

# 甘蓝型油菜两类同核异质杂交种遗传效应的比较分析

张耀文,赵小光,田建华,王学芳,李少钦,李殿荣,李永红,董育红

(陕西省杂交油菜研究中心,陕西 杨凌 712100)

**摘要:**探究甘蓝型油菜化学诱导型雄性不育(CIMS)和细胞质雄性不育(CMS)杂交种间遗传效应的差异,为利用CIMS和CMS途径进行油菜超高产育种提供依据。以3个甘蓝型油菜CMS和同核CIMS与4个恢复系按照ACII不完全双列杂交( $3 \times 4$ )配制2套同核异质杂交种及其亲本为试验材料,进行了连续2年的田间试验,将29个性状指标划分为农艺、产量、品质3类性状,利用QGA Station Microsoft分析软件中的加-显性(AD)模型进行了统计分析,结果表明:与同核CIMS杂种比较,CMS杂种农艺、产量和品质性状的加性方差分别高21.85%,72.11%,13.48%,显性方差分别高3.58%,94.44%,56.90%,加性方差比率分别高39.29%,8.94%, -7.05%;显性方差比率分别高15.83%,4.30%,89.97%。CIMS杂种与同核CMS杂种间在 $F_1$ 的差异大小为农艺性状>产量性状>品质性状,在 $F_2$ 为产量性状>农艺性状>品质性状;在 $F_1$ 、 $F_2$ ,与同核CIMS杂种比较,CMS杂种的群体平均优势农艺性状分别低31.61%,32.74%,产量性状高72.82%,76.95%,品质性状指标则低58.81%,22.63%;在 $F_1$ 、 $F_2$ ,CMS杂种的群体超亲优势为农艺性状分别低75.35%,76.33%,产量性状低47.53%,32.90%,品质性状高14.09%,20.53%。CMS杂种的农艺性状、产量性状的狭义遗传率则分别比CIMS杂种高47.77%,54.31%。CMS不育细胞质对油菜杂种的性状产生了影响,且不同性状受到的影响程度不同;即CMS杂种的性状受亲本基因型的控制程度高于CIMS杂种;对CMS杂种的亲本应在早期世代加强选择,主要利用亲本的一般配合力(加性效应)进行选择,而CIMS杂种的亲本则应在高世代加强选择;亲本的性状和亲本的特殊配合力(显性效应)对2类杂交种的表现都有较大影响,因而亲本的选配对杂种的表现有很大的决定性。

**关键词:**甘蓝型油菜;化学诱导型杂种;同核细胞质雄性不育杂种;遗传效应;比较

中图分类号:S635.03 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2015)02-0166-09

doi:10.7668/hbxb.2015.02.030

## Comparative Analysis of Hereditary Effects Between Two Type Hybrids with Homocytotic and Heteronuclear of *Brassica napus*

ZHANG Yao-wen, ZHAO Xiao-guang, TIAN Jian-hua, WANG Xue-fang, LI Shao-qin,  
LI Dian-rong, LI Yong-hong, DONG Yu-hong

(Hybrid Rapeseed Research Center of Shaanxi Province, Yangling 712100, China)

**Abstract:** In order to explore the difference of hereditary effects between the hybrids produced by chemical induced male sterility (CIMS) and cytoplasm male sterility (CMS) of *Brassica napus* and provide theoretical foundation for super high yield breeding of rapeseed by CIMS and CMS, two hybrids with heterocytotic and homonuclear produced by three groups of homonuclear CIMS and CMS and four restorer lines according to incomplete diallel cross of ACII ( $3 \times 4$ ) were chosen and the field experiment was proceeded for two years. 29 traits indexes which were divided into agriculture, yield and quality were analyzed on hereditary effect by additive-dominance model of QGA Station Microsoft statistical approach. The results indicated that: The additive variance of agriculture, yield and quality traits of CMS hybrid were higher than CIMS hybrid by 21.85%, 72.11%, 13.48%. The dominance variance of CMS hybrid were higher than CIMS hybrid by 3.58%, 94.44%, 56.90%. The additive variance ratio of CMS hybrid were higher than CIMS hybrid by 39.29%, 8.94%, -7.05%. The dominance variance ratio of CMS hybrid were higher than CIMS hybrid by 15.83%, 4.30%, 89.97%; The difference between CMS and CIMS hybrid was

收稿日期:2015-02-16

基金项目:陕西省科技统筹创新工程计划项目(2014KTCQ02-01);渭南市重大科技专项(2013TCZX-1);杨凌科技计划项目(2014-43);国家油菜现代产业技术体系建设专项(CARS-13);“十二五”国家“863”课题(2011AA10A104)

作者简介:张耀文(1972-),男,陕西蓝田人,副研究员,主要从事油菜生理生化和高光效育种研究。

agriculture > yield > quality in  $F_1$  and was yield > agriculture > quality in  $F_2$ ; In  $F_1$  and  $F_2$ , the heterosis of mean population of agriculture trait of CMS hybrid were lower than CIMS hybrid by 31.61% and 32.74%. The heterosis of mean population of yield trait was higher by 72.82% and 76.95%. The heterosis of mean population of quality trait was lower by 58.81% and 22.63%. The heterosis of better parents of agriculture trait of CMS hybrid was lower than CIMS hybrid by 75.35% and 76.33%. The heterosis of better parents of quality trait was lower by 47.53% and 32.90%, the heterosis of better parents of quality trait were higher by 14.09% and 20.53%. The narrow heritability ratios of agriculture and yield trait of CMS hybrid were higher than CIMS hybrid by 47.77% and 54.31%; sterile cytoplasm of CMS influenced the traits of rapeseed hybrid and the influence degrees of different traits were not same. The dominated degree of CMS hybrid by genotype was higher than that of CIMS hybrid. So selection of the parents of CMS hybrid should be strengthened in early generation to and general combining ability (additive effect) was mainly used on this selection. The trait and special combining ability (dominant effect) had a greater influence on phenotype of hybrid. That is to say, parental selection determined the phenotype of hybrid largely.

**Key words:** *Brassica napus*; Hybrid by chemical induced male sterility; Isoneuclear cytoplasm male sterility hybrid; Hereditary effects; Comparison

细胞质雄性不育 (Cytoplasm male sterility, CMS) 和化学诱导型雄性不育 (Chemical induced male sterility, CIMS) 作为油菜杂优利用的 2 个重要途径, 在生产中均取得了巨大成功<sup>[1-3]</sup>。油菜亲本性状对杂种  $F_1$  有很大影响<sup>[4-5]</sup>, CMS 属于遗传型雄性不育、CIMS 属于生理型雄性不育, 二者产生雄性不育的机理不同<sup>[3,6]</sup>, 于澄宇、张耀文、李建厂、罗昌敏等<sup>[7-10]</sup> 研究认为 CMS 不育胞质、化学杂交剂 (CHA) 对甘蓝型油菜雄性不育系的农艺、产量性状和光合特性等都产生了影响, 至于二者对油菜杂种后代有何影响尚未见报道; 育种实践表明, 对杂种遗传效应的研究有助于快速有效的选育出强优势组合<sup>[4-5,11-12]</sup>; 与 CMS 途径相比, CIMS 途径具有不受恢/保关系制约、组合选配自由、无细胞质效应影响等特点<sup>[2,8,13]</sup>, 而 CIMS 杂种与 CMS 杂交种间的遗传效应、育种策略有何差别尚未见报道; 本试验以 3 个甘蓝型油菜细胞质雄性不育系 (CMS)、同核化学诱导型雄性不育系 (CIMS) 和 4 个恢复系按照 ACII 不完全双列杂交 ( $3 \times 4$ ) 配制的 2 套同核异质杂交种及其亲本为试验材料, 进行了连续 2 年的田间试验; 将 29 个性状指标划分为农艺、产量、品质 3 类性状, 利用 QGA Station Microsoft 分析软件中的加-显性 (AD) 模型<sup>[14]</sup> 对试验数据进行了统计分析, 以期能够揭示 CIMS 和 CMS 杂交种间的遗传效应的真实差异, 为利用 CMS、CIMS 途径进行油菜的超高产育种提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

以 3 个大面积应用于生产的甘蓝型油菜细胞质雄性不育系 (CMS): Shaan2A (文中代号  $\varphi_{c1}$ )、

Shaan3A (代号  $\varphi_{c2}$ )、Shaan5A (代号  $\varphi_{c3}$ ) (均为陕 2A 不育胞质) 和 3 个同核化学诱导型雄性不育系 (CIMS, 在蕾薹期用化学杂交剂 SX-1 诱导相应 CMS 保持系 Shaan2B、Shaan3B、Shaan5B 所得): CIMS2A (代号  $\varphi_{H1}$ )、CIMS3A (代号  $\varphi_{H2}$ )、CIMS5A (代号  $\varphi_{H3}$ ), 和 4 个恢复系 08SQ182 (77/7794-2, 代号  $\delta_1$ ), 08SQ190 (D89/4314//A74, 代号  $\delta_2$ ), 08SQ195 (90-0-28/5557//7399-8, 代号  $\delta_3$ ), 08E352 (7399-8/A74, 代号  $\delta_4$ ) 为材料, 按照不完全双列杂交 (NCII) 配制的两套同核 CMS 和 CIMS 杂交种, 具体材料名称及代号见表 1。

2009 年花期手工制杂交种, 试验于 2009 - 2010、2010 - 2011 年在陕西省杂交油菜研究中心实验田进行, 2 年试验用同一批种子。试验按随机排列, 重复 3 次。每小区种 6 行, 小区面积为 10.8 m<sup>2</sup>; 田间管理按本中心统一要求进行。

### 1.2 测定方法

1.2.1 农艺性状、产量性状 分别在苗期、花期、收获期每材料取 10 株具有典型特征的代表性植株, 按照 DUS 标准<sup>[15]</sup> 测定农艺性状、产量性状, 重复 3 次。

1.2.2 品质性状 收获后, 每材料取 3 份小区混合种子样品进行品质性状分析, 含油量采用 NMR 法, 硫苷含量采用 HPLC 法、蛋白质含量采用凯氏定氮法, 芥酸、油酸、亚油酸、亚麻酸采用气相色谱法进行分析。

### 1.3 数据处理

所有数据均取 2 年平均值, 采用 QGA Station Microsoft 分析软件中的加-显性 (AD) 模型进行统计分析, 用 Minque (1) 法估算方差分量, AUP 法预测遗

传效应值和杂种优势,用 Jackknife 方法估算标准 误,并进行显著性检验<sup>[14]</sup>。

表 1 试验材料及文中代号

Tab. 1 Experimental materials and it's code in this paper

代号 Code		CMS 不育系 CMS sterile line			化学诱导型不育系 CIMS sterile line		
		Shaan2A	Shaan3A	Shaan5A	CIMS2A	CIMS3A	CIMS5A
		♀ <sub>C1</sub>	♀ <sub>C2</sub>	♀ <sub>C3</sub>	♀ <sub>H1</sub>	♀ <sub>H2</sub>	♀ <sub>H3</sub>
恢复系 Restorer line	08SQ182	♀ C1 × ♂ 1	♀ C2 × ♂ 1	♀ C3 × ♂ 1	♀ H1 × ♂ 1	♀ H2 × ♂ 1	♀ H3 × ♂ 1
	♂ <sub>1</sub>	F <sub>C1*1</sub>	F <sub>C2*1</sub>	F <sub>C3*1</sub>	F <sub>H1*1</sub>	F <sub>H2*1</sub>	F <sub>H3*1</sub>
	08SQ190	♀ C1 × ♂ 2	♀ C2 × ♂ 2	♀ C3 × ♂ 2	♀ H1 × ♂ 2	♀ H2 × ♂ 2	♀ H3 × ♂ 2
	♂ <sub>2</sub>	F <sub>C1*2</sub>	F <sub>C2*2</sub>	F <sub>C3*2</sub>	F <sub>H1*2</sub>	F <sub>H2*2</sub>	F <sub>H3*2</sub>
	08SQ195	♀ C1 × ♂ 3	♀ C2 × ♂ 3	♀ C3 × ♂ 3	♀ H1 × ♂ 3	♀ H2 × ♂ 3	♀ H3 × ♂ 3
	♂ <sub>3</sub>	F <sub>C1*3</sub>	F <sub>C2*3</sub>	F <sub>C3*3</sub>	F <sub>H1*3</sub>	F <sub>H2*3</sub>	F <sub>H3*3</sub>
	08E352	♀ C1 × ♂ 4	♀ C2 × ♂ 4	♀ C3 × ♂ 4	♀ H1 × ♂ 4	♀ H2 × ♂ 4	♀ H3 × ♂ 4
	♂ <sub>4</sub>	F <sub>C1*4</sub>	F <sub>C2*4</sub>	F <sub>C3*4</sub>	F <sub>H1*4</sub>	F <sub>H2*4</sub>	F <sub>H3*4</sub>

## 2 结果与分析

### 2.1 主要性状间的遗传方差构成的比较

协方差大小能反映变量间差异的大小,方差分量则反映了差异产生的原因<sup>[14]</sup>。由表 2 可见 CIMS 杂种与同核 CMS 杂种的 29 个性状的加性、显性、环境方差数值多呈 0.01 或 0.05 显著水平,表明基因型和环境都会对 2 类杂种的表型产生影响。按性状类型比较,加性、显性、环境方差均是农艺性状 > 产量性状 > 品质性状,说明在 2 类杂种中农艺性状的变化最大,品质性状的变化最小;其中农艺性状中的长柄叶(LPLA)、短柄叶(SPLA)、无柄叶(NPLA)面积和角果皮面积(SSA)这 4 个性状,产量性状中的主序(SNMI)、分枝(SNB)、总角果数(TSNP)和生物学产量(BO)这 4 个性状,品质性状中的硫苷(GC)、芥酸(EAC)和油酸(OAC)这 3 个性状的方差数值相对较大,表明在 2 类杂交种的 29 个性状中以上 11 个性状的差异较大;对方差分量进行比较发现,2 类杂交种的农艺、产量性状均是显性方差 > 加性方差 > 环境方差,CMS 杂种农艺、产量性状中的显性方差分别占总方差的 81.92%,69.53%,CIMS 杂种分别为 75.31%,70.47%,表明这 2 类杂交种农艺和产量性状的遗传均以显性效应为主,即亲本基因型和环境都会对杂交种产生影响;2 类杂交种的品质性状的方差大多为加性方差 > 显性方差 > 环境方差,加性方差分别总方差的 69.80%,76.20%,则表明品质性状的遗传以加性效应为主,即亲本的品质性状可在杂交后代中高度遗传。对两类杂交种间主要性状遗传方差的比较结果如图 1 所示:CMS 杂种的农艺、产量、品质性状加性方差分别比同核 CIMS 杂种高 21.85%,72.11%,13.48%,显性方差则分别高 3.58%,94.44%,56.90%;CMS 杂种农艺、产量和品质性状的加性方差分量比率分别比同核

CIMS 杂种高 39.29%,8.94%, - 7.05%;显性方差分量比率分别高 15.83%,4.30%,89.97%,以上比较表明 CMS 杂种农艺、产量性状的加性、显性方差,加性、显性方差比率均高于同核 CIMS 杂种,说明 CMS 杂种农艺、产量性状受遗传因素的控制程度高于 CIMS 杂种,受环境因素的影响则相对较小,即 CMS 杂种农艺、产量性状受亲本基因型的控制程度高于 CIMS 杂种,即亲本的性状对 CMS 杂种的影响较大,而 CIMS 杂种则受易受环境因素的影响;CMS 杂种品质性状的加性方差比率低于 CIMS 杂种,而显性方差比率高于 CIMS 杂种,则说明 CMS 杂种的品质性状受亲本等位基因的累加作用引起的变异低于 CIMS 杂种,受等位基因间互作引起的变异高于 CIMS 杂种,即 CMS 杂种的亲本品质性状的可固定遗传程度高于 CIMS 杂种。

### 2.2 杂种后代表型预测值的比较

杂种后代表型预测值是杂种在理论上的表现,可为杂种的早期筛选提供一定的理论依据<sup>[16]</sup>。从表 3 可看出,CMS、CIMS 这 2 类杂交种的表型预测值均表现为 F<sub>2</sub> 低于 F<sub>1</sub>,其中农艺性状(CMS、CIMS 杂种分别平均降低 6.02%,6.69%)、产量性状(平均降低 7.15%,5.27%)的降低程度高于品质性状(平均降低 1.64%,2.32%),说明与 F<sub>1</sub> 相比,油菜杂种主要性状在 F<sub>2</sub> 存在一定程度的退化,尤其农艺、产量性状表现较为明显。对同核的 CMS 和 CIMS 杂种进行比较发现:二者间的 3 类性状在 F<sub>1</sub> 的差异大小为农艺性状(CMS 杂种比 CIMS 平均高 1.07%,下同) > 产量性状(-0.55%) > 品质性状(平均 -0.09%);与同核 CIMS 杂种相比较,CMS 杂种的分枝角果数(SNB)、无柄叶(NPLA)、短柄叶(SPLA)、长柄叶面积(LPLA)、种子产量(SY)等这 5 个指标高 3.22%~8.28% 平均为 6.18%,而根冠比(RSR)、主序长(LMI)、主序角果数(SNMI)3 个指标

则低 3.75% ~ 4.88% 平均低 4.32%; 2 类杂交种间在  $F_2$  的差异表现为产量性状 (平均 -2.49%) > 农艺性状 (1.78%) > 品质性状 (0.62%); 与同核 CIMS 杂种相比较, CMS 杂种的分枝角果数 (SNB)、分枝数 (NB)、无柄叶 (NPLA)、短柄叶 (SPLA)、长柄叶面积 (LPLA)、总角果数 (TSNP) 6 个指标高 3.51% ~ 7.15%, 平均高 4.45%; CMS 杂种的根冠比 (RSR)、角粒数 (SNPP)、根重 (RW)、经济系数 (EC)、短柄叶叶数 (NSPL)、主序角果数 (SNMI)、种

子产量 (SY) 7 个指标则低 3.28% ~ 7.54%, 平均低 5.32%。在  $F_1$ 、 $F_2$  中, CMS 杂种的分枝角果数 (SNB)、无柄叶 (NPLA)、短柄叶 (SPLA)、长柄叶面积 (LPLA) 4 个指标均显著或极显著高于 CIMS 杂种, 而其根冠比 (RSR)、主序长 (LMI)、主序角果数 (SNMI) 3 个指标则极显著低于 CIMS 杂种。以上表明 29 个性状在 2 类杂交种上的表现不同, 在  $F_1$ 、 $F_2$  的差异大小也不同, 总体来说, 农艺、产量性状的差异较大, 品质性状的差异较小。

表 2 同核 CIMS 与 CMS 杂种主要性状方差构成

Tab. 2 Variance components value of main characters of CIMS and homonuclear CMS hybrid

性状类型 Trait type		CMS 杂种方差 CMS hybrid variance			CIMS 杂种方差 CMS hybrid variance		
		加性	显性	环境	加性	显性	环境
		Additive	Dominant	Environmental	Additive	Dominant	Environmental
农艺性状 Agronomic traits	株高 PH	5.98 **	159.60 **	7.08 **	7.98 **	256.96 **	11.02 **
	分枝数 NB	0.56 **	0.76 **	0.16 **	0.23 **	0.32 **	0.07 **
	分枝部位 BH	1.13 *	68.17 **	9.54 **	1.13 **	36.85 **	5.29 **
	主序长 LMI	13.56 **	34.32 **	1.69 **	4.38 **	56.53 **	2.24 **
	长柄叶数 NLPL	0.06 *	3.32 **	0.01	0.08 **	4.26 **	0.01
	短柄叶数 NSPL	0.02 +	2.36 **	0.01	0.01 **	3.32 **	0.01 **
	无柄叶数 NNPL	0.18 **	2.01 **	0.03 **	0.28 **	0.98 **	0.09 +
	长柄叶面积 LPLA	25 689 **	1 126 783 **	9 836 **	368 792 **	1347698 **	14 562 **
	短柄叶面积 SPLA	12 387 **	943 821 **	10 308 **	16 604 **	1181730 **	13 040 **
	无柄叶面积 NPLA	44 979 **	188 314 **	1 588 **	112 182 **	202 118 **	2 336 **
	角果皮面积 SSA	13 576 **	253 443 **	3 964 **	5 103 **	218 027 **	3 319 **
	平均 Average	8 787	228 421	2 338	45 699.6	268 176	3 025.07
产量性状 Yield traits	种子产量 SY	2.39 *	26.45 **	1.84 +	0.82 **	8.44 **	0.65 **
	生物学产量 BO	18.77 **	173.95 **	1.78 **	17.76 **	110.27 **	1.62 **
	根重 RW	0.02 **	1.01 **	0.10 **	0.01 **	0.83 **	0.08 **
	经济系数 EC	0.009 **	0.0095 **	0.002 **	0.001 **	0.001 **	0.0002 **
	根冠比 RSR	0.55 **	0.59 **	0.04 **	0.33 **	0.85 **	0.06 **
	主序角果数 SNMI	24.55 **	160.71 **	1.75 **	15.73 **	92.58 **	1.23 **
	主序结角密度 ESMI	0.17 **	0.04 **	0.00	0.01 **	0.01 **	0.002 **
	分枝角果数 SNB	367 **	1551 **	46.35 **	682.28 **	1342 **	48.58 **
	总角果数 TSNP	522 **	1610 **	120.40 **	1157 **	1938 **	165.67 **
	每角粒数 SNPP	0.54 **	6.53 **	0.05 **	1.92 **	4.82 **	0.04 **
	千粒质量 TGW	0.03 **	0.08 **	0.01	0.05 **	0.12 **	0.01 **
	平均 Average	85.09	320.94	15.67	170.54	318.05	19.81
品质性状 Quality traits	含油量 OC	4.37 **	1.70 **	0.62 **	2.69 **	0.62 **	0.37 *
	硫甙 GC	295 **	28.32 **	0.85 **	335.79 **	47.01 **	1.00 **
	蛋白质 PC	1.36 **	0.67 **	0.25 **	0.66 **	0.24 **	0.12 **
	芥酸 EAC	139.43 **	6.68 **	0.23 **	127.39 **	3.92 **	0.21 **
	油酸 OAC	118 **	11.38 **	0.93 **	120.5 **	9.41 **	1.45 **
	亚油酸 LAC	4.90 **	1.02 **	0.05 **	3.95 **	0.48 **	0.04 **
	亚麻酸 LAC1	0.79 **	0.23 **	0.11 **	0.76 **	0.28 **	0.11 **
	平均 Average	80.55	7.14	0.43	84.53	8.85	0.47

注: +、\*、\*\* 分别表示 0.1、0.05、0.01 概率显著水平; PH. 株高; NB. 分枝数; BH. 分枝部位; LMI. 主序长; NLPL. 长柄叶数; NSPL. 短柄叶数; NNPL. 无柄叶数; LPLA. 长柄叶面积; SPLA. 短柄叶面积; NPLA. 无柄叶面积; SSA. 角果皮面积; SY. 种子产量; BO. 生物学产量; RW. 根重; EC. 经济系数; RSR. 根冠比; SNMI. 主序角果数; ESMI. 主序结角密度; SNB. 分枝角果数; TSNP. 总角果数; SNPP. 每角粒数; TGW. 千粒质量; OC. 含油量; GC. 硫甙; PC. 蛋白质; EAC. 芥酸; OAC. 油酸; LAC. 亚油酸; LAC1. 亚麻酸。表 3 ~ 5、图 1 ~ 2 同。

Note: +, \*, \*\* indicated significance at 0.1, 0.05, 0.01 levels respectively; PH. Plant height; NB. Number of branch; BH. Branch height; LMI. Length of main inflorescence; NLPL. Number of long petiole leaves; NSPL. Number of short petiole leaves; NNPL. Number of non-petiole leaves; LPLA. Long petiole leaves area; SPLA. Short petiole leaves area; NPLA. Non-petiole leaves area; SSA. Silique skin area; SY. Seed yield; BO. Biotical output; RW. Root weight; EC. Economic coefficient; RSR. Root-shoot ratio; SNMI. Silique number of main inflorescence; ESMI. Efficient siliques of main inflorescence; SNB. Silique number of branch; TSNP. Total silique number of plant; SNPP. Seed number per pod; TGW. Thousand grain weight; OC. Oil content; GC. Glucobrassicin content; PC. Protein content; EAC. Erueic acid content; OAC. Oleic acid content; LAC. Linoleic acid content; LAC1. Linolenic acid. The same as Tab. 3 ~ 5, Fig. 1 ~ 2.

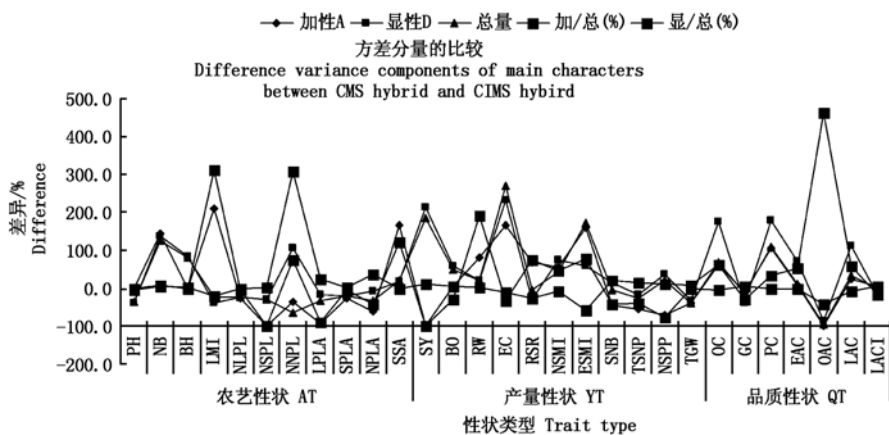


图1 CMS 杂种与同核 CIMS 与主要性状方差分量比较

Fig.1 Compare variance components of main characters between CIMS hybrid and homonuclear CMS hybrid

表3 同核 CIMS 与 CMS 杂种主要性状的表型预测值

Tab.3 Performance prediction of CIMS hybrid and homonuclear CMS hybrid main characters

性状类型		F <sub>1</sub> 代表型预测值 F <sub>1</sub> performance prediction			F <sub>2</sub> 代表型预测值 F <sub>2</sub> performance prediction		
Trait type		CMS	CIMS	C*/%	CMS	CIMS	C/%
农艺性状 Agronomic traits	PH	159.14 **	160.65 **	-0.94	147.08 **	145.14 **	1.34
	NB	9.25	9.18 **	0.76	9.13 + A	8.80 * B	3.75
	BH	48.88 **	50.27 **	-2.77	45.31 *	44.77 **	1.21
	LMI	56.10 ** b	58.64 ** a	-4.33	52.00 +	52.06 **	-0.12
	NLPL	14.22 **	14.62 **	-2.74	13.59 **	13.82 **	-1.66
	NSPL	12.71 **	13.19 **	-2.90	11.14 ** B	11.52A	-3.30
	NNPL	8.90 ** A	8.67B	2.65	8.6	8.63	-0.35
	LPLA	3 269.94 a	3 062.17 b	6.79	3 132.16a	2 923.12b	7.15
	SPLA	4 181.93 ** a	3 862.11 ** b	8.28	3 879.15 ** a	3 703.87 * b	4.73
	NPLA	1 646.67 + a	1 555.39b	5.87	1 586.76A	1 530.38 + B	3.68
	SSA	2 862.16 **	2 831.67 **	1.08	2 646.57 ** A	2 564.95 * B	3.18
产量性状 Yield traits	Av/%			1.07			1.78
	SY	24.153 ** A	23.40 ** B	3.22	20.93 ** B	21.64 * A	-3.28
	BO	84.01 +	82.50 **	1.83	80.01	78.77	1.57
	RW	6.91 **	7.1	-2.68	6.32b	6.69a	-5.53
	EC	0.28 *	0.28	0.00	0.261b	0.275a	-5.09
	RSR	8.96b	9.42a	-4.88	8.58b	9.28a	-7.54
	NSMI	67.44 ** b	70.07 ** a	-3.75	58.74 ** b	62.16 ** a	-5.50
	ESMI	1.18 **	1.2	-1.67	1.09 **	1.12	-2.68
	SNB	290.22 ** A	279.67 ** B	3.77	280.69 ** A	271.18 + B	3.51
	TSNP	353.75 **	351.31 **	0.69	329.26A	316.96B	3.88
	NSPP	25.88 **	26.43 **	-2.08	23.64 ** b	25.41 ** a	-6.97
品质性状 Quality traits	TGW	3.88	3.9	-0.51	3.89	3.81 *	0.26
	Av/%			-0.55			-2.49
	OC	44.54	44.33	0.47	43.69 **	44.13 **	-1.00
	GC	33.50 *	35.63 **	-1.85	32.67	33.23	-1.69
	PC	24.61	24.76	-0.61	25.12 *	24.78	1.37
	EAC	11.06 **	10.92 **	1.28	10.64 ** A	10.28 ** B	3.50
	OAC	63.16	62.16 **	1.61	58.81 **	57.35 *	2.55
	LAC	18.70 **	19.12	-2.20	19.30 +	19.44	-0.72
	LAC1	9.06	9	0.67	8.91	8.88	0.34
	Av/%			-0.09			0.62

注:A(B)、a(b)分别表示0.1,0.05水平下的显著性差异,表4~5同。  
Note:The A(B),a(b) indicate the difference at 0.1,0.05 level respectively. The same as Tab.4,5.

**2.3 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>杂种优势的比较**

杂种优势的有无和大小是能不能利用杂种优势进行作物改良的基础<sup>[1,4-5,13-14]</sup>,从表4可看出虽然2类杂交种29个性状的杂种优势大小不同,但群体平均优势(Heteros of mean population,Hpm)、群体超亲优势(Heteros of better parents,Hpb)均为F<sub>1</sub>大于

$F_2$ ,按性状类型进行比较,2类杂交种在  $F_1$ 、 $F_2$  的 Hpm、Hpb 均为农艺性状 > 产量性状 > 品质性状。CMS 杂种 11 个农艺性状的 Hpm 在  $F_1$  为  $-0.01 \sim 0.38$ , 平均为 0.19, 在  $F_2$  为  $-0.01 \sim 0.28$ , 平均为 0.11, Hpb 在  $F_1$  为  $-0.14 \sim 0.36$ , 平均为 0.12, 在  $F_2$  为  $-0.10 \sim 0.20$ , 平均为 0.04; 从图 2 中可看出, 与同核 CIMS 杂种相比较, CMS 杂种农艺性状的 Hpm 在  $F_1$  相差  $-188.89\% \sim 52\%$ , 平均为  $-31.61\%$ , 表现为 5 高 6 低, 在  $F_2$  相差  $-180\% \sim 46.15\%$ , 平均为  $-32.74\%$ , 表现为 3 高 8 低, Hpb 在  $F_1$  相差  $-433.33\% \sim 86.67\%$ , 平均为  $-75.35\%$ , 在  $F_2$  相差  $-369.69\% \sim 50\%$ , 平均为  $-76.33\%$ , 均表现为 3 高 8 低; 其中 CMS 杂种的株高 (PH)、分枝数 (NB)、分枝部位 (BH)、主序长 (LMI)、短柄叶数 (NSPL) 5 个指标的 Hpm、Hpb 在  $F_1$ 、 $F_2$  均低于同核 CIMS 杂种, 而短柄叶面积 (SPLA)、角果皮面积 (SSA) 则高于杂种 CIMS。

CMS 杂种产量性状的 Hpm 在  $F_1$  为  $-0.14 \sim 0.44$ , 平均为 0.16, 在  $F_2$  为  $-0.07 \sim 0.22$ , 平均为 0.08, Hpb 在  $F_1$  为  $-0.28 \sim 0.25$ , 平均为 0.03, 在  $F_2$  为  $-0.21 \sim 0.11$ , 平均为  $-0.03$ ; CMS 杂种与同核 CIMS 杂种相比较, 产量性状的 Hpm 之间相差  $-86.36\% \sim 250\%$ , 平均为 72.82%, 在  $F_2$  相差  $-81.82\% \sim 300\%$ , 平均为 76.95%, 在  $F_1$ 、 $F_2$  均表现为 7 高 4 低; 产量性状指标的 Hpb 在  $F_1$  相差  $-300\% \sim 200\%$ , 平均为  $-47.53\%$ , 表现为 5 高 6 低, 在  $F_2$  相差  $-268.07\% \sim 181.0\%$ , 平均为  $-32.90\%$ , 表现为 6 高 5 低, 其中生物学产量 (BO)、分枝角果数 (SNB)、总角果数 (TNSP) 3 个指标的 Hpm、Hpb 在  $F_1$ 、 $F_2$  均低于同核 CIMS 杂种, 而种子产量 (SY)、根冠比 (RSR)、主序角果数 (NSMI)、角粒数 (NSPP) 4 个指标则高于同核 CIMS 杂种。CMS 杂种 7 个品质性状的 Hpm 在  $F_1$  为  $-0.04 \sim 0.15$ , 平均为

表 4 同核 CIMS 与 CMS 杂种主要性状的杂种优势

Tab. 4 Main characters heterosis performance of CIMS hybrid and homonclear CMS hybrid

性状类型 Trait type		群体平均优势 Heterosis of mean population (Hpm)				群体超亲优势 Heterosis of better parents (Hpb)			
		$F_1$		$F_2$		$F_1$		$F_2$	
		CMS	CIMS	CMS	CIMS	CMS	CIMS	CMS	CIMS
农艺性状 Agronomic traits	PH	0.16	0.21	0.08**	0.10**	0.15**	0.18**	0.07	0.09 +
	NB	-0.01b	0.09a	-0.01b	0.04**a	-0.11**b	0.08**a	-0.05B	-0.08A
	BH	0.15**B	0.24**A	0.08**B	0.12**A	0.13B	0.21**A	0.05*B	0.09**A
	LMI	0.12**B	0.24**A	0.06**b	0.12**a	0.07**b	0.19*a	0.01b	0.07*a
	NLPL	0.24**	0.22**	0.16**	0.17**	0.09*B	0.16**A	0.04b	0.08*a
	NSPL	0.15**B	0.28**A	0.08**B	0.14**A	0.08**b	0.23a	0.01b	0.09*a
	NNPL	0.07**A	0.05B	0.04**A	0.03B	0.12b	-0.09a	-0.03**b	-0.06a
	LPLA	0.36	0.35	0.28	0.29	0.36	0.29	0.20A	0.15B
	SPLA	0.38**A	0.25**B	0.19**A	0.13**B	0.28**a	0.15*b	0.09*a	0.03b
	NPLA	0.08*b	-0.09*a	0.04*b	-0.05*a	-0.14**b	-0.38**a	-0.10b	-0.33**a
	SA	0.35**	0.33**	0.18**	0.17**	0.32**	0.29 +	0.14	0.13
	平均 Av.	0.19B	0.2A	0.11	0.11	0.12b	0.12a	0.04	0.03
产量性状 Yield traits	SY	0.33**a	0.16**b	0.16*a	0.08**b	0.25**a	0.13**b	0.09**a	0.05*b
	BO	0.07**B	0.17**A	0.04**b	0.09**a	-0.01b	0.12**a	-0.05**b	0.04 + a
	RW	0.16**a	0.05**b	0.08**a	0.02*b	0.07**b	-0.11**a	0.01a	0.01**b
	EC	0.18**A	0.13*B	0.09**	0.07*	0.01b	-0.02*a	-0.006B	-0.01A
	RSR	-0.14**a	-0.04*b	-0.07**a	-0.02*b	-0.28**a	-0.11**b	-0.21**a	-0.08**b
	NSMI	0.44**a	0.25**b	0.22**a	0.12**b	0.24**A	0.17**B	0.11a	0.04*b
	ESMI	0.34**a	0.11b	0.17**a	0.06b	0.22**b	-0.18a	-0.12	-0.10**
	SNB	0.03 + b	0.22**a	0.02*b	0.11**a	-0.26**b	0.13**a	-0.16b	0.10a
	TSNP	0.15**B	0.21**A	0.07**B	0.11**A	-0.02b	0.12**a	-0.006b	0.01a
	NSPP	0.18**a	0.08**b	0.09**a	0.04**b	0.12**a	0.04b	0.02*a	0.01b
	TGW	0.02b	0.04**a	0.01b	0.02**a	-0.06**a	-0.04b	-0.03a	-0.02b
	平均 Av.	0.16a	0.13b	0.08a	0.06b	0.03B	0.02A	-0.03	0
品质性状 Quality traits	OC	0.04**a	0.02*b	0.02**a	0.005b	-0.04**	-0.05**	-0.02a	-0.01b
	GC	0.05*b	0.15**a	0.03*b	0.07**a	-0.36**A	-0.27**B	-0.29A	-0.21B
	PC	-0.04**b	0.03a	-0.02**b	0.01a	-0.10**B	-0.16A	-0.08**a	-0.04**b
	EAC	0.15**	0.12**	0.07**	0.06**	-0.71**	-0.75**	-0.48	-0.51
	OAC	0.01**b	-0.05**a	0.006**b	-0.02**a	-0.02**b	-0.21**a	-0.016b	-0.16a
	LAC	-0.008**	-0.01*	-0.03**a	-0.015b	-0.16**A	-0.11**B	-0.13**a	-0.08b
	LAC1	0.03**b	0.1a	0.01b	0.05b	-0.02	-0.03	-0.016	-0.02
	平均 Av.	0.03b	0.05a	0.02	0.02	-0.2	-0.22	-0.15	-0.15

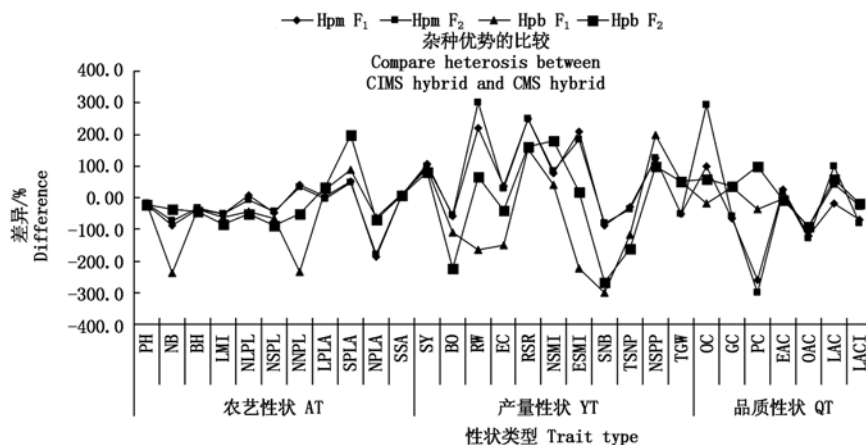


图2 CMS杂种与同核CIMS与主要性状方差分量杂种优势的比较

Fig. 2 Compare heterosis of main characters between CIMS hybrid and homonuclear CMS hybrid

0.03, 在  $F_2$  为  $-0.03 \sim 0.07$ , 平均为 0.02, Hpb 在  $F_1$  为  $-0.71 \sim -0.02$ , 平均为  $-0.20$ , 在  $F_2$  为  $-0.48 \sim -0.02$ , 平均为  $-0.15$ ; CMS 杂种与同核 CIMS 杂种相比较, 品质性状的 Hpm 在  $F_1$  相差  $-260.0\% \sim 100\%$ , 平均为  $-58.81\%$ , 在  $F_2$  相差  $-300\% \sim 292.16\%$ , 平均为  $-22.63\%$ , 均表现为 2 高 5 低。品质性状指标的 Hpb 在  $F_1$  相差  $-90.48\% \sim 45.45\%$ , 平均为  $14.09\%$ , 表现为 2 高 5 低, 在  $F_2$  相差  $-90.0\% \sim 100.0\%$ , 平均为  $20.53\%$ , 表现为 4 高 3 低, 品质性状的油酸 (OAC)、亚麻酸 (LAC1) 2 个指标的 Hpm、Hpb 在  $F_1$ 、 $F_2$  均显著低于同核 CIMS 杂种 2 个指标。以上表明 2 类杂交种不同性状的杂种优势大小不同, 按性状类型比较, 在  $F_1$ 、 $F_2$  CMS 杂种的农艺、产量性状的 Hpm 均高于 CIMS 杂种, 而 Hpb 则低于 CIMS 杂种, 与 CIMS 杂种相比较, CMS 杂种的品质性状的 Hpm 较低, Hpb 则在  $F_1$  低, 在  $F_2$  高。产生以上现象的原因可能在于 CMS 的不育胞质和化学杂交剂对 CMS 和 CIMS 不育系农艺、产量性状的影响程度不同。

## 2.4 遗传率的比较

遗传率的大小直接反映了目标性状在不同环境下遗传稳定性的程度<sup>[14]</sup>。从表 5 可看出, CMS 杂种与同核 CIMS 杂种 29 个性状指标的广义遗传率 ( $h_B$ ) 的平均值均在 90% 以上, 且均呈极显著差异, 表明亲本基因型对杂种后代性状表现起主要作用; 而品质性状的狭义遗传率 ( $h_N$ ) 的平均值大于 75%, 则表明杂种后代品质性状的表现受亲本基因累加作用的控制程度也较大, 即可通过对在早期世代改良的亲本品质性状来提高杂交种的品质性状。如表 5 所示, 与同核 CIMS 杂种相比较, CMS 杂种的 29 个性状指标的  $h_B$  相差  $-4.88\% \sim 5.75\%$ , 平均为  $0.62\%$ , 7 个品质性状指标的  $h_N$  相差  $-6.82\% \sim 3.41\%$ , 平均为  $-1.26\%$ , 方差检验均无显著差异, 表明 2 套同

核杂交种间的  $h_B$ 、品质性状的  $h_N$  无显著差异; 与 CIMS 杂种相比较, CMS 杂种的农艺性状、产量性状的狭义遗传率则分别比 CIMS 杂种平均高 47.77%, 54.31%, 除株高 (PH)、分枝部位 (BH)、短柄叶数 (NSPL)、短柄叶面积 (SPLA) 3 个指标外, CMS 杂种其余 8 个农艺性状指标的  $h_N$  高 11.11% ~ 210.0%, 平均高 75.06%, 产量性状指标中的根重 (RW)、经济系数 (EC)、根冠比 (RSR)、主序角果数 (NSMI)、分枝角果数 (NSB)、总角果数 (TNSP) 等 6 个指标的  $h_N$  高 50% ~ 235.71%, 平均高 140.82%, 而生物学产量 (BO)、种子产量 (SY)、角粒数 (NSPP)、千粒质量 (TGW) 等 4 个指标则低 23.08% ~ 82.76%, 平均低 61.88%; 以上表明, 在农艺性状中 CMS 杂种受亲本基因累加作用控制的程度高于 CIMS 杂种, 而在产量性状中, 不同性状在 2 类杂交种中受亲本基因型控制的程度不同, 则暗示通过改良亲本的农艺性状来改良 CMS 杂种农艺性状的难度小于 CIMS 杂种, 产量性状的遗传则较为复杂, 不同类型不同基因组合的杂交种情况则不同。

## 3 讨论

### 3.1 CMS 和 CIMS 育种途径具有不同的遗传效应, 应采取不同的育种策略

对于杂种优势、遗传效应的研究有助于快速有效的选育出强优势组合<sup>[5-6,15]</sup>, 多年以来国内外的油菜育种家对于 CMS、GMS 雄性不育途径的杂种优势、遗传效应方面进行了大量研究<sup>[5,13,16-17]</sup>; 相对于 CMS、GMS 等途径而言, 对于油菜 CIMS 途径的研究尚处于起步阶段, 对 CIMS 杂种的遗传效应鲜有研究, 本试验所用的 2 套油菜杂交种属于同核异质杂交种, 细胞核内的遗传物质基本相同, 排除了由于基因型不同产生的差异; 由于化学杂交剂的作用效果不具有遗传性<sup>[2-3,7]</sup>, 因此, 本试验套杂交种间的差

表 5 同核 CIMS 与 CMS 杂种主要性状遗传效率值

Tab.5 Compare genetic effects main characters between CIMS hybrid and homonuclear CMS hybrid

		广义(hB) Broad heritability			狭义/% (hN) Narrow heritability		
性状	Trait	CMS	CIMS	CMS 与 CIMS 比较/% Comparison of CMS to CIMS	CMS	CIMS	CMS 与 CIMS 比较/% Comparison of CMS to CIMS
农艺性状 Agronomic traits	PH	0.93 **	0.96 **	-3.12	0	0	0.00
	NB	0.93 **	0.89 **	4.49	0.51 ** A	0.38 ** B	34.21
	BH	0.78 **	0.82 **	-4.88	0	0	0.00
	LMI	0.94 **	0.96 **	-2.08	0.31 ** a	0.1 b	210.00
	NLPL	0.79 **	0.83 **	-4.82	0.42 ** A	0.33 ** B	27.27
	NSPL	0.99 **	0.99 **	0.00	0	0	0.00
	NNPL	0.92 **	0.87 **	5.75	0.37 ** a	0.21 ** b	76.19
	LPLA	0.95 **	0.92 **	3.26	0.30 ** A	0.27 ** B	11.11
	SPLA	0.98 **	0.99 **	-1.01	0	0	0.00
	NPLA	0.99 **	0.99 **	0.00	0.28 ** A	0.24 ** B	16.67
产量性状 Yield traits	SSA	0.99 **	0.99 **	0.00	0.05 a	0.03 b	150.00
	SY	0.98 **	0.93 **	5.38	0.03 b	0.09 * a	-66.67
	BO	0.95 **	0.93 **	2.15	0.10 * B	0.13 * A	-23.08
	RW	0.96 **	0.91 **	5.49	0.16 + a	0.06 b	162.30
	EC	0.87 **	0.90 **	-3.33	0.34 ** a	0.11 b	217.76
	RSR	0.97 **	0.94 **	3.19	0.47 ** a	0.14 * b	235.71
	NSMI	0.99 **	0.99 **	0.00	0.21 ** a	0.14 ** b	50.00
	ESMI	0.97 **	0.94 **	3.19	0.31 **	0.31 **	0.00
	SNB	0.99 **	0.98 **	1.02	0.67 ** a	0.40 ** b	66.67
	TSNP	1.0 **	0.96 **	4.17	0.55 ** a	0.26 ** b	112.50
品质性状 Quality traits	NSPP	0.86 **	0.89 **	-3.37	0.07 b	0.28 ** a	-75.00
	TGW	0.88 **	0.90 **	-2.22	0.05 b	0.29 * a	-82.76
	OC	0.98 **	0.94 **	4.26	0.71 **	0.73 **	-2.74
	GC	0.99 **	0.99 **	0.00	0.91 **	0.88 **	3.41
	PC	0.91 **	0.88 **	3.41	0.49 **	0.50 **	-2.00
	EAC	1.0 **	0.99 **	1.01	0.95 **	0.97 **	-2.06
	OAC	0.99 **	0.99 **	0.00	0.91 **	0.92 **	-0.76
	LAC	0.99 **	0.99 **	0.00	0.82 ** B	0.88 ** A	-6.82
	LAC1	0.72 **	0.75 **	-4.00	0.48 **	0.47 **	2.13

别仅在于 CMS 杂种具有 CMS 不育细胞质。2 类杂交种在杂种预测值 ( $F_1$ 、 $F_2$ ) 方面的差别表明, CMS 不育细胞质对油菜 CMS 杂种的性状产生了影响, 且不同性状受到的影响程度不同; 二者在群体平均优势 ( $H_{pm}$ )、群体超亲优势 ( $H_{pb}$ ) 间的差别的原因可能在于不育胞质、化学杂交剂对 CMS 和 CIMS 不育系的影响程度不同; 同时 2 类杂交种在农艺、产量性状的杂种优势较高而品质性状的杂种优势较低, 则说明易于利用杂种优势对于农艺、产量性状的进行改良, 而利用杂种优势对品质性状进行改良则难度较大, 只能通过对亲本的改良来提高杂交种。2 类杂交种在遗传方差构成、狭义遗传率间的差别则表明遗传因素对 CMS 杂种性状的影响程度高于 CIMS 杂种, 即 CMS 受亲本基因型的控制程度高于 CIMS

杂种, 因此对 CMS 杂种的亲本应在早期世代加强选择, 主要利用亲本一般配合力 (加性效应) 进行选择, 而 CIMS 杂种的亲本则应在高世代加强选择; 杂种优势的比较结果表明, 2 类杂交种不同性状的杂种优势大小不同, 则表明亲本的性状和亲本的特殊配合力 (显性效应) 对杂交种的表现有较大影响, 即亲本的选配对杂种的表现有很大的决定性。

**3.2 近年来油菜 CIMS 途径进展迅速, 但相关基础研究相对滞后**

目前, 生产上要求育成的油菜品种具有“高产、高效、高抗”等多个优良性状<sup>[1-2,4]</sup>, 但品质、产量、抗性等性状多属于“数量 + 质量”性状, 遗传行为较复杂, 且各个性状之间会相互影响, 因而选育符合目标性状的品种难度越来越大<sup>[1-3]</sup>。作为油菜杂优利



用应用最广泛而又最有效的途径,无论 CMS 还是 CIMS 在油菜育种中都存在着育种周期长、亲本选配可利用资源的范围窄、强优势组合的选配难度大等弊端,已成为目前油菜杂种优势利用途的“瓶颈”<sup>[2-4]</sup>。随着一批新型化学杂交剂的尤其是 ALS 靶标酶抑制剂型化学杂交剂的成功应用,油菜 CIMS 杂优利用取得了长足进步,相继有渝黄 6 号、秦优 19、秦优 33 等 10 余个油菜杂交品种通过国(省)审,杂交种年推广面积达 70 万  $\text{hm}^2$  以上<sup>[3]</sup>,已成为油菜杂优利用的重要途径;与品种选育取得的成就相比,CIMS 途径的相关基础研究相对滞后,国内的研究多集中在化学杂交剂(CHA)的筛选、CIMS 雄性不育系的生理特性变化等方面<sup>[2,6-11]</sup>,对其他的相关基础研究开展的较少,因而今后应加强油菜 CIMS 途径的相关基础研究。

### 3.3 油菜 CIMS 杂种与高产、高油的关系

李殿荣等<sup>[13,18]</sup>结合油菜 CIMS 途径的优势和高油种质,提出了“化杀+高油”的育种模式,并应用此方法选出了一批高产高油杂交种,实现了产量、产油量的突破。关周博等<sup>[19]</sup>对 2008-2010 年陕西参加国审试验 9 个油菜品系和 2 套不同授粉系统配制的 18 个同父异母油菜组合进行比较后认为,CIMS 杂种的含油量和亩产油量均优于 CMS 杂种,但由于该试验所用材料来自不同育种单位,且年际间没有重复,不能排除品种基因型和年际间差异的影响,因而结果尚不能令人完全信服。本试验所用材料为 2 套同核异质油菜杂交种,且进行了 2 年的试验,因而排除了基因型和年际间差异的影响,对本试验 2 套同核异质油菜杂交种的品质性状的进行比较,结果相差为  $-2.2\% \sim 1.28\%$ ,平均  $-0.09\%$ ,方差分析检验显示二者间无显著差异,且二者间的相关系数高达  $0.998^{**}$ ,由此作者认为 CIMS 杂种含油量较高的原因可能在于 CIMS 途径亲本间无恢、保关系的制约,组合选配自由、选择面大,利于优良性状的集合,因而高产、高油组合的出现几率大大增加;同时由于不受胞质效应的影响,育种周期短,减少了由于亲本材料在转育不育系时多代自交纯化而导致的品质、产量的下降;但就育种途径而言,作者认为无论 CMS 还是 CIMS 途径杂种,不存在哪一种途径更高的问题,重点在于亲本组合的选配,只要组合选配得当,都能获得高产、高油的强优势组合。

### 参考文献:

[1] 傅廷栋. 油菜杂种优势利用研究的现状与思考[J]. 中国油料作物学报,2008,30(10):1-5.

- [2] 官春云. 油菜杂种优势利用新技术-化学杂交剂的利用[M]. 北京:科学出版社,2012:467-602.
- [3] 于澄宇. 甘蓝型油菜授粉控制系统研究现状与前景[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(9):93-100.
- [4] 张书芬,马朝芝,朱家成,等. 甘蓝型油菜主要农艺和产量性状的杂种优势及其分离世代分析[J]. 中国油料作物学报,2007,29(2):121-125.
- [5] 李少钦,王健胜,张文学,等. 甘蓝型油菜优良亲本对杂种后代产量性状的遗传效应分析[J]. 中国油料作物学报,2011,33(6):545-549.
- [6] 刘忠松,官春云,陈社员. 植物雄性不育机理的研究与应用[M]. 北京:中国农业出版社,2001:174-247.
- [7] 于澄宇,胡胜武,张春宏,等. 化学杂交剂 EXP 对油菜的杀雄效果[J]. 作物学报,2005,31(11):1455-1459.
- [8] 张耀文,赵小光,田建华,等. 甘蓝型油菜化学诱导型雄性不育系(CIMS)的光合特性[J]. 西北农业学报,2013,22(12):36-42.
- [9] 李建厂,李永红,王 灏,等. 新型油菜化学杂交剂 SX-1 对甘蓝型油菜制种亲本相关性状的影响研究[J]. 中国农学通报,2013,29(24):62-68.
- [10] 罗昌敏,唐章林. 化学杀雄剂 SX-1 对重庆地区油菜的杀雄效果研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(13):6747-6749.
- [11] 张书芬. 甘蓝型油菜农艺及品质性状杂种优势遗传分析[D]. 武汉:华中农业大学,2005.
- [12] 傅廷栋. 杂交油菜的遗传与利用[M]. 2 版. 武汉:湖北科学技术出版社,2000:124-137.
- [13] 李殿荣,李永红,任军荣,等. 油菜高油种质+化学诱导雄性不育杂优利用模式及其应用技术[J]. 西北农业学报,2012,21(11):69-74.
- [14] 朱 军. 数量性状遗传分析的新方法及其在育种中的应用[J]. 浙江大学学报:农业生命科学版,2000,26(1):1-6.
- [15] 余 毅,刘 平. 甘蓝型油菜新品种测试操作手册[M]. 北京:中国农业出版社,2012:96-107.
- [16] 侯国佐. 油菜隐性核不育研究与利用[M]. 北京:科学技术文献出版社,2009:129-133.
- [17] 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.
- [18] 李殿荣,田建华,陈文杰,等. 甘蓝型油菜特高含油量育种技术与资源创新[J]. 西北农业学报,2011,20(12):83-87.
- [19] 关周博,田建华,塔 娜,等. 化学诱导雄性不育授粉系统和细胞质雄性不育系授粉系统在油菜品种选育中的比较研究[J]. 陕西农业科学,2013(4):15-18.