

# 枇杷花序支轴紧密度量化指标初步研究及新型判别技术开发

陈静,王丹丹,周芳玲,彭泽\*,杨向晖\*

(农业农村部华南地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室·华南农业大学园艺学院,广州 510642)

**摘要:**【目的】挖掘与花序支轴紧密度相关的数量性状,开发可以描述花序支轴紧密度的新型测量方法,从而减少目测误差,提高枇杷种质花序支轴紧密度评价的可信度。【方法】选择花序长度、花序宽度、花序支轴数、平均节间长度、第一分枝长度、第一分枝角度、第二分枝长度、第二分枝角度8个花序直测性状,通过多样性分析、差异显著性分析、相关性分析评价不同指标的优劣,使用主成分分析和聚类分析综合评价花序支轴紧密度。寻找新型性状即花序疏密程度,采用旋转拍摄和软件处理方法获取种质花序疏密程度信息,并评价该指标的可靠性。【结果】1. 花序支轴紧密度与花序疏密程度、花序宽度、花序长度、平均节间长度、第一分枝长度和第二分枝长度呈极显著相关,其中花序疏密程度的相关性最显著;2. 初步研究发现,花序疏密程度可以作为花序支轴紧密度的新型量化指标,区分典型的疏散、中等和紧密三种花序类型种质;3. 采用旋转拍摄和计算机程序处理的方式可以高效获取花序疏密程度信息。【结论】花序疏密程度可以作为花序支轴紧密度的量化指标区分典型种质,且花序疏密程度的测量在技术上是可行的。

**关键词:** 枇杷;花序支轴紧密度;花序疏密程度;主成分分析;聚类分析;相关性分析

中图分类号:S667.3

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2023)07-1471-15

## Exploration of quantitative traits related to density of flower cluster's secondary peduncles of loquat and development of a new discriminant technique

CHEN Jing, WANG Dandan, ZHOU Fangling, PENG Ze\*, YANG Xianghui\*

(Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (South China), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

**Abstract:** 【Objective】 Loquat inflorescences belong to terminal panicles. The density of flower cluster's secondary peduncles is an important trait to describe the density of inflorescence branches. The appropriate density of flower cluster's secondary peduncles can facilitate the operation of flower and fruit thinning and bagging in production, which has certain breeding value. The purpose of this study was to explore quantitative traits related to the density of flower cluster's secondary peduncles, and to develop a measurement method for roughly describing the density of flower cluster's secondary peduncles, so as to reduce visual error and improve the credibility of density of flower cluster's secondary peduncles evaluation. It would provide reliable data support for the genetic breeding of loquat inflorescence traits and develop a reliable judgment method for evaluating the density of flower cluster's secondary peduncles. 【Methods】 We selected a number of quantitative traits, such as the length of flower cluster, the width of flower cluster, the number of secondary peduncles of flower cluster, the mean internode length of flower cluster, the first branch length of flower cluster, the first branch angle of flower cluster, the second branch length of flower cluster and the second branch angle of flower cluster as the reference

收稿日期:2022-12-04 接受日期:2023-02-20

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFD1000900);广东省重点领域研发计划项目(2022B0202070002);枇杷种质资源创新与利用福建省高校重点实验室(莆田学院)(2021001)

作者简介:陈静,女,在读硕士研究生,研究方向为果树种质资源与遗传育种。Tel: 15195985099, E-mail: 1758276038@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13533439649, E-mail: gzyxh@scau.edu.cn; Tel: 13822205246, E-mail: zepeng@scau.edu.cn

character description of the density of flower cluster's secondary peduncles, using diversity analysis, correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis. In addition, the inflorescence density information of the germplasms was obtained by the rotating shooting and software processing methods. The correlation analysis and principal component analysis were used to determine whether inflorescence density could basically represent the density of flower cluster's secondary peduncles, and whether it could be used as a new method to judge the density of flower cluster's secondary peduncles. **【Results】** The coefficients of the variation of the length of flower cluster, the width of flower cluster, the number of secondary peduncles of flower cluster, the mean internode length of flower cluster, the first branch length of flower cluster and the second branch length of flower cluster were between 20% and 26%, indicating that these characters had great differences among different germplasm accessions, and the performance of these characters was not stable. Each of the eight selected inflorescence traits were distributed in the most of their grades. The results of the correlation analysis showed the length of flower cluster, the width of flower cluster, the mean internode length of flower cluster, the first branch length of flower cluster and the second branch length of flower cluster were significantly correlated with the density of secondary peduncles of flower cluster, while the number of secondary peduncles of flower cluster, the first branch angle of flower cluster and the second branch angle of flower cluster were not significantly correlated with the density of secondary peduncles of flower cluster. The length of flower cluster, the width of flower cluster, the mean internode length of flower cluster, the first branch length of flower cluster and the second branch length of flower cluster could be used to describe the density of secondary peduncles of flower cluster well. The principal component analysis was carried out on the significantly correlated characters and all the selected characters respectively. It was found that there was no significant difference between the two results, and the absolute value of the correlation coefficient with the results of the visual measurement of the inflorescence ramus density was above 0.8. At the same time, the cluster analysis was carried out on the significantly correlated traits and all the selected traits respectively, and the results of the two were quite different, in which the significantly correlated traits as clustering factors were obviously better than all the selected traits as factors. If the inflorescence density was added as an index to evaluate the density of secondary peduncles of flower cluster, the correlation coefficient between the inflorescence density and the density of secondary peduncles of flower cluster would be up to 0.945, which could basically reflect the density of secondary peduncles of flower cluster. The inflorescence density and the significantly correlated characters were analyzed by principal component analysis. The distribution of the comprehensive evaluation results was consistent with the visual measurement of the inflorescence ramus density. The boundary of inflorescence density between the sparse type and the medium type might be 36.45%–40.31%, and the boundary of inflorescence density between the medium type and the dense type might be 41.58%–46.34%. **【Conclusion】** The inflorescence density could be used as a new quantitative index of the density of secondary peduncles of flower cluster, and could accurately distinguish the three types of inflorescences: sparse, medium and dense in typical germplasms. In addition, the information of inflorescence density could be obtained efficiently by means of the rotating shooting with computer program processing.

**Key words:** Loquat; Density of flower cluster's secondary peduncles; Inflorescence density; Principal component analysis; Cluster analysis; Analysis of correlation

枇杷 [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] 是我国南方主要果树之一, 原产于中国, 有着两千多年的

栽培历史<sup>[1]</sup>。枇杷在我国有着广泛的栽培, 北起陕西中部, 南至海南岛, 东至台湾, 西至西藏东部都有

枇杷栽培,其中,四川、福建、浙江等省份的栽培规模较大<sup>[2]</sup>。与苹果、香蕉、柑橘等主要水果相比,虽然枇杷目前的市场规模较小,但栽培的经济价值很高。截至2018年,我国枇杷生产规模占世界枇杷的80%以上<sup>[3]</sup>。

枇杷属植物的花序为顶生圆锥状混合花序,花序性状如花序长度、花序宽度、花瓣颜色等是重要的表型性状,也是区分枇杷种质资源的主要性状<sup>[4]</sup>。在枇杷栽培生产中,花序的大小以及疏密程度是生产人员非常关注的农艺性状,花序过大或者过小、过疏散或者过紧密都不利于疏花疏果以及套袋工作的开展。选育出花序大小以及紧密程度适中的枇杷品种有利于降低果园管理成本,提高管理效率。根据《枇杷种质资源描述规范和数据标准》<sup>[5]</sup>所定义的“花序支轴紧密度”可以用来描述花序支轴的紧密程度,将枇杷花序分为疏散型、中等型和紧密型三种,但类型判定需依赖目测确定。由于从目测上判断,疏散、中等和紧密之间没有明确的界限,加上不同调查人员对三种花序类型的直观理解有偏差,导致测量误差较大而且不能忽略。

前人的研究表明,花序支轴紧密度与花序宽度显著相关<sup>[6]</sup>。为了进一步分析与花序支轴紧密度相关的其他花序性状,寻找关键量化指标,笔者在本研究中增加了花序长度、花序支轴数、花序节间平均长度、第一分枝长度、第二分枝长度、第一分枝角度、第二分枝角度作为可能会影响花序支轴紧密度的相关数量性状,挖掘其中可以较为准确评价花序支轴紧密度的性状指标。由于上述性状只聚焦花序的局部结构,笔者在本研究中增加花序疏密程度这一新型性状,与上述性状进行比较分析,判断该性状的可靠性,为枇杷花序支轴紧密度的评价提供新型方法。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

以来自日本、美国、意大利等国家及我国的广东、江苏、浙江、福建、四川、陕西等省的41份枇杷资源为试验材料(表1),供试材料均种植保存于华南农业大学枇杷种质资源圃。于2021年10月份枇杷初花期选择生长状态良好的可以稳定开花结果的成年果树1~3株,测量其花序相关性状。种质资料信息来源于相关文献<sup>[2,7-14]</sup>。

表1 本试验使用的枇杷种质信息  
Table 1 Information of loquat germplasm used in this study

编号 Code	种质名称 Cultivar	来源地 Sample source
1	光荣本 Guangrongben	安徽 Anhui
2	白梨 Baili	福建 Fujian
3	白肉 Bairou	福建 Fujian
4	白肉小 Bairouxiao	福建 Fujian
5	解放钟 Jiefangzhong	福建 Fujian
6	解放钟白 Jiefangzhongbai	福建 Fujian
7	梅花霞 Meihuaxia	福建 Fujian
8	乌躬白 Wugongbai	福建 Fujian
9	早钟6号 Zaozhong 6	福建 Fujian
10	长红3号 Changhong 3	福建 Fujian
11	莫家2代 Mojia F <sub>2</sub>	广东 Guangdong
12	粤晖 Yuehui	广东 Guangdong
13	早佳5号 Zaojia 5	广东 Guangdong
14	早佳8号 Zaojia 8	广东 Guangdong
15	早佳90 Zaojia 90	广东 Guangdong
16	早茂15号 Zaomao 15	广东 Guangdong
17	早西白 Zaoxibai	广东 Guangdong
18	白玉 Baiyu	江苏 Jiangsu
19	荸荠种 Biqizhong	江苏 Jiangsu
20	冰糖种 Bintangzhong	江苏 Jiangsu
21	常绿4号 Changlv 4	江苏 Jiangsu
22	常绿5号 Changlv 5	江苏 Jiangsu
23	串脑 Chuannao	江苏 Jiangsu
24	高粱姜 Gaoliangjiang	江苏 Jiangsu
25	鸡蛋白 Jidanbai	江苏 Jiangsu
26	铜皮 Tongpi	江苏 Jiangsu
27	麦后黄 Maihouhuang	陕西 Shanxi
28	大五星 Dawuxing	四川 Sichuan
29	新黄肉 Xinhuangrou	四川 Sichuan
30	大红袍 Dahongpao	浙江 Zhejiang
31	华宝2号 Huabao 2	浙江 Zhejiang
32	宁海白 Ninghaibai	浙江 Zhejiang
33	黄金块 Golden Nugget	美国 U.S.A.
34	白茂木 Moriowase	日本 Japan
35	茂木 Mogi	日本 Japan
36	长崎早生 Nagasaki-wase	日本 Japan
37	Italiano	西班牙 Spain
38	MCB	西班牙 Spain
39	佳伶 Javierin	西班牙 Spain
40	马可 Marc	西班牙 Spain
41	BRT	意大利 Italy

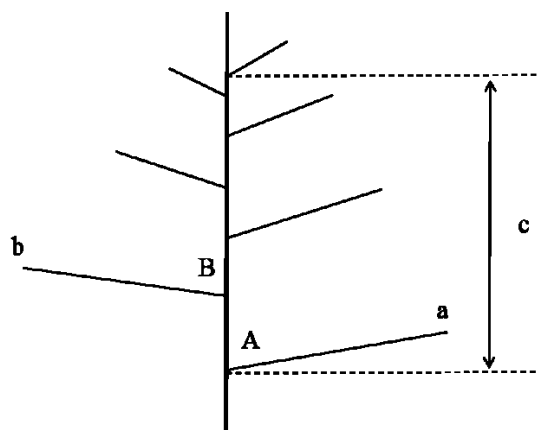
### 1.2 方法

1.2.1 花序直测性状调查 将可以直接从田间获取到数据的性状归类为直测性状。花序长度(length of flower cluster, CL)、花序宽度(width of flower

cluster, CW)、花序支轴数 (flower cluster: number of secondary peduncles, CPN) 和花序支轴紧密度 (Flower cluster: density of secondary peduncles, CPD) 这4个花序直测性状按照《枇杷种质资源描述规范和数据标准》进行调查<sup>[5]</sup>。

具体方法如下:花序长度、花序宽度、花序支轴数的测量,均于枇杷初花期选取树上不同部位的中心枝上花序10个,分别测量花序基部至先端的长度、花序最大处宽度、计算每一个花序的一级支轴数,再取平均值。花序长度和花序宽度的单位为cm,精确到0.1 cm。花序支轴数单位为个,精确到0.1个。花序支轴紧密度的测量采用目测法观察上述10个花序的支轴间紧密程度,如为疏散型(Sparse)赋值为1,如为中等型(Medium)赋值为2,如为紧密型(Dense)赋值为3,以此确定种质的花序支轴紧密度。

此外,平均节间长度 (flower cluster: mean internode length, CIL)、第一分枝长度 (flower cluster: first branch length, FBL)、第一分枝角度 (flower cluster: first branch angle, FBA)、第二分枝长度 (flower cluster: second branch length, SBL) 以及第二分枝角度 (flower cluster: second branch angle, SBA) 这5个花序直测性状在《枇杷种质资源描述规范和数据标准》中没有描述,笔者根据本研究需要规范其测量方法如图1。



A. 花序第一分枝角度; B. 花序第二分枝角度; a. 花序第一分枝长度; b. 花序第二分枝长度; c. 花序节间总长。

A. The first branch length of flower cluster; B. The second branch length of flower cluster; a. The first branch angle of flower cluster; b. The second branch angle of flower cluster; c. The total internode length of flower cluster.

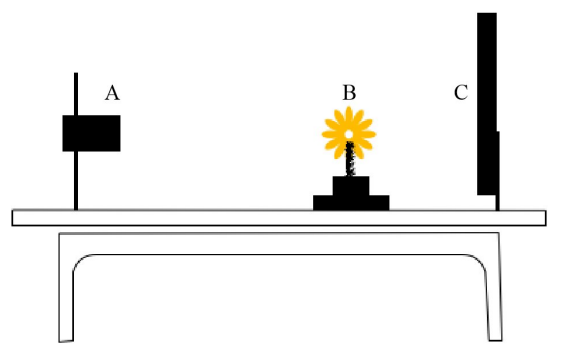
图1 枇杷花序简图

Fig. 1 Schematic of loquat inflorescence

以上述选定的10个花序作为测量对象。如图1所示,将从花序基部第一分枝的分枝起点处向上至最高处分枝的分枝起点处的主轴长度作为节间总长,平均节间长度=节间总长/(分枝数-1),由此计算得到平均节间长度。第一分枝长度为花序最下方的一级分枝(即第一分枝)的长度。第一分枝角度为第一分枝与花序轴自下而上方向相交处的夹角。第二分枝长度为距离第一分枝的分枝起点最近的一级分枝(即第二分枝)的长度。第二分枝角度为第二分枝与花序轴自下而上方向相交处的夹角。平均节间长度、第一分枝长度和第二分枝长度的单位为cm,精确到0.1 cm;第一分枝角度和第二分枝角度的单位为( $^{\circ}$ ),精确到0.1 $^{\circ}$ 。

1.2.2 花序疏密程度调查 花序疏密程度概念的提出,是为了更准确和直观地描述花序在空间上的疏密程度。笔者在本研究中通过分析花序不同侧方位的投影,计算花序部分占所在花序框的比例来判断花序疏密程度。在进行调查时,选择中心枝上不同方位结构完整的10个花序,调查其平均花序疏密程度作为种质的花序疏密程度,单位为百分数,精确到0.01%。具体方法如下。

首先在每份种质树上选择具有代表性的不同方位中心枝条的完整10个花序,采摘后立即将花序基部浸水保湿,并在8 h内进行拍摄;拍摄场景如图2所示,先将枇杷花序基部固定于底座上,底座与打光



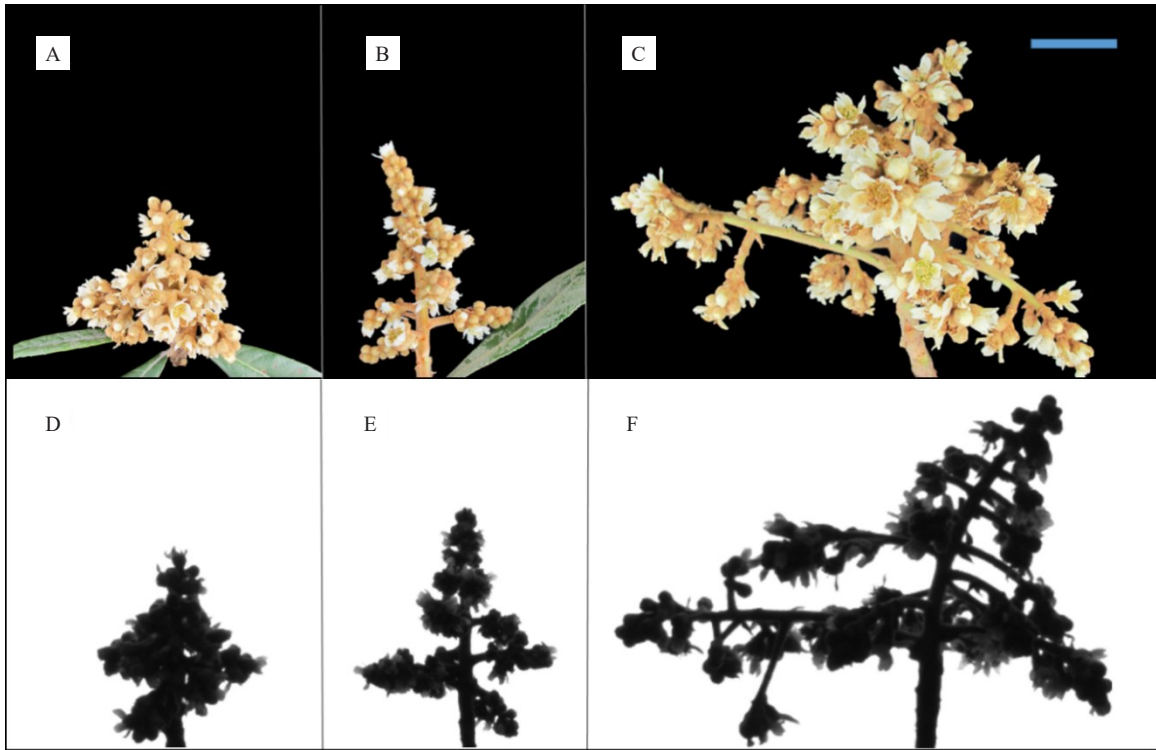
A. 摄像机; B. 枇杷花序; C. 打光屏幕。

A. Camera; B. One flower cluster of loquat; C. The screen for lighting.

图2 拍摄场景

Fig. 2 Shooting scene

屏的距离保持固定,并且相机镜头正对花序侧面;由计算机控制底座每旋转10 $^{\circ}$ 拍摄一张花序照片,每个花序拍摄36张照片。图3为紧密型、中等型和疏散型3种花序的彩色图例和花序疏密程度拍摄场景图例。



A. 光荣本花序图例,目测为紧密型;B. 串脑花序图例,目测为中等型;C. 乌躬白花序图例,目测为疏散型;D-F. 光荣本、串脑和乌躬白在计算花序疏密程度拍摄场景中的花序图例;标尺为 5 cm。

A. The inflorescence legend of Guangrongben, dense type visually; B. The inflorescence legend of Chuannao, medium type visually; C. The inflorescence legend of Wugongbai, sparse type visually; D-F. The inflorescence legend of Guangrongben, Chuannao and Wugongbai in the shooting scene of calculating the density of inflorescences, respectively. The bar is 5 cm.

图3 三种花序支轴紧密度种质图例

Fig. 3 Germplasm of three kinds of CPD

笔者在本研究中开发出一款用于计算种质花序疏密程度的工具。该工具的开发环境是Python 3.8 64-bit,使用PyCharm Community Edition工具开发,所使用计算机系统为Windows 7 64位,计算机内存为8 GB。该工具通过识别特定路径下的花序照片集,将图像进行灰度处理并对花序部位进行切割,再对花序部位的像素进行运算,可批量处理获得花序疏密程度。

单个花序的花序疏密程度的计算模型如图4

所示,以花序F的第*i*张花序侧面照为例,该程序可以识别花序框的边界 $A_i B_i C_i D_i$ ,在花序框内通过计算图形像素数获得花序部分 $Y_i$ 与花序框部分 $X_i$ 的像素数比值 $InD_i$ ,即花序F第*i*张花序侧面照的花序疏密程度。以同样的方法计算出该花序其余35张照片的 $InD$ ,并求出所有 $InD$ 的平均值 $\overline{InD}$ ,即为单个花序的疏密程度,由此可以计算出所选10个花序的均值,即为该种质的花序疏密程度值。程序数据流如图5所示,输入参数有图片

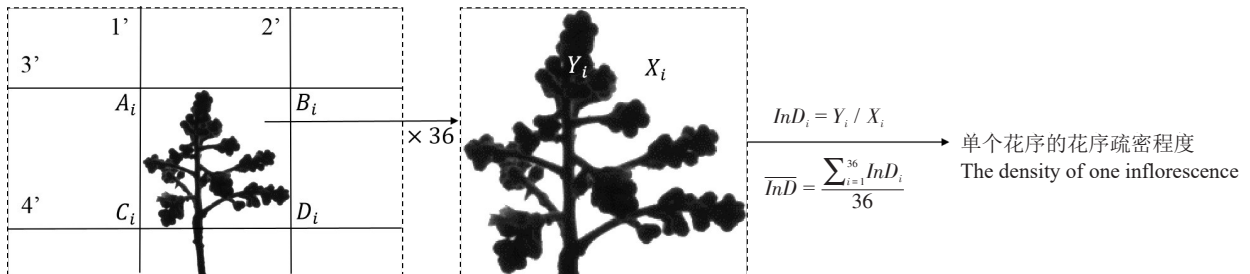


图4 花序F第*i*张花序侧面照及花序疏密程度计算方法

Fig. 4 Lateral view of inflorescence F *i* and calculation method of inflorescence density

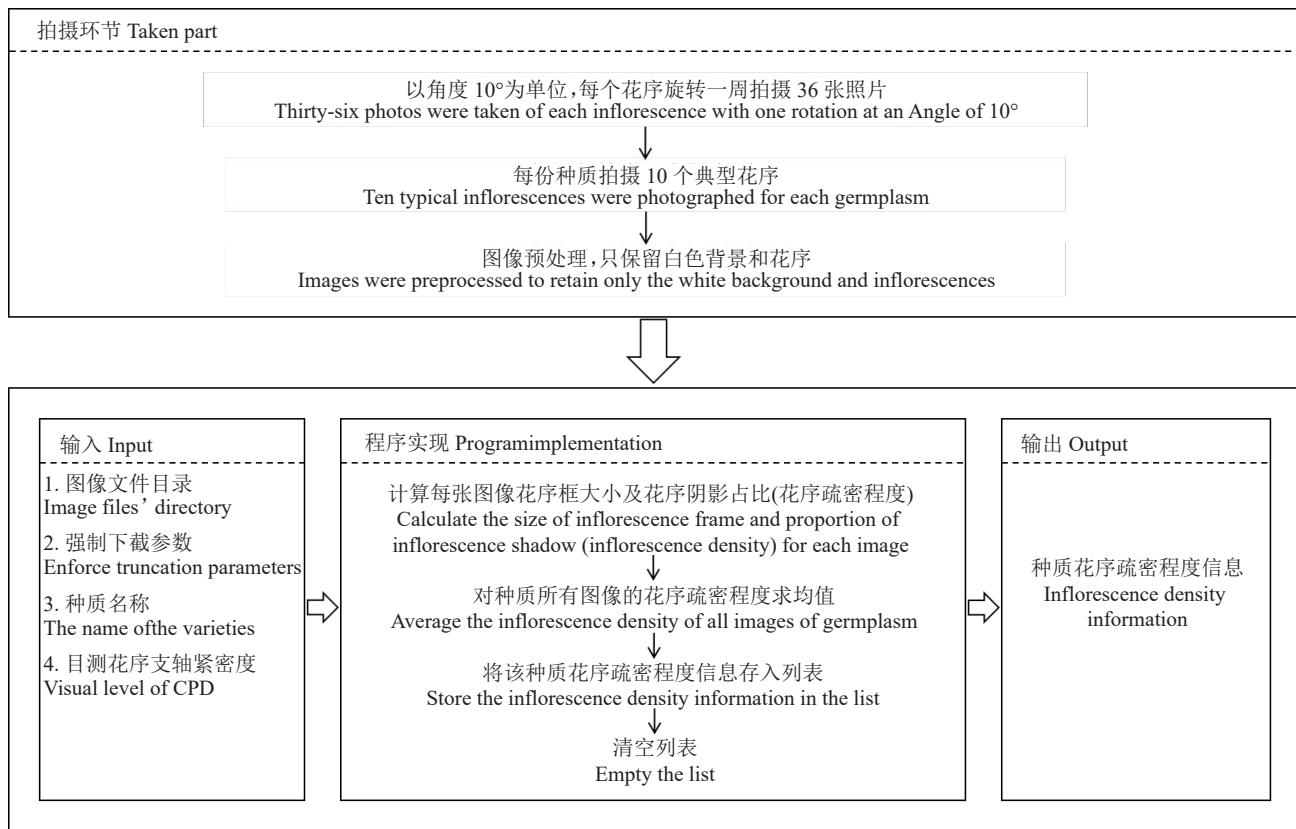


图 5 花序疏密程度实现流程

Fig. 5 Model for calculating inflorescence density

所在文件夹路径、强制下载参数、种质名称、花序支轴紧密度目测值,经计算机处理得到种质的花序疏密程度信息。

1.3 数据分析

1.3.1 多样性分析 参考李颖等<sup>[15]</sup>和陈秀萍等<sup>[4]</sup>方法。Shannon 多样性指数 ( $H'$ ) 的计算公式为:  $H' = -\sum(P_i \times \ln P_i)$ 。  $P_i$  为某一性状第  $i$  个等级中的样本数占总样本数的比值。如将数量性状花序长度、花序宽度等按照  $X \pm 2\delta$  范围分为 10 个等级 ( $\delta$  为标准差),以小于  $X - 2\delta$  作为第一等级为起点等间距依次划分,直到大于  $X + 2\delta$  作为第十等级为止。

1.3.2 相关性分析 首先对各性状数据集进行正态性检验,符合正态分布的数据集之间进行皮尔逊 (Person) 相关分析,非正态分布数据集之间或非正态分布与正态分布数据集之间进行斯皮尔曼 (Spearman) 相关分析<sup>[16]</sup>。齐方差的条件下使用 LSD 方法进行多重比较,方差不齐的条件下使用 Brown-Forsythe 或 Welth 修正值判断显著性,并使用 Dunnett's 方法进行多重比较<sup>[17-18]</sup>。

1.3.3 花序支轴紧密度综合评价方法 花序支轴紧密度的综合评价主要采用主成分分析法 (PCA) 进行

赋权重评价并筛选核心指标<sup>[19-20]</sup>。首先对数据进行 KMO 检验以确定 PCA 的可行性,该检验表明用于主成分分析的每个变量的抽样充分性, Kaise<sup>[21]</sup> 建议高于 0.5 的值是可以接受的。本试验的抽样充分性在 0.6 以上,适用于 PCA 分析。为避免量纲和数量集对试验的影响,需要将花序性状数据进行标准化。数据经过主成分分析后,保留特征值  $\geq 1$  的主成分用于指标选择和评价<sup>[20, 22-23]</sup>。按照公式 (1) 计算出其综合得分<sup>[22, 24]</sup>。

$$S = (Q_1 T_1 + Q_2 T_2 + \dots + Q_n T_n) / T \tag{1}$$

$S$  代表最终得分,  $Q_n$  代表第  $n$  个因子的得分,  $T_n$  代表第  $n$  个因子的方差贡献率,  $T$  代表  $n$  个因子的累计方差贡献率。

另参考黄彪<sup>[25]</sup>和刘龙昌<sup>[26]</sup>采用层次聚类的方法对花序直测性状进行聚类分析,以完善对花序支轴紧密度的综合评价。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2016 进行均值 ( $\bar{X}$ )、标准差 ( $\delta$ )、Shannon's 多样性指数 ( $H'$ ) 和变异系数 ( $CV$ ) 计算分析,采用 SPSS 25 进行相关性、差异显著性、聚类分析以及主成分分析,同时采用 Excel

2016、SPSS 25作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 花序直测性状的多样性分析

按照《枇杷属种质资源描述规范和数据标准》<sup>[6]</sup>对41份枇杷种质的花序支轴紧密度进行目测判断,统计并分析疏散、中等和紧密3种花序支轴紧密度在不同地区的分布情况(表2)。总体上,41份种质中花序疏散型种质占34.1%,花序中等型种质占41.5%,花序紧密型种质占24.4%。以广东、福建、江苏作为代表地区分析,发现41份种质中,广东和福建地区的枇杷种质以疏散型花序占多数,占比分别为66.7%和55.5%,江苏地区的枇杷种质以中等型花序占多数,占比为44.4%。

表2 不同地区枇杷种质花序支轴紧密度分布

Table 2 Distribution of loquat's CPD in different regions

来源地 Sample source	评价 Evaluate	花序支轴紧密度CPD		
		疏散 Sparse	中等 Medium	紧密 Dense
广东 Guangdong	种质数 Number of species	6	3	0
	比率Rate/%	66.7	33.3	0
福建 Fujian	种质数 Number of species	5	3	1
	比率Rate/%	55.5	33.3	11.1
江苏 Jiangsu	种质数 Number of species	2	4	3
	比率Rate/%	22.2	44.4	33.3
所有地区 Total	种质数 Number of species	14	17	10
	比率Rate/%	34.1	41.5	24.4

表3列出了41份种质中8个花序直测性状的均值、标准差以及种质间的差异显著性。可以看出,第一分枝角度和第二分枝角度的种质间区分度不明显。不同种质间,花序长度、花序宽度、花序支轴数均有较大的差异性。从中可以看出一些性状较为极端的种质,例如莫家2代的花序长度、花序宽度、平均节间长度、第一分枝长度和第二分枝长度都显著高于其他种质;乌躬白的花序宽度、花序支轴数、第一分枝长度和第二分枝长度也都显著高于其他种质;白梨的花序宽度和第二分枝长度显著高于大部分种质;早佳8号的花序长度和平均节间长度显著高于大部分种质;而黄金块的花序长度、花序宽度、花序支轴数、平均节间长度、第一分枝长度和第二分枝长度都显著低于其他种质;大五星的花序长度和

平均节间长度显著低于其他种质;白肉小的花序宽度和第一分枝长度显著低于大部分种质;常绿5号的花序长度和第二分枝长度显著低于大部分种质。

从频率分布和多样性指数(表4)来看,供试群体的8个直测性状呈均衡分布,其中平均节间长度的多样性指数较低为1.85,花序支轴数和第二分枝长度的多样性指数较高均为2.04。从变异系数(表4)来看,除了第一分枝角度和第二分枝角度的变异系数分别为8.71%和7.32%,其他性状的变异系数均在20.20%至26.01%之间。其中,第二分枝长度的变异系数最高,为26.01%;平均节间长度变异系数较低,为20.20%。变异系数越高,该性状在群体中的表现越不稳定<sup>[27]</sup>;多样性指数越高,该性状在物种中具有较高的丰富度<sup>[28-29]</sup>。因此优先选择多样性指数较高变异系数在合理范围内的花序长度、花序宽度、花序支轴数、平均节间长度、第一分枝长度和第二分枝长度作为评价指标。

### 2.2 花序直测性状的差异分析和相关性分析

以3种花序支轴紧密度类型为分类因子,对8个性状的测量值进行差异显著性分析,结果如图6所示。其中第一分枝长度、第二分枝长度在3种花序类型之间达到极显著差异水平;而第一分枝角度和第二分枝角度在3种花序类型之间均没有显著差异;平均节间长度和花序支轴数在中等和紧密型花序之间没有显著差异。花序长度、花序宽度、第一分枝长度以及第二分枝长度可以较好地地区分3种花序类型。

8个直测性状与花序支轴紧密度(目测)的相关性分析表明(表5),花序长度、花序宽度、平均节间长度、第一分枝长度、第二分枝长度与花序支轴紧密度均呈极显著负相关,其中花序宽度、第二分枝长度与花序支轴紧密度之间的相关系数达到-0.818和-0.825;而花序支轴数、第一分枝角度、第二分枝角度与花序支轴紧密度之间的相关系数只有-0.27、-0.128和-0.172。这一结果说明,花序长度、花序宽度、第一分枝长度和第二分枝长度与花序支轴紧密度这一性状密切相关,同时将平均节间长度也列为参考对象。此外,花序长度、花序宽度、平均节间长度、第一分枝长度、第二分枝长度和花序支轴紧密度彼此之间呈极显著相关,说明可以对高度相关的指标进行筛选,简化评价体系。

### 2.3 花序支轴紧密度综合评价及聚类分析

为评价所选择性状对花序支轴紧密度这一目标

表 3 41 份种质中花序直测性状的比较分析  
Table 3 Comparative analysis of the traits of inflorescence direct measurement in 41 germplasm

编号 Code	花序长度 CL/cm	花序宽度 CW/cm	花序支轴数 CPN	平均节间长度 CIL/cm	第一分枝长度 FBL/cm	第一分枝角度 FBA/(°)	第二分枝长度 SBL/cm	第二分枝角度 SBA/(°)	花序支轴紧 密度CPD
1	7.97±1.50 cdCD	8.96±1.69 bcBC	12.65±1.77 bcB	0.38±0.09 bcBC	5.10±1.15 bcAB	69.85±6.37 abAB	4.43±0.72 bcAB	77.00±11.48 abAB	3
2	11.40±1.42 bcBC	16.27±2.40 abAB	11.10±1.92 cdBC	0.60±0.07 abAB	8.60±2.12 abA	73.00±8.85 abAB	8.23±2.20 abA	72.30±11.34 abAB	1
3	11.47±1.61 bcBC	13.52±2.77 abAB	9.10±2.17 deD	0.61±0.11 abAB	7.08±1.48 abA	78.80±7.21 abAB	6.17±1.94 abA	84.10±8.90 aA	1
4	7.88±0.62 dCD	7.60±1.21 cC	8.70±2.05 deDE	0.42±0.07 bcBC	4.08±0.74 cB	83.30±5.75 aA	3.51±0.45 cB	87.50±5.20 aA	3
5	10.55±1.42 bcBC	11.77±2.68 abBC	8.70±2.15 deDE	0.61±0.11 abAB	7.08±2.32 abA	78.80±12.50 abAB	6.05±2.02 abA	86.30±14.96 aA	1
6	10.10±2.21 bcBC	11.55±2.53 abBC	12.71±3.49 bcB	0.47±0.10 bBC	6.61±1.50 abA	61.14±10.04 bB	5.94±1.38 abA	69.33±10.96 abAB	2
7	13.57±3.03 abAB	14.10±4.25 abAB	16.80±3.25 aA	0.48±0.08 abBC	8.80±3.36 abA	70.40±8.35 abAB	8.16±1.61 aA	74.20±10.51 abAB	1
8	13.01±2.80 abAB	17.44±3.70 aA	15.40±2.82 abA	0.57±0.13 abAB	9.91±3.07 aA	73.05±14.14 abAB	8.43±2.04 aA	82.35±6.70 aA	1
9	10.17±1.42 bcBC	11.59±2.15 abBC	10.20±2.04 dD	0.49±0.07 abBC	7.04±1.87 abA	75.50±10.86 abAB	5.18±1.03 bcAB	80.80±12.00 aAB	2
10	11.12±3.13 bcBC	12.83±2.53 abAB	13.20±2.44 bcAB	0.41±0.08 bcBC	7.55±1.65 abA	75.00±7.72 abAB	6.16±1.17 abA	79.00±6.57 abAB	2
11	16.04±3.04 aA	18.40±5.52 aA	14.90±2.88 bAB	0.75±0.15 aA	9.72±2.93 abA	75.43±12.18 abAB	9.48±3.12 aA	83.05±6.91 aA	1
12	12.70±1.36 abAB	15.55±2.39 abAB	11.50±2.97 cdBC	0.61±0.08 abAB	8.24±2.26 abA	76.40±10.81 abAB	7.56±1.92 abA	74.80±8.10 abAB	1
13	12.30±1.57 abAB	15.55±3.48 abAB	12.60±1.28 bcB	0.58±0.07 abAB	9.33±2.91 abA	68.80±7.36 abAB	6.47±2.73 abA	74.10±5.94 abAB	1
14	15.44±1.35 aA	14.66±2.24 abAB	13.82±1.95 bcAB	0.76±0.11 aA	8.04±1.83 abA	77.82±7.74 abAB	7.56±0.70 aA	80.27±4.88 aAB	1
15	13.00±1.64 abAB	16.83±4.45 aAB	13.60±2.58 bcAB	0.55±0.08 abAB	8.32±2.72 abA	78.70±8.31 abAB	7.09±1.67 abA	77.80±9.88 abAB	1
16	11.92±2.10 bcBC	14.60±2.81 abAB	13.10±2.21 bcAB	0.50±0.08 abB	7.40±2.88 abA	74.00±13.87 abAB	7.57±2.37 aA	73.70±10.42 abAB	2
17	9.40±1.32 bcBC	11.26±2.36 bcBC	9.50±2.69 deD	0.57±0.19 abAB	6.29±1.00 bAB	69.50±12.52 abAB	4.75±2.10 bcAB	77.40±7.10 abAB	2
18	8.90±1.67 cdCD	11.41±2.40 bBC	12.20±1.63 cB	0.42±0.08 bcBC	6.18±1.90 bcAB	75.75±6.90 abAB	5.03±1.17 bcAB	78.50±6.01 abAB	3
19	9.00±1.72 cdCD	10.51±1.61 bcBC	12.00±2.41 cdB	0.45±0.11 bcBC	6.47±1.72 abAB	59.30±9.48 bB	5.15±0.82 bcAB	67.60±8.05 abAB	3
20	8.64±1.84 cdCD	9.78±2.18 bcBC	10.10±2.43 deD	0.38±0.04 bcBC	4.90±1.93 bcAB	77.60±11.01 abAB	4.41±1.25 bcAB	83.70±8.79 aA	3
21	12.61±2.82 abAB	14.57±5.46 abAB	11.30±2.83 cdBC	0.62±0.16 abAB	6.51±2.32 abAB	78.60±7.45 abAB	7.58±3.73 aA	80.30±9.46 aAB	1
22	7.52±1.45 dCD	7.86±1.01 cC	8.40±2.63 deDE	0.51±0.34 abB	4.41±1.28 bcAB	64.40±9.17 abAB	3.46±0.92 cB	76.30±7.62 abAB	3
23	12.11±1.65 bB	11.84±2.46 abB	11.30±2.51 cdBC	0.56±0.10 abAB	6.97±1.86 abA	84.35±5.07 aA	5.29±1.44 bAB	90.85±12.09 aA	2
24	12.05±2.54 bcBC	14.27±4.02 abAB	12.00±1.95 cdB	0.53±0.16 abAB	8.85±3.19 abA	79.30±8.53 aAB	6.39±1.63 abA	80.80±6.54 aAB	2
25	9.63±2.18 bcBC	10.68±3.49 bcBC	8.70±2.83 deDE	0.45±0.11 bcBC	5.92±2.43 bcAB	78.10±14.00 abAB	5.12±2.03 bcAB	79.10±12.72 abAB	2
26	11.28±2.09 bcBC	13.16±3.09 abAB	10.60±2.65 cdD	0.58±0.09 abAB	6.82±2.22 abA	82.50±11.47 aAB	6.57±2.22 abA	84.40±8.38 aA	1
27	10.20±1.35 bcBC	12.65±1.20 abAB	10.60±2.24 cdD	0.47±0.08 abBC	7.81±1.58 abA	77.00±10.88 abAB	6.53±1.43 abA	80.50±8.43 aAB	1
28	6.66±1.08 dD	9.21±2.08 bcBC	11.70±2.05 cdBC	0.33±0.04 cC	4.84±1.23 bcAB	71.50±8.08 abAB	4.26±1.21 bcAB	71.10±7.15 abAB	3
29	11.05±2.15 bcBC	14.09±2.70 abAB	14.30±2.10 bAB	0.49±0.06 abB	7.24±2.12 abA	76.50±13.38 abAB	6.57±1.82 abA	77.20±9.67 abAB	2
30	10.76±2.06 bcBC	11.10±2.74 bcBC	7.30±1.68 efDE	0.54±0.11 abAB	7.18±1.84 abA	66.50±11.84 abAB	5.62±0.96 bAB	75.50±12.54 abAB	2
31	8.34±1.59 cdCD	7.61±1.45 cC	12.10±1.92 cB	0.40±0.05 bcBC	4.87±1.83 bcAB	66.50±11.84 abAB	4.29±1.46 bcAB	65.00±7.75 bB	3
32	9.39±0.67 cC	11.16±2.48 bcBC	9.30±2.10 deD	0.47±0.07 abBC	6.41±2.40 abAB	71.30±8.67 abAB	4.52±1.27 bcAB	74.30±12.50 abAB	2
33	7.37±1.52 dCD	7.48±1.63 cC	5.90±2.17 fE	0.35±0.09 bcBC	3.87±0.97 cB	95.20±21.48 aA	3.13±0.83 cB	83.00±21.88 aAB	2
34	10.38±1.98 bcBC	11.32±2.27 bcBC	10.50±2.16 cdD	0.47±0.08 abBC	6.18±1.24 bcAB	79.20±4.21 aAB	5.06±1.69 bcAB	76.40±10.20 abAB	2
35	8.32±1.28 cdCD	8.19±1.56 cC	10.19±2.62 dD	0.42±0.08 bcBC	4.24±1.00 cB	72.14±11.02 abAB	4.12±1.28 bcAB	77.80±7.83 abAB	3
36	7.58±0.80 dCD	8.70±1.65 bcBC	7.30±1.63 efDE	0.41±0.09 bcBC	4.71±0.48 bcAB	80.00±7.07 aAB	4.36±1.11 bcAB	78.70±14.08 abAB	2
37	10.12±1.55 bcBC	9.16±1.98 bcBC	11.80±1.98 cdBC	0.53±0.06 abB	4.81±1.12 bcAB	85.80±9.85 aA	4.52±1.41 bcAB	91.00±5.60 aA	3
38	8.27±1.22 cdCD	8.99±1.16 bcBC	7.00±1.84 efDE	0.45±0.07 bcBC	4.99±1.36 bcAB	81.90±11.94 aAB	4.48±1.27 bcAB	81.50±10.50 aAB	2
39	9.99±1.15 bcBC	12.71±1.73 abAB	10.40±1.36 dD	0.58±0.06 abAB	6.24±1.40 bcAB	73.20±12.36 abAB	6.16±1.77 abA	77.30±10.33 abAB	2
40	13.32±2.04 abAB	14.25±3.66 abAB	11.10±2.12 cdBC	0.76±0.15 aA	8.06±2.34 abA	77.90±12.48 abAB	6.88±1.89 abA	88.90±7.87 aA	1
41	10.76±1.79 bcBC	9.62±2.22 bcBC	8.20±2.79 efDE	0.61±0.06 abAB	4.23±1.39 cB	80.67±10.31 aAB	4.72±1.57 bcAB	80.50±7.89 aAB	3

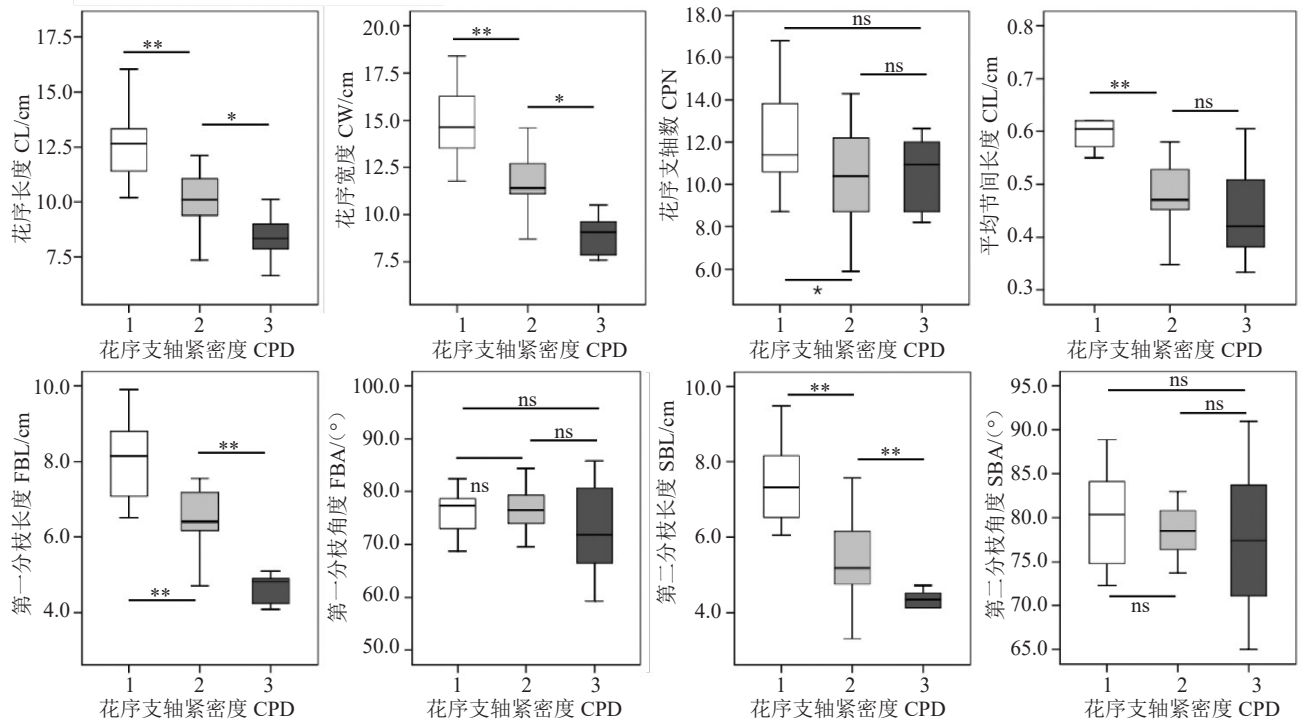
注: 1. 疏散; 2. 中等; 3. 紧密; 同一列不同小写字母表示种质间某一性状差异显著 ( $p < 0.05$ ), 同一列不同大写字母表示种质间某一性状差异极显著 ( $p < 0.01$ )。  
Note: 1. Sparse; 2. Medium; 3. Dense; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences in a trait between germplasm ( $p < 0.05$ ), and different uppercase letters in the same column indicate extremely significant differences in a trait between germplasm ( $p < 0.01$ ).



表4 8个花序直测性状各级分布频率、变异系数及多样性指数

Table 4 Frequency, CV and H' of the 8 traits of inflorescence direct measurement at all levels

性状 Traits	频率分布 Frequency distribution/%										变异系数 CV/%	多样性指数 H'
	1级 Level 1	2级 Level 2	3级 Level 3	4级 Level 4	5级 Level 5	6级 Level 6	7级 Level 7	8级 Level 8	9级 Level 9	10级 Level 10		
花序长度 CL	0.00	2.44	19.51	12.20	17.07	19.51	12.20	12.20	4.88	0.00	20.64	1.92
花序宽度 CW	0.00	7.32	12.20	12.20	24.39	9.76	19.51	7.32	4.88	2.44	24.10	2.00
花序支轴数 CPN	2.44	7.32	4.88	14.63	17.07	24.39	14.63	7.32	4.88	2.44	21.72	2.04
平均节间长度 CIL	0.00	4.88	7.32	19.51	21.95	12.20	24.39	2.44	7.32	0.00	20.20	1.85
第一分枝长度 FBL	0.00	4.88	21.95	2.44	21.95	19.51	12.20	9.76	4.88	2.44	24.77	1.92
第一分枝角度 FBA	4.88	2.44	4.88	14.63	17.07	31.71	12.20	7.32	4.88	0.00	8.71	1.91
第二分枝长度 SBL	0.00	7.32	7.32	21.95	14.63	17.07	12.20	9.76	7.32	2.44	26.01	2.04
第二分枝角度 SBA	2.44	4.88	4.88	14.63	24.39	21.95	14.63	2.44	4.88	4.88	7.32	1.99



\*表示差异显著( $p < 0.05$ ); \*\*表示差异极显著( $p < 0.01$ ); ns 表示无显著差异。下同。

\* means significant difference ( $p < 0.05$ ); \*\* means extremely significant difference ( $p < 0.01$ ); ns means no significant difference. The same below.

图6 8个花序直测性状在不同花序支轴紧密度下的比较分析

Fig. 6 Comparative analysis of the 8 traits of inflorescence direct measurement under different CPD

表5 8个花序直测性状的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of 8 inflorescences directly measured characters

性状 Trait	花序长度 CL	花序宽度 CW	花序支轴数 CPN	平均节间长度 CIL	第一分枝长度 FBL	第一分枝角度 FBA	第二分枝长度 SBL	第二分枝角度 SBA	花序支轴紧密度 CPD
花序长度 CL	1								
花序宽度 CW	0.879**	1							
花序支轴数 CPN	0.605**	0.629**	1						
平均节间长度 CIL	0.817**	0.677**	0.235	1					
第一分枝长度 FBL	0.838**	0.935**	0.637**	0.598**	1				
第一分枝角度 FBA	0.067	-0.065	-0.376*	0.075	-0.168	1			
第二分枝长度 SBL	0.889**	0.949**	0.663**	0.67**	0.893**	-0.093	1		
第二分枝角度 SBA	0.207	0.028	-0.193	0.332*	-0.026	0.743**	-0.012	1	
花序支轴紧密度 CPD	-0.763**	-0.818**	-0.270	-0.674**	-0.783**	-0.128	-0.825**	-0.172	1

注: \*表示相关性在 0.05 水平上显著(双尾), \*\*表示相关性在 0.01 水平上显著(双尾)。下同。

Note: \* means the correlation is significant at the 0.05 level (double-tailed), \*\* means the correlation is significant at the 0.01 level (double-tailed). The same below.

性状的综合影响,分别以5个显著相关性状和8个直测性状进行主成分分析。从载荷矩阵和方差贡献率(表6)看出,第一类主成分分析找出2个特征根大于

表6 8个花序直测性状主成分分析的  
载荷矩阵及方差贡献率

组分 Component	载荷矩阵 a Load matrix a		载荷矩阵 b Load matrix b
	主成分 a1 Factor a1	主成分 a2 Factor a2	主成分 b1 Factor b1
	花序宽度 CW	0.966	0.007
第二分枝长度 SBL	0.963	-0.031	0.958
花序长度 CL	0.951	0.191	0.958
第一分枝长度 FBL	0.936	-0.086	0.929
平均节间长度 CIL	0.756	0.355	0.807
花序支轴数 CPN	0.705	-0.413	0
第二分枝角度 SBA	0.052	0.917	0
第一分枝角度 FBA	-0.114	0.901	0
特征根 Eigenvalue	4.725	1.995	4.282
方差贡献率 Variance contribution rate/%	59.066	24.941	85.649
累计方差贡献率 Cumulative contribution rate/%	59.066	84.007	85.649

注:主成分 a1、主成分 a2 为包含非显著相关性状的载荷矩阵;主成分 b1 为去除非显著相关性状的载荷矩阵。

Note: Principal components a1 and a2 are the load matrix containing non-significant correlation characters; Principal component b1 is the load matrix without significant correlation traits.

1的特征向量,累计方差贡献率达84.007%;第二类主成分分析找出一个特征根大于1的特征向量,方差贡献率达85.649%。从各因子权重来看,花序宽

度、第二分枝长度、花序长度和第一分枝长度的权重都在0.9以上,其中花序宽度权重最高,为0.966;平均节间长度和花序支轴数的权重较低,分别为0.756和0.705。由于花序宽度、第二分枝长度、花序长度和第一分枝长度彼此呈极显著相关,相关系数均在0.8以上(表5),因此选择花序宽度作为核心指标之一。在与花序支轴紧密度显著相关的性状中,平均节间长度与花序宽度的相关系数为-0.674(表5),而从载荷矩阵b看出,平均节间长度的权重为0.807,选择平均节间长度作为另一核心指标。

以花序宽度和平均节间长度作为核心指标对花序进行综合评价,按照1.3.3的方法计算综合得分,其与花序支轴紧密度目测结果间的斯皮尔曼相关系数为-0.817。按照三种花序类型对每种类型的种质综合得分进行差异分析,结果如图7所示。主成分分析结果基本可以区分疏散、中等、紧密这3种花序类型,但仍然存在部分重叠区域,尤其是中等型与紧密型花序之间的区分不明显。比如在调查中发现,黄金块、大红袍这类目测为中等型花序的种质,其花序大小与紧密型种质区别不大,但是其花序支轴间较为稀疏而将其归类为中等型。另外,像MCB和冰糖种两者的综合得分十分相近,但是目测判断MCB为中等型,而冰糖种为紧密型。

为了进一步分析所选性状能否综合评价花序支轴紧密度,使用层次聚类的方法对5个显著相关性状进行聚类分析,结果如图8所示。其中有部分种质的聚类结果与目测结果不一致,例如,早茂15号与高粱姜在聚类分析中归为S类(疏散型),在目测结果中为中等型;黄金块、长崎早生和MCB在聚类

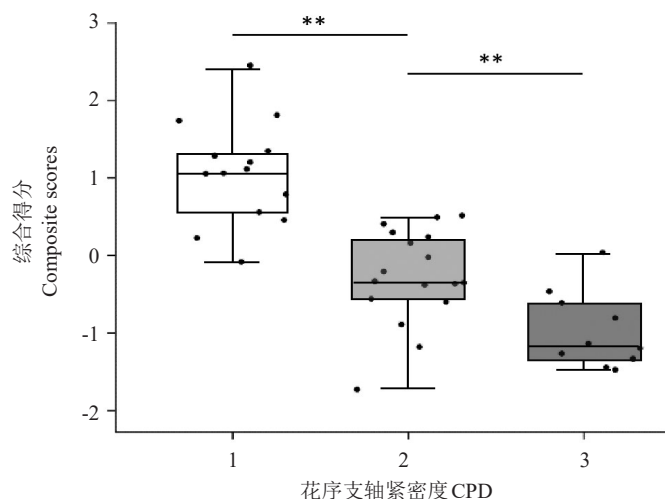
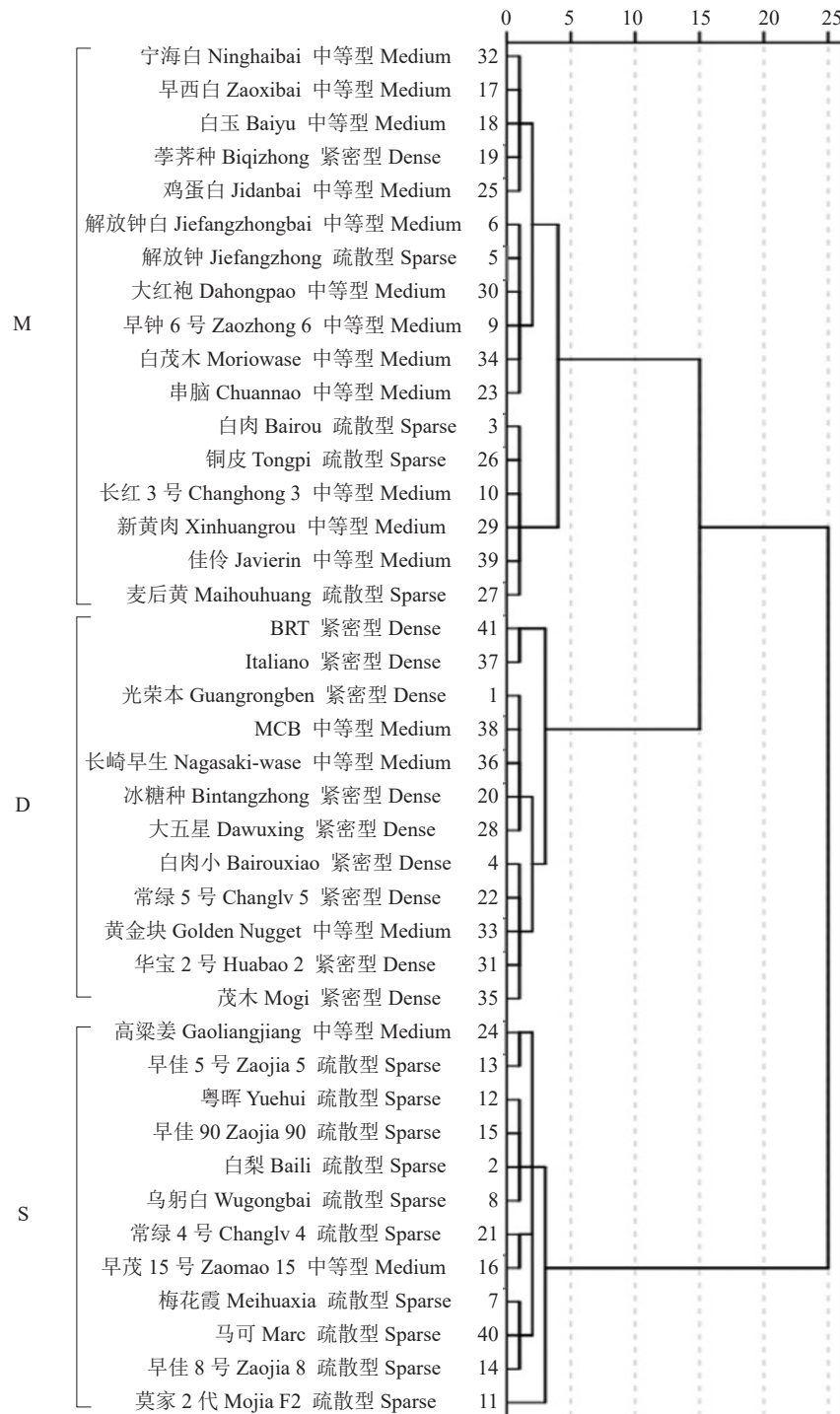


图7 三种花序类型种质综合得分差异分析

Fig. 7 Variance analysis in composite scores among the three inflorescence types



M 类为中等型花序种质集合;D 类为紧密型花序种质集合;S 类为疏散型花序种质集合。

Class M is a medium inflorescence germplasm collection; Class D is a dense inflorescence germplasm collection and class; Class S is a sparse inflorescence germplasm collection.

图 8 5 个显著相关性状聚类分析

Fig. 8 Cluster analysis of 5 significantly correlated traits

分析中归为D类(紧密型),在目测结果中为中等型;麦后黄、白肉、解放钟和荸荠种在聚类分析中为M类(中等型),在目测结果中为疏散型。

2.4 花序疏密程度调查及指标评价

上述分析结果表明,对所选8个直测性状进行

聚类分析与主成分分析均不能准确地对花序支轴紧密度进行分类,通过调查发现花序的疏密程度也许与花序支轴紧密度紧密相关。因此,笔者在本研究中从41份枇杷种质中选出表型较明显的8份种质进行了试验。这8份种质分别为:莫家2代(编号2)、

乌躬白(编号9)、早佳8号(编号41)3份花序疏散型种质;解放钟白(编号11)、串脑(编号24)2份花序中等型种质;Italiano(编号20)、光荣本(编号4)、茂木(编号14)3份花序紧密型种质。

根据1.2.2花序疏密程度的调查方法对所选8份种质进行了调查,花序疏密程度由高到低分别为:光荣本(47.36%)、茂木(46.34%)、Italiano(46.34%)、解放钟白(41.58%)、串脑(40.31%)、早佳8号(36.45%)、乌躬白(35.45%)和莫家2代(28.27%)。与8个直测性状进行相关性分析,结果如表7所示,发现花序疏密程度与花序支轴紧密度、花序长度、花序宽度、第一分枝长度和第二分枝长度的相关系数绝对值均在0.9以上;其中与花序支轴紧密度的相关性最显著,系数为0.945。同时,花序疏密程度与花序长度、花序宽度、花序支轴数、平均节间长度、第一分枝长度和第二分枝长度均呈极显著相关。花序疏

密程度在3种花序类型间的差异分析也表明(图9),不同花序类型的种质在花序疏密程度这一性状上存在极显著差异。

对8份种质进行主成分分析,以花序疏密程度、花序长度、花序宽度、平均节间长度、第二分枝长度作为参考指标。结果如表8所示,特征根大于1的主成分只有1个,其方差贡献率达到92%。从载荷矩阵中看出,花序疏密程度的权重最高,为-0.983,且优于花序宽度。对花序疏密程度从高到低进行排序(表9),其结果可以与目测的3种花序类型相对应。在实际观察中,光荣本是3种紧密型种质中花序最紧密种质,茂木和Italiano的花序紧密度相似;在中等和疏散型种质中,花序疏密程度大小与花序支轴紧密度的表型更为接近。由此可见,花序疏密程度相较花序宽度更加符合花序的疏密形态。以上数据说明,花序疏密程度可以区分典型的疏散、中等和紧

表 7 8 份种质的花序主要性状相关性分析

Table 7 Correlation analysis of main traits of 8 germplasm' inflorescence

主要性状 Main trait	花序长度 CL	花序宽度 CW	花序支轴 数CPN	平均节间长 度CIL	第一分枝长 度FBL	第一分枝 角度FBA	第二分枝长 度SBL	第二分枝 角度SBA	花序疏密 程度InD	花序支轴紧 密度CPD
花序长度CL	1									
花序宽度CW	0.890**	1								
花序支轴数CPN	0.704	0.891**	1							
平均节间长度CIL	0.979**	0.790*	0.604	1						
第一分枝长度FBL	0.861**	0.990**	0.888**	0.744*	1					
第一分枝角度FBA	0.281	0.002	-0.168	0.376	-0.021	1				
第二分枝长度SBL	0.892**	0.989**	0.901**	0.806*	0.964**	-0.063	1			
第二分枝角度SBA	0.265	0.082	-0.088	0.318	0.071	0.966**	-0.003	1		
花序疏密程度InD	-0.928**	-0.966**	-0.782*	-0.850**	-0.939**	-0.034	-0.968**	-0.091	1	
花序支轴紧密度CPD	-0.882**	-0.945**	-0.819*	-0.882**	-0.945**	-0.126	-0.945**	-0.126	0.945**	1

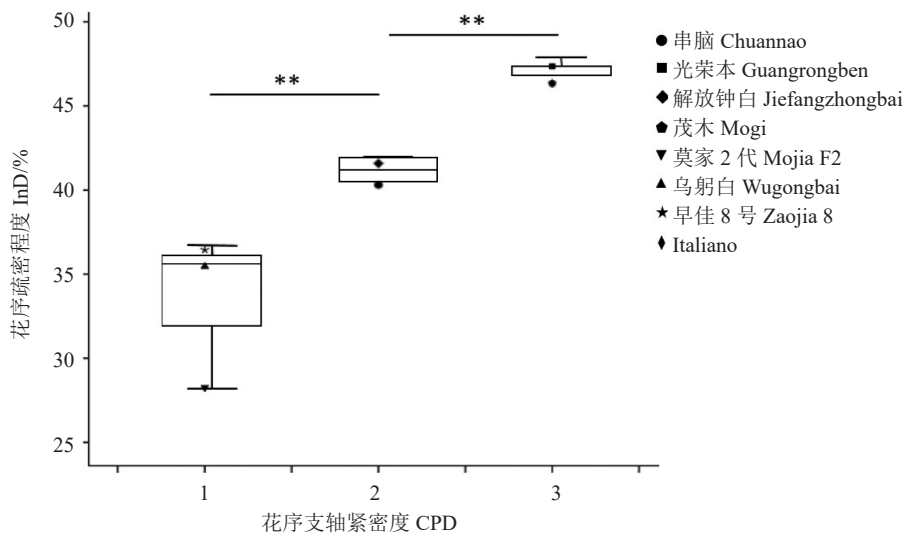


图 9 花序疏密程度与花序支轴紧密度的差异分析

Fig. 9 Variance analysis of inflorescence density and CPD

表 8 8 份种质显著相关性状载荷矩阵及方差贡献率  
Table 8 Loading matrix and variance contribution rate of significantly correlated traits in 8 germplasm

组分 Component	主成分 1 Factor 1
花序疏密程度 InD	-0.983
花序宽度 CW	0.979
第二分枝长度 SBL	0.978
花序长度 CL	0.963
第一分枝长度 FBL	0.957
平均节间长度 CIL	0.895
特征根 Eigenvalue	5.524
方差贡献率 Variance contribution rate/%	92.071
累计方差贡献率 Cumulative contribution rate/%	92.071

表 9 8 份种质的花序疏密程度、花序宽度与目测结果比较  
Table 9 Inflorescence density and visual inspection results of 8 germplasm

品种 Cultivar	花序疏密程度 InD/%	排序 Scores order	花序宽度 CW/cm	花序支轴紧密度 CPD
光荣本 Guangrongben	47.36	1	8.96	紧密 Dense
茂木 Mogi	46.34	2	8.19	紧密 Dense
Italiano	46.34	3	9.16	紧密 Dense
解放钟白 Jiefangzhongbai	41.58	4	11.55	中等 Medium
串脑 Chuannao	40.31	5	11.84	中等 Medium
早佳 8 号 Zaojia 8	36.45	6	14.66	疏散 Sparse
乌躬白 Wugongbai	35.45	7	17.44	疏散 Sparse
莫家 2 代 Mojia F2	28.27	8	18.40	疏散 Sparse

密 3 种花序类型,其测量值越大,花序表现越紧密,测量值越小,花序表现越疏散。

为了更直观地区分疏散、中等和紧密 3 种花序类型,笔者在本研究中试图对花序疏密程度进行分界。疏散型与中等型在花序疏密程度上的分界可能在 36.45%~40.31%之间,中等型与紧密型在花序疏密程度上的分界可能在 41.58%~46.34%之间。后续还需要扩大样本范围进一步验证该方法的可靠性,以求既能大幅减少目测误差又可以准确判断花序支轴紧密度。

### 3 讨论

枇杷的花序支轴紧密度是生产管理人员非常关注的农艺性状,寻找可以量化该性状的指标有着较高的研究价值。目前关于枇杷花序支轴紧密度的研究报道较少,郭乙含<sup>[9]</sup>对 130 株枇杷杂交群体进行调

查,发现花序支轴紧密度和花序宽度显著相关;陈秀萍等<sup>[4]</sup>对 210 份枇杷种质资源进行了调查,发现花序为疏散型、中等型和紧密型种质的占比分别为 31.43%、41.43%和 27.14%。

笔者在本研究中对 41 份栽培枇杷种质的花序支轴紧密度进行了调查,疏散、中等和紧密 3 种花序支轴紧密度的分布以中等型居多,其次是疏散型,分布结果与陈秀萍等<sup>[4]</sup>的结果一致。说明笔者在本研究中所使用枇杷群体的花序支轴紧密度分布接近总体分布,可进行可靠的花序性状的统计分析。来源地为广州和福建地区的枇杷花序以疏散型占多数,来源地为江苏地区的枇杷花序以中等型占多数,在陈秀萍等<sup>[4]</sup>对 210 份枇杷资源的多样性分析中,福建地区的枇杷花序大于广东和江苏地区,广东和江苏地区的枇杷花序大小差别不大;由于疏散型花序大小要显著大于中等和紧密型,可见福建地区枇杷花序更大更疏散,由于本研究来自江苏和广东的种质数量较多,结果有较高的可信度。

8 个花序直测性状中,花序长度、花序宽度、花序支轴数、平均节间长度、第一分枝长度和第二分枝长度拥有较高的变异系数和多样性指数,这些性状适合用于对花序支轴紧密度的描述,陈秀萍等<sup>[4]</sup>也发现枇杷花序长度、花序宽度和花序支轴数有着较高的多样性指数,与枇杷花序类似的龙眼花序的长、宽和支轴数也具有较高的变异系数<sup>[30]</sup>。从 8 个花序直测性状的相关性分析看出,花序长度、花序宽度、平均节间长度、第一分枝长度、第二分枝长度与花序支轴紧密度呈显著相关。其中花序长度与花序宽度极显著相关,与黄彪<sup>[25]</sup>研究结果相一致;花序宽度与花序支轴紧密度呈极显著相关,与郭乙含<sup>[6]</sup>研究结果相一致。

主成分分析(PCA)通常用来综合评价某一个指标,将某一指标用与其相关联的若干性状来评价<sup>[31-32]</sup>。类似的应用如枇杷种质的丰产性综合评价<sup>[24]</sup>、荔枝的矮化综合评价<sup>[33]</sup>、圆黄梨果实品质综合评价<sup>[19]</sup>等。该方法也用于关键评价指标的筛选<sup>[31-32]</sup>,类似的应用如土壤属性关键指标筛选和评价<sup>[22]</sup>,桑葚果实品质关键指标筛选<sup>[20]</sup>。笔者在本研究中通过主成分分析从 8 个直测性状中筛选出花序宽度和平均节间长度作为花序支轴紧密度核心评价指标。对种质的综合得分进行排序,发现 3 种花序类型在综合得分上的分界不是十分清晰;同时也对显著相关性性状进行了聚类分析,发现有两份目测为中等型的

种质被归于疏散型,3份目测为中等型的种质被归于紧密型,4份目测为疏散型的种质被归于中等型。根据以上结果推测可能存在与花序支轴紧密度更为相关的性状。

笔者在本研究中创建花序疏密程度作为可能相关的新型性状,并选择花序支轴紧密度表型较明显的8份枇杷种质进行试验。笔者在本研究中采用旋转拍摄的方式采集枇杷花序多个侧方位图像,结合计算机程序批量处理花序图像,计算出种质花序疏密程度信息,实践证明该方法高效可靠。对这8份种质的花序疏密程度、花序长度、花序宽度、花序支轴数、平均节间长度、第一分枝长度、第一分枝角度、第二分枝长度、第二分枝角度和花序支轴紧密度进行相关性分析,发现花序疏密程度与花序支轴紧密度的斯皮尔曼相关系数最高。对花序疏密程度以及5个显著相关的直测性状进行主成分分析,发现花序疏密程度在载荷矩阵中的权重最高,高于花序宽度,说明以花序疏密程度作为核心指标比花序宽度和平均节间长度更优。花序疏密程度和花序疏密形态相一致,在8份典型种质中可以准确区分疏散、中等和紧密3种花序类型。笔者在本研究中初步估计,疏散型与中等型在花序疏密程度上的分界可能在36.45%~40.31%之间,中等型与紧密型在花序疏密程度上的分界可能在41.58%~46.34%之间。然而花序疏密程度是否在更多的种质中有比较稳定的表现,这方面的研究还需要进一步深入。

## 4 结 论

枇杷的花序支轴紧密度与花序疏密程度、花序宽度、花序长度、平均节间长度、第一分枝长度和第二分枝长度呈极显著相关,其中花序疏密程度的相关性最高;初步研究发现,花序疏密程度可以作为花序支轴紧密度的新型量化指标,区分典型的疏散、中等和紧密3种花序类型种质;此外,采用旋转拍摄和计算机程序处理的方式可以高效准确获取花序疏密程度信息。

## 参考文献 References:

- [1] 刘国强,林志清,林文忠,赖钟雄.我国枇杷种质资源及选育种研究进展[J].亚热带植物通讯,2000,29(2):65-70.  
LIU Guoqiang, LIN Zhiqing, LIN Wenzhong, LAI Zhongxiong. A review of progress in study of Chinese loquat germplasm resource, selection and breeding[J]. Subtropical Plant Science, 2000, 29(2): 65-70.
- [2] 蔡礼鸿.枇杷学[M].北京:中国农业出版社,2012:14-27.
- [3] CAI Lihong. Loquat science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012: 14-27.  
蒋际谋,陈秀萍,邓朝军,许奇志,郑少泉.我国枇杷产业优劣形势分析与发展对策[J].中国园艺文摘,2018,34(4):46-48.  
JIANG Jimou, CHEN Xiuping, DENG Chaojun, XU Qizhi, ZHENG Shaoquan. Analysis and development strategy of the advantages and disadvantages of loquat industry in China[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2018, 34(4): 46-48.
- [4] 陈秀萍,黄爱萍,蒋际谋,林旗华,魏秀清,张小艳,许奇志,郑少泉.枇杷属植物4个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.  
CHEN Xiuping, HUANG Aiping, JIANG Jimou, LIN Qihua, WEI Xiuqing, ZHANG Xiaoyan, XU Qizhi, ZHENG Shaoquan. Diversity analysis on the flower cluster characters of four *Eriobotrya* plants[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(6): 709-714.
- [5] 郑少泉.枇杷种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006:36-45.  
ZHENG Shaoquan. Descriptors and data standard for loquat (*Eriobotrya* spp.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 36-45.
- [6] 郭乙含.‘宁海白’与‘大房’杂交后代性状遗传分析及果重等性状特异分子标记开发[D].广州:华南农业大学,2022.  
GUO Yihan. Genetic analysis of major traits for the progenies of ‘Ninghaibai’ and ‘Dafang’ and development of specific molecular markers for fruit weight[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2022.
- [7] 邱武陵,匿葆志.中国果树志·龙眼枇杷卷[M].北京:中国林业出版社,1996:137-233.  
QIU Wuling, 匿葆志. China fruit records: Longan · Loquat Volume[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996: 137-233.
- [8] 王云生,林顺权.枇杷野生型与栽培型的cpDNA<sup>Tms-TmG</sup>及cpDNA<sup>TmQ-ps16</sup>序列多态性的比较[J].园艺学报,2012,39(10):1913-1918.  
WANG Yunsheng, LIN Shunquan. A comparative study on the polymorphism of loci cpDNA<sup>Tms-TmG</sup> and cpDNA<sup>TmQ-ps16</sup> in cultivated and wild loquats[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(10): 1913-1918.
- [9] 王永清,付燕,杨芬,罗楠,邓群仙,严娟,曾建国,阮光伦.枇杷属植物遗传多样性的ISSR分析[J].林业科学,2010,46(4):49-57.  
WANG Yongqing, FU Yan, YANG Qin, LUO Nan, DENG Qunxian, YAN Juan, ZENG Jianguo, RUAN Guanglun. Genetic diversity of *Eriobotrya* analyzed by ISSR markers[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(4): 49-57.
- [10] 尹述德,王亚君,韩启成.枇杷新品种麦后黄及省工高效栽培技术[J].陕西农业科学,2012,58(1):260-261.  
YIN Shude, WANG Yajun, HAN Qicheng. A new loquat variety Maihou Huang and its efficient cultivation techniques[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2012, 58(1): 260-261.
- [11] 郝红丽,王镇,黄颖宏.苏州洞庭山枇杷品种果实主要性状的多样性分析[J].江苏农业科学,2015,43(4):182-185.  
QIE Hongli, WANG Zhen, HUANG Yinghong. Diversity analysis of main fruit characters of loquat varieties in Dongting Mountain, Suzhou[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(4): 182-185.
- [12] 白昫鹭.枇杷属植物种间杂交后代的鉴定、筛选和初步利用[D].广州:华南农业大学,2020.  
BAI Yunlu. Identification and screening of interspecific hybrid

- progenies in genus *Eriobotrya* plants and their preliminary utilization[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2020.
- [13] 王琼. 枇杷属植物种间杂交后代的性状分析[D]. 广州:华南农业大学, 2018.  
WANG Qiong. Character analysis of hybrid progeny in genus *Eriobotrya* plants[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018.
- [14] 戴亚. 枇杷属植物 DUS 测试指南的研制及其种质数据库的建立[D]. 广州:华南农业大学, 2017.  
DAI Ya. The development of *Eriobotrya* plants DUS test guideline and establishment of the germplasm resources database[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017.
- [15] 李颖, 张树航, 郭燕, 张馨方, 王广鹏. 211 份板栗种质资源花序表型多样性和聚类分析[J]. 中国农业科学, 2020, 53(22): 4667-4682.  
LI Ying, ZHANG Shuhang, GUO Yan, ZHANG Xinfang, WANG Guangpeng. Catkin phenotypic diversity and cluster analysis of 211 Chinese chestnut germplasms[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(22): 4667-4682.
- [16] 张伟锋. 斯皮尔曼简捷相关系数与基尼伽玛相关系数的统计特性分析[D]. 广州:广东工业大学, 2020.  
ZHANG Weifeng. Statistical analysis of Spearman's footrule and gini's gamma[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2020.
- [17] 魏泽辉, 郑惠玲, 贾存灵. 动物试验中多重比较方法的选择[J]. 中国家禽, 2018, 40(24): 1-6.  
WEI Zehui, ZHENG Huiling, JIA Cunling. How to choose the methods of multiple comparison for data of animal experiment[J]. *China Poultry*, 2018, 40(24): 1-6.
- [18] 胡纯严, 胡良平. 如何正确运用方差分析: 多个均值之间的多重比较[J]. 四川精神卫生, 2022, 35(1): 21-25.  
HU Chunyan, HU Liangping. How to use analysis of variance correctly: The multiple comparisons among the multiple means[J]. *Sichuan Mental Health*, 2022, 35(1): 21-25.
- [19] 严鑫, 吴巨友, 贡鑫, 焦玉茹, 袁凯莉, 鲁彬, 王苗苗, 陶书田, 王然, 张绍铃. 不同产地圆黄梨果实品质差异分析[J]. 果树学报, 2021, 38(12): 2082-2090.  
YAN Xin, WU Juyou, GONG Xin, JIAO Yuru, YUAN Kaili, LU Bin, WANG Miaomiao, TAO Shutian, WANG Ran, ZHANG Shaoling. Analysis of fruit quality of Wonhwang pear from different regions[J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(12): 2082-2090.
- [20] 李勋兰, 魏召新, 彭芳芳, 罗友进, 韩国辉. 35 份果桑资源果实品质分析与综合评价[J]. 果树学报, 2022, 39(3): 332-342.  
LI Xunlan, WEI Zhaoxin, PENG Fangfang, LUO Youjin, HAN Guohui. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 35 mulberry accessions[J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39(3): 332-342.
- [21] KAISER H F. A second generation little jiffy[J]. *Psychometrika*, 1970, 35(4): 401-415.
- [22] KUMAR U, MISHRA V N, KUMAR N, SRIVASTAVA L K, TEDIA K, BAJPAI R K, SINGH M, MOHANTY M. Assessing soil quality and their indicators for long-term rice-based cropping systems in hot sub-humid eco-region of India[J]. *Soil Research*, 2022, 60(6): 610-623.
- [23] KAISER H F. The application of electronic computers to factor analysis[J]. *Educational and Psychological Measurement*, 1960, 20(1): 141-151.
- [24] 陈秀萍. 普通枇杷 [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] 植物若干性状鉴定与分类研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.  
CHEN Xiuping. Identification and classification of some traits of loquat [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010.
- [25] 黄彪. 枇杷品种 DUS 测试指南的研制及其相关研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2011.  
HUANG Biao. Development of DUS test guide for loquat varieties and its related research[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2011.
- [26] 刘龙昌. 桂花品种分子标记和综合分类研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2003.  
LIU Longchang. Study on molecular markers and comprehensive classification of *Osmanthus fragrans* varieties[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2003.
- [27] 盖钧镒. 试验统计方法·第4版[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 44.  
GAI Junyi. Statistics for experiments 4th edition[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016: 44.
- [28] 朱锦迪, 韦新良, 汤孟平, 杨晶晶, 张继艳. 林分树种组成多样性指数的构建[J]. 浙江农林大学学报, 2022, 39(2): 262-271.  
ZHU Jindi, WEI Xinliang, TANG Mengping, YANG Jingjing, ZHANG Jiyan. Construction of diversity index of tree species composition[J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2022, 39(2): 262-271.
- [29] 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: 141-166.  
QIAN Yingqian, MA Keping. Principles and methods of biodiversity research[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 141-166.
- [30] 黄爱萍, 陈秀萍, 郑少泉, 邓朝军, 胡文舜, 章希娟, 骆键夫, 陈秀妹, 许奇志. 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.  
HUANG Aiping, CHEN Xiuping, ZHENG Shaoquan, DENG Chaojun, HU Wenshun, ZHANG Xijuan, LUO Jianfu, CHEN Xiumei, XU Qizhi. Inflorescence trait diversity of longan germplasm[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 25(2): 201-206.
- [31] GUILLÉN-CASLA V, ROSALES-CONRADO N, LEÓN-GONZÁLEZ M E, PÉREZ-ARRIBAS L V, POLO-DÍEZ L M. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of E-beam irradiation on ready-to-eat food[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011, 24(3): 456-464.
- [32] VAINIONPÄÄ J, SMOLANDER M, ALAKOMI H L, RITVANEN T, RAJAMÄKI T, ROKKA M, AHVENAINEN R. Comparison of different analytical methods in the monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts using principal component analysis[J]. *Journal of Food Engineering*, 2004, 65(2): 273-280.
- [33] 胡福初. 荔枝矮化性状的鉴定评价与遗传研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2019.  
HU Fuchu. Identification, evaluation and genetic study on dwarf traits in *Litchi chinensis* Sonn. [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2019.