

网络出版时间:2021-11-11 14:42

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2022.05.004

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20211110.0959.002.html

油橄榄砧木‘田园 1 号’嫁接对‘阿波桑娜’叶片和果实形态及生理性状的影响

季新月,王兆山,李金花,曾艳飞,张建国

(中国林业科学研究院 林业研究所,林木遗传育种国家重点实验室,国家林业和草原局林木培育重点实验室,北京 100091)

【摘要】【目的】研究油橄榄砧木品种‘田园 1 号’对其与‘阿波桑娜’嫁接后的嫁接树叶片和果实形态及生理性状的影响,探讨‘田园 1 号’嫁接‘阿波桑娜’在生产应用上的可行性,为该砧木及其砧穗组合的栽培与应用推广提供理论依据。【方法】以油橄榄品种‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树为试材,对叶片与果实形态、叶片解剖结构、叶片光合色素和营养元素含量以及果实脂肪酸含量进行测定分析,并进行性状方差分析、多重比较和相关性分析。【结果】与‘阿波桑娜’扦插树比较,嫁接树叶片形状和纵向弯曲度及果实和果核的形状、对称性、最大横截面位置等性状无明显变化,叶片的长、宽、面积、周长也与‘阿波桑娜’扦插树无显著差异,但果实和果核的纵径、横径、质量等显著减小。嫁接树的叶片厚度和栅栏组织厚度较‘阿波桑娜’扦插树显著减小,但海绵组织厚度和栅海比无显著变化。嫁接树叶片总叶绿素和叶绿素 a 含量较‘阿波桑娜’扦插树显著增加,而叶绿素 b、类胡萝卜素含量和叶绿素 a/叶绿素 b 无显著变化。与‘阿波桑娜’扦插树相比,嫁接树叶片中 N、Ca、Mg、Mn 含量显著增加,K、Zn 含量显著减少,P、Cu、B 含量无显著变化。从‘阿波桑娜’扦插树及其嫁接树的果实中共检测出 12 种脂肪酸,其中含量较高的前 5 种为油酸、棕榈酸、亚油酸、棕榈油酸和亚麻酸,这 5 种脂肪酸和饱和脂肪酸(SFA)、不饱和脂肪酸(UFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)含量以及 UFA/SFA、MUFA/PUFA 在两种树间均无显著差异。相关性分析结果表明,叶绿素 b 含量与 N、Ca、Mn 含量呈显著正相关,叶绿素 a 和 b 含量与 Zn 含量呈极显著负相关;果实主要脂肪酸含量与叶片光合色素和营养元素含量间相关性均不显著。【结论】砧木‘田园 1 号’嫁接‘阿波桑娜’增加了嫁接树叶片叶绿素和 N、Ca、Mg、Mn 含量,促进了嫁接树生长结实,且对叶片和果实形态、果实脂肪酸组成和含量未产生显著负面影响,可以在生产中应用推广。

【关键词】 油橄榄;嫁接组合;砧木;叶片解剖结构

【中图分类号】 S723.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2022)05-0025-11

Effects of olive rootstock ‘Tianyuan 1’ on morphological and physiological characters of leaves and fruits of ‘Arbosana’ grafted tree

JI Xinyue, WANG Zhaoshan, LI Jinhua, ZENG Yanfei, ZHANG Jianguo

(State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of National Forestry and Grassland Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the morphological and physiological characters of leaves and fruits of olive cultivar ‘Arbosana’ grafted onto the rootstock cultivar ‘Tianyuan 1’ to explore the feasibility and provide theoretical evidence for their cultivation and popularization. 【Method】 Olive cultivars of ‘Arbosana’ and ‘Tianyuan 1’ and their grafted trees ‘Arbosana’/‘Tianyuan 1’ were selected for the de-

【收稿日期】 2021-06-07

【基金项目】 国家重点研发计划项目(2019YFD1000602);中国林业科学研究院中央公益性科研院所基本科研业务费专项(CAF-YBB2017ZA004-5);中国林业科学研究院林业研究所林木培育重点实验室专项(ZDRIF201702)

【作者简介】 季新月(1995—),女,山东德州人,硕士,主要从事油橄榄育种研究。E-mail: xinyuej137@163.com

【通信作者】 李金花(1970—),女,新疆石河子人,副研究员,博士,硕士生导师,主要从事林木遗传育种研究。E-mail: lijinh@caf.ac.cn

termination of leaf and fruit morphology, leaf anatomical structure, photosynthetic content, nutrient elements content, and fruit fatty acids content. The variance analysis, multiple comparison, and correlation analysis were also performed on these indexes. 【Result】 Compared with the cutting trees of ‘Arbosana’, the shape and longitudinal curvature of leaf, shape, symmetry and maximum cross section position of fruit and stone had no significant difference in grafted trees ‘Arbosana’/‘Tianyuan 1’. The length, width, area and perimeter of leaf were not significantly different, while the length, width and weight of fruit and stone were significantly reduced. The leaf thickness and palisade tissue thickness of grafted trees decreased significantly, but the sponge tissue thickness and palisade spongy ratio had no significant difference. The contents of total chlorophyll and chlorophyll a in leaves of grafted trees increased significantly, while the contents of chlorophyll b, carotenoid and chlorophyll a/chlorophyll b had no significant changes between grafted trees and the cuttings. Compared with the cuttings, the contents of N, Ca, Mg and Mn in leaves of grafted trees increased significantly, the contents of K and Zn decreased significantly, while the contents of P, Cu and B had no significant changes. A total of 12 fatty acids were detected from the fruits of cuttings and grafted trees of ‘Arbosana’, and the 5 with high content were oleic acid, palmitic acid, linoleic acid, palmitoleic acid and linolenic acid. There were no significant differences among contents of these 5 fatty acids, saturated fatty acids (SFA), unsaturated fatty acids (UFA), monounsaturated fatty acids (MUFA), polyunsaturated fatty acids (PUFA), UFA/SFA and MUFA/PUFA between the cuttings and the grafted trees. The correlation analysis showed that the content of chlorophyll b was significantly positively correlated with N, Ca and Mn in leaves, while the contents of chlorophyll a and b were significantly negatively correlated with Zn. There was no significant correlation between the contents of main fatty acids in fruit and photosynthetic pigment and nutrient elements in leaves. 【Conclusion】 Rootstock ‘Tianyuan 1’ grafted with ‘Arbosana’ increased the contents of chlorophyll and N, Ca, Mg and Mn in leaves, promoted the growth and fruiting of grafted trees, and had no significant negative effects on morphology of leaf and fruit as well as composition and content of fatty acids in fruit. Thus, this method can be applied and popularized in production.

Key words: olive; graft combination; rootstock; leaf anatomical structure

油橄榄(*Olea europaea* L.)是世界著名木本油料兼果用树种,原产于地中海地区,其鲜果冷榨的橄榄油具有极高的营养价值,被誉为“液体黄金”“植物油皇后”^[1]。我国自 1964 年规模化引种至今,油橄榄种植总面积达 16.7 万 hm^2 ,年产橄榄油 6 万 t ^[2],但在多数地区并没有形成足够生产力,远不能满足国内橄榄油市场需求,这主要是由于我国在土壤、气候条件方面与原产地的差异影响了油橄榄的正常生长发育^[3],特别是我国南方种植区的酸性黏重土壤和生长季降水量的不均匀,严重制约了油橄榄的生长^[4]。因此,针对我国南方油橄榄适生区的生态条件,开展引进品种的驯化和适应性研究,对提高油橄榄产量、质量及促进其产业发展具有重要意义。

在改善油橄榄经济和农艺性状的栽培方法中,利用良种砧木嫁接改善油橄榄适应性、提高其产量和品质,是实现油橄榄提质增效的有效途径^[5]。野生油橄榄对病虫害具有一定的抗性,并且可适应一定的恶劣环境^[6-7],同时具有满足现代栽培措施需求

的农艺性状^[8],故在地中海地区的古代种植园中早已使用野生油橄榄作为砧木^[9]。尖叶木樨榄(*O. cuspidata* Wall.)为油橄榄野生近缘种,天然分布于我国西南地区,适应南方酸性土壤和湿热气候,抗病虫害能力强,但作砧木嫁接油橄榄存在“小脚”现象^[10-11]。目前,研究人员已从尖叶木樨榄与油橄榄的人工杂交子代中选育出适应南方地区生态条件的无性系^[10],其中‘田园 1 号’是我国选育的第一个油橄榄省级砧木良种,其根系发达,耐瘠薄和旱涝灾害,与多个品种嫁接亲和性良好,改善了油橄榄对酸性黏重土壤的适应性,具有较高的栽培推广潜力。2019 年田间调查发现,以‘田园 1 号’为砧木嫁接油橄榄良种‘阿波桑娜’后,嫁接树生长势和单株产量显著提高,果实含油率也有所提高,故拟利用其大规模建园。目前,在苹果(*Malus pumila* Mill.)^[12-13]和葡萄(*Vitis vinifera* L.)^[14]等果树中有关砧木嫁接对接穗形态和生理特性影响的报道较多,认为叶片与果实表型是嫁接亲和性的重要直观指标^[15],叶

片解剖性状与植物适应性和光合特性等密切相关^[13],叶片生理特性直接影响果实产量和品质^[14],而国内外关于油橄榄砧木对接穗叶片和果实形态、叶片解剖结构及生理特性等影响的报道甚少,缺乏相应的理论依据。本研究在田间调查的基础上,以油橄榄野生种杂交选育的良种‘田园 1 号’为砧木嫁接‘阿波桑娜’,对嫁接树叶片和果实的形态特征、叶片解剖结构特征、叶片光合色素含量和营养元素含量以及果实脂肪酸含量进行研究,以期揭示‘田园 1 号’的砧木特性和栽培价值,探讨嫁接树的表型和生理特性,并为该嫁接组合的应用推广和丰产栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于云南省丽江市玉龙纳西族自治县大具乡(100°15′28″E,27°18′18″N),海拔 1 720 m。地处玉龙雪山北麓,金沙江畔,属高原型西南季风气候,冬暖夏凉,四季分明,年降水量 868.4 mm,年日

照时长 2 698 h,年均气温 17 ℃,7 月极端最高气温 33.7 ℃,1 月极端最低气温-4 ℃,年积温 5 640 ℃,无霜期 335 d。试验地土壤质地偏砂,pH 为 7.08。

1.2 试验材料

试验材料取自云南丽江田园油橄榄科技开发有限公司试验示范园,嫁接组合的砧木为良种‘田园 1 号’,接穗为云南和四川等地主栽的早实、丰产、含油率高的油橄榄良种‘阿波桑娜’(Arbosana),其生长情况详见表 1。供试材料 2013 年定植建园,株行距 6 m×5 m,常规田间管理,2016 年春季嫁接,2019 年秋季始花始果,2020 年秋季取样,取样时选取长势基本一致的‘田园 1 号’和‘阿波桑娜’的扦插树及其嫁接树健壮样树各 3 株,所有供试样树分布于半径 30 m 范围内,以保证栽培管理水平相同,环境和土壤因子基本一致。试验地 0~30,30~60 和 60~90 cm 土层土壤的氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)和硼(B)含量见表 2。

表 1 供试油橄榄材料的生长概况
Table 1 Growth of olive test materials

试验材料 Plant material	地径/cm Ground diameter	树高/m Tree height	冠幅/m Crown width	单株产量/(kg·株 ⁻¹) Yield
田园 1 号(砧木)Tianyuan 1 (Rootstock)	17.00	8.70	4.00	—
阿波桑娜(接穗)Arbosana (Scion)	48.67	3.37	3.75	6.27
嫁接树 Grafted tree	65.94	4.65	4.99	28.40

表 2 油橄榄试验地不同土层土壤营养元素含量
Table 2 Contents of soil nutrient elements in different soil layers in olive orchard

土层/cm Soil layer	N/ (g·kg ⁻¹)	P/ (g·kg ⁻¹)	K/ (g·kg ⁻¹)	Ca/ (g·kg ⁻¹)	Mg/ (g·kg ⁻¹)	Mn/ (mg·kg ⁻¹)	Cu/ (mg·kg ⁻¹)	Zn/ (mg·kg ⁻¹)	B/ (mg·kg ⁻¹)
0~30	2.66	1.31	11.35	71.48	10.58	377.58	32.73	75.34	4.90
30~60	1.15	0.85	13.85	84.72	12.09	410.95	27.51	76.83	4.60
60~90	0.49	0.42	15.55	94.27	12.43	406.15	25.12	81.03	4.17
均值 Mean	1.43	0.86	13.58	83.49	11.70	398.23	28.45	77.73	4.56

1.3 油橄榄叶片和果实表型性状的测定

2020-08-27,采集‘田园 1 号’‘阿波桑娜’扦插树及其嫁接树的叶片和果实进行表型性状测定。在树冠外围东、西、南、北方向,分别采集 1 年生枝条自顶端向下第 4~6 对健康成熟叶片,每株共计 100 片,同时采集树冠外围肩高处南面方向中部枝条上无病虫害、发育完整的果实 100 个,带回实验室洗净后进行叶片和果实的表型性状测定;之后剥去果肉,将果核洗净、晾干,测定果核表型性状。表型性状共包括 16 个表型质量性状(叶片形状、叶片纵向弯曲度,果形状、果对称性、果最大横截面位置、果顶和果基形状、果皮皮孔数量和大小,核形状、核对称性、核最大横截面位置、核顶和核基形状、核表面粗糙度、

核沟纹数量)和 11 个表型数量性状(叶长、叶宽、叶面积、叶周长,果纵径、果横径、单果质量、果肉率,核纵径、核横径、单核质量),具体测定方法见文献[16]。

1.4 油橄榄叶片解剖结构的观测

从每株样树选取叶片 3 片,采用常规石蜡切片法制作叶片最宽处横截面切片(厚度 4 μm),番红-固绿染色后于光学显微镜(Nikon CI-S)下观察并拍照,使用 Image J 软件对叶片、栅栏组织和海绵组织厚度进行测定,结果为 3 个视野下的平均值,并计算栅栏组织与海绵组织厚度比值(栅海比)。

1.5 油橄榄叶片光合色素含量的测定

每株选取鲜叶 5 片,切碎后精确称取 0.1 g,采

用丙酮-乙醇混合液($V(\text{丙酮}):V(\text{乙醇})=1:1$)提取光合色素,用 UV-2100 紫外分光光度计测定吸光值,计算叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)、总叶绿素(Chl)、类胡萝卜素(Car)含量和 Chl a/Chl b^[17]。

1.6 油橄榄叶片营养元素含量的测定

每株选取叶片 90 片,烘干至恒质量,用不锈钢粉碎机粉碎成粉末,过筛后精确称取 0.3 g,消煮后利用凯氏定氮仪(KDY-9810)测定氮含量(N),利用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICAP 6300)测定磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)和硼(B)含量。

1.7 油橄榄果实主要脂肪酸含量的测定

分别于 2020 年 8 月 27 日和 9 月 27 日,采集‘阿波桑娜’及其嫁接树果实,每株样树采摘 100 个,洗净、去核后放入匀浆机进行处理后,利用 KOH-甲醇酯交换法进行脂肪酸甲酯化,然后用具有氢火焰离子检测器(FID)的气相色谱仪 GC-MSD(Agilent 7890A)进行检测分析,并计算各脂肪酸组分的相对含量及其比值,即单个脂肪酸和饱和脂肪酸(SFA)、不饱和脂肪酸(UFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)相对百分含量以及 UFA/SFA、MUFA/PUFA。具体测定方法参见 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》。

1.8 油橄榄叶片光合色素含量、营养元素含量和果实主要脂肪酸含量间的相关性

利用 SPSS 20.0,对叶片光合色素(Chl a、Chl b、Car)、营养元素(N、P、K、Ca、Mg、Mn、Cu、Zn、B)和同时期果实主要脂肪酸含量进行相关性分析。

1.9 统计分析

利用 Excel 2007 录入数据,使用 SPSS 20.0 进

行方差分析和 LSD 多重比较($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 砧木对嫁接树叶片和果实表型性状的影响

2.1.1 表型质量性状 ‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树的叶片和果实表型质量性状调查结果(图 1,表 3)显示,与‘阿波桑娜’扦插树相比,嫁接树叶片和果实表型质量性状均未表现出差异,表明‘田园 1 号’嫁接‘阿波桑娜’未对嫁接树叶片和果实表型质量性状产生明显影响。3 种树叶片形状相同,但‘田园 1 号’叶片向上弯曲,果实为球形,果核为卵圆形且表面较光滑;而‘阿波桑娜’、嫁接树的叶片向下弯曲,果实为卵形,果核为椭圆形且表面较粗糙。可见‘田园 1 号’与‘阿波桑娜’、嫁接树的叶片和果实表型质量性状存在明显差异。



A. 田园 1 号;B. 阿波桑娜;C. 嫁接树
A. Tianyuan 1; B. Arbosana; C. Grafted tree

图 1 ‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树的叶片和果实形态

Fig. 1 Leaves and fruits of ‘Tianyuan 1’, ‘Arbosana’ and their grafted trees

表 3 ‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树叶片和果实的表型质量性状

Table 3 Phenotypic qualitative traits of leaves and fruits of ‘Tianyuan 1’, ‘Arbosana’ and their grafted trees

器官 Organ	性状 Trait	田园 1 号 Tianyuan 1	阿波桑娜 Arbosana	嫁接树 Grafted tree
叶片 Leaf	形状 Shape	椭圆形 Elliptic	椭圆形 Elliptic	椭圆形 Elliptic
	纵向弯曲度 Longitudinal curvature of the blade	偏上 Epinastic	偏下 Hyponastic	偏下 Hyponastic
果实 Fruit	形状(位置 A)Shape (position A)	球形 Spherical	卵形 Ovoid	卵形 Ovoid
	对称性(位置 A)Symmetry (position A)	对称 Symmetric	不对称 Asymmetric	不对称 Asymmetric
	最大横截面位置(位置 B) Position of maximum transverse diameter (position B)	中部 Central	偏基部 Towards base	偏基部 Towards base
	顶部(位置 A)Apex (position A)	圆 Rounded	圆 Rounded	圆 Rounded
	基部(位置 A)Base (position A)	圆 Rounded	截尾 Truncate	截尾 Truncate
	皮孔数量 Presence of lenticels	少许 Few	很多 Many	很多 Many
	皮孔大小 Size of lenticels	小 Small	大 Big	大 Big

表 3(续) Continued table 3

器官 Organ	性状 Trait	田园 1 号 Tianyuan 1	阿波桑娜 Arbosana	嫁接树 Grafted tree
果核 Stone	形状 Shape	卵圆形 Ovoid	椭圆形 Elliptic	椭圆形 Elliptic
	对称性(位置 A)Symmetry (position A)	对称 Asymmetric	稍不对称 Slightly asymmetric	稍不对称 Slightly asymmetric
	最大横截面位置(位置 B) Position of maximum transverse diameter (position B)	偏顶部 Towards apex	中部 Central	中部 Central
	顶部(位置 A)Apex (position A)	钝 Blunt	尖 Point	尖 Point
	基部(位置 A)Base (position A)	钝 Blunt	钝 Blunt	钝 Blunt
	表面 Surface	光滑 Smooth	粗糙 Rough	粗糙 Rough
	沟纹数量 Number of grooves	中等(7~10)Medium	中等(7~10)Medium	中等(7~10)Medium

注:位置 A 指用食指和拇指持果实或果核两端,果形或核形最不对称时的位置。位置 B 指果实或果核由位置 A 依纵轴旋转 90°,生长发育最饱满部分面对观察者时的位置。

Note:Position A refers to the position with the most asymmetrical shape when two ends of fruit or stone held by fingers. Position B refers to the position with best growth when fruit or stone was rotated by 90° along the longitudinal axis from position A.

2.1.2 表型数量性状 ‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树的叶片和果实表型数量性状分析结果(表 4)显示,与‘田园 1 号’相比,嫁接树的叶片较小,叶长、叶宽、叶面积和叶周长分别显著减小 8%,22%,31%和 11%;果实较大,果核较细长,其中单果质量及果实、果核纵径均显著增大 8%,果肉率显著增加 10%,但果核横径和单核质量分别减小 11%和 19%。与‘阿波桑娜’相比,嫁接树的果实和果核均较小,果实纵径、横径分别显著减小 6%和 3%,果核纵径和横径均显著减小 3%,单果质量、单核质量分别显著减小 11%和 13%;叶长、叶宽、叶面积、叶周长以及果肉率分别增加 3%,2%,5%,2%和 0.2%,但差异均不显著。结果表明,嫁接树果实和果核表型数量性状均显著减小。此外,与‘阿波桑娜’相比,‘田园 1 号’叶片大、果实小,且果核横径和单核质量较大,果核纵径和果肉率较小,两者差异显著($P<0.05$)。

表 4 ‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树叶片和果实的表型数量性状

Table 4 Phenotypic quantitative traits of leaves and fruits of ‘Tianyuan 1’, ‘Arbosana’ and their grafted trees

材料 Materials	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	叶面积/cm ² Leaf area	叶周长/cm Leaf perimeter	果纵径/mm Fruit length	果横径/mm Fruit width
田园 1 号 Tianyuan 1	7.78±0.09 a	1.69±0.02 a	8.50±0.20 a	18.31±0.24 a	14.78±0.08 c	11.85±0.07 b
阿波桑娜 Arbosana	6.92±0.07 b	1.28±0.01 b	5.59±0.08 b	15.98±0.18 b	17.11±0.11 a	12.24±0.07 a
嫁接树 Grafted tree	7.14±0.08 b	1.31±0.02 b	5.86±0.10 b	16.26±0.17 b	16.03±0.16 b	11.86±0.12 b

材料 Materials	单果质量/g Fruit weight	果肉率/% Flesh content	核纵径/mm Stone length	核横径/mm Stone width	单核质量/g Stone weight
田园 1 号 Tianyuan 1	1.40±0.02 c	70.02±0.41 b	11.85±0.08 c	6.88±0.06 a	0.42±0.008 a
阿波桑娜 Arbosana	1.70±0.02 a	77.13±0.17 a	13.17±0.09 a	6.30±0.03 b	0.39±0.005 b
嫁接树 Grafted tree	1.51±0.02 b	77.29±0.18 a	12.77±0.10 b	6.10±0.04 c	0.34±0.006 c

注:表中数据为“均值±标准误”。同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 5、表 6 同。

Note:Data are “mean±standard error”. Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$). The same for Tables 5 and 6.

2.2 砧木对嫁接树叶片解剖结构的影响

由‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树的叶片解剖结构特征(图 2)和分析结果(表 5)可知,与‘田园 1 号’相比,嫁接树的叶片厚度和海绵组织厚度分别显著增加 25%和 46%,栅海比显著降低了 27.74%,但二者的栅栏组织厚度相近。

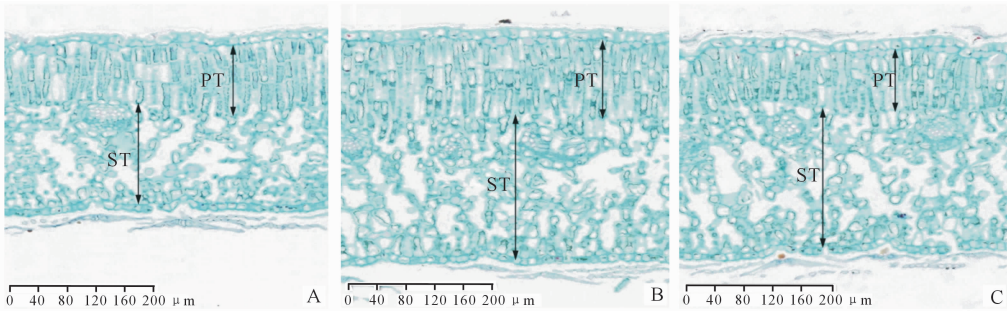
与‘阿波桑娜’相比,嫁接树的叶片厚度和栅栏组织厚度分别显著减小了 7%和 15%,但海绵组织厚度和栅海比差异不显著。此外,‘田园 1 号’的叶片厚度、栅栏组织厚度和海绵组织厚度较‘阿波桑娜’分别减小 25%,19%和 34%,但栅海比为‘阿波桑娜’的 1.2 倍,两者差异显著($P<0.05$)。

2.3 砧木对嫁接树叶片光合色素含量的影响

‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树叶片光合色素含量测定结果(图 3)显示,与‘田园 1 号’相比,嫁接树的总叶绿素、Chl b 和类胡萝卜素含量分别显著降低了 11%,15%和 12%,Chl a/Chl b 显著增加了 10%;Chl a 含量降低了 10%,差异不显著。与‘阿波桑娜’相比,嫁接树叶片的总叶绿素和 Chl a 含量分别显著增加了 14%和 13%;Chl b 和类胡萝卜素

含量分别增加 15%和 10%,Chl a/Chl b 值与‘阿波桑娜’相近,差异均不显著,表明嫁接树的叶片叶绿素含量显著增加,对强光吸收能力增强。此外,‘田园 1 号’的总叶绿素、Chl a、Chl b 和类胡萝卜素含

量较‘阿波桑娜’分别高 28%,25%,35%和 27%,差异显著;而 Chl a/Chl b 较‘阿波桑娜’降低了 10%,差异也达显著水平($P<0.05$)。



A. 田园 1 号;B. 阿波桑娜;C. 嫁接树。PT. 栅栏组织;ST. 海绵组织
A. Tianyuan 1;B. Arbosana;C. Grafted tree. PT. Palisade tissue;ST. Spongy tissue

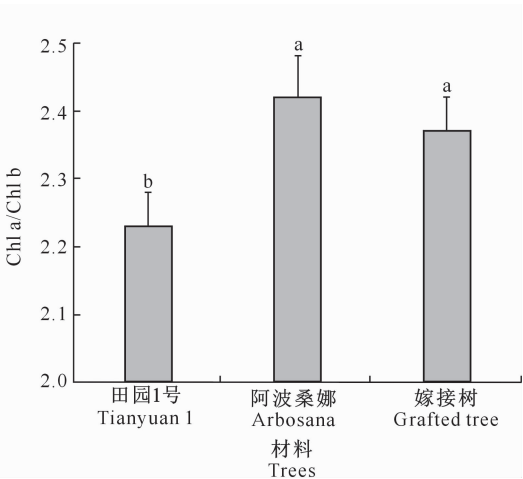
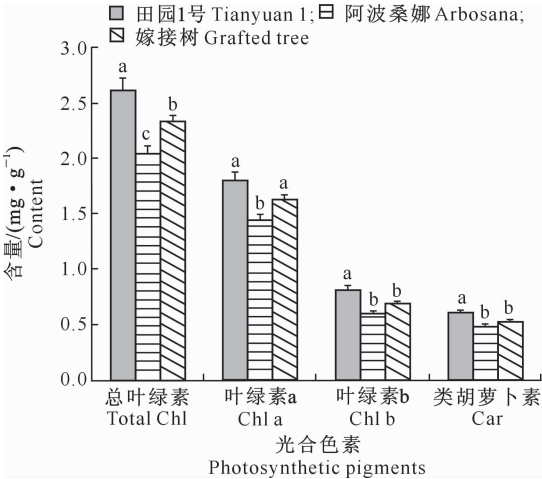
图 2 ‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树的叶片解剖结构横切面

Fig. 2 Transection of leaf anatomical structure of ‘Tianyuan 1’, ‘Arbosana’ and their grafted trees

表 5 ‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树叶片解剖结构特征的比较

Table 5 Comparison of leaf anatomical structure of ‘Tianyuan 1’, ‘Arbosana’ and their grafted trees

材料 Materials	叶片厚度/ μm Leaf thickness	栅栏组织厚度/ μm Palisade tissue thickness	海绵组织厚度/ μm Spongy tissue thickness	栅海比/% Palisade spongy ratio
田园 1 号 Tianyuan 1	311.59 $\pm$ 0.07 c	107.68 $\pm$ 0.06 b	159.24 $\pm$ 0.02 b	68.32 $\pm$ 0.05 a
阿波桑娜 Arbosana	417.42 $\pm$ 0.02 a	133.02 $\pm$ 0.02 a	240.93 $\pm$ 0.03 a	55.38 $\pm$ 0.01 b
嫁接树 Grafted tree	390.11 $\pm$ 0.05 b	113.71 $\pm$ 0.02 b	232.28 $\pm$ 0.05 a	49.37 $\pm$ 0.02 b



图柱上标不同小写字母表示同一指标不同材料间差异显著($P<0.05$)

Different lowercase letters mean significant difference among different trees ($P<0.05$)

图 3 ‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树叶片光合色素含量和 Chl a/Chl b 的比较

Fig. 3 Comparison of leaf photosynthetic pigment contents and Chl a/Chl b in ‘Tianyuan 1’, ‘Arbosana’ and their grafted trees

2.4 砧木对嫁接树叶片营养元素含量的影响

由‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树叶片营养元素含量分析结果(表 6)可知,与‘田园 1 号’相比,嫁接树叶片的 N、P、K、Ca、Mg、Zn、Mn 和 B 的含量分别提高了 13%,21%,28%,32%,48%,27%,

120%和 100%,差异均达显著水平($P<0.05$);而 Cu 含量二者差异不显著。与‘阿波桑娜’相比,嫁接树叶片的 N、Ca、Mg 和 Mn 含量分别提高了 7%,70%,23%和 45%,K 和 Zn 含量分别减少了 13%和 23%,差异均达显著水平($P<0.05$)。此外,‘田园 1

号’叶片 N、P、K、Mg、Zn、Mn 和 B 含量均显著小于 无显著差异。
‘阿波桑娜’,Ca 含量显著大于‘阿波桑娜’,Cu 含量

表 6 ‘田园 1 号’‘阿波桑娜’及其嫁接树叶片养分含量的比较

Table 6 Comparison in contents of leaf nutrient elements in ‘Tianyuan 1’, ‘Arbosana’ and their grafted trees					
材料 Materials	N/(g · kg ⁻¹)	P/(g · kg ⁻¹)	K/(g · kg ⁻¹)	Ca/(g · kg ⁻¹)	Mg/(g · kg ⁻¹)
田园 1 号 Tianyuan 1	19.07±0.11 c	1.50±0.07 b	14.41±0.79 c	29.57±1.50 b	3.05±0.15 c
阿波桑娜 Arbosana	20.23±0.41 b	1.87±0.04 a	21.15±0.47 a	23.13±0.55 c	3.68±0.10 b
嫁接树 Grafted tree	21.58±0.17 a	1.81±0.06 a	18.51±0.27 b	39.15±1.41 a	4.51±0.19 a
材料 Materials	Mn/(mg · kg ⁻¹)	Cu/(mg · kg ⁻¹)	Zn/(mg · kg ⁻¹)	B/(mg · kg ⁻¹)	
田园 1 号 Tianyuan 1	53.77±4.81 c	7.30±0.50 a	26.61±0.45 c	2.04±0.16 b	
阿波桑娜 Arbosana	81.64±3.26 b	8.37±0.23 a	43.68±0.70 a	3.96±0.07 a	
嫁接树 Grafted tree	118.55±3.41 a	7.59±0.47 a	33.68±0.87 b	4.04±0.13 a	

2.5 砧木对嫁接树果实主要脂肪酸含量的影响

从‘阿波桑娜’及其嫁接树的果实中共检测分析出 12 种脂肪酸,含量由高到低的前 5 种依次为油酸(C18 : 1) > 棕榈酸(C16 : 0) > 亚油酸(C18 : 2) > 棕榈油酸(C16 : 1) > 亚麻酸(C18 : 3)。表 7 显示,与 8 月 27 日采收的果实相比,9 月 27 日采收的‘阿波桑娜’果实的 C16 : 1、C18 : 2 和 PUFA 含量均增加,C18 : 1、MUFA 含量和 MUFA/PUFA 均减小,差异均达极显著水平($P < 0.01$);嫁接树果实的 C16 : 0、C16 : 1、C18 : 2、SFA、PUFA 含量均增加,C18 : 1、UFA、MUFA 含量和 UFA/SFA、MUFA/

PUFA 均减小,差异均达显著水平($P < 0.05$)。结果表明,无论是‘阿波桑娜’还是其嫁接树,与 8 月 27 日采收果实相比,9 月 27 日采收果实的 C16 : 1、C18 : 2 和 PUFA 含量均显著增加,C18 : 1、MUFA 含量和 MUFA/PUFA 均明显降低。与‘阿波桑娜’相比,嫁接树果实中 5 种主要脂肪酸(C16 : 0、C16 : 1、C18 : 1、C18 : 2、C18 : 3)和 SFA、UFA、MUFA、PUFA 含量及其比值的差异均不显著($P > 0.05$),表明砧木‘田园 1 号’对嫁接树果实主要脂肪酸含量及其比值均无显著影响。

表 7 不同采收时间‘阿波桑娜’与其嫁接树果实脂肪酸含量及比值

Table 7 Fatty acids contents in fruits of ‘Arbosana’ and grafted trees at different harvest times								%
采收日期 (月-日) Harvest date	材料 Materials	棕榈酸 Palmitic acid (C16 : 0)	棕榈油酸 Palmitoleic acid (C16 : 1)	油酸 Oleic acid (C18 : 1)	亚油酸 Linoleic acid (C18 : 2)	亚麻酸 Linolenic acid (C18 : 3)	SFA	
08-27	阿波桑娜 Arbosana	8.87±0.16	1.80±0.06 B	79.77±0.33 A	6.47±0.11 B	1.53±0.06	10.02±0.18	
	嫁接树 Grafted tree	8.88±0.04 b	2.02±0.02 b	79.85±0.40 a	6.27±0.27 b	1.51±0.04	9.92±0.08 b	
09-27	阿波桑娜 Arbosana	9.29±0.07	2.39±0.01 A	75.64±0.25 B	9.77±0.25 A	1.40±0.05	10.43±0.05	
	嫁接树 Grafted tree	9.48±0.12 a	2.72±0.15 a	75.85±0.04 b	9.05±0.31 a	1.40±0.01	10.60±0.11 a	
采收日期 (月-日) Harvest date	材料 Materials	UFA	MUFA	PUFA	UFA/SFA	MUFA/PUFA		
08-27	阿波桑娜 Arbosana	89.98±0.18	81.98±0.28 A	8.00±0.10 B	8.99±0.18	10.25±0.16 A		
	嫁接树 Grafted tree	90.08±0.08 a	82.29±0.39 a	7.78±0.31 b	9.08±0.08 a	10.59±0.47 a		
09-27	阿波桑娜 Arbosana	89.57±0.05	78.40±0.25 B	11.17±0.29 A	8.59±0.05	7.03±0.20 B		
	嫁接树 Grafted tree	89.4±0.11 b	78.95±0.19 b	10.45±0.30 a	8.44±0.09 b	7.56±0.24 b		

注:SFA. 饱和脂肪酸;UFA. 不饱和脂肪酸;MUFA. 单不饱和脂肪酸;PUFA. 多不饱和脂肪酸。表中数据为“均值±标准误”。同列数据后标不同大写字母表示相同材料同一指标在不同收获时间差异极显著($P < 0.01$),标不同小写字母则表示其差异显著($P < 0.05$)。
Notes:SFA. Saturated fatty acid;UFA. Unsaturated fatty acid;MUFA. Monounsaturated fatty acid;PUFA. Polyunsaturated fatty acid. Data are “mean±standard error”. Different uppercase letters indicate extremely significant difference among different harvest times ($P < 0.01$), while different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.6 叶片光合色素、营养元素含量和果实主要脂肪酸含量间的相关关系

‘阿波桑娜’及其嫁接树叶片光合色素、营养元素含量和果实主要脂肪酸含量间的相关性分析结果(表 8)表明,叶片光合色素含量间呈极显著正相关

($P < 0.01$),其中 Chl a 与 Chl b 的相关系数为 0.78,与类胡萝卜素(Car)的相关系数为 0.66。叶片营养元素 Mn 与 Ca 和 Mg 含量、Ca 与 Mg 含量呈极显著正相关($P < 0.01$);K 和 Zn 与 Ca、Mg、Mn 含量,Cu 与 Mg 和 Mn 含量,以及 N 与 Zn 含量,P

与 B 含量均呈极显著负相关($P<0.01$)。果实主要脂肪酸含量的相关性分析结果显示,C16 : 1 与 C16 : 0 含量、C18 : 2 与 C16 : 1 和 C16 : 0 含量均呈极显著正相关($P<0.01$),其中 C16 : 1 与 C16 : 0 的相关系数最大($r=0.90$);C18 : 1 与 C18 : 2、C16 : 1、C16 : 0 含量呈极显著负相关($P<0.01$),其中 C18 : 1 与 C18 : 2 负相关性最强($r=$

-0.99)。叶片光合色素与营养元素含量的相关性分析结果显示,Chl b 与 N 含量呈极显著正相关($P<0.01$),与 Ca、Mn 含量呈显著正相关($P<0.05$),Chl a 和 Chl b 与 Zn 含量呈极显著负相关($P<0.01$)。此外,果实主要脂肪酸与叶片光合色素和营养元素含量间相关性不显著($P>0.05$)。

表 8 ‘阿波桑娜’及其嫁接树叶片光合色素、营养元素含量和果实主要脂肪酸含量间的相关关系
Table 8 Correlation among photosynthetic pigment and nutrient contents in leaves with main fatty acid content in fruits of ‘Arbosana’ and its grafted trees

	Chl a	Chl b	Car	N	P	K	Ca	Mg	Mn
Chl a	1	0.78* *	0.66* *	0.43	0.37	−0.09	0.37	0.36	0.24
Chl b		1	0.08	0.67* *	0.29	−0.37	0.59*	0.51	0.52*
Car			1	−0.11	0.22	0.24	−0.10	0.01	−0.18
N				1	0.36	−0.20	0.51	0.24	0.35
P					1	0.45	−0.12	0.04	−0.24
K						1	−0.85* *	−0.78* *	−0.90* *
Ca							1	0.90* *	0.98* *
Mg								1	0.91* *
Mn									1

	Cu	Zn	B	C16 : 0	C16 : 1	C18 : 1	C18 : 2	C18 : 3
Chl a	−0.17	−0.57*	−0.27	−0.32	−0.22	0.23	−0.21	0.26
Chl b	−0.41	−0.56*	−0.27	0.07	0.23	−0.11	0.05	0.33
Car	0.10	−0.14	−0.07	−0.44	−0.44	0.39	−0.34	0.20
N	0.02	−0.66* *	−0.44	−0.18	0.01	0.24	−0.29	0.32
P	−0.15	−0.11	−0.75* *	−0.50	−0.44	0.16	−0.11	0.53
K	0.63*	0.60*	−0.16	−0.52	−0.46	0.17	−0.12	0.58
Ca	−0.63*	−0.90* *	0.07	0.22	0.32	0.07	−0.16	−0.12
Mg	−0.87* *	−0.78* *	0.02	0.29	0.40	−0.05	−0.05	−0.11
Mn	−0.69* *	−0.80* *	0.20	0.33	0.41	−0.03	−0.06	−0.22
Cu	1	0.46	0.18	−0.14	−0.28	0.36	−0.34	−0.27
Zn		1	0.11	0.25	0.11	−0.44	0.51	−0.28
B			1	0.32	0.39	−0.05	−0.04	−0.20
C16 : 0				1	0.90* *	−0.85* *	0.77* *	−0.74*
C16 : 1					1	−0.88* *	0.79* *	−0.58
C18 : 1						1	−0.99* *	0.63
C18 : 2							1	−0.63*
C18 : 3								1

注: * * 和 * 分别表示极显著相关($P<0.01$)和显著相关($P<0.05$)。Car. 类胡萝卜素;C16 : 0. 棕榈酸;C16 : 1. 棕榈油酸;C18 : 1. 油酸;C18 : 2. 亚油酸;C18 : 3. 亚麻酸。
Notes: * * and * represent statistical significance at $P<0.01$ and $P<0.05$, respectively. Car. Carotenoid;C16 : 0. Palmitic acid;C16 : 1. Palmitoleic acid;C18 : 1. Oleic acid;C18 : 2. Linoleic acid;C18 : 3. Linolenic acid.

3 讨 论

优良砧木的使用有利于改善油橄榄农艺性状,提高果实的产量和品质^[18],增强嫁接树对病虫害的抗性^[19]和对恶劣环境的适应能力^[18,20]。研究发现,对黄萎病(*Verticillium* Wilt)易感的油橄榄品种‘科拉蒂’(Coratina)嫁接在‘佛奥’(Frantoio)砧木上后,接种病原菌大丽轮枝菌(*V. dahliae*)的嫁接树未出现黄萎症状^[19];以油橄榄品种‘贺吉’(Hoji-

blanca)作砧木的嫁接树在缺铁土壤中长势较强,可作为耐性砧木预防缺铁性失绿症的发生^[21];通过比较霜冻伤害指数,油橄榄砧木品种‘莱星’(Leccino)和‘Vocio’均能有效缓解霜冻对‘Moraiolo’和‘San Felice’的伤害作用^[22]。

本研究发现,‘田园 1 号’使嫁接树果实和果核变小。Tous 等^[18]利用 11 个油橄榄砧木品种嫁接‘豆果’(Arbequina)发现,砧木品种对其单果质量和果肉/果核值无显著影响;而 Mofeed 等^[15]研究油橄

榄品种‘Dolce’和‘Kalamata’的嫁接树发现,砧木对果实表型特征的影响与砧木和接穗品种有关,具体可能与嫁接引起靠近结实区域的营养物质和内源激素含量等发生变化有关^[23]。本研究结合田间调查发现,嫁接树的生长势和单株产量显著高于同龄扦插树,但单果质量显著降低,这与 Tous 等^[18]和 Mofeed^[15]的研究结果一致,但也有研究发现生长势存在显著差异的各砧木嫁接植株的单果质量间无明显差异^[24],表明单果质量可能与生长势和单株产量的关系不密切,影响产量的可能是花序数和最终坐果率^[15]。有研究发现,水肥条件一般地区的尖叶木樨榄嫁接‘佛奥’树较其扦插树叶片更狭长,而在水肥条件相对较好的地区二者叶片形态无明显差异^[10]。本研究发现,‘田园1号’嫁接‘阿波桑娜’对嫁接树叶片形态无显著影响,这可能表明本研究试验地水肥条件较适宜。根据前期田间调查,‘田园1号’砧木嫁接‘阿波桑娜’显著影响了嫁接树体大小,其根系对水分和养分等的吸收、运输能力以及光合作用也可能发生极大变化,进而影响叶片和果实性状,但具体原因有待进一步研究。

植物的许多生理过程(如气体交换、碳同化等)与叶片内部解剖结构直接相关^[25],叶绿体主要存在于栅栏组织中,叶片的光合能力与栅栏组织厚度密切相关。本研究‘田园1号’叶片厚度和栅栏组织厚度较小,叶绿素含量较高,作为砧木嫁接‘阿波桑娜’后,嫁接树与‘阿波桑娜’相比,叶片厚度和栅栏组织厚度均有所降低,但叶绿素含量增加,这可能是由于叶片较薄导致单位质量叶片的叶面积较大,叶绿体数量较多,叶绿素含量较高。秦玲等^[26]也发现,葡萄砧木‘5BB’(*V. berlandieri* × *V. riparia*)嫁接‘赤霞珠’葡萄(*V. vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon)可增大叶片栅栏组织厚度,但叶绿素含量无显著变化,这可能与叶肉细胞中叶绿体的体积、密度及其在栅栏组织和海绵组织中的分布情况有关。本研究以‘田园1号’作砧木嫁接‘阿波桑娜’,嫁接树叶片的叶绿素含量改变,叶绿素 a 含量的增加使叶片对强光的吸收能力增强^[14],一定程度上改变了其光合能力,使地上部分有机物积累增多,生长势增强。

砧木能有效调节油橄榄嫁接树的养分吸收和转运情况。Chatzissavvidis 等^[7]发现,高 B 环境下,与同品种‘Megaritikiki’和‘Amfissis’的扦插苗相比,油橄榄嫁接苗茎和叶中 B 浓度较高,根中 B 浓度较低;Sanaa 等^[20]也发现,NaCl 溶液灌溉下嫁接在耐

盐性强的‘皮瓜尔’(Picual)砧木上的‘Kalamata’,接穗叶片中 Na^+ 和 Cl^- 浓度最低,根中 Na^+ 和 Cl^- 浓度最高,而耐盐性弱的‘科罗莱卡’(Koroneiki)砧木的嫁接组合则相反。油橄榄是对 B 元素较敏感的植物^[27],生长发育及果实品质受 B 影响较大^[28],B 缺乏易导致枝叶尖端枯萎、果实畸形^[27],极度缺乏还易导致油橄榄发生干腐病^[29],过量则抑制根系生长且减小叶面积^[7]。我国南方土壤普遍缺 B^[4],与 Tubeileh 等^[30]对叙利亚 25 个油橄榄园 50 株丰产树叶片营养元素的分析结果相比,本研究‘田园1号’‘阿波桑娜’及其嫁接树叶片的多数营养元素含量符合丰产树标准,但叶片 B 含量均不足,但在田间生长中均未表现出缺 B 症状,表明‘田园1号’能有效适应低 B 环境;另外,嫁接显著增加了叶片 N、Ca、Mg 和 Mn 含量,降低了 K 和 Zn 含量,这可能与砧木‘田园1号’根系的吸收特性有关,也可能与嫁接导致砧穗间木质部尺寸发生变化,进而改变水力传导度有关^[23]。N、Ca、Mg、Mn 均对叶绿素的形成和叶片的光合能力有重要影响,其含量增加会促进树体生长发育。

果实产量和品质是油橄榄砧穗组合优劣的主要评价指标,脂肪酸组成是影响其果实品质的关键因素^[31]。不同砧木会影响果实的产量和品质^[15],除影响果实大小和形状外^[32],优良砧木还能有效改善油橄榄果实的其他品质,如含水率和含油率等^[18,24]。以油橄榄品种‘苏里’(Souri)为接穗的不同嫁接组合果实的油酸含量和 MUFA/PUFA 以及油脂氧化物的过氧化值有显著差异^[33]。以尖叶木樨榄作砧木的嫁接树的鲜果出油率和干基含油率略高于扦插树^[10],与本砧树相比,嫁接树橄榄油中油酸含量偏低,亚油酸含量偏高,其他脂肪酸含量差异较小^[11]。然而,Romero 等^[24]利用 18 个油橄榄砧木品种嫁接‘豆果’未观察到果实脂肪酸含量的差异,本研究亦未发现砧木‘田园1号’嫁接‘阿波桑娜’对果实脂肪酸组成、含量及 UFA/SFA 等产生显著影响。2 项关于油橄榄品种‘豆果’的嫁接试验^[18,24]发现,并非所有砧木品种都能影响‘豆果’果实的含油率和含水率,表明砧木嫁接对果实脂肪酸含量的影响可能与砧木和接穗品种有关,也可能与当地环境条件和栽培管理措施有关^[31]。

基于田间调查结果,砧木‘田园1号’嫁接‘阿波桑娜’,嫁接树在表型性状、生理特性以及产量和生长特性上表现出砧穗组合的亲性和性,表明该砧穗组合在生产上有一定的应用性和可行性,为‘田园1

号’砧木品种和该嫁接组合的应用推广及丰产优质栽培提供了理论依据,对我国油橄榄产业提质增效具有重要意义。在此基础上,未来可在不同引种区利用更多样树开展适应性研究,并利用‘田园 1 号’与其他油橄榄良种开展砧穗组合嫁接试验,筛选优良嫁接组合,从而在生产中大面积应用推广。

4 结 论

‘田园 1 号’嫁接‘阿波桑娜’促进了植株生长发育,提高了叶片叶绿素和营养元素含量,但未显著改变叶片和果实的表型质量性状,亦未显著影响叶片 B 含量和果实主要脂肪酸含量。

【参考文献】

- [1] 徐纬英. 中国油橄榄 [M]. 长春: 长春出版社, 2001.
Xu W Y. Olive in China [M]. Changchun: Changchun Press, 2001.
- [2] 李聚桢. 中国油橄榄引种与产业发展 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2018.
Li J Z. Olive introduction and industrial development in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2018.
- [3] 李金花, 张晓艳, 李娜, 等. 油橄榄杂交子代生长与生理性状变异研究 [J]. 西南林业大学学报, 2019, 39(3): 10-17.
Li J H, Zhang X Y, Li N, et al. Variation of growth and physiological traits of hybrid progeny of *Olea europaea* [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2019, 39(3): 10-17.
- [4] 邓明全, 俞宁. 油橄榄引种栽培技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
Deng M Q, Yu N. Introduction and cultivation techniques of olive [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011.
- [5] Fabbri A, Bartolini G, Lambardi M, et al. Olive propagation manual [M]. Australia: National Library of Australia, 2004.
- [6] Klepo T, Rosa D L R, Satovic Z, et al. Utility of wild germplasm in olive breeding [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 152: 92-101.
- [7] Chatzissavvidis C, Therios I, Antonopoulou C, et al. Effects of high boron concentration and scion-rootstock combination on growth and nutritional status of olive plants [J]. Journal of Plant Nutrition, 2008, 31(4): 638-658.
- [8] Diaz-Rueda P, Franco-Navarro J D, Messori R, et al. SILVOLIVE, a germplasm collection of wild subspecies with high genetic variability as a source of rootstocks and resistance genes for olive breeding [J]. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 1-15.
- [9] Diez C M, Trujillo I, Barrio E, et al. Centennial olive trees as a reservoir of genetic diversity [J]. Annals of Botany, 2011, 108: 797-807.
- [10] 宁德鲁, 杨卫明. 油橄榄良种选育与栽培 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2013.
Ning D L, Yang W M. Breeding and cultivation of olive varieties [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2013.
- [11] 施宗明, 罗方书, 李云, 等. 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.
Shi Z M, Luo F Y, Li Y, et al. Study on the rootstock (*Olea cuspidata*) for grafting olive [J]. Acta Botanica Yunnanica, 1991, 13(1): 65-74.
- [12] 赵秀明, 王飞, 韩明玉, 等. 新引进苹果矮化砧木的叶片解剖结构及抗旱性 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(5): 136-142.
Zhao X M, Wang F, Han M Y, et al. Relationship between leaf anatomical structures and drought resistance of newly introduced apple dwarf rootstocks [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2012, 40(5): 136-142.
- [13] Zhou Y, Tian X, Yao J, et al. Morphological and photosynthetic responses differ among eight apple scion-rootstock combinations [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 261: 1-13.
- [14] Somkuwar R, Taware P B, Bhange M A, et al. Influence of different rootstocks on growth, photosynthesis, biochemical composition, and nutrient contents in ‘Fantasy Seedless’ grapes [J]. International Journal of Fruit Science, 2015, 15(3): 251-266.
- [15] Mofeed A S. Effect of different rootstocks on flowering, fruiting and yield of Kalamata and Dolce olive trees [J]. Journal of Plant Production, 2016, 7(5): 489-500.
- [16] 秦倩, 王楠楠, 李金花, 等. 油橄榄品种表型和 SSR 标记的多样性及聚类分析 [J]. 林业科学研究, 2016, 29(5): 676-681.
Qin Q, Wang N N, Li J H, et al. Diversity and cluster analysis on phenotypic traits and SSR of olive cultivars [J]. Forest Research, 2016, 29(5): 676-681.
- [17] 张宪政. 作物生理研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1992.
Zhang X Z. Research on crop physiology [M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1992.
- [18] Tous J, Romero A, Hermoso J F, et al. Influence of different olive rootstocks on growth and yield of the ‘Arbequina IRTA-i • 18®’ clone [J]. Acta Horticulturae, 2011, 924: 315-320.
- [19] Bubici G, Cirulli M. Control of *Verticillium* Wilt of olive by resistant rootstocks [J]. Plan and Soil, 2012, 352: 363-376.
- [20] Sanaa, I L. Effect of irrigation with salinized water on growth and chemical constituents of ‘Kalamata’ olive cultivar grafted on to different olive rootstocks [J]. Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 2005, 13(2): 399-417.
- [21] Alcantara E, Cordeiro A M, Barranco D. Selection of olive varieties for tolerance to iron chlorosis [J]. Journal of Plant Physiology, 2003, 160(12): 1467-1472.
- [22] Pannelli G, Rosati S, Rugini E. The effect of clonal rootstocks on frost tolerance and on some aspects of plant behaviour in Moraiolo and S. Felice olive cultivars [J]. Acta Horticulturae, 2002, 586: 247-250.
- [23] Reig G, Lordan J, Fazio G, et al. Horticultural performance and elemental nutrient concentrations on ‘Fuji’ grafted on apple rootstocks under New York State climatic conditions [J].

Scientia Horticulturae,2018,227:22-37.

[24] Romero A,Hermoso J F,Tous J. Olive rootstocks to control ‘Arbequina IRTA-I18’ clone vigour-results from a second one comparative trial [J]. Acta Horticulturae, 2014, 1057: 577-584.

[25] Baker R L,Yarkhunova Y,Vidal K,et al. Polyploidy and the relationship between leaf structure and function; implications for correlated evolution of anatomy,morphology,and physiology in *Brassica* [J]. BMC Plant Biology,2017,17(1):3-14.

[26] 秦 玲,康文怀,齐艳玲,等. 盐胁迫对酿酒葡萄叶片细胞结构及光合特性的影响 [J]. 中国农业科学,2012,45(20):4233-4241.

Qin L,Kang W H,Qi Y L,et al. Effect of salt stress on mesophyll cell structures and photosynthetic characteristics in leaves of wine grape (*Vitis* spp.) [J]. Scientia Agricultura Sinica,2012,45(20):4233-4241.

[27] Fernández-Escobar R. Trends in olive nutrition [J]. Acta Horticulturae,2018,1199:215-224.

[28] Desouky I M,Haggag L F,El-Migeed M M M A,et al. Effect of boron and calcium nutrients sprays on fruit set,oil content and oil quality of some olive oil cultivars [J]. World Journal of Agricultural Sciences,2009,5(2):180-185.

[29] Freeman M,Uriu K,Hartmann H T. Diagnosing and correcting nutrient problems [M]// Ferguson L,Sibbett G S,Martin C G. Olive production manual. Oakland:University of California-Agriculture and Natural Resources,1994.

[30] Tubeileh A,Turkelboom F,Al-Ibrahim A,et al. Modelling the effects of soil conditions on olive productivity in Mediterranean hilly areas [J]. International Journal of Agronomy, 2014,2014:1-12.

[31] Riachy M E,Hamade A,Ayoub R,et al. Oil content,fatty acid and phenolic profiles of some olive varieties growing in Lebanon [J]. Frontiers in Nutrition,2019,6:1-13.

[32] Troncoso A,Linan J,Prieeto J,et al. Influence of different olive rootstocks on growth and production of ‘Gordal Sevillana’ [J]. Acta Horticulturae,1990,286:133-136.

[33] Barazani O,Waitz Y,Tugendhaft Y,et al. Testing the potential significance of different scion/rootstock genotype combinations on the ecology of old cultivated olive trees in the southeast Mediterranean area [J]. BMC Ecology,2017,17:1-8.

.....

(上接第 24 页)

[22] 赵凤柱,韩小敏. 抗病毒中药及其活性成分研究进展 [J]. 实用中医药杂志,2009,25(6):428-430.

Zhao F Z,Han X M. Research progress of antiviral traditional Chinese medicine and its active components [J]. Journal of Practical Traditional Chinese medicine,2009,25(6):428-430.

[23] 宋剑武,刘增援,夏 娟,等. 鬼针草血清与抗菌药联合对耐药 *E. coli* 体外抑菌的研究 [J]. 黑龙江畜牧兽医,2015(9):205-207.

Song J W,Liu Z Y,Xia J,et al. Study on the *in vitro* antibacterial effect of the serum with *Bidens bipinnata* L. in combination with antibacterial drugs on drug-resistant *E. coli* [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2015(9):205-207.

[24] Zhu Z X,Jiang X H,Deng S Z,et al. Inhibitory effects of bacillus subtilis on *Staphylococcus aureus* [J]. Agricultural Science & Technology,2015(10):2162-2166.

[25] 滕 蓉,李清禄,张温玲. 鬼针草抑菌物质提取及抑菌活性研究 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2014,43(6):637-641.

Teng R,Li Q L,Zhang W L. Study on the extraction and antimicrobial activity of antibacterial substances of *Bidens bipinnata* [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University(Natural Science Edition),2014,43(6):637-641.

[26] 褚秀玲,韦旭斌. 抗病毒中草药研究进展 [J]. 中兽医学杂志, 2006(1):33-38.

Chu X L,Wei X B. Research progress of antiviral Chinese herbal medicine [J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2006(1):33-38.

[27] Zhang P P,Lü L,Sun H F,et al. Identification of linear B cell epitope on gB,gC,and gE proteins of porcine pseudorabies virus using monoclonal antibodies [J]. Veterinary Microbiology,2019,234:83-91.

[28] Schroter C,Vallbracht M,Altenschmidt J,et al. Mutations in pseudorabies virus glycoproteins gB,gD,and gH functionally compensate for the absence of gL [J]. Journal of Virology, 2015,90(5):2264-2272.

[29] Ficinska J,Minnebruggen G V,Nauwynck H J,et al. Pseudorabies virus glycoprotein gD contains a functional endocytosis motif that acts in concert with an endocytosis motif in gB to drive internalization of antibody-antigen complexes from the surface of infected monocytes [J]. Journal of Virology,2005, 79(11):7248-7254.

[30] Shen H C,Xie K X,Huang L P,et al. A novel SERS-based lateral flow assay for differential diagnosis of wild-type pseudorabies virus and gE-deleted vaccine [J]. Sensors and Actuators B:Chemical,2019,282:152-157.

[31] Yuan Z G,Zhang S F,Liu Y,et al. A recombinant pseudorabies virus expressing rabies virus glycoprotein: safety and immunogenicity in dogs [J]. Vaccine,2008,26(10):1314-1321.