

引用格式:

张泽荣, 曹诗琴, 李思锦, 岳宁燕, 洪波, 谢毅雪, 陈雨蝶, 邬贤梦. 甘蓝型油菜细胞核雄性不育系 Y09AB 的遗传特性及杂种优势[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(4): 385–391.

ZHANG Z R, CAO S Q, LI S J, YUE N Y, HONG B, XIE Y X, CHEN Y D, WU X M. The inheritance and heterosis of the genic male sterile line Y09AB in *Brassica napus*[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(4): 385–391.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



甘蓝型油菜细胞核雄性不育系 Y09AB 的遗传特性及杂种优势

张泽荣¹, 曹诗琴¹, 李思锦^{1,2}, 岳宁燕^{1,3}, 洪波¹, 谢毅雪¹, 陈雨蝶¹, 邬贤梦^{1*}

(1. 湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 2. 陕西省汉中市城固县农业农村局, 陕西 汉中 723200; 3. 湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 以甘蓝型油菜细胞核雄性不育系 Y09AB 和 Pol CMS 保持系 11217 及恢复系 11354 为试验材料, 分析 Y09AB 的遗传特性。选 Y09AB 中的不育株与保持系 11217 和恢复系 11354 杂交, 两组合 F₁ 代的所有植株均表现可育, F₂ 代群体中可育株与不育株的分离比符合 15 : 1, 表明 Y09AB 的育性由 2 对隐性不育基因控制, 而不受细胞质的影响。将 Y09AB 与另 2 个隐性核不育二型系 104AB 和湘油 402AB 进行正反交, 各组合 F₁ 代的所有植株均表现可育, 说明 Y09AB 的不育基因与 104AB 和湘油 402AB 的不育基因均为非等位关系。利用 20 个具有不同遗传背景的甘蓝型油菜品系与 Y09AB 广泛测交, 调查杂交 F₁ 代的育性情况, 分析各杂交组合的杂种优势, 各组合 F₁ 代的所有植株均表现可育, 恢复株率达 100%, 说明 Y09AB 的不育性稳定, 且恢复源广泛。组合鉴定试验结果显示: 20 个测交组合中有 18 个组合比对照品种(沱油 520)增产, 其中增产 15% 以上的有 7 个; 10 个组合超中亲优势在 25% 以上; 2 个组合超高亲优势在 30% 以上。组合比较试验结果表明, 10 个参试组合中有 7 个比对照品种增产, 其中增产 5% 以上的有 3 个, 最高增幅达 8.62%。从组合鉴定试验和组合比较试验的结果来看, Y09AB 表现出较高的配合力和较强的杂种优势潜力, 是 1 个具有开发潜力的隐性核不育二型系。

关键词: 甘蓝型油菜; 细胞核雄性不育系; 遗传特性; 基因等位性; 杂种优势

中图分类号: S565.403

文献标志码: A

文章编号: 1007–1032(2021)04–0385–07

The inheritance and heterosis of the genic male sterile line Y09AB in *Brassica napus*

ZHANG Zerong¹, CAO Shiqin¹, LI Sijin^{1,2}, YUE Ningyan^{1,3}, HONG Bo¹,
XIE Yixue¹, CHEN Yudie¹, WU Xianmeng^{1*}

(1. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Agricultural Rural Bureau of Chenggu County, Hanzhong, Shaanxi 723200, China; 3. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: Genetic characters of Y09AB were analyzed using genic male sterile line Y09AB and Pol CMS maintainer 11217 and restorer 11354 in *Brassica napus*. Sterile plants in Y09AB were selected to be crossed with 11217 and 11354, and all plants in the F₁ generation of the two combinations were fertile. The separation ratio between fertile and sterile plants in F₂ generation was consistent with 15 : 1, indicating that the fertility of Y09AB was controlled by 2 pairs of

收稿日期: 2020–06–02

修回日期: 2020–07–10

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0101300); 国家重点研发计划(2017YFD0101700); 湖南省省长专项(湘财农指[2016]114)

作者简介: 张泽荣(1996—), 女, 湖南郴州人, 硕士研究生, 主要从事油菜遗传育种研究, 3039826973@qq.com; *通信作者, 邬贤梦, 博士, 研究员, 主要从事油菜遗传育种研究, wuxm126@163.com

recessive nuclear genes and was not affected by cytoplasm. Y09AB was cross-positive and negative with another two recessive genic male sterile two-type lines 104AB and Xiangyou 402AB, and all the plants in F_1 generation were fertile, indicating that the male sterile genes of Y09AB and the male sterile genes of 104AB and Xiangyou 402AB were non-allelic. Using 20 *Brassica napus* strains with different genetic background testcross with Y09AB to investigate the sterility of hybrid F_1 generation and to analyze heterosis of hybrid combinations, we found that all the plants in F_1 generation were fertile, and the recovery rate was 100%, which meant that Y09AB possessed complete and stable sterility, and had extensive source of recovery. The results of the combination identification test showed that among the 20 testcross combinations, 18 of them the yield was higher than the control variety, among which 7 of them increased the yield by more than 15%. There were 10 combinations in which the mid-parent heterosis was more than 25%, and 2 combinations in which the heterobeltiosis was more than 30%. The results showed that 7 of the 10 testcross combinations increased the yield than the control variety, and 3 of them increased the yield by more than 5%, with a maximum increase of 8.61%. The results of combination identification test and combination comparison test showed that Y09AB had high combining ability and strong heterosis potential, and was a recessive genic male sterile two-type line with great potential for development.

Keywords: *Brassica napus*; genic male sterile line; inheritance; gene allelism; heterosis

油菜是中国主要的油料作物,对中国食用油供给安全具有重要意义^[1]。油菜隐性核不育系的育性由隐性不育基因控制,具有不育性稳定、恢复源广等优点,在油菜杂种优势利用中被广泛应用^[2-3]。更好地利用杂种优势特性已成为提高油菜产量、缓解产量与品质矛盾、增强抗(耐)逆性等的重要途径之一^[4-6]。目前,在油菜隐性核不育的报道中,控制不育性的基因主要存在 1~3 对基因,且具有广泛的恢复源^[7-13]。已经报道的甘蓝型油菜隐性核不育二型系中,大多都是以已有的不育系为母本,与优良的父本通过“杂交-连续回交-自交分离-株系内姊妹交转育”等方式育成^[14-15]。

Y09AB 是 2006 年春季在油菜育种资源材料双低黄籽品系 Y05009 的群体中发现的彻底不育单株。该不育株的花瓣较大,呈圆瓣叠合状。当年在群体内选可育株对其授粉,2006 年秋季种成 5 行株系;2007 年春季调查该株系的育性,发现群体内的所有单株均为可育株,选 5 个单株套袋自交,2007 年秋季将自交种子混合种成 20 行大区;2008 年春季调查群体的育性,在群体的 247 个单株中发现 13 个不育株,选 4 个可育株与其中的 4 个不育株进行配对姊妹交,所得种子于 2008 年秋季分别继续种成株系;2009 年春季调查各株系的育性,在其中不育株率最高的株系内选 4 个可育株与 4 个不育株进行配对姊妹交;以后各年度均进行同样的操作,至 2012 年获得不育株率为 42.3% 的较稳定的黄籽不育株系。因当年出现不育株的品系编号为 Y05009,遂命名为 Y09AB。为明确 Y09AB 的遗传特性,探

索其应用潜力,自 2012 年开始对 Y09AB 进行遗传分析和杂种优势研究,旨为今后的利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

甘蓝型油菜细胞核雄性不育系 Y09AB(大花瓣)、Pol CMS 保持系 11217、Pol CMS 恢复系 11354、隐性核不育两型系 104AB、湘油 402AB^[16]及 20 个甘蓝型油菜品系(包括 4 个 Pol CMS 恢复系、6 个 Pol CMS 保持系、5 个双低优质自交系、3 个 Ogu CMS 保持系和 2 个 Ogu CMS 恢复系),各品系材料(表 1)之间均具有不同的遗传背景。104AB 由 1 对隐性不育基因控制(大花瓣),湘油 402AB 由 2 对隐性不育基因控制(小花瓣)。上述材料均由湖南农业大学油料作物研究所提供。组合鉴定试验和组合比较试验对照品种沔油 520 来自湖南省作物研究所。

表 1 与 Y09AB 测交的品系材料

品系名称	基本情况	品系名称	基本情况
14011	Pol CMS 恢复系	14301	双低优质自交系
14012	Pol CMS 恢复系	14302	双低优质自交系
14013	Pol CMS 恢复系	14303	双低优质自交系
14014	Pol CMS 恢复系	14304	双低优质自交系
14101	Pol CMS 保持系	14305	双低优质自交系
14102	Pol CMS 保持系	14411	Ogu CMS 保持系
14103	Pol CMS 保持系	14412	Ogu CMS 保持系
14105	Pol CMS 保持系	14413	Ogu CMS 保持系
14106	Pol CMS 保持系	14414	Ogu CMS 恢复系
14107	Pol CMS 保持系	14415	Ogu CMS 恢复系

1.2 方法

试验在湖南农业大学耘园试验基地进行。

1.2.1 育性遗传分析

2012—2015 年, 每年春季调查 Y09AB 群体的不育株率, 并选择典型可育株和不育株两两配对姊妹交, 收获不育株上的种子。2015 年春季, 选 Y09AB 中的不育株分别与自交系 11217 和 11354 杂交, 获得相应的 F_1 代种子, 当年秋季种成 5 行小区; 2016 年春季, 调查各组合 F_1 代的育性, 并套袋自交, 获得 F_2 代种子; 2017 年春季, 调查各组合 F_2 代育性, 并对调查结果进行适合性检验。

1.2.2 不育基因等位性分析

2015 年春季, 用 Y09AB 分别与隐性核不育二型系 104AB 和湘油 402AB 进行正反交, 即以 1 个不育系中的不育株为母本, 与另 1 个不育系中的可育株杂交, 获得相应的 F_1 代种子; 2016 年春季, 调查各组合 F_1 代育性, 以鉴定 Y09AB 与 104AB 和湘油 402AB 不育基因的等位性, 从而判断 Y09AB 的不育基因是否为独立于 104AB 和湘油 402AB 的新位点。

1.2.3 广泛测交及杂交制种

2015 年春季, 在小型隔离网棚内, 以 Y09AB 群体中的不育株为母本, 与 20 个品系进行杂交制种, 获得杂交 F_1 代种子, 以备组合鉴定试验和组合比较试验。

1.2.4 组合鉴定试验及组合比较试验

2015 年秋季, 以 20 个测交 F_1 代及其亲本为参试材料进行鉴定试验。随机区组设计, 3 次重复。小区面积 6.67 m^2 , 种植 10 行, 每行留苗 12 株。以沔油 520 为对照, 调查各参试组合 F_1 代的恢复株率及产量表现, 从而初步筛选出优势组合, 以参加

组合比较试验。根据 2015—2016 年组合鉴定试验的结果, 筛选出 10 个优势组合参加 2016—2017 年度组合比较试验。随机区组设计, 3 次重复。小区面积 20 m^2 , 种植 30 行, 每行留苗 12 株, 以沔油 520 为对照, 筛选出强优势组合。

1.2.5 数据分析

参照杂种优势分类方法, 测定产量表现的超标优势、超中亲优势及超高亲优势。

$$H_s = (F_1 - CK) / CK \times 100\%;$$

$$H_m = [F_1 - (P_1 + P_2) / 2] / [(P_1 + P_2) / 2] \times 100\%;$$

$$H_h = (F_1 - HP) / HP \times 100\%.$$

式中: H_s 为超标优势; F_1 为杂种 1 代的产量; CK 为对照的产量; H_m 为超中亲优势; P_1 和 P_2 分别为 2 个亲本的产量; H_h 为超高亲优势; HP 为亲本中产量较高值。

恢复株率为试验样品中可育株株数与试验样品总株数的百分比。采用 Excel 2019、DPS 7.05 进行数据分析; 运用 Duncan 新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 Y09AB 育性的遗传特性

2012—2015 年, 每年春季调查 Y09AB 群体内连续姊妹交后代的育性。随着时间延续, Y09AB 群体中不育株率逐年提高, 由 2012 年的 42.3% 上升至 2015 年的 48.3%。经卡平方测验, 各年度 Y09AB 群体中的可育株与不育株的分离比例均符合 1:1 (表 2)。2015 年春季, 选 Y09AB 中的不育株分别与自交系 11217、11354 杂交, 其相应的 F_1 代群体的所有植株均全部可育; F_2 代群体中的可育株与不育株的分离比例符合 15:1 (表 3)。说明 Y09AB 的不育性由 2 对隐性基因控制, 而不受细胞质的影响。

表 2 Y09AB 群体内连续姊妹交后代的育性表现

Table 2 The fertility of offspring with consecutive sister inbred in the Y09AB population

时间	可育株数	不育株数	不育株比例/%	可育株:不育株	期望比例	χ^2	$\chi^2_{0.05,1}$
2012 年春季	64	47	42.3	1.36:1	1:1	2.306	3.84
2013 年春季	63	48	43.2	1.31:1	1:1	1.766	3.84
2014 年春季	61	56	47.9	1.09:1	1:1	0.137	3.84
2015 年春季	62	58	48.3	1.07:1	1:1	0.075	3.84

表3 Y09AB与自交系11217和11354杂交后代的育性表现

Table 3 The fertility of F₁ and F₂ generations of Y09AB crossed with inbred lines 11217 and 11354

组合	F ₁ 代	F ₁ 代	F ₂ 代	F ₂ 代	F ₂ 代可育株数:	F ₂ 代	F ₂ 代	F ₂ 代
	可育株数	不育株数	可育株数	不育株数	F ₂ 代不育株数	期望比例	χ^2	$\chi^2_{0.05,1}$
Y09AB×11217	58	0	227	14	16.2:1	15 1	0.022	3.84
Y09AB×11354	63	0	224	13	17.2:1	15 1	0.124	3.84

2.2 Y09AB 育性相关基因的等位性

Y09AB与104AB和湘油402AB的正反交F₁代育性调查结果(表4)显示,各组合F₁代全部表现为可育,说明Y09AB的不育基因与后两者的不育基因没

表4 Y09AB不育基因等位性测验后代的育性表现

Table 4 The fertility of offspring of the gene allelism test for Y09AB

组合	可育株数	不育株数
Y09AB×湘油402AB	124	0
Y09AB×104AB	121	0
湘油402AB×Y09AB	117	0
104AB×Y09AB	123	0

有等位关系,是独立于104AB和湘油402AB不育基因的新位点。从花瓣大小来看,4个组合F₁代植株上的花瓣均为大花瓣,与Y09AB和104AB的花瓣较为接近,与湘油402AB的花瓣有明显差异。

2.3 Y09AB 测交 F₁ 代的恢复株率

2016年春季调查测交F₁代的育性情况。以Y09AB群体中的不育株为母本,与20个自交系进行配对杂交,各组合F₁代群体的植株全部表现可育,恢复株率均为100%(表5),说明Y09AB的不育性稳定,而且恢复源广泛。

表5 各测交F₁代的育性表现Table 5 The fertility of F₁ generation of test-crossing combinations with Y09AB

组合	可育株	不育株	恢复株率/%	组合	可育株	不育株	恢复株率/%
Y09AB×14011	120	0	100	Y09AB×14301	120	0	100
Y09AB×14012	120	0	100	Y09AB×14302	120	0	100
Y09AB×14013	120	0	100	Y09AB×14303	120	0	100
Y09AB×14014	120	0	100	Y09AB×14304	120	0	100
Y09AB×14101	120	0	100	Y09AB×14305	120	0	100
Y09AB×14102	120	0	100	Y09AB×14411	120	0	100
Y09AB×14103	120	0	100	Y09AB×14412	120	0	100
Y09AB×14105	120	0	100	Y09AB×14413	120	0	100
Y09AB×14106	120	0	100	Y09AB×14414	120	0	100
Y09AB×14107	120	0	100	Y09AB×14415	120	0	100

2.4 组合鉴定试验产量表现

以泔油520为对照,调查各测交组合F₁代及其亲本的产量表现(表6),并对试验数据进行方差分析。其F检验结果表明,重复间差异不显著,说明试验误差小,结果可靠。因材料间差异达到极显著水平,因而可以进行多重比较。多重比较结果(表6)显示,20个测交组合中有18个组合的平均产量

高于对照,其中增产15%以上的有7个组合,增产25%以上的组合有1个。比较F₁代的超中亲优势,产量增幅大于25%的有10个组合,超过35%的有3个组合。比较F₁代的超高亲优势,增产幅度达15%的有10个组合,超过30%的有2个组合。以上结果说明Y09AB具有较高的配合力和较强的杂种优势潜力。

表6 各测交F₁代及亲本的产量表现Table 6 The yield of F₁ generation of test-crossing combinations with Y09A and the yield of each tester parents

材料名称	小区产量/(g·m ⁻²)			小区平均产量/(g·m ⁻²)	超标优势/%	超中亲优势/%	超高亲优势/%
	I	II	III				
Y09AB×14011	339.43	327.89	332.08	333.13DEFGdef	14.12	26.48	17.13
Y09AB×14012	278.41	301.65	295.95	292.00JKLMjkl	0.03	17.26	14.21
Y09AB×14013	364.47	372.56	377.36	371.46Aa	27.26	41.65	31.67

表 6(续)

材料名称	小区产量/(g·m ⁻²)			小区平均产量/(g·m ⁻²)	超标优势/%	超中亲优势/%	超高亲优势/%
	I	II	III				
Y09AB×14014	370.91	357.87	362.22	363.67ABab	24.59	42.41	35.51
Y09AB×14101	293.55	307.95	304.50	302.00IJKijk	3.46	20.88	17.39
Y09AB×14102	322.79	306.60	323.39	317.59GHIgh	8.80	27.78	24.68
Y09AB×14103	352.62	362.37	357.42	357.47ABCbc	22.46	36.26	26.62
Y09AB×14105	295.95	292.65	282.01	290.20JKLMkl	-0.58	16.27	13.00
Y09AB×14106	309.00	297.75	311.54	306.10HIJhij	4.86	21.56	17.18
Y09AB×14107	364.62	357.72	360.57	360.97ABab	23.66	32.45	19.25
Y09AB×14301	325.79	331.93	323.54	327.09EFGfg	12.05	31.98	29.14
Y09AB×14302	296.40	301.95	307.65	302.00IJKijk	3.46	17.11	10.48
Y09AB×14303	346.63	339.43	329.39	338.48DEFde	15.96	24.47	12.27
Y09AB×14304	323.09	310.34	320.24	317.89GHIgh	8.90	21.24	12.72
Y09AB×14305	279.31	288.61	276.46	281.46LMNlm	-3.58	13.38	10.76
Y09AB×14411	310.79	333.88	322.49	322.39FGHfg	10.44	28.96	25.14
Y09AB×14412	336.88	345.58	340.93	341.13CDEd	16.86	26.09	14.20
Y09AB×14413	323.24	331.93	312.74	322.64FGHfg	10.53	22.56	13.56
Y09AB×14414	348.73	339.58	350.97	346.43BCDcd	18.68	26.20	12.97
Y09AB×14415	297.75	307.95	316.64	307.45HIJhi	5.32	20.45	14.67
泔油 520(CK)	286.66	280.96	308.10	291.90JKLMjkl			
14011	280.96	286.66	285.61	284.41KLMNlm	-0.03		
14012	258.32	252.92	255.77	255.67OPQopq	-0.12		
14013	278.26	286.96	281.11	282.11LMNlm	-0.03		
14014	267.62	273.01	264.47	268.37NOPno	-0.03		
14101	251.42	257.27	263.12	257.27OPQop	-0.12		
14102	259.67	247.53	256.97	254.72PQopq	-0.13		
14103	287.86	282.91	276.16	282.31LMNlm	-0.03		
14105	256.67	250.97	262.82	256.82OPQop	-0.12		
14106	259.67	271.96	252.02	261.22OPnop	-0.11		
14107	304.65	297.30	306.15	302.70IJKijk	0.04		
14301	260.42	247.98	251.42	253.27PQpq	-0.13		
14302	279.46	273.01	267.62	273.36MNOMn	-0.06		
14303	304.50	291.60	308.40	301.50IJKijk	0.03		
14304	280.96	288.76	276.31	282.01LMNlm	-0.03		
14305	251.42	262.67	248.28	254.12PQopq	-0.13		
14411	264.17	251.72	256.97	257.62OPQop	-0.12		
14412	304.50	298.05	293.55	298.70JKLijk	0.02		
14413	281.41	288.01	282.91	284.11KLMNlm	-0.03		
14414	291.60	308.40	319.94	306.65HIJhi	0.05		
14415	279.46	266.57	258.32	268.12NOPno	-0.08		
Y09AB	246.93	237.48	242.73	242.38Qq	-0.17		

同列数据不同大写、小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)和差异显著($P < 0.05$)。

2.5 组合比较试验产量表现

根据上述组合鉴定试验的结果,筛选出 10 个优势组合参加组合比较试验。以泔油 520 为对照,调查各组合 F₁ 代的产量表现。结果(表 7)显示,10 个组合中有 7 个组合的平均产量高于对照的,其中

增产 5% 以上的有 3 个组合,增产最高的为 Y09AB×14014 增幅达 8.62% 组合 Y09AB×14107、Y09AB×14013 的增产幅度分别为 6.41%、5.43%。组合 Y09AB×14014 的单产(322.57 g/m²)最高,其后依次是组合 Y09AB×14107 和 Y09AB×14013,这 3

个组合在鉴定试验中也是单产产量排前3的,说明 这些组合的丰产性和稳产性均较好。

表7 组合比较试验各小区的产量及产量优势表现

Table 7 The yield and the yield advantage of each plot among compare test of test-crossing combinations

材料名称	小区单产/(g·m ⁻²)			小区平均产量/(g·m ⁻²)	超标优势/%
	I	II	III		
Y09AB×14011	303.70	307.75	298.55	303.33CDde	2.14
Y09AB×14013	312.80	308.85	317.70	313.12ABCbc	5.43
Y09AB×14014	321.55	326.90	319.25	322.57Aa	8.61
Y09AB×14103	310.55	303.75	309.10	307.80BCcd	3.64
Y09AB×14107	311.85	317.50	318.70	316.02ABab	6.41
Y09AB×14303	262.90	265.70	257.60	262.07Fg	-11.76
Y09AB×14304	298.70	294.25	296.20	296.38De	-0.20
Y09AB×14412	308.80	304.20	311.15	308.05BCcd	3.73
Y09AB×14413	274.35	275.70	268.80	272.95Ef	-8.09
Y09AB×14414	308.20	311.00	306.35	308.52BCcd	3.88
沔油 520(CK)	299.25	302.05	289.65	296.98De	

同列数据不同大写、小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)和差异显著($P < 0.05$)。

3 结论与讨论

从本试验结果可知 Y09AB 是细胞核雄性不育系,其育性由 2 对隐性不育基因控制,而不受细胞质影响。Y09AB 的不育基因与现有隐性核不育二型系 104AB 和湘油 402AB 的不育基因均为非等位关系,但从花瓣大小来看, Y09AB 与 104AB 和 402AB 的正反交 F₁ 代群体植株上的花瓣均为大花瓣,其花瓣大小与不育基因之间的关系以及不同不育基因之间的相互作用有待进一步研究。后续研究将利用 AFLP 和 SRAP 等分子标记技术筛选出与不育基因紧密连锁的标记,从而对不同来源的不育基因进行精确定位和克隆。

根据组合鉴定试验的结果, Y09AB 与具有不同遗传背景的甘蓝型油菜品系测交,各组合 F₁ 代所有植株均表现可育,说明 Y09AB 的不育性稳定,并具有广泛的恢复源;在 20 个测交组合中,大多数具有明显的超标优势、超中亲优势和超高亲优势。进一步的组合比较试验结果表明, 10 个参试组合中有 7 个组合比对照品种增产,其中 3 个组合增产在 5% 以上。综合组合鉴定试验和组合比较试验的结果表明, Y09AB 具有较高的配合力和较强的杂种优势潜力,是 1 个具有开发潜力的新型核不育二型系。

参考文献:

[1] 张永霞,赵锋,张红玲.中国油菜产业发展现状、问题及对策分析[J].世界农业,2015(4):96-99.

ZHANG Y X, ZHAO F, ZHANG H L. Rapeseed industry development status quo, problems and countermeasures of China[J]. World Agriculture, 2015(4): 96-99.

[2] 李德文.甘蓝型油菜隐性核不育亲本材料的遗传多样性分析及杂种优势研究[D].重庆:西南大学,2013. LI D W. Analysis of genetic diversity and heterosis of parents for RGMS in *Brassica napus*[D]. Chongqing: Southwest University, 2013.

[3] 段海峰.甘蓝型油菜三隐性核不育突变材料的三系选育方法及其遗传研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2014.

DUAN H F. Breeding of three lines and the genetic study of recessive genetic male sterile mutation material in *Brassica napus* L[D]. Yangling, China: Northwest A & F University, 2014.

[4] 张璞,李殿荣,田建华.甘蓝型油菜隐性核不育系三交种的杂种优势分析[J].西北农业学报,2007,16(5):89-91.

ZHANG P, LI D R, TIAN J H. Heterosis analysis of recessive genetic male sterile triple-cross hybrids in *Brassica napus* L[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2007, 16(5): 89-91.

[5] 赵继献,任廷波,程国平等.甘蓝型油菜黄籽双低核不育两型系 237 AB 的选育及应用研究[J].种子,2011,30(2):110-112.

ZHAO J X, REN T B, CHENG G P, et al. Breeding and application of nuclear male-sterility two-type line *Brassica canola napus* L[J]. Seed, 2011, 30(2): 110-112.

[6] 王伟荣,杨立勇,李延莉,等.甘蓝型双低隐性核不育杂交种“沪油杂 8 号”的选育[J].上海农业学报,2013,29(6):1-3.

WANG W R, YANG L Y, LI Y L, et al. Breeding of a

- recessive genic male sterile hybrid variety 'Huyouza 8' with double low content in *Brassica napus*[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2013, 29(6): 1-3.
- [7] 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.
- [8] 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. Inheritance of sterility in genic male sterile line 20118A and marker-assisted selection in hybrid breeding of *Brassica napus* L[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(11): 2015-2023.
- [9] 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, 29(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, 29(3): 262-267.
- [10] 彭焯, 陶芬芳, 杨学乐, 等. 甘蓝型油菜隐性核不育二型系 029AB 的遗传特性分析[J]. *作物研究*, 2016, 30(1): 1-3.
PENG Y, TAO F F, YANG X L, et al. Analysis on genetic characters of recessive genic male sterile two-type line 029AB in *Brassica napus* L[J]. *Crop Research*, 2016, 30(1): 1-3.
- [11] 王永行. 甘蓝型油菜三隐性核不育材料的育性及其遗传研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
WANG Y X. Fertility and genetic research on the three recessive male sterile material of *Brassica napus* L[D]. Yangling, China: Northwest A & F University, 2011.
- [12] 祁宝英, 阮颖, 官春云, 等. 甘蓝型油菜单基因隐性核不育株系 72A 的研究[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2013, 39(4): 338-342.
QI B Y, RUAN Y, GUAN C Y, et al. Research of *Brassica napus* recessive genic male sterile line 72A controlled by a single gene[J]. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)*, 2013, 39(4): 338-342.
- [13] 祁宝英. 新型甘蓝型油菜隐性细胞核不育系 72A 的选育[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
QI B Y. Novel *Brassica napus* recessive nucleus male sterility line 72A breeding[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.
- [14] 李慧, 胡胜武, 李玮, 等. 甘蓝型油菜隐性上位互作核不育系的选育及其细胞学研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2010, 38(1): 111-118.
LI H, HU S W, LI W, et al. Breeding of RGMS lines and investigation on their cytology in *Brassica napus* L[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2010, 38(1): 111-118.
- [15] 蒋海玉, 王欣, 李劲峰. 甘蓝型油菜隐性核不育两型系的选育[J]. *西南农业学报*, 2009, 22(1): 218-220.
JIANG H Y, WANG X, LI J F. Breeding of recessive genic male sterile lines 99F114AB and 99F121AB in *Brassica napus* L[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2009, 22(1): 218-220.
- [16] 邬贤梦, 肖钢, 官春云. 甘蓝型油菜温敏核不育材料 104S 的发现及遗传特性分析[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2009, 35(6): 597-601.
WU X M, XIAO G, GUAN C Y. Discovery and genetic analysis of a thermo-sensitive genic ms material 104S in *Brassica napus*[J]. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)*, 2009, 35(6): 597-601.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 柳正