

植物胞质分裂发生机制

叶纨芝 曹家树* 金维正¹(浙江大学蔬菜研究所, 杭州 310029; ¹浙江大学生命科学学院, 杭州 310029)

摘要 胞质分裂(cytokinesis)是指在同一细胞中在新形成的两个子核之间形成新的间隔, 将母细胞一分为二的过程。胞质分裂存在于任何一种生命形式中, 从单细胞的细菌到多细胞的真核生物都能进行胞质分裂。近些年由于细胞学方法的改进和研究材料增多等因素, 使得对植物胞质分裂发生机制的研究取得了很大的进展。现对植物中不同类型的胞质分裂在细胞学、分子生物学方面的研究进展作一综述。

关键词 植物; 胞质分裂; 发生机制

胞质分裂(cytokinesis)是指在两个新的子核之间形成新的间隔, 把一个母细胞(mother cell)分隔成两个子细胞(daughter cell)的过程。地球上每一个细胞都是由细胞分裂形成的, 所以胞质分裂存在于任何一种生命形式中, 从单细胞的细菌到多细胞的真核生物都能进行胞质分裂, 但它们发生的机制却不尽相同。动物细胞的胞质分裂, 是以缢缩和起沟的方式进行的, 以“收缩”环为胞质分裂细胞器, 将细胞挤成两个^[1,2], 而植物以“成膜体”(phragmoplast)为胞质分裂细胞器, 依靠成膜体指导细胞板的形成, 而后细胞板不断扩展, 形成完整的细胞壁, 将母细胞一分为二。

近些年来, 随着细胞学方法的改进以及研究技术的出现, 使得植物胞质分裂发生机制的研究取得了很大的突破, 特别是在细胞骨架研究方面。例如应用改进的电子显微镜技术以及抑制剂和荧光染料相结合的技术使研究胞质分裂过程的动力学变化过程成为了可能; 高压冷冻固定技术使观察结果更接近于活细胞; 通过激光共聚焦扫描荧光显微镜可观察到胞质分裂过程中植物的微管、微丝等细胞骨架多聚体; 还有免疫荧光定位技术等促进了植物胞质分裂的深入研究。另一方面, 随着植物功能基因组研究的兴起, 在拟南芥中发现的许多与胞质分裂相关的突变体, 对这些突变体的研究也使得人们对植物胞质分裂的分子机制有了初步的认识和了解。

本文主要针对这些年植物胞质分裂在细胞和分子水平等方面的研究进展作一综述, 并对一些特殊的胞质分裂形式如小孢子母细胞中的减数分裂和雌

配子体形成过程中胞质分裂的研究进展也作了论述, 对目前在胞质分裂中还不清楚的问题予以了讨论与展望。

1 植物胞质分裂在细胞学水平的研究

植物胞质分裂发生在新形成的细胞之间新的细胞壁形成之时, 而这一过程是依靠细胞骨架结构来实现的。细胞骨架是由丝状蛋白多聚体构成的、遍布于整个细胞质的网络结构, 主要调节真核细胞内的空间组织和细胞或细胞内含物的定向运动。它包括了3个主要的蛋白质家族, 即中间纤维、肌动蛋白和微管蛋白。这3种蛋白质主要构成了细胞骨架, 另外还有一些与细胞骨架相结合的结合蛋白, 用来连接、移动和修改细胞骨架。这些结合蛋白中第一类就是俗称的“马达蛋白”, 是以ATP为其能量来源的超家族, 包括肌球蛋白、动力蛋白和驱动蛋白; 另一类是被称为“交联”或“捆扎”的蛋白质, 在同种细胞骨架多聚体之间形成连接。以上所述的蛋白质都参与了植物胞质分裂, 完成了把一个母细胞一分为二的过程。

1.1 成膜粒(phragmosome)和早前期带(preprophase band)确保胞质分裂的定位

植物胞质分裂中因为新形成的壁是持久的, 所以有几种机制帮助细胞壁建立在正确的位置上。

成膜粒是胞质中的一薄层, 呈网状, 在未来

收稿日期: 2004-09-27 接受日期: 2005-01-05

国家自然科学基金(No. 30370975)和浙江省重大科技项目(No. 021102536)资助

*通讯作者。Tel/Fax: 0571-86971188, E-mail: jshcao@zju.edu.cn

的细胞壁的平面上形成。这个结构在细胞周期的早期形成,作为分裂的第一个可见信号,核移向将要发生有丝分裂的位置,随后成膜粒结合围绕在它周围。成膜粒含有肌动蛋白纤维和微管,这两种细胞骨架都参与了核的移动与成膜粒的形成^[3]。成膜粒具体功能目前还不清楚,它可能参与了未来分裂的平面的固定,或为膨胀的胞质分裂的元件建立一条通过液泡的胞质途径。

参与定位细胞板的另外一种细胞骨架结构是早前期带,通常形成于有丝分裂前期。早前期带是含有一条肌动蛋白和微管构成的环,位于未来细胞壁结合母细胞壁的位置,在质膜之内环绕细胞。早前期带从最初的较宽、组织松散变成后期的窄、组织紧密^[4]。早前期带预示了细胞板与母细胞结合的位置,但它的功能还不清楚,有人认为早前期带更改了母细胞壁的结构,使后来的细胞壁可以插入,也有人认为早前期带协助指导胞质分裂的各个组分进行正确的定位。

1.2 成膜体是植物细胞中进行胞质分裂的细胞器

成膜体含有肌动蛋白、肌球蛋白及微管,方向垂直于正在形成的细胞壁。成膜体开始形成时,在纺锤体中部的残余微管和从两极发出的大量新聚合的微管和肌动蛋白纤维结合,微管在纺锤体赤道上重叠的环带确定了成膜体的中部平面。成膜体在重新形成的核之间的细胞中心形成,然后向细胞边缘离心生长。在它生长时,新的细胞骨架多聚体补充到边缘,内部的细胞骨架脱落,很快就能形成环状结构。成膜体中的微管是呈高度动态的,半寿期(half life)大约是1 min,这种动态可能有利于成膜体的生长^[3]。

1.3 细胞板的形成

在植物胞质分裂中,成膜体协调形成细胞板所需的强烈分泌活性,并指导生长的细胞板到达母细胞壁。

Samuels等^[5]利用高压冷冻固定技术研究烟草根尖及悬浮细胞中的胞质分裂时发现了成膜体的形成及细胞板形成与小泡之间的联系。小泡最初在成膜体的中心聚集,融合形成了“管泡网络”(tubulovesicular membrane network, TVN), TVN是由管状延伸的小泡聚合而成的。这些小管很长,细而弯曲,并由富含蛋白质的“绒毛”基质包围。这个膜状网络首先在成膜体形成的细胞中心,然后移至外围。而后,小泡的继续运输和多糖的合成拓宽了

小管,形成交织的膜层,即管状网络(tubular network)。这时,微管和绒毛基质都消失了,这个网络逐渐失去了网状形式,经过一个称为有孔板的阶段和细胞壁物质的不断扩充,最终形成新的细胞壁。小泡是由高尔基体分泌的,小泡把蛋白质和多糖运输到初生的细胞壁,并把质膜递送到生长的细胞板。然后,小泡由细胞板回到高尔基体,扔掉多余的膜,并再生细胞壁组分。建立细胞板要求强大的分泌活性,细胞骨架在指挥分泌物的运输上可能起着重要的作用,但现在对其中的机制知道得很少。

目前人们对成膜体中的细胞骨架各个组分具体功能还不是很了解,并且对成膜体指导、协调构建细胞板的机制也不清楚,这些都有待于细致、深入的后续研究。

2 植物胞质分裂在分子生物学水平的研究

近些年来,基于对一些胞质分裂突变体的研究,分离、鉴定和克隆了一批与胞质分裂相关的基因,使人们对植物胞质分裂的分子机制也有了初步的认识。

目前分离得到的这些基因一般可以分为三类:一类是与细胞板的膜融合相关的基因,如 *KNOLLE*^[6]和 *KEULE*^[7,8]基因, *KNOLLE* (*KN*)编码的蛋白质与哺乳动物中的突触融合蛋白具有很高的同源性。在动物细胞的胞质分裂中,突触融合蛋白是进行胞外分泌的小泡与小泡相互融合时所必需的。*KEULE*编码的蛋白质与酵母中 *Sec 1p* 具有很高的同源性, *Sec 1p* 在酵母细胞的胞质分裂中主要担负着调节突触融合蛋白的功能。这些研究结果说明了在植物的胞质分裂过程中其细胞板的膜融合方式可能与动物、酵母中的相类似;第二类是与原初细胞壁合成有关的基因,如 *KORRIGAN* (*KOR*)^[9,10]和 *CYT1* 基因^[11],它们分别编码内源-1,4- β -葡聚糖酶和甘露糖-磷酸盐-脒基转移酶;第三类是编码驱动蛋白的基因,如 *HINKEL* 基因^[12],这类驱动蛋白能与微管相结合,主要参与小泡的运输和有丝分裂纺锤体的形成,起着调节细胞板和成膜体扩展的作用。Nacry等^[13]对在拟南芥中获得的与胞质分裂相关的基因作了总结(表1)。

目前由于技术和材料等多种因素的限制,还有许多与胞质分裂相关的未知基因没有被发现,例如调节细胞板中进行胞外分泌和内吞作用的小泡进行

表1 在拟南芥中通过突变体途径获得的与胞质分裂相关的基因

基因	图谱位点	等位基因	突变体的表型
(1)参与细胞板膜融合			
<i>BUCKEL(BUK)</i>	未确定	2	不完整的细胞壁, 核和细胞较大
<i>FINDLING(FID)</i>	1-(bottom)	2	不完整的细胞壁, 核和细胞较大
<i>HINKEL(HIK)</i>	1-(top)	2	不完整的细胞壁, 核和细胞较大
<i>KEULE(KEU)</i>	1-20	15	不完整的细胞壁, 核和细胞较大
<i>KIESEL(KIS)</i>	2-60 ±	3	不完整的细胞壁, 核和细胞较大
<i>KNOLLE(KN)</i>	1-14	5	不完整的细胞壁, 核和细胞较大
<i>RUNKEL(RUK)</i>	5-35 ±	4	不完整的细胞壁, 核和细胞较大
<i>TUFF(TUF)</i>	4-(top)	1	不完整的细胞壁, 核和细胞较大
(2)参与细胞壁形成			
<i>CYTOKINESIS</i>	2-65	2	不完整的细胞壁, 核和细胞较大, 胼胝质积累
<i>DEFECTIVE1(CYT1)</i>			
<i>QUARTET1(QRT1)</i>	5-84	1	四分体中的小孢子不能释放
<i>QUARTET2(QRT2)</i>	3-3	1	四分体中的小孢子不能释放, 有胼胝质碎片
<i>KORRIGAN(KOR)</i>	5-81	1	细胞不能伸长
<i>ROOT SWOLLEN(RSW1)</i>	4-98	1	根形态异常
<i>TSO1</i>	3-25 ±	4	花蕾中不完整的细胞壁, 核和细胞较大
<i>CYD(pea)</i>			后期胚胎中单倍体核较大, 细胞较大
(3)驱动蛋白基因			
<i>HINKEL</i>			不完整的细胞壁, 细胞较大, 细胞多核

两极分化的基因等；另一方面，某些功能丧失很严重的突变体很难被鉴定和分离出来，所以某一类基因如既影响细胞分裂又影响细胞扩展的就很难被克隆；另外，在一些胚胎和幼苗胞质分裂突变体中，在胚胎细胞化过程中担负多种功能的基因可能在表型上不表现出来，所以分离这类基因也很困难。鉴于上述的一些情况，要完全弄清植物胞质分裂的分子机制还是存在一定困难的。

但是，目前可以通过分离、鉴定一些组织特异型或细胞特异型的胞质分裂突变体来寻找与胞质分裂相关的重要基因。近来通过这一途径就找到了这一类型许多的突变体，如花蕾组织中特异的胞质分裂突变体 *tso1*^[14,15]，根部细胞的胞质分裂突变体 *pleiade* 和 *hyade*^[16]，花粉的胞质分裂突变体 *gem1/mor1*^[17]，气孔细胞的胞质分裂突变体 *scd1*^[18]，还有在多种细胞类型中(气孔、根等)胞质分裂不正常的突变体 *cyd1*^[19]。通过对这一类突变体的研究，应该能分离、鉴别出更多的与胞质分裂相关的基因，从而对这些基因进行联系、分析，或许能获得植物胞质分裂分子机制的初步的总体的框架。

3 植物中几种特殊模式的胞质分裂在细胞和分子水平的研究

3.1 小孢子减数分裂过程中的胞质分裂

小孢子母细胞通过减数分裂形成含有4个小孢

子的四分体，在减数分裂中的胞质分裂主要有两种类型：一类是玉米和其他单子叶植物中，在末期I和末期II的核分裂结束后细胞板就以一种离心作用方式形成，属于连续型的胞质分裂类型；另一类是拟南芥和其他双子叶植物中，在末期I并不形成细胞壁，而是像体细胞一样形成一种类似成膜体状的结构，微管呈离心方式排列^[20]，在末期II膜同时向内凹陷(infurrow)形成小孢子，属于同时型的胞质分裂类型^[21]。

在拟南芥小孢子母细胞的胞质分裂过程中，新细胞壁位置的产生并没有涉及到早前期带和成膜体，而是通过末期II的4个核发出的放射状的类似成膜体的排列的微管进行调节^[20]，而且胞质分裂的特异基因 *KN* 并不表达^[22]。Otegui等^[4]利用超薄切片、免疫荧光显微镜检及双轴电子X射线断层摄影技术对拟南芥小孢子母细胞减数分裂胞质分裂中细胞壁形成的机制作了深入细致的研究，结果表明：在小孢子母细胞减数分裂的胞质分裂中，细胞板的形成属于后减数分裂类型(post-meiotic)，即在末期II核分裂结束后，细胞板在整个分裂平面上同时发生。在驱动蛋白的帮助下，小泡沿着成膜体微管运输，在小泡融合之前，小泡与小泡互相先连接形成长约24 nm的衔接物，然后小泡互相融合形成小管，不断融合形成管状的网络，外围的管状网络比中心部位的早一步与质膜融合，融合启动了胼胝质

表2 通过突变体途径获得的与小孢子母细胞减数分裂过程中的胞质分裂相关的基因

基因	图谱位点	等位基因	突变体的表型
<i>STUD(STD)</i> (<i>Arabidopsis</i>)	3-(g11-nit1)	3	花粉多核, 种子干瘪
<i>TETRASPORE</i> (<i>TES</i>)(<i>Arabidopsis</i>)	3-57 ±	1	花粉多核, 种子干瘪
<i>ME11</i> (<i>Arabidopsis</i>)		1	四分体中有5~8个小孢子只影响小孢子母细胞减数分裂中胞质分裂
<i>VARIABLE</i> (maize)			对小孢子母细胞和大孢子母细胞减数分裂中胞质分裂都有影响
<i>Ms1</i> (soybean)			对小孢子母细胞和大孢子母细胞减数分裂中胞质分裂都有影响
<i>jojap</i> (alfalfa)			对小孢子母细胞和大孢子母细胞减数分裂中胞质分裂都有影响
<i>ms71A</i> (pea)			花粉退化

的合成以及网络管状结构向环绕片层(convoluted sheets)结构的转变, 当外围的环绕片层结构中积累了胼胝质和树胶醛糖半乳糖体蛋白时, 就形成树桩似的突起(stub-like projections), 然后以向心的方向与早已形成的网络管状结构融合, 并不断注入胼胝质, 完成胞质分裂。

目前发现的拟南芥小孢子母细胞减数分裂中胞质分裂异常的突变体有 *stud(std)*^[23]、*tetraspore(tes)*^[24] 以及 *me11*^[25]。*std* 和 *tes* 是属于同一位点发生突变的胞质分裂突变体, *tes* 编码一驱动蛋白, 该基因发生突变, 影响了微管的排列和运动, 使胞质分裂不能进行或不正常, 产生了含有4个核或多核的小孢子, 所以突变体的花粉是多核, 且种子是干瘪的, 但该基因并不影响其他组织和细胞的胞质分裂^[26]。*ME11* 编码是一个分子量较小的蛋白质, 与人类的精子头粒蛋白-胰岛素抑制子有较高同源性的, 该突变体的四分体中含有5~8个左右大小不等的小孢子, 导致拟南芥的雄性不育^[25]。在其他植物中也发现了类似 *std* 和 *tes* 这种表型的胞质分裂突变体, Nacry 等^[13] 对此做了总结(表2)。

对以上突变体研究表明, 小孢子母细胞减数分裂中的胞质分裂存与体细胞中的胞质分裂发生机制可能存在某些差异, 有着自己独特的发生机制, 但具体的调控机制还有待于进一步的研究。

3.2 大孢子母细胞减数分裂过程中的胞质分裂

大孢子母细胞经过减数分裂形成含有4个单倍体大孢子的四分体, 通常在末期I和末期II进行连续的胞质分裂。与小孢子母细胞减数分裂的胞质分裂研究不同, 迄今为止在拟南芥中还没有发现与大

孢子母细胞减数分裂胞质分裂异常的突变体。大豆中发现了一个小孢子母细胞和大孢子母细胞减数分裂的胞质分裂都异常的突变体 *ms1*, *ms1* 中的胚囊母细胞含有4个单倍体的细胞核, 核与核之间还会相互融合^[13]。在紫花苜蓿中也有大孢子母细胞减数分裂的胞质分裂异常的突变体报道, 但目前还没有分离、克隆到与大孢子母细胞减数分裂的胞质分裂相关的基因, 今后对这类突变体的研究应该把重点放在大孢子母细胞减数分裂的胞质分裂的特殊调控机制上。

3.3 胚乳细胞化过程中的胞质分裂

胚乳是精子和胚囊里的中央细胞融合后形成的三倍体发育而来的, 目前对胚乳细胞分裂的机制还不清楚。早期研究表明胚乳细胞分裂过程中的小泡在分裂结束的核之间聚集形成细胞板, 然后细胞板不断扩张, 对拟南芥研究也表明了分裂过程中细胞中会聚集胞质分裂的特异蛋白, 即 *KNOLLE* 突触融合蛋白^[22]。但目前还没有获得任何有关胚乳胞质分裂的突变体, 这限制了对这一现象机制的深入研究。综合目前的研究情况, 说明胚乳细胞的胞质分裂机制可能与体细胞相似, 应该都是在成膜体协助下完成的, 但具体的分子机制还不清楚。

3.4 发育中花粉的胞质分裂

从四分体中释放出来的小孢子经过一次不均等的分裂形成一个生殖细胞和一个营养细胞, 生殖细胞继续第二次有丝分裂形成2个精细胞。成熟的花粉由2个或3个细胞组成, 分别称为二核花粉和三核花粉。大约70%的被子植物的第二次有丝分裂发生在花粉粒萌发后, 即在花粉管伸长过程中形成三核花粉, 其余30%的被子植物的第二次有丝分裂发生在花粉成熟前。

由于某些技术的限制, 目前人们对于在发育中花粉的胞质分裂的分子机制的了解还是很有限的。目前在拟南芥中发现的与花粉胞质分裂相关的突变体主要有如下这些: *scp*^[27] 和 *gem1*^[28], 在这两个突变体中花粉的第一次有丝分裂发生异常; *mad1*^[29], 是花粉第二次有丝分裂发生异常的突变体。目前对这些突变体的研究还无法使人们了解到发育中的花粉进行胞质分裂时的发生机制及其调控机制。

3.5 胚囊细胞化过程中的胞质分裂

被子植物的胚囊是由胚珠内的大孢子母细胞发育而成的。大孢子母细胞经过减数分裂, 形成4大孢子, 每个大孢子细胞内的染色体数目都比大孢子

母细胞的减少一半。在蓼型胚囊发育中, 这4个大孢子细胞排成一纵行, 其中靠近珠孔的3个细胞退化, 位于珠心深处的1个细胞发育成为早期的胚囊。早期的胚囊不断地从周围的组织中吸收养料, 体积增大, 细胞核连续进行3次有丝分裂, 但是每次核分裂以后, 并不紧接着就进行胞质分裂, 因此, 形成了具有8个细胞核的成熟胚囊。

在八核期的胚囊细胞化迅速进行, 以至于很少看到8个游离核的胚囊。早期的研究认为胚囊中姊妹核之间有微管存在并导向形成纵向和横向的成膜体^[30]。Huang等^[31]对玉米胚囊发育过程研究发现: 在第二次有丝分裂中核和成膜体成垂直排列, 在珠孔端横向的姊妹核中间的成膜体成纵向, 而合点端姊妹核间的成膜体却是横向的, 这时的成膜体没有形成细胞壁; 在第三次有丝分裂中, 珠孔和合点端的核分裂是同步的, 非姊妹核几乎成垂直排列, 3个成膜体也分别同时在珠孔端和合点端的4个核间形成^[31]。这一研究结果支持3个细胞板的模型, 至于成膜体是怎样在非姊妹核间形成的, 目前还不清楚。

4 小结

由于细胞学研究技术的发展、完善以及大量胞质分裂突变体的出现, 使得在这些年在对植物进行胞质分裂中形态结构、生化和分子生物学等方面研究取得了很大的进展, 特别是在对拟南芥的研究中。这些研究结果揭示了在植物胞质分裂至少存在3种发生机制: 一种是体细胞中普遍存在的, 由成膜体指导、协调细胞板形成, 继而进行胞质分裂; 另一种是在小孢子母细胞减数分裂过程中的胞质分裂, 质膜与外围的网络管状融合后, 向内不断与网络管状融合, 而后由质膜分泌的胼胝质向内不断注入, 完成胞质分裂; 还有一种是胚囊细胞化过程的胞质分裂, 涉及到姊妹核与非姊妹核之间成膜体的形成。

目前分离、克隆到与胞质分裂相关的基因一般都局限在小泡运输、小泡的融合以及原初细胞壁的形成, 而对于在整个细胞分裂周期中胞质分裂是如何被调节以及细胞骨架在这种调节过程中的具体机制都不清楚; 对于一些特异的胞质分裂类型, 如小孢子母细胞和大孢子母细胞减数分裂的胞质分裂、胚囊细胞化过程中的胞质分裂、发育中花粉的胞质分裂以及胚乳细胞化过程中的胞质分裂等它们中的

具体的调控机制了解甚微; 由于材料和技术的限制, 目前一些与胞质分裂相关的基因还不可能被分离、鉴定, 如一些在多种类型细胞化过程中都起作用的具有多种功能的基因就不可能通过一些特定突变体获得, 这是植物胞质分裂深入研究的一大障碍。

新突变体的遗传分析及新的分子生物学方法的应用, 为研究植物胞质分裂的分子机制提供了有效的手段, 如可以通过拟南芥的“基因捕捉器”和“增强子捕捉器”的方法(gene trap 和 enhancer trap)分离鉴定更多的基因, 还可以通过酵母双杂交以及其他生化途径获得另外一些在植物胞质分裂过程中起调节作用的重要功能蛋白或基因, 不断丰富和完善实验数据。随着技术的完善以及突变体材料的增多, 植物胞质分裂发生机制的研究会越来越深入, 并将大大丰富植物发育生物学的内涵。

参考文献 (References)

- [1] Glotzer M. *Curr Opin Cell Biol*, 1997, **9**: 815
- [2] Field C *et al. Curr Opin Cell Biol*, 1999, **11**: 68
- [3] B.B. 布坎南等主编. *植物生物化学与分子生物学*, 北京: 科学出版社, 2004, 197
- [4] Otegui MS *et al. Planta*, 2004, **218**: 501
- [5] Samuels AL *et al. J Cell Biol*, 1995, **130**: 1345
- [6] Lukowitz W *et al. Cell*, 1996, **84**: 61
- [7] Assaad FF *et al. Mol Gen Genet*, 1996, **253**: 267
- [8] Assaad FF *et al. J Cell Biol*, 2001, **152**: 531
- [9] Nicol F *et al. EMBO J*, 1998, **17**: 5563
- [10] Zuo J *et al. Plant Cell*, 2000, **12**: 1137
- [11] Lukowitz W *et al. Proc Natl Acad Sci USA*, 2001, **98**: 2262
- [12] Strompen G *et al. Curr Biol*, 2002, **12**: 153
- [13] Nacry P *et al. Plant Mol Biol*, 2000, **43**: 719
- [14] Hauser B *et al. Development*, 2000, **127**: 2219
- [15] Song JY *et al. Development*, 2000, **127**: 2207
- [16] Muller S *et al. Plant Physiol*, 2002, **130**: 312
- [17] Park SK *et al. Plant Physiol*, 2001, **126**: 899
- [18] Falbel TG *et al. Development*, 2003, **130**: 4011
- [19] Yang M *et al. J Exp Bot*, 1999, **50**: 1437
- [20] Peirson BN *et al. Plant J*, 1997, **11**: 659
- [21] Owen HA *et al. Protoplasma*, 1995, **185**: 7
- [22] Lauber MH *et al. J Cell Biol*, 1997, **139**: 1485
- [23] Hulskamp M *et al. Dev Biol*, 1997, **187**: 114
- [24] Spielman M *et al. Development*, 1997, **124**: 2645
- [25] He C *et al. Sex Plant Reprod*, 1998, **11**: 199
- [26] Yang CY *et al. Plant J*, 2003, **34**: 229
- [27] Chen YC *et al. Development*, 1996, **122**: 3243
- [28] Park SK *et al. Development*, 1998, **125**: 3789
- [29] Grini PE *et al. Genetics*, 1999, **151**: 849
- [30] Cass DD *et al. Can J Bot*, 1986, **64**: 2327
- [31] Huang BQ *et al. Planta*, 1994, **194**: 200

The Mechanism of Plant Cytokinesis

Wan-Zhi Ye, Jia-Shu Cao*, Wei-Zheng Jin¹

(The Institute of Vegetable Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

¹College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract Cytokinesis partitions the cytoplasm of a dividing cell after the duplicated nuclear genome has been separated into two daughter assemblies, and cytokinesis occurs in all life forms from single-celled bacteria to multicellular eucaryotes. Several lines of research have contributed to the analysis of plant cytokinesis, such as the improved technology in cytology and the increased mutations that interfere with cytokinesis. This review focuses on the recent advances in cytology and genetic studies for different types of cytokinesis in plant, and the problem in plant cytokinesis was summarized and discussed.

Key words plant; cytokinesis; mechanism

Received: September 27, 2004 Accepted: January 5, 2005

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (No.30370975) and the Key Sci-technology Project of Zhejiang Province (No.021102536)

*Corresponding author. Tel/Fax: 86-571-86971188, E-mail: jshcao@zju.edu.cn