

油用及观赏牡丹花粉超微结构的比较研究

宣亚楠^{1,2}, 胡永红², 李欣¹, 杜玉玲¹, 闫永庆¹

(1. 东北农业大学 园艺学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 中国科学院 上海辰山植物科学研究中心, 上海市资源植物功能基因组学重点实验室, 上海辰山植物园, 上海 201602)

摘要:在扫描电镜下对5个不同种源的杨山牡丹、8个观赏牡丹品种(包括5个中国中原品种和3个日本品种)和3个牡丹芍药杂交种的花粉超微结构进行观察并对其形态指标进行比较研究。结果表明:不同种源及品种间花粉纹饰差异显著。杨山牡丹以穴状纹饰为主,观赏牡丹品种以网状为主,杂交种以皱波-网状为主。牡丹花粉的极轴长、赤道面宽、极轴长/赤道面宽、萌发沟长、萌发沟宽和穿孔直径均大于牡丹芍药杂交种,但脊宽均小于杂交种。通过比较研究芍药属花粉的超微结构,其花粉形态的差异可以作为资源利用和品种鉴定的初步依据,进一步为牡丹园艺品种的起源、演化以及种类间亲缘关系等的研究提供孢粉学证据。

关键词:杨山牡丹;中原牡丹;日本牡丹;芍药牡丹杂交种;花粉超微结构

中图分类号:S 685.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)15-0099-05

花粉是植物携带遗传信息的雄性生殖细胞,其形态受外界环境影响很小,具有很强的遗传保守性和稳定性^[1],植物在世代相传过程中,花粉基本上保持其固有形态特征,如形状、轮廓、纹饰以及花粉壁结构,这些形态和结构特征是鉴别植物种的重要依据之一^[2-3],不仅可以为植物的起源、系统演化、古植物学、地质学等方面提供重要证据^[4],在品种分类、种属间分类、品种间亲缘关系和品种起源等分析方面也具有重要意义^[5-7]。

牡丹(*Paeonia* section *Moutan* DC.)属芍药科(*Paeoniaceae*)芍药属(*Paeonia* L.)牡丹组(*Sect. Moutan* DC.)木本植物,花大色艳,雍容华贵,具有较高的观赏价值,也是国花的主要候选者。早在东汉时期,人们就发现其药用价值,牡丹开始从野生转变为栽培,距今已经有1600多年栽培历史^[8-10]。

初步统计现有栽培面积达20267 hm²,年产种子量达57855 t,牡丹种子含油量高达27%~40%,其中超过90%为不饱和脂肪酸,亚麻酸的含量高达40%,高于橄榄油、玉米、大豆和向日葵。牡丹籽油具有很高营养价值,油用牡丹将成为后续研究的重点^[11-13]。

对于芍药属花粉形态,国内学者曾经开展过一些研究。早在1984年,席以珍^[14]对9种芍药属花粉形态及其外壁超微结构进行观察发现外壁纹饰主要分为细网状纹饰、粗网状纹饰、穴状纹饰、皱波状纹饰,但其研究局限于基本的形态描述,并没有对花粉形态指标进行量化。郭先锋等^[15]在此基础上对4种野生芍药的花粉形态进行研究,建立了芍药花粉形态的量化指标,并运用聚类分析方法探讨它们之间的亲缘关系。袁涛等^[16]对5个牡丹野生种花粉进行研究,初步建立了牡丹花粉形态的量化指标,将花粉外壁纹饰划分为4个类型,其演化途径是小穴状纹饰→穴状纹饰→网状纹饰→粗网状纹饰,王佳^[17]对不同居群的杨山牡丹花粉进行孢粉学的研究,结果表明不同居群的花粉差异较大。何丽霞等^[18]通过对9个中国野生牡丹种花粉进行研究,对牡丹组革质花盘亚组的5个种12个居群的花粉进行了观察,结果

第一作者简介:宣亚楠(1988-),女,硕士研究生,研究方向为园林植物逆境生理生态研究。E-mail: xuanyanan2008@163.com.

责任作者:闫永庆(1966-),男,博士,教授,现主要从事园林植物逆境生理生态等研究工作。

基金项目:上海市绿化与市容管理局重点攻关资助项目(G142435);上海市资源植物功能基因组学重点实验室资助项目(14DZ2260400)。

收稿日期:2015-01-29

specific primers were designed for PCR amplification. As a result, two steady-going and effective SCAR markers, T0302-1 and T0302-2, were found. The results showed that T0302-1 and T0302-2 were co-dominant SCAR markers, which could be used in marker assistant selection for tomato disease resistance breeding. This paper was aimed to obtain molecular markers tightly linked to Ty-2 gene resistant to tomato yellow leaf curl virus and afford technical supports for tomato disease resistance breeding.

Keywords: tomato; tomato yellow leaf curl disease; Ty-2 gene; molecular marker

与席以珍^[14]的研究相似,与袁涛等^[16]的研究有所不同。这些学者对芍药属花粉的形态进行了深入研究,但他们对国外的牡丹品种、杂交种与中国牡丹比较研究较少,尤其是杨山牡丹与观赏牡丹的比较研究鲜有报道。

该文在前人研究的基础上,选取 5 个有代表性种群的杨山牡丹、5 个品种的中原牡丹、3 个品种的日本牡丹和 3 个牡丹与芍药杂交种,进行了花粉的扫描电镜观察,比较了不同居群花粉的形态差异,牡丹原种与杂交种花粉形态的差异,中外观赏牡丹花粉的差异,以期为

新品种的选育及鉴别提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取 5 个不同种群的油用牡丹、5 个不同花色的中原牡丹、2 个花色艳丽的日本牡丹、1 个结实率高的日本牡丹和 3 个芍药牡丹杂交种。所用的材料均取自上海辰山植物园牡丹试验地,采集日期为 2014 年 4 月 1 日至 2014 年 4 月 9 日,详细资料见表 1。

表 1

试验材料

样品分组	品种名称	采集日期	采集人及采集号
The sample group	Plant name	Collecting date/年-月-日	Collector and number
杨山牡丹 <i>Paeonia ostii</i>	洛阳种群 Luoyang population	2014-04-01	宣亚楠等 CS001(XUAN Y N, et al) CS001
	铜陵种群 Longling population	2014-04-05	宣亚楠等 CS549(XUAN Y N, et al) CS549
	菏泽种群 Heze population	2014-04-09	宣亚楠等 CS149(XUAN Y N, et al) CS149
	邵阳种群 Shaoyang population	2014-04-08	马蓝鹏等 CS433(MA L P, et al) CS433
	亳州种群 Bozhou population	2014-04-08	杜玉玲等 CS881(DU Y L, et al) CS881
中原牡丹 Common Chinese tree peonies	‘粉中冠’ ‘Fenzhongguan’	2014-04-06	杜玉玲等 14101(DU Y L, et al) 14101
	‘肉芙蓉’ ‘Roufufurong’	2014-04-06	宣亚楠等 141102(XUAN Y N, et al) 14102
	‘玉面桃花’ ‘Yumiantaohua’	2014-04-06	宣亚楠等 141103(XUAN Y N, et al) 14103
	‘脂红’ ‘Zhihong’	2014-04-06	杜玉玲等 14104(DU Y L, et al) 14104
	‘锦绣球’ ‘Jinxiuqiu’	2014-04-06	宣亚楠等 141105(XUAN Y N, et al) 14105
日本牡丹 Japanese tree peonies	‘岛锦’ ‘Daojin’	2014-04-06	马蓝鹏等 14201(MA L P, et al) 14201
	‘太阳’ ‘Taiyang’	2014-04-08	杜玉玲等 CS1662(DU Y L, et al) CS1662
	‘花王’ ‘Huawang’	2014-04-08	宣亚楠等 CS1673(XUAN Y N, et al) CS1673
牡丹、芍药杂交种	芍药‘珊瑚黄金’ <i>Paeonia</i> ‘Coral N Gold’	2014-04-25	马蓝鹏等 071634(MA L P, et al) 071634
The hybrids between tree and	芍药‘东方金’ <i>Paeonia</i> ‘Oriental Gold’	2014-04-25	马蓝鹏等 071646(MA L P, et al) 071646
herbious peonies	芍药‘珊瑚日落’ <i>Paeonia</i> ‘Coral Sunset’	2014-04-25	马蓝鹏等 071673(MA L P, et al) 071673

1.2 试验方法

将剥出的新鲜花粉粒置于硫酸纸袋中,干燥器干燥或直接将自然干燥后的花粉粒均匀铺放在样品托的双面胶带上以制备样品。样品喷金处理后置于扫描电镜 (QUANTA 250 Environmental Scanning Electron Microscope, ESEM) 下进行观察、拍照,扫描电镜工作电压为 10 kV。分别在 $600\times$ 、 $2\,500\times$ 和 $5\,000\times$ 下观察花粉粒的群体、个体形态及花粉粒赤道面中央区的外壁纹饰。

1.3 项目测定

每个样品取 20~30 粒花粉粒,分别测量赤道面宽、极轴长、穿孔直径和脊宽度,求平均值。计算各项孢粉形态指标。

1.4 数据分析

用 Image J 软件测量赤道面宽、极轴长、穿孔直径和脊宽度等指标,采用 Excel 2010 进行数据处理,并用统计学软件 SPSS 19.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 各花粉的形态指标

通过比较研究 16 种试验材料的花粉表面形态,

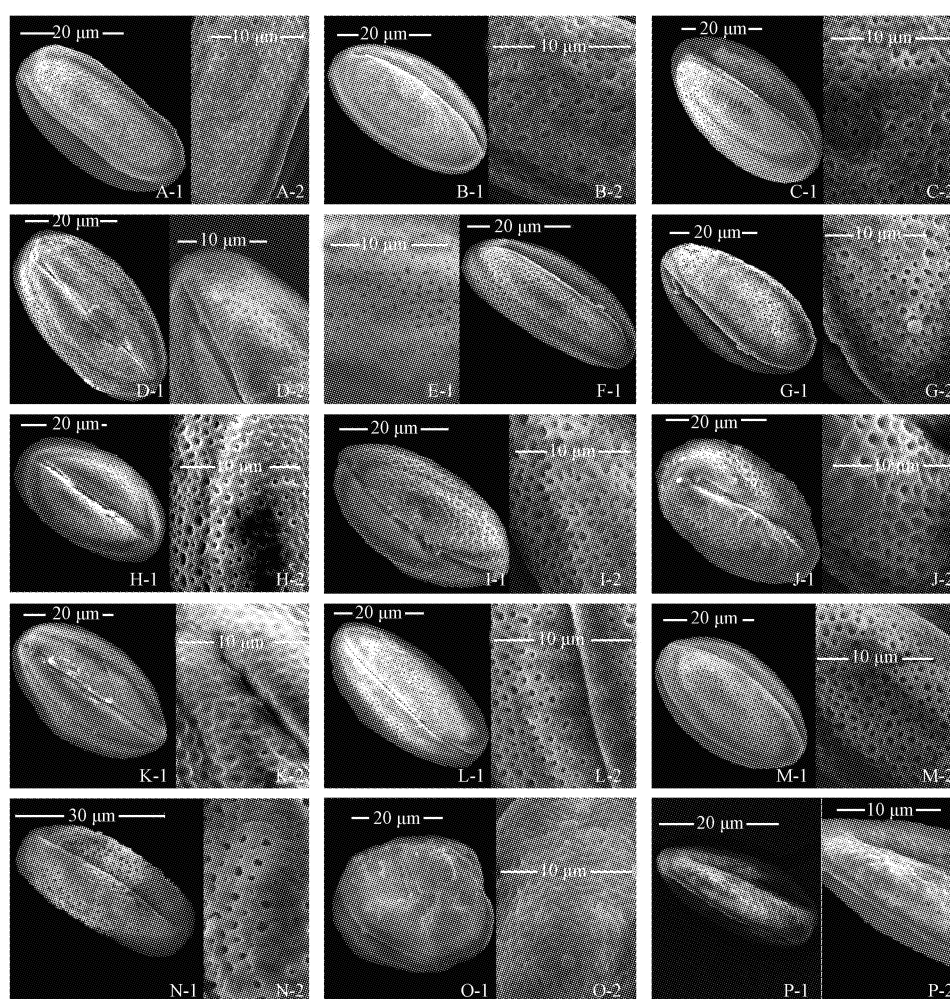
总体来说牡丹组花粉多为长球形,少数为超长球形,赤道面多为椭圆形;极面观多为三裂圆形。三拟孔沟,属于 N3P4C5 类型,外壁纹饰有小穴状、穴状、穴网状、网状、粗网状、皱波-网状(图 1-A~M)。杂交种为长球形、近球形、超长球形,极面观为圆形,网眼较小,纹饰为小穴状、皱波-网状和皱波状(图 1-N~P)。各花粉的形态量化指标及形态比较观察结果见表 2、3 和图 1。

2.2 不同用途牡丹花粉的形态差异

油用牡丹与中原牡丹花粉在极轴长、赤道面宽、极轴长/赤道面宽和萌发沟长基本无差异,穿孔直径和穿孔直径/脊宽比中原牡丹小,脊宽较中原牡丹宽。它们在极面观、纹饰上差异较大,观赏牡丹极面观多为椭圆形,纹饰多为网状,网眼均有凸起,而油用牡丹极面观多为椭圆形,纹饰多为穴状,网眼中只有铜陵种群部分有凸起(图 1-B)。

2.3 不同地域牡丹花粉的形态差异

日本牡丹花粉极轴长、赤道面宽、极轴长/赤道面宽、萌发沟长、萌发沟宽、穿孔直径和脊宽均大于中原牡丹,日本牡丹的纹饰多为网状,网眼内无凸起,中原牡丹纹饰多为网状,网眼均有凸起(图 1-G~K)。



注:A 洛阳种群;B 铜陵种群;C 邵阳种群;D 亳州种群;E 菏泽种群;F ‘玉面桃花’;G ‘粉中冠’;H ‘脂红’;I ‘肉芙蓉’;J ‘锦绣球’;K ‘岛锦’;L ‘花王’;M ‘太阳’;N ‘珊瑚黄金’;O ‘东方金’;P ‘珊瑚日落’。所有 A1-P1、K-2 和 N-2 为 2 500 \times ,其余均为 5 000 \times 。

Note: A Luoyang population; B Tongling population; C Shaoyang population; D Bozhou population; E Heze population; F ‘Yumiantaohua’; G ‘Fenzhongguan’; H ‘Zhihong’; I ‘Roufurong’; J ‘Jinxiuqi’; K ‘Daojin’; L ‘Huawang’; M ‘Taiyang’; N Paeonia ‘Coral N Gold’; O Paeonia ‘Oriental Gold’; P Paeonia ‘Coral Sunset’. From ‘A-1’ to ‘P-1’, K-2 and N-2 are 2 500 \times , others are 5 000 \times .

图1 扫描电镜各花粉形态

Fig.1 The pollen's shapes in scanning electron microscopy

2.4 牡丹花粉与牡丹芍药杂交种的形态差异

供试所有牡丹花粉极轴长、赤道面宽、极轴长/赤道面宽、萌发沟长、萌发沟宽和穿孔直径均大于杂交种,但脊宽均小于杂交种,杂交种花粉网眼形状较牡丹规则,网脊形状不规则,花粉纹饰多为皱波状(图 1-N、O)。

3 讨论与结论

3.1 杨山牡丹不同种源具有不同花粉外壁纹饰

根据差异显著性分析,不同种群的花粉形态指标存在显著性差异,杨山牡丹 5 个种群中,铜陵种群是超长球形,纹饰既有洛阳种群的穴状又有菏泽种群的小穴状,邵阳种群花粉极轴长、赤道面宽等均大于其它种群,其纹饰也不同于其它 4 个种群,孔穴基本形成穿孔,有的花粉粒表面网脊隆起,且彼此相互交织,网眼镶嵌其中,形状不规则,由此可以看出,邵阳种群花粉外壁纹饰

从原始的小穴状到进化的皱波状均有存在,关于花粉纹饰多型性这一现象,温坎坡等^[19]已有描述。由外壁纹饰推断 5 个种群的进化顺序为菏泽、铜陵、洛阳、亳州和邵阳,这一顺序与袁涛等^[16]认为牡丹花粉外壁纹饰演化的途径相一致。同时说明孢粉学在系统分类或种和品种鉴定中有一定的参考意义。此外,该研究中所有样本的花粉粒均有一定比例的形态畸形,这与牡丹花粉粒的高败育率有关,也可能与样品的保存方法有关^[20]。

3.2 不同牡丹品种间花粉形态差异很大

13 个品种牡丹的花粉在形态大小上变化幅度虽小,但 3 种不同用途牡丹之间还是略有差异。日本牡丹极轴略长,赤道面、萌发沟略长;杨山牡丹最为饱满,网脊较宽;中原品种网脊略窄,形状较规则。

不同牡丹间的花粉壁表面纹饰差异很大。杨山牡

表 2 各供试材料的花粉形态量化指标

Table 2 The quantitative indicators of pollen morphology of tree peonies

名称 Name	极轴长 Polar axis / μm	赤道面宽 Equatorial plane width/ μm	极轴长/赤道面宽 Polar axis /equatorial plane width	萌发沟长 Germinal furrow length/ μm	萌发沟宽 Germinal furrow width/ μm	穿孔直径 Perforation diameter/ μm	脊宽 Ridge width / μm	穿孔径与脊宽比 Perforation diameter /ridge width
杨山牡丹	40.27±3.15	22.26±2.11	1.80±0.14	34.35±4.64	1.90±0.53	0.49±0.09	0.72±0.17	0.73±0.16
洛阳种群	39.28±1.44c	21.16±1.16b	1.87±0.06b	32.37±1.20c	1.40±0.27c	0.56±0.11a	1.01±0.23a	0.63±0.05d
铜陵种群	41.48±1.06b	20.92±1.76b	2.03±0.03a	35.07±1.02b	1.48±0.40c	0.56±0.13a	0.62±0.14b	0.94±0.04a
邵阳种群	44.00±2.40a	25.08±1.30a	1.73±0.08bc	39.89±1.13a	2.59±0.67a	0.55±0.14a	0.68±0.07a	0.82±0.03b
亳州种群	41.10±2.65b	23.89±0.86a	1.72±0.06c	36.79±2.27b	1.72±0.41bc	0.41±0.04b	0.60±0.06c	0.73±0.02c
菏泽种群	35.50±2.50d	20.23±0.89b	1.71±0.02c	27.63±1.12d	2.32±0.34ab	0.39±0.13b	0.69±0.16a	0.54±0.04e
中原牡丹品种	40.34±2.69	22.02±2.45	1.80±0.17	35.00±3.72	1.46±0.53	0.63±0.20	0.54±0.05	1.16±0.28
‘粉中冠’	34.43±2.28b	22.78±1.72a	1.54±0.02d	37.51±1.55a	1.16±0.28bc	0.45±0.03c	0.59±0.10a	0.83±0.05e
‘玉面桃花’	29.21±2.02c	17.70±2.60c	2.24±0.04a	37.05±2.60a	0.80±0.11c	0.59±0.09c	0.47±0.10b	1.12±0.04c
‘锦绣球’	41.85±2.34a	23.11±2.69b	1.78±0.16b	29.00±0.91c	1.79±0.52a	0.95±0.16a	0.56±0.09a	1.69±0.03a
‘肉芙蓉’	36.67±1.71b	22.78±1.62b	1.66±0.66c	37.84±0.87a	1.38±0.33b	0.76±0.10b	0.50±0.09ab	1.57±0.06b
‘脂红’	42.39±2.81a	23.74±2.32b	1.78±0.11b	34.11±1.43b	2.15±0.42a	0.5±0.06c	0.55±0.10a	0.96±0.06d
日本牡丹	42.37±1.75	24.98±1.19	1.72±0.09	38.40±2.19	1.62±0.52	0.67±0.15	0.61±0.07	1.10±0.06
‘岛锦’	40.66±1.07c	25.63±2.07a	1.62±0.10c	36.14±2.28b	1.90±0.20a	0.8±0.14a	0.69±0.17a	1.14±0.06a
‘花王’	42.30±1.58b	23.60±1.35b	1.80±0.03a	38.54±0.94ab	1.02±0.07b	0.51±0.08c	0.57±0.10c	1.04±0.02b
‘太阳’	44.15±2.51a	25.70±2.18a	1.74±0.09bc	40.52±3.02a	1.93±0.53a	0.69±0.05b	0.58±0.04b	1.13±0.05a
牡丹芍药杂交种	34.28±5.00	21.50±6.86	1.67±0.04	30.61±4.32	0.97±0.47	0.40±0.26	0.76±0.21	0.51±0.28
‘珊瑚黄金’	39.20±2.17a	21.07±1.57b	1.78±0.07b	32.18±1.51a	1.06±0.26b	0.70±0.07a	0.85±0.11a	0.83±0.05a
‘东方金’	34.43±2.28b	28.60±1.36a	1.23±0.04c	33.93±1.46a	0.46±0.01c	0.23±0.06b	0.52±0.08b	0.43±0.01b
‘珊瑚日落’	29.21±2.02c	14.91±1.04a	2.01±0.01a	25.73±2.28b	1.39±0.63a	0.26±0.06b	0.90±0.20a	0.28±0.01c

注:同系列中不同字母(a,b,c,d,e)表示差异显著性($P<0.05$)。
Note: Different letters (a,b,c,d,e) within the same series mean significant difference ($P<0.05$).

表 3 各花粉的形态观察

Table 3 The pollen morphology from different tree peonies

	名称	形状	极面观	网脊是否光滑	网眼形状	网眼有无凸起	纹饰
	Name	Shape	Polar view	Lirae is glossy or not	The shape of size of aperture	Aperture has prominence or not	Grains
杨山牡丹	洛阳种群	长球形	椭圆形	光滑	圆形、近圆形	无	穴状
	铜陵种群	超长球形	椭圆形	光滑	圆形、近椭圆形	部分有	穴状
	菏泽种群	长球形	圆形	光滑	椭圆形、三角形	无	小穴状
	邵阳种群	长球形	长椭圆形	光滑	不规则、大小不等	无	皱波-网状
	亳州种群	长球形	椭圆形	光滑	圆形、近圆形	无	穴状
中原牡丹品种	‘粉中冠’	长球形	椭圆形	光滑	形状不规则	有	穴状
	‘玉面桃花’	超长球形	椭圆形	光滑	圆形、近椭圆形	有	网状
	‘脂红’	长球形	椭圆形	光滑	圆形、椭圆形	有	穴状
	‘肉芙蓉’	长球形	椭圆形	光滑	椭圆形、长方形	有	网状
	‘锦绣球’	长球形	椭圆形	光滑	近圆形	有	粗网状
日本牡丹	‘岛锦’	长球形	椭圆形	光滑	不规则多边形	无	网状
	‘花王’	长球形	椭圆形	光滑	圆形、椭圆形	无	网状
	‘太阳’	长球形	椭圆形	光滑	圆形	无	穴网状
牡丹芍药杂交种	‘珊瑚黄金’	长球形	圆形	光滑	圆形、近圆形	无	皱波-网状
	‘东方金’	近球形	圆形	光滑	不规则	无	皱波状
	‘珊瑚日落’	超长球形	圆形	光滑	穴状、圆形	无	小穴状

丹花粉外壁表面多为穴状纹饰,网眼小且较规则,多为圆形或近圆形,网眼内无突起,网脊连续光滑,网脊的宽度大于网眼直径,魏乐^[6]对甘肃榆中的凤丹花粉进行研究,认为凤丹花粉纹饰为细网状,进一步证明了不同种源的风丹花粉纹饰有差异。中原牡丹供试花粉中 3 个为网状纹饰,2 个为穴状纹饰,网眼中有不同形状的凸起物,网眼较大,网脊较细,该品种群既有与矮牡丹相似的穴状纹饰,又与紫斑牡丹的粗网状纹饰相似,也有与凤丹相似的穴状纹饰,栽培牡丹从野生牡丹演化而来,花粉形态与野生牡丹既相似但不完全相同,反映出栽培牡丹起源的复杂性^[15]。日本牡丹‘太阳’、‘岛锦’和‘花王’

为穴网状和网状纹饰,与中原牡丹的纹饰很接近,以此推断日本牡丹和中原牡丹亲缘关系较近,这与杨秋生等^[21]的研究结果一致。
3.3 部分重瓣类观赏品种花粉纹饰特化趋势明显
中原品种中‘锦绣球’和‘肉芙蓉’的外壁为粗网纹饰,穿孔频率低,脊面宽度远小于网眼直径,花粉外壁表面的网眼多为不规则形,部分为圆形或近圆形。这与其它观赏品种相比差异明显,表明它们的花粉纹饰特化趋势比较明显。WALKER^[22]认为穿孔直径与脊宽度的比值大者,进化程度较高,该观点与曾秀丽等^[20]的研究结果一致,但这种重瓣类观赏品种花粉纹饰特化现象是否与重瓣化相关,还需要进一步探讨。

综上所述,牡丹花粉的形态比较复杂,主要体现在花粉的外壁纹饰上。不同用途的牡丹花粉纹饰差异明显,观赏牡丹网状纹饰居多,杨山牡丹穴状纹饰居多。不同地域的观赏牡丹花粉纹饰也存在差异,日本牡丹多为穴网和网状纹饰,而中原牡丹纹饰类型较多,以网状为主。杂交种外壁纹饰既有牡丹的纹饰也有芍药的纹饰,多以芍药的皱波-网状为主。牡丹花粉与杂交种在极轴长、赤道面宽、极轴长/赤道面宽、萌发沟长、萌发沟宽和穿孔直径以及脊宽等方面存在差异。因此,可以根据花粉形态对牡丹组的植物进行品种间鉴定、分类,进一步为牡丹园艺品种的起源、演化以及种类间亲缘关系等的研究提供理论基础。

参考文献

- [1] 丁春邦,李强,李燕,等. 重楼属 9 种 5 变种花粉活力与柱头可授性研究[J]. 草业学报,2009,18(4):61-66.
- [2] 张彦妮,钱灿. 12 种百合属植物花粉形态扫描电镜观察[J]. 草业学报,2011,20(15):111-118.
- [3] 孙俊娅,万惠敏,袁晓晶,等. 芍药属牡丹组花粉形态的研究进展[J]. 河北农业科学,2009,13(4):18-19.
- [4] 任洪岩,吾买尔夏提·塔汉,周桂玲,等. 12 种十字花科植物花粉形态研究[J]. 西北植物学报,2011,31(1):72-74.
- [5] 赵先贵,肖玲,毛富春. 中国植物花粉形态的研究进展[J]. 西北植物学报,1999,19(5):92-95.
- [6] 魏乐. 牡丹种间花粉粒形态差异性比较[J]. 青海大学学报,2007,25(6):52-54.
- [7] ALIC D C, DERRNJA N, KOSTIC I, et al. Pollen morphology, viability, and germination of *Prunus domestica* cv. Požegača [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 155:118-120.
- [8] YUAN J H, CHENG F Y, ZHOU S L. Hybrid origin of *Paeonia* × *yananensis* revealed by microsatellite markers, chloroplast gene sequences, and morphological characteristics[J]. International Journal of Plant Science, 2010, 171(4):409-420.
- [9] YUAN J H, CORNILLE A, GIRAUD T, et al. Independent domestications of cultivated tree peonies from different wild peony species[J]. Molecular Ecology, 2014, 23:82-95.
- [10] 李子峰,王佳,胡永红,等. ‘凤丹白’牡丹核型分析与减数分裂的细胞遗传学观察[J]. 园艺学报,2007,34(2):411-416.
- [11] 李嘉珏,张西方,赵孝庆. 中国牡丹[M]. 北京:中国大百科全书出版社,2011:2.
- [12] 周琳,王雁. 我国油用牡丹开发利用现状及产业化发展对策[J]. 世界林业研究,2014,27(1):68-71.
- [13] LI S S, YUAN R Y, CHEN L G, et al. Systematic qualitative and quantitative assessment of fatty acids in the seeds of 60 tree peony (*Paeonia* section *Moutan* DC.) cultivars by GC-MS [J]. Food Chemistry, 2015, 173:133-140.
- [14] 席以珍. 中国芍药属花粉形态及其外壁超微结构的观察[J]. 植物学报,1984,26(3):241-244.
- [15] 郭先锋,王莲英,袁涛. 4 种野生芍药的花粉形态研究[J]. 林业科学,2005,41(5):185-186.
- [16] 袁涛,王莲英. 几个牡丹野生种的花粉形态及其演化分类的探讨[J]. 北京林业大学学报,1999,21(1):18-21.
- [17] 王佳. 杨山牡丹遗传多样性与江南牡丹品种资源研究[D]. 北京:北京林业大学园林学院,2009:108-111.
- [18] 何丽霞,李春,李嘉珏,等. 中国野生牡丹花粉形态的研究[J]. 兰州大学学报,2005,41(4):44-49.
- [19] 温坎坡,郑卓. 被子植物的花粉形态系列与系统发育[J]. 植物分类学报,1990,28(2):103-111.
- [20] 曾秀丽,代安国,谢玲,等. 部分牡丹花粉粒超微结构的研究初报[J]. 四川农业大学学报,2009,27(4):466-470.
- [21] 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):134-137.
- [22] WALKER J W. 原始被子植物花粉外壁进化的意义. 中国科学院植物研究所古植物研究室孢粉组译:孢粉学译丛[M]. 第 1 集. 北京:科学出版社,1980:91-134.

Comparative Study on Different Provenance Oil Use and Ornamental Tree Peony Pollen Ultrastructure

XUAN Yanan^{1,2}, HU Yonghong², LI Xin¹, DU Yuling¹, YAN Yongqing¹

(1. College of Horticulture, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. Shanghai Chenshan Plant Science Research Center, Chinese Academy of Sciences; Shanghai Key Laboratory of Plant Functional Genomics and Resources, Chenshan Botanical Garden, Shanghai 201602)

Abstract: Ultrastructure of pollen of five different population *Paeonia ostii*, eight ornamental varieties of tree peony, and three hybrids between tree and herbious peony were compared under the scanning electron microscopy. The results showed that pollen wall sculpture were differed significantly between the different population, as well as within the different tree peony groups. The pollen wall sculpture cave-shaped were dominate in *P. ostii*, the mesh pollen wall sculpture in ornamental peonies and the crisped-mesh pollen wall sculpture were dominated in hybrids. The polar axis, equatorial plane wide, axial length/ equatorial plane width, germinal furrow length and width, and perforation diameter of tree peonies were commonly longer than that of the hybrids, but the ridge width of tree peony was less than that of the hybrids. The different pollen morphological provided important markers for identification of different utilization and different cultivars, and also provided evidences for the origin, evolution and consanguineous relations among varieties of tree peony.

Keywords: *Paeonia ostii*; common Chinese tree peonies; Japanese tree peonies; the hybrids between tree and herbious peonies; ultra-micro structure of pollen