

叶清华, 刘林敏, 邱娜娜, 谢倩, 王威, 陈清西. 橄榄(*Canarium album*)种子形态结构与数量性状分析[J]. 植物科学学报, 2019, 37(4): 413~421
 Ye QH, Liu LM, Qiu NN, Xie Q, Wang W, Chen QX. Seed morphological structure and quantitative trait analysis of *Canarium album*[J]. *Plant Science Journal*, 2019, 37(4): 413~421

橄榄(*Canarium album*)种子形态结构与数量性状分析

叶清华, 刘林敏, 邱娜娜, 谢倩, 王威, 陈清西*

(福建农林大学园艺学院, 福州 350002)

摘要: 以福建主栽的橄榄(*Canarium album* (Lour.) Rauesch.)品种‘长营’种子为材料, 观察其成熟种子及不同发育时期种子的形态结构, 对数量性状进行测量与统计分析, 并运用概率分级建立形态指标的正态分布分级标准。结果显示, 橄榄种子表型性状和形态结构变异较大, 各数量性状变异系数为6.77% ~ 19.04%, 具有丰富的遗传多样性; 橄榄种子心室类型有12种, 其中三心室占比最高(97.80%); 胚数量0 ~ 4个不等; 经K-S检验, 各数量性状符合正态分布, 依据各性状可划分为5级分级标准。本研究为橄榄种质的系统学研究提供了种子形态方面的新内容, 可为橄榄资源描述的标准化及遗传育种研究提供一定的参考。

关键词: 橄榄; 果核; 心室; 胚; 表型性状; 概率分级

中图分类号: Q949.752.9; S667.5 **文献标识码:** A

文章编号: 2095-0837(2019)04-0413-09

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2019.40413

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Seed morphological structure and quantitative trait analysis of *Canarium album*

Ye Qing-Hua, Liu Lin-Min, Qiu Na-Na, Xie Qian, Wang Wei, Chen Qing-Xi*

(College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Seeds of the major cultivar *Canarium album* (Lour.) Rauesch. ‘Changying’ in Fujian were used as test materials. The morphological structure of the mature seeds and seeds in different developmental periods were observed, with quantitative traits measured and analyzed. We used probability grading to establish indices to grade normal distribution. Results showed that variations in seed phenotypic traits and morphology were large, and the variation coefficients of characters ranged from 6.77% to 19.04%, with abundant genetic diversity. There were 12 types of loculus features, with the proportion of three loculi accounting for 97.80%. The number of embryos varied from 0 to 4. According to the K-S test, all characters conformed to normal distribution, and could be divided into five grades. This study provides a new understanding of seed morphology for the systematic study of *C. album* germplasm as well as a reference for the standardization of *C. album* genetic resources and breeding.

Key words: *Canarium album*; Stone; Loculus; Embryo; Phenotypic traits; Probability grading

收稿日期: 2018-12-27, 退修日期: 2019-02-24。

基金项目: 中央引导地方科技发展专项(2017L3001); 福建省自然科学基金项目(2012D085)。

This work was supported by grants from the Science and Technology Development Special Project of the Central Government Leading Local (2017L3001) and Natural Science Foundation Project of Fujian Province (2012D085).

作者简介: 叶清华(1992-), 女, 博士研究生, 研究方向为果树生理与生态(E-mail: tinayqh@163.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: cqx0246@fafu.edu.cn)。

种质资源的分析和评价对种质的演变与分类研究具有重要的参考价值, 形态学研究作为种质资源评价的最基本方法, 是基因型与表型互作关系的研究基础, 而果实、叶片、种子是植物资源分类鉴定的重要依据^[1, 2]。种子的形态特征是物种遗传的重要特征之一, 不仅决定其扩散能力, 也影响种子萌发、幼苗存活率和定植, 对种群更新和对环境的适应性都有重要意义^[3, 4]。种子形态研究日益受到研究者的重视, 前人已对龙眼(*Dimocarpus longan* Lour.)^[5]、刺葡萄(*Vitis davidii* Foex.)^[6]、西瓜(*Citrullus lanatus*(Thunb.) Matsum. et Nakai)^[7]、柿属(*Diospyros*)^[8]、绣球属(*Hydrangea*)^[9]等植物的种子进行了形态结构及表型性状研究。

橄榄(*Canarium album* (Lour.) Rauesch.)属于橄榄科(Burseraceae)橄榄属(*Canarium*)常绿乔木, 主要分布于热带及亚热带地区^[10]。果实含大量多糖^[11, 12]、酚类化合物和萜类物质^[13, 14], 抗氧化、自由基清除能力较强, 具有抑菌、抗病毒等药理功效^[15, 16]。由于橄榄具有药食两用的特性, 为对其进行深加工、开发高附加值产品提供了可能性, 在食品和医药行业具有较大的利用价值与发展前景。种质资源描述与分析评价对橄榄种质资源的遗传和分类具有重要意义, 能为橄榄药食兼用资源的开发提供理论基础^[17]。

前人已对橄榄果实、叶片、花粉等形态进行了描述^[18-20]。如吴如健等^[20]对橄榄果实表型性状多样性的研究表明, 橄榄16个表型性状对其数量分类具有重要作用; 万继锋等^[21]对橄榄叶片表型性状进行了调查分析, 为橄榄种质资源的鉴定评价、分类和利用提供了参考; 韦晓霞等^[22]对橄榄雄株花粉的形态特征进行了观察并对其进行数量分类, 结果表明橄榄花粉形态特征具有一致性, 但在细微形态上存在多样性; 而花序^[23]的表型性状在花序类型、花序支轴紧密度、着生位置、花性等方面均表现出丰富的遗传多样性, 其研究为橄榄的育种工作提供了依据。然而, 有关橄榄种子的研究仅见对成熟种子的简单描述^[24-26], 尚未见到系统地对橄榄种子进行性状描述与评价的相关报道。本研究以福建主栽橄榄品种‘长营’为材料, 通过对种子的形态特征进行观察描述, 对其数量性状建立分级标准进行分析与评价, 旨在为橄榄种子系统学研究提

供新资料, 为橄榄种质资源研究提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 材料

以福建主栽的橄榄品种‘长营’(福建省闽侯县)为材料。从橄榄花期开始, 采摘橄榄花蕾期、盛花期、谢花期以及花后不同发育时期(10~182 d)的花或果实, 观察种子发育形态变化; 另采摘成熟橄榄果实约100 kg, 剔除病虫害果及畸形果, 将果肉切除, 取出种子, 洗净, 备用。

1.2 方法

1.2.1 橄榄种子表型性状及发育过程的观察

使用数码相机对橄榄种子的表型性状和形态结构进行拍照, 并观察不同发育时期橄榄种子形态差异及种胚发育情况; 花及幼果因体积过小, 使用Leica M205FA体式荧光显微镜进行拍照观察。

1.2.2 橄榄种子数量性状测定

随机选取成熟橄榄种子8607颗, 直接观测并统计其种子心室及胚的数量。另随机取50颗, 用分析天平称量单核重(g), 用游标卡尺测量纵径(mm)和横径(mm), 计算核形指数(核形指数=纵径/横径), 各指标重复测定3次。

1.2.3 橄榄种子数量性状分析及分级评价

分析橄榄种子数量性状变异情况, 对其表型性状进行正态性检测。根据Kolmogorov-Smirnov(K-S)检验, 将符合正态分布的性状指标按(X-1.2818S)、(X-0.5246S)、(X+0.5246S)和(X+1.2818S)4个点分为5级。其中X代表各性状的平均值, S代表各性状的标准差^[27]。

1.3 数据统计分析

采用Excel 2007进行数据分析与制图, SPSS 19.0进行方差分析及0.05水平显著性分析, 采用Spearman进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 橄榄种子形态学观察

2.1.1 橄榄种子表型及形态结构

本研究中的“种子”为广义上的概念, 包括橄榄果核及核仁, 果核为内果皮发育而来, 种仁为植物学意义上的种子^[28]。参照《中国植物种子形态学研究方法和术语》^[29], 对橄榄种子的表型及结构进

行仔细观察与描述。

橄榄果核高度木质化, 为纺锤形, 核面具钝棱与锐棱, 每条钝棱末端有一核孔。观察发现, 每2条钝棱间对应一个心室, 钝棱的数量与心室数量相同, 即通过观察橄榄果核钝棱数或钝棱上的核孔数可确定橄榄的心室数量(图1: A); 橄榄心室内含有种仁, 但有的心室不含种仁(图1: B); 种仁外可见褐色、薄膜质的种皮, 成熟胚呈白色, 由2片子叶交叉折叠、蜷缩为蛹状(图1: C)。

2.1.2 橄榄种子发育过程形态变化

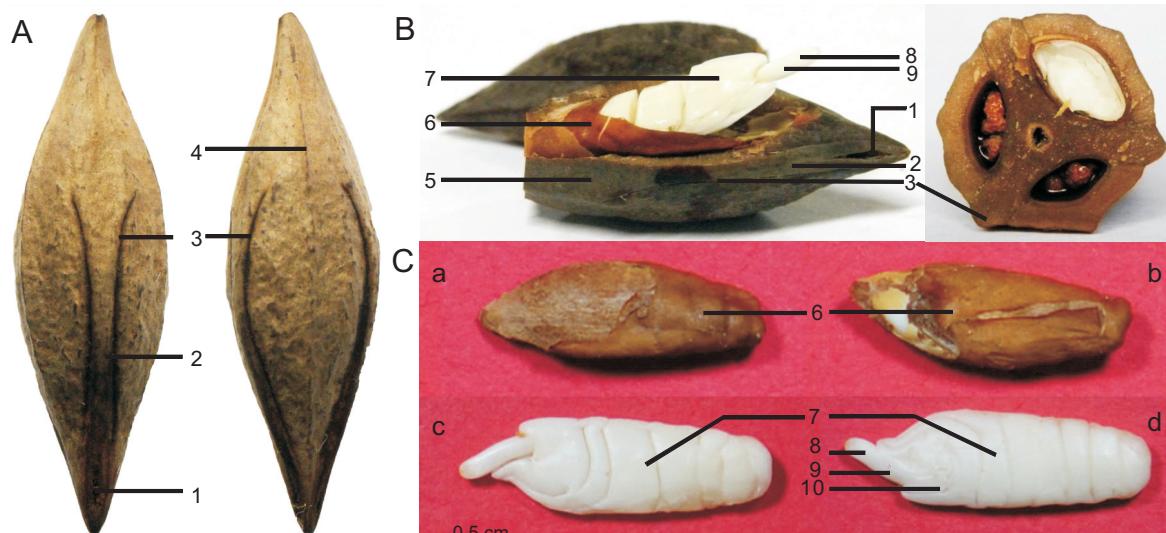
橄榄于5月现蕾, 6月上旬至中旬终花。谢花后幼果迅速生长膨大, 至7月中旬, 果实大小基本稳定^[30]。橄榄果核由子房壁内层发育而成, 从各花期的子房形态可明显看出, 子房室数量即为果核心室数量(图2: A)。橄榄的心室特征可能与心皮发育有关, 根据Endress^[31]、谢成章等^[32]的描述, 橄榄心室由合生心皮数量决定, 橄榄雌蕊群由2~4个(多为3个)心皮内卷式闭合, 形成中轴胎座, 每室有并生的上转胚珠2颗附着于中轴胎座上^[26](图2: A-a), 当橄榄谢花后, 每室中2颗胚珠至少有1颗经过授粉受精而膨大(图2: A-b), 逐渐发育成种子, 则橄榄成熟时该心室则为有胚的心室; 若2颗胚珠都未经授粉受精(或授粉受精不良)而败

育不膨大(图2: A-c), 则该心室为空心室。

从橄榄种子生长发育过程可见(图2), 花后10~50 d, 橄榄内果皮还未完全硬化, 呈浅白色; 种皮呈白色膜质, 包裹着橄榄胚和胚乳, 不断膨大至豆粒大小, 胚乳呈液体状。花后70 d时, 橄榄果核基本完成木质化, 果核为白色, 随着橄榄成熟, 逐渐变为黄褐色, 成熟时为棕褐色。随着种子成熟, 子叶逐渐形成、折叠, 胚乳被胚吸收而消失, 有利于种子发芽时胚根伸出^[33]。至花后90 d时, 胚的形状基本定型, 随着橄榄成熟, 子叶慢慢褪绿, 逐步变为白色, 同时也变得紧实饱满。花后150~170 d为橄榄成熟期, 此时橄榄胚已充分成熟。因此, 橄榄果核在花后发育过程中, 主要表现为色泽、大小及硬度的变化, 而胚变化主要是子叶的生长发育与形态成熟。

2.2 橄榄种子心室类型及胚数量统计

林榕庚等^[34]、许长同^[30]和刘荣光^[24]均认为橄榄果核横切面呈圆形至六角形, 内有1~3颗种子, 而张育英等^[25]研究发现橄榄果核内有种子1~2粒。本研究显示, 橄榄种子心室有12种类型(图3)。对8607颗‘长营’种子心室类型的统计结果显示(表1), 三心室种子数量最多, 有8418颗, 占比达97.80%。其中以‘III-1’型(三心室1个胚)最

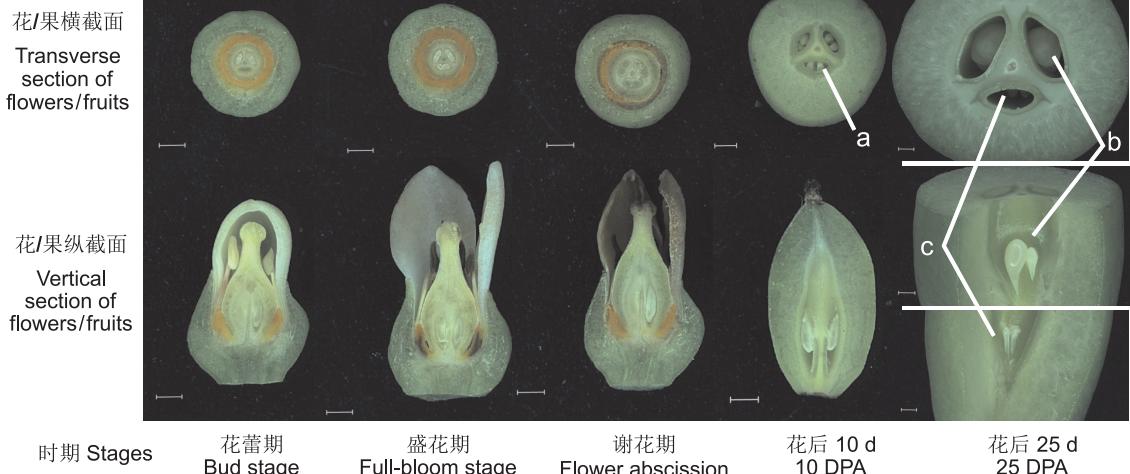


A. 种子表型性状; B. 种子解剖结构及横切面; C. 种仁性状。a. 种仁背面; b. 种仁腹面; c. 胚背面; d. 胚腹面。1. 核孔; 2. 钝棱; 3. 果核缝线; 4. 锐棱; 5. 内果皮; 6. 种皮; 7. 子叶; 8. 胚根; 9. 胚轴; 10. 胚芽。
A. Phenotypic traits of seed; B. Morphological structure of seed; C. Seed traits. a. Dorsal surface of kernel; b. Ventral surface of kernel; c. Dorsal surface of embryo; d. Ventral surface of embryo. 1. Stone pore; 2. Blunt ridge; 3. Suture; 4. Sharp ridge; 5. Endocarp; 6. Seed coat; 7. Cotyledon; 8. Radicle; 9. Hypocotyl; 10. Plumule.

图1 橄榄种子表型性状及形态结构

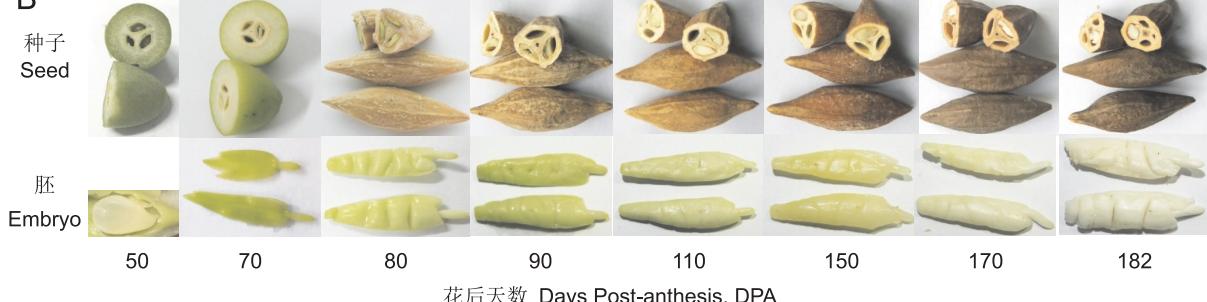
Fig. 1 Phenotypic traits and morphological structures of *Canarium album* seeds

A



时期 Stages 花蕾期 Bud stage 盛花期 Full-bloom stage 谢花期 Flower abscission 花后 10 d 10 DPA 花后 25 d 25 DPA

B



A. 花及幼果纵横截面; B. 不同花后天数的种子及胚。a. 示种子每心室有并生的2颗上转胚珠附着于中轴胎座; b. 示两颗胚珠中一颗膨大、另一颗不膨大; c. 示两颗胚珠均不膨大。标尺 = 1.00 mm。

A. Vertical and transverse sections of flowers or fruits; B. Seeds and embryos on different days post-anthesis. a. Two upturned ovules with symbiosis in each loculi of seed, attached to central axis placenta; b. One expanded and one unexpanded ovule; c. Both ovules not expanded. Bar = 1.00 mm.

图 2 橄榄种子的生长发育
Fig. 2 Growth and development of *C. album* seeds

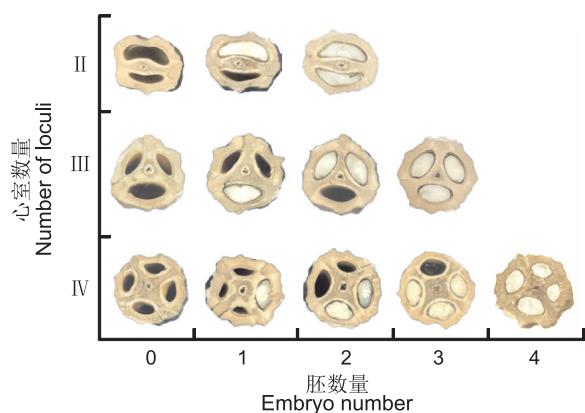


图 3 橄榄种子心室类型
Fig. 3 Types of loculi of *C. album* seeds

多, 占 48.68%; 其次是‘III-2’(三心室 2 个胚), 占 27.22%; 第三是‘III-0’(三心室 0 个胚), 占 21.44%。四心室与二心室均较少, 只有 102、87

颗, 分别占 1.19% 和 1.01%。在二、三、四心室中, 胚发育完好的甚少, 分别占 0.08%、0.46%、0.01%; 无胚发育的种子概率亦较大, 各心室空壳(即无胚)率共达 22.03%, 空壳率高会直接导致橄榄育苗成苗率低。统计结果表明, 橄榄种子以三心室最为常见, 但也存在二心室和四心室, 胚的数量从 0 ~ 4 个不等。

2.3 橄榄种子表型性状分析

对橄榄种子表型性状的统计分析结果显示(表 2), 橄榄种子较大(相对于一般作物), 平均单核重 1.55 g, 变异系数最大(19.04%), 是其他性状变异系数的 2.5 倍以上。种子形状为两端渐尖的纺锤形, 纵径长 31.72 mm, 变异系数为 7.46%; 中部最宽处测得横径为 10.44 mm, 变异系数为 6.94%; 核形指数为 3.04, 变异系数最

表 1 橄榄种子心室类型统计
Table 1 Statistics for loculus features of *C. album* seeds

心室类型 Loculus types	心室数量 Number of loculi	胚数量 Number of embryos	种子数量(颗) Number of seeds	百分比(%) Percentage
II-0		0	15	0.17
II-1	2	1	65	0.76
II-2		2	7	0.08
III-0		0	1845	21.44
III-1	3	1	4190	48.68
III-2		2	2343	27.22
III-3		3	40	0.46
IV-0		0	36	0.42
IV-1		1	39	0.45
IV-2	4	2	23	0.27
IV-3		3	3	0.03
IV-4		4	1	0.01
合计	-	-	8607	100
			8067	100

注: II、III、IV表示种子心室数量, 0~4表示胚的数量; ‘II-0’表示橄榄种子心室类型为二心室0个胚, 以此类推。

Notes: II, III, IV indicate number of *C. album* seed loculi, 0 to 4 indicate number of seeds (e.g., ‘II-0’ represents *C. album* seed has two loculi within 0 seeds).

表 2 橄榄种子表型性状统计分析
Table 2 Statistical analysis of phenotypic traits of *C. album* seeds

表型性状 Phenotypic trait	均值 Mean	最大值 Max	最小值 Min	标准差 SD	极差 R	变异系数 CV (%)
单核重 Single stone weight (g)	1.55	2.34	0.75	0.29	1.60	19.04
纵径 Longitudinal diameter (mm)	31.72	37.31	23.37	2.37	13.94	7.46
横径 Transverse diameter (mm)	10.44	12.65	8.76	0.73	3.89	6.94
核形指数 Stone shape index	3.04	3.84	2.34	0.21	1.50	6.77

小(6.77%)。橄榄种子表型性状变异范围为6.77%~19.04%, 表明橄榄种子变异幅度较大。

2.4 橄榄种子表型性状的分级评价

对橄榄种子表型性状进行正态性检测, 结果显示(表3), 各个性状指标均符合正态分布($P > 0.05$)。因此, 可将各性状指标分为5级(表4)。通过对150份‘长营’种子样本的单核重、纵径、横径、核形指数分级的频率分布进行统计, 结果显示(图4), 橄榄种子表型性状的频率分布为:

(1) 单核重: 1级, 单核重<1.17 g(极小), 占9.33%; 2级, 1.17~1.39 g(小), 占18.00%; 3级, 1.39~1.70 g(中), 占45.33%; 4级, 1.70~1.92 g(大), 占16.00%; 5级, 平均单核重>1.92 g(极大), 占10.67%。

(2) 纵径: 1级, 果核纵径<28.69 mm(极小), 占8.00%; 2级, 28.69~30.48 mm(小), 占16.67%; 3级, 30.48~32.97 mm(中), 占

45.33%; 4级, 32.97~34.76 mm(大), 占21.33%; 5级, 单核纵径>34.76 mm(极大), 占8.67%。

(3) 横径: 1级, 果核横径<9.51 mm(极小), 占8.00%; 2级, 9.51~10.06 mm(小), 占23.33%; 3级, 10.06~10.82 mm(中), 占41.33%; 4级, 10.82~11.37 mm(大), 占15.33%; 5级, 果核横径>11.37 mm(极大), 占12.00%。

(4) 核形指数: 1级, 核形指数<2.78(极小), 占8.00%; 2级, 2.78~2.94(小), 占19.33%; 3级, 2.94~3.15(中), 占42.67%; 4级, 3.15~3.31(大), 占24.00%; 5级, 核形指数>3.31(极大), 占5.33%。

研究结果表明, 橄榄种子各表型性状符合正态分布, 各分布频率接近理论概率。说明橄榄种子表型性状的分级标准具有良好的科学性和有效性。

表3 橄榄种子表型性状K-S正态性检验
Table 3 Kolmogorov-Smirnov (K-S) normality test of phenotypic traits of *C. album* seeds

表型性状 Phenotypic trait	极差 Extreme difference			K-S 值 K-S value	Sig 值 Sig value
	极差绝对值 Absolute	正极值 Positive	负极值 Negative		
单核重 Single stone weight (g)	0.095	0.095	-0.066	1.160	0.135
纵径 Longitudinal diameter (mm)	0.060	0.040	-0.060	0.734	0.655
横径 Transverse diameter (mm)	0.085	0.085	-0.048	1.040	0.230
核形指数 Stone shape index	0.075	0.049	-0.075	0.920	0.366

表4 橄榄种子表型性状概率分级
Table 4 Probability grading of phenotypic traits of *C. album* seeds

表型性状 Phenotypic trait	级别 Grade				
	1	2	3	4	5
单核重 Single stone weight (g)	< 1.17	1.17 ~ 1.39	1.39 ~ 1.70	1.70 ~ 1.92	> 1.92
纵径 Longitudinal diameter (mm)	< 28.69	28.69 ~ 30.48	30.48 ~ 32.97	32.97 ~ 34.76	> 34.76
横径 Transverse diameter (mm)	< 9.51	9.51 ~ 10.06	10.06 ~ 10.82	10.82 ~ 11.37	> 11.37
核形指数 Stone shape index	< 2.78	2.78 ~ 2.94	2.94 ~ 3.15	3.15 ~ 3.31	> 3.31

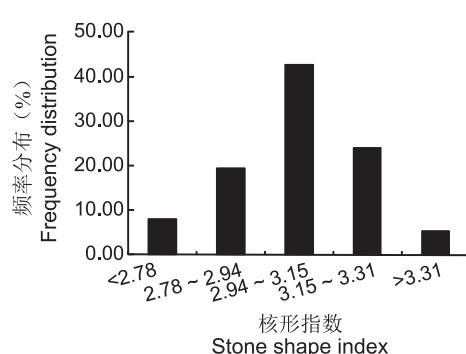
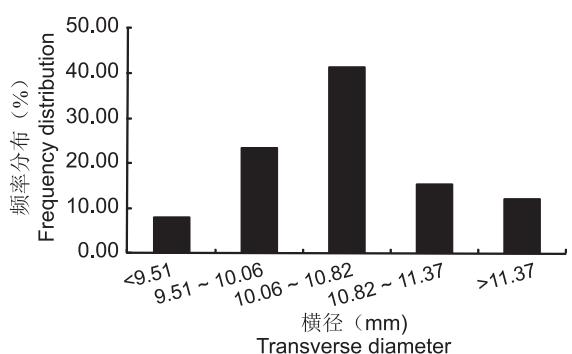
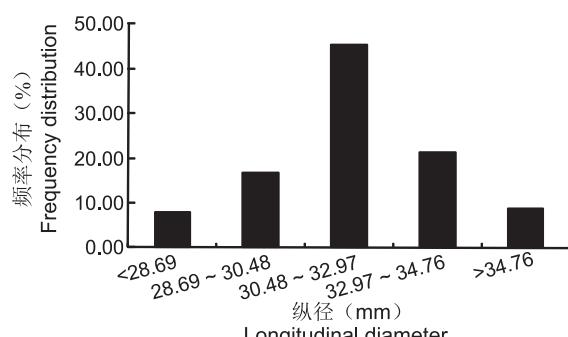
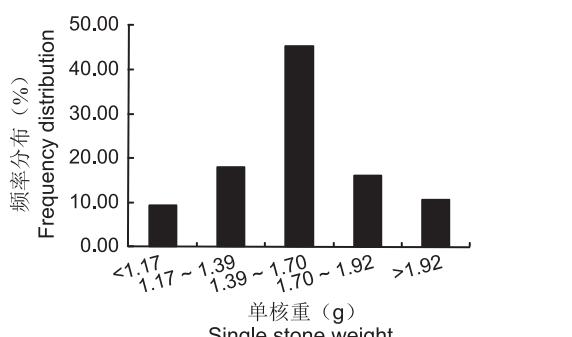


图4 橄榄种子表型性状分级的频率分布
Fig. 4 Frequency distribution grading of *C. album* seed phenotypic traits

3 讨论

3.1 橄榄种子形态与花发育的相关性

花发育特别是心皮发育是开花植物生命周期中最关键的步骤之一，是果实和种子形成的先决条件^[35]。花在早期雌蕊发育过程中经常发生不同程度的心皮融合，每个心皮原基基部边缘内折并融合

在一起，封闭形成子房室(心皮内融合)^[36]。从橄榄种子的生长发育过程可知，橄榄果核的形态结构尤其是心室类型在花形成时就已基本确定，与其合生心皮数量及闭合程度有关，一方面，心皮数量与心室数量相等，另一方面，心皮不育或两心皮闭合，中轴胎座的室间壁和胎座回缩时，两个胎座就靠拢联合成一个共同胎座，也会出现二心室，则心

室数量比心皮数量少。而心皮之间的愈合主要以内卷心皮的背面愈合, 愈合面也有差异, 有的整个面愈合, 有的部分愈合(边缘、中部或其远基的窄条), 此时心室不完全融合, 存在较薄、较浅的隔膜^[32]。成熟时期的果核形态和结构与幼果期差别不大, 仅表现为种皮颜色与果核大小的变化, 种皮颜色的变化在一定程度上也能够体现遗传特征^[37]。

3.2 橄榄种子表型性状变异及概率分级

种子形态学是描述性分类学的一个重要方面, 也是植物系统与演化研究的重要领域之一, 种子的形态特征可作为植物科、属和种的分类依据^[3, 38]。研究表明, 植物性状的遗传变异越大, 则多样性程度高, 这是种源选择和良种选择的基础^[1, 39, 40]。本研究中, 橄榄品种‘长营’种子表型性状的变异系数较大(19.04%), 变化范围为6.77%~19.04%, 说明橄榄种子各表型性状变异幅度较大。万继锋等^[21]研究发现, 橄榄叶片变异范围为9.52%~25.06%, 这也验证了橄榄多采用实生繁殖, 后代变异大的特性表明橄榄具有丰富的选择潜力。

陈思聪^[18]研究发现橄榄果实单果重、可食率、可溶性固体物呈左偏正态分布, 果形指数呈正态分布, 根据通常分级级数和分级习惯可分为5级或3级。本研究对橄榄种子表型性状(单核重、纵径、横径、核形指数)进行了概率分级, 各表型性状均符合正态分布, 按统计分析确定分级标准值并将其分为5级^[41, 42]。传统的数量性状分级均建立在经验等距划分基础上, 虽简单易行, 但无法客观反映性状取值的概率分布情况^[42], 而本研究的概率分级体系具有客观、标准统一、结果可比性强等优点, 可将单核重量、种子纵径和横径等作为橄榄良种筛选的重要指标, 为种子筛选、贮藏、鉴定、检验分级以及播种前的预处理等生产环节提供技术保证和理论依据。

橄榄在中国已有两千多年栽培历史, 经过长期自然选择和人工驯化形成了丰富的品种资源。本研究仅对福建主栽品种‘长营’种子进行了植物形态与表型数量性状的分析评价, 后续研究应扩大品种范围, 完善橄榄种质资源系统, 增加研究结果的适用度, 并结合分子生物学手段, 进一步确立品种资源的起源与进化。

参考文献:

- [1] 郎彬彬, 朱博, 谢敏, 张文标, Umut AS, 黄春辉, 等. 野生毛花猕猴桃种质资源主要数量性状变异分析及评价指标探讨[J]. 果树学报, 2016, 33(1): 8~15.
- [2] Lang BB, Zhu B, Xie M, Zhang WB, Umut AS, Huang CH, et al. Variation and probability grading of the main quantitative characteristics of wild *Actinidia eriantha* germplasm resources [J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(1): 8~15.
- [3] 孙珍珠, 李秋月, 王小柯, 赵婉彤, 薛杨, 冯锦英, 等. 宽皮柑橘种质资源表型多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2017, 50(22): 4362~4383.
- [4] Sun ZZ, Li QY, Wang XK, Zhao WT, Xue Y, Feng JY, et al. Comprehensive evaluation and phenotypic diversity analysis of germplasm resources in mandarin [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(22): 4362~4383.
- [5] Hannachi H, Gómez JJM, Saadaoui E, Cervantes E. Stone diversity in wild and cultivated olive trees (*Olea europaea* L.) [J]. *Dendrobiology*, 2017, 77: 19~32.
- [6] Isaza C, Anaya K, Paz JZD, Vasco-Leal JF, Hernandez-Rios I, Mosquera-Artamonov JD. Image analysis and data mining techniques for classification of morphological and color features for seeds of the wild castor oil plant (*Ricinus communis* L.) [J]. *Multimed Tools Appl*, 2018, 77(2): 2593~2610.
- [7] 陈秀萍, 胡文舜, 蒋际谋, 邓朝军, 许奇志, 姜帆, 等. 龙眼种质资源种子性状多样性分析[J]. 福建农业学报, 2016, 31(12): 1318~1322.
- [8] Chen XP, Hu WS, Jiang JM, Deng CJ, Xu QZ, Jiang F, et al. Diverse seed characteristics of longan germplasms [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 31(12): 1318~1322.
- [9] 王美军, 黄乐, 刘昆玉, 杨国顺, 钟晓红, 徐丰, 等. 刺葡萄叶与花和果实及种子的表型性状研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2016, 42(5): 489~495.
- [10] Wang MJ, Huang L, Liu KY, Yang GS, Zhong XH, Xu F, et al. Phenotypic traits of leaf, flower, fruit and seed of *Vitis davidii* [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2016, 42(5): 489~495.
- [11] 路绪强, 朱红菊, 赵胜杰, 何楠, 刘文革. 人工诱导的同源四倍体西瓜种子形态结构变异研究[J]. 核农学报, 2017, 31(6): 1076~1085.
- [12] Lu XQ, Zhu HJ, Zhao SJ, He N, Liu WG. Study on the morphological structure variation of the seeds of artificially inducing autotetraploid watermelon [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2017, 31(6): 1076~1085.
- [13] 孙鹏, 傅建敏, 周道顺, 梁玉琴, 张嘉嘉. 柿属植物种子表型多样性及其萌发与幼苗生长研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(11): 19~25.

- Sun P, Fu JM, Zhou DS, Liang YQ, Zhang JJ. Seed phenotypic diversity and germination growth of *Diospyros* plants [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2013, 33(11): 19–25.
- [9] 张梅, 刘旭, 周惠龙, 李振宇, 于胜祥. 绣球属 29 种植物的种子微形态研究 [J]. 园艺学报, 2018, 45(6): 1147–1159.
- Mei Z, Xu L, Zhou HL, Li ZY, Yu SX. Studies of the seed micromorphology of twenty-nine species of *Hydrangea* [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45(6): 1147–1159.
- [10] Raven PH, Zhang LB, Al-Shehbaz IA. Flora of China: Vol. 11: *Canarium* [M]. Beijing: Science Press, 2008: 108–110.
- [11] Zeng HL, Miao S, Zheng BD, Lin S, Jian YY, Chen S, et al. Molecular structural characteristics of polysaccharide fractions from *Canarium album* (Lour.) Raeusch and their antioxidant activities [J]. *J Food Sci*, 2015, 80(11): H2585–H2596.
- [12] Wen LR, Lin S, Zhu QQ, Wu D, Jiang YM, Zhao MM, et al. Analysis of chinese olive cultivars difference by the structural characteristics of oligosaccharides [J]. *Food Anal Method*, 2013, 6(6): 1529–1536.
- [13] Chang Q, Su MH, Chen QX, Zeng BY, Li HH, Wang W. Physicochemical properties and antioxidant capacity of chinese olive (*Canarium album* L.) cultivars [J]. *J Food Sci*, 2017, 82(6): 1369–1377.
- [14] Xiang ZB, Wu XL. Chemical constituents of chinese white olive [J]. *Pharmaceut Chem J*, 2017, 51(6): 465–470.
- [15] Kuo CT, Liu TH, Hsu TH, Lin FY, Chen HY. Antioxidant and antiglycation properties of different solvent extracts from chinese olive (*Canarium album* L.) fruit [J]. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 2015, 8(12): 987–995.
- [16] Duan WJ, Tan SY, Chen J, Liu SW, Jiang SB, Xiang HY, et al. Isolation of anti-HIV components from *Canarium album* fruits by high-speed counter-current chromatography [J]. *Anal Lett*, 2013, 46(7): 1057–1068.
- [17] 赖瑞联, 陈瑾, 冯新, 林丽霞, 钟春水, 韦晓霞, 等. 中国橄榄种质资源评价与抗寒性研究进展 [J]. 热带作物学报, 2017, 38(11): 2188–2194.
- Lai RL, Chen J, Feng X, Lin LX, Zhong CS, Wei XX, et al. Advances on germplasm resource evaluation and cold resistance research in chinese olive of China [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017, 38(11): 2188–2194.
- [18] 陈思聪. 鲜食橄榄部分果实性状数量分布及其分级指标研究 [J]. 中国南方果树, 2012, 41(4): 85–88.
- [19] 周俊辉, 郑婵叶, 钟国锋, 阮友情, 温华涛. 潮汕地区鲜食橄榄品种果实性状的分析与评价 [J]. 中国南方果树, 2009, 38(6): 23–25.
- [20] 吴如健, 万继锋, 韦晓霞, 陈瑾, 胡荫青, 潘少霖. 橄榄种质资源果实表型性状多样性分析及其数量分类研究 [J]. 果树学报, 2015, 32(5): 797–805.
- Wu RJ, Wang JF, Wei XX, Chen J, Hu HQ, Pan SL. Fruit character diversity analysis and numerical classification of chinese olive germplasm resources [J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(5): 797–805.
- [21] 万继锋, 吴如健, 韦晓霞, 陈瑾, 胡荫青, 潘少霖. 橄榄种质资源叶片表型性状多样性分析 [J]. 热带作物学报, 2012, 33(6): 975–980.
- Wang JF, Wu RJ, Wei XX, Chen J, Hu HQ, Pan SL. Diversity analysis of the leaf phenotypic characters of chinese olive germplasm resources [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2012, 33(6): 975–980.
- [22] 韦晓霞, 万继锋, 陈瑾, 胡荫青, 吴如健. 橄榄雄株花粉形态特征观察及数量分类初探 [J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(5): 967–974.
- Wei XX, Wang JF, Chen J, Hu HQ, Wu RJ. Characteristics and classification of the pollens of male chinese olive [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(5): 967–974.
- [23] 韦晓霞, 吴如健, 陈瑾, 潘少霖. 橄榄种质资源花序表型性状遗传多样性研究 [C]//中国园艺学会. 第五届全国现代果业标准化示范区创建暨果树优质高效生产技术交流会论文汇编. 北京: 中国园艺学会, 2016.
- [24] 刘荣光. 南亚热带小宗果树实用栽培技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 109–137.
- [25] 张育英, 陈三阳. 热带亚热带果树分类学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1992: 75–80.
- [26] 国家林业局国有林场和林木种苗工作总站. 中国木本植物种子 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 822–824.
- [27] 尹明宇, 朱绪春, 刘慧敏, 柳江群, 乌云塔娜. 西伯利亚杏种质资源花表型变异 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(2): 92–103.
- Yin MY, Zhu XC, Liu HM, Liu JQ, Wuyun TN. Flower phenotypic variations of germplasm resources of Siberian apricot (*Armeniaca sibirica*) [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2018, 46(2): 92–103.
- [28] 胡晋. 种子生物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 1–7.
- [29] 刘长江, 林祁, 贺建秀. 中国植物种子形态学研究方法和术语 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(1): 178–188.
- Liu CJ, Lin Q, He JX. Methods and terminology of study on seed morphology from China [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2004, 24(1): 178–188.
- [30] 许长同. 橄榄栽培 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 37–49.
- [31] Endress PK. Patterns of angiosperm development before carpel sealing across living angiosperms: diversity, and

- morphological and systematic aspects [J]. *Bot J Linn Soc*, 2015, 178(4): 556–591.
- [32] 谢成章. 被子植物形态学[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1984: 207–280.
- [33] Linkies A, Graeber K, Knight C, Leubner-Metzger G. The evolution of seeds[J]. *New Phytol*, 2010, 186(4): 817–831.
- [34] 林榕庚, 李文付, 吴幼媚. 热带南亚热带主要树种采种育苗造林技术(续二)[J]. 广西林业科学, 1997, 26(4): 189–199.
- [35] Gross T, Broholm S, Becker A. CRABS CLAW acts as a bifunctional transcription factor in flower development[J]. *Front Plant Sci*, 2018, 9: 835.
- [36] Kinet JM, Sachs RM, Bernier G. The Physiology of Flowering: Vol. III: The Development of Flowers [M]. Boca Raton: CRC Press, Inc., 1985: 25–26.
- [37] Mohammed MS, Shimelis HA, Laing MD. Phenotypic characterization of diverse Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) germplasm collections through seed morphology[J]. *Genet Resour Crop Ev*, 2016, 63(5): 889–899.
- [38] He ZY, Xia WS. Nutritional composition of the kernels from *Canarium album* L. [J]. *Food Chem*, 2007, 102(3): 808–811.
- [39] 王吉明, 尚建立, 李娜, 徐永阳, 马双武. 引进国外的野生甜瓜种质资源果实形态多样性分析[J]. 果树学报, 2017, 34(3): 295–302.
- Wang JM, Shang JL, Li N, Xu YY, Ma SW. Genetic diversity analysis in imported wild melon (*Cucumis melo* L.) germplasm resources based on morphological characters [J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(3): 295–302.
- [40] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超. 桃种质资源若干植物学数量性状描述指标探讨[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 770–776.
- Wang LR, Zhu GR, Fang WC. The evaluating criteria of some botanical quantitative characters of peach genetic resources[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(4): 770–776.
- [41] 马小河, 赵旗峰, 董志刚, 唐晓萍, 王敏, 任瑞. 鲜食葡萄品种资源果实数量性状变异及概率分级[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(6): 1185–1189.
- Ma XH, Zhao QF, Dong ZG, Tang XP, Wang M, Ren R. Variation and probability grading of main quantitative traits of table grape resources[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14(6): 1185–1189.
- [42] 赵海娟, 刘威生, 刘宁, 张玉萍, 章秋平, 刘硕. 普通杏(*Armeniaca vulgaris*)种质资源果实主要数量性状变异及概率分级[J]. 果树学报, 2013, 30(1): 37–42.
- Zhao HJ, Liu WS, Liu N, Zhang YP, Zhang QP, Liu S. Variation and probability grading of main quantitative traits of apricot (*Armeniaca vulgaris*) germplasm[J]. *Journal of Fruit Science*, 2013, 30(1): 37–42.

(责任编辑: 张平)