

棕李的孢粉学初步研究

廖汝玉^{1a}, 任丽花^{1b}, 曾志芳², 尹兰香³

(1. 福建省农业科学院, a. 果树研究所; b. 中心实验室, 福州 350013; 2. 福建省宁德市古田县农业局, 福建 古田 352200; 3. 福建省农产品质量安全检验与检测中心, 福州 350001)

摘要: 为了解棕李的起源, 应用扫描电镜对 7 份棕李(*Prunus salicina* L. var. *cordata* Y. He)、2 份中国李(*P. salicina* Lindl. var. *salicina*)、1 份櫻桃李(*P. cerasifera* Ehrhart.)及 3 份杂种李的花粉形态进行观察和聚类分析, 开展棕李的孢粉学研究。结果表明, 这 13 份李属植物的花粉具条纹-穴状或脑纹-穴状纹饰, 花粉形状均为长球形或超长球形, 极面观为三裂圆形, 具 3 条萌发沟, 萌发沟以等间距环状分布, 属 $N_3P_4C_5$ 类型。棕李的 P/E (1.82~2.02)、花粉大小($823.70\sim970.42\ \mu\text{m}^2$)介于供试的其他 6 份李属植物之间, 但其穿孔密度($0.520\sim1.141\ \mu\text{m}^{-2}$)除早圆油棕和早熟油棕外均远大于其他 6 份李材料; 棕李花粉外壁具条脊, 表面均形成大小、疏密不等的穿孔, 且在条脊隆起、脊沟深窄等方面表现出了丰富的多样性, 其中油棕早熟品系和晚熟品系的花粉纹饰、穿孔密度等还表现出了 2 种特征, 因此, 棕李的孢粉学特征可作为分类鉴定的一个重要依据。在遗传距离 6.19 水平上, 13 份李属植物可以分为 3 个类群, 每个类群中均有棕李分布, 棕李与李属间具有较近的亲缘关系。综合棕李花粉形态特征和聚类分析结果, 推测棕李具起源于李属杂交后代的可能。

关键词: 棕李; 孢粉学; 起源; 演化; 分类; 李

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.04.010

Palynological Studies on the Nai Plum Germplasms

LIAO Ru-yu^{1a}, REN Li-hua^{1b}, ZENG Zhi-fang², YIN Lan-xiang³

(1a. Fruit Research Institute; 1b. Central Laboratory, Fujian Academy of Agriculture Science, Fuzhou 350013, China; 2. Agricultural Department of Gutian County, Gutian 352200, Fujian, China; 3. Fujian Inspection and Testing Centre for Agricultural Product Quality and Safety, Fuzhou 350001, China)

Abstract: The aim was to discuss the origin and systematic evolution of Nai plum (*Prunus salicina* L. var. *cordata* Y. He). The pollen morphology of 7 cultivars of Nai plum, 2 cultivars of Chinese plum (*P. salicina* Lindl. var. *salicina*) and 1 cultivar of Cherry plum (*P. cerasifera* Ehrhart.) and 3 cultivars of hybrid plum were observed under scanning electron microscopy (SME). The results showed that 13 copies of material of pollen were with striate-foveolate or cerebroid-foveolate decorations, and the shape of pollen grains was prolate or perprolate which were with three split round in polar view. There were three germination trenches equally spacing with a circular distribution of a $N_3P_4C_5$ type. The P/E value of Nai plum pollen ranged from 1.82 to 2.02 with size from 823.70 to $970.42\ \mu\text{m}^2$, which are among the other 6 cultivars of *Prunus*. But the perforation densities ($0.520\sim1.141\ \mu\text{m}^{-2}$) of Nai plum, except of Zaoyuan younai and Zaoshou younai, are bigger than that of other 6 cultivars. The extine wall of pollen had vallate, and the surface distributed perforation with different size and density. There were rich diversity in uplift and ditch deep of vallate, which early-maturing strain and late-maturing strain of younai plum showed two characteristics in pollen morphology, density of perforation, etc. Thus, the pollen morphology of Nai Plum could serve as an important basis for classification and identification. Cluster analysis showed that thirteen

收稿日期: 2015-10-20 接受日期: 2015-12-15

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD02B03-4-1); 农业部公益类行业科研专项(201003058-8)资助

This work was supported by the National Science & Technology Pillar Program (Grant No. 2013BAD02B03-4-1), and the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (Grant No. 201003058-8).

作者简介: 廖汝玉(1974~), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事果树良种选育、栽培及相关生理研究。E-mail: lry606@163.com

plum germplasms could be divided into 3 groups at genetic distance of 6.19, and each group had Nai plum germplasm. It was suggested that there was close genetic relationship between Nai plum and *Prunus*. So, there was a possibility that Nai plum originated from hybrid plum through pollen morphology and cluster analysis of palynology.

Key words: Nai plum; Palynology; Origin; Evolution; Classification; Plum

棕李(*Prunus salicina* L. var. *cordata* Y. He)是福建特色名果,但关于其起源、分类尚有分歧,张家延等^[1]认为棕李是中国李(*P. salicina* Lindl.)的 1 变种,福建是主要原产地。陈振光等^[2]利用同工酶谱研究,认为棕李是李属的 1 种;吴少华等^[3]利用 RAPD 技术进行研究,建议把棕李确定为李属的 1 种或亚种,但他们都排除了棕李是桃李杂交后代的可能。贾丽^[4]用 ISSR 技术对棕李、李、桃进行研究,同样排除了棕李是桃李杂交后代的可能,部分支持了棕李是外国传教士从国外引进的观点,因此要明确棕李的起源、分类地位等问题还需要寻找其它新的证据。

花粉是植物携带遗传信息的雄性生殖细胞,也是植物系统发育中较保守的器官,其形态由基因控制,受外界环境影响较小^[5],具较强的遗传保守性^[6]。在植物世代相传过程中,花粉基本上保持固有形态特征,如形状、轮廓、纹饰等,是鉴别植物种的重要依据之一^[7],在研究植物起源、系统演化和分类及植物亲缘关系等方面具有重要的作用^[8]。利用花粉形态研究,在枇杷属(*Eriobotrya*)、桃属(*Amygdalus*)、百合属(*Lilium*)植物的分类、进化等方

面取得了重要进展^[9-11];孢粉学也为李属植物的杏、李、仁用杏的起源演化研究提供了新的证据^[12-14],但棕李孢粉学方面的研究尚未见有相关报道。

本文对棕李、油棕变异种质与部分李属植物和杂交后代的花粉形态进行比较研究,以期对棕李种质的系统分类、起源、演化等研究提供孢粉学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

李属(*Prunus*)植物 13 份种质的花粉在 2014 年 3-4 月进行采集,其中花棕、青棕、油棕及优系早熟油棕、早圆油棕、晚熟油棕、晚黄油棕和中国李组的秋姬李花粉于 3 月采自福建古田常坝基地,野生小黄李、杂交后代 06-5、07-23、07-24 和櫻桃李组的紫叶李花粉于 4 月采自吉林公主岭寒地果树资源圃(表 1)。

1.2 方法

在盛花期采集饱满尚未开放的花蕾装入离心

表 1 材料来源

Table 1 Origin of materials

	品种 Cultivar	采集地 Locality	果实性状 Fruit character
棕李组 Nai plum	花棕 Huanai	古田 Gutian	红肉, 7 月中旬成熟 Red flesh, ripen in mid-July
	青棕 Qingnai	古田 Gutian	黄肉, 7 月中旬成熟 Yellow flesh, ripen in mid-July
	油棕 Younai	古田 Gutian	黄肉, 7 月中旬成熟 Yellow flesh, ripen in mid-July
	早熟油棕 Zaoshou younai	古田 Gutian	黄肉, 7 月初成熟 Yellow flesh, ripen in early July
	早圆油棕 Zaoyuan younai	古田 Gutian	黄肉, 7 月上旬成熟 Yellow flesh, ripen in early July
	晚熟油棕 Wanshou younai	古田 Gutian	黄肉, 8 月中旬成熟 Yellow flesh, ripen in mid-August
	晚黄油棕 Wanhong younai	古田 Gutian	果肉橙黄, 8 月中旬成熟 Yellow flesh, ripen in mid-August
中国李组 Chinese Plum	秋姬李 Qiujili	古田 Gutian	黄肉, 7 月下旬成熟 Yellow flesh, ripen in late July
	小黄李 Xiaohuangli	公主岭 Gongzhuling	黄肉 Yellow flesh
櫻桃李组 Cherry plum	紫叶李 Ziye li	公主岭 Gongzhuling	红肉 Red flesh
杂交李组 Cross plum	06-5	公主岭 Gongzhuling	黄肉, 窑门李×串枝红(李×杏) Yellow flesh, Yaomengli × Chuanzhihong (Plum×Apricot)
	07-23	公主岭 Gongzhuling	黄肉, 晚红×风味玫瑰(李×杏李) Yellow flesh, Wanhong × Fengweimeigui (Plum×Simon plum)
	07-24	公主岭 Gongzhuling	黄肉, 风味玫瑰×晚红(杏李×李) Yellow flesh, Fengweimeigui × Wanhong (Simon plum×Plum)

管中, 用冰盒带回实验室, 取出花粉置于硫酸纸纸盒中, 在室内自然阴干, 将自然干燥的花粉均匀散布在贴有双面胶的样品台上, 真空喷金后, 于扫描电镜(JEOL JSM-6380LV)下观察, 选择有代表性视野, 分别进行 300×、7000×、9000×扫描照片拍摄。花粉采集、干燥、喷金过程严格隔离。

参考王开发等^[7]、杨向晖等^[9]的方法, 在 300×照片上用 CAD 软件测量正常花粉的极轴(P)和赤道轴(E)长, 在 7000×照片上观察花粉外壁纹饰和花粉萌发器官等, 在 9000×照片上测量单位面积的穿孔数。

1.3 数据统计

每个种质的花粉大小取 20 粒花粉的平均值, 用 EXCEL 2007 进行计算, 以 P×E 表示花粉大小、P/E 表示花粉形状, 用 SPSS 18.0 软件进行统计分析。

对极轴、赤道轴、花粉大小、极轴/赤道轴、穿孔密度等定量数据和外纹壁饰等定性数据进行标准化转换后, 采用欧氏距离和类平均法进行聚类分析。其中定性数据采用二元赋值法进行赋值, 肯定状态为“1”, 否定状态为“0”。

2 结果和分析

2.1 花粉形态特征比较

从表 2 可见, 13 份种质中棕李组晚熟油棕、中国李组秋姬李和野生小黄李的花粉为超长球形(图 1: F, H, J), 其余花粉均为长球形。花粉极轴最大的是小黄李(44.78 μm)、最小的是杂交后代 06-5 (39.26 μm), 赤道轴最大的是杂交后代 07-24 (23.17 μm)、最小的是晚黄油棕(20.33 μm), P/E 最大的是小黄李(2.10)、最小的是花棕(1.82), 两者差异显著, 棕李的 P/E (1.82~2.02)居其他 6 份李种质之间。

棕李花粉最大的是早熟油棕(970.42 μm²)、最小的是晚黄油棕(823.70 μm²), 差异显著。青棕(916.11 μm²)与油棕(919.91 μm²)的花粉大小相近, 均小于花棕(949.12 μm²), 但差异不显著。早熟油棕和晚熟油棕花粉比普通油棕大, 早圆油棕与晚黄油棕花粉比油棕小, 早圆与早熟油棕、晚黄与晚熟油棕间差异显著, 但与油棕的差异不显著。6 份李种质中花粉最大的是紫叶李(1010.10 μm²), 最小的是杂交后代 06-5 (848.56 μm²), 除了晚黄油棕, 棕李的花粉大小处于这 6 份李花粉之间, 晚黄油棕与 06-5 间差异不显著。

棕李和其他 6 份李种质的花粉表面均有大小、疏密不等的穿孔, 部分种质间穿孔数量差异显著, 其中穿孔密度最大的是青棕(图 2: B), 达 1.141 个 μm⁻², 最小的是杂交后代 07-24 (图 2: M), 只有 0.054 个 μm⁻², 两者相差 21 倍, 差异显著。棕李花粉的穿孔密度(0.520~1.141 个 μm⁻²)总体大于 6 份李种质。

2.2 花粉外壁纹饰和萌发器官

从花粉外壁纹饰来看, 晚熟油棕(图 2: F)、晚黄油棕(图 2: G)、普通油棕(图 2: C)花粉具脑纹-穴状穿孔纹饰、且纹饰较复杂, 其余花粉均为条纹-穴状穿孔纹饰, 条纹走向较规则, 秋姬李(图 2: H)、06-5 (图 2: K)和紫叶李(图 2: I)的条脊隆起较不明显; 13 份种质的花粉都有形态、分布差异明显的条脊和穿孔, 其中青棕(图 2: B)的脊沟较深, 晚黄油棕(图 2: G)的穿孔较深。棕李的条脊隆起比 6 份李种质的深, 纹饰较复杂、穿孔密度较大。

13 份李种质的花粉赤道面观均为椭圆形(图 1: N), 极面观为三裂圆形(图 2: N), 具三条萌发沟, 萌发沟沿极轴方向等间距环状分布, 属于 NPC 分类系统^[15]中的 N₃P₄C₅ 类型。

2.3 聚类分析

聚类分析结果(图 3)表明, 在遗传距离 6.19 处, 7 份棕李和其他 6 份李种质可分为 3 个类群。第一个类群包括花棕、紫叶李、早圆油棕及杂种后代 7-24、7-23、06-5 共 6 个种质; 第二类群包括青棕、油棕、早熟油棕、晚黄油棕; 第三类群包括晚熟油棕、小黄李、秋姬李, 在 3 个类群中均有棕李种质分布。花棕和早圆油棕与李杂交后代聚为一组, 青棕和普通油棕的遗传距离最近, 早圆油棕和李杂交后代 07-23 间的遗传距离也较近。

3 讨论

3.1 棕李花粉多样性及棕李分类地位

袁涛等^[16]利用花粉形态探讨牡丹(*Paeonia suffruticosa*)起源, 认为花粉形态, 特别是外壁纹饰可作为分类的参考依据。本研究中 7 份棕李花粉在扫描电镜下, 无论是外壁纹饰、形状、穿孔密度、条脊隆起、条脊走向等定性性状, 还是花粉极轴、大小、P/E 等数量性状均表现出了丰富的多样性, 具有显著差异性, 可见, 棕李的花粉形态特征对棕李的分

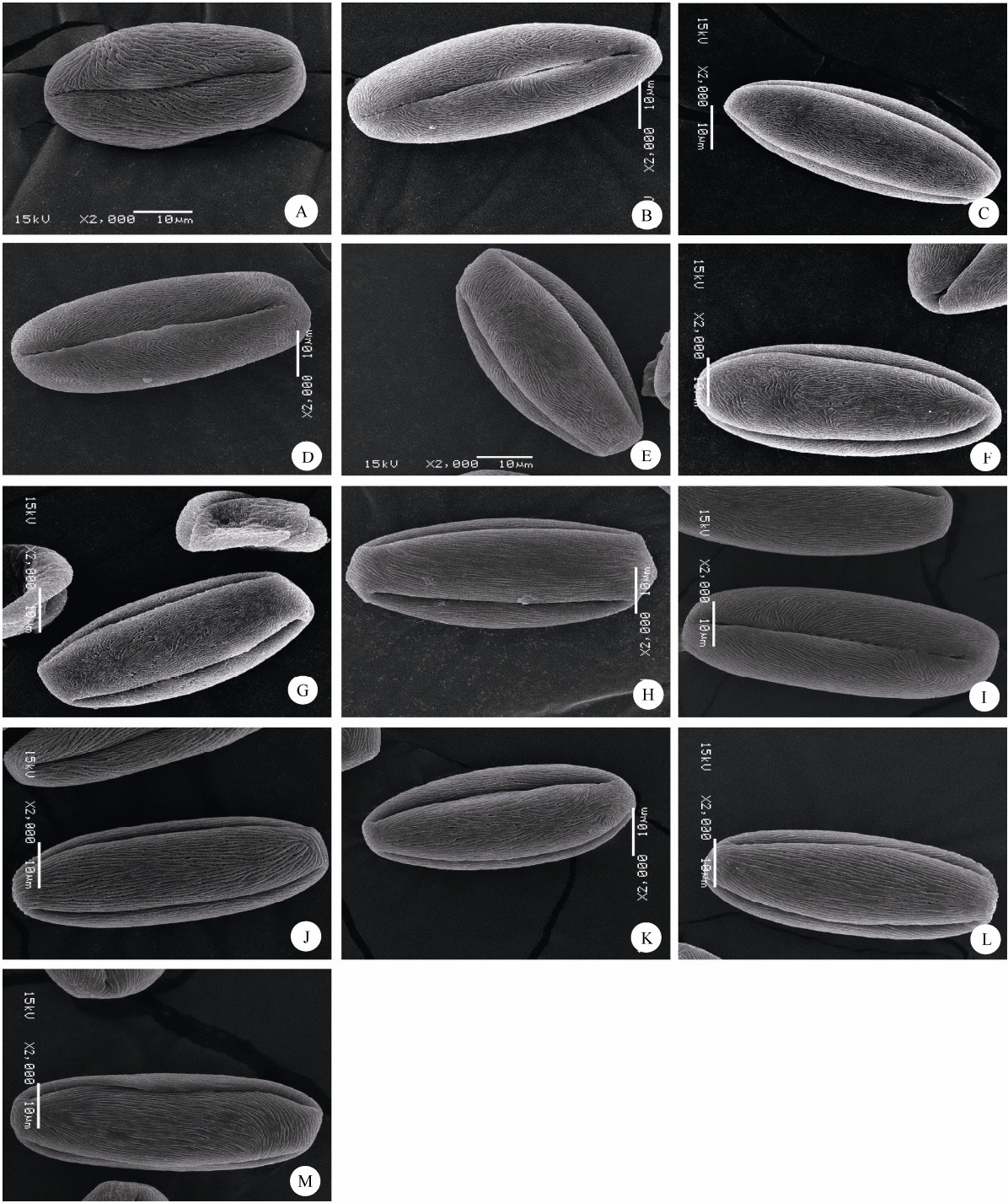


图 1 李花粉的赤道面观。A: 花榛; B: 青榛; C: 普通油榛; D: 早熟油榛; E: 早圆油榛; F: 晚熟油榛; G: 晚黄油榛; H: 秋姬李; I: 紫叶李; J: 小黄李; K: 06-5; L: 07-23; M: 07-24。

Fig. 1 Equatorial views of 13 varieties of plum pollen. A: Huanai; B: Qingnai; C: Younai; D: Zaoshou younai; E: Zaoyuan younai; F: Wanshou younai; G: Wanhuang younai; H: Qiuji li; I: Ziyeli; J: Xiaohuangli; K: 06-5; L: 07-23; M: 07-24.

类、鉴定具有重要的意义。同时，红肉花榛与黄肉青榛在条脊上的差异，黄肉早熟油榛与晚黄油榛在花粉大小上的差异，黄肉早熟油榛与红肉花榛在花

粉穿孔密度上的差异，及圆形油榛与心形油榛在外壁纹饰类型上的差异等，都较好体现了榛李的孢粉学特征与其植物学性状的对应，如果肉颜色、果实

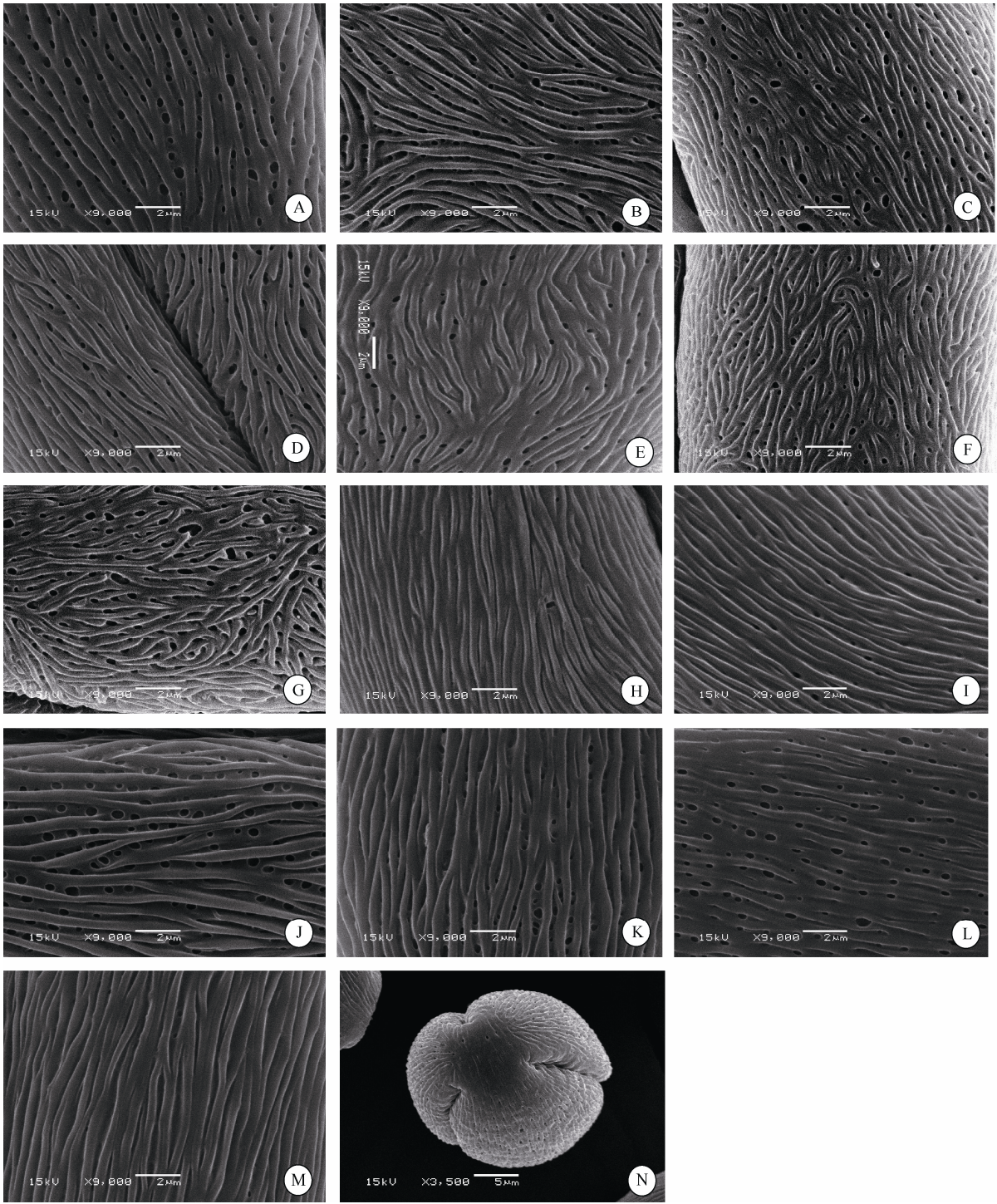


图 2 李花粉的表面纹饰。A: 花棕; B: 青棕; C: 普通油棕; D: 早熟油棕; E: 早圆油棕; F: 晚熟油棕; G: 晚黄油棕; H: 秋姬李; I: 紫叶李; J: 小黄李; K: 06-5; L: 07-23; M: 07-24; N: 极面观。

Fig. 2 Surface ornamentation of plum pollen. A: Huanai; B: Qingnai; C: Younai; D: Zaoshou younai; E: Zaoyuan younai; F: Wanshou younai; G: Wanhuan younai; H: Qiuji li; I: Ziyeli; J: Xiaohuangli; K: 06-5; L: 07-23; M: 07-24; N: Polar view.

形状等，所以说棕李孢粉学特征作为棕李分类鉴定的依据是可行的。

陈振光等^[2]利用同工酶谱，推断棕与李的亲缘

关系较近，可能是李的一种。吴少华^[3]的研究认为棕李与李的亲缘关系较近，是李属的一种或亚种。本研究棕李的孢粉学特征不仅与中国李具相似性，

表 2 李花粉的形态特征

Table 2 Pollen morphology of plum

	极轴 (μm) Polar axis (P)	赤道轴 (μm) Equatorial axis (E)	大小 size (μm ²)	P/E	穿孔密度 Perforations density (μm ⁻²)	形状 Shape	纹饰类型 Sculpture	图版 Plate
花棕 Huanai	41.49±4.11ef	22.81±1.97a	949.12±144.41abc	1.82±0.10e	1.078±0.029b	长球形 Prolate	条纹-穴状 Striate-foveolate	1: A, 2: A
青棕 Qingnai	41.95±2.96cdef	21.81±1.42bcd	916.11±100.84cd	1.93±0.15cd	1.141±0.039a	长球形 Prolate	条纹-穴状 Striate-foveolate	1: B, 2: B
油棕 Younai	42.21±2.64cdef	21.72±2.06bcd	919.91±128.10cd	1.95±0.14cd	1.025±0.036b	长球形 Prolate,	脑纹-穴状 Cerebroid-foveolate	1: C, 2: C
早熟油棕 Zaoshou younai	42.99±2.07bcde	22.53±1.48abc	970.42±98.29abc	1.91±0.10de	0.660±0.027e	长球形 Prolate,	条纹-穴状 Striate-foveolate	1: D, 2: D
早圆油棕 Zaoyuan younai	41.35±1.64ef	21.18±1.63de	876.61±86.79def	1.96±0.14cd	0.520±0.024f	长球形 Prolate,	条纹-穴状 Striate-foveolate	1: E, 2: E
晚熟油棕 Wanshou younai	43.50±2.42abcd	21.58±1.14c	940.41±89.77bcd	2.02±0.10abc	1.023±0.039b	超长球形 Perprolate	脑纹-穴状 Cerebroid-foveolate	1: F, 2: F
晚黄油棕 Wanhuan younai	40.48±1.61fg	20.33±1.28e	823.70±71.83f	1.99±0.12bcd	1.139±0.051a	长球形 Prolate,	脑纹-穴状 Cerebroid-foveolate	1: G, 2: G
秋姬李 Qiuji li	43.89±1.89abc	21.26±1.45de	933.58±78.51bcd	2.07±0.12ab	0.074±0.013h	超长球形 Perprolate	条纹-穴状 Striate-foveolate	1: H, 2: H
紫叶李 Ziyeli	44.70±1.71ab	22.58±0.93abd	1010.10±69.89a	1.98±0.08bcd	0.309±0.034g	长球形 Prolate,	条纹-穴状 Striate-foveolate	1: I, 2: I
小黄李 Xiaohuangli	44.78±1.26a	21.37±0.80d	957.00±45.80abc	2.10±0.10a	0.946±0.043c	超长球形 Perprolate	条纹-穴状 Striate-foveolate	1: J, 2: J
06-5	39.26±1.99g	21.56±1.52cd	848.56±94.44ef	1.83±0.10e	0.532±0.026f	长球形 Prolate,	条纹-穴状 Striate-foveolate	1: K, 2: K
07-23	42.55±1.52cde	21.31±1.13d	908.08±74.65cde	2.00±0.07bcd	0.813±0.033d	长球形 Prolate	条纹-穴状 Striate-foveolate	1: L, 2: L
07-24	42.65±4.76cde	23.17±1.11a	989.93±131.20ab	1.84±0.20e	0.054±0.032h	长球形 Prolate	条纹-穴状 Striate-foveolate	1: M, 2: M

同列数据后不同字母代表差异显著($P<5\%$) (Duncan 检验)。
Data followed different letters indicate significant differences at 5% level by Duncan's multiple test.

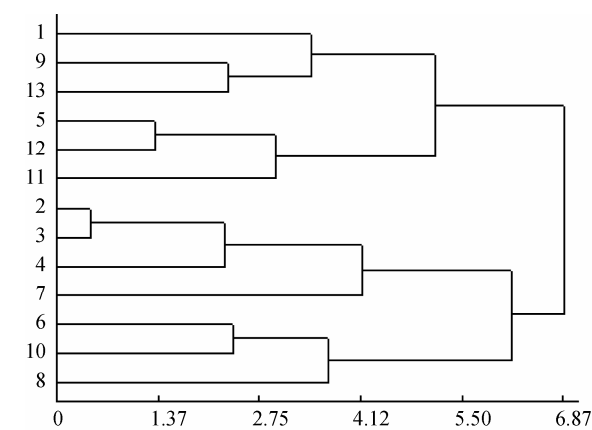


图 3 供试材料的花粉聚类分析图。1: 花棕; 2: 青棕; 3: 普通油棕; 4: 早熟油棕; 5: 早圆油棕; 6: 晚熟油棕; 7: 晚黄油棕; 8: 秋姬李; 9: 紫叶李; 10: 小黄李; 11: 06-5; 12: 07-23; 13: 07-24。

Fig. 3 Dendrogram of plum pollen. 1: Huanai; 2: Qingnai; 3: Younai; 4: Zaoshou younai; 5: Zaoyuan younai; 6: Wanshou younai; 7: Wanhuan younai; 8: Qiuji li; 9: Ziyeli; 10: Xiaohuangli; 11: 06-5; 12: 07-23; 13: 07-24.

也具有櫻桃李等其他李种间或杂种间的孢粉学特征, 孢粉学聚类结果也表明, 同一分类系统里面李

与棕李之间存在交叉, 但只有晚熟油棕跟中国李聚为一类, 这说明棕李不仅与中国李亲缘关系较近, 也与其他李间的遗传背景相同或相似, 两者间存在较近的亲缘关系, 把棕李作为李属的一个分支应该是合理的, 但棕李为李的一种还是变种、或者亚种尚需进一步研究, 油棕与青棕具有最近遗传距离与吴少华^[3]采用分子标记的研究结果一致, 这进一步佐证了本研究的孢粉学结果的可靠性。

3.2 棕李花粉形态对棕李起源的意义

有关棕李的起源问题, 目前普遍的观点认为福建是棕李的原产地, 但迄今尚未见野生棕李的报道。本研究对 7 份棕李种质及其他 6 份李种质的孢粉学观察, 棕李无论是花粉的外壁纹饰还是数量性状均与其余李种质具有相同或相似性, 且花粉大小等数量性状也在这 6 份李种质之间。杨向晖等^[9]对枇杷花粉大小、孔穴密度等进行研究, 认为大渡河枇杷可能起源于普通枇杷(*Eriobotrya japonica*)和栎叶枇杷(*E. prinoides*)杂种。陆修闽等^[17]的研究结果也表明, 对‘早钟 6 号’与其亲本‘森尾早生’和‘解放

钟’, 杂交枇杷‘早钟 6 号’的花粉外壁纹饰具有其亲本‘森尾早生’和‘解放钟’的纹饰类型, 花粉大小、平均轴径、穿孔密度等介于父母本之间。因此, 我们推断棕李存在起源于李属种内、种间或亚属间杂交后代的可能, 当然, 受试验材料、条件等的限制, 本研究只观察了李亚属中中国李、櫻桃李的花粉, 杂交李也只观察了李杏杂交后代的花粉, 尚无法得出棕李起源的肯定结论, 本研究的重要意义在于证明棕李起源比预想的要复杂很多, 也为后续探讨棕李起源、演化研究提供了新的方向, 应从孢粉学、分子生物学等进一步探讨棕李起源、演化及其相互关系。

3.3 油棕花粉形态演化的初步探讨

本研究对 5 个油棕种质的花粉形态进行了观察, 早熟类型油棕的花粉纹饰较普通油棕简单、穿孔密度小, 而晚熟类型油棕的花粉纹饰较普通油棕复杂、穿孔密度大, 花粉大小演化则均表现为先变大再变小, 这与梁宏伟^[13]等对柿归空李(*Prunus salician* ‘Ziguikongxin’)黄皮系和绿皮系的观察结果一致, 可见油棕花粉纹饰、大小具有两种类型, 不同成熟类型存在差异的研究结果是可信的。Erdtman^[15]、凌裕平等^[18]认为被子植物的花粉是从无结构层(光滑)向穿孔(穴状)、再由穿孔向条纹演化, 由简单向复杂细致演化是适应自然的表现, 过国南等^[10]、刘有春等^[14]也认为花粉纹饰越复杂越进化, 但韦仲新^[19]认为山茶科(Theaceae)植物的花粉纹饰从网状向穴网状及表面光滑演化。对花粉大小演化的研究, 也因试材不同而结论不尽相同, 如姚直轩^[20]认为梨属(*Pyrus*)花粉从小到大演化, 而刘庚峰^[21]的研究结果则是由大到小演化, 这进一步佐证了本研究油棕花粉形态演化的结果。当然, 受油棕试材少的限制, 且植物生长环境、采集时间、处理方法、测量仪器设备等均会对花粉大小产生影响。张彦妮等^[22]、韦晓霞等^[23]的研究表明花粉形态比花粉绝对大小更加稳定, 孢粉学形态特征更可靠, 因此, 本研究油棕花粉形态比花粉大小更可靠, 但其演化规律有待进一步的研究。

致谢 本文在试验设计、样品采集制备和论文撰写过程中, 得到了北京农林科学院林业果树研究所王玉柱研究员、孙浩元研究员、杨丽副研究员, 吉林省农业科学院果树研究所李锋研究员、张冰冰研究员、张艳波副研究员, 福建省农业科学院中心实验室罗士炎副研究员, 福建省农业科学院果

树研究所叶新福、张立杰、陈志峰、郭瑞、杨凌、韦晓霞及古田县余养道、郑雨涛等同志的大力支持和帮助, 在此向他们致以最诚挚的谢意。

参考文献

- [1] ZHANG J Y, ZHOU E. China Fruit-Plant Monographie (Plum) [M]. Beijing: China Forestry Press, 1998: 3–9.
张家廷, 周恩. 中国果树志, 李卷 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1998: 3–9.
- [2] CHEN Z G, XIE X Y, HE B Z. Study on the genetic relationship of nai (*Prunus*) [J]. China Fruit, 1998(3): 13–16,9.
陈振光, 谢锡瑜, 何碧珠. 棕的亲缘关系初探 [J]. 中国果树, 1998(3): 13–16,9.
- [3] WU S H, ZHANG D S, PAN D M, et al. Cultivar identification of peach, plum and nai and study on the genetic relationship of nai (*Prunus*) cultivars by RAPD analysis [J]. Acta Hort Sin, 2002, 29(1): 66–68.
吴少华, 张大生, 潘东明, 等. 应用 RAPD 技术对棕、李、桃亲缘关系的探讨 [J]. 园艺学报, 2002, 29(1): 66–68.
- [4] JIA L. ISSR analysis of germplasm resources of *Prunus* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009: 51–53.
贾丽. 福建省棕、李、桃种质资源的 ISSR 分子分析 [D]. 福州: 福建农林大学, 2009: 51–53.
- [5] WALKER J W. Evolution of exine structure in the pollen of primitive angiosperms [J]. Amer J Bot, 1974, 61(8): 891–902.
- [6] SUN C B, XIANG L, SHI J S, et al. Scanning electron microscope observation on pollinium morphology of five most common cultivated orchid genera (Orchidaceae) [J]. Acta Hort Sin, 2010, 32(12): 1969–1974.
孙崇波, 向林, 施季森, 等. 兰科 5 属常见栽培品种花粉块形态的扫描电镜观察 [J]. 园艺学报, 2010, 32(12): 1969–1974.
- [7] WANG K F, WANG X Z. Conspectus of Palynology [M]. Beijing: Beijing University Press, 1983: 59–71.
王开发, 王宪曾. 孢粉学概论 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1983: 59–71.
- [8] CAI X Z, LIU K M, CONG Y Y, et al. SEM observation on the pollen grains of ten species in *Impatiens* L. (Balsaminaceae) [J]. Bull Bot Res, 2007, 27(3): 279–283. doi: 10.3969/j.issn.1673–5102.2007.03.006.
蔡秀珍, 刘克明, 丛义艳, 等. 凤仙花属(*Impatiens* L.) 10 种植物花粉形态的扫描电镜观察 [J]. 植物研究, 2007, 27(3): 279–283. doi: 10.3969/j.issn.1673–5102.2007.03.006.
- [9] YANG X H, WU Y X, LIN S Q. SEM observation on the pollen morphology of six *Eriobotrya* plants [J]. J Fruit Sci, 2009, 26(4): 572–

576.
杨向晖, 吴颖欣, 林顺权. 6 种枇杷属植物花粉形态扫描电镜观察 [J]. 果树学报, 2009, 26(4): 572–576.
- [10] GUO G N, WANG L R, YAN Z L, et al. Study on the variation and evolution of peach and its related wild species by pollen morphology [J]. J Fruit Sci, 2006, 23(5): 664–669. doi: 10.3969/j.issn.1009-9980.2006.05.002.
过国南, 王力荣, 阎振立, 等. 利用花粉粒形态分析法研究桃种质资源的进化关系 [J]. 果树学报, 2006, 23(5): 664–669. doi: 10.3969/j.issn.1009-9980.2006.05.002.
- [11] GU X, ZHANG Y L, NIU L X. Pollen morphology observation of 15 wild lilies from four provinces in western China [J]. Acta Hort Sin, 2013, 40(7): 1389–1398.
顾欣, 张延龙, 牛立新. 中国西部四省 15 种野生百合花粉形态研究 [J]. 园艺学报, 2013, 40(7): 1389–1398.
- [12] WANG Y Z, PAN J S, MENG X F. A study on palynology of apricot germplasm [J]. Acta Agri Bor-Sin, 1998, 13(4): 130–135.
王玉柱, 潘季淑, 孟新法. 杏种质孢粉学的研究 [J]. 华北农学报 1998, 13(4): 130–135.
- [13] LIANG H W, CHEN F J, HE Z Q, et al. Studies on the pollen morphology of twelve plum cultivars [J]. North Hort, 2008(12): 5–8.
梁宏伟, 陈发菊, 何正权, 等. 十二个李品种的花粉形态的研究 [J]. 北方园艺, 2008(12): 5–8.
- [14] LIU Y C, CHEN W Z, LIU W S, et al. Palynological study on the origin and systematic evolution of kernel-using apricots [J]. Acta Hort Sin, 2010, 37(9): 1377–1387.
刘有春, 陈伟之, 刘威生, 等. 仁用杏起源演化的孢粉学研究 [J]. 园艺学报, 2010, 37(9): 1377–1387.
- [15] ERDTMAN G. Translated by Pollen Group of Laboratory for Papaeobotany, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. Handbook of Palynology [M]. Beijing: Science Press, 1978: 1–120.
ERDTMAN G. 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: 1–120.
- [16] YUAN T, WANG L Y. Discussion on the origination of Chinese tree-peony cultivars according to pollen grain morphology [J]. J Beijing For Univ, 2002, 24(1): 5–11. doi: 10.3321/j.issn:1000-1522.2002.01.002.
袁涛, 王莲英. 根据花粉形态探讨中国栽培牡丹的起源 [J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(1): 5–11. doi: 10.3321/j.issn:1000-1522.2002.01.002.
- [17] LU X M, CHEN J Y, ZHANG L M, et al. Observation and comparison on pollen morphology of a new hybrid loquat variety ‘Zaozhong 6’ and its parents [J]. Acta Hort Sin, 2002, 29(3): 271–273. doi: 10.3321/j.issn:0513-353X.2002.03.019.
陆修闽, 陈青瑛, 张丽梅, 等. 枇杷杂交新品种‘早钟 6 号’与亲本花粉形态观察比较 [J]. 园艺学报, 2002, 29(3): 271–273. doi: 10.3321/j.issn:0513-353X.2002.03.019.
- [18] LING Y P, ZHAO Z F, WANG X J, et al. Studied on the pollen morphology of apple suppr-types varieties [J]. J Jiangsu Agri Coll, 1996, 17(3): 71–74.
凌裕平, 赵宗方, 王雪军, 等. 短枝型苹果品种孢粉学研究 [J]. 江苏农学院学报, 1996, 17(3): 71–74.
- [19] WEI Z X. Pollen ultrastructure of Theaceae and its systematic significance [J]. Acta Bot Yunnan, 1997, 19(2): 143–153.
韦仲新. 山茶科花粉超微结构及其系统学意义 [J]. 云南植物研究, 1997, 19(2): 143–153.
- [20] YAO Y X, XU F. Pollen morphology observation of *Pyrus* L. in China [J]. J Laiyang Agri Coll, 1990, 7(1): 1–8.
姚宜轩, 许方. 我国梨属植物花粉形态观察 [J]. 莱阳农学院学报, 1990, 7(1): 1–8.
- [21] LIU G F, LI W B, ZHANG Y N, et al. A study on the pollen morphology of wild mandarins [J]. Acta Hort Sin, 1992, 19(3): 203–208.
刘庚峰, 李文斌, 张映南, 等. 宽皮桔类野生种花粉形态的研究 [J]. 园艺学报, 1992, 19(3): 203–208.
- [22] ZHANG Y N, QIAN C. SEM observation on pollen morphology of 12 lily species [J]. Acta Prat Sin, 2011, 20(5): 111–118.
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(5): 111–118.
- [23] WEI X X, WAN J F, CHEN J, et al. Characteristics and classification of the pollens of male Chinese olive [J]. J Plant Gene Res, 2014, 5(5): 967–974. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2014.05.008.
韦晓霞, 万继锋, 陈瑾, 等. 橄榄雄株花粉形态特征观察及数量分类初探 [J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(5): 967–974. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2014.05.008.