

广东万年青的细胞遗传学研究

刘金梅^{1,2}, 何子灿¹, 吴鸿³, 张寿洲^{1*}

(1. 深圳市中国科学院仙湖植物园, 深圳 518004; 2. 广东省农业科学研究院花卉研究所, 广州 510460;
3. 华南农业大学生命科学学院, 广州 510640)

摘要: 采用常规压片法和去壁低渗法, 以生长于广西凭祥和广东深圳的广东万年青 (*Aglaonema modestum* Schott ex Engl.) 为材料, 对二者的体细胞染色体、花粉母细胞减数分裂染色体配对行为和花粉发育过程进行了观察。结果表明: (1) 野生植株为二倍体 $2n=40$, 栽培植株为三倍体 $2n=60$; (2) 野生种的小孢子母细胞减数分裂前期 I 终变期均为二价联会, 栽培种偶见三价联会; (3) 中期 I, 野生种为 20 个二价体排列在赤道板上, 未见单价体, 栽培种的 20 个二价体排列于赤道板上, 20 个单价体随机分布于两极, 证实其为三倍体; (4) 后期 I, 野生种二价体分离, 出现单染色单体桥和断片, 几率为 10%, 栽培种几率为 3%, 还存在落后染色体, 部分不能进入两极的落后染色体和染色体断片在末期 I 形成微核; (5) 四分体时期, 野生种未观察到异常孢子, 栽培种出现大量败育的四分体或多分体; (6) 小孢子进入正常的发育分化, 通过两次有丝分裂形成三细胞型花粉。野生种成熟花粉败育率为 2.18%, 栽培种为 88.29%; (7) 野生种正常结实, 栽培种果实中未发现种子, 为高度不育。

关键词: 广东万年青; 花粉母细胞; 减数分裂; 三倍体

中图分类号: Q943

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2010)04-0391-09

Observations on *Aglaonema modestum* Cytogenetic Behavior

LIU Jin-Mei^{1,2}, HE Zi-Can¹, WU Hong³, ZHANG Shou-Zhou^{1*}

(1. Shenzhen Fairy Lake Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518004, China; 2. Floriculture Research Institute of Guangdong Academy of Agriculture Sciences, Guangzhou 510460, China;
3. South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The morphology of somatic cell chromosomes, meiotic pairing behavior in pollen mother cells (PMCs), and pollen development of *Aglaonema modestum* Schott ex Engl. were investigated. The results showed that: (1) the number of somatic cell chromosome for wild individuals was $2n=40$ and cultivated individuals was $2n=60$; (2) at diakinesis I, cultivated individuals presented trivalent synapsis; (3) at metaphase I, 20 bivalents were at the metaphase equatorial plate and 20 univalents were distributed at random, and the cultivated individuals were triploid; (4) at anaphase I, wild individuals possessed chromosome bridges, with a ratio of 10%, cultivated individuals were 3%, with lagging chromosomes, micronuclei, and fragments; (5) at the tetrad stage, the tetrads of wild individuals were normal, while cultivated tetrads and abnormal polyads; (6) pollens were spherical and trinucleate, with 2.18% of wild individual pollens abortive and 88.29% of cultivated individuals abortive; (7) each fruit of wild individuals contained one seed, while no seed was observed in the cultivated individuals.

Key words: *Aglaonema modestum*; PMCs; Meiosis; Triploid

广东万年青属 (*Aglaonema* Schott) 隶属天南星科千年健族 (Trib. Richardieae Schott), 有 23 种, 分布于南亚和东南亚, 从印度东北部至中

国南部、印度尼西亚和新几内亚岛均有分布, 多数种类分布在华莱士线以西^[1]。我国有广东万年青 (*A. modestum* Schott ex Engl.) 和越南万年青

收稿日期: 2009-08-27, 修回日期: 2009-11-28。

基金项目: 深圳市城市管理局基金资助。

作者简介: 刘金梅 (1981-), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物细胞遗传学。

* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: shouzhouz@yahoo.com.cn)。

(*A. tenuipes* Engl.) 两种,前者分布于我国广东、广西和云南东南部(富宁、屏边),在广西各地及其临近地区分布普遍,为常绿阔叶林(海拔 500 ~ 1700 m)下较常见的阴性植物,缅甸、泰国、越南等也有分布;后者仅分布于云南西部、南部和东部海拔 1500 m 沟谷、箐谷密林下常见。两者在肉穗花序与佛焰苞大小之间有区别,前者肉穗花序为佛焰苞长的 2/3,后者肉穗花序与佛焰苞等长或稍长^[2]。

广东万年青又名中国常绿(*The Chinese Evergreens*),该种在中国驯化栽培历史长,时间达数百年,随后才传入欧洲(1885 年)和美洲地区(1930 年)种植^[3,4]。对我国的广东万年青描述可追溯至 1903 年, Brown 通过其接触的 3 份标本,认为该种在中国不是野生的,而是引种栽培的,《岭南采药录》(1932)记载了该种入药的用法和能够治疗的病症^[2]。该种的模式产地为菲律宾马尼拉, Merrille(1923, 1932)认为模式标本实际上采集于澳门,栽培在马尼拉,该种为多年生常见的室内耐荫观叶植物,多以扦插等营养繁殖方式扩大其个体数量,其浆果多不含种子,不能通过有性生殖繁衍。我们根据以往的采集记录和标本馆标本鉴定,业已证实我国广东、广西以及云南东部有广东万年青野生种群分布(另文发表),而今,广东万年青以及利用该属不同种类杂交得到的新品种因耐荫、易管理、繁殖方便而被作为室内观赏和盆栽植物广为栽培。

该属细胞学研究国内外曾有一些报道,但染色体基数有 $x=8$ 和 $x=20$ 的争议。染色体数目有 $2n=16$ 、14、22、40、42、56、60、80、100、120(70、110)的报道,属内不同物种间存在倍性变异($2x$ 、 $3x$ 、 $4x$ 、 $5x$ 、 $6x$),同一种的不同居群也有不同细胞型的报道,如 *A. nitidum*($2x$ 、 $3x$ 、 $4x$)、*A. simplex*($2x$ 、 $3x$)和 *A. treubii*($2x$ 、 $4x$),广东万年青栽培种染色体数目有报道,为 $2n=60$,未见对野生种染色体数目的报道。

国内栽培的广东万年青多能够正常开花并结实,但果实多不育,为探究其不育机理,我们对野生条件下的中国产广东万年青细胞学和栽培的植株进行比较,揭示出二者细胞学特征存在显著差异。研究结果也为探讨该物种的形成提供了更多的细胞学依据。

1 材料和方法

实验材料广东万年青(*Aglaonema modestum* Schott ex Engl.)野生植株取自广西凭祥,活体标本种植在仙湖植物园引种区,栽培植物为深圳仙湖植物园荫生植物区的植株。野生植株(刘金梅 001)和栽培植株(刘金梅 002)的凭证标本,存放于深圳仙湖植物园(SZG)标本馆,凭证玻片存放于深圳仙湖植物园生化实验室。

2009 年 6 月 20 日取广东万年青野生种和栽培种的幼嫩根尖,在 0.1% 的秋水仙碱和 0.002 mol/L 8-羟基喹啉的混合液(1:1)中预处理 3 h,卡诺液固定 1 h,浓盐酸和无水乙醇(1:1)酸解 6 min,卡宝品红染色压片。核型分析按李懋学和陈瑞阳的标准^[6]进行。于 2009 年 2 月 24 日取幼嫩肉穗花序,选取进入减数分裂时期的幼小花药,用冰醋酸:无水乙醇(1:3)固定 2 h 以上。染色体制备采用去壁低渗 Giemsa 染色方法^[6]。小孢子发育和花粉育性鉴定采用醋酸洋红压片法。Zeiss 显微镜镜检,拍照。

2 结果和分析

2.1 体细胞染色体数目及核型

本试验观察到的广东万年青野生种的体细胞染色体数目 $2n=40$ (图版 I:1),为首次报道。栽培种 $2n=60$ (图版 II:13),表明野生种为二倍体,栽培种为三倍体,野生种体细胞染色体核型为 $2n=2x=22m+18sm$ (图版 I:2),染色体长度的变化范围在 2.99 ~ 10.23 μm ,臂比值变化在 1.04 ~ 3.07,其相应的染色体参数见表 1;栽培种中期染色体长度的变化范围为 3.42 ~ 13.84 μm 。

2.2 花粉母细胞减数分裂过程

2.2.1 减数分裂前期 I 形态

广东万年青野生种和栽培种花粉母细胞减数分裂偶线期均观察到尚未配对的细线状的染色体与配对染色体相互缠绕(图版 I:3;图版 II:15);双线期染色体凝缩得更短(图版 I:4;图版 II:17);终变期染色体缩至最短,野生个体均为二价体(图版 I:5),栽培种构型复杂,有三价体、二价体和单价体(图版 II:18)。

2.2.2 减数分裂中期 I 的构型

野生种均为 20 个二价体(图版 I:6)。栽培种

表 1 广东万年青野生种的染色体参数
Table 1 Karyotypic parameters of wild individuals of *Aglaonema modestum* Schott ex Engl.

分组 No.	相对长度(%) Relative length	臂比 Arm ratio	类型 Type
1	3.79 +3.95 =7.74	1.04	m
2	3.00 +3.93 =6.93	1.31	m
3	2.94 +3.49 =6.43	1.19	m
4	2.61 +3.69 =6.30	1.41	m
5	2.54 +3.36 =5.90	1.32	m
6	1.81 +3.90 =5.71	2.16	sm
7	1.70 +3.72 =5.41	2.19	sm
8	1.97 +3.30 =5.27	1.68	m
9	1.53 +3.51 =5.04	2.30	sm
10	2.22 +2.75 =4.97	1.23	m
11	1.83 +3.07 =4.90	1.68	m
12	1.37 +3.52 =4.89	2.57	sm
13	2.13 +2.65 =4.78	1.24	m
14	1.68 +3.03 =4.71	1.81	sm
15	1.08 +3.32 =4.40	3.07	sm
16	1.18 +2.72 =3.90	2.31	sm
17	1.38 +2.52 =3.90	1.83	sm
18	1.47 +2.04 =3.51	1.39	m
19	1.14 +1.88 =3.02	1.64	m
20	0.73 +1.54 =2.26	2.11	sm

20 个二价体排列于赤道板上,20 个未配对的单价体随机分布于两极(图版 II : 19;图版 III : 25),染色体联会为 20 个二价体和 20 个单价体(图版 II : 20),与 Srivastava 的报道^[7]一致。表明栽培种有 3 个染色体组,2 个染色体组的染色体发生联会形成了二价体,剩下一个染色体组的染色体未发生联会而形成单价体。

2.2.3 减数分裂后期 I

野生种同源染色体分离,存在染色体桥(图版 I : 7),几率为 10%。栽培种染色体桥(图版 II : 21)几率为 3%,且为单染色单体桥,并观察到断片(图版 II : 22)。桥和断片是由于非姊妹染色单体间发生了臂内倒位,在倒位环内发生一次交换形成 1 个有 2 个着丝粒的染色单体和 1 个没有着丝粒的断片,双着丝粒的染色体单体在分离过程中出现了桥。且桥被拉断后,由于断裂位置不一,往往带来片断缺失而导致部分配子的死亡。单价体的不对等分离造成分至两极的染色体数目不均等,同时部分单价体成为迟滞染色体(图版 II : 21),染色体断片和

部分迟滞染色体在末期 I 往往形成微核(图版 II : 22)。

2.2.4 减数分裂中期 II

野生种染色体桥仍存在(图版 I : 8),栽培种多数染色体排列于两个平行的赤道面上,仍有部分染色体散布于赤道面的两侧或远离赤道面成为落后染色体(图版 III : 26、27),晚中期 II 观察到大量未分离与已分离的染色体并存,表明染色体分离不同步,并观察到断片(图版 II : 23)。

2.2.5 四分体时期

野生种和栽培种的小孢子在四分体里均呈左右对称排列(图版 I : 8;图版 III : 30),栽培种由于后期 I 和后期 II 染色体不对等分离,即多数染色体进入一极,而另一极染色体较少,引起染色体分裂不均匀,最终使得该时期形成变化多样的多分孢子(图版 III : 28),且普遍存在微核,这些微核大小不同、数目不等,为中期 I 和中期 II 滞留在细胞质中的落后染色体,随二分体和四分体的形成而游离于子细胞核外形成。这一时期观察到大量皱缩的四分体或多分体(图版 III : 29)。

2.3 花粉发育

野生种的单核小孢子经过两次有丝分裂发育为三细胞型成熟花粉,统计了 1284 个花粉,败育率为 2.18%。栽培种刚释放出来的小孢子包括较大的单核小孢子和较小的单核小孢子(图版 III : 31),小孢子大小不一是由于单个子细胞的染色体数目不同和细胞质不均等分裂引起的。小的单核小孢子最终均败育(图版 III : 32);大的单核小孢子进入正常的发育分化,早期细胞壁较薄,呈不规则形状,细胞核居中(图版 III : 33),后期小孢子细胞质液泡化,形成一个大液泡,将细胞核从中央移至一侧(图版 III : 34),小孢子核进行有丝分裂(图版 III : 35、36),形成 2 个细胞,较大的为营养细胞,呈透镜状的为生殖细胞(图版 III : 37),随后生殖细胞逐渐与细胞壁脱离,游离至营养核附近,随后生殖细胞分裂(图版 III : 38),形成两个精细胞(图版 III : 39),成熟花粉(图版 III : 40)大小均匀,呈球形,为三细胞型花粉。根据醋酸洋红着色反应,观察了 504 个成熟花粉,败育率为 88.29%。

2.4 果实发育

野生植株浆果正常结实,果实中有 1 粒种子,野外居群观察发现广东万年青果实形状和大小不同

植株间有差异;栽培植株开花后心皮可增大至1~2 cm,并由绿色转为橙黄色,但大多无种子,表现为高度不育。

3 讨论

3.1 广东万年青属的染色体基数

广东万年青属 (*Aglaonema*) 分类地位一直存在争议,依不同的分类处理被置于不同的位置,但该属一直和其近缘属 *Aglaodorum* 在不同的分类系统中均归并在一起。如:Schott^[10]将该属与其近缘属 *Aglaodorum* 作为一个亚族 Sbutr. Anaporinae 置于喜林芋族 Tribus Philodendreae; Engler^[11] 建立广东万年青亚科 Subfam. Aglaonemoideae, 科内分广东万年青族 Trib. Aglaonemeae 和 Trib. Dieffenbachieae; Engler^[12] 又将以上两族置于喜林芋亚科 Subfam. Philodendroideae; Grayum^[13] 却将其置于 Subfam. Calloideae; Bogner 和 Nicolson^[14] 沿用 Engler^[12] 的观点,将该属及其近缘属置于喜林芋亚科; Mayo 等^[15] 却将广东万年青属与其近缘属作为 Subfam. Aroideae 中的一个族。以上的不同处理说明天南星科系统研究还需进一步深化,但广东万年青与其近缘的 *Aglaodorum* 尽管不同系统放在不同的位置,但两者在所有的系统中均在一起。在形态与系统发育关系上具有明显的不同于其它类群的共同特征。

Aglaodorum 为分布于印度尼西亚苏门答腊、马来西亚和越南的单种属,其体细胞染色体数目为 $2n=40$ 。广东万年青属的染色体基数也一直存在争议^[9],目前已有染色体数目报道的种类计有16种,多数种类以 $2n=40$ 为主,一些种类不同的报道中显示有倍性的差异,如二倍体、三倍体、六倍体等(见表2)。早期的报道中也有一些相互矛盾的报道,如 *A. pictum* Kunth ($2n=16, 2n=42$), *A. simplex* Blume ($2n=42$), 并由此推测该属的染色体基数为 $x=8$, 对 *A. pseudobracteatum* ($2n=64$) 以及 *A. commutatum* Schott ($2n=80$) 的报道也提出该属的染色体基数 $x=8$, Nicolson (1969) 认为早期的染色体基数报道如 $2n=16$ 没有得到后续研究的证实,而报道中的如 $2n=42, 56, 62$ 等多数为栽培植株,其染色体数目在系统分类研究中不应采用。我国野生广东万年青植物还没有染色体报道。

表2 广东万年青属体细胞染色体数目及倍性
Table 2 Chromosome number and polyploidy variation of *Aglaonema*

<i>Aglaonema</i>	染色体数 Chromosome number	倍性 Polyploidy
<i>A. brevispathum</i> Engl. f. <i>hospitum</i> Nicolson	40	2x
<i>A. commutatum</i> Schott	14, 118 ~ 120, 120	6x
<i>A. commutatum</i> Schott var. <i>maculatum</i> Nicolson	100	5x
<i>A. costatum</i> N. E. Br	40	2x
<i>A. costatum</i> N. E. Br var. <i>foxii</i> Engl.	40	2x
<i>A. crispum</i> Nicolson	60	3x
<i>A. haenkii</i> Schott	60	3x
<i>A. marantifolium</i> Bl.	56	3x
<i>A. marantifolium</i> Bl. var. <i>curtisii</i>	40	2x
<i>A. modestum</i> Schott ex Engl.	60 (54, 56, 58, 60, 62)	3x
<i>A. nitidum</i> Kunth	40, 60, 80	2x, 3x, 4x
<i>A. nitidum</i> Kunth var. <i>nitidum</i> f. <i>curtisii</i> Nicolson	40	2x
<i>A. pictum</i> Kunth	40	2x
<i>A. siamense</i> Engl.	40	2x
<i>A. simplex</i> Bl.	40, 60, 110	2x, 3x
<i>A. treubii</i> Egl.	60, 70, 80	2x, 4x

注:数据来自 Index to plant chromosome numbers, 且研究材料大部分为栽培,可能与自然条件下的植株存在差异。

Note: Data cited in index to plant chromosome numbers, and the majority of material are cultivated and probably different from wild material.

Chum^[16] 对广东万年青的染色体数目进行了报道 ($2n=54, 56, 58, 60, 62$), 染色体数目不定。Srivastava^[7] 对广东万年青栽培植株减数分裂进行了观察,发现花粉母细胞中期 I 染色体联会为 $20 \text{ II} + 20 \text{ I}$, 认为栽培种广东万年青为异源三倍体, $x=20$ 。本实验栽培种研究结果与其基本一致。我们通过对野生植株染色体数目和减数分裂前期 I 至中期 I 同源染色体联会情况的观察,发现 $2n=40$, 仅有二价联会, 中期 I 染色体构型为 20 个二价体, 其结果支持 Srivastava $x=20$ 的观点。结合 Pfitzer^[17] 对 *A. simplex* ($2n=60$) 减数分裂进行的观察,发现中期 I 20 个二价体排列于赤道板上, 20 个单价体随机分布于两极, 其花粉均败育, 不结实; 基于 *A. simplex* 和广东万年青栽培种的减数分裂染色体构型观察以及已经报道的种类, 结合对广

东万年青野生个体染色体核型研究以及近缘类群的染色体数目报道,我们认为该属的染色体基数应该为 $x=20$ 。

3.2 三倍体广东万年青的起源及其进化意义

三倍体广东万年青目前报道仅存在于栽培的材料中,其形成是在驯化之前还是驯化之后尚未有定论,是否所有的栽培广东万年青均为三倍体仍需进一步的调查。依据三倍体减数分裂中期的染色体构型,二价体排列在赤道板上,而单价体随机分布在赤道板两极的特点,可以排除其由同源四倍体与二倍体原种杂交而来,且在自然界中同源四倍体非常少见,目前也未有四倍体的广东万年青的报道;另一种可能即是二倍体的广东万年青野外居群遗传背景已经有明显的分化,两种不同类型的个体杂交,其中一方未减数的配子与另一方减数的配子结合形成的合子发育成不育的三倍体类型。广东万年青佛焰花序中,雌雄花位于不同位置,且两者花期不遇,雌花先熟,待雌花接受完异株(或同株不同花序间)花粉后,雄蕊才成熟并散粉。故此这种已有分化的广东万年青二倍体居群间彼此由于一方(多为雌性)未减数的配子接受减数的配子形成合子发育而成三倍体的植株的可能性较多。还有一种可能即是已有分化的两种二倍体广东万年青杂交产生的后代染色体加倍形成异源四倍体,异源四倍体再与其中一个亲本杂交形成不育的三倍体。三倍体广东万年青减数分裂中期染色体的构型中存在部分三价体,表明其祖先类群染色体基因组既有分化,也有部分同源。

Thompson 和 Lumaret 认为^[18],自然界绝大多数多倍体是通过未减数($2n$)配子的融合而产生的,通过营养器官来繁殖的多年生植物通常具有较高的未减数配子的发生频率,Ramsey 认为^[19],这可能是由于营养繁殖方式的存在,使得对有性生殖的选择压力有所缓解,从而为 $2n$ 配子或其他无功能配子的产生提供了一个宽松的环境,促使 $2n$ 配子的产生,并因此促使多倍体的形成^[20],毛白杨自然三倍体以及短亭飞蓬三倍体野生植株的发现也支持这一观点^[21,22]。

由于三倍体在减数分裂后期 I、II 染色体发生了不等极分离,产生了遗传物质不均衡的配子,从而造成花粉的高度不育,三倍体后代的染色体组成存在明显变异,可形成 n 、 $2n$ 、 $3n$ 或非整倍体配子,从而产生不同倍性或非整倍体种子;三倍体

也可发生多倍化,形成六倍体,如同源六倍体 *A. commutatum* ($2n=6x=120$),小孢子在减数分裂过程中全部败育,而果实却是饱满的,证实其以单性生殖繁衍后代。因此,三倍体在物种多倍化和非整倍性变异过程中起着中介桥梁的作用。

参考文献:

- [1] Govaerts R, Frodin D G. World Checklist and Bibliography of Araceae (and Acoraceae) [M]. Kew: Royal Botanic Gardens, 2002.
- [2] 李恒. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1979, 13(2): 43-44.
- [3] Brown N E. *Aglaonema acutispathum* [J]. *Gardener's Chronicle*, 1885, 24: 39.
- [4] Smith C N, Scarborough E F. Status and development of foliage plant industries [M] // Joiner J ed. *Foliage Plant Production*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981: 1-39.
- [5] 李懋学, 陈瑞阳. 关于植物核型分析的标准化问题 [J]. *武汉植物学研究*, 1985, 3(4): 297-302.
- [6] 朱熹. 植物染色体及染色体技术 [M]. 北京: 科学出版社, 1982: 99-114.
- [7] Srivastava S. Meiosis in allotriploid *Aglaonema modestum* Schott [J]. *Sci Cult*, 1982, 48(10): 67-368.
- [8] 李懋学, 张敦方. 三倍体牡丹的细胞遗传学观察 [J]. *遗传*, 1982, 4(5): 19-21.
- [9] Nicolson D H. A revision of the genus *Aglaonema* (Araceae) [M]. Washington: Smithsonian Institution Press, 1969: 6-8.
- [10] Schott H W. *Prodromus Systematics Aroidearum* [M]. Vienna: Mechitharisticae Press, 1860: 1-602.
- [11] Engler A. Vergleichende untersuchungen über die morphologischen verhältnisse der Araceae. I. Natürliches system der Araceae [J]. *Nova Acta Acad Caes Leop-Carol German Nat Cur*, 1876, 39: 133-155.
- [12] Engler A. Araceae-Pars generalis et index familiae generalis [M] // Engler A, ed. *Das Pflanzenreich*. Berlin: W Engelmann, 1920, 74(IV, 23A): 1-71.
- [13] Grayum M H. Evolution and phylogeny of the Araceae [J]. *Annals Missouri Botanical Garden*, 1990, 77: 628-677.
- [14] Bogner J, Nicolson D H. A revised classification of Araceae with dichotomous keys [J]. *Willdenowia*,

- 1991, 21: 35–50.
- [15] Mayo S J, Bogner J, Boyce P C. The Genera Araceae[M]. UK: Royal Botanic Gardens Kew, 1997.
- [16] Chum S. La variation intra-individuelle du nombre chromosomique dans la famille des Aracees[J]. *Bull Soc Bot France*, 1985, 132(2): 73–79.
- [17] Pfitzer P. Chromosomenzahlen von Araceae[J]. *Chromosoma*, 1957, 8: 436–446.
- [18] Thompson J D, Lumarel R. The evolutionary dynamics of polyploid plants: Origins, establishment and persistence[J]. *Trend Ecol Evol*, 1992, 7(9): 302–307.
- [19] Ramsey J, Schemske D W. Pathway, mechanisms and rates of polyploid formation in flowering plants[J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 1998, 29: 467–501.
- [20] 杨继. 植物多倍化基因组的形成与进化[J]. 植物分类学报, 2001, 39(4): 357–371.
- [21] 李鹏, 党承林, 黄瑞复. 三倍体短亭飞蓬的发现及其在育种上的意义[J]. 云南植物研究, 2007, 29(1): 38–42.
- [22] 朱之悌, 康向阳, 张志毅. 毛白杨天然三倍体选种研究[J]. 林业科学, 1998, 34(4): 22–31.

图版说明

图版 I (1~12): 野生广东万年青体细胞染色体和花粉母细胞减数分裂各时期。1. 体细胞染色体 $2n=40$; 2. 体细胞染色体核型; 3. 减数分裂前期 I 晚偶线期; 4. 早双线期; 5. 终变期; 6. 中期 I, 示 20 II; 7. 后期 I, 存在桥(箭头所指); 8. 前期 II, 桥仍存在(箭头所指); 9. 前期 II; 10. 中期 II; 11. 中期 II (1 个子细胞); 12. 四分体时期

图版 II (13~24): 栽培广东万年青体细胞染色体和花粉母细胞减数分裂各时期。13. 体细胞染色体 $2n=60$; 14. 减数分裂间期 I; 15. 前期 I 晚偶线期; 16. 粗线期; 17. 双线期; 18. 终变期, 箭头所指为三价体; 19. 中期 I, 示二价体排列于赤道板上, 单价体随机分布于两极; 20. 中期 I, 20 I + 20 II, 细箭头所指为环状二价体, 粗箭头所指为单价体; 21. 后期 I, 细箭头所指为落后染色体, 粗箭头所指为染色体桥; 22. 后期 I, 粗箭头所指为微核, 细箭头所指为断片; 23. 晚中期 II, 示一个子细胞的染色体分离不同步, 黑色粗箭头所指为未分离染色体, 白色箭头所指为已分离的染色体, 黑色细箭头所指为断片; 24. 末期 II

图版 III (25~40): 栽培广东万年青花粉母细胞减数分裂各时期和花粉发育。25. 中期 I, 示排列于赤道板的二价体和随机分布于两极的单价体; 26, 27. 中期 II; 28. 四分体时期, 示多分体; 29. 四分体时期, 示大量败育的四分体或多分体; 30. 四分体时期, 示正常的四分体; 31. 单核靠边时期, 示大的单核小孢子和多个小的单核小孢子; 32. 败育花粉, 示质壁分离和空花粉; 33. 早期小孢子; 34. 具一个大液泡的后期小孢子; 35. 小孢子核分裂前期; 36. 小孢子核分裂后期; 37. 二细胞花粉, 示生殖细胞和营养细胞; 38. 生殖细胞分裂; 39. 分裂完成, 形成两个精细胞; 40. 成熟花粉, 具 1 个营养核和 2 个精子

Explanation of Plates

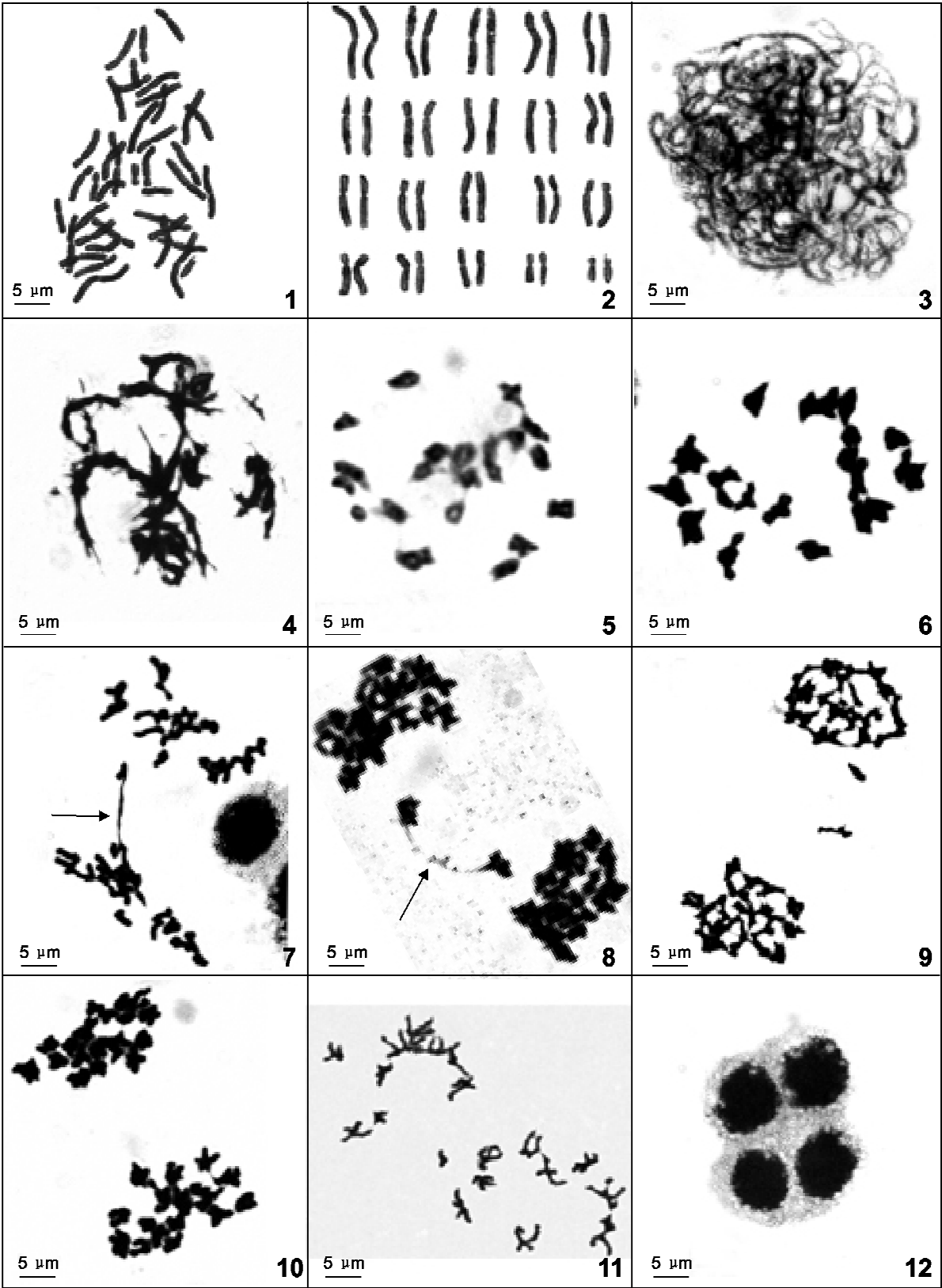
Plate I (1–12): Chromosome configuration of wild individuals of *Aglaonema modestum* Schott ex Engl. in mitosis and meiosis. 1. Somatic cell chromosome, $2n=2x=40$; 2. Karyotype diagram of somatic cell chromosome; 3. Late zygotene; 4. Early diplotene; 5. Diakinesis; 6. Metaphase I, showing 20 bivalents; 7. Anaphase I, arrow shows a bridge; 8. Prophase II, arrow shows the bridge; 9. Prophase II; 10. Metaphase II; 11. Metaphase II; 12. Tetrad stage

Plate II (13–24): Chromosomes configuration of cultivated *Aglaonema modestum* in mitosis and meiosis. 13. Somatic Chromosome cell; $2n=3x=60$; 14. Interphase I; 15. Late Zygotene; 16. Pachytene; 17. Diplotene; 18. Diakinesis, arrows show trivalents; 19. Metaphase I, showing bivalents at the metaphase equatorial plate and univalents being distributed at random; 20. Metaphase I showing 20 univalents (thick arrow) and 20 bivalents (thin arrow); 21. Anaphase I, thick arrow shows a bridge, thin arrow shows lagging chromosomes; 22. Anaphase I, thick arrow shows micronuclei, thin arrow shows fragment; 23. At late metaphase II, (daughter cell), thick arrow shows chromosome, white arrow shows separation of daughter chromosomes, thin arrow shows chromosome fragment; 24. Telophase II

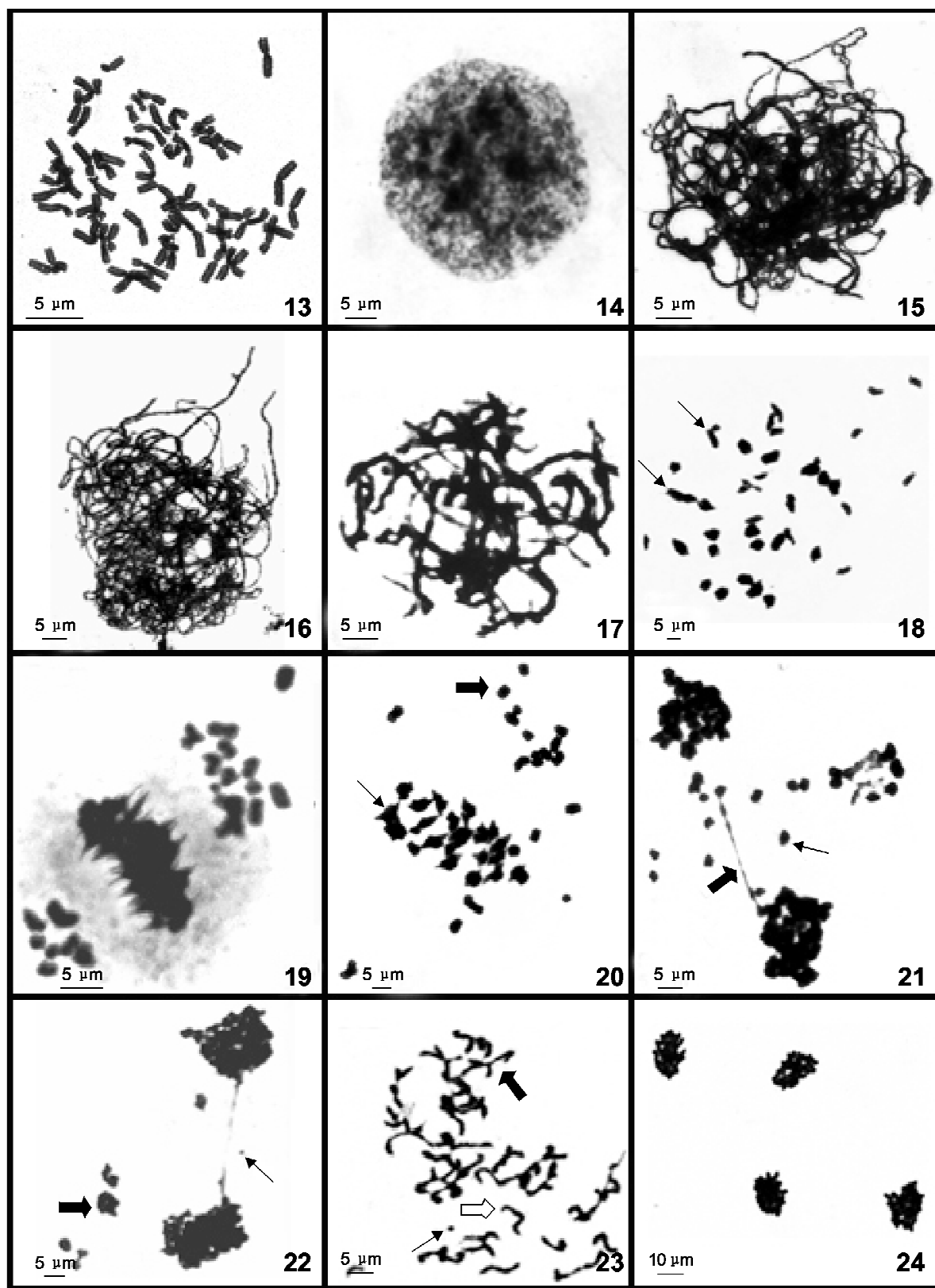
Plate III (25–40): Meiosis of PMCs and pollen development of cultivated *A. modestum*. 25. Metaphase I, showing 20 bivalents at the metaphase equatorial plate and 20 univalents randomly distributed; 26, 27. Metaphase II; 28. Tetrad stage, showing polyad; 29. Tetrad stage, showing abortive tetrads and polyads; 30. Tetrad stage, showing tetrad; 31. Showing two types of uninuclear microspore; 32. Abortive pollen, showing plasmolysis pollen and empty pollen; 33. Early microspore; 34. Late microspore with a central vacuole; 35. Mitosis of uninuclear microspore, showing prophase; 36. Anaphase; 37. Two-celled pollen with a vegetative cell and a generative cell; 38. Mitosis of generative cell; 39. Two sperm cells formed; 40. Pollen with two sperms and vegetative nucleus

刘金梅等：图版 I

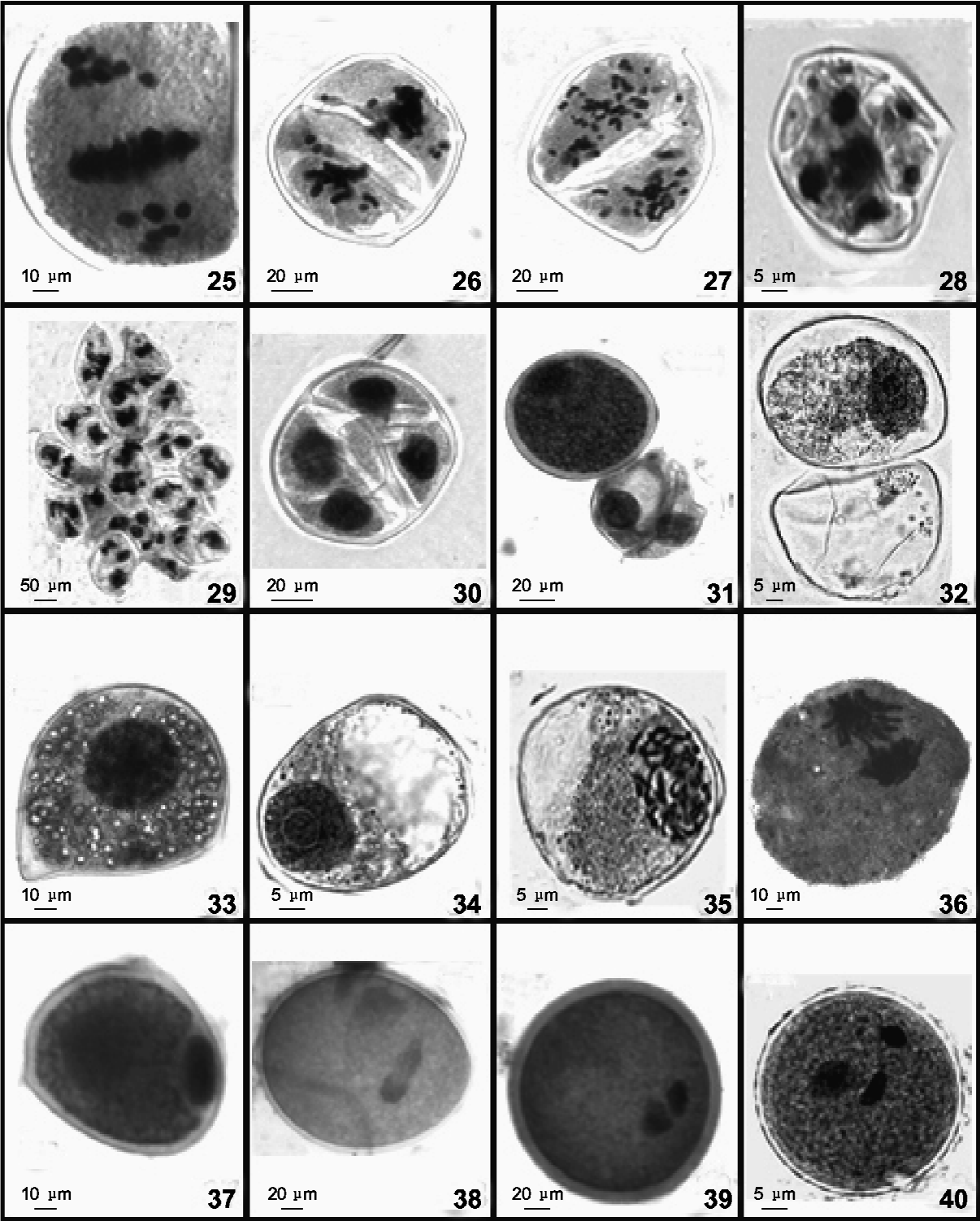
LIU Jin-Mei *et al.*: Plate I



See explanation at the end of text



See explanation at the end of text



See explanation at the end of text

(责任编辑：张 平)