

УДК 633.174+631.522:58.083.5

**В.В.Бычкова**<sup>1</sup>, младший научный сотрудник;

**Л.А.Эльконин**<sup>2</sup>, доктор биологических наук,

<sup>1</sup>ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы»

(410050, Саратовская обл, Саратов г, Зональный п, [bychkova\\_vv@list.ru](mailto:bychkova_vv@list.ru)).

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока,

(410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, д.7, [lelkonin@gmail.com](mailto:lelkonin@gmail.com))

## ВЛИЯНИЕ ТИПА СТЕРИЛЬНОЙ ЦИТОПЛАЗМЫ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГИБРИДОВ ЗЕРНОВОГО СОРГО

Использование новых типов ЦМС в селекции гетерозисных гибридов сорго требует изучения их эффектов на биологические и хозяйственно-ценные признаки растений. В течение трех сезонов (2010, 2012, 2013гг.) исследовали показатели фотосинтетического потенциала (ФП) и чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) у гибридов F1 зернового сорго, полученных на основе двух наборов изоядерных ЦМС-линий с разными типами стерильных цитоплазм: А3, А4, 9Е (с геномом линии Желтозерное 10) и М35-1А и 9Е (с геномом линии Пищевое 614). В качестве опылителей использовали сорта зернового сорго Меркурий и Пищевое 35. Показатели ФП и ЧПФ оценивали на стадиях «всходы – кущение», «кущение – выметывание», «выметывание – полная спелость». Установлено, что тип стерильной цитоплазмы влияет на величину ФП и ЧПФ у гибридов F1. Проявление цитоплазматических различий зависит от условий внешней среды и генотипа опылителя. У гибридов с Меркурием значимые эффекты типа цитоплазмы в среднем за три сезона наблюдались на всех стадиях онтогенеза, тогда как у гибридов с Пищевым 35 – только на стадии «кущение-выметывание». Цитоплазма А3 снижала величину ФП гибридов, цитоплазма 9Е повышала показатели ФП и ЧПФ, особенно в жарких и засушливых условиях внешней среды. Цитоплазма М35-1А также снижала ФП, но значимые различия в среднем за три года наблюдались не на всех стадиях онтогенеза. Полученные данные необходимо учитывать в программах по созданию гетерозисных гибридов сорго.

**Ключевые слова:** сорго, цитоплазматическая мужская стерильность, нехромосомная наследственность, фотосинтез.

V.V. Bychkova<sup>1</sup>, junior research associate;

L.A. Elkonin<sup>2</sup>, Doctor of Biological Sciences,

<sup>1</sup>*Russian Research and Technological Institute of Sorghum and Maize "Rossorgo" (410050, Saratov region, Saratov, v. of Zonalny; email: [bychkova\\_vv@list.ru](mailto:bychkova_vv@list.ru)),*

<sup>2</sup>*Research Institute of Agriculture of the South-East (410010, Saratov, Tulaykov Str., 7; [elkonin@gmail.com](mailto:elkonin@gmail.com))*

## The effect of the type of sterile cytoplasm on the photosynthetic parameters of the grain sorghum hybrids

The use of the new types of CMS in the breeding of the heterosis sorghum hybrids needs the study of their effects on the biologic and economic-valuable traits of the plants. During the years of 2010, 2012 and 2013 there were studied the indicators of the photosynthetic potential (PsP) and the net photosynthetic productivity (NPsP) of the grain sorghum hybrids F<sub>1</sub>, obtained from two sets of the nuclear CMS-lines with different types of the sterile cytoplasm A3, A4, 9E (with the genome of the sorghum line 'Zheltozernoe10') and M35-1A and 9E (with the genome of the sorghum line 'Pishchevov 614'). The grain sorghum varieties 'Merkuriy' and 'Pishchevov35' have been used as the pollinators. The indicators of PsP and NPsP have been estimated on the stages 'sprouts – tillering', 'tillering – heading stage', 'heading stage – maturity'. It has been determined that the type of the sterile cytoplasm influences upon the PsP and NPsP values of the hybrid F<sub>1</sub>. The display of the cytoplasmic differences depends on the environmental conditions and the genotype of the pollinator. On average the hybrids with 'Merkuriy' showed significant effects of the type of cytoplasm during all stages of ontogenesis, but the hybrids with 'Pishchevov35' showed the effects only on the stage 'tillering – heading stage'. The cytoplasm A3 reduced the PsP value of the hybrids, the cytoplasm 9E increased the PsP and NPsP values, especially in the hot and dry environmental conditions. The cytoplasm M35-1A also reduced the PsP value, but significant differences during three years were seen not on all stages of ontogenesis. The obtained data should be taken into account in the programs of the breeding of the heterosis sorghum hybrids.

**Keywords:** *sorghum, cytoplasmic male sterility, non-chromosomal heredity, [photosynthesis](#).*

Использование новых типов стерильных цитоплазм в селекции гетерозисных гибридов сорго ставит задачи исследования влияния цитоплазматических эффектов на различные биологические и хозяйственно-ценные признаки. Как известно, одним из важнейших физиологических процессов, обуславливающих накопление питательных веществ в растении и определяющих урожайность зерна и биомассы, является фотосинтез. Учитывая, что в разных типах стерильных цитоплазм сорго наблюдаются значительные различия митохондриального и хлоропластного геномов [1,2], участвующих в функционировании фотосинтетического аппарата растительной клетки, то вполне вероятно, что эти различия могут оказывать влияние на продуктивность фотосинтеза.

Целью настоящего исследования являлось изучение влияния типа стерильной цитоплазмы (А3, А4, 9Е и М35-1А) на основные фотосинтетические параметры гибридов F<sub>1</sub> зернового сорго.

**Материалы и методы.** В работе исследовали гибриды, полученные на основе двух серий изоядерных ЦМС-линий зернового сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) с ядерными геномами линий Желтозерное 10 и Пищевое 614 на цитоплазмах А3, А4, 9Е и М35-1А [3]. В качестве опылителей использовали сорта зернового сорго Меркурий и Пищевое 35. Фотосинтетические параметры изучали на трёх стадиях: «всходы – кущение», «кущение – выметывание» и «выметывание – полная спелость». Фотосинтетический потенциал (ФП) родительских линий и гибридов F<sub>1</sub> определяли как сумму показателей площади листьев в посевах за весь вегетационный период (или определенную его часть), который пропорционален площади листового аппарата, длительности его формирования и измеряется в тыс. м<sup>2</sup>сут/га [4].

Рассчитывается по формуле: QUOTE

, где  $L_1, L_2$  – площадь листовой поверхности, тыс.м<sup>2</sup>/га;  $T$  – длительность межфазного периода, дни; 1000 – коэффициент перевода [5]. Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) характеризует интенсивность фотосинтеза посева и представляет собой количество сухой массы растений в граммах, которое синтезирует 1м<sup>2</sup> листовой поверхности за сутки, и измеряется в г/м<sup>2</sup> в сут. ЧПФ определяли по формуле: , где  $Y_{C2}, Y_{C1}$  – биомасса растений в изучаемой стадии развития ц/га;  $Y_{C2} - Y_{C1}$  – прирост сухой биомассы в течение  $n$  дней;  $0,5(L_1+L_2)$  – средняя рабочая площадь листьев за время опыта [5]. Исследования были выполнены в течение трех сезонов, значительно различавшихся по сумме осадков и температур (2010, 2012, 2013 гг.).

Статистическая обработка данных выполнена с помощью программ «AGROS 2.09» методом двухфакторного дисперсионного анализа с использованием Теста множественных сравнений Дункана.

**Результаты. Фотосинтетический потенциал.** Анализ величины ФП у гибридов сорго с разными типами стерильных цитоплазм показал, что на стадиях «кущение – выметывание» и «выметывание – полная спелость» в каждый из трех сезонов между гибридами наблюдались значимые различия (табл. 1). Гибриды с цитоплазмой 9Е имели более высокие показатели этого признака на всех стадиях онтогенеза в 2010 г., характеризовавшемся исключительно высокими температурами и дефицитом осадков на протяжении всего сезона. Такой эффект

наблюдался в гибридных комбинациях, полученных на основе ЦМС-линий с разными ядерными геномами – Ж10 и П614, в скрещиваниях с обоими опылителями – сортами Меркурий и Пищевое 35. В среднем за три сезона значимые различия между гибридами на цитоплазмах 9Е и А4 отсутствовали, тогда как гибриды на цитоплазме А3 с обоими опылителями имели значимо более низкие показатели ФП. Цитоплазма М35-1А также снижала величину ФП по сравнению с цитоплазмой 9Е, но значимые различия в среднем за три года наблюдались не на всех стадиях онтогенеза.

1. Фотосинтетический потенциал гибридов F<sub>1</sub> изоядерных ЦМС-линий сорго с разными типами цитоплазм на разных стадиях онтогенеза, тыс.м<sup>2</sup>/га (2010-2013 гг.)

ЦМС- линия	Опылитель							
	Меркурий				Пищевое-35			
	2010	2012	2013	В среднем за 3 года	2010	2012	2013	В среднем за 3 года
<b>кущение-выметывание</b>								
А3 Ж10	0,73 с	0,16 а	0,36 b	0,41 а	1,34 d	0,34 а	0,60 с	0,76 а
А4 Ж10	0,91 d	0,28 ab	0,31 b	0,50 b	1,60 e	0,38 а	0,56 bc	0,84 b
9Е Ж10	1,06 e	0,22 ab	0,32 b	0,53 b	2,01 f	0,30 а	0,36 а	0,89 b
F <sub>05</sub>				63,491*				612,193*
F <sub>A</sub> (тип ЦМС)				6,628*				18,985*
F <sub>B</sub> (год)				235,632*				2251,729*
F <sub>AB</sub>				5,853*				89,028*
9Е П614	0,06	0,09	0,11	0,09	0,37 de	0,10 а	0,42 e	0,29 b
М35- 1АП614	0,09	0,09	0,11	0,09	0,19 bc	0,09 а	0,21 с	0,16 а
F <sub>05</sub>				1,375				45,237*
F <sub>A</sub> (тип ЦМС)				0,089				65,042*
F <sub>B</sub> (год)				2,433				66,536*
F <sub>AB</sub>				0,960				14,035*
<b>выметывание-полная спелость</b>								
А3 Ж10	1,33 bc	1,00 а	1,08 ab	1,14	1,16 ab	1,01 ab	1,38 bc	1,19
А4 Ж10	1,43 с	1,14 abc	1,23 abc	1,27	1,13 ab	1,32 bc	1,56 с	1,34
9Е Ж10	2,03 d	1,01 а	0,98 а	1,34	1,90 d	0,89 а	1,12 ab	1,31
F <sub>05</sub>				13,844*				8,232*
F <sub>A</sub> (тип ЦМС)				3,915				1,663
F <sub>B</sub> (год)				34,674*				8,053*
F <sub>AB</sub>				8,393*				11,607*
9Е П614	0,37abc	0,40 bcd	0,45 d	0,40 b	0,42 b	0,44 b	0,57 d	0,48
М35- 1АП614	0,31a	0,36 ab	0,41 cd	0,36 а	0,19 а	0,55 cd	0,67 e	0,47
F <sub>05</sub>				10,488*				104,139*
F <sub>A</sub> (тип ЦМС)				12,807*				0,063
F <sub>B</sub> (год)				19,684*				194,253*

$F_{AB}$	0,132	66,063*
<b>Примечание.</b> * $p < 0.05$ ; данные по каждой гибридной комбинации, обозначенные разными буквами, значимо различаются при $p < 0.05$ в соответствии с Тестом множественных сравнений Дункана		

*Чистая продуктивность фотосинтеза.* Установлено влияние типа стерильной цитоплазмы на величину ЧПФ у гибридов  $F_1$  на разных стадиях онтогенеза, однако на проявление эффекта значительное воздействие оказывали условия сезона и генотип опылителя. Так, у гибридов с Меркурием значимые эффекты типа цитоплазмы в среднем за 3 сезона наблюдались на всех стадиях онтогенеза, тогда как у гибридов с Пищевым 35 – только на стадии «кущение-выметывание» (табл. 2). На этой стадии ЧПФ на цитоплазме 9Е был выше, чем на других типах цитоплазм, за исключением гибридов от скрещивания ЦМС-линий с геномом Желтозерного 10 с Меркурием, у которых наибольший показатель наблюдался на цитоплазме А4, генетически близкой цитоплазме 9Е

2. Чистая продуктивность фотосинтеза гибридов  $F_1$  изоядерных ЦМС-линий сорго на разных типах цитоплазм на разных стадиях онтогенеза,  $г/м^2$  в сут. (2010-2013 гг.)

ЦМС- линия	Опылитель							
	Меркурий				Пищевое-35			
	2010	2012	2013	В среднем за 3 года	2010	2012	2013	В среднем за 3 года
<b>всходы-кущение</b>								
А3 Ж10	6,03 ab	3,43 c	3,09 c	4,18 a	3,69	3,19	3,39	3,43
А4 Ж10	9,44 b	3,76 e	2,97 b	5,39 a	3,37	3,63	2,57	3,19
9Е Ж10	20,41 c	2,81 a	3,14 c	8,78 b	3,09	3,26	3,28	3,21
$F_{05}$				63,206*				1,939
$F_A$ (тип ЦМС)				32,347*				0,922
$F_B$ (год)				145,420*				1,480
$F_{AB}$				37,528*				2,677
9Е П614	3,73	4,28	3,28	3,77	3,70	3,99	2,76	3,48
М35- 1АП614	3,13	4,18	3,43	3,58	5,03	4,05	3,66	4,25
$F_{05}$				1,798				2,162
$F_A$ (тип ЦМС)				0,401				3,510
$F_B$ (год)				3,715				2,813
$F_{AB}$				0,580				0,836
<b>кущение-выметывание</b>								
А3 Ж10	4,68 a	13,87 fg	8,59 bcd	9,05 a	3,41 a	10,09 def	7,99 bcd	7,16 a
А4 Ж10	7,86 b	14,08 g	9,88 d	10,60 b	4,00 a	8,65 cd	9,63 def	7,42 a
9Е Ж10	7,61 b	9,30 cd	11,36 e	9,42 a	4,70 a	11,22 f	10,98 ef	8,96 b

F <sub>05</sub>				52,115*				24,324*
F <sub>A</sub> (тип ЦМС)				11,207*				7,423*
F <sub>B</sub> (год)				138,554*				86,017*
F <sub>AB</sub>				29,350*				1,927
9E П614	30,85c	16,53b	11,15ab	19,51b	7,20a	16,08e	11,35bc	11,55
M35-1АП614	14,51ab	11,09ab	10,58a	12,06a	4,28a	14,95de	11,81c	10,35
F <sub>05</sub>				28,763*				30,890*
F <sub>A</sub> (тип ЦМС)				39,933*				3,264
F <sub>B</sub> (год)				36,320*				73,432*
F <sub>AB</sub>				15,621*				2,160
<b>выметывание-полная спелость</b>								
A3 Ж10	2,95 bc	5,77 de	6,43 e	5,05 b	1,43 a	5,61 e	4,68 b-e	3,91
A4 Ж10	0,84 a	4,12 cd	5,60 de	3,52 a	2,03 a	3,43 a-e	2,97 a-d	2,81
9E Ж10	0,91 a	8,47 f	5,24 de	4,87 b	1,32 a	4,85 de	4,80 cde	3,65
F <sub>05</sub>				17,097*				5,912*
F <sub>A</sub> (тип ЦМС)				5,578*				2,242
F <sub>B</sub> (год)				50,858*				18,195*
F <sub>AB</sub>				5,976*				1,606
9E П614	2,47a	5,61b	7,89c	5,32	5,53	7,01	6,30	6,28
M35-1АП614	4,78b	6,76bc	5,38b	5,64	10,24	5,38	6,17	7,26
F <sub>05</sub>				11,982*				1,933
F <sub>A</sub> (тип ЦМС)				0,530				0,868
F <sub>B</sub> (год)				18,571*				1,110
F <sub>AB</sub>				11,119*				3,288
<b>Примечание.</b> * $p < 0.05$ ; данные по каждой гибридной комбинации, обозначенные разными буквами, значимо различаются при $p < 0.05$ в соответствии с Тестом множественных сравнений Дункана								

[1]. Однако на стадии «всходы-кущение» в гибридных комбинациях ЦМС-линий Желтозерного 10 с Меркурием наибольшая величина ЧПФ за три сезона исследования также наблюдалась на цитоплазме 9E, причем, главным образом, благодаря показателям, зарегистрированным в сезоне 2010 г. Дисперсионный анализ подтвердил роль взаимодействия условий сезона и типа цитоплазмы в формировании величины ЧПФ (высокие значения  $F_{AB}$ , табл. 2). Полученные данные свидетельствуют, что условия внешней среды оказывают решающее влияние на проявление цитоплазматических различий по признакам, связанным с работой фотосинтетического аппарата растений.

**Выводы.** Тип ЦМС влияет на показатели фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза у гибридов F1 сорго. Проявление цитоплазматических различий

зависит от условий внешней среды и генотипа опылителя. Цитоплазма АЗ снижает величину ФП гибридов F1. Цитоплазма 9Е повышает показатели ФП и ЧПФ, особенно в жарких и засушливых условиях внешней среды.

### Литература

1. Pring, D.R., Tang H.V., Schertz K.F. Cytoplasmic male sterility and organelle DNAs of sorghum // Levings C.S.III, Vasil I.K. (eds.), Molecular biology of plant mitochondria. – Kluwer Academic Publ, Boston, Mass. – 1995. – P. 461-495.
2. Reddy, B.V.S., Ramesh S., Ortiz R. Genetic and cytoplasmic-nuclear male sterility in Sorghum // Janik J. (ed.) Plant Breeding Reviews. – Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, Inc. – 2005. – V. 25. – P.139-169.
3. Эльконин, Л.А. Использование новых ЦМС-индуцирующих цитоплазм для создания скороспелых линий сорго с мужской стерильностью / Л.А. Эльконин, В.В. Кожемякин, А.Г. Ишин // Доклады Россельхозакадемии. – 1997. – № 2. – С.7-9.
4. Семькин, В.А. Фотосинтетический потенциал озимой пшеницы в условиях Черноземья России / В.А. Семькин, И.Я. Пигорев // Фундаментальные исследования. – 2007.– № 2.– С. 42-47.
5. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А.А. Ничипорович, Л.Е. Строганова, С.Н. Чмора. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 136 с.

### Literature

1. Pring, D.R., Tang H.V., Schertz K.F. Cytoplasmic male sterility and organelle DNAs of sorghum // Levings C.S.III, Vasil I.K. (eds.), Molecular biology of plant mitochondria. – Kluwer Academic Publ, Boston, Mass. – 1995. – P. 461-495.
2. Reddy, B.V.S., Ramesh S., Ortiz R. Genetic and cytoplasmic-nuclear male sterility in Sorghum // Janik J. (ed.) Plant Breeding Reviews. – Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, Inc. – 2005. – V. 25. – P.139-169.
3. Elkonin, L.A. The use of new CMS-induced cytoplasm for the developing of early maturing lines of sorghum with male sterility / L.A. Elkonin, V.V. Kozhemyakin, A.G. Ishin // The reports of RusAgroAcademy. – 1997. – № 2. – PP.7-9.
4. Semykin, V.A. Photo synthetic potential of winter wheat in the conditions of Chernozemie of Russia / V.A. Semykin, I.Ya. Pigorev // Fundamental researches. – 2007.– № 2.– PP. 42-47.
5. Nichiporovich, A.A. Photosynthetic activity of the plants in the sowings / A.A. Nichiporovich, L.E.Stroganova, S.N. Chmora.– M.: Publ. of AS USSR, 1961. – 136 p.