

陈朝文, 朱海生, 凌永胜, 等. 20 个丝瓜品种的花粉形态特征研究 [J]. 福建农业学报, 2023, 38 (1): 31-38.
CHEN C W, ZHU H S, LING Y S, et al. Morphological Characteristics of Pollens of Varieties of Luffa [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 38 (1): 31-38.

20 个丝瓜品种的花粉形态特征研究

陈朝文¹, 朱海生^{2*}, 凌永胜¹, 郑雅超¹, 方桂花¹,
李 扬¹, 王智卿³, 林金秀¹, 郑凯玲¹

(1. 泉州市农业科学研究所, 福建 泉州 362212; 2. 福建省农业科学院作物研究所, 福建 福州 350013;
3. 泉州市种子站, 福建 泉州 362000)

摘 要:【目的】观察丝瓜品种间花粉粒形态特征, 研究其品种间的差异性及各品种间的亲缘关系, 为丝瓜品种的分类鉴定提供孢粉学依据。【方法】利用扫描电镜对 20 个丝瓜栽培品种的花粉进行观察, 对所考察性状进行主成分分析和类平均法 (UPGMA) 聚类分析。【结果】参试品种的花粉粒形态相似, 均为长球形, 赤道面观为长椭圆形, 极面观为三裂圆形, 具 3 条萌发沟, 裂至接近两极, 未相接, 均属于 N3P4C5 型花粉; 品种间的花粉极轴长 107.03~112.74 μm 、赤道轴长 57.17~61.04 μm 、花粉大小 6 164.15~6 814.02 μm^2 、花粉外壁均为网状纹饰, 网孔密度为 0.129~0.220 $\text{n}\cdot\mu\text{m}^{-2}$, 均存在显著差异; 经主成分分析可知, 影响花粉分类的主要性状指标有极轴长、赤道长、花粉大小、花粉形状和外壁纹饰; 对考察的 8 个花粉性状的聚类分析, 在欧氏距离 23 的水平上, 将 20 个品种聚类为三大类群。【结论】花粉粒极轴长、赤道轴长、形状、大小和网孔密度等性状差异可用作丝瓜品种间亲缘关系及分类鉴定的孢粉学依据。

关键词: 丝瓜; 花粉形态; 电镜扫描; 分类系统

中图分类号: S 642 文献标志码: A 文章编号: 1008-0384 (2023) 01-0031-08

Morphological Characteristics of Pollens of Varieties of Luffa

CHEN Chaowen¹, ZHU Haisheng^{2*}, LING Yongsheng¹, ZHENG Yachao¹, FANG Guihua¹,
LI Yang¹, WANG Zhiqing³, LIN Jinxiu¹, ZHENG Kailing¹

(1. *Quanzhou Institute of Agricultural Sciences, Quanzhou, Fujian 362212, China*; 2. *Crop Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China*; 3. *Quanzhou Seed Station, Quanzhou, Fujian 362000, China*)

Abstract: 【Objective】 Pollens morphology of a variety of *Luffa cylindrica* was characterized for taxonomic classification of the plants. 【Methods】 The palynological characteristics of 20 varieties of luffa were examined under a scanning electron microscope. The observation was analyzed for classification on the plant species using principal component analysis and UPGMA clustering method. 【Result】 Belonging to the N3P4C5 type, the pollens were similarly prolate in shape—oblong equatorially with a diameter ranging from 57.17 μm to 61.04 μm and trilobate-circular latitudinally with an axis ranging between 107.03 μm and 112.74 μm . The pollen size varied from 6 164.15 μm^2 to 6 814.02 μm^2 . There were 3 separate apertures that almost reached both ends of a pollen. The exine was reticulated with a spinule density of 0.129-0.220 $\text{n}\cdot\mu\text{m}^{-2}$, which differed significantly among the varieties. The major palynological traits for taxonomic differentiation included polar axis length, equatorial diameter, size, shape, and exine appearance of the pollens. On a Euclidean distance of 23 on 8 traits, the 20 luffa varieties were clustered into 3 categories. 【Conclusion】 Differences on polar axis length, equatorial diameter, shape, size, and spinule density of pollens provided the basis to classify the genetic relationship of 20 different species of luffa.

Key words: *Luffa cylindrica*; pollen morphology; scanning electron microscope; classification

收稿日期: 2022-09-14 初稿; 2022-10-12 修改稿
作者简介: 陈朝文 (1981-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 蔬菜良种选育及栽培技术 (E-mail: 38856776@qq.com)
* 通信作者: 朱海生 (1978-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 蔬菜学遗传育种 (E-mail: zhs0246@163.com)
基金项目: 福建省科技计划项目 (2022N0041); 泉州市科技计划项目 (2019N026)

0 引言

【研究意义】丝瓜 [*Luffa cylindrica* (L.) Roem.] 属葫芦科 (Cucurbitaceae) 丝瓜属 (*Luffa* Mill.), 一年蔓生草本植物, 起源于亚洲热带地区, 在我国有 800 多年栽培历史, 全国种植面积约 15 万 hm^2 , 总产量约 30 万 $\text{t}^{[1]}$ 。近年来, 研究学者主要利用 ISSR、SRAP 等分子标记技术及形态学性状等研究丝瓜种质资源的多样性及亲缘关系^[2-4]。植物的花粉形态特征受基因控制, 具有较强的保守性与遗传稳定性, 且花粉形状、外壁结构及纹饰特征, 携带大量信息, 可为种间亲缘关系、系统发育和分类鉴定的研究提供可靠依据^[5]。关于丝瓜孢粉学的研究报道较少, 且主要局限在葫芦科属间的比较观察^[6-8], 而丝瓜属内不同品种间的花粉形态比较观察研究鲜见报道。当前, 随着国内外丝瓜品种交流频繁和引种不规范等, 造成品种混乱、遗传基础偏窄等问题, 因此, 从孢粉学角度分析不同丝瓜栽培品种的花粉形态特征, 对于进一步明确丝瓜品种间的亲缘关系及新品种选育具有现实意义。【前人研究进展】目前, 植物花粉形态观察研究, 已在品种分类鉴定、亲缘关系及起源演化研究等方面得到广泛应用。魏国芹等^[9]对 20 个甜樱桃的花粉进行了扫描电镜观察, 发现品种间外壁纹饰, 条纹走向、疏密程度、条纹间外壁形态存在明显差异, 可作为品种鉴别的重要依据。齐秀娟等^[10]对 30 个猕猴桃品系的花粉形态用扫描电镜观察, 通过分析萌发沟长度和沟脊宽度、极轴长度、赤道轴长度、极轴/赤道、花粉大小及外壁纹饰等, 进一步明确猕猴桃花粉的外观形态与种间分类。谢微微等^[11]通过扫描电镜分析 14 个茶树品种的花粉微形态的结果表明, 花粉形状和外壁纹饰的细微结构与萌发器官均呈种内多样性和异质性, 可作为品种鉴别的重要依据。方仁等^[12]对 8 个番荔枝栽培品种的花粉形态特征进行扫描电镜观察, 认为花粉形状、花粉大小和花粉壁纹饰等性状指标的差异可用作番荔枝品种 (系) 间亲缘关系及分类鉴定的孢子学依据。周静伟等^[13]通过电镜扫描观察 10 个八仙花品种的花粉粒, 发现品种间的花粉粒萌发沟长度与萌发沟脊面宽存在差异, 认为花粉粒的外壁纹饰可作为八仙花品种鉴定的依据之一。【本研究切入点】鉴于葫芦科作物的花粉粒研究报道尚局限于属间的比较观察^[6-8], 丝瓜属内不同品种间的花粉超微形态特征系统比较研究有待深入探讨。【拟解决的关键问题】本研究利用扫描电镜, 对 20 个普通丝瓜栽培品种的花粉形特征进行系统观察, 并对相

关数据进行主成分和聚类分析, 旨在为丝瓜品种鉴定、系统分类提供孢粉学理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 19 个早熟丝瓜品种及 1 个地方品种 (表 1), 其新鲜花粉粒于 2022 年 5—7 月取自泉州市农业科学研究所丝瓜种质资源圃。

1.2 试验方法

1.2.1 样品采集 于晴天下午, 采集发育成熟含苞待放的花蕾, 置于密闭自封袋带回, 在实验室内剥下花药于干净的培养皿中, 静置散粉, 标记好品种名称。

1.2.2 电镜扫描观察 取适量的新鲜花粉, 用毛刷蘸取将花粉, 均匀弹撒在粘有导电双面胶的样品台上; 用 EM ACE200 真空镀膜仪喷金处理 30 s, 取出样品后置于扫描电子显微镜下 500 ~ 8000 $\times$ 观察、拍照、测量和统计。在 2000 $\times$ (极面观, 赤道面, 萌发沟)、6000 $\times$ (表面纹饰) 拍摄有代表性图片, 2000 $\times$ 、8000 $\times$ 下测量相关数据。每个品种取 20 粒典型花粉粒, 测量极轴长 P 、赤道轴长 E 、萌发沟长度、萌发沟脊面宽度和网脊宽度, 统计萌发沟数量; 参照王开发等^[14]关于花粉粒大小以长短轴积 ($P \times E$) 表示方法; 花粉粒形状用长短轴比 (P/E) 表示, $P/E \geq 2$ 为超长球形, $2 > P/E > 1.33$ 为长球形, $1.14 < P/E \leq 1.33$ 为近球形, $0.88 < P/E \leq 1.14$; 对花粉大小形态、极面特征、萌发沟特征及表面纹饰进行描述。

1.3 统计分析

试验数据采用 WPS 和 SPSS 进行统计分析, 品种间显著性差异采用 Duncan's 新复极差法进行比较。利用 SPSS 22.0 对花粉极轴长、赤道轴长、花粉粒形状、花粉大小、条脊宽、沟脊宽和网孔密度等形态指标数据进行标准化描述后, 采用因子分析法开展主成分分析, 欧氏平方距离法进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 20 个丝瓜栽培品种花粉的共同特征

电镜观察结果表明, 供试丝瓜花粉在外部特征上具有较强的保守性。20 个丝瓜栽培品种花粉外均为长球形, 赤道面观为长椭圆形, 极面观为三裂圆形, 赤道面具 3 条拟孔沟, 裂至接近两极, 未相接; 花粉表面均为网状, 网眼大小不均 (图 1)。根据埃尔特曼的 NPC 分类系统, 属于 N3P4C5 型花粉^[15], 即赤道三孔沟类型。

表 1 20 个丝瓜栽培品种来源
Table 1 Origins of 20 luffa varieties

序号 Number	品种 Variety	熟性类型 Maturity type	品种来源 Variety source	
			公司 Company	地区 Area
1	三比2号 SanbiNo.2	早熟	鼎牌种苗	湖南常德
2	三比6号 Sanbi No.6	早熟	鼎牌种苗	湖南常德
3	优比1号 Youbi No.1	特早熟	鼎牌种苗	湖南常德
4	春香 Spring fragrance	极早熟	银田蔬菜种子实业	湖南长沙
5	白雪玉 White snow jade	早熟	三诚种业	浙江金华
6	秀丽 Xiuli	特早熟	富新源种业	四川成都
7	早秀1号 Zaoxiu No.1	早熟	四川科喜种业	四川成都
8	大皱皮 Large wrinkled skin	早熟	四川科喜种业	四川成都
9	玉兔 Jade rabbit	中早熟	广东和利农	广东澄海
10	早帅201 Zaoshuai No.201	极早熟	银田蔬菜种子实业	湖南长沙
11	早靓1号 Zaoliang No.1	特早熟	四川泸旺种业	四川宜宾
12	荷兰秀美 Beautiful Netherlands	早熟	春秋种业	山东寿光
13	早佳玉 ZaoJia jade	早熟	种都高科种业	四川成都
14	银田短棒 Yintian short stick	早熟	银田蔬菜	湖南长沙
15	农杂八号 Nongza No. 8	早熟	农之子种业	湖南株洲
16	雅丽皱皮 Elegant wrinkled skin	早熟	种都高科种业	四川成都
17	泰国玉龙 Thailand Yulong	早熟	兴强种业	山东寿光
18	精选雅绿 Selected elegant green	早熟	青岛沃田种业	山东青岛
19	延陵丝瓜 Yanling luffa	中早熟	地方品种	福建泉州
20	农福805 Nongfu 805	早熟	超大种业	福建福州

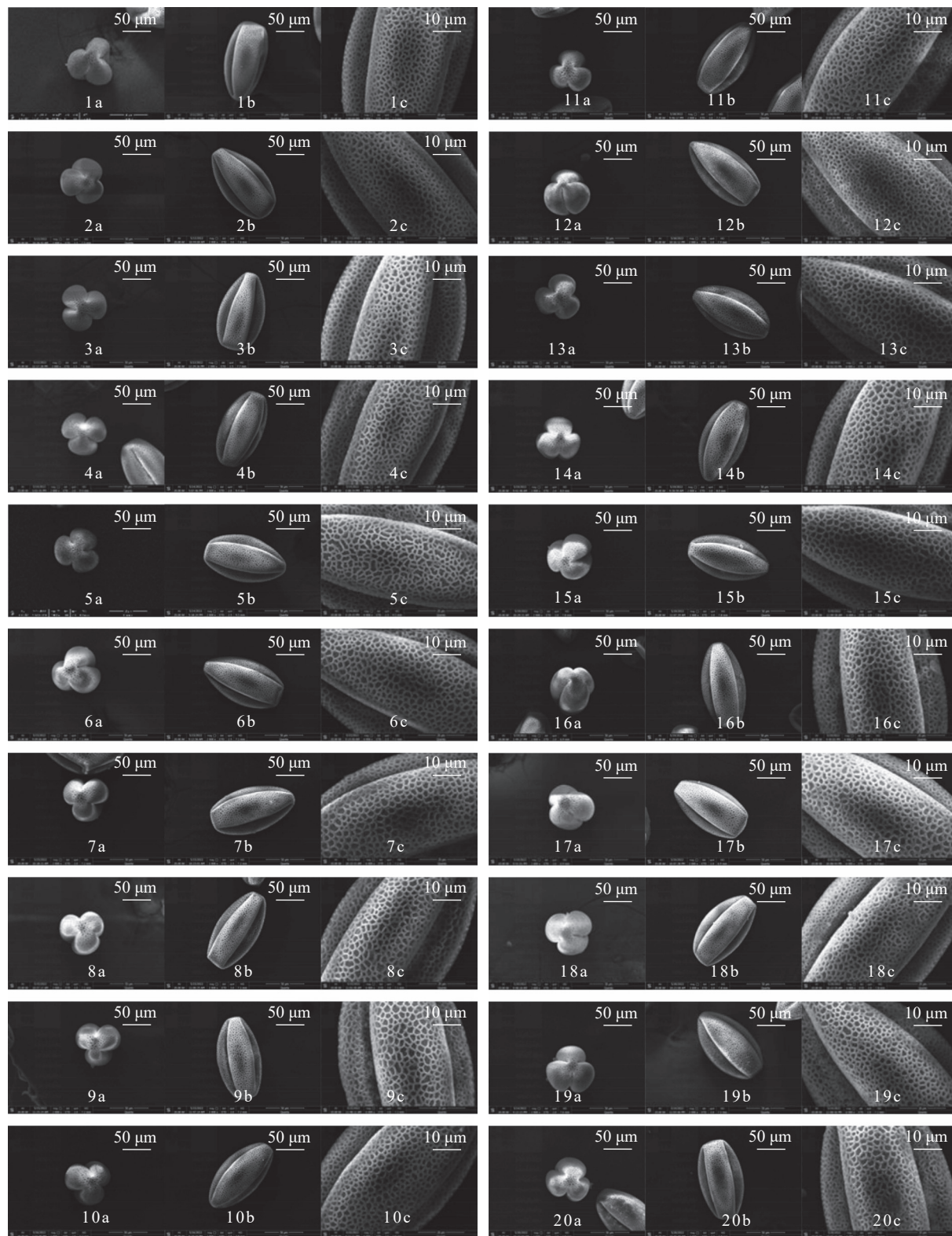
2.2 20 个丝瓜品种花粉的形态特征

20 个丝瓜栽培品种的花粉形态观察、测量结果如图 1 与表 2 所示。从极轴长看，早秀 1 号（112.74 μm）、大皱皮（112.71 μm）、农杂八号（112.69 μm）与早帅（112.22 μm）、秀丽（111.56 μm）差异不显著，但前三者显著大于其他参试品种（ $P < 0.05$ ，下同）。从赤道轴长看，雅丽皱皮（61.04 μm）、三比 6 号（60.72 μm）、优比 1 号（60.66 μm）与泰国玉龙（60.50 μm）、早秀 1 号（60.43 μm）、大皱皮（60.28 μm）、春香（60.07 μm）、白雪玉（59.88 μm）、精选雅绿（59.67 μm）差异不显著，但前三者显著大于其他参试品种。从萌发沟长度看，农杂八号（102.88 μm）、早秀 1 号（102.80 μm）与大皱皮（102.36 μm）、秀丽（102.24 μm）、早帅（101.87 μm）、银田短棒（101.44 μm）、荷兰秀美（101.41 μm）差异不显著，但二者显著大于其他参试品种。从沟脊宽度看，荷兰秀美（38.40 μm）、银田短棒（38.30 μm）与精选雅绿（37.88 μm）、雅丽皱皮（37.78 μm）、延陵丝瓜（37.22 μm）、农福

805（37.12 μm）、农杂八号（36.88 μm）、三比 6 号（36.79 μm）差异不显著，但前二者显著大于其他参试品种。从花粉大小看，早秀 1 号（6814.02 μm²）与大皱皮（6795.15 μm²）、雅丽皱皮（6672.28 μm²）、三比 6 号（6681.13 μm²）、泰国玉龙（6664.38 μm²）、农杂八号（6617.71 μm²）、优比 1 号（6603.64 μm²）、秀丽（6594.29 μm²）差异不显著，但显著大于其他参试品种。从花粉形状的 P/E 值看，早帅 201（1.93）与玉兔（1.92）、早佳玉（1.92）、农杂八号（1.92）、荷兰秀美（1.90）、秀丽（1.89）差异不显著，但显著大于其他参试品种。由此可见，丝瓜花粉粒的形状与大小、极轴长、赤道轴长等形态特征在不同丝瓜品种间存在显著性差异，可作为区分不同品种的辅助依据。

2.3 20 个丝瓜品种的花粉纹饰特征

在扫描电镜下，不同丝瓜栽培品种的花粉外壁纹饰特征如图 1 所示。参试品种花粉外壁均为网脊与孔穴组成的网状饰纹，但品种间的花粉外壁上纹饰细节，网脊宽度和网孔密度均存在显著差异（表 3）。



1: 三比2号; 2: 三比6号; 3: 优比1号; 4: 春香; 5: 白雪玉; 6: 秀丽; 7: 早秀1号; 8: 大皱皮; 9: 玉兔; 10: 早帅201; 11: 早靓1号; 12: 荷兰秀美; 13: 早佳玉; 14: 银田短棒; 15: 农杂八号; 16: 雅丽皱皮; 17: 泰国玉龙; 18: 精选雅绿; 19: 延陵丝瓜; 20: 农福805。a: 花粉粒极面观; b: 花粉粒赤道观; c: 花粉粒表面纹饰。

1: Sanbi No. 2; 2: Sanbi No. 6; 3: Youbi No. 1; 4: Spring fragrance; 5: White snow jade; 6: Xiuli; 7: Zaoxiu No. 1; 8: Large wrinkled skin; 9: Jade rabbit; 10: Zaoshuai No. 201; 11: Zaoliang No. 1; 12: Beautiful Netherlands; 13: ZaoJia jade; 14: Yintian short stick; 15: Nongza No. 8; 16: Elegant wrinkled skin; 17: Thailand Yulong; 18: Selected elegant green; 19: Yanling luffa; 20: Nongfu 805. a: Latitudinal view of pollen; b: Equatorial view of pollen; c: Surface appearance of pollen.

图1 扫描电镜下不同丝瓜栽培品种花粉形态

Fig. 1 SEM images of luffa pollen morphology

表 2 不同丝瓜栽培品种花粉形态特征比较
Table 2 Morphological characteristics of pollens of *L. cylindrica* varieties

序号 Number	品种 Variety	极轴长 Polar axis length/ μm	赤道轴长 Equator axis length/ μm	萌发沟长 Germinal furrow length/ μm	沟脊宽度 Ridge width/ μm	花粉大小 $P\times E$ Pollen grain size/ μm^2	花粉形状 P/E Pollen grain shape
1	三比2号 SanbiNo.2	107.03±2.69 g	58.49±2.87 defgh	96.94±3.32 hi	34.88±2.08 fghi	6 265.39±435.36 ef	1.83±0.01 efg
2	三比6号 Sanbi No.6	109.95±2.82 cde	60.72±2.28 a	100.47±2.76 bcdef	36.79±2.84 abcde	6 681.13±397.95 abc	1.81±0.01 fg
3	优比1号 Youbi No.1	108.84±2.04 ef	60.66±1.96 a	95.73±3.61 i	36.35±1.71 bcdefg	6 603.64±285.78 abcd	1.80±0.01 fg
4	春香 Spring fragrance	109.53±2.73 de	60.07±2.21 abc	98.92±3.41 fgh	35.74±2.93 cdefg	6 582.17±352.32 bcd	1.82±0.01 fg
5	白雪玉 White snow jade	109.74±2.09 de	59.88±1.95 abcd	98.08±3.12 gh	36.26±2.2 bcdefg	6 573.33±300.51 bcd	1.83±0.01 efg
6	秀丽Xiuli	111.56±1.87 abc	59.1±1.76 bcdef	102.24±2.71 abc	35.90±2.09 cdefg	6 594.29±275.14 abcd	1.89±0.01 abc
7	早秀1号 Zaoxiu No.1	112.74±3.10 a	60.43±2.07 ab	102.80±4.15 a	33.65±2.66 ij	6 814.02±341.61 a	1.87±0.02 cde
8	大皱皮 Large wrinkled skin	112.71±2.06 a	60.28±2.08 ab	102.36±2.99 ab	32.71±2.85 j	6 795.15±297.77 ab	1.87±0.01 cde
9	玉兔 Jade rabbit	109.76±2.04 de	57.17±1.44 h	99.87±2.72 defg	33.77±1.81 hij	6 275.6±235.16 ef	1.92±0.01 ab
10	早帅201Zaoshuai No.201	112.22±2.1 ab	58.15±1.62 efgh	101.87±2.07 abcd	35.39±1.69 defgh	6 526.41±259.72 cd	1.93±0.01 a
11	早靛1号 Zao liang No.1	107.55±1.82 fg	57.30±1.76 gh	98.17±2.76 gh	36.40±2.41 bcdef	6 164.15±247.41 f	1.88±0.01 bcd
12	荷兰秀美 Beautiful Netherlands	110.74±2.20 bcd	58.39±2.11 defgh	101.41±3.08 abcde	38.40±2.12 a	6 467.21±294.14 cde	1.90±0.02 abc
13	早佳玉 ZaoJia jade	110.83±2.63 bcd	57.76±2.13 fgh	100.12±2.55 cdefg	35.33±2.85 efghi	6 403.88±338.55 de	1.92±0.01 ab
14	银田短棒 Yintian short stick	109.80±1.81 de	58.36±2.2 efgh	101.44±2.35 abcde	38.30±3.17 a	6 409.97±321.64 de	1.88±0.01 bc
15	农杂八号 Nongza No. 8	112.69±2.60 a	58.71±1.68 cdefg	102.88±3.12 a	36.88±2.41 abcde	6 617.71±283.97 abcd	1.92±0.01 ab
16	雅丽皱皮 Elegant wrinkled skin	109.30±1.87 de	61.04±1.58 a	100.29±2.53 bcdefg	37.78±2.42 ab	6 672.28±223.07 abc	1.79±0.01 g
17	泰国玉龙 Thailand Yulong	110.12±2.72 cde	60.50±1.76 ab	99.84±3.33 defg	34.61±2.54 ghi	6 664.38±298.36 abc	1.82±0.01 fg
18	精选雅绿 Selected elegant green	108.55±2.11 efg	59.67±2.29 abcde	99.05±2.04 fg	37.88±2.94 ab	6 479.07±331.39 cde	1.82±0.01 fg
19	延陵丝瓜 Yanling luffa	109.47±2.26 de	58.71±3.05 cdefg	100.17±3.52 cdefg	37.22±1.94 abc	6 427.82±381.32 de	1.87±0.02 cde
20	农福805Nongfu 805	108.54±2.32 efg	59.14±2.08 bcdef	99.38±3.23 efg	37.12±2.17 abcd	6 418.71±264.45 de	1.84±0.02 def

同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，表3同。
Data with different lowercase letters on same column indicate significant difference ($P<0.05$). Same for Table 3.

从网脊宽度看，优比 1 号（830.34 nm）最宽，与三比 6 号（829.13 nm）、农杂八号（814.35 nm）、雅丽皱皮（791.57 nm）、早帅 201（773.01 nm）、银田短棒（766.25 nm）、精选雅绿（769.91 nm）、早秀 1 号（761.23 nm）、早靛 1 号（756.11 nm）、泰国玉龙（751.57 nm）不存在显著差异，但与其他品种均存在显著差异。从网孔密度上看，农福 805（ $0.220\text{ n}\cdot\mu\text{m}^{-2}$ ）与三比 2 号（ $0.207\text{ n}\cdot\mu\text{m}^{-2}$ ）不存在显著差异，但显著大于其他参试品种。

2.4 20 个丝瓜品种的花粉形态特征主成分分析

通过主成分分析探讨影响花粉形态差异的主要因素，可从花粉形态上获取品种亲缘关系信息^[12,16]。由表 4 和表 5 可以看出，前 4 个主成分的累积贡献率达 94.018%，已包含试验品种花粉形态特征性状的绝大部分信息。其中，第一主成分的贡献率为 36.678%，特征向量绝对值较高的是极轴长、花粉大小、网孔密度、条脊宽、沟脊宽，其主要反映了花粉大小及

外壁纹饰的性状；第二主成分的贡献率为 28.816%，特征向量绝对值较大的是赤道轴长、花粉形状和网孔密度，也主要反映了花粉大小及外壁纹饰的性状；第三主成分的贡献率为 17.519%，其主要反映的是网脊宽、萌发沟长度、沟脊宽等表面纹饰特征对丝瓜花粉的影响，第四主成分的贡献率为 11.005%，其主要反映的是萌发沟长度、沟脊宽等对表面纹饰的影响。综上所述，影响丝瓜花粉分类的主要性状指标为极轴长、赤道长、花粉大小、花粉形状和外壁纹饰。

2.5 20 个丝瓜品种的花粉形态特征聚类分析

将上述统计数据标准化赋值后，采用类平均法（UPGMA）进行聚类分析，结果如图 2 所示。在欧氏距离 23 的位置，20 个丝瓜品种分为三大类群。第一类群包含荷兰秀美、银田短棒、延陵丝瓜、农福 805、精选雅绿、三比 6 号、雅丽皱皮、春香、泰国玉龙、优比 1 号、玉兔、早佳玉丝瓜、早靛 1 号、

表 3 不同丝瓜栽培品种花粉表面纹饰特征比较
Table 3 Pollen appearance and morphological characteristics of luffa varieties

序号 Number	品种 Variety	网脊宽 Strip ridge width/nm	网孔密度 Pore density/(n·μm ⁻²)	外壁纹饰 External ornamentation
1	三比2号 SanbiNo.2	639.41±115.03 g	0.207±0.031 ab	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
2	三比6号 Sanbi No.6	829.13±109.67 ab	0.170±0.019 def	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
3	优比1号 Youbi No.1	830.34±167.15 a	0.144±0.018 gh	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
4	春香 Spring fragrance	713.77±103.95 defg	0.155±0.020 fg	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
5	白雪玉 White snow jade	523.74±137.87 h	0.147±0.030 g	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
6	秀丽 Xiuli	717.47±74.19 defg	0.176±0.020 de	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
7	早秀1号 Zaoxiu No.1	761.23±152.07 abcde	0.129±0.014 h	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
8	大皱皮 Large wrinkled skin	676.56±105.48 fg	0.160±0.014 efg	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
9	玉兔 Jade rabbit	741.83±84.15 cdef	0.150±0.021 g	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
10	早帅201Zaoshuai No.201	773.01±109.5 abcde	0.148±0.026 g	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
11	早靓1号 Zaoliang No.1	756.11±84.95 abcdef	0.170±0.020 def	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
12	荷兰秀美 Beautiful Netherlands	719.43±130.2 defg	0.197±0.037 bc	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
13	早佳玉 ZaoJia jade	745.68±111.28 bcdef	0.145±0.022 gh	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
14	银田短棒 Yintian short stick	766.25±93.5 abcde	0.175±0.022 de	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
15	农杂八号 Nongza No. 8	814.35±131.2 abc	0.180±0.033 d	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
16	雅丽皱皮 Elegant wrinkled skin	791.57±96.59 abcd	0.199±0.03 bc	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
17	泰国玉龙 Thailand Yulong	751.57±102.78 abcdef	0.182±0.032 cd	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
18	精选雅绿 Selected elegant green	769.91±114.53 abcde	0.202±0.037 b	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
19	延陵丝瓜 Yanling luffa	724.58±117.19 def	0.198±0.018 bc	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显
20	农福805 Nongfu 805	688.01±81.86 efg	0.220±0.035 a	网状纹饰, 穿孔, 孔穴不规则, 网脊凸起明显

表 4 主成分的特征根、贡献率和累积贡献率
Table 4 Eigenvalue, contribution rate and total contribution of principal components

主成分 Principal component	特征根 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累积贡献率 Total contribution rate/%
第一主成分 Principal component 1	2.934	36.678	36.678
第二主成分 Principal component 2	2.305	28.816	65.494
第三主成分 Principal component 3	1.401	17.519	83.013
第四主成分 Principal component 4	0.88	11.005	94.018
第五主成分 Principal component 5	0.405	5.062	99.080
第六主成分 Principal component 6	0.073	0.918	99.998
第七主成分 Principal component 7	0.000	0.001	99.999
第八主成分 Principal component 8	0.000	0.001	100.000

表 5 主成分分析特征
Table 5 Eigenvectors of principal components analysis

性状 Characters	第一主成分 Principal component 1	第二主成分 Principal component 2	第三主成分 Principal component 3	第四主成分 Principal component 4
极轴长 Polar axis length	0.970	-0.059	0.127	0.128
赤道轴长 Equator axis length	0.166	0.984	0.008	0.062
花粉形状 P/E Pollen shape	0.469	-0.874	0.077	0.025
花粉大小 P×E Size pollen	0.796	-0.208	0.443	0.286
萌发沟长度 Germinal sulcus length	0.196	0.103	0.611	-0.731
网脊宽 Reticular ridge width	-0.506	0.037	0.723	0.056
沟脊宽 Strip ridge width	-0.597	0.032	0.531	0.475
网孔密度 Pore density	0.679	0.716	0.073	0.120

三比 2 号等 14 个品种，极轴长 107.03~110.83 μm ，赤道轴长 57.17~61.04 μm ，花粉形状 P/E 值 1.79~1.92，花粉大小 6164.15~6681.13 μm^2 ，网孔密度 0.1435~0.2200 $\text{n}\cdot\mu\text{m}^{-2}$ ；第二类为白雪玉，极轴长 109.74 μm ，赤道轴长 59.88 μm ，花粉形状 P/E 值 1.83，花粉大小 6573.33，网孔密度 0.1470 $\text{n}\cdot\mu\text{m}^{-2}$ ，与其他品种亲缘关系较远，单属为一个类群；第三类群包含早秀 1 号、大皱皮、秀丽、农杂八号、早帅 201 等

5 个品种，极轴长 111.56~112.69 μm ，赤道轴长 58.15~60.43 μm ，花粉形状 P/E 值 1.87~1.93，花粉大小 6526.41~6814.02 μm^2 ，网孔密度 0.1290~0.1795 $\text{n}\cdot\mu\text{m}^{-2}$ 。由此可见，通过丝瓜花粉形态的极轴长、赤道轴长、花粉形状、花粉大小和网孔密度等数量特征聚类分析可大致反映不同丝瓜品种间的亲缘关系。

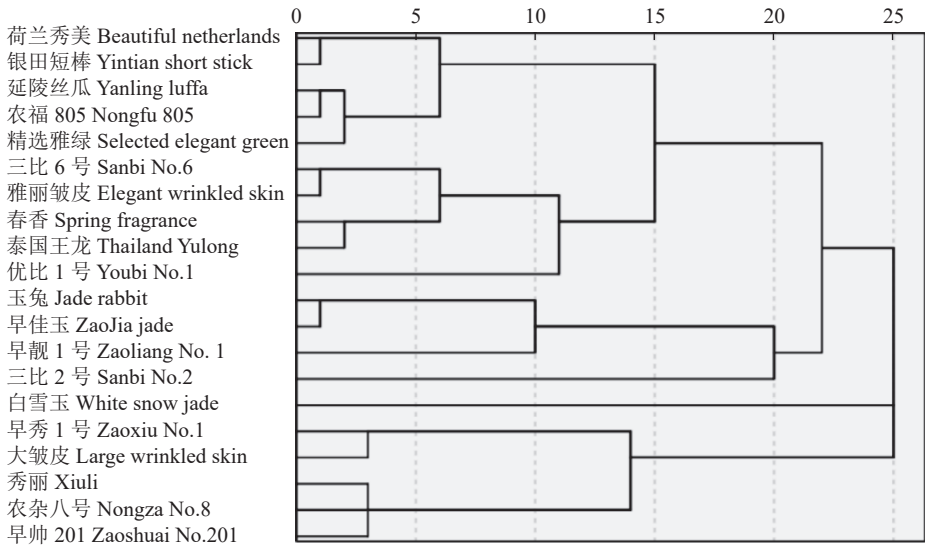


图 2 20 个丝瓜栽培品种花粉形态的聚类分析
Fig. 2 Palynology-based clustering of 20 luffa varieties

3 讨论

植物花粉携带遗传信息，受外界影响小，具有较强的遗传稳定性。其指标数据稳定，在进行品种分类时具有较高的区分效率，可初步作为种属间分类和品种鉴定的参考依据，其中花粉形态的数量特征聚类分析可大致反映不同种及品系间的亲缘关系^[17]。本研究的电镜观察结果表明，20 个丝瓜栽培品种的花粉具有较强的保守性，花粉形态相似，均为长球形，赤道面观为长椭圆形，极面观为三裂圆形，赤道面具 3 条拟孔沟，裂至接近两极，未相接；花粉表面均为网状，网眼大小不均。根据埃尔特曼的 NPC 分类系统，属于 N3P4C5 型花粉^[15]，即赤道三孔沟类型。同时，发现各品种间的花粉形状、花粉大小、极轴长度 P 、赤道轴长 E 、萌发沟长度、萌发沟脊面宽度和网脊宽度等指标存在显著差异，体现了丰富的多态性。通过花粉形态的主成分分析发现，极轴长、赤道轴长、花粉形状、花粉大小和网孔密度等的特征向量绝对值较高，可以作为丝瓜品种孢粉学分类研究的性状指标，与陈常颂等^[8]、方仁等^[12]的结果较接近。

通过花粉形态特征聚类分析发现，丝瓜品种间存在显著差异，在欧氏距离 23 的水平上，20 个丝瓜栽培品种分为三大类群，将荷兰秀美、银田短棒、延陵丝瓜、农福 805、精选雅绿、三比 6 号、雅丽皱皮、春香、泰国玉龙、优比 1 号、玉兔、早佳玉丝瓜、早靛 1 号、三比 2 号等 14 个品种聚为一类；白雪玉单属一类；早秀 1 号、大皱皮、秀丽、农杂八号、早帅 201 等 5 个品种聚为一类。

虽然本研究通过花粉形态研究，初步了解了丝瓜栽培品种间的亲缘关系与分类，但由于聚类分析未能充分包含花粉的纹饰、网纹排列和网眼形状等信息，因此研究结果仅可为丝瓜品种间的亲缘关系与分类鉴定提供参考。为准确地判定丝瓜品种间亲缘关系与分类，还需与植株形态学、生物学性状、遗传学、分子生物学等多学科相结合进行深入研究。

4 结论

丝瓜不同栽培品种间的花粉形态特征存在差异性，尤其是极轴长、赤道轴长、花粉形状、花粉大小和网孔密度等数量性状指标的差异，体现了不同

丝瓜品种间存在相应的孢粉学的遗传多样性, 可用作品种间亲缘关系及分类鉴定的孢粉学依据。

参考文献:

- [1] 王益奎, 黎炎, 李文嘉. 我国丝瓜资源及遗传育种研究进展 [J]. 北方园艺, 2009 (4): 121–124.
WANG Y K, LI Y, LI W J. Reviews of the sponge gourd germplasm resources and genetic breeding in China [J]. *Northern Horticulture*, 2009 (4): 121–124. (in Chinese)
- [2] 朱海生, 叶新如, 陈敏氨, 等. 丝瓜种质资源的SRAP分析 [J]. 分子植物育种, 2016, 14 (8): 2217–2223.
ZHU H S, YE X R, CHEN M D, et al. SRAP analysis of germplasm resources of *Luffa* [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2016, 14 (8): 2217–2223. (in Chinese)
- [3] 林琿, 陈朝文, 温庆放, 等. 丝瓜种质资源遗传多样性分析 [J]. 分子植物育种, 2017, 15 (9): 3759–3766.
LIN H, CHEN C W, WEN Q F, et al. Genetic diversity analysis of *Luffa* germplasm resources [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2017, 15 (9): 3759–3766. (in Chinese)
- [4] 钟海丰, 陈剑锋, 陈宇华, 等. 基于DUS测试的丝瓜种质资源形态多样性分析 [J]. 东南园艺, 2021, 9 (6): 9–18.
ZHONG H F, CHEN J F, CHEN Y H, et al. Morphological diversity of *Luffa* germplasm based on DUS test [J]. *Fujian Fruits*, 2021, 9 (6): 9–18. (in Chinese)
- [5] 陈常颂, 彭艾, 钟秋生, 等. 34份茶树种质的花粉形态特征研究 [J]. 福建农业学报, 2012, 27 (11): 1219–1226.
CHEN C S, PENG A, ZHONG Q S, et al. Morphological studies on pollen of camellias for 34 species (*Camellia sinensis*) [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 27 (11): 1219–1226. (in Chinese)
- [6] 孙晓陆, 肖英, 王钊. 葫芦科花粉外壁超微结构的观察 [J]. 电子显微学报, 1990, 9 (3): 31.
SUN X L, XIAO Y, WANG F. Observation on ultrastructure of pollen exine of Cucurbitaceae [J]. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*, 1990, 9 (3): 31. (in Chinese)
- [7] 庞丽琴, 付宝春, 康红梅, 等. 瓜类植物花粉形态扫描电镜观察 [J]. 山西农业科学, 2006, 34 (4): 39–41.
PANG L Q, FU B C, KANG H M, et al. Scanning electron microscope observation to pollen morphology of melon crops [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2006, 34 (4): 39–41. (in Chinese)
- [8] 杨德奎, 马成涛, 宋艳梅. 葫芦科8属11种植物花粉形态的扫描电镜观察 [J]. 广西植物, 2008, 28 (2): 148–153.
YANG D K, MA C T, SONG Y M. Scanning electron microscope observation to pollen morphology of eleven species of eight Genera in Cucurbitaceae [J]. *Guihaia*, 2008, 28 (2): 148–153. (in Chinese)
- [9] 魏国芹, 李芳东, 孙玉刚, 等. 甜樱桃20个品种花粉粒形态扫描电镜观察 [J]. 果树学报, 2014, 31 (S1): 41–47.
WEI G Q, LI F D, SUN Y G, et al. Observation of pollen grains of twenty sweet cherry cultivars with scan-Ning electron microscope [J]. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31 (S1): 41–47. (in Chinese)
- [10] 齐秀娟, 王然, 兰彦平, 等. 3个猕猴桃栽培种花粉形态扫描电镜观察 [J]. 果树学报, 2017, 34 (11): 1365–1373.
QI X J, WANG R, LAN Y P, et al. Morphologic study of pollens of three cultivated *Actinidia* species by scanning electron microscopy [J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34 (11): 1365–1373. (in Chinese)
- [11] 谢微微, 于文涛, 杨国一, 等. 14个茶树品种的花粉微形态观察 [J]. 南方农业学报, 2018, 49 (9): 1698–1704.
XIE W W, YU W T, YANG G Y, et al. Micromorphological observation on pollen of 14 cultivars of tea tree (*Camellia sinensis*) [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49 (9): 1698–1704. (in Chinese)
- [12] 方仁, 安振宇, 黄伟雄, 等. 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, et al. 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] 周静伟, 吴晓梦, 周慧晶, 等. 10个八仙花品种花粉粒形态扫描电镜观察 [J]. 分子植物育种, 2021, 19 (21): 7240–7250.
ZHOU J W, WU X M, ZHOU H J, et al. Observation of pollen grains of ten *Hydrangea* varieties with scanning electron microscope (SEM) [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2021, 19 (21): 7240–7250. (in Chinese)
- [14] 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论[M]. 北京: 北京大学出版社, 1983.
- [15] 埃尔特曼. 中国科学院植物研究所古植物研究室孢粉组, 译. 孢粉学手册[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [16] 郑雅馨, 陈雪鹃, 孙明. 地被菊及部分菊属近缘种花粉形态分析 [J]. 上海农业学报, 2013, 29 (4): 47–51.
ZHENG Y X, CHEN X J, SUN M. Morphological analysis on pollens of several ground-cover chrysanthemum cultivars and their allied species [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2013, 29 (4): 47–51. (in Chinese)
- [17] 李京璟, 张日清, 马庆华, 等. 榛属植物花粉形态扫描电镜观察 [J]. 电子显微学报, 2017, 36 (4): 404–413.
LI J J, ZHANG R Q, MA Q H, et al. SEM observation on the pollen morphology in *Corylus* [J]. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*, 2017, 36 (4): 404–413. (in Chinese)

(责任编辑: 林海清)