

· 研究报告 ·

胞质雄性不育系冀2658A细胞质对陆地棉主要性状的影响

赵存鹏, 王兆晓, 王凯辉, 刘素恩, 耿军义, 郭宝生*

河北省农林科学院棉花研究所, 农业部黄淮海半干旱区棉花生物学与遗传育种重点实验室

国家棉花改良中心河北分中心, 石家庄 050051

摘要 利用棉花(*Gossypium hirsutum*)雄性不育不仅可以培育优质的杂交种, 还能提高棉花制种效率并降低制种成本。该研究以冀2658系及其同核异质不育系冀2658A为母本, 以6个恢复系为父本配制12个杂交组合。利用F₁代研究棉花细胞质对棉花农艺性状、抗病性、种子中粗脂肪和粗蛋白含量、纤维品质及产量性状的影响。结果表明, 冀2658A的细胞质主要影响棉花杂交种F₁代的产量相关性状、黄萎病抗性及棉籽粗脂肪含量等, 表现为衣分显著降低(比对照组低1.61%), 黄萎病抗性增强(黄萎病指数比对照组低18.29%), 棉籽中的粗脂肪含量降低(比对照组低2.88%)。该研究初步探讨了胞质不育型细胞质对陆地棉主要性状的影响, 为陆地棉胞质雄性不育系的利用提供了理论参考。

关键词 胞质雄性不育(CMS), 棉花, 细胞质效应, 冀2658A

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, 560–567.

棉花(*Gossypium hirsutum*)是我国重要的经济作物, 在国民经济中占有重要地位。棉花杂种优势明显, 通常表现在单铃重增加、产量提高、抗逆性和适应性增强及纤维品质提升等方面。但是, 我国生产上使用的棉花杂交种主要来自人工去雄授粉的杂交制种, 繁重的制种方式和近年来劳动力成本的增加严重制约了杂交棉的发展。利用棉花雄性不育系来配制杂交种可以大幅降低人工投入, 减少生产成本, 从而提高制种效率。近年来, 我国在三系杂交种选育和应用上已经取得了重大进展(韩宗福等, 2011)。

雄性不育是指两性花植物的雄性器官发生退化、畸形或丧失功能的现象, 主要包括细胞核雄性不育、胞质雄性不育及光温敏雄性不育。细胞核雄性不育是由细胞核内的不育基因所决定的; 胞质雄性不育(CMS)则是由细胞质和细胞核互作而导致的雄性不育; 光温敏雄性不育是指花粉育性受光照和温度控制(石雅丽等, 2013)。由于CMS的育性能被恢复基因RF所恢复, 是植物杂种优势利用的主要授粉控制系统, 它已在水稻(*Oryza sativa*)、油菜(*Brassica napus*)和棉花等主要作物杂交种选育中得到广泛应用(程计华等, 2006)。目前, 在棉花种子生产中采用的三系杂交

制种, 利用的就是胞质雄性不育系, 通过不育系、保持系和恢复系的协同改良来筛选出符合育种目标的棉花新品种(郭宝生等, 2010; 邢朝柱等, 2012)。

有研究表明, CMS的形成机制主要是胞质中线粒体或叶绿体基因组中的基因发生了突变或分子重排, 导致该基因编码的蛋白质不能发挥作用, 影响了线粒体的正常功能, 进而使花粉发育受阻, 最终导致雄性不育(吴豪等, 2007; Chase, 2007; 彭婧等, 2010; Sloan et al., 2012; Lei et al., 2013; Suzuki et al., 2013)。在棉花CMS恢复系基因研究中, 郭旺珍等(1997)首次报道了与棉花胞质雄性不育恢复基因连锁的RAPD-PCR标记; Wang等(2010)利用RFLP技术对胞质雄性不育系的线粒体基因组进行分析, 发现CMS-D2中存在特异性条带; 而哈克尼西棉(*G. harknessii*)的不育系与保持系的差异之处在于*atpA*基因及其侧翼序列(Wu et al., 2011)。雷蒙德氏棉(*G. raimondii*) (D基因组)、亚洲棉(*G. arboreum*) (A基因组)和陆地棉(*G. hirsutum*) (AD基因组)测序的完成(Wang et al., 2012; Li et al., 2014; Zhang et al., 2015), 使棉花的基因组研究得到迅猛发展(Zhu and Li, 2013), 推动了不育基因与恢复基因的相互作用研

收稿日期: 2016-06-12; 接受日期: 2016-11-11

基金项目: 河北省农林科学院项目(No.A2015070106)和河北省科技计划(No.16226321D)

* 通讯作者。E-mail: guobaosheng111@126.com

究(Kazama et al., 2016)。

目前, 已报道的棉花细胞质雄性不育系主要是哈克尼西棉hams16和hams277、异常棉C9、亚洲棉P24-6A、陆地棉晋A和104-7A、海岛棉(*G. barbadense*)湘远A及三裂棉(*G. trilobum*) D8ms等(张天真等, 1998)胞质不育系。有报道显示, 哈克尼西棉的细胞质对棉花的产量和品质等性状有不同的影响(景忆莲等, 2004), 但关于我国创制的陆地棉胞质不育系104-7A型的细胞质对棉花农艺性状及其棉籽中的粗脂肪和粗蛋白含量影响的报道较少。

本研究以冀2658及其同核异质不育系冀2658A为母本, 以6个恢复系为父本配制12个杂交组合(冀2658A是以104-7A为母本, 以冀2658为父本回交12代育成的同核异质不育系, 6个恢复系的恢复率均为100%), 由此产生6对同核异质杂交种, 细胞核基因一致的成对杂交种间的表型性状差异主要是由细胞质差异造成。故而利用同核异质的F₁代研究冀2658A棉花细胞质对棉花主要农艺性状、抗病性、棉籽中粗

脂肪和粗蛋白含量、纤维品质及产量性状的遗传效应。

1 材料与方法

1.1 实验材料

以棉花(*Gossypium hirsutum* L.)冀2658 (编号4014)及其同核异质不育系冀2658A (编号3016)为母本, 以3202、3204、3210、3216、3218和3221共6个恢复系为父本(表1)配制12个杂交组合(表2)。3016×3202、3016×3204、3016×3210、3016×3216、3016×3218、3016×3221六个为I组; 4014×3202、4014×3204、4014×3210、4014×3216、4014×3218和4014×3221六个为II组(对照组)。冀2658为2015年河北省农作物品种委员会审定品种。在开花阶段, 出现2种表型的花, 冀2658A均表现为花朵稍小、花丝短而细、花药皱缩不开裂、无花粉散出、雄蕊发育正常及柱头突出(图1A); 冀2658则表现为花丝伸长较好、花药饱

表1 供试棉花亲本材料

Table 1 Parent material of cotton in the test

No.	4014	3016	3202	3204	3210	3216	3218	3221
Plant height (cm)	86.8	—	77.6	94.6	73.3	69.0	80.3	79.2
Fruit branch number	13.1	—	13.7	14.7	12.2	12.1	13.0	13.4
Growth period (day)	120	—	119	124	121	122	120	120
Fusarium oxysporum index	0.54	—	0.54	0	5.25	1.11	3.63	0
Verticillium wilt index	26.33	—	44.81	35.12	31.98	38.91	38.35	31.34
Boll number	15.3	—	14.9	17	15.6	13.4	14.4	16.1
Boll weight (g)	6.27	—	5.58	6.76	5.63	6.39	5.40	5.42
Lint percent (%)	44.16	—	43.67	44.67	46.92	45.18	42.83	40.04
Seed index (g)	9.95	—	10.10	11.85	10.05	11.08	10.18	10.28
Before the frost lint yield (kg·hm ⁻²)	1682.10	—	1304.25	1444.35	1367.25	1284.45	1371.90	1153.65
Lint yield (kg·hm ⁻²)	1708.95	—	1424.70	1589.70	1432.95	1302.90	1401.00	1260.90
Pre-frost yield (%)	98.42	—	91.55	90.86	95.41	98.59	97.93	91.49
Fiber length (mm)	28.77	—	29.54	29.23	27.86	28.52	29.85	30.78
Uniformity (%)	84.4	—	83.3	85.5	85.2	84.2	83.9	84.8
Strength (cN·tex ⁻¹)	27.3	—	32.6	30.6	30.9	26.5	29.4	30.9
Micronaire	5.98	—	5.09	4.88	5.3	5.4	5.07	5.29
Elongation	6.2	—	6.8	7.9	8.4	7.7	6.9	6.5
Fat (%)	13.42	—	13.60	11.71	12.07	12.11	13.40	12.90
Protein (%)	23.03	—	22.46	21.75	22.59	22.23	22.57	22.07

— 表示无数据。— indicate no data.

表2 供试棉花杂交组合

Table 2 Hybrids combination of cotton in the test

No.	Cross combination	No.	Cross combination
1	3016×3202	7	4104×3202
2	3016×3204	8	4104×3204
3	3016×3210	9	4104×3210
4	3016×3216	10	4104×3216
5	3016×3218	11	4104×3218
6	3016×3221	12	4104×3221

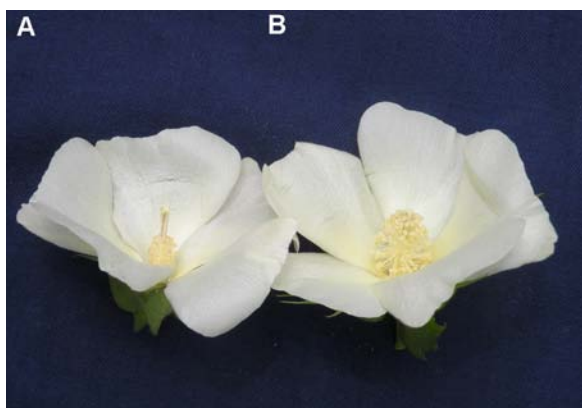


图1 棉花冀2658A (A)和冀2658 (B)的花期图

Figure 1 The representative flower images of cotton variety JI 2658A (A) and JI 2658 (B)

满、开裂后花粉充足且能散出、布满整个花药及柱头被花药包裹(图1B)。

1.2 实验地点

实验于河北省石家庄市河北省农林科学院棉花研究所小安舍实验站进行。

1.3 实验设计

采取完全随机区组设计, 小区面积为 9.10 m^2 , 重复2次。播种法为人工播种机行播, 等行距 0.70 m 种植, 每小区2行, 播种量为每行用种子 40 g , 理论密度 $45\ 000 \text{ plant}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。于2014年4月下旬播种, 播种时施复合肥 $750 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N-P-K: 24-10-14), 雨季追肥1次($300 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 尿素), 简化整枝, 7月15日打小顶, 化控及病虫害防治按照当地常规管理进行。

1.4 调查及检测

在每个小区随机选取20株作为样本进行调查。6月下

旬调查枯萎病, 8下旬调查黄萎病, 9月10日调查棉花的株高和果枝数等农艺性状。在第1次收花前每小区收获50个正常铃, 统一晾晒、轧花考种, 由农业部纤维检验检测中心检测纤维品质; 10月30日收获霜前花、11月15日收获霜后花, 收获后晾晒并称重计产。棉花毛棉籽中粗脂肪和粗蛋白含量用DA7200型近红外成分分析仪(瑞典波通仪器公司)测定。

1.5 数据统计分析

采用Excel 2013软件对2年实验的各组数据进行分析, 利用SPSS19.0统计软件进行单因素方差分析和配对数据 t 检验分析。

2 结果与讨论

2.1 胞质雄性不育系细胞质对棉花农艺性状及抗病性的影响

同时收获I组和II组棉花。I组中果枝末端仍有未开的棉铃(图2A); II组中果枝上的棉铃均已达到收获标准(图2B)。对6对组合的农艺性状及抗病性调查数据进行分析, 发现I组和II组棉花的株高和枯萎病指数无显著差异; 果枝数、生育期及黄萎病指数存在明显差异(表3)。以上结果表明, 雄性不育棉花的细胞质对株高没有明显影响, 但延长了棉花的生育期, 增加了果枝数, 同时对黄萎病发生有一定的抑制作用, 对枯萎病的发生影响不显著。

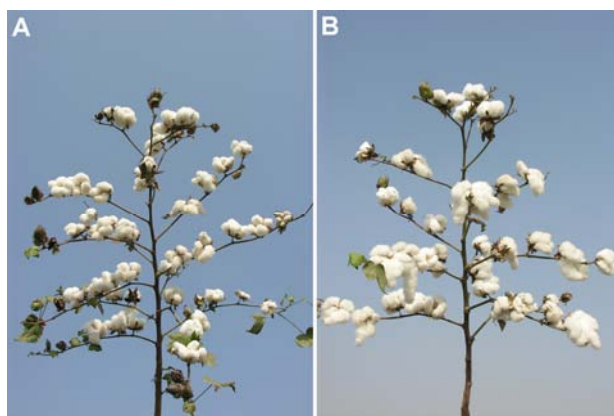


图2 棉花收获期I组(A)和II组(B)代表植株

Figure 2 The typical plant of group I (A) and group II (B) at harvest period in cotton

表3 I组和II组棉花的农艺性状和抗病性统计结果**Table 3** The statistical results of agronomic characters and disease resistance in group I and II of cotton

Character	The average value of group I	The average value of group II	The percentage of the different value between group I and II (%)
Plant height (cm)	86.73±2.96 a	86.30±4.93 a	0.50
Fruit branch numbers	14.05±0.49 a	13.36±0.39 b	5.16
Growth period (day)	122.0±1.41 a	119.7±1.21 b	1.92
Fusarium oxysporum index	0.60±0.66 a	1.04±0.83 a	-42.31
Verticillium wilt index	22.47±3.74 a	27.50±3.25 b	-18.29

同行的不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$.

表4 I组和II组棉花产量性状统计结果**Table 4** The statistical results of yield characters in group I and II of cotton

Character	The average value of group I	The average value of group II	The percentage of the different value between group I and II (%)
Boll number	17.20±0.30 a	16.57±0.25 a	3.80
Boll weight (g)	6.56±0.08 a	6.37±0.09 a	2.98
Lint percent (%)	42.81±1.44 a	43.51±1.56 b	-1.61
Seed index (g)	11.59±0.45 a	10.81±0.33 b	7.22
Before the frost lint yield (kg·hm ⁻²)	1527.08±53.11 a	1847.35±103.89 b	-17.34
Lint yield (kg·hm ⁻²)	1723.73±56.37 a	1947.98±107.09 b	-11.51
Pre-frost yield (%)	88.62±2.55 a	94.83±1.04 b	-6.55

同行的不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。

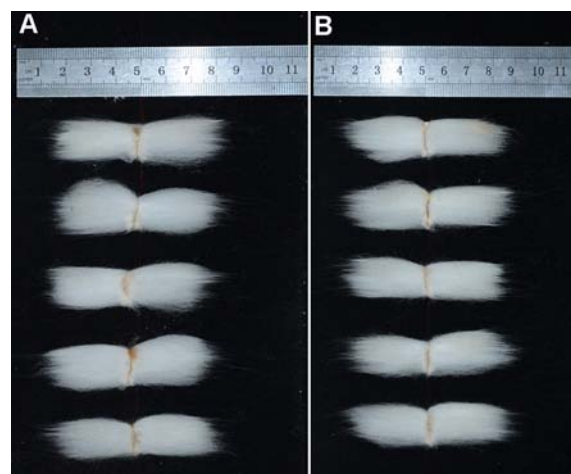
Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$.

2.2 雄性不育细胞质对棉花产量性状及产量的影响

棉花的产量性状主要包括棉花的单株铃数、单铃重和衣分等指标, 而产量一般分为霜前皮棉产量和皮棉总产2个指标。棉花胞质雄性不育的细胞质对棉花的衣分有显著影响, 对单株铃数和单铃重的影响则不显著(表4)。与II组相比, I组棉花的衣分平均下降了1.61%, 子指(seed index, 指100粒毛棉籽的重量(g))上升了7.22%, 霜前皮棉产量下降了17.34%, 皮棉总量下降了11.51%。因此, 在单株结铃和单铃重与II组相比差异不明显的情况下, I组棉花产量的降低可能是子指上升及衣分降低引起的。胞质雄性不育的细胞质降低了棉花的霜前花率, 与上述农艺性状中延长了棉花的生育期一致。

2.3 棉花胞质雄性不育细胞质对纤维品质的影响

I组(图3A)和II组(图3B)的棉纤维在纤维长度上无明显差异。分析纤维检测结果可以得出, 棉花胞质雄性不育的细胞质对棉花纤维的断裂比强度及伸长率有显

**图3** I组(A)和II组(B)棉花的棉纤维代表**Figure 3** The typical cotton fiber in group I (A) and II (B)

著影响, 而对纤维上半部平均长度、整齐度及马克隆值的影响不显著(表5)。推测细胞质对棉花纤维品质性状中的纤维断裂比强度和伸长率有一定影响, 性状表现受细胞质和核基因共同控制, 而纤维上半部平均长

表5 I组和II组棉花纤维主要品质检测结果**Table 5** The test results of fiber main characters in group I and II of cotton

Character	The average value of group I	The average value of group II	The percentage of the different value between group I and II (%)
Fiber length (mm)	30.20±0.50 a	29.88±0.74 a	1.07
Uniformity (%)	85.45±0.68 a	84.58±0.57 a	1.03
Strength (cN·tex ⁻¹)	29.32±1.95 a	30.88±1.33 b	-5.05
Micronaire	5.41±0.24 a	5.48±0.16 a	-1.28
Elongation	6.33±0.59 a	6.93±0.65 b	-8.66

同行的不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$.

表6 I组和II组棉花粗脂肪和粗蛋白的含量**Table 6** The content of fat and protein in group I and II of cotton

Character	The average value of group I	The average value of group II	The percentage of the different value between group I and II (%)
Fat (%)	12.83±0.44 a	13.21±0.40 b	-2.88
Protein (%)	22.40±0.19 a	22.40±0.22 a	0

同行的不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$.

度、整齐度及马克隆值等主要受核基因控制, 没有明显的细胞质效应。

2.4 棉花胞质雄性不育细胞质对棉种中粗脂肪和粗蛋白含量的影响

由表6可以看出, I组棉花的粗脂肪含量显著低于II组, 较II组下降了2.88%; 而两组间粗蛋白的含量基本一致。推测粗蛋白含量可能主要受核基因控制, 细胞质对其影响不大; 而粗脂肪含量除了受核基因控制外, 可能还受细胞质中相关基因的控制。

2.5 讨论

利用胞质雄性不育技术实现三系配套, 从而培育出高产量、高品质且抗逆性好的优良杂种, 是目前比较高效的育种方法, 目前已在玉米(*Zea mays*)、向日葵(*Helianthus annuus*)、水稻、棉花和辣椒(*Capsicum annuum*)等多种作物上获得成功(邹学校等, 2004; 肖松华等, 2008; 葛玉彬等, 2013; 祁显涛等, 2014)。棉花的三系杂种优势明显, 优良组合的杂种一代比常规品种增产15%左右(郭三堆等, 2007; 马维军和任爱民, 2010); 水稻杂交 F_1 代在幼苗期根长及株高等方面明显优于双亲(程宁辉等, 1997)。

细胞质遗传效应关系到能否通过胞质不育系来实现杂种优势利用。研究表明, 哈克尼西棉不育细胞质可以使杂种 F_1 代产量减少5%–8% (刘耀斌等, 1996); 而本实验的结果为细胞质不育组杂种 F_1 代的产量较对照组降低了11.51%。韦贞国和李宗友(1995)研究认为, 哈克尼西棉细胞质对杂种一代的产量和纤维品质等性状都有影响, 对产量及产量相关性状的影响较大, 且多表现为负效应。卞云龙等(2005)发现玉米不育系存在核质互作效应, 会产生显著的正影响或负影响。因此, 不育系对性状的影响不仅受细胞质控制, 而且存在核质互作效应, 可表现出不同效应和方向, 对于这些效应的应用还需进一步研究。王学德等(1998)研究认为, 不育胞质对 F_1 代产量的影响主要表现在结铃性弱及雄性败育等方面。李成奇(2004)在研究棉花晋A细胞质雄性不育系的杂种优势时, 发现控制各类性状遗传的主导效应不同, 衣分、衣指、子指和早熟特性的质、核效应均较突出; 整齐度、比强度、马克隆值和伸长率的细胞核效应较大; 绒长、种籽数和不孕籽率的细胞质效应较高; 铃重和生育期的环境效应较明显。詹克慧等(2004)在小麦(*Triticum aestivum*)上发现, K型细胞质对普通小麦大多数性状有一定影响, 但不同性状产生的效应不同, 对农艺性状

是不利影响, 而对品质性状是有利影响。但是, 不同的不育系和恢复系所配的组合表现出的效应有很大差异, 我们需要找到细胞质效应较小的不育系和恢复系材料进行育种研究。

本研究中作为恢复系的父本, 在农艺性状、抗病性、产量及纤维品质等方面存在一定的差异且恢复率为100%, 在陆地棉中具有一定的代表性。研究结果初步说明, 胞质雄性不育系冀2658A的细胞质对陆地棉的农艺性状、抗病性和产量等都有一定影响。从农艺性状上来看, 胞质不育系各组合的生育期有所延长; 从抗病性来看, I组的黄萎病指数明显下降, 提高了棉花抗黄萎病的能力; 从棉花产量及产量性状上来看, I组的单株铃数和单铃重与II组无显著差异, 子指显著增加, 衣分下降, 且棉花产量显著下降; 此外, I组棉籽的粗脂肪含量较II组显著降低。由此表明, 陆地棉冀2658A雄性不育细胞质对棉花的产量性状总体来说呈负面影响, 而对某些品质如抗病性呈现有利影响。王学德和李悦有(2002)认为, 棉花雄性不育细胞质对子代的负效应是存在的, 但可以通过进一步研究, 选用较强的恢复系和优良的不育系来加以克服或降低负效应的程度, 水稻的雄性不育系研究也有类似之处(蔡善信, 1997)。因此, 通过设计不同的不育系组合, 可以选育到产量下降不明显且抗病性较好的杂种F₁代。控制棉花性状遗传的因子有很多, 除细胞质效应外, 还有细胞核效应、核质互作效应及环境因子效应等。本实验仅对雄性不育细胞质影响棉花相关性状进行了初探, 尚需更多的研究来明确细胞质在棉花遗传改良中的利用规律。

参考文献

卞云龙, 邓德祥, 王益军, 张勇, 蒋守华 (2005). 雄性不育细胞质对玉米自交系产量性状的影响. 扬州大学学报(农业与生命科学版) **26**(4), 67-69.

蔡善信 (1997). 水稻雄性不育细胞质对杂种一代的影响. 华南农业大学学报 **18**, 81-85.

程计华, 李云昌, 梅德圣, 胡琼 (2006). 几种农作物细胞质雄性不育恢复基因的定位和分子标记研究进展. 植物学通报 **23**, 613-624.

程宁辉, 高燕萍, 杨金水, 钱旻昊, 葛扣麟 (1997). 水稻杂种一代与亲本幼苗基因表达差异的分析. 植物学报 **39**, 379-382.

葛玉彬, 陈炳东, 卯旭辉, 贾秀苹 (2013). 油用向日葵主要经济性状遗传及其相关分析. 中国油料作物学报 **35**, 515-523.

郭宝生, 刘素恩, 王兆晓, 耿军义, 崔瑞敏, 刘存敬, 张建宏, 张香云, 付会期 (2010). 高产优质“三系”杂交棉品种冀FRH3018的选育. 河北农业科学 **14**(7), 63-65.

郭三堆, 张锐, 王远 (2007). 三系棉遗传基础研究及育种进展. 农业科技通讯 (12), 11-12.

郭旺珍, 张天真, 潘家驹, Kohel RJ (1997). 棉花胞质雄性不育育性恢复基因的RAPD-PCR标记筛选. 科学通报 **42**, 2645-2647.

韩宗福, 王景会, 申贵芳, 赵逢涛, 王宗文, 李汝忠 (2011). 棉花质核互作雄性不育与育性恢复的研究及利用现状. 中国农业大学学报 **16**(3), 36-41.

景忆莲, 刘耀斌, 李胃, 范万法 (2004). 哈克尼西棉细胞质对陆地棉主要经济性状的影响. 中国农学通报 **20**(4), 117-118, 141.

李成奇 (2004). 棉花晋A细胞质雄性不育系的遗传背景分析及杂种优势研究. 学位论文. 太原: 山西农业大学. pp. 17-19.

刘耀斌, 景忆莲, 范万法, 校百才 (1996). 哈克尼西棉细胞质对陆地棉主要经济性状的影响. 西北农业学报 **5**(3), 49-53.

马维军, 任爱民 (2010). 转基因三系杂交棉邯杂301丰产性分析. 河北农业科学 **14**(9), 94-95.

彭婧, 巩振辉, 黄炜, 李大伟, 陈儒钢, 逯明辉 (2010). 辣椒雄性不育材料H9A小孢子败育机理. 植物学报 **45**, 44-51.

祁显涛, 杨海龙, 谢传晓 (2014). 玉米雄性不育机制及其产业化应用研究进展. 作物杂志 (6), 1-9.

石雅丽, 张锐, 任茂智, 孟志刚, 周焘, 孙国清, 孟钊红, 郭三堆 (2013). 棉花雄性不育的研究进展. 生物技术进展 **3**, 328-335.

王学德, 张天真, 潘家驹 (1998). 细胞质雄性不育棉花小孢子发生的细胞学观察和线粒体DNA的RAPD分析. 中国农业科学 **31**(2), 70-77.

王学德, 李悦有 (2002). 细胞质雄性不育棉花的转基因恢复系的选育. 中国农业科学 **35**, 137-141.

韦贞国, 李宗友, 易先达, 华金平 (1995). 哈克尼西棉雄性不育胞质的遗传效应. 棉花学报 **7**(2), 76-81.

吴豪, 徐虹, 刘振兰, 刘耀光 (2007). 植物细胞质雄性不育及其育性恢复的分子基础. 植物学通报 **24**, 399-413.

肖松华, 刘剑光, 吴巧娟, 狄佳春, 许乃银, 陈旭升 (2008).

- 棉花细胞质雄性不育与育性恢复的研究与利用. 江西农业学报 **20**(9), 8–15.
- 邢朝柱, 郭立平, 吴建勇, 戚廷香, 王海林, 乔秀芹, 唐会妮 (2012). 转基因抗虫三系杂交棉——中棉所83. 中国棉花 **39**(7), 39.
- 詹克慧, 赵鹏, 吕德彬, 范平, 马素芹 (2004). K型细胞质对普通小麦主要性状的影响. 华北农学报 **19**(2), 57–61.
- 张天真, 靖深蓉, 金林 (1998). 杂种棉选育的理论与实践. 北京: 科学技术出版社. pp. 64–67.
- 邹学校, 侯喜林, 刘荣云, 张竹青, 马艳青 (2004). 辣椒细胞质雄性不育基因对不育系及杂交一代农艺性状和生化特性的影响. 园艺学报 **31**, 732–736.
- Chase CD (2007). Cytoplasmic male sterility: a window to the world of plant mitochondrial-nuclear interactions. *Trends Genet* **23**, 81–90.
- Kazama T, Itabashi E, Fujii S, Nakamura T, Toriyama K (2016). Mitochondrial ORF79 levels determine pollen abortion in cytoplasmic male sterile rice. *Plant J* **85**, 707–716.
- Lei BB, Li SS, Liu GZ, Chen ZW, Su AG, Li PB, Li ZH, Hua JP (2013). Evolution of mitochondrial gene content: loss of genes, tRNAs and introns between *Gossypium harknessii* and other plants. *Plant Syst Evol* **299**, 1889–1997.
- Li FG, Fan GY, Wang KB, Sun FM, Yuan YL, Song GL, Li Q, Ma ZY, Lu CR, Zou CS, Chen WB, Liang XM, Shang HH, Liu WQ, Shi CC, Xiao GH, Gou CY, Ye WW, Xu X, Zhang XY, Wei HL, Li ZF, Zhang GY, Wang JY, Liu K, Kohel RJ, Percy RG, Yu JZ, Zhu YX, Wang J, Yu SX (2014). Genome sequence of the cultivated cotton *Gossypium arboreum*. *Nat Genet* **46**, 567–574.
- Sloan DB, Alverson AJ, Chackalovcak JP, Wu M, McCauley DE, Palmer JD, Taylor DR (2012). Rapid evolution of enormous, multichromosomal genomes in flowering plant mitochondria with exceptionally high mutation rates. *PLoS Biol* **10**, e1001241.
- Suzuki H, Yu JW, Ness SA, O'Connell MA, Zhang JF (2013). RNA editing events in mitochondrial genes by ultra-deep sequencing methods: a comparison of cytoplasmic male sterile, fertile and restored genotypes in cotton. *Mol Genet Genomics* **288**, 445–457.
- Wang F, Feng CD, O'Connell MA, Stewart JM, Zhang JF (2010). RFLP analysis of mitochondrial DNA in two cytoplasmic male sterility systems (CMS-D2 and CMS-D8) of cotton. *Euphytica* **172**, 93–99.
- Wang KB, Wang ZW, Li FG, Ye WW, Wang JY, Song GL, Yue Z, Cong L, Shang HH, Zhu SL, Zou CS, Li Q, Yuan YL, Lu CR, Wei HL, Gou CY, Zheng ZQ, Yin Y, Zhan XY, Liu K, Wang B, Song C, Shi N, Kohel RJ, Percy RG, Yu JZ, Zhu YX, Wang J, Yu SX (2012). The draft genome of a diploid cotton *Gossypium raimondii*. *Nat Genet* **44**, 1098–1103.
- Wu JY, Gong YC, Cui MH, Qi TX, Guo LP, Zhang JF, Xing CZ (2011). Molecular characterization of cytoplasmic male sterility conditioned by *Gossypium harknessii* cytoplasm (CMS-D2) in upland cotton. *Euphytica* **181**, 17–29.
- Zhang TZ, Hu Y, Jiang WK, Fang L, Guan XY, Chen JD, Zhang JB, Saski CA, Scheffler BE, Stelly DM, Hulse-Kemp AM, Wan Q, Liu BL, Liu CX, Wang S, Pan MQ, Wang YK, Wang DW, Ye WX, Chang LJ, Zhang WP, Song QX, Kirkbride RC, Chen XY, Dennis E, Llewellyn DJ, Peterson DG, Thaxton P, Jones DC, Wang Q, Xu XY, Zhang H, Wu HT, Zhou L, Mei GF, Chen SQ, Tian Y, Xiang D, Li XH, Ding J, Zuo QY, Tao LN, Liu YC, Li J, Lin Y, Hui YY, Cao ZS, Cai CP, Zhu XF, Jiang Z, Zhou BL, Guo WZ, Li RQ, Chen ZJ (2015). Sequencing of allotetraploid cotton (*Gossypium hirsutum* L. acc. TM-1) provides a resource for fiber improvement. *Nat Biotechnol* **33**, 531–537.
- Zhu YX, Li FG (2013). The *Gossypium raimondii* genome, a huge leap forward in cotton genomics. *J Integr Plant Biol* **55**, 570–571.

Effect of Cytoplasmic Male Sterility on Main Characters of Cotton

Cunpeng Zhao, Zhaoxiao Wang, Kaihui Wang, Suen Liu, Junyi Geng, Baosheng Guo*

Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Cotton in Huanghuaihai Semiarid Area, Ministry of Agriculture, National Cotton Improvement Center Hebei Branch, Cotton Research Institute of Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China

Abstract The use of a cotton cytoplasmic male sterility (CMS) line can lead to breeding high-quality cotton seeds and also improve the efficiency of the preparation and decrease the cost of seed production. This study used the JI 2658 and JI 2658A cotton lines, which have the same nuclear background but different cytoplasm as female parents, with another six restorer lines as the male parent; 12 crosses were made according to one-to-one correspondence. The F₁ hybrids were used to study the cotton cytoplasmic effects on agronomic traits, disease resistance, fat and protein content, fiber quality and yield. The CMS cytoplasm effects of the 2658A line on cotton hybrids mainly involve lint yield, verticillium wilt resistance and fat content-related characters. As compared with controls, crosses showed reduced lint yield and fat content of seeds by 1.61% and 2.88% and verticillium wilt resistant increased by 18.29%. These results are preliminary in understanding the CMS cytoplasm effects on upland cotton and will be important for using upland cotton CMS.

Key words cytoplasmic male sterility (CMS), cotton, cytoplasmic effect, JI 2658A

Zhao CP, Wang ZX, Wang KH, Liu SE, Geng JY, Guo BS (2017). Effect of cytoplasmic male sterility on main characters of cotton. *Chin Bull Bot* **52**, 560–567.

* Author for correspondence. E-mail: guobaosheng111@126.com

(责任编辑: 朱亚娜)