

油橄榄耐酸砧木品种及其高成活率嫁接组合筛选

牛二利¹, 吴文俊², 王伟¹, 李雪¹, 朱申龙¹

(1. 浙江省农业科学院, 浙江 杭州 310021; 2. 甘肃省林业科学研究院, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 选择适宜在酸性土壤种植的嫁接组合是油橄榄 *Olea europaea* 在我国南方进一步发展的重要前提。本研究对 15 个油橄榄品种进行了耐酸性评价, 并以耐酸性和生根力强的品种为砧木筛选成活率高的嫁接组合。结果显示, ‘峥云’和‘中榄’在酸胁迫下根部生长(水培)、成活率、苗高生长量(盆栽)俱佳, 扦插生根率高; 以‘峥云’和‘中榄’为砧木分别嫁接 6 个油橄榄品种接穗, 发现‘费切罗’和‘豆果’以‘峥云’为砧木、‘塔吉’‘佛选’和‘尼 I’以‘中榄’为砧木、‘佛奥’以‘峥云’或‘中榄’为砧木的嫁接成活率较高, 适宜在我国南方红壤区推广栽植。进一步研究显示, 以‘峥云’和‘中榄’为砧木嫁接后, 接穗高度、叶长、叶宽及节间距减小, 且以‘中榄’嫁接后减小幅度更大。‘佛选’/‘中榄’、‘豆果’/‘中榄’和‘尼 I’/‘中榄’3 个组合的嫁接苗接穗上叶片的气孔导度和蒸腾速率显著下降、水分利用率提高。本研究为我国南方酸性土壤发展油橄榄生产提供了重要参考。

关键词: 油橄榄; 品种; 耐酸性; 嫁接组合; 嫁接效应

中图分类号: S723.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776(2022)01-0007-09

Selection of Acid-tolerant Rootstocks and Grafting Combinations of *Olea europaea* Cultivars

NIU Er-li¹, WU Wen-jun², WANG Wei¹, LI Xue¹, ZHU Shen-long¹

(1. Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 2. Gansu Academy of Forestry, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Experiments were conducted on acid tolerance and rooting capacity of 15 cultivars of *Olea europaea*, such as *O. europaea* ‘Arbequina’, *O. europaea* ‘Chenggu 32’, etc. in Hangzhou, Zhejiang province. The result demonstrated that *O. europaea* ‘Zhengyun’ and *O. europaea* ‘Zhonglan’ showed better root growth (hydroponics), high survival rate, seedling growth rate (pot culture) and rooting rate under acid stress. Using ‘Zhengyun’ and ‘Zhonglan’ as rootstocks, six other cultivars were grafted respectively. The test showed that ‘Fecciaro’ and ‘Arbequina’ with ‘Zhengyun’ as rootstock, ‘Taggiasca’, ‘Frantoio selezione’ and ‘Nichiskii I’ using ‘Zhonglan’ as rootstock, ‘Frantoio’ using ‘Zhenyun’ or ‘Zhonglan’ had higher survival rate. Further experiments showed that after grafted with ‘Zhengyun’ and/or ‘Zhonglan’ as rootstocks, the scion height, leaf size and internodal length were lower, especially grafting combination with ‘Zhonglan’ as rootstock. ‘Frantoio selezione’/‘Zhonglan’, ‘Arbequina’/‘Zhonglan’ and ‘Nichiskii I’/‘Zhonglan’ had reduced stomatal conductance and transpiration rate, and increased water use efficiency.

Key words: *Olea europaea*; cultivars; acid-tolerant; grafting combinations; grafting effects

油橄榄 *Olea europaea* 学名木樨榄, 为木犀科 Oleaceae 木犀榄属 *Olea* 常绿小乔木, 是世界著名的果、油兼用经济林木, 与油茶 *Camellia oleifera*、油棕 *Elaeis guineensis* 和椰子 *Cocos nucifera* 并称为世界四大木本油料树种^[1-2]。新鲜的油橄榄果实经低温冷榨方式获取的橄榄油, 富含单不饱和脂肪酸和抗氧化物等多种生物活性物质,

收稿日期: 2021-08-13; 修回日期: 2021-11-16

基金项目: 浙江省重点研发计划(2021C02002); 国家重点研发计划(2019YFD1001205)

作者简介: 牛二利, 博士, 助理研究员, 从事油橄榄分子育种等工作; E-mail: niuerli@zaas.ac.cn。通信作者: 朱申龙, 研究员, 从事油橄榄良种选育及栽培等研究; E-mail: zhushi@zaas.ac.cn。

具有重要的营养和医疗保健作用,深受消费者青睐^[3-5]。目前,除西班牙、意大利和希腊等传统栽培国外,世界上已有 40 多个国家开始推广油橄榄^[6-7]。中国于 1964 年开始大规模引进油橄榄,主要分布在甘肃、四川、云南等地^[8-10]。据统计,当前全国橄榄油生产量约为国内橄榄油消费总量的 10%,自主产能严重不足^[11]。

油橄榄具有喜温、喜光、耐旱、耐瘠和抗风等特性,适宜在我国南方低丘缓坡上推广种植^[6,12-13]。然而,我国南方多为酸性红壤,与油橄榄主产区中性偏碱的土壤条件存在差异,多数国际主栽品种对我国的环境呈现一定的不适应性,发根少、叶片寿命短等现象普遍存在,大大阻碍了油橄榄在我国的进一步推广^[14]。油橄榄品种共有 2 000 余个,其中主要栽培种有 320 个^[10-11],但酸性胁迫是其引种我国后遇到的新问题,相关研究甚少,生产上暂采用深施石灰的方法改良土壤酸碱度^[12],但鉴于投资成本、生产效益和生态等的可持续问题,筛选耐酸性强的优良品种是最经济有效的解决方案。

目前,油橄榄采用的育苗方式有扦插、嫁接和种子繁殖等。其中,扦插繁殖是主要方式^[12],对于产量高、品质好但营养生长状况不佳的品种则多采用嫁接繁殖的方式,既可以缩短开花结果周期,又可以解决抗性差的问题^[15]。目前,意大利、西班牙和阿根廷等国使用同一品种的实生苗嫁接无性系来繁殖苗木,大大提高了接穗的适应性,使油橄榄种植面积迅速扩大^[16]。我国的育种专家们也对油橄榄有效砧木的选择进行了一系列的探索。研究发现,相较于白蜡 *Fraxinus chinensls*、小叶女贞 *Ligustrum quihoui* 等,以‘佛奥’ *O. europaea* ‘Frantoio’和锈鳞木犀榄 *O. europaea* subsp. *cuspidata* 为砧木的嫁接方式,其苗木的成活率和生长状况都较好^[17-21]。同时,一些无性系砧木如‘城固 31’‘城固 32’‘九峰 1’‘九峰 4’等因对当地的环境条件适应性好、嫁接成活率高,已成为甘肃、四川等地嫁接砧木的主要品种^[12]。进一步研究表明,油橄榄与木犀科非木犀榄属植物间嫁接多数不亲和,与木犀榄属非油橄榄种间嫁接虽成活率高,但常出现砧木、接穗生长速度不一致的现象,而油橄榄品种间嫁接则具有较好的应用价值^[12]。由此,本研究对引进的 15 个油橄榄品种进行了耐酸性筛选,并通过不同嫁接组合比较试验,选择成活率高的嫁接组合进行大田试验,以期油橄榄在我国南方红壤区的进一步繁育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究以 15 个油橄榄品种为耐酸性试验材料(表 1),分别为‘豆果’ *O. europaea* ‘Arbequina’、‘城固 32’ *O. europaea* ‘Chenggu32’、‘科拉蒂’ *O. europaea* ‘Coratina’、‘费切罗’ *O. europaea* ‘Fecciaro’、‘佛奥’、‘佛选’ *O. europaea* ‘Frantoio selezione’、‘I79’ *O. europaea* ‘I79’、‘柯基’ *O. europaea* ‘Koroneiki’、‘莱星’ *O. europaea* ‘Leccino’、‘尼 I’ *O. europaea* ‘Nichiskii I’、‘贝·诺切拉’ *O. europaea* ‘Nocellara del belice’、‘诺洽兰’ *O. europaea* ‘Nociara’、‘塔吉’ *O. europaea* ‘Taggiasca’、‘峥云’ *O. europaea* ‘Zen’、‘中榄’ *O. europaea* ‘Zhonglan’,其中,‘科拉蒂’‘费切罗’‘佛奥’‘佛选’‘I79’‘莱星’‘贝·诺切拉’‘诺洽兰’‘塔吉’和‘峥云’来源于意大利,‘城固 32’和‘中榄’来源于中国,‘豆果’‘柯基’和‘尼 I’分别来源于西班牙、希腊和阿塞拜疆。所试材料均保存于浙江省农业科学院油橄榄种质资源圃(杭州)内,树龄为 5~6 年,营养状况良好。

表 1 油橄榄耐酸性试验品种及其来源
Table 1 Cultivars and provenance of tested *O. europaea*

品种名称	来源	品种名称	来源	品种名称	来源
‘豆果’	西班牙	‘佛选’	意大利	‘贝·诺切拉’	意大利
‘城固 32’	中国	‘I79’	意大利	‘诺洽兰’	意大利
‘科拉蒂’	意大利	‘柯基’	希腊	‘塔吉’	意大利
‘费切罗’	意大利	‘莱星’	意大利	‘峥云’	意大利
‘佛奥’	意大利	‘尼 I’	阿塞拜疆	‘中榄’	中国

1.2 品种扦插生根率比较和耐酸性鉴定

1.2.1 扦插方法与生根率统计 品种扦插生根率和耐酸性鉴定均在浙江省农业科学院油橄榄种质资源圃(杭州)完成。2012年11月下旬,选取各品种母树上径粗为0.2~0.4 cm的一年生半木质化枝条,剪成长度为8~10 cm的枝段作为插条,苗床基质为珍珠岩,在扦插前2~3 d用0.3%的高锰酸钾消毒,苗床设置在大棚中,单个苗床再用薄膜小拱棚覆盖以提高苗床的温度。各品种总扦插苗数量为500~1 000株。3个月后,统计各品种的生根苗数量,并按下式计算生根率:生根率=生根苗数量/总扦插苗数量×100%。

1.2.2 耐酸性水培试验鉴定 次年4月上旬,选择各品种根系长度为2~3 cm的扦插苗30株,移至pH为5.0的营养液(表2)中进行水培试验,并加入浓度为50 μmol·L⁻¹铝离子以鉴定不同品种的耐酸性。试验在26°C的恒温光照培养室(16 h光照、8 h黑暗)中进行,每周更换一次营养液,培养1个月后测定各品种的新生根长。其中,水培营养液在霍格兰营养液的基础上稍作修改^[22],见表2,并用NaOH或者HCl调节pH值。

表2 营养液组成成分
Table 2 Composition of nutrient solution

组分	含量/(mg·L ⁻¹)	组分	含量/(mg·L ⁻¹)	组分	含量/(mg·L ⁻¹)
(NH ₄) ₂ SO ₄	48.20	KNO ₃	18.50	Fe-citrate·5H ₂ O	6.80
MgSO ₄ ·7H ₂ O	154.88	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	86.17	MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.90
K ₂ SO ₄	15.90	KH ₂ PO ₄	24.80	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.11
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.04	HBO ₃	2.90	H ₂ MoO ₄	0.01

1.2.3 耐酸性盆栽试验鉴定 6月下旬,待扦插苗长出2片新叶后,选择各品种生长一致的扦插苗30株移至营养钵进行盆栽试验。试验在大棚中进行,于每日10:00—15:00进行通风和遮阴,每周浇水1~2次。其中,营养钵为塑料材质,高15 cm、口径10 cm,每盆装自然土约400 g,自然土取自浙江省武义县,实测土壤pH=3.9。3个月后,测定各品种的成活率及苗高,按下式计算苗高相对生长量:苗高相对生长量 = 最终平均苗高 - 初始平均苗高。

1.3 嫁接试验和性状调查

1.3.1 嫁接亲和力比较 2014年3月,以‘峥云’和‘中榄’为砧木,以‘费切罗’‘佛选’‘塔吉’‘佛奥’‘豆果’和‘尼I’6个品种为接穗,在浙江省农业科学院油橄榄种质资源圃(杭州)以嵌芽接方式完成各种组合的嫁接。砧木为2年生扦插苗,扦插前统一截干至高20 cm,接穗剪自各品种母树一年生枝条,长度为2~3 cm,保留2个芽,每个砧木嫁接1个接穗,每个组合嫁接30~100株。3个月后,统计嫁接成活率,并测量接穗高。

1.3.2 接穗叶片和光合分析 2016年3月,将嫁接苗移栽至田间,以同龄扦插苗为对照进行不同嫁接组合的比较试验。其中,‘佛选’/‘峥云’、‘佛奥’/‘峥云’、‘佛选’/‘中榄’、‘佛奥’/‘中榄’(接穗/砧木)4个嫁接组合移栽至杭州市淳安县试验基地,该地位于浙江省西部,为中低山脉,紫色土壤,排水良好,肥力中等,酸性强(pH=5.0~5.3)。「豆果」/「中榄」、「尼I」/「中榄」2个嫁接组合移栽至丽水市松阳县试验基地,该地位于浙江省西南部山区,试验地自北向南呈缓坡下降,排水良好,土壤为黄筋泥,肥力差,酸性强(pH=4.3~4.5)。

相关指标的测定:(1)光合作用相关指标和叶绿素含量测定。2018年9月,选择晴朗天气的10:00—12:00,对各嫁接苗及其对照(接穗苗,下同)叶片的光合作用相关指标和叶绿素含量进行测定。利用LI6400光合仪(LI-COR,美国)和叶绿素计SPAD-502Plus(柯尼卡美能达,中国)测定植物叶片的光合作用相关指标和叶绿素含量,每个组合和对照品种固定3株生长正常样株,从每个样株的向阳面中随机选取一年生枝条5个,再从每个选好的枝条中上部选取3片完全功能叶片进行测定。(2)叶面积和叶片鲜质量测定。采用超薄平台式扫描仪LED InDirect Exposure 110(佳能,香港)和电子天平分别测定叶面积和叶片鲜质量,每个组合测定3株样树,从每个样株的向阳面中随机选取一年生枝条2个,再从每个选好的枝条中上部选取10片完全功能叶片进行测定。(3)节间距测定。从每个组合中选取3株样树,从每株样树的向阳面选取当年新枝5个,再从每个枝条的中上部随机选取5个节间进行测定。

1.4 数据处理和分析

数据统计及显著性分析采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 13.0 进行, 方差分析采用单因素分析法。

2 结果与分析

2.1 油橄榄耐酸砧木品种筛选

2.1.1 品种扦插生根力评价 由 15 个油橄榄品种嫩枝扦插 3 个月后的生根情况表明 (图 1), 15 个品种的扦插生根率均介于 22.5% ~ 95.1%, 平均为 65.1%。其中, ‘中榄’和‘尼 I’的生根力较强, 其生根率分别达 95.1%和 94.7%, 属极易繁殖品种; ‘佛奥’‘I79’‘豆果’‘峥云’‘塔吉’‘莱星’和‘贝·诺切拉’的生根率介于 60.4% ~ 88.7%, 为容易繁殖品种; 生根力较差的品种为‘诺洽兰’‘柯基’‘费切罗’‘佛选’和‘城固 32’, 其生根率平均为 43.9%, 为不易繁殖品种, ‘科拉蒂’的生根力差, 其生根率仅为 22.5%, 为极难繁殖品种。

2.1.2 品种耐酸性评价 为了选择适应南方酸性土壤种植的油橄榄砧木品种, 对各品种进行耐酸性水培试验。由图 2 表明, 培养 1 个月后, 各参试品种的成活率均为 100%, 新生根总长介于 12.69 ~ 31.22 cm, 平均为 19.03 cm。其中, ‘中榄’的新生根总长最长, 为 31.22 cm, 极显著高于其他品种的 (P<0.01), 显示出对酸铝培养液较强的适应性; 其次为‘城固 32’‘峥云’‘塔吉’和‘佛奥’, 其新生根总长分别为 22.07、21.80、21.74 和 21.24 cm; ‘柯基’的新生根总长仅为 12.69 cm, 居所有参试品种的末位。

同时, 以酸性土壤 (pH=3.9) 对上述 15 个品种进行盆栽试验, 培育 3 个月后 (图 3), 发现各品种的成活率为 56.7% ~ 100%, 平均为 89.8%。其中, ‘中榄’‘峥云’‘莱星’和‘诺洽兰’的成活率均达 100%, 而‘佛选’‘塔吉’和‘佛奥’的成活率都低于 80%, 平均为 67.5%, 其余品种的成活率介于 82.1% ~ 96.7%。各参试品种的苗高相对生长量平均为 7.21 cm (1.97 ~ 15.38 cm), 其中‘中榄’的苗高相对生长量最大, 为 15.38 cm, ‘塔吉’‘佛奥’‘佛选’和‘柯基’的苗高相对生长量较小, 介于 1.97 ~ 4.03 cm, 其余品种的

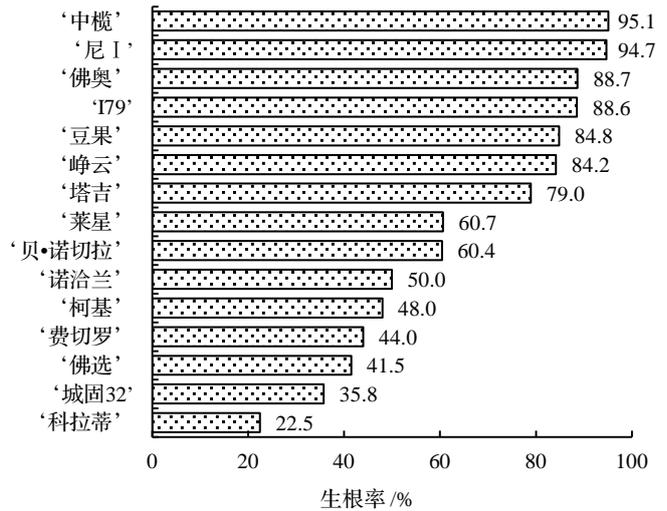
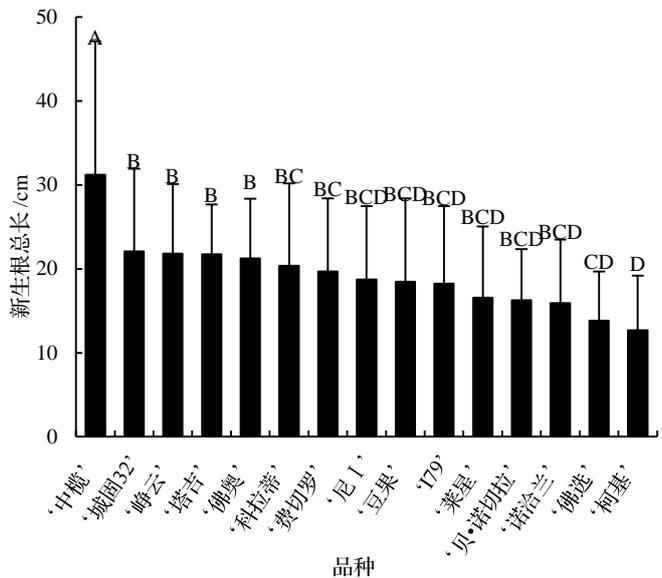


图 1 不同油橄榄品种生根率比较

Figure 1 Rooting rate of different cultivars



注: 不同字母表示品种间新生根总长差异极显著 (P<0.01)。

图 2 不同油橄榄品种酸性营养液培养 1 个月后新生根比较

Figure 2 New roots of different cultivars after 1-month cultivation in acidic nutrient solution

苗高相对生长量为中等, 其苗高相对生长量平均为 8.10 cm。

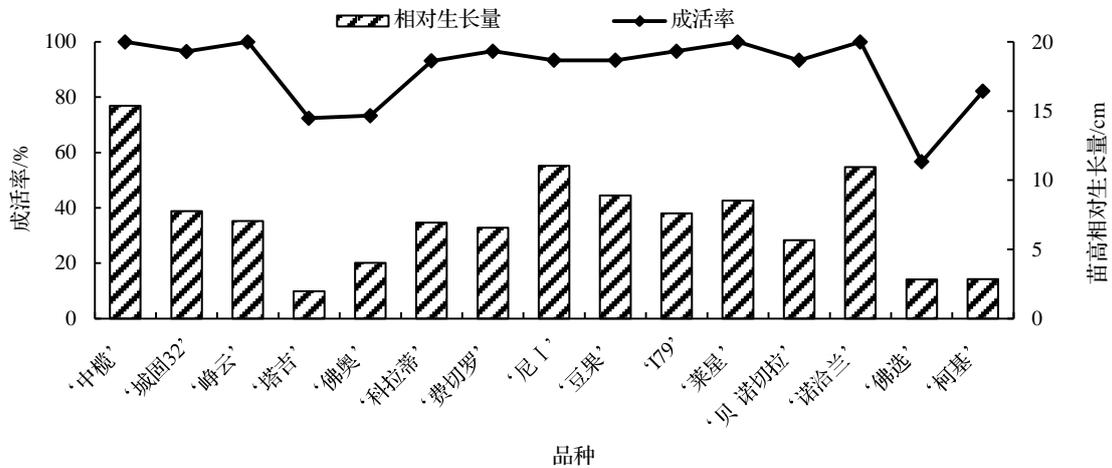


图3 不同油橄榄品种酸土培养3个月后成活率和苗高生长量比较

Figure 3 Survival rate and height increment of different cultivars after 3-month cultivation in acidic soil

2.2 不同接穗/砧木组合比较

2.2.1 不同嫁接组合成活率分析 以‘峥云’和‘中榄’两个耐酸性和生根力强的品种为砧木, 于2014年3月分别嫁接‘费切罗’‘佛选’‘塔吉’‘佛奥’‘豆果’和‘尼I’6个品种的接穗, 3个月后统计并比较分析各嫁接组合的成活率, 见表3。以‘峥云’为砧木, 其不同组合嫁接成活率介于22.22%~82.00%, 平均为61.52%, 其中, 以‘佛奥’/‘峥云’的嫁接成活率最高(82.00%), 成活率最低的嫁接组合是‘尼I’/‘峥云’(22.22%); 以‘中榄’为砧木的嫁接成活率介于27.78%~84.38%, 平均为58.15%, 其中, 以‘塔吉’/‘中榄’的嫁接成活率最高, 达84.38%, ‘尼I’/‘中榄’的嫁接成活率最低, 仅为27.78%。

同一接穗品种其嫁接成活率因砧木品种不同而异, 以‘佛奥’‘费切罗’或‘豆果’为接穗, 以‘峥云’为砧木的嫁接苗的嫁接成活率高于以‘中榄’为砧木的嫁接苗的; 而当接穗为‘佛选’‘塔吉’或‘尼I’时, 则以‘中榄’为砧木的嫁接苗的成活率高于以‘峥云’为砧木的嫁接苗的成活率。

表3 不同嫁接组合油橄榄苗成活率和接穗高度比较
Table 3 Survival rates and of scions height of different grafting combinations

嫁接组合	成活率/%	接穗高度/cm	嫁接组合	成活率/%	接穗高度/cm
‘佛奥’/‘峥云’	82.00	39.08±2.90 a	‘佛奥’/‘中榄’	73.81	27.03±4.98 c
‘费切罗’/‘峥云’	75.86	36.08±6.68 ab	‘费切罗’/‘中榄’	53.13	13.44±2.29 ef
‘豆果’/‘峥云’	73.85	34.58±1.48 ab	‘豆果’/‘中榄’	35.29	18.42±1.30 de
‘塔吉’/‘峥云’	59.26	31.92±2.60 bc	‘塔吉’/‘中榄’	84.38	20.24±1.82 d
‘佛选’/‘峥云’	55.93	20.74±2.24 d	‘佛选’/‘中榄’	74.51	12.09±2.68 f
‘尼I’/‘峥云’	22.22	20.00±6.56 d	‘尼I’/‘中榄’	27.78	12.33±2.52 f

注: 不同字母表示组合间接穗高度差异显著 ($P<0.05$)。

2.2.2 不同嫁接组合接穗生长量比较 由表3可知, 不同组合嫁接苗的接穗生长量差异显著。以‘峥云’为砧木的嫁接组合, 接穗平均高度为30.40 cm, 其中, ‘佛奥’/‘峥云’组合的接穗高度最高, 为39.08 cm, 其次是‘费切罗’/‘峥云’和‘豆果’/‘峥云’组合, 其接穗高度分别为36.08 cm和34.58 cm, 最低的是‘尼I’/‘峥云’组合, 其接穗高度, 为20.00 cm。而以‘中榄’为砧木的嫁接组合, 各组合接穗的平均高度为17.26 cm, 其中, 以‘佛奥’/‘中榄’组合的接穗高度最高, 为27.03 cm, 其次是‘塔吉’/‘中榄’组合, 为20.24 cm, ‘佛选’/‘中榄’组合的接穗高度最低, 为12.09 cm。总体而言, 以‘中榄’为砧木的嫁接苗的接穗高度均显著低于以‘峥云’为砧木的相应组合的 ($P<0.05$), 表明以‘峥云’为砧木的嫁接苗生长速度较快。

2.3 嫁接对接穗营养生长的影响

2.3.1 嫁接对接穗叶片生长的影响 为研究嫁接对接穗营养生长的影响,2016年3月,将‘佛选’/‘峥云’、‘佛奥’/‘峥云’、‘佛选’/‘中榄’、‘佛奥’/‘中榄’4个组合的嫁接苗和‘豆果’/‘中榄’、‘尼I’/‘中榄’2个组合的嫁接苗分别移栽至土壤pH=5.0~5.3和pH=4.3~4.5的大田中,定植2年后测定各组合嫁接苗的叶片生长和光合效应等性状。对砧木为‘峥云’和‘中榄’、接穗为‘佛奥’和‘佛选’4个组合嫁接苗的叶片性状调查发现,除叶片鲜质量外,嫁接苗的叶长、叶宽、叶面积和节间距大小与其相应接穗品种的扦插苗相比均有显著的差异($P<0.05$) (图4、表4)。“佛选”/“峥云”嫁接苗的平均叶宽为13.90 mm,较接穗品种“佛选”的叶宽缩小5.70%;叶片长宽比为3.74,较“佛选”增加6.55%;叶面积为5.15 cm²,较“佛选”缩小7.04%;节间距为1.85 cm,较“佛选”缩小29.92%。“佛选”/“中榄”的叶长为49.74 mm,较“佛选”缩小3.88%;叶宽为13.65 mm,较“佛选”缩小7.21%,叶片长宽比为3.77,较“佛选”增加7.41%,叶面积为4.83 cm²,较“佛选”缩小12.82%,节间距为2.06 cm,较“佛选”缩小21.97%。

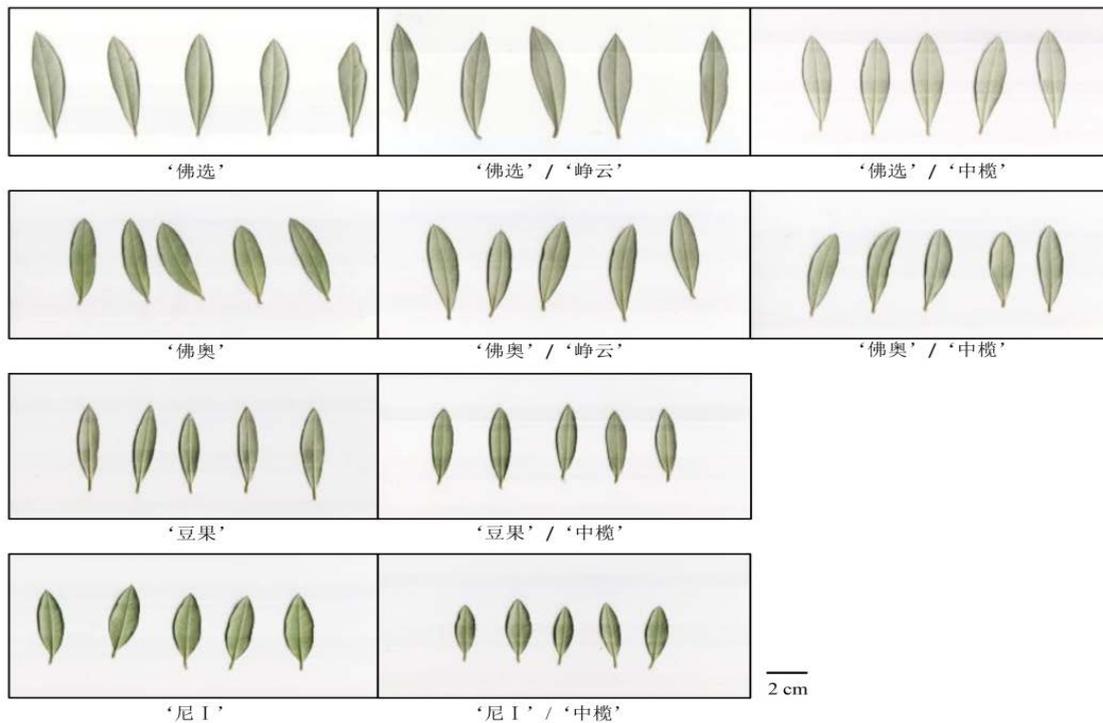


图4 不同组合嫁接苗叶片的比较

Figure 4 Scion leaves of different grafting combinations

表4 不同嫁接组合对油橄榄叶片生长的影响
Table 4 Effect of different grafting combinations on leaf growth of seedlings

嫁接组合	叶长/mm	叶宽/mm	叶片长宽比	叶面积/cm ²	叶片鲜质量/g	节间距/cm
‘佛选’	51.75±5.05 a	14.71±1.14 a	3.51±0.29 b	5.54±0.65 a	0.19±0.03 a	2.64±0.30 a
‘佛选’/‘峥云’	51.31±4.11 a	13.90±1.21 b	3.74±0.30 a	5.15±0.66 b	0.18±0.02 ab	1.85±0.29 b
‘佛选’/‘中榄’	49.74±3.25 b	13.65±1.37 bc	3.77±0.45 a	4.83±0.48 c	0.17±0.01 ab	2.06±0.29 b
‘佛奥’	48.01±3.49 a	13.31±1.00 a	3.35±0.34 b	4.76±0.41 a	0.14±0.01 a	2.48±0.20 a
‘佛奥’/‘峥云’	45.30±4.68 b	12.69±1.34 b	3.56±0.43 a	4.53±0.51 b	0.14±0.03 ab	2.23±0.25 b
‘佛奥’/‘中榄’	42.33±4.71 c	12.51±1.04 b	3.52±0.22 a	4.20±0.60 c	0.16±0.02 ab	2.41±0.21 b
‘豆果’	41.68±3.16 a	13.04±0.70 a	3.92±0.39 a	3.60±0.36 a	0.11±0.01 a	1.79±0.16 a
‘豆果’/‘中榄’	37.83±3.53 b	11.38±0.74 b	3.46±0.25 b	3.38±0.41 b	0.10±0.01 ab	1.58±0.13 b
‘尼I’	36.49±2.58 a	10.61±0.85 a	2.89±0.24 a	3.09±0.41 a	0.12±0.01 a	1.93±0.16 a
‘尼I’/‘中榄’	30.48±3.32 b	10.5±1.01 b	2.69±0.32 b	2.65±0.39 b	0.10±0.02 ab	1.70±0.16 b

注: 同列中不同小写字母表示以不同砧木嫁接对接穗叶片生长的影响差异显著($P<0.05$)。

同样, ‘佛奥’/‘峥云’嫁接苗的叶长、叶宽、叶面积和节间距分别为 45.30 cm、12.69 cm、4.53 cm² 和 2.23 cm, 与其接穗品种‘佛奥’相比, 分别缩小 5.64%、4.66%、4.83% 和 10.08%, 叶片长宽比为 3.56, 比‘佛奥’增加 6.27%。‘佛奥’/‘中榄’嫁接苗的叶长、叶宽、叶面积和节间距分别为 42.33 cm、12.51 cm、4.20 cm² 和 2.41 cm, 较‘佛奥’分别缩小 11.83%、6.01%、11.76% 和 2.82%, 叶片长宽比为 3.52, 较‘佛奥’增加了 5.07%。总体来说, 以‘峥云’和‘中榄’为砧木嫁接后, 接穗叶片的叶长、叶宽、叶面积和节间距均趋向变小, 且对于同一接穗以‘中榄’为砧木的嫁接组合变化幅度较‘峥云’更为显著。

对以‘中榄’为砧木的另外 2 个嫁接组合‘豆果’/‘中榄’和‘尼 I’/‘中榄’的叶片性状分析表明, 与接穗品种相比, 除叶片鲜质量不变、叶片长宽比有所减小外, 其叶长、叶宽、叶面积和节间距与其接穗品种的相应指标相比也都有不同程度的变小, 进一步验证了砧木品种对接穗叶片和节间距等性状的影响(图 4、表 4)。

‘豆果’/‘中榄’嫁接苗的叶长为 37.83 mm, 较接穗品种‘豆果’缩小 9.24%, 叶宽为 11.38 cm, 较‘豆果’缩小 12.7%, 叶片长宽比为 3.46, 较‘豆果’缩小 11.73%, 叶面积为 3.38 cm², 较‘豆果’缩小 6.11%, 节间距为 1.58 cm, 较‘豆果’缩小 11.73%。‘尼 I’/‘中榄’嫁接苗的叶长、叶宽、叶片长宽比、叶面积和节间距分别为 30.48 cm、10.50 cm、2.69、2.65 cm² 和 1.70 cm, 较‘尼 I’的相应指标分别缩小 16.47%、1.04%、6.92%、14.24% 和 5.03%。

2.3.2 嫁接对接穗光合效应的影响 比较以‘峥云’和‘中榄’为砧木、‘佛奥’和‘佛选’为接穗的嫁接苗叶片的光合效应显示(表 5), 除叶片的叶绿素含量没有显著变化外, 嫁接苗叶片的其他光合作用相关指标与相应的接穗品种苗相比呈现不同的变化趋势。具体来看, 采用同一品种的接穗, 分别以‘峥云’和‘中榄’为砧木嫁接后苗木叶片的光合效应不同。‘佛选’/‘峥云’嫁接苗叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率分别为 4.518 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、0.004 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 0.185 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 均显著低于接穗品种‘佛选’的相应指标($P<0.05$), 分别降低了 15.51%、50.00% 和 36.64%, 水分利用率则由 19.127 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ (‘佛选’)升高至 26.294 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$, 提高了 37.47%。‘佛选’/‘中榄’嫁接苗叶片的蒸腾速率为 0.234 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 较‘佛选’降低了 19.86%; 水分利用率为 25.358 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$, 较‘佛选’提高了 32.58%; 其余性状与‘佛选’间没有显著变化。‘佛奥’/‘峥云’嫁接苗叶片的光合效应与接穗品种‘佛奥’相比没有发生显著变化。‘佛奥’/‘中榄’嫁接苗叶片的净光合速率、光能利用率、气孔导度和蒸腾速率分别为 4.829 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、0.010 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ 、0.007 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 0.253 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 分别较‘佛奥’的相应指标提高了 44.54%、42.86%、75.00% 和 61.15%, 而水分利用率则为 16.936 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$, 较‘佛奥’下降了 20.95%。

表 5 嫁接对油橄榄叶片光合作用的影响
Table 5 Effect of different grafting combinations on photosynthesis of seedlings

嫁接组合	净光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光能利用率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)	叶绿素 SPAD 值	气孔导度/ ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)
‘佛选’	5.422±1.052 a	0.011±0.002 a	80.129±3.758 ab	0.008±0.002 a	0.292±0.066 a	19.127±4.778 b
‘佛选’/‘峥云’	4.581±0.982 b	0.009±0.002 ab	79.989±4.191 ab	0.004±0.001 b	0.185±0.059 c	26.294±7.270 a
‘佛选’/‘中榄’	5.159±0.640 ab	0.010±0.001 ab	81.300±3.072 a	0.007±0.002 a	0.234±0.084 b	25.358±11.396 a
‘佛奥’	3.341±0.749 b	0.007±0.001 b	79.267±2.436 ab	0.004±0.001 b	0.157±0.037 b	21.425±2.461 ab
‘佛奥’/‘峥云’	3.747±0.468 b	0.008±0.001 b	80.605±3.085 a	0.004±0.001 b	0.169±0.032 b	22.744±3.868 a
‘佛奥’/‘中榄’	4.829±0.980 a	0.010±0.002 a	78.000±1.970 bc	0.007±0.002 a	0.253±0.038 a	16.936±2.315 c
‘豆果’	7.733±0.962 a	0.015±0.002 ab	84.069±4.076 a	0.032±0.003 a	2.087±0.382 a	0.004±0.001 a
‘豆果’/‘中榄’	8.238±1.348 a	0.017±0.004 a	85.144±4.406 a	0.030±0.004 a	1.909±0.317 b	0.005±0.001 a
‘尼 I’	10.446±1.417 a	0.021±0.003 a	81.956±2.763 a	0.040±0.003 a	2.264±0.179 a	0.005±0.001 b
‘尼 I’/‘中榄’	10.329±1.072 a	0.018±0.005 ab	81.821±3.101 a	0.025±0.004 b	2.067±0.493 b	0.006±0.001 a

注: 同列中不同小写字母表示不同砧木嫁接对接穗光合作用的影响差异显著($P<0.05$)。

观测以‘中榄’为砧木的两个嫁接组合‘豆果’/‘中榄’和‘尼 I’/‘中榄’嫁接苗叶片的光合效应显示, ‘豆果’/‘中榄’嫁接苗的蒸腾速率为 1.909 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 较‘豆果’降低了 8.53%, 其余指标二者间无显著

差异。‘尼 I’/‘中榄’嫁接苗叶片的气孔导度和蒸腾速率分别为 $0.025 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $2.067 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，较‘尼 I’分别降低了 37.50% 和 8.70%，水分利用率为 $0.006 \mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ ，较‘尼 I’增加了 20%。

3 结论与讨论

3.1 油橄榄耐酸砧木鉴定

从起源地小亚细亚到主产区地中海沿岸，油橄榄经历 6 000 余年的驯化和自然选择后形成了耐瘠、耐旱、适宜中性至微碱性土壤的生长特性^[12]。因此，当引入我国南方红壤区种植时，酸性土壤胁迫致使多数油橄榄品种营养生长弱、落叶严重、只开花不结果^[12]。当前，国际上对于油橄榄耐酸种质的评价与应用尚未开展系统性的研究，油橄榄数据库 (<http://www.Oleadb.it/>) 中也没有对品种耐酸性状的鉴定记录，暂无明确的鉴定方法和具体的耐酸品种可作参考。油橄榄属于常绿小乔木，生长周期长，通过大田移栽鉴定耐酸品种不可控因素多且占地面积大、耗时费力。本研究通过对不同品种的扦插苗进行酸性营养液胁迫处理，同时借助酸性土壤进行盆栽试验，并分别以胁迫处理 1 个月后的根系相对生长量及 3 个月后的苗木成活率和苗高相对生长量为评价指标，明确了 15 个品种的耐酸性差异，筛选出耐酸优质砧木品种‘峥云’和‘中榄’，并为大规模评价油橄榄耐酸性奠定了技术基础。

3.2 油橄榄优异嫁接组合筛选

嫁接是果树常见的繁殖方法之一，也是果树良种推广应用的重要手段^[23-24]。赵丽芳等^[24]通过高接换优方法，以‘佛奥’为砧木、10 个不同油橄榄品种为接穗进行嫁接试验，发现油橄榄不同品种间的亲和力差异较大。本试验中，以‘峥云’为砧木嫁接‘佛奥’‘费切罗’和‘豆果’3 个品种接穗的成活率高于以‘中榄’为砧木、相同接穗的嫁接组合；而以‘中榄’为砧木嫁接‘佛选’‘塔吉’和‘尼 I’的成活率高于以‘峥云’为砧木的嫁接组合，表明同一砧木品种与不同接穗品种嫁接成活率不一，同一接穗品种与不同砧木品种的嫁接成活率也不同，其内在遗传因素有待进一步探究。此外，本试验结果显示，对于‘佛奥’，虽以‘峥云’和‘中榄’为砧木嫁接后成活率有所差异，但分别达到 82.00% 和 73.81%，因此，这两种嫁接组合均可加以利用。

3.3 嫁接对油橄榄接穗营养生长的影响

油橄榄砧木和接穗之间的互作效应已有报道。Nardini 等^[26]和 Gasco 等^[27]发现‘莱星’有生长旺盛 (LW) 和矮化 (LD) 2 种砧木类型，以 LD 为砧木嫁接 LW 后接穗叶片的叶面积缩小、水势增大。Tous 等^[28]通过对比不同砧木品种嫁接‘Arbequina IRTA-i•18@’发现，以‘Arbosana’‘Corbella’和‘Limoncillo’为砧木可以有效降低接穗的生长势，且果实性状没有发生变化。本试验比较了‘中榄’和‘峥云’2 个砧木品种对不同油橄榄品种接穗的影响，嫁接后接穗高度、节间距和叶片大小均不同程度地变小，但相同接穗以‘中榄’为砧木比以‘峥云’为砧木的嫁接组合变化幅度更大，表明以‘峥云’为砧木的嫁接苗的生长速率较以‘中榄’为砧木的嫁接苗更快。对嫁接苗叶片光合指标的分析结果表明，嫁接对光合作用相关特征的影响则随嫁接组合的不同而异，除‘佛选’/‘峥云’和‘佛奥’/‘中榄’嫁接苗的净光合速率分别较接穗品种变小和变大外，其余组合嫁接苗的净光合作用均无变化。在不影响或提高光合作用的前提下，气孔导度和蒸腾速率的减弱可以有效提高水分利用率，并进一步提升油橄榄的抗旱性。而对于嫁接对接穗生殖生长阶段产量和含油率等的影响，需待苗木进入初果期后进行跟踪调查。

本试验中‘中榄’和‘峥云’2 个品种的生根力和耐酸性强，可用作酸性土壤地区的优质砧木；在所试验组合范围内，嫁接组合‘佛奥’/‘峥云’、‘费切罗’/‘峥云’、‘豆果’/‘峥云’、‘塔吉’/‘中榄’、‘佛选’/‘中榄’、‘尼 I’/‘中榄’、‘佛奥’/‘中榄’适宜在我国南方红壤区推广。

致谢：感谢淳安千岛湖爱葛农业开发有限公司和浙江绿泉农业科技开发有限公司在油橄榄栽培等方面给予的帮助。

参考文献:

- [1] BARTOLINI G, PREVOST G, MESSERI C. Olive germplasm: cultivars and world-wide collections[M]. Rome: Food and Agriculture Organization, 1998: 2–15.
- [2] RUGINI E, BALDONI L, MULEO R, et al. The olive tree genome[M]. Cham, Springer, 2016: 1–12.
- [3] PÉREZ-JIMÉNEZ F, RUANO J, PEREZ-MARTINEZ P, et al. The influence of olive oil on human health: not a question of fat alone[J]. Mol Nutr Food Res, 2010, 51 (10): 1199–1208.
- [4] SEBASTIANI L, BUSCONI M. Recent developments in olive (*Olea europaea* L.) genetics and genomics: applications in taxonomy, varietal identification, traceability and breeding[J]. Plant Cell Rep, 2017, 36 (9): 1345–1360.
- [5] STEFANIA R, MASSIMO S. Nutraceutical properties of olive oil polyphenols. An itinerary from cultured cells through animal models to humans[J]. Int J Molec Sci, 2016, 17 (6): 843.
- [6] 李聚楨. 中国油橄榄引种与产业发展[M]. 北京: 中国林业出版社, 2018: 3–13.
- [7] 林春福. 国外油橄榄高密度集约栽培发展现状及我国的发展前景[J]. 林业科技通讯, 2016 (4): 8–12.
- [8] 李聚楨. 我国油橄榄产业发展概况及前景展望[J]. 粮油食品科技, 2006, 14 (4): 8–10.
- [9] 徐纬英. 中国油橄榄种质资源与利用[M]. 长春: 长春出版社, 2001: 59–81.
- [10] 邓煜, 刘婷, 梁芳. 中国油橄榄产业发展现状与对策[J]. 经济林研究, 2015, 33: 172–174.
- [11] 邓煜. 中国油橄榄产业创新驱动发展的现状、趋势和对策[J]. 经济林研究, 2018, 36 (2): 117.
- [12] 邓明全, 俞宁. 油橄榄引种栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 120–153.
- [13] ZHANG Z, WANG Z, ZHANG J. Prospects expectation for development of oil olive industry development in china from the domestic and foreign olive oil market[J]. Agr Sci Technol, 2017, 18 (8): 1541–1547.
- [14] 朱申龙, 傅庆林. 浙江省油橄榄产业现状与发展对策[J]. 浙江农业科学, 2016, 57 (9): 1361–1364.
- [15] 丁德品, 李庆华, 赵丽芳, 等. 油橄榄种苗繁育技术的研究展望[J]. 绿色科技, 2016 (11): 53–54.
- [16] 李小红, 王鹏, 姜成英, 等. 油橄榄嫁接育苗技术[J]. 甘肃林业科技, 2018, 43 (02): 13–14.
- [17] 西昌地区亚热带作物研究所油橄榄研究组. 白蜡树嫁接油橄榄试验初报[J]. 四川林业科技通讯, 1974 (2): 14–17.
- [18] 上饶地区林科所经营组. 女贞嫁接油橄榄试验初报[J]. 江西林业科技, 1978 (2): 25–27.
- [19] 叶孝怡, 杨卫明, 张植中. 尖叶木樨榄嫁接油橄榄的效果调查[J]. 林业科技通讯, 1981 (03): 12–15.
- [20] 施宗明, 罗方书, 李云. 尖叶木樨榄作砧木嫁接油橄榄的研究[J]. 云南植物研究, 1991, 13 (1): 65–74.
- [21] 郭华, 景跃波, 张帆, 等. 油橄榄种苗繁育技术研究进展[J]. 林业调查规划, 2013, 38 (1): 29–33.
- [22] ALI S, BAIP, ZENG FR, et al. The ecotoxicological and interactive effects of chromium and aluminum on growth, oxidative damage and antioxidant enzymes on two barley genotypes differing in Al tolerance[J]. Environ Exp Bot, 2011, 70 (2–3): 185–191.
- [23] 李子光, 王有兵, 严毅, 等. 插穗类型及生根剂处理时间对油橄榄扦插的影响[J]. 西部林业科学, 2015, 44 (4): 158–161.
- [24] 严毅, 王有兵, 陈金龙, 等. 嫁接时间和砧木规格对油橄榄嫁接成活的影响[J]. 中国南方果树, 2015, 44 (5): 69–71.
- [25] 赵丽芳, 李庆华, 丁德品, 等. 丽江市高枝嫁接引种油橄榄试验[J]. 林业调查规划, 2015, 40 (06): 116–119.
- [26] NARDINI A, GASCÓ A, RAIMONDO F, et al. Is rootstock-induced dwarfing in olive an effect of reduced plant hydraulic efficiency[J]. Tree Physiol, 2006, 26 (9): 1137–1144.
- [27] GASCÓ A, NARDINI A, RAIMONDO F, et al. Hydraulic kinetics of the graft union in different *Olea europaea* L. scion/rootstock combinations[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 60 (2): 245–250.
- [28] TOUS J, ROMERO A, HERMOSO J, et al. Influence of different olive rootstocks on growth and yield of the "Arbequina-i•18@" clone[J]. Acta Horticult, 2011: 315–320.