

11 份可可种质果实性状及品质综合评价

杨德伟^{1,2}, 伍宝朵¹, 吴国星², 王睿¹, 张子箫¹, 李付鹏^{1*}

1. 中国热带农业科学院香料饮料研究所/海南省热带香辛饮料作物遗传改良与品质调控重点实验室/农业农村部香辛饮料作物遗传资源利用重点实验室, 海南万宁 571533; 2. 云南农业大学植物保护学院, 云南昆明 650201

摘要: 为筛选果实性状、果肉和可可豆品质均优异的可可育种材料, 对 11 份可可种质的果实质量、果壳质量、果长、果宽、种子鲜质量、果肉含量、可溶性糖、总酸、pH、糖酸比、果肉感官评价(香气、酸甜感、接受度)、可可脂、可可碱、咖啡因和多酚 17 个指标进行测定, 并通过主成分分析和聚类分析对不同可可种质果实的 17 个指标进行综合评价。结果表明: 17 个指标的变异系数为 4.16%~52.91%, 平均为 16.73%, 其中咖啡因的变异系数最大。果肉含量、总酸、糖酸比、咖啡因的变异系数均在 20% 以上, 11 份可可种质在果实性状和品质上均存在较大差异, 具有丰富的遗传多样性。对可可果肉的感官评价中, 香可 16 号的测评分数最高, 其次是 TAS420、TAS1413; 此外, 测评者的接受度主要与果肉的酸甜有关。相关性分析表明, 果实性状与果肉品质间主要呈正相关关系, 而可可豆品质性状与它们主要呈负相关关系。主成分分析中, 共提取出 5 个特征值大于 1 的主成分, 累计贡献率为 89.521%; 基于各指标的主成分得分进行综合排名, TAS420、香可 16 号、TAS414 的综合评分最高, 在果实性状、果肉和可可豆品质上表现均优异。主成分 1 和主成分 2 在综合评价中起到关键作用, 其中 pH、糖酸比、感官评价、果实质量、果壳质量、果宽的指标对可可果实的贡献率较大。依据聚类分析, 将 11 份可可种质细分为 4 个类群, 第一类群仅有 TAS1413, 其果实性状和果肉品质均较为优异, 但可可豆品质最差; 第二、第三类群为综合排名前四的种质, 综合指标较为优异, 是培育优良品种的重要材料。剩下的 6 份种质为第四类群, 其果实性状和品质较为一般。本研究为可可优良品种培育提供基础, 有助于可可产业的多元化发展。

关键词: 可可; 果实性状; 果肉品质; 评价

中图分类号: S326 **文献标志码:** A

Comprehensive Evaluation of Fruit Traits and Quality of 11 Cocoa Germplasms

YANG Dewei^{1,2}, WU Baoduo¹, WU Guoxing², WANG Rui¹, ZHANG Zixiao¹, LI Fupeng^{1*}

1. Spice and Beverage Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Key Laboratory of Genetic Improvement and Quality Regulation for Tropical Spice and Beverage Crops of Hainan Province / Key Laboratory of Genetic Resources Utilization of Spice and Beverage Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wanning, Hainan 571533, China; 2. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China

Abstract: In order to screen cocoa breeding materials with excellent fruit traits, pulp and cocoa bean quality, 17 indicators including fruit quality, fruit shell quality, fruit length, fruit width, fresh quality of seeds, pulp content, soluble sugar, total acid, pH, sugar-acid ratio, pulp sensory evaluation (aroma, sour-sweet taste, acceptance), cocoa butter, theobromine, caffeine, and polyphenols were measured for 11 cocoa germplasm. Principal component analysis and cluster analysis were used to comprehensively evaluate the 17 indicators of different cocoa germplasm fruits. The results indicated that the coefficients of variation (CV) for the 17 indicators ranged from 4.16% to 52.91%, with an average of 16.73%. Notably, caffeine exhibited the highest CV among all indicators. The CVs for pulp content, total acid, sugar-acid ratio, and

收稿日期 2024-09-11; 修回日期 2024-09-26

基金项目 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (No. 1630142022003); 万宁市重点科研项目 (No. 2023wnkj04)。

作者简介 杨德伟 (2001—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 种质资源评价和生物农药开发。*通信作者 (Corresponding author): 李付鹏 (LI Fupeng), E-mail: peterlfp@163.com。

caffeine were all above 20%, suggesting significant variations in fruit traits and quality among the 11 cocoa germplasms. This rich genetic diversity indicates a vast potential for the selection and improvement of cocoa cultivars with desirable characteristics. In the sensory evaluation of cocoa pulp, variety Xiangke 16 scored the highest, followed by TAS420 and TAS1413. Furthermore, the acceptability among testers was primarily influenced by the balance of sweetness and sourness in the pulp. Correlation analysis revealed that there were mainly positive correlations between fruit traits and pulp quality, while there were primarily negative correlations between cocoa bean quality traits and both fruit traits and pulp quality. In the principal component analysis, a total of five principal components with eigenvalues greater than 1 were extracted, accounting for a cumulative contribution rate of 89.521%. Based on the principal component scores of each indicator, a comprehensive ranking was conducted, with TAS420, Xiangke 16, and TAS414 scoring the highest. The three cocoa germplasm exhibited superior performance in fruit traits, pulp quality, and cocoa bean quality. Principal components 1 and 2 played crucial roles in the comprehensive evaluation. Among them, indicators such as pH, sugar-acid ratio, sensory evaluation, fruit quality, fruit shell quality, and fruit width contributed significantly to the evaluation of cocoa fruits. Based on the cluster analysis, the 11 cocoa germplasms were subdivided into four groups. Group I consisted of TAS1413, which exhibited superior fruit traits and pulp quality but had the poorest cocoa bean quality. Groups II and III comprised the top four germplasm in the comprehensive ranking, demonstrating excellent overall indicators and serving as important materials for breeding superior varieties. The remaining six germplasm belonged to Group IV, which had relatively average fruit traits and quality. This study would provide a foundation for the breeding of superior cocoa varieties, contributing to the diversification and development of the cocoa industry.

Keywords: cocoa; fruit traits; pulp quality; evaluate

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.02.008

可可 (*Theobroma cacao* L.) 是锦葵科可可属植物, 距今已有 3000 多年的种植历史, 目前在世界范围内的热带地区均有种植^[1-2]。可可是全球重要的经济作物, 其种子是制作巧克力的主要原料^[3], 富含可可碱、多酚等物质, 具有抗氧化、心血管疾病的作用^[4-5]。据 FAO 统计, 2022 年全球可可种植面积为 1190 万 hm^2 , 产量 587 万 t, 从业人员超过 4000 万^[6]。预计到 2026 年, 全球可可和巧克力市场将达到 1800 亿美元^[7], 在国际市场上具有重要地位^[5]。

可可种子表面附着一层白色果肉^[8], 与果壳、种皮被认为是巧克力生产过程中的副产物。可可果肉中含有 80% 左右的水, 富含糖、维生素、多酚以及多种矿物质^[7-10], 有益于人体健康^[11]。在发酵过程中, 会有白色黏液渗出, 被称为可可黏液渗出物或可可蜂蜜^[1, 7, 11]。目前, 每加工 1 t 可可果实, 大约 45 L 的可可黏液渗出物被浪费^[11]。尽管可可果肉和可可蜂蜜的营养物质相近, 但严格来说, 可可果肉和可可蜂蜜不完全相同, 后者的果胶含量更高^[12]。

可可果肉酸甜可口, 可用作鲜食、饮料、果酒等^[7, 13], 近年来已越来越受到食品行业的青睐^[8, 14]。研究表明, 可可果肉的挥发性成分丰富, 含有醇、酯、醛、酮等多种挥发性类别, 具有较强的应用前景^[8, 13, 15]。对于可可果肉的利用, 国外报道较

多。NUNES 等^[9]将可可果肉作为麦芽辅料进行啤酒生产, 其能够促进酒精产生和底物消耗, 有利于啤酒的生产。KLIS 等^[14]将担子菌加入可可果肉中进行发酵, 所生产的饮料具有热带果味的香气, 并且具有较强的接受度。KOELHER 等^[12]利用酿酒酵母 L63 将可可蜂蜜 (辅以可可果肉) 发酵成果酒, 其具有良好商业潜力。RODRÍGUEZ-CASTRO 等^[16]利用可可果肉发酵成非酒精饮料 (康普茶), 其可行性较强, 为可可果肉的增值利用提供了新的方向。20 世纪 90 年代, 张华昌等^[10]就提出将可可果肉制成罐装饮料, 以提高产业效益。此外, 充分利用可可黏液和果肉不仅有助于缓解全球粮食短缺问题, 还为应对气候变化产生积极影响^[16]。

可可种子是制备可可粉、巧克力的重要原料^[6]。可可脂为可可豆的重要经济部分, 主要由饱和脂肪酸 (主要为棕榈酸和硬脂酸) 和不饱和脂肪酸 (主要为油酸和亚油酸) 组成, 其具有独特的脂肪酸组成比例^[17-18]。多酚是可可豆中抗氧化活性的重要来源之一, 主要包括儿茶素、花青素和原花青素, 多酚除抗氧化外, 还能预防癌症、慢性病、心血管疾病等^[19-20]。此外, 可可中主要的 2 种甲基黄嘌呤, 即可可碱和咖啡因, 对身体健康同样有益, 如利尿、抗癌、抗炎和控制肥胖等功能^[19, 21]。这些品质性状对于可可豆而言至关重要, 因为它们与可可豆的风味形成有关^[12, 18-19, 21]。

对不同可可种质的果实性状和品质进行遗传多样性分析及评价, 有利于对其进行选择和开发利用^[22]。目前, 国内关于可可的研究主要集中在可可豆上, 对于果肉的研究鲜有报道。为筛选可可豆和果肉均优异的可可品系, 本研究以 11 份可可种质为材料, 对其果实性状、果肉和可可豆的品质进行测定, 分析不同种质之间果实的差异, 并对可可果实性状与品质进行相关性分析、综合评价, 旨在为可可种质资源的合理开发和利用提供科学依据, 促进可可产业的优质化发展。

1 材料与方法

1.1 材料

选取保存于中国热带农业科学院香料饮料研究所“国家热带香料饮料种质资源圃”的 11 份种质: TASS8、香可 16 号、TAS46、TAS58、TAS82、TAS119、TAS414、TAS420、TAS611、TAS1411、TAS1413 为研究材料。本研究每份种质所选取的实验样品为同一株可可树的主干与主分枝上果实, 果实选取的标准为果实表面有 1/3 左右面积出现黄色, 每份种质选取 9 个果实, 每 3 个果实混合作为 1 个重复, 每份种质共 3 个重复。

试验所用仪器为: BSA2202S 分析天平(北京赛多利斯仪器有限公司)、FE20 实验室 pH 计(上海梅特勒-托利多仪器有限公司)、UV2310 II 紫外分光光度计(上海天美科学仪器有限公司)、半制备液相色谱仪(1260, 美国安捷伦公司)。

1.2 方法

1.2.1 果实农艺性状测量 果实性状测量方法参照李付鹏等^[18]测量可可果农艺性状的方法。每份种质采摘 3 个果实, 测量果实质量(g)、果壳质量(g)、果长(mm)、果宽(mm)、种子鲜质量(g)、果肉含量(g)。其中, 打开果实后, 将种子放入网袋, 在流水中清洗, 擦干称量种子鲜质量; 果实质量减去果壳质量和种子鲜质量获得果肉含量。

1.2.2 果肉可溶性糖测定 采用可溶性糖试剂盒(蒽酮法, 苏州格锐思生物科技有限公司)测量。可可鲜豆用滤网挤出果汁, 离心 10 min (12 000 r/min, 25 ℃), 取上清液分两步稀释至 1000 倍, 根据试剂盒操作, 620 nm 测量吸光度。标准曲线: $y=3.658x+0.0203$; $R^2=0.999$ 。

1.2.3 果肉总酸(以柠檬酸计)测定 根据国标 GB 12456—2021 中的 pH 计电位滴定法, 并稍作修改, 具体操作如下:

(1) 样品制备。可可鲜豆用滤网挤出果汁, 吸取 25 mL 果汁于 250 mL 锥形瓶中, 加入 150 mL 无 CO₂ 蒸馏水(蒸馏水煮沸后冷却), 置于沸水浴 30 min, 期间多次摇动, 室温冷却后用无 CO₂ 蒸馏水定容到 250 mL 容量瓶中(稀释 10 倍, 计为 F), 用快速滤纸过滤备用。

(2) 滴定。吸取 50 mL (计为 V) 样液到烧杯中, 置于磁力搅拌器上搅拌, 使用校准后的 pH 计进行测量, 记录初始 pH, 用 0.1 mol/L NaOH (计为 c) 先快速滴定至 pH=6.00, 后缓慢滴定至 pH=8.20, 记录消耗氢氧化钠的体积为 V_1 。用无 CO₂ 蒸馏水进行空白滴定, 消耗氢氧化钠体积计为 V_2 。

$$(3) \text{ 计算。 } X = \frac{[c \times (V_1 - V_2)] \times K \times F}{V} \times 1000$$

式中, X 为总酸含量(mg/mL); K 为酸的换算系数, 以柠檬酸为 0.070 (含 1 分子结晶水) 来计; 1000 为换算系数。

1.2.4 果肉感官评价 感官评价能够反映可可果肉的总体状况, 由 15 位评审员(年龄 20~26 岁, 男女性别比例为 2:3, 进行过一定感官培训并在日常生活中经常进行可可果实品鉴)对可可果肉进行感官评价。具体操作如下: 将可可果实打开, 用鼻子嗅取可可果肉的香气, 以评估香气指标; 取下几粒带果肉的可可豆进行品尝, 获取酸甜感指标; 根据个人接受程度进行接受度打分。每次食用后用水漱口 3 次, 以清除口中残留的味道。测量 3 个果实为重复, 参考何勤勤等^[23]的评价标准并稍作修改, 评分标准见表 1, 结果取平均值。

表 1 可可果肉感官评价标准

项目 Item	评分标准 Evaluation standard	分值 Score
香气	香气浓烈	16~25
	香气较淡, 有发酵味	8~16
	无香味, 发酵味重	0~8
酸甜感	清甜可口, 酸味淡	16~25
	酸甜适中	8~16
	酸味较重	0~8
接受度	接受度高	16~25
	一般	8~16
	较难接受	0~8

1.2.5 可可脂测定 可可脂测量参考谢薇等^[5]的方法并稍作修改。称取 1.5 g 左右(计为 m_1 , g)

可可粉置于 50 mL 离心管，称取离心管和样品总质量（计为 m_2 , g），加入 15 mL 石油醚，超声萃取（36~40 ℃，10 min），离心（室温，8000 r/min，10 min）后弃上层清液，重复提取 1 次。保留沉淀物，通风橱放置 2 h，随后在鼓风干燥箱中以 75 ℃干燥 5 h，干燥冷却后称量质量（计为 m_3 , g）。每份样品重复 3 次。计算公式如下：

可可脂含量 (mg/g) = $\frac{m_2 - m_3}{m_1} \times 1000$

1.2.6 可可碱和咖啡因测定 可可碱和咖啡因根据 YANG 等^[6]的方法进行检测。称取 0.5 g 可可粉，加入 90 mL 蒸馏水，超声萃取（室温，30 min）后定容至 100 mL，过 0.22 μm 滤膜，液相色谱检测，每份样品重复 3 次。

HPLC 检测条件：色谱柱为 Zorbax Eclipse XDB-C18（4.6 mm×250 mm，5 Micron）；流动相为甲醇-醋酸-水（20：1：79），流速 1 mL/min，检测波长 275 nm，进样量 10 μL，柱温 40 ℃，洗脱 15 min，后运行 2 min。可可碱标准曲线方程： $y=35\ 340.8609x+58.3705$ （ $R^2=0.9999$ ），咖啡因标准曲线方程： $y=34\ 262.0526x+1.0627$ （ $R^2=0.9999$ ）。计算公式计算如下：

可可碱、咖啡因含量 = $\frac{x \times V}{m}$

式中， x 为样品可可碱、咖啡因上机检测浓度（mg/mL），根据标准曲线算出； V 为样品提取总体积（100 mL）； m 为样品质量（g）。

1.2.7 多酚测定 采用 Folin-Ciocalteu 法测量多酚含量^[24]。以没食子酸为标准品，结果以没食子

酸当量（GAE）表示。称取 0.2 g 样品于 50 mL 离心管，加入 10 mL 70%甲醇溶液（70 ℃下预热），70 ℃水浴 10 min，冷却后离心（室温，8000 r/min，5 min），吸取上清液过 0.22 μm 滤膜，定容至 10 mL，用蒸馏水分两步稀释 100 倍，吸取 1 mL 于 15 mL 离心管，加入 5 mL 10%福林酚溶液，反应 5 min 后加入 4 mL 7.5% Na₂CO₃ 溶液，室温放置 60 min，在 765 nm 处测量吸光度。没食子酸标准曲线： $y=7.8646x+0.0193$ （ $R^2=0.9988$ ）每份样品设置 3 个重复。计算公式如下：

多酚含量 = $\frac{x \times V \times N}{m}$

式中， x 为测量样品中多酚浓度（mg/mL），根据标准曲线算出； V 为最终取样的体积（1 mL）； N 为稀释倍数（100 倍）； m 为样品质量（g）。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 和 Origin 2021 软件对数据进行处理和绘图，采用 SPSS 26 软件进行显著性分析（ $P<0.05$ ）、邓肯新复极差法进行多重比较、主成分分析。

2 结果与分析

2.1 可可果实性状分析

11 份可可种质的果实性状中存在较大差异（表 2）。可可果实质量、果壳质量、果长、果宽范围为 402.16~699.19 g、264.95~522.61 g、134.16~174.91 mm、81.70~100.16 mm，香可 16 号的果实质量和果宽值最大；TAS420 的果壳最重，TAS414 的果实最长。TAS1413 拥有最大的种子鲜质量

表 2 可可种质果实性状
Tab. 2 Cocoa germplasms fruit traits

种质 Germplasm	果实质量 Fruit quality/g	果壳质量 Fruit shell quality/g	果长 Fruit length/mm	果宽 Fruit width/mm	种子鲜质量 Fresh quality of seeds/g	果肉含量 Pulp content/g
TASS8	513.05±29.95 ^{cd}	395.29±26.08 ^{bc}	144.99±1.65 ^b	87.83±1.97 ^{cde}	73.57±6.23 ^{bcd}	44.19±1.67 ^{fh}
香可 16 号	699.19±48.30 ^a	503.42±25.60 ^a	164.39±8.04 ^a	100.16±3.18 ^a	97.30±14.29 ^{ab}	98.47±12.39 ^{ab}
TAS46	630.17±37.08 ^{ab}	500.26±27.18 ^a	161.14±3.50 ^a	93.40±2.45 ^b	64.24±6.31 ^d	65.67±5.03 ^{cde}
TAS58	518.56±22.78 ^{cd}	378.27±19.10 ^{bc}	143.68±12.11 ^b	86.99±0.14 ^{cdef}	72.24±11.81 ^{cd}	68.05±7.89 ^{cd}
TAS82	402.16±32.63 ^e	264.95±29.16 ^d	144.91±3.16 ^b	83.08±2.76 ^{ef}	91.23±2.22 ^{abc}	45.98±2.91 ^{efh}
TAS119	450.07±44.96 ^{de}	353.42±41.98 ^{bc}	146.37±3.83 ^b	84.96±2.85 ^{def}	61.86±4.24 ^d	34.79±2.98 ^h
TAS414	468.08±39.11 ^{de}	339.22±31.55 ^c	174.91±3.13 ^a	81.70±2.59 ^f	65.92±8.96 ^d	62.94±5.94 ^{cdef}
TAS420	674.25±44.64 ^a	522.61±49.13 ^a	161.97±4.28 ^a	99.79±2.39 ^a	96.08±8.80 ^{abc}	55.56±16.59 ^{def}
TAS611	510.26±21.43 ^{cd}	375.81±11.57 ^{bc}	134.16±7.71 ^b	90.18±1.99 ^{bcd}	84.16±11.89 ^{bcd}	50.29±4.15 ^{defh}
TAS1411	581.46±30.40 ^{bc}	422.52±41.04 ^b	161.81±8.09 ^a	88.70±1.08 ^{bcd}	76.43±6.90 ^{bcd}	82.51±14.92 ^{bc}
TAS1413	636.01±9.22 ^{ab}	420.44±18.03 ^b	173.03±6.39 ^a	90.81±3.24 ^{bc}	111.34±19.72 ^a	104.23±9.64 ^a

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

和果肉含量，分别为 111.34、104.23 g，TAS119 的种子鲜质量（61.86 g）和果肉含量（34.79 g）值最低。

2.2 可可果肉品质分析

2.2.1 可溶性糖、总酸、pH 指标结果分析 如表 3 所示，TAS414 的果肉的可溶性糖含量最高

（148.31 mg/mL），显著高于其他种质，此外，糖酸比也最高（18.90）；香可 16 号果肉的可溶性糖含量和总酸含量均为最低，分别为 92.99、6.84 mg/mL，pH 最高，为 3.89；TAS46 果肉的总酸含量最高，为 16.29 mg/mL，糖酸比最低，仅为 7.17；TAS58 的果肉 pH 最低，为 3.37。

表 3 可可种质果肉品质性状
Tab. 3 Cocoa germplasms pulp quality traits

种质 Germplasm	可溶性糖含量 Soluble sugar content/(mg·mL ⁻¹)	总酸含量 Total acid content/(mg·mL ⁻¹)	pH	糖酸比 Sugar-acid ratio
TASS8	101.75±7.39 ^{ef}	10.52±0.46 ^e	3.59±0.07 ^{cd}	9.68±0.69 ^{def}
香可 16 号	92.99±4.18 ^f	6.84±0.31 ^d	3.89±0.16 ^a	13.61±0.78 ^b
TAS46	115.71±11.54 ^{bcd}	16.29±1.73 ^a	3.48±0.08 ^{de}	7.17±1.17 ^f
TAS58	129.88±9.29 ^b	15.41±1.15 ^a	3.37±0.09 ^{ef}	8.44±0.61 ^f
TAS82	127.15±4.04 ^{bc}	10.72±0.71 ^c	3.46±0.07 ^{de}	11.91±1.15 ^{cd}
TAS119	117.65±4.53 ^{bcd}	13.10±0.77 ^b	3.60±0.16 ^{bcd}	9.00±0.70 ^e
TAS414	148.31±4.65 ^a	7.86±0.49 ^d	3.68±0.10 ^{bc}	18.90±0.79 ^a
TAS420	114.10±10.50 ^{cde}	7.43±1.20 ^d	3.79±0.11 ^{ab}	15.75±3.87 ^b
TAS611	107.00±3.94 ^{de}	9.50±0.33 ^c	3.59±0.04 ^{cd}	11.26±0.09 ^{cde}
TAS1411	124.03±10.84 ^{bc}	10.25±0.76 ^c	3.51±0.12 ^{cde}	12.13±1.32 ^{cde}
TAS1413	119.73±6.06 ^{bcd}	9.59±0.86 ^c	3.70±0.04 ^{bc}	12.51±0.52 ^c

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

2.2.2 果肉感官评测结果分析 不同种质果肉感官评价结果见图 1，香可 16 号的果肉香气、酸甜感、接受度评分均为最高，分别为 19.07、20.93、22.33，表明其果肉较其他种质香气浓烈，清甜可口，酸味较淡，测评者对其接受度最高。然而 TAS46 的果肉酸甜感和接受度评分最低，仅为 14.87 和 17.00，表明其果肉较其他种质酸味重，测评者难以接受。TAS82 的果肉香气评分最低，为 15.33，说明其有发酵的味道。根据图 1 可以看出，可可果肉的香气成分均较淡，但不影响其酸甜感；TAS420、TAS1413、TAS1411 的果肉在酸甜感和接受度评分上较接近。

2.3 可可豆品质性状分析

11 份可可种质的可可豆品质性状如表 4 所示。TAS420 的可可脂、咖啡因含量最高（分别为 465、4.09 mg/g），并且咖啡因含量显著高于其他种质（ $P<0.05$ ）。TAS82 的可可碱含量最高，达 16.92 mg/g，同样显著高于其他种质。香可 16 号的多酚含量最高（68.91 mg/g）。TAS1413 的可可脂、可可碱、多酚含量均为最低，分别为 372.53、7.85、42.29 mg/g。

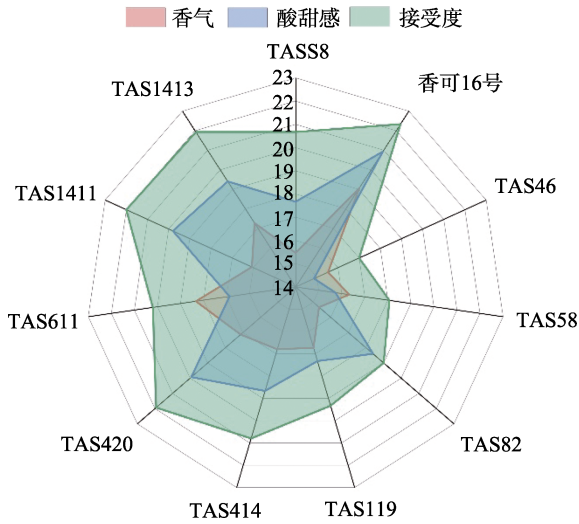


图 1 感官测评雷达图
Fig. 1 Sensory evaluation radar image

2.4 可可果实 17 个指标的变异系数分析

11 份可可种质的 17 个指标的变异系数如表 5 所示。17 个指标的变异系数为 4.16%~52.91%，平均为 16.73%。咖啡因的变异系数最大，表明 11 份种质在该指标上的变异程度最大。果实农艺性状中，果肉含量变异系数最大，为 32.88%，而果宽

表 4 不同可可种质可可豆品质性状

Tab. 4 Quality characteristics of cocoa beans from different cocoa germplasm

mg/g

种质 Germplasm	可可脂含量 Cocoa butter content	可可碱含量 Theobromine content	咖啡因含量 Caffeine content	多酚含量 Polyphenol content
TASS8	451.35±8.09 ^{ab}	14.49±0.10 ^d	1.62±0.01 ^f	59.24±1.06 ^{de}
香可 16 号	411.14±9.62 ^{ef}	15.81±0.04 ^b	1.40±0.01 ^e	68.91±1.30 ^a
TAS46	401.12±9.30 ^f	15.12±0.21 ^c	0.68±0.01 ^j	57.54±1.07 ^{de}
TAS58	438.24±7.31 ^{bcd}	15.41±0.11 ^c	0.83±0.02 ⁱ	56.72±0.85 ^e
TAS82	411.34±6.82 ^{ef}	16.92±0.08 ^a	1.76±0.01 ^d	63.53±0.44 ^{bc}
TAS119	443.16±9.48 ^{bc}	11.82±0.20 ^e	2.59±0.05 ^b	65.13±3.20 ^b
TAS414	430.45±4.78 ^{cd}	13.67±0.02 ^e	1.40±0.01 ^e	60.44±0.42 ^{cd}
TAS420	465.64±2.63 ^a	13.05±0.04 ^f	4.09±0.02 ^a	64.60±1.19 ^b
TAS611	424.59±5.42 ^{de}	14.54±0.44 ^d	0.96±0.02 ^h	66.82±1.50 ^{ab}
TAS1411	400.68±8.81 ^f	13.29±0.04 ^f	1.91±0.01 ^c	64.14±2.65 ^b
TAS1413	372.53±6.93 ^e	7.85±0.04 ^h	1.72±0.01 ^c	42.29±1.76 ^f

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

表 5 可可果实 17 个指标的变异系数

Tab. 5 Coefficient of variation of 17 indicators in cocoa fruit

指标 Index	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 CV/%
果实质量/g	699.19	402.16	553.02	92.88	16.80
果壳质量/g	522.61	264.95	406.93	74.69	18.35
果长/mm	174.91	134.16	155.58	12.71	8.17
果宽/mm	100.16	81.70	89.78	5.79	6.45
种子鲜质量/g	111.34	61.86	81.31	15.24	18.74
果肉含量/g	104.23	34.79	64.79	21.30	32.88
可溶性糖/(mg·mL ⁻¹)	148.31	92.99	118.03	14.19	12.02
总酸/(mg·mL ⁻¹)	16.29	6.84	10.68	2.95	27.62
pH	3.89	3.37	3.61	0.15	4.16
糖酸比	18.90	7.17	11.85	3.24	27.34
香气	19.07	15.33	16.73	1.13	6.75
酸甜感	20.93	14.87	18.15	1.78	9.81
接受度	22.33	17.00	20.30	1.68	8.28
可可脂含量/(mg·g ⁻¹)	465.64	372.53	422.75	25.44	6.02
可可碱含量/(mg·g ⁻¹)	16.92	7.85	13.82	2.32	16.79
咖啡因含量/(mg·g ⁻¹)	4.09	0.68	1.72	0.91	52.91
多酚含量/(mg·g ⁻¹)	68.91	42.29	60.85	6.92	11.37

和果长的变异系数较小，分别为 8.17%、6.45%。果肉品质中，总酸的变异系数最大，为 27.62%。

2.5 可可种质果实指标相关性分析

对可可果实的 17 个指标进行 Pearson 相关性分析，结果如图 2 所示。可可果实指标之间存在不同程度的相关性。果实农艺性状各指标之间均呈正相关，且果实质量与果壳质量、果宽之间呈极显著正相关（ $P<0.01$ ）。果肉感官评价指标之间

均呈正相关，其中，酸甜感与接受度呈极显著正相关。总酸与 4 个指标（pH、糖酸比、酸甜感、接受度）之间均呈极显著负相关，并且相关系数均在 0.80 以上。

2.6 果实指标主成分分析及综合评价

采用最大方差法对 11 份可可种质的果实指标进行主成分分析，结果如表 6 所示。共提取出 5 个特征值大于 1 的主成分，累计贡献率为 89.521%，

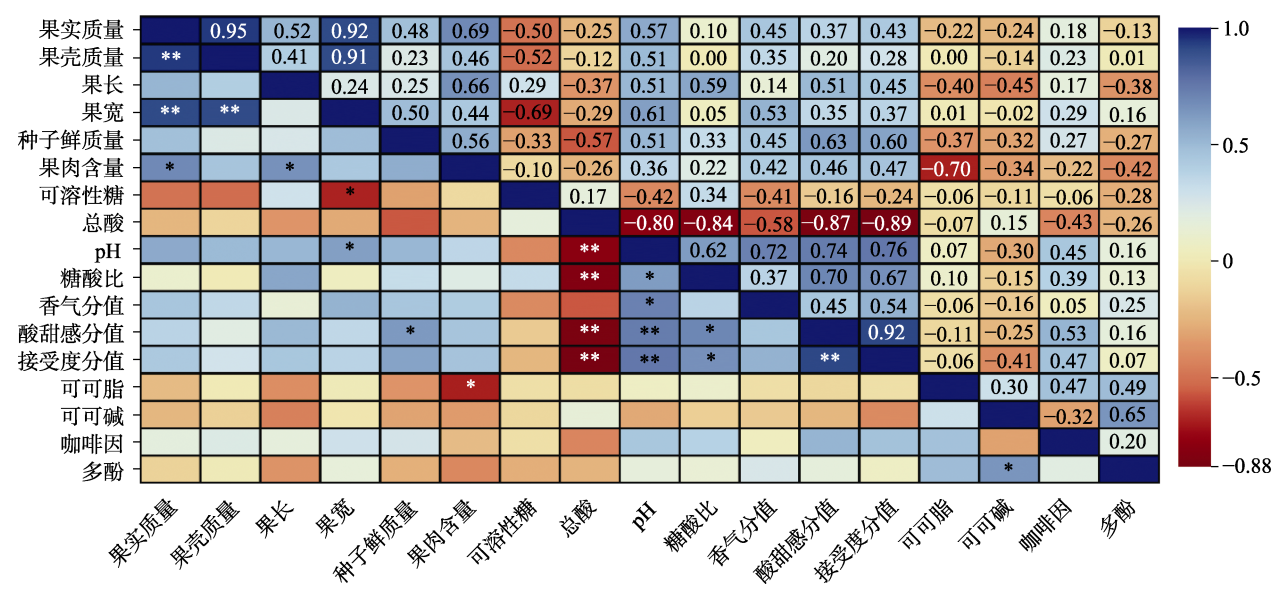


图 2 可可果实指标相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of cocoa fruit indexes

表 6 旋转后主成分载荷矩阵、特征值及贡献率

Tab. 6 Principal component load matrix, eigenvalues, and contribution rate after rotation

指标 Index	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4	主成分 5 PC5
果实质量	0.228	0.937	-0.169	-0.167	0.034
果壳质量	0.058	0.989	-0.041	0.044	0.057
果长	0.369	0.358	-0.333	-0.230	0.730
果宽	0.262	0.922	0.043	0.025	-0.215
种子鲜质量	0.635	0.224	-0.408	-0.255	-0.325
果肉含量	0.337	0.458	-0.300	-0.700	0.184
可溶性糖	-0.142	-0.568	-0.137	-0.018	0.737
总酸	-0.973	-0.047	-0.068	-0.078	-0.045
pH	0.788	0.474	-0.019	0.107	0.027
糖酸比	0.807	-0.083	0.067	0.096	0.525
香气	0.635	0.354	0.177	-0.220	-0.248
酸甜感	0.915	0.152	-0.111	0.021	0.089
接受度	0.897	0.200	-0.200	0.040	0.011
可可脂含量	-0.028	-0.020	0.362	0.849	-0.040
可可碱含量	-0.218	-0.073	0.875	-0.030	-0.088
咖啡因含量	0.425	0.166	-0.281	0.785	0.047
多酚含量	0.221	0.026	0.832	0.346	-0.161
特征值	5.338	3.875	2.180	2.174	1.651
贡献率/%	31.399	22.797	12.824	12.788	9.714
累计贡献率/%	31.399	54.196	67.019	79.807	89.521

表明 5 个主成分涵盖了 17 个可可果实指标的主要信息。主成分 1 的特征值为 5.338，贡献率为 31.399%，其中酸甜感、接受度的贡献率较大，载荷值分别为 0.915、0.897，表明主成分 1 主要代

表感官评价结果。主成分 2 的特征值和贡献率分别为 3.875、22.797%，果实质量、果壳质量、果宽的贡献率较高，载荷值均大于 0.900。主成分 3 和主成分 4 的贡献率相近，都在 12.000%左右，

主成分 3 中可可碱和咖啡因的贡献率为 0.875、0.832，主成分 4 中可可脂、咖啡因贡献率分别为 0.849、0.785，这些指标在各主成分中的贡献率较高，可见主成分 3 和主成分 4 主要代表可可豆的品质性状。主成分 5 的方差贡献率为 9.714%，果长和可溶性糖的贡献率较高，均在 0.700 以上。

将 5 个主成分分别用 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 表示，根据贡献率为权重建立综合评价模型为 $F=$

$0.313\ 99F_1+0.227\ 97F_2+0.128\ 24F_3+0.127\ 88F_4+0.097\ 14F_5$ ，计算综合结果，详见表 7。在 F_1 、 F_2 和 F_3 得分中，香可 16 号得分均为最高，分别为 1.391、1.426、1.266； F_4 得分最高为 TAS420(2.063)；TAS420 在 F_5 中得分最高，为 2.337。TAS420 最终综合排名第一，在主成分 1、2、4 的得分值较高，其次是香可 16 号，在主成分 1、2、3 表现最好，第三为 TAS414，在主成分 1、3、5 中表现较为优异。

表 7 不同可可种质果实主成分得分及综合得分
Tab. 7 Principal component scores and comprehensive scores of fruits from different cocoa germplasms

种质 Germplasm	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F	排名 Ranking
TAS420	0.829	1.305	-0.324	2.063	0.327	0.812	1
香可 16 号	1.391	1.426	1.266	-1.064	-0.502	0.740	2
TAS414	0.733	-1.038	0.591	-0.097	2.337	0.284	3
TAS1411	0.226	0.003	-0.087	-0.336	0.604	0.076	4
TAS611	0.286	-0.457	0.826	-0.382	-1.520	-0.105	5
TASS8	-0.331	-0.193	-0.080	0.820	-0.797	-0.131	6
TAS119	-0.480	-0.584	-0.325	1.321	-0.466	-0.202	7
TAS1413	0.621	0.110	-2.633	-1.187	-0.175	-0.286	8
TAS46	-2.046	1.318	0.232	-0.597	0.645	-0.326	9
TAS82	0.107	-1.674	0.343	-0.191	-0.454	-0.373	10
TAS58	-1.335	-0.217	0.190	-0.351	0.001	-0.489	11

2.7 11 份可可果实聚类分析

将所有指标进行标准化处理，并采用平均欧式距离对 11 份可可种质进行聚类分析，结果如图 3 所示。当平均欧氏距离为 1.5 时，11 份种质被分为 4 个类别。TAS1413 为第一类，其果实农艺性状、果肉品质、果肉感官评价指标都较为优异，

但其可可豆的品质性状相比较差一些。香可 16 号和 TAS420 为第二类，其综合品质较为优异。第三类包括 TAS414 和 TAS1411，其综合排名位于第二梯队，指标不突出，但也处于优秀水平。剩余的 6 份种质属于第四类，综合品质较为一般。

3 讨论

果实质量、果壳质量、种子鲜质量、果肉含量的变异系数均在 15%以上，尤其是果肉含量的变异系数达 32.88%，表明 11 份可可种质果实差异较大，这主要与可可的基因背景复杂有关^[6]，是遗传多样性的具体体现^[22]。若以种子鲜质量与果肉含量之和除以果实质量作为经济系数^[3]，在 11 份种质中，TAS82 的经济系数最高，为 34.12%，其次是 TAS1413 和香可 16 号，分别为 33.89%、28.00%。虽然 TAS82 的经济系数最高，但其果实性状、果肉品质较差。香可 16 号、TAS1411、TAS1413 的果肉含量均高于李付鹏等^[18]所研究的 6 份种质，尤其是 TAS1413，其果肉占比达 16.38%。

所测量的 11 份可可种质中，果肉的 pH 范围在 3.30~3.90 之间，变异系数最小（4.16%），表明可可的 pH 波动范围较小，与 NUNES 等^[9]认为

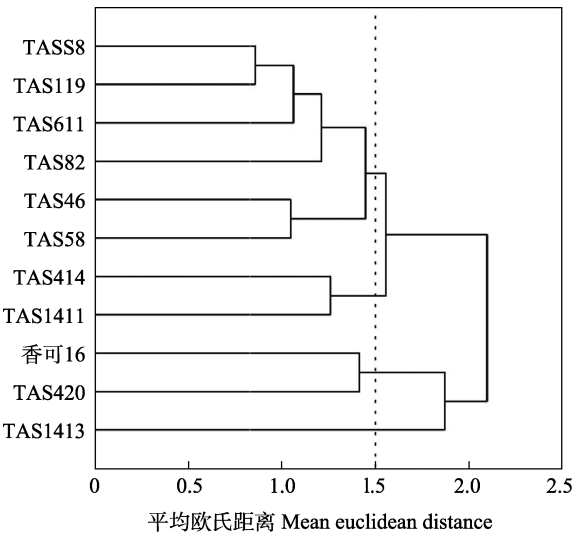


图 3 11 份可可种质果实指标聚类分析
Fig. 3 Cluster analysis of 11 cocoa germplasms fruit indexes

可可可为高酸性 ($\text{pH}<4.50$) 水果的结论相符。由于 TAS46 的总酸含量最高, 造成其酸甜感分值最低, 从而导致测评者接受度较低。在对可可果肉感官评价测评过程中, 发现其香气强度较弱, 且保留时间短。有研究表明, 海南可可果肉的挥发性成分主要是醇类和酯类, 主要表现出花香、果香和青草香, 其中 2-苯乙醇、芳樟醇的 FD 因子 (风味稀释因子) 较高, 对香味的贡献较大^[8, 13]。

在可可果成熟过程中, 果肉物质会渗入种子中, 影响巧克力风味前体物质的形成^[4, 6, 13]。有研究指出, 来源于不同产地^[8]、不同基因型^[13]和不同季节^[15]的可可果肉挥发性成分存在差异, 并影响着可可豆的风味, 因此, 果肉品质优异的可可豆具有较高市场价值^[4, 13]。在发酵前将部分果肉剥离, 用于加工鲜食、饮料等, 可提高经济效益。尽管可可豆的发酵需要果肉的参与, 但大量研究表明, 在发酵前分离部分果肉不会造成不利影响^[8, 14], 反而可改善豆子风味, 降低酸味和苦涩味, 并减少发酵时间^[4, 8]。因此, 可将部分果肉进行资源化利用, 增加收入, 以促进可可种植业发展^[10]。

可可脂和多酚的变异系数分别为 6.02%、11.37%, 低于谢薇等^[5]对 54 份可可种质所测量的变异系数 (可可脂为 11.52%, 多酚为 14.42%), 可能与样本量、样品来源地等有关。可可碱和咖啡因的比值可以作为划分三大类群 (Criollo、Forastero 和 Trinitario) 的依据, 这可能与咖啡因含量的高变异性 (变异系数为 52.91%) 有关^[21]。可可脂对于可可豆而言至关重要, 它作为发酵过程中形成风味的前体, 还决定了巧克力的物理性质和芳香质量, 使巧克力具有独特的质地和口感^[6, 17-18]。甲基黄嘌呤 (可可碱和咖啡因等) 和多酚类化合物的含量是可可的苦味和涩味的主要来源, 多酚对巧克力风味和颜色的形成至关重要^[20], 甲基黄嘌呤的还原有助于可可衍生产品的感官改善^[17]。相关研究表明, 发酵过程中, 多酚从细胞中渗出并被氧化^[20]; 而可可碱和咖啡因则通过扩散和迁移到可可豆外部而被消除^[21], 从而缓解苦味和涩味^[6, 21]。11 份种质中, TAS420 的可可脂、咖啡因含量最高, 分别为 465.64、4.09 mg/g, 使得其在主成分 3、4 中获得最高评分。TAS82 的可可碱含量最高 (16.92 mg/g), 而多酚含量最高的为香可 16 号 (68.91 mg/g)。

可可果实性状的研究较为丰富^[3, 18], 但基本都与可可豆的产量和品质性状进行相关分析, 本

研究所测量的果实性状和果肉品质的 13 个指标中, 除可溶性糖、总酸外, 其余 11 个指标间均呈正相关关系。种子质量与果实性状间均为正相关, 与前人研究一致^[3]。可可豆品质与果肉品质之间大多呈负相关关系, 并且可可脂与果肉含量呈显著负相关, 可可果实在发育、成熟过程中, 果肉的物质可能会向可可豆内转化, 可能使得它们之间存在负相关关系^[6, 13]。此外, 可可碱和多酚呈显著正相关, 故推测它们的累积过程可能是同步进行, 从而导致生豆中的苦涩味较重^[20]。

果实品质是环境、基因综合作用的结果^[25], 主成分分析的运用有利于将多种指标简化, 在果实综合评价中具有重要作用, 已广泛应用于咖啡、可可等经济作物^[5, 26]。本研究中, 主成分 1 和主成分 2 对整个主成分分析的贡献率较高, 其中, 果肉品质、果实性状中的指标对可可果实的贡献率较大。通过聚类分析, 将 11 份种质分为 4 类, 除 TAS1413 外, 其余结果与主成分结果类似。TAS1413 可能由于其可可果实性状及果肉品质都较为优异, 特别是果肉含量和种子鲜质量最高, 但可可豆品质最差, 从而导致该种质在主成分分析中评分不高, 并在聚类分析中被单独归为一类; 但其具有较大的经济系数, 并且在可可果实性状、果肉品质较为优异, 可作为可可鲜食品种培育。

综上所述, TAS420、香可 16 号、TAS414 种质在果实性状、果肉和可可豆品质均较为优异; 其中, 香可 16 号的果肉感官测评分最高, 可作为果肉和可可豆两用的高经济可可种质。

参考文献

- [1] NAIR K P. Tree crops: harvesting cash from the world's important cash crops[M]. Berlin: Springer, 2021.
- [2] 秦晓威, 郝朝运, 吴刚, 李付鹏, 赖剑雄. 可可种质资源多样性与创新利用研究进展[J]. 热带作物学报, 2014, 35(1): 188-194.
QIN X W, HAO C Y, WU G, LI F P, LAI J X. Advances on germplasm research and utilization of *Theobroma cacao* L.[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(1): 188-194. (in Chinese)
- [3] 李付鹏, 王华, 伍宝朵, 赵溪竹, 秦晓威, 赖剑雄. 可可果实主要农艺性状相关性及其产量因素的通径分析[J]. 热带作物学报, 2014, 35(3): 448-453.
LI F P, WANG H, WU B D, ZHAO X Z, QIN X W, LAI J X. Correlation analysis among main pod agronomic traits and path analysis on yield factor in cacao[J]. Chinese Journal of

- Tropical Crops, 2014, 35(3): 448-453. (in Chinese)
- [4] LÓPEZ M P, BOTINA B L, GARCÍA M C, RICO E M, ROMERO Y, PEDROZA K J, CERÓN I X. Reducing dead time and improving flavour profile by pulp conditioning of cacao beans[J]. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification, 2022, 176: 108979.
- [5] 谢薇, 赖剑雄, 秦晓威, 朱自慧, 李付鹏. 54份可可种质资源主要品质性状及相关分析[J]. 南方农业学报, 2021, 52(8): 2174-2182.
- XIE W, LAI J X, QIN X W, ZHU Z H, LI F P. Evaluation and correlation analysis of main quality traits of 54 cacao germplasm resources[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(8): 2174-2182. (in Chinese)
- [6] YANG D W, WU B D, QIN X W, ZHAO X, ZHU Z H, YAN L, ZHANG F J, WU G X, LI F P. Quality differences and profiling of volatile components between fermented and unfermented cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.) of criollo, forastero and trinitario in China[J]. Beverage Plant Research, 2024, 4(1): e010.
- [7] GUIRLANDA C P, DA SILVA G G, TAKAHASHI J A. Cocoa honey: agro-industrial waste or underutilized cocoa by-product?[J]. Future Foods, 2021, 4: 100061.
- [8] BICKEL HAASE T, SCHWEIGERT-WEISZ U, ORTNER E, ZORN H, NAUMANN S. Aroma properties of cocoa fruit pulp from different origins[J]. Molecules, 2021, 26(24): 7618.
- [9] NUNES C S, DA SILVA M L, CAMILLOTO G P, MACHADO B A, HODEL K V, KOBLITZ M G B, CARVALHO G, UETANABARO A P T. Potential applicability of cocoa pulp (*Theobroma cacao* L.) as an adjunct for beer production[J]. The Scientific World Journal, 2020, 2020.
- [10] 张华昌, 谭乐和. 鲜可可果汁饮料开发与利用研究初报[J]. 热带作物研究, 1997(3): 22-25.
- ZHANG H C, TAN L H. Preliminary report on the development and utilization of fresh cocoa juice beverage[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 1997(3): 22-25. (in Chinese)
- [11] ALDANA M Y, BUSTOS Y, ESPINOZA L A, RAMÍREZ A, NABARLATZ D A, BLANCO TIRADO C, COMBARIZA M Y. Influence of temperature and pH during cacao mucilage exudate concentration on cacao syrup composition[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2023, 58(12): 6817-6824.
- [12] KOELHER B T A, de SOUZA S M M, MIURA DA COSTA A, AGUIAR-OLIVEIRA E. Applicability of *Saccharomyces cerevisiae* strains for the production of fruit wines using cocoa honey complemented with cocoa pulp[J]. Food Technology and Biotechnology, 2022, 60(2): 192-201.
- [13] 杨德伟, 伍宝朵, 朱自慧, 秦晓威, 王婧瑜, 闫林, 李付鹏. 不同类群可可果肉挥发性成分分析[J]. 中国热带农业, 2022(4): 40-48.
- YANG D W, WU B D, ZHU Z H, QIN X W, WANG J Y, YAN L, LI F P. Analysis of volatile components in different groups of cocoa fruit pulp[J]. China Tropical Agriculture, 2022(4): 40-48. (in Chinese)
- [14] KLIS V, PÜHN E, JERSCHOW J J, FRAATZ M A, ZORN H. Fermentation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) pulp by *laetiporus persicinus* yields a novel beverage with tropical aroma[J]. Fermentation, 2023, 9(6): 533.
- [15] HEGMANN E, NIETHER W, PHILLIPS W, ROHSIUS C, LIEBEREI R. Besides variety, also season and ripening stage have a major influence on fruit pulp aroma of cacao (*Theobroma cacao* L.)[J]. Journal of Applied Botany & Food Quality, 2020, 93: 266-275.
- [16] RODRÍGUEZ-CASTRO R, GUERRERO R, VALERO A, FRANCO-RODRIGUEZ J, POSADA-IZQUIERDO G. Cocoa mucilage as a novel ingredient in innovative kombucha fermentation[J]. Foods, 2024, 13(11): 1636.
- [17] BALCÁZAR-ZUMAETA C R, CASTRO-ALAYO E M, CAYO-COLCA I S, IDROGO-VÁSQUEZ G, MUNOZ-ASTECKER L D. Metabolomics during the spontaneous fermentation in cocoa (*Theobroma cacao* L.): an exploratory review[J]. Food Research International, 2023, 163: 112190.
- [18] 李付鹏, 伍宝朵, 吴刚, 朱自慧, 秦晓威, 赖剑雄. 6个不同可可品系(品种)比较试验[J]. 热带作物学报, 2021, 42(6): 1625-1631.
- LI F P, WU B D, WU G, ZHU Z H, QIN X W, LAI J X. Comparison experiment of six different cacao (*Theobroma cacao* L.) strains/varieties[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(6): 1625-1631. (in Chinese)
- [19] ROJO-POVEDA O, BARBOSA-PEREIRA L, ZEPPA G, STÉVIGNY C. Cocoa bean shell: a by-product with nutritional properties and biofunctional potential[J]. Nutrients, 2020, 12(4): 1123.
- [20] BARIŠIĆ V, KOPJAR M, JOZINOVIĆ A, FLANJAK I, AČKAR, MILIČEVIĆ B, ŠUBARIĆ D, JOKIĆ S, BABIĆ J. The chemistry behind chocolate production[J]. Molecules, 2019, 24(17): 3163.
- [21] PELÁEZ P P, BARDÓN I, CAMASCA P. Methylxanthine and catechin content of fresh and fermented cocoa beans, dried cocoa beans, and cocoa liquor[J]. Scientia Agropecuaria, 2016, 7(4): 355-365.
- [22] 兰秀, 阮丽霞, 马仙花, 杨海霞, 李恒锐, 梁振华, 黄小娟, 张秀芬, 周春衡. 基于主要农艺性状的 25 份凉粉草种质资源遗传多样性分析与综合评价[J]. 山东农业科学, 2023, 55(11): 57-64.

- LAN X, RUAN L X, MA X H, YANG H X, LI H R, LIANG Z H, HUANG X J, ZHANG X F, ZHOU C H. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of 25 *Mesona chinensis* germplasm resources based on main agronomic characters[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2023, 55(11): 57-64. (in Chinese)
- [23] 何勤勤, 黄新敏, 赖丽娴, 钟声, 陈广全, 冯声海, 韩寒冰. 4 个抗枯萎病香蕉品种果实性状和品质比较[J]. 热带作物学报, 2021, 42(3): 782-788.
- HE Q Q, HUANG X M, LAI L X, ZHONG S, CHEN G Q, FENG S H, HAN H B. Comparing the fruit characteristics and quality of four *Fusarium* wilt-resistant varieties of banana[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(3): 782-788. (in Chinese)
- [24] 汤雯. 可可多酚主要成分鉴定及其体外抗氧化活性评价[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- TANG W. Verification and analysis of in vitro antioxidation activity of main ingredients in cocoa polyphenols[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012. (in Chinese)
- [25] 贾朝爽, 孙世民, 谭焕光, 栾福健, 王文辉, 王志华. 12 个苹果品种基于 19 项果实品质指标的综合评价[J]. 中国南方果树, 2024, 53(1): 150-156.
- JIA C S, SUN S M, TAN H G, LUAN F J, WANG W H, WANG Z H. Comprehensive evaluation of twelve apple varieties based on nineteen quality indexes[J]. South China Fruits, 2024, 53(1): 150-156. (in Chinese)
- [26] 何安乐, 黄丽芳, 胡丽松, 庞永青, 王晓阳, 伍宝朵, 董云萍, 闫林, 李学俊. 42 份海南咖啡种质资源品质性状鉴定分析[J]. 分子植物育种, 2024, 22(3): 871-880.
- HE A L, HUANG L F, HU L S, PANG Y Q, WANG X Y, WU B D, DONG Y P, YAN L, LI X J. Identification and analysis of quality traits of 42 Hainan coffee germplasm resources[J]. Molecular Plant Breeding, 2024, 22(3): 871-880. (in Chinese)