

## 褐毛荔果实表型性状多样性研究

张辉<sup>1,2,4</sup>, 曹学仁<sup>2</sup>, 张蕾<sup>3</sup>, 李松刚<sup>3</sup>, 洪继旺<sup>3</sup>, 吴佶<sup>2</sup>, 张惠云<sup>4</sup>,  
丁灿<sup>1</sup>, 罗心平<sup>4\*</sup>, 王家保<sup>2\*</sup>

(1 云南农业大学, 昆明 650000; 2 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 570100; 3 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海口 570100; 4 云南省农业科学院热带经济作物研究所, 云南保山 678000)

**摘要:** 【目的】对云南省的褐毛荔种质资源果实表型性状进行遗传多样性分析, 为褐毛荔种质资源的评价和利用提供依据。【方法】在褐毛荔分布较多的云南省 10 个县调查收集褐毛荔种质资源, 采集成熟果实, 评价果实的 16 个描述性性状和 8 个数量性状, 并对资源进行表型多样性分析、聚类分析及主成分分析。【结果】共调查收集到 93 份褐毛荔资源, 其中一份焦核资源。褐毛荔种质资源果实表型遗传多样性较丰富, 数量性状的遗传多样性均高于描述性性状, 其中多样性指数最高的是种子质量, 为 2.98。变异系数最高的是果皮质量, 为 38.36%。果实的主要特征包括形状为歪心形, 果皮颜色淡红带微黄, 果肩和果顶形状多为双肩斜和钝圆; 龟裂片多为平滑, 裂片峰多为毛尖, 缝合线不明显, 果肉颜色以蜡白色为主, 果肉内膜褐色为无或少, 种子形状以椭圆形为主, 种皮颜色以浅褐为主, 肉质多为细嫩, 香味、风味和涩味以无香、酸甜、微涩为主, 种子多为大核。根据数量性状分析将 93 份荔枝资源果实分为了 5 类, 其中第 II 类的可食率最高, 为 62.49%, 第 V 类的果实最大。根据描述性性状可将果实分为 4 类, 其中第 IV 类的果实风味较好。主成分分析结果表明, 前 2 个主成分主要体现了果实大小、果实可食率和可溶性固形物含量, 依据主成分得分, 筛选出 2 株优异单株。【结论】褐毛荔种质资源表型多样性较为丰富, 可用于荔枝新种质创制和新品种选育。

**关键词:** 褐毛荔 (*Litchi chinensis* var. *Fulvosus* Y. Q. Lee); 果实; 表型多样性; 聚类分析; 主成分分析

中图分类号: S667.1 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2024)09-0001-08

## Study on the fruit phenotypic characters diversity of *Litchi chinensis* var. *fulvosus*

ZHANG Hui<sup>1, 2, 4</sup>, CAO Xueren<sup>2</sup>, ZHANG Lei<sup>3</sup>, LI Songgang<sup>3</sup>, HONG Jiwang<sup>3</sup>, WU Ji<sup>2</sup>, ZHANG Huiyun<sup>4</sup>, DING Can<sup>1</sup>, LUO Xinping<sup>4\*</sup>, WANG Jiabao<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>Yunnan Agricultural University, Kunming 650000, Yunan, China; <sup>2</sup>Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 570100, Hainan, China; <sup>3</sup>Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 570100, Hainan, China; <sup>4</sup>Institute of Tropical and Subtropical Cash Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Baoshan 678000, Yunan, China)

**Abstract:** 【Objective】*L. chinensis* Sonn. var. *fulvosus* Y. Q. Lee (LF) is a wild variety of litchi that originated in Yunnan province. It has many special characteristics, such as very easy flowering, high fruit-setting rate, high yield, early maturity, sour taste pulp, and so on. In the litchi industry, LF is mostly used as rootstocks. In recent years, LF has usually cut down to grow other crops with high economic value or died from the drought in spring in some areas, which led to the loss of its genetic diversity. Therefore, it is urgent to strengthen the investigation of the germplasm resources to preserve the genetic diversity of LF. In this study, we investigated the wild LF resources extensively in Yunnan province and collected fruits from 93 single plants. The characteristics of these

收稿日期: 2024-01-31 接受日期: 2024-05-30

基金项目: 国家重点研发计划项目资助 (2021YFD1200200); 海南省重点研发计划项目 (ZDYF2021XDNY156); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-32)

作者简介: 张辉, 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 荔枝种质资源收集评价、保存。E-mail: 1311239836@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. E-mail: rjslxp@126.com; E-mail: fdabo@163.com

fruits were measured, evaluated, and analyzed to provide a certain basis for further research and utilization of LF.

**【Method】** LF distributed in 10 counties of Yunnan province were extensively investigated, and 93 single LF plants were recorded, with at least 50 meters apart from each other. At least 15 matured fruits were picked from each plant. A total of 16 Descriptive traits were measured according to the description standard and the 8 quantitative traits were also determined based on the standard methods. The distribution frequency, coefficient of variation, and diversity index of these characters were analyzed. The LF plants were classified by systematic cluster analysis according to both the descriptive and quantitative index, and the principal component analysis was carried out. **【Result】**(1) The main fruit descriptive traits of LF were determined. Most LF plants have fruits with crooked-heart shapes, reddish with yellowish pericarp, oblique fruit shoulder, convex, and obtuse shape of fruit tip, smooth shape of fruit skin segments with hairy-tip shape of protuberances, and inconspicuous suture line. Fruits from most LF germplasm resources had waxy-white pulp with a little brown inner membrane or absence of color. The fruit pulp usually showed a tender texture, no fragrant, sour and sweet, and slightly astringent taste. All the 93 LF plants born fruits with large, oval-long, and light brown skin seed, except one plant had aborted seed. The diversity index (DI) of 16 fruit descriptive traits varied from 0.46 to 2.29. Among them, the highest DI is the peel color with 2.29, and the distribution frequency of reddish and yellowish is 41.94%. Followed by shape of fruit skin segments, the DI is 1.79, in which the smooth distribution frequency is 49.46%. The suture line had the lowest DI with 0.46. (2) 93 LF germplasm resources had an average single fruit weight of 3.95~28.38 g, a longitudinal diameter of 22.28~45.36 mm, the transverse diameter with 16.56~34.62 mm, the lateral diameter with 12.13~31.48 mm, the pericarp weight with 1.09~6.41 g, the seed weight with 0.26~7.25 g, the total soluble solids content (TSS) with 7.65%~21.95%, and the edible rate with 38.42%~69.74%. The DIs of the 8 quantitative indexes ranged from 2.83 (Fruit transverse diameter) to 2.98 (seed weight), indicating that their variation range was lower than that of the descriptive indicators. The coefficient of variation of single fruit weight, longitudinal diameter, transverse diameter, lateral diameter, pericarp weight, seed weight, soluble solid content, and edible rate were 29.76%, 14.39%, 13.17%, 14.37%, 38.36%, 32.14%, 14.54%, and 11.69%, respectively. (3) The results of cluster analysis with 16 fruit descriptive traits showed that LF fruits can be divided into four categories, among which the fourth category has better flavor. Based on the 8 quantitative characters, the LF plants could be divided into five categories, among which the fruit size of ClassV was larger than others, and the edible rate of the ClassII were the highest. Each category contains resources from multiple regions. Principal component analysis (PCA) showed that the first principal component factor reflected the fruit size and weight, and the second principal component factor reflected the fruit descriptive traits. The comprehensive scores of each LF plant were calculated. The higher the score was, the larger the fruit, the higher the TSS content, and the higher the edible rate. (4) One plant with aborted seed in fruit was found, and two excellent plants with good descriptive were screened out from the collected litchi resources according to the score of PCA. **【Conclusion】** The fruit characters of LF are rich in phenotype diversity, which can be used as materials for improving new litchi varieties. This study will provide a basis for further research and utilization of this kind of resource.

**Key words :** *Litchi chinensis* Sonn. var. *fulvosus* Y. Q. Lee; Fruit; Phenotype diversity; Clustering analysis; Principal component analysis

褐毛荔 (*Litchi chinensis* Sonn.var *fulvosus* YQ. Lee) 是荔枝的一个变种, 主要分布在云南省红河州、文山州一带, 是云南特有的荔枝资源<sup>[1]</sup>。1974 年研究人员在西双版纳发现野生荔枝<sup>[2]</sup>, 1986 年又发现了与栽培荔枝大不相同的野生的褐毛荔<sup>[3]</sup>。在 90 年代初国内已对褐毛荔进行了优株筛选<sup>[4-5]</sup>, 筛选出了特早熟品系元阳 1 号、早熟品系元阳 2 号和早熟焦核品系元阳 14 号。刘成明等<sup>[6]</sup>、罗心平等<sup>[7]</sup>对褐毛荔海拔及分布范围进行了初步调查, 发现褐毛荔在云南省元阳县从海拔 200~1500 m 都有分布, 不同海拔褐毛荔成熟期不一致, 但在同一海拔, 与其他类型的资源相比, 褐毛荔具有早熟的特点。张惠云等<sup>[8]</sup>调查发现, 褐毛荔古树在云南分布情况多呈群居; 干周、树高和树冠等指标存在较大差异; 具有果实特早熟、焦核、错季成花、自然结实能力强、适应性强、座果率高、丰产等优良性状, 具有广泛的应用价值, 目前多作为砧木, 也已从褐毛荔实生资源种选出优良株系燎原荔。刘伟等<sup>[9]</sup>采用了 EST-SSR 和 SNP 分子标记鉴定了燎原荔的母本来自于褐毛荔元矮, 欧阳若等<sup>[10]</sup>将褐毛荔元阳二号从云南引种到广东进行了试种, 也表现早熟特性。高爱平等<sup>[11]</sup>、向旭等<sup>[12]</sup>利用 RAPD 分子标记鉴定荔枝种质资源, 研究表明褐毛荔属于早熟类群。

在荔枝种质资源鉴定评价和品种鉴别方面, 果实性状是较为重要的指标<sup>[13]</sup>。2009 年中华人民共和国农业部发布了《荔枝、龙眼种质资源描述规范》用于荔枝、龙眼种质资源的描述, 2014 年发布的《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南——荔枝》中明确了荔枝果实表型性状的不同类型及果实品质特征<sup>[14-15]</sup>。研究荔枝果实的性状、形态特征, 对荔枝种质资源的鉴定评价有重大意义, 为进一步利用特异品种及选育研究提供参考依据。在荔枝种质资源研究进展方面, 鲜见关于褐毛荔多样性的研究, 限制了褐毛荔在荔枝栽培及育种中的应用。在调查中亦发现褐毛荔有被砍伐及春季干旱枯死等现象可能导致遗传资源流失<sup>[10]</sup>, 因此迫切需要加强资源调查以保存褐毛荔遗传多样性。笔者在广泛调查褐毛荔资源的基础上, 分析了褐毛荔的果实性状多样性, 以期为进一步研究利用褐毛荔提供一定基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 资源调查与样品采集

2023 年 5 月中下旬, 在云南省屏边县、新平县、元江县、元阳县、石屏县、建水县、金平县、河口县、麻栗坡县、绿春县等 10 个县调查褐毛荔资源。根据不同地区褐毛荔果实成熟期规划调查路线和时间, 尽可能保证所采果实均处于成熟期。

采用随机抽样的方法, 每个单株从其东南西北 4 个方向采集成熟果实, 各单株之间相距 50 m 以上。由于结实数量存在差异, 从各单株采集的果实数量不同, 大部分单株取样 15 颗, 共采集了 93 个单株的果实。

### 1.2 果实描述性性状评价

按照中华人民共和国农业行业标准《农作物种质资源鉴定评价技术规范 荔枝》(NY/T2329—2013) 的标准和郭栋梁等<sup>[16]</sup>分级赋值的方法, 对采集的 93 份褐毛荔资源果实的 16 个描述性性状进行描述评价并赋值(表 1), 评价结果以出现频率最高的性状或类型进行描述。统计各性状的类型分布比例, 根据分级分布频率计算 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )<sup>[17]</sup>。

表 1 93 份荔枝资源果实描述性性状分级描述和赋值

Table 1 Classification and evaluation of fruit descriptive traits of 93 litchi resource fruits

赋值 Quantified value	描述性性状 Descriptive trait							
	果实形状 Fruit shape	果皮颜色 Skin color	果肩形状 Shoulder shape of fruit	果顶形状 Shape of fruit tip	龟裂片形状 Shape of fruit skin segments	裂片峰形态 Shape of protuberances	缝合线 Suture line	果肉颜色 Flesh color
1	心形 Heart-shaped	黄绿 Chartreuse	平 Flat	尖圆 Round	锥尖状突起 Conical protrusion	楔形 Wedge	明显 Obvious	乳白色 Milky white
2	长心形 Long heart-shaped	绿白带微红 White and green with red	双肩斜 Shoulder tilt	钝圆 Blunt circle	乳头状突起 Papillary protrusion	锐尖 Acute	不明显 Not obvious	蜡白色 Wax white
3	歪心形 Crooked heart shape	淡红带微黄 Light red with yellow	一平一斜 Flat and oblique	浑圆 Perfectly round	隆起 Bulge	毛尖 Hairy tip		蜡黄色 Wax yellow
4	短圆形 Short circular shape	红带绿 Red with green stripes	一平一隆 起 One flat and one bulge		平滑 Smooth	圆尖 Round tip		
5	近圆球形 Nearly spherical shape	浅红 Light red	一斜一隆 起 One slant and one bulge		微凹 Retuse	钝 Blunt		
6	卵圆形 Oval	鲜红 Bright red	双肩隆起 Shoulder bulge			平滑 Smooth		
7	椭圆形 Elliptical	浅紫红 Mauve						
8	其他 Other	深紫红 Deep Purple						
9		暗红 Dark red						
10		暗红带墨绿 Dark red with dark green						

表 1 (续)

Table 1 (Continued)

赋值 Quantified value	描述性性状 Descriptive trait							
	果肉内膜褐色 Brown inner layer of fruit flesh	种子形状 Seed shape	种皮颜色 Seed coat color	肉质 Flesh texture	香味 Fruit aroma	风味 Flavor	涩味 Astringency	是否焦核 Burnt core
1	无或少 Without or Little	近圆球形 Nearly spherical shape	黄褐 Yellowish-brown	爽脆 Crisp	无香 Unscented	淡 Faint	无涩 No astringency	是 Yes
2	中 Middle	椭圆形 Oval	浅褐 Light brown	细嫩 Delicate	微香 Slightly fragrant	甜 Sweet	微涩 Slight astringency	否 No
3	多 Much	长椭圆形 Long oval	深褐 Dark brown	细韧 Fine and tough	蜜香 Sweet aroma	酸甜 Sour-sweet	涩 Astringent	
4		圆锥形 Cone		粗糙 Rough	特殊香味 Special fragrance	酸 Sour	其他 Other	
5		鸡嘴形 Chicken beak shape						
6		不规则形 Irregular shape						

### 1.3 果实数量性状测量计算

参照中华人民共和国农业行业标准《农作物种质资源鉴定评价技术规范 荔枝》(NY/T2329—2013)中果实性状的描述标准<sup>[18]</sup>,对 8 个数量性状进行测量。使用数显游标卡尺测量果实纵径、横径、侧径;使用精密电子天平称量单果质量、果皮质量、种子质量;采用手持式水果糖度仪(型号 PAL-1,日本爱拓 ATAGO)测定果实可溶性固形物含量(TSS)。每 5 个果实为 1 个重复,3 次重复,取平均值。用 Excel 计算出可食率<sup>[19]</sup>:

$$\text{可食率} / \% = \frac{\text{单果质量} - \text{果皮质量} - \text{种子质量}}{\text{单果质量}} \times 100$$

对 8 个数量性状进行 10 级分类处理, 第 1 级 $[X_i < X - 2\sigma]$ 至第 10 级 $[X_i \geq X + 2\sigma]$ , 每  $0.5\sigma$  划分 1 级,  $X$  为平均值,  $\sigma$  为标准差,  $X_i$  为第  $i$  级中的数据。利用 Excel 计算数量性状的平均值、标准差、变异系数<sup>[20]</sup>, 并计算每一级的相对频率, 计算多样性指数  $H'$  (Shannon-Weaver index), 公式为  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ,  $P_i$  为某一性状在第  $i$  个级别出现的频率<sup>[21]</sup>。

#### 1.4 数据处理与统计分析

利用 Excel 2010 统计计算原始数据。采用 SPSS 19.0 软件进行聚类分析和主成分分析, 主成分分析参照 Rohlf 等<sup>[22]</sup>的方法, 聚类分析参照刘洪等<sup>[23]</sup>采用 UPMGA 法进行聚类。

## 2 结果与分析

### 2.1 资源分布情况

褐毛荔资源主要分布在云南省红河州一带的屏边县、新平县、元江县、元阳县、石屏县、建水县、金平县、河口县和绿春县, 以及文山州的麻栗坡县, 多沿红河流域附近分布, 植被类型为亚热带常绿阔叶林, 常与玉米、香蕉、榕树混生。采样点地理位置位于  $22^{\circ}40' \sim 24^{\circ}14' N$ 、 $101^{\circ}40' \sim 104^{\circ}53' E$ , 海拔 169~1470 m, 详见表 2。

从资源生境来看, 褐毛荔树龄大且干周粗的古树多分布在高海拔地区的山坡上坡位、半山腰, 树龄小且干周细的多分布在河流、田间、路旁、房前屋后。从资源垂直分布来看, 在海拔 100~1500 m 均有褐毛荔分布。分析发现, 海拔越高, 树龄越大, 干周越粗。此外, 调查到干周最大的古树, 据当地村民介绍在 1150~1200 年, 位于元江县三家寨, 在海拔 1 418.07 m 处, 干周 4.50 m, 但果实成熟期比低海拔地区的要晚。

表 2 93 份荔枝资源果实的来源地、经纬度、生境及树体信息

Table 2 Source, latitude and longitude, habitat and tree body information of 93 litchi resource fruits

编号 NO.	来源地 Origin	资源数 Accessio n	经纬度 Latitude and Longitude	海拔 Altitude/m	干周 Trunk girth/m	树高 Tree height/m	冠幅 Crown diameter /m×m	树龄 Tree-age	植被类型 Vegetation type
1~18	屏边县 Pingbian county	18	$23^{\circ}00' \sim 23^{\circ}02' N$ , $103^{\circ}38' \sim 103^{\circ}45' E$	339.04 ~ 1118.32	0.86~2.04	6.00~10.60	$5.91 \times 6.43$ $\sim 12.27 \times 14.63$	50~200	亚热带常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaved forest
19~38	元阳县 Yuanyang county	20	$22^{\circ}59' \sim 23^{\circ}11' N$ , $102^{\circ}38' \sim 103^{\circ}01' E$	243.20 ~ 1202.17	1.02~3.46	9.20~16.30	$7.70 \times 8.50$ $\sim 16.37 \times 15.98$	100~350	亚热带常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaved forest
39~44	金平县 Jinping county	6	$23^{\circ}01' \sim 23^{\circ}02' N$ , $103^{\circ}15' \sim 103^{\circ}19' E$	169.583~871.814	3.20~4.65	10.20~22.00	$8.70 \times 7.50$ $\sim 26.20 \times 25.70$	200~500	亚热带常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaved

	河口县								forest 亚热带常绿阔叶林
45	Hekou county	1	22°53'N, 103°34'E	454.64	0.98	12.70	8.25×7.76	40~50	Subtropical evergreen broad-leaved forest
46~52	建水县 Jianshui county	7	23°17'~23°20'N , 102°38'~103°34'E	1087.59~1302.14	1.95~2.57	11.80~13.20	10.85×10.70 ~13.80×10.20	100~200	Subtropical evergreen broad-leaved forest
53~54	石屏县 Shiping county	2	23°51'N, 102°21'E	1114.867~1129.461	1.55	5.40	8.89×7.87	130	亚热带常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaved forest
55~67	新平县 Xinping county	13	23°49'~24°14'N , 101°24'~101°44'E	658.5~1205.68	0.87~3.20	7.30~10.00	4.50×3.90 ~16.60×16.80	40~200	亚热带常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaved forest
68~71	元江县 YuanJiang county	4	23°39'N, 101°03'E	1415.443~1422.114	2.50~4.50	10.50~16.20	10.00×11.40 ~16.00×14.30	100~1000	亚热带常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaved forest
72~91	麻栗坡县 Malipo county	20	22°59'~23°15'N , 104°40'~104°53'E	492.929~1129.917	1.70~2.88	13.00~17.00	9.90×12.85 ~21.35×20.50	100~250	亚热带常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaved forest
92、93	绿春县 Lvchun county	2	22°39'~22°40'N , 102°11'~104°18'E	1072.05~1470.343	1.46~1.97	9.70~12.10	9.04×8.90 ~10.30×8.50	120~150	亚热带常绿阔叶林 Subtropical evergreen broad-leaved forest

## 2.2 描述性性状分析

从所有果实性状来看，果实形状分为6种，分别为歪心形、长心形、短圆形、卵圆形、椭圆形和近圆球形（图1）。果肩形状有平、双肩斜、一平一斜、一平一隆起、一斜一隆起和双肩隆起等6种（图2），果顶形状有3种，分别为尖圆、钝圆和浑圆（图3）。种子形状主要有3种，近圆球形、椭圆形和长椭圆形（图4）。通过评价分析发现，褐毛荔枝果实的表型特征都包含在荔枝描述规范中。



图 1 果实形状主要类型

Fig. 1 Main types of fruit shapes



图 2 果肩形状主要类型

Fig. 2 Main types of shoulder shapes

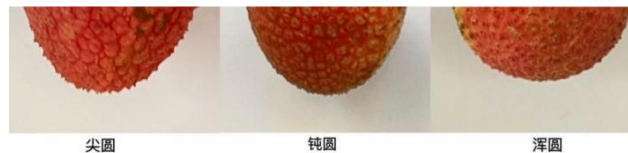


图 3 果顶形状主要类型

Fig. 3 Main types of apex shapes



图 4 种子形状主要类型

Fig. 4 Main types of seed shapes

93 份褐毛荔果实 16 个描述性性状的频率分布和遗传多样性指数 ( $H'$ ) 分析结果见表 3。遗传多样性指数变化范围为 0.46~2.29。其中遗传多样性指数大于 1 的描述性性状有果实形状(1.59)、果皮颜色(2.29)、果肩形状 (1.61)、果顶形状 (1.55)、龟裂片形状 (1.79)、果肉颜色 (1.12)、果肉内膜褐色 (1.51)、种子形状 (1.61)、种皮颜色 (1.29)、风味 (1.55)、涩味 (1.52)。果皮颜色性状的  $H'$  最大, 为 2.29, 其中以分布频率为 41.94%的淡红带微黄为主; 其次是龟裂片形状, 为 1.79, 其中以分布频率为 49.46%的平滑为主。从分布频率来看, 褐毛荔果实形状多为歪心形; 果皮颜色多为淡红带微黄; 果肩和果顶形状多为一斜一隆起和钝圆; 龟裂片形状多为平滑; 裂片峰多为毛尖; 缝合线多为不明显; 果肉颜色以蜡白色为



主，果肉内膜褐色多为无或少；种子形状以长椭圆形为主，种皮颜色以浅褐为主；肉质多为细嫩，香味、风味和涩味以无香、酸甜、微涩为主；种子多为大核。

表 3 93 份荔枝资源果实描述性性状分级分布频率及和多样性指数

**Table 3 Distribution frequency and diversity index of fruit Descriptive traits in 93 litchi resource fruits**

性状 Trait	不同描述性性状分级分布频率										多样性指数 Diversity index (H')	
	Frequency of graded distribution of different descriptive traits/%											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
果实形状 Fruit shape	2.15	13.98	64.52		1.08	4.30	13.97					1.59
果皮颜色 Skin color	1.08	1.08	41.94	17.20	1.08	22.58	3.22	4.30	7.52			2.29
果肩形状 Shoulder shape of fruit	4.30	2.15	4.30	9.68	66.67	12.90						1.61
果顶形状 Shape of fruit tip	25.81	43.01	31.18									1.55
龟裂片形状 Shape of fruit skin segments	20.43	12.90	17.20	49.47								1.79
裂片峰形态 Shape of protuberances		19.35	77.42		2.15	1.08						0.93
缝合线 Suture line	9.68	90.32										0.46
果肉颜色 Flesh color	45.16	52.69	2.15									1.12
果肉内膜褐色 Brown inner layer of fruit flesh	48.39	29.03	22.58									1.51
种子形状 Seed shape	8.60	41.94	45.16	1.08	1.08	2.14						1.61
种皮颜色 Seed coat color	2.15	89.25	8.60									1.29
肉质 Flesh texture	2.15	75.27	22.58									0.91
香味 Fruit aroma	81.72	18.28										0.69
风味 Flavor		18.28	54.84	26.88								1.55
涩味 Astringency	22.58	46.24	31.18									1.52
是否焦核 Burnt core	13.98	86.02										0.58

### 2.3 数量性状分析

对 93 份褐毛荔果实 8 个数量性状进行了描述统计, 分析结果见表 4。褐毛荔单果质量 3.95~28.38 g, 果实纵径 22.28~45.36 mm、果实横径 16.56~34.62 mm、果实侧径 12.13~31.48 mm, 果皮质量 1.09~6.41 g, 种子质量 0.26~7.25 g, 可溶性固形物(TSS)含量 7.65%~21.95%, 可食率较低, 仅为 38.42%~69.74 %。

从变异系数看, 果皮质量的变异系数最大, 为 38.36%, 其次是种子质量, 为 32.14%, 果实纵径、果实横径、果实侧径的变异系数分别为 14.39%、13.17%、14.37%, 变异程度不大。变异系数最小的是可食率, 为 11.69%。总体来说, 果实内在品质性状的变异系数相对低于外在性状。种子质量的  $H'$  最高, 为 2.98; 果实横径的  $H'$  最低, 为 2.83。数量性状的多样性指数明显高于描述性性状, 说明数量性状多样性更丰富。

焦核单株的平均单果质量 3.95 g, 平均果实纵径、果实横径、果实侧径分别为 22.28 mm、18.22 mm、16.05 mm, 平均果皮重量 1.40 g, 平均种子重量 0.26 g, TSS 含量 18.27%, 可食率为 57.86%。(编号 44, 位于红河州金平县大寨乡渡口村)

表 4 93 份荔枝资源果实的数量性状变异分析

Table 4 Quantitative character variation of 93 litchi resource fruits

性状 Trait	极大值 Maximum	极小值 Minimum	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	多样性指数 Diversity index ( $H'$ )
单果质量 Single fruit mass/g	28.38	3.95	15.88	4.72	29.76	2.93
果实纵径 Longitudinal diameter of fruit/mm	45.36	22.28	33.56	4.83	14.39	2.94
果实横径 Transverse diameter of fruit/mm	34.62	16.56	27.92	3.68	13.17	2.83
果实侧径 Lateral diameter of fruit/mm	31.48	12.13	25.10	3.61	14.37	2.88
果皮质量 Peel mass/g	6.41	1.09	3.34	1.28	38.36	2.94
种子质量 Seed mass/g	7.25	0.26	3.97	1.28	32.14	2.98
w (可溶性固形物) Soluble solids content/%	21.95	7.65	16.30	2.37	14.54	2.85
可食率 Edible portion/%	69.74	38.42	53.83	6.29	11.69	2.96

对 93 份褐毛荔资源果实的 8 个数量性状进行正态分布频率统计 (图 5)。结果表明, 93 份果实的数量性状均呈正态分布或近正态分布。从分级频率看, 单果质量在 8.79~20.60 g 之间的比例为 77.42%, 共 72 份; 果实纵径在 28.73~38.39 mm 之间的占比为 73.12%, 共 68 份; 果实横径在 24.24~31.60 mm 之间的占比为 74.19%, 共 69 份; 果实侧径在 21.50~28.71 mm 之间的占比为 70.97%, 共 66 份; 果皮质量在 2.06~4.62

g 之间的占比为 64.52%，共 60 份；种子质量在 2.69~5.25 g 之间的占比为 67.74%，共 63 份；TSS 含量在 13.93%~18.67% 之间的占比为 78.49%，共 73 份；可食率在 47.54%~60.12% 的占比为 70.97%，共 66 份。

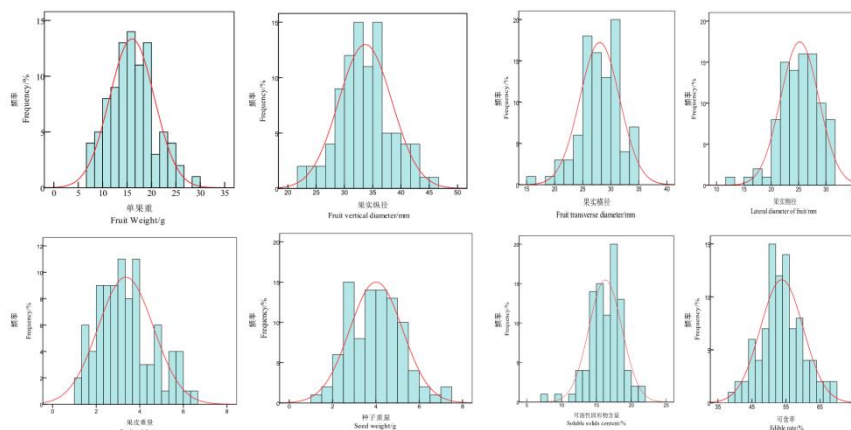


图 5 93 份果实数量性状频率分布

Fig. 5 Frequency distribution of quantitative traits of 93 fruits

## 2.4 聚类分析

对 93 份果实的 16 个描述性性状和 8 个数量性进行系统聚类分析（图 6、表 5）。描述性性状聚类的结果表明（图 6-A），在遗传距离 18.5 处 93 份资源被分成 4 个类群。

根据聚类结果对每一类的不同描述性性状比例和多样性指数进行了计算，第 I 类共有 73 份资源，该类群的果实形状极大部分为歪心形，果皮颜色为淡红带微黄，果肩形状为一斜一隆起，果顶形状为钝圆，龟裂片形状为平滑，裂片峰形态为毛尖，缝合线为不明显，果肉颜色为蜡白色，果肉内膜褐色程度为无或少，种子形状为长椭圆形，种皮颜色为浅褐，肉质细嫩，无香，风味酸甜，微涩。该类群中果皮颜色的多样性指数最高，为 2.19，其次是龟裂片形状，为 1.81。

第 II 类包括 15 份资源，该类群的果实形状主要为椭圆形，果肉颜色为乳白色，果肉内膜褐色程度为中，其他性状与第一类相同。该类群多样性指数最高的是果皮颜色，为 2.33，其次是涩味，为 1.57。

第 III 类资源仅有 2 份，该类群的果实形状主要为椭圆形和歪心形，果肩形状为双肩平，果顶形状为浑圆，果肉内膜褐色程度为中和多，肉质细韧。

第 IV 类包括 3 份资源，该类群果实的果皮颜色多为暗红，龟裂片形状为乳头状突起、隆起、平滑，种子形状为椭圆形，风味为甜，涩味为微涩。该类群多样性指数最高的为果顶形状和龟裂片形状，均为 1.58。从整体的描述性性状多样性指数看，褐毛荔果实形状中果皮颜色多样性最为丰富，缝合线和多样性指数较低，多为不明显，这也是区分褐毛荔果实与其他荔枝品种的一大特点。

数量性状聚类的结果表明（图 6-B），在遗传距离 12.5 处果实被分为 5 类，第 V 类仅有 2 份资源，该资源的单果质量、果皮重量、种子质量最大，平均值分别为 24.16 g、5.03 g、4.77 g。第 IV 类包括 3 份资源，可溶性固形物含量和可食率较其他 4 类相比最低，分别为 13.90% 和 41.84%。说明这 2 类褐毛荔资源与其他资源同源关系稍远，可以利用在远缘杂交中。第 I 类共有 66 份资源，该类群的果实纵径、横径、侧径的均值均高于其他 4 类，分别为 35.20 mm、28.94 mm、25.89 mm，说明该类群的果实较大。第 II 类包括 18 份资源，该类资源的可食率较其他类群相比最高，为 62.49%，表明该类资源的果肉较为饱满。第 III 类

共有 4 份资源，该类果实可溶性固形物的含量均值最高，为 18.61%，可以看出该类群中的果实相较于其他类别的果实品质要好。

聚类分析结果表明，相同地区的褐毛荔资源并未聚为一类，每个大类里都包含多个地区的资源存在。这说明，褐毛荔果实的表型性状与地理分布关系不紧密，每个地区都会出现各个类型的性状表现。

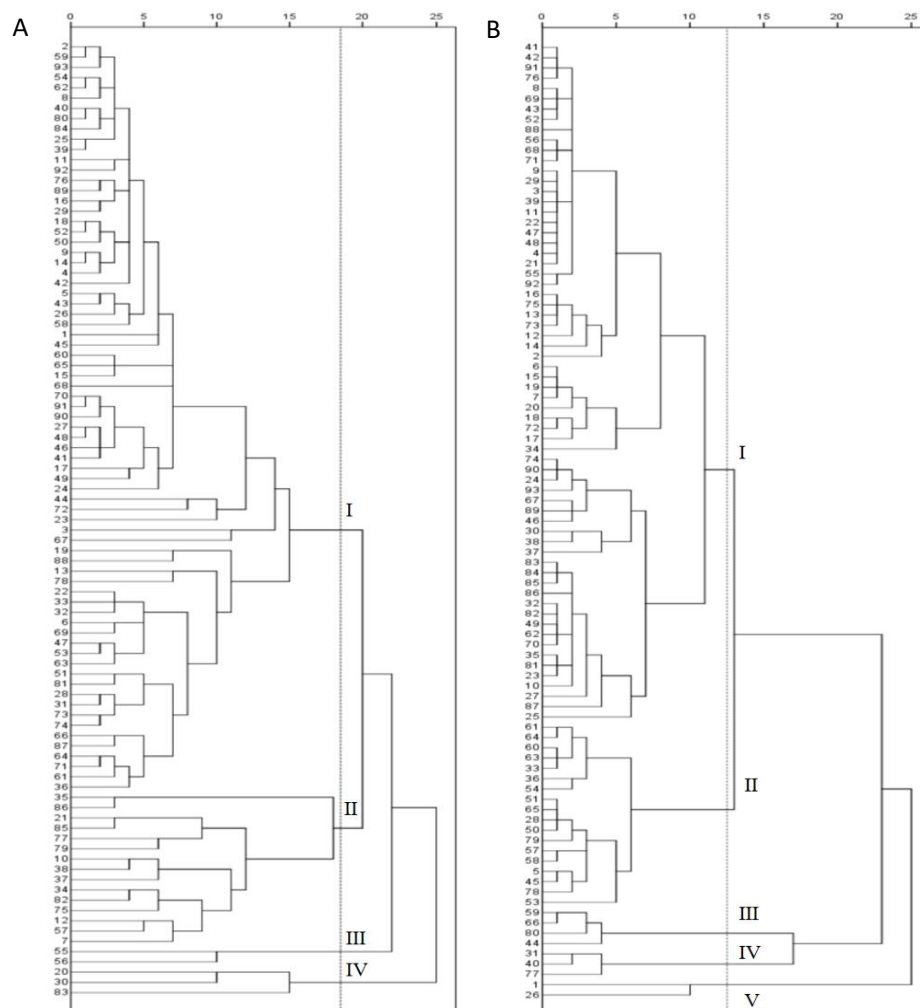


图 6 93 份果实描述性性状 (A) 和数量性状 (B) 聚类分析树状图

Fig. 6 Tree plots of 93 fruit descriptive traits (A) and quantitative traits (B) in cluster analysis

表 5 93 份果实表型性状各类群的主要特征

Table 5 Main characteristics of various groups of phenotypic traits of 93 fruits

性状 Trait	第I类 Class I	第II类 Class II	第III类 Class III	第IV类 Class IV	第五类 Class V
果实形状 Fruit shape	歪心形 Crooked heart shape	椭圆形 Elliptical	歪心形、椭圆形 Crooked heart shape and Elliptical	歪心形 Crooked heart shape	-
果皮颜色 Skin color	淡红带微黄 Light red with yellow	淡红带微黄 Light red with yellow	淡红带微黄 Light red with yellow	暗红 Dark red	-
果肩形状	一斜一隆起	一斜一隆起 One	平	平	-

Shoulder shape of fruit	One slant and one bulge	slant and one bulge	Flat	Flat	
果顶形状	钝圆	钝圆	浑圆	尖圆、钝圆、浑圆	-
Shape of fruit tip	Blunt circle	Blunt circle	Perfectly round	Round, Blunt circle, Perfectly round	
龟裂片形状	平滑	平滑	平滑	乳头状突起、隆起、平滑	-
Shape of fruit skin segments	Smooth	Smooth	Smooth	Papillary protrusion, Bulge, Smooth	
裂片峰形态	毛尖	毛尖	毛尖	毛尖	-
Shape of protuberances	Hairy tip	Hairy tip	Hairy tip	Hairy tip	
缝合线	不明显	不明显	不明显	不明显	-
Suture line	Not obvious	Not obvious	Not obvious	Not obvious	
果肉颜色	蜡白色	乳白色	乳白色、蜡白色	蜡白色 Wax white	-
Flesh color	Wax white	Milky white	Milky white, Wax white		
果肉内膜褐色	无或少	中	中、多	多	-
Brown inner flesh	None or Less	Moderate	Moderate, Much	Much	
种子形状	长椭圆形	长椭圆形	椭圆形	椭圆形	-
Seed shape	Long elliptical	Long elliptical	Elliptical	Elliptical	
种皮颜色	浅褐	浅褐	浅褐	浅褐	-
Seed coat color	Light brown	Light brown	Light brown	Light brown	
肉质	细嫩	细嫩	细韧	细嫩	-
Flesh texture	Delicate	Delicate	Fine and tough	Delicate	
香味	无香	无香	无香	无香	-
Fruit aroma	Unscented	Unscented	Unscented	Unscented	
风味	酸甜	酸甜	酸甜	甜	-
Flavor	Sour-sweet	Sour-sweet	Sour-sweet	Sweet	
涩味	微涩	微涩	微涩	微涩	-
Astringency	Slight astringency	Slight astringency	Slight astringency	Slight astringency	
焦核	均有	均有	否	均有	-
Burnt core	Both	Both	No	Both	
单果质量	16.57	15.63	7.44	7.71	24.16
Fruit mass/g					
果实纵径	35.20	31.36	23.00	28.26	28.40
Fruit vertical diameter/mm					
果实横径	28.94	27.78	21.21	21.85	18.09
Fruit transverse diameter/mm					
果实侧径	25.89	25.73	19.45	18.59	14.52
Lateral diameter of fruit/mm					
果皮质量	3.69	2.52	1.29	2.02	5.03
Peel mass/g					
种子质量	4.31	3.37	1.81	2.39	4.77
Seed mass/g					

w (可溶性固形物)	15.84	17.82	18.61	13.90	16.78
Soluble solids content/%					
可食率	51.85	62.49	57.90	41.84	59.89
Edible rate/%					

## 2.5 主成分分析及综合评价

对 93 份褐毛荔果实的 8 个数量性状进行主成分分析 (表 6), 先将所有测量指标数据进行标准化处理, 按照主成分特征值大于 1 的原则, 提取到 2 个主成分。可以看出前 2 个主成分累积贡献率达到 77.90%, 这 2 个主成分基本反映了供试材料主要的表型性状信息。第 1 主成分特征值 4.74, 贡献率 59.23%, 在果实纵径、果实横径、果皮质量、单果质量、种子质量、果实侧径上荷载较大, 向量值分别为 0.887、0.923、0.894、0.799、0.881、0.878, 主要反映果实大小和质量的性状; 第 2 主成分特征值 1.49, 贡献率 18.68%, 在 TSS 含量和可食率上的荷载较高, 向量值为 0.787 和 0.767, 主要反映果实品质性状。

表 6 果实 8 个数量性状的主成分分析结果

**Table 6 Principal component analysis results of 8 quantitative traits of fruit**

性状 Trait	各主成分的特征向量	
	Eigenvectors of each principal component	
	PC 1	PC 2
果实纵径	0.887	0.172
Fruit vertical diameter (X1)		
果实横径	0.923	-0.105
Fruit transverse diameter (X2)		
果皮重量	0.894	0.221
Peel mass (X3)		
单果质量	0.799	0.372
Single fruit mass (X4)		
种子重量	0.881	-0.24
Seed mass (X5)		
果实侧径	0.878	0.029
Fruit transverse diameter (X6)		
可溶性固形物含量	-0.193	0.787
Soluble solids content (X7)		
可食率	-0.276	0.767
Edible rate(X8)		
特征值	4.74	1.49
Eigen value		
贡献率	59.23	18.68
Contribution rate/%		
累积贡献率	59.23	77.90
Cumulative contribution rate/%		

对 93 份褐毛荔果实的数量性状进行了综合评价, 对前 2 个特征值进行计算特征向量。前 2 个的主成分得分为:  $F1=0.887ZX1+0.923ZX2+0.894ZX3+0.799ZX4+0.881ZX5+0.878ZX6-0.193ZX7-0.276ZX8$  ;

$F2=0.172ZX1-0.105ZX2+0.221ZX3+0.372ZX4-0.240ZX5+0.029ZX6+0.787ZX7+0.767ZX8$ （式子中的  $ZXi$  为各个性状  $Xi$  标准化后的值）。将各性状主成分得分与方差贡献率相乘并求和得到各性状的综合得分，即  $F=0.5923F1+0.1868F2$ 。综合得分越高，表明果实越大、TSS 含量及可食率越高。从不同性状综合得分看（表 7），编号 44 得分最低，为-4.67，综合性状较差。编号 17 得分最高，为 3.87，其次是编号 18，得分为 3.28，综合性状较好，可作为优质良种继续培育。

表 7 93 份果实主成分综合评价

Table 7 Comprehensive evaluation of principal components of 93 fruits

编 号 NO.	主成分得分 Principal component score		综合 得分 Synthesi s score	排名 Ranking	编 号 NO.	主成分得分 Principal component score		综合 得分 Synthesi s score	排名 Ranking	编 号 NO.	主成分得分 Principal component score		综合 得分 Synthesi s score	排名 Ranking
	F1	F2				F1	F2				F1	F2		
	1	-0.19				-1.66	-0.54				54	32		
2	2.19	-1.96	1.20	24	33	-1.55	1.06	-0.92	68	64	-1.92	1.99	-0.98	69
3	1.70	-0.44	1.19	25	34	3.28	-0.17	2.45	9	65	-0.63	0.71	-0.31	51
4	1.35	0.02	1.03	28	35	-0.80	-0.53	-0.74	61	66	-4.17	1.13	-2.90	89
5	0.81	0.92	0.84	31	36	-3.13	1.37	-2.05	83	67	-1.18	-2.53	-1.50	80
6	3.55	1.57	3.08	5	37	-1.95	-3.62	-2.35	86	68	0.64	0.56	0.62	35
7	4.03	0.63	3.21	3	38	0.35	-2.59	-0.35	52	69	-0.11	0.87	0.12	43
8	-0.11	0.51	0.04	44	39	2.04	-0.30	1.48	18	70	-2.12	0.73	-1.44	76
9	1.83	-0.45	1.28	21	40	-2.51	-2.29	-2.46	87	71	0.88	1.10	0.93	29
10	-0.94	-0.64	-0.87	65	41	0.46	-0.84	0.15	42	72	3.53	0.25	2.74	6
11	1.20	-0.14	0.88	30	42	0.51	-0.59	0.25	39	73	2.81	-0.60	1.99	13
12	3.05	-0.62	2.17	11	43	0.03	-0.21	-0.03	46	74	-0.11	-0.89	-0.30	50
13	3.34	-0.53	2.41	10	44	-5.95	-0.61	-4.67	93	75	2.60	-0.33	1.90	14
14	3.52	-0.80	2.48	8	45	0.86	0.32	0.73	34	76	1.00	-0.08	0.74	33
15	3.78	0.92	3.09	4	46	-1.63	-0.74	-1.42	74	77	-3.14	-3.85	-3.31	90
16	2.87	-0.39	2.09	12	47	1.34	0.64	1.17	26	78	0.97	1.47	1.09	27
17	4.97	0.39	3.87	1	48	1.67	0.74	1.45	19	79	-1.44	1.81	-0.66	56
18	4.00	0.99	3.28	2	49	-1.59	0.47	-1.10	70	80	-4.12	-0.97	-3.36	92
19	3.30	0.64	2.66	7	50	-1.19	0.99	-0.67	57	81	-1.71	-0.74	-1.48	78
20	2.12	1.12	1.88	15	51	-0.84	0.78	-0.45	53	82	-1.92	0.07	-1.44	77
21	1.56	0.46	1.30	20	52	-0.07	-0.23	-0.11	48	83	-1.02	0.01	-0.77	62
22	1.07	-0.07	0.80	32	53	1.56	2.16	1.70	16	84	-1.60	-0.06	-1.23	71
23	-0.95	-0.22	-0.77	63	54	-3.37	1.53	-2.20	85	85	-1.14	-0.13	-0.90	66
24	0.11	-1.30	-0.23	49	55	2.07	0.44	1.68	17	86	-1.81	-0.43	-1.48	79
25	-0.49	-1.40	-0.71	58	56	0.41	1.22	0.60	36	87	-3.07	1.00	-2.09	84
26	-2.37	0.20	-1.75	81	57	0.00	1.90	0.46	37	88	0.43	0.24	0.38	38
27	-2.24	-0.71	-1.87	82	58	-0.39	1.98	0.18	40	89	-1.10	-2.04	-1.33	72
28	-0.31	1.14	0.04	45	59	-3.62	0.73	-2.58	88	90	-0.65	-1.00	-0.73	60
29	1.64	0.04	1.26	23	60	-1.56	1.59	-0.80	64	91	0.48	-0.84	0.16	41
30	-0.43	-1.66	-0.72	59	61	-1.49	2.14	-0.62	55	92	1.47	0.60	1.26	22
31	-3.6	-2.41	-3.31	91	62	-1.66	-0.43	-1.37	73	93	-0.12	-0.02	-0.10	47

### 3 讨论

云南是荔枝的起源中心，也是褐毛荔资源分布最为集中的地区。表型性状的变异是遗传多样性和环境共同作用的结果<sup>[24]</sup>，荔枝在不同地区的驯化过程中形成了丰富多样的种质资源与遗传变异类型。果实性状的变异较为明显，能体现表型变异的全部信息，在遗传研究方面和植物分类方面具有重要作用<sup>[25]</sup>。变异系数能够直接反映遗传多样性，变异系数越大，该性状的变异程度就越大<sup>[26]</sup>。胡建斌等<sup>[27]</sup>发现果实性状的变异是表型变异的主要来源。康旗帅等<sup>[28]</sup>对 89 份西瓜种质资源进行表型遗传多样性分析，33 个数量性状的变异系数变化范围为 5.45%~72.59%。赫卫等<sup>[29]</sup>对 20 份辣椒进行表型多样性分析，33 个性状的多样性指数范围为 0.50~1.97。本研究中，93 份褐毛荔的数量性状变异系数为 11.69%~38.36%，数量性状的多样性指数变幅为 2.83~2.98，平均为 2.91，描述性性状的多样性指数变幅为 0.46~2.29，平均为 1.31，说明数量性状更容易受基因型或种质类型的影响，与袁叶等<sup>[13]</sup>、解华云等<sup>[30]</sup>、闫洪朗等<sup>[31]</sup>的研究结果一致。

聚类分析结果可反映不同品种间的亲缘关系和遗传差异，聚类结果中同一类群的资源表型性状特征差异较小，而类群与类群之间的性状特征差异较明显。于平福等<sup>[32]</sup>利用两阶段聚类法对广西 60 个荔枝品种的 10 个果实性状进行综合分析，结果分为 6 个类群，类群 I 为果皮片峰毛突平滑、暗红色品种，类群 II 为果皮片峰平滑尖刺、果圆形品种；类群 III 为果皮片峰平滑毛突、果心形品种；类群 IV 为果皮片峰尖刺、肉爽脆品种；类群 V 为果皮片峰尖刺、果心形品种；类群 VI 为果皮片峰尖刺、果圆形品种。笔者利用系统聚类，根据描述性性状将 93 份褐毛荔种质材料分为 4 个类群，第 I 类主要以果实歪心形、果皮颜色淡红带微黄为主；第 II 类主要以果实椭圆形、果肉颜色乳白色为主；第 III 类的果肩性状为双肩平、肉质细嫩；第 IV 类的果皮颜色主要以暗红为主。可以发现，虽然聚类分析的方法不同，但都可以将材料按主要的突出性状划分为不同类群。

主成分分析是把多个指标转化为少数几个综合指标，对种质资源进行多元统计分析的一种方法，能够极大地简化过程<sup>[33]</sup>。李清等<sup>[34]</sup>将 74 份薄皮甜瓜材料的 12 个描述性性状提取为 4 个主成分，累积贡献率为 55.35%。王思威等<sup>[33]</sup>对白糖罂荔枝样本的 20 个品质性状与营养成分进行主成分分析，前 4 个主成分的累积贡献率达 85.226%。笔者通过主成分分析将 93 份褐毛荔种质资源的 8 个数量性状归纳为 2 个主成分，累积贡献率达 77.90%。第 1 主成分贡献率为 59.23%，主要与果实大小和质量相关；第 2 主成分贡献率为 18.68%，主要与果实品质性状相关。在今后对褐毛荔种质资源的创新利用和新品种选育时，应协调好第 1 主成分和第 2 主成分之间的关系，以便更好地创造优良新品种。

对荔枝果实性状的客观评价是种质资源评价、新品种选育及引种区试的重要工作<sup>[35]</sup>。广泛调查收集种质资源，并对其表型性状进行分析，能够直观地评价与鉴定植物种质资源，总结该种质的具体特点，可为新品种的培育和种质的改良提供参考<sup>[36]</sup>。在野生荔枝不断进化的过程中，形成了广泛的适应性和很多优良的特性，可为荔枝品种抵抗不良环境胁迫、抗病虫等提供基因资源，是荔枝产业可持续发展的重要保障<sup>[37]</sup>。笔者从果实表型入手，对收集的云南省褐毛荔资源进行多样性分析，为荔枝种质的改良和新品种的培育提供了依据。

本研究结果表明，褐毛荔果实表型多样性较丰富，但有主要的特征。与其他生态区荔枝资源相比，褐毛荔单果质量、果实纵径、果实横径、果实侧径均高于海南野生荔枝<sup>[38]</sup>、广西部分野生荔枝<sup>[39]</sup>、广东增城



实生荔枝<sup>[40]</sup>。褐毛荔平均单果质量为 7.11~28.38 g；海南霸王岭野生荔枝平均单果质量为 3.25~7.03 g<sup>[38]</sup>；广西野生荔枝最小单果质量 8.20 g，半野生荔枝最小为 7.50 g<sup>[39]</sup>；广东增城的实生荔枝平均单果质量 12.70~24.10 g<sup>[40]</sup>。褐毛荔平均果实纵径、果实横径、果实侧径别为 28.73~38.39 mm、24.24~31.60 mm、21.50~28.71 mm；海南野生荔枝分别为 1.93~3.20 cm、1.63~2.45 cm、1.54~2.21 cm<sup>[38]</sup>；广西野生荔枝分别为 1.83~3.64 cm、1.63~3.08 cm、1.49~2.76 cm<sup>[39]</sup>；广东增城的实生荔枝的纵径、横径分别为 2.84~3.68 cm、2.64~3.50 cm<sup>[40]</sup>。此外，褐毛荔的果实可食率高于海南、广西野生荔枝，但与广东栽培荔枝相比可食偏低，TSS 含量与其他生态区相差不大。褐毛荔果实可食率和 TSS 含量分别为 38.42%~69.74%和 7.65%~21.95%；海南霸王岭野生荔枝可食率为 27.69%~55.05%，TSS 含量为 12.50%~18.00%<sup>[38]</sup>；广西部分野生荔枝可食率 24.19%~62.38%，可溶性固形物 10.69%~20.09%<sup>[39]</sup>；广东增城栽培荔枝可食率为 48.00%~87.00%，TSS 含量 14.80%~21.00%<sup>[40]</sup>。

果实外观差异较大，褐毛荔果实性状多以歪心形为主，而海南的野生荔枝果实形状以近椭圆形、卵形、长椭圆形等为主<sup>[38]</sup>；广东栽培荔枝以卵圆形、长心形、近圆形为主<sup>[40]</sup>。果肩与其他生态区荔枝差异不大，形态都比较丰富，都有双肩平、一平一斜、双肩隆起等。褐毛荔的龟裂片形状以平滑为主，海南野生荔枝以突起、隆起等为主<sup>[38]</sup>；广西果实龟裂片多为尖突、隆起和平坦<sup>[39]</sup>；广东栽培荔枝龟裂片形状主要为隆起和平坦两种<sup>[40]</sup>。果皮颜色差异稍大，褐毛荔果皮多为淡红带微黄；海南野生荔枝以深红、暗红、淡红、紫红色为主<sup>[38]</sup>；广东栽培荔枝以鲜红色、红色为主<sup>[40]</sup>。

## 4 结论

褐毛荔果实性状具有丰富的表型多样性，笔者挖掘到的 1 份焦核资源和 2 份品质较好的优异种质资源可能在荔枝种质中有发展潜力，可作为荔枝新品种改良的材料，为该资源的进一步研究和利用提供依据。

## 参考文献 References:

- [1] 苏雁鸿. 云南荔枝发展的基石：褐毛荔枝[J]. 云南农业, 1995(4): 10.  
SU Yanhong. The cornerstone of litchi development in Yunnan; Hemaol litchi[J]. Yunnan Agriculture, 1995(4): 10.
- [2] 裴盛基. 云南发现野生荔枝[J]. 热带植物研究, 1974, 16(9): 36-40.  
PEI Shengji. Found wild litchi in Yunnan[J]. Tropical Plant Research, 1974, 16(9): 36-40.
- [3] 吴淑娴. 中国果树志：荔枝卷[M]. 北京：中国林业出版社, 1998: 38.  
WU Shuxian. Fruit tree in China: Litchi volume[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1998: 38.
- [4] 朱忠良. 发展元阳荔枝大有可为[J]. 云南农业科技, 1994(6): 15-16.  
ZHU Zhongliang. The development of Yuanyang litchi has great potential[J]. Yunnan Agricultural Science and Technology, 1994(6): 15-16.
- [5] 禹崇贵. 早熟高产荔枝良种元阳 2 号和元矮一号[J]. 云南农业, 1996(9): 12-13  
YU Chonggui. Early and high yield litchi varieties Yuanyang 2 and Yuanai 1[J]. Yunnan Agriculture, 1996(9): 12-13.
- [6] 刘成明, 胡又厘, 傅嘉欣, 欧阳若. 荔枝育种研究进展：技术、成就及努力方向[J]. 中国南方果树, 2004, 33(2): 36-40.  
LIU Chengming, HU Youli, FU Jiaxin, OUYANG Ruo. Research progress of litchi breeding: Technology, achievements and direction of efforts[J]. South China Fruits, 2004, 33(2): 36-40.
- [7] 罗心平, 魏团仁, 吕玉兰, 杨旭东, 张惠云, 高贤玉. 云南褐毛荔枝种质资源调查与分析[J]. 热带农业科学, 2010, 30(9):

- LUO Xinping, WEI Tuanren, LU Yulan, YANG Xudong, ZHANG Huiyun, GAO Xianyu. Investigation and analysis of litchi fulvosus YQ lee germplasm resources in Yunnan[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2010, 30(9): 52-54.
- [8] 张惠云, 高贤玉, 王跃全, 王永芬, 宋云连, 左艳秀, 张翠仙, 李岫峰, 饶翔, 罗心平. 褐毛荔枝古树资源调查[J]. 农学学报, 2020, 10(1): 77-81.
- ZHANG Huiyun, GAO Xianyu, WANG Yuequan, WANG Yongfen, SONG Yunlian, ZUO Yanxiu, ZHANG Cuixian, LI Xiufeng, RAO Xiang, LUO Xinping. Ancient trees of *Litchi chinensis* var. *fulvosus*: Resource investigation[J]. Journal of Agriculture, 2020, 10(1): 77-81.
- [9] 刘伟, 罗心平, 张惠云, 蒋依辉, 肖志丹, 袁沛元, 邱燕萍, 凡超, 杨晓燕, 高贤玉, 左艳秀, 向旭. 荔枝新种质‘燎原’的分子标记鉴定[J]. 分子植物育种, 2016, 14(1): 177-185.
- LIU Wei, LUO Xinping, ZHANG Huiyun, JIANG Nonghui, XIAO Zhidan, YUAN Peiyuan, QIU Yanping, FAN Chao, YANG Xiaoyan, GAO Xianyu, ZUO Yanxiu, XIANG Xu. Identification of a novel litchi germplasm ‘Liaoyuan’ by molecular markers[J]. Molecular Plant Breeding, 2016, 14(1): 177-185.
- [10] 欧阳若, 胡桂兵, 王泽槐. 我国早熟荔枝种质资源的发掘及研究利用[J]. 中国热带农业, 2005(5): 30-32.
- OUYANG Ruo, HU Guibing, WANG Zehuai. Exploration, research and utilization of germplasm resources of early lychee in China[J]. China Tropical Agriculture, 2005(5): 30-32.
- [11] 高爱平, 李建国, 刘成明, 王泽槐, 陈业渊, 邓穗生, 朱敏. 利用 RAPD 技术鉴定海南荔枝品种光明[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(4): 455-458.
- GAO Aiping, LI Jianguo, LIU Chengming, WANG Zehuai, CHEN Yeyuan, DENG Suisheng, ZHU Min. Identification and analysis of *Litchi cultivar* Guangming in Hainan by RAPD markers[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2006, 7(4): 455-458.
- [12] 向旭, 欧良喜, 陈厚彬, 孙清明, 陈洁珍, 蔡长河, 白丽军, 赵俊生. 中国 96 个荔枝种质资源的 EST-SSR 遗传多样性分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2010, 29(6): 1082-1092.
- XIANG Xu, OU Liangxi, CHEN Houbin, SUN Qingming, CHEN Jiezheng, CAI Changhe, BAI Lijun, ZHAO Junsheng. EST-SSR analysis of genetic diversity in 96 litchi (*Litchi chinensis* sonn.)germplasm resources in China[J]. Genomics and Applied Biology, 2010, 29(6): 1082-1092.
- [13] 袁叶, 王伟山, 招胜坚, 古运洪, 余金昌. 荔枝果实性状多样性分析[J]. 天津农业科学, 2023, 29(6): 31-36.
- YUAN Ye, WANG Weishan, ZHAO Shengjian, GU Yunhong, YU Jinchang. The fruit character diversity analysis of litchi[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2023, 29(6): 31-36.
- [14] 中华人民共和国农业部. 荔枝、龙眼种质资源描述规范: NY/T 1691—2009[S]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- Ministry of Agriculture of the People’s Republic of China. Germplasm resource description specification of litchi and longan: NY/T 1691—2009[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2009.
- [15] 中华人民共和国农业部. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 荔枝: NY/T 2564—2014[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- Ministry of Agriculture of the People’s Republic of China. Guide for Testing Specificity, Consistency and Stability of New Plant varieties Litchi: NY/T 2564—2014[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.
- [16] 郭栋梁, 王静, 黄石连, 韩冬梅, 李建光. 龙眼种质资源果实性状多样性分析[J]. 广东农业科学, 2022, 49(1): 30-41.
- GUO Dongliang, WANG Jing, HUANG Shilian, HAN Dongmei, LI Jianguang. Analysis on fruit character diversity of Longan (*Dimocarpus longan* Lour) germplasm resources[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2022, 49(1): 30-41.
- [17] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of Illinois Press,

- [18] 中华人民共和国农业部. 农作物种质资源鉴定评价技术规范 荔枝: NY/T 2329—2013[S]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical code for evaluating crop germplasm resources—Litchi: NY/T 2329—2013[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
- [19] 郑健, 芮丹萍, 高贤玉, 张惠云, 宋云连, 潘继红, 余卫霖, 王跃全, 刘思源, 郑平清, 罗心平. 云南永德‘桂味’与区试品种荔枝果实品质表现[J]. 中国农学通报, 2023, 39(4): 44-51.
- ZHENG Jian, RUI Danping, GAO Xianyu, ZHANG Huiyun, SONG Yunlian, PAN Jihong, YU Weilin, WANG Yuequan, LIU Siyuan, ZHENG Pingqing, LUO Xinping. Fruit quality performance of *Litchi chinensis* ‘Guiwei’ and regional test cultivars in Yongde of Yunnan[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(4): 44-51.
- [20] 刘勇, 叶鹏盛, 韦树谷, 曾华兰, 代顺冬, 赖佳, 黄玲, 孙小芳, 盛玉珍. 41份绿豆种质资源遗传多样性分析及抗病性鉴定[J]. 科技导报, 2023, 41(16): 89-99.
- LIU Yong, YE Pengsheng, WEI Shugu, ZENG Hualan, DAI Shundong, LAI Jia, HUANG Ling, SUN Xiaofang, SHENG Yuzhen. Genetic diversity analysis and disease resistance identification of 41 mung bean germplasm resources[J]. Science & Technology Review, 2023, 41(16): 89-99.
- [21] 唐凤, 李瑶, 王永琪, 张树振, 张永超, 张博. 22份野生披碱草属种质农艺性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 种子, 2021, 40(6): 44-51.
- TANG Feng, LI Yao, WANG Yongqi, ZHANG Shuzhen, ZHANG Yongchao, ZHANG Bo. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of agronomic traits of 22 wild *Elymus* germplasms[J]. Seed, 2021, 40(6): 44-51.
- [22] ROHLF F J. NTSYS-pc: Numerical taxonomy and multivariate analysis system version 2.2[EB/OL]. [2017-02-04]. <https://www.scienceopen.com/document>.
- [23] 刘洪, 徐振江, 饶得花, 鲁清, 李少雄, 刘海燕, 陈小平, 梁炫强, 洪彦彬. 基于形态学性状和 SSR 标记的花生品种遗传多样性分析和特异性鉴定[J]. 作物学报, 2019, 45(1): 26-36.
- LIU Hong, XU Zhenjiang, RAO Dehua, LU Qing, LI Shaoxiong, LIU Haiyan, CHEN Xiaoping, LIANG Xuanqiang, HONG Yanbin. Genetic diversity analysis and distinctness identification of peanut cultivars based on morphological traits and SSR markers[J]. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45(1): 26-36.
- [24] 孔繁玲. 植物数量遗传学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006.
- KONG Fanling. Quantitative genetics in plants[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2006.
- [25] 王志强, 杜慧莹, 李程, 郭松, 田梅, 杨万邦, 于蓉. 甜瓜亲本资源果实性状的遗传多样性分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2022, 43(6): 7-13.
- WANG Zhiqiang, DU Huiying, LI Cheng, GUO Song, TIAN Mei, YANG Wanbang, YU Rong. Genetic diversity analysis of fruit characters of melon parents[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2022, 43(6): 7-13.
- [26] 王铭, 刘江, 王长彪, 郝科星, 侯富恩, 张涛, 杨晋明. 109份西瓜育种材料果实性状的遗传多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(10): 23-28.
- WANG Ming, LIU Jiang, WANG Changbiao, HAO Kexing, HOU Fuen, ZHANG Tao, YANG Jinming. Genetic diversity analysis of fruit characters of 109 watermelon breeding materials[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2020, 33(10): 23-28.
- [27] 胡建斌, 马肖静, 李琼. 薄皮甜瓜表型性状的主成分分析[J]. 江西农业学报, 2010, 22(12): 30-33.
- HU Jianbin, MA Xiaojing, LI Qiong. Principal component analysis of phenotypic characters in thin-peel melon[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2010, 22(12): 30-33.

- [28] 康旗帅, 闫梦苑, 袁伟格, 豆峻岭, 杨森, 刘东明, 牛欢欢, 闫文凯, 朱华玉, 杨路明. 89 份西瓜种质资源表型鉴定和遗传多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(4): 14-26.
- KANG Qishuai, YAN Mengyuan, YUAN Weige, DOU Junling, YANG Sen, LIU Dongming, NIU Huanhuan, YAN Wenkai, ZHU Huayu, YANG Luming. Phenotypic characterization and genetic diversity analysis of 89 watermelon germplasm resources[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2024, 37(4): 14-26.
- [29] 赫卫, 张慧. 基于表型性状和 SRAP 标记的观赏用辣椒种质资源遗传多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(1): 16-23.
- HE Wei, ZHANG Hui. Analysis of genetic diversity of pepper germplasm resources for ornamental based on phenotypic traits and SRAP markers[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(1): 16-23.
- [30] 解华云, 叶云峰, 李桂芬, 黄金艳, 覃斯华, 何毅, 柳唐镜, 李天艳, 韦正光, 洪日新. 130 份薄皮甜瓜种质材料果实性状的遗传多样性分析评价[J/OL]. 中国瓜菜, 2014: 1-14[2024-04-23]. <https://doi.org/10.16861/j.cnki.zggc.202423.0754>.
- XIE Huayun, YE Yunfeng, LI Guifen, HUANG Jinyan, QIN Sihua, HE Yi, LIU Tangjing, LI Tianyan, WEI Zhengguang, HONG Rixin. Genetic diversity analysis of melon fruit characters of 130 oriental melon germplasm materials[J/OL]. China Cucurbits and Vegetables, 2014: 1-14[2024-04-23]. <https://doi.org/10.16861/j.cnki.zggc.202423.0754>.
- [31] 闫洪朗, 王康, 何林池, 魏小云. 江浙沪地区甜瓜品种果实性状遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(10): 2001-2006.
- YAN Honglang, WANG Kang, HE Linchi, WEI Xiaoyun. Genetic diversity analysis of melon fruit characters in Jiangsu, Zhejiang and Shanghai[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(10): 2001-2006.
- [32] 于平福, 黄凤珠. 基于两阶段聚类法的荔枝果实主要性状分析[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(9): 1630-1632.
- YU Pingfu, HUANG Fengzhu. Analysis of litchi fruit's characteristic by the Two-step-cluster[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2005, 33(9): 1630-1632.
- [33] 王思威, 孙海滨, 常虹, 钟声, 赵俊生, 王潇楠. 基于主成分分析综合评价白糖罍荔枝果实品质[J]. 果树学报, 2022, 39(4): 610-620.
- WANG Siwei, SUN Haibin, CHANG Hong, ZHONG Sheng, ZHAO Junsheng, WANG Xiaonan. Comprehensive evaluation of fruit quality of Baitangying litchi based on principal component analysis[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(4): 610-620.
- [34] 李清, 郭禄芹, 康建成, 胡倩梅, 朱华玉. 薄皮甜瓜 12 个质量性状的遗传多样性分析[J]. 河南农业科学, 2019, 48(3): 100-107.
- LI Qing, GUO Luqin, KANG Jiancheng, HU Qianmei, ZHU Huayu. Genetic diversity analysis of twelve qualitative traits in thin-skinned melons[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2019, 48(3): 100-107.
- [35] 黄川, 李叶清, 陈艳艳, 彭宏祥, 刘长鑫, 朱建华, 李鸿莉, 丁峰, 秦献泉, 罗红卫, 陈国帅, 陈利芳, 卢美英. 国内荔枝新品种果实性状综合评价筛选[J]. 中国南方果树, 2021, 50(2): 79-83.
- HUANG Chuan, LI Yeqing, CHEN Yanyan, PENG Hongxiang, LIU Changxin, ZHU Jianhua, LI Hongli, DING Feng, QIN Xianquan, LUO Hongwei, CHEN Guoshuai, CHEN Lifang, LU Meiyang. Comprehensive evaluation and screening of fruit traits of new litchi varieties in China[J]. South China Fruits, 2021, 50(2): 79-83.
- [36] 王海平, 李锡香, 沈镛, 邱杨, 宋江萍, 张晓辉, SIMON P W. 基于表型性状的中国大蒜资源遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 24-31.
- WANG Haiping, LI Xixiang, SHEN Di, QIU Yang, SONG Jiangping, ZHANG Xiaohui, SIMON P W. Evaluation on genetic diversity of garlic (*Allium sativum* L.) clones in China based on morphological characters[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(1): 24-31.
- [37] 韦阳连, 黄小凤, 蔡楚雄, 刘世平, 余金昌, 卓书斌, 曹洪麟. 野生荔枝遗传多样性研究进展[J]. 广东农业科学, 2010,

37(8): 62-64.

- WEI Yanglian, HUANG Xiaofeng, CAI Chuxiong, LIU Shiping, YU Jinchang, ZHUO Shubin, CAO Honglin. Advances in research on genetic diversity in wild litchi[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010, 37(8): 62-64.
- [38] 罗海燕. 海南野生荔枝种质资源遗传多样性及与半野生、栽培荔枝亲缘关系的 ISSR 分析[D]. 海口: 华南热带农业大学, 2007.
- LUO Haiyan. Genetic diversity of wild litchi idioplasm resource and the phylogenetic relationship among Wild, Semi-wild and cultivar litchi in Hainan by ISSR markers[D]. Haikou: South China University of Tropical Agriculture, 2007.
- [39] 刘冰浩. 广西部分野生、半野生、栽培荔枝遗传多样性 SSR 分析及博白野生荔枝种群生存研究[D]. 南宁: 广西大学, 2008.
- LIU Binghao. Survival investigation of wild litchi population grown in Bobai County and genetic diversity analysis of part litchi resources from wild, semi-wild and culture in Guangxi Province of China[D]. Nanning: Guangxi University, 2008.
- [40] 冯延聪, 吉娜, 聂博轩, 刘帅, 张湛辉, 赵明磊, 廖美敬, 李建国. 广东增城兰溪荔枝种质资源调查与分析[J]. 广东农业科学, 2023, 50(9): 25-38.
- FENG Yancong, JI Na, NIE Boxuan, LIU Shuai, ZHANG Zhanhui, ZHAO Minglei, LIAO Meijing, LI Jianguo. Investigation and analysis on litchi germplasm resources in Lanxi, Zengcheng, Guangdong Province[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2023, 50(9): 25-38.