

## 油橄榄果实表型性状多样性分析

胡蓉<sup>1</sup>, 张茜<sup>2</sup>, 陈勃<sup>3a</sup>, 蒋召雪<sup>3b</sup>, 陈治光<sup>3a</sup>, 曲继鹏<sup>3a</sup>, 丁春邦<sup>1,①</sup>, 佟兆国<sup>3a,①</sup>

(1. 四川农业大学生命科学学院, 四川 雅安 625014; 2. 凉山州中泽新技术开发有限责任公司, 四川 西昌 615042;

3. 西昌学院: a. 厅州共建攀西特色作物研究与利用四川省重点实验室, b. 农业科学学院, 四川 西昌 615013)

**摘要:** 对西昌市油橄榄国家林木种质资源库中 88 个油橄榄 (*Olea europaea* Linn.) 品种果实的 15 个质量性状和 15 个数量性状进行比较, 对果实数量性状进行相关性分析和主成分分析, 并基于果实数量性状对供试油橄榄品种进行聚类分析。结果表明: 果实质量性状的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数变化范围分别为 0.438~1.094、0.247~0.671 和 0.098~0.243, 平均值分别为 0.735、0.451 和 0.164; 果实数量性状的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数变化范围分别为 1.830~2.047、0.811~0.864 和 0.409~0.458, 平均值分别为 1.965、0.845 和 0.439; 并且, 果实数量性状的生物多样性指数平均值明显高于质量性状。相关性分析结果表明: 果实数量性状之间大多存在极显著 ( $P<0.01$ ) 或显著 ( $P<0.05$ ) 相关性, 并且多数性状之间为正相关。主成分分析结果表明: 前 4 个主成分的累计贡献率为 86.115%, 基本体现了油橄榄果实表型性状的主要特征。聚类分析结果显示: 供试油橄榄品种被分为 3 个类群, 类群 I 包含 41 个品种, 具有果实和果核大、果柄长且粗的特点; 类群 II 包含 22 个品种, 果实和果核大小居中; 类群 III 包含 25 个品种, 具有果实和果核小、果柄短且细的特点。综上所述, 供试油橄榄品种果实表型性状多样性较为丰富, 且果实数量性状多样性高于质量性状。

**关键词:** 油橄榄; 果实; 表型多样性; 质量性状; 数量性状

中图分类号: Q944.59; S565.7; S502 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2024)06-0083-11

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2024.06.09

**Analysis on diversity of fruit phenotypic traits of *Olea europaea*** HU Rong<sup>1</sup>, ZHANG Qian<sup>2</sup>, CHEN Bo<sup>3a</sup>, JIANG Zhaoxue<sup>3b</sup>, CHEN Zhiguang<sup>3a</sup>, QU Jipeng<sup>3a</sup>, DING Chunbang<sup>1,①</sup>, TONG Zhaoguo<sup>3a,①</sup>  
(1. College of Life Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China; 2. Liangshan Zhongze New Technology Development Co., Ltd., Xichang 615042, China; 3. Xichang College: a. Key Laboratory of Panxi Featured Crops Research and Utilization, b. College of Agricultural Sciences, Xichang 615013, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2024, 33(6): 83-93

**Abstract:** The comparison was conducted for 15 qualitative traits and 15 quantitative traits of fruits of 88 cultivars of *Olea europaea* Linn. in Xichang National Olive Forest Germplasm Resource Bank, the correlation analysis and principal component analysis were carried out for fruit quantitative traits, and the cluster analysis for test *O. europaea* cultivars was performed based on fruit quantitative traits. The results show that the Shannon-Wiener diversity index, Simpson diversity index, and Pielou evenness index of fruit qualitative traits are 0.438-1.094, 0.247-0.671, and 0.098-0.243, respectively, and their averages are 0.735, 0.451, and 0.164, respectively. The Shannon-Wiener diversity index, Simpson diversity index, and Pielou evenness index of fruit quantitative traits are 1.830-2.047, 0.811-0.864, and 0.409-0.458, respectively, and their averages are 1.965, 0.845, and 0.439, respectively. In addition, the averages of biodiversity indexes of fruit quantitative traits are obviously higher than those of fruit qualitative traits. The result of the correlation analysis indicates that there are extremely significant

收稿日期: 2023-11-08

基金项目: 凉山州科技计划重点研发项目(21KJCX0003); 西昌市技术研究开发与推广应用项目(JSYJ-2021-11)

作者简介: 胡蓉(1998—), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事植物资源评价与利用方面的研究。

①通信作者 E-mail: dcb@sicau.edu.cn; olivetong@163.com

引用格式: 胡蓉, 张茜, 陈勃, 等. 油橄榄果实表型性状多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(6): 83-93.

( $P < 0.01$ ) or significant ( $P < 0.05$ ) correlations between most fruit quantitative traits, and the correlations between most traits are positive. The result of the principal component analysis reveals that the cumulative contribution rate of the first four principal components is 86.115%, which represents the main characteristics of fruit phenotypic traits of *O. europaea*. The result of the cluster analysis indicates that the test *O. europaea* cultivars are divided into three groups, in which, group I contains 41 cultivars, with characteristics of large fruit and pits, as well as long and thick peduncles; group II contains 22 cultivars, with characteristics of medium-sized fruit and pits; group III contains 25 cultivars, with characteristics of small fruits and pits, as well as short and slender peduncles. In conclusion, the diversity of fruit phenotypic traits of the test *O. europaea* cultivars is rich, and the diversity of fruit quantitative traits is higher than that of qualitative traits.

**Key words:** *Olea europaea* Linn.; fruit; phenotypic diversity; qualitative trait; quantitative trait

油橄榄(*Olea europaea* Linn.)为木犀科(Oleaceae)木犀榄属(*Olea* Linn.)常绿乔木,是世界著名亚热带果树和重要经济林木之一。橄榄油是当今世界唯一一种鲜果冷榨即可食用的纯天然木本植物油,具有预防心脑血管疾病、增强人体免疫力、防癌、延缓衰老等作用,还具有重要的经济价值,可用于生产多种医疗、保健和化妆品<sup>[1]</sup>,被誉为“地中海的液体黄金”、“植物油皇后”和“营养之王”<sup>[2-5]</sup>,深受营养专家和消费者青睐。

目前,全世界已有47个国家和地区种植油橄榄<sup>[6]</sup>。中国为油橄榄的非传统生产国,引种时间较晚(1956年),截至2018年共有317个油橄榄品种<sup>[7]</sup>,主要分布在四川、云南、重庆等12个省(直辖市)的67个县级行政区<sup>[8]</sup>。四川省凉山彝族自治州的西昌市油橄榄国家林木种质资源库是中国最大的国家级油橄榄种质资源库,收集和保存的油橄榄品种多达237个。目前,国内关于油橄榄形态性状尤其是果实性状的研究存在调查品种和性状指标偏少的问题<sup>[9-11]</sup>,国外关于油橄榄表型性状的研究虽然较多,但是调查指标参差不齐,描述规范也不一致<sup>[12-14]</sup>。因此,尚缺乏对油橄榄的全面和系统研究。

果实表型性状与植物的有性生殖密切相关,对植物种质资源的遗传变异研究和品种改良等具有重要意义<sup>[15-18]</sup>。为了系统理清油橄榄种质资源的状况,促进油橄榄的品种鉴定、评价和选育,更好地服务于中国油橄榄产业发展,笔者对西昌市油橄榄国家林木种质资源库内88个油橄榄品种的果实表型性状(质量性状和数量性状各15个)进行了多样性分析,对果实数量性状进行了相关性分析和主成分分析,并基于果实数量性状对供试油橄榄品种进行了聚类分析,以期对油橄榄后续引种、新品种选育及优异性状的全基

因组关联分析(genome-wide association study, GWAS)等提供基础研究资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试的88个油橄榄品种(附表1)均保存于西昌市油橄榄国家林木种质资源库(东经102°14′、北纬27°44′,海拔1542 m)。该种质资源库所在区域年均气温25℃,年降水量1025.1 mm,年均空气相对湿度61.4%,年日照时数2220.0 h,土壤为酸性黄壤。每个品种选取3株树龄相近(8 a以上)、健壮且结果状况较好的植株,在树冠外围中上部东、西、南、北4个方向结果枝的中部随机采集无病虫害且完整的成熟果实。每株至少采集30个果实,每个品种共采集100个果实。

### 1.2 性状指标调查与测定

参照《Olive: guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability》<sup>[19]</sup>和《World Catalogue of Olive Varieties》<sup>[20]</sup>对油橄榄果实的质量性状和数量性状进行观测。各质量性状的分级标准见表1。

每个品种随机选取30个果实,统计果核核尾辐射出的沟纹数量,即果核条纹数;使用数显游标卡尺(精度0.01 mm)测量果实横径、果实纵径、果核横径、果核纵径和果柄粗;使用直尺(精度1 mm)测量果柄长。使用电子分析天平(精度0.001 g)称量大果质量、小果质量、单果质量和单果核质量,测量前,将100个果实按从小到大的顺序排列,小果质量为前33个果实总质量的平均值,大果质量为后33个果实总质量的平均值;随机选取30个果实,测量每个果实的

表1 油橄榄果实质量性状的分级标准  
Table 1 Grading standard of fruit qualitative traits of *Olea europaea* Linn.

质量性状 Qualitative trait	分级标准 <sup>1)</sup> Grading standard <sup>1)</sup>			
	1	2	3	4
果实形状 Fruit shape	球形 Spherical (R1<1.25)	卵圆形 Ovoid (1.25≤R1≤1.45)	细长形 Elongated (R1>1.45)	
果顶形状 Fruit apex shape	尖 Pointed	圆 Rounded		
果基形状 Fruit base shape	平截 Truncate	弧圆 Rounded		
果实横径位 Fruit horizontal diameter position	下位 Towards base	中位 Central	上位 Towards apex	
果实对称性 Fruit symmetry	对称 Symmetric	较对称 Slightly asymmetric	不对称 Asymmetric	
乳凸情况 Nipple situation	有 Present	无 Absent		
果斑数量 Fruit spot number	稀疏 Few	密集 Many	无 Absent	
果斑大小 Fruit spot size	小 Small	大 Large	无 Absent	
果核形状 Pit shape	球形 Spherical (R2<1.4)	卵圆形 Ovoid (1.4≤R2<1.8)	椭圆形 Elliptic (1.8≤R2≤2.2)	细长形 Elongated (R2>2.2)
核顶形状 Pit apex shape	尖 Pointed	钝 Rounded		
核基形状 Pit base shape	平截 Truncate	尖 Pointed	钝 Rounded	
果核对称性 Pit symmetry	对称 Symmetric	较对称 Slightly asymmetric	不对称 Asymmetric	
果核横径位 Pit horizontal diameter position	下位 Towards base	中位 Central	上位 Towards apex	
果核核尖 Pit tip	具尖 With mucro	无尖 Without mucro		
核面光滑程度 Pit surface smoothness	光滑 Smooth	多皱 Rugose	粗糙 Scabrous	

<sup>1)</sup> R1: 果形指数 Fruit shape index; R2: 核形指数 Pit shape index.

质量,平均值即单果质量,随后,去净果肉,称量每个果核的质量,平均值即单果核质量;根据上述测量结果计算果形指数(果实纵径与横径的比值)和核形指数(果核纵径与横径的比值),并参考文献[21]计算整齐度系数。随机选取10个果实,放入注有一定体积水的量筒(精度5 mL)中,根据果实放入前后水面的差值计算果实体积(按照1 mL=1 cm<sup>3</sup>进行换算),每个品种重复取样测量3次,结果取平均值。

### 1.3 数据处理及分析

使用 Microsoft EXCEL 2019 软件对油橄榄果实表型性状的原始数据进行整理和分析,并统计果实质量性状的各级频率及果实数量性状的最小值、最大值、极差、中位数、平均值、标准差和变异系数。参照文献[22-24]将每个果实数量性状分成10级,级差为0.5SD,1级为 $X_1 < \bar{X} - 2.0SD$ ,2级为 $\bar{X} - 2.0SD \leq X_2 < \bar{X} - 1.5SD$ ……9级为 $\bar{X} + 1.5SD \leq X_9 < \bar{X} + 2.0SD$ ,10级为 $X_{10} \geq \bar{X} + 2.0SD$ 。其中, $\bar{X}$ 为平均值,SD为标准差。使用 Bio-DAP 软件,根据每级的相对频率计算 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数<sup>[25-27]</sup>。使用 IBM SPSS Statistics 26.0 软件对果实数量性状进行 Pearson 相关性分析,并进行 KMO 值检验<sup>[28]</sup>和主成分分析<sup>[29]</sup>。根据各品种果实数量性状数据,采用 R 4.2.0 软件中的

factoextra 包<sup>[30]</sup>计算 Canberra 距离,并对供试品种进行聚类分析;使用 DPS 数据处理系统对各类群果实数量性状进行单因素方差分析和多重比较(LSD法)<sup>[31-32]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 油橄榄果实表型性状多样性分析

2.1.1 质量性状多样性分析 统计结果(表2)表明:油橄榄果实形状有球形、卵圆形和细长形3种类型,卵圆形频率最高(56.8%),球形和细长形频率相近,并且细长形频率最低;果顶形状有尖和圆2种类型,圆果顶频率(81.8%)明显高于尖果顶(18.2%),约为后者的4.5倍;果基形状有平截和弧圆2种类型,二者频率差距不大,平截频率略高(58.0%);果实横径位有下位、中位和上位3种类型,下位频率较低(4.5%),上位频率略高(14.8%),中位频率最高(80.7%);果实对称性有对称、较对称和不对称3种类型,对称频率最高(72.7%);84.1%的果实没有乳凸,仅15.9%的果实有乳凸;果斑数量包括稀疏、密集和无3种类型,其中,5.7%的果实无果斑,69.3%的果实果斑密集;果斑大小有小、大和无3种类型,86.4%的果实果斑小。

由表2还可见,果核形状有球形、卵圆形、椭圆形及细长形4种类型,细长形果核频率最高(65.9%),其次为椭圆形果核(29.5%),卵圆形果核频率较低(4.5%),并且未发现球形果核;核顶形状有尖和钝2种类型,其中,尖核顶频率最高(81.2%);核基形状有平截、尖和钝3种类型,钝核基频率最高(50.0%),尖核基频率次之(38.6%);果核对称性有对称、较对称和不对称3种类型,频率分别为29.5%、33.0%和37.5%;果核横径位有下位、中位和上位3种类型,其中,中位频率最高(64.8%);果核核尖包括具尖和无尖2种类型,其中,69.3%的果核具尖;核面光滑程度有光滑、多皱和粗糙3种类型,频率分别为45.5%、33.0%和21.6%。

生物多样性指数统计结果(表2)表明:油橄榄果实质量性状 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多

样性指数和 Pielou 均匀度指数的变化范围分别为 0.438~1.094、0.247~0.671 和 0.098~0.243,平均值分别为 0.735、0.451 和 0.164。果实形状、果斑数量、果核形状、核基形状、果核对称性、果核横径位、核面光滑程度的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均大于平均值,说明这 7 个油橄榄果实质量性状的多样性相对较高;而果顶形状、果实横径位、乳凸情况、果斑大小、核顶形状和果核核尖均小于平均值,说明这 6 个油橄榄果实质量性状的多样性相对较低。

2.1.2 数量性状多样性分析 果实数量性状统计结果(表3)表明:油橄榄果实数量性状变异系数变化范围为 9.97%~51.61%,平均值为 27.62%。其中,大果质量、小果质量、单果质量和果实体积的变异系数均大于 40%,果实横径、果柄粗、单果核质量和果核条

表2 油橄榄果实质量性状的各级频率及生物多样性指数

Table 2 Frequency of each grade and biodiversity indexes of fruit qualitative traits of *Olea europaea* Linn.

质量性状 Qualitative trait	各级的频率/% <sup>1)</sup> Frequency of each grade <sup>1)</sup>				Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	Simpson 多样性指数 Simpson diversity index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index
	1	2	3	4			
果实形状 Fruit shape	23.9	56.8	19.3		0.981	0.590	0.219
果顶形状 Fruit apex shape	18.2	81.8			0.474	0.301	0.105
果基形状 Fruit base shape	58.0	42.0			0.680	0.493	0.152
果实横径位 Fruit horizontal diameter position	4.5	80.7	14.8		0.596	0.329	0.134
果实对称性 Fruit symmetry	72.7	9.1	18.2		0.760	0.435	0.170
乳凸情况 Nipple situation	15.9	84.1			0.438	0.271	0.098
果斑数量 Fruit spot number	25.0	69.3	5.7		0.764	0.459	0.170
果斑大小 Fruit spot size	86.4	8.0	5.7		0.491	0.247	0.109
果核形状 Pit shape	0.0	4.5	29.5	65.9	0.776	0.482	0.174
核顶形状 Pit apex shape	81.2	18.8			0.483	0.308	0.107
核基形状 Pit base shape	11.4	38.6	50.0		0.961	0.595	0.214
果核对称性 Pit symmetry	29.5	33.0	37.5		1.094	0.671	0.243
果核横径位 Pit horizontal diameter position	9.1	64.8	26.1		0.850	0.510	0.190
果核核尖 Pit tip	69.3	30.7			0.617	0.430	0.138
核面光滑程度 Pit surface smoothness	45.5	33.0	21.6		1.055	0.646	0.237
平均值 Average					0.735	0.451	0.164

<sup>1)</sup>果实形状的1、2、3级分别代表球形、卵圆形和细长形 Grade 1, 2, and 3 of fruit shape represent spherical, ovoid, and elongated, respectively; 果顶形状的1和2级分别代表尖和圆 Grade 1 and 2 of fruit apex shape represent pointed and rounded, respectively; 果基形状的1和2级分别代表平截和弧圆 Grade 1 and 2 of fruit base shape represent truncate and rounded, respectively; 果实横径位的1、2、3级分别代表下位、中位和上位 Grade 1, 2, and 3 of fruit horizontal diameter position represent towards base, central, and towards apex, respectively; 果实对称性的1、2、3级分别代表对称、较对称和不对称 Grade 1, 2, and 3 of fruit symmetry represent symmetric, slightly asymmetric, and asymmetric, respectively; 乳凸情况的1和2级分别代表有和无 Grade 1 and 2 of nipple situation represent present and absent, respectively; 果斑数量的1、2、3级分别代表稀疏、密集和无 Grade 1, 2, and 3 of fruit spot number represent few, many, and absent, respectively; 果斑大小的1、2、3级分别代表小、大和无 Grade 1, 2, and 3 of fruit spot size represent small, large, and absent, respectively; 果核形状的1、2、3、4级分别代表球形、卵圆形、椭圆形和细长形 Grade 1, 2, 3, and 4 of pit shape represent spherical, ovoid, elliptic, and elongated, respectively; 核顶形状的1和2级分别代表尖和钝 Grade 1 and 2 of pit apex shape represent pointed and rounded, respectively; 核基形状的1、2、3级分别代表平截、尖和钝 Grade 1, 2, and 3 of pit base shape represent truncate, pointed and rounded, respectively; 果核对称性的1、2、3级分别代表对称、较对称和不对称 Grade 1, 2, and 3 of pit symmetry represent symmetric, slightly asymmetric, and asymmetric, respectively; 果核横径位的1、2、3级分别代表下位、中位和上位 Grade 1, 2, and 3 of pit horizontal diameter position represent towards base, central, and towards apex, respectively; 果核核尖的1和2级分别代表具尖和无尖 Grade 1 and 2 of pit tip represent with mucro and without mucro, respectively; 核面光滑程度的1、2、3级分别代表光滑、多皱和粗糙 Grade 1, 2, and 3 of pit surface smoothness represent smooth, rugose, and scabrous, respectively.



表 3 油橄榄果实数量性状统计及生物多样性指数  
Table 3 Statistics and biodiversity indexes of fruit quantitative traits of *Olea europaea* Linn.

统计量 <sup>1)</sup> Statistic <sup>1)</sup>	果实横径/cm Fruit horizontal diameter	果实纵径/cm Fruit vertical diameter	果形指数 Fruit shape index	果柄长/cm Peduncle length	果柄粗/cm Peduncle diameter	大果质量/g Big fruit mass	小果质量/g Small fruit mass	整齐度系数 Uniformity coefficient
$\lambda_{\min}$	0.906	1.369	1.096	0.30	0.054	1.064	0.808	0.302
$\lambda_{\max}$	2.678	3.377	1.697	0.64	0.134	14.690	9.292	0.867
$R$	1.772	2.008	0.601	0.34	0.079	13.626	8.484	0.566
$\lambda_{\text{med}}$	1.664	2.319	1.310	0.42	0.086	4.977	2.929	0.625
$\bar{X}$	1.686	2.244	1.343	0.43	0.090	5.041	3.167	0.625
$SD$	0.341	0.397	0.134	0.08	0.018	2.341	1.635	0.096
$CV/\%$	20.21	17.71	9.97	18.26	20.10	46.45	51.61	15.41
$H'$	2.047	1.978	2.011	2.030	2.038	1.979	1.870	2.018
$D$	0.863	0.844	0.854	0.864	0.864	0.857	0.840	0.856
$J_e$	0.458	0.442	0.449	0.453	0.456	0.442	0.418	0.451

统计量 <sup>1)</sup> Statistic <sup>1)</sup>	单果质量/g Single fruit mass	果实体积/cm <sup>3</sup> Fruit volume	果核横径/cm Pit horizontal diameter	果核纵径/cm Pit vertical diameter	核形指数 Pit shape index	单果核质量/g Single pit mass	果核条纹数 Pit stripe number	平均值 Average
$\lambda_{\min}$	0.932	0.90	0.431	0.817	1.517	0.203	3.0	
$\lambda_{\max}$	11.972	13.00	1.077	2.160	3.479	1.984	13.0	
$R$	11.040	12.10	0.646	1.343	1.961	1.780	10.0	
$\lambda_{\text{med}}$	3.811	4.20	0.627	1.484	2.292	0.628	7.0	
$\bar{X}$	4.161	4.20	0.621	1.443	2.351	0.613	7.0	
$SD$	1.967	2.20	0.112	0.247	0.364	0.244	1.8	
$CV/\%$	47.27	51.09	18.00	17.14	15.49	39.86	25.74	27.62
$H'$	1.972	1.944	1.893	1.945	1.996	1.830	1.926	1.965
$D$	0.854	0.844	0.832	0.817	0.848	0.811	0.832	0.845
$J_e$	0.440	0.433	0.422	0.433	0.447	0.409	0.431	0.439

<sup>1)</sup>  $\lambda_{\min}$ : 最小值 Minimum;  $\lambda_{\max}$ : 最大值 Maximum;  $R$ : 极差 Range;  $\lambda_{\text{med}}$ : 中位数 Median;  $\bar{X}$ : 平均值 Average;  $SD$ : 标准差 Standard deviation;  $CV$ : 变异系数 Coefficient of variation;  $H'$ : Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index;  $D$ : Simpson 多样性指数 Simpson diversity index;  $J_e$ : Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index.

纹数的变异系数介于 20%~40%,果实纵径、果柄长、整齐度系数、果核横径、果核纵径和核形指数的变异系数介于 15%~20%,仅果形指数的变异系数低于 10%,说明供试油橄榄品种的果实数量性状变异较为丰富。另外,油橄榄果实各数量性状的中位数和平均值较为接近,说明供试油橄榄品种的这些果实数量性状是渐近变化的,不存在与平均值差距过大的品种。

生物多样性指数统计结果(表 3)表明:油橄榄果实数量性状的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数的变化范围分别为 1.830~2.047、0.811~0.864 和 0.409~0.458,平均值分别为 1.965、0.845 和 0.439。果实横径、果形指数、果柄长、果柄粗、大果质量、整齐度系数、单果质量和核形指数的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均大于平均值,说明这 8 个果实数量性状的多样性相对较高;而小果质量、果实体积、果核横径、果核纵径、单果核质量和果核条

纹数的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均小于平均值,说明这 6 个果实数量性状的多样性相对较低。

## 2.2 油橄榄果实数量性状相关性分析

油橄榄果实数量性状相关性分析结果(表 4)显示:63 对性状存在极显著( $P<0.01$ )正相关,2 对性状存在显著( $P<0.05$ )正相关,7 对性状存在极显著负相关,3 对性状存在显著负相关。其中,果实横径与果实纵径、果柄长、果柄粗、大果质量、小果质量、单果质量、果实体积、果核横径、果核纵径、单果核质量和果核条纹数极显著正相关,与果形指数和核形指数极显著负相关;果实纵径与果柄长、果柄粗、大果质量、小果质量、单果质量、果实体积、果核横径、果核纵径、单果核质量和果核条纹数极显著正相关;果形指数与果核纵径和核形指数极显著正相关,与大果质量、小果质量、单果质量和果实体积极显著负相关,与果核横径显著负相关;果核横径还与果柄粗、大果质量、小果

质量、单果质量、果实体积、果核纵径、单果核质量和果核条纹数极显著正相关,与果柄长显著正相关,与核形指数极显著负相关;果核纵径还与果柄粗、大果质量、小果质量、单果质量、果实体积、核形指数和单果核质量极显著正相关;核形指数还与果实体积和果核条纹数显著负相关;整齐度系数与小果质量极显著正相关,与其他性状的相关性均不显著;除了果柄长与单果核质量和果柄粗以及果柄粗与果核条纹数的相关性不显著,单果核质量与果核条纹数显著正相关

外,果实体积、大果质量、小果质量、单果质量、单果核质量、果柄长、果柄粗、果核条纹数两两之间均极显著正相关。

### 2.3 油橄榄果实数量性状主成分分析

对 88 个油橄榄品种的果实数量性状进行 KMO 值检验,检验值为 0.696,说明这些果实数量性状适合主成分分析。主成分分析结果(表 5)表明:前 4 个主成分的累计贡献率为 86.115%,说明前 4 个主成分可以反映供试油橄榄品种果实数量性状的大部分信息。

表 4 油橄榄果实数量性状的相关性分析<sup>1)</sup>

Table 4 Correlation analysis of fruit quantitative traits of *Olea europaea* Linn.<sup>1)</sup>

性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient													
	$d_{fh}$	$d_{fv}$	FSI	$l_p$	$d_p$	$m_{bf}$	$m_{sf}$	UC	$m_f$	$v_f$	$d_{ph}$	$d_{pv}$	PSI	$m_p$
$d_{fv}$	0.886 **													
FSI	-0.451 **	0.007												
$l_p$	0.366 **	0.322 **	-0.163											
$d_p$	0.508 **	0.487 **	-0.164	-0.014										
$m_{bf}$	0.944 **	0.888 **	-0.307 **	0.305 **	0.478 **									
$m_{sf}$	0.914 **	0.852 **	-0.303 **	0.310 **	0.516 **	0.944 **								
UC	0.129	0.087	-0.081	0.003	0.202	0.079	0.373 **							
$m_f$	0.933 **	0.881 **	-0.294 **	0.282 **	0.537 **	0.982 **	0.970 **	0.197						
$v_f$	0.957 **	0.892 **	-0.332 **	0.321 **	0.477 **	0.971 **	0.942 **	0.135	0.960 **					
$d_{ph}$	0.798 **	0.761 **	-0.246 *	0.264 *	0.547 **	0.784 **	0.719 **	0.012	0.768 **	0.809 **				
$d_{pv}$	0.545 **	0.849 **	0.451 **	0.204	0.397 **	0.622 **	0.586 **	0.025	0.625 **	0.618 **	0.630 **			
PSI	-0.302 **	0.093	0.838 **	-0.111	-0.185	-0.169	-0.137	0.022	-0.146	-0.216 *	-0.411 **	0.430 **		
$m_p$	0.827 **	0.846 **	-0.149	0.190	0.474 **	0.877 **	0.795 **	0.033	0.863 **	0.870 **	0.868 **	0.734 **	-0.131	
$n$	0.345 **	0.296 **	-0.173	0.295 **	0.090	0.293 **	0.311 **	0.092	0.294 **	0.302 **	0.376 **	0.162	-0.244 *	0.255 *

<sup>1)</sup>  $d_{fh}$ : 果实横径 Fruit horizontal diameter;  $d_{fv}$ : 果实纵径 Fruit vertical diameter; FSI: 果形指数 Fruit shape index;  $l_p$ : 果柄长 Peduncle length;  $d_p$ : 果柄粗 Peduncle diameter;  $m_{bf}$ : 大果质量 Big fruit mass;  $m_{sf}$ : 小果质量 Small fruit mass; UC: 整齐度系数 Uniformity coefficient;  $m_f$ : 单果质量 Single fruit mass;  $v_f$ : 果实体积 Fruit volume;  $d_{ph}$ : 果核横径 Pit horizontal diameter;  $d_{pv}$ : 果核纵径 Pit vertical diameter; PSI: 核形指数 Pit shape index;  $m_p$ : 单果核质量 Single pit mass;  $n$ : 果核条纹数 Pit stripe number. \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ .

表 5 油橄榄果实数量性状的主成分分析<sup>1)</sup>

Table 5 Principal component analysis of fruit quantitative traits of *Olea europaea* Linn.<sup>1)</sup>

主成分 Principal component	各数量性状的特征向量 Eigenvector of each quantitative trait									
	$d_{fh}$	$d_{fv}$	FSI	$l_p$	$d_p$	$m_{bf}$	$m_{sf}$	UC	$m_f$	
1	0.908	0.926	-0.171	0.171	0.641	0.943	0.891	0.077	0.942	
2	-0.233	0.221	0.935	-0.018	-0.136	-0.100	-0.083	0.000	-0.084	
3	0.253	0.218	-0.117	0.814	-0.316	0.195	0.211	0.028	0.165	
4	0.070	0.016	-0.089	-0.035	0.209	0.028	0.330	0.972	0.152	
主成分 Principal component	各数量性状的特征向量 Eigenvector of each quantitative trait						EV	CR/%	CCR/%	
	$v_f$	$d_{ph}$	$d_{pv}$	PSI	$m_p$	$n$				
1	0.938	0.861	0.754	-0.112	0.931	0.205	8.293	55.285	55.285	
2	-0.129	-0.191	0.606	0.943	0.008	-0.144	2.344	15.629	70.914	
3	0.212	0.153	0.097	-0.086	0.080	0.673	1.196	7.975	78.889	
4	0.067	-0.136	-0.068	0.084	-0.090	0.079	1.084	7.226	86.115	

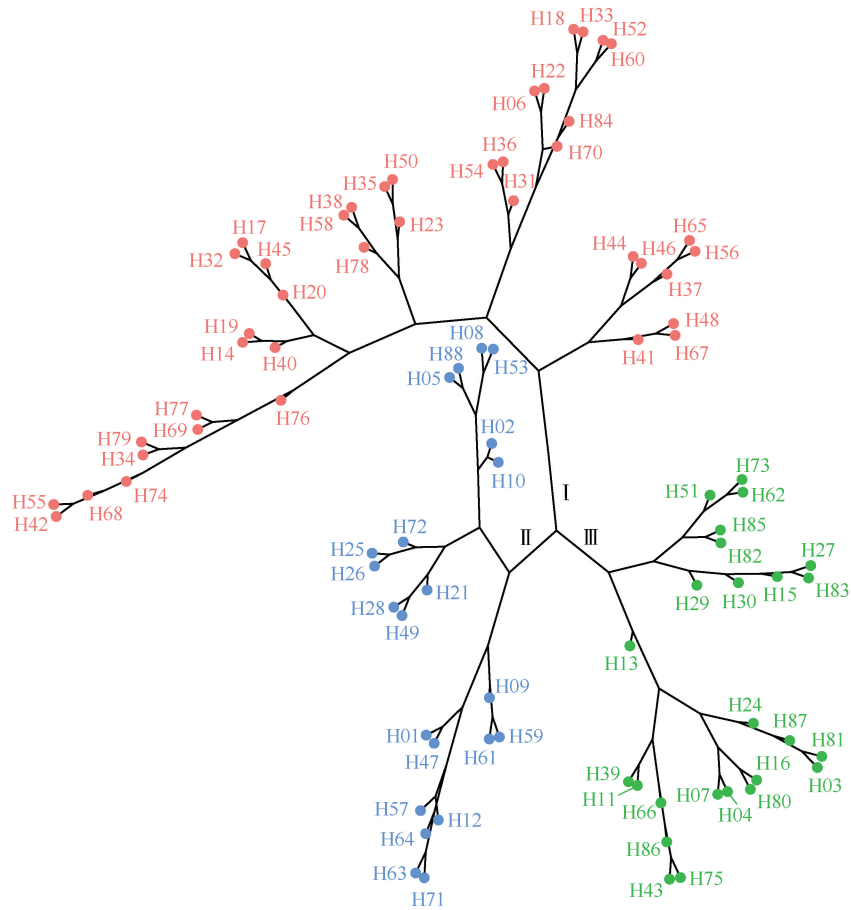
<sup>1)</sup>  $d_{fh}$ : 果实横径 Fruit horizontal diameter;  $d_{fv}$ : 果实纵径 Fruit vertical diameter; FSI: 果形指数 Fruit shape index;  $l_p$ : 果柄长 Peduncle length;  $d_p$ : 果柄粗 Peduncle diameter;  $m_{bf}$ : 大果质量 Big fruit mass;  $m_{sf}$ : 小果质量 Small fruit mass; UC: 整齐度系数 Uniformity coefficient;  $m_f$ : 单果质量 Single fruit mass;  $v_f$ : 果实体积 Fruit volume;  $d_{ph}$ : 果核横径 Pit horizontal diameter;  $d_{pv}$ : 果核纵径 Pit vertical diameter; PSI: 核形指数 Pit shape index;  $m_p$ : 单果核质量 Single pit mass;  $n$ : 果核条纹数 Pit stripe number; EV: 特征值 Eigenvalue; CR: 贡献率 Contribution rate; CCR: 累计贡献率 Cumulative contribution rate.

第 1 主成分的贡献率为 55.285%, 其中, 大果质量、单果质量、果实体积、单果核质量、果实纵径、果实横径、小果质量和果核横径的特征向量绝对值较高; 第 2 主成分的贡献率为 15.629%, 其中, 核形指数和果形指数的特征向量绝对值明显高于其他性状; 第 3 主成分的贡献率为 7.975%, 其中, 果柄长和果核条纹数的特征向量绝对值明显高于其他性状; 第 4 主成分的贡献率为 7.226%, 仅整齐度系数的特征向量绝对值明显

高于其他性状。

### 2.4 基于油橄榄果实数量性状的聚类分析

基于油橄榄果实 15 个数量性状对供试油橄榄品种进行聚类分析, 结果(图 1)显示: 供试的 88 个油橄榄品种被分成 3 大类群, 其中, 类群 I 包括‘Picual’、‘Hojiblanca’、‘Cobrancosa’等 41 个品种, 类群 II 包括‘Frantoio’、‘Leccino’、‘Chemlal de Kabylie’等 22 个品种, 类群 III 包括‘Pendolino’、‘张林’(‘Zhanglin’)、



H01: ‘Frantoio’; H02: ‘Leccino’; H03: ‘Pendolino’; H04: ‘张林’‘Zhanglin’; H05: ‘Chemlal de Kabylie’; H06: ‘Picual’; H07: ‘Koroneiki’; H08: ‘Kalinjot’; H09: ‘九峰’‘Jiufeng’; H10: ‘Coratina’; H11: ‘Arbequina’; H12: ‘鄂植 8 号’‘Ezhi 8’; H13: ‘Kalamata’; H14: ‘Hojiblanca’; H15: ‘Arbosana’; H16: ‘Acebuche’; H17: ‘Cobrancosa’; H18: ‘Sikitita’; H19: ‘Macho de Jaen’; H20: ‘Codovil’; H21: ‘Empeltre’; H22: ‘Verdial de Badajoz’; H23: ‘Pico Limon’; H24: ‘Frantoio Corsini’; H25: ‘SL’; H26: ‘Nevado Azul’; H27: ‘Santa Caterina’; H28: ‘Ullirii Bardhe’; H29: ‘云台’‘Yuntai’; H30: ‘Tanche’; H31: ‘Ascolana Tenera’; H32: ‘Espanico’; H33: ‘Maurino’; H34: ‘Azapa’; H35: ‘Leucoarpa Round’; H36: ‘Morisca’; H37: ‘Nieda di Oleana’; H38: ‘Cucco’; H39: ‘Soury’; H40: ‘Blanket’; H41: ‘Naballi Muhassan’; H42: ‘Picholine Marocaine’; H43: ‘San Francesco’; H44: ‘Ascolano’; H45: ‘Manzanilla Cacerena’; H46: ‘Gordal de Sevillana’; H47: ‘Piangente’; H48: ‘Amigdalolea Nana’; H49: ‘Leucoarpa Ovoid’; H50: ‘Verdale del Hérault’; H51: ‘Gemlik’; H52: ‘Manzanico de Labata’; H53: ‘Rama Pendula’; H54: ‘Shimlali’; H55: ‘Sigoise’; H56: ‘Tonda di Cagliari’; H57: ‘Callosina’; H58: ‘Blanca Roja’; H59: ‘Morrut’; H60: ‘MeM’; H61: ‘Biancolilla’; H62: ‘Verdal’; H63: ‘Dolce dl Morocco’; H64: ‘Brintian’; H65: ‘Ton da Ablaa’; H66: ‘ORS’; H67: ‘Nabali Farha’; H68: ‘Telsmani’; H69: ‘Grand dl Sicllia’; H70: ‘Baslllca’; H71: ‘RVB’; H72: ‘JeR’; H73: ‘LDS’; H74: ‘Mc Ssoon’; H75: ‘Doa’; H76: ‘Nieda di Gonno’; H77: ‘Misn’; H78: ‘Nevlbdly’; H79: ‘Rol’; H80: ‘Konservolia’; H81: ‘Hiaki’; H82: ‘Minutera’; H83: ‘Royeta de Asque’; H84: ‘Oleaster Sardegna’; H85: ‘Imperial’; H86: ‘Canino’; H87: ‘Uslu’; H88: ‘Pointed Kalinjot’.

图 1 基于果实数量性状的油橄榄品种聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of *Olea europaea* Linn. cultivars based on fruit quantitative traits

‘Koroneiki’等 25 个品种。

方差分析结果(表 6)表明:不同类群油橄榄的果实数量性状存在明显差异。类群 I 的果实横径、果实纵径、大果质量、小果质量、单果质量、果实体积、果核横径、单果核质量和果核条纹数最大,且显著( $P < 0.05$ )高于类群 II 和 III;果柄长、果柄粗和果核纵径显著高于类群 III,但与类群 II 无显著差异;核形指数显著低于类群 II,但与类群 III 无显著差异,表明类群 I 的油橄榄品种具有果实和果核较大、果柄长且粗的特点。类群 II 的果实横径、果实纵径、大果质量、单果质

量、果实体积、果核横径和单果核质量显著低于类群 I 并显著高于类群 III;果柄长、果柄粗和果核纵径显著高于类群 III,但与类群 I 无显著差异;核形指数显著高于类群 I 和 III;小果质量和果核条纹数显著低于类群 I,与类群 III 无显著差异,表明类群 II 的油橄榄品种果实和果核大小居中。类群 III 的果实横径、果实纵径、果柄长、果柄粗、大果质量、单果质量、果实体积、果核横径、果核纵径和单果核质量显著低于类群 I 和 II,表明类群 III 的油橄榄品种具有果实和果核小、果柄短且细的特点。

表 6 不同类群油橄榄果实数量性状差异分析( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 6 Difference analysis of fruit quantitative traits of different groups of *Olea europaea* Linn. ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

类群 Group	果实横径/cm Fruit horizontal diameter	果实纵径/cm Fruit vertical diameter	果形指数 Fruit shape index	果柄长/cm Peduncle length	果柄粗/cm Peduncle diameter	大果质量/g Big fruit mass	小果质量/g Small fruit mass	整齐度系数 Uniformity coefficient
I	1.982±0.208a	2.548±0.244a	1.290±0.089a	0.46±0.09a	0.096±0.017a	6.941±1.853a	4.489±1.347a	0.647±0.082a
II	1.533±0.109b	2.241±0.129b	1.467±0.117a	0.44±0.06a	0.092±0.018a	4.028±0.745b	2.369±0.462b	0.596±0.100a
III	1.336±0.199c	1.749±0.213c	1.321±0.142a	0.39±0.07b	0.078±0.014b	2.817±1.185c	1.702±0.819b	0.614±0.109a
类群 Group	单果质量/g Single fruit mass	果实体积/cm <sup>3</sup> Fruit volume	果核横径/cm Pit horizontal diameter	果核纵径/cm Pit vertical diameter	核形指数 Pit shape index	单果核质量/g Single pit mass	果核条纹数 Pit stripe number	
I	5.741±1.596a	5.98±1.85a	0.694±0.094a	1.553±0.188a	2.258±0.288b	0.777±0.234a	8.0±1.8a	
II	3.303±0.565b	3.36±0.69b	0.616±0.064b	1.570±0.118a	2.578±0.353a	0.589±0.090b	6.0±1.5b	
III	2.324±1.020c	2.16±0.73c	0.505±0.061c	1.150±0.162b	2.303±0.411b	0.365±0.089c	6.0±1.6b	

<sup>1)</sup> 同列中不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant differences ( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论和结论

植物的表型性状是自身遗传与环境因子共同作用的结果,是植物遗传多样性研究的重要内容<sup>[33-34]</sup>。植物表型性状多样性不仅对高效挖掘和利用优质种质资源至关重要,而且是筛选和培育优良品种的重要基础<sup>[33,35-37]</sup>。另外,还可将表型性状与基因型结合起来,挖掘关键基因,开发可供育种利用的分子标记,有助于发掘具有自主知识产权和重大应用价值的核心基因<sup>[38]</sup>,从而筛选和培育出优质植物新品种。

果实表型性状多样性分析结果表明:供试油橄榄品种果实质量性状和数量性状的多样性较为丰富,果实质量性状和数量性状 Shannon-Wiener 多样性指数的变化范围分别为 0.438~1.094 和 1.830~2.047,与秦倩等<sup>[11]</sup>和徐悦等<sup>[39]</sup>得出的油橄榄果实质量性状和数量性状 Shannon-Wiener 多样性指数的变化范围存在差异,这可能是供试材料和调查指标不同所致。

值得注意的是,本研究及上述研究油橄榄果实数量性状的 Shannon-Wiener 多样性指数平均值均明显高于质量性状,说明油橄榄果实数量性状多样性较质量性状更丰富。本研究中,油橄榄果实数量性状 Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数的平均值(分别为 0.845 和 0.439)明显高于质量性状(分别为 0.451 和 0.164),进一步说明油橄榄果实数量性状的多样性较质量性状更丰富。另外,供试油橄榄果实质量性状和数量性状 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数从小到大的顺序完全一致,即 Shannon-Wiener 指数越大, Pielou 均匀度指数也越大,与王永康等<sup>[40]</sup>对枣 [*Ziziphus jujuba* (Linn.) Lam.] 的研究结果一致,说明 Shannon-Wiener 多样性指数不仅可以反映油橄榄果实表型性状变异的丰富程度,还可以反映油橄榄果实表型性状变异的均匀程度。

变异系数能够反映植物表型性状的变异幅度,表型性状变异系数越大,表明该表型性状的多样性越丰富;相反,表型性状变异系数越小,表明该表型性状的



稳定性越好,越不易受环境因子影响。多数学者认为,变异系数大于10%表示样本间的差异较大<sup>[41-43]</sup>。本研究中,仅果形指数的变异系数低于10%,说明供试油橄榄品种果实数量性状变异较为丰富。比较发现,供试88个油橄榄品种果实数量性状的变异系数变化范围(9.97%~51.61%)小于秦倩等<sup>[11]</sup>的研究结果(4.46%~54.83%),但明显大于徐悦等<sup>[39]</sup>的研究结果(10%~22%),这可能与涉及的油橄榄品种和数量以及调查指标存在差异有关。

相关性分析结果表明:油橄榄果实15个数量性状中,75对性状显著( $P<0.05$ )或极显著( $P<0.01$ )相关,可反映油橄榄果实大小的指标果实横径、果实纵径、大果质量、小果质量、单果质量和果实体积与可反映果核大小的指标果核横径、果核纵径和单果核质量均极显著正相关,说明油橄榄的果实大小与果核大小存在极显著的正相关关系,果核越大,种子越饱满,激素类产物就越多,进而促进果实生长<sup>[44]</sup>。另外,油橄榄上述果实和果核大小指标基本上与果柄粗极显著正相关,这是因为在果实生长的营养传输过程中,果柄相当于果实与树体间的营养“传输管”横截面,果柄越粗越利于养分供给,进而促进果实和果核生长<sup>[45]</sup>。值得注意的是,油橄榄果实整齐度系数仅与小果质量极显著正相关,由此推断果实偏小的油橄榄品种的果实整齐度相对较好。果形指数与果核纵径和核形指数极显著正相关,且核形指数与果核纵径极显著正相关,表明油橄榄的果实形状与果核形状关系密切,另由于油橄榄的果核成熟期早于果实,故认为油橄榄的果实形状由果核形状决定,且果核纵径是决定果核和果实形状的关键指标。除果实纵径外,其余果实大小指标均与果形指数极显著负相关,说明油橄榄的果实大小与果实形状存在制约关系。

主成分分析可以将多个变量简化为少数几个综合指标<sup>[46-48]</sup>。基于油橄榄果实数量性状主成分分析获得的前4个主成分的累计贡献率为86.115%,说明这4个主成分可以反映供试油橄榄品种果实表型性状的主要特征。特征向量是主成分分析中的一个重要指标,各主成分中某个性状特征向量绝对值的大小能够反映该性状在相应主成分中的地位和作用<sup>[49]</sup>。本研究中,第1主成分中果实和果核大小性状(包括果实横径、果实纵径、大果质量、小果质量、单果质量、果实体积、果核横径、单果核质量)的特征向量绝对值较高,说明第1主成分主要反映油橄榄的果实和果

核大小;第2主成分中仅核形指数和果形指数的特征向量绝对值较高,主要反映油橄榄的果实和果核形状;第3主成分中果柄长和果核条纹数的特征向量绝对值较高,主要反映油橄榄果柄长度和果核表面光滑程度;第4主成分中仅整齐度系数的特征向量绝对值较高,主要反映油橄榄果实的整齐程度。

聚类分析能够揭示植物种质资源的遗传结构和变异规律,为植物育种提供重要理论支撑<sup>[50-51]</sup>。本研究中,供试油橄榄品种被分为I、II、III 3个类群,且各类群间的果实数量性状存在明显差异,其中,类群I的果实和果核较大、果柄长且粗,类群II的果实和果核大小居中,类群III的果实和果核较小、果柄短且细。然而,这3个类群油橄榄品种在原产国和用途上的区别并不明显,可能是因为在长期引种栽培过程中,油橄榄在生长发育上产生了趋同化现象<sup>[52-54]</sup>。

综上所述,供试油橄榄品种果实表型性状多样性较为丰富,且果实数量性状的多样性较质量性状高;供试油橄榄品种可分成3个类群,且各类群的果实和果核大小以及果柄的长短和粗细存在明显差异。

#### 参考文献:

- [1] 王有兵,严毅,周庆宏.油橄榄研究进展[J].林业调查规划,2013,38(1):39-44.
- [2] CLODOVEO M L, CAMPOSEO S, DE GENNARO B, et al. In the ancient world, virgin olive oil was called “liquid gold” by Homer and “the great healer” by Hippocrates. Why has this mythic image been forgotten? [J]. Food Research International, 2014, 62: 1062-1068.
- [3] 徐伟英.植物油的皇后:橄榄油[J].林业科技通讯,1994(4):29-30.
- [4] 安娜.植物油皇后:橄榄油[J].科学养生,2004(11):19-20.
- [5] 徐伟英,陈周顺.营养之王橄榄油[M].上海:上海科学普及出版社,2009:32-33.
- [6] EL BAKKALI A, ESSALOUH L, TOLLON C, et al. Characterization of Worldwide Olive Germplasm Banks of Marrakech (Morocco) and Córdoba (Spain): towards management and use of olive germplasm in breeding programs [J]. PLoS ONE, 2019, 14(10): e0223716.
- [7] 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,2018:385-403.
- [8] 中国乡村发展志愿服务促进会.中国油橄榄产业发展蓝皮书(2022)[M].北京:研究出版社,2023:63-67.
- [9] 龙伟,王裕斌,姚小华,等.四川省青川县油橄榄果实性状与含油率及脂肪酸组成分析[J].中国油脂,2017,42(8):116-122.

- [10] 吴开志, 肖千文, 贾瑞芬, 等. 油橄榄品种表型性状的多样性[J]. 经济林研究, 2008, 26(2): 48-52.
- [11] 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.
- [12] BLAZAKIS K N, KOSMA M, KOSTELENOS G, et al. Description of olive morphological parameters by using open access software[J]. Plant Methods, 2017, 13: 111.
- [13] LAVEE S. Evaluation of the need and present potential of olive breeding indicating the nature of the available genetic resources involved[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 161: 333-339.
- [14] CANTINI C, CIMATO A, SANI G. Morphological evaluation of olive germplasm present in Tuscany region[J]. Euphytica, 1999, 109: 173-181.
- [15] 武艳虹, 樊泽璐, 李 佳, 等. 茶条槭自然种群种子和果实表型多样性研究[J]. 广西植物, 2018, 38(6): 795-803.
- [16] 郭 松, 李在留, 薛建辉, 等. 不同种源掌叶木果实和种子表型性状多样性分析及综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(4): 11-20.
- [17] 社会聪, 蒋雅婷, 张 莹, 等. 浙江省蜡梅野生种群果实表型性状变异及其与土壤相关因子的关系[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(2): 77-84.
- [18] 张赞齐, 董宁光, 郝艳宾, 等. 109 份丰产核桃单株坚果表型多样性分析及性状评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(3): 87-96.
- [19] International Union for the Protection of New Varieties of Plants. Olive: guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability: TG/99/4 [S/OL]. [2024-08-27]. <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg099.doc>.
- [20] NAVERO D B, TOUZANI A, CIMATO A, et al. World Catalogue of Olive Varieties [M]. Madrid: International Olive Oil Council, 2000: 18-22.
- [21] 景士西, 张耀良, 景 绚. 果实大小整齐度评价方法的研究[J]. 北方果树, 1992(3): 6-10.
- [22] 董承光, 王 娟, 周小凤, 等. 基于表型性状的陆地棉种质资源遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(3): 438-446.
- [23] 黄月琴, 方 荣, 陈学军, 等. 茄子种质资源表型性状分析与遗传多样性评价[J]. 热带作物学报, 2021, 42(7): 1896-1904.
- [24] 胡建斌, 马双武, 简在海, 等. 中国甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(4): 612-619.
- [25] SHANNON C E. A mathematical theory of communication[J]. The Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379-423, 623-656.
- [26] SIMPSON E H. Measurement of diversity [J]. Nature, 1949, 163: 688.
- [27] PIELOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections [J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 13: 131-144.
- [28] 杨维忠, 张 甜, 王国平. SPSS 统计分析与行业应用案例详解 [M]. 4 版. 北京: 清华大学出版社, 2019: 177.
- [29] 董 艺, 路云龙. 基于相关性分析和主成分分析的基因调控网络研究[J]. 吉林化工学院学报, 2021, 38(9): 112-116.
- [30] IRNAWATI I, RISWANTO F D O, RIYANTO S, et al. The use of software packages of R factoextra and FactoMineR and their application in principal component analysis for authentication of oils [J]. Indonesian Journal of Chemometrics and Pharmaceutical Analysis, 2021, 1(1): 1-10.
- [31] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析 & 数据挖掘 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 82-95.
- [32] 徐 伟, 季索菲. DPS 数据处理系统在生物统计分析中的应用 [J]. 榆林学院学报, 2014, 24(4): 24-27.
- [33] 白羿雄, 郑雪晴, 姚有华, 等. 青稞种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2019, 52(23): 4201-4214.
- [34] 胡标林, 万 勇, 李 霞, 等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839.
- [35] 林存学, 杨晓华, 刘海荣. 东北寒地 96 份李种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报, 2020, 47(10): 1917-1929.
- [36] 张向前, 刘景辉, 齐冰洁, 等. 燕麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(2): 168-174.
- [37] 程雯慧, 梁 琪, 穆文静, 等. 226 份月季种质资源表型多样性分析及综合评价 [J]. 江苏农业科学, 2024, 52(9): 173-181.
- [38] 张计育, 王 刚, 王 涛, 等. 薄壳山核桃果实性状和种仁脂肪含量多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(2): 29-37.
- [39] 徐 悦, 黄 兰, 李金花, 等. 基于表型和 SSR 标记的陇南油橄榄品种鉴定与遗传多样性分析[J]. 林业科学研究, 2022, 35(4): 33-43.
- [40] 王永康, 吴国良, 赵爱玲, 等. 枣种质资源的表型遗传多样性 [J]. 林业科学, 2014, 50(10): 33-41.
- [41] 李洪立, 胡文斌, 洪青梅, 等. 火龙果种质资源果实特性的遗传多样性分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(4): 432-438.
- [42] 董博文, 李继东, 郑先波, 等. 山茱萸种质资源表型性状多样性及相关性分析[J]. 经济林研究, 2014, 32(2): 163-166.
- [43] 苏 上, 李振坚, 倪建伟, 等. 山桐子果穗和果实性状多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(2): 35-44.
- [44] 耿玉韬. 种子与果实发育的关系[J]. 生物学通报, 1988(12): 4-5.
- [45] 何昕孺, 张曦燕, 米 佳, 等. 枸杞果柄分离力与果实、果柄形态及内源激素含量间的关系[J]. 经济林研究, 2019, 37(1): 100-106.
- [46] 韩小孩, 张耀辉, 孙福军, 等. 基于主成分分析的指标权重确定方法[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(10): 124-126.
- [47] 田 贺, 张志东, 李亚东, 等. 主成分分析法在茶藨属植物果实品质评价指标上的应用研究[J]. 吉林农业大学学报, 2009,

- 31(5): 632-636.
- [48] 戚建莉, 张 荣, 吴文俊, 等. 油橄榄种质资源表型性状多样性分析与评价[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(4): 1001-1015.
- [49] 谭远德, 鲁 成, 向仲怀. 品种综合评价的数学方法[J]. 生物数学学报, 2000, 15(4): 457-466.
- [50] 苑 旺, 赵永亮, 王丽洁. SSR 分子标记在花生种质资源鉴定方面的应用研究[J]. 分子植物育种, 2016, 14(12): 3462-3468.
- [51] 张强强, 梁 赛, 王 艳, 等. 基于表型性状和 SSR 标记的 57 份辣椒种质遗传多样性分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(4): 356-366.
- [52] 刘冠成, 黄雅曦, 王庆贵, 等. 环境因子对植物物种多样性的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2018, 34(13): 83-89.
- [53] HE Z W, XU S H, ZHANG Z, et al. Convergent adaptation of the genomes of woody plants at the land-sea interface [J]. National Science Review, 2020, 7: 978-993.
- [54] 马 森, 李 博, 陈家宽. 植物对荒漠生境的趋同适应[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3861-3869.

(责任编辑: 佟金凤)

附表 1 供试油橄榄品种信息

Supplementary table 1 Information of test cultivars of *Olea europaea* Linn.

编号 No.	品种 Cultivar	原产国 Origin country	用途 <sup>1)</sup> Use <sup>1)</sup>	编号 No.	品种 Cultivar	原产国 Origin country	用途 <sup>1)</sup> Use <sup>1)</sup>	编号 No.	品种 Cultivar	原产国 Origin country	用途 <sup>1)</sup> Use <sup>1)</sup>
H01	Frantoio	意大利 Italy	Oi	H31	Ascolana Tenera	意大利 Italy	Ta	H60	MeM	以色列 Israel	Oi
H02	Leccino	意大利 Italy	Oi	H32	Espanico	西班牙 Spain	Oi	H61	Biancolilla	意大利 Italy	Oi
H03	Pendolino	意大利 Italy	Oi	H33	Maurino	意大利 Italy	Oi	H62	Verdal	西班牙 Spain	Oi
H04	张林 Zhanglin	中国 China	Oi	H34	Azapa	智利 Chile	Ta	H63	Dolce dl Morocco	摩洛哥 Morocco	Oi
H05	Chemlal de Kabylie	阿尔及利亚 Algeria	Oi	H35	Leucoaripa Round	意大利 Italy	Or	H64	Brintian	西班牙 Spain	Ta
H06	Picual	西班牙 Spain	Oi	H36	Morisca	西班牙 Spain	DP	H65	Ton da Ablaa	以色列 Israel	Oi
H07	Koroneiki	希腊 Greece	Oi	H37	Nieda di Oleana	以色列 Israel	DP	H66	ORS	以色列 Israel	Oi
H08	Kalinjot	阿尔巴尼亚 Albania	DP	H38	Cucco	意大利 Italy	DP	H67	Nabali Farha	巴勒斯坦 Palestine	Oi
H09	九峰 Jiufeng	中国 China	DP	H39	Soury	黎巴嫩 Lebanon	DP	H68	Telsmani	以色列 Israel	Ta
H10	Coratina	意大利 Italy	Oi	H40	Blanket	土耳其 Türkiye	DP	H69	Grand dl Sicllla	以色列 Israel	Oi
H11	Arbequina	西班牙 Spain	Oi	H41	Naballi Muhassan	巴勒斯坦 Palestine	DP	H70	Basllca	以色列 Israel	Oi
H12	鄂植 8 号 Ezhi 8	中国 China	Oi	H42	Picholine Marocaine	摩洛哥 Morocco	DP	H71	RVB	以色列 Israel	Ta
H13	Kalamata	希腊 Greece	DP	H43	San Francesco	意大利 Italy	DP	H72	JeR	意大利 Italy	Oi
H14	Hojiblanca	西班牙 Spain	DP	H44	Ascolano	美国 USA	Ta	H73	LDS	叙利亚 Syria	Oi
H15	Arbosana	西班牙 Spain	Oi	H45	Manzanilla	西班牙 Spain,	DP	H74	Mc Soon	以色列 Israel	Ta
H16	Acebuche	西班牙 Spain	Oi		Cacerena	葡萄牙 Portugal		H75	Doa	以色列 Israel	Ta
H17	Cobrancosa	葡萄牙 Portugal	Oi	H46	Gordal de Sevillana	西班牙 Spain	Ta	H76	Nieda di Gonno	以色列 Israel	Ta
H18	Sikitita	西班牙 Spain	Oi	H47	Piangente	意大利 Italy	Oi	H77	Misn	以色列 Israel	Ta
H19	Macho de Jaen	西班牙 Spain	Oi	H48	Amigdalolea Nana	希腊 Greece	Ta	H78	Nevlbdly	以色列 Israel	Ta
H20	Codovil	葡萄牙 Portugal	DP	H49	Leucocarpa Ovoid	西班牙 Spain	Oi	H79	Rol	以色列 Israel	Ta
H21	Empeltre	西班牙 Spain	Oi	H50	Verdale del Hérault	法国 France	DP	H80	Konservolia	希腊 Greece	DP
H22	Verdial de Badajoz	西班牙 Spain	Oi	H51	Gemlik	土耳其 Türkiye	DP	H81	Hiaki	希腊 Greece	Oi
H23	Pico Limon	西班牙 Spain	DP	H52	Manzanico de Labata	西班牙 Spain	Ta	H82	Minutera	西班牙 Spain	Oi
H24	Frantoio Corsini	意大利 Italy	Oi	H53	Rama Pendula	意大利 Italy	Oi	H83	Royeta de Asque	西班牙 Spain	Oi
H25	SL	希腊 Greece	DP	H54	Shimlali	以色列 Israel	Oi	H84	Oleaster Sardegna	意大利 Italy	Or
H26	Nevado Azul	西班牙 Spain	Oi	H55	Sigoise	阿尔及利亚 Algeria	DP	H85	Imperial	西班牙 Spain	Ta
H27	Santa Caterina	意大利 Italy	Ta	H56	Tonda di Cagliari	意大利 Italy	Oi	H86	Canino	意大利 Italy	Oi
H28	Ullirri Bardhe	阿尔巴尼亚 Albania	DP	H57	Callosina	西班牙 Spain	Oi	H87	Uslu	土耳其 Türkiye	Oi
H29	云台 Yuntai	中国 China	Oi	H58	Blanca Roja	西班牙 Spain	Oi	H88	Pointed Kalinjot	阿尔巴尼亚 Albania	DP
H30	Tanche	法国 France	DP	H59	Morrut	西班牙 Spain	Oi				

<sup>1)</sup> Oi: 油用 Oil; DP: 兼用 Dual-purpose; Ta: 果用 Table; Or: 观赏用 Ornament.