

基于花粉微观特征的芒果属种质孢粉学研究及聚类分析

罗世杏, 覃昱茗, 黄国弟, 唐玉娟*, 张 宇, 李日旺

广西壮族自治区农业科学院/广西壮族自治区芒果产业绿色高效发展工程研究中心, 广西南宁 530007

摘 要: 芒果属全球约有 69 个种, 我国主要分布有 8 个种。我国悠久的芒果栽培历史形成许多具有地方特色的天然杂交种。芒果在不断与环境协调发展的过程中, 枝叶、果实等外观形态发生了一定的变化, 其花粉在保持遗传保守性和稳定性下却形成了独特的形态特征。为了深入研究芒果属植物花粉形态的分类学意义, 理清芒果天然杂交种之间的系统发育关系, 本研究基于花粉微观特征, 对芒果属种质开展孢粉学研究及遗传关系分析。利用扫描电镜系统观察芒果属 2 个种 32 份芒果材料的花粉外部形态和花粉外壁纹饰等形态特征, 在此基础上, 对花粉 6 个数量性状进行聚类分析。结果表明: 32 份芒果种质花粉均属于 N3P4C5 型, 极面观呈 3 裂三角形, 赤道面观呈近椭圆形, 萌发沟孔为 3 条, 萌发沟孔开裂度几乎到达花粉粒的两极; 各材料的花粉形状大小、萌发脊宽窄、花粉纹饰、花粉外壁网孔密度和大小均存在差异; 条纹状或网状纹饰和纹孔布满花粉粒表面, 大多数芒果花粉属于网状纹饰, 网孔形状多样, 主要是圆形和长条形, 纹脊粗糙, 网孔分布密度在不同材料间存在差异。根据花粉粒大小、花粉形态、萌发脊宽、网孔大小和网孔密度等数量性状对参试材料进行聚类分析, 32 份芒果种质在相似距离为 15 时可分成三大类群, 来自东南亚的马切苏、暹罗芒、仁和吕宋等芒果资源在谱系图中聚为一类, 显示出一定的地域特征; 萌发脊较窄的云南土芒、布鲁斯和象牙芒 26 号聚为一类; 扁桃、收集的扁桃-芒与国内常见芒果栽培种聚为一类。原始的野生种白花本地芒与扁桃 1 号、扁桃 2 号、扁桃 3 号、扁桃 4 号聚为一组, 该类资源具有原始型、野生型的特点。本研究可为芒果花粉形态的分类、亲缘关系和演化研究提供孢粉学依据。

关键词: 芒果属; 花粉形态; 电镜扫描; 聚类分析

中图分类号: S666.5 文献标识码: A

Palynological Study and Cluster Analysis of *Mangifera* Germplasm Based on Pollen Microscopic Characteristics

LUO Shixing, QIN Yuming, HUANG Guodi, TANG Yujuan*, ZHANG Yu, LI Riwan

1. Guangxi Academy of Agricultural Sciences / Guangxi Zhuang Autonomous Region Engineering Research Center of Green and Efficient Development for Mango Industry, Nanning, Guangxi 530007, China

Abstract: There are about 69 species of *Mangifera* in the world, and 8 species are mainly distributed in China. The long history of mango cultivation in China has resulted in many natural hybrids with local characteristics. In the process of continuous coordinated development with the environment, the appearance of mango, such as branches, leaves and fruits, has changed to some extent, but its pollen has formed unique morphological characteristics while maintaining genetic conservatism and stability. In order to further study the taxonomic significance of the pollen morphology of mango plants and clarify the phylogenetic relationship between mango natural hybrids, this study carried out palynological research and genetic relationship analysis on mango germplasm based on the microscopic characteristics of pollen, and observed the pollen morphology and pollen exine ornamentation of 32 mango materials from two species of mango using scanning electron microscopy. On this basis, cluster analysis was carried out on six quantitative characters of pollen. The results showed that the pollen of 32 the mango germplasms belonged to N3P4C5 type. The polar view was 3-split

收稿日期 2022-09-21; 修回日期 2022-11-03

基金项目 国家重点研发计划项目 (No. 2019YFD1001103)。

作者简介 罗世杏 (1983—), 女, 硕士, 高级农艺师, 研究方向: 芒果种质资源收集、保存与利用。*通信作者 (Corresponding author): 唐玉娟 (TANG Yujuan), E-mail: 67222049@qq.com。

triangle, and the red view was nearly elliptical. There were three germination grooves, which almost reached both ends; There were differences in the shape and size of pollen, the width of germination ridge, pollen ornamentation, the density and size of pollen outer wall mesh among the materials. Stripes or reticular ornamentation and pits were all over the surface of pollen grains. Most mango pollen belongs to reticular ornamentation. Mesh shapes were diverse, mainly circular and long, with rough ridges. Mesh distribution density varied among different materials. According to the cluster analysis of quantitative characters such as pollen grain size, pollen morphology, germination ridge width, mesh size and mesh density, the 32 mango germplasms could be divided into three groups when the similarity distance was 15. Mango resources from Southeast Asia, such as Machesu *M. indica*, Siam Mango *M. indica*, Ren He Carabao *M. indica*, were clustered into one group in the pedigree map, showing certain regional characteristics; Yun Nan Tu Mango *M. indica*, Bruce Mango *M. indica* and Amemwins No.26 *M. indica* with narrow germination ridge were divided into one type; *M. persiciformis*, collected *M. persiciformis* and common domestic *M. indica*. cultivation species were grouped into one group. The original wild species, Bai Hua *M. indica*, was grouped with No.1 *M. persiciformis*, No.2 *M. persiciformis*, No.3 *M. persiciformis*, and No.4 *M. persiciformis*. The resource had the characteristics of primitive and wild types. This study would provide palynological basis for the classification, genetic relationship and evolution of mango pollen morphology.

Keywords: *Mangifera*; pollen morphology; scanning electron microscopy; cluster analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.01.005

漆树科 (Anacardiaceae) 芒果属 (*Mangifera*), 约有 69 个种^[1]。芒果在我国栽培历史悠久, 传统栽培生产过程中存在许多天然杂交种, 形成了野生、半野生和野生近源种等独具特色的地方资源。目前在芒果遗传多样性分析、指纹图谱构建等方面仍以 SSR^[2]、SRAP^[3-4]及 ISSR^[4]等分子标记的手段分析为主, 而分子标记本身受环境条件、标记类型等差异而导致分析结果不稳定。许文天等^[1]和施宗明等^[5]简要描述过花粉量及花粉形态特征, 但未深入描述花粉超微形态特征, 花粉形态指标且品种数量涉及范围也较小。芒果花粉超微结构在植物系统分类的研究报道较少。植物随着漫长的历史演变而不断与环境协调发展, 其花粉在保持遗传保守性和稳定性下形成了独特的形态特征, 国内外许多专家对柚^[6]、枣^[7]、菊芋^[8]、悬钩子^[9]、梨^[10]等树种的花粉形态进行观察, 对其品种的分类鉴定、起源演化等方面进行了研究。对芒果属植物进行聚类分析前, 先把花粉形态学特征的观测数据采用数量化分析的手段进行结构化处理, 该方式可成为人们对芒果属植物进行科学研究的一个新手段^[11]。本研究对芒果属 2 个种 32 份种质资源花粉进行调查, 可在孢粉学领域为芒果的系统分类、优特品种选育提供研究依据。

1 材料与方法

1.1 材料

32 份供试芒果花粉均于 2021 年采自广西亚热带作物研究所芒果种质资源圃 (表 1)。于盛花

期随机采集树冠外围不同方向中上部雄蕊成熟的正常花朵, 用灭菌镊子将成熟破裂的灰白色花药放入电镜固定液中, 摇匀固定后, 4 ℃低温保存备用。

1.2 方法

花电镜观察方法参照方仁等^[12]的方法, 选择紫红色的花朵, 将成熟的灰白色花粉进行脱水处理并干燥, 用离子溅射仪对导电胶上紧贴的干燥花粉进行真空喷金镀膜、移入发射扫描电镜观察并拍照。每份芒果供试材料均选取具有代表性的视野观察记录 8 个花粉形态特征数据, 每个特征 3 次重复。300 倍观察花粉粒的群体形态, 3000 倍观察花粉的极面和赤道面, 15 000 倍观察花粉的外壁纹饰特征, 并测量极轴长 (P)、赤道轴长 (E)、萌发脊宽度 (W) 及网孔直径 (D) 大小。花粉粒的形状用极轴长和赤道轴长的比值来表示 (P/E), $1.14 < P/E \leq 2$ 为长球形, $0.88 < P/E \leq 1.14$ 为近球形, $0.50 < P/E \leq 0.88$ 为扁球形, $P/E \leq 0.5$ 为超扁球形^[13]。

1.3 数据处理

利用 Excel 软件计算平均值和标准差; 选取极轴长、赤道轴长、萌发脊宽度、网孔直径、网孔密度值共 5 个定量特征用 IBM SPSS 19.0 软件的组间联接法进行系统聚类分析。

2 结果与分析

2.1 芒果属花粉形态特征比较

由图 1A~图 1C 可知, 供试芒果花粉粒形状规

表 1 供试的芒果材料
Tab. 1 Mango materials used in this study

编号 Code	种质名称 Germplasm name	编号 Code	种质名称 Germplasm name
1	白花本地芒 Bai Hua <i>M. indica</i>	17	桂热芒 23 号 Gui Re Mango No.23 <i>M. indica</i>
2	扁桃 1 号 No.1 <i>M. persiciformis</i>	18	象牙芒 26 号 Amemwins No.26 <i>M. indica</i>
3	台农 1 号 Tainong No.1 <i>M. indica</i>	19	云南土芒 Yun Nan Tu Mango <i>M. indica</i>
4	南逗迈 4 号 Nam Dor Mai No.4 <i>M. indica</i>	20	龙眼香芒 Long Yan Xiang Mango <i>M. indica</i>
5	金煌芒 Jin Huang Mango <i>M. indica</i>	21	帕拉英达 Myahinthta Mango <i>M. indica</i>
6	扁桃 2 号 No.2 <i>M. persiciformis</i>	22	布鲁斯 Bruce Mango <i>M. indica</i>
7	百东扁桃-芒 19-26 BaiDong No.19-26 <i>M. persiciformis</i>	23	扁桃 3 号 No.3 <i>M. persiciformis</i>
8	百东扁桃-芒 19-24 BaiDong No.19-24 <i>M. persiciformis</i>	24	土芒 Tu Mango <i>M. indica</i>
9	百东扁桃-芒 19-16 BaiDong No.19-16 <i>M. persiciformis</i>	25	秋实 1 号 QiuShi No.1 <i>M. indica</i>
10	恒宁扁桃-芒 19-3 HengNing No.19-3 <i>M. persiciformis</i>	26	桂热芒 289 号 Gui Re Mango No.289 <i>M. indica</i>
11	百东扁桃-芒 19-13 BaiDong No.19-13 <i>M. persiciformis</i>	27	扁桃 4 号 No.4 <i>M. persiciformis</i>
12	百东扁桃-芒 19-12 BaiDong No.19-12 <i>M. persiciformis</i>	28	暹罗芒 Siam Mango <i>M. indica</i>
13	百东扁桃-芒 19-27 BaiDong No.19-27 <i>M. persiciformis</i>	29	四季蜜芒 Chok Anand Mango <i>M. indica</i>
14	桂热芒 82 号 Gui Re Mango No.82 <i>M. indica</i>	30	仁和吕宋 Ren He Carabao <i>M. indica</i>
15	东水一号 Dong Shui No.1 <i>M. indica</i>	31	红花本地芒 Hong Hua Mango <i>M. indica</i>
16	马切苏 Machesu <i>M. indica</i>	32	紫薇芒 Zi Wei Mango <i>M. indica</i>

则，大小匀称，均为 3 条花粉萌发孔沟，大部分花粉粒萌发沟孔开裂度几乎到达花粉粒的两极，萌发沟以等间距环状分布，萌发点凸起。对照 NPC 分类系统可知芒果花粉属于 N3P4C5 型。其赤道观大多数为椭圆形，萌发孔呈裂开状；其极面观为 3 裂三角形；条纹状或网状纹饰和纹孔布满花粉粒表面。芒果花粉的形状大小、萌发脊宽窄、网孔直径和密度存在不同程度的差异。32 个芒果材料花粉除白花本地芒、百东扁桃-芒 19-24 花粉粒的沟孔在极面有轻微的汇合外，其他花粉粒沟孔在极面均不汇合。根据花粉性状 *P/E* 分级标准，云南土芒 *P/E* 值为 1.56，属长球形花粉；扁桃 1 号、扁桃 2 号、东水一号、桂热芒 23 号、扁桃 3 号、土芒、扁桃 4 号、四季蜜芒和紫薇芒等 9 份材料花粉 *P/E* 值范围 0.76~0.87，属扁球形花粉，其余的 22 份芒果材料属于近球形花粉。从赤道轴长看，云南土芒的最小，为 15.05 μm，显著小于其他芒果资源。从萌发脊宽来看，象牙芒 26 号最小，为 13.77 μm，与恒宁扁桃-芒 19-3、百东扁桃-芒 19-27、桂热芒 82 号、云南土芒、龙眼香芒、布鲁斯和秋实 1 号无差异，但显著小于其余 24 份芒果资源。从网孔密度来看，马切苏、暹罗芒网孔密度均为 37 μm²，与百东扁桃-芒 19-26、恒宁扁桃-芒 19-3、百东扁桃-芒 19-13、百东扁桃-芒 19-12、百东扁桃-芒 19-27、东水一号、象牙芒 26 号、龙眼香芒、帕拉英达、土芒、秋实 1 号、桂

热芒 289 号、四季蜜芒、仁和吕宋和红花本地芒无差异，但显著大于其余 15 份芒果资源。

2.2 芒果属花粉的外壁纹饰

从图 1D 可见，从花粉外壁纹饰来看，大多数芒果花粉属于网状纹饰，网孔形状多样，主要是圆形和长条形，纹脊粗糙，网孔分布密度在不同材料间存在差异。32 个供试芒果种质材料花粉壁的表面纹饰都非常明显，但网纹特征存在一定的差异，且萌发脊宽窄不一。大致可将这 32 个芒果花粉壁的纹饰分为以下 4 类：（1）花粉粒极轴部呈网状纹饰，赤道面纹饰纵向成条纹状，与网纹结合。网孔呈圆形或者超长圆形，大小，形状差异大，网孔深。如白花本地芒（图 1D-1）、扁桃 1 号（图 1D-2）、扁桃 2 号（图 1D-6）、云南土芒（图 1D-19）、帕拉英达（图 1D-21）、布鲁斯（图 1D-22）、土芒（图 1D-4）、秋实 1 号（图 1D-25）、桂热芒 289 号（图 1D-26）、扁桃 3 号（图 1D-23）、扁桃 4 号（图 1D-27）。（2）网纹呈脑纹状，纹路大而凸起，网孔较小，网孔密度稀疏，花粉粒表面粗糙，如金煌芒（图 1D-5）、百东扁桃-芒 19-24（图 1D-8）、百东扁桃-芒 19-16（图 1D-9）、恒宁扁桃-芒 19-3（图 1D-10）、马切苏（图 1D-16）、象牙芒 26 号（图 1D-18）、紫薇芒（图 1D-32）、仁和吕宋（图 1D-30）、暹罗芒（图 1D-28）。（3）花粉粒极面和赤道面均为网纹状，网孔呈近圆形，大小相对均匀，如台农 1 号（图 1D-3）、南逗迈 4

表 2 不同芒果种质花粉形态特征比较
Tab. 2 Pollen morphology of different mango germplasms

序号 No.	品种 Variety	极轴长 Polar axis/ μm	赤道轴长 Equator axis/ μm	P/E	萌发脊宽 Mesh ridge width/ μm	网孔密度 Pores density / μm^2	网孔直径 Perforation diameter/ μm	花粉形状 Pollen shape
1	白花本地芒	24.35±1.22 ^{ab}	24.69±1.52 ^a	0.99	24.26±1.12 ^a	18±2 ^{bc}	0.26±0.10 ^{abc}	近球形
2	扁桃 1 号	22.62±1.32 ^{abcd}	25.87±0.98 ^a	0.87	24.76±1.05 ^a	18±1 ^{bc}	0.15±0.02 ^{abc}	扁球形
3	台农 1 号	22.24±1.05 ^{abcd}	22.38±1.21 ^a	0.99	23.84±1.03 ^a	16±1 ^c	0.27±0.03 ^{ab}	近球形
4	南逗迈 4 号	21.34±1.23 ^{abcd}	22.98±1.23 ^a	0.93	22.29±1.08 ^{ab}	19±2 ^{bc}	0.26±0.02 ^{abc}	近球形
5	金煌芒	20.65±0.90 ^{abcd}	21.97±1.20 ^{ab}	0.94	21.67±1.21 ^{ab}	14±1 ^c	0.19±0.03 ^{abc}	近球形
6	扁桃 2 号	21.94±1.23 ^{abcd}	25.73±0.97 ^a	0.85	23.87±1.30 ^a	16±1 ^c	0.25±0.10 ^{abc}	扁球形
7	百东扁桃-芒 19-26	19.22±1.21 ^{bcd}	20.30±1.02 ^{abcd}	0.95	20.10±1.17 ^{abc}	21±2 ^{abc}	0.16±0.06 ^{abc}	近球形
8	百东扁桃-芒 19-24	18.73±1.02 ^a	22.33±1.03 ^a	0.84	22.00±0.97 ^{ab}	11±1 ^c	0.20±0.02 ^{abc}	近球形
9	百东扁桃-芒 19-16	21.83±1.20 ^{abcd}	22.16±1.02 ^a	0.99	21.00±1.11 ^{ab}	10±1 ^c	0.21±0.05 ^{abc}	近球形
10	恒宁扁桃-芒 19-3	21.83±1.32 ^{abcd}	21.38±1.32 ^{abc}	1.02	19.63±0.96 ^{abcd}	26±2 ^{abc}	0.12±0.02 ^{bc}	近球形
11	百东扁桃-芒 19-13	18.61±1.03 ^{cd}	21.10±1.35 ^{abc}	0.88	20.13±0.54 ^{abc}	28±3 ^{abc}	0.10±0.06 ^c	近球形
12	百东扁桃-芒 19-12	21.14±1.07 ^{abcd}	20.68±1.23 ^{abcd}	1.02	20.06±0.68 ^{abc}	20±2 ^{abc}	0.20±0.07 ^{abc}	近球形
13	百东扁桃-芒 19-27	19.21±1.09 ^{bcd}	20.33±1.22 ^{abcd}	0.94	19.08±0.75 ^{abcd}	24±2 ^{abc}	0.13±0.03 ^{bc}	近球形
14	桂热芒 82 号	17.54±1.22 ^d	19.98±1.17 ^{abcd}	0.88	18.32±0.78 ^{abcd}	20±1 ^{bc}	0.14±0.06 ^{bc}	近球形
15	东水一号	22.83±0.97 ^{abc}	23.53±1.09 ^a	0.85	22.13±0.76 ^{ab}	27±3 ^{abc}	0.14±0.02 ^{bc}	扁球形
16	马切苏	20.44±1.02 ^{bcd}	22.76±1.06 ^a	0.90	20.34±0.85 ^{abc}	37±3 ^a	0.14±0.02 ^{bc}	近球形
17	桂热芒 23 号	18.90±1.08 ^{cd}	24.82±0.98 ^a	0.76	24.04±0.54 ^a	19±2 ^{bc}	0.16±0.05 ^{abc}	扁球形
18	象牙芒 26 号	18.22±1.11 ^{cd}	17.04±0.97 ^{abcd}	1.06	13.77±0.64 ^d	24±2 ^{abc}	0.20±0.05 ^{abc}	近球形
19	云南土芒	23.44±1.21 ^{abc}	15.05±1.02 ^{bcd}	1.56	14.66±0.81 ^{cd}	10±1 ^c	0.32±0.02 ^a	长球形
20	龙眼香芒	22.16±1.22 ^{abcd}	20.32±1.03 ^{abcd}	1.09	19.81±0.75 ^{abcd}	24±2 ^{abc}	0.25±0.07 ^{abc}	近球形
21	帕拉英达	22.21±1.34 ^{abcd}	22.68±1.16 ^a	0.98	22.15±0.87 ^{ab}	24±2 ^{abc}	0.16±0.03 ^{abc}	近球形
22	布鲁斯	22.44±0.97 ^{abcd}	22.80±1.09 ^{abcd}	0.98	14.70±0.69 ^{cd}	15±1 ^c	0.25±0.08 ^{abc}	近球形
23	扁桃 3 号	21.37±0.78 ^{abcd}	25.14±1.06 ^a	0.85	22.11±1.02 ^a	18±3 ^{bc}	0.19±0.02 ^{abc}	扁球形
24	土芒	19.37±0.79 ^{bcd}	23.59±0.99 ^a	0.82	22.09±1.13 ^{ab}	27±1 ^{abc}	0.15±0.04 ^{abc}	扁球形
25	秋实 1 号	20.33±0.78 ^{bcd}	19.68±1.03 ^{abcd}	1.03	17.01±1.08 ^{bcd}	22±2 ^{abc}	0.20±0.05 ^{abc}	近球形
26	桂热芒 289 号	21.60±1.03 ^{abcd}	22.74±0.97 ^a	0.95	21.91±0.97 ^{ab}	25±1 ^{abc}	0.20±0.05 ^{abc}	近球形
27	扁桃 4 号	21.31±1.02 ^{abc}	24.25±1.06 ^a	0.87	22.89±0.96 ^{ab}	18±1 ^{bc}	0.24±0.08 ^{abc}	扁球形
28	暹罗芒	21.70±1.26 ^{abcd}	21.76±1.06 ^{ab}	1.00	21.31±0.52 ^{ab}	37±3 ^a	0.15±0.04 ^{abc}	近球形
29	四季蜜芒	20.35±1.23 ^{bcd}	24.01±1.05 ^a	0.85	24.57±1.03 ^a	21±2 ^{abc}	0.17±0.03 ^{abc}	扁球形
30	仁和吕宋	22.41±1.24 ^{abcd}	23.03±0.89 ^a	0.97	22.69±1.05 ^{ab}	36±2 ^{ab}	0.16±0.03 ^{abc}	近球形
31	红花本地芒	21.64±1.22 ^{abcd}	23.75±1.21 ^a	0.91	23.17±1.09 ^{ab}	26±2 ^{abc}	0.19±0.06 ^{abc}	近球形
32	紫薇芒	20.58±1.03 ^{abcd}	23.63±1.25 ^a	0.87	23.13±0.99 ^{ab}	13±1 ^c	0.27±0.04 ^{abc}	扁球形

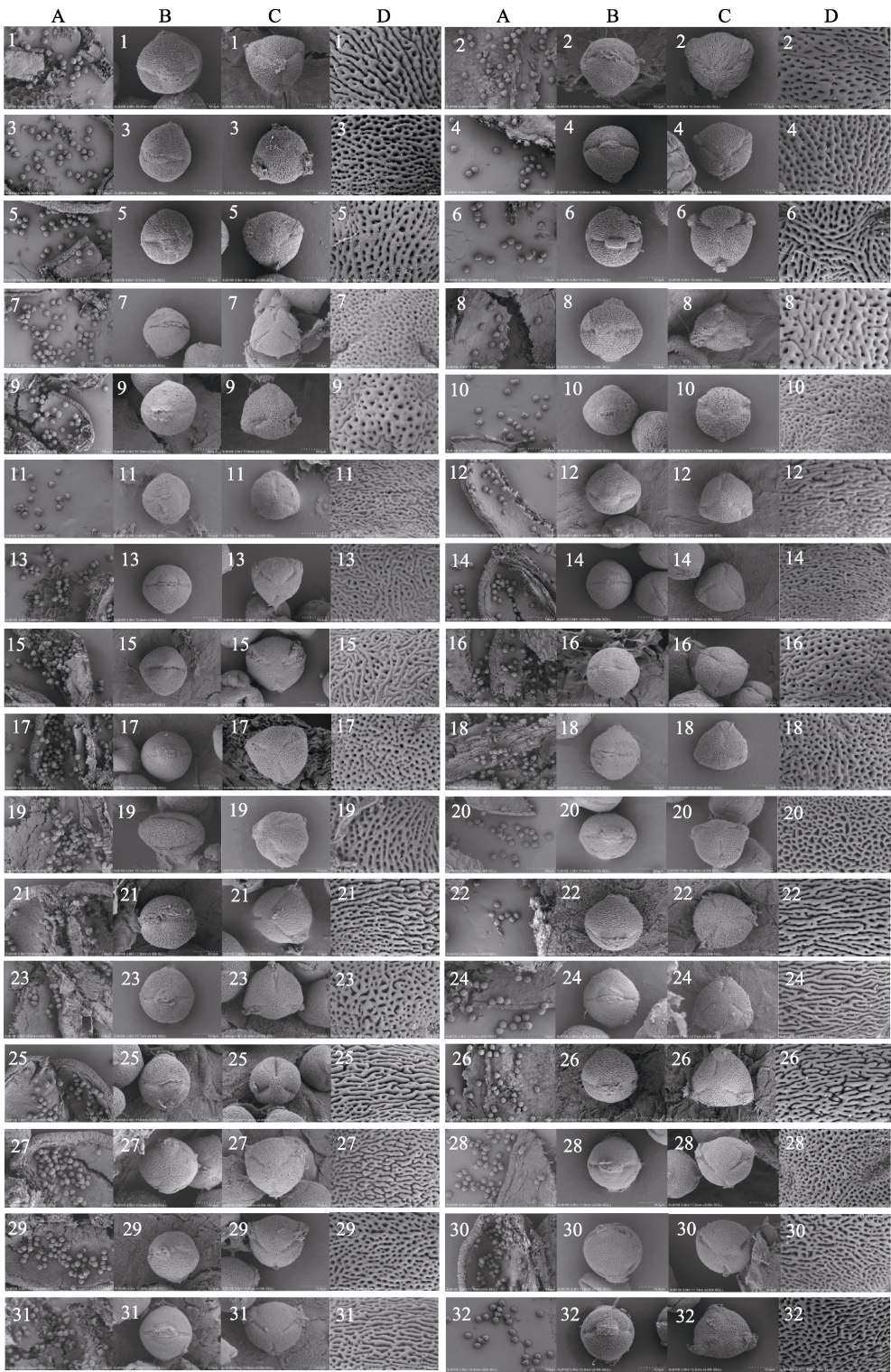
注：同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$).

号 (图 1D-4)、龙眼香芒 (图 1D-20)、四季蜜芒 (图 1D-29)、桂热芒 23 号 (图 1D-17)、红花本地芒 (图 1D-31); 条纹状纹饰呈交叉弯曲, 纹脊粗大且连片, 偶见纹孔。如百东扁桃-芒 19-26 (图 1D-7)、百东扁桃-芒 19-13 (图 1D-11)、百东扁桃-芒 19-12 (图 1D-12)、百东扁桃-芒 19-27 (图 1D-13)、桂热芒 82 号 (图 1D-14)、东水一号 (图 1D-15)。

2.3 芒果花粉形态特征数量性状的聚类分析

根据表 2 中的极轴长/赤道轴长 (P/E)、萌发脊宽、网孔密度等 6 个花粉形态特征数量性状, 对 32 份芒果材料进行聚类分析。在相似距离为 15 时, 32 份芒果材料分为三大类群 (图 2)。

第一类包括马切苏、暹罗芒、仁和吕宋 3 份材料, 这 3 份材料都是来自东南亚的品种, 从聚类图来看, 其亲缘关系较接近。脑纹, 其网孔直



A: 群体观; B: 极面观; C: 赤道面观; D: 外壁纹饰; 1~32: 种质编号。
A: Group view; B: Polar view; C: Equatorial view; D: Pollen exine ornamentation; 1~32: germplasm codes.

图 1 不同芒果种质花粉形态扫描电镜观察结果

Fig. 1 SEM images of pollen morphology in different mango germplasms

径较小，网孔密度较大。第二类是云南土芒、布鲁斯和象牙芒 26 号，其萌发脊宽度较窄。其余的 26 份芒果资源归为第三类，其中扁桃 1 号、扁桃

2 号、扁桃 3 号和白花本地芒单独成组，该组是最原始的野生芒果，其花粉纹饰是网纹和条纹的结合；四季蜜芒、南逗迈 4 号和桂热芒 23 号聚为

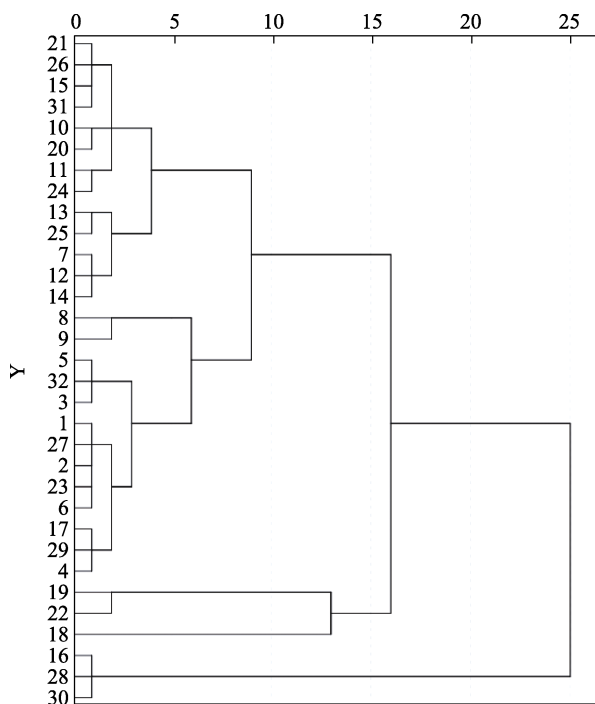


图 2 不同芒果种质花粉形态聚类分析结果

Fig. 2 Cluster class figure of pollen quantitative character of mango germplasms

一组，其花粉粒纹饰为网纹纹饰，网孔近圆形，大小相对均匀。

3 讨论

携带大量遗传信息的花粉使植物在进化过程中保持较强的保守性和稳定性，为利用孢粉学进行遗传关系的分析提供了理论依据^[14]。近年来属间及种间的分类研究工作已经在部分作物中展开，并已见利用孢粉学手段开展亲缘关系研究的报道。张梅等^[15]对绣球属及近缘属花粉形态的研究表明绣球属的近缘种属花粉形态的变异范围被绣球属植物花粉形态的变异幅度覆盖了，且绣球属花粉特征性状在种内变异相对稳定，而种间差别明显。

本研究中参试的 32 份芒果种质资源分属 2 个种，其花粉在微观形态学上表现出一定的共性，其赤道观为圆形或椭圆形，呈裂开状；其极面观为 3 裂三角形；表面具脑纹状、条纹状或网状纹饰，属于 N3P4C5 型。但各芒果资源在花粉粒大小、萌发脊宽等指标存在着一定的差异，大小、深浅、疏密不等的穿孔分布在花粉粒表面。花粉粒大小与品种演化存在一定的关系，陈薇薇等^[16]对当归属植物的研究显示花粉演化趋势经历了原始、中等进化和进化 3 种类型，花粉粒的极轴变

长，形状由球形向超长球形演变。本研究通过电镜扫描观察发现，芒果属花粉粒主要为近球形或扁球形，只有云南土芒的花粉形状为长球形，这一现象与其研究不一致，可能是因为目前的芒果栽培种遗传关系复杂，是经过长年的自然杂交和人工杂交育种而得。

芒果属芒果种在我国已有上千年的栽培种植史，在多年的驯化引种过程中，可能存在亲缘关系背景杂合等现象，较近地区的大范围引种植使得这些芒果种 (*M. indica* L.) 资源与本土的芒果属扁桃种 (*M. persiciformis* C.) 资源可能产生了自然杂交，存在适应性进化，形成了扁桃-芒。扁桃-芒的外观表型例如叶片呈现出扁桃种的表观性状，叶薄革质，狭披针形或线状披针形，长 11~20 cm，宽 2~2.8 cm^[17]。但其在孢粉学形态上与芒果种更为接近。本研究中观察发现百东扁桃-芒 19-13 号与龙眼香芒聚在一起、桂热芒 82 号在遗传相似系数为 3 时与秋实一号聚在一起，同时与其聚为一类的还有百东扁桃-芒 19-27、百东扁桃-芒 19-26、百东扁桃-芒 19-12，而桂热芒 82 号与秋实一号都是印度芒 901 的实生后代，这表明了扁桃种和芒果种之间可能不存在杂交障碍。

根据花粉粒大小、花粉形态、萌发脊宽、网孔大小和网孔密度等数量性状对参试材料进行聚类分析，在相似距离为 15 时，32 份芒果属资源可分为三大类群。32 个芒果属种质资源花粉形态特征具有一定的共性，同时来源地较为接近的芒果属种质资源在进化树上被聚为一类，例如马切苏、暹罗芒、仁和吕宋等东南亚来源地的芒果属资源划分特征较为一致，显示出一定的地域特征，在谱系图中聚为一类，这与采用 SRAP 分子标记手段进行分类的结果基本一致^[3]。而白花本地芒、扁桃 1 号、扁桃 2 号、扁桃 3 号、扁桃 4 号的资源具有一定的相似性，该类资源具有原始型、野生型的特点。

芒果属资源的高度杂合背景使其花粉具有一定共性，为其分类和利用带来一定困难。因此，芒果种质资源花粉的电镜分析结果可以作为芒果鉴定分类的依据之一。但从对分类学的角度来看，单凭花粉形态对遗传背景高度复杂的芒果属资源进行数量化分类，还不能确定其分类地位，因此必须还要结合其各自的生物学特性对芒果属种质资源的鉴定和分类进行确认。总体而言，采用孢粉学手段，利用基因学、分子生物学和细胞学方

法, 结合芒果生物学性状进行综合分析揭示芒果属种质资源的亲缘演化关系, 对高度进化的芒果属资源分类研究更有现实意义。

参考文献

- [1] 许文天, 武红霞, 李丽, 梁清志, 罗纯, 姚全胜, 王松标. 53个芒果品种(系)花粉量的差异与聚类分析[J]. 热带农业科学, 2018, 38(10): 26-30.
XU T W, WU H X, LI L, LIANG Z Q, LUO C, YAO Q S, WANG S B. Genetic differences and cluster analysis of pollen quantity of 53 mango cultivars[J]. Chinese Journal of tropical agriculture, 2018, 38(10): 26-30. (in Chinese)
- [2] 王静毅, 王家保, 武耀廷, 黄国弟, 周俊岸, 李日旺. 广西主要芒果资源遗传关系的 SSR 分析[J]. 热带作物学报, 2009, 30(9): 1301-1307.
WANG J Y, WANG J B, WU Y T, HUANG G D, ZHOU J A, LI R W. Analysis of genetic diversity of major accessions of mango (*Mangifera indica* L.) in Guangxi using SSR markers[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2009, 30(9): 1301-1307. (in Chinese)
- [3] 罗世杏, 唐玉娟, 黄国弟, 宋恩亮, 何江, 宁琳, 赵英. 利用SRAP分子标记分析芒果种质遗传多样性[J]. 热带作物学报, 2018, 39(12): 2369-2376.
LUO S X, TANG Y J, HUANG G D, SONG E L, HE J, NING L, ZHAO Y. Genetic diversity analysis of mango germplasm using SRAP markers[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(12): 2369-2376. (in Chinese)
- [4] 张宇, 黄国弟, 黄强. 部分芒果种质资源遗传多样性的SRAP和ISSR分析[J]. 西南农业学报, 2016, 29(9): 2045-2051.
ZHANG Y, HUANG G D, HUANG Q. Analysis on genetic relationship of some mango (*Mangifera indica* L.) germplasms by SRAP markers and ISSR markers[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(9): 2045-2051. (in Chinese)
- [5] 施宗明, 范晖天. 芒果品种的花粉形态[J]. 云南植物研究, 1998, 20(1): 63-66.
SHI Z M, FAN M T. Pollen morphology of different cultivars of *Mangifera indica*[J]. Acta Botanica Yunnanica, 1998, 20(1): 63-66. (in Chinese)
- [6] 肖远辉, 傅翠娜, 区善汉, 张社南, 梅正敏. 6个柚类品种花粉形态观察[J]. 南方农业学报, 2014, 45(9): 1616-1620.
XIAO Y H, FU C N, OU S H, ZHANG S N, MEI Z M. Pollen morphology of 6 kinds of pummelo (*Citrus grandis* L.)[J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(9): 1616-1620. (in Chinese)
- [7] 胡琼, 王森, 郭红艳. 不同枣品种花粉的形态特征和萌发特性[J]. 经济林研究, 2015, 33(2): 73-81.
HU Q, WANG S, GUO H Y. Morphological and germination characteristics of pollens in different jujube cultivars[J]. Nonwood Forest Research, 2015, 33(2): 73-81. (in Chinese)
- [8] 钟启文, 杨世鹏, 王丽慧, 司诚, 孙祝, 李毅. 16份菊芋(*Helianthus tuberosus* L.)种质资源花粉形态观察和比较分析[J]. 分子植物育种, 2021, 19(5): 1709-1715.
ZHONG Q W, YANG S P, WANG L H, SI C, SUN Z, LI Y. Observations and comparative analysis of pollen morphology of 16 *Helianthus tuberosus* L. germplasm resources[J]. Molecular Plant Breeding, 2021, 19(5): 1705-1715. (in Chinese)
- [9] DOROTA W P, ANDRZEJ M. JAGODZINSKI, TOMASZ M. Morphological studies of pollen grains of the Polish endemic species of the genus *Rubus* (Rosaceae)[J]. Biologia, 2012, 67(1): 87-96.
- [10] 张演义, 张全军, 徐颖洁, 钟必凤, 任国慧, 王晨. 10个农家品种梨花粉形态扫描电镜观察[J]. 西南农业学报, 2014, 27(5): 2119-2123.
ZHANG Y Y, ZHANG Q J, XU Y J, ZHONG B F, REN G H, WANG C. SEM observation on pollen morphology of 10 local pear cultivars[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(5): 2119-2123. (in Chinese)
- [11] 李秀根, 杨健. 花粉形态数量化分析在中国梨属植物起源、演化和分类中的应用[J]. 果树学报, 2002(3): 145-148.
LI X G, YANG J. Application of numerical taxonomy of pollen morphology on origination evolution and classification of *Pyrus* L. in China[J]. Journal of Fruit Science, 2002(3): 145-148. (in Chinese)
- [12] 方仁, 安振宇, 黄伟雄, 白先进, 尧金燕, 龙兴, 周双云, 张继. 8个番荔枝栽培品种的花粉形态扫描电镜观察[J]. 南方农业学报, 2020, 51(7): 1553-1559.
FANG R, AN Z Y, HUANG W X, BAI X J, YAO J Y, LONG X, ZHOU S Y, ZHANG J. Morphology of pollens of eight *Annona squamosa* L. varieties by scanning electron microscope[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(7): 1553-1559. (in Chinese)
- [13] 刘壮壮, 曹凡, 张瑞, 彭方仁, 陈涛, 杨标, 张洁. 5个薄壳山核桃品种花粉形态电镜扫描观察[J]. 经济林研究, 2016, 34(2): 137-142.
LIU Z Z, CAO F, ZHANG R, PENG F R, CHEN T, YANG B, ZHANG J. Observation of pollen morphologies in five cultivars of *Carya illinoensis* by SEM[J]. Nonwood Forest Research, 2016, 34(2): 137-142. (in Chinese)
- [14] 周群, 徐凤侠, 王振. 42个三角梅品种的花粉形态比较分析[J]. 农学学报, 2020, 10(5): 48-57.
ZHOU Q, XU S X, WANG Z. Study on the pollen morphology of 42 varieties of *Bougainvillea*[J]. Journal of Agriculture, 2020, 10(5): 48-57. (in Chinese)
- [15] 张梅, 夏常英, 傅连中, 刘正博, 于胜祥. 绣球属

- (*Hydrangea* L.)及近缘属花粉形态的研究[J]. 广西植物, 2019, 39(3): 297-311.
- ZHANG M, XIA C Y, FU L Z, LIU Z B, YU S X. Pollen morphology of *Hydrangea* L. (Hydrangeaceae L.) and its related genera[J]. Guihaia, 2019, 39(3): 297-311. (in Chinese)
- [16] 陈薇薇, 何兴金, 张雪梅, 蒲吉霞. 中国西南地区当归属植物花粉形态及其系统进化分析[J]. 西北植物学报, 2007, 27(7): 1364-1372.
- CHEN W W, HE X J, ZHANG X M, PU J X. Pollen morphology of the genus *Angelica* from southwest China and its systematic evolution analysis[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(7): 1364-1372. (in Chinese)
- [17] 付晓凤. 不同施肥处理对一年生扁桃生长及生理特性的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2018.
- FU X F. Effect of different fertilization treatments on the growth and physiological characteristics of annual apricot *Mangifera persiciformis* C. seedlings[D]. Nanning: Guangxi University, 2018. (in Chinese)