

网络出版日期:2017-03-30

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20170330.1509.032.html>

不结球白菜不育系组合产量性状杂种优势分析

鱼昭君, 张淑娟, 闫芳芳, 惠麦侠

(西北农林科技大学 园艺学院, 农业部西北地区园艺作物生物学与

种质资源创新重点实验室, 陕西杨凌 712100)

摘 要 为提高对不结球白菜产量构成因素的选择效率, 以不结球白菜雄性不育系‘ZY’作母本, 5 份稳定遗传自交系作父本, 采用顶交法配制杂交组合, 分析 F_1 代产量性状的杂种优势。结果表明, 10 个产量性状均存在一定的杂种优势, 都有较高的正向中亲优势, 优势为 10.11%~153.17%; 除叶数外, 其余 9 个性状均有一定程度的超高亲优势, 超亲优势为 2.89%~89.30%。不结球白菜产量杂种优势主要取决于单株产量、叶柄长和叶宽。ZY×13xs156 组合在单株产量、叶质量和叶长上有最强杂种优势, 在杂种优势利用中具有较大的潜力。

关键词 不结球白菜; 雄性不育系; 产量性状; 杂种优势

中图分类号 S634.3

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2017)04-0603-06

杂种优势的研究和利用是现代育种学的重要内容, 由于其具有提高作物产量, 增强抗病性、抗逆性, 改良品质等优点, 应用范围极其广泛^[1], 也成为发掘农作物生产潜力中最有效的育种手段之一^[2]。优良的杂交种一般较对照品种增产 30% 左右, 高的可以增产数倍^[3-4]。

白菜类蔬菜具有明显的杂种优势, 生产上 90% 的大白菜良种已实现杂优化。日本在不结球白菜杂种优势利用上处于国际领先地位, 育成的杂交种商品性好、整齐、纯度高^[5]。中国不结球白菜杂优利用相对滞后, 加之其生产周期短, 用种量大, 多以小苗上市, 对产品纯度要求不高等, 以常规种为主, 或因其资源材料的自交不亲和性较大白菜、甘蓝类高, 杂交种纯度难以得到保证^[6-7]。雄性不育系的利用不仅可以降低制种的成本, 还可以提高杂交种的纯度^[8]。当前, 不结球白菜不育系中比较常用的不育源以甘蓝型油菜 *Poli-ma*^[9] 和萝卜 *Ogura* 细胞质雄性不育为主^[10]。一些新型不育源, 如甘蓝型油菜陕 2A 不育源^[11]、甘蓝型油菜 TPS 细胞质雄性不育源^[12]、大白菜核不育复等位基因不育系^[13] 等被陆续转入不结球

白菜育成新质源不育系, 进而利用转育的不育系组配出杂交新品种(组合)在生产上推广应用, 如上海市农科院利用 TPS 型不育系育成的杂交种‘杂交矮箕青’^[14]、苏州市蔬菜研究所利用 *Ogura* 雄性不育源选育的‘黑杂-1 号’^[15]、冯辉等^[16] 用甘蓝型油菜陕 2A 不育源选育的‘青杂 1 号’、‘青杂 2 号’和‘青杂 3 号’。这些利用不育系配制的杂交种, 产量普遍比对照高, 杂种优势明显。

‘ZY’是西北农林科技大学引入的萝卜细胞质雄性不育系, 为了充分了解该不育系配制的杂交种的优势强弱能否在生产上应用, 本研究利用‘ZY’不育系与 5 个常规父本系杂交配制组合, 研究分析杂交种产量性状杂种优势表现, 为不结球白菜杂交种优势利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以不结球白菜雄性不育系材料‘ZY’为母本, 选用 5 个不同类型、性状稳定的高代自交系 13xs102、13xs59、13xs139、13xs156 和 13xs198 为父本, 采用人工授粉的方法配制杂交种。

收稿日期:2016-04-18 **修回日期:**2016-05-20

基金项目:国家自然科学基金(31372062, 31272164); 陕西省农业科技创新与公关项目(2015NY103); 唐仲英育种专项(N37); 国家重点研发计划(2016YFD010101)。

第一作者:鱼昭君, 女, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜遗传育种与生物技术。E-mail: 1016093952@qq.com

通信作者:惠麦侠, 女, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事蔬菜生物技术与遗传育种研究。E-mail: maixiahui@163.com

1.2 试验设计

试验于 2014 年 3—10 月在西北农林科技大学试验田进行。按照顶交法组配杂交组合。将 5 个杂交组合和 6 个亲本共 11 份材料,采用随机区组设计,每小区种植 10 行,每行 8 株,于成株期每小区随机取样 5 株,进行亲本与组合产量性状的考察。

1.3 产量性状测定

测定的性状包括株幅、株高、叶长、叶宽、叶柄长、叶柄宽、叶柄厚、叶数、叶质量(最外层 5 片叶质量之和)和单株产量等 10 个产量相关性状,测定方法参照中华人民共和国农业部颁布的《不结球白菜新品种的特异性、一致性和稳定性(DUS)测试指南》测定。

1.4 数据处理

杂种优势计算采用如下公式:中亲优势(MPH) = $(F_1 - MP)/MP \times 100\%$;超亲优势

(BPH) = $(F_1 - BP)/BP \times 100\%$;其中 F_1 为杂交种的表现型值;BP 为高亲本的表现型值;MP 为父母本表现型平均值。

采用 SPSS 6.12 软件对基本数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不结球白菜主要产量性状差异与变异分析

不结球白菜 10 个产量性状的显著性差异与变异分析结果见表 1。结果表明,各性状变异系数有较大的差异,变幅为 17.60%~57.06%,其中单株产量变异系数最大为 57.06%,株幅最小为 17.6%。不同组合和亲本间在 10 个产量性状上均存在极显著差异,说明各性状存在极显著遗传差异,适合用于后续的杂种优势分析。从表 1 还可以看出,不同的亲本对杂交组合的产量性状影响不同,如母本‘ZY’与父本中单株产量最低的

表 1 不结球白菜 10 个产量性状方差分析

Table 1 Analysis of variance of ten yield traits in non-heading Chinese cabbages					
材 料 Material	株 高/cm Plant height	株 幅/cm Plant extent	叶 数 Number of leaves	叶 长/cm Leaf length	叶 宽/cm Leaf width
ZY×13xs156	39.34 abAB	39.86 aA	22.00 aA	49.10 aA	17.86 aA
ZY×13xs139	36.52 bcB	35.14 bAB	19.60 abA	39.52 cC	14.94 cB
ZY×13xs102	26.56 efD	31.86 bcBCD	12.60 cdB	29.94 eE	16.24 bcAB
ZY×13xs198	41.10 aA	35.04 bAB	18.20 bA	42.74 bBC	16.80 abAB
ZY×13xs59	23.32 fgDE	27.24 cdCD	14.20 cB	25.66 fF	13.12 dC
ZY	23.88 efgDE	28.04 cd CD	12.00 cdB	23.88 fgFG	11.14 eDE
13xs156	35.48 cB	30.10 bcd BCD	21.20 abA	37.88 cD	17.12 abA
13xs139	26.78 eD	33.74 bABC	21.80 aA	32.10 deE	10.60 eE
13xs102	21.88 gE	28.10 cdCD	10.20 dB	21.70 ghGH	10.28 eE
13xs198	31.20 dC	25.18 dD	22.20 aA	33.06 dE	12.58 dCD
13xs59	20.64 gDE	26.20 dD	22.60 aA	19.70 hH	12.86 dCD
均值 Mean	29.70	30.95	17.87	32.30	13.97
变异系数 CV/%	25.02	17.60	27.97	28.33	20.32

材 料 Material	叶柄长/cm Petiole length	叶柄宽/cm Petiole width	叶柄厚/cm Petiole thick	叶质量/g Yield of leaves	单株产量/g Yield per plant
ZY×13xs156	15.82 aA	4.10 aA	0.86 bcBC	44.87 aA	100.52 aA
ZY×13xs139	17.46 aA	3.44 bcAB	0.67 deCDE	27.44 bB	52.41 bcBC
ZY×13xs102	10.30 bB	3.98 aA	1.26 aA	39.82 aA	66.92 bB
ZY×13xs198	17.10 aA	2.80 deC	0.78 cdBC	24.32 bcBCD	45.96 cdBC
ZY×13xs59	8.50 bcdBC	3.08 cdBC	0.84 bcBC	18.58 cdBCDE	34.42 deCD
ZY	7.76 bcdBC	1.92 fE	0.71 cdCD	10.62 efEF	14.88 fD
13xs156	8.30 bcdBC	2.74 deC	0.50 fEF	17.48 dCDEF	35.37 cdeCD
13xs139	15.00 aA	2.06 fDE	0.34 gF	8.97 fF	19.28 efD
13xs102	8.86 bcBC	3.82 abA	1.24 aA	26.35 bBC	37.59 cdCD
13xs198	6.88 cdBC	2.56 eCD	0.56 efDE	15.76 deEFG	33.90 deCD
13xs59	5.88 dC	3.78 abA	0.96 bB	19.19 cdBCDE	44.78 cdBC
均值 Mean	11.08	3.12	0.79	23.04	44.18
变异系数 CV/%	40.79	25.64	36.71	50.60	57.06

注:同列不同大、小写字母分别表示在 1% 和 5% 水平上差异显著。
Note: Different uppercase and lowercase letters in same column indicate significant difference at 1% and 5% level, respectively.

13xs139(19.28 g) 配组, 杂交组合单株产量位居第 3(52.41 g), 与单株产量最高的 13xs59(44.79 g) 配组, 杂交组合单株产量最低(34.42 g), 说明亲本在不同组合中的变化是有差异的。

2.2 不结球白菜主要产量性状杂种优势分析

所有性状的中亲优势平均值都为正值且大于 10.11%(表 2), 其中以单株产量的中亲优势平均值(153.17%)最大, 叶质量(124.79%)次之, 第 3 为叶柄长(66.53%), 叶数的中亲优势平均值(10.11%)最低。除叶数的超亲优势平均值为负值外, 其余性状的均为正值, 以单株产量的超亲优势(89.30%)最大, 其次是叶质量(83.46%), 第 3 是叶柄长(50.63%), 而叶柄厚(2.89%)则最小。可见, 不结球白菜杂种优势主要体现在单株产量、叶质量和叶柄长度的增加上。

在叶柄长、叶长、叶宽性状上 5 个组合全部存在正向超亲优势, 而在叶数性状上仅有 2 个组合超亲优势为正值。在超亲优势平均值最大的单株

产量性状(表 3)中, 以组合 ZY×13xs156 的正向超亲优势最大, 优势率为 184.20%; 其次是 ZY×13xs139, 优势率为 171.84%; 最小的是 ZY×13xs59, 优势率为-23.14%。叶质量中以组合 ZY×13xs139 正向超亲优势最大, 优势率为 158.38%; 其次是 ZY×13xs156, 优势率为 156.69%; ZY×59 则最小, 优势率为-3.18%。叶柄长以组合 ZY×13xs198 正向超亲优势最大, 其次是 ZY×13xs156, ZY×13xs59 最小。另外, 在株幅、叶长、叶柄厚、叶数 4 个性状上, ZY×13xs156 的超亲优势值最大, ZY×13xs59 最小。可见, ‘ZY’不育系容易与 13xs156 自交系组配出单株产量高、叶质量大、株幅较大、叶片较长、叶柄较厚、叶数多的组合; 而与 13xs59 组配出的组合单株产量和叶质量较低、株型偏矮、叶长偏短、叶柄窄且薄、叶数少。说明通过不育系的改良和配组能够选育出具有较高产量优势的不结球白菜不育系杂交新品种。

表 2 杂交组合主要产量性状的杂种优势

Table 2 Heterosis analysis of yield traits of hybrid

性 状 Trait	中亲优势 Mid -parent heterosis			超亲优势 High parent heterosis		
	优 势/% Heterosis	变 幅/% Variation	正向组合 Higher combination	优 势/% Heterosis	变 幅/% Variation	正向组合 Higher combination
株 高 Plant height	29.36	4.76~49.23	5/5	17.57	-2.35~31.73	4/5
株 幅 Plant extent	19.30	0.44~37.12	5/5	14.41	-2.85~32.43	4/5
叶 数 Number of leaves	10.11	-17.91~32.53	4/5	-11.30	-37.17~5.00	2/5
叶 长 Leaf length	39.89	17.76~59.00	5/5	22.97	7.45~29.62	5/5
叶 宽 Leaf width	33.29	9.33~51.63	5/5	23.96	2.02~45.78	5/5
叶柄长 Petiole length	66.53	23.95~133.61	5/5	50.63	9.54~120.36	5/5
叶柄宽 Petiole width	44.21	8.07~75.97	5/5	22.34	-18.52~66.99	4/5
叶柄厚 Petiole thick	24.72	0.60~42.15	5/5	2.89	-12.50~21.13	3/5
叶质量 Yield of leaves	124.79	24.66~219.36	5/5	83.46	-3.18~158.38	4/5
单株产量 Yield per plant	153.17	15.39~300.08	5/5	89.30	-23.14~184.20	4/5

2.3 不结球白菜产量性状相关性分析

由表 4 可知, 在 45 对产量性状中有 33 对具有相关性, 其中 28 对相关性达到极显著正相关水平, 5 对达到显著水平。单株产量与叶长、叶宽、叶柄长、叶柄宽、叶柄厚、株幅、株高、叶质量间呈极显著正相关, 其中与叶质量相关系数最大($R=0.918^{**}$), 其次为叶柄宽($R=0.762^{**}$); 叶质量与叶长、叶宽、叶柄长、叶柄宽、叶柄厚、株幅呈极显著正相关, 与株高呈显著正相关; 株高与叶长、叶宽、叶柄长、株幅、叶数呈极显著正相关, 与叶柄

厚呈显著负相关; 叶数与叶长呈极显著正相关, 与叶宽呈显著正相关, 与叶柄厚显著负相关; 株幅与叶长、叶宽、叶柄长呈极显著正相关; 叶柄厚与叶柄宽呈极显著正相关, 与叶长呈显著负相关; 叶柄宽与叶宽呈极显著正相关; 叶柄长与叶长、叶宽呈极显著正相关; 叶宽与叶长呈极显著正相关。可见, 为选育高产不结球白菜不育系杂交新品种, 应注重选择在叶长、叶宽、叶柄长、叶柄宽性状上优势明显的自交系, 以达到丰产。

表 3 不同杂交组合的杂种优势

Table 3 Heterosis analysis of different combinations

%

组 合 Combination	单株产量 Yield per plant		叶质量 Yield of leaves		株 高 Plant height		株 幅 Plant extent		叶 数 Number of leaves	
	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH
ZY×13xs156	300.08	184.20	219.36	156.69	32.54	10.88	37.12	32.43	32.53	3.77
ZY×13xs139	206.85	171.84	180.14	158.38	44.18	36.37	13.76	4.15	15.98	−10.1
ZY×13xs102	155.08	78.03	115.42	51.12	16.08	11.22	13.50	13.38	13.51	5.00
ZY×13xs198	88.44	35.58	84.38	54.31	49.24	31.73	31.68	24.96	6.43	−18.02
ZY ×13xs59	15.39	−23.14	24.66	−3.18	4.76	−2.35	0.44	−2.85	−17.92	−37.17

组 合 Combination	叶 长 Leaf length		叶 宽 Leaf width		叶柄长 Petiole length		叶柄宽 Petiole width		叶柄厚 Petiole thick	
	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH
ZY×13xs156	59.00	29.62	26.40	4.32	97.01	90.60	75.97	49.64	42.15	21.13
ZY×13xs139	41.19	23.12	37.44	34.11	53.43	16.40	72.86	66.99	28.71	−5.63
ZY×13xs102	31.37	25.38	51.63	45.78	23.95	16.25	39.16	4.19	29.23	1.61
ZY×13xs198	50.12	29.28	41.65	33.55	133.61	120.36	25.00	9.38	22.83	9.86
ZY ×13xs59	17.76	7.45	9.33	2.02	24.63	9.54	8.07	−18.52	0.60	−12.50

表 4 不结球白菜主要产量性状的相关系数

Table 4 Correlation of main yield characters in non-heading Chinese cabbages

性 状 Trait	叶 长 Leaf length	叶 宽 Leaf width	叶柄长 Petiole length	叶柄宽 Petiole width	叶柄厚 Petiole thick	株 幅 Plant extent	叶 数 Number of leaves	株 高 Plant height	叶质量 Yield of leaves
叶 长 Leaf length	1								
叶 宽 Leaf width	0.711**	1							
叶柄长 Petiole length	0.723**	0.347**	1						
叶柄宽 Petiole width	0.103	0.378**	0.115	1					
叶柄厚 Petiole thick	−0.305*	0.074	−0.177	0.732**	1				
株 幅 Plant extent	0.635**	0.377**	0.669**	0.146	−0.145	1			
叶 数 Number of leaves	0.454**	0.275*	0.151	−0.008	−0.495*	0.159	1		
株 高 Plant height	0.898**	0.707**	0.613**	0.021	−0.309*	0.519**	0.400**	1	
叶质量 Yield of leaves	0.448**	0.585**	0.354**	0.798**	0.595**	0.420**	−0.084	0.317*	1
单株产量 Yield per plant	0.548**	0.610**	0.382**	0.762**	0.443**	0.452**	0.185	0.399**	0.918**

注：* 和 * * 分别表示差异达显著和极显著水平。

Note: * and * * represent significant difference and greatly significant difference respectively.

3 讨 论

高产一直是不结球白菜育种的重要目标之一,白菜杂交种具有显著的杂种优势,目前生产上利用杂种优势配制杂交组合的途径比较多样,一般采用自交不亲和、人工去雄、化学杀雄和雄性不育性等。‘暑优 1 号’四倍体不结球白菜杂交种利用自交不亲和系途径^[17],‘矮杂一号’火白菜杂交种利用雄性不育系途径^[18]。与自交不亲和系利用相比,雄性不育系配制 F₁ 代是杂种优势利用的最优化制种手段。

产量性状较其他农艺性状有更强的超亲优势^[19]。本试验选择不结球白菜雄性不育系‘ZY’为母本与 5 个高代自交系杂交,比较了不结球白菜主要产量性状的中亲优势和超亲优势,所测的单株产量、叶质量、叶长、叶宽等 10 个产量性状均

表现正向杂种优势,且表现为超高亲遗传(叶数除外),而且优势变幅都较大。其中以组合 ZY×13xs156 产量优势最强,该组合在叶质量、株幅、叶数、叶长、叶柄厚等性状上优势均较明显,为本试验中的优良组合,具有良好的生产应用前景。而 ZY×13xs59 在 10 个性状上的超亲优势均最弱。说明 ZY 不育系容易与 13xs156 自交系组配出高产的组合,而与 13xs59 组配出的组合产量优势则较弱。这与杨晓云等^[9]发现所有组合产量性状表现正向显性、大多组合表现正向超显性的研究结果相一致。可见,不结球白菜产量杂种优势现象是普遍存在的。父本对不结球白菜不育杂交种 F₁ 的筛选与正确选配均具有一定的决定性作用,只有合理配组才有可能选育出超高产强优势不育系新品种。

本研究结果以单株产量的中亲和超亲优势最

强,其次为叶质量,说明在不结球白菜细胞质雄性不育系统中,对亲本的筛选都应把高单株产量放在首位,其次是叶质量型,这样组配出的两系杂交种在高密度种植模式下,才能依靠增加单株产量和叶质量实现高产。杂种优势存在的遗传学基础在于基因型的杂合性和双亲间遗传差异。因此,在杂交组合选配中,双亲要以自身性状优良为基础,同时注意双亲优良性状的互补性,以便很好地利用正向优势性状,同时抑制不良性状,从而使杂交种表现更强的杂种优势。

王学芳等^[7]对白菜株高、叶柄长、单株产量等 10 个农艺性状进行相关分析,表明多个性状与单株产量的相关性均达显著或极显著水平。崔瑾等^[20]对不结球白菜自交系‘亮白叶’与雄性不育系的杂交种 7 个主要产量性状的遗传相关性进行研究,发现产量性状与株高、叶质量和单株产量表现极显著的相关性。本试验研究发现单株产量与除叶数外的其余性状呈极显著正相关,与前人研究结果一致,说明单株产量、株高、叶长、叶质量是选育高产不结球白菜的重要性状。

参考文献 Reference:

- [1] 张凤兰,徐家炳.我国白菜育种研究进展[J].中国蔬菜,2005(10/11):8-10.
ZHANG F L,XU J B. Advances of breeding in Chinese cabbage[J]. *Chinese Vegetables*, 2005 (10/11): 8-10 (in Chinese).
- [2] 张彩霞,柴守诚,郑炜君.六倍体小黑麦 T 型细胞质雄性不育体系杂种优势与配合力的研究[J].西北植物学报,2005,25(5):898-902.
ZHANG C X,CHAI SH CH,ZHENG W J. Study on heterosis and combining ability of male sterile system of hexaploid triticale with *T. timopheevi* cytoplasm[J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2005,25(5):898-902 (in Chinese with English abstract).
- [3] 樊绍骥,张凤生,李 烨,等.茄子杂种优势利用研究[J].北方园艺,2010,34(23):21-23.
FAN SH Y,ZHANG F SH,LI Y,*et al.* Research and utilization of heterosis eggplant[J]. *Northern Horticulture*, 2010,34(23):21-23 (in Chinese with English abstract).
- [4] 徐家炳,赵岫云,张凤兰,等.小白菜系列品种的选育进展[C]//中国园艺学会十字花科蔬菜分会第六届学术研讨会暨新品种展示会论文集.北京:中国园艺学会,2008:3.
XU J B,ZHAO X Y,ZHANG F L,*et al.* Advances of breeding in a series of non-heading Chinese cabbage[C]//Cruciferous Vegetables Branch of China Horticulture Institute Attended the Academic Seminar on the 6th and Proceedings of a New Show. Beijing:Chinese Society for Horticultural Science,2008:3 (in Chinese).
- [5] 侯喜林,曹寿椿,管晓春,等.白菜新品种‘矮抗 5 号’[J].园艺学报,2003,30(5):637.
HOU X L,CAO SH CH,GUAN X CH,*et al.* A new non-heading Chinese cabbage variety ‘Dwarf Resistant 5’[J].

- Acta Horticulturae Sinica*, 2003, 30(5):637 (in Chinese with English abstract).
- [6] 赵岫云,徐家炳,张凤兰,等.小白菜新品种京绿 7 号的选育[J].中国蔬菜,2007,1(11):33-34.
ZHAO X Y,XU J B,ZHANG F L,*et al.* A new pakchoi F₁ Hybrid-JingLü No. 7[J]. *Chinese Vegetables*, 2007,1(11):33-34 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王学芳,张耀文,李殿荣,等.不结球白菜杂种优势及相关分析[J].西北植物学报,2009,29(10):1974-1979.
WANG X F,ZHANG Y W,LI D R,*et al.* Analysis of heterosis and correlation in non-heading chinese cabbage[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2009, 29 (10):1974-1979 (in Chinese with English abstract).
- [8] 胡天华.白菜胞质雄性不育系及其杂交品种‘青丰 1 号’的选育[D].杭州:浙江大学,2007.
HU T H. Breeding of cytoplasmic male sterile line and hybrid F₁ ‘Qingfeng No. 1’ of pakchoi[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007 (in Chinese with English abstract).
- [9] 杨晓云,曹寿椿.温度对不结球白菜波里马胞质雄性不育性的影响[J].南京农业大学学报,1997,20(2):22-27.
YANG X Y,CAO SH CH. Effect of temperature on fertility of pol cytoplasmic male sterility in Chinese cabbage (*Brassica campestris* spp. *chinensis* L. makino) [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1997, 20 (2): 22-27 (in Chinese with English abstract).
- [10] 蒋树德,陈虎根,杨雪梅,等. Ogura 不育源不结球白菜雄性不育系的转育[J].中国蔬菜,2002,1(5):28-29.
JIANG SH D,CHEN H G,YANG X M,*et al.* Breeding with sterile on non-heading Chinese cabbage male sterile [J]. *Chinese Vegetables*, 2002,1(5):28-29 (in Chinese).
- [11] 李殿荣.甘蓝型油菜雄性不育系、保持系、恢复系选育成功并大面积推广[J].中国农业科学,1986,19(4):94.
LI D R. Success in and large-scale extention of the breeding of male sterile line, maintenance line, restore line in rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1986,19(4):94 (in Chinese).
- [12] 李树林,周熙荣,李清芳,等.青菜 (*Brassica campestris* spp. *chinensis* var.) TPS 雄性不育系的转育[J].上海农业科学,1998,14(1):9-12.
LI SH L,ZHOU X R,LI Q F,*et al.* The breeding of TPS male sterile line in *Brassica campestris* spp. *chinensis* var. [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 1998, 14 (1): 9-12 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王学芳,张彦锋,李殿荣,等.不结球白菜异源胞质不育系及其优良组合的选育[J].安徽农业科学,2004,32(1):87-88.
WANG X F,ZHANG Y F,LI D R,*et al.* Selection of allo-genic CMS and its good combinations of non-heading Chinese cabbage [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2004, 32 (1): 87-88 (in Chinese with English abstract).
- [14] 谢祝捷,周志疆,金翠娣.利用异源胞质 TPS 雄性不育系选育白菜新品种杂交矮其青[J].中国蔬菜,2004,1(3):19-20.
XIE ZH J,ZHOU ZH J,JIN C D. A new pakchoi F₁ hybrid-Aiqiqing[J]. *Chinese Vegetables*, 2004,1(3):19-20 (in Chinese with English abstract).
- [15] 杨雪梅,蒋树德,尹渝来,等.普通白菜(香青菜)‘黑杂-1

- 号’的选育[J]. 中国蔬菜, 2007, 1(4): 29-30.
- YANG X M, JIANG SH D, YIN Y L, *et al.* A new pakchoi F₁ hybrid-‘Heiza No. 1’ [J]. *Chinese Vegetables*, 2007, 1(4): 29-30(in Chinese with English abstract).
- [16] 冯 辉, 徐 巍, 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.
- FENG H, XU W, 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 with English abstract).
- [17] 刘惠吉, 张蜀宁, 王 华. 青梗、优质、抗热同源四倍体白菜杂交新品种‘暑优 1 号’的选育[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(3): 22-26.
- LIU H J, ZHANG SH N, WANG H. Breeding an autotetraploid hybrid non-heading Chinese cabbage cultivar ‘Shuyou No. 1’ with green stalk, high quality and heat-resistance[J]. *Journal of Nanjing Agricultural Universit.*, 2002, 25(3): 22-26(in Chinese with English abstract).
- [18] 曹寿椿, 李式军. 火白菜‘矮杂一号’及雄性不育两用系的选育[J]. 园艺学报, 1981, 8(3): 35-41.
- CAO SH CH, LI SH J. Breeding of summer Chinese cabbage ‘Dwarf hybrid No. 1’ and male sterile AB lines[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 1981, 8(3): 35-41 (in Chinese with English abstract).
- [19] 宋 泼, 徐 海, 陈龙正, 等. 乌塌菜 Ogura 雄性不育系组合与保持系组合杂种优势比较[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12): 197-199.
- SONG P, XU H, CHEN L ZH, *et al.* Wutacai Ogura male sterile line and maintainer line combination of heterosis comparison [J]. *Journal of Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43(12): 197-199(in Chinese).
- [20] 崔 瑾, 张蜀宁, 李式军. 不结球白菜不同制种方式后代主要产量性状遗传相关与通径分析[J]. 江苏农业科学, 2001, 4(4): 53-56.
- CUI J, ZHANG SH N, LI SH J. The genetic correlation and path analysis of offspring main yield traits with different production mode on non-heading Chinese cabbage[J]. *Journal of Jiangsu Agricultural Sciences*, 2001, 4(4): 53-56(in Chinese).

Analysis of Heterosis of Yield Characters on Male Sterile Line in Non-heading Chinese Cabbages

YU Zhaojun , ZHANG Shujuan, YAN Fangfang and HUI Maixia

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Key Laboratory of Horticultural Plant Biology and Germplasm Innovation in Northwest China, Ministry of Agriculture of P. R. China, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract To improve selection efficiency for yield components in non-heading Chinese cabbages , male sterile line ‘ZY’ and five high generation inbred lines were used as parents to analyze the heterosis of F₁ yield characters in non-heading Chinese cabbages by top-cross method. The results showed that heterosis existed ten yield characters with a level of positive mid-parents, which was 10. 11%—153. 17%, nine of them had the heterosis over better-parents which was 2. 89%—89. 30% apart from the number of leaves. The heterosis of yield characters in non-heading Chinese cabbage depended on the weight per plant, petiole length and leaf width. In terms of yield per plant, yield of leaves and leaf length, the hybrid ZY×13xs156 was the best and had great potential for heterosis utilization.

Key words Non-heading Chinese cabbage; Male sterile line; Yield characters; Heterosis

Received 2016-04-18 **Returned** 2016-05-20

Foundation item National Natural Science Foundation of China (No. 31372062, No. 31272164); the Agricultural Science and Technology Innovation Program of Shaanxi Province (No. 2015NY103); Cyrus Tang’s Special Program for Breeding (No. N37); the National Key Research and Development Program of China (No. 2016YFD0101701).

First author YU Zhaojun, female, master student. Research area: vegetable breeding and genetics and biotechnology. E-mail: 1016093952@qq. com

Corresponding author HUI Maixia, female, Ph. D, associate professor, master supervisor. Research area: biotechnology of vegetable crops and genetic breeding. E-mail: maixiahui@163. com