

青花菜两类雄性不育系主要农艺性状的研究

舒金帅, 刘玉梅, 李占省, 张黎黎, 方智远, 杨丽梅, 庄木, 张扬勇, 孙培田

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘要:通过对青花菜显性细胞核雄性不育系(DGMS)、改良的萝卜细胞质雄性不育系(Ogura CMS)和由其与相同父本配制的 F_1 杂交种植株的主要农艺性状的生长趋势和花球相关性状的研究,明确两类雄性不育系的应用价值,为青花菜两类雄性不育系的选育和利用及新品种的选育提供理论依据。本研究以结球甘蓝中的显性细胞核雄性不育材料DGMS 79-399-3和改良的细胞质雄性不育材料Ogura CMSR₃629为原始不育源,利用优良青花菜自交系8554和93219为转育父本,通过回交和杂交的方法获得的青花菜高代($n \geq 9$ 代)两类雄性不育系和由不育系与相同父本配制的 F_1 为试材,采取定期观测整个生长期植株主要农艺性状和绘制生长曲线相结合的方法,系统地研究了植株的主要农艺性状的生长趋势和花球相关性状。结果表明,相同遗传背景下,保持系、DGMS、Ogura CMS及由不育系与相同父本配制的 F_1 在株幅、株高、外叶长和外叶数方面的生长趋势基本一致,其中株幅、株高、外叶长,总体上表现出前期增长速度较快,之后变慢,最后趋于平缓或略呈下降的趋势;外叶数均表现出先增加后减少的趋势;侧枝数目因年份和遗传背景不同而异。由相同保持系获得的两类不育系的显球时间、采收时间基本相同,由其配制的 F_1 显球和采收时间相同,花球产量因遗传背景的不同而异,花球外观品质性状表现一致。由DGMS和改良的Ogura CMS两类不育源转育的青花菜雄性不育系表现优良,该两类雄性不育源在青花菜杂交育种中具有重要的应用价值。

关键词:青花菜;显性核不育;萝卜胞质不育;农艺性状;生长趋势

Study on the Main Agronomic Characters in Two Types of Male Sterile Lines of Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)

SHU Jin-shuai, LIU Yu-mei, LI Zhan-sheng, ZHANG Li-li, FANG Zhi-yuan,

YANG Li-mei, ZHUANG Mu, ZHANG Yang-yong, SUN Pei-tian

(Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for breeding and using of Dominant Genic Male Sterility (DGMS) lines and improve Ogura Cytoplasmic Male Sterility (Ogura CMS) lines in broccoli, we compared the growth trend of the main agronomic traits and bouquet yield among DGMS lines, Ogura CMS lines and the F_1 produced by them. In this study, DGMS 79-399-3 and improved Ogura CMS₃ 629 were used as the original sources to get broccoli high generation ($n \geq 9$) male sterile lines DGMS8554, OguraCMS8554, DGMS93219 and OguraCMS93219. Those materials with maintainer lines of 8554, 93219 and F_1 produced by them were used to systematically study growth trend of the plants main agronomic characters and curd-related traits through observing the entire growth period regularly and drawing growth curve. Results showed that under the same genetic background, the growth trend of plant width, plant height, length of the outer leaves, number of the outer leaves were almost the same among maintainer lines, two types of sterile lines and the F_1 produced by sterile lines. Plant width, plant height, length of the outer leaves all showed fast growth in early period, after slowing, and finally leveled off or slightly de-

收稿日期: 2014-05-18 修回日期: 2014-05-29 网络出版日期: 2014-12-11

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20141211.1605.001.html>

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-25-A); 国家科技支撑计划课题(2013BAD01B04); 国家高新技术发展计划(2012AA100105); 农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目

第一作者研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: shjshuai@126.com

通信作者: 刘玉梅, 研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: liuyumei@caas.cn

clining. The numbers of the outer leaves were increasing at first, after decreasing. The numbers of the lateral branches were different in different years to different genetic background. The appeared and harvested time of the two types of male sterile lines under same background and F_1 produced by them were nearly the same, the curd yield traits were different, but the appearance quality traits of the curd performed the same, respectively. The broccoli sterile lines came from the two types of male sterile sources DGMS and improved Ogura CMS performed well, therefore, the two types of male sterile sources would have important application value in broccoli crossbreeding.

Key words: broccoli; dominant genic male sterility; ogura cytoplasmic male sterility; agronomic characters; growth trend

利用雄性不育系配制杂交种是十字花科作物杂交育种的重要途径之一,而利用优良的不育源育成可应用的不育系至关重要。目前多数作物中主要是对细胞质雄性不育系(CMS, cytoplasmic male sterility)进行研究,有关CMS与保持系农艺性状的比较研究,已在油用亚麻^[1]、牧草^[2-3]、桔梗^[4]、谷子^[5]、水稻^[6]、棉花^[7]等多种植物中报道。十字花科蔬菜方面,在甘蓝^[8-12]、白菜^[13-14]和青花菜^[15]中也有少量相关研究的报道。前人研究结果表明:甘蓝中CMS的开展度、叶形、叶色、球形等农艺性状与保持系基本一致^[11];白菜中萝卜细胞质雄性不育(Ogura CMS)源经多代转育后会出现生长势和杂种优势退化现象^[13],白菜^[14]以及青花菜^[15]的CMS和保持系在株高、株幅、叶长、叶宽、外叶数、单球重及生育期等方面基本相同。在叶用芥菜中,保持系和 *hau* CMS除了育性不同外,在单株重、株冠面积、叶长、叶宽、叶柄长、叶柄宽、莲座叶数、分枝数、叶形状和颜色等方面均无显著差异^[16]。上述研究多集中在对CMS和保持系农艺性状的研究,关于显性细胞核雄性不育系(DGMS, dominant genic male sterility)和CMS农艺性状的比较报道很少,且前人的研究大多只选取植株的某一个生长时期,对植株整个生长周期的生长规律的研究报道甚少。在结球甘蓝中,关于DGMS和CMS农艺性状方面的差异研究表明,由DGMS配制的 F_1 在开展度、成熟期和单球重方面与由相同自交系配制的 F_1 相当或稍强,但明显优于相同遗传背景的CMS配制的同类杂交组合^[9];DGMS和CMS的采种植株生长势与保持系没有差异^[12];相同自交系转育而成的DGMS在花器官大小、死花蕾数、花蜜量、蜜蜂访花情况、荚粒数和杂交种子产量等方面均明显优于CMS^[17]。CMS广泛应用于芸薹属蔬菜的杂种优势育种中,其原理是核质互作^[18],而Ogura CMS是目前应用中最主要的胞质不育类型,但在杂种优势育种中长期使用单一的不育类型具有一定的风险性,常会引起产量和品质下降,且抗病性和抗

逆性也会降低^[19]。因此,创造和有效地利用新型的雄性不育源对于新品种的育成极为重要。

青花菜(*Brassica oleracea* var. *Italica*)是十字花科芸薹属中以绿色花球为产品的一种重要的特色蔬菜,具有丰富的营养和独特的抗癌功效,深受消费者的喜爱。青花菜杂种优势明显,利用雄性不育系配制杂交种并进行杂交种子生产是杂种优势利用的重要途径。目前,国内外在青花菜遗传育种中应用的雄性不育源主要是Ogura CMS,但该不育源转育成的不育系存在制种产量较低,在低温和阴天条件下易出现一定程度死蕾现象。中国农业科学院蔬菜花卉研究所甘蓝青花菜课题组和北京市蔬菜研究中心于1979年从甘蓝中发现DGMS的不育源DGMS 79-399-3,并获得国家发明专利。经过多年研究,该不育源已成功用于甘蓝杂交新品种育种中,为了扩大其不育源的用途,近年来也开展了将该不育源应用到青花菜育种方面的研究。本课题组用优良的青花菜自交系作为回交父本,以DGMS 79-399-3和改良的Ogura CMSR₃ 629为不育源,通过多代回交和定向选育,已育成多个雄性不育系,本研究以青花菜DGMS、CMS和相应的保持系及其与相同父本配制的 F_1 杂交组合为试材,通过田间观察和测量,比较分析各系及其配制的杂交组合不同生长时期的株幅、株高、外叶数、外叶长、显球时间、采收时间、单球重及花球外观品质等重要农艺性状的异同,为明确由DGMS 79-399-3和Ogura CMSR₃ 629转育获得的两类青花菜不育系的应用价值,提高两类不育源的利用率,更好地为指导青花菜不育系和杂交新品种的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以青花菜自交系8554_93219,细胞质雄性不育系CMS8554、CMS93219,显性细胞核雄性不育系DGMS8554、DGMS93219和用不育系与自交系配制的

DGMS8554 × 93219、CMS8554 × 93219、DGMS93219 × 93213、CMS93219 × 93213 等 4 个 F_1 为试材。

试材中 DGMS 和 CMS 的原始雄性不育源分别来自结球甘蓝 DGMS 79-399-3 和 Ogura CMSR₃ 629, 上述 4 个青花菜雄性不育系分别以保持系 8554 和 93219 为回交父本, 经多代 (≥ 9 代) 回交转育获得的优良雄性不育系, 农艺性状稳定, 与轮回亲本除育性外其他遗传背景一致。

1.2 试验设计

田间试验设 2 年重复, 2 年均于秋季在中国农业科学院蔬菜花卉研究所南口试验农场同一块露地进行。2011 年 7 月 18 日播种, 8 月 4 日分苗, 8 月 19 日定植; 2012 年 7 月 21 日播种, 8 月 9 日分苗, 8 月 28 日定植于露地。试验设置 3 次重复, 重复内随机排列, 每次重复中各试验材料均定植 3 畦, 每畦定植 14 株, 株距 45 cm, 行距 55 cm, 地两边均定植 3 畦保护行, 定植后按大田试验统一田间水肥管理。

1.3 试验方法

1.3.1 农艺性状的调查 植株缓苗后, 每个试验材料各重复内随机选取 10 株大小均匀的植株, 挂牌标记, 用米尺测量挂牌植株的株幅、株高、外叶长, 调查植株的外叶数和侧枝数, 每 7 d 调查 1 次, 直到收获。调查各试验材料的显球期和收获期, 待花球成熟时, 用电子秤测量花球质量, 用刻度尺测量球高、球宽、球茎粗, 调查球色、球色均匀度、球蕾大小和球蕾均匀度等。各农艺性状的测定方法参照《花椰菜和青花菜种质资源描述规范和数据标准》^[20]。

1.3.2 数据统计和分析 用 Excel 2007 软件对数据进行统计, 将各项调查指标的 3 次重复结果取平均值后作图, 用 SAS 9.1 统计分析软件对数据进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 两类不育系及其配制的 F_1 植株生长趋势的比较

根据田间观测, 将 8554 和 93219 三系(保持系、CMS、DGMS)及其两类不育系与父本配制的 F_1 植株生长趋势结果绘制生长曲线, 比较发现, 8554 和 93219 三系及其两类不育系与父本配制的 F_1 的株幅、株高和外叶长, 在 2 年的观测中变化趋势一致, 且相同遗传背景的材料间差异不大, 总体上均呈前期快速增长, 随后变慢, 最后趋于平缓或略微降低的趋势。

2.1.1 株幅生长趋势的比较 2011 年 8554 三系的株幅, 0~21 d 快速增长, 21~49 d 变慢, 且趋于平缓(图 1-a); 93219 三系, 0~7 d 快速增长, 7~28 d 变慢, 28 d 后趋于平缓(图 1-b); 8554 两类不育系配制的 F_1 , 0~21 d 增长较快, 21 d 以后变慢, 逐渐趋于平缓(图 1-c); 93219 两类不育系配制的 F_1 , 0~14 d 增长较快, 14~28 d 变慢, 28 d 后趋于平缓(图 1-d)。

2012 年, 8554 三系的株幅, 0~35 d 快速增长, 35 d 后变慢, 趋于平缓(图 1-a); 93219 三系, 0~21 d 快速增长, 21~56 d 变慢, 56 d 后趋于平缓(图 1-b); 8554 两类不育系配制的 F_1 , 0~35 d 增长速度较快, 35 d 后变慢, 逐渐趋于平缓(图 1-c); 93219 两类不育系配制的 F_1 , 0~21 d 增长较快, 21~35 d 变慢, 35 d 后平缓增长(图 1-d)。

2.1.2 株高生长趋势的比较 2011 年, 8554 三系的株高, 0~14 d 增长快速, 随后变慢(图 2-a); 93219 三系, 0~21 d 增长较快, 21~56 d 减慢, 56 d 后有所降低(图 2-b); 8554 两类不育系配制的 F_1 , 0~21 d 增长速度较快, 21~28 d 略有下降, 28 d 后缓慢增长, 逐渐趋于平缓(图 2-c); 93219 两类不育系配制的 F_1 , DGMS93219 × 93213 在 0~21 d 增长较快, 而 CMS93219 × 93213 在 0~28 d 增长较快, 随后均平缓增长(图 2-d)。

2012 年, 8554 三系的株高, 0~27 d 波动性快速增长, 27~49 d 增长减缓, 49 d 后降低(图 2-a); 93219 三系, 0~28 d 增长速度较快, 28~49 d 变慢, 49 d 后呈降低趋势(图 2-b); 8554 两类不育系配制的 F_1 , 0~28 d 增长速度较快, 28~49 d 变慢, 逐渐趋于平缓, 49 d 后呈下降趋势(图 2-c); 93219 两类不育系配制的 F_1 , 0~28 d 增长较快, 28~49 d 减缓, 随后略有降低, 56 d 后开始回升(图 2-d)。

2.1.3 外叶长生长趋势的比较 2011 年, 8554 三系的外叶长, 0~7 d 增长快速, 7~35 d 减缓, 35 d 后平缓增长, 最后有所降低(图 3-a); 93219 三系, 0~7 d 增长速度较快, 7~35 d 速度变慢, 35 d 后趋于平缓(图 3-b); 8554 两类不育系配制的 F_1 , 0~21 d 增长较快, 21 d 后变慢, 逐渐趋于平缓(图 3-c); 93219 两类不育系配制的 F_1 , 0~7 d 快速增长, 7~35 d 减缓, 35 d 后平缓增长(图 3-d)。

2012 年, 8554 三系的外叶长, 0~27 d 快速增长, 27 d 后平缓(图 3-a); 93219 三系, 0~28 d 增长速度较快, 28~49 d 变慢, 49 d 后趋于平缓(图 3-b); 8554 两类不育系配制的 F_1 , 0~28 d 增长较

快,28~56 d 变慢,逐渐趋于平缓,56 d 后呈下降趋势(图 3-c);93219 两类不育系配制的 $F_1, 0 \sim 28$ d

增长较快,28~49 d 减缓,随后有所降低,56 d 后开始升高(图 3-d)。

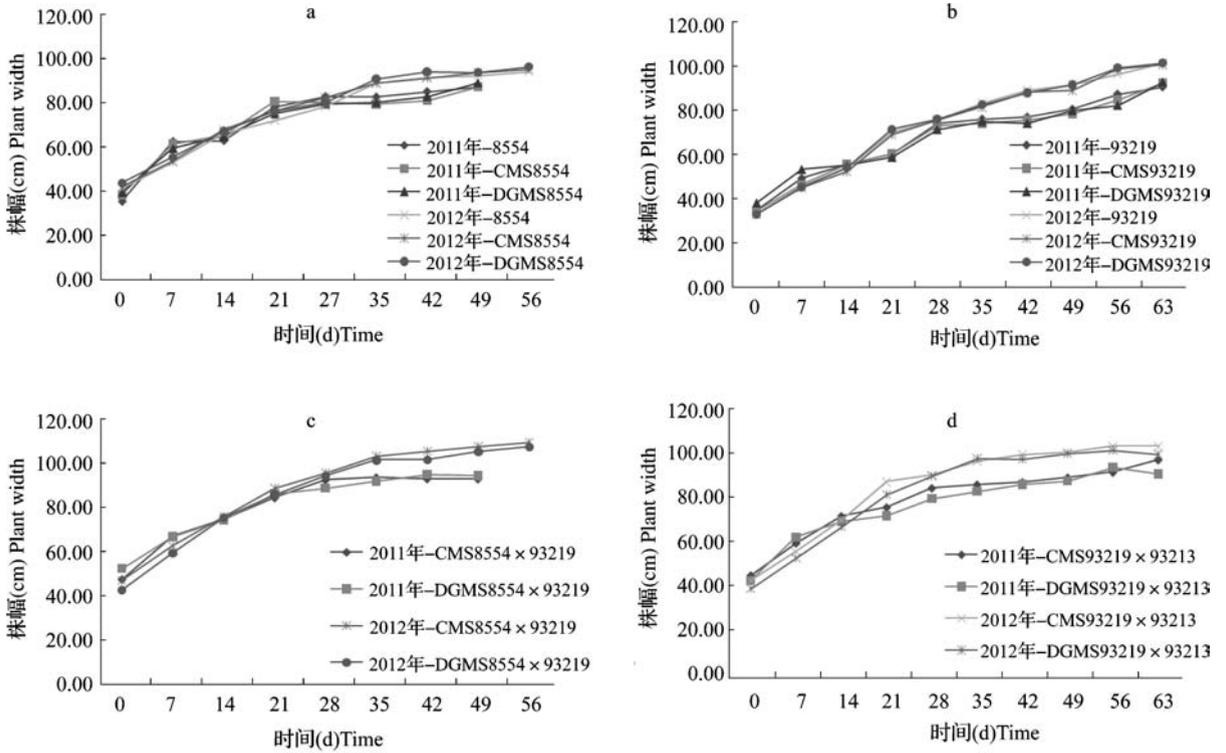


图 1 2011 年和 2012 年供试材料株幅生长趋势的比较

Fig. 1 Comparison of growth trend of the plant width among test materials in 2011 and 2012

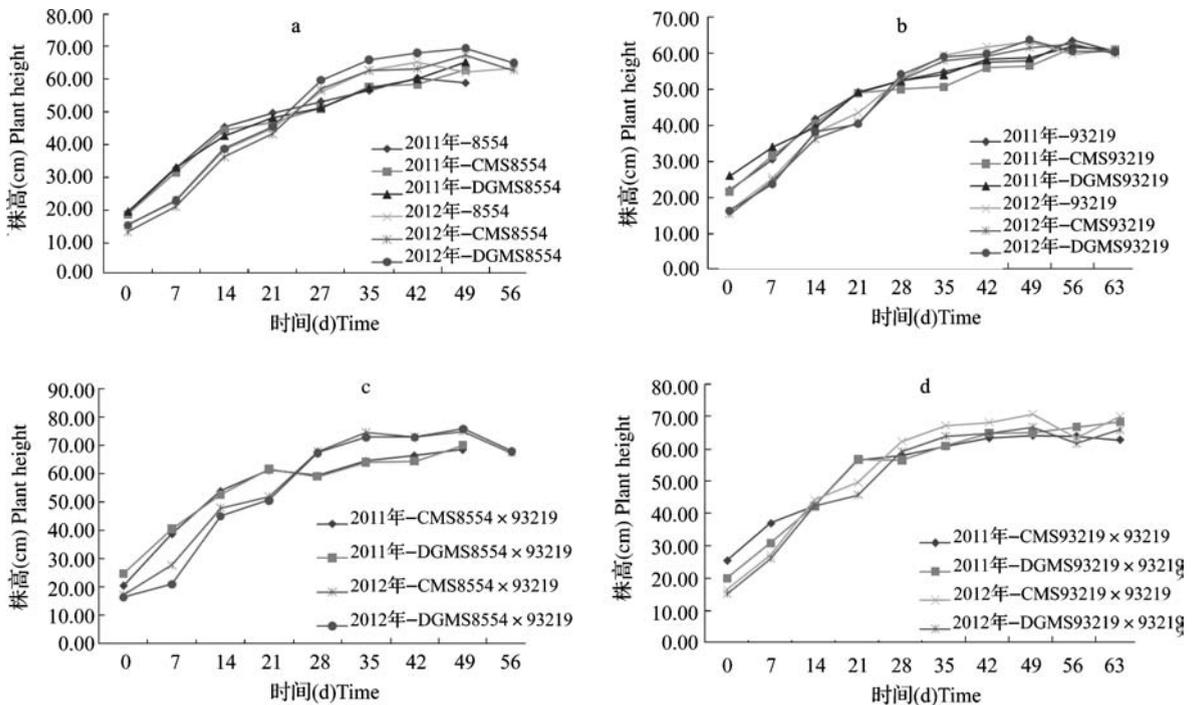


图 2 2011 年和 2012 年供试材料株高生长趋势的比较

Fig. 2 Comparison of growth trend of the plant height among test materials in 2011 and 2012

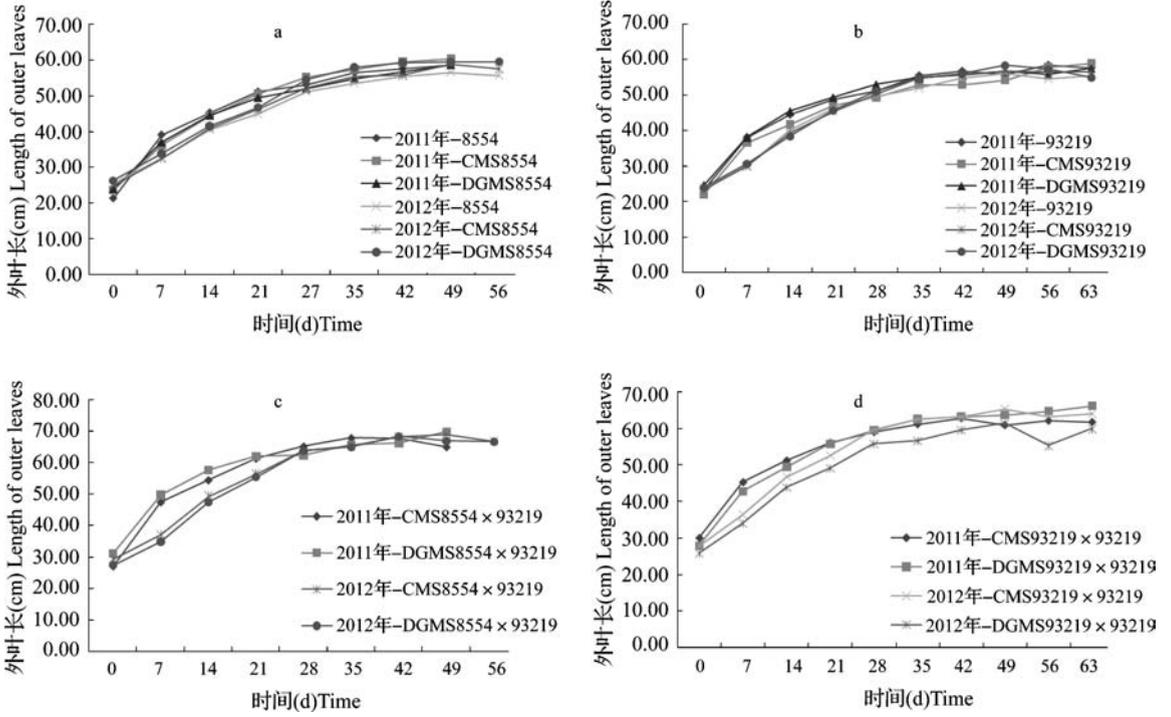


图 3 2011 年和 2012 年供试材料外叶长生长趋势的比较

Fig. 3 Comparison of growth trend of the length of outer leaves among test materials in 2011 and 2012

2.1.4 外叶数增长趋势的比较 8554 和 93219 三系及其不育系配制的 F₁ 的外叶数在 2011 年和 2012

年的变化趋势基本保持一致,均呈现出先增加、后下降的变化趋势(图 4)。

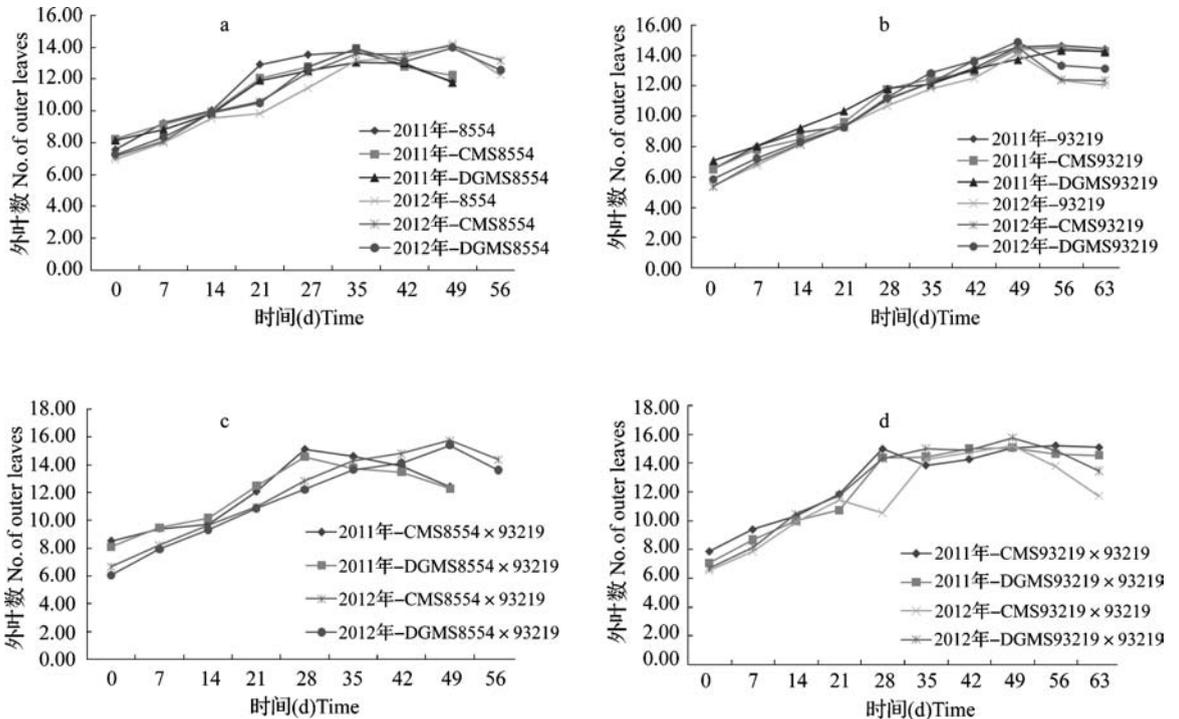


图 4 2011 年和 2012 年供试材料外叶数生长趋势的比较

Fig. 4 Comparison of growth trend of the number of outer leaves among test materials in 2011 and 2012

2.2 两类不育系及其配制的 F_1 侧枝数目的比较

由表 1 可以看出,2011 年,93219 三系的侧枝数无显著差异,8554 三系的侧枝数差异显著,表现为 DGMS8554 > 保持系 8554 > CMS8554,8554 和 93219 两类不育系与相同父本配制的 F_1 的侧枝数目均无显著差异。2012 年,93219 两类不育系侧枝数目无显著差异,但都少于保持系,且差异显著;DGMS8554 和保持系 8554 的侧枝数目无显著差异,但均多于 CMS8554,且差异显著;DGMS93219 × 93213 的侧枝数目多于 CMS93219 × 93213,且差异显著,而 8554 两类不育系与相同父本配制的 F_1 侧枝数目无显著差异(表 1)。

表 1 2011 年和 2012 年供试材料单株侧枝数目的比较

Table 1 Comparison of the lateral branches number among test materials in 2011 and 2012

材料编号 Material number	侧枝数目 The lateral branches number per one plant	
	2011	2012
	93219	1.52 ± 0.53a
CMS93219	1.83 ± 0.46a	2.92 ± 0.83b
DGMS93219	2.26 ± 0.33a	2.39 ± 0.67b
8554	4.24 ± 0.28b	4.27 ± 0.42a
CMS 8554	1.75 ± 0.22c	1.50 ± 0.43b
DGMS8554	6.42 ± 1.42a	4.33 ± 1.42a
CMS93219 × 93213	5.94 ± 1.32a	7.40 ± 1.04b
DGMS93219 × 93213	5.00 ± 0.50a	8.87 ± 0.50a
CMS 8554 × 93219	3.75 ± 0.22a	4.80 ± 1.04a
DGMS8554 × 93219	4.01 ± 0.27a	4.92 ± 0.83a

利用新复极差法多重比较,标有相同字母的数值间没有差异,显著水平为 $P=0.05$,下同

Values followed by the same letters are not significantly different at $P=0.05$, based on Duncan's multiple range test, the same as below

比较发现,青花菜的侧枝数目因年份和遗传背景的不同而不同,8554 两类不育系在 2 年中均表现为差异显著,由其配制的 F_1 无显著差异;93219 两类不育系在 2 年试验中均无显著差异,由其配制的 F_1 在 2011 年无显著差异,在 2012 年 DGMS93219 × 93213 多于 CMS93219 × 93213,且差异显著。对 2011 年和 2012 年试验期间气候条件比较发现,2012 年较 2011 年同期气温偏低,气温变化较大,由此可推断在遗传背景相同条件下,低温环境条件会促进大部分植株抽生侧枝,且低温对 93219 两类不育系配制的 F_1 杂交种侧枝数目影响更大。

2.3 两类不育系及其配制的 F_1 显球期和成熟期的比较

2011 年,供试材料的显球和采收时间因遗传背景的不同而不同。CMS93219 和 DGMS93219 的显

球时间相同,较保持系 93219 早 1 d,保持系 93219、CMS93219 和 DGMS93219 的采收时间相同。8554 三系的显球时间表现为 DGMS8554 较 CMS8554 早 1 d, CMS8554 较保持系 8554 早 1 d,三系的采收时间相同。相同遗传背景的 DGMS 和 CMS 与同一父本配制的 F_1 显球和采收时间相同(表 2)。

2012 年,因秋季气温较往年同期偏低,2012 年供试材料的显球和采收时间均较 2011 年晚,且 93219 三系及其不育系配制的 F_1 不能正常成熟,于 11 月 30 日统一采收。DGMS93219 的显球时间较保持系 93219 早 1 d,保持系 93219 较 CMS93219 早 1 d,与 2011 年秋略有不同。8554 三系正常成熟,显球时间表现为 DGMS8554 较 CMS8554 早 1 d, CMS8554 较保持系 8554 早 1 d,三系的采收时间相同, DGMS8554 和 CMS8554 与父本 93219 配制的 F_1 的显球和采收时间相同,与 2011 年趋势一致(表 2)。

表 2 2011 年和 2012 年供试材料显球和采收时间的比较

Table 2 Comparison of bouquet appear and harvest time among test materials in 2011 and 2012 (d)

年份 Years	材料编号 Material number	播种到显花球	播种到采收
		The days from seeding to appear bouquet	The days from seeding to harvest
2011	93219	73	112
	CMS93219	72	112
	DGMS93219	72	112
	8554	72	108
	CMS 8554	71	108
	DGMS8554	70	108
	CMS93219 × 93213	71	108
	DGMS93219 × 93213	71	108
	CMS 8554 × 93219	66	105
	DGMS8554 × 93219	66	105
2012	93219	84	132
	CMS 93219	85	132
	DGMS93219	83	132
	8554	76	121
	CMS 8554	75	121
	DGMS8554	74	121
	CMS93219 × 93213	81	132
	DGMS93219 × 93213	81	132
	CMS 8554 × 93219	74	121
	DGMS8554 × 93219	74	121

2.4 两类不育系及其配制的 F_1 花球产量的比较

2011 年,8554 和 93219 三系的花球产量相关性因遗传背景的不同而不同。在 93219 三系中,

CMS93219 的单球重大于 DGMS93219,且差异显著,DGMS93219 的单球重与保持系 93219 无显著差异;CMS93219 和保持系 93219 的球茎粗无显著差异,但均大于 DGMS93219,且差异显著;在球高和球宽方面三系无显著差异。8554 三系在花球产量相关性状方面均无显著差异。CMS93219 × 93213 和 DGMS93219 × 93213 的单球重和球宽差异显著,表现为 CMS93219 × 93213 的单球重和球宽大于 DGMS93219 × 93213,在球高和球茎粗方面,二者无显著差异。CMS8554 × 93219 和 DGMS8554 × 93219

在花球产量相关性状方面均无显著差异(表 3)。

2012 年,8554 三系正常成熟,CMS8554 和 DGMS8554 的单球重和球宽无显著差异,但均大于保持系 8554,且差异显著,其余花球产量相关性状三系间无显著差异,与 2011 年结果一致。CMS8554 × 93219 和 DGMS8554 × 93219 正常成熟,二者在单球重、球茎粗和球宽方面无显著差异,与 2011 年结果一致,但在球高方面差异显著,表现为 CMS8554 × 93219 的球高大于 DGMS8554 × 93219(表 3)。

表 3 2011 年和 2012 年供试材料花球产量性状的比较

Table 3 Comparison of bouquet yields traits among test materials in 2011 and 2012

年份 Years	材料编号 Material number	单球重(g) The weight of one bouquet	球高(cm) The height of bouquet	球茎粗(cm) The width of the corn	球宽(cm) The width of the bouquet
2011	93219	546.75 ± 4.46b	18.72 ± 0.29a	4.94 ± 0.06a	19.86 ± 0.90a
	CMS93219	590.90 ± 4.74a	18.60 ± 0.52a	5.07 ± 0.10a	19.50 ± 1.37a
	DGMS93219	538.49 ± 3.50b	18.21 ± 0.62a	4.73 ± 0.01b	19.31 ± 0.64a
	8554	607.34 ± 19.97a	17.62 ± 1.10a	5.14 ± 0.23a	17.94 ± 2.41a
	CMS8554	602.67 ± 7.69a	17.85 ± 0.13a	4.91 ± 0.15a	17.94 ± 0.31a
	DGMS8554	620.15 ± 9.27a	18.43 ± 0.50a	4.96 ± 0.25a	18.58 ± 1.00a
	CMS93219 × 93213	649.66 ± 5.06a	21.10 ± 0.80a	4.72 ± 0.14a	23.92 ± 0.58a
	DGMS93219 × 93213	628.41 ± 5.00b	19.72 ± 0.71a	4.77 ± 0.07a	21.23 ± 1.32b
	CMS 8554 × 93219	794.46 ± 20.53a	19.34 ± 0.16a	5.00 ± 0.07a	23.53 ± 0.62a
	DGMS8554 × 93219	799.01 ± 7.30a	19.84 ± 0.62a	4.98 ± 0.08a	23.81 ± 0.65a
2012	8554	332.22 ± 10.72b	14.62 ± 0.32a	4.93 ± 0.15a	14.34 ± 0.38b
	CMS 8554	427.78 ± 8.39a	15.19 ± 0.46a	5.29 ± 0.21a	16.29 ± 0.11a
	DGMS8554	450.00 ± 8.72a	15.16 ± 1.73a	5.23 ± 0.31a	16.68 ± 0.32a
	CMS8554 × 93219	563.33 ± 10.72a	16.18 ± 0.40a	5.40 ± 0.13a	17.00 ± 0.29a
	DGMS8554 × 93219	568.10 ± 8.12a	15.34 ± 0.51b	5.36 ± 0.18a	16.89 ± 0.02a

比较发现,所有供试 F_1 在显球期、收获期和单球重方面均明显优于其相应的父本和母本(表 2 和表 3),说明各杂交组合均具有明显的杂种优势,通过筛选可以应用于实际生产。2012 年供试材料在单球重、球高和球宽方面均较 2011 年小,而在球茎粗方面,CMS8554 和 DGMS8554 及其与父本 93219 配制的 F_1 在 2012 年较 2011 年大(表 3),由此可以推断,高温有利于球高和球宽的生长,而低温则有利于球茎生长。

2.5 两类不育系及其配制的 F_1 花球外观品质的比较

观察发现 2011 年和 2012 年相同供试材料的花球外观品质性状表现一致。93219 三系及其不育系配制的 F_1 花球外观品质性状相同,表现为球色绿、均匀,花球蕾粒小、均匀,球形高圆,球茎实心。8554 三系及其不育系配制的 F_1 球色深绿、均匀,球茎中空或实心(表 4)。

3 讨论

本研究发现,青花菜两类不育系和由其与相同父本配制的 F_1 在株幅、株高、最大外叶长和有效外叶数等方面总体上表现出相同的生长趋势,但在个别时期和不同材料间会出现一定差异,与在甘蓝^[11]、白菜^[14]和青花菜^[15]中的研究结果基本一致。前人研究表明,甘蓝中 DGMS 配制的杂交组合在开展度、单球重、成熟期方面与用相似自交系配的杂种相当或稍强,但明显优于 CMS 配制的同类组合^[9],而本研究中则表现出与甘蓝相同或相反的结论,这可能因试材的遗传背景不同所造成的。

由 DGMS 79-399-3 和 Ogura CMSR₃ 629 作为原始不育源获得的青花菜不育系,以及由不育系与相同父本配制的 F_1 在花球产量方面的变化趋势因遗传背景的不同而异。正常采收时,CMS93219 的单球重大于 DGMS93219,CMS93219 × 93213 的单球重

表 4 供试材料花球外观品质性状的比较

Table 4 Comparison of bouquet appearance quality traits among test materials

材料编号 Material number	球色 Color of the bouquet	球色均匀度 Uniformity of the bouquet color	球蕾大小 Size of the buds	球蕾均匀度 Uniformity of the buds	球形 Shape of the bouquet	球茎中空 The hollow of corms
93219	绿	均匀	小	均匀	高圆	实心
CMS93219	绿	均匀	小	均匀	高圆	实心
DGMS93219	绿	均匀	小	均匀	高圆	实心
93213 × 93219	绿	均匀	小	均匀	高圆	实心
CMS93219 × 93213	绿	均匀	小	均匀	高圆	实心
DGMS93219 × 93213	绿	均匀	小	均匀	高圆	实心
8554	深绿	均匀	大	不均匀	扁、不圆	中空或实心
DGMS8554	深绿	均匀	大	不均匀	扁、不圆	中空或实心
CMS8554	深绿	均匀	大	不均匀	扁、不圆	中空或实心
CMS8554 × 93219	深绿	均匀	大	均匀	近圆	中空或实心
DGMS8554 × 93219	深绿	均匀	大	均匀	近圆	中空或实心

大于 DGMS93219 × 93213, 且均具有显著差异; 而 CMS8554 与 DGMS8554 的单球重无显著差异, CMS8554 × 93219 与 DGMS8554 × 93219 的单球重也无显著差异。这说明 DGMS 79-399-3 和 Ogura CMSR₃ 629 两类不育源在转育青花菜不育系时, 不育系的产量会因转育父本的不同而有差异, 转育获得的两类不育系在花球产量方面可能存在以下 3 种情况, CMS 与 DGMS 的花球产量无差异、CMS 的花球产量低于 DGMS 或 CMS 的花球产量高于 DGMS。因此, 在不育系的选育和实际应用中, 应根据转育父本的特性选择合适类型的不育系。此外, 杂交组合的产量与配制组合的亲本关系较大, 父本相同情况下, 一般来说母本的产量越高, 杂交组合的产量也越高。

本研究中由 DGMS 79-399-3 和 Ogura CMSR₃ 629 转育而成的青花菜两类不育系, 以及与相同父本配制的 F₁ 在株幅、株高、最大外叶长和有效外叶数方面, 相同遗传背景的试材, 生长趋势基本一致, 其中株幅、株高和最大外叶长总体上表现出前期增长速度较快, 随后变慢, 逐渐趋于平缓; 有效外叶数则呈现出先增加后减少的变化趋势。以上这些农艺性状的生长趋势在 2 年的试验中基本表现一致, 两类不育系和保持系基本上无差异, 可以初步判定 DGMS 79-399-3 和改良的 Ogura CMSR₃ 629 这两类不育源均为优良的雄性不育源, 可以有效地应用到青花菜的雄性不育系创制和新品种选育当中。

参考文献

[1] 张建平, 党占海. 油用亚麻两系杂交种产量表现及不育株率对产量的影响[J]. 西北农业学报, 2005, 14(3): 73-75

[2] 赵晓杰, 于卓, 刘永伟, 等. 高粱 314A、13A 与苏丹草杂种 F₁ 代的农艺特性及细胞学分析[J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1107-1113

[3] 于卓, 刘永伟, 赵晓杰, 等. 高粱 11A 与 3 种苏丹草杂种 F₁ 代的农艺特性及细胞遗传学研究[J]. 草业学报, 2006, 15(1): 90-96

[4] 师凤华, 魏建和, 凌征柱, 等. 桔梗雄性不育系的 F₁ 杂交组合农艺性状表现[J]. 中药材, 2011, 34(12): 1815-1818

[5] 智慧, 王永强, 李伟, 等. 利用野生青狗尾草的细胞质培育谷子质核互作雄性不育材料[J]. 植物遗传资源学报, 2007, 8(3): 261-264

[6] 汤圣祥, 魏兴华, 徐群. 国外对野生稻资源的评价和利用进展[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(2): 223-229

[7] 陈富成, 祁建民, 陶爱芬, 等. 棉麻纤维作物雄性不育研究进展及展望[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(2): 197-202

[8] 方智远, 孙培田, 刘玉梅, 等. 甘蓝显性雄性不育系的选育及其利用[J]. 园艺学报, 1997, 24(3): 249-254

[9] 方智远, 孙培田, 刘玉梅, 等. 几种类型甘蓝雄性不育的研究与显性不育系的利用[J]. 中国蔬菜, 2001(1): 6-10

[10] 方智远, 刘玉梅, 杨丽梅, 等. 甘蓝显性核基因雄性不育与胞质雄性不育系的选育及制种[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 717-723

[11] 简元才, 丁云花. 甘蓝胞质雄性不育系的选育及利用[J]. 中国蔬菜, 2005(6): 4-6

[12] 王庆彪. 两种类型甘蓝雄性不育系开花结实性状及异源胞质分子差异的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010

[13] 张德双, 张凤兰, 徐家炳. 大白菜 CMS96 细胞质雄性不育系的特点分析[J]. 华北农学报, 2005, 20(1): 59-62

[14] 赵利民, 柯桂兰. 大白菜萝卜细胞质雄性不育系 RC7 的选育及其特性研究[J]. 西北植物学报, 2007, 7(12): 2404-2410

[15] 朱玉英, 吴晓光, 龚静, 等. 萝卜细胞质青花菜雄性不育系 BC7-19 的选育及其特性[J]. 上海农业学报, 2002, 18(1): 35-38

[16] Wan Z J, Shi D Y, Zou R C, et al. Development and utilization of one new cytoplasmic male sterile line of Chinese leaf mustard (*Brassica juncea* var. *rugosa* Bailey) [J]. Sci Hort, 2014, 165: 211-217

[17] 王庆彪, 方智远, 张扬勇, 等. 甘蓝两种类型雄性不育系花器官形态及结实特性的比较研究[J]. 园艺学报, 2011, 38(1): 61-68

[18] 舒金帅, 刘玉梅, 方智远, 等. 青花菜两类雄性不育系花器官形态结构的比较[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 113-119

[19] Yang X, Liu X, Lv W, et al. Reduced expression of *BjRCE1* gene modulated by nuclear-cytoplasmic incompatibility alters auxin response in cytoplasmic male-sterile *Brassica juncea* [J]. PLoS One, 2012, 7: e38821

[20] 李锡香, 方智远. 花椰菜和青花菜种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 48-54