

# 观光木的小孢子发生及雄配子体发育的研究

付琳<sup>1,2</sup>, 徐凤霞<sup>1</sup>, 曾庆文<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 采用石蜡切片法对观光木(*Tsoongiodendron odorum* Chun)的小孢子发生和雄配子体发育进行了解剖学研究。观光木的花药由花药原基发育而来,具4个小孢子囊,花药壁由表皮、药室内壁、2~3层中层和1~2层绒毡层组成。中层在小孢子四分体时期开始解体,最终消失;绒毡层为腺质绒毡层,细胞具1~2核,在花药发育过程中不断分泌各种物质,提供小孢子发育,直到花粉成熟绒毡层才自溶消失。初生造孢细胞分裂形成次生造孢细胞,次生造孢细胞再转化为小孢子母细胞,小孢子母细胞减数分裂的胞质分裂为修饰性同时型,四分体排列方式为交叉型、对称型或“T”型(极少),成熟花粉粒二细胞型,开花时散出。观光木的成熟花粉粒存在严重的败育现象。

**关键词:** 观光木; 木兰科; 小孢子发生; 雄配子体发育

中图分类号: Q944.58

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2009)05-0419-08

## Studies on Microsporogenesis and Development of Male Gametophyte in *Tsoongiodendron odorum* Chun

FU Lin<sup>1,2</sup>, XU Feng-xia<sup>1</sup>, ZENG Qing-wen<sup>1\*</sup>

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The microsporogenesis and development of male gametophyte in *Tsoongiodendron odorum* Chun were observed by using the paraffin section method. The anther was tetrasporangiate, originated from the stamen primordium. The anther wall was composed of epidermis, fibrous endothelium, middle layer (2~3 layers) and tapetum (1~2 layers). The middle layers became smaller at the tetrad stage, and disappeared at last. The tapetum was of glandular type, which degenerated to supply the nutrient to the pollens and finally disappeared when the pollens were mature. The primary sporogenous cells divided into the second sporogenous cells which would turn into microspore mother cells in a microsporangium. The cytokinesis in meiosis of the microspore mother cells was of modified simultaneous type, forming the decussate, isobilateral or T-shaped (rarely) tetrads. Mature pollen grains, which were dispersed at anthesis, were 2-celled type and degenerated seriously.

**Key words:** *Tsoongiodendron odorum* Chun; Magnoliaceae; Microsporogenesis; Development of male gametophyte

观光木(*Tsoongiodendron odorum* Chun)是木兰科(Magnoliaceae)观光木属植物,我国特有,被列为国家珍稀濒危Ⅱ级保护植物<sup>[1]</sup>,由陈焕镛先生在1963年发表,同时成立观光木属<sup>[2]</sup>。在后来木兰科的分类系统中,1964年Dandy对木兰科的系统修订中增加了观光木属<sup>[3]</sup>,Nooteboom<sup>[4-5]</sup>和Figlar<sup>[6]</sup>主

张将观光木属归入含笑属。刘玉壶<sup>[7]</sup>认为观光木的果实为心皮全部愈合发育成的肉质聚合果,其枝、叶、花等均具有进化特征,木材解剖形态也比含笑属进化,它局限的地理分布也与含笑亚族其他3属迥然不同,属的界线分明,应是独立的单种属,因此把观光木作为一个独立的属——观光木属。

收稿日期:2008-10-06 接受日期:2009-02-09

基金项目:国家自然科学基金项目(30470186; 30871960; 30770140; 30370108); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-Z-026); 广东省科技厅科技计划项目(2007A020200004-8); 广东省自然科学基金项目(5006764)资助

\* 通讯作者 Corresponding author

Flora of China<sup>[8]</sup>中又把观光木归入含笑属,为 *Michelia odora* (Chun) Nooteboom & B. L. Chen。本种零散分布于海南、广东、广西、云南、贵州、湖南、江西、福建等省区。虽然分布较广,但是由于人类活动的影响,观光木分布区的生态环境受到了较大破坏,已处于濒危状态<sup>[9]</sup>。

观光木的传粉生物学研究表明<sup>[9]</sup>,观光木的结实率偏低,其中自然授粉率为 47.46%,人工授粉率为 41.90%,种子产量不高且易受动物啃食,导致幼苗数量少,天然更新不良,可能是观光木濒危的一个重要原因。唐源江等<sup>[10]</sup>对观光木的大孢子发生及雌配子体发育的研究表明,其四分体和成熟胚囊时期存在异常发育现象;在胚珠阶段,正常发育胚珠的比例逐渐减少,这也是导致其濒危的一个重要原因。而对观光木的小孢子发生和雄配子体形成的研究还未见报道。

Hayashi<sup>[11]</sup>曾对 1965 年以前的木兰科植物小孢子发生和雄配子体发育的研究进行了总结,随后他又研究了 *Michelia figo*<sup>[12]</sup>, *Magnolia salicifolia*<sup>[13]</sup> 的小孢子发生和雄配子体发育。近年来尹增芳、樊汝文等<sup>[14-15]</sup>对中国鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)的胚胎学进行了研究,潘跃芝等<sup>[16-18]</sup>对红花木莲(*Manglietia insignis*)和香木莲(*Manglietia aromatica*)的小孢子发生和雄配子体发育进行了研究,认为香木莲的花粉萌发率低与小孢子发生和雄配子体发育没有直接的关系;肖德兴等<sup>[19]</sup>观察到华木莲(*Sinomanglietia glauca*)花药在次生造孢细胞、小孢子母细胞或二分体时期存在败育现象。王利琳等<sup>[20]</sup>观察到凹叶厚朴(*Magnolia biloba*)同一药室内的小孢子母细胞减数分裂不同步;小孢子母细胞收缩,细胞核、细胞质发生胶合;小孢子收缩过度成“骨形”。敖成齐<sup>[21]</sup>观察到含笑(*Michelia figo*)散放时的成熟花粉粒为 3 细胞。陈东钦<sup>[22]</sup>对毛桃木莲(*Manglietia moto*)、长叶木兰(*Magnolia paenetaikuma*)、焕镛木(*Woonyoungia septentrionalis*)、紫花含笑(*Michelia crassipes*)的花药发育和小孢子发生进行了研究。本文在此基础上,从小孢子的发生及雄配子体发育方面进一步研究观光木的胚胎学发育机理,探讨迁地保护过程中植株的发育状况,为寻找观光木的濒危原因提供一些资料。

## 1 材料和方法

2006 年 8 月~2007 年 3 月在中国科学院华南

植物园木兰园内的栽培居群中,采集不同发育时期的观光木花芽,每隔 3~5 d,直到开花。FAA(70%酒精:冰醋酸:甲醛 = 90:5:5)固定,爱氏苏木精(2%)整体染色,氨水(2%)冲洗蓝化,酒精逐级脱水(30%, 50%, 75%, 85%, 95%, 100%, 100%),二甲苯透明,常规石蜡切片,制成永久装片,切片厚度为 3~8  $\mu\text{m}$ 。Olympus AX70 型显微镜观察及拍照。

## 2 结果

### 2.1 成熟花部形态结构

观光木的花为两性花,成熟雄蕊群淡黄色,30~45枚,长 7.5~8.5 mm,花丝白色或带红色,长 2~3 mm,花药宽而狭长,占整个雄蕊的大部分,侧向开裂。

### 2.2 花药的形成及花药壁层的变化

花药由花药原基发育而来。最初的花药原基表皮内方为均一的分生组织,无组织分化,随后内部中央逐渐分化出形成层,四个角隅的细胞分裂较快,形成四个小突起,每个突起的表皮下分化形成 1 个孢原细胞(横切面观察,图版 I:1),孢原细胞进行平周分裂形成两层细胞,外层为初生壁细胞,内层为初生造孢细胞(图版 I:2)。初生壁细胞平周分裂形成两层次生壁细胞,靠近表皮的一层再次进行平周分裂形成两层细胞,分别发育形成药室内壁(即纤维层)和中层(图版 I:3);向内靠近造孢细胞的一层也进行平周分裂形成中层和绒毡层(图版 I:4)。有的中层和绒毡层会再分裂 1 次(图版 I:5),因此,成熟的花药壁由表皮、药室内壁、2~3 层中层和 1~2 层绒毡层(图版 I:7,8)组成。

最初花药壁的几层细胞没有很大区别。到小孢子母细胞减数分裂前(图版 I:7),绒毡层细胞不断积累营养物质,体积变大,形状不规则,细胞质变浓,细胞核大而明显,并且伴随着核分裂形成 2 核(图版 I:8),与其他细胞很容易区分。中层细胞与药室内壁细胞形状相似,长方形,中间有一个大而圆的细胞核,细胞质浓,部分细胞开始变细长。

小孢子四分体时期(图版 I:9),中层细胞开始解体。当小孢子从四分体内释放时,绒毡层细胞发育成熟,比其他花药壁细胞体积大,长方形,但细胞质特别浓厚,细胞核细胞质聚集在一起,着色很深,中央有大液泡。

单核花粉时期(图版 I:10),绒毡层细胞会因不断向外提供营养而逐渐解体,细胞核变为单核,

细胞质多聚集成团状。绒毡层在整个发育过程中都处于原来的位置,保持单个细胞,细胞之间没有融合,药室空腔明显,因此应为腺质绒毡层。中层细胞此时已呈细长线形。药室内壁细胞的体积逐渐增大,径向壁已延长而呈近正方形,细胞质分布均匀,细胞内形成液泡。

花粉成熟时(图版 I: 11),绒毡层细胞已解体消失,所有中层细胞的细胞壁都已解体,仅留残余的细胞质,到花粉散出时,中层细胞会完全消失。药室内壁细胞成径向长方形,细胞体积很大,具大液泡,细胞核紧贴细胞壁。药室内壁细胞径向壁出现次生壁的纤维素加厚,而且在整个花药周围都具有似药室内壁的药隔下皮层(图版 I: 12),但是在同侧花粉囊相接的部位,少数几个药室内壁细胞并不加厚,在花药成熟时受机械牵拉,细胞破裂,花粉囊在此处开裂,花粉随之散出。

## 2.3 小孢子的发生和雄配子体的发育

### 2.3.1 小孢子的发生

孢原细胞平周分裂形成初生壁细胞和初生造孢细胞(图版 I: 2)。初生造孢细胞不断进行有丝分裂在小孢子囊中形成次生造孢细胞(图版 I: 3)。次生造孢细胞再转化成小孢子母细胞(即花粉母细胞)(图版 I: 6)。小孢子母细胞在减数分裂前体积达到最大,形状不规则,体积比其它壁细胞大数倍,具1个大而圆的细胞核,细胞质浓厚,储备了足够的营养物质(图版 I: 7, 8)。减数分裂 I 开始,染色体先排列在赤道面上,受纺锤丝的牵拉到达两极(图版 II: 1),此时在赤道面没有形成细胞壁,但细胞质在赤道面的位置开始从外向内缢裂(图版 II: 2)。到达两极的染色体分别排列到一侧细胞质的赤道面上,开始进行减数分裂 II (图版 II: 3),当四组染色体都到达两极时,第一次的缢裂进一步加深,第二次缢裂开始(图版 II: 4, 5),细胞壁同时在细胞质之间形成(图版 II: 6),最后形成交叉型(80%),对称型(20%),“T”型(极少)的四分体(图版 I: 9;图版 II: 7~10),小孢子长椭圆形。因此减数分裂方式为修饰性同时型,减数分裂过程中具有不同步现象,如在图版 II: 3 中,一组染色体处在减数分裂前期 II 阶段,另一组染色体处在减数分裂中期 II 阶段,在图版 II: 6 中,细胞质的缢裂也不同步。

### 2.3.2 雄配子体发育

刚从四分体释放出来的小孢子细胞壁很薄,细胞核小,细胞质分布均匀,着色较浅。随着小孢子

的生长,细胞逐渐展开,花粉壁逐渐增厚,可以明显看到有2层结构,细胞核变大成圆形,位于中央,细胞质变浓且分布均匀,中央无液泡(图版 II: 11)。随后细胞开始液泡化,形成许多小液泡,再合并成1个大液泡,大液泡将细胞核与细胞质挤向一边,紧贴细胞壁,进入单核靠边期,部分小孢子会变成肾形(图版 II: 12)。当积聚了足够的营养物质后,细胞核开始进行有丝分裂,首先染色体排列在赤道面上(图版 II: 13),随后到达两极,开始分裂,营养核位于花粉粒的中央,生殖核紧贴花粉壁处(图版 II: 14),两核之间形成细胞板,将细胞质分割为不均等的两部分(图版 II: 15)。随着花粉粒的发育,生殖核同营养核之间的细胞壁消失,生殖核脱离花粉细胞壁形成1个生殖细胞,游离于营养细胞的细胞质中(图版 II: 16),此时花粉粒的细胞质分布均匀,大液泡消失,雄配子体发育完成。实验中发现,观光木花粉在最后的成熟阶段存在严重的败育现象。在所有成熟花粉的切片中,约有50%的花药的同一侧两药室内的花粉粒发育良好,而另一侧两个药室内的花粉则完全败育(图版 I: 12),还有15%的花药有一个药室内的花粉败育,其他35%的花药也有少量萎缩变形的花粉粒。

## 3 结论和讨论

观光木的雄蕊具4个花粉囊,花药壁由表皮、药室内壁、中层和绒毡层组成,绒毡层为腺质绒毡层,细胞具1~2核,在花药发育过程中不断分泌各种物质供小孢子发育,直到花粉成熟绒毡层才自溶消失;小孢子母细胞减数分裂的胞质分裂为修饰性同时型,成熟花粉粒为二细胞型,这些特征与Hayashi<sup>[11]</sup>总结的木兰科植物小孢子发生和雄配子体发育的特征基本一致。

潘跃芝等<sup>[16-18]</sup>观察到红花木莲、香木莲释放的小孢子会发生变形,尤录祥<sup>[15]</sup>等观察到中国鹅掌楸的小孢子发育有短暂收缩过程,敖成齐<sup>[21]</sup>也发现含笑的小孢子花粉壁会呈收缩状态,本研究同样发现刚释放的小孢子和液泡时期的小孢子会变为肾形,进一步说明这种变形是木兰科植物小孢子发育过程中的一种正常现象。

观光木单核花粉的核分裂为均等分裂,生殖核与营养核的大小、形状相近,只是生殖核靠壁而营养核靠近细胞中央,这与敖成齐<sup>[21]</sup>对含笑花粉的观察结果一致。在以往报道中,木兰科植物的花粉

在散粉前都是二细胞花粉粒,但敖成齐<sup>[21]</sup>观察到含笑花粉在散粉时具 3 核,陈东钦<sup>[22]</sup>观察到紫花含笑成熟花粉的部分生殖细胞具有双核仁,但在观光木的成熟花粉中没有观察到。

小孢子发生和雄配子体发育过程中是否具有败育现象是经常被讨论的问题之一<sup>[14-22]</sup>。败育只在某些种类的少量花粉中发生<sup>[14,16,21-22]</sup>,尤录祥等<sup>[15]</sup>和王利琳等<sup>[20]</sup>分别在中国鹅掌楸(栽培)和凹叶厚朴(野生)中观察到花粉大量败育的现象。本研究观察到观光木花粉大量败育,而且在同一个雄蕊中,同侧的两个花药中花粉发育正常,另一侧两个花药中的花粉完全败育,出现这种现象的原因还有待进一步研究。虽然观光木雄蕊数量多,具有大量的花粉,发育正常的花粉仍具有生殖能力,但是大量的花粉发生败育对观光木的传粉和生殖会产生一定影响。

曾小平等<sup>[23]</sup>对木兰科焕铺木在不同土壤水分条件下的生长进行了研究,结果表明不同的水分条件对植株的生长有不同影响。我们观察到观光木的花粉大量败育,但在相同生长环境下的长叶木兰、毛桃木莲仅有少量不正常花粉出现,紫花含笑、焕铺木没有花粉败育<sup>[22]</sup>。这说明在迁地保护过程,植株的发育受到周围环境影响,温度、水分、光照、土壤、空气等环境因子都对植物的生长发育产生重要的生态作用。每个种类由于自身适应性的不同,受影响的程度也不相同。对观光木传粉生物学的研究中<sup>[9]</sup>也发现,密林中的观光木成年植株结实非常少,甚至不结果,而处于林缘或路边的则结实较多,阳坡的成年植株结实较多,而阴坡的则结实较少,这说明观光木的生长容易受到环境的影响。

**致谢** 承蒙中国科学院华南植物园木兰园杨科明等协助采集实验材料,公共实验室徐信兰老师、结构发育实验室邵耘老师在实验过程中给予指导,在此表示感谢。

## 参考文献

- [1] Fu L G(傅立国). China Plant Red Data Book — Rare and Endangered Plants [M]. Beijing: Science Press, 1992: 1–454. (in Chinese)
- [2] Chun W Y(陈焕镛). Genus speciesque novae magnoliacearum sinensium [J]. Acta Phytotax Sin(植物分类学报), 1963, 8(4): 281–288. (in Chinese)
- [3] Dandy J E. Magnoliaceae [M]// Hutchinson. The Genera of Flowering Plants I. 1964: 50–57.
- [4] Nootboom H P. Notes on Magnoliaceae [J]. Blumea, 1985, 31: 65–121.

- [5] Nootboom H P. Different looks at the classification of the Magnoliaceae [C]// Liu Y H, Fan H M, Chen Z Y, et al. Proceedings of the International Symposium on the Family Magnoliaceae. Beijing: Science Press, 2000: 26–37.
- [6] Figlar R B, Nootboom H P. Notes on Magnoliaceae IV [J]. Blumea, 2004, 49: 87–100.
- [7] Law Y H(刘玉壶). A preliminary study on the taxonomy of the family Magnoliaceae [J]. Acta Phytotax Sin(植物分类学报), 1984, 22(2): 89–109. (in Chinese)
- [8] Xia N H, Liu Y H, Nootboom H P. Magnoliaceae [M]// Wu Z Y, Raven P H. Flora of China. Vol. 7. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden, 2009: 48–91.
- [9] Zeng Q W(曾庆文), Gao Z Z(高泽正), Xing F W(邢福武), et al. Pollination biology of an endangered species: *Tsoongiodendron odoratum* (Magnoliaceae) [C]// Biodiversity Committee, the Chinese Academy of Sciences (中国科学院生物多样性委员会), Department of Ecological and Natural Conservation, State Environment Protection Administration(国家环境保护总局自然生态保护司), Department of Wildlife and Forest Plants Conservation, State Forestry Administration(国家林业局野生动植物保护司), et al. Proceedings of the Fifth National Symposium on the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity in China. Beijing: China Meteorological Press, 2004: 199–204. (in Chinese)
- [10] Tang Y J(唐源江), Ye X L(叶秀麟), Zeng Q W(曾庆文), et al. Studies on megasporogenesis and development of female gametophyte in *Tsoongiodendron odoratum* [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2003, 11(1): 20–22. (in Chinese)
- [11] Hayashi Y. The comparative embryology of the Magnoliaceae in relation to the systematic of the family [J]. Sci Rep Tôhoku Univ Ser IV (Biol.), 1965, 35: 29–34.
- [12] Hayashi Y. The embryology of the family Magnoliaceae sens. Lat. IV Microsporogenesis and development of the male gametophyte of *Michelia figo* Sprengel [J]. Sci Rep Tôhoku Univ Ser IV (Biol.), 1966, 32: 111–118.
- [13] Hayashi Y. Embryology of *Magnolia salicifolia* Maxim. (Magnoliaceae) [J]. J Jpn Bot, 1984, 59: 298–307.
- [14] Yin Z F(尹增芳), Fan R W(樊汝文). The ultrastructure observation on the abortion of *Liriodendron chinense* pollen [J]. J Plant Resour Environ(植物资源与环境), 1997, 6(2): 1–7. (in Chinese)
- [15] Fan R W(樊汝文), Yin Z F(尹增芳), You L X(尤录祥). The observation of cell phytomorphology of the bud's differentiation in the *Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg. [J]. J Nanjing Agri Univ(南京农业大学学报), 1990, 14(2): 26–33. (in Chinese)
- [16] Pan Y Z(潘跃芝), Gong X(龚洵), Liang H X(梁汉兴). Studies on the formation of microspores and development of male gametes in *Manglietia insignis* [J]. Acta Bot Yunnan(云南植物研究), 2001, 23(1): 85–90. (in Chinese)
- [17] Pan Y Z(潘跃芝), Gong X(龚洵), Liang H X(梁汉兴). A study on the embryology of endangered plant *Manglietia aromatica* [J]. J Wuhan Bot Res(武汉植物学研究), 2003, 21(1): 1–8. (in Chinese)

- [18] Pan Y Z, Liang H X, Gong X. Studies on the reproductive and endangered mechanism of the endangered plant *Manglietia aromatica* [J]. Acta Bot Sin, 2003, 45(3): 311–316.
- [19] Xiao D X(肖德兴), Yu Z X(余志雄). Anther development in *Sinomanglietia glauca* (Magnoliaceae) [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2004, 12(4): 309–312.(in Chinese)
- [20] Wang L L(王利琳), Hu J Q(胡江琴), Pang J L(庞基良), et al. Studies on the megasporogenesis and microsporogenesis and the development of their female and male gametophyte in *Magnolia biloba* [J]. Acta Biol Exp Sin(实验生物学报), 2005, 38(6): 490–500.(in Chinese)
- [21] Ao C Q(敖成齐). Microsporogenesis, development of male gametophyte in *Michelea figo* and their systematic significance [J]. Guihaia(广西植物), 2007, 27(6): 836–839.(in Chinese)
- [22] Chen D Q(陈东钦). Anther development and microsporogenesis in Magnoliaceae [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2008: 1–68.(in Chinese)
- [23] Zeng X P(曾小平), Zhao P(赵平), Cai X A(蔡锡安), et al. Physioecological characteristics of *Woonyoungia septentrionalis* seedlings under various soil water conditions [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 2004, 23(2): 26–31.(in Chinese)

## 图版说明

AC: 孢原细胞 Archeporsial cell; BT: 双核绒毡层 Binucleate tapetal cell; DP: 败育的花粉 Degenerated pollen; EN: 药室内壁 Endothecium; ML: 中层 Middle layer; MMC: 小孢子母细胞 Microspore mother cell; MP: 成熟花粉 Mature pollen; PP: 初生壁细胞 Primary parietal cell; PS: 初生造孢细胞 Primary sporogenous cell; SP: 次生壁细胞 Secondary parietal cell; SS: 次生造孢细胞 Secondary sporogenous cell; TA: 绒毡层 Tapetum; TE: 四分体 Tetrad.

## 图版 I

1. 示孢原细胞的有丝分裂(2006年8月29日);
2. 示孢原细胞分裂形成初生壁细胞和初生造孢细胞(2006年9月5日);
3. 示初生壁细胞和初生造孢细胞分别分裂形成次生壁细胞和次生造孢细胞(2006年9月23日);
4. 示花药壁细胞的发育(2006年10月10日);
5. 具有5层细胞的花药壁(2006年10月25日);
6. 小孢子母细胞时期的花药壁,箭头示小孢子母细胞和绒毡层细胞(2006年11月18日);
7. 小孢子母细胞减数分裂前的花药壁,箭头示小孢子母细胞和花药壁各层细胞(2006年12月20日);
8. 绒毡层细胞的核分裂(2006年12月20日);
9. 小孢子四分体(2007年1月5日);
10. 小孢子具液泡时期的花药壁,箭头示体积开始增大的药室内壁细胞(2007年1月20日);
11. 成熟小孢子时期的花药壁,箭头示加厚的药室内壁细胞和退化的中层细胞(2007年2月10日);
12. 具4个花粉囊的花药,示成熟的和败育的小孢子(2007年2月13日)。

Bars = 50  $\mu\text{m}$ , 括号内为样品采集时间。

## 图版 II

1. 减数分裂后期 I, 示染色体的分离;
2. 减数分裂末期 I, 示染色体到达两级;
3. 减数分裂前期、中期 II, 示减数分裂的不同步性;
4. 减数分裂后期、末期 II, 示细胞质的缢裂;
5. 减数分裂末期 II, 形成交叉型的四分体;
6. 减数分裂末期 II, 形成对称型的四分体;
7. 交叉型的四分体;
8. “T”型的四分体;
9. 交叉型的四分体;
10. 对称型的四分体;
11. 具均匀细胞质的小孢子, 示细胞核;
12. 具大液泡的肾形小孢子;
13. 单核花粉的核有丝分裂中期, 染色体排列在赤道面上;
14. 单核花粉的核有丝分裂后期, 染色体在细胞的两极;
15. 具双核的花粉粒, 可见营养核和生殖核之间的细胞板;
16. 成熟的二细胞型花粉粒。

Bars = 20  $\mu\text{m}$

## Explanation of plates

### Plate I

1. Mitosis of the archesporial cell (Aug. 29, 2006);
2. Archesporial cell divides periclinally into the primary sporogenous cell and the primary parietal cell (Sep. 5, 2006);
3. Primary sporogenous cell and primary parietal cell divide periclinally into the secondary sporogenous cell and the secondary parietal cell individually (Sep. 23, 2006);
4. Development of the antheral parietal cell (Oct. 10, 2006);
5. Anther wall with 5 layer cells (Oct. 25, 2006);
6. Anther wall at microspore mother cells stage, showing the microspore mother cells and the tapetum (Nov. 18, 2006);
7. Anther wall before the meiosis of the microspore mother cells, showing the microspore mother cells and the antheral parietal cells (Dec. 20, 2006);
8. Mitosis of tapetum nuclear (Dec. 20, 2006);
9. Tetrads of the microspore (Jan. 5, 2007);
10. Anther wall at stage of young microspores with vacuoles, showing the enlarging endothecium cells (Jan. 20, 2007);
11. Anther wall at mature microspores stage, showing the thickened endothecium cells and the degenerated middle layer (Feb. 10, 2007);
12. Four-sporangiate anther, showing the mature and the degenerated pollens (Feb. 13, 2007).

Bars = 50  $\mu\text{m}$ , the time of materials collected was presented in the brackets.

### Plate II

1. Anaphase of Meiosis I, showing the separation of chromosomes;
2. Telophase of Meiosis I, showing the chromosomes at the polars;
3. Prophase and metaphase of Meiosis II, showing the

asynchronous meiosis;

4. Anaphase and telophase of Meiosis II, showing the furrowing of the cytoplasm;

5. Telophase of Meiosis II, showing the forming of decussate tetrad;

6. Telophase of Meiosis II, showing the forming of the isobilateral tetrad;

7. Decussate tetrad;

8. T-shaped tetrad;

9. Decussate tetrad;

10. Isobilateral tetrad;

11. Microspore without vacuole, showing the big nuclear;

12. Kidney-shaped microspore with big vacuole;

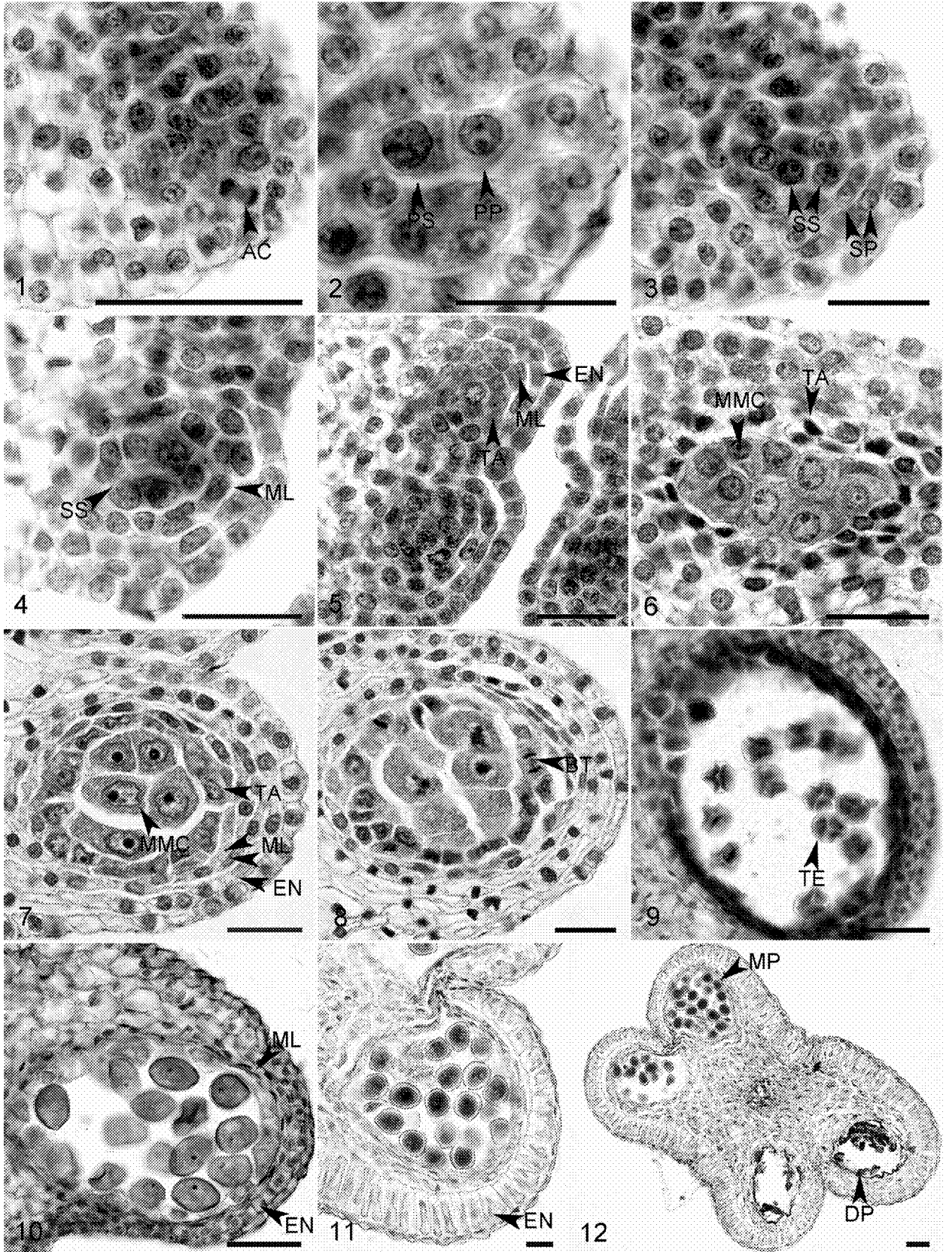
13. Mitosis metaphase of nucleus in single-nucleus pollen grain, showing chromosome at the equator;

14. Mitosis anaphase of nucleus in single-nucleus pollen grain, showing chromosome at the polars;

15. Bicellular pollen grains, showing the cell plate;

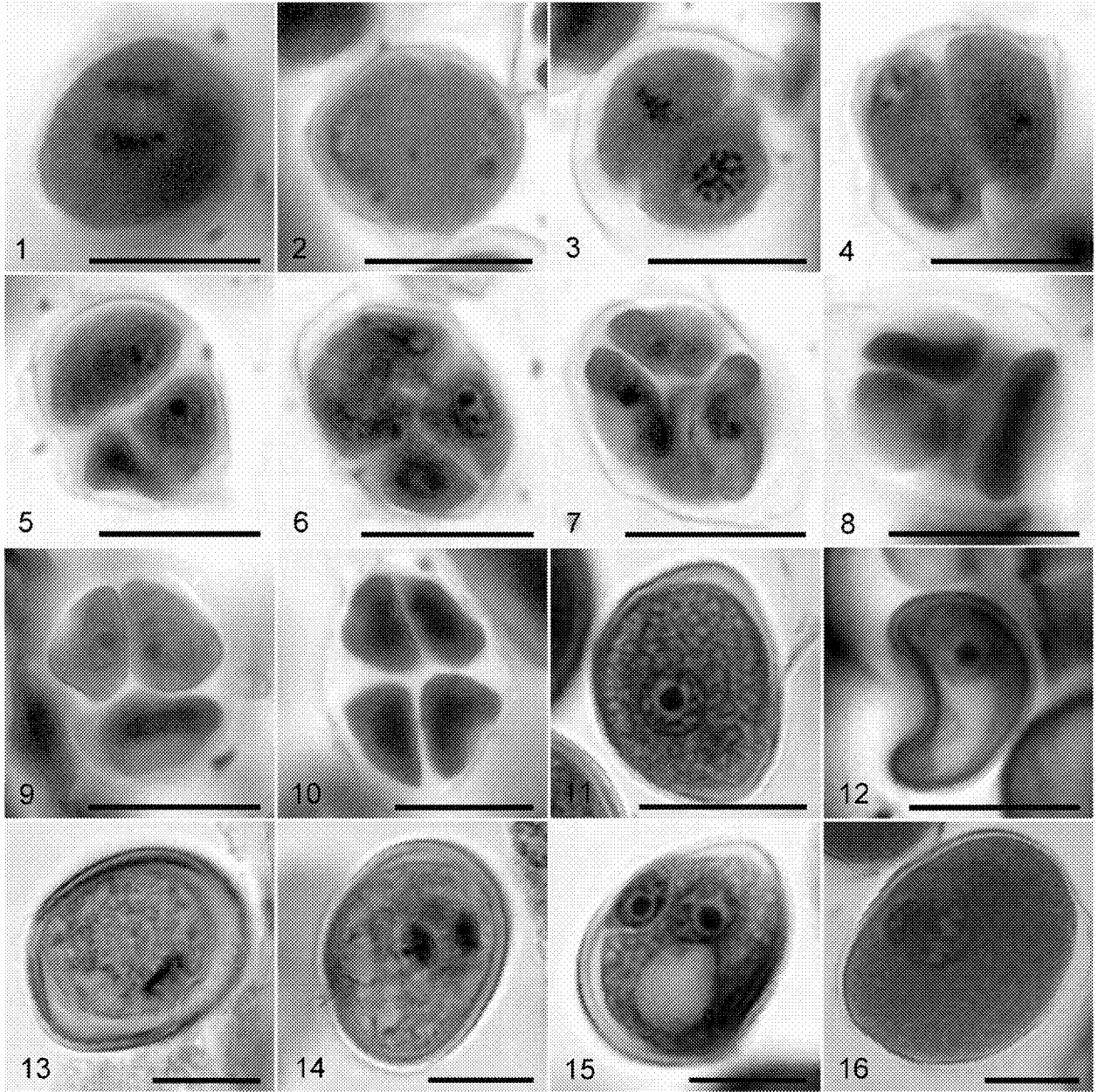
16. Mature 2-celled pollen grain.

Bars = 20  $\mu\text{m}$ .



付琳等: 图版 I





付琳等:图版 II

FU Lin, et al.: Plate II