受性较强，对光的有效利用范围较大。嫁接辣椒的 P_n - CO₂ 曲线与自根辣椒的没有明显差异，说明嫁接辣椒对 CO₂ 的需求特性与自根辣椒的相似。 CE 是反映植物叶片中活化的 Rubisco 量的重要指标，表 1 结果表明，XF/WS 的 CE 显著高于自根辣椒，说明嫁接可促进辣椒叶片 Rubisco 的活化，这可能是其光合能力增强的重要机制之一。

前人已经证明，成功的嫁接组合不仅表现在结构上，更重要的是所产生的维管束桥能够执行生理功能，进行接穗和砧木间的物质交换（王幼群，2011），因此，嫁接可能对果实品质产生一定影响。多数研究认为，嫁接对蔬菜果实品质的影响通常是负面的（Lee，1994；Traka-Mavrona et al.，2000），但这种影响程度取决于砧木类型与品种，通过筛选合适的砧木，可以将这种影响降低到最低限度（朱进 等，2006）。焦自高等（2000）研究发现，嫁接黄瓜的氨基酸含量降低，风味品质下降。而陈利平等（2004）认为，嫁接可促进黄瓜可溶性蛋白和可溶性糖的形成和积累，但不利于维生素 C 的形成，嫁接黄瓜口感风味品质的下降可能与维生素 C 含量的降低有关。齐红岩等（2010a，2010b）的研究表明，嫁接改变了甜瓜果皮和果肉中主要酯类含量，且使大部分游离氨基酸和可溶性固形物含量降低，有机酸含量提高，但并没有影响干物质含量。本试验中，嫁接对辣椒果实的大小、形状、颜色等商品品质的影响均不明显；除 XF/WS 的可溶性糖与干物质含量较明显高于对照外，嫁接辣椒的营养物质含量均与对照差异不显著，这与朱进等（2006）在西瓜上的研究结果一致。综上，以‘卫士’和‘部野丁’为砧木嫁接可使辣椒的光合能力和产量明显提高，对产品品质未产生负面影响，因此具有较高的应用和推广价值。

References

- Bletsos F, Thanassouloupoulos C, Roupakias D. 2003. Effect of grafting on growth, yield, and *Verticillium* wilt of eggplant. *HortScience*, 38 (2): 183 – 186.
- Bulder, H A M, Den Nijs A P M, Speek E J, Van Hasselt P R, Kuiper P J C. 1991. The effect of low root temperature on growth and lipid composition of low temperature tolerant rootstock genotypes for cucumber. *Journal of Plant Physiology*, 138 (6): 661 – 666.
- Chen Li-ping, Song Zeng-jun, Ma Xing-zhuang, Yu Li-ming, Ai Xi-zhen. 2004. Effect of grafting on quality of cucumber in solar-greenhouse. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 13 (2): 170 – 171. (in Chinese)
- 陈利平, 宋增军, 马兴庄, 于立明, 艾希珍. 2004. 嫁接对日光温室黄瓜产品品质的影响. *西北农业学报*, 13 (2): 170 – 171.
- Colla G, Roupahel Y, Cardarelli M. 2006. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. *HortScience*, 41 (3): 622 – 627.
- Davis A R, Perkins-Veazie P, Sakata Y, López-Galarza S, Marota J V, Lee S G, Huh Y C, Sun Z, Miguel A, King S R, Cohen R, Lee J M. 2008. Cucurbit grafting. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27 (1): 50 – 74.
- Farquhar G D, Sharkey T D. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 33 (1): 317 – 345.
- Ioannou N, Ιωάννου N. 2001. Integrating soil solarization with grafting on resistant rootstocks for management of soil-borne pathogens of eggplant. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76: 396 – 401.
- Jiang Fei, Liu Ye-xia, Liu Wei, Zheng Nan, Wang Hong-tao, Ai Xi-zhen. 2010. Relationship between root rot resistance and phenylalanine metabolism in graft capsicum. *China Vegetables*, (8): 46 – 52. (in Chinese)
- 姜 飞, 刘业霞, 刘 伟, 郑 楠, 王洪涛, 艾希珍. 2010. 嫁接辣椒根腐病抗性及其与苯丙烷类物质代谢的关系. *中国蔬菜*, (8): 46 – 52.
- Jiao Zi-gao, Wang Chong-qi, Dong Yu-mei, He Qi-wei, Sun Chun-hua. 2000. Effects of grafting on growth and fruit quality of cucumber. *Shandong Agricultural Sciences*, 1: 26. (in Chinese)
- 焦自高, 王崇启, 董玉梅, 何启伟, 孙春华. 2000. 嫁接对黄瓜生长及品质的影响. *山东农业科学*, 1: 26.
- Khah E M, Katsoulas N, Tchamitchian M, Kittas C. 2011. Effect of grafting on eggplant leaf gas exchanges under mediterranean greenhouse conditions. *International Journal of Plant Production*, 5 (2): 1735 – 8043.
- Lee J M. 1994. Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience*, 29 (4): 235 – 239.
- Li He-sheng, Sun Qun, Zhao Shi-jie, Zhang Wen-hua. 2000. The experiment principle and technology of plant physiology. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 李合生, 孙 群, 赵世杰, 章文华. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社.
- Liu Ye-xia, Jiang Fei, Zhang Ning, Wang Hong-tao, Ai Xi-zhen. 2011. Relationship between osmoregulation and bacterial wilt resistance of grafted pepper. *Acta Horticulturae Sinica*, 38(5): 903 – 910. (in Chinese)
- 刘业霞, 姜 飞, 张 宁, 王洪涛, 艾希珍. 2011. 嫁接辣椒对青枯病的抗性及其与渗透调节物质的关系. *园艺学报*, 38 (5): 903 – 910.
- Minuto A, Serges T, Nicotra G, Garibaldi A. 2007. Grafting of tomato and eggplant on resistant rootstock: Problems and perspectives. *Informatore Fitopatologico*, 57: 30 – 36.
- Nelson S D, Locascio S J, Allen Jr L H, Dickson D W, Mitchell D J. 2002. Soil flooding and fumigant alternatives to methyl bromide in tomato and eggplant production. *HortScience*, 37 (7): 1057 – 1060.
- Nie Lan-chun, Chen Gui-lin. 2000. Study on growth trends and physiological characteristics of grafted watermelon seedlings. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 9 (1): 100 – 103. (in Chinese)
- 乜兰春, 陈贵林. 2000. 西瓜嫁接苗生长动态及生理特性研究. *西北农业学报*, 9 (1): 100 – 103.
- Oda M, Nagata M, Tsuji K, Sasaki H. 1996. Effects of scarlet eggplant rootstock on growth, yield, and sugar content of grafted tomato [*Lycopersicon esculentum*] fruits. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 65 (3): 531 – 536.
- Oda M. 2006. Vegetable seedling grafting in Japan. *Acta Horticulturae*, 759: 175 – 180.
- Qi Hong-yan, Guan Xiao-chuan, Li Yan, Li Jin-ran, Qiu Li-yan. 2010a. Effects of grafting on main esters, free amino acids content and related enzyme activities in oriental sweet melon peel and flesh tissues. *Scientia Agricultura Sinica*, 43 (9): 1895 – 1903. (in Chinese)
- 齐红岩, 关小川, 李 岩, 李金燃, 邱丽妍. 2010a. 嫁接对薄皮甜瓜果皮和果肉中主要酯类、游离氨基酸及酯类合成相关酶活性的影

- 响. 中国农业科学, 43 (9): 1895 - 1903.
- Qi Hong-yan, Qiu Li-yan, Teng Lu-hua, Zhou Chun-xiu. 2010b. Effects of grafting on fruit maturity stage and its associated quality of oriental sweet melon. Chinese Agricultural Science Bulletin, 26 (2): 176 - 180. (in Chinese)
- 齐红岩, 邱丽妍, 滕录华, 周春旭. 2010b. 嫁接对薄皮甜瓜果实成熟期及其相关品质的影响. 中国农学通报, 26 (2): 176 - 180.
- Rivero R M, Ruiz J M, Romero L. 2003. Can grafting in tomato plants strengthen resistance to thermal stress? Journal of the Science of Food and Agriculture, 83 (13): 1315 - 1319.
- Traka-Mavrona E, Koutsika-Sotiriou M, Pritsa T. 2000. Response of squash (*Cucurbita* spp.) as rootstock for melon (*Cucumis melo* L.). Scientia Horticulturae, 83: 353 - 362.
- Wang Hong-tao, Ai Xi-zhen, Zhen Nan, Jiang Fei, Li Qing-ming. 2010. Effects of graft on lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities of *Capsicum annuum* seedlings under low temperature and weak light intensity. Chinese Journal of Applied Ecology, 21 (5): 1289 - 1294. (in Chinese)
- 王洪涛, 艾希珍, 郑楠, 姜飞, 李清明. 2010. 嫁接对低温弱光下辣椒幼苗膜脂过氧化及抗氧化酶活性的影响. 应用生态学报, 21 (5): 1289 - 1294.
- Wang You-qun. 2011. Plant graft system and its application in plant life science research. Chinese Science Bulletin, 56 (30): 2478 - 2485. (in Chinese)
- 王幼群. 2011. 植物嫁接系统及其在植物生命科学研究中的应用. 科学通报, 56 (30): 2478 - 2485.
- Xu Da-quan. 1990. Ecology, physiology and biochemistry of midday depression of photosynthesis. Plant Physiology Communications, (6): 5 - 10. (in Chinese)
- 许大全. 1990. 光合作用“午睡”现象的生态, 生理与生化. 植物生理学通讯, (6): 5 - 10.
- Xu Da-quan. 1997. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis. Plant Physiology Communications, 33 (4): 241 - 244. (in Chinese)
- 许大全. 1997. 光合作用气孔限制因素分析中的一些问题. 植物生理学通讯, 33 (4): 241 - 244.
- Zhang Zhen-xian, Zhou Xiu-yuan, Chen Li-ping. 1997. The characteristics of photosynthesis and transpiration in major vegetable crops. Acta Horticulturae Sinica, 24 (2): 155 - 160. (in Chinese)
- 张振贤, 周绪元, 陈利平. 1997. 主要蔬菜作物光合与蒸腾特性研究. 园艺学报, 24 (2): 155 - 160.
- Zhao Ren-bang, Cui Tong, Guo Xiu-min, Ge Wei, Zhang Dong, Liu Shu-chen. 2002. Determination of capsiicum by high performance liquid chromatography. Journal of Agricultural University of Hebei, 25 (4): 134 - 136. (in Chinese)
- 赵仁邦, 崔同, 果秀敏, 葛薇, 张冬, 刘淑晨. 2002. 高效液相色谱法测定辣椒素. 河北农业大学学报, 25 (4): 134 - 136.
- Zhao Shi-jie, Liu Hu-shan, Dong Xin-chun. 1998. Plant physiology experiment guidance. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. (in Chinese)
- 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 1998. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科技出版社.
- Zheng Nan, Wang Mei-ling, Wang Hong-tao, Ai Xi-zhen. 2009. Effects of grafting on photosynthesis of sweet pepper seedlings under low temperature and weak light intensity. Chinese Journal of Applied Ecology, 20 (3): 591 - 596. (in Chinese)
- 郑楠, 王美玲, 王洪涛, 艾希珍. 2009. 嫁接对低温弱光下甜椒幼苗光合作用的影响. 应用生态学报, 20 (3): 591 - 596.
- Zheng Yang-xia, Li Huan-xiu, Yan Ze-sheng. 2009. Effects of grafting on photosynthetic characteristics of eggplants. China Vegetables, (16): 56 - 60. (in Chinese)
- 郑阳霞, 李焕秀, 严泽生. 2009. 嫁接对茄子光合特性的影响. 中国蔬菜, (16): 56 - 60.
- Zhu Jin, Bie Zhi-long, Xu Rong, Tang Mi, Pei Yun. 2006. Effects of different rootstocks on the growth, yield and quality of cucumber fruits. Journal of Huazhong Agricultural University, 25 (6): 668 - 671. (in Chinese)
- 朱进, 别之龙, 徐容, 汤谧, 裴芸. 2006. 不同砧木嫁接对黄瓜生长、产量和品质的影响. 华中农业大学学报, 25 (6): 668 - 671.