

网络出版时间:2014-06-21 18:03

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.07.032

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.07.032.html

甘蓝型油菜三隐性核不育白花突变材料的 三系选育方法及其遗传分析

段海峰¹,瞿利英^{1,2},孟 倩¹,张 搏¹,黄伟男¹,许 婷¹,康文霞¹,董振生¹

(1 西北农林科技大学 农学院,陕西 杨凌 712100;2 汉中市农业技术推广中心,陕西 汉中 723000)

【摘 要】 【目的】研究甘蓝型油菜三隐性核不育白花突变材料的三系选育,并验证三隐性核不育类型油菜的遗传模式。【方法】从 2004 年陕西省油菜区域试验编号为“8”的材料中发现了 1 株甘蓝型油菜白花突变体单株,自交产生育性分离;通过连续兄妹交筛选优质不育系,同时通过广泛测交筛选临保系和优质恢复系,最后运用临保系与恢复后代测交出现 7:1 的育性分离比的方法来验证三隐性核不育类型油菜的遗传模式。【结果】选育出稳定的白花纯合两型系、白花临保系、白花全不育系及恢复系。在遗传验证中,得到了编号为 h25 的非恢复株,符合自交 61:3、测交 7:1 的分离比例。【结论】实现了白花性状的三系配套,初步证明复等位模式有待进一步商榷。

【关键词】 甘蓝型油菜;三隐性核不育;白花突变;遗传模式;三系选育方法

【中图分类号】 S634.303.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)07-0034-07

Breeding of three lines and genetic analysis of recessive genic male sterile mutation in *Brassica napus* L.

DUAN Hai-feng¹, QU Li-ying^{1,2}, MENG Qian¹, ZHANG Bo¹,
HUANG Wei-nan¹, XU Ting¹, KANG Wen-xia¹, DONG Zhen-sheng¹

(1 College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Agricultural Technology Promotion Center, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

Abstract: 【Objective】 In this study, the breeding of three lines of recessive genic male sterile mutation was built and its genetic mode was verified. 【Method】 A plant with white flower mutation was obtained in number 8 of Shaanxi Province regional trial of *Brassica napus* L. in 2004. Fertility segregation was observed after self-cross. The continuous sib mating cross was performed to screen high quality male sterile lines and extensive test-cross was performed to screen temporary maintainer lines (TAM) and restorer lines. The genetic mode of *Brassica napus* L. with three-recessive genic male sterility was tested based on the use of fertility segregation ratio of 7:1 in the offspring of TAM and restorer lines. 【Result】 Stable homozygous two-type lines, temporary maintainer lines, fully sterile lines with white flowers, and restorer lines were bred. In the genetic verification, a non-restorer line coded h25 was obtained and it had the segregation ratios of 61:3 (self-cross) and 7:1 (test-cross). 【Conclusion】 The genic male sterile line that could be used to realize three lines breeding was bred. Further investigation on allelic mode is needed.

Key words: *Brassica napus* L.; three recessive genic male sterile; white flower mutation; genetic mode; breeding method

〔收稿日期〕 2013-11-18

〔基金项目〕 陕西省科技统筹创新工程项目“主要粮油作物新品种选育”(2011KTZB02-01-03)

〔作者简介〕 段海峰(1987—),男,河北张家口人,在读硕士,主要从事作物杂种优势理论与应用研究。E-mail:759252509@qq.com

〔通信作者〕 董振生(1957—),男,陕西永寿人,研究员,硕士生导师,主要从事油菜遗传育种研究。E-mail:dzs05319@163.com

目前,我国应用于生产的主要是甘蓝型油菜。用于甘蓝型油菜育种的雄性不育核基因材料主要有 3 类。第 1 类是受 2 对显性基因 M_s 和 R_f 互作控制的核不育材料,如李树林等^[1]于 1986 年选育的 23AB;宋来强等^[2]选育的 609AB,同时修正了 609AB 的遗传模式,提出了 1 对复等位基因控制模式。第 2 类是由双隐性基因($ms_1ms_1ms_2ms_2$)控制的核不育材料,如侯国佐等^[3]选育的 117A、李树林等^[4]选育的 S45AB。第 3 类是陈凤祥等于 1991 年发现的一种新的甘蓝型油菜隐性细胞核雄性不育材料 9012A,其育性由 2 对隐性重叠基因和 1 对隐性上位抑制基因互作控制,进而创立了三系杂种利用模式^[5],为油菜核不育杂种优势利用开辟了一条新途径。之后,孙超才等^[6]选育的 20118A、王军等^[7]选育的 ZWA 核不育系统,以及张瑞茂等^[8]选育的 118A 均属三系杂种利用模式。近年来还报道了甘蓝型三隐性核不育油菜新的遗传模式——复等位模式,即育性受 2 对育性基因 M_{s3} 和 R_f 控制,其中 M_{s3} 有 2 个等位基因, R_f 位点存在 3 个复等位基因^[9-11]。任梦阳等^[12]、倪西源等^[13]通过标记辅助选择临保系基因型同样支持复等位模式。

基于三隐性核不育授粉控制系统,近年来已选育了一些油菜品种并通过审定,但由于其遗传机制尚未充分明确,目前由该系统育成的杂交种数量还很有限,产量水平也有待进一步提高。为此,本文对 2004 年陕西省区域试验中编号为“8”的甘蓝型油菜产生的白花突变材料进行研究,选育白花纯合两型系、白花临保系和恢复系,并运用临保系与恢复后代测交出现 7 : 1 的育性分离比验证三隐性核不育类型油菜的遗传模式,为三隐性核不育类型遗传模式的确定提供理论依据。

1 材料与方法

试验所用材料为 2004 年陕西省区域试验中编

$ms_3ms_3ms_4ms_4R_fR_f \times M_{s3}ms_3ms_4ms_4R_fR_f$
(或 $ms_3ms_3M_{s4}ms_4R_fR_f$)

$\times$

$ms_3ms_3M_{s4}ms_4R_fR_f$
(或 $ms_3ms_3ms_4ms_4rfrf$)

$\rightarrow$

$(3MF : 1MS)$

3.1.2 选育结果 2009 年编号为 628 株系,兄妹交育性分离比符合 1 : 1,连续 3 年成对兄妹交,对应可育株自交,筛选纯合两型系,结果见表 1。由表 1 可以看出,不育株与临保系测交均为全不育,编号

号为“8”的、由陕西省油菜中心选育的细胞核雄性不育杂交种,该材料为安徽省农业科学院选育的隐性上位互作核不育的衍生材料,育性受 2 对隐性不育基因与 1 对隐性抑制基因互作控制。在该材料中发现 1 株白花突变单株,套袋自交产生育性分离。后代连续兄妹交筛选优质不育系。同时进行广泛测交筛选临保系和优质恢复系。

2 纯合两型系及其临保系和恢复系的选育

2004 年,在陕西省区域试验编号为“8”的材料中发现 1 株白花突变单株,套袋自交产生育性分离。后代连续兄妹交,同时对应可育株自交。2007 年夏发现兄妹交育性分离比为 1 : 1、自交全可育的 3 个株系,可育株自交、与不育株测交,筛选临保系。2008 年夏,获得 1 个临保系,同时发现 4 个兄妹交育性比 1MF : 1MS,自交育性比 3MF : 1MS,临保系与之测交,同年广泛筛选恢复系。2009 年至今连续多年兄妹交育性比 1MF : 1MS,自交育性比 3MF : 1MS,用不育株与临保系测交全不育的方法验证纯合两型系;用可育株自交全可育,与纯合不育株杂交全不育的方法来验证临保系;用恢复后代 F_1 自交,与临保系测交的方法来验证恢复系的基因型。

3 结果与分析

3.1 纯合两型系的选育

3.1.1 遗传分析

试验中,白花突变材料来源于三隐性核不育系的杂交种,在纯合两型系的选育过程中,经遗传分析,应选择不育株与可育株比例为 1 : 1 的株系成对兄妹交,并且可育株自交。次年选择兄妹交育性分离比为 1 : 1、可育株自交育性分离比为 3 : 1 的株系,同时用临保系测交,如后代全不育,则证明该株系为纯合两型系。

为 628 株系连续 3 年兄妹交育性分离比为 1 : 1,相应可育株自交育性分离比为 3 : 1。说明编号为 628 株系为稳定纯合两型系。

表 1 628 株系兄妹交及可育株自交的育性分离
Table 1 The fertility separation of 628 sib-mating and MF self-crossing plants

年度 Year	编号 Code	组合 Combination	兄妹交 Sib-mating			可育株自交 Self-crossing of the corresponding MF		
			可育株数 No. of MF	不育株数 No. of MS	可育：不育 (χ^2_c) MF：MS (χ^2_c)	可育株数 No. of MF	不育株数 No. of MS	可育：不育 (χ^2_c) MF：MS (χ^2_c)
2010	1228-2	628A-1×628B-1	7	8	1：1	17	10	3：1(1.494)
	1228-3	628A-2×628B-2	13	15	1：1(0.036)	—	—	—
2011	H109-1	1228-2-1⊗	7	7	1：1	12	5	3：1(0.020)
	H109-2	1228-2-2⊗	9	4	1：1(1.231)	10	1	3：1(0.758)
	H114-1	1228A-3×1228B-3	6	8	1：1(0.036)	9	3	3：1
2012	h48-1	(H109-1)A-1×(H109-1)B-1	54	54	1：1	155	44	3：1(0.739)
	h48-2	(H109-1)A-2×(H109-1)B-2	55	40	1：1(2.063)	136	38	3：1(0.766)
	h48-3	(H109-1)A-3×(H109-1)B-3	63	77	1：1(1.207)	113	37	3：1
	h48-4	(H109-1)A-4×(H109-1)B-4	24	14	1：1(2.132)	145	39	3：1(0.181)
	h52-1	H109-2⊗	4	5	1：1	84	29	3：1(0.003)
	h117-1	(H114-1)A-1×(H114-1)B-1	9	6	1：1(0.267)	112	34	3：1(0.146)
	h117-2	(H114-1)A-2×(H114-1)B-2	49	42	1：1(0.396)	116	35	3：1(0.179)
	h117-3	(H114-1)A-3×(H114-1)B-3	28	27	1：1	48	13	3：1(0.268)
	h117-4	(H114-1)A-4×(H114-1)B-4	46	39	1：1(0.424)	85	23	3：1(0.605)
	h117-5	(H114-1)A-5×(H114-1)B-5	41	33	1：1(0.662)	55	17	3：1(0.019)

注： $\chi^2_{(0.05,1)}=3.84$ ；“—”表示无相关数据；括号中数据为经过连续性矫正的 χ^2 测验值。表 5 同。
Note： $\chi^2_{(0.05,1)}=3.84$ ；“—” indicates no related data； χ^2_c represents the data passes Chi square test. The same for table 5.

3.2 临保系的选育 ms₃ms₃ms₄ms₄RfRf，可育株与不育株杂交后代全
3.2.1 遗传分析 ①假设所选不育株基因型为 不育，且可育株自交不分离，则该可育株为临保系。
ms₃ms₃ms₄ms₄RfRf × ms₃ms₃ms₄ms₄rfrf(自交)→(all MF)
↓
F₁ ms₃ms₃ms₄ms₄RfRf(all MS)。
② 假 设 所 选 不 育 株 基 因 型 为 代，子代中育性分离比为 1：1，且可育株自交不分离，即所用可育株为临保系。
ms₃ms₃ms₄ms₄RfRf，可育株与该不育株连续回交 2
ms₃ms₃ms₄ms₄RfRf×ms₃ms₃ms₄ms₄rfrf（自交）→(all MF)
└──┬──┘
F₁ ms₃ms₃ms₄ms₄rfrf ms₃ms₃ms₄ms₄RfRf。

3.2.2 选育结果 张雪梅等^[14]2007 年发现兄妹交 认为“438”是临保系。
育性比为 1：1、自交全可育的 3 个株系，当年用相应父本“434”、“437”、“438”与不育株杂交，2008 年 2010—2012 年，连续 3 年用“438”自交，同时与
只得到 2 个全不育系，与之对应父本为“438”，初步 纯合不育株杂交，通过大量组合来验证“438”是否为
临保系，结果见表 2。

表 2 临保系自交及与不育株杂交的育性分离

Table 2 The fertility separation of temporary maintainer line (TAM) self-crossing plants and hybridizing plants with MS

年度 Year	操作 Manipulation	组合数 No. of pairs	育性 MF or MS	株数 No. of plans	可育：不育 MF：MS
2010	自交 Self-cross	9	全可育 MF	212	1：0
	杂交 Hybridization	2	全不育 MS	26	0：1
2011	自交 Self-cross	24	全可育 MF	406	1：0
	杂交 Hybridization	72	全不育 MS	953	0：1
2012	自交 Self-cross	34	全可育 MF	721	1：0
	杂交 Hybridization	59	全不育 MS	1 006	0：1

由表 2 可以看出，“438”连续 3 年自交全可育， 在临保系的选育过程中，当选育群体中出现了黄花、
与纯合不育株杂交全不育，证明“438”确为临保系。 白花 2 种不同花色时，特意人工选择了白花植株做

亲本来选择临保系。选择白花群体的目的在于,在后续的品种选育过程中及时除杂,降低材料污染概率,而有关临保系的花色遗传规律尚不清晰,有待进一步研究。

3.3 恢复系的选育

3.3.1 恢复系的筛选 按照三隐性模式,恢复系可能的基因型有 $Ms^4_ _ (3 \text{ 种})$ 、 $Ms^3_ _ (6 \text{ 种})$ 、 $Ms^2_ _$

(6 种),理论上恢复系广泛存在。为了筛选优质恢复系,2010 年选取 12 个多年自交材料与全不育系杂交,2011 年选取 29 个多年自交材料与全不育系杂交。2 年共 41 个材料均为西北农林科技大学董振生研究员选育的、遗传背景不相同的、高含油量和低芥酸低硫苷的多年自交材料,结果见表 3。

表 3 恢复系与全不育系杂交的育性分离
Table 3 The fertility separation of hybridizing plants of restorers with sterile lines

年度 Year	编号 Code	组合(全不育系×恢复系) Combination (MS×restorer)	可育株数 No. of MF	不育株数 No. of MS	恢复率/% Restoration rate
2011	h25	H80×1621-1	13	0	100
	h26	H80×1625-1	14	0	100
	h27	H80×1628-1	14	0	100
	h28	H80×1655-1	14	0	100
	h29	H80×1633-1	16	0	100
	h30	H80×1664-1	15	0	100
	h31	H86×y92-2	11	0	100
	h32	H86×1514-3	12	0	100
	h33	H86×1544-3	14	0	100
	h34	H86×1592-2	13	0	100
	h35	H86×1607-1	13	0	100
	h36	H86×1708-2	14	0	100
2012	137	h54×y37-1	>100	0	100
	138	h55×y51-1	>100	1	100
	139	h56×y81-1	>100	0	100
	140	h59×y82-1	>100	0	100
	141	h61×y113-1	>100	0	100
	142	h81×y152-1	>100	0	100
	143	h104×y158-1	>100	0	100
	144	h105×y162-1	>100	0	100
	145	h106×y195-1	>100	0	100
	146	h112×y726-1	>100	0	100
	147	h113×y732-1	>100	1	100
	148	h128×y1016-1	>100	0	100
	149	h129×y1017-1	>100	0	100
	150	h130×y1019-1	>100	0	100
	151	h133×y37-1	>100	0	100
	152	h134×y51-1	>100	0	100
	153	h135×y81-1	>100	1	100
	154	h138×y82-1	>100	0	100
	155	h139×y112-1	>100	0	100
	156	h140×y113-1	>100	0	100
	157	h143×y152-1	>100	0	100
	158	h144×y158-1	>100	0	100
	159	h145×y162-1	>100	0	100
	160	h148×y195-1	>100	1	100
	161	h149×y726-1	>100	0	100
	162	h150×y732-1	>100	0	100
	163	h153×y753-1	>100	0	100
	164	h154×y1016-1	104	7	93.7
	165	h155×y1017-1	>100	0	100

由表 3 可见,2012 年编号为 138、147、153、160 的株系均出现 1 株不育株,疑似田间混杂;编号 164

的株系出现 7 株不育株,可能是田间混杂,亦可能编号为 y1061-1 的可育株发生基因突变,基因型变为 $Ms_3ms_3Ms_4ms_4Rfrf$,与基因型 $ms_3ms_3ms_4ms_4Rfrf$ 全不育系杂交,符合 15 : 1 (0.029) 的育性分离比;其余 36 个恢复系恢复率均为 100%。2 年统计结果显示,所选育的全不育系具有广泛恢复性,且恢复性彻底。

3.3.2 恢复系基因型的验证 恢复系与不育系杂交后,后代变为非恢复株,其基因型有 10 种: $Ms^{1+1} _ _$ (3 种)、 $Ms^1 _ _$ (6 种)、 Ms^0rfrf 。非恢复株自交 F_1 代出现育性分离,结果见表 4。由表 4 可

见,基因型 Ms^1RfRf 和基因型 Ms^1Rfrf 分离比分别为 3 : 1 和 13 : 3,在遗传验证时很难区分。因此,同时用临保系对非恢复株进行测交,基因型 Ms^1RfRf 的 3 : 1 的分离比变为 1 : 1,基因型 Ms^1Rfrf 的 13 : 3 的分离比变为 3 : 1,使得容易区分 2 种基因型。说明,非恢复株自交同时用临保系测交的方法可以从 2 个侧面共同验证恢复系的基因型,减小试验误差,使试验更精确,结论更可靠。

当非恢复系含有纯合基因 $rfrf$ 时,无论自交还是测交后代均为全可育,用此方法无法区分,但可从中筛选优质临保系。

表 4 三隐性核不育非恢复株自交及测交的基因型分析

Table 4 The genotype analyses of three recessive genic male sterile lines non-restorers self-crossing and test-crossing plants

非恢复株 基因型 Non- restoeer genotypes	自交 F_1 代 Self-crossing-1				与 Ms^0rfrf 测交 Test-crosses with Ms^0rfrf			
	基因型 Genotypes		育性分离比 Segregation ratio of fertility		基因型 Genotypes		育性分离比 Segregation ratio of fertility	
	可育 MF	不育 MS	可育 MF	不育 MS	可育 MF	不育 MS	可育 MF	不育 MS
$Ms^{1+1}RfRf$	$Ms^4RfRf, 4Ms^{1+1}RfRf,$ $4Ms^3RfRf, 4Ms^1RfRf,$ $2Ms^2RfRf$	Ms^0RfRf	15	1	$Ms^{1+1}Rfrf,$ $2Ms^1Rfrf$	Ms^0Rfrf	3	1
Ms^1RfRf	$Ms^2RfRf, 2Ms^1RfRf$	Ms^0RfRf	3	1	Ms^1Rfrf	Ms^0Rfrf	1	1
$Ms^{1+1}Rfrf$	$4Ms^4 _ _, 16Ms^{1+1} _ _,$ $16Ms^3 _ _, 16Ms^1 _ _,$ $8Ms^2 _ _, Ms^0rfrf$	$Ms^0RfRf,$ $2Ms^0Rfrf$	61	3	$Ms^{1+1}Rfrf, Ms^{1+1}rfrf,$ $2Ms^1rfrf, 2Ms^1Rfrf,$ Ms^0rfrf	Ms^0Rfrf	7	1
Ms^1Rfrf	$4Ms^2 _ _, 8Ms^1 _ _,$ Ms^0rfrf	$Ms^0RfRf,$ $2Ms^0Rfrf$	13	3	$Ms^1Rfrf, Ms^0rfrf,$ Ms^1rfrf	Ms^0Rfrf	3	1
$Ms^{1+1}rfrf$	$Ms^1rfrf, 4Ms^3rfrf,$ $2Ms^2rfrf, 4Ms^{1+1}rfrf,$ $4Ms^1rfrf, Ms^0rfrf$	—	1	0	$Ms^{1+1}rfrf, 2Ms^1rfrf,$ Ms^0rfrf	—	1	0
Ms^1rfrf	$Ms^2rfrf, 2Ms^1rfrf,$ Ms^0rfrf	—	1	0	Ms^1rfrf, Ms^0rfrf	—	1	0
Ms^0rfrf	Ms^0rfrf	—	1	0	Ms^0rfrf	—	1	0

2011 年,编号为 h25~h36 的 12 个非恢复株系自交,同时用临保系进行测交,用以确定恢复系的基

因型,结果见表 5。2012 年所用的 29 个恢复系基因型有待进一步检验。

表 5 非恢复株系自交及与临保系测交结果

Table 5 Non-restorers self-crossing and test-crossing

编号 Code	自交 Self-crossing				与临保系测交 Test-crossing with TAM			
	可育株数 No. of MF	不育株数 No. of MS	育性比 MF : MS	χ^2 检验 χ^2_c	可育株数 No. of MF	不育株数 No. of MS	育性比 MF : MS	χ^2 检验 χ^2_c
h25-1	287	17	61 : 3	0.373	121	16	7 : 1	0.026
h25-2	301	0	1 : 0	—	42	0	1 : 0	—
h26-1	262	55	13 : 3	0.321	106	27	3 : 1	1.326
h26-2	283	0	1 : 0	—	131	0	1 : 0	—
h27-1	204	0	1 : 0	—	116	0	1 : 0	—
h27-2	163	34	13 : 3	0.198	88	22	3 : 1	1.212
h28-1	161	0	1 : 0	—	115	0	1 : 0	—
h28-2	129	31	13 : 3	0.010	102	33	3 : 1	0.002
h29-1	175	41	13 : 3	0.000	146	33	3 : 1	3.771
h29-2	256	0	1 : 0	—	203	0	1 : 0	—
h30-1	255	0	1 : 0	—	171	0	1 : 0	—
h30-3	203	52	13 : 3	0.350	—	—	—	—

续表 5 Continued table 5

编号 Code	自交 Self-crossing				与临保系测交 Test-crossing with TAM			
	可育株数 No. of MF	不育株数 No. of MS	育性比 MF : MS	χ^2 检验 χ^2_c	可育株数 No. of MF	不育株数 No. of MS	育性比 MF : MS	χ^2 检验 χ^2_c
h31-1	254	0	1 : 0	—	116	0	1 : 0	—
h31-2	196	0	1 : 0	—	86	0	1 : 0	—
h32-1	358	0	1 : 0	—	132	0	1 : 0	—
h32-2	205	56	13 : 3	1.083	90	37	3 : 1	0.948
h33-1	115	24	13 : 3	0.115	107	30	3 : 1	0.547
h33-2	80	17	13 : 3	0.032	49	17	3 : 1	0.000
h34-1	225	40	13 : 3	2.091	107	33	3 : 1	0.086
h34-2	264	0	1 : 0	—	113	0	1 : 0	—
h35-2	190	43	13 : 3	0.001	80	21	3 : 1	0.743
h35-3	178	0	1 : 0	—	—	—	—	—
h36-1	248	56	13 : 3	0.005	97	36	3 : 1	0.203
h36-2	146	32	13 : 3	0.028	137	38	3 : 1	0.840

由表 5 可见,编号为 h25-1 的非恢复株自交分离比为 61 : 3,同时测交分离比为 7 : 1,推测其基因型为 Ms¹⁺¹Rrf_r。编号为 h25-2 的非恢复株自交和测交后代全可育,结合 h25-1 的基因型,推测其基因型为 Ms¹⁺¹r_rrf_r。结合二者可推测编号为 h25 的对应恢复株基因型为 Ms⁴r_rrf_r。

同理推测编号为 h26、h27、h28、h29、h30、h32、h34、h35 的对应恢复株基因型均为 Ms²r_rrf_r。编号为 h31-1 和 h31-2 的非恢复株自交和测交后代均全可育,推测其基因型可能为 Ms¹⁺¹r_rrf_r、Ms¹r_rrf_r 或 Ms⁰r_rrf_r,编号为 h31 的对应恢复株基因型可能为 Ms⁴r_rrf_r、Ms²r_rrf_r 或 Ms¹r_rrf_r。编号为 h33 和 h36 的对应恢复株基因型可能为 Ms²R_rR_r 或 Ms²r_rrf_r。

4 结论与讨论

1) 2004 年在陕西省区域试验编号为“8”的甘蓝型油菜材料中发现的白花突变体,自交后代发生育性分离。该材料为安徽省农业科学院选育的隐性上位互作核不育的衍生材料,育性受 2 对隐性不育基因与 1 对隐性抑制基因互作控制。经过多年研究,已实现三系配套。

2) 临保系的选育满足以下育性比例:可育株与不育株杂交,F₁ 全不育或 1MF : 1MS,且可育株自交全可育,则该可育株为临保系。纯合两型系应从育性比例为 1MF : 1MS 的植株中选育,其后代育性比例遵循以下规律:兄妹交育性比为 1MF : 1MS,相应可育株自交后代育性比为 3MF : 1MS,且临保系测交全不育。

3)基因型为 Ms¹⁺¹Rrf_r 的非恢复株与临保系测交会出现独特的 7 : 1 分离比。研究表明,复等位模式下不存在 Ms¹⁺¹Rrf_r 的基因型,无法出现非恢复

株自交 61 : 3、测交 7 : 1 的分离比例。此方法可为三隐性或复等位基因模式之争提供新的思路。在试验中发现,编号为 h25 的非恢复株,符合自交 61 : 3、测交 7 : 1 的分离比例,初步证明复等位模式有待商榷,陈凤祥提出的三隐性模式更贴近试验结果。

4)三隐性核不育材料具有广泛的恢复系,且恢复性彻底。推测恢复系基因型在 R_f 位点上几乎全为 r_f 基因,且所用的 12 个恢复系的遗传背景不同,可预测自然界中绝大多数甘蓝型油菜 R_f 位点上为纯合隐性基因 r_rrf_r。

5)选育的临保系、纯合两型系有多种花色的分离,如白花、黄花、颜色深浅不一的黄白花等,可作为性状标记加以利用,以不同花色区分纯合两型系、临保系,还可检测杂种 F₁ 代纯度,亦是研究油菜花色遗传的宝贵材料。

[参考文献]

[1] 李树林,钱玉秀,吴志华. 甘蓝型油菜细胞核雄性不育性的遗传验证 [J]. 上海农业学报,1986,2(2):1-8.
Li S L, Qian Y X, Wu Z H. Genetic confirmation on genic male sterility in rapeseed (*Brassica napus*) [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 1986, 2(2):1-8. (in Chinese)

[2] 宋来强,傅廷栋,杨光圣,等. 1 对复等位基因控制的油菜 (*Brassica napus* L.) 显性核不育系 609AB 的遗传验证 [J]. 作物学报,2005,31(7):869-875.
Song L Q, Fu T D, Yang G S, et al. Genetic verification of multiple allelic gene for dominant genic male sterility in 609AB (*Brassica napus* L.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(7):869-875. (in Chinese)

[3] 侯国佐,王 华,张瑞茂. 甘蓝型油菜细胞核雄性不育材料 117A 的遗传研究 [J]. 中国油料,1990(2):7-10.
Hou G Z, Wang H, Zhang R M. Genetic study on genic male sterility material No. 117A in *Brassica napus* [J]. Oil Crops of

China,1990(2):7-10. (in Chinese)

[4] 李树林,周志疆,周熙荣. 甘蓝型油菜隐性核不育系 S45AB 的遗传 [J]. 上海农业学报,1993,9(4):1-7.
Li S L,Zhou Z J,Zhou X R. Inheritance of recessive genic male sterile line “S45AB” of rape(*Brassica napus* L.) [J]. Acta Agriculturae Shanghai,1993,9(4):1-7. (in Chinese)

[5] 陈凤祥,胡宝成,李 成,等. 甘蓝型油菜细胞核雄性不育性的遗传研究: I. 隐性核不育系 9012A 的遗传 [J]. 作物学报,1998,24(4):431-437.
Chen F X,Hu B C,Li C,et al. Genetic studies on GMS in *Brassica napus* L.: I. Inheritance of recessive GMS line 9012A [J]. Acta Agronomica Sinica,1998,24(4):431-437. (in Chinese)

[6] 孙超才,赵 华,王伟荣,等. 甘蓝型油菜隐性核不育系 20118A 的遗传与利用探讨 [J]. 中国油料作物学报,2002,24(4):1-4.
Sun C C,Zhao H,Wang W R,et al. Inheritance and utilization of recessive genic male sterile line 20118A in *Brassica napus* L. [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2002,24(4):1-4. (in Chinese)

[7] 王 军,张太平,魏忠芬,等. 甘蓝型油菜隐性核不育材料 ZWA 的遗传利用研究 [J]. 种子,2004(5):8-11.
Wang J,Zhang T P,Wei Z F,et al. Inheritance and utilization of recessive genic male sterile line ZWA in *Brassica napus* L. [J]. Seed,2004(5):8-11. (in Chinese)

[8] 张瑞茂,陈大伦,汤晓华,等. 甘蓝型油菜细胞核雄性不育材料 118A 的遗传与应用研究 [J]. 种子,2007(5):90-94.
Zhang R M,Chen D L,Tang X H,et al. Genetic and used studies on GMS line 118A in *Brassica napus* L. [J]. Seed,2007(5):90-94. (in Chinese)

[9] 俎 峰,夏胜前,傅廷栋,等. 基于分子标记的油菜隐性核不育 7-7365AB 遗传模式探究 [J]. 中国农业科学,2010,43(15):3067-3075.
Zu F,Xia S Q,Fu T D,et al. Analysis of genetic model for a recessive genic male sterile line 7-7365AB in *Brassica napus* L. based on molecular markers [J]. Scientia Agricultura Sinica,2010,43(15):3067-3075. (in Chinese)

[10] 董发明,洪登峰,刘平武,等. 甘蓝型油菜隐性细胞核雄性不育系 9012AB 遗传模式新释 [J]. 华中农业大学学报,2010(3):262-267.
Dong F M,Hong D F,Liu P W,et al. A novel genetic model for recessive genic male sterility line 9012AB in rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. Journal of Huazhong Agricultural University,2010(3):262-267. (in Chinese)

[11] Xia S Q,Cheng L,Zu F,et al. Mapping of *BnMs4* and *BnRf* to a common microsyntenic region of *Arabidopsis thaliana* chromosome 3 using intron polymorphism markers [J]. Theor Appl Genet,2012,124:1193-1200.

[12] 任梦阳,倪西源,王 灏,等. 甘蓝型油菜隐性核不育系 20118A 的育性遗传及分子标记辅助选择 [J]. 作物学报,2012,38(11):2015-2023.
Ren M Y,Ni X Y,Wang H,et al. Genetic analysis of sterility of genic male sterile line (20118A) and marker-assisted selection in *Brassica napus* L. [J]. Acta Agronomica Sinica,2012,38(11):2015-2023. (in Chinese)

[13] 倪西源,徐小栋,黄吉祥,等. 利用分子标记辅助选育油菜隐性上位互作核不育临保系 [J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2011,37(4):407-412.
Ni X Y,Xu X D,Huang J X,et al. Marker-assisted selection for temporary maintainers of a recessive epistemic genic male sterility in *Brassica napus* L. [J]. Journal of Zhejiang University: Agric & Life Sci,2011,37(4):407-412. (in Chinese)

[14] 张雪梅,董振生,郭永华. 甘蓝型油菜隐性上位互作核不育材料的选育 [J]. 西北农业学报,2009,18(2):103-107.
Zhang X M,Dong Z S,Guo Y H. Breeding of three recessive genic male sterile in *Brassica napus* L. [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2009,18(2):103-107. (in Chinese)