

花椰菜不同胞质来源雄性不育的细胞质效应分析

朱世杨^{1,*}, 张小玲¹, 刘庆¹, 钟伟杰¹, 罗天宽¹, 唐征¹, 徐谦¹,
周元昌^{2,*}

(¹温州市农业科学研究院/浙南作物育种重点实验室, 浙江温州 325006; ²福建农林大学农学院, 福州 350002)

摘要: 利用不育胞质源自油菜、甘蓝等的 6 个花椰菜细胞质雄性不育 (cytoplasmic male sterility, CMS) 系及其同型保持系分别与 5 个测验自交系杂交, 配制 30 对不育系杂种 (AF₁) 和 30 对保持系杂种 (BF₁), 分析不育细胞质对 10 个农艺性状和 5 个品质性状的遗传效应, 为不同 CMS 的杂种优势利用提供参考。结果表明, 不育细胞质对 F₁ 杂种的现球期、采收期和维生素 C 含量表现显著正效应。不同来源 CMS 细胞质效应比较推断, 来自油菜的 CMS 对生育期和叶片数呈显著正效应; 来自甘蓝的 CMS 对花球质量、花球纵径、维生素 C 含量和采收期呈显著正效应, 而对叶绿素含量和叶片数呈显著负效应; 来自花椰菜的 CMS 对生育期和维生素 C 含量呈显著正效应。对 6 个花椰菜 CMS 细胞质效应比较发现, NB65A 对花球质量、花球纵径、花球横径和可溶性糖含量正效应显著最高, XG108A 对维生素 C 及可溶性蛋白含量正效应显著最高, 两者皆可作为选育高产优质组合的母本。这些结果表明, 不同来源的 CMS 细胞质对花椰菜主要农艺性状和品质性状的效应较为复杂, 但可通过选择适当的杂交父本核来减轻或克服不育细胞质对相应性状的不良效应。

关键词: 花椰菜; CMS; 细胞质效应; 杂种优势利用

中图分类号: S 635.3

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2021) 06-1107-16

Cytoplasmic Effect Analysis of Different CMS Sources of Cauliflower

ZHU Shiyang^{1,*}, ZHANG Xiaoling¹, LIU Qing¹, ZHONG Weijie¹, LUO Tiankuan¹, TANG Zheng¹,
XU Qian¹, and ZHOU Yuanchang^{2,*}

(¹Key Laboratory of Crop Breeding in South Zhejiang, Wenzhou Academy of Agricultural Science, Wenzhou, Zhejiang 325006, China; ²College of Agriculture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: For investigating the cytoplasmic effects of cytoplasmic male sterility (CMS) on major agronomic and quality characters of cauliflower hybrids, six cauliflower sterile lines (A lines) with different cytoplasm from rape and cabbage, etc, and their maintainer lines (B lines) were used to make hybrids of A lines × test lines (AF₁) and B lines × test lines (BF₁). The effects were indicated by AF₁ - BF₁ or (AF₁ - BF₁)/BF₁ (relative effect). The results showed that significant positive effects were observed on days of curd appearing, days of curd harvesting, and vitamin C content. Comparison of cytoplasmic effects of different

收稿日期: 2020 - 12 - 29; **修回日期:** 2021 - 03 - 29

基金项目: 温州市科技计划项目 (Z20170006, 2019ZX007-1, K20200007)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: zhushiyang2000@163.com, zwy_2002@163.com)

CMS sources, the rape cytoplasm had significant positive effects on growth period and number of rosette leaves. The cabbage cytoplasm showed significant positive effects on curd weight, lengthways diameter of curd, vitamin C content and days of curd harvesting, but a significant negative effect on chlorophyll content and number of rosette leaves. The cauliflower cytoplasm presented significant positive effects on growth period and vitamin C content. Comparison of cytoplasmic effects of the six cauliflower CMS lines which showed that NB65A had the highest positive effect on curd weight, lengthways diameter of curd, transverse diameter of curd and soluble sugar content, XG108A had the highest positive effect on cotent of vitamin C and soluble protein. Both of them could be used as the female parent for breeding high yield or high quality combinations. These results indicated that the cytoplasmic of different CMS sources of cauliflower showed complex effects on major agronomic and quality characters, and the adverse effects on some characters could be alleviated or overcome by nucleus of a appropriate male parent.

Keywords: cauliflower; CMS; cytoplasmic effect; heterosis utilization

作物的杂种优势取决于细胞质和细胞核的遗传效应,其中不育细胞质对杂种 F_1 主要农艺性状具有明显的影响(董云松等,1999)。雄性不育系是杂种优势利用的基础,对其不育细胞质效应做出正确评价是杂种优势利用中亟待解决的关键问题。国内外学者对水稻(黄兴国等,2011;康公平等,2017)、玉米(Khehra & Bhalla, 1976; 卞云龙等,2004)、小麦(Ekiz et al., 1998; Özgen et al., 2001; 高庆荣等,2005)、棉花(Zhu et al., 1998)、高粱(Reddy et al., 2009)、萝卜(张丽等,2020)、辣椒(Lv et al., 2020)等作物细胞质效应开展了大量研究,发现细胞质雄性不育(cytoplasmic male sterility, CMS)的细胞质效应遗传复杂,弄清楚CMS的细胞质效应是其杂种优势利用的基础。

在十字花科作物中,前人对油菜(浦惠明等,1994;陶芬芳等,2017;侯喜林等,2020)、芥菜(Wan et al., 2008; 邹瑞昌等,2012)、大白菜(鹿英杰,2000)等的研究发现,不育胞质源不同的材料其农艺性状、品质性状或环境适应能力不尽相同,对所配杂种 F_1 的相关农艺性状的效应也不尽一致。

花椰菜具有较强的杂种优势,选育CMS系是花椰菜利用杂种优势的一条重要途径。由于尚未发现花椰菜自身的CMS源,育种者将油菜、白菜等异源CMS与花椰菜杂交获得种间杂种,为花椰菜CMS系转育创造条件或技术支持。如陈玉萍等(1995)通过波里马雄性不育油菜(pol CMS)与花椰菜种间杂种子房培养,获得油菜与花椰菜种间杂种幼苗;惠志明等(2005,2006)通过原生质体非对称融合,向花椰菜中转移Ogu CMS,获得花椰菜与Ogu CMS甘蓝型油菜种间杂种;张小玲等(2006)通过远缘杂交子房离体培养,获得甘蓝型油菜不育系与花椰菜自交系的种间杂种;刘运霞和王晓武(2010)利用子房培养方法成功克服花椰菜与不育白菜杂种胚败育问题,获得杂交后代;刘庆等(2019)用花椰菜高代自交系与携带Ogu不育源的花椰菜‘雪莲1号’杂交、连续多代回交育成花椰菜CMS,并用之育成松散型花椰菜新品种‘瓯松90天’。探明花椰菜CMS不育细胞质效应对其杂种优势利用具有指导意义。

已有研究(王才林和汤玉庚,1990;仇秀丽等,2009;陶芬芳等,2017)指出,不育细胞质效应可利用雄性不育胞质与正常胞质的效应差来估算,即利用不育系(A系)和相应的保持系(B系)分别与恢复系(测验自交系)配组,以杂交一代(AF_1 和 BF_1)的遗传差异来估算不育细胞质效应,即以细胞质效应 $D = (AF_1 - BF_1)$ 来评价不育细胞质的遗传效应;或利用雄性不育胞质与正常胞质的相对效应差异来估算,即以相对细胞质效应 $D\% = (AF_1 - BF_1) / BF_1 \times 100$ 来估算不育细胞

质遗传效应的差异。本研究中利用不育胞质源自油菜、甘蓝等的 6 个花椰菜 CMS 不育系及其同型保持系分别与 5 个测验自交系杂交配制了 30 对杂种, 测定了 10 个农艺性状和 5 个品质性状, 以分析不育细胞质对这些性状的效应, 以期为不同来源 CMS 应用于花椰菜杂种优势提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

来自油菜 (*Brassica napus* L.)、甘蓝 (*Brassica oleracea* L.) 等的 6 个 CMS 花椰菜不育系为 GM65A、NB65A、SH120A、YDSL60A、XG108A 和 TDXG100A, 相对应的同型保持系为 GM65B、NB65B、SH120B、YDSL60B、XG108B 和 TDXG100B, 其中 GM65A 和 YDSL60A 的胞质不育源来自不育油菜, NB65A 的胞质不育源来自不育甘蓝, SH120A、XG108A 和 TDXG100A 的胞质不育源分别来自不育花椰菜 ‘魁首 65 天’ (智利)、‘瑞宝 70’ (日本) 和 ‘雪莲 1 号’ (荷兰), CMS 及其保持系的选育情况见表 1。

表 1 花椰菜不育系及其保持系信息
Table 1 Information of CMS lines and their maintainers of cauliflower

不育系 CMS	CMS 及其保持系的选育经过 Breeding process of CMS and their maintainer
GM65A	以不育油菜材料 (来源不详) 为母本, 花椰菜自交系 GM65-1 (‘高美 65 天’ 自交选择育成) 为父本, 通过远缘杂交、回交核置换 7 代育成; GM65-1 连续套袋自交育成保持系 GM65B The sterile line GM65A was bred by distant crossing and backcrossing by 7 generations with sterile rape material (unknown) and cauliflower inbred line GM65-1 (selfbred from ‘Gaomei 65 d’). The maintainer GM65B was bred by self pollination of GM65-1 with continuous bagging
NB65A	以不育甘蓝材料 (浙江省农业科学院钟新民提供) 为母本, 花椰菜自交系 NB65-1 (‘农宝 65 天’ 自交选择育成) 为父本, 远缘杂交、回交核置换 6 代育成; NB65-1 连续套袋自交育成保持系 NB65B The sterile line NB65A was bred by distant crossing and backcrossing by 6 generations with sterile cabbage material (provided by Zhong Xinmin of Zhejiang Academy of Agricultural Sciences) and cauliflower inbred line NB65-1 (selfbred from ‘Nongbao 65 d’). The maintainer NB65B was bred by self pollination of NB65-1 with continuous bagging
SH120A	以不育花椰菜 ‘魁首 65 天’ (产地智利) 为母本, 花椰菜自交系 SH120-1 (‘松花 120 天’ 自交选择育成) 为父本, 杂交、回交核置换 7 代育成; SH120-1 连续套袋自交育成保持系 SH120B The sterile line SH120A was bred by crossing and backcrossing by 7 generations with sterile cauliflower material ‘Kuishou 65 d’ (Chile) and cauliflower inbred line SH120-1 (selfbred from ‘Songhua 120 d’). The maintainer SH120B was bred by self pollination of SH120-1 with continuous bagging
YDSL60A	以不育油菜材料 (来源不详) 为母本, 花椰菜自交系 YDSL60-1 (‘一代神良 60 天’ 自交选择育成) 为父本, 远缘杂交、回交核置换 9 代育成; YDSL60-1 连续套袋自交育成保持系 YDSL60B The sterile line YDSL60A was bred by distant crossing and backcrossing by 9 generations with sterile rape material (unknown) and cauliflower inbred line YDSL60-1 (selfbred from ‘Yidai Shenliang 60 d’). The maintainer YDSL60B was bred by self pollination of YDSL60-1 with continuous bagging
XG108A	以不育花椰菜 ‘瑞宝 70’ (产地日本) 为母本, 花椰菜自交系 XG108-1 (‘雪冠 108 天’ 自交选择育成) 为父本, 杂交、回交核置换 7 代育成; XG108-1 连续套袋自交育成保持系 XG108B The sterile line XG108A was bred by crossing and backcrossing by 7 generations with sterile cauliflower material ‘Ruibao 70’ (Japan) and cauliflower inbred line XG108-1 (selfbred from ‘Xueguan 108 d’). The maintainer XG108B was bred by self pollination of XG108-1 with continuous bagging
TDXG100A	以不育花椰菜 ‘雪莲 1 号’ (产地荷兰) 为母本, 花椰菜自交系 TDXG100-1 (‘特大雪冠 100 天’ 自交选择育成) 为父本, 杂交、回交核置换 8 代育成; TDXG100-1 连续套袋自交育成保持系 TDXG100B The sterile line TDXG100A was bred by crossing and backcrossing by 8 generations with sterile cauliflower material ‘Xuelian 1’ (Netherlands) and cauliflower inbred line TDXG100-1 (selfbred from ‘Teda Xueguan 100 d’). The maintainer TDXG100B was bred by self pollination of TDXG100-1 with continuous bagging

5 个测验父本 SM80、ZH80、R4、SLTD60 和 R111 (表 2) 是根据作者之前的研究 (Zhu et al., 2018a, 2018b) 中的聚类结果选择的亲缘关系较远、性状差异较大的优良花椰菜自交系, 其与 6 个不育系的平均相似系数在 0.594 ~ 0.705, 相似性较小。

表 2 花椰菜 5 个测验自交系信息
Table 2 Information of five test inbred lines of cauliflower

测验自交系 Test line	原始品种 Original variety	来源地 Origin
SM80	松美 80 天 Songmei 80 d	福建 Fujian
ZH80	漳花 80 天 Zhanghua 80 d	福建 Fujian
R4	Rui 4	浙江 Zhejiang
SLTD60	神龙特大 60 天 Shenlong Teda 60 d	中国香港 Hongkong, China
R111	Rui11-1	浙江 Zhejiang

试验在温州市农业科学研究院藤桥基地进行。2016 年秋季, 将 6 个不育系及其保持系和 5 个测验自交系种植于育种大棚。2017 年春季按照 NC II 交配设计, 将不育系及其保持系分别与测验自交系杂交配制得到 30 个不育系杂种 (简称 A 系杂种, AF_1) 和 30 个保持系杂种 (简称 B 系杂种, BF_1)。2017 年和 2018 年秋季分别将 A 系杂种和 B 系杂种进行田间种植, 株行距 50 cm × 60 cm。随机区组设计, 两次重复, 每小区种植 10 株。

1.2 性状测定

农艺性状参考李锡香和方智远 (2008) 报道的方法测定现球期、采收期、株高、株幅、叶长、叶宽、叶片数、花球质量、花球横径和花球纵径。其中, 现球期为植株定植至 50% 植株出现花球的天数; 采收期为植株定植至 80% 植株花球达到成熟的天数。株高、株幅、叶长、叶宽、叶片数、花球质量、花球横径和花球纵径为花球采收期随机选择 5 株测定。

花球采收期每个材料随机选择 3 株相同部位的花球样品。将样品剪碎混匀, 其中色素含量测定为花球面内 1 ~ 2 cm 花梗碎样, 其余指标测定为 1 ~ 2 cm 花球碎样, 用分析天平称量混合样品作为测试样品, 重复 3 次。叶绿素含量、类胡萝卜素含量、可溶性蛋白含量测定参考李合生 (2000) 报道的方法。可溶性糖含量测定参考王妍等 (2013) 报道的方法。维生素 C 含量测定采用紫外分光光度法 (郑京平, 2006; 孙鹏 等, 2011; 谢丽源 等, 2016) 测定。

1.3 数据分析

参考王才林和汤玉庚 (1990) 报道的方法进行数据分析, 不育系细胞质相对于保持系可育细胞质的遗传效应用 A 系杂种与 B 系杂种性状的成对差数表示。即: 细胞质效应计算公式: $D = AF_1 - BF_1$, 细胞质相对效应计算公式: $D\% = (AF_1 - BF_1) / BF_1 \times 100$ 。各性状两年资料数据参考盖钧镒 (2000) 报道的方法进行联合方差分析及 t 测验检测细胞质效应差异的显著性, 多重比较检测不同不育系细胞质遗传效应的差异。

2 结果与分析

2.1 花椰菜 6 个 CMS 及 5 个测验品种的差异分析

根据各材料的测定结果 (表 3) 计算 6 个花椰菜 CMS 的变异系数 (表 4), 除叶片数、花球横径和花球纵径外, 其余 12 个性状均大于 10%, 其中现球期、采收期、花球质量、叶绿素含量、类胡萝卜素含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和维生素 C 含量较大, 变幅 20.85% ~ 64.50%, 且各性状方差分析达到极显著差异水平 ($P < 0.01$)。5 个测验自交系的变异系数 (表 4), 除叶长和花球纵径外, 其余 13 个性状均大于 10%, 其中花球质量和叶绿素、类胡萝卜素、可溶性蛋白、可溶

表 3 花椰菜 6 个 CMS 及 5 个测验自交系的表现
Table 3 Performance of six CMS and five test lines of cauliflower

性状 Character	不育系 CMS					
	GM65A	NB65A	SH120A	YDSL60A	XG108A	TDXG100A
现球期/d Days to curd appearing	44.50	54.00	77.75	43.00	68.50	69.25
采收期/d Days to curd harvesting	67.25	78.00	110.25	67.50	99.50	95.75
株高/cm Plant height	77.58	63.55	70.80	44.25	54.48	64.93
株幅/cm Plant breadth	99.50	92.03	111.40	72.55	82.18	94.93
叶长/cm Length of leaf	74.30	63.40	75.79	47.68	56.93	66.44
叶宽/cm Width of leaf	29.58	25.85	31.53	25.23	31.90	32.40
叶片数 Number of rosette leaves	22.65	24.10	23.05	20.75	23.25	24.20
花球质量/g Curd weight	570.70	583.20	817.55	541.15	919.70	571.75
花球横径/cm Transverse diameter of curd	17.95	17.51	20.24	15.64	18.93	17.42
花球纵径/cm Lengthways diameter of curd	11.19	12.94	12.48	9.97	11.88	11.74
叶绿素/ (mg · kg ⁻¹) Chlorophyll	4.26	12.33	6.46	4.70	4.38	16.97
类胡萝卜素/ (mg · kg ⁻¹) Carotenoid	1.05	2.44	0.72	1.17	0.65	2.81
可溶性蛋白/ (g · kg ⁻¹) Soluble protein	19.70	15.40	7.70	13.40	8.90	25.50
可溶性糖/ (μmol · g ⁻¹) Soluble sugar	21.08	23.41	29.23	19.53	13.98	30.19
维生素 C/ (μg · g ⁻¹) Vitamin C	161.71	378.73	292.27	250.77	475.20	344.25

性状 Character	测验自交系 Test line				
	SM80	ZH80	R4	SLTD60	R111
现球期/d Days to curd appearing	70.75	63.50	65.50	47.75	60.75
采收期/d Days to curd harvesting	90.75	91.50	96.50	72.75	79.50
株高/cm Plant height	60.85	57.80	42.63	45.85	56.55
株幅/cm Plant breadth	93.00	101.63	64.98	67.58	77.68
叶长/cm Length of leaf	59.78	64.45	53.75	51.75	55.18
叶宽/cm Width of leaf	24.90	25.83	28.73	31.35	23.68
叶片数 Number of rosette leaves	28.95	30.15	24.25	21.10	30.55
花球质量/g Curd weight	376.75	556.45	767.05	533.75	186.45
花球横径/cm Transverse diameter of curd	16.44	18.74	16.88	14.22	14.36
花球纵径/cm Lengthways diameter of curd	10.04	10.69	9.96	8.67	8.65
叶绿素/ (mg · kg ⁻¹) Chlorophyll	33.99	23.74	5.42	2.50	24.48
类胡萝卜素/ mg · kg ⁻¹) Carotenoid	4.72	2.73	0.67	0.70	3.85
可溶性蛋白/ (g · kg ⁻¹) Soluble protein	12.10	17.80	14.00	20.50	17.20
可溶性糖/ (μmol · g ⁻¹) Soluble sugar	32.96	31.59	19.15	23.61	27.36
维生素 C/ (μg · g ⁻¹) Vitamin C	223.54	331.76	274.87	490.73	459.08

表 4 花椰菜 6 个 CMS 及 5 个测验自交系的差异分析
Table 4 Difference analysis of six CMS and five test lines of cauliflower

性状 Character	不育系 CMS			测验自交系 Test line			测验自交系对不育系
	平均值	变异系数/%	F 值	平均值	变异系数/%	F 值	Test line vs CMS
	Mean	CV	F value	Mean	CV	F value	F value
现球期 Days to curd appearing	59.50	24.20	1 164.55**	61.65	13.93	81.84**	70.28**
采收期 Days to curd harvesting	86.38	20.85	1 687.88**	86.20	11.32	211.49**	0.41
株高 Plant height	62.60	18.91	44.56**	52.74	15.16	32.23**	307.02**
株幅 Plant breadth	92.10	14.70	45.41**	80.97	19.70	44.44**	159.71**
叶长 Length of leaf	64.09	16.63	63.47**	56.98	8.98	53.97**	254.62**
叶宽 Width of leaf	29.41	10.73	49.30**	26.90	11.56	30.70**	126.28**
叶片数 Number of rosette leaves	23.00	5.47	26.60**	27.00	15.35	147.21**	363.64**
花球质量 Curd weight	667.34	23.95	139.54**	484.09	44.77	1 117.85**	783.64**
花球横径 Transverse diameter of curd	17.95	8.64	23.98**	16.13	11.71	28.60**	315.08**
花球纵径 Lengthways diameter of curd	11.70	8.92	21.17**	9.60	9.44	3.39	282.32**
叶绿素 Chlorophyll	8.18	64.50	8 925.12**	18.02	74.91	8 152.06**	9 388.64**
类胡萝卜素 Carotenoid	1.47	62.34	1 285.86**	2.53	72.12	567.33**	326.55**
可溶性蛋白 Soluble protein	15.10	44.43	34.14**	16.30	20.06	7.49**	16.20**
可溶性糖 Soluble sugar	22.91	26.75	53.01**	26.93	21.16	87.16**	180.94**
维生素 C Vitamin C	317.15	34.16	390.54**	355.99	32.48	258.06**	273.93**

注： *和**分别表示 0.05 和 0.01 水平差异显著。下同。
Note: * and ** indicate significate at 0.05 and 0.01 level respectively. The same below.

性糖、维生素 C 含量较大, 变幅 20.06%~74.91%, 且除花球纵径外有 14 个性状方差分析差异极显著 ($P < 0.01$)。5 个测验自交系与 6 个 CMS 单一自由度比较发现, 除了采收期差异不显著之外, 其余 14 个性状均达到极显著差异水平 ($P < 0.01$)。说明测验自交系、CMS 及测验自交系对 CMS 在主要农艺性状和品质性状上存在显著差异。

2.2 不育细胞质对杂种 F_1 的 15 个性状的一般效应

根据花椰菜 6 个 CMS 及其保持系与 5 个测验自交系杂交后代的表型 (表 5), 计算 30 对 F_1 杂种 15 个性状的差异并分类统计列于表 6。可以看出, 不育细胞质对现球期、采收期和维生素 C 含量存在显著正效应, 而对其余 12 个性状的效应均差异不显著, 但总体有一定的负效应趋势。表明不育细胞质对多数性状有负效应趋势。由表 6 还可知, 不育细胞质对不同性状的效应存在组间差异。如花球质量平均负效应为 -26.48, 变幅 -489.95~296.40, 其中正效应组合 14 个, 8 个达到显著, 负效应组合 16 个, 10 个达到显著; 维生素 C 含量平均正效应为 42.06, 变幅 -140.53~211.84, 其中负效应组合 10 个, 5 个达到显著, 正效应组合 20 个, 16 个达到显著。表明通过适当筛选后, 不育胞质对 F_1 花球产量及品质的不良影响是可以避免的。

表 5 花椰菜 6 个不育系及其同型保持系与 5 个测验自交系杂交后代的表现

Table 5 Performance of hybrids crossed by six CMS lines and their maintainers with five test lines in cauliflower

组合 Cross		现球期/d Days to curd appearing	采收期/d Days to curd harvesting	株高/cm Plant height	株幅/cm Plant breadth	叶长/cm Length of leaf	叶宽/cm Width of leaf	叶片数 Number of rosette leaves	花球质量/g Curd weight
母本 ♀	父本 ♂								
GM65A	SM80	68.00	84.00	77.95	94.20	72.48	26.88	29.65	637.75
	ZH80	60.00	89.25	82.13	115.28	82.73	33.08	28.80	590.30
	R4	65.25	88.50	72.13	102.68	72.08	29.70	23.75	821.90
	SLTD60	52.50	72.25	70.63	99.18	71.60	31.18	24.15	644.40
	R111	59.25	79.75	75.68	113.35	73.75	29.35	29.80	399.95
NB65A	SM80	59.00	83.00	68.68	104.18	69.60	28.25	25.45	515.80
	ZH80	59.25	80.50	72.10	108.38	72.65	29.93	23.60	670.25
	R4	60.00	83.50	67.65	92.70	67.13	28.35	23.25	631.10
	SLTD60	47.00	68.25	63.68	80.90	63.38	30.40	22.55	634.60
	R111	56.75	74.50	64.65	87.35	62.88	26.18	26.15	555.30
SH120A	SM80	72.25	101.00	78.33	120.10	80.73	31.60	30.25	819.55
	ZH80	69.75	96.50	82.35	117.08	80.20	29.83	28.50	985.85
	R4	70.75	101.75	77.30	105.05	77.08	32.00	26.90	893.40
	SLTD60	58.25	91.00	61.93	96.33	67.55	32.68	21.65	732.60
	R111	73.25	97.50	76.10	104.03	74.05	26.98	31.15	639.45
YDSL60A	SM80	54.25	70.50	68.08	95.60	70.18	31.30	26.95	724.30
	ZH80	54.00	71.25	68.25	109.10	73.10	31.43	23.60	669.55
	R4	50.75	75.25	57.90	86.08	61.23	30.05	24.80	670.60
	SLTD60	48.75	66.75	50.08	72.95	54.20	30.13	19.65	702.80
	R111	53.25	69.25	61.33	87.65	61.95	27.68	24.70	763.00
XG108A	SM80	61.75	88.75	67.20	98.40	68.65	30.18	23.40	619.35
	ZH80	60.00	88.25	70.10	101.30	72.88	28.95	21.60	805.25
	R4	63.25	91.00	64.10	93.78	65.25	31.38	21.70	957.60
	SLTD60	54.25	73.50	59.70	100.58	62.05	35.13	23.45	690.95
	R111	61.00	85.50	61.38	99.43	65.03	27.30	25.70	708.70
TDXG100A	SM80	69.00	93.25	73.78	93.28	73.38	29.33	23.33	366.50
	ZH80	63.75	85.50	76.05	115.10	75.60	29.95	28.95	363.25
	R4	68.50	94.00	71.08	101.53	73.73	36.63	22.65	816.80
	SLTD60	54.50	76.50	64.85	88.18	65.25	34.88	25.00	755.45
	R111	61.75	93.25	68.93	103.85	65.85	26.95	28.25	682.55
GM65B	SM80	50.75	70.00	75.63	102.55	72.23	25.75	22.50	563.10
	ZH80	51.00	66.75	80.38	104.63	76.68	30.75	23.00	864.10
	R4	50.25	71.00	72.63	100.18	73.08	32.38	21.35	668.65

续表 5

组合 Cross		现球期/d Days to curd appearing	采收期/d Days to curd harvesting	株高/cm Plant height	株幅/cm Plant breadth	叶长/cm Length of leaf	叶宽/cm Width of leaf	叶片数 Number of rosette leaves	花球质量/g Curd weight
母本 ♀	父本 ♂								
NB65B	SLTD60	44.75	62.00	61.23	87.80	67.63	33.20	21.65	777.55
	R111	49.50	65.25	72.25	90.75	71.60	30.38	22.90	568.10
	SM80	59.75	75.75	72.60	101.63	74.53	29.80	31.20	364.45
	ZH80	56.00	73.50	73.55	109.60	71.73	26.30	30.50	373.85
	R4	56.25	79.50	65.63	102.90	68.00	30.28	29.00	534.55
SH120B	SLTD60	46.75	65.25	68.23	85.23	66.45	31.73	24.50	600.75
	R111	55.00	68.25	77.63	90.55	69.43	30.30	31.50	375.25
	SM80	70.25	98.00	76.95	111.50	77.60	26.78	29.05	781.65
	ZH80	66.75	94.25	78.73	111.93	81.40	27.33	29.90	834.15
	R4	68.50	99.50	69.95	108.00	74.00	30.15	27.10	840.65
YDSL60B	SLTD60	55.00	82.75	70.68	109.83	69.00	34.08	20.80	857.55
	R111	69.50	88.25	75.00	109.95	74.03	27.60	30.15	650.15
	SM80	53.50	72.75	62.03	105.90	66.80	29.20	24.20	686.10
	ZH80	53.75	70.75	72.83	101.53	71.08	32.45	24.65	732.75
	R4	56.50	79.00	58.53	98.70	62.73	28.90	24.00	758.50
XG108B	SLTD60	46.00	66.50	57.13	74.38	58.65	31.65	20.80	560.15
	R111	51.00	68.75	67.90	88.70	66.68	31.33	25.70	626.65
	SM80	61.25	88.50	66.90	100.83	67.30	31.75	29.30	819.90
	ZH80	59.50	83.50	68.45	112.83	72.25	32.28	28.30	1 295.20
	R4	62.50	91.75	66.55	100.03	68.30	35.13	20.85	1 168.10
TDXG100B	SLTD60	49.00	76.50	66.23	88.60	62.18	32.30	20.75	942.95
	R111	59.25	85.25	67.70	92.88	63.60	29.43	24.30	866.15
	SM80	63.50	87.25	72.33	98.20	69.03	30.55	27.75	412.20
	ZH80	59.00	87.00	78.53	105.60	72.88	30.78	27.45	471.05
	R4	65.50	92.75	69.43	101.30	70.43	30.83	22.00	924.10
	SLTD60	54.00	79.25	65.08	93.45	65.83	32.20	23.65	921.25
	R111	60.25	80.25	71.00	114.43	68.58	28.80	27.85	423.65
组合 Cross		花球横径/cm Transverse diameter of curd	花球纵径/cm Lengthways diameter of curd	叶绿素/ (mg · kg ⁻¹) Chloro-phyll	类胡萝卜素/ (mg · kg ⁻¹) Carotenoid	可溶性蛋白/ (g · kg ⁻¹) Soluble protein	可溶性糖/ (μmol · g ⁻¹) Soluble sugar	维生素 C/ (μg · g ⁻¹) Vitamin C	
母本 ♀	父本 ♂								
GM65A	SM80	19.89	12.16	13.88	1.60	14.0	27.92	428.66	
	ZH80	21.64	12.13	14.38	2.09	18.5	26.65	259.90	
	R4	19.93	12.52	8.79	1.07	8.6	23.82	225.07	
	SLTD60	16.84	9.46	7.11	1.37	25.3	21.62	328.99	
	R111	14.93	9.64	13.72	2.20	20.6	22.27	157.88	
NB65A	SM80	17.64	10.94	10.31	2.62	6.9	30.41	455.56	
	ZH80	19.98	11.77	16.35	2.72	14.6	22.70	289.28	
	R4	17.85	10.77	5.66	0.78	16.8	19.88	485.14	
	SLTD60	15.82	9.67	1.69	0.66	18.2	18.02	471.88	
	R111	17.30	8.99	9.39	1.88	18.7	23.74	277.84	
SH120A	SM80	20.78	12.32	6.81	0.63	8.2	26.32	246.17	
	ZH80	20.94	11.84	7.52	0.85	6.6	16.74	258.68	
	R4	19.79	11.76	5.09	0.57	8.8	18.67	146.03	
	SLTD60	17.20	8.99	2.33	0.70	8.9	24.63	239.03	
	R111	20.03	11.79	5.29	0.55	15.1	25.18	215.81	
YDSL60A	SM80	17.95	10.47	6.54	1.36	7.5	20.90	269.76	
	ZH80	17.37	9.58	6.89	1.12	14.7	20.93	193.70	
	R4	16.67	9.49	4.14	1.14	14.2	18.67	430.11	
	SLTD60	17.50	9.71	3.47	0.72	17.6	16.97	261.56	
	R111	19.00	11.19	5.84	1.22	14.0	19.05	244.68	
XG108A	SM80	17.19	9.61	8.75	1.33	8.6	22.03	358.37	
	ZH80	18.25	10.08	8.46	1.54	14.7	23.98	459.68	
	R4	18.42	10.46	3.64	0.41	5.1	21.45	425.02	
	SLTD60	16.97	9.88	1.96	0.97	18.7	21.65	523.80	
	R111	18.79	11.61	4.19	0.76	12.4	17.68	494.18	
TDXG100A	SM80	16.51	9.97	17.92	3.14	11.2	27.77	416.32	
	ZH80	16.65	9.77	9.98	1.52	7.2	23.81	480.28	

续表 5

组合 Cross		花球横径/cm Transverse diameter of curd	花球纵径/cm Lengthways diameter of curd	叶绿素/ (mg · kg ⁻¹) Chloro-phyll	类胡萝卜素/ (mg · kg ⁻¹) Carotenoid	可溶性蛋白/ (g · kg ⁻¹) Soluble protein	可溶性糖/ (μmol · g ⁻¹) Soluble sugar	维生素 C/ (μg · g ⁻¹) Vitamin C
母本 ♀	父本 ♂							
GM65B	R4	19.48	12.34	9.50	1.40	13.9	28.50	166.13
	SLTD60	17.60	11.61	4.55	0.87	8.2	26.11	327.54
	R111	17.70	11.00	18.68	2.67	13.0	26.08	394.30
	SM80	18.28	11.08	12.36	2.74	21.7	26.03	216.82
	ZH80	22.49	12.32	5.70	1.33	22.3	24.03	352.83
NB65B	R4	18.36	11.74	12.47	1.90	18.2	20.50	256.93
	SLTD60	17.57	9.97	3.11	0.74	20.0	19.76	236.05
	R111	18.45	10.82	10.48	1.70	12.8	19.57	298.41
	SM80	14.77	9.89	28.48	4.18	20.9	19.24	393.30
	ZH80	16.78	10.43	16.85	2.44	22.9	26.71	255.76
SH120B	R4	17.09	9.59	16.58	2.79	9.2	19.26	482.12
	SLTD60	15.74	9.62	7.87	1.53	14.6	20.26	414.99
	R111	16.63	8.57	19.50	3.13	18.7	19.35	230.93
	SM80	20.08	11.24	7.82	0.63	7.9	27.79	270.68
	ZH80	19.83	11.40	10.40	1.38	15.1	19.60	227.97
YDSL60B	R4	18.41	11.23	3.72	0.49	14.1	20.16	242.05
	SLTD60	19.32	10.35	2.91	0.78	14.4	21.92	239.83
	R111	20.24	12.14	6.73	0.56	8.3	25.44	169.71
	SM80	17.07	10.18	9.90	1.77	13.8	18.99	344.63
	ZH80	19.78	10.53	6.95	1.24	13.4	16.29	201.74
XG108B	R4	17.35	9.67	3.11	0.66	10.6	22.63	336.39
	SLTD60	16.08	9.11	2.74	0.65	17.2	19.19	140.87
	R111	16.85	9.88	5.75	1.40	17.5	19.96	180.64
	SM80	18.73	10.93	7.82	1.25	8.6	25.35	331.00
	ZH80	21.00	12.00	5.25	1.12	12.0	27.58	317.69
TDXG100B	R4	20.79	11.85	4.47	0.62	9.2	16.33	243.11
	SLTD60	18.27	10.92	3.17	0.71	8.2	21.32	345.73
	R111	20.62	12.08	9.12	1.72	15.4	20.80	436.04
	SM80	15.06	8.94	14.34	1.87	10.8	28.18	357.77
	ZH80	18.17	10.72	10.40	1.75	14.8	25.69	343.81
	R4	20.68	12.95	10.45	1.18	8.4	20.77	256.10
	SLTD60	19.07	12.59	3.63	0.81	15.5	27.01	358.72
	R111	16.04	9.08	22.47	3.75	11.3	25.66	186.94

表 6 不育胞质在 15 个性状上的一般效应

Table 6 General cytoplasmic effect of CMS on 15 characters

性状 Character	正效应 Positive effect		负效应 Negative effect		平均效应 Average effect	变幅 Range
	组合数 No. of combinations	显著组合数 No. of significant combinations	组合数 No. of combinations	显著组合数 No. of significant combinations		
现球期 Days to curd appearing	28	15	2	1	3.52**	- 5.75 ~ 17.25
采收期 Days to curd harvesting	24	14	6	1	4.80**	- 3.75 ~ 22.50
株高 Plant height	14	2	16	3	- 0.92	- 12.98 ~ 9.40
株幅 Plant breadth	12	3	18	3	- 0.56	- 13.50 ~ 22.60
叶长 Length of leaf	16	1	14	4	0.08	- 6.55 ~ 6.05
叶宽 Width of leaf	11	5	19	5	- 0.22	- 4.13 ~ 5.80
叶片数 Number of rosette leaves	17	7	13	7	- 0.24	- 6.90 ~ 7.15
花球质量 Curd weight	14	8	16	10	- 26.48	- 489.95 ~ 296.40
花球横径 Transverse diameter of curd	15	2	15	4	- 0.10	- 3.53 ~ 3.21
花球纵径 Lengthways diameter of curd	15	1	15	1	- 0.01	- 1.92 ~ 1.92
叶绿素 Chlorophyll	12	5	18	9	- 1.39	- 18.18 ~ 8.67
类胡萝卜素 Carotenoid	13	5	17	9	- 0.21	- 2.01 ~ 1.27
可溶性蛋白 Soluble protein	15	6	15	12	- 0.12	- 1.40 ~ 1.05
可溶性糖 Soluble sugar	15	6	15	4	0.63	- 4.01 ~ 11.17
维生素 C Vitamin C	20	16	10	5	42.06*	- 140.53 ~ 211.84
合计 Total	241	96	209	78		

2.3 核背景对不育细胞质遗传效应的影响

由表 7 可知, 不同变异来源中组合、父母本及其互作间基本都达到极显著差异水平 ($P < 0.01$)。组合间比较, 花球质量、花球纵径、花球横径、叶绿素含量、类胡萝卜素含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量和维生素 C 含量等 15 个性状的成对差数均差异极显著 ($P < 0.01$), 表明 6 个 CMS 细胞质遗传效应在各性状上呈明显的组合特异性。父本间比较, 除现球期外的 14 个性状差异极显著 ($P < 0.01$), 表明不育细胞质效应对这些性状的影响因杂交父本而异, 充分显示了杂交父本核不育细胞质效应表达的作用。此外, 各性状成对差数在母本 \times 父本互作间亦均极显著差异 ($P < 0.01$), 表明不育细胞质遗传效应受杂种核核互作基因型的影响。

表 7 花椰菜 15 个性状成对差数的联合方差分析
Table 7 Combined ANOVA of paired data for 15 characters of cauliflower

性状 Character	年份 Year	区组 Block	组合 Cross	母本 Female	父本 Male	母本 \times 父本 Female \times male	年份 \times 组合 Year \times cross	误差 Error
自由度 <i>df</i>	1	2	29	5	4	20	29	58
现球期 Days to curd appearing	2.70	1.07	82.90**	348.29**	3.95	32.34**	6.84	5.19
采收期 Days to curd harvesting	19.20	6.67	170.94**	705.22**	83.57**	54.84**	22.30**	5.87
株高 Plant height	17.25	21.90	96.35**	151.09**	137.50**	74.43**	30.88	20.83
株幅 Plant breadth	47.88	55.11	307.85**	358.79**	249.92**	306.71**	126.88**	45.82
叶长 Length of leaf	9.02	3.29	38.25**	68.87**	53.39**	27.57**	10.15	11.53
叶宽 Width of leaf	1.41	1.04	27.54**	27.14**	32.61**	26.63**	2.41	1.62
叶片数 Number of rosette leaves	1.34	1.31	57.86**	212.02**	20.31**	26.82**	3.73*	2.07
花球质量 Curd weight	803.94	225.43	125 563.73**	379 940.22**	71 818.39**	72 718.67**	2 149.07**	375.03
花球横径 Transverse diameter of curd	0.04	0.01	12.58**	25.50**	10.48**	9.78**	0.02	0.01
花球纵径 Lengthways diameter of curd	0.05*	0.01	4.18**	8.88**	4.78**	2.89**	0.12**	0.02
叶绿素 Chlorophyll	1.43**	0.01	102.49**	325.69**	79.35**	51.32**	14.63**	0.04
类胡萝卜素 Carotenoid	0.03	0.04**	2.15**	3.68**	1.59**	1.88**	0.42**	0.01
可溶性蛋白 Soluble protein	0.05	0.04	1.49**	0.35**	2.01**	1.66**	0.16**	0.06
可溶性糖 Soluble sugar	0.86	2.44	52.03**	40.05**	31.73**	59.08**	12.95**	2.15
维生素 C Vitamin C	764.92	192.59	34 415.12**	38 672.87**	10 790.54**	38 075.59**	3 078.96**	872.14

2.4 不同来源 CMS 的不育系细胞质效应的比较

基于细胞质效应 D 值比较: 6 个 CMS 系细胞质效应 *t* 测验结果 (表 8) 表明, 不同 CMS 细胞质对除现球期外的 14 个性状同时存在正、负效应。其中, GM65A 对生育期、叶片数和可溶性糖含量呈极显著 ($P < 0.01$) 正效应; NB65A 对采收期、花球质量、花球纵径和维生素 C 含量呈显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 正效应, 但对叶片数和叶绿素含量呈显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 负效应; SH120A 对生育期呈显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 正效应; YDSL60A 对所有性状 D 值均不显著; XG108A 对维生素 C 含量呈显著 ($P < 0.05$) 正效应, 但对花球质量和花球纵径则呈显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 负效应; TDXG100A 对现球期呈显著 ($P < 0.05$) 正效应。说明, 6 个 CMS 不育细胞质对不同性状的效应存在差异, 且不育细胞质效应表现与杂交父本有关。不同作物来源 CMS 细胞质效应 *t* 测验结果 (表 9) 表明, 来自油菜的 CMS 对生育期和叶片数总体呈显著 ($P < 0.05$) 正效应; 来自甘蓝的 CMS 对采收期、花球质量、花球纵径和维生素 C 含量呈显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 正效应, 对叶片数和叶绿素含量呈显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 负效应; 来自花椰菜的 CMS 对生育期和维生素 C 含量呈显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 正效应。说明甘蓝的 CMS 对产量较好, 花椰菜的 CMS 对品质较好, 而油菜的 CMS

对产量品质总体一般。因此, 实际应用中要充分利用杂交父本核来改善不同来源 CMS 对相关性状的不良细胞质效应。

表 8 花椰菜 6 个 CMS 的细胞质遗传效应 (D)
Table 8 Cytoplasmic genetic effect (D) of the six CMS of cauliflower

性状 Character	GM65A	NB65A	SH120A	YDSL60A	XG108A	TDXG100A
现球期 Days to curd appearing	11.75**	1.65	2.85**	0.05	1.75	3.05*
采收期 Days to curd harvesting	15.75**	5.50**	5.00*	- 0.95	0.30	3.20
株高 Plant height	3.28	- 4.18	0.94	- 2.56	- 2.67	- 0.34
株幅 Plant breadth	7.76	- 3.28	- 1.73	- 3.57	- 0.33	- 2.21
叶长 Length of leaf	2.29	- 2.90	0.72	- 1.06	0.05	1.42
叶宽 Width of leaf	- 0.45	- 1.06	1.43	- 0.59	- 1.59	0.92
叶片数 Number of rosette leaves	4.95**	- 5.14**	0.29	0.07	- 1.53	- 0.11
花球质量 Curd weight	- 69.44	151.64*	21.34	33.22	- 262.09*	- 33.54
花球横径 Transverse diameter of curd	- 0.38	1.52	0.17	0.27	- 1.96	- 0.22
花球纵径 Lengthways diameter of curd	- 0.00	0.81*	0.07	0.22	- 1.23**	0.08
叶绿素 Chlorophyll	2.75	- 9.18*	- 0.91	- 0.31	- 0.57	- 0.13
类胡萝卜素 Carotenoid	- 0.01	- 1.08	- 0.11	- 0.03	- 0.08	0.04
可溶性蛋白 Soluble protein	- 0.16	- 0.22	- 0.24	- 0.09	0.12	- 0.15
可溶性糖 Soluble sugar	2.48**	1.98	- 0.67	- 0.11	- 0.92	0.99
维生素 C Vitamin C	7.89	40.52*	- 8.90	39.11	117.50*	56.25

表 9 不同来源 CMS 的细胞质效应 (D) 和相对细胞质效应 (D%)
Table 9 Cytoplasmic effect (D) and relative cytoplasmic effect (D%) of the different CMS

性状 Character	细胞质效应 D Cytoplasmic effect D			相对细胞质效应 D% Relative cytoplasmic effect D%		
	油菜 Rape	甘蓝 Cabbage	花椰菜 Cauliflower	油菜 Rape	甘蓝 Cabbage	花椰菜 Cauliflower
现球期 Days to curd appearing	5.90*	1.65	2.55**	12.18*	3.04	4.26**
采收期 Days to curd harvesting	7.40*	5.50**	2.83*	11.22*	7.62**	3.30*
株高 Plant height	0.36	- 4.18	- 0.69	0.68	- 4.99	- 0.97
株幅 Plant breadth	2.10	- 3.28	- 1.42	2.77	- 3.27	- 1.01
叶长 Length of leaf	0.62	- 2.90	0.73	0.71	- 4.07	1.04
叶宽 Width of leaf	- 0.52	- 1.06	0.25	- 1.35	- 3.07	1.19
叶片数 Number of rosette leaves	2.51*	- 5.14**	- 0.45	11.28*	- 17.00*	- 0.90
花球质量 Curd weight	- 18.11	151.64*	- 91.43	- 0.98	38.51*	- 7.65
花球横径 Transverse diameter of curd	- 0.06	1.52	- 0.67	0.11	9.52	- 3.08
花球纵径 Lengthways diameter of curd	0.11	0.81*	- 0.36	1.07	8.33*	- 2.73
叶绿素 Chlorophyll	1.22	- 9.18*	- 0.54	32.90	- 51.92*	- 0.36
类胡萝卜素 Carotenoid	- 0.02	- 1.08	- 0.05	13.54	- 37.77	1.60
可溶性蛋白 Soluble protein	- 0.12	- 0.22	- 0.09	- 0.90	2.20	3.53
可溶性糖 Soluble sugar	1.18	1.98	- 0.20	6.69	12.31	0.56
维生素 C Vitamin C	23.50	40.52*	54.95*	17.81	14.90*	20.90*

基于相对细胞质效应 D%值比较: 由表 10 可知, 6 个 CMS 系中除现球期均表现正效应外, 其余 14 个性状则均表现出不同方向的相对细胞质遗传效应。同样说明, 花椰菜 CMS 不育细胞质对不同性状的效应存在组合间差异性。为了比较不同 CMS 系间遗传效应的差异, 通过 D%值多重比较发现, NB65A 对花球质量、花球横径、花球纵径和可溶性糖含量正效应显著最高; XG108A 对维生素 C 含量和可溶性蛋白含量正效应显著最高, 但对花球质量负效应也显著最大; YDSL60A 对花球质量、维生素 C 含量、叶绿素含量和类胡萝卜素含量等正效应显著较高; TDXG100A 对维生素 C 含量、可溶性糖含量等品质性状正效应显著较高; SH120A 对 5 个品质性状负效应均显著较大; GM65A 对叶绿素含量、类胡萝卜素含量和可溶性糖含量呈显著最高的正效应, 但对花球质量负效应也显著较大。不同作物来源 CMS 的 D%值 *t* 测验结果与 D 值分析结果类似 (表 9), 同样为甘蓝的 CMS 对产

量较好, 花椰菜的 CMS 对品质较好, 而油菜的 CMS 对产量及品质一般。其中, 利用甘蓝 CMS 转育的 NB65A 花球质量细胞质效应最好, 利用花椰菜 CMS 转育的 XG108A 维生素 C 含量细胞质效应最好, 两者可作为选育高产优质组合的母本。

表 10 花椰菜 6 个 CMS 的相对细胞质遗传效应 (D%) 比较
Table 10 Comparison of relative cytoplasmic genetic effect (D%) of the six CMS of cauliflower

性状 Character	GM65A	NB65A	SH120A	YDSL60A	XG108A	TDXG100A
现球期 Days to curd appearing	23.88 a	3.04 bc	4.47 b	0.48 c	3.32 b	5.01 b
采收期 Days to curd harvesting	23.51 a	7.62 b	5.67 bc	- 1.07 d	0.35 d	3.89 c
株高 Plant height	5.10 a	- 4.99 d	1.16 ab	- 3.73 cd	- 3.84 cd	- 0.24 bc
株幅 Plant breadth	9.04 a	- 3.27 b	- 1.50 b	- 3.49 b	0.49 b	- 2.02 b
叶长 Length of leaf	3.24 a	- 4.07 c	0.97 ab	- 1.82 bc	0.13 ab	2.01 a
叶宽 Width of leaf	- 1.07 b	- 3.07 bc	5.43 a	- 1.63 b	- 4.73 c	2.86 a
叶片数 Number of rosette leaves	22.19 a	- 17.00 d	1.28 b	0.38 b	- 4.07 c	0.08 b
花球质量 Curd weight	- 8.44 e	38.51 a	2.68 c	6.47 b	- 25.13 f	- 0.50 d
花球横径 Transverse diameter of curd	- 1.93 e	9.52 a	0.93 c	2.14 b	- 9.76 f	- 0.41 d
花球纵径 Lengthways diameter of curd	- 0.30 c	8.33 a	0.35 c	2.44 b	- 10.76 d	2.22 b
叶绿素 Chlorophyll	59.54 a	- 51.92 e	- 6.30 d	6.26 b	0.24 c	4.99 b
类胡萝卜素 Carotenoid	17.19 a	- 37.77 e	- 6.38 d	9.89 b	1.13 c	10.06 b
可溶性蛋白 Soluble protein	- 1.26 b	2.20 b	- 7.74 b	- 0.55 b	19.27 a	- 0.94 b
可溶性糖 Soluble sugar	11.94 a	12.31 a	- 3.05 d	1.45 bc	- 0.74 cd	5.47 b
维生素 C Vitamin C	10.35 c	14.90 c	- 1.37 d	25.27 b	38.84 a	25.23 b

注：同一性状不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different small letters of the same character indicate significant at 0.05. The same below.

2.5 两个同质异核花椰菜 CMS 细胞质效应比较

表 11 列出了两个同质异核（均为油菜 CMS）不育系 GM65A 和 YDSL60A 的 15 个性状 D 值、D%值及其极差。可以看出，除叶宽、类胡萝卜素含量和可溶性蛋白含量外，其余 12 个性状的 D 值及 D%值在两者之间差异显著。其中花球质量、花球横径、花球纵径和维生素 C 含量的 D 值和 D%值均为 YDSL60A 显著大于 GM65A，而叶绿素含量和可溶性糖含量则均为 YDSL60A 显著小于 GM65A。

表 11 两个同质异核 CMS 细胞质效应的比较
Table 11 Comparison of cytoplasmic effect between the two CMS lines with different nuclear

性状 Character	细胞质效应 D Cytoplasmic effect D		相对细胞质效应 D% Relative cytoplasmic effect D%		极差 Range	
	GM65A	YDSL60A	GM65A	YDSL60A	D _{max} - D _{min}	D _{max} % - D _{min} %
现球期 Days to curd appearing	11.75 a	0.05 b	23.88 a	0.48 b	23.00	43.88
采收期 Days to curd harvesting	15.75 a	- 0.95 b	23.51 a	- 1.07 b	26.25	38.22
株高 Plant height	3.28 a	- 2.56 b	5.10 a	- 3.73 b	16.45	27.48
株幅 Plant breadth	7.76 a	- 3.57 b	9.04 a	- 3.49 b	35.23	38.27
叶长 Length of leaf	2.29 a	- 1.06 b	3.24 a	- 1.82 b	10.78	15.58
叶宽 Width of leaf	- 0.45 a	- 0.59 a	- 1.07 a	- 1.63 a	5.98	19.28
叶片数 Number of rosette leaves	4.95 a	0.07 b	22.19 a	0.38 b	8.30	37.48
花球质量 Curd weight	- 69.44 b	33.22 a	- 8.44 b	6.47 a	427.05	57.19
花球横径 Transverse diameter of curd	- 0.38 b	0.27 a	- 1.93 b	2.14 a	5.67	31.86
花球纵径 Lengthways diameter of curd	- 0.00 b	0.22 a	- 0.30 b	2.44 a	2.50	24.35
叶绿素 Chlorophyll	2.75 a	- 0.31 b	59.54 a	6.26 b	12.36	185.96
类胡萝卜素 Carotenoid	- 0.01 a	- 0.03 a	17.19 a	9.89 a	1.89	128.93
可溶性蛋白 Soluble protein	- 0.16 a	- 0.09 a	- 1.26 a	- 0.55 a	1.74	122.42
可溶性糖 Soluble sugar	2.48 a	- 0.11 b	11.94 a	1.45 b	8.60	47.18
维生素 C Vitamin C	7.89 b	39.11 a	10.35 b	25.27 a	352.37	144.07

可见,同为来自油菜 CMS 的花椰菜不育系 YDSL60A 在产量品质性状上的细胞质效应明显好于 GM65A。表明,保持系细胞核对不育细胞质的分化起作用,也说明父本核对不育细胞质效应表达的影响。

由表 11 还可知,GM65A 和 YDSL60A 在主要农艺性状及品质性状上 D 值及 D%值的极差较大。从 D%值极差看,维生素 C 含量、叶绿素含量、类胡萝卜素含量和可溶性蛋白含量的极差很大,分别为 144.07%、185.96%、128.93%和 122.42%;花球质量和可溶性糖含量也较大,分别为 57.19%和 47.18%;其余性状变幅 15.58%~43.88%。从 D 值极差看,花球质量和维生素 C 含量很大,分别为 427.05 和 352.37;现球期和采收期较大,分别为 23.00 和 26.25。说明杂交配组中两个同质异核 CMS 在产量、品质及生育期相关性状上选择潜力较大,这为油菜 CMS 应用于花椰菜杂种优势提供可能。

3 讨论

3.1 CMS 对花椰菜多个性状的细胞质有负效应趋势

前人对不同作物不育胞质效应的研究结论不尽一致,表明不同作物 CMS 的细胞质效应遗传较为复杂(浦惠明等,1994;赵存鹏等,2017)。本研究中发现,CMS 来自油菜、甘蓝等的 6 个花椰菜不育系对杂种 F₁ 株高、株幅、叶宽、叶片数、花球质量、花球纵径、花球横径、叶绿素含量、类胡萝卜素含量和可溶性蛋白含量 10 个性状有一定负向效应趋势,其中花球质量效应负向最大(-26.48),说明不同 CMS 细胞质对 F₁ 花球产量品质等性状有一定的不良影响。这与前人在甘蓝型油菜(浦惠明等,1994)、大白菜(鹿英杰,2000)等十字花科作物中发现 CMS 细胞质对 F₁ 产量相关性状具有负效应的结论基本一致。

本研究中还发现,花椰菜 CMS 细胞质对 F₁ 现球期和采收期呈极显著正效应,说明不育细胞质对 F₁ 的生育期具有延迟效应。这与王才林和汤玉庚(1990)发现水稻 CMS 细胞质会引起 F₁ 生育期延迟的观点类似。本试验中,CMS 细胞质对 F₁ 花球维生素 C 含量总体呈显著正效应,不同来源 CMS 对维生素 C 含量也呈正效应,表明利用油菜、甘蓝等 CMS 转育的花椰菜不育系细胞质对 F₁ 维生素 C 含量总体有促进效应。这与郝秀明和曹寿椿(1988)在矮脚黄白菜中的研究结论基本一致。

值得注意的是,6 个 CMS 细胞质效应中产量性状花球质量负向最大,为 -26.48,变幅 -489.95~296.40,而品质性状维生素 C 含量则正向显著最大,为 42.06,变幅 -140.53~211.84。说明,花球产量及品质性状受不育细胞质遗传效应的作用较广,可能与父本核的表达作用较大有关。因此,不同来源 CMS 系在杂种优势育种中,要充分利用其对维生素 C 含量高的正效应特点,同时要注意选择适合的杂交父本来改进不育细胞质对花球质量的不良效应,以获得兼具高产优质的组合。

3.2 花椰菜 CMS 负效应可通过杂交父本核背景改善

由于细胞核基因对性状表现起主导作用,少量细胞质基因对性状起增强或减弱作用,因而不育细胞质的遗传效应现象复杂,其既受不育胞质影响,也受质核互作或者核核互作影响(浦惠明等,1994;邹瑞昌等,2012)。本研究,6 个花椰菜不育系细胞质在多数场合上呈一定的负效应趋势,且主要性状上细胞质效应在组合间及父母本互作上差异极显著。表明,CMS 不育细胞质遗传效应表现明显的组合特异性,且这种负效应不是绝对的,会受杂交父本核背景的影响。

两个同质异核 CMS (GM65A 和 YDSL60A)在花球质量、花球纵径、花球横径、叶绿素、可溶性糖和维生素 C 含量等性状上细胞质效应存在显著差异,除了表明保持系细胞核对不育细胞质分

化的作用, 也体现了杂交父本核背景对不育细胞质遗传效应的作用。此外, 花球质量平均效应虽为负, 但正效应组次数占比近 1/2, 且株幅性状的负效应还可直接应用, 这为花椰菜杂种优势利用提供了新的途径, 有望同时利用质核互作产生的有利效应。因此, 育种实践中可通过选择适当的杂交父本核来改善油菜、甘蓝等 CMS 对花球质量和维生素 C 含量等的细胞质不良效应, 这为不同来源 CMS 应用于花椰菜杂种优势提供了可能。这与前人在油菜 (浦惠明 等, 1994)、芥菜 (邹瑞昌 等, 2012)、棉花 (王学德 等, 1997)、玉米 (卞云龙 等, 2004)、珍珠粟 (Chandra-Shekara et al., 2007) 等作物中的研究结论类似。

3.3 不同来源 CMS 的细胞质效应综合评价

实践证明, 作物同一细胞质对不同性状的效应不同, 不同细胞质对同一性状的效应也不同, 细胞质对各性状的具体效应尚无统一认识 (陶芬芳 等, 2017)。本研究中发现, 来自油菜、甘蓝、花椰菜的 CMS 对 F_1 产量及品质性状的细胞质效应存在明显差异, 就细胞质效应而言, 甘蓝的 CMS 对产量较好, 花椰菜的 CMS 对品质较好, 而油菜的 CMS 对产量品质一般。但是不同来源 CMS 的细胞质效应并不是绝对的, 杂交父本核对不育细胞质效应表现出较大的作用。

本试验核背景下, F_1 的 15 个性状中有 14 个性状表现不同方向的细胞质遗传效应, 其中产量性状花球质量在 6 个 CMS 系中有 3 个为正向效应, D%值变幅 - 25.13% ~ 38.51%, 不育系间差异明显, NB65A 最大, XG108A 最小。品质性状维生素 C 和可溶性糖含量等 D%值在 6 个 CMS 中表现也不尽一致, 维生素 C 含量以 XG108A 显著最大 (38.84%), SH120A 显著最小 (- 1.37%), 可溶性糖含量以 GM65A 和 NB65A 显著最大 (分别为 11.94%和 12.31%), 可溶性蛋白含量以 XG108A 显著最大 (19.27%), 叶绿素及类胡萝卜素含量均以 GM65A 显著最大 (分别为 59.54%和 17.19%)。表明, 不同花椰菜不育系对产量及品质性状的细胞质效应较为复杂, 并表现出明显的组合特异性, 这为高产优质杂交组合选育留下了空间。

前人提出评价一个不育细胞质的优劣不能离开特定的核背景 (董云松 等, 1999)。本研究不同 CMS 细胞质, 或者胞质来源相同、核背景不同, 对不同性状的细胞质效应差异很大, 杂种优势利用中需根据目标性状综合考虑。在本研究的父本核背景下, 来自甘蓝 CMS 的 NB65A 对花球质量细胞质效应最好, 花椰菜 CMS 的 XG108A 对维生素 C 含量细胞质效应最好, 两者可作为选育高产优质组合的母本。随着植物基因组学等分子技术 (Yang et al., 2019; Zhang, 2019) 的发展, 下一步将对不同来源的 CMS 细胞质基因类型进行分子鉴定, 以为其杂种优势育种利用提供帮助。

References

- Bian Yunlong, Deng Dexiang, Jiang Shouhua, Kan Kuizhen. 2004. Influence of different nuclear composition on sterile cytoplasm effect in hybrid maize. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 25 (3): 47 - 50. (in Chinese)
- 卞云龙, 邓德祥, 蒋守华, 阚贵珍. 2004. 玉米杂交种核遗传组成对不育细胞质效应的影响. 扬州大学学报 (农业与生命科学版), 25 (3): 47 - 50.
- Chandra-Shekara A C, Prasanna B M, Singh B B, Unnikrishnan K V, Seetharam A. 2007. Effect of cytoplasm and cytoplasm-nuclear interaction on combining ability and heterosis for agronomic traits in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) Br. R]. Euphytica, 153: 15 - 26.
- Chen Yuping, Wang Xiaoyou, Xu Yuejin, Yan Rulai. 1995. Studies on interspecific cross of *Brassica oleracea* var. *botrytis* and *Brassica napus* I. Effect of tissue culture of interspecific hybrid of *Brassica napus* and *Brassica oleracea* var. *botrytis*. Hubei Agricultural Sciences, 5: 46 - 49. (in Chinese)

- 陈玉萍, 王晓友, 徐跃进, 晏儒来. 1995. 花椰菜和甘蓝型油菜种间杂交的研究 I. 油菜和花椰菜种间杂种组织培养效率. 湖北农业科学, 5: 46 - 49.
- Dong Yunsong, Qiu Huaishan, Zhao Tingzhou, Liu Qining, Su Zhenxi, Wu Xueying, Li Shikai. 1999. Genetic effects of male sterile cytoplasm in hybrid rapeseed (*Brassica juncea* L.). Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 12 (4): 43 - 47. (in Chinese)
- 董云松, 邱怀珊, 赵庭周, 刘其宁, 苏振喜, 吴学英, 李石开. 1999. 芥菜型油菜欧新 A 不育细胞质的遗传效应. 西南农业学报, 12 (4): 43 - 47.
- Ekiz H, Safi Kiral A, Akçin A, Simsek L. 1998. Cytoplasmic effects on quality traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica, 100: 189 - 196.
- Gai Junyi. 2000. Methods of experimental statistics. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 盖钧镒. 2000. 试验统计方法. 北京: 中国农业出版社.
- Gao Qingrong, Zhang Aimin, Wang Ruixia, Qiao Xiaolin, Zhang Yongxiang. 2005. The cytoplasmic effect on quality characters of K, T, V, CHA-cytoplasmic hybrid wheat. Acta Agronomica Sinica, 31 (1): 43 - 47. (in Chinese)
- 高庆荣, 张爱民, 王瑞琳, 乔晓琳, 张永祥. 2005. K、T、V、CHA 型杂种小麦品质性状的细胞质效应. 作物学报, 31 (1): 43 - 47.
- Hao Xiuming, Cao Shouchun. 1988. Study on radish cytoplasmic effect of "Aijiaohuang" CMS. Journal of Nanjing Agricultural University, 11 (1): 33 - 40. (in Chinese)
- 郝秀明, 曹寿椿. 1988. 萝卜胞质矮脚黄白菜雄性不育系细胞质效应和亲本选配的研究 I. 萝卜细胞质效应. 南京农业大学学报, 11 (1): 33 - 40.
- Hou Xilin, Li Ying, Huang Feiyi. 2020. New advances in molecular biology of main characters and breeding technology in non heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*). Acta Horticulturae Sinica, 47 (9): 1663 - 1677. (in Chinese)
- 侯喜林, 李英, 黄菲艺. 2020. 不结球白菜 (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*) 主要性状及育种技术的分子生物学研究新进展. 园艺学报, 47 (9): 1663 - 1677.
- Huang Xingguo, Wang Guangyong, Yu Jinhong, Ding Yi. 2011. Cytoplasmic genetic effects and cytological study of isonuclear alloplasmic male sterile lines in rice. Chines Journal of Rice Science, 25 (4): 370 - 380. (in Chinese)
- 黄兴国, 汪广勇, 余金洪, 丁毅. 2011. 水稻同核异质雄性不育系的细胞质遗传效应与细胞学研究. 中国水稻科学, 25 (4): 370 - 380.
- Hui Zhiming. 2005. Transfer of Ogura cytoplasmic male sterility to cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) by asymmetric protoplast fusion[M. D. Dissertation]. Baoding: Hebei Agricultural University. (in Chinese)
- 惠志明. 2005. 原生质体非对称融合向花椰菜转移 Ogura 萝卜胞质雄性不育性的研究[硕士论文]. 保定: 河北农业大学.
- Hui Zhiming, Liu Fan, Jian Yuancai, Shen Shuxing, Zhao Hong. 2006. Interspecific somatic hybrids between *Brassica oleracea* var. *botrytis* and Ogura type CMS *Brassica napus* obtained from asymmetric protoplast fusion. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 21 (3): 65 - 70. (in Chinese)
- 惠志明, 刘凡, 简元才, 申书兴, 赵泓. 2006. 原生质体非对称融合获得花椰菜与 Ogu CMS 甘蓝型油菜种间杂种. 华北农学报, 21 (3): 65 - 70.
- Kang Gongping, Dai Xiaojun, Ou Lijun, Liang Manzhong, Chen Liangbi. 2017. Cytoplasmic effects on major agronomic traits of isonuclear alloplasmic two-line rice hybrids. Hybrids Rice, 32 (4): 63 - 66. (in Chinese)
- 康公平, 戴小军, 欧立军, 梁满中, 陈良碧. 2017. 同核异质两系杂交水稻主要农艺性状的细胞质效应研究. 杂交水稻, 32 (4): 63 - 66.
- Khehra A S, Bhalla S K. 1976. Cytoplasmic effects on quantitative characters in maize (*Zea mays* L.). Theoretical and Applied Genetics, 47 (6): 271 - 276.
- Li Hesheng. 2000. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社.
- Li Xixiang, Fang Zhiyuan. 2008. Descriptions and Data standard for cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L. and *Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck). Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 李锡香, 方智远. 2008. 花椰菜和青花菜种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社.
- Liu Qing, Zhang Xiaoling, Zhu Shiyang, Tang Zheng, Qiu Boyin, Luo Tiankuan. 2019. A new loose-curd cauliflower cultivar 'Ousong 90 d'. Acta Horticulturae Sinica, 46 (S2): 2785 - 2786. (in Chinese)

- 刘 庆, 张小玲, 朱世杨, 唐 征, 袁波音, 罗天宽. 2019. 松散型花椰菜新品种‘瓯松 90 天’. 园艺学报, 46 (S2): 2785 - 2786.
- Liu Yunxia, Wang Xiaowu. 2010. Studies on ovary culture by inter-specific hybridization of *Brassica oleracea* var. *botrytis* and *Brassica rapa* ssp. *chinensis*. China Vegetables, (2): 56 - 59. (in Chinese)
- 刘运霞, 王晓武. 2010. 花椰菜和小白菜种间杂种子房培养研究. 中国蔬菜, (2): 56 - 59.
- Lu Yingjie. 2000. Study on cytoplasmic effect of cytoplasmic male sterile line in Chinese cabbage. Northern Horticulture, (6): 1 - 3. (in Chinese)
- 鹿英杰. 2000. 大白菜细胞质雄性不育系细胞质效应研究. 北方园艺, (6): 1 - 3.
- Lv J H, Liu Z B, Liu Y H, Ou L J, Deng M H, Wang J, Song J S, Ma Y Q, Chen W C, Zhang Z Q, Dai X Z, Zou X X. 2020. Comparative transcriptome analysis between cytoplasmic male-sterile line and its maintainer during the floral bud development of pepper. Horticultural Plant Journal, 6 (2): 89 - 98.
- Özgen M, Türet M, Avci M. 2001. Cytoplasmic effects on the tissue culture response of callus from winter wheat mature embryos. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 64 (1): 81 - 84.
- Pu Huiming, Fu Shouzhong, Qi Cunkou. 1994. Studies on genetic effects of male sterile cytoplasm in hybrid rapeseed (*Brassica napus* L.). Chinese Oilseeds, 16 (1): 1 - 4. (in Chinese)
- 浦惠明, 傅寿仲, 戚存扣. 1994. 甘蓝型油菜不育细胞质遗传效应的研究. 中国油料, 16 (1): 1 - 4.
- Qiu Xiuli, Wang Hongfei, Li Yu, Wang Naiyuan. 2009. Research advances of cytoplasm genetic effects in hybrid rice. Journal of Yunnan Agricultural University, 24 (3): 455 - 458. (in Chinese)
- 仇秀丽, 王洪飞, 李 毓, 王乃元. 2009. 杂交水稻细胞质遗传效应的研究进展. 云南农业大学学报, 24 (3): 455 - 458.
- Reddy Belum V S, Ramesh Sanjana, Reddy P S, Kumar A Ashok. 2009. Male-sterility inducing cytoplasmic effects on combining ability in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding, 69 (3): 199 - 204.
- Shopan J, Lv X L, Hu Z Y, Zhang M F, Yang J H. 2020. Eukaryotic translation initiation factors shape RNA viruses resistance in plants. Horticultural Plant Journal, 6 (2): 89 - 98.
- Sun Peng, Wang Ning, Sun Xianfeng. 2011. Comparison of two methods for detecting vitamin C in apple. Hubei Agricultural Sciences, 50 (16): 3386 - 3388. (in Chinese)
- 孙 鹏, 王 宁, 孙先锋. 2011. 两种方法对苹果中维生素 C 含量测定的比较. 湖北农业科学, 50 (16): 3386 - 3388.
- Tao Fenfang, Yue Ningyan, Yang Xuele, Peng Ye, Xing Man, Zhu Yanju, Zheng Mengsha, Wu Xianmeng. 2017. Cytoplasmic effect of Ogu cytoplasmic male sterile lines in *Brassica napus*. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 43 (6): 586 - 589, 596. (in Chinese)
- 陶芬芳, 岳宁燕, 杨学乐, 彭 烨, 邢 蔓, 朱艳菊, 郑梦莎, 郭贤梦. 2017. 甘蓝型油菜萝卜质雄性不育系的细胞质效应研究. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 43 (6): 586 - 589, 596.
- Wan Z J, Jing B, Tu J X, Ma C Z, Shen J X, Yi B, Wen J, Huang T, Wang X J, Fu T D. 2008. Genetic characterization of a new cytoplasmic male sterility system (hau) in *Brassica juncea* and its transfer to *B. napus*. Theoretical and Applied Genetics, 116: 355 - 362.
- Wang Cailin, Tang Yugeng. 1990. Studies on genetic effects of sterile cytoplasm in hybrid rice (*Oryza sativa* L. ssp. *sinica*). Acta Agronomica Sinica, 16 (4): 335 - 341. (in Chinese)
- 王才林, 汤玉庚. 1990. 杂交粳稻不育细胞质遗传效应的研究. 作物学报, 16 (4): 335 - 341.
- Wang Xuede, Zhang Tianzhen, Pan Jiaju. 1997. Cytoplasmic effects of cytoplasmic male sterile upland cotton. Acta Agronomica Sinica, 23 (4): 393 - 399. (in Chinese)
- 王学德, 张天真, 潘家驹. 1997. 细胞质雄性不育陆地棉的细胞质效应. 作物学报, 23 (4): 393 - 399.
- Wang Yan, Hu Sheng, Fu Wencheng, Zhang Qiannan, Wang Fengde, Qiu Nianwei. 2013. A new method for fast determination of total soluble sugar content in plant tissue: TBA method. Journal of Jinggangshan University (Natural Science), 34 (3): 37 - 40. (in Chinese)
- 王 妍, 胡 胜, 付文成, 张倩楠, 王凤德, 邱念伟. 2013. 一种快速测定可溶性糖的新方法: TBA 法. 井冈山大学学报 (自然科学版), 34 (3): 37 - 40.
- Xie Liyuan, Zheng Linyong, Gan Bingcheng, Peng Weihong, Tang Jie, Huang Zhongqian, Tan Wei. 2016. Effect of different storage temperatures on physiological property of *pleurotus eryngii*. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 29 (1): 153 - 158. (in Chinese)

- 谢丽源, 郑林用, 甘炳成, 彭卫红, 唐 杰, 黄忠乾, 谭 伟. 2016. 贮藏温度对采后杏鲍菇生理特性的影响. 西南农业学报, 29 (1): 153 - 158.
- Yang Z M, Li G X, Tieman D, Zhu G T. 2019. Genomics approaches to domestication studies of horticultural crops. Horticultural Plant Journal, 5 (6): 240 - 246.
- Zhang Li, Wang Qingbiao, Wang Yanping. 2020. Distribution of *orf687*, a fertility restorer gene for Ogura CMS in radish. Acta Horticulturae Sinica, 47 (5): 864 - 874. (in Chinese)
- 张 丽, 王庆彪, 王艳萍. 2020. Ogura CMS 育性恢复基因 *orf687* 在萝卜中的分布. 园艺学报, 47 (5): 864 - 874.
- Zhang L S. 2019. Advance of horticultural plant genomes. Horticultural Plant Journal, 5 (6): 229 - 230.
- Zhang Xiaoling, Liu Qing, Tang Zheng, Luo Tiankuan, Hu Caiying. 2006. Study on tissue culture of interspecific hybrid of *Brassica napus* and *Brassica oleracea* var. *botrytis*. Chinese Agricultural Science Bulletin, 22 (5): 316 - 318. (in Chinese)
- 张小玲, 刘 庆, 唐 征, 罗天宽, 胡彩英. 2006. 甘蓝型油菜与花椰菜种间杂种子房离体培养研究初报. 中国农学通报, 22 (5): 316 - 318.
- Zhao Cunpeng, Wang Zhaoxiao, Wang Kaihui, Liu Suen, Geng Junyi, Guo Baosheng. 2017. Effect of cytoplasmic male sterility on main characters of cotton. Chinese Bulletin of Botany, 52 (5): 560 - 567. (in Chinese)
- 赵存鹏, 王兆晓, 王凯辉, 刘素恩, 耿军义, 郭宝生. 2017. 胞质雄性不育系冀 2658A 细胞质对陆地棉主要性状的影响. 植物学报, 52 (5): 560 - 567.
- Zheng Jingping. 2006. Determination of the vitamin C in fruits and vegetables—Discussion on UV Spectrophotometry. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 23 (4): 731 - 735. (in Chinese)
- 郑京平. 2006. 水果、蔬菜中维生素 C 含量的测定—紫外分光光度快速测定方法探讨. 光谱实验室, 23 (4): 731 - 735.
- Zhu S Y, Zhang X L, Liu Q, Luo T K, Tang Z, Zhou Y C. 2018a. Phenotypic variation and diversity of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) inbred lines. International Journal of Agriculture and Biology, 20 (5): 1041 - 1048.
- Zhu S Y, Zhang X L, Liu Q, Luo T K, Tang Z, Zhou Y C. 2018b. The genetic diversity and relationships of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) inbred lines assessed by using SSR markers. PLoS ONE, 13 (12): e0208551.
- Zhu X F, Wang X D, Sun J, Zhang T Z, Pan J J. 1998. Assessment of cytoplasmic effects of cytoplasmic male-sterile lines in upland cotton. Plant Breeding, 117 (6): 549 - 552.
- Zou Ruichang, Wan Zhengjie, Xu Yuejin, Shi Zhan, Fu Tingdong. 2012. Cytoplasmic effects and heterosis in cytoplasm male sterile line of leafy mustard 0912A. Plant Science Journal, 30 (3): 261 - 268. (in Chinese)
- 邹瑞昌, 万正杰, 徐跃进, 施 展, 傅廷栋. 2012. 叶用芥菜细胞质雄性不育系 0912A 的胞质效应和杂种优势分析. 植物科学学报, 30 (3): 261 - 268.