

不结球白菜根尖体细胞染色体制片及其二倍体和四倍体有丝分裂过程观察

郑金双, 张蜀宁^①, 孙成振, 王雅美

(南京农业大学园艺学院 作物遗传与种质创新国家重点实验室 农业部南方蔬菜遗传改良重点开放实验室, 江苏 南京 210095)

摘要: 以不结球白菜 (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) 根尖为材料, 对染色体制片过程中根长 (小于 0.5 cm、0.5~1.0 cm、1.0~2.0 cm 及大于 2.0 cm)、预处理方法、预处理剂种类 (2 mmol · L⁻¹ 8-羟基喹啉、2 mmol · L⁻¹ 8-羟基喹啉与质量浓度 0.2 g · L⁻¹ 秋水仙素等体积混合液、质量浓度 0.2 g · L⁻¹ 秋水仙素、饱和对二氯苯、质量浓度 20 或 40 mg · L⁻¹ 放线菌酮、质量浓度 40 mg · L⁻¹ 放线菌酮与 2 mmol · L⁻¹ 8-羟基喹啉等体积混合液) 及预处理时间 (1.0~3.5 h) 进行了比较和筛选; 在此基础上, 对二倍体和四倍体不结球白菜根尖体细胞有丝分裂过程进行观察。结果表明: 根长度对分裂相的数量有显著影响; 根长 1.0~2.0 cm, 分裂相相对较多, 占细胞总数的 64.75%。冰冻预处理 22~23 h, 能获得一定量的分裂相。采用不同的预处理剂及预处理时间, 分裂相的数量及染色体形态有明显差异; 用质量浓度 40 mg · L⁻¹ 放线菌酮溶液处理 3.5 h, 分裂相数量最多, 但易导致染色体加倍; 用质量浓度 20 mg · L⁻¹ 放线菌酮预处理 3.5 h, 染色体长且着丝点及随体清晰, 且分裂相较多, 占细胞总数的 53.65%。因而, 根长度以 1.0~2.0 cm 为宜, 适宜的预处理方法为用质量浓度 20 mg · L⁻¹ 放线菌酮浸泡 2.0~3.0 h。二倍体及四倍体不结球白菜根尖体细胞有丝分裂过程基本相似, 在有丝分裂的间期、前期、中期、后期和末期染色体的行为基本一致, 但在四倍体的有丝分裂过程中会出现多价体、染色体桥、落后染色体、染色体异常分离及内源有丝分裂等异常现象。

关键词: 不结球白菜; 预处理剂; 染色体制片; 四倍体; 有丝分裂; 根长

中图分类号: Q343.2⁺4; Q94-336; S634.3 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2011)04-0058-06

Chromosome preparation of somatic cell in root-tip of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*) and observation of mitosis process of its diploid and tetraploid ZHENG Jin-shuang, ZHANG Shu-ning^①, SUN Cheng-zhen, WANG Ya-mei (College of Horticulture, State Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Key Laboratory of Southern Vegetable Crop Genetics Improvement, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2011, 20(4): 58-63

Abstract: Using root-tip of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) as experimental material, root length (shorter than 0.5 cm, 0.5-1.0 cm, 1.0-2.0 cm and longer than 2.0 cm), pretreatment method, pretreatment agent types (2 mmol · L⁻¹ 8-hydroxyquinoline, equivalent volume mixed solution of 2 mmol · L⁻¹ 8-hydroxyquinoline and 0.2 g · L⁻¹ colchicine, 0.2 g · L⁻¹ colchicine, saturated *p*-dichlorobenzene, 20 or 40 mg · L⁻¹ cycloheximide, equivalent volume mixed solution of 40 mg · L⁻¹ cycloheximide and 2 mmol · L⁻¹ 8-hydroxyquinoline) and pretreatment time (1.0-3.5 h) in chromosome preparation process were compared and selected. And on this basis, mitosis process of somatic cell in root-tip of diploid and tetraploid of non-heading Chinese cabbage was observed. The results show that root length obviously influences on number of split phase. And there are relatively more split phases in 1.0-2.0 cm root with an account for 64.75% of total cell number. Some split phases can be obtained by frozen pretreating for 22-23 h. Using different pretreatment agents and

收稿日期: 2011-06-28

基金项目: 江苏省科技支撑计划项目 (BE201130172)

作者简介: 郑金双 (1986—), 女, 内蒙古赤峰人, 博士研究生, 主要从事蔬菜作物分子细胞学方面的研究。

^①通信作者 E-mail: snzhang@njau.edu.cn

times, number of split phase and chromosome morphology are obviously different. Pretreating for 3.5 h with $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ cycloheximide, number of split phase is the most but chromosome doubling is easy to be caused. And pretreating for 3.5 h with $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ cycloheximide, chromosomes are long with clear kinetochore and satellite, and number of split phase accounts for 53.65% of total cell number. Therefore, suitable length of root is 1.0–2.0 cm, optimal pretreatment method is using $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ cycloheximide soaking for 2.0–3.0 h. The mitosis process of somatic cell in root-tip of diploid and tetraploid of non-heading Chinese cabbage is generally similar, and their chromosome behavior is basically identical in interphase, prophase, metaphase, anaphase and telophase of mitosis. But there are some abnormal phenomena in mitosis process of tetraploid, such as, multivalent, chromosome bridge, lagging chromosome, chromosome abnormal segregation and endogenous mitosis.

Key words: non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino); pretreatment agent; chromosome preparation; tetraploid; mitosis; root length

不结球白菜 (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) 又称小白菜, 北方称油菜, 为中国南方栽培面积最大、最大众化的蔬菜作物。目前在蔬菜作物生产应用中, 多倍体仅见西瓜 [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.]^[1] 和不结球白菜^[2], 其遗传性状稳定性、营养品质以及农艺性状均优于二倍体。对不结球白菜的生理代谢^[3]、基因表达^[4-5]等方面的研究已有报道, 但细胞学方面的研究较为薄弱, 主要原因在于其体细胞染色体小、制片难度大。目前仅见二倍体不结球白菜核型^[6]及未减数 $2n$ 配子的相关研究报道^[7], 关于二倍体不结球白菜及其同源四倍体细胞有丝分裂的观察未见报道。

在十字花科 (Cruciferae) 植物的体细胞染色体制片过程中, 常用的预处理剂是 8-羟基喹啉^[8]。目前用于植物体细胞染色体制片的预处理剂有多种, 因而, 也有研究者将不同的预处理剂用于十字花科植物体细胞染色体的研究, 并获得了不同的预处理效果^[9-11]。为了更有效地研究不结球白菜体细胞染色体形态, 作者以二倍体不结球白菜根尖为实验材料, 对其体细胞染色体制片条件进行了摸索; 在此基础上, 对二倍体及四倍体不结球白菜根尖体细胞的有丝分裂过程进行了观察, 以期在不结球白菜及十字花科等小染色体植物的遗传进化、变异与基因定位研究提供必要的细胞学实验依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的二倍体不结球白菜品种‘10P15’及同源四倍体不结球白菜品种‘10P11’种子由南京农业大学园艺学院白菜课题组提供。

1.2 方法

1.2.1 染色体制片条件筛选 种子于 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱内催芽, 待大部分根的长度约 1.5 cm 时于 $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中过夜, 取出后置于 $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱内培养 1~2 h, 分别在根长小于 0.5 cm、0.5~1.0 cm、1.0~2.0 cm 及大于 2.0 cm 时取根尖, 根尖长度 1~2 mm, 每个长度等级的根各取 10 条, 重复取样 3 次, 用 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 放线菌酮溶液预处理 2.0 h。

取长 1.0~2.0 cm 根的根尖, 每处理 50~80 条, 分别用 2 种方法进行预处理。方法一: 将根尖置于蒸馏水中, 于 $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中用冰水混合物分别冰冻处理 21、22、23 和 24 h; 方法二: 将根尖置于 7 种预处理剂中分别预处理, 以 0.5 h 为 1 个时间梯度。其中, 在 $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉溶液或 $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉与质量浓度 $0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 秋水仙素等体积混合液中分别预处理 1.5~3.5 h; 在质量浓度 $0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 秋水仙素溶液中分别预处理 1.5~3.0 h; 在饱和对二氯苯溶液中分别预处理 1.0~3.0 h; 在质量浓度 20 或 $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 放线菌酮溶液或质量浓度 $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 放线菌酮与 $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉等体积混合液中分别预处理 2.0~3.5 h。

经上述预处理的根尖用卡诺固定液 [V(无水乙醇):V(冰乙酸)=3:1] 固定 24 h, 用 $0.075 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 前低渗 30 min, 然后用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 于 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 解离约 8 min, 用蒸馏水后低渗 10 min, 卡宝染液染色约 7 min, 烤片及压片后, 分别选 10 张具有代表性的制片, 用 Zeiss AX41 显微镜于 40 倍镜下观察并在 100 倍镜下拍照; 选 10 个视野统计细胞总数和中期分裂相数, 并计算中期分裂相占细胞总数的百分率。

1.2.2 体细胞染色体有丝分裂过程观察 按上述条件催芽, 待二倍体和四倍体不结球白菜根的长度为

1.0~2.0 cm时分别取长度1~2 mm根尖,根据筛选出的制片条件,用质量浓度 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 放线菌酮溶液预处理2.5~3.0 h,换卡诺固定液固定24 h后,用 $0.075\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ KCl前低渗30 min,然后用 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HCl于 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 解离约8 min,蒸馏水后低渗10 min,卡宝染液染色约7 min,烤片及压片后,用Zeiss AX41显微镜于40倍镜下观察并在100倍镜下拍照。

2 结果和分析

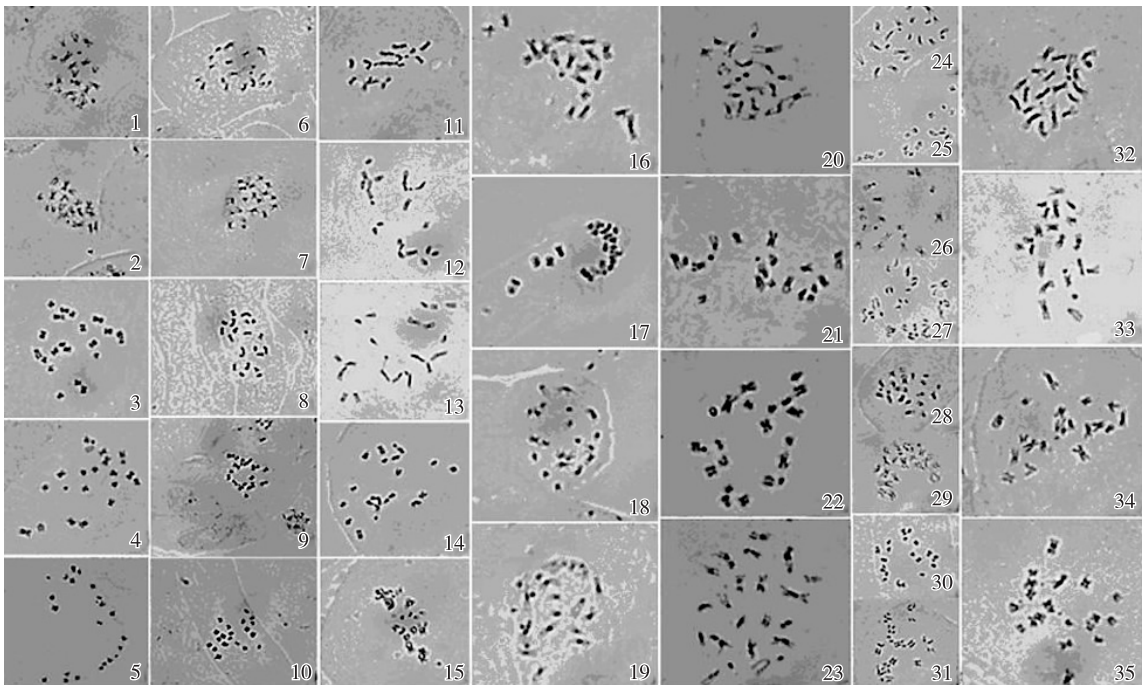
2.1 不结球白菜体细胞染色体制片条件分析

在不结球白菜根尖体细胞染色体制片过程中,分别选取长度小于0.5 cm、0.5~1.0 cm、1.0~2.0 cm和大于2.0 cm的根取根尖,获得的分裂相数目有明显差异。取样时根长度为1.0~2.0 cm,获得的分裂

相数目相对较多,占细胞总数的64.75%,为根长小于0.5 cm和大于2.0 cm处理组的1.38和98.11倍。因而,根长度为1.0~2.0 cm对不结球白菜根尖体细胞染色体制片较为适宜。这一结果与张红梅等^[12]的研究结果一致。

采用冰冻方法进行预处理,不同处理时间对分裂相的数量有明显影响。冰冻时间为22~23 h,获得的分裂相数量相对较多,占细胞总数的30.20%,分别是冰冻处理21和24 h的1.52和1.55倍。

采用7种不同预处理剂对二倍体不结球白菜根尖细胞进行不同时间的预处理,对分裂相的数量及染色体形态有明显的影响,各处理组中期染色体形态见图1,中期分裂相百分率的统计结果见表1。用 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉预处理3.0~3.5 h,获得的中期分裂相适合染色体核型分析;预处理3.0 h,获得的



1-5: $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉预处理1.5~3.5 h Pretreated for 1.5-3.5 h with $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 8-hydroxyquinoline; 6-10: $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉与 $0.2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 秋水仙素等体积混合液溶预处理1.5~3.5 h Pretreated for 1.5-3.5 h with equivalent volume mixed solution of $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 8-hydroxyquinoline and $0.2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ colchicine; 11-15: 饱和对二氯苯预处理1.0~3.0 h Pretreated for 1.0-3.0 h with saturated *p*-dichlorobenzene; 16-19: $0.2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 秋水仙素预处理1.5~3.0 h Pretreated for 1.5-3.0 h with $0.2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ colchicine; 20-23: $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 放线菌酮预处理2.0~3.5 h Pretreated for 2.0-3.5 h with $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ cycloheximide; 24-31: $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 放线菌酮预处理2.0~3.5 h Pretreated for 2.0-3.5 h with $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ cycloheximide; 32-35: $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 放线菌酮与 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉的等体积混合溶液预处理2.0~3.5 h Pretreated for 2.0-3.5 h with equivalent volume mixed solution of $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ cycloheximide and $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 8-hydroxyquinoline.

编号25、27、29和31的照片为加倍的中期染色体,其余均为正常的中期染色体 Photos No. 25, 27, 29 and 31 indicate doubled metaphase chromosomes, the others all indicate normal metaphase chromosomes.

图1 用不同预处理剂预处理后二倍体不结球白菜根尖中期染色体形态
Fig. 1 Chromosome morphology of metaphase in root-tip of diploid of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) pretreated by different pretreatment agents

表1 用不同预处理剂预处理后二倍体不结球白菜根尖中期分裂相的百分率

Table 1 Percentage of split phase of metaphase in root-tip of diploid of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) pretreated by different pretreatment agents

预处理剂 ¹⁾ Pretreatment agent ¹⁾	不同预处理时间中期分裂相的百分率/% Percentage of split phase of metaphase at different pretreatment times					
	1.0 h	1.5 h	2.0 h	2.5 h	3.0 h	3.5 h
1	-	16.69	31.24	28.88	46.82	35.60
2	-	3.26	36.46	57.32	28.80	-
3	40.84	36.70	31.04	23.43	26.13	-
4	-	-	38.20	31.69	28.85	53.65
5	-	-	33.12	40.15	25.53	76.04
6	-	-	65.40	43.71	43.03	48.62
7	-	13.90	22.74	43.18	22.88	15.07

¹⁾ 1. 2 mmol · L⁻¹ 8-羟基喹啉 2 mmol · L⁻¹ 8-hydroxyquinoline; 2. 0.2 g · L⁻¹ 秋水仙素 0.2 g · L⁻¹ colchicine; 3. 饱和对二氯苯 Saturated *p*-dichlorobenzene; 4. 20 mg · L⁻¹ 放线菌酮 20 mg · L⁻¹ cycloheximide; 5. 40 mg · L⁻¹ 放线菌酮 40 mg · L⁻¹ cycloheximide; 6. 40 mg · L⁻¹ 放线菌酮与 2 mmol · L⁻¹ 8-羟基喹啉的等体积混合溶液 Equivalent volume mixed solution of 40 mg · L⁻¹ cycloheximide and 2 mmol · L⁻¹ 8-hydroxyquinoline; 7. 2 mmol · L⁻¹ 8-羟基喹啉与 0.2 g · L⁻¹ 秋水仙素的等体积混合溶液 Equivalent volume mixed solution of 2 mmol · L⁻¹ 8-hydroxyquinoline and 0.2 g · L⁻¹ colchicine.

的中期分裂相数目较多,占细胞总数的46.82%。用质量浓度0.2 g · L⁻¹秋水仙素预处理2.5 h,获得的中期分裂相适合染色体核型分析;预处理1.5 h,获得的中期分裂相适合染色体分带研究;而预处理2.5 h,获得的中期分裂相数目较多,占细胞总数的57.32%。用饱和对二氯苯预处理1.5~2.0 h,获得的中期分裂相适合染色体核型分析;预处理1.0 h,获得的中期分裂相数目较多,占细胞总数的40.84%。用20 mg · L⁻¹放线菌酮溶液预处理2.5~3.0 h,获得的中期分裂相适宜于染色体核型分析;预处理2.0 h,获得的中期分裂相则适宜于染色体分带研究;而预处理3.5 h,获得的中期分裂相数目较多,占细胞总数的53.65%。用40 mg · L⁻¹放线菌酮溶液进行预处理,易导致染色体加倍,不利于分析。用40 mg · L⁻¹放线菌酮与2 mmol · L⁻¹8-羟基喹啉等体积混合液预处理3 h,获得的中期分裂相适宜于染色体核型分析;预处理1.5~2.5 h,获得的中期分裂相适宜于染色体分带研究;而预处理2.0 h,获得的中期分裂相数目较多,占细胞总数的65.40%。用2 mmol · L⁻¹8-羟基喹啉与0.2 g · L⁻¹秋水仙素等体积混合溶液预处理2.5 h,获得的中期分裂相适宜于染色体核型分析;预处理1.5~2.0 h,获得的中期分裂相适宜于染色体分带研究;而预处理2.5 h,获得的中期分裂相数目较多,占

细胞总数的43.18%。

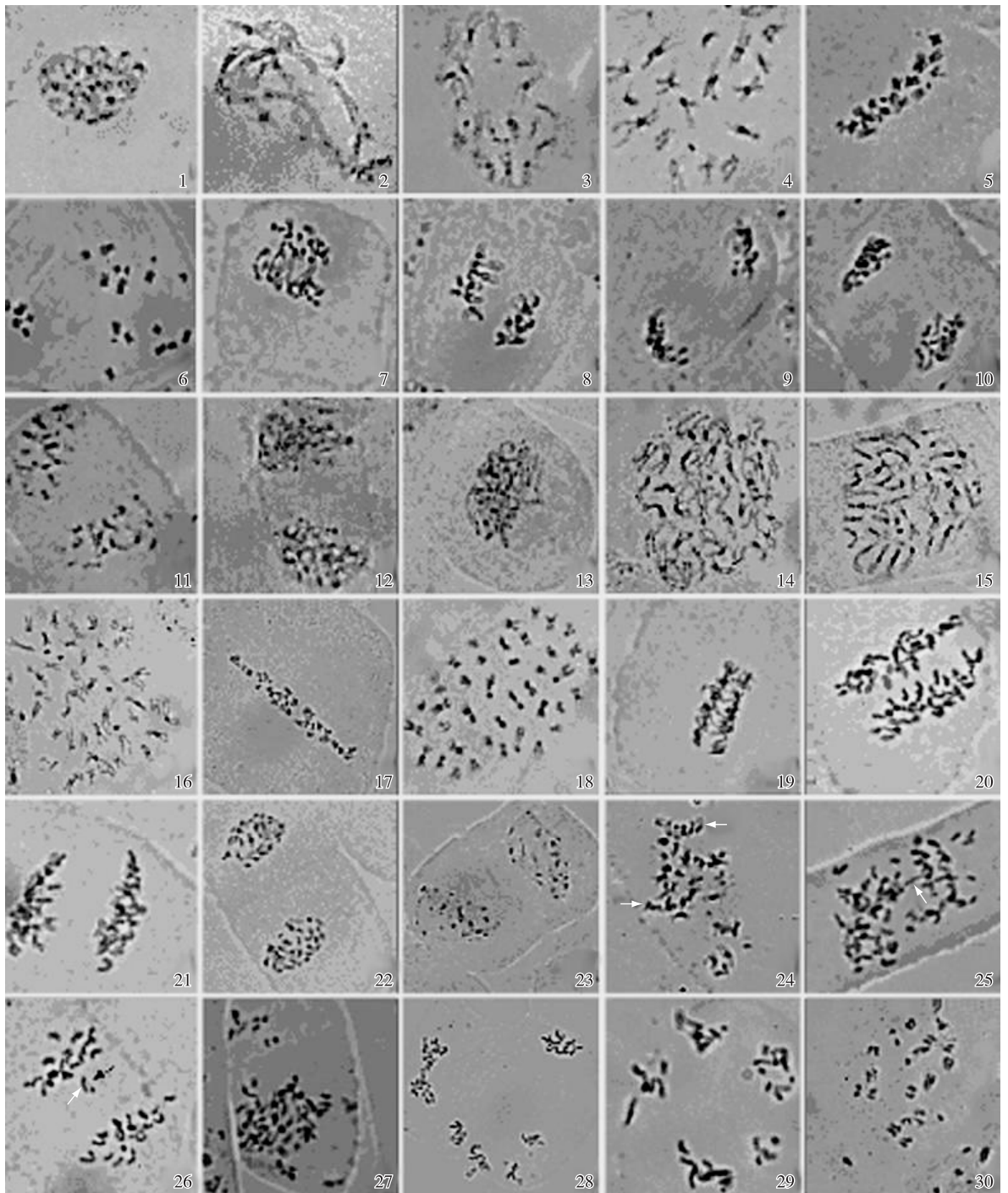
2.2 二倍体和四倍体不结球白菜体细胞有丝分裂过程观察

二倍体和四倍体不结球白菜根尖体细胞有丝分裂过程的观察结果见图2。由图2可见:二倍体和四倍体不结球白菜体细胞有丝分裂行为相似。在间期(图2-1,13),染色质没有高度螺旋化形成染色体,而是以染色质的形式进行DNA单链复制;在前期,染色体螺旋化缩短变粗(图2-2~4,14~16);在中期,染色体着丝点排列在赤道板上,纺锤丝附着在着丝点上,染色体浓缩变粗(图2-5,6,17,18),显示出不结球白菜特有的染色体数目和形态;在后期,着丝点一分为二,每条染色体的2条姊妹染色单体分开并移向两极,同一细胞内的各条染色体都以基本相同的速率同步移向两极(图2-7~9,19~21);在末期,染色体到达细胞两极(图2-10,11,22),1个母细胞分裂成2个子细胞(图2-12,23),染色体解螺旋,进入下一次有丝分裂。

由图2还可见:四倍体不结球白菜体细胞在分裂过程中还会出现一些异常现象。体细胞染色体配成二价体及多价体(图2-24中箭头所示),同一细胞中2条或3条染色体部分配对成二价体或三价体;有些细胞有丝分裂后期出现染色体桥(图2-25),并产生落后染色体(图2-26);正常的有丝分裂过程中,后期染色体会分向两极,而当染色体异常分裂时,后期染色体会被不均等的拉向二极、三极甚至四极(图2-27~29);四倍体染色体数目为2n=40,但个别细胞中会出现着丝粒未分裂的现象,即内源有丝分裂(图2-30)。

3 讨论和结论

对植物体细胞的染色体计数、核型分析、外源染色体鉴定(染色体分带和染色体原位杂交等)、染色体的分组和分离,都需要有一定数量处于有丝分裂中期的细胞才易于进行^[13]。理论上,任何时间取样都可以从正常生长的根尖分生组织部位获得中期分裂相^[14]。但如果分裂相很少,就会阻碍进一步的核型分析、分带研究以及原位杂交等相关研究。李懋学等^[15]认为:对小染色体植物进行适当的变温处理可增加分裂相,预处理是染色体制备的关键步骤之一。本研究结果表明:选取长度1.0~2.0 cm根的根尖,



1-12. 二倍体有丝分裂过程 Mitosis process of diploid; 1. 间期 Interphase; 2-4. 前期 Prophase; 5. 中期侧面观 Lateral view of metaphase; 6. 中期极面观 Polar view of metaphase; 7-9. 后期 Anaphase; 10-11. 末期 Telophase; 12. 形成2个子细胞 Forming two daughter cells. 13-23. 四倍体有丝分裂过程 Mitosis process of tetraploid; 13. 间期 Interphase; 14-16. 前期 Prophase; 17. 中期侧面观 Lateral view of metaphase; 18. 中期极面观 Polar view of metaphase; 19-21. 后期 Anaphase; 22. 末期 Telophase; 23. 形成2个子细胞 Forming two daughter cells. 24. 染色体配对成多价体, 箭头所示为多价体 Chromosomes pair to multivalent, the arrows indicate multivalent. 25. 后期的染色体桥 Chromosome bridge at anaphase, the arrow indicates the chromosome bridge. 26. 落后染色体, 箭头所示为落后染色体 Lagging chromosome, the arrow indicates the lagging chromosome. 27-29. 异常分离的染色体 Chromosomes with abnormal segregation. 30. 内源有丝分裂细胞 Endogenous mitosis cells.

图2 二倍体和四倍体不结球白菜根尖体细胞有丝分裂过程

Fig. 2 Mitosis process of somatic cell in root-tip of diploid and tetraploid non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino)

分裂相数目较多。采用冰冻预处理 22 ~ 23 h,也能获得一定量的分裂相,但均少于采用不同预处理剂获得的分裂相数量。用 $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉进行预处理,染色体长度较短,只适用于核型分析及计数;用质量浓度 $0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 秋水仙素、质量浓度 $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 放线菌酮与 $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉等体积混合溶液以及 $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 8-羟基喹啉与 $0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 秋水仙素等体积混合溶液进行预处理,染色体相对较长,仅适用于染色体计数和核型分析;用饱和对二氯苯或质量浓度 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 放线菌酮进行预处理,染色体较长,着丝点及随体也最清晰,其中用质量浓度 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 放线菌酮进行预处理,获得的分裂相数目较多。根据比较结果,在进行不结球白菜体细胞染色体有丝分裂观察研究时,取样时根长以 $1.0 \sim 2.0 \text{ cm}$ 为宜,最适宜的预处理方法是用质量浓度 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 放线菌酮浸泡 $2.0 \sim 3.0 \text{ h}$ 。

同源四倍体不结球白菜有丝分裂行为与二倍体相似,但在四倍体的体细胞有丝分裂过程中存在异常现象,如细胞分裂异常、内源有丝分裂等;此外还偶见染色体数目异常, $2n=24 \sim 67$,多集中于 $2n=36 \sim 44$,占细胞总数的 12%,小于 $2n=36$ 的占 3%,大于 $2n=44$ 的占 0.4%,这种异常现象可能是体细胞分裂异常及内源有丝分裂造成的。张红梅等^[16]认为:四倍体有丝分裂异常可能是由于染色体加倍打破了二倍体中各种固有的平衡,造成内源激素不协调和生理生化过程不正常等。一般认为,端粒融合和染色体结构异常染色质是促使体细胞染色体配对的主要原因^[17]。Stebbins^[18]认为:同源四倍体染色体加倍造成特定基因位点纯合,隐性基因控制性状,以及不正常分离。而四倍体不结球白菜体细胞有丝分裂产生异常现象的具体原因尚有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 冯 午,刘春清. 培育多倍体西瓜的初步报告[J]. 北京大学学报:自然科学版,1962(2): 303-308.
- [2] 刘惠吉,曹寿椿,王 华,等. 南农矮脚黄四倍体不结球白菜新品种的选育[J]. 南京农业大学学报,1990,13(2): 33-40.

- [3] Desclos M, Dubouset L, Etienne P, et al. A proteomic profiling approach to reveal a novel role of *Brassica napus* drought 22 kD/water-soluble chlorophyll-binding protein in young leaves during nitrogen remobilization induced by stressful conditions [J]. *Plant Physiology*, 2008, 147: 1830-1844.
- [4] Clauß K, von Roepenack-Lahaye E, Böttcher C, et al. Overexpression of sinapine esterase *BnSCE3* in oilseed rape seeds triggers global changes in seed metabolism [J]. *Plant Physiology*, 2011, 155: 1127-1145.
- [5] 荣子龙,侯喜林,史公军,等. 不结球白菜晚抽薹 *BcFLC1* 基因克隆及表达分析[J]. 南京农业大学学报,2010,38(6): 23-27.
- [6] 王业进,曹寿椿. 不结球白菜核型的初步研究[J]. 南京农业大学学报,1988,11(3): 133-135.
- [7] 于旭红,陈芳莉,张蜀宁,等. 普通白菜未减数雄配子形成的细胞学机制[J]. 西北植物学报,2010,30(9): 1799-1803.
- [8] 程雨贵,吴江生,华玉伟,等. 萝卜与甘蓝属间杂种基因组原位杂交分析[J]. 遗传,2006,28(7): 858-864.
- [9] 张渝华,马国昌. 十字花科 2 个种的染色体数目[J]. 武汉植物学研究,2001,19(4): 345-346.
- [10] 崔 翠,何凤发. 山葵的核型分析研究[J]. 西南大学学报:自然科学版,2008,30(4): 135-138.
- [11] 任洪岩,庾忠云,吾买尔夏提·塔汉,等. 新疆 8 种十字花科植物的染色体数目[J]. 新疆农业大学学报,2008,31(6): 8-11.
- [12] 张红梅,张蜀宁,孔艳娥,等. 青花菜染色体制片技术及核型分析[J]. 南京农业大学学报,2009,32(4): 33-36.
- [13] 王耀勇,王秋英,王长有,等. 羟基脲(HU)-氟乐灵双阻断法诱导油菜根尖细胞有丝分裂中期同步化的研究[J]. 西北农业学报,2010,19(11): 75-78.
- [14] 李懋学. 对二氯苯在植物染色体预处理中的应用[J]. 遗传,1980,2(6): 30-32.
- [15] 李懋学,张赞平. 作物染色体及其研究技术[M]. 北京:中国农业出版社,1996: 1-20.
- [16] 张红梅,张蜀宁,于旭红,等. 同源四倍体青花菜的核型分析[J]. 西北植物学报,2010,30(1): 63-67.
- [17] Novak F J. Chromosomal characteristics of long-term callus culture of *Allium sativum* L. [J]. *Cytologia*, 1981, 46(2): 371-379.
- [18] Stebbins G L. Chromosomal Evolution in Higher Plants [M]. London: Edward Arnold, 1971: 126-128.

(责任编辑:佟金凤)