

## 木兰科 7 种植物花粉的扫描电镜观察

薛晓明, 南程慧, 杨荣治, 林尤山

(南京森林警察学院国家林业局森林公安司法鉴定中心, 南京 210023)

**摘要:** 在扫描电子显微镜下对木兰科 4 属 7 种植物的花粉表面微形态进行了观察和研究, 其中 3 种为首次报道。结果表明, 7 种植物的花粉均为长球形, 为远极单沟花粉, 两侧对称, 均有穿孔或疣状突起。4 属有明显的属间差异, 鹅掌楸属穿孔大而显著为典型的穴一网状纹饰, 含笑属具穿孔或小穴拟网状纹饰, 木兰属外壁平滑具稀疏的小孔或疣状突起, 木莲属具不同程度的网格状的纹饰。根据花粉的极轴长度 (P)、P/E 值的大小和外壁纹饰的类型, 证实木兰属和含笑属较进化, 木莲属和鹅掌楸属较原始, 和花粉形态的分析结果一致。

**关键词:** 木兰科; 花粉; 扫描电子显微镜; 纹饰; P/E 值

中图分类号: Q944.42

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)06-1098-06

### Pollen morphology of seven Magnoliaceae species under a scanning electron microscope

XUE Xiaoming, NAN Chenghui, YANG Rongzhi, LIN Youshan

(Forest Police Forensic Science Institution of State Forestry Administration, Nanjing Forest Police College, Nanjing 210023)

**Abstract:** Pollen morphology of seven species in four genera of Magnoliaceae was studied using a scanning electron microscope (SEM), of which three were firstly reported. The results indicated that all the pollens of these species were long spherical, single ditch in polar view, bilaterally symmetrical, and with perforation or verrucate. There were significant differences in pollen morphology of these four genera: the perforates of *Liriodendron* pollen were perforated large and with typical hole-mesh ornamentations; while the *Michelia* pollen were small and with small mesh ornamentations; the *Magnolia* pollen were smooth and with sparse holes or verrucous protuberances, while the *Manglietia* pollen were with grid ornamentations in different degrees. Based on the polar axis length (P), the size of P/E, and the type of external wall decoration, the *Manglietia* and *Liriodendron* were suggested to be more primitive than *Magnolia* and *Michelia*, which were consistent with the results of pollen morphology analysis.

**Key words:** Magnoliaceae; pollen; scanning electron microscope (SEM); ornamentation; P/E value

木兰科植物是最原始的被子植物, 在中国分布有 108 或 112 个种<sup>[1]</sup>, 很多种类是具有很高观赏价值的园林绿化树种, 也不乏芳香、药用和用材等多种经济价值。木兰科植物在自然分布区内的分布范围虽然较广, 但其生态位普遍狭窄, 种群数量较少, 再加上其所处生境质量日益降低, 部分树种属于珍稀濒危植物; 目前已经有 25 种木兰科的植物被列入国家重点保护野生植物名录 (第一批) 的保护范围。

花粉具有较高的遗传稳定性和保守性, 其形状大小、萌发孔的数目和位置, 外壁的纹饰等具有种的特异性, 是植物分类的重要形态学依据<sup>[2-4]</sup>。自

20 世纪 90 年代以来, 扫描电子显微镜 (SEM) 在植物花粉的研究中广泛应用, 是花粉形态研究的有效手段。近年来, 花粉的超微结构观察在植物系统发育研究中已经成为一种重要的研究方法<sup>[2-6]</sup>。

对木兰科花粉的形态研究较早的是美国马萨诸塞大学植物系的 Walker 研究了毛茛类 (包括木兰科) 植物的花粉<sup>[7]</sup>, 但其研究对象只限于美国的特有种。木兰科的观赏植物较多, 所以关于花粉萌发力的研究较多, 而关于花粉的形态学研究则相对较少。中国分布的木兰科植物花粉研究较早的是 1985 年南京林业大学的李又芬等人对木兰属的 6 种植物

收稿日期: 2016-12-04

基金项目: 中央高校基本科研业务经费项目 (LGZD201506) 和 2014 年度江苏省教育厅高校“青蓝工程”(苏教师[2014]23 号)共同资助。

作者简介: 薛晓明, 博士, 副教授。E-mail: jdmm24@me.com

花粉形态进行了观察<sup>[8]</sup>,但未对花粉形态的类型、进化进行系统的分析。随后研究者陆续对木兰科的单性木兰属、木莲属、含笑属和鹅掌楸属等类群的花粉形态进行了观察,重点是花粉的外壁特征和发育过程,并对物种的分类地位和进化关系进行了探讨<sup>[4,9-17]</sup>。如韦仲新和吴征镒<sup>[9]</sup>,徐进和王章荣<sup>[13]</sup>对鹅掌楸和北美鹅掌楸的花粉形态进行了比较,并根据表面纹饰类型和壁层分化情况,说明鹅掌楸属是木兰科中较为进化的类群;而中国鹅掌楸相较北美鹅掌楸更原始。所以,当前国内外研究者对木兰科植物的花粉研究主要集中在不同物种的种间差别、分类地位研究,花粉形态和遗传性、生态因子的关

系等几个方面。

由于木兰科分类地位的特殊性,其孢粉学证据还需要更多的数据和研究的支持。所以,本研究选择木兰科中经济价值较高的 7 种树木作为研究对象,进行了扫描电子显微镜下的花粉形态观察,具有一定的研究价值和应用价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

木兰科的 7 种植物花粉作为研究对象,其中 4 种为国家二级重点保护植物,详见表 1。

表 1 材料来源

Table 1 Species and location used for study

序号 No.	中文名 Chinese name	拉丁学名 Latin name	属 Genus	保护级别 Protection level	采集地 Sampling site
1	云南含笑	<i>Mechelia yunnannensis</i>	含笑属	—	中科院昆明植物园
2	深山含笑	<i>Mechelia maudiae</i>	含笑属	—	南京森林警察学院仙林校区
3	宝华玉兰	<i>Magnolia zenii</i>	木兰属	二级	宝华山自然保护区
4	馨香玉兰	<i>Magnolia odoratissima</i>	木兰属	二级	中科院昆明植物园
5	毛果木莲	<i>Manglietia ventii</i>	木莲属	二级	中科院昆明植物园
6	桂南木莲	<i>Manglietia conifera</i>	木莲属	—	上海植物园
7	鹅掌楸	<i>Liriodendron chinense</i>	鹅掌楸属	二级	南京森林警察学院仙林校区

### 1.2 样品采集和保存

在植物的盛花期采集花粉或花药,装入硫酸纸袋,室温下自然干燥 1 到 2 周后干燥器内保存。

### 1.3 花粉形态观察和数据统计

供扫描电子显微镜观察的花粉直接散布在贴有导电胶的样品台上,经真空喷金镀膜后,在 S-3400 型扫描电镜(日本日立公司)下观察并拍照。花粉大小为所观察花粉粒(10~20 粒)的平均值。

## 2 结果与分析

本研究详细描述了木兰科的云南含笑等 7 种植物的花粉在扫描电子显微镜(SEM)下的形态特征,其中 3 种为首次报道。结果表明 4 属 7 种植物花粉的主要特征符合木兰科植物花粉的类群特征:花粉形态为长球形,单沟花粉,花粉沟位于远极面,两侧对称。属间和种间的形态区别主要体现在花粉外壁纹饰和 P/E 值的变化。

### 2.1 7 种植物花粉的 SEM 观察结果

云南含笑(图 1: 1~3)是特产于云南的观赏树木。花粉远极面观为长椭圆形;赤道面观察为舟形。花粉极轴(P)长约 48.53  $\mu\text{m}$  (44.1~52.0  $\mu\text{m}$ ),赤道轴(E)长约 20.31  $\mu\text{m}$  (18.7~21.9  $\mu\text{m}$ )。孔沟

长直达两端,下陷,两边内折。高倍下可见外壁表面具穿孔,边缘陡峭,大小略不均匀,圆形或长圆形,形成小穴一拟网状纹饰。

深山含笑(图 1: 4~6)是中国南方地区的著名观赏树种。花粉近极面和远极面观均为长椭圆形,赤道面观察为扁舟形。孔沟较长,直达两极,沟缘平直。花粉极轴(P)长约 44.8  $\mu\text{m}$  (40.8~47.7  $\mu\text{m}$ ),赤道轴(E)长约 19.77  $\mu\text{m}$  (17.1~22.5  $\mu\text{m}$ )。外壁表面穿孔较小,边缘平滑,较浅,形成了光滑一模糊的小穿孔状纹饰。

宝华玉兰(图 1: 7~9)是中国特有种,产于江苏省句容宝华山。花粉赤道面观察为长椭圆形或长圆形,极面观察为长椭圆形或舟形。花粉极轴(P)长约 46.37  $\mu\text{m}$  (40.3~55.9  $\mu\text{m}$ ),赤道轴(E)长约 17.87  $\mu\text{m}$  (14.4~21.6  $\mu\text{m}$ )。花粉沟长达两极,沟缝狭长;花粉外壁光滑,具稀疏的小穴状穿孔,穿孔间距较大,网脊较平。

馨香玉兰(图 1: 10~12)是中国特有种,产云南西畴。花粉赤道面观察为长椭圆形或长圆形,极面观察为长椭圆形或舟形。花粉极轴(P)长约 76.32  $\mu\text{m}$  (63.4~82  $\mu\text{m}$ ),赤道轴(E)长约 30.38  $\mu\text{m}$

(26.5~34.5  $\mu\text{m}$ )。花粉沟长达两极,沟缝狭长,两端尖削;花粉外壁光滑,具体积较小的疣状凸起,网脊宽平。

毛果木莲(图 1: 13~16)是中国特有的珍稀树种。花粉赤道面观察为长椭圆形或长圆形,远极面观察为长椭圆形,近极面为舟形。花粉极轴(P)长约 71.28  $\mu\text{m}$  (68.1~76.8  $\mu\text{m}$ ),赤道轴(E)长约 34.14  $\mu\text{m}$  (27.4~36.9  $\mu\text{m}$ )。花粉沟位于远极面,长达两极,或沟缝狭长或沟缝裂开,沟两端钝圆,沟缘平滑;花粉外壁具浅略不明显的网格状纹饰,由皱纹和较少的小穿孔组成,网眼间距较大,网脊较平、光滑。

桂南木莲(图 1: 17~19)是主产中国西南地区用材和观赏树种。花粉赤道面观察为长椭圆形,

远极面观察为舟形。花粉极轴(P)长约 66.74  $\mu\text{m}$  (59.7~70.8  $\mu\text{m}$ ),赤道轴(E)长约 36.36  $\mu\text{m}$  (31.6~41.1  $\mu\text{m}$ )。花粉沟长达两极,或沟缝较宽或沟缝裂开,沟两端钝圆,沟缘平滑;花粉外壁具浅略不明显的网格状纹饰,由不均匀分布的小穿孔组成,网脊较平、光滑。

鹅掌楸(图 1: 20~22)是特产于中国的珍稀树种。花粉粒长球形或者橄榄形,极面观长椭圆形,赤道面观察为长椭圆形或长圆形。花粉极轴(P)长约 66.87  $\mu\text{m}$  (58.1~74.9  $\mu\text{m}$ ),赤道轴(E)长约 32.63  $\mu\text{m}$  (31.2~36  $\mu\text{m}$ )。花粉沟长达两极,较宽,常有沟膜,表面具有较浅纹饰;花粉外壁具明显网格状纹饰,网眼圆形或近圆形,不均匀,网眼直径较大,网脊较平、光滑。

表 2 七种花粉粒的大小  
Table 2 Size of seven pollens

物种 Species	极轴长 Polar axis length (P)			赤道轴长 Equatorial axis length (E)			P/E
	范围/ $\mu\text{m}$ Range	均值 $\pm$ 标准差 Average $\pm$ SD	变异系数/% CV	范围/ $\mu\text{m}$ Range	均值 $\pm$ 标准差 Average $\pm$ SD	变异系数/% CV	
云南含笑 <i>Mechelia yunnanensis</i>	44.1~52.0	48.53 $\pm$ 2.58	5.31	18.7~21.9	20.31 $\pm$ 0.92	4.55	2.39
深山含笑 <i>Mechelia maudiae</i>	40.8~47.7	44.80 $\pm$ 2.17	4.83	17.1~22.5	19.77 $\pm$ 1.65	8.32	2.26
宝华玉兰 <i>Magnolia zenii</i>	40.3~55.9	46.37 $\pm$ 6.19	13.36	14.4~21.6	17.87 $\pm$ 2.24	12.54	2.59
馨香玉兰 <i>Magnolia odoratissima</i>	63.4~82.0	76.32 $\pm$ 6.02	7.88	26.5~34.5	30.38 $\pm$ 2.94	9.66	2.51
毛果木莲 <i>Manglietia ventii</i>	68.1~76.8	71.28 $\pm$ 3.29	4.62	27.4~36.9	34.14 $\pm$ 2.96	8.68	2.09
桂南木莲 <i>Manglietia conifera</i>	59.7~70.8	66.74 $\pm$ 4.11	9.95	31.6~41.1	36.36 $\pm$ 3.62	6.16	1.84
鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i>	58.1~74.9	66.87 $\pm$ 6.21	9.29	31.2~36.0	32.63 $\pm$ 1.97	6.05	2.05

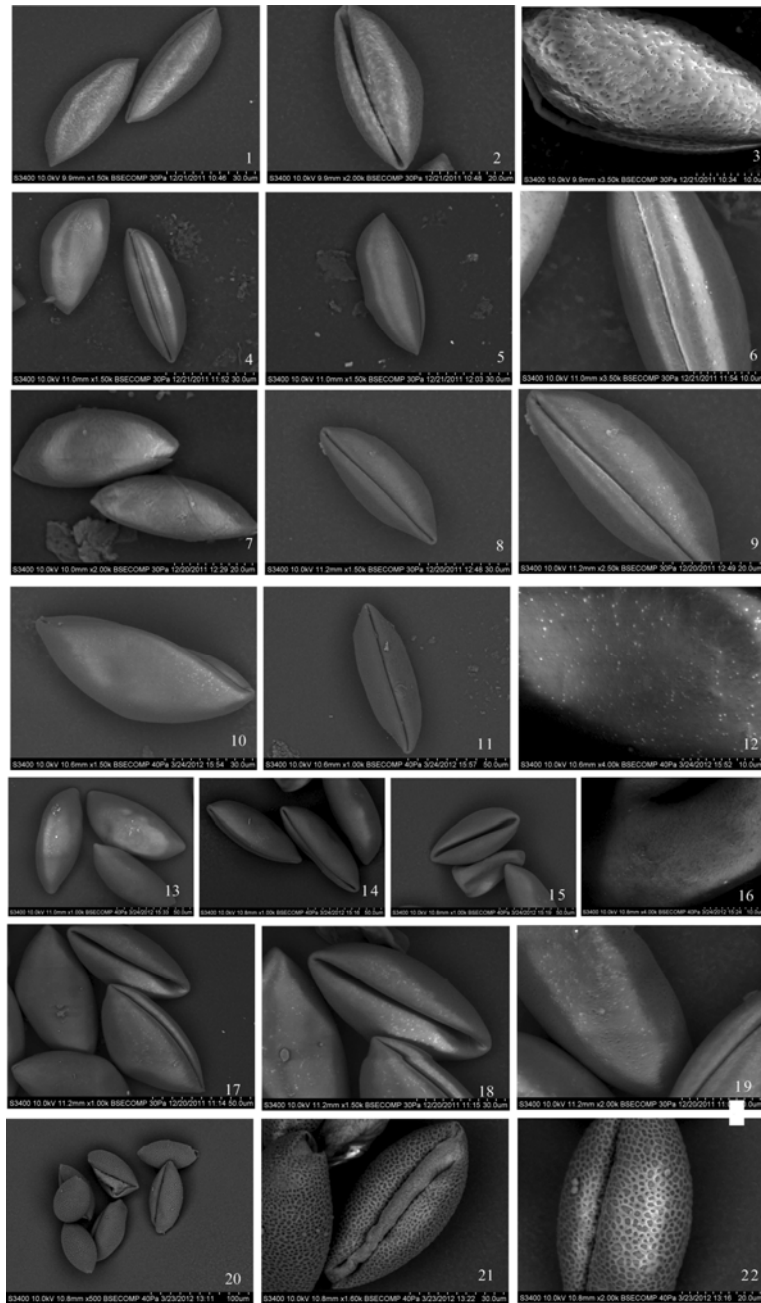
## 2.2 花粉形态特征比较

一般认为花粉粒的表面特征包括是否具有脊和穴状小孔密度<sup>[15]</sup>,在郝佳波等<sup>[15]</sup>的研究中对花粉粒表面小孔的密度统计的变异系数普遍偏大,16个种中12个种的变异系数超过100%,最高达到447.2%;这证明孔穴密度的种内离散程度较大,种的代表性较差,所以本研究只观察了孔穴的形态。在观察的7种木兰科植物的花粉中,鹅掌楸的孔穴尺寸最大,大多数的直径都超过1  $\mu\text{m}$ ;但形状多样化,有近椭圆、近圆形和近方形,直径越大形状越不规则,形成了交织的穴—网格状结构,和前人的研究结果一致<sup>[13]</sup>。

木兰属的2个种花粉粒表面均比较光滑,宝华玉兰为稀疏的小穿孔;馨香玉兰的表面为疣点状突

起,其形态和徐凤霞等<sup>[12]</sup>报道中的长叶木兰一致,该文献中将之描述为“微皱”,因凸起多为明显的圆形,不同于一般意义上的皱纹,认为用“疣点状突起”描述这一情况更为确切。

木莲属的2种的花粉粒表面均有明显纹饰,毛果木莲的纹饰由皱纹和小穿孔组成,其形状与华木莲、巴东木莲<sup>[4]</sup>和毛桃木莲<sup>[12,16]</sup>的蠕虫状杂以小穴的形态接近;桂南木莲花粉的不均匀分布的小穿孔组成细网格状纹饰和大叶木莲<sup>[12,16]</sup>等4种的纹饰结构接近。所以,综合已有文献报道,根据皱纹的明显程度,木莲属的花粉粒表面纹饰可以分为2种,以皱纹为主的孔穴少的粗网格状和皱纹不明显以小孔穴为主的细网格状纹饰。



1~3. 云南含笑花粉形态 (1: 近极面和远极面,  $\times 1\ 500$ ; 2: 长赤道面,  $\times 2\ 000$ ; 3: 外壁纹饰,  $\times 3\ 000$ ); 4~6. 深山含笑花粉形态 (4: 近极面和赤道面,  $\times 1\ 500$ ; 5: 远极面,  $\times 1\ 500$ ; 6: 外壁纹饰,  $\times 3\ 500$ ); 7-9. 宝华玉兰花粉形态 (7: 近极面,  $\times 2\ 000$ ; 8: 长赤道面,  $\times 1\ 500$ ; 9: 远极面,  $\times 2\ 000$ ); 10~12. 馨香玉兰花粉形态 (10: 远极面,  $\times 1\ 500$ ; 11: 赤道面,  $\times 1\ 500$ ; 12: 外壁纹饰,  $\times 6\ 500$ ); 13~16. 毛果木莲花粉形态 (13: 近极面,  $\times 1\ 000$ ; 14: 远极面,  $\times 1\ 000$ ; 15: 赤道面,  $\times 1\ 000$ ; 16: 外壁纹饰,  $\times 4\ 000$ ); 17~19. 桂南木莲花粉形态 (17: 近极面和远极面,  $\times 1\ 000$ ; 18: 赤道面,  $\times 1\ 500$ ; 19: 外壁纹饰,  $\times 2\ 500$ ); 20~22. 鹅掌楸花粉形态 (20: 近极面和远极面,  $\times 500$ ; 21: 赤道面, 具沟膜,  $\times 1\ 500$ ; 22: 外壁纹饰,  $\times 2\ 000$ )

1-3. Pollen morphology of *Michelia yunnanensis* (1: Polar view,  $\times 1\ 500$ ; 2: Equatorial plane,  $\times 2\ 000$ ; 3: Exine ornamentation,  $\times 3\ 000$ ); 4-6. Pollen morphology of *Michelia maudiae* (4: Polar view and Equatorial plane,  $\times 1\ 500$ ; 5: Polar view,  $\times 1\ 500$ ; 6: Exine ornamentation,  $\times 3\ 500$ ); 7-9. Pollen morphology of *Magnolia zenii* (7: Polar view,  $\times 2\ 000$ ; 8: Equatorial plane,  $\times 1\ 500$ ; 9: Polar view,  $\times 2\ 000$ ); 10-12. Pollen morphology of *Magnolia odoratissima* (10: Polar view,  $\times 1\ 500$ ; 11: Equatorial plane,  $\times 1\ 500$ ; 12: Exine ornamentation,  $\times 6\ 500$ ); 13-16. pollen morphology of *Manglietia ventii* (13: Polar view,  $\times 1\ 000$ ; 14: Polar view,  $\times 1\ 000$ ; 15: Equatorial plane,  $\times 1\ 000$ ; 16: Exine ornamentation,  $\times 4\ 000$ ); 17-19. Pollen morphology of *Manglietia conferta* (17: Polar view,  $\times 1\ 000$ ; 18: Equatorial plane,  $\times 1\ 500$ ; 19: Exine ornamentation,  $\times 2\ 500$ ); 20-22. Pollen morphology of *Liriodendron chinense* (20: Polar view,  $\times 500$ ; 21: Equatorial plan,  $\times 1\ 500$ ; 22: Exine ornamentation,  $\times 2\ 000$ )

图 1 木兰科 7 种植物花粉形态

Figure 1 Pollen morphology of seven Magnoliaceae species

含笑属的2个种均具有穿孔或孔穴状纹饰,孔穴的大小与分布密集程度决定了其“脊”是否明显。其中云南含笑的纹饰明显,孔穴密集而大小不均匀,因边缘陡峭,所以形成了明显的“脊”,在郝佳波等的研究中将之归为“有脊”的类型;而深山含笑则外穿孔较小,分布稀疏,“脊”比较宽平,被归为“无脊”类型<sup>[15]</sup>。

### 2.3 7种植物的花粉极轴(P)和P/E值比较与分析

根据扫描电子显微镜下测量的7种木兰科植物花粉的极轴长度(P)和赤道轴长度(E)结果,详见表2。7种植物花粉的形状和大小存在着一定的差别。按照P值从依次为:馨香玉兰(76.32 μm) > 毛果木莲(71.28 μm) > 鹅掌楸(66.87 μm) > 桂南木莲(66.74 μm) > 云南含笑(48.53 μm) > 宝华玉兰(46.37 μm) > 深山含笑(44.80 μm)。可以看出,含笑属的花粉尺寸普遍偏小,在“39.8~55 μm”的范围之内<sup>[14]</sup>;木兰属的花粉的大小则差别显著,馨香玉兰花粉粒的尺寸偏大(P值63.4~76.32~82.0 μm),和已报道<sup>[16]</sup>的山玉兰(P值80~91.1~106 μm)、荷花玉兰(P值75~81.1~88 μm)、大叶木兰(P值65~74.4~80 μm)同属木兰属中的较大花粉粒;宝华玉兰则属于中等大小的花粉。根据Erdtman对花粉大小的划分标准(大粒花粉的极轴平均长度在50 μm以上,中粒花粉的极轴平均长度在39.0~49.9 μm之间)<sup>[18]</sup>。而大粒的花粉属于原始的类型,所以云南含笑等3种属于中粒花粉较为进化,馨香含笑和毛果木莲等4种花粉则属于典型的大粒花粉则较原始,与研究者对木莲属和含笑属<sup>[10,14,16-19]</sup>分类的认定是一致的。

P/E值的大小在花粉研究中用以反映其形状,P/E > 2.0表示花粉粒为超长球形,P/E为1.14~2.0表示花粉粒为长球形<sup>[18]</sup>。7种植物花粉的P/E值大到小的排序为宝华玉兰(2.59 μm) > 馨香玉兰(2.51 μm) > 云南含笑(2.39 μm) > 深山含笑(2.26 μm) > 毛果木莲(2.09 μm) > 鹅掌楸(2.05 μm) > 桂南木莲(1.84 μm)(详见表2),则花粉形状由超长球形至长球形。根据“Wodehouse效应”的理论,越进化的花粉调节功能越强,调节功能随着花粉体积与表面积之比(与花粉的长度成反比)的减少而增强,即长球形花粉比较进化<sup>[20]</sup>。因此,P/E值可反映出该植物的进化程度。7种植物按照平均P/E值的排序可以反映出花粉调节功能依次减弱,P/E值较大的木兰属和含笑属4种植物的花粉是典型的长球形,比木莲属的2个物种和鹅掌楸更进化。

从表2的结果中还可以看出,花粉粒的2个轴

长数据的种内变异系数较大,极轴长在4.83%~13.36%范围,赤道轴长在4.55%~12.54%范围。所以,在花粉粒的研究中,应加大观察的样本数量。通过和已有研究的比较发现宝华玉兰、云南含笑和鹅掌楸的P值有一定的变化幅度,所以花粉研究应考虑产地、花粉成熟度等因素,才能更准确评价其分类学价值。

## 3 结论

根据扫描电子显微镜下对木兰科的4属7种植物花粉形态的观察和比较,花粉形状、大小和花粉壁表面纹饰体现出属或种间的差别,可作为植物分类学研究及植物鉴定的孢粉学依据。其中,桂南木莲、毛果木莲和馨香玉兰花粉的扫描电子显微镜下的形态描述均为首次报道。

(1) 7种木兰科植物的花粉均为长球形或橄榄形,为远极单沟花粉,两侧对称,符合木兰科植物的共有特征;均有穿孔的分布,形状主要为近圆形和椭圆形,但其大小、分布有一定的差别。

(2) 4属的属间差异比较明显,鹅掌楸属的穿孔大而显著,多数超过1 μm,典型的穴一网状纹饰;含笑属具有明显的穿孔,小穿孔或小穴拟网状纹饰;木兰属外壁平滑,具稀疏的小孔或疣状突起;木莲属可根据皱纹的明显程度分为2种,以皱纹为主的孔穴少的粗网格状和皱纹不明显以小孔穴为主的细网格状纹饰。

(3) 含笑属、木兰属和木莲属3个属的树种花粉纹饰均具有属内的种间差异。

(4) 馨香玉兰花粉观察为首次报道,其表面光滑,纹饰为疣点状突起,根据观察结果比前人使用的“微皱”更为确切。

(5) 木莲属的花粉粒表面纹饰可以分为2种,以皱纹为主的孔穴少的粗网格状和皱纹不明显以小孔穴为主的细网格状纹饰。毛果木莲花粉粒表面由皱纹和小穿孔组成,属于粗网格状纹饰;桂南木莲花粉则由不均匀分布的小穿孔组成细网格状纹饰,这两种花粉形态为首次报道。

(6) Walker<sup>[21]</sup>认为花粉表面纹饰演化的趋势是表面光滑→表面具小穴、小沟状雕纹→粗糙的、具疣状雕纹→表面颗粒状、瘤状、棒状、鼓锤状、刺状→表面皱波状、网状、条纹状。宝华玉兰(*Magnolia zenii*)外壁具稀疏的小穴状穿孔,而馨香玉兰(*Magnolia odoratissima*)花粉外壁光滑,具体积较小的疣状凸起,网脊宽平;木兰属这两个种的花粉外壁纹饰等形态特征所表现的特征和差异表明它

们是比较进化的类群, 但进化程度不同; 木莲属外壁光滑, 具不同程度网格状的纹饰是较原始的特征。

(7) 根据花粉的极轴长度 (P) 和 P/E 值的大小, 判断木兰属和含笑属较进化, 木莲属和鹅掌楸较原始, 和花粉形态的分析结果一致。

所以, 木兰科不同种植物花粉的形状、外壁纹饰类型、极轴的长度和 P/E 值可反映出属间的差异, 也能反映出近缘物种间一定的进化和亲缘关系, 可为木兰科的分类及进化研究提供一定的孢粉学依据。但是本论文的研究手段有限, 获得花粉形态资料也不够全面, 有待于今后进一步研究补充。

## 参考文献:

- [1] WU Z Y, RAVEN P H, HONG D Y. Flora of China: Volume 7: Menispermaceae-Capparaceae [M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [2] 张国云, 张雯婷, 姚娟妮, 等. 不同处理条件下几种松树花粉的扫描电镜观察[J]. 电子显微学报, 2016, 35(1): 49-52.
- [3] 张永芳, 胡超琼, 杨勇, 等. 柿属 8 种植物花粉形态观察[J]. 园艺学报, 2016, 43(6): 1167-1174.
- [4] 林新春, 俞志雄. 种木兰科植物的花粉形态观察[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(4): 353-356.
- [5] GOTELLI M M, GALATI B G, ZARLAVSKY G. Pollen development and anther morphology in 14 species of Rhamnaceae[J]. Plant Syst Evol, 2016, 302(10): 1433-1444.
- [6] PÉREZ-GUTIÉRREZ M A, SUÁREZ-SANTIAGO V N, FERNÁNDEZ M C, et al. Pollen morphology and post-tetrad wall development in the subfamily Fumarioideae (Papaveraceae)[J]. Rev Palaeobot Palyno, 2015, 222: 33-47.
- [7] WALKER J W. Aperture evolution in the pollen of primitive angiosperms[J]. Am J Bot, 1974, 61(10): 1112-1137.
- [8] 李又芬, 周琴宝, 李永敬. 几种木兰属植物花粉粒的超微结构[J]. 南京林学院学报, 1985(3): 139-140.
- [9] 韦仲新, 吴征镒. 鹅掌楸属花粉的超微结构研究及系统学意义[J]. 云南植物研究, 1993, 15(2): 163-166.
- [10] 徐凤霞. 乐东拟单性木兰花粉形态观察[J]. 广西植物, 2002, 22(2): 157-159.
- [11] 申亚梅, 钱超, 范义荣, 等. 12 种 (包括 3 品种) 木兰属植物花粉形态学研究[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(3): 394-400.
- [12] 徐凤霞, 胡晓颖, 徐信兰. 木莲属 (木兰科) 5 种植物的花粉形态[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(4): 313-317.
- [13] 徐进, 王章荣. 鹅掌楸属种间杂种与亲本花粉壁的超微结构的比较观察[J]. 植物学通报, 2005, 22(1): 35-38.
- [14] 张新华, 夏念和. 含笑属 (木兰科) 植物花粉形态及其系统学意义[J]. 广西植物, 2008, 28(3): 311-316.
- [15] 郝佳波, 司马永康, 徐涛, 等. 木兰科 16 种含笑属植物的花粉形态[J]. 西北植物学报, 2015, 35(11): 2204-2210.
- [16] XU F X, KIRCHOFF B K. Pollen morphology and ultra-structure of selected species of Magnoliaceae[J]. Rev Palaeobot Palyno, 2008, 150(1): 140-153.
- [17] ZHANG X H, DA SILVA J A T, DUAN J, et al. Pollen morphology of Magnolioideae in China and its taxonomic implications[J]. Sci Horti-Amsterdam, 2014, 176: 170-179.
- [18] 中国科学院植物研究所古植物室孢粉组, 中国科学院华南植物研究所形态研究室. 中国热带亚热带被子植物花粉形态[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [19] 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.
- [20] WODEHOUSE R P. Pollen grains: their structure, identification, and significance in science and medicine [M]. New York: McGraw-Hill, 1935.
- [21] 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: 第一集[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 91.