

成都地区 19 个木芙蓉品种的孢粉学研究及其分类学意义

张璐¹, 张曼瑜¹, 曾心美², 贾茵¹, 姜贝贝¹, 周蛟¹, 马娇², 徐倩¹, 石小庆², 王凯璐¹, 潘远智¹

(1. 四川农业大学, 成都 611130; 2. 成都市植物园, 成都 610083)

摘要: 为了解成都地区木芙蓉(*Hibiscus mutabilis*)品种间的亲缘关系, 采用扫描电镜观察了 19 个木芙蓉品种的花粉显微结构, 并探讨其分类学意义。结果表明, 19 个木芙蓉品种的花粉均为大粒, 主要为圆球形, 具散孔, 外壁纹饰均为刺状纹饰, 表面具有颗粒状突起。木芙蓉品种间在花粉粒大小、外壁纹饰上具有一定差异, 可以作为品种分类的重要依据。聚类分析可以将 19 个木芙蓉品种划分为 3 大类, 类型 I 和 II 的花粉较大, 刺细尖; 类型 III 的花粉较小, 刺短粗, 刺间距离较小。这为木芙蓉品种间亲缘关系研究和品种分类提供了孢粉学依据, 也为新品种的选育提供了理论参考。

关键词: 木芙蓉; 孢粉学; 聚类分析; 品种鉴定

doi: 10.11926/jtsb.4301

Pollen Morphology of 19 Cultivars of *Hibiscus mutabilis* in Chengdu and Its Taxonomic Significance

ZHANG Lu¹, ZHANG Man-yu¹, ZENG Xin-mei², JIA Yin¹, JIANG Bei-bei¹, ZHOU Jiao¹, MA Jiao², XU Qian¹, SHI Xiao-qing², WANG Kai-lu¹, PAN Yuan-zhi¹

(1. Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Chengdu Botanical Garden, Chengdu 610083, China)

Abstract: In order to understand the relationship among *Hibiscus mutabilis* cultivars, the pollen morphology of 19 cultivars were observed under scanning electron microscopy (SEM), and its taxonomy significance was discussed. The results showed that pollen grains of 19 cultivars were usually large and spherical with spine and pantoporate, and granular protrusions on surface. There were differences in pollen grain size and exine pattern among cultivars, which could be used as an important basis for identification of cultivars. The cluster analysis indicated that the 19 cultivars could be divided into 3 types, the pollen grains of type I and II were large with fine tip spines, and those of type III were small with stubby spines and short distance between spines. Therefore, these would provide palynological basis for the studies on the relationship and the classification among *H. mutabilis* varieties, and also provide a theoretical reference for the breeding of new varieties.

Key words: *Hibiscus mutabilis*; Palynology; Cluster analysis; Cultivar identification

木芙蓉(*Hibiscus mutabilis*)隶属于锦葵科(Malvaceae)木槿属植物, 原产于中国, 是我国的传统名

花, 因其谐音福与荣, 具美好寓意深受人们的喜爱与传颂^[1]。其花色丰富、花型美丽、花期较长, 品

收稿日期: 2020-09-03

接受日期: 2020-11-08

基金项目: 四川省重点研发项目(2020YFN0004); 成都市公园城市建设管理局产业专项基金(2019MFR0826)资助

This work was supported by the Key Research and Development Projects of Sichuan Province (Grant No. 2020YFN0004); the Industrial Special Fund of Park City Construction Administration in Chengdu (Grant No. 2019MFR0826).

作者简介: 张璐(1993~), 博士研究生, 主要从事风景园林植物培育及应用研究。E-mail: zll916714@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: scpyzls@163.com

种繁多，是园林绿化常用的秋季观花灌木或小乔木，现广泛分布于亚洲、非洲、北美、南美等热带亚热带地区。但长期以来的人工选育和自然杂交导致木芙蓉品种间遗传关系错综复杂、亲缘关系不明、分类和进化关系模糊，因此，对木芙蓉进行品种分类以及探讨其亲缘关系，对于木芙蓉品种间杂交以及新品种的选育具有重要意义。

花粉的遗传稳定性极强，花粉形态特征在一定程度上可反映植物演化和亲缘关系，并对物种鉴定有一定的分类价值^[2-4]。某些植物不同品种虽然在外观形态上十分相似，但其花粉形态特征仍有差异^[5]，花粉形态研究在植物分类、系统发育、起源与演化

等方面得到广泛应用^[6-7]，然而目前针对木芙蓉品种花粉形态的研究尚属空白。本研究用扫描电镜对木芙蓉 19 个品种的花粉形态进行观察并进行聚类分析，以探讨木芙蓉品种间的亲缘关系以及其分类学意义，为木芙蓉的品种分类和优良品种的选育提供孢粉学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料为木芙蓉(*Hibiscus mutabilis*)的 19 个品种(表 1，表 2，图 1)，均采自成都市植物园。

表 1 木芙蓉品种信息及亲本来源

Table 1 Information of *Hibiscus mutabilis* cultivars

编号 No.	品种 Cultivar	花期 Florescence	亲本 Parents	花色 Flower color
1	‘大红’ ‘Dahong’	9-10	不详 Unknow	红色 Red
2	‘醉红’ ‘Zuihong’	9-11	‘醉芙蓉’×‘大红’ ‘Zuifurong’×‘Dahong’	红色 Red
3	‘锦碧玉’ ‘Jinbi yu’	8-10	不详 Unknow	红色 Red
4	‘C-7’	9-10	不详 Unknow	红色 Red
5	‘单瓣红’ ‘Danbanhong’	7-9	不详 Unknow	粉红色 Pink
6	‘玉蕊’ ‘Yurui’	8-10	‘单瓣红’×‘大红’ ‘Danbanhong’×‘Dahong’	粉红色 Pink
7	‘牡丹红’ ‘Mudanhong’	9-10	‘单瓣红’×‘大红’ ‘Danbanhong’×‘Dahong’	粉红色 Pink
8	‘醉云’ ‘Zuiyun’	8-10	不详 Unknow	粉红色 Pink
9	‘金秋颂’ ‘Jinqiusong’	9-10	‘单瓣白’×‘牡丹粉’ ‘Danbanbai’×‘Mudanfen’	粉红色 Pink
10	‘锦蕊’ ‘Jinrui’	9-11	不详 Unknow	粉红色 Pink
11	‘牡丹粉’ ‘Mudanfen’	8-10	‘单瓣红’×‘大红’ ‘Danbanhong’×‘Dahong’	粉红色 Pink
12	‘台湾 1’ ‘Taiwan I’	8-10	不详 Unknow	粉红色 Pink
13	‘台湾 2’ ‘Taiwan II’	8-10	不详 Unknow	粉红色 Pink
14	‘台湾 3’ ‘Taiwan III’	8-10	不详 Unknow	白色 White
15	‘重瓣白’ ‘Chongbanbai’	9-10	不详 Unknow	白色 White
16	‘单瓣白’ ‘Danbanbai’	6-10	不详 Unknow	白色 White
17	‘醉芙蓉’ ‘Zuifurong’	9-10	不详 Unknow	粉白至红色 Pink-white to red
18	‘重瓣白变红’ ‘Chongban Baibianhong’	9-10	不详 Unknow	粉白至红色 Pink-white to red
19	‘单瓣白变红’ ‘Danban Baibianhong’	9-10	不详 Unknow	粉白至红色 Pink-white to red

表 2 19 个木芙蓉品种的花部特征

Table 2 Flower characteristics of 19 cultivars of *Hibiscus mutabilis*

编号 No.	花瓣 Petal (cm)		花径 (cm) Flower diameter	柱头长 (cm) Stigma length	花柄长 (cm) Flower stalk length
	长 Length	宽 Width			
1	6.00±0.20cde	5.50±0.10gh	10.20±0.17ij	2.50±0.10hi	2.90±0.10a
2	5.10±0.10g	5.70±0.20fgh	10.60±0.10ghi	4.10±0.26ab	2.90±0.10a
3	4.05±0.31h	3.80±0.20m	10.00±0.20j	2.10±0.26j	2.93±0.15a
4	5.00±0.10g	4.20±0.20l	11.00±0.20efgh	3.00±0.10def	1.67±0.15def
5	6.80±0.10b	6.00±0.30ef	12.40±0.10c	3.80±0.30bc	1.93±0.06cd
6	7.00±0.36b	5.30±0.20hi	11.00±0.70efgh	3.00±0.20def	1.83±0.21cde
7	7.20±0.20a	6.10±0.36de	11.60±0.10de	3.50±0.30cd	1.50±0.20fg
8	7.00±0.20ab	6.00±0.17ef	13.80±0.20a	3.20±0.20de	2.30±0.20b
9	5.70±0.20ef	4.60±0.10k	10.40±0.40hij	2.80±0.26fgh	1.90±0.17cd

续表(Continued)

编号 No.	花瓣 Petal (cm)		花径 (cm)	柱头长 (cm)	花柄长 (cm)
	长 Length	宽 Width	Flower diameter	Stigma length	Flower stalk length
10	6.80±0.17b	7.30±0.10a	14.00±0.30a	4.30±0.20a	1.47±0.15fg
11	6.70±0.10b	6.40±0.10cd	13.20±0.10b	3.00±0.20def	2.00±0.00c
12	6.00±0.10cde	5.30±0.30hi	11.00±0.70efgh	3.70±0.30c	1.27±0.58g
13	5.60±0.20f	5.80±0.20efg	10.90±0.10fgh	3.00±0.00def	1.57±0.31ef
14	6.20±0.20c	6.80±0.10b	12.50±0.20c	3.10±0.10de	0.90±0.10h
15	6.20±0.10c	5.00±0.17j	12.00±0.10cd	2.70±0.10gh	1.47±0.58fg
16	6.30±0.36c	5.40±0.26hi	11.00±0.00efgh	2.90±0.17efg	3.03±0.30a
17	6.10±0.10cd	6.40±0.20cd	11.50±0.20def	2.30±0.10ij	2.57±0.12b
18	5.80±0.20def	5.20±0.10i	11.20±0.26efg	2.50±0.10hi	0.97±0.06h
19	6.80±0.26b	6.50±0.10bc	14.00±0.60a	3.00±0.20def	1.90±0.20cd

$n=3$; 同列中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。
 $n=3$; Data followed different letters within column indicate significant differences at 0.05 level.

1.2 方法

花粉采集和处理 参考彭向永等^[8]的方法,在木芙蓉盛花期,‘单瓣红’、‘重瓣白变红’的花粉于 9 月 26 日,其余品种均于 10 月 17 日,当天天气晴朗,上午 9–10 点采集开放程度一致的花朵,每品种取同一植株的 3 个花朵,记录花部特征后用镊子夹取整个花序,放入硫酸纸盒中带回实验室,于室温下自然干燥 24 h,收集自然散粉保存于密封玻璃容器中备用待测。

电镜制样及花粉形态观察 粘取经 CO₂ 临界点干燥后的备用花粉用双面胶固定于载物台上,真空喷金镀膜,在 SU3500 型扫描电子显微镜下选取有代表性的视野,观察花粉粒形态和外壁纹饰特征并拍摄。参考刘金兰等^[9]、彭焕文等^[10]对锦葵科植物花粉形态的描述,测量花粉直径、刺长、刺基部宽度、刺数量等指标,每个样品随机选取 20 粒花粉粒进行测量,取平均值。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 和 IBM SPSS Statistics 20.0 对数据进行统计分析,采用 IBM SPSS Statistics 20.0 软件进行主成分分析和 Q 聚类分析。

2 结果和分析

2.1 花粉形态特征

花粉粒特征和大小 由图 2 可见,19 个木芙蓉品种的花粉粒均为单粒圆球形或近圆球形,花粉(不含刺)直径为 96.50~148.75 μm,平均为

108.95 μm,其中‘锦蕊’的最大,为 148.75 μm,‘金秋颂’的最小,为 96.50 μm,变异系数分别为 1.59% 和 2.95%。同时‘锦蕊’的花粉粒中有较多变形的,形态差异明显。花粉粒表面为刺状纹饰且有小的颗粒状突起,刺为圆锥或圆台状,先端略尖或钝圆。花粉粒具散孔,萌发孔形状不规则,大多位于两刺之间,均匀环绕分布于花粉表面,部分品种(‘金秋颂’、‘单瓣白’、‘醉芙蓉’、‘醉红’、‘锦碧玉’、‘C-7’、‘锦蕊’、‘醉云’)花粉的萌发孔有孔盖。‘牡丹粉’、‘牡丹红’、‘玉蕊’、‘锦蕊’花粉具有二型性现象。

表面纹饰 19 个木芙蓉品种花粉粒表面纹饰为刺状,刺基部较平,‘醉红’的刺基部略微隆起,刺表面分布有细小点状颗粒突起。刺长为 11.65~17.79 μm,平均 15.35 μm,变异系数为 4.62%,‘锦蕊’的最长,为 17.79 μm;‘金秋颂’的最短,为 11.65 μm,变异系数分别为 6.54% 和 2.58%。‘大红’花粉的刺基部宽度最大,为 8.27 μm,‘单瓣白变红’的最小,为 5.40 μm。刺间距离平均为 24.87 μm,变异系数为 9.16%,以‘锦蕊’的最大,为 27.41 μm,‘金秋颂’的最小,为 22.48 μm。刺长/刺基部宽度和花粉直径/刺长可以反映刺状纹饰的形态,‘单瓣白变红’的刺长/刺基部宽度最大,为 2.64,说明刺状纹饰较为细长;‘醉芙蓉’的刺长/刺基部宽度最小,为 1.87,说明刺状纹饰粗短。‘重瓣白变红’的花粉直径/刺长最大,为 8.75,说明刺状突起较短;‘台湾芙蓉 1’的最小,为 5.51,说明刺状突起较长。

萌发孔 木芙蓉具散孔,大部分品种(‘单瓣红’、‘大红’、‘牡丹红’、‘牡丹粉’、‘玉蕊’、‘台湾芙蓉 1’、‘台湾芙蓉 2’、‘台湾芙蓉 3’、‘重瓣白’)花粉



图 1 19 个木芙蓉品种花部形态。1~19 见表 1。下图表同。
Fig. 1 Flower morphology of 19 varieties of *Hibiscus mutabilis*. 1–19 see Table 1. The same is following Tables and Figures.

的萌发孔呈圆形或长椭圆形，且呈环状等距离排列于花粉表面^[11]。部分品种(‘单瓣白’、‘单瓣白变红’、‘重瓣白变红’、‘金秋颂’)萌发孔具圆形或者椭圆形孔盖，‘锦蕊’花粉的萌发孔不明显，但萌发孔位置

略微突起。

2.2 聚类分析

为了确保所选指标的有效性与相关性，对花粉

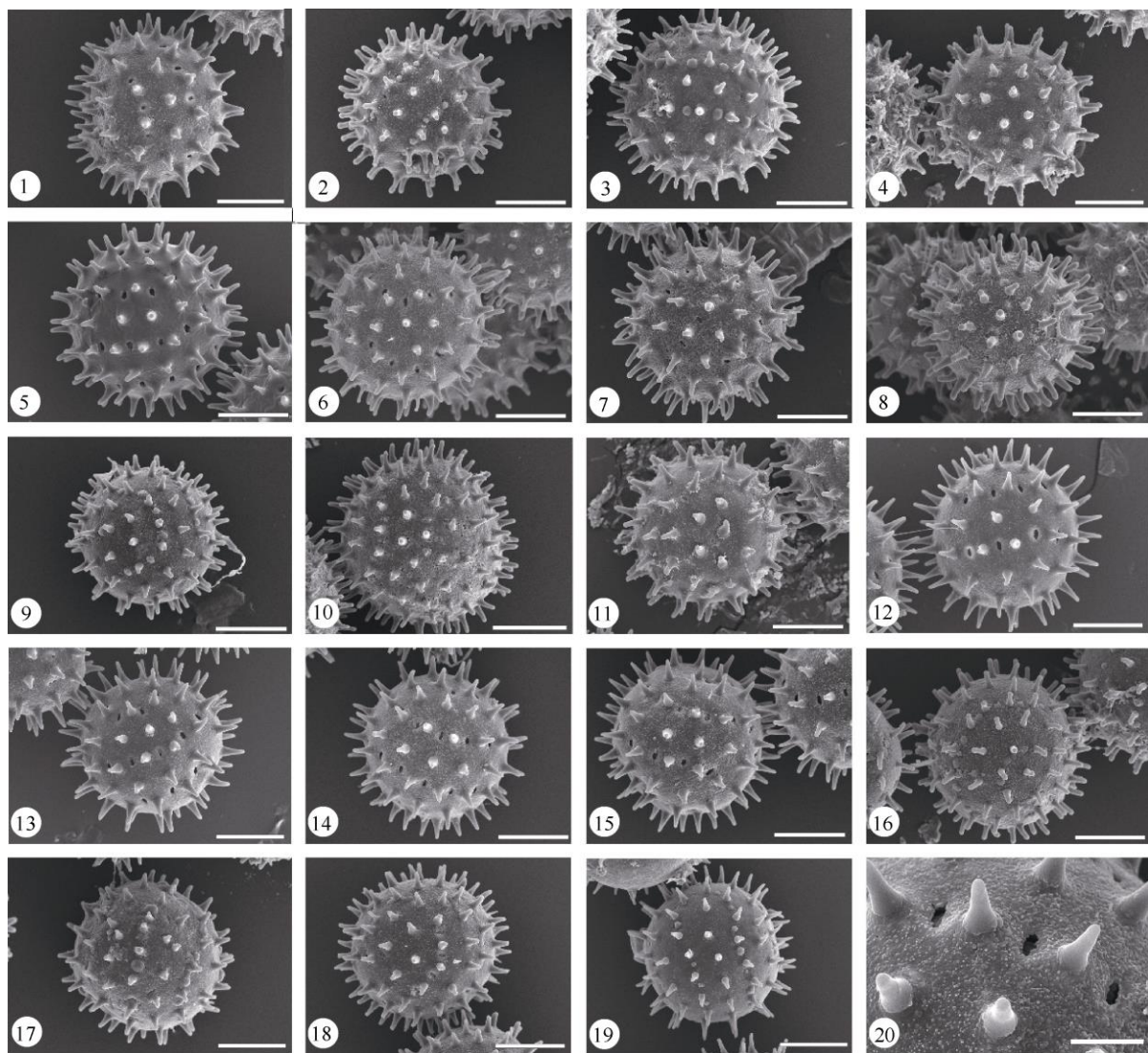


图 2 19 个木芙蓉品种花粉粒显微形态。标尺: 1~9, 11~19=50 μm , 10=70 μm ; 20: 花粉局部放大, 标尺为 15 μm

Fig. 2 Pollen micromorphology of 19 *Hibiscus mutabilis* cultivars. Bars: 1~9, 11~19=50 μm , 10=70 μm , 20: Enlarged pollen, bar=15 μm

表 3 木芙蓉孢粉刺的形态特征($n=20$)

编号 No.	直径 Diameter (D, μm)	长度 Length (L, μm)	宽度 Width (μm)			间距 Distance (μm)	数量 Number	长度 / 基宽 L / BW	直径 / 长度 D / L
			尖部 Tip	中部 Middle	基部 Base (BW)				
1	112.35 $\pm$ 2.96	16.27 $\pm$ 0.63	3.03 $\pm$ 0.42	4.29 $\pm$ 0.23	8.27 $\pm$ 1.24	27.35 $\pm$ 1.42	113.60 $\pm$ 6.14	2.01	6.91
2	103.42 $\pm$ 4.39	14.83 $\pm$ 1.03	3.42 $\pm$ 0.38	3.80 $\pm$ 0.32	5.94 $\pm$ 0.83	23.26 $\pm$ 2.42	111.20 $\pm$ 10.67	2.48	7.15
3	103.98 $\pm$ 2.68	14.15 $\pm$ 0.60	2.84 $\pm$ 0.28	3.86 $\pm$ 0.38	7.02 $\pm$ 0.93	24.36 $\pm$ 1.68	119.60 $\pm$ 8.89	2.02	7.35
4	108.36 $\pm$ 4.88	16.25 $\pm$ 0.92	3.27 $\pm$ 0.31	4.61 $\pm$ 0.29	7.70 $\pm$ 0.79	25.69 $\pm$ 2.68	111.00 $\pm$ 5.93	2.11	6.74
5	109.63 $\pm$ 3.70	16.96 $\pm$ 0.99	3.47 $\pm$ 0.32	4.47 $\pm$ 0.25	7.63 $\pm$ 1.12	23.76 $\pm$ 2.18	117.80 $\pm$ 7.40	2.26	6.49
6	112.41 $\pm$ 2.67	15.46 $\pm$ 0.53	3.14 $\pm$ 0.41	4.17 $\pm$ 0.31	8.17 $\pm$ 1.01	22.86 $\pm$ 5.32	114.55 $\pm$ 8.81	1.92	7.28
7	117.72 $\pm$ 1.69	16.12 $\pm$ 1.09	3.33 $\pm$ 0.32	3.96 $\pm$ 0.26	7.62 $\pm$ 1.03	24.73 $\pm$ 2.46	106.50 $\pm$ 4.84	2.16	6.96
8	108.17 $\pm$ 3.30	16.50 $\pm$ 0.85	3.83 $\pm$ 0.39	4.34 $\pm$ 0.26	6.89 $\pm$ 0.57	23.62 $\pm$ 1.96	120.00 $\pm$ 8.71	2.41	6.57
9	96.50 $\pm$ 1.53	11.65 $\pm$ 0.76	2.91 $\pm$ 0.24	3.65 $\pm$ 0.24	6.05 $\pm$ 0.67	22.48 $\pm$ 1.90	114.00 $\pm$ 4.62	1.95	8.31
10	148.75 $\pm$ 4.38	17.79 $\pm$ 0.46	3.65 $\pm$ 0.25	4.18 $\pm$ 0.35	6.82 $\pm$ 0.68	27.41 $\pm$ 2.51	170.90 $\pm$ 10.47	2.63	8.41
11	119.90 $\pm$ 3.73	16.57 $\pm$ 0.49	3.56 $\pm$ 0.36	4.48 $\pm$ 0.41	6.85 $\pm$ 0.78	26.26 $\pm$ 2.23	109.05 $\pm$ 9.28	2.45	6.76
12	100.44 $\pm$ 2.18	18.30 $\pm$ 0.51	2.55 $\pm$ 0.20	4.00 $\pm$ 0.36	7.35 $\pm$ 0.67	28.31 $\pm$ 3.25	104.80 $\pm$ 6.82	2.50	5.51
13	103.26 $\pm$ 4.06	17.00 $\pm$ 0.82	2.58 $\pm$ 0.22	4.03 $\pm$ 0.25	7.11 $\pm$ 0.65	26.47 $\pm$ 2.29	107.20 $\pm$ 7.74	2.41	6.08

续表(Continued)

编号 No.	直径 Diameter (D, μm)	长度 Length (L, μm)	宽度 Width (μm)			间距 Distance (μm)	数量 Number	长度 / 基宽 L / BW	直径 / 长度 D / L
			尖部 Tip	中部 Middle	基部 Base (BW)				
14	106.97 $\pm$ 2.56	15.88 $\pm$ 0.69	2.89 $\pm$ 0.21	4.05 $\pm$ 0.26	6.93 $\pm$ 0.82	26.77 $\pm$ 1.71	117.80 $\pm$ 9.04	2.32	6.77
15	106.28 $\pm$ 4.05	15.85 $\pm$ 0.65	2.84 $\pm$ 0.44	4.15 $\pm$ 0.45	7.33 $\pm$ 0.84	26.06 $\pm$ 1.73	105.40 $\pm$ 8.64	2.19	6.71
16	110.97 $\pm$ 3.61	13.79 $\pm$ 0.41	3.45 $\pm$ 0.29	3.79 $\pm$ 0.24	5.52 $\pm$ 0.64	24.86 $\pm$ 1.71	113.00 $\pm$ 7.09	2.53	8.06
17	100.52 $\pm$ 4.78	11.84 $\pm$ 0.58	3.32 $\pm$ 0.40	4.20 $\pm$ 0.42	6.38 $\pm$ 0.62	22.35 $\pm$ 1.89	122.85 $\pm$ 12.83	1.87	8.51
18	107.25 $\pm$ 9.19	12.30 $\pm$ 0.58	2.97 $\pm$ 0.39	4.05 $\pm$ 0.36	6.20 $\pm$ 0.65	20.03 $\pm$ 1.51	136.00 $\pm$ 10.38	2.01	8.75
19	107.16 $\pm$ 4.92	14.07 $\pm$ 0.74	2.88 $\pm$ 0.39	3.30 $\pm$ 0.28	5.40 $\pm$ 0.79	25.98 $\pm$ 2.11	122.00 $\pm$ 8.32	2.64	7.73

粒 9 个数量指标进行主成分分析, 包括直径、刺长、刺尖宽、刺中宽、刺基宽、刺间距、刺数目、刺长 / 刺基宽、花粉直径 / 刺长。结果表明, 影响品种分类的第一主成分主要包括刺长、刺间距、刺长 / 刺基宽; 第二主成分以直径、刺尖宽、刺数目为主; 第三主成分主要为刺基宽和刺中宽。3 个主成分可以包含木芙蓉花粉形态指标的大部分信息, 累计贡献率为 84.501%, 且各主成分所含指标具有代表性, 可以用于对木芙蓉花粉进行 Q 型聚类分析。

根据花粉粒直径、刺长、刺尖宽、刺中宽、刺基宽、刺间距、刺长 / 刺基宽和直径 / 刺长等指标, 对 19 个木芙蓉品种采用平方欧氏距离法进行 Q 聚类

分析。结果表明(图 3), 在遗传距离为 12 时, 19 个品种可分为 3 类, 类型 I 包含‘重瓣白’、‘台湾芙蓉 3’、‘牡丹红’、‘锦碧玉’、‘单瓣红’、‘C-7’、‘大红’、‘玉蕊’、‘牡丹粉’、‘醉云’、‘台湾芙蓉 1’和‘台湾芙蓉 2’共 12 个品种, 具有花粉粒直径较大(除‘台湾芙蓉 1’、‘台湾芙蓉 2’外), 刺细尖的特征; 类型 II 仅有 1 个品种‘锦蕊’, 花粉直径最大, 刺长最长, 刺数量最多; 类型 III 有‘重瓣白变红’、‘金秋颂’、‘醉芙蓉’、‘单瓣白’、‘醉红’、‘单瓣白变红’共 6 个品种, 具有花粉粒直径较小(除‘重瓣白变红’、‘单瓣白变红’、‘单瓣白’外), 刺间距较小, 刺短粗的特征。

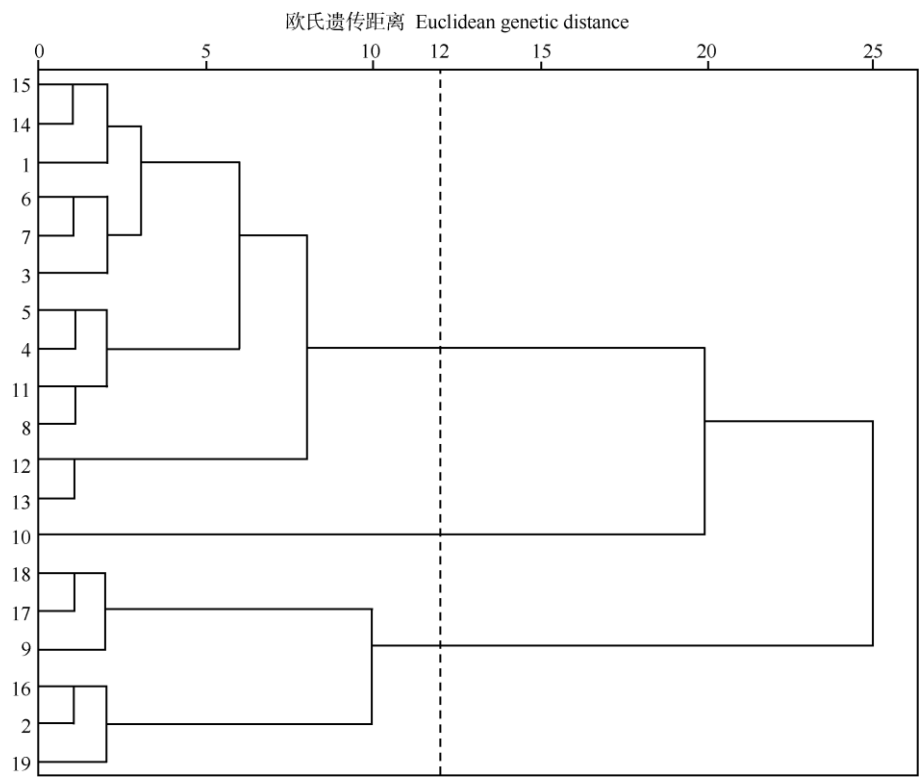


图 3 19 个木芙蓉品种基于花粉形态的聚类图

Fig. 3 Cluster map of 19 cultivars of *Hibiscus mutabilis* based on pollen morphology

3 讨论

3.1 木芙蓉的分类地位、花粉形态与亲缘关系

前人的研究结果表明^[10,12-13], 锦葵科植物花粉形态的进化趋势如下: (1) 花粉形状: 近球形→球形; (2) 花粉大小: 中等(直径 25~50 μm)→较大(直径 50~100 μm)→大(100~200 μm); (3) 萌发孔: 3 孔沟→少量散孔→大量散孔; (4) 表面纹饰: 刺短钝→刺长尖; 基部膨大→基部平整; 具单型刺→具二型刺; 花粉表面平滑或少量突起→花粉表面密集颗粒状突起。19 个木芙蓉品种的花粉直径为 96.50~148.75 μm , 属大粒花粉; 具大量散孔, 基部平整, 说明木芙蓉在锦葵科中可能属于较为进化的类群。

与植物其他形态特征相比, 花粉形态在植物系统发育过程中具有遗传稳定性和保守性, 是建立植物高等级分类阶元的重要依据。观赏植物如欧洲栎(*Quercus robur*)、牵牛花(*Pharbitis nil*)、木兰(*Magnolia liliiflora*)等^[14-16]采用孢粉学特征进行亲缘关系的鉴定和分类研究已取得较好的效果。有学者认为植物品种间的花粉特征存在差异, 据此可以进行归类并大致判断亲缘关系^[17-20]。因此, 本研究根据木芙蓉不同品种间花粉表面刺状纹饰的差异进行归类, 对大致了解品种间的亲缘关系有重要的参考价值。有研究表明, 花粉表面刺由短到长, 花粉体积由小到大是锦葵科植物花粉的进化方向^[12], 本研究中第Ⅲ类品种的花粉直径较小, 表面刺状纹饰较短, 刺间距离较小, 刺短粗, 推断这些品种属于相对原始的品种, 且亲缘关系较近。另一方面, ‘醉红’是以‘醉芙蓉’为母本培育的杂交后代, ‘金秋颂’是以‘单瓣白’为母本的杂交后代, 且‘醉红’和‘醉芙蓉’花粉形态特征与形态学特征表现出一定的相关性, 这也进一步佐证了孢粉学结果的可靠性。类型 I 花粉表现出较为进化特征(花粉较大、刺细尖), 说明这 12 个品种的亲缘关系较近且较为进化, 同时, 从遗传背景来说, ‘牡丹红’、‘牡丹粉’、‘玉蕊’等 3 个品种是分别以‘大红’和‘单瓣红’为父母本培育而来的杂交后代, 这也说明孢粉学聚类分析结果对于品种分类及亲缘关系的鉴定具有一定的参考价值。‘锦蕊’被单独归为一类, 其花粉特征最为进化。

3.2 木芙蓉品种的花粉差异

研究表明, 同一植物个体产生不同的花粉形态

有利于植物的进化^[21], 引起花粉形态出现差异的原因主要有环境条件或者遗传因素, 地理分布和生态因子会对种内不同群体间的花粉形态产生影响^[22], 针对不同野生居群间的植物而言, 不同生态因素及地理历史隔离对于花粉形态的影响作用较大^[23]。而相对于栽培品种来说, 花粉形态差异则可能与遗传因素更为相关。不同品种间的花粉形态存在差异, 可以作为品种分类和亲缘关系鉴定的依据, 研究表明, 同一栽培品种内花粉可能也存在明显的差别。本研究结果表明, 在相同的花粉处理条件下, ‘锦蕊’品种花粉出现皱缩变形、破裂空瘪或大小差异明显的现象, 这在三角梅(*Bougainvillea spectabilis*)、小苍兰(*Freesia hybrid*)、八仙花(*Hydrangea macrophylla*)栽培品种中也有出现^[24-26], 推测可能是在人工的品种选育过程中栽培品种的遗传组成高度杂合, 导致花粉性状差, 出现花粉败育、生殖能力减弱和不能正常结实的概率增加, ‘锦蕊’的花粉性特点就与其自身的雌雄蕊发育变异、花粉败育、结实率低等生物学特性相吻合。

3.3 木芙蓉花粉形态研究的分类学意义

本研究表明, 花粉形态在木芙蓉不同品种间存在许多共性, 具有区别于锦葵科木槿属其他种的特征^[10,28]。然而, 不同品种的花粉间也存在一定的差异, 是进行品种间鉴定的重要依据。木芙蓉花粉粒直径较大, 具散孔, 表面具刺状纹饰且有许多大小不一的颗粒状突起, 刺基部平坦, 由此, 可以通过花粉刺的数目和萌发孔位置来区分木槿(*Hibiscus syriacus*)^[27]和木芙蓉。栽培品种间在花粉粒大小、刺数目、外壁纹饰存在的差异表明了木芙蓉品种间存在遗传多样性和遗传分化。花粉形态直观反映了木芙蓉 19 个品种间亲缘关系和分类地位, 杂交子代与亲本的亲缘关系越近, 遗传距离越小, 这为分析亲本与杂交子代的关系提供参考依据。然而, 个别品种(‘锦蕊’)的花粉形态与亲本的差异较大, 可能属于超亲表达现象^[28]。

随着科学技术的发展, 育种进程的不断加快, 亟需在形态学以外拓展分类标准, 本文首次对 19 个木芙蓉品种的花粉进行扫描电镜观察, 将孢粉学形态特征作为辅助分类方法, 为木芙蓉栽培品种的分类及其亲缘关系鉴定提供了孢粉学的科学依据。但这种方法也存在因选取不同特征指标对分类结果及准确性产生较大影响的不足。因此, 还应结合

形态学、分子标记等试验方法进行验证和修正。

参考文献

- [1] XIONG Y Y. Cultural implication interpretation and design practice of hibiscus decoration [D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2019: 1–3.
熊玉颖. 芙蓉纹饰的文化寓意解读及设计实践 [D]. 成都: 四川师范大学, 2019: 1–3.
- [2] XU C Y, HOU Y X, LI X H, et al. Pollen morphological variation of *Primula merrilliana* and its systematic significance [J]. *Flora*, 2019, 253: 43–48. doi: 10.1016/j.flora.2019.03.010.
- [3] XIE Y Q. Analysis of pollen morphological difference and relationship of *Camellia meiocarpa* native varieties [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci)*, 2016, 40(3): 26–32. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2016.03.005.
谢一青. 小果油茶农家品种花粉形态及亲缘关系分析 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(3): 26–32. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2016.03.005.
- [4] WANG D J, WANG K, GAO Y, et al. Study on the Pollen Morphology, Taxonomy and clustering of the local varieties of apples [J]. *J Plant Gene Resour*, 2016, 17(1): 84–91. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2016.01.013.
王大江, 王昆, 高源, 等. 苹果地方品种花粉形态分类及聚类研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(1): 84–91. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2016.01.013.
- [5] CHEN J Y. Taxonomy of Chinese Flower Varieties [M]. Beijing: China Forestry Press, 2001: 7.
陈俊愉. 中国花卉品种分类学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 7.
- [6] YANG Q S, WAN H M, SUN J Y, et al. Comparison of pollen morphology of tree peony cultivar groups [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, 46(6): 133–137. doi: 10.11707/j.1001-7488.20100621.
杨秋生, 万卉敏, 孙俊娅, 等. 牡丹栽培品种群花粉形态的比较 [J]. 林业科学, 2010, 46(6): 133–137. doi: 10.11707/j.1001-7488.20100621.
- [7] ZHANG S W, JIA W Q, ZHANG H L, et al. Pollen morphology and germination rate of 13 peony varieties [J]. *J NE For Univ*, 2017, 45(10): 20–23. doi: 10.13759/j.cnki.dlxb.2017.10.006.
张少伟, 贾文庆, 张红兰, 等. 13 个牡丹品种花粉形态及萌发率比较 [J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(10): 20–23. doi: 10.13759/j.cnki.dlxb.2017.10.006.
- [8] PENG X Y, ZHAO L Q, MAO J M, et al. Flowering phenology and changes in pollen activity and stigma receptivity during blossom process of single inflorescence of *Salix viminalis* in Beijing [J]. *J Plant Resour Environ*, 2017, 26(1): 110–112. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.01.16.
彭向永, 赵利清, 毛金梅, 等. 北京地区蒿柳的开花物候期及单花序开放过程中花粉活力和柱头可授性变化 [J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26(1): 110–112. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.01.16.
- [9] LIU J L, LAN S Y, NIE Y C. A study on the morphology and structure of pollen grains of 16 species of *Gossypium* [J]. *Sci Agric Sin*, 1987, 20(6): 34–38.
刘金兰, 兰盛银, 聂以春. 棉属(*Gossypium*)不同棉花花粉形态和结构研究 [J]. 中国农业科学, 1987, 20(6): 34–38.
- [10] PENG H W, ZHOU S D, HE X J. Pollen morphology of 26 taxa from 15 genera of malvaceae in China and its systematic significance [J]. *Acta Bot Boreal-Occid Sin*, 2018, 38(10): 1832–1845. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2018.10.1832.
彭焕文, 周颂东, 何兴金. 中国锦葵科 15 属 26 个分类群植物花粉形态及其系统学意义 [J]. 西北植物学报, 2018, 38(10): 1832–1845. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2018.10.1832.
- [11] XU Q H. Pollen Morphology of Common Cultivated Plants in China: Reference for Finding Human Traces in Strata [M]. Beijing: Science Press, 2015: 429–436.
许清海. 中国常见栽培植物花粉形态: 地层中寻找人类痕迹之借鉴 [M]. 北京: 科学出版社, 2015: 429–436.
- [12] CHRISTENSEN P B. Pollen morphological studies in the Malvaceae [J]. *Grana*, 1986, 25(2): 95–117. doi: 10.1080/00173138609428890.
- [13] WANG K F, WANG X Z. Introduction to Palynology [M]. Beijing: Beijing University Press, 1983: 21–34.
王开发, 王宪曾. 孢粉学概论 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1983: 21–34.
- [14] WROŃSKA-PILAREK D, DANIELEWICZ W, BOCIANOWSKI J, et al. Comparative pollen morphological analysis and its systematic implications on three European Oak (*Quercus* L., Fagaceae) species and their spontaneous hybrids [J]. *PLoS One*, 2016, 11(8): e0161762. doi: 10.1371/journal.pone.0161762.
- [15] DA COSTA M, ANDRÉ L, MEZZONATO-PIRES A C, et al. Pollen morphology in the genus *Bonania* Thouars (Convolvulaceae) and its taxonomic significance [J]. *Rev Palaeobot Palynol*, 2019, 264: 11–23. doi: 10.1016/j.revpalbo.2019.02.008.
- [16] ZHANG X H, DA SILVA J A T, DUAN J, et al. Pollen morphology of Magnolioideae in China and its taxonomic implications [J]. *Sci Hort*, 2014, 176: 170–179. doi: 10.1016/j.scienta.2014.07.009.
- [17] WANG Y X, CHEN B H, WANG S H, et al. SEM observation on the pollen morphology of eleven ornamental crabapple varieties [J]. *Bull Bot Res*, 2014, 34(6): 751–757. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2014.06.006.
王延秀, 陈佰鸿, 王淑华, 等. 11 个观赏海棠品种花粉形态扫描电镜观察 [J]. 植物研究, 2014, 34(6): 751–757. doi: 10.7525/j.issn.

- 1673-5102.2014.06.006.
- [18] LIU X L, CHEN J J, WANG C Y. The research on pollen morphology and numerical taxonomy of 37 *Yulania* varieties [J]. *Mol Plant Breed*, 2018, 16(7): 2389–2400. doi: 10.13271/j.mpb.016.002389.
- 刘秀丽, 陈金金, 王晨宇. 37 个玉兰品种的花粉形态及数量分类研究 [J]. *分子植物育种*, 2018, 16(7): 2389–2400. doi: 10.13271/j.mpb.016.002389.
- [19] CHANG Y H, TIAN X L, ZHANG C Q, et al. Problems and thoughts on the classification of *Rhododendron* cultivars in China [J]. *World For Res*, 2020, 33(1): 60–65. doi: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2019.0086.y.
- 常宇航, 田晓玲, 张长芹, 等. 中国杜鹃花品种分类问题与思考 [J]. *世界林业研究*, 2020, 33(1): 60–65. doi: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2019.0086.y.
- [20] ZHU K, ZHANG L, CHEN Y J, et al. Pollen morphology and resulting taxonomic implications of 37 cultivars of *Poa* L. [J]. *Acta Agrest Sin*, 2011, 19(1): 114–121. doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2011.01.020.
- 朱琨, 张璐, 陈雅君, 等. 37 个早熟禾品种的花粉形态及其分类学意义 [J]. *草地学报*, 2011, 19(1): 114–121. doi: 10.11733/j.issn.1007-0435.2011.01.020.
- [21] DAJOZ I, TILL-BOTTRAUD I, GOUYON P H. Pollen aperture polymorphism and gametophyte performance in *Viola diversifolia* [J]. *Evolution*, 1993, 47(4): 1080–1093. doi: 10.1111/j.1558-5646.1993.tb02137.x.
- [22] KARABOURNIOTI S, ELEFThERIOU E P, THRASYVOULOU A, et al. Pollen polymorphism in *Thymus capitatus* (Lamiaceae) [J]. *Can J Bot*, 2007, 85(5): 493–500. doi: 10.1139/B07-048.
- [23] BIAN X M, MU H L, MA Y L, et al. Pollen morphology of natural *Primula maximowiczii* populations [J]. *J Plant Genet Resour*, 2016, 17(2): 257–265. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2016.02.010.
- 边晓萌, 穆绘莉, 马玉磊, 等. 胭脂花野生居群花粉形态多样性研究 [J]. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(2): 257–265. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2016.02.010.
- [24] ZHOU Q, XU S X, WANG Z. Study on the pollen morphology of 42 varieties of *Bougainvillea* [J]. *J Agric*, 2020, 10(5): 48–57. doi: 10.11923/j.issn.2095-4050.cjas20190600078.
- 周群, 徐夙侠, 王振. 42 个三角梅品种的花粉形态比较分析 [J]. *农学报*, 2020, 10(5): 48–57. doi: 10.11923/j.issn.2095-4050.cjas20190600078.
- [25] SUN Y, DING S Q, SHI Y M, et al. Pollen morphology of 15 cultivars of *Freesia hybrida* [J]. *Bull Bot Res*, 2019, 39(1): 17–26. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2019.01.003.
- 孙忆, 丁苏芹, 史益敏, 等. 15 个小苍兰品种的花粉形态研究 [J]. *植物研究*, 2019, 39(1): 17–26. doi: 10.7525/j.issn.1673-5102.2019.01.003.
- [26] 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/OL]. *Mol Plant Breed*, 2020. (2020-08-21) <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20200821.1233.007.html>.
- 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/OL]. *分子植物育种*, 2020. (2020-08-21) <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20200821.1233.007.html>.
- [27] ZHAO Y X, FENG Q, TIAN L, et al. Pollen morphology and numerical taxonomy of 22 *Hibiscus syriacus* [J]. *Guihaia*, 2021, 41(1): 103–113. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201911037.
- 赵艺璇, 冯琪, 田琳, 等. 22 个木槿品种花粉形态与分类研究 [J]. *广西植物*, 2021, 41(1): 103–113. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201911037.
- [28] WU H X, LIU L T, LIAO B Y, et al. Pollen morphology and resulting taxonomic implications of 20 *Eucalyptus* species and progenies [J]. *J CS Univ For Technol*, 2012, 32(3): 29–36. doi: 10.3969/j.issn.1673-923X.2012.03.006.
- 武海霞, 刘丽婷, 廖柏勇, 等. 20 种桉树及杂交种的花粉形态分析及分类学意义 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2012, 32(3): 29–36. doi: 10.3969/j.issn.1673-923X.2012.03.006.