

薄壳山核桃种内嫁接亲和性分析

陈 岗¹, 王红红², 李剑威², 徐健华³, 王正加^{2*}

(1. 桐庐县林业技术推广中心, 桐庐 311500; 2. 浙江农林大学亚热带森林培育国家重点实验室, 临安 311300;
3. 桐庐县森林和野生动物保护管理总站, 桐庐 311500)

摘 要: 为了解薄壳山核桃种内嫁接的亲合性, 设置以绍兴1号为砧木, 分别以绍兴1号、64号、35号、马汉和威斯顿为接穗的组合1, 以绍兴1号为接穗, 分别以64号、35号、马汉和威斯顿为砧木的组合2, 进行嫁接后的萌芽率、成活率等生长指标, 光响应曲线和荧光参数等生理指标的测定和分析。结果表明: 35号/绍兴1号成活率最高, 达到77.85%; 在新梢生长量、地茎等生长指标上嫁接组合中生长最快的是35号/绍兴1号和绍兴1号/35号, 地茎分别达到13.348 mm和13.379 mm。在光合特性参数上, T_r 和 P_n 与PAR呈正相关, 在PAR超过 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 绍兴1号/35号和绍兴1号/威斯顿明显高于其他组合, 最高分别达到14.232和14.351 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 绍兴1号/35号、绍兴1号/威斯顿和35号/绍兴1号的 L_{SP} 显著高于其他砧穗组合。

关键词: 薄壳山核桃; 生长指标; 光响应曲线; 叶绿素荧光参数

中图分类号: S664.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2020)06-0943-06

Intraspecific graft affinity analysis of pecan

CHEN Gang¹, WANG Honghong², LI Jianwei², XU Jianhua³, WANG Zhengjia²

(1. Forestry Technology Promotion Center of Tonglu County, Tonglu 311500;

2. Zhejiang A&F University State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Lin'an 311300;

3. Station of Forest and Wild Animal Resources Protect and Management in Tonglu County, Tonglu 311500)

Abstract: Experiments with different combinations of rootstocks and scions were conducted to understand the affinity of intra-species grafting of pecans. For the first combination, Shaoxing 1[#] was used as the rootstock, and Shaoxing 1[#], 64[#] and 35[#], Mahan and Western were used as the scion, respectively. For the second combination, Shaoxing 1[#] was used as the scion, while Shaoxing 64[#] and 35[#], Mahan and Western were used as the rootstock, respectively. The growth indexes, such as germination rate and survival rate, as well as the physiological indexes, such as light response curve and fluorescence parameters, were measured and analyzed after grafting. The results showed that the survival rate of Shaoxing 35[#]/Shaoxing 1[#], rootstock/scion combination, was the highest, with 77.85% survival rate. On the growth indexes of new shoots and stem diameter, the fastest growth among grafting combinations were Shaoxing 35/Shaoxing 1 and Shaoxing 1/Shaoxing 35. The stem diameter of combinations mentioned early reached 13.348 mm and 13.379 mm, respectively. In terms of photosynthetic characteristic, T_r and P_n were positively correlated with PAR. When PAR exceeded $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, Shaoxing 1[#]/Shaoxing 35[#] and Shaoxing 1[#]/Western were significantly higher than other grafting combinations, with 14.232 and 14.351 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. The L_{SP} values of Shaoxing 1[#]/Shaoxing 35[#], Shaoxing 1[#]/Western and Shaoxing 35[#]/Shaoxing 1[#] were significantly higher than that of other combinations.

Key words: *Carya illinoensis*; growth index; light response curve; chlorophyll fluorescence parameter

薄壳山核桃 [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. (Juglandaceae) 山核桃属 (*Carya Nutt*) 落叶乔木, Koch] 又名美国山核桃、长山核桃, 胡桃科 是世界上重要的经济干果树种^[1-2]。薄壳山核桃是理

收稿日期: 2020-02-08

基金项目: 浙江省科技厅重大研发专项 (2018C02004), 中央财政林业科技推广示范项目 (2018TS08), 浙江省农业新品种选育重大科技专项 (2016C02052-13) 和国家自然科学基金项目 (31570666) 资助。

作者简介: 陈 岗, 工程师。E-mail: 149703274@qq.com

* 通信作者: 王正加, 博士, 教授。E-mail: wzhj21@163.com

想的保健食品,其果仁营养丰富,平均含油率高达72% (不饱和脂肪酸占97%),蛋白质占11%,碳水化合物占13%,含有N、P、K、Ca和Mg等矿质营养元素。此外,由于薄壳山核桃的高含油率,它也是重要的高产油料植物^[1,3-4]。我国引种薄壳山核桃已有100多年的历史,由于早期引进的多为实生苗,存在规模化扩繁技术落后等问题,薄壳山核桃至今良种化程度不高^[5-6]。嫁接繁殖中砧穗的亲合力是嫁接成活的基础,亲和一般表现为嫁接砧穗完全愈合生长为共生体,能长期正常生长、结实,而不亲和一般表现为嫁接砧穗间无胞间连丝形成和愈伤组织沟通,接穗无法正常生长或死亡^[7]。刁永强等^[8]通过嫁接亲和力试验得到‘蜜脆’品种的嫁接成活率最高;叶开玉等^[9]以中华猕猴桃进行种内嫁接发现种内不同品种间嫁接亲和性不同,‘红阳’猕猴桃嫁接成活率最高。本试验拟通过对5个品种的薄壳山核桃进行不同组合的嫁接试验,比较其成活率以及生长特性,来探寻亲和力强的薄壳山核桃砧穗组合,为加速推进薄壳山核桃良种化进程提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于浙江农林大学东湖校区苗圃试验基地中进行。试验基地位于东经118°51′至119°52′,北纬29°56′至30°23′,海拔约50 m,地处中亚热带季风气候区的北缘,四季分明,温暖湿润,雨量充沛,光照充足。

1.2 试验材料及处理

以生产上常用作培育砧木的绍兴1号(1[#])为本试验砧木,分别以绍兴1号(1[#])、64号(64[#])、35号(35[#])、马汉(Mahan)和威斯顿(Western)为接穗;以绍兴1号(1[#])为接穗,分别以绍兴64号(64[#])、35号(35[#])、马汉(Mahan)和威斯顿(Western)为砧木。共9个处理,每个处理3个重复,每个重复30株,其中64号和35号由建德莲花薄壳山核桃基地提供。砧木种子于2013年播种,2015年春选择地径0.8 cm以上(1.0~1.2 cm最为理想)的砧木,随机区组的试验设计移栽到嫁接苗圃里。选择生长健壮、芽眼饱满的未萌动枝条作为接穗,采后进行蜡封处理,4℃冷藏保存备用。待砧木第1片叶子全展开时(2015年4月23日)进行切接。采用统一的施肥、除草、中耕等田间管理措施。5月中下旬嫁接苗叶片完全展开,11月下旬叶片基本凋落。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长指标测定 于5月中旬统计嫁接后的穗

条萌芽情况,并计算嫁接苗萌芽率;于11月上旬统计嫁接苗成活率、采用直尺测量新梢生长量和采用游标卡尺测量新梢粗度。每个处理测定30株,重复3次。

1.3.2 生理指标测定 每个处理挑选3株大小一致、生长健康的嫁接苗,待叶片完全展开,对中部叶龄基本一致的叶片(叶片均无遮阴且受光方向相同)挂牌标记,测定其光合特性参数、叶绿素荧光参数和相对叶绿素含量。

(1)光合特性参数的测定。于8月上旬的晴天,时间上午8:30到11:30,使用LI-6400便携式光合作用系统便携式光合测量系统(美国LI-COR公司)来测定叶片的光合参数,所用光源是LI-6400红蓝LED光源,测定过程中保持CO₂浓度在400 μmol·mol⁻¹左右,叶温为25~27℃,相对湿度(RH)为50%~60%,气体流量(flow)为500 μmol·s⁻¹,光合有效辐射(PAR)设定值依次为0、20、50、80、100、150、200、250、300、400、600、800、1 000、1 200和1 600 μmol·m⁻²·s⁻¹,等测量值稳定4 min后开始记录,并重复3次。使用光合助手计算出最大净光合速率(A_{max})、表观量子效率(A_{QY})、光补偿点(L_{CP})、饱和光强(L_{SP})和暗呼吸速率(R_d)。

(2)叶绿素荧光参数的测定。于8月上旬的晴天上午,用叶夹使叶片暗适应20 min后,使用便携式调制叶绿素荧光仪PAM-2500(德国WALZ公司)对叶片进行活体测定,将光适应5 min的叶片,暴露于连续光量子能量密度梯度(0、1、30、100、197、362、618、980、1 385和2 014 μmol·m⁻²·s⁻¹)下,每个光强20 s,测定非PSII原初光能转化效率F_v/F_m、相对电子传递速率ETR等荧光参数。

(3)相对叶绿素含量的测定。用便携式叶绿素含量测定仪SPAD-502(日本MINOLTA公司)测定,在具有相同叶位的叶子中部进行测定,5次重复,在测量时避开叶脉。

1.4 数据及图像处理

采用MS Excel 2016进行数据处理,采用SPSS 17.0分析软件中的Duncan's新复极差法进行显著性差异分析,P<0.05认为具有显著性差异,均用均值±标准差(X±SD)表示。所有图片均采用Sigmaplot 12.5进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同砧穗组合对嫁接萌发率和成活率的影响

由表1可知,以1[#]为砧木时,以64[#]、Western为接穗的苗木之间萌发率和成活率较高,在成活率

上显著高于 1#/Mahan (54.45%); 在以 64#、35#、Mahan 和 Western 为砧木, 以 1#为接穗的组合中, 64#/1#和 35#/1#的萌发率和成活率较高, 显著高于

Mahan/1#和 Western/1#, 其中, 35#/1#成活率最高, 达到 77.85%, Mahan 为砧木或接穗和 1#的组合嫁接苗生活力差, 萌发率和成活率均较低。

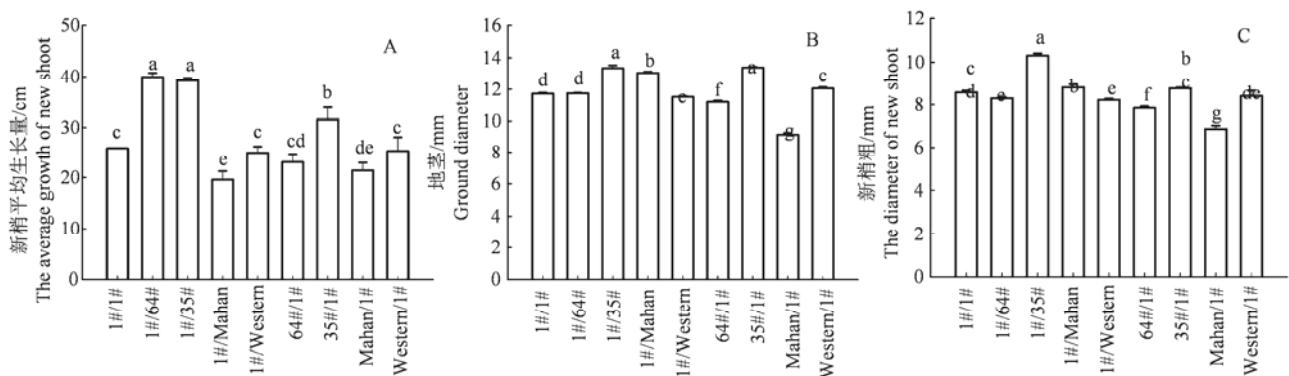
表 1 不同砧穗组合嫁接萌芽率和成活率

Table 1 Budding rate and survival rate in grafted seedlings from different rootstock/scion combinations

砧木/接穗 Rootstock/Scion	嫁接株数 Grafting number	萌发株数 Budding number	萌发率/% Budding rate	成活株数 Survival number	成活率/% Survival rate
1#/1#	90	74	82.25 ± 1.43 ^{ab}	56	62.31 ± 4.52 ^{cd}
1#/64#	90	68	75.88 ± 5.60 ^{abc}	60	66.78 ± 4.07 ^{bc}
1#/35#	90	61	68.38 ± 9.61 ^{bc}	45	50.00 ± 1.91 ^e
1#/Mahan	90	59	65.68 ± 4.25 ^{bc}	49	54.45 ± 2.21 ^{de}
1#/Western	90	79	88.78 ± 7.84 ^a	68	75.63 ± 2.61 ^{ab}
64#/1#	45	36	81.33 ± 10.19 ^{ab}	33	73.51 ± 4.35 ^{ab}
35#/1#	45	39	87.92 ± 9.31 ^a	35	77.85 ± 2.61 ^a
Mahan/1#	45	27	60.00 ± 0.00 ^c	25	55.57 ± 2.23 ^{de}
Western/1#	45	30	66.67 ± 0.00 ^{bc}	25	55.57 ± 2.23 ^{de}

注: 表中字母是 Duncan's 新复极差法显著性分析, 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: The letters in the table are the significance analysis with Duncan's new complex range method. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$). The same below.



注: 图内不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the figure indicate significant differences ($P < 0.05$). The same below.

图 1 不同砧穗组合嫁接苗的生长情况

Figure 1 The growth condition in different rootstock/scion combinations

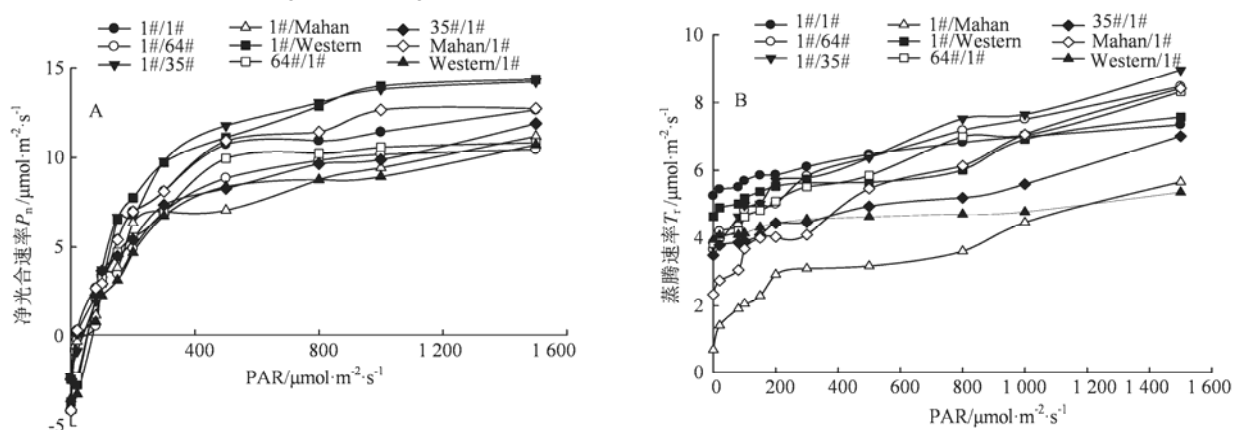


图 2 不同砧穗组合嫁接苗的光强-光合指标曲线

Figure 2 Curves of light intensity-photosynthetic indexes in grafted seedlings from different rootstock/scion combinations

2.2 不同砧穗组合对嫁接新梢生长量和接穗粗度的影响

如图 1 所示, 在新梢平均生长量上看, 1#/64#和

1#/35#显著高于 1#/Mahan 和 Mahan/1#, 其中, 1#/64#最高 (39.957 cm), 是 1#/Mahan 的 2.04 倍; 1#/35#和 35#/1#的地茎最粗, 分别为 13.348 mm 和 13.379

mm, 显著大于 Mahan/1# (9.135 mm); 新梢粗在 35# 为砧木或接穗和 1#的组合中较粗, 而 Mahan/1#变化

最小。表明嫁接组合中生长最快的是 35#为砧木或接穗和 1#的组合, 而 Mahan/1#的生长最慢。

表 2 不同砧穗组合嫁接苗的光合生理参数

Table 2 Photosynthetic physiological parameters in grafted seedlings from different rootstock/scion combinations

砧木/接穗 Rootstock/Scion	最大净光合速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ A_{max}	表观量子效率/ $\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ A_{QY}	光补偿点/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ L_{CP}	饱和光强/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ L_{SP}	暗呼吸速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ R_{d}
1#/1#	17.072±1.616 ^a	0.080±0.007 ^b	35.369±2.084 ^b	817.799±69.200 ^{bc}	-2.321±0.531 ^{bc}
1#/64#	16.290±1.397 ^a	0.082±0.005 ^b	34.984±1.697 ^b	788.792±64.636 ^{bc}	-1.172±0.662 ^a
1#/35#	17.897±1.185 ^a	0.149±0.027 ^a	58.663±4.157 ^a	1 167.374±29.765 ^a	-2.430±0.116 ^c
1#/Mahan	16.316±0.969 ^a	0.074±0.006 ^{bc}	21.013±0.003 ^d	717.178±61.738 ^c	-2.625±0.344 ^{cd}
1#/Western	15.379±2.121 ^a	0.096±0.008 ^b	34.009±3.465 ^b	1 077.560±125.048 ^a	-2.700±0.450 ^{cd}
64#/1#	12.777±1.503 ^b	0.072±0.002 ^{bc}	24.344±3.055 ^{cd}	854.820±27.888 ^b	-1.623±0.411 ^{ab}
35#/1#	12.361±1.616 ^b	0.092±0.018 ^b	34.019±2.006 ^b	1 111.385±91.987 ^a	-1.626±0.241 ^{ab}
Mahan/1#	12.811±0.805 ^b	0.074±0.008 ^{bc}	14.325±2.517 ^c	823.935±27.542 ^{bc}	-2.983±0.144 ^{cd}
Western/1#	10.842±1.153 ^b	0.056±0.013 ^c	28.008±3.456 ^c	336.369±10.136 ^d	-3.339±0.327 ^{cd}

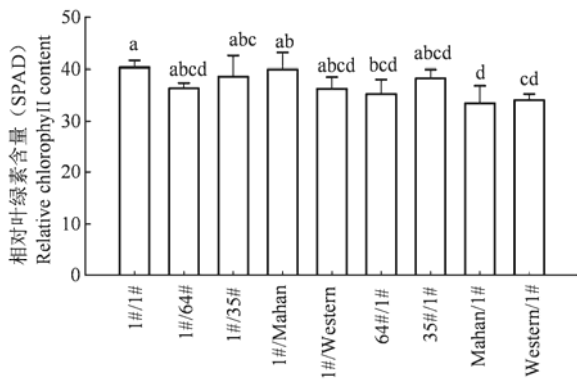


图 3 不同砧穗组合嫁接苗的相对叶绿素含量

Figure 3 Relative chlorophyll contents in grafted seedlings from different rootstock/scion combinations

2.3 不同砧穗组合对嫁接苗叶片光合生理特征的影响

2.3.1 不同砧穗组合对嫁接苗叶片光响应曲线的影响 如图 2A 所示, 净光合速率 (P_n) 随着 PAR 的增强而升高, PAR 在 0~200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围时, P_n 在 9 个处理中没有显著地差异; 在 PAR 超过 800

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 1#/35#和 1#/Western 明显高于其他组合, 最高分别达到 14.232 和 14.351 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 而 Western/1#和 1#/Mahan 的 P_n 较低。图 2B 表明, 蒸腾速率 (T_r) 与 PAR 呈正相关, 与 P_n 的变化趋势基本一致。在 PAR 大于 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 1#/35#和 1#/Western 的 T_r 值始终保持最高, 而 1#/Mahan 和 Western/1#均低于其他组合。说明不同砧穗组合在光合作用上的差异, 对嫁接苗的生长有较大影响。

2.3.2 不同砧穗组合对嫁接苗叶片光合生理参数的影响 从表 2 可以看出 9 种嫁接苗在利用光能上的差异。以 1#为砧木时, 35#、64#、Mahan 和 Western 为接穗的嫁接苗 A_{max} 之间无显著差异, 而以 35#、64#、Mahan 和 Western 为砧木, 1#为接穗的嫁接苗的 A_{max} 显著高于以其他 4 种薄壳山核桃为砧木的嫁接苗, 为 1.20~1.65 倍。从 A_{QY} 和 L_{CP} 上看, 1#/35# 的组合显著高于其他 8 种砧穗组合, 分别达到 0.149 $\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 和 58.663 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 而 Mahan/1#最低。

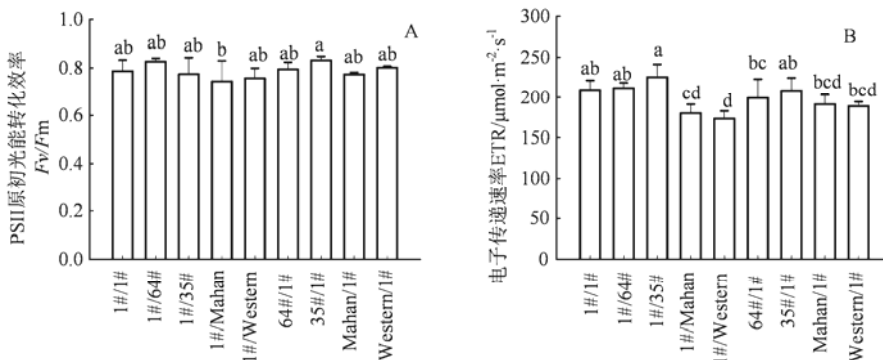


图 4 不同砧穗组合嫁接苗叶片的 F_v/F_m 和 ETR 比较

Figure 4 The comparison of F_v/F_m and ETR in grafted seedlings from different rootstock/scion combinations

1#/35#、1#/Western 和 35#/1#的 L_{SP} 显著高于其他砧穗组合, 而 Western/1#最低。对于暗呼吸速率 R_d , 以 64#、35#为砧木或接穗和 1#的组合较 Mahan、Western 为砧木或接穗和 1#的组合更小。

2.4 不同嫁接砧穗组合对嫁接苗叶片相对叶绿素含量的影响

从图 3 可知, 1#/1#嫁接苗的相对叶绿素含量最高(40.333 SPAD 单位), 与 1#/35#、1#/64#、1#/Mahan 和 1#/Western 和 35#/1#的相对叶绿素含量无显著差异。而 Mahan/1#的相对叶绿素含量最低, 仅 33.450 SPAD 单位。

2.5 不同嫁接砧穗组合对嫁接苗叶片叶绿素荧光参数的影响

如图 4A 所示, 35#/1#的组合 F_v/F_m 最高, 1#/Mahan 最低, 其他砧穗组合无显著差异。由图 4B 可知, 1#/35#嫁接苗的 ETR 最高, 为 $225.560 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 显著高于 1#/Mahan 和 1#/Western, 而其他砧穗组合无显著差异。

3 讨论与结论

砧木与接穗的形成层经过细胞分裂、分化而愈合在一起的过程对嫁接成活具有重要作用。砧穗间的亲和性作为嫁接时考虑的首要因素, 是由植物发育过程中遗传、生理生化及生理机能协调程度等差异决定的^[10]。研究发现^[11-12], 嫁接组合短期亲和性可以用嫁接成活率来判断。本试验结果发现, 35 号/绍兴 1 号成活率最高, 显著高于绍兴 1 号/马汉和马汉/绍兴 1 号。说明 35 号为砧木时和绍兴 1 号亲和性较好, 而马汉和绍兴 1 号的组合亲和性较差。此外, 嫁接苗的生长情况是衡量一个砧木与接穗亲和力好坏的重要指标。有研究表明^[13-15], 不同砧木对接对砧穗增粗率、新梢长等各项生长指标的影响不同。绍兴 1 号/35 号嫁接苗的新梢生长量、地径和嫁接粗显著高于其他砧穗组合, 而绍兴 1 号/马汉最低, 与成活率的结果一致。这与杨朗生等^[16]发现一致, 砧木嫁接苗的成活率较高, 接穗粗度等生长指标也较高。植物的光合作用与其生长有着密切的关系, 杨雨华^[17]、刘凤栾^[18]等发现不同品种间的植物光合能力存在明显差异, 所以光合相关参数可以用来研究嫁接亲和性的指标。光合速率与 RuBP 羧化酶活性密切相关^[19], 该酶活性受光影响, 强光下植物会发生光抑制。试验中, 所有砧穗组合 P_n 均随光照增加, 表明其光合能力较强, 此外, 以绍兴 1 号为砧木的嫁接苗的 A_{max} 显著高于以其他 4 种薄壳山核桃为砧

木的嫁接苗, 光合能力更强。绍兴 1 号/35 号、绍兴 1 号/威斯顿和 35 号/绍兴 1 号 L_{SP} 显著高于其他砧穗组合, 表明在强光下这些砧穗组合有更好的耐受性。此外, 弱光条件下的重要参数包括 A_{QY} 、 R_d 和 L_{CP} , 由于 Kok 效应^[20-21], 即低于光补偿点时, 光合作用的量子效率值的突然变化导致量子效率值随光强的增加而突然降低, 绍兴 1 号/35 号的 A_{QY} 较大, 弱光下的能量利用效率较高。光合作用中电子传递现象能够更深层次地揭示植物光合作用的实质, 为了更好地反映植物“内在性”特点, 叶绿素荧光参数的测定十分重要^[22]。 F_v/F_m 、ETR 均是评价逆境条件下植物光合性能的重要指标^[23-24], 研究发现^[24-25], F_v/F_m 和 ETR 在遭受胁迫后会显著下降。35 号/绍兴 1 号嫁接苗的 F_v/F_m 最高, 且显著高于绍兴 1 号/马汉, 表明 35 号/绍兴 1 号有较强的光合系统光能转换效率。绍兴 1 号/35 号嫁接苗的 ETR 显著高于绍兴 1 号/马汉和绍兴 1 号/威斯顿, 电子传递速率快, 光合作用强, 这也证明了 35 号与绍兴 1 号亲和性好。本研究发现, 以 35 号和绍兴 1 号亲和性最好, 马汉和绍兴 1 号亲和性差。这表明存在着非本砧嫁接亲和性优于本砧嫁接的现象, 与“本砧嫁接的亲和性最高”相悖, 这与王瑞^[26]、杨邵^[27]等对油茶的研究结果一致, 但其原因还有待从分子生物学等方面进行深入的研究。

参考文献:

- [1] 李俊南, 李莲芳, 熊新武, 等. 薄壳山核桃无性繁殖技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(33): 16226-16228.
- [2] 常君, 姚小华, 邵慰忠, 等. 薄壳山核桃不同砧木对接成活率及生长指标的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(2): 56-60.
- [3] 张汇慧, 吴彩娥, 李永荣, 等. 不同品种薄壳山核桃营养成分比较[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(3): 55-58.
- [4] 贾晓东, 罗会婷, 翟敏, 等. 薄壳山核桃营养物质变化及相关性研究[J]. 果树学报, 2016, 33(9): 1120-1130.
- [5] 彭方仁. 美国薄壳山核桃产业发展现状及对我国的启示[J]. 林业科技开发, 2014, 28(6): 1-5.
- [6] 夏根清, 翁春余, 王开良, 等. 薄壳山核桃嫁接技术试验[J]. 经济林研究, 2007, 25(4): 109-112.
- [7] 段元杰, 杨玉皎, 孟富宣, 等. 果树嫁接亲和性的早期鉴定研究进展[J]. 江西农业学报, 2018, 30(9): 43-48.
- [8] 刁永强, 陈淑英, 尚振江, 等. 4 个苹果新品种及矮化中间砧木嫁接亲和力[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(6): 1011-1016.
- [9] 叶开玉, 蒋桥生, 龚弘娟, 等. 猕猴桃嫁接繁殖与砧木

- 选择试验[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 138-139.
- [10] 蔡梦颖, 金晓玲, 柴弋霞, 等. 不同砧木阔瓣含笑嫁接苗生长生理及亲和性评价[J]. 广西植物, 2018, 38(4): 536-544.
- [11] 郑鑫, 李首正, 王燕, 等. 绿宝苹果与不同砧木嫁接亲和性初探[J]. 河南农业科学, 2016, 45(11):96-99.
- [12] 王湘南, 王瑞, 陈隆升, 等. 油茶新品种芽苗砧嫁接砧穗组合的亲和性分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(12): 1-6.
- [13] 梅正敏, 罗世杏, 伊华林, 等. 不同砧木嫁接对桂脐 1 号脐橙幼树生长及光合特性的影响[J]. 南方农业学报, 2014, 45(3): 434-441.
- [14] 赖晓桦, 黄传龙, 谢上海, 等. 卡里佐枳橙砧对赣南纽荷尔脐橙生长结果的影响[J]. 中国南方果树, 2009, 38(5): 25-26.
- [15] 彭良志, 曹立, 淳长品, 等. 不同砧木对脐橙树体与果实品质的影响[J]. 中国南方果树, 2003, 32(5): 1-4.
- [16] 杨朗生, 杨平, 刘芙蓉, 等. 不同地径砧木对山桐子嫁接苗成活及生长特性的影响[J]. 经济林研究, 2017, 35(1): 97-102, 157.
- [17] 杨雨华, 宗建伟, 杨风岭. 3 个核桃品种的光合-光响应特性[J]. 经济林研究, 2014, 32(2): 19-23.
- [18] 刘凤栾, 房义福, 孙居文, 等. 36 种欧美观赏海棠生长和生理特性分析[J]. 植物生理学报, 2013, 49(8): 738-742.
- [19] XU Q Y, WU J F, CAO Y R, et al. Photosynthetic characteristics of leaves and fruits of Hickory (*Carya cathayensis* Sarg.) and Pecan (*Carya illinoensis* K. Koch) during fruit development stages[J]. Trees, 2016, 30(5): 1523-1534.
- [20] PADMAVATHI L, RAGHAVENDRA A S. Importance of the cytochrome pathway of mitochondrial electron transport over the alternative pathway during the Kok effect in leaf discs of pea (*Pisum sativum*)[J]. Physiol Plant, 2001, 113(3): 430-434.
- [21] KOK B. A critical consideration of quantum yield of chlorella-photosynthesis[J]. Enzymologia, 1947, 13(1): 1-56.
- [22] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.
- [23] 刘壮壮, 骆敏, 彭方仁, 等. 不同品种薄壳山核桃光合及快速叶绿素荧光诱导动力学特性[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(4): 36-42.
- [24] 赵德华, 崔建升, 段莉丽, 等. 藻类叶绿素荧光对除草剂生物毒性响应特性的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(9): 2820-2827.
- [25] 郭延平, 张良诚, 洪双松, 等. 温州蜜柑叶片气体交换和叶绿素荧光对低温的响应[J]. 植物生理学报, 2000, 26(2): 88-94, 101.
- [26] 王瑞, 陈隆升, 彭映赫, 等. 油茶新品种‘晚霞’嫁接亲和性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(3): 9-12, 19.
- [27] 杨邵, 束庆龙, 姚小华, 等. 油茶不同芽苗砧嫁接组合的亲和性生理[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(7): 19-22, 46.