

蜜柚不同砧穗组合苗期嫁接亲和性评价

龚艳箐^a, 祁有恒^a, 伏晓科^a, 杨芮^a, 陈涛^a, 汤浩茹^{a,b}, 王小蓉^{a,b*}

(四川农业大学, a. 园艺学院; b. 果蔬研究所, 成都 611130)

摘要: 为评价蜜柚砧穗的嫁接亲和性, 以红绵蜜柚(*Citrus grandis* ‘Hongmianmiyou’)、三红蜜柚(‘Sanhongmiyou’)、红肉蜜柚(‘Hongroumiyou’)、黄金蜜柚(‘Huangjinmiyou’)和琯溪蜜柚(‘Guanximiyu’)作接穗, 枳(*Poncirus trifoliata*)、香橙(*Citrus junos*)、酸柚(*Citrus grandis*)作砧木, 田间调查 15 个砧穗组合苗期生长指标, 测定嫁接愈合期叶片多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)活性、可溶性蛋白和可溶性糖含量, 采用主成分分析和聚类分析方法对蜜柚砧穗组合嫁接亲和性进行评价。结果表明, 以柚作砧木的砧穗组合保存率高、生长势旺盛、抽梢能力强, 以枳和香橙作砧木的砧穗组合部分指标存在差异, 其中红绵蜜柚和黄金蜜柚以枳作砧木时表现出不亲和现象。不同砧穗组合嫁接愈合时期 PPO、POD、可溶性蛋白和可溶性糖变化趋势基本一致。主成分分析结果表明, 4 个主成分基本反映了 15 个指标 91.33% 的数据信息。聚类分析将 15 个砧穗组合分为 4 类, 与主成分分析结果基本一致。因此, 琯溪蜜柚、红肉蜜柚和三红蜜柚嫁接可采用枳和柚作砧木, 红绵蜜柚和黄金蜜柚嫁接可采用柚作砧木, 红绵蜜柚和黄金蜜柚嫁接不可采用枳作砧木。

关键词: 蜜柚; 苗期; 嫁接亲和性; 评价; 主成分分析

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.03.007

Graft Compatibility Evaluation of Different Rootstock-scion Combinations of Honey Pomelo at Seedling Stage

GONG Yan-qing^a, QI You-heng^a, FU Xiao-ke^a, YANG Rui^a, CHEN Tao^a, TANG Hao-ru^{a,b}, WANG Xiao-rong^{a,b*}

(a. College of Horticulture; b. Institute of Pomology & Olericulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: In order to evaluate graft compatibility of different honey pomelo (*Citrus grandis*) rootstock-scion combinations at seedling stage, five cultivars of honey pomelo, such as ‘Hongmianmiyou’, ‘Sanhongmiyou’, ‘Hongroumiyou’, ‘Huangjinmiyou’ and ‘Guanximiyu’ were used as scions, and *Citrus grandis*, *C. junos*, *Poncirus trifoliata* as rootstocks, some physiological and biochemical indexes of 15 rootstock-scion combinations at seedling stage were determined. Their graft compatibility was evaluated by using principal component and cluster analysis. The results showed that there were significant differences in seedling growth among different rootstock-scion combinations, which ‘Hongmianmiyou’/*Poncirus trifoliata* and ‘Huangjinmiyou’/*Poncirus trifoliata* combinations were incompatibility. The changes in PPO, POD activities, soluble protein, soluble sugar contents were similar at graft union stage in different rootstock-scion combinations. Four principal components could present 91.33% information of 15 indexes, and the cluster analysis showed that 15 rootstock-scion combinations could be divided into 4 clusters. Therefore, it was suggested that ‘Guanximiyu’, ‘Hongroumiyou’, ‘Sanhongmiyou’ could graft with *Citrus grandis* and *Poncirus trifoliata*, ‘Hongmianmiyou’ and ‘Huangjinmiyou’

收稿日期: 2015-09-09 接受日期: 2016-01-23

基金项目: 四川省科技厅科技支撑项目(2015NZ0043)资助

This work was supported by Sichuan Science and Technology Support Project (Grant No. 2015NZ0043).

作者简介: 龚艳箐(1992~), 女, 硕士研究生, 研究方向为果树种质资源与遗传育种。E-mail: niki_gong@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: wangxr@sicau.edu.cn

with *Citrus grandis*, ‘Hongmianmiyou’ and ‘Huangjinmiyou’ could not graft with *Poncirus trifoliata*.

Key words: Honey pomelo (*Citrus grandis*); Seedling; Graft compatibility; Evaluation; Principal component analysis

琯溪蜜柚(*Citrus grandis* ‘Guanximiyou’)为亚热带常绿乔木果树,原产于福建,是我国最主要的栽培柚类品种之一。琯溪蜜柚芽变选育出了许多优良新品种,包括红肉蜜柚(‘Hongroumiyou’)、红绵蜜柚(‘Hongmianmiyou’)、三红蜜柚(‘Sanhongmiyou’)、黄金蜜柚(‘Huangjinmiyou’)等,这些品种果肉色彩艳丽,且富含类胡萝卜素和维生素 C 等抗氧化物质^[1-4],具有巨大的保健价值,深受消费者喜爱。香橙(*C. junos*)是近几年川渝地区柑橘类嫁接中出现的最具发展潜力的砧木之一,具有矮化、早结等优点^[5]。酸柚(*Citrus grandis*)在蜜柚原产地福建是苗木生产中广泛使用的砧木^[1-4]。枳(*Poncirus trifoliata*)是柑橘类嫁接中最常见的砧木之一,苗木嫁接后期易出现不亲和现象^[6]。红绵蜜柚引种四川后,由于苗木砧穗组合选择不恰当,导致了巨大经济损失,而嫁接是蜜柚苗木繁育的唯一手段,不同砧穗组合的嫁接亲和性、生长势、果实产量与品质等差异显著^[7-10]。因此,筛选出亲和性强、生长势旺的蜜柚砧穗组合十分迫切。目前关于蜜柚的研究主要集中在果实色素、贮藏品质和汁胞粒化等方面^[11-12],对于蜜柚新品种砧穗组合选配及其嫁接机理尚未见报道。已有研究表明,多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)、可溶性蛋白、可溶性糖在植物嫁接愈合过程中起重要作用,PPO 参与隔离层的形成与分解,POD 参与愈合分化过程木质素的产生,可溶性蛋白和可溶性糖为嫁接愈合过程提供营养物质与能量^[13-14]。但用任何单一的生长或生理指标很难客观评价嫁接亲和性的强弱,而多指标评价方法不仅能从不同角度反映嫁接亲和性强弱,也更能充分利用原始数据。主成分分析方法能将多个彼此相关的指标转换成新的个数较少且彼此独立的综合指标,更大程度表现出原有数据的信息,而聚类分析通过数据建模简化数据,对不同特征的数据进行分类。采用上述分析方法已对酿酒葡萄(*Vitis vinifera*)抗寒性^[15]、苹果(*Malus pumila*)加工品质^[16]、猕猴桃(*Actinidia chinensis*)果实品质^[17]等进行了综合评价。本研究通过测定蜜柚不同砧穗组合苗期嫁接亲和性相关生长指标和愈合过程中 PPO、POD、可溶性蛋白及可溶性糖的变化,采用主成分分析和聚类分析方法,

对不同蜜柚砧穗组合苗期嫁接亲和性进行综合评价,为蜜柚砧穗组合选配及其嫁接亲和性机理研究提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

2014年3月在四川省成都市蒲江县朝阳湖镇进行嫁接试验。蒲江县平均海拔 534 m,年均温 16.3℃,年均相对湿度 85%。供试材料共有 3 种砧木,5 种接穗,砧木为酸柚(*Citrus grandis*)、香橙(*C. junos*)、枳(*Poncirus trifoliata*),来自于 2013 年培育的 1 年生实生苗,种子来自于蒲江县果树站;接穗为红绵蜜柚(‘Hongmianmiyou’)、红肉蜜柚(‘Hongroumiyou’)、三红蜜柚(‘Sanhongmiyou’)、黄金蜜柚(‘Huangjinmiyou’)和琯溪蜜柚(‘Guanximiyou’),来自于福建省平和县。砧穗组合采用垂直正交设计方法,共计 15 个砧穗组合,每个组合各嫁接 30 株,每 10 株作为 1 个小区,共 3 个重复,嫁接苗管理采用苗圃常规管理,管理水平一致。

1.2 方法

嫁接成活率与保存率 嫁接后 30 d 统计嫁接成活率,180 d 后统计保存率。成活率=成活株数/嫁接株数×100%;保存率=保存株数/成活株数×100%^[18]。

生长及抽梢情况 嫁接后 1 年(2015 年 3 月)统计株高、砧木高度、距嫁接接口 3 cm 处砧木直径、接穗直径、1 年内抽梢次数、新梢数、新梢长、新梢总叶数,每个组合重复 3 次,每次选取不同的 5 株进行调查,每次测量重复 3 次。生长指数作为植株生长状况的相对量化指标,先按植株大小和生长势强弱分成 1~5 级(1 级最弱,5 级最强),再计算生长指数=(生长状况级别×该级植株数)/5×总植株数(包括死亡株数)^[19]。

生理指标测定 嫁接前采集接穗叶片,嫁接后每隔 20 d 采集 1 次嫁接苗叶片,选择新抽发、完全展开的嫩叶,共采 3 次,随机采样,采后迅速放入冰桶带回实验室。多酚氧化酶活性采用比色法测

定^[20]; 过氧化物酶活性采用愈创木酚法测定^[21]; 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定^[22]; 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[22]。所有指标测定均3次重复。

1.3 数据处理和分析

用 Excel 2007 软件进行数据处理和作图。单因素方差分析、多重比较、相关分析、主成分分析和组间平均距离连接法聚类分析均在 SPSS 19.0 软件上完成。

2 结果和分析

2.1 砧穗组合的生长

植株生长 由表 1 可知, 15 个砧穗组合的嫁接成活率都在 80% 以上。以香橙和酸柚作砧木的砧穗组合保存率均为 100%; 而以枳作砧木的组合保存率差异显著, 红肉蜜柚、三红蜜柚和琯溪蜜柚为接穗的保存率分别为 86.21%、88.23% 和 100%, 红绵蜜柚和黄金蜜柚的保存率分别为 0 和 7.41%。红绵蜜柚和黄金蜜柚以枳作砧木时初期能基本愈合, 但在 7 月中旬即夏梢开始老化, 秋梢抽发前嫁接苗出现叶片黄化症状, 生长势逐步减弱, 直至停止生长, 表现出了嫁接不亲和现象, 而将已发生黄化的红绵蜜柚/枳枝条再嫁接在香橙砧木后, 植株又逐渐转

绿、恢复正常生长(图 1), 因此能排除缺素或病毒侵染等因素, 确定是由于砧穗组合不亲和导致的黄化。

以酸柚作砧木的 5 种砧穗组合的砧木均高度低于以香橙为砧木的砧木高度, 但植株高度显著高于以枳和香橙作砧木的砧穗组合, 其中三红蜜柚以酸柚作砧木时株高最高, 达 86.40 cm, 琯溪蜜柚的株高最低, 亦达到 72.53 cm, 而以香橙作砧木的砧穗组合株高仅为 43.80~62.90 cm。以枳为砧木的砧穗组合的砧木直径和接穗直径差异较大, 分别为 1.07~2.09 cm 和 0.87~1.99 cm, 而以香橙和酸柚为砧木的砧穗组合的砧木直径和接穗直径差异不明显。生长指数与株高、砧木直径的变化规律相似, 以酸柚作砧木的组合生长指数最高, 香橙砧木次之, 枳砧木最低。

新梢生长 由表 2 可见, 不同接穗嫁接在 3 种砧木上的枝梢生长情况有所差异。红绵蜜柚和黄金蜜柚以枳作砧木时, 枝梢生长情况最差, 仅分别抽梢 1.80 次和 1.93 次, 新梢总叶数也仅分别为 195 片和 146 片。以枳作砧木的三红蜜柚和红肉蜜柚虽然抽梢次数和总新梢数低于柚砧组合, 但其新梢总长度和总叶数均显著高于另外两种砧木组合, 表现出最佳的枝梢生长能力。琯溪蜜柚在 3 种砧木上的枝梢生长能力以酸柚砧最强, 枳砧其次, 香橙砧最弱。5 种接穗嫁接在酸柚砧木上均生长旺盛, 抽梢



图 1 嫁接不亲和组合黄化症状和黄化枝条转接香橙砧复绿现象。A: 红绵蜜柚/枳, 嫁接后 180 d; B: 黄金蜜柚/枳, 嫁接后 180 d; C: 红绵蜜柚/枳黄化枝条嫁接在香橙砧上。

Fig. 1 Chlorosis of incompatible combinations and chlorotic branch retrieved green after grafted on *Citrus junos*. A: 'Hongmianmiyou'/*Poncirus trifoliata*, 180 d after grafted; B: 'Huangjinmiyou'/*Poncirus trifoliata*, 180 d after grafted; C: Chlorotic branch of 'Hongmianmiyou'/*Poncirus trifoliata* grafted on *Citrus junos*.

表 1 不同砧穗组合生长指标

Table 1 Growth indexes of rootstock-scion combinations

砧穗组合 Rootstock-scion combination	成活率 Survival (%)	保存率 Preservation rate (%)	株高 Plant height (cm)	砧木高度 Height of rootstock (cm)	砧木直径 Diameter of rootstock (cm)	接穗直径 Diameter of scion (cm)	生长指数 Index of growth
HM 1	86.67	0	28.80±0.94c	4.01±0.94a	1.25±0.16b	0.91±0.18b	0.20
HM 2	90.32	100.00	55.53±8.90b	4.35±0.46a	1.77±0.34a	1.69±0.14a	0.63
HM 3	84.37	100.00	79.87±14.69a	3.02±0.37b	1.76±0.45a	1.89±0.27a	0.91
SH 1	89.47	88.23	63.40±16.47b	4.15±1.07b	1.65±0.28a	1.57±0.24a	0.75
SH 2	87.50	100.00	56.07±8.15b	4.76±0.31a	1.71±0.27a	1.75±0.13a	0.64
SH 3	96.77	100.00	86.40±9.71a	2.81±0.42c	1.81±0.33a	1.88±0.23a	0.97
HR 1	90.62	86.21	62.86±11.65b	4.64±1.02a	2.09±0.41a	1.99±0.52a	0.76
HR 2	96.67	100.00	43.80±14.32c	4.10±0.83a	1.55±0.29b	1.48±0.23a	0.43
HR 3	97.14	100.00	81.80±12.69a	2.89±0.45b	1.73±0.38b	1.78±0.21a	0.96
HJ 1	90.00	7.41	23.60±6.45c	2.87±0.35c	1.07±0.19c	0.87±0.26c	0.20
HJ 2	96.77	100.00	62.90±18.66b	5.95±0.94a	1.93±0.27b	1.85±0.37b	0.80
HJ 3	88.57	100.00	78.42±13.63a	4.43±0.92b	2.21±0.37a	2.19±0.17a	0.93
GX 1	87.88	100.00	55.40±14.46b	2.69±0.31b	1.70±0.26b	1.62±0.19b	0.60
GX 2	93.55	100.00	52.33±10.26b	4.23±1.06a	1.65±0.21b	1.69±0.11b	0.55
GX 3	90.62	100.00	72.53±20.66a	3.05±0.44b	2.02±0.50a	2.11±0.20a	0.80

HM: 红绵蜜柚; SH: 三红蜜柚; HR: 红肉蜜柚; HJ: 黄金蜜柚; GX: 琯溪蜜柚; 1: 枳; 2: 香橙; 3: 酸柚; 同列数据后不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

HM: 'Hongmianmiyou'; SH: 'Sanhongmiyou'; HR: 'Hongroumiyou'; HJ: 'Huangjinmiyou'; GX: 'Guanximiyu'; 1: *Poncirus trifoliata*; 2: *Citrus junos*; 3: *Citrus grandis*. Data followed different letters within column indicate significant differences at 0.05 level. The same is following Tables.

表 2 不同砧穗组合枝梢的生长

Table 2 Shoot growth of rootstock-scion combinations

组合 Combination	抽梢次数 Sprouting times	新梢数 Number of new shoot	新梢长度 Length of shoot (cm)	新梢叶数 Number of leaves in new shoot
HM 1	1.80±0.56c	28	513	195
HM 2	2.87±0.35b	24	468	253
HM 3	3.67±0.49a	47	1049	532
SH 1	2.87±0.74b	41	1217	726
SH 2	2.87±0.35b	26	536	317
SH 3	3.73±0.46a	49	1060	559
HR 1	2.33±0.49b	45	1490	662
HR 2	2.20±0.41b	31	578	323
HR 3	3.40±0.83a	53	1153	602
HJ 1	1.93±0.26c	24	361	146
HJ 2	3.00±0.53b	30	651	356
HJ 3	3.47±0.52a	44	1299	630
GX 1	3.00±0.65a	39	736	415
GX 2	2.53±0.52b	28	657	320
GX 3	2.67±0.49ab	54	1185	609

能力强, 推测 5 种蜜柚接穗与酸柚砧木亲缘关系较近, 组织结构、代谢状况和生理生化特性等较相似, 因此能良好愈合, 且酸柚作砧木对树体有乔化作用^[23], 嫁接植株苗期亦能表现出较强生长势。琯溪蜜柚、红肉蜜柚和三红蜜柚嫁接在枳砧上生长势和抽梢能力都较其嫁接在香橙上强, 说明这 3 种接穗能与枳砧充分愈合, 后期生长能力也较强。5 种接穗嫁接在香橙砧上的生长表现较中庸。

2.2 嫁接愈合过程中的生理指标

蜜柚砧穗组合嫁接愈合过程中 PPO 活性呈先升高后降低的趋势, 嫁接 40 d 时 PPO 活性达最高, 比 20 d 时高 18.96%~66.98%, 之后 PPO 活性逐步降低, 但红绵蜜柚和黄金蜜柚以枳作砧木时, 嫁接 60 d 的 PPO 活性只比 40 d 的分别降低 7.05%和 2.53%, 说明这两个砧穗组合嫁接接口愈合后 PPO 活性仍保持较高活性(图 2: A)。蜜柚砧穗组合嫁接愈

合过程中 POD 活性呈逐渐升高的趋势, 0~20 d 上升迅速, 平均增幅为 29.12%, 20~60 d 上升较平缓, 但以枳作砧木的红绵蜜柚和黄金蜜柚在 20~60 d 的 POD 活性呈缓慢下降趋势, 60 d 较 20 d 分别下降 2.44% 和 4.14% (图 2: B)。蜜柚砧穗组合嫁接愈合过程中可溶性蛋白含量呈先降低后升高的趋势, 嫁接 20 d 的可溶性蛋白含量因砧穗愈合的消耗而下降 10.43%~26.14%, 20 d 后砧穗逐步愈合, 可溶性蛋白含量缓慢上升, 60 d 可溶性蛋白含量接近嫁接前的水平(图 2: C)。蜜柚砧穗组合嫁接愈合过程中可溶性糖含量总体呈降低-升高-降低的趋势, 嫁接 20 d 的可溶性糖含量降低了 10.59%~25.18%, 40 d 时有所回升, 但 60 d 又有小幅度降低, 平均下降 8.20% (图 2: D)。可溶性蛋白和可溶性糖含量的变化在不同砧穗组合中差异不显著, 而 PPO 和 POD 活性的变化在红绵蜜柚/枳和黄金蜜柚/枳两个不亲和组合中表现出极大差异, 一定程度反映了蜜柚砧穗组合嫁接愈合情况。

2.3 主成分分析

对 15 个单项指标进行主成分分析(表 3), 前 4 个主成分的贡献率分别为 35.832%、25.988%、17.004%、12.505%, 累计贡献率已达 91.329%, 因此前 4 个主成分基本反映了 15 个单项指标的全部信息, 且 4 个主成分相互独立。其中第 1 主成分与嫁接保存率、株高、生长指数、总新梢数、总新梢生长量和总新梢叶数相关性较大, 因此可被命名为植株生长相关的新变量。

根据主成分载荷矩阵和特征值计算出前 4 个主成分的特征向量(表 4), 得出 4 个主成分的表达式:

$$F1=0.005X_1+0.286X_2+0.392X_3+0.384X_4+0.317X_5+0.316X_6+0.341X_7-0.129X_8-0.087X_9+0.276X_{10}+0.300X_{11}+0.306X_{12}+0.134X_{13}+0.194X_{14}+0.232X_{15};$$

$$F2=0.189X_1+0.201X_2+0.164X_3+0.181X_4+0.214X_5+0.223X_6+0.235X_7+0.380X_8+0.176X_9-0.377X_{10}-0.345X_{11}+0.161X_{12}+0.081X_{13}-0.436X_{14}-0.388X_{15};$$

$$F3=-0.252X_1-0.336X_2-0.041X_3-0.058X_4+0.230X_5+0.259X_6+0.193X_7+0.289X_8+0.505X_9+0.013X_{10}+0.016X_{11}-0.219X_{12}-0.404X_{13}+0.106X_{14}+0.177X_{15};$$

$$F4=-0.441X_1+0.072X_2-0.052X_3-0.037X_4-0.151X_5-0.086X_6-0.008X_7+0.357X_8+0.239X_9+0.074X_{10}+0.120X_{11}+0.586X_{12}+0.458X_{13}+0.028X_{14}+0.084X_{15}$$

由 4 个主成分对应特征值占所提取主成分总特征

值之和的比例作为权重, 计算主成分综合模型为:

$$F=-0.052X_1+0.117X_2+0.186X_3+0.186X_4+0.207X_5+0.224X_6+0.235X_7+0.133X_8+0.143X_9+0.014X_{10}+0.039X_{11}+0.205X_{12}+0.063X_{13}-0.024X_{14}+0.025X_{15}$$

式中, X_1 表示嫁接成活率, X_2 表示保存率, X_3 表示株高, X_4 表示生长指数, X_5 表示总新梢数, X_6 表示新梢总长度, X_7 表示新梢总叶数, X_8 表示嫁接 20 d 的 PPO, X_9 表示嫁接 40 d 的 PPO, X_{10} 表示嫁接 20 d 的 POD, X_{11} 表示嫁接 40 d 的 POD, X_{12} 表示嫁接 20 d 的可溶性蛋白含量, X_{13} 表示嫁接 40 d 的可溶性蛋白含量, X_{14} 表示嫁接 20 d 的可溶性糖含量, X_{15} 表示嫁接 40 d 的可溶性糖含量。

由表 5 可以看出, 15 个砧穗组合嫁接亲和程度由强到弱依次为: 三红蜜柚/枳、三红蜜柚/酸柚、红绵蜜柚/酸柚、红肉蜜柚/枳、黄金蜜柚/酸柚、琯溪蜜柚/枳、琯溪蜜柚/酸柚、红肉蜜柚/酸柚、三红蜜柚/香橙、黄金蜜柚/香橙、琯溪蜜柚/香橙、红绵蜜柚/香橙、红肉蜜柚/香橙、黄金蜜柚/枳、红绵蜜柚/枳。

2.4 聚类分析

根据表 5 的综合主成分值, 利用组间平均距离连接法对 15 个砧穗组合进行聚类分析(图 3), 当平均距离为 8 时可将组合分为 4 类, 第一类为嫁接亲和组合, 包括琯溪蜜柚/酸柚、红肉蜜柚/酸柚、琯溪蜜柚/枳、黄金蜜柚/酸柚、红绵蜜柚/酸柚、红肉蜜柚/枳、三红蜜柚/酸柚和三红蜜柚/枳 8 个组合; 第二类为嫁接次亲和组合, 包括三红蜜柚/香橙、黄金蜜柚/香橙和琯溪蜜柚/香橙 3 个组合; 第三类为嫁接较亲和组合, 包括红绵蜜柚/香橙和红肉蜜柚/香橙 2 个组合; 第四类为嫁接不亲和组合, 包括黄金蜜柚/枳和红绵蜜柚/枳 2 个组合。聚类分析结果与主成分分析结果基本一致。

3 讨论

从苗期表现来看, 琯溪蜜柚、红肉蜜柚和三红蜜柚嫁接适宜采用枳和酸柚作砧木, 红绵蜜柚和黄金蜜柚嫁接适宜采用酸柚作砧木, 5 种蜜柚嫁接均可采用香橙作砧木, 红绵蜜柚和黄金蜜柚嫁接不可采用枳作砧木。不同砧木对蜜柚结果能力的影响以及红绵蜜柚、黄金蜜柚嫁接在枳砧上不亲和的机制还有待深入研究。在川渝地区的生产实践中, 香橙砧木嫁接蜜柚具有早结丰产等特点, 推测可能与香

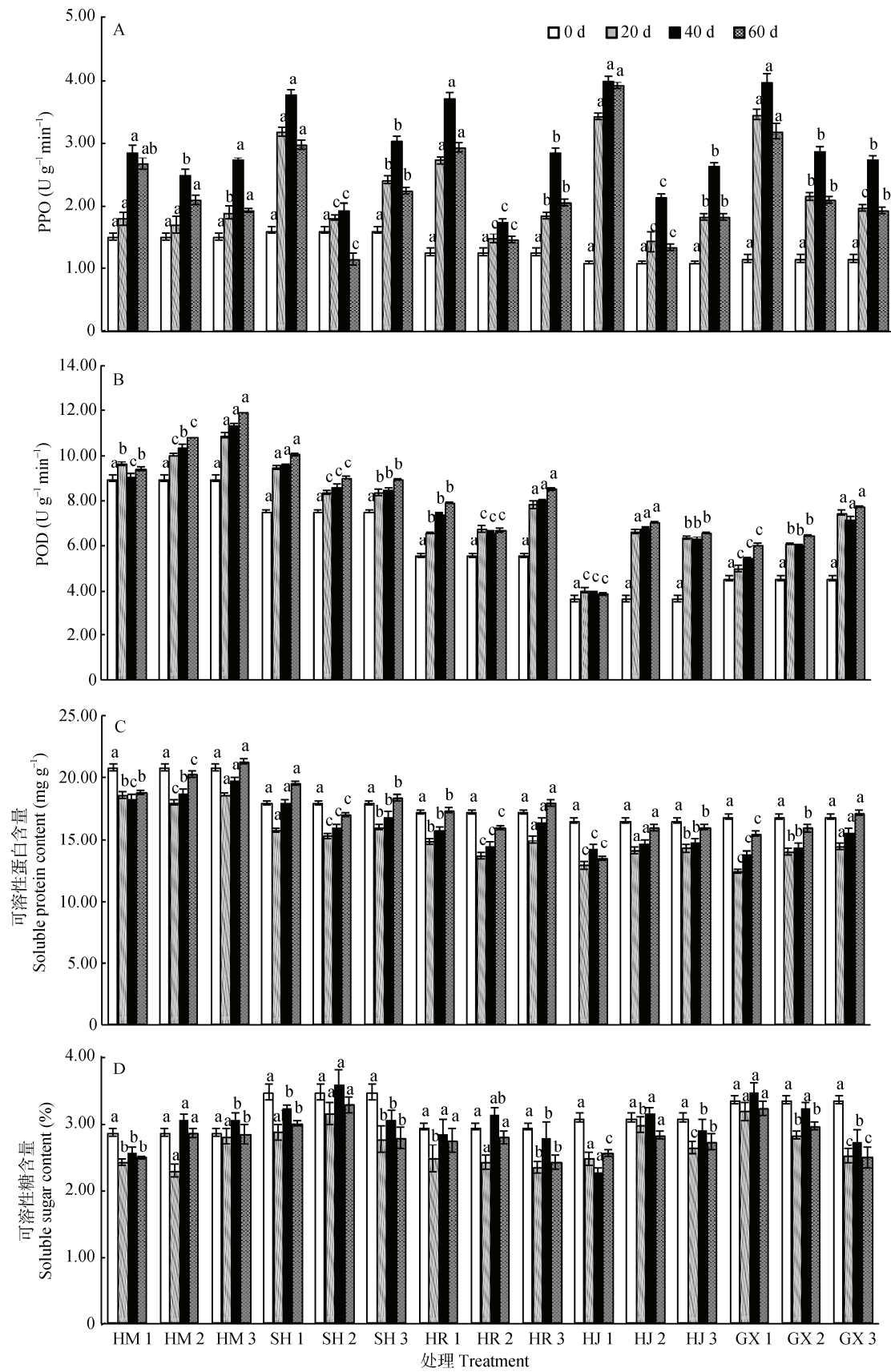


图 2 蜜柚不同砧穗组合愈合时期的生理指标变化

Fig. 2 Dynamic changes in physiological indexes of miyou different rootstock-scion combinations in the process of graft union

表 3 主成分特征值、贡献率及累计贡献率

Table 3 Eigenvalue, contribution rate and accumulative contribution rate of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate (%)	累计贡献率 Accumulative contribution rate (%)
1	5.375	35.832	35.832
2	3.898	25.988	61.820
3	2.551	17.004	78.824
4	1.876	12.505	91.329

表 4 主成分的特征向量

Table 4 Eigenvector of principal components

主成分 Principal component	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
1	0.005	0.286	0.392	0.384	0.317	0.316	0.341	-0.129	-0.087	0.276	0.300	0.306	0.134	0.194	0.232
2	0.189	0.201	0.164	0.181	0.214	0.223	0.235	0.380	0.176	-0.377	-0.345	0.161	0.081	-0.436	-0.388
3	-0.252	-0.336	-0.041	-0.058	0.230	0.259	0.193	0.289	0.505	0.013	0.016	-0.219	-0.404	0.106	0.177
4	-0.441	0.072	-0.052	-0.037	-0.151	-0.086	-0.008	0.357	0.239	0.074	0.120	0.586	0.458	0.028	0.084

表 5 主成分值和综合主成分值

Table 5 Principal component and the comprehensive principal component values

组合 Combination	F_1	F_2	F_3	F_4	得分 Score	排名 Rank
SH 1	2.005	0.143	1.673	1.819	1.388	1
SH 3	2.345	0.801	0.111	-0.375	1.116	2
HM 3	3.585	-2.359	0.730	1.165	1.032	3
HR 1	0.638	1.502	1.997	-0.361	0.999	4
HJ 3	1.197	1.694	0.095	-0.700	0.873	5
GX 1	-1.157	2.832	0.132	2.706	0.745	6
GX 3	1.191	1.125	0.686	-1.249	0.743	7
HR 3	1.772	0.958	0.363	-2.143	0.741	8
SH 2	0.291	-1.021	-2.473	1.982	-0.365	9
HJ 2	-0.136	0.737	-2.547	-0.458	-0.382	10
GX 2	-1.461	0.891	-1.411	0.336	-0.537	11
HM 2	-0.005	-3.393	-0.758	-0.252	-1.141	12
HR 2	-1.845	-0.052	-2.312	-1.638	-1.394	13
HJ 1	-5.998	0.489	2.246	-0.444	-1.857	14
HM 1	-2.423	-4.347	1.469	-0.386	-1.965	15

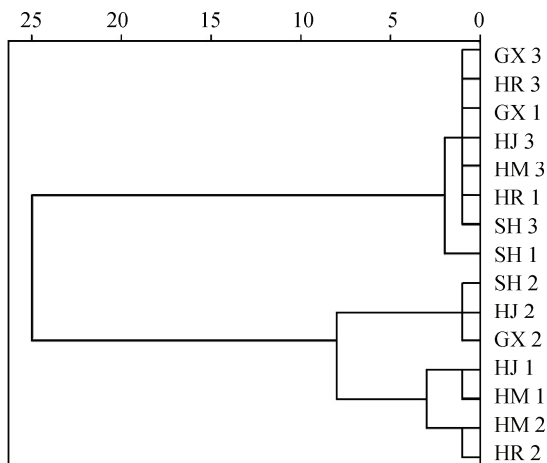


图 3 15 个砧穗组合嫁接亲和性的聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of graft compatibility of 15 rootstock-scion combinations

橙嫁接柑橘类果树时具有根系发达、抗碱、抗寒、耐旱等特点^[5,24-25]有关, 这些特点在川渝山区地区柑橘类发展中具有很大优势, 香橙可能是川渝地区蜜柚嫁接繁育中极具潜力的砧木品种之一, 但还有待完善的数据调查及分析。

从本研究的主成分分析综合模型可以看出, 影响综合 F 值的指标主要为保存率、株高、生长指数、总新梢数、新梢总长度、新梢总叶数、嫁接 20 和 40 d 的 PPO 活性以及嫁接 20 d 的可溶性蛋白含量, 表明苗期嫁接亲和性主要与这些指标相关。第 1 主成分包含了以上重要指标的大部分信息, 但其他重要指标信息仍均匀分布在第 2、3 和 4 主成分中, 主成分携带信息量与其贡献率呈正相关。有时主成分分析结果中可能出现部分主成分指向不太明确、解

释带有模糊性,不像原始变量含义那么确切,如第 2、3 和 4 主成分,但这是变量降维过程中不得不付出的代价,并不影响主成分分析综合评价的利用^[26]。

砧穗间嫁接亲和性是嫁接时需考虑的首要因素。仅利用嫁接成活率或砧穗生理水平的相似程度等^[27-28]来判断嫁接亲和性存在一定局限,目前通过嫁接成活率、保存率、生长情况、结果能力等多指标对嫁接亲和性进行评价是较准确的方法^[19,29-30],但各指标间存在一定相关性,使其提供的信息产生重叠,且各指标在综合评价中的权重不同,若直接利用这些指标来综合评价嫁接亲和性会使结果产生偏差。因此本研究利用主成分分析和聚类分析对蜜柚不同砧穗组合苗期生长势、抽梢情况和愈合时期关键生理指标进行综合分析,在几乎不损失原有信息的前提下,将多个彼此相关的指标转换成新的个数较少且彼此独立的综合指标,对 15 种蜜柚砧穗组合苗期嫁接亲和性进行综合评分并根据综合得分进行聚类分析,为蜜柚苗期嫁接亲和性相关指标筛选及不同蜜柚砧木选择提供了一定理论依据。

参考文献

- [1] HUANG X Z, LU X M, LU X K, et al. Hongroumiyou, a new red fleshed pomelo cultivar [J]. *J Fruit Sci*, 2007, 24(1): 123-124. doi: 10.3969/j.issn.1009-9980.2007.01.030.
黄新忠, 陆修闽, 卢新坤, 等. 早熟优质蜜柚新品种——红肉蜜柚的选育 [J]. *果树学报*, 2007, 24(1): 123-124. doi: 10.3969/j.issn.1009-9980.2007.01.030.
- [2] WU Y. Comparative proteomics analysis of pomelo juice sacs between 'Hongroumiyou' and 'Hongmianmiyou' [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013: 1-71.
伍洋. '红肉蜜柚'与'红绵蜜柚'汁胞差异蛋白质组学研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2013: 1-71.
- [3] LU X K, LIN Q H, LIN Y J, et al. 'Huangjinmiyou', a new orange: Yellow fleshed pomelo cultivar [J]. *J Fruit Sci*, 2013, 30(5): 900-902.
卢新坤, 林旗华, 林燕金, 等. 优特柚类新品种——'黄金蜜柚'的选育 [J]. *果树学报*, 2013, 30(5): 900-902.
- [4] LIN Q H, LIN Y J, LU X K. Huangjinmiyou, a new pomelo cultivar (*Citrus grandis* Osbeck.), indentified based on SRAP and fruit flesh pigment analysis [J]. *Mol Plant Breed*, 2014, 12(6): 1187-1194.
林旗华, 林燕金, 卢新坤. 利用 SRAP 分子标记及果肉汁胞色素分析鉴定柚子新品种黄金蜜柚 [J]. *分子植物育种*, 2014, 12(6): 1187-1194.
- [5] ZHAO X Y. The seedling performance and mechanism of rootstock-scion interaction of 'Yujincheng' orange on three rootstocks [D]. Chongqing: Southwest University, 2011: 1-61. doi: 10.7666/d.y1883117.
赵旭阳. 不同砧木渝津橙幼苗期表现与砧穗互作生理机制 [D]. 重庆: 西南大学, 2011: 1-61. doi: 10.7666/d.y1883117.
- [6] ZHOU K B, XIA R X. The proceedings and tendencies in the study on the choice of rootstocks for citrus in China [J]. *Chin Agri Sci Bull*, 2005, 21(1): 213-218. doi: 10.3969/j.issn.1000-6850.2005.01.062.
周开兵, 夏仁学. 中国柑橘砧木选择研究进展与展望 [J]. *中国农学通报*, 2005, 21(1): 213-218. doi: 10.3969/j.issn.1000-6850.2005.01.062.
- [7] 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 Hort Sin*, 2010, 37(4): 532-538.
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.
- [8] CHUN C P, PENG L Z, LEI T, et al. Effects of rootstocks on fruit quality of 'Jincheng' sweet orange [J]. *Acta Hort Sin*, 2010, 37(6): 991-996.
淳长品, 彭良志, 雷霆, 等. 不同柑橘砧木对锦橙果实品质的影响 [J]. *园艺学报*, 2010, 37(6): 991-996.
- [9] FORNER-GINER M A, RODRIGUEZ-GAMIR J, MARTINEZ-ALCANTARA B, et al. Performance of Navel orange trees grafted onto two new dwarfing rootstocks (Forner-Alcaide 517 and Forner-Alcaide 418) [J]. *Sci Hort*, 2014, 179: 376-387. doi: 10.1016/j.scienta.2014.07.032.
- [10] ZARROUK O, GOGORCENA Y, MORENO M A, et al. Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks [J]. *HortScience*, 2006, 41(6): 1389-1394.
- [11] ZHONG F L, GUO Z X, LI K T, et al. Activity and isozyme of ascorbate peroxidase in pomelo (*Citrus grandis* 'Guanximiyou') during juice sac development and granulation [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2010, 18(1): 27-31. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.01.005.
钟凤林, 郭志雄, 李开拓, 等. 琯溪蜜柚汁胞在发育与粒化过程中 APX 活性变化及其同工酶分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(1): 27-31. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.01.005.
- [12] PAN T F, ZHU X L, PAN D M, et al. Relationship between granulation and lignin metabolism in 'Guanximiyou' pummelo fruit during storage [J]. *J Fruit Sci*, 2013, 30(2): 294-298.
潘腾飞, 朱学亮, 潘东明, 等. '琯溪蜜柚'贮藏期间汁胞粒化与木质素代谢的关系 [J]. *果树学报*, 2013, 30(2): 294-298.
- [13] MUSACCHI S, MASIA A, FACHINELLO J. Variation of some enzymatic activities in relationship to scion/stock compatibility in pear/quince combinations [J]. *Acta Hort*, 2002, 596(61): 389-392. doi: 10.17660/ActaHortic.2002.596.61.
- [14] OLMSTEAD M A, LANG N S, LANG G A, et al. Carbohydrate

- profiles in the graft union of young sweet cherry trees grown on dwarfing and vigorous rootstocks [J]. *Sci Hort*, 2010, 124(1): 78–82. doi: 10.1016/j.scienta.2009.12.022.
- [15] WANG Y, JIN J, LUO Q Y, et al. Comparison of cold resistance among 4 grapevine cultivars [J]. *J Fruit Sci*, 2015, 32(4): 612–619.
王依, 靳娟, 罗强勇, 等. 4个酿酒葡萄品种抗寒性的比较 [J]. *果树学报*, 2015, 32(4): 612–619.
- [16] GONG L Y, MENG X J, LIU N Q, et al. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis [J]. *Trans CSAE*, 2014, 30(13): 276–285. doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.13.034.
公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30(13): 276–285. doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.13.034.
- [17] LIU K P, HUANG C H, LENG J H, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of the fruit quality of ‘Jinkui’ kiwifruit [J]. *J Fruit Sci*, 2012, 29(5): 867–871.
刘科鹏, 黄春辉, 冷建华, 等. ‘金魁’猕猴桃果实品质的主成分分析与综合评价 [J]. *果树学报*, 2012, 29(5): 867–871.
- [18] BAO Z Y, CHEN J Y. Studies on compatible and incompatible stock-scion combinations of yellow camellias [J]. *Acta Hort Sin*, 1991, 18(2): 169–172.
包志毅, 陈俊愉. 金花茶砧穗组合的初步研究 [J]. *园艺学报*, 1991, 18(2): 169–172.
- [19] WANG Y Y, LI B J, ZHOU B Y, et al. The graft compatibility of different rootstock-scion combinations of sweet persimmons [J]. *Acta Hort Sin*, 1996, 23(2): 110–114.
王元裕, 李伯均, 周碧英, 等. 甜柿砧穗组合嫁接亲和性研究 [J]. *园艺学报*, 1996, 23(2): 110–114.
- [20] Shanghai Institute of Plant Physiology of Chinese Academy of Science, Shanghai Society for Plant Physiology. *Modern Experimental Manual of Plant Physiology* [M]. Beijing: Science Press, 1999: 317–318.
中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. *现代植物生理学实验指南* [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 317–318.
- [21] LI H S. *Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 164–165.
李合生. *植物生理生化实验原理和技术* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 164–165.
- [22] ZOU Q. *Experimental Instruction of Plant Physiology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 111–112, 129–130.
邹琦. *植物生理学实验指导* [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 111–112, 129–130.
- [23] XIAO C M, WANG D, FAN Z M, et al. Effect of the content of endogenous hormones on the tree growth of pummelo grafted on different rootstocks [J]. *S China Fruits*, 1998, 27(1): 3–6.
肖慈木, 王丹, 范昭鸣, 等. 不同砧木的梁平柚树体生长与内源激素含量 [J]. *中国南方果树*, 1998, 27(1): 3–6.
- [24] ZHU S P, CHEN J, MA Y Y, et al. Advances in the studies on citrus rootstock evaluation and application [J]. *Acta Hort Sin*, 2013, 40(9): 1669–1678.
朱世平, 陈娇, 马岩岩, 等. 柑橘砧木评价及应用研究进展 [J]. *园艺学报*, 2013, 40(9): 1669–1678.
- [25] LI X Z, LUO Z M, HE S L, et al. The adaptability of ‘Valencia’ orange on different rootstocks to soil pH [J]. *Acta Hort Sin*, 1990, 17(4): 263–269.
李学柱, 罗泽民, 何绍兰, 等. 不同砧木伏令夏橙对土壤 pH 值的适应性 [J]. *园艺学报*, 1990, 17(4): 263–269.
- [26] YANG F X, JIN F, YAN X. Comprehensive evaluation of different strawberry varieties’ tolerance to coldness [J]. *J Fruit Sci*, 2010, 27(3): 368–372.
杨凤翔, 金芳, 颜霞. 不同草莓品种抗寒性综合评价 [J]. *果树学报*, 2010, 27(3): 368–372.
- [27] YANG R. Relationship between the physiological and biochemical substances and the graft affinity of grape rootstock-scion combination [J]. *Acta Agri Boreali-Occid Sin*, 2012, 21(12): 108–111.
杨瑞. 葡萄砧穗组合生理物质变化与嫁接亲和力的关系 [J]. *西北农业学报*, 2012, 21(12): 108–111.
- [28] YAN Y, ZHANG N X, HE C Z, et al. Analysis on the correlation between the grafting affine of different stock and protection of enzyme activity in grapefruit [J]. *North Hort*, 2012(11): 8–11.
严毅, 张南新, 何承忠, 等. 葡萄柚不同砧木嫁接亲和性与保护酶活性相关性分析 [J]. *北方园艺*, 2012(11): 8–11.
- [29] ZHOU K B, GUO W W, XIA R X, et al. Effects of different kinds of rootstocks on the growth of citrus young tree and the carbohydrates contents in leaves [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2005, 13(1): 17–20. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2005.01.004.
周开兵, 郭文武, 夏仁学, 等. 不同砧木对柑橘幼树生长和叶片糖含量的影响 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2005, 13(1): 17–20. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2005.01.004.
- [30] WANG L, ZHANG C X, WANG X L, et al. Studies on scion/rootstock adaptability of sweet cherries (*Prunus avium*) in warm region [J]. *J Fruit Sci*, 2014, 31(S): 139–145.
王磊, 张才喜, 王小龙, 等. 暖地甜樱桃砧穗组合适应性研究 [J]. *果树学报*, 2014, 31(增刊): 139–145.