

圆叶型菜心核基因雄性不育系转育研究

周 鹏,冯 辉,王 慧,王玉刚

(沈阳农业大学 园艺学院,辽宁 沈阳 110866)

【摘要】 【目的】解决圆叶型菜心核基因雄性不育系的选育和利用难题。【方法】以复等位基因遗传的柳叶型菜心核基因雄性不育系“GMS201”为不育源,在测交鉴定基因型的基础上,采用回交法转育性状,向圆叶型菜心品系“奇2”中转育核不育基因。【结果】育成了不育株率 and 不育度均为100%且园艺学性状与“奇2”相近的新核不育系“GMS202”;新不育系克服了不育源材料“GMS201”花蕾条纹状白化和结籽不良的缺陷,并用其配制出2个强优势组合。【结论】用本试验设计的核不育系转育方案,可以实现菜心雄性不育性和其他园艺学性状的同时转育。

【关键词】 菜心;核基因雄性不育系;转育

【中图分类号】 S634.503+.6

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)09-0087-08

Study on breeding for a genic male sterile line of round-leaf Flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee)

ZHOU Peng, FENG Hui, WANG Hui, WANG Yu-gang

(College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China)

Abstract: 【Objective】 The study was done in order to solve the problems in the transfer and utilization of genic male sterile line in Flowering Chinese cabbage. 【Method】 A multiple allele inherited genic male sterile line of willow-leaf Flowering Chinese cabbage, GMS201, was used as source of male sterility, and a round-leaf Flowering Chinese cabbage, “Qi 2”, was used as target strain. Backcross was applied to transfer the male sterile gene based on genotype identification though test-crossing. 【Result】 A round-leaf genic male sterile line, GMS202 with 100% of male sterile plants and 100% of male sterility, which was similar to “Qi 2” in horticultural characteristics, was obtained. The new male sterile line has normal seed production ability without the defects of banded albinism in the flower bud. Two excellent hybrids were developed by the new male sterile. 【Conclusion】 The male sterility and other horticultural characteristics in Flowering Chinese cabbage could be transferred simultaneously based on the method designed in the research.

Key words: Flowering Chinese cabbage; genetic male sterile line; breeding

菜心 (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee) 为十字花科芸薹属芸薹种蔬菜作物,以花薹和嫩叶为产品器官,是我国华南地区主栽蔬菜作物之一。由于未能开发出适宜的杂交制种方法,菜心的杂种优势迄今未能得到很地好利用,

生产上应用的几乎都是常规品种^[1-3]。许明等^[4]、刘自珠等^[5]、赵利民等^[6-7]曾尝试转育大白菜和甘蓝型油菜的雄性不育细胞质,但转成的不育系或是由于不育性不稳定,或是因伴生有黄化和结籽不良等不良性状^[8],所以至今未能在杂交制种上得到应用。

* [收稿日期] 2010-01-30

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30671414);国家“863”高新技术研究与发展计划项目(2006AA10Z170)

[作者简介] 周 鹏(1983—),男,河南商丘人,在读硕士,主要从事十字花科植物遗传育种研究。E-mail:zp2003vivazp@163.com

[通信作者] 冯 辉(1961—),男,辽宁沈阳人,教授,博士生导师,主要从事蔬菜遗传育种研究。E-mail:fenghuiaaa@263.net

多数研究者认为利用自交不亲和系配制菜心一代杂种是比较有效和实用的手段,但由于菜心的自交不亲和性不够稳定而难以利用^[9]。

冯辉等^[10]于 1995 年在大白菜中发现的细胞核复等位基因型雄性不育材料,具有不育株率和不育度均达到 100% 且无不良性状伴生等优点,受到了育种工作者的广泛关注。为了扩大该类不育材料的应用范围,一些学者采用有性杂交法,将不育基因转入多种生态型的大白菜、小白菜和奶白菜中,育成了新的核不育系^[11-15]。许明等^[16-17]、王玉刚等^[18]和刘镜等^[19]分别以大白菜核复等位基因型雄性不育系为不育源,转育成了菜心核基因雄性不育系,但由于用其试配的杂交组合整齐性差、经济性状不良,因而并未在生产上得到应用。李石等^[20]和张秀荣等^[21]报道转育出了经济性状优异的菜心雄性不育“两用系”和“临时保持系”,但迄今未见用其配成不育系的报道。

本试验以本项研究前期转育成的柳叶型菜心核不育系“GMS201”为不育源,设计定向转育方案,向圆叶型菜心品系“奇 2”中转育核不育基因,育成了不育株率和不育度均为 100%、园艺学性状与“奇 2”相近的菜心核基因雄性不育系,现将研究结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 不育源 沈阳农业大学育成的柳叶型菜心核不育系“GMS201”及其相应的两用系“AB201”和临时保持系“B201”。

1.1.2 转育目标品系 圆叶型菜心品系“奇 2”,来自广东省农业科学院。

1.1.3 自交系 自交系 D1(“四季油青”)、自交系 D2(“019 菜心”)、自交系 D3(“粗条矮脚 80 天”)、自交系 D4(“油青矮脚 70 天甜菜心”)和自交系 D5(“菜富城 8 号甜菜心”),以及品种比较试验中的对照品种“新-2”,均来自广东省农业科学院。

1.2 方法

试验于 2006—2009 年在沈阳农业大学蔬菜遗传育种试验基地进行。

根据核复等位基因型雄性不育的遗传特性,首先鉴定转育目标品系的基因型,然后设计定向转育方案,采用杂交、回交和测交方法,转育核不育基因及其他性状,鉴定基因型。

利用转育成的不育系试配杂交组合,进行品种

比较试验。随机区组设计,3 次重复,小区面积 1.8 m²,每小区 60 株。

样本容量按公式 $n \geq \lg(0.01)/\lg(1-p)$ 计算,其中 p 为目标基因发生概率;适合性测验按公式 $\chi^2 = [A - ra - (r+1)/2]^2 / rn$ 计算,其中 A 和 a 分别为显性组和隐性组的实际观察次数, $n(n=A+a)$ 为总次数, r 为理论分离比率。

2 结果与分析

2.1 核复等位基因型雄性不育的遗传特性

试验所用的柳叶型菜心核不育系“GMS201”及其两用系“AB201”和临时保持系“B201”的不育性属于复等位基因遗传。根据“核基因雄性不育复等位基因遗传假说”^[10],其不育性与细胞核 1 个位点的 3 个基因有关。其中 M_s 为显性不育基因, m_s 为 M_s 的等位隐性可育基因, M_s^f 为 M_s 的等位显性恢复基因,三者之间的显隐关系为 $M_s^f > M_s > m_s$ 。具有 100% 不育株率的雄性不育系,是由雄性不育“两用系”的不育株与“临时保持系”杂交得到的。“两用系”不育株基因型为 $M_s M_s$,可育株为 $M_s^f M_s$,其通过不育株与可育株兄妹交繁殖($M_s M_s \times M_s^f M_s \rightarrow 1/2 M_s M_s, 1/2 M_s^f M_s$);“临时保持系”基因型为 $m_s m_s$ 。用“两用系”不育株($M_s M_s$)与“临时保持系”($m_s m_s$)交配,便可获得具有 100% 不育株率的雄性不育系($M_s M_s \times m_s m_s \rightarrow M_s m_s$)。

2.2 核不育系的转育

2.2.1 转育目标品系基因型的鉴定 一般可育品系在核不育位点上的基因型有 3 种: $M_s^f M_s^f$ 、 $M_s^f m_s$ 和 $m_s m_s$ 。用雄性不育“两用系”的不育株($M_s M_s$)与转育目标品系杂交,根据后代育性分离比率可以鉴定其基因型,即有:

$$M_s M_s \times \begin{cases} M_s^f M_s^f \rightarrow M_s^f M_s, \text{全可育}; \\ M_s^f m_s \rightarrow M_s^f M_s, M_s m_s, 1:1 (\text{可育}: \text{不育}); \\ m_s m_s \rightarrow M_s m_s, \text{全不育}。 \end{cases}$$

以柳叶型菜心“两用系”的不育株“AB201”($M_s M_s$)为母本,与转育目标品系“奇 2”杂交,获得的 92 株 F_1 植株全部为可育株,说明“奇 2”的基因型为 $M_s^f M_s^f$ 。

2.2.2 转育遗传模式 以柳叶型菜心核不育系“GMS201”($M_s m_s$)为不育源,转育“奇 2”菜心($M_s^f M_s^f$)核不育系的遗传模式见图 1。

2.2.3 转育结果 首先以“GMS201”($M_s m_s$)为母本与“奇 2”($M_s^f M_s^f$)杂交,获得 F_1 。选取 7 株 F_1 ($M_s^f M_s$ 或 $M_s^f m_s$)与临时保持系“B201”($m_s m_s$)测

交,鉴定所选 F₁ 植株的基因型。同时,用这 7 株 F₁ 定结果见表 1。
与“奇 2”回交,获得回交一代(BC₁)。F₁ 基因型鉴

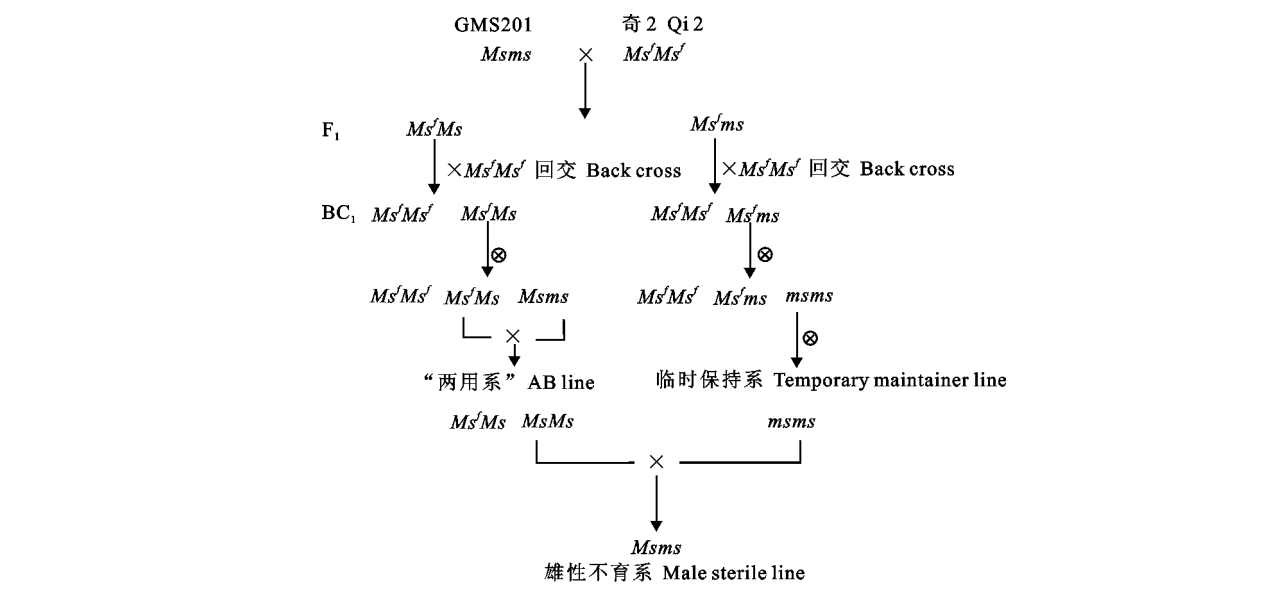


图 1 菜心核复等位基因型雄性不育系定向转育遗传模式

Fig. 1 Genetic model for directional transfer of the multiple-allele male sterile line in Flowering Chinese cabbage

表 1 柳叶型菜心核不育系“GMS201”与可育品系“奇 2”杂交 F₁ 基因型的鉴定

Table 1 Genotype identification of F₁ from “GMS201×Qi 2” in Flowering Chinese cabbage

代号 Code	杂交组合 Combination		可育株/不育株 Fertile plant/ Sterile plant	理论分离比率(χ ² 值) Theoretical ratio (χ ² value)	F ₁ 基因型 F ₁ genotype
F ₁ -T1	B201×(GMS201×奇 2)-1	B201×(GMS201×Qi 2)-1	14 : 11	1 : 1(0.160)	Ms ^f Ms
F ₁ -T2	B201×(GMS201×奇 2)-2	B201×(GMS201×Qi 2)-2	30 : 0	全可育 Fertile	Ms ^f ms
F ₁ -T3	B201×(GMS201×奇 2)-3	B201×(GMS201×Qi 2)-3	32 : 0	全可育 Fertile	Ms ^f ms
F ₁ -T4	B201×(GMS201×奇 2)-4	B201×(GMS201×Qi 2)-4	15 : 16	1 : 1(0.000)	Ms ^f Ms
F ₁ -T5	B201×(GMS201×奇 2)-5	B201×(GMS201×Qi 2)-5	25 : 0	全可育 Fertile	Ms ^f ms
F ₁ -T6	B201×(GMS201×奇 2)-6	B201×(GMS201×Qi 2)-6	31 : 0	全可育 Fertile	Ms ^f ms
F ₁ -T7	B201×(GMS201×奇 2)-7	B201×(GMS201×Qi 2)-7	16 : 13	1 : 1(0.138)	Ms ^f Ms

注:F₁-T1 为杂交 1 代测交植株第 1 株,其他类推。χ_{0.05,1}²=3.841。
Note:F₁-T1 represents the first test-crossing plant of F₁, the others analogize. χ_{0.05,1}²=3.841。
根据 F₁ 测交后代的育性分离比率,从 BC₁ 中 系“GMS201”测交,鉴定 BC₁ 植株的基因型,所得结
分别选取 F₁ 基因型为 Ms^fMs (F₁-T4) 和 Ms^fms 果见表 2。同时,对 BC₁ 所选植株进行自交。BC₁
(F₁-T3)所对应的群体,每群体再各选 7 株,与不育 植株自交后代的育性分离比率见表 3。

表 2 菜心回交 1 代入选植株基因型的鉴定

Table 2 Genotype identification of selected plants in BC₁ in Flowering Chinese cabbage

代号 Code	杂交组合 Combination	可育株/不育株 Fertile plant/ Sterile plant	理论分离比率(χ ² 值) Theoretical ratio (χ ² value)	基因型 Genotype
BC ₁ -A1	GMS201×((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-1 GMS201×((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-1	38 : 0	全可育 Fertile	Ms ^f ms, Ms ^f Ms
BC ₁ -A2	GMS201×((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-2 GMS201×((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-2	18 : 16	1 : 1(0.029)	Ms ^f ms, Ms ^f Ms, MsMs, Msms
BC ₁ -A3	GMS201×((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-3 GMS201×((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-3	13 : 19	1 : 1(0.781)	Ms ^f ms, Ms ^f Ms, MsMs, Msms
BC ₁ -A4	GMS201×((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-4 GMS201×((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-4	22 : 12	1 : 1(2.382)	Ms ^f ms, Ms ^f Ms, MsMs, Msms
BC ₁ -A5	GMS201×((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-5 GMS201×((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-5	30 : 0	全可育 Fertile	Ms ^f ms, Ms ^f Ms
BC ₁ -A6	GMS201×((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-6 GMS201×((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-6	36 : 0	全可育 Fertile	Ms ^f ms, Ms ^f Ms

续表 2 Continued table 2

代号 Code	杂交组合 Combination	可育株/不育株 Fertile plant/ Sterile plant	理论分离比率(χ^2 值) Theoretical ratio (χ^2 value)	基因型 Genotype
BC ₁ -A7	GMS201×((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-7 GMS201×((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-7	10 : 12	1 : 1(0.045)	$Ms^fms, Ms^fMs, MsMs, Msms$
BC ₁ -B1	GMS201×((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-1 GMS201×((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-1	31 : 0	全可育 Fertile	Ms^fms, Ms^fMs
BC ₁ -B2	GMS201×((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-2 GMS201×((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-2	26 : 0	全可育 Fertile	Ms^fms, Ms^fMs
BC ₁ -B3	GMS201×((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-3 GMS201×((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-3	26 : 6	3 : 1(0.375)	$Ms^fMs, Ms^fms, msms, Msms$
BC ₁ -B4	GMS201×((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-4 GMS201×((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-4	36 : 0	全可育 Fertile	Ms^fms, Ms^fMs
BC ₁ -B5	GMS201×((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-5 GMS201×((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-5	28 : 8	3 : 1(0.037)	$Ms^fMs, Ms^fms, msms, Msms$
BC ₁ -B6	GMS201×((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-6 GMS201×((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-6	36 : 0	全可育 Fertile	Ms^fms, Ms^fMs
BC ₁ -B7	GMS201×((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-7 GMS201×((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-7	25 : 12	3 : 1(0.730)	$Ms^fMs, Ms^fms, msms, Msms$

注:BC₁-A1 为回交 1 代“两用系”转育方向测交植株第 1 株;BC₁-B1 为回交 1 代“临时保持系”转育方向测交植株第 1 株;其他类推。
 $\chi^2_{0.05,1}=3.841$ 。

Note:BC₁-A1 represents the first test-crossing plant of the transferring directions of the “AB line” in BC₁;BC₁-B1 represents the first test-crossing plant of the transferring directions of the “maintainer line” in BC₁;the others analogize. $\chi^2_{0.05,1}=3.841$.

表 3 菜心回交 1 代植株自交后代的育性分离比率

Table 3 Fertility expression of progenies from BC₁ selfing in Flowering Chinese cabbage

代号 Code	杂交组合 Combination	可育株/不育株 Fertile plant/ Sterile plant	理论分离比率(χ^2 值) Theoretical ratio (χ^2 value)	基因型 Genotype
A1	((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-1⊗ ((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-1⊗	37 : 0	全可育 Fertile	Ms^fMs^f
A2	((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-2⊗ ((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-2⊗	26 : 8	3 : 1(0.000)	$Ms^fMs^f, Ms^fMs, MsMs$
A3	((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-3⊗ ((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-3⊗	18 : 10	3 : 1(1.190)	$Ms^fMs^f, Ms^fMs, MsMs$
A4	((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-4⊗ ((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-4⊗	34 : 13	3 : 1(0.064)	$Ms^fMs^f, Ms^fMs, MsMs$
A5	((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-5⊗ ((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-5⊗	50 : 0	全可育 Fertile	Ms^fMs^f
A6	((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-6⊗ ((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-6⊗	50 : 0	全可育 Fertile	Ms^fMs^f
A7	((GMS201×奇 2)-4×奇 2)-7⊗ ((GMS201×Qi 2)-4×Qi 2)-7⊗	32 : 9	3 : 1(0.073)	$Ms^fMs^f, Ms^fMs, MsMs$
B1	((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-1⊗ ((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-1⊗	26 : 0	全可育 Fertile	$Ms^fMs^f, Ms^fms, msms$
B2	((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-2⊗ ((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-2⊗	29 : 0	全可育 Fertile	$Ms^fMs^f, Ms^fms, msms$
B3	((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-3⊗ ((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-3⊗	30 : 0	全可育 Fertile	$Ms^fMs^f, Ms^fms, msms$
B4	((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-4⊗ ((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-4⊗	27 : 0	全可育 Fertile	$Ms^fMs^f, Ms^fms, msms$
B5	((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-5⊗ ((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-5⊗	31 : 0	全可育 Fertile	$Ms^fMs^f, Ms^fms, msms$
B6	((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-6⊗ ((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-6⊗	23 : 0	全可育 Fertile	$Ms^fMs^f, Ms^fms, msms$
B7	((GMS201×奇 2)-3×奇 2)-7⊗ ((GMS201×Qi 2)-3×Qi 2)-7⊗	29 : 0	全可育 Fertile	$Ms^fMs^f, Ms^fms, msms$

注:A1 为回交 1 代“两用系”转育方向第 1 株自交;B1 为回交 1 代“临时保持系”转育方向第 1 株自交;其他类推。 $\chi^2_{0.05,1}=3.841$ 。
Note:A1 represents the first self-crossing plant of the transferring directions of the “AB line” in BC₁;B1 represents the first self-crossing plant of the transferring directions of the “maintainer line” in BC₁;the others analogize. $\chi^2_{0.05,1}=3.841$.

选取表 3 中的“A4”自交后代的不育株 2/3 Ms^fMs)兄妹交,筛选雄性不育“两用系”,结果
($MsMs$),与同一系统内的 5 株可育株(1/3 Ms^fMs^f , 见表 4。

表 4 菜心回交 1 代甲型“两用系”的测配结果

Table 4 Test cross result of the “AB line” in BC₁ in Flowering Chinese cabbage

杂交组合 Combination	可育株/不育株 Fertile plant/Sterile plant	理论分离比率(χ^2 值) Theoretical ratio (χ^2 value)	基因型 Genotype
(A4-s×A4)-f1	39 : 0	全可育 Fertile	M_s^f/M_s
(A4-s×A4)-f2	17 : 16	1 : 1(0.000)	$M_s^f/M_s, M_sM_s$
(A4-s×A4)-f3	36 : 0	全可育 Fertile	M_s^f/M_s
(A4-s×A4)-f4	12 : 16	1 : 1(0.321)	$M_s^f/M_s, M_sM_s$
(A4-s×A4)-f5	21 : 18	1 : 1(0.103)	$M_s^f/M_s, M_sM_s$

注:A4-s 为回交 1 代“两用系”转育方向植株自交分离出的不育株,f1 为其可育株第 1 个植株,其他类推。 $\chi_{0.05,1}^2=3.841$ 。
Note:A4-s×A1 represents sterile plants separated from the first self-crossing plants of the transferring directions of the “AB line” in BC₁, f1 represents the first fertile plant,the other analogize. $\chi_{0.05,1}^2=3.841$.

由表 4 可知,杂交组合“(A4-s×A4)-f2”、“(A4-s×A4)-f4”和“(A4-s×A4)-f5”的后代可育株与不育株按 1 : 1 分离(1/2 M_s^f/M_s ,1/2 M_sM_s),其为新的雄性不育“两用系”。

选取表 3 中‘B5’自交后代的 15 株可育株(1/4 $M_s^fM_s^f$ 、2/4 M_s^fms 、1/4 $msms$)与‘A4’分离出的不育株杂交,筛选‘临时保持系’,结果见表 5。

表 5 菜心回交 1 代临时保持系的测配结果

Table 5 Test cross result of the maintainer line in BC₁ in Flowering Chinese cabbage

杂交组合 Combination	可育株/不育株 Fertile plant/Sterile plant	理论分离比率(χ^2 值) Theoretical ratio (χ^2 value)	基因型 Genotype
A4-s×B5-1	0 : 33	全不育 Sterile	$Msms$
A4-s×B5-2	35 : 0	全可育 Fertile	M_s^f/M_s
A4-s×B5-3	0 : 30	全不育 Sterile	$Msms$
A4-s×B5-4	38 : 0	全可育 Fertile	M_s^f/M_s
A4-s×B5-5	38 : 0	全可育 Fertile	M_s^f/M_s
A4-s×B5-6	16 : 16	1 : 1(0.031)	$M_s^f/M_s, Msms$
A4-s×B5-7	12 : 15	1 : 1(0.148)	$M_s^f/M_s, Msms$
A4-s×B5-8	0 : 33	全不育 Sterile	$Msms$
A4-s×B5-9	40 : 0	全可育 Fertile	M_s^f/M_s
A4-s×B5-10	18 : 17	1 : 1(0.000)	$M_s^f/M_s, Msms$
A4-s×B5-11	18 : 13	1 : 1(0.516)	$M_s^f/M_s, Msms$
A4-s×B5-12	21 : 15	1 : 1(0.694)	$M_s^f/M_s, Msms$
A4-s×B5-13	38 : 0	全可育 Fertile	M_s^f/M_s
A4-s×B5-14	0 : 37	全不育 Sterile	$Msms$
A4-s×B5-15	19 : 17	1 : 1(0.028)	$M_s^f/M_s, Msms$

注:“A4-s×B5-1”表示“两用系”转育方向 BC₁ 第 4 株自交分离出的不育株,与“临时保持系”转育方向 BC₁ 第 5 株自交后代的 1 号植株杂交,其他类推。 $\chi_{0.05,1}^2=3.841$ 。
Note:“A4-s×B5-1” represents sterile plants separated from hybrid progeny between the fourth self-crossing plants of the transferring directions of the “AB line” in BC₁ and the first plant from self-crossed progeny of the fifth plant of the transferring directions of the “maintainer line” in BC₁,the others analogize. $\chi_{0.05,1}^2=3.841$.

由表 5 可知,“B5-1”、“B5-3”、“B5-8”和“B5-14”与“两用系”转育方向分离出的不育株杂交,后代全不育,说明其自交后代即为新的“临时保持系”;而“A4-s×B5-1”、“A4-s×B5-3”、“A4-s×B5-8”和“A4-s×B5-14”即为新的雄性不育系,将其中的 1 个不育系“A4-s×B5-1”命名为“GMS202”。“GMS202”的不育度和不育株率均为 100%,并且克服了原来的柳叶型菜心不育系“GMS201”花器官白化的缺陷,其雄蕊以外的其他花器官发育正常,制种性能良好。

2.3 菜心新不育系“GMS202”的性状鉴定

对回交转育成的新不育系“GMS202”、原不育系“GMS201”和转育亲本“奇 2”的植物学性状进行

鉴定,结果见表 6。由表 6 可知,新转育成的不育系“GMS202”与转育亲本“奇 2”的植物学性状相近,而与不育源材料“GMS201”有较大差异。

用原不育系“GMS201”和新不育系“GMS202”作母本,与用“油青矮脚 70 天甜菜心”选出的自交系“I70”杂交,配制 F₁ 组合,调查各组合植物学性状的变异系数,结果见图 2。由图 2 可知,由新不育系配制的杂交组合“GMS202×I70”的植物学性状的变异系数,较原不育系配制的杂交组合“GMS201×I70”小,而与自交系“I70”接近,说明用新不育系配成的杂交组合整齐度较高。

表 6 菜心雄性不育系的植物学性状

Table 6 Major botanical characters of the male sterile lines in Flowering Chinese cabbage							cm
试材 Material	薹高 Stalk height	薹基粗 Bottom stalk diameter	薹中粗 Middle stalk diameter	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	叶柄长 Petiole length	叶柄宽 Petiole width
GMS201	18.0	1.95	0.87	19.25	8.80	3.53	1.43
GMS202	19.5	1.79	1.35	14.95	10.55	0.77	1.35
奇 2 Qi 2	20.3	1.68	1.40	12.80	11.60	0.20	1.25

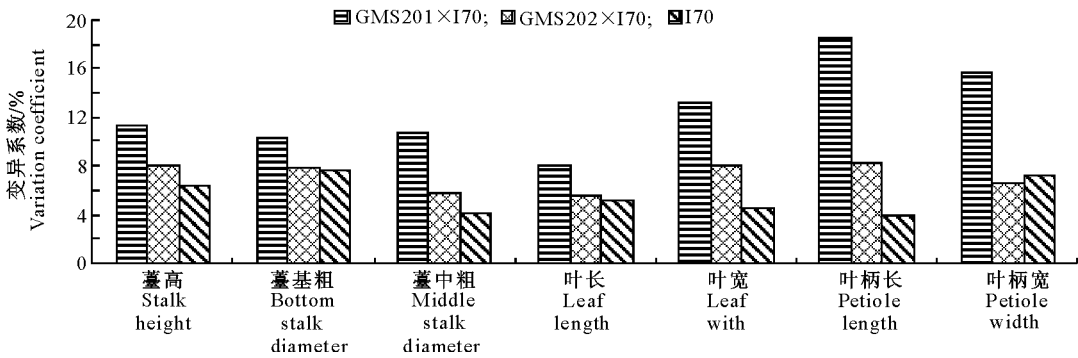


图 2 菜心杂交组合植物学性状变异系数的比较

Fig. 2 Variation coefficients of the hybrid combinations in botanical characters in Flowering Chinese cabbage

2.4 菜心杂交组合试配结果

等 5 个自交系配制杂交组合,以“新-2”菜心为对照,以“GMS202”为母本,与 D1、D2、D3、D4 和 D5 进行品种比较试验,结果见表 7。

表 7 菜心杂交组合品比试验小区产量差异的比较

Table 7 Yield of hybrids of Flowering Chinese cabbage in comparative experiment plot				kg
组 合 Combination	重复 Repeat			平均值 Mean value
	I	II	III	
GMS202×D3	5.46	5.64	4.92	5.34 Aa
GMS202×D5	4.92	4.38	4.80	4.70 Ab
GMS202×D4	3.12	2.88	2.76	2.92 Bc
GMS202×D2	2.82	3.12	2.40	2.78 Bc
GMS202×D1	2.76	2.52	3.00	2.76 Bc
新-2 Xin-2	2.22	2.76	2.64	2.54 BC

注:同列数据后标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$),标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different capital letters labeled after data in same column represent extremely significant difference ($P<0.01$), lowercase means significant difference ($P<0.05$).

由表 7 可以看出,“GMS202 × D3”和“GMS202×D5”2 个组合的产量极显著高于对照品种“新-2”及其他组合,分别较“新-2”增产 52%和 46%。2 个组合的叶片及花茎亮绿、表面无蜡粉,花薹粗壮,叶片卵圆形,杂种优势十分显著,从播种至采收需 40 d 左右。

3 讨 论

通过有性杂交转育雄性不育基因,是多种农作物获得雄性不育系的有效方法。本试验设计的转育方案,目的是获得与待转育品系园艺学性状相近的雄性不育系,只有选用配合力高、园艺性状好、抗病性强的材料,才能获得优异的雄性不育系。本试验

选用的转育目标品系“奇 2”是当前生产中应用的优异品系,用其转育成的新不育系“GMS202”的园艺学性状与“奇 2”相近,具有较广阔的应用前景。

前人以大白菜核复等位基因型雄性不育系为不育源,转育获得了菜心核不育系^[16-19],由于其只通过 1 次杂交完成了不育基因转育,其植物学性状介于大白菜和菜心之间,用其配制的杂交种整齐性较差,园艺学性状不良,难以在生产上应用。本试验所用的不育源材料“GMS201”是本项研究前期获得的柳叶型菜心核不育系,具有典型的柳叶菜心性状,但存在花蕾伴生条纹状白化和结籽不良等缺陷,在生产上没有得到应用。本试验设计菜心核复等位基因型雄性不育系定向转育方案,通过有性杂交转育有关

的不育基因,再通过回交转育园艺学性状,实现了不育基因和园艺学性状的同时转育,获得了与转育目标品系性状相近的卵圆型菜心核不育系,克服了原不育系花蕾白化和结籽不良等缺陷。用新不育系配制的杂交组合整齐度高,解决了该类不育系转育和利用的难题,转育方法可为同类研究提供参考。

4 结 论

本试验设计的菜心核复等位基因型雄性不育系定向转育方案,将柳叶型菜心“GMS201”的核不育基因成功地转入圆叶型菜心可育品系“奇2”中,育成了不育株率 and 不育度均为100%的圆叶型菜心核不育系“GMS202”,实现了不育性和其他园艺学性状的同时转育。

新不育系“GMS202”与转育目标品系“奇2”的园艺学性状相近,且克服了不育源材料“GMS201”花蕾白化、结籽不良的缺陷。本研究用其配制出了2个强优势杂交组合,说明其具有较大的应用潜力。

[参考文献]

- [1] 张衍荣. 菜心育种现状及展望 [J]. 广东农业科学, 1997(3): 15-16.
Zhang Y R. Current situation and prospects of breeding of Flowering Chinese cabbage [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 1997(3): 15-16. (in Chinese)
- [2] 张 华, 黄红第, 郑岩松, 等. 菜薹(心)新品种油绿50天菜心的选育 [J]. 中国蔬菜, 2005(10/11): 25-26.
Zhang H, Huang H D, Zheng Y S, et al. A new Flowering Chinese cabbage variety-“Youlü 50 tian” [J]. China Vegetables, 2005(10/11): 25-26. (in Chinese)
- [3] 张 华, 刘自株, 刘艳辉, 等. 菜薹(心)新品种早优3号的选育 [J]. 中国蔬菜, 2006(11): 29-30.
Zhang H, Liu Z Z, Liu Y H, et al. A new Flowering Chinese cabbage variety-“Zaoyou No. 3” [J]. China Vegetables, 2006(11): 29-30. (in Chinese)
- [4] 许 明, 魏毓棠. 萝卜胞质白菜雄性不育系向菜心品种转育的研究 [C]//中国园艺学第六届青年学术讨论会. 西安: 陕西科学技术出版社, 2004: 554-559.
Xu M, Wei Y T. Transfer radish sterile cytoplasm to (var. *parachinensis* (Bailey) Tsen et Lee) [C]//The Sixth Chinese Horticulture Youth Symposium. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2004: 554-559. (in Chinese)
- [5] 刘自株, 张 华, 刘艳辉, 等. 菜心胞质雄性不育系的选育及利用 [J]. 广东农业科学, 1996(5): 13-15.
Liu Z Z, Zhang H, Liu Y H, et al. Breeding and utilization of cytoplasmic male sterile in Flowering Chinese cabbage [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 1996(5): 13-15. (in Chinese)
- [6] 赵利民, 柯桂兰, 宋胭脂. 菜薹胞质雄性不育系 TC₁₋₃₋₁ 的选育及应用 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33

(3): 76-78.

- Zhao L M, Ke G L, Song Y Z. Breeding of cytoplasmic male sterile line TC₁₋₃₋₁ in flowering chinese and its application [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2005, 33(3): 76-78. (in Chinese)
- [7] 赵利民, 柯桂兰, 宋胭脂. 胞质雄性不育系配制的菜薹新品种“秦薹1号” [J]. 园艺学报, 2002, 29(4): 399.
Zhao L M, Ke G L, Song Y Z. “Qintai 1”-new Flowering Chinese cabbage variety by male sterile line [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(4): 339. (in Chinese)
- [8] 唐文武, 吴秀兰, 李桂花, 等. 菜心杂种优势利用的现状与展望 [J]. 江西农业学报, 2005, 17(2): 73-76.
Tang W W, Wu X L, Li G H, et al. Current situation and prospects of heterosis application of Flowering Chinese cabbage [J]. Acta Agriculture Jiangxi, 2005, 17(2): 73-76. (in Chinese)
- [9] 李桂花, 张衍荣, 曹 健, 等. 雄性不育在十字花科中的研究进展 [J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(2): 181-186.
Li G H, Zhang Y R, Cao J, et al. Application of heterosis of male sterility on cruciferous vegetable [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2003, 25(2): 181-186. (in Chinese)
- [10] 冯 辉. 大白菜核基因雄性不育系遗传假说及其验证 [C]//中国园艺学会. 中国科研第二届青年学术年会园艺学论文集. 北京: 北京农业大学出版社, 1995: 458-466.
Feng H. Genetic models for genic male sterile line of Chinese cabbage and its verification [C]//Horticultural Society of China. Proceedings of Horticulture of the Secondly Youth Science Annual Meeting of China Association for Science and Technology, Horticulture Dissertation. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1995: 458-466. (in Chinese)
- [11] 冯 辉, 王玉刚, 林桂荣, 等. 大白菜细胞核雄性不育基因向小白菜中转育的研究 [J]. 河北科技师范学院学报, 2004(6): 10-13.
Feng H, Wang Y G, Lin G R, et al. Study on changing male sterility gene of Chinese cabbage nucleolus into cabbage breeding [J]. Journal of Hebei Normal University of Science & Technology, 2004(6): 10-13. (in Chinese)
- [12] 岳艳玲, 冯 辉. 核基因雄性不育在不同生态型大白菜间的转育 [J]. 中国蔬菜, 2005(7): 22-23.
Yue Y L, Feng H. Study on transferring genic male sterile line to ovate ecotype of Chinese cabbage [J]. China Vegetables, 2005(7): 22-23. (in Chinese)
- [13] Li C Y, Feng H. Directional transfer of the genic multiple allele inherited male sterile line in Chinese cabbage [J]. African Journal of Agricultural Research, 2009, 4(5): 522-529.
- [14] 李骋宇, 冯 辉. 大白菜细胞核复等位基因型雄性不育系转育研究 [J]. 中国农学通报, 2006(7): 377-379.
Li C Y, Feng H. Transfer of the multiple allele male sterile line in Chinese cabbage [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006(7): 377-379. (in Chinese)
- [15] 许 巍, 冯 辉, 王玉刚. “奶白菜 AI023”品系核基因雄性不育系的定向转育 [J]. 园艺学报, 2007, 34(3): 659-664.
Xu W, Feng H, Wang Y G. Directive transfer of the genetic

male sterile line of Milk Chinese cabbage AI023 [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007, 34(3): 659-664. (in Chinese)

[16] 许 明,魏毓棠. 白菜细胞核雄性不育基因向菜心品种早-49 的转育研究 [J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(2): 165-168.
Xu M, Wei Y T. Introgression of genic male sterile gene of Chinese cabbage into Flowering Chinese cabbage [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(2): 165-168. (in Chinese)

[17] 许 明,李雁雁. 白菜细胞核雄性不育基因向晚熟菜心品种“80 天菜心”的转育 [J]. 西北农学报, 2009, 18(5): 223-227.
Xu M, Li Y Y. Transfer genic male sterile gene of Non-heading Chinese cabbage to Flowering Chinese cabbage “80 days” [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2009, 18(5): 223-227. (in Chinese)

[18] 王玉刚,冯 辉,岳艳玲,等. 菜心核基因雄性不育系转育研究 [J]. 华北农学报, 2006, 21(6): 19-21.
Wang Y G, Feng H, Yue Y L, et al. The transfer of genetic male sterile lines of Flowering Chinese cabbage [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2006, 21(6): 19-21. (in Chinese)

[19] 刘 镜,沈向群,张海楼,等. 菜薹核基因雄性不育系转育研究初报 [J]. 中国蔬菜, 2006(5): 4-6.
Liu J, Shen X Q, Zhang H L, et al. Study on transfer of Tsai-tai (*Brassica caopestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee)GMS [J]. China Vegetables, 2006(5): 4-6. (in Chinese)

[20] 李 石,高灿红,沈向群,等. “油青四九”菜心核基因雄性不育甲型“两用系”的回交选育 [J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(3): 80-84.
Li S, Gao C H, Shen X Q, et al. Study of genic male sterile AB lines type I in the “Youqing si jiu” Flowering Chinese cabbage through back crossing [J]. Journal of China Agricultural University, 2008, 13(3): 80-84. (in Chinese)

[21] 张秀荣,沈向群,张丽楠,等. “油青四九”菜心核基因雄性不育“临时保持系”的回交选育 [J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(4): 47-53.
Zhang X R, Shen X Q, Zhang L N, et al. Study of genic male sterile temporary maintainer line in the “Youqing si jiu” Flowering Chinese cabbage through back crossing [J]. Journal of China Agricultural University, 2009, 14(4): 47-53. (in Chinese)

(上接第 86 页)

[18] Reid M S, Rhodes M J C, Hulme A C. Changes in ethylene and CO₂ during the ripening of apples [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1973, 24: 971-979.

[19] Sfakiotakis E M, Dilley D R. Internal ethylene concentrations in apple fruits attached or detached from the tree [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1973, 98: 501-503.

[20] Smith R B, Loughheed E C, Franklin E W. Ethylene production as an index of maturity for apple fruits [J]. Canada Journal of Plant Science, 1969, 49: 805-807.

[21] Smith R B, Loughheed E C, Franklin E W, et al. The starch iodine test for determining stage of maturation in apples [J]. Canada Journal of Plant Science, 1979, 59: 725-735.