

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201705011

引文格式: 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  
CAI MY, JIN XL, CHAI YX, et al. Evaluation on compatibility, growth trait and physiology indicators of *Michelia platypetala* grafted on different rootstocks [J]. *Guihaia*, 2018, 38(4):536-544

# 不同砧木阔瓣含笑嫁接苗生长生理及亲和性评价

蔡梦颖, 金晓玲\*, 柴弋霞, 胡曼筠, 罗峰

(中南林业科技大学 风景园林学院, 长沙 410004)

**摘要:**以白玉兰、紫玉兰、乐昌含笑、深山含笑作砧木的阔瓣含笑嫁接苗为材料,通过对嫁接苗生长特性的观测和生理生化指标的动态测定,运用主成分分析和隶属函数法计算亲和性综合指数,评价阔瓣含笑与4种砧木的苗期亲和性。结果表明:以深山含笑和紫玉兰作砧木的嫁接成活率较高(分别为88.33%、83.33%),白玉兰次之(为75%),乐昌含笑较低(为63.3%);砧木对嫁接苗的苗高有较大影响,以深山含笑和紫玉兰的苗高最高,白玉兰次之,乐昌含笑最矮;砧木对嫁接苗叶片数的影响表现为初期存在一定差异,生长后期差异逐渐缩小。在嫁接苗生长过程中,4种砧木嫁接苗的叶绿素含量均呈双峰型变化,类胡萝卜素含量、可溶性蛋白含量、POD活性表现出先上升后下降的趋势,可溶性糖含量总体表现为先下降后上升的趋势。在4种砧木的嫁接苗中,深山含笑、紫玉兰和白玉兰的各项生理指标都相近,而乐昌含笑整个生长期都低于其它3种嫁接苗。从亲和性综合指数来看,深山含笑的亲和性指数最高(为0.518),乐昌含笑的最低(为0.470)。综合分析,认为4种砧木与阔瓣含笑都具有一定的亲和性,其中以深山含笑最好,乐昌含笑最差。

**关键词:**阔瓣含笑, 砧木, 嫁接亲和性, 可溶性糖, 隶属函数法

中图分类号: Q945.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)04-0536-09

## Evaluation on compatibility, growth trait and physiology indicators of *Michelia platypetala* grafted on different rootstocks

CAI Mengying, JIN Xiaoling\*, CHAI Yixia, HU Manjun, LUO Feng

(College of Landscape Architecture, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

**Abstract:** *Michelia platypetala* was taken as scion, seedlings of *Magnolia denudate*, *M. liliflora*, *Michelia chapensis* and *M. maudiae* were taken as rootstock, those four kinds of grafted seedlings were used as experimental materials in this study. Based on the measurement of growth and physiological indexes, we initially evaluated the compatibility between *M. platypetala* and four rootstocks by principal component analysis and subordinate function(SF) method. The results showed that, *M. maudiae* enjoyed the highest survival rate of 88.33%, while the second one was *Magnolia liliflora* with 83.33% survival rate and the third one was *M. denudata* with a survival rate of 75%, and *Michelia chapensis* was the low-

收稿日期: 2017-09-20

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201404710);湖南省科技计划项目(2016NK2162) [Supported by Special Fund for Forest Scientific Research in the Public Welfare(201404710);Sci-Tech Plan Program of Hunan Province(2016NK2162)]。

作者简介: 蔡梦颖(1992-),女,湖南常德人,硕士研究生,主要从事木兰科植物育种研究,(E-mail)970942001@qq.com。

\*通信作者: 金晓玲,教授,博士生导师,主要从事园林植物育种研究,(E-mail)jxl0716@hotmail.com。

est one which was only 63.33%. Rootstock had a great influence on seedling height of grafted seedlings, *M. maudiae* and *Magnolia liliflora* were the highest, *M. denudata* came to the second, *Michelia chapensis* was the shortest one. The effects on the number of leaf showed some differences in the early stage, while the differences narrowed later. During the growth period, the chlorophyll contents of the four grafted seedlings showed the change of two peak types, carotenoid content, soluble protein content, POD and SOD activities were increased at the beginning but decreased later; While the soluble sugar content decreased first and then increased. Among four kinds of rootstocks, all physiological indexes of *Magnolia denudata*, *M. liliflora* and *Michelia maudiae* were similar, while that of *M. chapensis* was at a lower level in whole growth period. From the compatibility index, *M. maudiae* was the highest with 0.518, the lowest one was *M. chapensis* with 0.470. According to the comprehensive analysis, each of four rootstocks had a certain compatibility, among which *M. maudiae* were the best, and *M. chapensis* were the worst.

**Key words:** *Michelia platypetala*, rootstock, graft compatibility, soluble sugar, subordinate function(SF) method

阔瓣含笑 (*Michelia platypetala*) 为木兰科含笑属常绿乔木。具有树形挺拔, 花大芳香, 抗逆性强, 生长速度快等特点, 是优良园林绿化树种(刘玉壶, 1996; 刘国顺等, 2014)。嫁接是木兰科植物主要的无性繁殖方式, 现有研究主要从嫁接成活率和生长指标来判断木兰科植物砧穗亲和性大小(欧斌等, 2014), 嫁接苗生理指标的变化未见报道。影响嫁接成活的因素除了外界环境、嫁接时间与方法、嫁接技术及嫁接后的管理外, 最主要的是砧穗间亲和性大小(King, 2008)。由于木本植物中普遍存在延迟不亲和的现象, 在评价不同砧木与接穗的亲和性时, 不仅要考虑嫁接苗愈合期的生理变化(Francescato et al, 2010; 曹宝臣等, 2016; 杨志坚等, 2013), 更要考虑嫁接苗苗期代谢产物的含量及活性的变化(马攀等, 2015), 后者在现有研究中涉及较少。

本研究通过对阔瓣含笑不同砧木嫁接苗苗期生长特性的观测和生长过程中叶片生理指标动态变化的测定, 阐明砧穗亲和性机理; 比较不同砧木与接穗亲和性的大小, 为阔瓣含笑嫁接砧木的选择提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

接穗: 采自湖南省林业厅示范园 8 年生阔瓣含笑母株, 选取当年生木质化、生长健壮、芽体饱满、无病虫害的枝条, 剪成单芽茎段。砧木: 两年生白

玉兰 (*Magnolia denudata*)、紫玉兰 (*M. liliflora*)、乐昌含笑 (*Michelia chapensis*)、深山含笑 (*M. maudiae*) 实生苗, 购于浏阳柏加花木市场, 均为生产上常用砧木, 具有易获得、抗性强、应用范围广等优点。

### 1.2 方法

2016 年 2 月 18 日, 在中南林业科技大学苗圃采用室外地栽方式种植砧木。2016 年 3 月 3 日, 用枝条切接方法进行嫁接, 4 种砧木, 每种砧木 20 株, 重复 3 次。自 2016 年 6 月 4 日开始进行生长指标测量与生理指标测定。取中偏上部完整成熟叶, 每个嫁接组合选取 9 株长势相当的健康植株作为采样对象。将新鲜叶片带回放入冰箱, 取混合样进行生理指标测定, 每个指标测定重复 3 次。试验每隔 20 d 进行一次, 共 9 次。

成活率: 嫁接 3 个月 后调查嫁接成活率, 嫁接口愈合, 芽眼膨大, 叶片青绿即为成活。

生长指标调查: 采用精度为 1 mm 的刻度尺测定苗高; 叶片数计算以叶片完全展开为准。

生理指标测定: 采用丙酮提取法测定叶绿素和类胡萝卜素含量; 考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量; 葱酮比色法测定可溶性糖含量; 愈创木酚法测定 POD 活性。试验参照李合生(2000)和王学奎(2006)的方法加以改进。

### 1.3 计算公式

参照唐婉等(2012)和汤丹等(2016)的方法, 利用主成分分析法确定各个指标在亲和性研究中的权重大小, 用隶属函数法对亲和性进行综合评

价。所用的公式如下:

$$(1) \text{权重: } D_i = \sum_{j=1}^n (F_{ij} Y_{ij}), W_i = D_i / \sum_{i=1}^n D_i。$$

式中,  $i$  表示某一指标,  $D_i$  表示各指标对亲和性的作用大小,  $F_{ij}$  表示该指标在第  $i$  主成分上的负荷量,  $Y_{ij}$  表示第  $j$  主成分的贡献率,  $W_i$  表示各指标的权重。

(2) 亲和性综合指数:

$$R(X_i) = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})。$$

式中,  $R(X_i)$  代表供试树种在各个时期对应指标的隶属度 [ $0 < R(X_i) < 1$ ];  $X_{max}$ 、 $X_{min}$  分别指供试树种对应指标的最大值和最小值。将各个指标的隶属函数值与权重合成, 7 个指标累加值即为亲和性综合指数。

## 1.4 数据处理

运用 SPSS22.0 软件进行单因素方差分析、相关性分析和主成分分析, Duncan 法进行差异显著性比较, 运用 Microsoft Excel 2007 软件进行隶属函数值计算和图形、表格处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同砧木的嫁接成活率

表 1 显示, 深山含笑作砧木时嫁接成活率最高(为 88.33%), 其次是紫玉兰(为 83.33%), 深山含笑和紫玉兰作砧木时无显著差异。白玉兰作砧木的嫁接成活率为 75%, 与深山含笑存在显著差异但与紫玉兰无显著差异; 乐昌含笑作砧木时成活率较低, 为 63.33%, 与其它 3 种砧木存在显著差异。

表 1 不同砧木嫁接苗成活率

Table 1 Survival rates of grafted seedlings on different stocks

砧木 Rootstock	嫁接数 Grafted number	重复 Replication	成活率 Survival rate (%)
白玉兰 <i>Magnolia denudata</i>	20	3	75.00±5.00b
紫玉兰 <i>M. liliflora</i>	20	3	83.33±5.77ab
乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	20	3	63.33±5.77c
深山含笑 <i>M. maudiae</i>	20	3	88.33±2.89a

注: 不同小写字母表示在 0.05 水平的显著差异。下同。

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

### 2.2 不同砧木嫁接苗生长动态变化

由图 1 可知, 2016 年 6 月 4—25 日, 4 种砧木嫁接苗在前期生长缓慢, 此时不同砧木间嫁接苗苗高已表现出明显差异, 以深山含笑最高, 紫玉兰和白玉兰次之, 乐昌含笑较差。2016 年 6 月 25 日至 2016 年 10 月 7 日, 4 种嫁接苗进入快速生长期; 2016 年 10 月 7 日之后, 4 种砧木嫁接苗生长开始减缓或基本保持不变; 2016 年 11 月 18 日, 以紫玉兰和深山含笑苗高最高(分别为 47.83、46.77 cm), 白玉兰次之(为 39.53 cm), 乐昌含笑较差(为 29.40 cm), 显著低于前 3 种砧木嫁接苗。

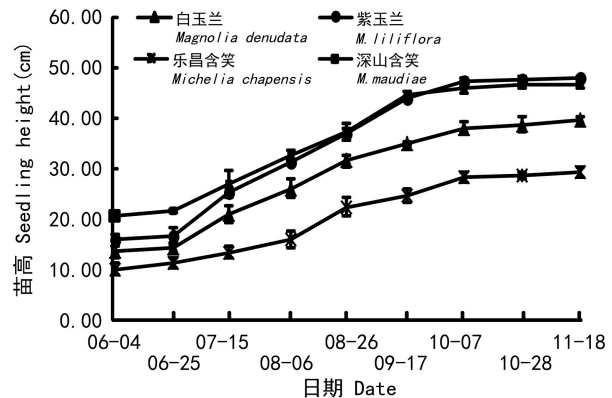


图 1 不同嫁接苗苗高变化

Fig. 1 Changes of seedling heights of grafted seedlings

由图 2 可知, 2016 年 6 月 4 日至 2016 年 7 月 15 日, 4 种砧木嫁接苗的叶片数快速增长, 不同砧木间叶片数差异较大, 以深山含笑较多, 紫玉兰和白玉兰次之, 乐昌含笑较少; 2016 年 7 月 15 日后, 4 种嫁接苗均呈持续缓慢上升趋势, 到 2016 年 11 月 8 日不同砧木叶片数趋于一致, 在 14~15 片之间。

### 2.3 不同砧木嫁接苗生理指标动态变化

2.3.1 光合色素含量的动态变化 由图 3 可知, 不同砧木嫁接苗的叶绿素含量均呈双峰曲线变化。随着嫁接苗的生长, 叶绿素含量在前期持续增加, 2016 年 7 月 15 日达到峰值, 4 种砧木嫁接苗间没有显著差异。2016 年 7 月 15 日后, 受夏季高温少雨气候的影响, 叶绿素含量降低; 2016 年 8 月 6 日至 2016 年 9 月 17 日, 叶绿素含量开始回升, 2016 年 9 月 17 日到达第二个峰值, 随后开始持续下降。

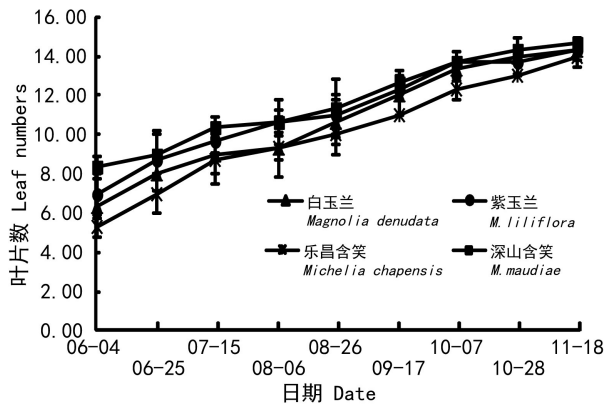


图 2 不同嫁接苗叶片数变化

Fig. 2 Changes of leaf numbers of grafted seedlings

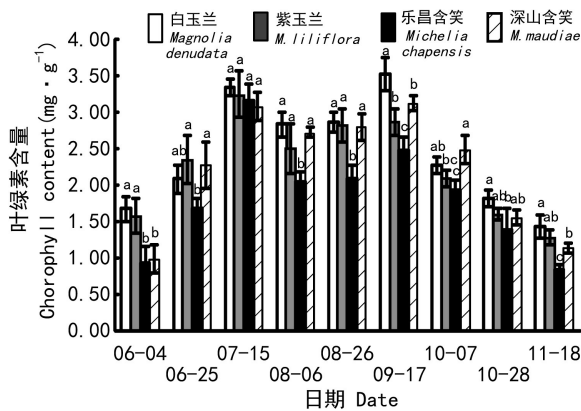


图 3 不同嫁接苗叶绿素含量动态变化

Fig. 3 Changes of chlorophyll contents of grafted seedlings

在下降过程中,乐昌含笑作砧木的嫁接苗叶绿素含量一直处于较低水平,2016年11月18日,乐昌含笑与其它砧木的叶绿素含量存在显著差异。

由图4可知,不同砧木嫁接苗类胡萝卜素含量总体上均呈先上升后下降的变化趋势,但峰值出现的时间不一致。2016年6月4日至2016年8月6日,4种嫁接苗类胡萝卜素含量波动大,以白玉兰为砧木的嫁接苗于2016年6月25日达到最大值,以紫玉兰和深山含笑为砧木的嫁接苗于2016年7月15日达到最大值,有显著差异,以乐昌含笑为砧木的嫁接苗于2016年8月6日达到最大值。2016年8月26日至2016年11月18日,4

种嫁接苗类胡萝卜素含量均趋于平稳,紫玉兰、深山含笑作砧木的嫁接苗类胡萝卜素含量显著高于白玉兰、乐昌含笑。

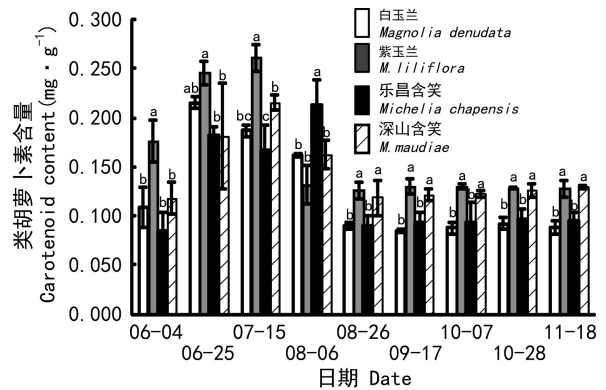


图 4 不同嫁接苗类胡萝卜素含量动态变化

Fig. 4 Changes of carotenoid contents of grafted seedlings

2.3.2 可溶性蛋白含量的动态变化 由图5可知,不同砧木嫁接苗的可溶性蛋白含量均呈先上升后下降趋势。生长前期,4种嫁接苗的可溶性蛋白均呈增长趋势,以白玉兰和紫玉兰为砧木的嫁接苗于2016年7月15日达到最大值,分别为 $3.99$ 、 $5.33 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,具有显著差异;以乐昌含笑和深山含笑为砧木的嫁接苗于2016年8月6日达到最大值,分别为 $3.45$ 、 $3.59 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,无显著差异。随后,4种砧木嫁接苗可溶性糖含量均呈下降趋势,2016年11月18日,白玉兰作砧木的嫁接苗可溶性蛋白含量较低,为 $0.99 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,与其它嫁接苗存在显著差异。

2.3.3 可溶性糖含量的动态变化 由图6可知,4种砧木嫁接苗的可溶性糖含量总体呈先下降后上升的趋势,2016年7月15日达到最小值;2016年7月15日至2016年10月7日,4种嫁接苗可溶性糖含量迅速增加,2016年10月7日后增长速度趋缓,此时,深山含笑作砧木的嫁接苗可溶性糖含量最高,白玉兰和紫玉兰次之,与乐昌含笑和深山含笑有显著差异,乐昌含笑较低,与前3种嫁接苗存在显著差异。

2.3.4 POD活性的动态变化 如图7所示,4种砧木嫁接苗的POD活性均呈先上升后下降的变化趋势。嫁接苗生长前期,POD活性持续增加,2016

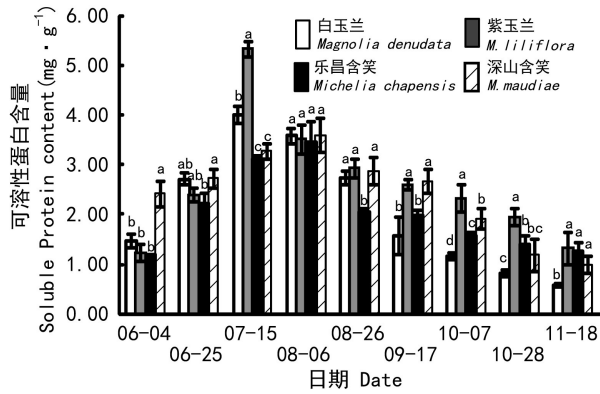


图5 不同嫁接苗可溶性蛋白含量动态变化

Fig. 5 Changes of soluble protein contents of grafted seedlings

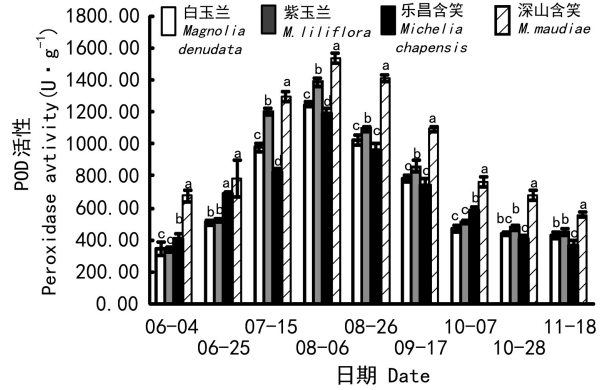


图7 不同嫁接苗 POD 活性动态变化

Fig. 7 Changes of peroxidase activities of grafted seedlings

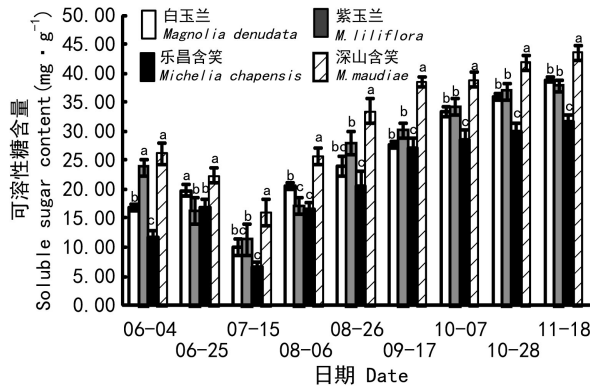


图6 不同嫁接苗可溶性糖含量动态变化

Fig. 6 Changes of soluble protein contents of grafted seedlings

素含量、可溶性蛋白含量与 POD 活性两两间呈极显著正相关,可溶性糖含量与上述 4 个指标均呈极显著负相关。此外,类胡萝卜素与苗高和叶片数均呈极显著负相关,可溶性蛋白含量与苗高呈显著负相关,与叶片数呈极显著负相关。

## 2.5 主成分分析

对 4 种砧木嫁接苗的 7 个指标进行主成分分析,并根据各指标的贡献率确定权重,结果如表 3 和表 4 所示。根据特征值大于 1 的原则,划分为两个主成分,第一主成分贡献率占 52.552%,对其影响较大的指标有叶片数、苗高、可溶性糖含量、类胡萝卜素含量;第二主成分贡献率占 28.285%,对其影响较大的指标有叶绿素含量、类胡萝卜素含量、可溶性蛋白含量和 POD 活性(表 3)。从表 4 可以看出,与嫁接亲和性关系较大的指标为可溶性糖含量、苗高和叶片数,根据相关性分析,这 3 项指标间呈极显著正相关。

## 2.6 亲和性综合评价

单一的指标判断 4 种砧木的嫁接亲和性具有片面性,本研究根据 7 个指标的隶属函数值及所占权重,对各项亲和性指标进行合成,计算出 4 种砧木嫁接阔瓣含笑嫁接亲和性综合指数结果如表 5 所示。从表 5 可以看出,白玉兰、紫玉兰、乐昌含笑、深山含笑作砧木时的综合指数分别为 0.481、0.491、0.470、0.518,4 种砧木间亲和性大小为深山含笑最高,紫玉兰和白玉兰次之,乐昌含笑

年 8 月 6 日达到最大值,此时,深山含笑作砧木的嫁接苗 POD 活性较高,为  $1538.1 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ ,紫玉兰次之,为  $1382.63 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ ,白玉兰和乐昌含笑作砧木时 POD 活性较低,分别为  $979.14$  和  $826.37 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ ,4 种砧木间 POD 均存在显著差异。2016 年 8 月 6 日后,POD 活性均持续降低,2016 年 10 月 7 日后趋于稳定。此时,深山含笑作砧木时 POD 活性最高,紫玉兰和白玉兰次之,乐昌含笑最低。

## 2.4 生长生理指标相关性分析

从表 2 可以看出,苗高与叶片数、苗高与可溶性糖含量,叶片数与可溶性糖含量均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.869、0.846、0.805。叶绿

表 2 不同砧木嫁接亲和性指标相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix of compatibility indexes

指标 Index	叶绿素 Chlorophyll	类胡萝卜素 Carotenoid	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性糖 Soluble sugar	POD Peroxidase	苗高 Seedling height	叶片数 Leaf number
叶绿素 Chlorophyll	1						
类胡萝卜素 Carotenoid	0.311 **	1					
可溶性蛋白 Soluble protein	0.663 **	0.642 **	1				
可溶性糖 Soluble sugar	-0.322 **	-0.509 **	-0.580 **	1			
POD Peroxidase	0.675 **	0.303 **	0.779 **	-0.282 **	1		
苗高 Seedling height	0.03	-0.376 **	-0.244 *	0.846 **	0.02	1	
叶片数 Leaf number	-0.09	-0.411 **	-0.351 **	0.805 **	-0.114	0.869 **	1

注: \*\* 表示 1% 水平的相关, \* 表示 5% 水平的相关。

Note: \*\* indicates the significance at level of 1%, \* indicates the significance at level of 5%.

表 3 不同砧木嫁接亲和性指标特征值及贡献率

Table 3 Eigenvectors and contribution rate of grafting compatibility index of different stocks

特征向量 Eigenvector	第一主成分 The first principal component	第二主成分 The second principal component
特征值 Eigenvalue	3.679	1.98
贡献率 Contribution rate (%)	52.552	28.285
累计贡献率 Accumulative contribution rate (%)	52.552	80.837

最低,这与 4 种砧木的嫁接成活率结果一致。

### 3 讨论

木兰科是园林中极具观赏价值的一类树种,而繁殖困难是阻碍其向市场推广的重要原因。嫁接是木兰科植物最有效的繁殖方式,大量生产实践证明木兰科内不同种属间均存在着一定的亲和性,因此砧木的选择成为影响木兰科嫁接成活率的重要环节。本研究选用白玉兰、紫玉兰、乐昌含笑和深山含笑为砧木,4 种砧木均为园林中常用树种,具有易获得、抗性强、适应范围广等优点。接

表 4 不同砧木嫁接亲和性指标负荷量及权重

Table 4 Load capacities and weights of grafting compatibilities index of different stocks

指标 Index	负荷量 Load capacity		F1×Y1+ F2×Y2	权重 Weight
	1	2		
叶绿素 Chlorophyll	0.000	0.861	0.243 533 85	0.083 111 049
类胡萝卜素 Carotenoid	-0.508	0.501	0.408 672 01	0.139 467 92
可溶性蛋白 Soluble protein	-0.338	0.886	0.428 230 86	0.146 142 789
可溶性糖 Soluble sugar	0.891	-0.323	0.559 598 87	0.190 974 886
POD Peroxidase	-0.002	0.897	0.254 767 49	0.086 944 765
苗高 Seedling height	0.965	0.070	0.526 926 3	0.179 824 684
叶片数 Leaf number	0.931	-0.068	0.508 492 92	0.173 533 906

穗为阔瓣含笑,具有花芳香、花量大、抗性强等优良特性,园林应用前景广阔。探讨不同砧木与阔瓣含笑的嫁接亲和性具有很强的现实指导意义。

砧穗间的亲和性是嫁接时首要考虑因素,而亲和性大小是由植物在发育过程中所形成的遗传、生理生化及生理机能协调程度等差异所决定

表5 不同砧木嫁接苗隶属函数及综合指数分析

Table 5 Analysis on membership function and composite index of different stocks

砧木 Rootstock	白玉兰 <i>Magnolia denudata</i>	紫玉兰 <i>M. liliflora</i>	乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	深山含笑 <i>M. maudiae</i>
叶绿素 Chlorophyll	0.464	0.445	0.414	0.580
类胡萝卜素 Carotenoid	0.311	0.328	0.348	0.318
可溶性蛋白 Soluble protein	0.425	0.362	0.339	0.518
可溶性糖 Soluble sugar	0.545	0.586	0.563	0.606
POD Peroxidase	0.408	0.402	0.394	0.424
苗高 Seedling height	0.587	0.598	0.544	0.588
叶片数 Leaf number	0.531	0.580	0.564	0.524
综合指数 Composite index	0.481	0.491	0.470	0.518
排序 Ranking	3	2	4	1

(严毅等, 2012)。目前通过嫁接成活率、生长情况、生理指标水平进行综合评价是比较准确的方法(龚艳箐等, 2016)。相关性分析表明嫁接苗的苗高、叶片数与类胡萝卜素、可溶性蛋白呈显著负相关, 与可溶性糖呈极显著正相关, 与叶绿素含量和 POD 活性无相关性, 其中苗高和叶片生长与可溶性糖的积累关系最密切。马攀(2015)在甜柿嫁接苗的研究中发现, 植株生长量与叶片中可溶性糖呈极显著正相关, 与叶绿素总量不相关, 与本研究结果一致, 而王克春(2015)在美国山核桃(*Carya illinoensis*)的研究中认为 POD 活性与植株生长量呈负相关, 但影响效果不明显, 与本研究结果相反。通过对所观测的 7 个生长和生理指标进行主成分分析发现, 可溶性糖含量、苗高和叶片数与阔瓣含笑嫁接亲和性关系最大, 可以作为评价阔瓣含笑嫁接亲和性的重要指标。

### 3.1 亲缘关系与嫁接亲和性

亲缘关系是影响嫁接亲和性的主要原因。通过亲缘关系可以预测不同砧木的嫁接苗的生长差

异, 而不同嫁接苗的生长状态及生理水平可以验证砧木与接穗间亲缘关系的远近, 为系统分类提供依据。除鹅掌楸属外, 分类学家们对组成木兰科的其它谱系长期存在争议。研究表明, 含笑属与玉兰亚属果实都为柱状, 花药侧向开裂, 人工杂交亦可形成有活力的杂交种子, 利用 RFLP、*matK*、*ndhF* 序列分析均显示含笑属与玉兰亚属为单系类群, 亲缘关系密切, 与木兰亚属的关系较远(王亚玲等, 2006)。金虹等(1999)的研究发现, 白玉兰与含笑属之间有 5~8 个核苷酸的差异, 而玉兰亚属的种与木兰亚属的种, 其差异是 13~16 个核苷酸数。黄丽峰(2007)也认为木兰科属间的遗传距离系数并不会明显的比属内种间的大。在本研究中, 玉兰亚属的白玉兰、紫玉兰与阔瓣含笑均有较好的亲和性, 与含笑属的砧木间无明显界限。李剑(2013)对 21 种木兰科材料进行 AFLP 聚类分析发现, 阔瓣含笑、深山含笑、乐昌含笑归为一类, 表明三者间亲缘关系较近。韩明跃等(2013)将 31 种木兰科植物叶片的解剖学性状进行聚类分析, 结果表明: 在欧氏距离为 0.34 时, 阔瓣含笑与深山含笑位于第二亚组, 而乐昌含笑和白玉兰分属于第一与第三亚组。本研究结果也表明, 深山含笑与阔瓣含笑的嫁接亲和性最高, 与韩明跃等(2013)的研究结果具有一致性。

### 3.2 成活率、苗高和叶片数与阔瓣含笑嫁接亲和性的关系

郑鑫等(2016)认为嫁接成活率可以作为嫁接组合短期亲和性判断的标准。在本研究中, 以深山含笑、紫玉兰、白玉兰为砧木的阔瓣含笑苗嫁接成活率分别为 88.33%、83.33%、75.00%, 乐昌含笑作砧木嫁接成活率较低, 为 63.33%。白玉兰和紫玉兰作嫁接砧木时, 成活率无显著差异, 与李修鹏等(2002)的研究结果一致。常君等(2016)在对薄壳核桃的研究中发现, 不同砧木嫁接苗苗高表现出显著差异, 本研究中也得出相似结论, 其中, 以深山含笑和紫玉兰的长势最好, 白玉兰次之, 乐昌含笑稍差。不同砧木嫁接苗的叶片数前期表现出一定差异, 到后期砧木间没有明显区别。此外, 4 种砧木的嫁接苗均无叶片黄化、嫁接口畸形肿大的现象发生。

### 3.3 可溶性糖与阔瓣含笑嫁接亲和性的关系

可溶性糖作为能源物质参与愈合过程中, 4 种砧木嫁接苗的可溶性糖含量在生长前期总体呈下降趋势, 与朱晓慧(2014)在无刺花椒上的研究结果一致, 随着伤口愈合, 可溶性糖开始积累, 呈逐渐上升的趋势, 与周开兵等(2004)在脐橙上的研究结果一致。生长后期, 可溶性糖含量增长减缓或基本保持不变, 此时, 嫁接苗向休眠期过渡, 生理活动减弱。4 种砧木的嫁接苗中, 深山含笑的可溶性糖含量在整个生长期都保持在最高水平, 而乐昌含笑一直处于较低水平, 表明深山含笑作砧木的嫁接苗能源储备充足, 生长旺盛。这与成活率和亲和性综合评价的结果一致。

### 3.4 其它指标与阔瓣含笑嫁接亲和性的关系

光合色素是衡量叶片光合性能的重要指标。本研究发现, 随着嫁接苗的生长, 叶绿素与类胡萝卜素含量在生长后期呈下降趋势, 与马攀(2015)在甜柿的研究结果相似。孙华丽等(2013)认为可溶性蛋白的积累有利于细胞分裂, 促进愈伤组织的形成, 故在前期呈增长趋势, 本研究的结果也印证了这一观点。可溶性蛋白的含量在前期呈逐渐上升趋势, 随着伤口愈合开始下降。POD 能有效清除机械损伤产生的过量活性氧(曲云峰等, 2008), 且参与木质素的合成(马绍英等, 2016), 因此, POD 在嫁接苗的生长过程中通常表现为先上升后下降的趋势, 我们的研究也得到了类似的结果。

### 3.5 4 种砧木与阔瓣含笑的嫁接亲和性评价

通过隶属函数法分析, 结合 7 个指标的权重值, 对不同砧木阔瓣含笑嫁接苗苗期的亲和性进行评价, 结果表明: 深山含笑与阔瓣含笑的亲和性最高, 紫玉兰和白玉兰次之, 乐昌含笑较低, 与成活率调查结果一致。综合分析认为, 4 种砧木与阔瓣含笑都具有一定亲和性, 其中深山含笑是阔瓣含笑较为理想的嫁接砧木, 而乐昌含笑与其它 3 种砧木相比较差。

### 参考文献:

CHANG J, YAO XH, SHAO WZ, et al, 2016. Effect of

different *Carya illinoensis* on grafting survival rate and growth indexes [J]. J Centr S Univ For Technol, 36(2): 56-60. [常君, 姚小华, 邵慰忠, 等, 2016. 薄壳山核桃不同砧木对嫁接成活率及生长指标的影响 [J]. 中南林业科技大学学报, 36(2): 56-60.]

CAO BC, LI S, MA SY, et al, 2016. The difference analysis of photosynthetic characteristics of grape *in vitro* grafting plantlets [J]. Mol Plant Breed, 14(7): 1841-1846. [曹宝臣, 李胜, 马绍英, 等, 2016. 葡萄离体嫁接试管苗的光合特性差异性分析 [J]. 分子植物育种, 14(7): 1841-1846.]

CHEN WL, ZENG QW, 1998. Propagation of Magnoliaceae plants by grafting [J]. J Trop Subtrop Bot, 6(1): 68-74. [陈万利, 曾庆文, 1998. 木兰科植物的嫁接繁殖 [J]. 热带亚热带植物学报, 6(1): 68-74.]

FRANCESCATTO P, PAZZIN D, GAZOLLA NETO A, et al, 2010. Evaluation of graft compatibility between quince rootstocks and pear scions [J]. Acta Hort, 872: 253-260.

GONG YJ, QI YH, FU XK, et al, 2016. Graft compatibility evaluation of different rootstock-scion combinations of honey pomelo at seedling stage [J]. J Trop Subtrop Bot, 24(3): 287-295. [龚艳箐, 祁有恒, 伏晓科, 等, 2016. 蜜柚不同砧穗组合苗期嫁接亲和性评价 [J]. 热带亚热带植物学报, 24(3): 287-295.]

HAN MY, WU T, SIMA YK, et al, 2013. The leaf anatomical characteristics in *Michelia* Linn. and their cluster analysis [J]. J W Chin For Sci, 42(5): 13-23. [韩明跃, 吴涛, 司马永康, 等, 2013. 含笑属植物叶片的解剖学特征及其聚类分析 [J]. 西部林业科学, 42(5): 13-23.]

HUANG LF, 2007. RAPD and ISSR analysis of 20 species in 6 genera from Magnoliaceae [D]. Fuzhou: Fujian Normal University. [黄丽峰, 2007. 木兰科 6 属 20 种植物的 RAPD 和 ISSR 分析 [D]. 福州: 福建师范大学.]

JIN H, SHI SH, PAN HC, et al, 1999. Phylogenetic relationships between *Michelia* (Magnoliaceae) and its related genera based on the *matK* gene sequence [J]. Acta Sci Nat Univ Sunyatseni, 38(1): 93-97. [金虹, 施苏华, 潘恒昶, 等, 1999. 含笑亚族及其近缘植物 *matK* 基因序列分析 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 38(1): 93-97.]

KIM S, PARK CW, KIM YD, et al, 2001. Phylogenetic relationships in family Magnoliaceae inferred from *ndhF* sequences [J]. Am J Bot, 62(88): 717-728.

KING SR, 2008. Grafting for disease resistance [J]. Hortic Publ Am Soc Hortic Sci, 43(6): 1673-1676.

LI J, 2013. Analysis of genetic diversity of 21 kinds of Magnoliaceae evergreen plants [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University. [李剑, 2013. 21 种木兰科常绿植物的遗传多样性分析 [D]. 郑州: 河南农业大学.]

LI HS, 2012. Modern plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press. [李合生, 2012. 现代植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社.]

LI XP, YU CY, DONG HZ, et al, 2002. Study on vegetative propagation of Magnoliaceae plants [J]. J For Eng, 16(3):



- 40-42. [李修鹏, 俞慈英, 董韩忠, 等, 2002. 木兰科植物无性繁殖研究 [J]. 林业工程学报, 16(3): 40-42.]
- LIU YH, 1996. Flora of China [M]. Beijing: Science Press, 126-141. [刘玉壶, 1996. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 30: 126-141.]
- LIU GS, YUE HF, ZHAO QT, et al, 2014. Study on the introduction breeding of *Michelia platyptala* [J]. J Anhui Agric Sci, 42(20): 6752-6753. [刘国顺, 岳华峰, 赵庆涛, 等, 2014. 阔瓣含笑引种选育研究 [J]. 安徽农业科学, 42(20): 6752-6753.]
- MA P, 2015. Study on affinity physiological mechanisms of grafted persimmon of different stocks [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry. [马攀, 2015. 不同砧木嫁接甜柿亲和性生理机制研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院.]
- MA P, GONG BC, JIANG XB, et al, 2015. Evaluation on affinity growth trait and physiology indicators of Persimmon grafted on different stocks [J]. For Res, 28(4): 518-523. [马攀, 龚榜初, 江锡兵, 等, 2015. 不同砧木嫁接甜柿苗期生长生理特性及亲和性评价 [J]. 林业科学研究, 28(4): 518-523.]
- MA SY, LIU YW, SU LW, et al, 2016. Physiological and biochemical changes in the graft site after *in vitro* grafting in grape [J]. J Fruit Sci, 33(2): 179-186. [马绍英, 刘元卫, 苏李维, 等, 2016. 葡萄离体嫁接部位的生理生化变化 [J]. 果树学报, 33(2): 179-186.]
- OU B, XIE ZC, WANG LY, et al, 2014. Effects of different rootstock types and diameter-level on high-point grafting for *Michelia crassipes*'s scion [J]. Jiangxi For Sci Technol, 42(3): 5-8. [欧斌, 谢再成, 王兰英, 等, 2014. 不同砧木类型与径级对高位嫁接紫花含笑接穗的影响研究 [J]. 江西林业科技, 42(3): 5-8.]
- QU YF, ZHANG Z, ZHANG XP, 2008. The content changes of several biochemistry substances of grafted armeniaca surviving [J]. J NW A & F Univ (Nat Sci Ed), 36(5): 73-78. [曲云峰, 赵忠, 张小鹏, 2008. 大扁杏嫁接愈合过程中几种生化物质含量的变化 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 36(5): 73-78.]
- SUN HL, SONG JK, LI DL, et al, 2013. Study on the physiological dynamic pear during the change of different graft combinations in grafted healing process [J]. N Hortic, 40(16): 25-29. [孙华丽, 宋健坤, 李鼎立, 等, 2013. 梨不同嫁接组合嫁接愈合过程中生理动态变化研究 [J]. 北方园艺, 40(16): 25-29.]
- TANG W, HU X, XU W, et al, 2012. Assessing the cold resistance of several crape myrtle (*Lagerstroemia* L.) species and cultivars [J]. Acta Agric Boreal-Occident Sin, 21(9): 121-126. [唐婉, 胡杏, 徐婉, 等, 2012. 几种紫薇属植物的抗寒性评价 [J]. 西北农业学报, 21(9): 121-126.]
- TANG D, GONG BC, JIANG XB, et al, 2016. Effects of different scions on rootstock root system in persimmon [J]. For Res, 29(1): 85-92. [汤丹, 龚榜初, 江锡兵, 等, 2016. 不同甜柿砧穗组合根系差异性研究 [J]. 林业科学研究, 29(1): 85-92.]
- WANG KC, 2015. Comparative study on the growth of pecan grafted seedlings with different type of rootstocks [D]. Nanjing: Nanjing Forest University. [王克春, 2015. 美国山核桃不同类型砧木及其嫁接苗特性比较研究 [D]. 南京: 南京林业大学.]
- WANG XK, 2006. Principle and technology of plant physiology and biochemistry experiment. [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press. [王学奎, 2006. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社.]
- WANG YL, LI Y, ZHANG SZ, et al, 2006. The utility of *matK* gene in the phylogenetic analysis of the genus *Magnolia* [J]. Acta Phytotax Sin, 44(2): 135-147. [王亚玲, 李勇, 张寿洲, 等, 2006. 用 *matK* 序列分析探讨木兰属植物的系统发育关系 [J]. 植物分类学报, 44(2): 135-147.]
- WEBSTER AD, 1995. Rootstock and interstock effects on deciduous fruit tree vigour, precocity, and yield productivity [J]. N Z J Crop Hortic Sci, 23(4): 373-382.
- YAN Y, LI ZX, ZHANG NX, et al, 2012. Grafting affinity of different rootstock and scion combinations in grapefruit [J]. Nonwood For Res, 30(1): 103-107. [严毅, 李贤忠, 张南新, 等, 2012. 葡萄柚不同砧穗组合的嫁接亲和性 [J]. 经济林研究, 30(1): 103-107.]
- YANG ZJ, FENG JL, CHEN H, 2013. Study on the anatomical structures in development of the nurse seed grafted union of *Camellia oleifera* [J]. Plant Sci J, 31(3): 313-320. [杨志坚, 冯金玲, 陈辉, 2013. 油茶芽苗砧嫁接接口愈合过程解剖学研究 [J]. 植物科学学报, 31(3): 313-320.]
- ZHENG X, LI SZ, WANG Y, et al, 2016. Preliminary exploration apple on graft compatibility between bramley and different rootstocks [J]. J Henan Agric Sci, 45(11): 96-99. [郑鑫, 李首正, 王燕, 等, 2016. 绿宝苹果与不同砧木嫁接亲和性初探 [J]. 河南农业科学, 45(11): 96-99.]
- ZHOU KB, GUO WW, XIA RX, et al, 2005. Influence of two kinds of hybrid rootstocks on the growth and biochemical characters of young trees for navel orange [J]. Subtrop Plant Sci, 34(4): 25-27. [周开兵, 郭文武, 夏仁学, 等, 2005. 两类柑橘杂种砧木对脐橙幼树生长及若干生理生化指标的影响 [J]. 亚热带植物科学, 34(4): 25-27.]
- ZHU XH, 2014. The study of *Zanthoxylum bungeaum* grafting compatibility [D]. Yangling: Northwest A & F University. [朱晓慧, 2014. 无刺花椒嫁接及其亲和性研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学.]