

# 添加甘蓝 8 号染色体片段的大白菜易位系的获得及其遗传稳定性分析

闫珍臣, 王彦华, 轩淑欣, 赵建军, 申书兴\*

(河北农业大学园艺学院, 河北省蔬菜种质创新与利用重点实验室, 河北保定 071001)

**摘 要:** 为创建大白菜—结球甘蓝易位系, 以大白菜—结球甘蓝 8 号单体异附加系 (AC<sub>8</sub>) 为材料, 对其摘去已开放花朵的花枝进行 <sup>60</sup>Co-γ 辐射, 然后取新开放花朵花粉授与 AC<sub>8</sub>, 获得 M<sub>1</sub> 植株, 再将 M<sub>1</sub> 与 AC<sub>8</sub> 亲本大白菜 ‘85-1’ 进行回交, 对其回交后代进行小孢子离体培养获得 DH 系。利用 286 个结球甘蓝相对于大白菜特异的 InDel 分子标记对 DH 系植株进行鉴定, 结合细胞学观察获得添加甘蓝 8 号染色体片段的大白菜易位系 ‘AT8-1’。对易位系 ‘AT8-1’ 进行自交, 与 ‘85-1’ 回交, 与大白菜高代自交系 ‘14-28’ 和 ‘14-36’ 杂交, 对其后代进行 InDel 分子标记鉴定, 结果表明该易位系中甘蓝染色体片段不稳定, 该片段完整保留率在自交后代群体为 61.1%, 回交后代群体为 26.3%, 两个杂交后代群体分别为 24.2% 与 30.0%。后代群体中均未见易位片段变小的植株。

**关键词:** 大白菜; 结球甘蓝; 易位系; 遗传稳定性

**中图分类号:** S 634.1; S 635.1   **文献标志码:** A   **文章编号:** 0513-353X (2015) 06-1085-08

## Obtaining and Genetic Stability of Chinese Cabbage – Cabbage Translocation Lines with Fragment of Cabbage Chromosome 8

YAN Zhen-chen, WANG Yan-hua, XUAN Shu-xin, ZHAO Jian-jun, and SHEN Shu-xing\*

(College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Key Laboratory for Vegetable Germplasm Enhancement and Utilization of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China)

**Abstract:** Chinese Cabbage – Cabbage alien addition line AC<sub>8</sub> was radiated to obtain M<sub>1</sub> plants. Doubled haploid lines were further obtained by microspores culture for backcross descendants of M<sub>1</sub>. Two hundred and eighty-six specific InDel molecular markers linked to cabbage linkage group were used for detecting the DH lines. Combining with cytology observation, the translocation line AT8-1 of Chinese cabbage was identified. AT8-1 was selfed, backcrossed and hybridized, then their offsprings were identified by the specific makers. Results showed that the translocation fragment from cabbage was instability, the ratio of keeping entire exogenous fragment in selfing progenies, one backcross progeny and two hybridization progenies were 61.1%, 26.3%, 24.2% and 30.0%, respectively. In all progeny individuals, none translocation plant was found with smaller fragments than in AT8-1.

**收稿日期:** 2015 - 02 - 09; **修回日期:** 2015 - 04 - 28

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (31171964); ‘十二五’ 农村领域国家科技计划课题项目 (2012AA100202-5); 农业科研杰出人才培养计划项目 (2130106); 河北省自然科学基金项目 (C2010000677); 河北省百人计划项目 (E2013100011); 河北省教育厅项目 (QN2014025)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: shensx@hebau.edu.cn)

**Key words:** Chinese cabbage; cabbage; translocation line; genetic stability

大白菜 (*Brassica compestris* ssp. *pekinensis*, AA) 育种过程中存在遗传背景狭窄的问题, 将近缘种甘蓝的优良基因导入大白菜中是解决这一问题的有效途径之一。结球甘蓝 (*B. oleracea* var. *capitata*, CC) 与大白菜相比具有较强的适应性和抗逆性, 且与大白菜同源性较高, 是拓宽大白菜遗传背景的重要资源 (刘炜 等, 2008)。

易位系具有遗传稳定性较高, 非目的基因较少等优点, 具有较高的应用价值。目前在小麦、水稻、番茄、甜菜、黄瓜等作物中, 易位系已有许多成功应用的报道 (韩晓云 等, 2002; 曹清河 等, 2005; Liu et al., 2011a, 2011b; Guo et al., 2013; Hiroki et al., 2013)。本实验室自 2008 年以来已经获得了全套的大白菜—结球甘蓝单体异附加系 (郑宝智 等, 2008; 顾爱侠 等, 2009; 吕文欣 等, 2011), 为大白菜易位系的获得奠定了基础。商少川等 (2012) 以大白菜—结球甘蓝 1 号单体异附加系为材料, 采用  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  辐射其花粉, 从其  $M_1$  中获得了添加甘蓝 1 号染色体片段的大白菜易位系, 但为杂合易位系, 遗传上不稳定。胡永霞等 (2014) 通过对大白菜—结球甘蓝 3 号单体异附加系进行游离小孢子培养, 创制了含有甘蓝 3 号染色体片段的大白菜易位系, 但未对其遗传稳定性进行研究。

本试验中以大白菜—结球甘蓝 8 号单体异附加系 ( $AC_8$ ) 为材料, 通过对其辐射后代进行小孢子培养, 创制含有甘蓝 8 号染色体片段的大白菜易位系, 并对易位系中甘蓝片段的遗传稳定性进行分析, 旨在为大白菜育种提供新种质。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为大白菜—结球甘蓝 8 号单体异附加系 ( $AC_8$ )、受体亲本大白菜 ‘85-1’ (AA,  $2n = 20$ )、供体亲本结球甘蓝 ‘11-1’ (CC,  $2n = 18$ )、大白菜高代自交系 ‘14-28’ 和 ‘14-36’。以上材料由河北省蔬菜种质创新与利用重点实验室提供, 种植于河北农业大学实验基地大棚内, 常规管理。

### 1.2 异附加系辐射后代的获得

2011 年 4 月中旬, 在异附加系  $AC_8$  盛花期时取其长势较好的花枝, 摘去已开放的花朵, 在北京师范大学化学与原子能室进行  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐射, 辐射强度为  $1 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ , 辐射剂量为 30 Gy。将辐射后的花枝插在有少量水的三角瓶里, 取花枝上开花的花粉给异附加系  $AC_8$  进行人工授粉, 获得  $M_1$  种子。2012 年 4 月, 将  $M_1$  植株和大白菜亲本 ‘85-1’ 进行回交获得回交后代  $BC_1$ 。

### 1.3 易位系材料的创制与鉴定

#### 1.3.1 小孢子植株的获得

2013 年 4 月对回交后代植株进行小孢子离体培养获 DH 系, 然后进行分子鉴定及细胞学鉴定, 获得易位系。

在试验材料的开花初期取处于单核靠边期的花蕾 30 个, 用次氯酸钠消毒, 加入 B5 培养基后破碎、过滤、离心, 收集小孢子。然后加入 NLN 培养基,  $32^\circ\text{C}$  热激,  $25^\circ\text{C}$  恒温培养 21 d, 取子叶期的胚接种到 1.1% 琼脂的 MS 固体培养基上 (申书兴 等, 1999)。待胚状体发育成植株后, 用 MS 继

代培养基继代培养, 2013 年 12 月中旬小孢子植株接种到 MS 生根培养基上, 两周后移栽至温室营养钵内进行低温春化。2014 年 3 月将营养钵内的植株定植于塑料大棚内, 常规管理。

### 1.3.2 小孢子植株的 InDel 标记筛选

采用 CTAB 法提取试验材料的基因组 DNA, 并用 0.8% 琼脂糖和 K5600 超微量分光光度计检测提取的 DNA。选取 286 个结球甘蓝相对于大白菜的特异 InDel (Insertion-Deletion) 标记 (Liu et al., 2013; 朱东旭 等, 2014) 进行 PCR 筛选。引物由生工生物工程 (上海) 股份有限公司合成。

PCR 反应体系参考朱东旭等 (2014) 的文献并略有改动。反应体系为 10  $\mu\text{L}$ , 其中 10  $\times$  PCR Buffer (含  $\text{Mg}^{2+}$ ) 1  $\mu\text{L}$ , 2.5 mmol  $\cdot \text{L}^{-1}$  dNTPs 0.8  $\mu\text{L}$ , 2.5 U  $\cdot \mu\text{L}^{-1}$  Taq 酶 0.1  $\mu\text{L}$ , 50 ng  $\cdot \text{L}^{-1}$  的正向引物和反向引物各 0.5  $\mu\text{L}$ , 100 ng  $\cdot \mu\text{L}^{-1}$  模板 DNA 1  $\mu\text{L}$ , 其余用灭菌双蒸水补齐。PCR 扩增程序: 94  $^{\circ}\text{C}$  预变性 3 min; 94  $^{\circ}\text{C}$  变性 45 s, 60  $^{\circ}\text{C}$  退火 30 s, 72  $^{\circ}\text{C}$  延伸 45 s, 此后每个循环退火温度降低 0.5  $^{\circ}\text{C}$ , 共计 10 个循环; 94  $^{\circ}\text{C}$  变性 45 s, 55  $^{\circ}\text{C}$  退火 30 s, 72  $^{\circ}\text{C}$  延伸 45 s, 25 个循环; 72  $^{\circ}\text{C}$  延伸 5 min, 4  $^{\circ}\text{C}$  保存。扩增产物采用 8% 聚丙烯酰胺凝胶进行电泳分离, 并采用银染法检测电泳结果。

### 1.3.3 小孢子植株的细胞学鉴定

2014 年 4 月, 小孢子植株开花期时, 于上午 9—11 时取幼小的花蕾, 用卡诺固定液 (乙醇: 乙酸 = 3:1) 固定, 48 h 后转到 70% 的酒精中, 4  $^{\circ}\text{C}$  保存备用。选取大小适宜的花蕾, 在载玻片上剥出花药, 然后用丙酸—铁—水合三氯乙醛—苏木精染色, 压片后于显微镜下观察并照相 (刘炜 等, 2008)。染色体条数为 20 的植株即为大白菜—结球甘蓝易位系。

## 1.4 易位系的遗传稳定性分析

2014 年 4 月, 对获得的易位系植株进行自交、与大白菜亲本 ‘85-1’ 回交、并与大白菜高代自交系 ‘14-28’ 和 ‘14-36’ 杂交。2014 年 8 月中旬用易位系后代种子穴盘育苗, 9 月初定植于田间, 常规管理。苗期取叶片提取 DNA, 利用 InDel 分子标记鉴定, 然后与亲本的易位片段比较, 分析该易位系中易位片段的遗传稳定性。

## 1.5 易位系自交后代植株田间性状调查

以结球甘蓝和大白菜亲本为对照, 观察易位系自交后代植株营养生长时期的田间性状, 包括株形、叶色、茸毛、株高、叶缘锯齿、叶面皱缩、叶缘波状、外叶形状、叶柄色泽、叶球形状、抱合方式、叶球紧实度、叶球高度、叶球直径等。

## 2 结果与分析

### 2.1 DH 群体的获得及分子标记鉴定

通过对大白菜—结球甘蓝 8 号单体异附加系  $\text{M}_1$  回交后代植株 ‘12A-16-2-5’ 进行小孢子培养, 得到了 38 个来自不同胚的 DH 株系。

以异附加系  $\text{AC}_8$ 、大白菜 ‘85-1’ 和结球甘蓝 ‘11-1’ 为对照, 利用筛出的 286 个结球甘蓝相对于大白菜的特异 InDel 分子标记对 DH 株系进行鉴定, 获得了 1 个具有结球甘蓝 C03 连锁群 10 个特异标记 (表 1) 的 DH 株系 ‘O-3’ (部分标记扩增结果见图 1), 标记位点为 C03-29 至 C03-38, 片段位置为 36 649 065 bp 至 54 893 591 bp 之间, 大小约为 18.24 Mb。

表 1 甘蓝 C03 连锁群 10 个特异的 InDel 标记  
Table 1 Specific InDel markers from linkage group C03 of cabbage

InDel 标记 InDel marker	物理位置/bp Physical location	5' 引物序列 5' primer sequence	3' 引物序列 3' primer sequence
C03-29	36 649 065	GACTCATGTTTGACTTGTCG	ATCTCTCTGCTCTCCATCAA
C03-30	41 331 636	AAAAATTACACCGTCGTAGC	CTTGCTGGTGACCTGAGTT
C03-31	50 006 345	TCTAAGCTGATGAATCCTGG	AGGTATTTTATGCTTCACGG
C03-32	50 194 366	TGTCACGCACTTGTCATTAT	ACCTGATAACGAATGCAACT
C03-33	53 059 452	GCAATTGTCCAGGTCTTCTAT	AACGTACTCAAGCCTCATGT
C03-34	53 619 927	CTCCCCACCTAATCTTTCTT	TCTAGATGCTTTTGCCCTTC
C03-35	54 220 540	ATACCATTTTCGTGTACCAGC	CAACGGACAGCTAGAGAACT
C03-36	54 389 622	ATCTGAGCTTTACTCCACCA	CTTCTCTCAACTTTGTGGC
C03-37	54 654 984	TGTGTCTGTTGGATTCTTGA	AACTCAGATTAACGCGAGC
C03-38	54 893 591	GCTTTGGTAAATGGCTTTG	AATGGGCTTAACCAGATTG

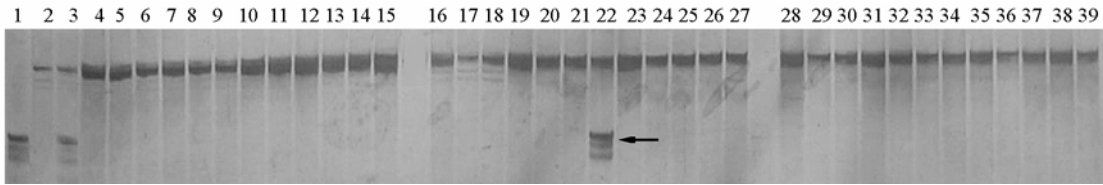


图 1 特异标记 C03-36 在 DH 群体中的扩增

1: 结球甘蓝; 2: 大白菜; 3: 异附加系 AC<sub>8</sub>; 4~39: DH 群体。

Fig. 1 Amplification results of specific InDel marker C03-36 in DH lines

1: Cabbage; 2: Chinese cabbage; 3: Addition line AC<sub>8</sub>; 4 - 39: DH lines.

2.2 小孢子植株的细胞学鉴定

对具有甘蓝 C03 连锁群特异 InDel 标记的 DH 株系 ‘O-3’ 进行花粉母细胞减数分裂观察。结果显示, 该植株终变期染色体以 10 个二价体 (10 II) 联会的形式存在 (图 2, A); 中期 I 大部分染色体排列于赤道板 (图 2, B); 后期 I 染色体以 10-10 的分离方式分离 (图 2, C); 后期 II 染色体以 10-10-10-10 形式的分离 (图 2, D)。初步确定 ‘O-3’ 为易位系, 命名为 ‘AT8-1’。

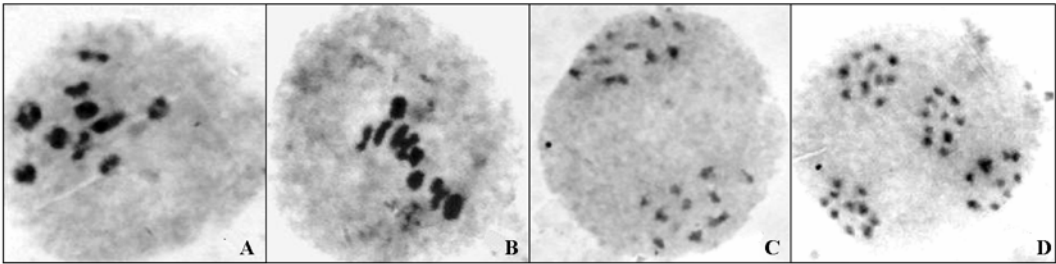


图 2 O-3 株系减数分裂观察

A: 终变期; B: 中期 I; C: 后期 I; D: 后期 II。

Fig. 2 Miosis of the translocation line O-3

A: Diakinesis; B: Metaphase I; C: Anaphase I; D: Anaphase II.

2.3 易位系遗传稳定性分析

对易位系 ‘AT8-1’ 的自交、回交以及杂交后代进行 InDel 分子标记鉴定及遗传稳定性分析 (表 2)。该易位系中的甘蓝片段在 18 株自交后代中, 7 株出现易位片段丢失的现象, 易位片段的传递率

为 61.1%; 在 19 株回交后代中, 14 株出现易位片段丢失, 易位片段的传递率为 26.3% (部分标记扩增结果见图 3)。

表 2 易位系 ‘AT8-1’ 后代稳定性分析  
Table 2 Gentic stability analysis of translocation line AT8-1’s offspring

材料来源 Source	总株数 The total number	含全部特异标记植株 The plant with all specific makers			无特异标记植株 The plant without specific maker		
		株数 Number	比例/% Proportion		株数 Number	比例/% Proportion	
AT8-1	18	11	61.1		7	38.9	
AT8-1 × 85-1	19	5	26.3		14	73.7	
AT8-1 × 14-28	30	9	30.0		21	70.0	
AT8-1 × 14-36	33	8	24.2		25	75.8	

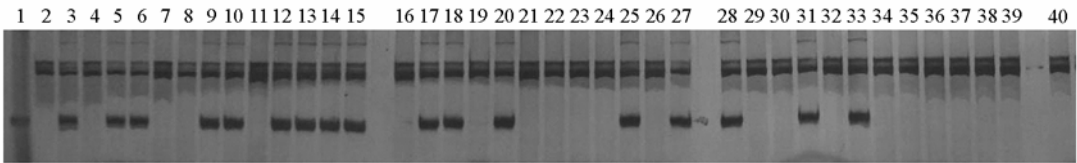


图 3 特异标记 C03-35 在易位系自交及回交后代群体中的扩增

1: 结球甘蓝; 2: 大白菜; 3: 异附加系 AC<sub>8</sub>; 4~21: 自交后代群体; 22~40: 回交后代群体。  
Fig. 3 Amplification results of specific InDel marker C03-35 in selfing and backcross population  
1: Cabbage; 2: Chinese cabbage; 3: Addition line AC<sub>8</sub>; 4 - 21: Selfing progeny population;  
22 - 40: Backcross population.

在 30 株 ‘AT8-1’ 与 ‘14-28’ 的杂交后代中, 21 株出现易位片段丢失, 易位片段的传递率为 30.0% (部分标记扩增结果见图 4)。在 33 株 ‘AT8-1’ 与 ‘14-36’ 的杂交后代中, 25 株出现易位片段丢失, 易位片段的传递率为 24.2% (表 2)。上述结果表明, 该易位系中甘蓝片段不稳定, 但未见易位片段变小的植株。

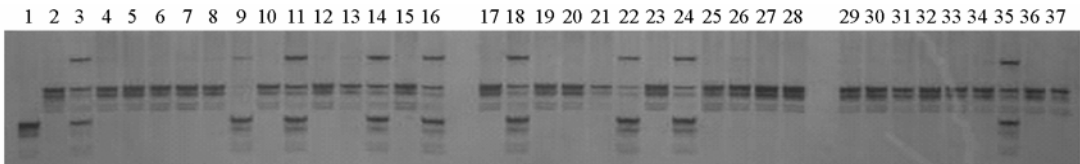


图 4 特异标记 C03-35 在 ‘AT8-1’ 与 ‘14-28’ 杂交后代群体中的扩增

1: 结球甘蓝; 2: 大白菜; 3: 异附加系 AC<sub>8</sub>; 4: 大白菜自交系 ‘14-36’; 5~37: 杂交后代群体。  
Fig. 4 Amplification results of specific InDel marker C03-35 in hybridization progenies population  
1: Cabbage; 2: Chinese cabbage; 3: Addition line AC<sub>8</sub>; 4: Chinese cabbage ‘14-36’;  
5 - 37: Hybridization progenies population.

2.4 易位系自交后代植株田间性状调查

田间性状调查发现, 易位系 ‘AT8-1’ 的自交后代植株半直立, 叶色绿茸毛少, 叶缘钝锯齿, 叶面稍皱, 外叶倒卵圆形, 叶柄绿白, 这些性状与大白菜亲本 ‘85-1’ (图 5, B、F) 一致。但易位系自交后代在生长势及结球性状上出现了分离, 不含甘蓝染色体片段的自交后代植株 (图 5, C、G) 生长势强, 株高平均为 43.9 cm, 叶球叠抱, 球顶部圆形, 包球紧实, 与大白菜亲本 ‘85-1’ 相近; 含甘蓝染色体片段的自交后代植株 (图 5, D、H) 株高平均为 34.2 cm, 且不结球, 表明甘蓝片段的插入影响了大白菜的结球性状。



图5 易位系 AT8-1 自交后代植株田间性状

A、E: 结球甘蓝; B、F: 大白菜; C、G: 不含易位染色体的自交后代; D、H: 含易位染色体的自交后代。

Fig. 5 Field characters of translocation line AT8-1's selfing progeny

A, E: Cabbage; B, F: Chinese cabbage; C, G: Selfing progeny without translocated chromosome;  
D, H: Selfing progeny with translocated chromosome.

### 3 讨论

研究易位系中外源染色体片段的遗传稳定性对外源优良基因的利用具有重要的意义。麦类作物易位系的遗传稳定性研究结果表明, 不同来源的易位片段遗传稳定性差距较大, 同一片段通过雌雄配子传递也不相同。例如, Whelan 等 (1986) 研究发现来自长穗偃麦草中的 6Ags 与小麦染色体的非补偿性易位通过雌配子的传递率为 40%~50%, 通过雄配子的传递率仅为 3%; 张文俊等 (1995) 通过研究小麦背景中黑麦 6R 染色体的传递表明, 通过雄配子的传递率为 10.3%, 通过雌配子的传递率为 8.8%; 李桂萍等 (2007) 利用小麦—簇毛麦易位系与 6 个商品种杂交获得  $F_1$ , 然后通过  $F_1$  正反回交得到易位染色体通过雌雄配子的传递率分别为 49.2%与 44.7%, 均接近 50%的理论值。本试验中获得的易位系 ‘AT8-1’ 来自小孢子离体培养, 为纯合的 DH 系, 理论上应该是稳定的, 但其自交后代中 38.9%的植株出现了甘蓝片段的丢失。以易位系 ‘AT8-1’ 作母本, 在回交与杂交后代中甘蓝易位片段筛出率为 24.2%~30%, 平均为 27%, 表明该易位系中甘蓝易位片段通过雌配子的传递率平均为 27%。鉴于本试验中易位系自交与回交后代群体较小, 试验结果可能存在偏差, 下一步应加大群体重复验证。

异源易位系创建周期较长, 建立有效的创建方法至关重要。在小麦上先后建立了利用远缘杂交、辐射诱变、Ph 基因突变体、组织培养和杀配子染色体等诱导易位系的程序 (陈升位 等, 2008)。辛志勇等 (1991) 利用小麦单体异附加系的杂种  $F_1$  进行幼胚组织培养, 获得易位系的频率约为 0.5%, 李瑞芬等 (2006) 采用单体异附加系花药培养方法创制了小麦—中间偃麦草纯合易位系, 获得频率约为 2%。胡永霞等 (2014) 采用单体异附加系小孢子培养法创制了添加甘蓝 3 号染色体片段的大白菜易位系, 获得频率为 5.9%。本研究中以大白菜—结球甘蓝单体异附加系  $AC_8$  为试材, 利用花粉辐射和小孢子培养相结合的方法, 获得了添加甘蓝 8 号染色体片段的大白菜易位系, 获得频率为

2.6%, 虽然高于小麦单体异附加系幼胚组织培养法和花药培养法, 但低于直接对大白菜单体异附加系小孢子培养的方法。分析其原因, 一方面可能是由于附加的 8 号甘蓝染色体与大白菜染色体同源性低于 3 号甘蓝染色体, 另一方面可能是由于辐射导致含有甘蓝片段的小孢子再生能力降低所致。

大白菜结球是一个复杂的生物学过程, 与光照、温度、生长素分布及营养供给等有关, 是环境诱导下的形态学反应。在此过程中, 基因表达和调控是植物接受外界信号和进行生长发育的重要环节 (Yu et al., 2000)。目前对大白菜结球的分子机制展开了一些研究, 但主要集中在少数几个控制叶片卷曲的基因, 如 *BcpLH*、*HYL1* 等 (Yu et al., 2000; Liu et al., 2011a, 2011b)。本研究中获得大白菜易位系植株不结球, 初步推断易位的甘蓝染色体片段影响了大白菜叶球发育相关基因的表达, 如大白菜叶片卷曲、叶片夹角、生长素分布等相关基因。但目前大白菜结球调控机制研究尚不完善, 易位的甘蓝染色体片段如何影响大白菜结球相关基因的功能还有待进一步研究。

本试验采用花粉辐射和小孢子培养相结合的方法, 获得了添加甘蓝 8 号染色体片段的大白菜易位系, 下一步将继续对其进行自交, 以获得添加甘蓝小片段染色体的大白菜易位系, 并对该易位系的抗病性及抗虫性进行鉴定, 为大白菜抗病虫育种提供优异种质资源。

## References

- Cao Qing-he, Chen Jin-feng, Qian Chun-tao. 2005. Identification and characterization of a cucumber alien translocation line CT-01 possessing resistance to downy mildew. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (6): 1098 - 1101. (in Chinese)
- 曹清河, 陈劲枫, 钱春桃. 2005. 黄瓜抗霜霉病异源易位系 CT-01 的筛选与鉴定. *园艺学报*, 32 (6): 1098 - 1101.
- Chen Sheng-wei, Chen Pei-du, Wang Xiu-e. 2008. Using ionizing radiation induce the mature female gametes of the whole arm translocation lines to get small segments translocation of exogenous chromosomes. *Science in China: C*, 38 (3): 215 - 220. (in Chinese)
- 陈升位, 陈佩度, 王秀娥. 2008. 利用电离辐射处理整臂易位系成熟雌配子诱导外源染色体小片段易位. *中国科学: C 辑*, 38 (3): 215 - 220.
- Gu Ai-xia, Zheng Bao-zhi, Wang Yan-hua, Xuan Shu-xin, Luo Shuang-xia, Shen Shu-xing. 2009. Obtaining and studies of Chinese cabbage monosomic alien addition line with chromosome 3 of cabbage. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (1): 39 - 44. (in Chinese)
- 顾爱侠, 郑宝智, 王彦华, 轩淑欣, 罗双霞, 申书兴. 2009. 附加甘蓝 3 号染色体的大白菜单体异附加系的获得与研究. *园艺学报*, 36 (1): 39 - 44.
- Guo Si-bin, Wei Yu, Li Xiao-qiong, Liu Kai-qiang, Huang Feng-kuan, Chen Cai-hong, Gao Guo-qing. 2013. Development and identification of introgression lines from cross of *Oryza sativa* and *Oryza minuta*. *Rice Science*, 20 (2): 95 - 102.
- Han Xiao-yun, Kang Chuan-hong, Zheng Tian-ran, Guo De-dong, Wang Gui-zhi. 2002. Selection on *Beta vulgaris* translocation lines with the fragment of chromosome from *Beta corolliflora* Zoss. *Bulletin of Botanical Research*, 22 (4): 459 - 462. (in Chinese)
- 韩晓云, 康传红, 郑天然, 郭德栋, 王桂芝. 2002. 带有白花甜菜染色体片段的栽培甜菜易位系的筛选. *植物研究*, 22 (4): 459 - 462.
- Hiroki Ikeda, Masahiro Hirage, Kenta Shirasawa, Manabu Nishiyama, Koki Kanahama, Yoshinori Kanayama. 2013. Analysis of a tomato introgression line, IL8-3, with increased Brix content. *Scientia Horticulturae*, 153: 103 - 108.
- Hu Yong-xia, Li Xiao-feng, Xuan Shu-xin, Shen Shu-xing, Wang Yan-hua. 2014. Obtaining of one Chinese cabbage - cabbage translocation line by microspore culture. *Acta Horticulturae Sinica*, 41 (7): 1361 - 1368. (in Chinese)
- 胡永霞, 李晓峰, 轩淑欣, 申书兴, 王彦华. 2014. 利用小孢子培养创建大白菜—结球甘蓝易位系. *园艺学报*, 41 (7): 1361 - 1368.
- Li Gui-ping, Chen Pei-du, Zhang Rui-qi, Wang Chun-mei, Cao Ai-zhong, Zhang Shou-zhong. 2007. Transmission of 6VS/6AL chromosome through gametes and its genetic stability in different genetic background. *Journal of Triticeae Crops*, 27 (2): 183 - 187. (in Chinese)
- 李桂萍, 陈佩度, 张瑞奇, 王春梅, 曹爱忠, 张守忠. 2007. 小麦—簇毛麦 6VS/6AL 易位染色体在不同小麦背景中的遗传稳定性及其在配子中的传递. *麦类作物学报*, 27 (2): 183 - 187.
- Li Rui-fen, Zhao Mao-lin, Zhang Jing-yuan, Yang Hai-tao. 2006. Creating homozygous wheat - *Thinopyrum* intermedium translocation lines by monosomic addition line. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 26 (1): 28 - 32. (in Chinese)
- 李瑞芬, 赵茂林, 张敬原, 杨海涛. 2006. 单体异附加系花药培养创制小麦—中间偃麦草纯合易位系. *西北植物学报*, 26 (1): 28 - 32.



- Liu Bo, Wang Yan, Zhai Wen, Deng Jie, Wang Hui, Cui Yang, Cheng Feng, Wang Xiao-wu, Wu Jian. 2013. Development of InDel markers for *Brassica rapa* based on whole-genome re-sequencing. *Theor Appl Genet*, 126 (1): 231 - 239.
- Liu Wei, Shen Shu-xing, Wang Yan-hua, Zhang Cheng-he, Xuan Shu-xin, Chen Xue-ping, Li Xiao-feng, Luo Shuang-xia. 2008. A study on obtainment and identification of Chinese cabbage - cabbage addition lines. *Acta Horticulturae Sinica*, 35 (2): 207 - 212. (in Chinese)
- 刘 伟, 申书兴, 王彦华, 张成合, 轩淑欣, 陈雪平, 李晓峰, 罗双霞. 2008. 大白菜—甘蓝异附加系的获得与鉴定. *园艺学报*, 35 (2): 207 - 212.
- Liu Wen-xuan, Yue Jin, Matthew Rouse, Bernd Friebe, Bikram Gill, Michael O Pumphrey. 2011. Development and characterization of wheat - *Ae. Searsii* Robertsonian translocations and a recombinant chromosome conferring resistance to stem rust. *Theor Appl Genet*, 122: 1537 - 1545.
- Liu Zhong-yuan, Jia Li-guo, Wang Han, He Yu-ke. 2011. *HYL1* regulates the balance between adaxial and abaxial identity for leaf flattening via miRNA-mediated pathways. *Journal Experimental Botany*, 62 (12): 4367 - 4381.
- Lü Wen-xin, Wang Yan-hua, Zhao Jian-jun, Gu Ai-xia, Li Yan-xia, Guan Zhi-kun, Wen Xiao-ying, Shen Shu-xing. 2011. Generation and identification of Chinese cabbage - cabbage disomic alien addition line. *Acta Horticulturae Sinica*, 38 (7): 1275 - 1282. (in Chinese)
- 吕文欣, 王彦华, 赵建军, 顾爱侠, 李艳霞, 管志坤, 闻晓英, 申书兴. 2011. 大白菜—结球甘蓝 1 号染色体二体异附加系的获得与鉴定. *园艺学报*, 38 (7): 1275 - 1282.
- Shang Shao-chuan, Wang Yan-hua, Li Xiao-feng, Shen Shu-xing. 2012. Obtaining and studies of translocation lines from Chinese cabbage - cabbage monosomic addition lines 1# by irradiation. *Sciencepaper Online*. (in Chinese)
- 商少川, 王彦华, 李晓峰, 申书兴. 2012. 辐射诱变大白菜—结球甘蓝 1 号单体异附加系获得易位系研究. *中国科技论文在线*.
- Shen Shu-xing, Zhao Qian-cheng, Liu Shi-xiong, Zhang Cheng-he, Li Zhen-qi, Wang Yan-hua, Ren Qing, Wang Mei, Shang Ai-qin. 1999. Plant regeneration from isolated microspore culture of autotetraploid Chinese cabbage. *Acta Horticulturae Sinica*, 26 (4): 232 - 237. (in Chinese)
- 申书兴, 赵前程, 刘世雄, 张成合, 李振秋, 王彦华, 任 清, 王 梅, 尚爱芹. 1999. 四倍体大白菜小孢子植株的获得与倍性鉴定. *园艺学报*, 26 (4): 232 - 237.
- Whelan E D, Conner P R L, Thomas J B. 1986. Transmission of a wheat alien chromosome translocation with resistance to the wheat curlmite in common wheat, *Triticum aestivum* L. *Canada Journal of Genetics Cytology*, 28: 294 - 297.
- Xin Zhi-yong, Xu Hui-jun, Chen Xiao, Lin Zhi-shan, Zhou Guang-he, Qian You-ting, Cheng Zhuo-min, Larkin P J, Banks P, Appels R, Clarke B, Brettell R I S. 1991. Development of common wheat germplasm resistant to barley yellow dwarf virus by biotechnology. *Science in China: B*, 34 (1): 1055 - 1062. (in Chinese)
- 辛志勇, 徐惠君, 陈 孝, 林志珊, 周广和, 钱幼亭, 成卓敏, Larkin P J, Banks P, R Appels, Clarke B, Brettell R I S. 1991. 应用生物技术向小麦导入黄矮病抗性的研究. *中国科学: B 辑*, 34 (1): 1055 - 1062.
- Yu Xu-hong, Peng Jie-song, Feng Xian-zhong, Yang Su-xin, Zheng Zhi-ren, Tang Xian-grong, Shen Rui-juan, Liu Ping-lin, He Yu-ke. 2000. Cloning and structural and expressional characterization of *BcpLH* gene preferentially expressed in folding leaf of Chinese cabbage. *Science in China Series: C*, 43 (3): 321 - 329. (in Chinese)
- Zhang Wen-jun, Jing Jian-kang, Hu Han. 1995. The transmission of rye chromosome 6R in wheat background. *Acta Genetica Sinica*, 22 (3): 211 - 216. (in Chinese)
- 张文俊, 景建康, 胡 含. 1995. 黑麦 6R 染色体在小麦背景中的传递. *遗传学报*, 22 (3): 211 - 216.
- Zheng Bao-zhi, Shen Shu-xing, Wang Yan-hua, Chen Xue-ping, Zhang Cheng-he, Xuan Shu-xin, Luo Shuang-xia, Li Xiao-feng. 2008. Production and identification of head cabbage monosomic alien addition lines CO-9-1 in Chinese cabbage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 9 (2): 239 - 242. (in Chinese)
- 郑宝智, 申书兴, 王彦华, 陈雪平, 张成合, 轩淑欣, 罗双霞, 李晓峰. 2008. 大白菜—甘蓝单体异附加系 CO-9-1 的选育与鉴定. *植物遗传资源学报*, 9 (2): 239 - 242.
- Zhu Dong-xu, Wang Yan-hua, Zhao Jian-jun, Liu Bo, Li Xiao-feng, Xuan Shu-xin, Shen Shu-xing. 2014. Establishment and application of specific InDel markers on different linkage groups of cabbage compared with Chinese cabbage. *Acta Horticulturae Sinica*, 41 (8): 1699 - 1706. (in Chinese)
- 朱东旭, 王彦华, 赵建军, 刘 博, 李晓峰, 轩淑欣, 申书兴. 2014. 结球甘蓝相对于大白菜连锁群特异 InDel 标记的建立及应用. *园艺学报*, 41 (8): 1699 - 1706.