

# 橄榄种质资源花序表型性状遗传多样性研究

韦晓霞, 赖瑞联, 陈瑾, 潘少霖, 吴如健\*

(福建省农业科学院果树研究所, 福州 350013)

**摘要:** 为了解橄榄[*Canarium album* (Loureiro) Raeuschel]花序表型性状的遗传多样性, 对 90 份橄榄种质资源的花序性状进行观测分析。结果表明, 橄榄花序的类型、支轴紧密度、着生位置和花性等表现出较丰富的多样性; 从数量性状看, 花序花朵数的变异系数最大, 其次为支轴花朵数, 变异系数最小的是花蕾直径, 此外橄榄雄花花序的多样性较雌花丰富。花蕾直径与花瓣长度呈极显著正相关关系, 与花序长度、花序支轴数、花序花朵数和支轴花朵数呈极显著负相关。聚类分析结果表明, 橄榄种质资源的花序类型可分为 3 类, 大部分雄花和雌花类群间差异较明显。因此, 橄榄花序表型性状存在多样性和复杂性, 且花序重要单一性状可能影响整体表型。

**关键词:** 橄榄; 种质资源; 花序; 表型性状; 遗传多样性

doi: 10.11926/jtsb.3940

## Studies on Genetic Diversity on Inflorescence Phenotypic Characteristics of *Canarium album* Germplasm Resource

WEI Xiao-xia, LAI Rui-lian, CHEN Jin, PAN Shao-lin, WU Ru-jian\*

(Institute of Pomology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China)

**Abstract:** To understand the genetic diversity of inflorescence phenotypic characteristics of *Canarium album* (Loureiro) Raeuschel, the inflorescence characters of 90 germplasms of *C. album* were observed in Fuzhou Nursery of Chinese Olive Germplasm Resources of Agriculture Ministry. The results showed that the inflorescence characteristics, such as type, peduncle density, position and flower sex had abundant diversity. The variation coefficient of flower number was the largest, followed by the number of flower on peduncle, and that of flower bud diameter was the smallest. In addition, the male inflorescences had more diversities than female inflorescences. The flower bud diameter had significantly positive relation with petal length, and significantly negative relation with inflorescence length, peduncle number, flower number and flower number on peduncle. According to cluster analysis, the inflorescence type of *C. album* germplasms could be divided into 3 groups, there were distinct differences in most of male and female flower groups. Therefore, it was suggested that there were diversity and complexity in inflorescence phenotypic characteristics of *C. album*, and the important single trait would affect the overall phenotype.

**Key words:** *Canarium album*; Germplasm resource; Inflorescence; Phenotypic characteristics; Genetic diversity

橄榄[*Canarium album* (Loureiro) Raeuschel]为 75 种植物, 分布于非洲热带、马达加斯加、毛里求  
橄榄科(Burseraceae)橄榄属常绿果树, 橄榄属约有 斯、斯里兰卡、东南亚(从德干高原至我国华南和海

收稿日期: 2018-05-07 接受日期: 2018-07-17

基金项目: 福建省属公益类科研院所基本科研专项(2018R1013-9, 2018R1013-3, 2016R1013-15); 农业农村部物种资源保护(热带作物)项目(151721301354051701, 151821301354052701)资助

This work was supported by the Project for Basic Science and Technology of Provincial Public Welfare Scientific Research Institution of Fujian (Grant No. 2018R1013-9, 2018R1013-3, 2016R1013-15), and the Project of Species Resource Protection (Tropical Crops) of Agriculture Ministry (Grant No. 151721301354051701, 151821301354052701).

作者简介: 韦晓霞(1973~), 副研究员, 研究方向为果树选育种与栽培技术。E-mail: wx82046@qq.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: wurujian@126.com

南岛)、马来西亚、大洋洲东北部等地<sup>[1]</sup>。在我国有橄榄、乌榄(*C. pimela*)、毛叶榄(*C. subulatum*)和小叶榄(*C. parvum*)等 7 种,天然分布多见于季雨林、常绿阔叶林及其次生林中。目前,橄榄属中作为果树栽培的有橄榄和乌榄 2 种,橄榄是我国著名的亚热带特产果树,为药食兼用型水果,在福建、广东、浙江、广西、台湾、云南、四川等省(区)广泛栽培<sup>[1-2]</sup>。

我国橄榄有二千多年栽培历史,分布区域广,栽培面积大,种植历史长,经长期自然和人工的选择和驯化栽培,形成了众多的遗传资源,种质资源极为丰富<sup>[3]</sup>。表型多样性是在形态水平上对遗传多样性的阐述,是果树种质资源多样性评价的重要研究内容。龙眼(*Dimocarpus longan*)、梨(*Pyrus communis*)和苹果(*Malus pumila*)等果树的表型多样性已有研究报道<sup>[4-9]</sup>。目前,对橄榄的表型遗传多样性研究较少,只对部分种质的叶片、果实和花粉等进行了少量研究<sup>[10-14]</sup>。花的表型多样性研究可从形态学水平上揭示种质资源的遗传多样性,明确花表型变异的丰富程度和不同种质间的遗传关系,为种质资源保存及构建核心种质提供数据基础,同时为资源描述和高效利用提供参考。

对橄榄种质资源的花序性状只在《福建植物志》、《中国植物志》中有少量描述,其特征细节和遗传多样性尚未深入研究。本研究对来源于我国橄榄主产区的 90 份橄榄种质资源的花序性状进行多年观察和评价,阐明橄榄花的结构,分析橄榄种质的花序类型,同时通过表型性状变异分析了解其群体的遗传多样性水平,以为橄榄种质资源的描述和高效利用提供科学参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

本研究的橄榄 [*Canarium album* (Loureiro) Raeuschel] 种质资源保存于福建省农业科学院果树研究所的农业部福州橄榄种质资源圃中,其中福建 57 份、广东 22 份、四川 2 份、浙江 6 份和广西 3 份(表 1)。资源圃位于福州市晋安区新店埔党,年平均气温 21.63℃,年平均降水量 1 207.3 mm,终年无霜或仅有短霜期,气候条件非常适宜橄榄生长。于 2014-2017 年 5 月中下旬橄榄盛花期,选取嫁接后树龄 6~10 年开花正常的种质资源进行花序表型性状评价和分析。

表 1 橄榄种质资源基本信息

Table 1 Informations of *Canarium album* germplasms

编号 No.	种质 Germplasm	花性 Sex	来源 Origin	编号 No.	种质 Germplasm	花性 Sex	来源 Origin
1	四季橄榄 2 号 Siji Ganlan-2	雌花 Female	福建福安 Fu'an, Fujian	15	上湾檀香 Shangwan Tanxiang	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian
2	福安 3 号 Fu'an-3	雌花 Female	福建福安 Fu'an, Fujian	16	灵峰 Lingfeng	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian
3	子弹 Zidan	雌花 Female	福建福安 Fu'an, Fujian	17	福榄 2 号 Fulan-2	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian
4	葡萄 Putao	雌花 Female	福建福安 Fu'an, Fujian	18	实生 1 号 Shisheng-1	雌花 Female	福建闽清 Minqing, Fujian
5	黄皮长营 Huangpi Changying	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian	19	甜榄 1 号 Tianlan-1	雌花 Female	福建闽清 Minqing, Fujian
6	惠圆 3 号 Huiyuan-3	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian	20	羊矢 16 号 Yangshi-16	雌花 Female	福建闽清 Minqing, Fujian
7	惠圆 2 号 Huiyuan-2	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian	21	长营 32 号 Changying-32	雌花 Female	福建闽清 Minqing, Fujian
8	黄皮长营 7 号 Huangpi Changying-7	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian	22	池 1 号 Chi-1	雌花 Female	福建闽清 Minqing, Fujian
9	檀头 Tantou	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian	23	长营 Changying	雌花 Female	福建闽清 Minqing, Fujian
10	檀香 Tanxiang	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian	24	南安埔当 4 号 Nan'an Pudang-4	雌花 Female	福建南安 Nan'an, Fujian
11	惠圆 19 号 Huiyuan-19	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian	25	霞溪本 Xiaxiben	雌花 Female	福建莆田 Putian, Fujian
12	闽侯自来圆 Minhou Zilaiyuan	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian	26	莆田庄边 3 号 Putian Zhuangbian-3	雌花 Female	福建莆田 Putian, Fujian
13	上湾青皮甜果 Shangwan Qingpitianguo	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian	27	莆田 10 号 Putian-10	雌花 Female	福建莆田 Putian, Fujian
14	上湾弓形榄 Shangwan Gongxinlan	雌花 Female	福建闽侯 Minhou, Fujian	28	莆田 9 号 Putian-9	雌花 Female	福建莆田 Putian, Fujian

续表(Continued)

编号 No.	种质 Germplasm	花性 Sex	来源 Origin	编号 No.	种质 Germplasm	花性 Sex	来源 Origin
29	糯米 Nuomi	雌花 Female	福建莆田 Putian, Fujian	60	牛榄 1 号 Niulan-1	雌花 Female	广西浦北 Pubei, Guangxi
30	莆田 6 号 Putian-6	雌花 Female	福建莆田 Putian, Fujian	61	猪榄 3 号 Zhulan-3	雌花 Female	广西浦北 Pubei, Guangxi
31	公本 Gongben	雌花 Female	福建莆田 Putian, Fujian	62	牛榄 2 号 Niulan-2	雌花 Female	广西浦北 Pubei, Guangxi
32	莆田庄边 5 号 Putian Zhuangbian-5	雌花 Female	福建莆田 Putian, Fujian	63	合江甜青果 Hejiang Tianqingguo	雌花 Female	四川合江 Hejiang, Sichuan
33	莆田庄边 4 号 Putian Zhuangbian-4	雌花 Female	福建莆田 Putian, Fujian	64	合江丁香鼓 Hejiang Dingguxiang	雌花 Female	四川合江 Hejiang, Sichuan
34	莆田庄边 13 号 Putian Zhuangbian-13	雌花 Female	福建莆田 Putian, Fujian	65	瑞安 4 号 Rui'an-4	雌花 Female	浙江瑞安 Rui'an, Zhejiang
35	上杭三棱榄 Shanghang Sanlenglan	雌花 Female	福建上杭 Shanghang, Fujian	66	瑞安 3 号 Rui'an-3	雌花 Female	浙江瑞安 Rui'an, Zhejiang
36	漳浦 3 号 Zhangpu-3	雌花 Female	福建漳浦 Zhangpu, Fujian	67	瑞安 1 号 Rui'an-1	雌花 Female	浙江瑞安 Rui'an, Zhejiang
37	漳浦 18 号 Zhangpu-18	雌花 Female	福建漳浦 Zhangpu, Fujian	68	瑞安 2 号 Rui'an-2	雌花 Female	浙江瑞安 Rui'an, Zhejiang
38	漳浦 11 号 Zhangpu-11	雌花 Female	福建漳浦 Zhangpu, Fujian	69	长汀 4 号 Changting-4	雄花 Male	福建福安 Fu'an, Fujian
39	漳浦 7 号 Zhangpu-7	雌花 Female	福建漳浦 Zhangpu, Fujian	70	福安 16 号 Fu'an-16	雄花 Male	福建福安 Fu'an, Fujian
40	漳浦 3 号 Zhangpu-3	雌花 Female	福建漳浦 Zhangpu, Fujian	71	四季橄榄 2 号 Siji Ganlan-2	雄花 Male	福建福安 Fu'an, Fujian
41	诏安新营 1 号 Zhaoan Xinying-1	雌花 Female	福建诏安 Zhao'an, Fujian	72	福安 14 号 Fu'an-14	雄花 Male	福建福安 Fu'an, Fujian
42	潮安意溪青皮榄 Chao'an Yixi Qingpilan	雌花 Female	广东潮安 Chao'an, Guangdong	73	青皮长营 1 号 Qingpi Changying-1	雄花 Male	福建闽侯 Minhou, Fujian
43	电白青皮榄 Dianbai Qingpilan	雌花 Female	广东电白 Dianbai, Guangdong	74	黄皮羊矢 Huangpi Yangshi	雄花 Male	福建闽侯 Minhou, Fujian
44	电白二头尖榄 Dianbai Ertoujianlan	雌花 Female	广东电白 Dianbai, Guangdong	75	小羊矢 Xiaoyangshi	雄花 Male	福建闽侯 Minhou, Fujian
45	老禾 1 号 Laohe-1	雌花 Female	广东高州 Gaozhou, Guangdong	76	羊矢 Yangshi	雄花 Male	福建闽侯 Minhou, Fujian
46	四和 1 号 Sihe-1	雌花 Female	广东高州 Gaozhou, Guangdong	77	闽侯真晶 2 号 Minhou Zhenjin-2	雄花 Male	福建闽侯 Minhou, Fujian
47	大白榄 Dabailan	雌花 Female	广东揭西 Jiexi, Guangdong	78	闽侯真晶 1 号 Minhou Zhenjin-1	雄花 Male	福建闽侯 Minhou, Fujian
48	小红心 Xiaohongxin	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	79	池 2 号 Chi-2	雄花 Male	福建闽清 Minqing, Fujian
49	东山长穗 Dongshan Changsui	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	80	南靖南高 2 号 Nanjing Nangao-2	雄花 Male	福建南靖 Nanjing, Fujian
50	棱尖 Lengjian	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	81	莆田庄边 11 号 Putian Zhuangbian-11	雄花 Male	福建莆田 Putian, Fujian
51	冬至圆 Dongzhiyuan	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	82	永定务田 2 号 Yongding Wutian-2	雄花 Male	福建永定 Yongding, Fujian
52	杂赤 Zachi	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	83	永定上北 2 号 Yongding Shangbei-2	雄花 Male	福建永定 Yongding, Fujian
53	长穗赤种 Changsui Chizhong	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	84	云霄柘林 1 号 Yunxiao Zhelin-1	雄花 Male	福建云霄 Yunxiao, Fujian
54	普宁四季榄 Puning Sijilan	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	85	兰山 1 号 Lanshan-1	雄花 Male	广东化州 Huazhou, Guangdong
55	短穗赤种 Duansui Chizhong	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	86	普宁 1 号 PunNing-1	雄花 Male	广东普宁 Puning, Guangdong
56	车栓榄 Cheshuanlan	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	87	赤种云落 1 号 Chizhong Yunluo-1	雄花 Male	广东普宁 Puning, Guangdong
57	腊香 Laxiang	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	88	旺波 1 号 Wangbo-1	雄花 Male	广东信宜 Xinyi, Guangdong
58	大池村甜种 Dachicun Tianzhong	雌花 Female	广东普宁 Puning, Guangdong	89	平阳 1 号 Pingyang-1	雄花 Male	浙江平阳 Pingyang, Zhejiang
59	三棱榄 Sanlenglan	雌花 Female	广东汕头 Shantou, Guangdong	90	平阳 2 号 Pingyang-2	雄花 Male	浙江平阳 Pingyang, Zhejiang

## 1.2 数据采集

参照《果树种质资源描述符——记载项目及评价标准》<sup>[15]</sup>和本课题组制定的《橄榄种质资源描述规范和数据标准》，并结合橄榄花生长的实际情况，选取花序类型、花序着生位置、花序支轴紧密度、花序主轴颜色、花蕾颜色、花瓣颜色和花性 7 个描述性状，以及花序长度、花序宽度、花序支轴数、花序花朵数、花序支轴花朵数、花蕾

直径、花瓣长度 7 个数量性状，共 14 个性状进行评价和分析。盛花期每份种质调查 3 株，每株选取树冠外围不同部位发育正常的 10 个花序，花序支轴相关性状在盛花期取花序中部支轴观察。用直尺测量花序长度和宽度，精度为 0.1 cm，用游标卡尺测量花蕾直径和花瓣长度，精度 0.1 mm。花序的描述型性状按标准赋值(表 2)，数值型性状取平均值。

表 2 花序性状的赋值

Table 2 Evaluation of inflorescence characters

性状 Character	赋值 Evaluation
类型 Type	1: 圆锥花序 Panicle; 2: 总状花序 Raceme
着生位置 Inflorescence position	1: 腋生 Axillary; 2: 腋上生 Axillary on raw
支轴紧密度 Density of peduncle	1: 疏散 Sparse; 2: 中等 Moderate; 3: 紧密 Close
主轴颜色 Color of flower axis	1: 绿色 Green; 2: 红色 Red
花蕾颜色 Color of flower bud	1: 绿色 Green; 2: 红色 Red
花瓣颜色 Color of flower petal	1: 乳白色 Ivory; 2: 粉红色 Pink
花性 Flower sex	1: 雄花(夹杂两性花) Male flower (mixed with bisexual flower); 2: 雌花 Female flower

## 1.3 数据统计

采用 Excel 2003 和 DPS 6.55 软件进行数据的统计分析，数量性状进行多元相关分析，并对描述性状进行归类统计。采用离差平方和法进行聚类分析，以欧氏(Euclidean)距离划线。

密度以中等和紧密为主，疏散较少，分别占 37.78%、36.66% 和 25.56%；花蕾颜色以绿色为主，红色仅有 4 份，分别是兰山 1 号、大白榄、羊矢和羊矢 16 号；花瓣颜色有乳白色和粉红色 2 种，以乳白色为主，粉红色仅有 2 份，分别是青皮长营 1 号和羊矢；花序主轴颜色以绿色为主，红色有 5 份，如潮安意溪青皮榄、庄边 13 号、东山长穗等。

## 2 结果和分析

### 2.1 花序的描述性状分析

从表 3 可见，花序有以圆锥花序为主和以总状花序为主 2 种类型，分别占 46.67% 和 53.33%；花序着生位置以腋生为主，腋上生较少(如黄皮长营 7 号)，分别占 87.78% 和 12.22%；花序支轴紧

密度以中等和紧密为主，疏散较少，分别占 37.78%、36.66% 和 25.56%；花蕾颜色以绿色为主，红色仅有 4 份，分别是兰山 1 号、大白榄、羊矢和羊矢 16 号；花瓣颜色有乳白色和粉红色 2 种，以乳白色为主，粉红色仅有 2 份，分别是青皮长营 1 号和羊矢；花序主轴颜色以绿色为主，红色有 5 份，如潮安意溪青皮榄、庄边 13 号、东山长穗等。

表 3 橄榄花序性状

Table 3 Character of *Canarium album* inflorescences

性状 Character	频率 Frequency /%		
	1	2	3
类型 Type of inflorescence	46.67	53.33	
着生位置 Inflorescence position	87.78	12.22	
支轴紧密度 Density of peduncles	25.56	37.78	36.66
花蕾颜色 Color of flower buds	95.56	4.44	
花瓣颜色 Color of flower petals	97.78	2.22	
主轴颜色 Color of main axis	94.44	5.56	
花性 Flower sex	31.11	68.89	

1~3 见表 2。表 6 同。

1-3 see Table 2. The same is Table 6.



图1 橄榄花的表型性状。A: 雌花; B: 两性花; C: 雄花; D: 粉红色花瓣; E: 乳白色花瓣; F: 花序主轴红色; G: 花序主轴绿色; H: 花序腋生; I: 花序腋生; J: 圆锥花序; K: 总状花序。

Fig.1 Flower phenotypic characters of *Canarium album*. A: Female flower; B: Bisexual flower; C: Male flower; D: Pink petal; E: Ivory white petal; F: Red inflorescence axis; G: Green inflorescence axis; H: Axillary on raw; I: Axillary; J: Panicle; K: Raceme.

## 2.2 花序的数量性状分析

90份橄榄种质花序的花朵数、支轴花朵数、支轴数、长度、宽度和花瓣长度、花蕾直径7个数量性状的变异系数为17.1%~85.0% (表4, 5), 说明供试橄榄种质的花序表型数量性状的变异较丰富。花序的花朵数、支轴花朵数、支轴数是反映花量的重要指标。雌花序花朵数的变异系数最大, 达85.0%, 有6.5~96.8朵花, 雄花序花朵数普遍较多, 最长达156.20朵, 100朵以上的种质资源有3份。花序支轴花朵数多为1.0~

3.0 (占71.11%), 花序支轴数大多为10.0~20.0个(占68.89%)。花序长度和宽度反映了花序的大小, 花序长度为3.1~22.5 cm, 其中3.0~6.0 cm的占33.33%, 最长的是闽侯真晶1号(22.5 cm); 花序宽度为1.5~6.3 cm, 其中1.5~3.0 cm的占78.89%, 最宽的是小羊矢(6.3 cm)。花瓣长度和花蕾直径反映了花朵的大小, 花瓣长度多为3.0~5.0 mm (占82.22%), 最长的是长营(6.8 mm); 花蕾直径为1.9~3.0 mm的占25.56%, 3.0~4.0 mm的占61.11%, 最大的为漳浦7号(4.9 mm)。

表4 橄榄雄花花序的数量性状

Table 4 Quantitative character of male inflorescence of *Canarium album*

性状 Character	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	极差 Range	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation /%
长度 Length (cm)	6.5	22.5	11.8	16.0	3.9	33.1
宽度 Width (cm)	1.5	6.3	3.2	4.8	1.3	40.6
支轴数 Number of peduncle	11.0	26.8	14.5	15.8	3.9	26.9
花朵数 Number of flower	23.1	156.2	68.0	133.1	31.0	45.6
支轴花朵数 Number of flower on peduncle	2.1	7.4	4.5	5.3	1.5	33.3
花蕾直径 Diameter of flower bud (mm)	1.9	3.9	2.8	2.0	0.5	17.9
花瓣长度 Length of petal (mm)	1.8	4.6	3.3	2.8	0.8	24.2

表 5 橄榄雌花花序的数量性状

Table 5 Quantitative character of female inflorescence of *Canarium album*

性状 Character	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	极差 Range	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation /%
长度 Length of inflorescence (cm)	3.1	16.2	7.0	13.1	2.9	41.4
宽度 Width of inflorescence (cm)	1.5	4.5	2.4	3.0	0.6	25.0
支轴数 Number of peduncle	5.1	19.0	10.8	13.9	2.9	26.9
花朵数 Number of flower	6.5	96.8	19.3	90.3	16.4	85.0
支轴花朵数 Number of flower on peduncle	1.0	5.6	1.7	4.6	0.9	52.9
花蕾直径 Diameter of flower bud (mm)	2.2	4.9	3.5	2.7	0.6	17.1
花瓣长度 Length of petal (mm)	2.3	6.8	3.9	4.5	0.7	17.9

### 2.3 雄花与雌花花序类型的差异

从表 6 可见, 橄榄雄花花序以聚伞圆锥花序为主, 雌花花序多为总状花序, 但也有 14 份种质的雌花花序以圆锥花序为主, 占 22.58%。雌花花序支轴较为紧密, 雄花的较为松散。在数量性状方面(表

7), 雄花花序比雌花的长、宽, 花量大大高于雌花种质(雌花平均花序花朵数为 16.2 朵, 雄花平均 66.7 朵); 雌花的花蕾直径和花瓣长度大于雄花。总之, 橄榄雄花花序较长较宽、分枝多, 花量大, 花朵小, 多样性更丰富。

表 6 橄榄雌花和雄花花序的性状

Table 6 Comparison of female and male inflorescence characters of *Canarium album*

性状 Character	雌花 Female			雄花 Male		
	数量 Number	频率 Frequency	频率 /%	数量 Number	频率 Frequency	频率 /%
着生位置 Inflorescence position	1	59	95.16	19	67.86	
	2	3	4.84	9	32.14	
类型 Type of inflorescence	1	14	22.58	28	100	
	2	48	77.42	0	0	
支轴紧密度 Density of peduncle	1	7	11.29	16	57.14	
	2	24	38.71	10	35.71	
	3	31	50.00	2	7.14	
花蕾颜色 Color of flower bud	1	61	98.39	25	89.29	
	2	1	1.64	3	10.71	
主轴颜色 Color of main axis	1	61	98.39	26	89.29	
	2	1	1.64	2	10.71	
花瓣颜色 Color of petal	1	62	100	26	89.29	
	2	0	0	2	10.71	

表 7 橄榄雌花和雄花花序的数量性状比较

Table 7 Comparison of female and male inflorescence of *Canarium album*

性状 Character	雌花 Female	雄花 Male
长度 Length (cm)	6.8 ±2.8	11.2 ±3.9
宽度 Width (cm)	2.4 ±0.7	3.0 ±1.3
支轴数 Number of peduncle	10.6 ±2.8	14.3 ±3.5
花朵数 Number of flower	16.2 ±8.8	66.7 ±22.5
支轴花朵数 Number of flower on peduncle	1.5 ±0.7	4.3 ±1.5
花蕾直径 Diameter of flower bud (mm)	3.6 ±0.5	2.7 ±0.5
花瓣长度 Length of petal (mm)	4.0 ±0.7	3.3 ±0.6

### 2.4 花序数量性状的相关性分析

对橄榄花序的表型性状间相关关系进行分析, 结果表明, 橄榄花序长度与大多数花朵数量性状间存在极显著的相关性(表 8)。花蕾直径与花瓣长度呈

极显著正相关, 与花序长度、花序支轴数、花序花朵数和花序支轴花朵数呈极显著负相关。花朵各性状间的相关关系反映了在花发育过程中各部位差异化协调发育的特点。

表 8 橄榄种质资源花序性状间的相关关系

Table 8 Correlation among inflorescence characters of *Canarium album*

性状 Character	长度 Length	宽度 Width	支轴数 Number of peduncle	花朵数 Number of flower	支轴花朵数 Number of flower on peduncle	花蕾直径 Diameter of flower bud	花瓣长度 Length of petal
长度 Length	1.000						
宽度 Width	0.692**	1.000					
支轴数 Number of peduncle	0.650**	0.537**	1.000				
花朵数 Number of flower	0.726**	0.626**	0.700**	1.000			
支轴花朵数 Number of flower on peduncle	0.715**	0.577**	0.602**	0.961**	1.000		
花蕾直径 Diameter of flower bud	-0.330**	-0.096	0.379**	-0.507**	-0.541**	1.000	
花瓣长度 Length of petal	-0.288**	-0.093	-0.119	-0.324**	-0.359**	0.428**	1.000

\*\*: $P < 0.01$ 

## 2.5 花序性状的聚类分析

按照离差平方和法对 90 个橄榄种质资源进行聚类分析, 在等级结合线  $L=28.71$  处, 90 份种质资源被分为 3 大类(图 2)。类群 I 有 44 份种质, 福建 23 份、广东 14 份、浙江 4 份、广西 3 份, 花序以总状花序为主、支轴紧密, 花朵数、支轴花朵数较少, 花蕾直径大, 均为雌花; 类群 II 有 25 份种质, 福建 18 份、广东 5 份、四川 2 份, 为总状花序、支轴中等紧密, 花朵数、支轴数较多, 花序长度较长、宽度大, 也多为雌花; 而类群 III 有 21 份种质, 福建 16 份、广东 3 份、浙江 2 份, 为圆锥花序、花序支轴以松散为主, 花序长度长、宽度大, 花序花朵数、支轴数较多, 花蕾直径小, 多以雄花为主。每个类群的橄榄花序性状表现较一致, 表明具有相近的亲缘关系, 类群 III 的种质以雄花居多, 而其中的上杭三棱榄、池 2 号种质的雌花花序性状和雄花类似, 花朵排列松散, 花朵较小, 这与其丰产性差, 产量低有一定的相关性。橄榄种质资源的地理分布在不同类群中既有区别又有交叉, 种质资源在不同地域的交流和长期栽培的演化过程也影响其遗传变异。

## 3 讨论

### 3.1 花序表型性状的多样性和复杂性

橄榄花序特征在《中国植物志》<sup>[1]</sup>中描述为“雄花序为聚伞圆锥花序, 长 15~30 cm, 多花; 雌花序为总状, 长 3~6 cm, 具花 12 朵以下”。《福建植物志》<sup>[2]</sup>将橄榄花序描述为“圆锥花序多少聚伞状或总状”。本研究结果表明, 橄榄的花序类型有聚伞圆锥花序和总状花序 2 种, 且橄榄同一种质同一株树中有时两种花序并存, 花序的形态分

类只是相对的。这可能与橄榄长期栽培过程中人为选择有关, 雌花序中本多为总状花序, 极少数为聚伞圆锥花序, 但由于聚伞圆锥花序的种质花量大, 有利于多结果提高产量, 如灵峰等种质, 因此生产上高产的以圆锥花序为主的雌花种质得到大量繁殖推广。

被子植物的花器官性状是重要的分类依据, 《中国植物志》<sup>[1]</sup>中对橄榄花序描述为“花序腋生、单性, 雌雄异株”。《福建植物志》<sup>[2]</sup>中对橄榄属植物的花序描述为“花通常单性而雌雄异株, 偶有单性花与两性花同株、花瓣白色”。本研究调查表明, 大部分橄榄种质花序以腋生为主, 也有少量为腋上生; 花瓣多为乳白色, 也有少量粉红色花瓣, 如青皮长营 1 号和羊矢。

在花性上, 橄榄雌花序只有雌花, 但雄花序会夹杂部分两性花, 且经套袋试验, 橄榄两性花能正常授粉和结果。被子植物的性系统多种多样, 作为反映其基本类型的花部形态, 性比不仅为物种本身的遗传特性所控制, 同时还受生境条件的影响, 表现出遗传与环境效应互作的结果<sup>[15]</sup>。我们观察到, 不同橄榄种质雄花序中的两性花比例不同, 且同一种质雄花序中两性花比例在不同年份也有所变化, 这与罗姜玉等<sup>[17]</sup>的研究结果相似。雄花序中夹杂两性花的比例可能与气候和树龄等因素有关, 因此生产上部分雄株也会少量结果, 其相关机理仍有待深入研究。因此, 橄榄花序表型性状有其多样性和复杂性, 需要通过对不同花序性状指标进行系统鉴定, 以提高性状评价结果的准确性和科学性。同时本研究进一步补充和完善了《中国植物志》和《福建植物志》的相关描述, 为橄榄种质资源的高效利用提供了科学指导。

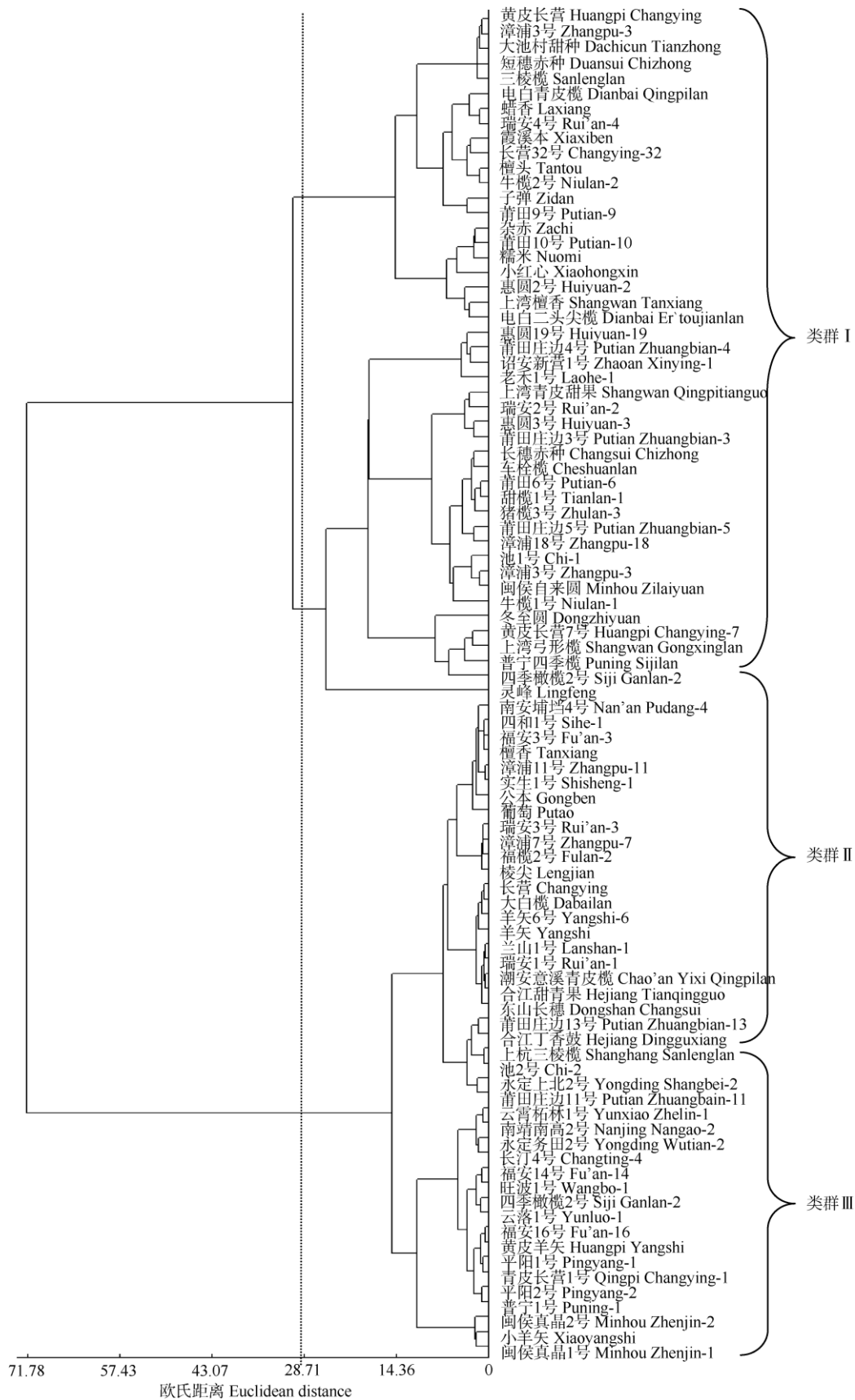


图 2 基于花序表型的橄榄种质资源聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of *Canarium album* germplasm resources based on inflorescence phenotypic characteristics



### 3.2 花序重要单一性状可能影响整体表型

对橄榄花序的表型性状的相关分析表明, 花蕾直径与花瓣长度呈极显著正相关, 与花序长度、支轴数、花朵数和支轴花朵数呈极显著负相关, 可见橄榄花序各性状间相互影响, 即单一性状的改变可能导致橄榄花序综合表型性状差异。聚类分析结果表明, 橄榄种质可分为 3 种类型, 其中雌花又分为 2 种类型, 而大部分雄花与雌花间的差异显著。从植物遗传和进化角度上分析, 花朵数量大的雄花种质有利于筛选授粉品种, 花序花朵数较多且花蕾较大的雌花种质可能有利于选育大果丰产品种。因此, 在后续研究中仍需对花朵性状进一步筛选, 为橄榄种质资源利用和丰产优质品种定向选育提供简便快捷的参考标准。

### 3.3 橄榄花序表型多样性的应用前景

种质资源的遗传多样性是育种工作的基础, 了解和掌握资源多样性水平, 对于挖掘有益资源, 创新种质等方面具有重要意义<sup>[18-19]</sup>。本研究为橄榄花器性状变异和亲缘关系的探讨提供了丰富的形态学依据。在花性、花序花朵数、花序形态、主轴颜色等方面, 橄榄种质资源具有丰富的形态多样性和遗传多样性, 为品种选育提供了丰富的亲本材料, 也为橄榄资源的开发利用提供了较大的可选空间。橄榄雄花和雌花的花序性状差异较大, 在花序着生位置、花序主轴颜色、花蕾颜色、花瓣颜色等性状上雄花的多样性比雌花丰富, 这可能与橄榄栽培过程中人为的选择有关, 是橄榄栽培过程中长期演化的结果。已有研究表明, 野生资源的表型变异和遗传多样性均高于地方品种和选育品种<sup>[19]</sup>, 橄榄雄株由于不结果或少量结果, 往往处于半野生状态, 这可能也是其遗传多样性更为丰富的原因之一。

橄榄丰富的资源分布在各省, 但目前收集的资源以福建省和广东省居多, 对不同地区收集的资源尤其是橄榄雄株数量不足, 因此结果只能反映出部分橄榄种质间的遗传变异水平, 要全面准确地揭示橄榄种质间的遗传变异与演化规律, 尚需更多橄榄种质材料加入。因此, 进一步加大对橄榄种质资源的收集、保存、研究的力度, 扩大样本和运用多种遗传标记的组合, 尤其结合 SSR、SNP 和 PAV 等新一代物种特异型分子标记技术进行综合鉴定, 将提高橄榄遗传多样性分析结果的科学性, 同时对橄榄花序表型性状主成分关联位点进行准确定位, 为橄

榄分子定向育种奠定基础。

### 参考文献

- [1] Deletis Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Agendae Academiae Sinicae Edita. Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 43(3) [M]. Beijing: Science Press, 1997: 24–25.  
中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志, 第 43 卷第 3 分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 24–25.
- [2] Committee of Flora of Fujian. Flora of Fujian, Vol. 2 [M]. Fujian: Fujian Science and Technology Press, 1982: 381–382.  
福建植物志编写组. 福建植物志, 第 2 卷 [M]. 福建: 福建科学技术出版社, 1982: 381–382.
- [3] LAI R L, CHEN J, FENG X, et al. Advances on germplasm resource evaluation and cold resistance research in Chinese olive of China [J]. Chin J Trop Crop, 2017, 38(11): 2188–2194. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2017.11.031.  
赖瑞联, 陈瑾, 冯新, 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. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2017.11.031.
- [4] HUANG A P, CHEN X P, ZHENG S Q, et al. Inflorescence trait diversity of longan germplasm [J]. Fujian J Agric Sci, 2010, 25(2): 201–206. doi: 10.3969/j.issn.1008-0384.2010.02.017.  
黄爱萍, 陈秀萍, 郑少泉, 等. 龙眼种质资源花序性状多样性研究 [J]. 福建农业学报, 2010, 25(2): 201–206. doi: 10.3969/j.issn.1008-0384.2010.02.017.
- [5] LIU J, ZHOU Q H, SUN H W, et al. Study on the phenotype biodiversity of Xinjiang wild apples (*Malus sieversii*) [J]. J Fruit Sci, 2004, 21(4): 285–288. doi: 10.3969/j.issn.1009-9980.2004.04.001.  
刘静, 周庆和, 孙海伟, 等. 新疆野生苹果表型多样性研究 [J]. 果树学报, 2004, 21(4): 285–288. doi: 10.3969/j.issn.1009-9980.2004.04.001.
- [6] ZHANG Y, CAO Y F, HUO H L, et al. Research on diversity of pear germplasm resources based on flowers phenotype traits [J]. Acta Hort Sin, 2016, 43(7): 1245–1256. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2015-0936.  
张莹, 曹玉芬, 霍宏亮, 等. 基于花表型性状的梨种质资源多样性研究 [J]. 园艺学报, 2016, 43(7): 1245–1256. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2015-0936.
- [7] WANG K, LIU F Z, ZHAO J C, et al. Study on some phenotypic diversity of apple germplasms [J]. China Fruit, 2008(5): 20–25. doi: 10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2008.05.009.  
王昆, 刘凤之, 赵进春, 等. 苹果种质资源部分表型多样性研究 [J]. 中国果树, 2008(5): 20–25. doi: 10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2008.

- 05.009.
- [8] ZHANG B B, SONG H W, LIU H T, et al. Study on the diversity of phenotypic characteristics of pear germplasm resources in the cold region [J]. *J Fruit Sci*, 2009, 26(3): 287–293. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.2009.03.006.  
张冰冰, 宋洪伟, 刘慧涛, 等. 寒地梨种质资源表型多样性研究 [J]. *果树学报*, 2009, 26(3): 287–293. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.2009.03.006.
- [9] JIANG X B, GONG B C, LIU Q Z, et al. Phenotypic diversity of important agronomic traits of local cultivars of Chinese chestnut [J]. *Acta Hort Sin*, 2014, 41(4): 641–652. doi: 10.16420/j.issn.0513–353x.2014.04.008.  
江锡兵, 龚榜初, 刘庆忠, 等. 中国板栗地方品种重要农艺性状的表型多样性 [J]. *园艺学报*, 2014, 41(4): 641–652. doi: 10.16420/j.issn.0513–353x.2014.04.008.
- [10] WEI X X, WAN J F, CHEN J, et al. Characteristics and classification of the pollens of male Chinese olive [J]. *J Plant Genet Resour*, 2014, 15(5): 967–974. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2014.05.008.  
韦晓霞, 万继锋, 陈瑾, 等. 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. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2014.05.008.
- [11] WAN J F, WU R J, WEI X X, et al. Diversity analysis of the leaf phenotypic characters of Chinese olive germplasm resources [J]. *Chin J Trop Crop*, 2012, 33(6): 975–980. doi: 10.3969/j.issn.1000–2561.2012.06.002.  
万继锋, 吴如健, 韦晓霞, 等. 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. doi: 10.3969/j.issn.1000–2561.2012.06.002.
- [12] CHEN M X, ZHANG Q J, CHEN Q X, et al. ISSR analysis of main cultivated and fresh-eating *Canarium album* (Lour.) Raeusch in Fuzhou City [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2011(21): 129–130,133. doi: 10.3969/j.issn.1007–5739.2011.21.078.  
陈明贤, 张庆举, 陈清西, 等. 福州市主栽橄榄品种与若干鲜食橄榄优株的 ISSR 分析 [J]. *现代农业科技*, 2011(21): 129–130,133. doi: 10.3969/j.issn.1007–5739.2011.21.078.
- [13] YANG P K, ZHUANG D H, MA R J, et al. The ISSR analysis of genetic diversity of *Canarium album* L. germplasm resources in eastern Guangdong [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2011, 27(24): 86–92.  
杨培奎, 庄东红, 马瑞君, 等. 粤东地区橄榄种质资源遗传多样性的 ISSR 分析 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(24): 86–92.
- [14] WU R J, WAN J F, WEI X X, et al. Fruit character diversity analysis and numerical classification of Chinese olive germplasm resources [J]. *J Fruit Sci*, 2015, 32(5): 797–805. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.20150129.  
吴如健, 万继锋, 韦晓霞, 等. 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. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.20150129.
- [15] PU F S. Descriptor of Fruit Germplasms: Record Items and Evaluation Standards [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1990.  
蒲富慎. 果树种质资源描述符: 记载项目及评价标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1990.
- [16] ZHANG T, TAN D Y. Adaptive significances of sexual system in andromonoecious *Capparis spinosa* (Capparaceae) [J]. *J Syst Evol*, 2008, 46(6): 861–873. doi: 10.3724/SPJ.1002.2008.08002.  
张涛, 谭敦炎. 刺山柑雄全同株性系统的适应意义 [J]. *植物分类学报*, 2008, 46(6): 861–873. doi: 10.3724/SPJ.1002.2008.08002.
- [17] LUO J Y, XU C T. Investigation of flower sexual type of Chinese olive [J]. *Fujian Fruit*, 1994(4): 31–33.  
罗姜玉, 许长同. 橄榄花性类型调查 [J]. *福建果树*, 1994(4): 31–33.
- [18] QIAN Y Q, MA K P. The Principles and Methods of Biodiversity Researches [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 123–140.  
钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 123–140.
- [19] CHEN X P, HUANG A P, JIANG J M, et al. Diversity analysis on the flower cluster characters of four *Eriobotrya* plants [J]. *J Plant Genet Resour*, 2010, 11(6): 709–714. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2010.06.027.  
陈秀萍, 黄爱萍, 蒋际谋, 等. 枇杷属植物 4 种的花序性状多样性研究 [J]. *植物遗传资源学报*, 2010, 11(6): 709–714. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2010.06.027.