

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.06.013

灰木莲花药结构和花粉发育特征

潘丽琴¹, 郝建², 徐建民³, 粟宏林¹, 梁福江², 张青青¹, 姜清彬^{3*}

(1. 西南林业大学, 云南昆明 650204; 2. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西凭祥 532600;
3. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东广州 510520)

摘要: [目的] 研究灰木莲花药结构及其小孢子发育过程以确定是否存在雄性不育的异常现象, 并为进一步确立灰木莲分类学地位和木兰科系统发育的研究提供佐证和积累资料。[方法] 通过解剖和形态观察对灰木莲的花药结构和小孢子及雄配子体发育过程进行观察。[结果] 灰木莲成熟花药由表皮层、药室内壁、中层和绒毡层等5~7层细胞组成。4~6个小孢子囊呈线形排列, 花药开裂方式为向心或侧向开裂。小孢子母细胞胞质分裂方式同时具有连续型和同时型2种类型。小孢子四分体排列方式为左右对称型、直线型或四面体型, 成熟花粉二细胞型。花粉壁光滑, 极轴面具极稀疏穴状纹饰。[结论] 灰木莲花药结构和发育特征与其他木莲属相似, 但在花粉囊结构、胞质分裂方式和小孢子四分体排列方式表现不同, 小孢子发育过程的异常现象主要发生于四分体时期, 为引起灰木莲花粉败育和结实率低的原因之一。

关键词: 灰木莲; 花药; 花粉; 小孢子; 雄配子体

中图分类号: S796

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2021)06-0107-07

木兰科 (Magnoliaceae) 自从有自然分类以来, 一直被认为是被子植物中最原始的类群, 对研究有花植物的起源和系统发育有重要价值^[1]。木兰科全世界有15属260余种植物, 是热带亚热带地区常绿阔叶林的重要组成树种, 因各树种存在较多的性状交叉和形态变异, 目前, 在属的界限和种的确定上仍有较大的争议^[2-3]。灰木莲 (*Manglietia conifera* Dandy), 原产越南及印度尼西亚^[4], 因其树形优美、花大清香、干形通直、生长快、木材纹理细致易加工, 我国于1960年从越南中北部引入, 因其适生性强、生长快且材性优良而在我国推广^[5]。目前主要在我国华南、福建及云南等地大规模种植, 是一种优良的速生用材树种, 在建筑、家具、胶合板及纸浆生产中具有广阔的市场前景^[6]。

灰木莲在我国引种地的花期为每年1月下旬至4月下旬, 开花时满树繁花, 但自然结实率几乎为零, 即使偶有结实, 其聚合蓇葖果的绝大部分子

房败育, 每果仅见十余粒甚至几粒种子^[7-8]。灰木莲在我国结实率极低的问题, 严重制约其大规模发展。目前, 有关灰木莲的研究主要集中于栽培繁育^[5-6, 9-11]、早期生长适应性^[12]、材性^[13]及生态效应^[14-15]等方面, 而对其有性生殖及种实败育机制了解甚少, 为探明灰木莲引种条件下的种实败育原因, 拟采用石蜡切片和扫描电镜技术, 对灰木莲花药结构及其小孢子发育过程进行解剖观察, 以确定是否存在雄性不育的异常现象。同时, 与木兰科其他近缘种的胚胎学发育资料进行比较, 为进一步确立灰木莲的分类学地位和木兰科系统发育的研究积累资料和提供佐证。

1 材料

本研究试验点设在中国林业科学研究院热带林业实验中心 (以下简称中国林科院热林中心), 位

收稿日期: 2021-04-12 修回日期: 2021-07-21

基金项目: 广东省林业科技创新专项 (2017KJCX027, 2019KJCX012); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (CAFYBB2016QA014)

作者简介: 潘丽琴, 讲师。主要从事热带南亚热带树种栽培与育种研究。E-mail: Panliqin@swfu.edu.cn

* 通讯作者: 姜清彬, 副研究员, 主要从事热带南亚热带珍贵树种培育研究。E-mail: jiangqingbin@caf.ac.cn

于广西壮族自治区凭祥市,属亚热带季风气候区,年均气温 21.5°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $7\,500^{\circ}\text{C}$,年降水量 $1\,220\sim 1\,400\text{ mm}$,降水集中期为4月中旬至8月末,年均日照约 $1\,260\text{ h}$ 。选取中国林科院热林中心的伏波实验场(FB)、白云实验场(BY)和中心树木园(ZX)栽培的灰木莲人工林为研究对象,各林分造林苗均为1.5年生的实生苗,种源来自越南尚河,无病虫害,健康状况良好,均有零星结实,基本情况见表1。

表1 观测林分基本情况

Table 1 General information of the observation stands

林分 Stand	造林年度 Planting year	树高 Height/m	胸径 DBH/cm	密度 Density/(株·hm ⁻²)	海拔 Altitude/m
ZX	2002	16.69 ± 1.13	26.13 ± 1.46	800	240
BY	1998	18.45 ± 3.75	28.70 ± 5.59	1 200	540
FB	2003	24.65 ± 2.85	32.40 ± 4.19	1 000	630

2 方法

材料采集自中国林科院热林中心灰木莲试验林,选择8~12年生的优良单株。2018年10月至2020年10月连续2 a,每隔3~6 d,采集不同发育时期花芽,体视显微镜解剖观测花药形态、结构

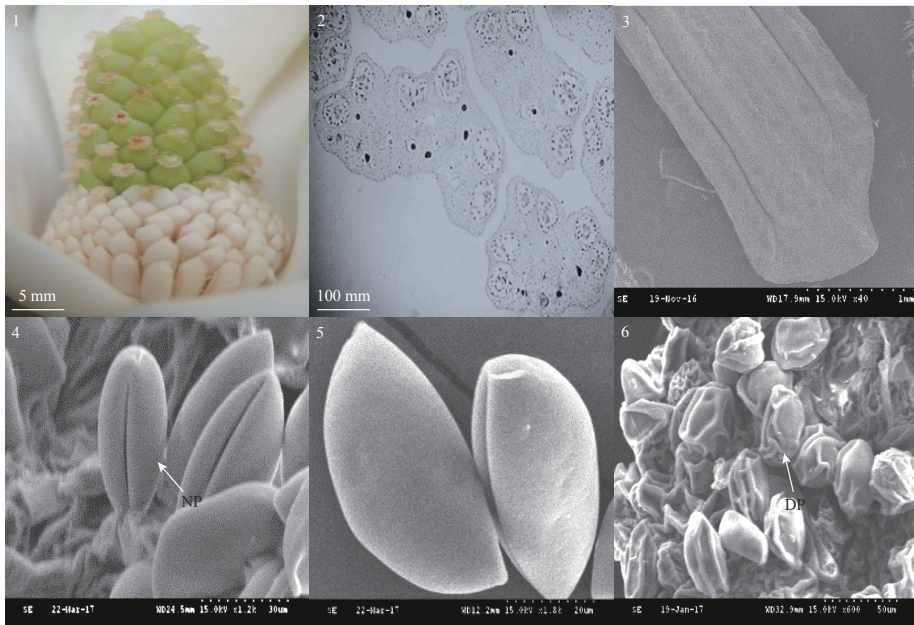
及数量特征;剥离出花药保存于FAA固定液(V70%乙醇:V甲醛:V冰乙酸=18:1:1)抽真空固定,50%乙醇润洗,经乙醇梯度脱水,浸蜡包埋后,旋转切片机进行连续切片,切片厚度 $6\sim 8\ \mu\text{m}$,中性树胶封片,OLYMPUS光学显微镜和OLYMPUS PM-10AD成像系统观察拍照。

取新鲜花药,轻轻划破花药表皮,解剖针挑出花粉,将花药和花粉粘贴于双面导电胶布上,置于金属样品台进行喷金,在扫描电镜下观察并拍照^[16]。实验数据使用Excel软件进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 雄蕊群数量结构及形态特征

灰木莲雄蕊群具花药平均98枚($n=30$, $sd=21$),花药长平均 7.4 mm ($n=30$, $sd=1.2$),花药宽平均 2.1 mm ($n=30$, $sd=0.2$)。雄蕊群的花药独立分离、辐射螺旋状排列于花轴的基部(图1-1),花粉囊呈丝管状平行排列于花药内侧或侧向面的两边,无花丝,尖端伸出约 $1\sim 1.5\text{ mm}$ 的药隔(图1-3)。成熟花药具4~6个花粉囊,多数为4个花粉囊,偶见6个花粉囊(图1-2)。



注:1.雄蕊群,花药呈螺旋状排列;2.花药横切面,示4~6个花粉囊;3.花药立体图,示平行分布的花粉囊和药隔;4~5.正常的花粉粒舟形,花粉壁具稀疏孔纹;6.失活的花粉粒表面皱缩,NP:正常萌发的花粉粒;DP:败育的花粉粒。

Notes: 1. Stamens in a spiral arrangement; 2. Anther cross section, showing two to six pollen sac; 4. Stereo diagram of anther, showing two columns of anther and connectives; 5-6. Pollen grain with boat shape, and pollen wall with sparse bothrenchyma. NP: Normal pollen, DP: Degenerated pollen.

图1 花药结构

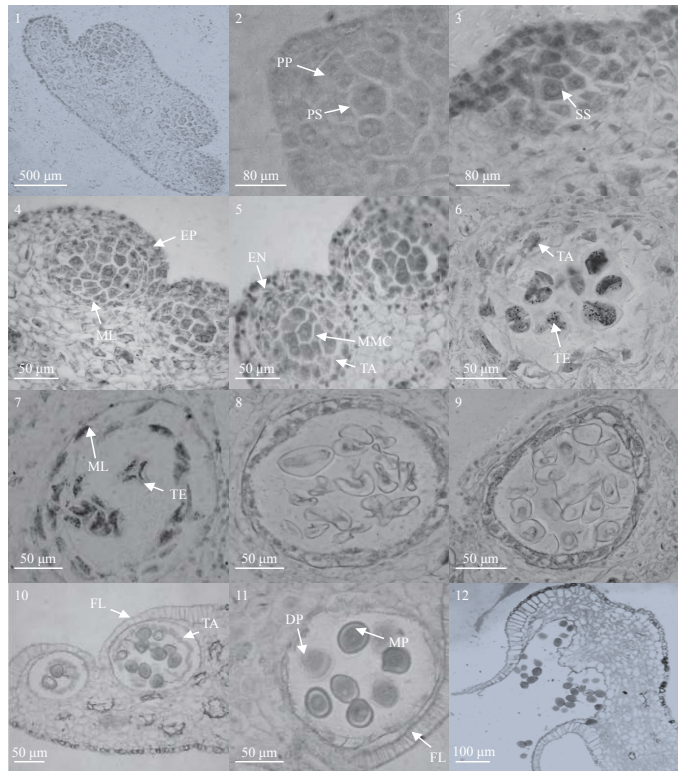
Fig. 1 The structure of anthers

具有活力的花粉粒两侧对称, 异极, 极面观为椭圆形或长圆形, 赤道面观为舟形, 具远极单沟, 沟直达端部, 闭合或不闭合, 极轴约 $25.5 \mu\text{m}$, 赤道轴约 $62.3 \mu\text{m}$, 花粉壁光滑, 极轴面具稀疏穴状纹饰 (图 1-4~5), 失活花粉粒缩为球形, 花粉壁皱缩 (图 1-6)。

3.2 花药壁的发育

灰木莲雄蕊原基约 12 月下旬至 1 月初开始分化, 内侧花粉囊较外侧的分化发育早 (图 2-1)。最初的花药原基只有一层外表皮细胞和表皮内部分生组织, 1 月中旬, 随着内部分生组织细胞的分化, 在花药四个角隅处分化出孢原细胞 (图 2-2); 孢原细胞经平周分裂形成初生壁细胞和内层初生造孢细胞 (图 2-3), 初生壁细胞分裂后形成 3~4 层

花药壁细胞 (图 2-4); 当小孢子母细胞形成时, 花药壁发育完成, 此时的花药壁自内向外分别为绒毡层 1~2 层、中层 1 层、药室内壁 2 层、表皮细胞 1 层 (图 2-5); 2 月上旬, 小孢子母细胞进入减数分裂, 中层细胞逐渐解体、退化或变成长条状或残迹, 绒毡层在形成四分体时也开始部分原位变形, 但中层细胞较绒毡层细胞提前被吸收 (图 2-6~7), 绒毡层属较原始的腺质型; 小孢子从四分体释放后发生变形, 但随着细胞增殖扩大, 残余的绒毡层和中层细胞重新恢复并被挤压为扁平状 (图 2-8~9); 变形小孢子发育后期多数能发育正常, 此时中层和绒毡层再次解体为其发育提供营养, 花粉成熟时, 药室内壁发育为纤维层 1 层, 中层和绒毡层被吸收 (图 2-10~11); 3 月初, 小孢子发育成熟, 花粉囊纤



注: 1: 内侧花粉囊较外侧的发育早; 2: 孢原细胞的形成; 3: 初生壁细胞和初生造孢细胞的形成; 4: 次生造孢细胞和花药内壁的形成; 5: 小孢子母细胞; 6~7: 二分体和四分体形成期, 绒毡层提前解体; 8: 从四分体释放的小孢子, 发生变形; 9: 小孢子形状恢复, 花粉囊扩张, 中层和绒毡层挤为扁平状; 10: 绒毡层原位解体; 11: 成熟小孢子; 12: 花粉散出。DP: 败育的花粉; EP: 表皮; EN: 药室内壁; ML: 中层; MMC: 小孢子母细胞; MP: 成熟花粉; PP: 初生壁细胞; PS: 初生造孢细胞; SS: 次生造孢细胞; TA: 绒毡层; FL: 纤维层; TE: 四分体。

Notes: 1: The development of the medial pollen sac was earlier than that of the lateral; 2: Anther epidermal cell; 3: primary parietal cell and primordial spore cell; 4: Endothecium and secondary sporogenous cells; 5: Microspore mother cell; 6~7: Formation of dyad and microspore tetrads, middle layer and tapetum disintegrated prematurely; 8: Young microspores, showing different deformation; 9: Microspore with regular shape after cell wall expansion and showing the middle layer and tapetum flat; 10: The tapetum disintegrated in situ; 11: Mature microspore; 12: Mature pollen released. DP: Degenerated pollen; EP: Epidermis; EN: Endothecium; ML: Middle layer; MMC: Microspore mother cell; MP: Mature pollen; PP: Primary parietal cells; PS: Primary sporogenous cell; SS: Secondary sporogenous cell; TA: Tapetum; FL: Fibrous layer; TE: Tetrad.

图 2 花药壁的发育及层壁变化

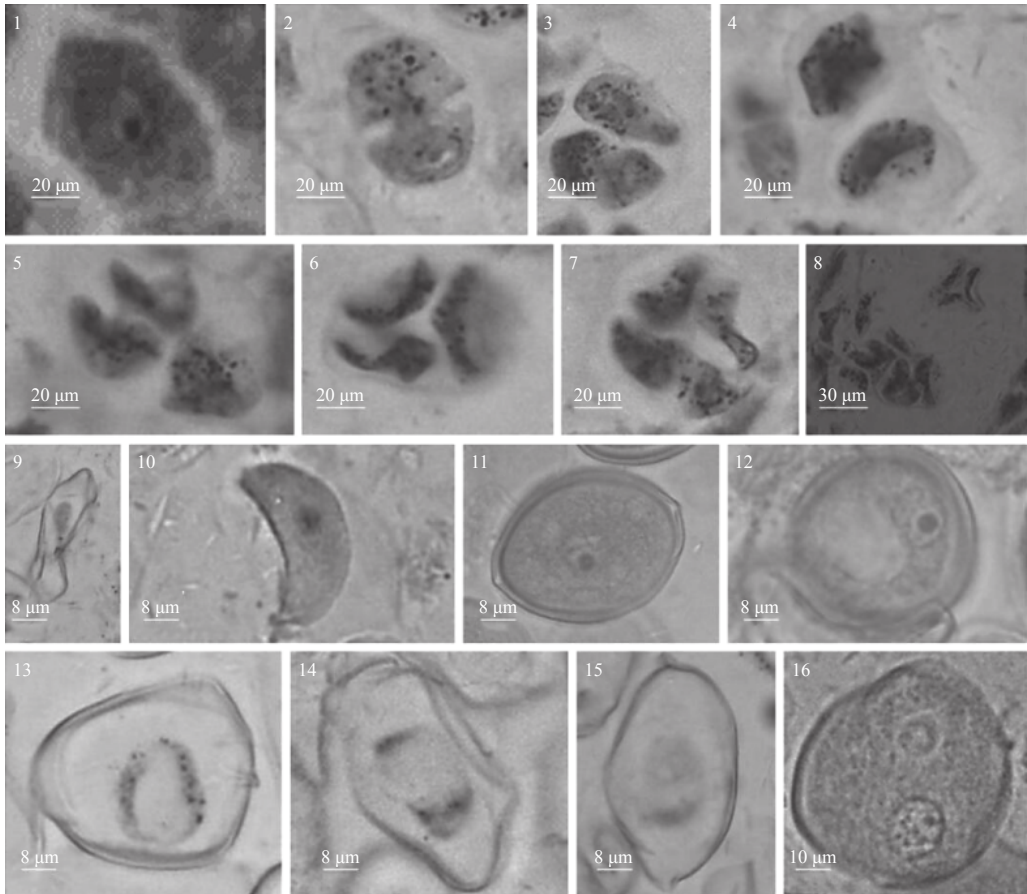
Fig. 2 The development of anther wall and wall changes

维层径向加厚,同侧花粉囊连接处细胞壁较薄,受机械牵拉,花粉从同侧两花粉囊连接处散出(图2-12)。

3.3 小孢子的发生及雄配子体的形成

小孢子母细胞在减数分裂前,与花药壁细胞有明显区别,细胞体积最大,核大,胞质浓厚,为行使小孢子母细胞功能储备物质(图3-1)。第1次减数分裂末期,小孢子细胞质从外向内发生缢裂,

形成二分体,但未见细胞新壁形成(图3-2);进入第2次减数分裂时,二分体发生同时或不同时缢裂形成四分体,四个子细胞被共同的胼胝质包围(图3-3);随着胼胝质溶解,小孢子彼此分开并形成细胞新壁(图3-4)。四分体的排列方式以左右对称型和四面体型为主(图3-5~7),偶见直列型(图3-8),小孢子母细胞胞质分裂方式为修饰性同时型和连续型兼有。



注: 1~3: 小孢子母细胞发生减数分裂,胞质从外向内缢裂; 4: 小孢子从四分体分离,胼胝质溶解; 5~6: 四面体型四分体; 7: 左右对称形四分体; 8: 小孢子囊不同排列方式的四分体; 9~10: 发生变形的小孢子; 11: 单核小孢子; 12: 小孢子液泡化; 13~14: 单核小孢子的核分裂; 15: 双核小孢子的形成; 16: 成熟的二细胞花粉粒。

Notes: 1-3: Meiosis of the microspore mother cells, cytoplasm hanging division from outside to inside; 4: Microspore separated from tetrad and dissolved callose; 5-6: Tetrahedral tetrad; 7: Left-right symmetric tetrad; 8: Tetrads in the same sporangium with different form; 9-10: Distorted microspores; 11: Uninucleate microspore; 12: Vacuolated cell microspore; 13-14: Miosis of uninucleate microspore; 15: Formation of binucleate microspore; 16: Two-cell pollen.

图3 小孢子的发生及雄配子体的形成

Fig. 3 The occurrence of microspore and the formation of male gametophyte

从四分体释放后的小孢子形态发生不同程度的变形,出现扭曲、收缩或变为肾型,细胞壁薄,细胞质液泡化(图3-9~10);变形小孢子细胞壁进一步扩张、加厚,形成形状规则、无液泡的单核小孢子,胞质变浓且分布均匀(图3-11);随后小孢

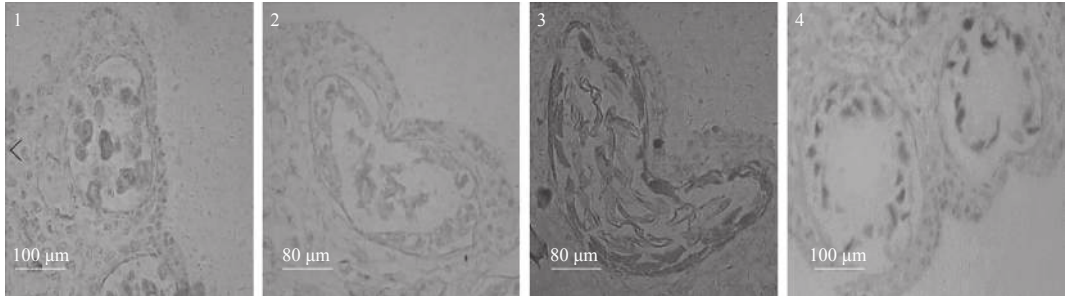
子细胞质出现液泡化形成一个中央大液泡,细胞核被挤到细胞的边缘,此时小孢子为单核靠边期(图3-12);经历单核靠边期后,小孢子核物质不断积累,随即发生1次不均等的有丝分裂,分裂过程中可观察到染色体从赤道面被拉向两极,将细胞

质分成不均等的两部分而形成具营养核和生殖核的二核小孢子(图 3-13~15); 二核小孢子发育后期, 大液泡消失, 大部分细胞质和营养核形成营养细胞, 小部分细胞质和生殖核形成生殖细胞, 营养细胞占据花粉的绝大部分体积(图 3-16), 成熟小孢子形成。

3.4 花药发育过程中的败育

通过对灰木莲花药发育的解剖观察, 在其发育过程中主要存在以下异常现象: (1) 小孢子母细

胞进入减数分裂到四分体形成时, 绒毡层和中层细胞提前解体(图 4-1), 仅剩少量残余, 不能为小孢子后期发育提供营养, 经切片数量统计, 此异常现象比例约占 14%。(2) 花粉壁收缩变形, 形成心型花粉囊, 从四分体分离的小孢子因过度扭曲变形不能再正常发育(图 4-2~3), 因变形而败育的小孢子约占 9%。(3) 在小孢子母细胞分裂时期, 小孢子母细胞因退化、发育异常或消失, 空心花粉囊的比例约占 10%(图 4-4)。



注: 1~2: 绒毡层和中层细胞提前解体; 3~4: 收缩变形的小孢子。

Notes: 1-2: Tapetum and middle layer disintegrate, 3-4: Contraction deformation of microspore.

图 4 雄配子体发育过程中的异常现象

Fig. 4 The abnormal phenomenon in the process of male gametophyte development

4 讨论

灰木莲的雄蕊含花药平均 98 枚, 4~6 个小孢子囊呈线型或蝴蝶型排列于扁平花药的向心面或侧向面, 其花药开裂同时具侧向开裂和内向开裂 2 种方式。在较为原始的双子叶植物中, 整个雄蕊为具 3 条维管束的扁平叶状, 花粉囊则着生于近轴面的中脉与侧脉之间。据统计, 进化后 95% 的被子植物具单脉雄蕊, 这被认为是叶状雄蕊在宽度和脉迹减少的进化过程中的产物^[17]。已报道的木兰科花粉囊数均为 4 个, 且数量较稳定^[4, 18], 本研究观察到灰木莲花药横切结构具 4~6 个花粉囊, 其花粉囊数目具一定的可变性, 这在木兰科其他植物中尚未见报道。通常认为, 花部数目多数和不定数是原始性状, 少数和定数是进化性状^[19], 这表明灰木莲的花粉囊数量在系统演化中保留了更为原始的性状。在植物的系统发育中, 不同器官的演化速度是不同的, 因而造成同一分类群在具有原始特征的同时, 又兼具有许多进化特征, 被称为异步进化或镶嵌进化现象, 这在原始的有花科植物中表现得最明显^[20]。同已报道同属的红花木莲 (*M. insignis*)、大果木莲 (*M. grandis*) 和毛果木莲 (*M. hebecarpa*) 相

比, 就花药特征而言, 灰木莲花药数目较少, 属较进化类型, 但其花粉囊数目却比红花木莲、大果木莲和毛果木莲的原始^[21-22]。

灰木莲的花药壁由表皮、药室内壁、中层和绒毡层组成, 中层和绒毡层仅由 1~2 层细胞组成, 腺质绒毡层, 成熟花粉粒为二细胞型, 这和已报道其他木莲属的花药发育特征基本相同^[21, 23-26]。花粉壁光滑, 极轴面具极稀疏穴状纹饰, 为木莲属中的最原始类型, 花粉极轴约 25.5 μm , 属木莲属中花粉极轴的最短区间, 花粉赤道轴约 62.3 μm , 处于木莲属花粉赤道轴范围的中等区间^[27]。在灰木莲的小孢子发育过程中, 小孢子母细胞减数分裂具连续型和同时型 2 种方式, 连续型分离的小孢子以左右对称型和直线型排列方式为主, 同时型分裂出的小孢子为四面体型排列, 而其他木兰科树种一般仅具一种同时型的胞质分裂方式^[21, 24-25, 28]。灰木莲小孢子在四分体时发生收缩变形, 刚释放的小孢子呈扭曲、梭状或骨形, 这与红花木莲、西畴含笑 (*Michelia coriacea* Chang et B. L. Chen) 和凹叶厚朴 (*Magnolia officinalis* Rehd. et Wils) 的四分体变形特征相似^[21, 25, 28-30], 西畴含笑和凹叶厚朴的大部

分小孢子因收缩过度而不能进一步正常发育,但在灰木莲和红花木莲中,大多数小孢子在发生不规则的收缩变形的同时进行液泡化过程,因此,大部分小孢子仍能正常发育形成花粉粒。潘跃芝等认为,这种收缩现象可能是为了将细胞质挤到细胞的边缘,以有利于细胞核有丝分裂的进行^[21,25],此现象发生的机理和作用如何?是否为更进化的类型?需进一步系统的研究。

木兰科作为原始被子植物的现存类群,花粉败育与结实率低是木兰科濒危植物生殖失败的原因之一^[31],对其濒危机制研究发现,许多属在花粉发育中存在不同环节的败育现象,如红花木莲因次生造孢细胞、花粉母细胞部分败育和二分体败育,其花粉萌发率仅为14.7%;毛果木莲存在花粉量少,且因原生质提前解体形成无细胞核不规则的败育花粉率为29%^[31];香港木兰(*M. championii*)的小孢子败育率较高,四分体到单核花粉形成期出现异常发育^[32-33];凹叶厚朴在小孢子形成时,母细胞胶合在一起不能发生减数分裂,或是分离出的小孢子因过度收缩变形不能形成正常花粉粒,或是部分花粉囊在二核花粉形成时,花药壁的绒毡层和中层细胞仍未退化完全而缺乏继续发育的营养物质^[28];观光木(*Tsoongiodendron odorum* Chun)的花粉发育败育,主要发生于从四分体分离出小孢子时,同侧花粉囊有50%的四分体退化,35%的小孢子因过度收缩发育为败育的小孢子^[34]。本研究中,灰木莲小孢子发育的败育主要发生于四分体时期,绒毡层和中层细胞提前解体,花粉囊萎缩,刚释放的小孢子呈扭曲、梭状或骨形而致使部分小孢子不能发育为正常花粉粒的败育率为33%。

生殖败育是植物引种栽培条件下常发生的问题,其原因是多方面的。灰木莲在自然状态结实率几乎为零,但对其异株异花授粉的结实率可达57.67%^[35],本研究所观察到的灰木莲花粉败育率为33%,这虽然在一定程度上减少了其授粉机率,但若按其花粉胚珠比1:146来计算,每胚珠获得的花粉量概率依然很大。因此,花粉败育对其结实率较低的影响是有限的,栽培区内是否缺少足够量的有效传粉昆虫,有待今后进一步研究证实。

5 结论

灰木莲花药结构和发育特征与其他木莲属相

似,但在花粉囊结构、胞质分裂方式和小孢子四分体排列方式表现不同,小孢子发育过程的异常现象主要发生于四分体时期,为引起灰木莲花粉败育和结实率低的原因之一。

参考文献:

- [1] 刘玉壶,夏念和,杨惠秋. 木兰科(Magnoliaceae)的起源、进化和地理分布[J]. 热带亚热带植物学报, 1995, 3(4): 1-12.
- [2] 王亚玲,崔铁成,张寿洲. 木兰科植物系统学研究进展[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(2): 22-28.
- [3] 桂腾琴. 木兰科植物系统学研究进展[J]. 种子, 2010, 29(9): 56-29.
- [4] 刘玉壶. 中国木兰[M]. 北京: 科学技术出版社, 2004: 142-143.
- [5] 乔梦吉. 广西优良珍贵树种灰木莲的组织培养[J]. 南方农业学报, 2013, 44(6): 989-993.
- [6] 姜清彬,文珊珊,仲崇禄,等. 灰木莲开花结实生物学观察[J]. 西南农业学报, 2016, 29(9): 2229-2233.
- [7] 张志鸿,许涵,姜清彬. 灰木莲——华南地区具优良防火特性的多用途树种研究进展[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(6): 121-125.
- [8] 潘丽琴,郝建,徐建民,等. 灰木莲花期物候观测及生殖构件分布[J]. 林业科学研究, 2018, 31(2): 96-101.
- [9] 杨耀海,刘明义,常森有. 灰木莲引种栽培试验研究[J]. 西南林业大学学报:自然科学版, 2007, 27(3): 29-32.
- [10] 蒙彩兰,刘福妹,卢立华,等. 不同嫁接时间和处理对灰木莲嫁接成活的影响[J]. 中国野生植物资源, 2015, 34(1): 60-63.
- [11] 赵翔,姜清彬,仲崇禄. 灰木莲繁殖技术研究进展[J]. 种子, 2017, 36(3): 46-49.
- [12] 卢立华,何日明,农瑞红,等. 坡位对灰木莲生长的影响[J]. 林业科学研究, 2012, 25(6): 789-794.
- [13] 陈松武,梁炜文,许彩娟,等. 人工林灰木莲木材物理力学性质研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(16): 8993-8996.
- [14] 李俊贞,覃静,邓力,等. 盐胁迫对灰木莲苗木生长及生理指标的影响[J]. 西部林业科学, 2011, 40(2): 40-44.
- [15] 胡羨聪,吴小英,温海洋,等. 珠三角城市森林景观树种杀菌剂应用及其影响[J]. 中国城市林业, 2005, 3(6): 46-49.
- [16] 林新春,俞志雄. 9种木兰科植物的花粉形态观察[J]. 浙江农林大学学报, 2003, 20(4): 353-356.
- [17] P. 玛海蕾瓦里. 被子植物胚胎学引论[M]. 陈机译. 北京: 科学出版社, 1966.
- [18] 陈东钦. 木兰科代表植物花药发育与小孢子发生[D]. 广州: 中国科学院华南植物园, 2008.
- [19] 曾庆文,高泽正,张莫湘. 焕铺木花部数量变异和腋生花现象[J]. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(4): 306-310.
- [20] Takhtajan A. Outline of the classification of flowering plants (Magnoliophyta)[J]. Bot Rev, 1980, 46(3): 226-347.
- [21] 潘跃芝,龚洵,梁汉兴. 濒危植物红花木莲小孢子发生及雄配子体发育的研究[J]. 云南植物研究, 2001, 23(1): 85-90.
- [22] 徐亮,司马永康,杨卫,等. 大果木莲的花部数量变异研究[J].

- 广西林业科学, 2006, 35 (1): 23-25.
- [23] 徐涛, 楚永兴, 钱良超, 等. 极危植物毛果木莲花粉败育及其结籽率研究[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2012, 34 (5): 586-589.
- [24] 肖德兴, 俞志雄. 华木莲花药的发生发育[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12 (4): 309-312.
- [25] 潘跃芝, 龚洵, 梁汉兴. 濒危植物香木莲的胚胎学研究[J]. 武汉植物学研究, 2003, 21 (1): 1-8.
- [26] 陈发菊, 李凤兰, 梁宏伟, 等. 珍稀濒危植物巴东木莲胚胎学研究[J]. 植物研究, 2008, 28 (6): 657-662.
- [27] Zhang X H, Silva da J A T, Duan J, *et al.* Pollen morphology of Magnolioideae in China and its taxonomic implications[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 176: 170-179.
- [28] 王利琳, 胡江琴, 庞基良, 等. 凹叶厚朴大、小孢子发生和雌、雄配子体发育的研究[J]. 实验生物学报, 2005, 38 (6): 490-500.
- [29] Hayashi Y. On the microsporogenesis and pollen morphology in the family Magnoliaceae[J]. science reports of the tohoku university, 1960, 26(1): 45-52.
- [30] 赵兴峰, 孙卫邦, 杨华斌, 等. 极度濒危植物西畴含笑的大小孢子发生及雌雄配子体发育[J]. 云南植物研究, 2008, 30 (5): 549-556.
- [31] Cicuzz D, Newton A, Oldfield S. The Red List of Magnoliaceae[M]. Cambridge: The Lavenham Press, 2007: 17-43.
- [32] 王亚玲, 张寿洲. 香港木兰小孢子发生及雄配子体发育的研究[J]. 武汉植物学研究, 2008, 26 (6): 547-553.
- [33] 张凤娟, 徐兴友, 陈凤敏, 等. 天女木兰小孢子发生及雄配子体发育的观察[J]. 经济林研究, 2009, 26 (4): 71-75.
- [34] 付琳, 徐凤霞, 曾庆文. 观光木的小孢子发生及雄配子体发育的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17 (5): 5-12.
- [35] 潘丽琴, 郝建, 徐建民, 等. 灰木莲二次开合开花动态与雌雄异熟特征[J]. 浙江农林大学学报, 2018, 35 (1): 96-103.

Anther Structure and Pollen Development Characteristic of *Manglietia conifera*

PAN Li-qin¹, HAO Jian², XU Jian-min³, LI Hong-lin¹, LIANG Fu-jiang²,
ZHANG Qing-qing¹, JIANG Qing-bin³

(1. Southwest Forestry University, Kunming 650204, Yunnan, China; 2. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxin, China; 3. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: [Objective] The anther structure and microspore development of *Manglietia conifera* were studied to determine the abnormal phenomenon of male microspore development, and to provide evidence and accumulation data for further study on the taxonomic status of *M. conifera* and the phylogeny of Magnoliaceae. [Method] The anther structure, microspore and male gametophyte development of *M. conifera* were observed by means of anatomy and morphology. [Result] The results showed that the mature anther of *M. conifera* was composed of 5 to 7 layers of cells, including the surface layer, the inner wall, the middle layer and the tapetum. The 4-6 microsporangia were arranged in a linear pattern and the anther dehiscence was centripetal or lateral. There were two types of cytokinesis of microspore mother cell: continuous type and simultaneous type. The arrangement of microspore in a tetrad was isobilateral, linear or tetrahedral, and the mature pollen was two-celled. The pollen wall was smooth with very sparse cave-like ornamentation. [Conclusion] The anther structure and developmental characteristics of *M. conifera* were similar to those of other genera in *Manglietia*, but the structure of pollen sac, the mode of cytoplasm division and the arrangement of microspore tetrad were different. The abnormal phenomenon of microspore development mainly occurs in the tetrad stage, which is one of the reasons for the abortion the pollen and low seed setting rate of fruit.

Keywords: *Manglietia conifera*; anther; pollen; microspore; male gametophyte

(责任编辑: 徐玉秀)