

Зайцев Сергей Александрович,
Кандидат сельскохозяйственных наук,
ФГБНУ Российский научно-исследовательский
и проектно-технологический институт
сорго и кукурузы «Россорго», г. Саратов

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КУКУРУЗЫ В ДИАЛЛЕЛЬНЫХ СКРЕЩИВАНИЯХ

Аннотация. Приводятся результаты оценки комбинационной способности линий кукурузы по элементам структуры початка при различной густоте стояния растений (от 25 до 85 тыс. раст./га). Выявлены эффекты ОКС по таким параметрам как «длина початка» и «диаметр початка». В эксперимент включены линии (РН26, Мк 11, Мк 130 У, РСК7, РСК 25, Ук12 Д2, Х 46, Ом 255) и гибриды F₁ (28 комбинаций).

Ключевые слова. Кукуруза, линия, ОКС, признак, початок, густота стояния.

При проведении селекционных исследований исходного материала можно выделить две группы изучаемых признаков – это морфологические и биометрические. В селекции кукурузы к морфологическим признакам принято относить такие как: высота растения, высота прикрепления первого початка и количество листьев на стебле. К биометрическим признакам принято относить структурные элементы початка изучаемого растения – это длина початка, диаметр стержня, масса початка, количество зёрен в ряду, количество рядов, масса 1000 зёрен и масса зерна с початка. Проведение исследований, направленных на изучение биометрических и морфобиологических признаков исходного материала имеет важное значение в селекции на гетерозис [1]. Продуктивность растения является количественным признаком, имеющим сложную структуру и функциональную организацию. Формирование элементов структуры продуктивности в значительной мере зависит от генотипа образца и экологических условий. Для селекции на гетерозис большое значение имеют такие составные элементы структуры продуктивности, как длина и диаметр початка [2]. Линейные размеры початка не являются альтернативными параметрами, поэтому их можно и необходимо сочетать в максимальном выражении при селекции новых инбредных линий. Такой селекционный прием необходим и потому, что длина початка гибридов тесно связана с значениями этих признаков у родительских форм. В селекционной практике особо ценными являются растения, генотип которых включает такие признаки, как многорядность початка, длинопочатковость, длинозерность, высокий выход зерна с початка, а также растения с повышенным коэффициентом многопочатковости [3, 4].

В условиях производства сорта и гибриды кукурузы выступают одним из факторов повышения урожайности, и раскрыть свой потенциал продуктивности они могут только при высоком уровне агротехники (оптимальной густоте посева, достаточном минеральном питании и влагообеспеченности и т.д.). В посевах кукурузы с различной густотой стояния растений создаются разные условия температуры, освещенности, подтока углекислоты и т. п., что прямо влияет на поглощение фотосинтетически активной радиации и интенсивность процессов фотосинтеза и дыхания растений [5, 6].

Материал и методика. Климат региона характеризуется как резко континентальный и суровый. Гидротермический коэффициент (ГТК) составил –2020 г. – 0,8, 2021 г. – 1,1. Среднегодовая сумма осадков – 360-455 мм. Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный среднемоощный тяжелосуглинистый.



Полевые опыты заложены в селекционном севообороте ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» по общепринятым методикам полевого опыта [7, 8]. В эксперимент включены гибриды, полученные по диаллельной схеме и их родительские линии (метод 2, модель 1 Гриффинга). Посев в условиях Саратовской области: 2020 г. – 15 мая, 2021 г. – 17 мая. Повторность – трехкратная. Учетная площадь делянки 7,7 м²; длина делянки 5,5 м. Густота стояния растений (25, 45, 65, 85 тыс. растений/га) формировалась вручную в фазу 3 – 5 листьев. Агротехника в опыте – зональная, разработанная в ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Для проведения учетов, наблюдений и оценки эффекта ОКС и дисперсии СКС изучаемых линий использовались соответствующие методики [7, 8, 9, 10].

Результаты. Исследование морфологии и биометрии новых линий по данным признакам являются определяющими для их дальнейшего как селекционного использования, так и использования в семеноводстве. На начальном этапе проведено изучение таких морфометрических параметров экспериментальных комбинаций как: длина и диаметр початка. При статистической обработке в каждом исследовании проводились расчёты коэффициента вариации признака. Проведённые исследования показали, что признаки, составляющие элемент структуры початка у гибридов, варьировали незначительно, а коэффициент вариации варьировал: по длине початка от 8,0% до 12,2% в 2020 году и от 6,6% до 9,3% в 2021 году (таблица 1). По диаметру початка коэффициент вариации составил 5,2-7,4% в 2020 г. и 4,2-5,2% в 2021 г. Однако, стоит отметить некоторое увеличение показателей коэффициента вариации с повышением густоты стояния растений. Более вариабельным признаком и сильнее реагирующим на плотность посева оказалась длина початка (таблица 2).

Таблица 1

Линейные параметры гибридов кукурузы

Число растений, тыс. шт./га	год	длина початка		диаметр початка	
		X	V, %	X	V, %
25	2020	18,5	9,2	4,1	5,2
	2021	19,8	6,9	4,3	4,4
45	2020	16,8	8,0	3,9	6,8
	2021	18,2	6,6	4,2	4,6
65	2020	12,4	12,2	3,4	7,4
	2021	16,0	7,9	3,9	4,2
85	2020	11,1	11,6	3,2	7,1
	2021	14,3	9,3	3,7	5,2

Таблица 2

Среднегрупповые показатели элементов структуры початка гибридов кукурузы

Линия	Число растений, тыс. шт./га							
	длина початка				диаметр початка			
	25	45	65	85	25	45	65	85
PH26	<u>17,3</u>	<u>17,2</u>	<u>13,3</u>	<u>12,4</u>	<u>4,2</u>	<u>4,0</u>	<u>3,6</u>	<u>3,4</u>
	19,3	18,0	16,1	13,9	4,4	4,2	4,1	3,7
Мк 130 У	<u>16,5</u>	<u>16,1</u>	<u>11,8</u>	<u>10,4</u>	<u>4,1</u>	<u>3,9</u>	<u>3,5</u>	<u>3,3</u>
	18,7	17,6	14,8	<u>13,6</u>	4,4	4,1	<u>4,0</u>	<u>3,7</u>
Мк 11	<u>17,3</u>	<u>17,2</u>	<u>12,4</u>	<u>10,9</u>	<u>4,3</u>	<u>4,1</u>	<u>3,5</u>	<u>3,4</u>
	19,9	18,5	16,4	15,2	4,5	4,3	4,1	3,8



Ук12Д2	<u>16,5</u> 19,9	<u>16,5</u> 17,6	<u>11,4</u> 15,3	<u>10,2</u> 13,6	<u>4,0</u> 4,3	<u>3,7</u> 4,1	<u>3,3</u> 3,9	<u>3,1</u> 3,5
РСК 25	<u>17,5</u> 20,5	<u>17,1</u> 18,5	<u>12,3</u> 16,4	<u>11,1</u> 14,8	<u>3,9</u> 4,3	<u>3,8</u> 4,2	<u>3,2</u> 4,0	<u>3,2</u> <u>3,6</u>
Ом 255	<u>16,6</u> 18,9	<u>16,4</u> 18,0	<u>12,1</u> 16,0	<u>11,1</u> 14,5	<u>4,0</u> 4,3	<u>3,9</u> 4,1	<u>3,3</u> 3,9	<u>3,1</u> 3,6
Х46	<u>16,0</u> 19,8	<u>15,9</u> 17,7	<u>13,0</u> 16,2	<u>11,3</u> 13,7	<u>4,0</u> 4,3	<u>3,7</u> 4,1	<u>3,3</u> 3,8	<u>3,1</u> 3,6
РСК 7	<u>18,7</u> 21,1	<u>18,0</u> 19,5	<u>13,3</u> 17,1	<u>11,4</u> 15,0	<u>4,0</u> 4,3	<u>3,8</u> 4,2	<u>3,4</u> 3,9	<u>3,2</u> 3,6
F _{факт}	<u>7,05*</u> 9,89*	<u>4,00*</u> 10,83*	<u>4,18*</u> 7,33*	<u>2,01*</u> 6,46*	<u>4,79*</u> 5,62*	<u>6,47*</u> 3,80*	<u>3,98*</u> 5,59*	<u>2,99*</u> 3,75*
НСР (ОКС линий)	<u>2,58</u> 2,09	<u>2,57</u> 1,70	<u>2,27</u> 1,88	<u>2,66</u> 1,97	<u>0,35</u> 0,35	<u>0,33</u> 0,42	<u>0,38</u> 0,34	<u>0,40</u> 0,40

Примечание: числитель – среднегрупповое значение признака у гибридов, 2020 г.
знаменатель – среднегрупповое значение признака у гибридов, 2021 г.

Информация об аддитивных эффектах генов, т.е. об общих эффектах комбинационной способности (ОКС), имеет большое значение, поскольку она успешно предсказывает генетический потенциал родителей, которые дают желаемые результаты в последующих поколениях. Дисперсионный анализ комбинационной способности линий кукурузы при различном количестве растений на 1 га позволил рассчитать средние квадраты по длине и диаметру початка (таблица 3). Отношения средних квадратов ОКС и СКС по длине початка варьируют в 2020 г. от 1,79 до 6,12, а в 2021 г. в пределах 1,15-1,67, что указывает на преобладание аддитивных эффектов генов в контроле признака. При этом абсолютные значения средних квадратов ОКС по длине початка несколько снижаются с увеличением густоты стояния, что свидетельствует о высокой наследуемости признака и о преобладающем влиянии генетической системы.

Таблица 3

Дисперсионный анализ комбинационной способности
по элементам структуры початка

Средний квадрат	Число растений, тыс. шт./га							
	длина початка				диаметр початка			
	25	45	65	85	25	45	65	85
ОКС	<u>10,17</u> 6,68	<u>5,20</u> 5,27	<u>6,57</u> 4,77	<u>2,78</u> 3,51	<u>0,17</u> 0,07	<u>0,27</u> 0,05	<u>0,17</u> 0,07	<u>0,16</u> 0,08
СКС	<u>4,85</u> 5,12	<u>0,85</u> 3,62	<u>1,74</u> 2,86	<u>1,55</u> 3,05	<u>0,06</u> 0,09	<u>0,05</u> 0,09	<u>0,05</u> 0,09	<u>0,03</u> 0,07
ОКС/СКС	<u>2,10</u> 1,30	<u>6,12</u> 1,46	<u>3,78</u> 1,67	<u>1,79</u> 1,15	<u>2,83</u> 0,78	<u>5,40</u> 0,56	<u>3,40</u> 0,78	<u>5,33</u> 1,14

Примечание: числитель – значение параметра, 2020 г.
знаменатель - значение параметра, 2021 г.

Исходя из результатов анализа данных диаллельной схемы, в 2020-2021 гг. высокие показатели эффекта общей комбинационной способности по длине початка выявлены у линии РСК 7 (таблица 4). При этом отмечено, что несмотря на снижение значений параметра при увеличении густоты стояния растений эффект ОКС остается высоким по отношению к другим линиям. Положительный эффект ОКС средней степени отмечен у линии Мк 11 во все годы



изучения и вариантах опыта, что позволяет рассматривать ее как перспективную линию для селекции на увеличение признака. Остальные исследуемые линии характеризовались отрицательными эффектами ОКС средней степени, либо изменением знака в зависимости от условий выращивания.

Таблица 4

Эффекты ОКС линий кукурузы по элементам структуры початка

Линия	Число растений, тыс. шт./га							
	длина початка				диаметр початка			
	25	45	65	85	25	45	65	85
РН26	<u>-0,70</u>	<u>0,06</u>	<u>0,49</u>	<u>0,73</u>	<u>0,15</u>	<u>0,16</u>	<u>0,17</u>	<u>0,20</u>
	-0,65	-0,49	-0,12	-0,25	0,12	0,11	0,09	0,10
Мк 130 У	<u>-1,09</u>	<u>-0,72</u>	<u>-0,94</u>	<u>-0,46</u>	<u>0,00</u>	<u>0,05</u>	<u>0,07</u>	<u>0,01</u>
	-0,84	-0,52	-0,99	-0,75	0,00	-0,03	0,02	-0,01
Мк 11	<u>0,70</u>	<u>0,60</u>	<u>0,43</u>	<u>0,17</u>	<u>0,25</u>	<u>0,26</u>	<u>0,18</u>	<u>0,16</u>
	0,23	0,24	0,38	0,35	0,12	0,08	0,14	0,16
Ук 12 Д 2	<u>-0,45</u>	<u>-0,30</u>	<u>-1,22</u>	<u>-0,84</u>	<u>-0,07</u>	<u>-0,17</u>	<u>-0,14</u>	<u>-0,11</u>
	-0,23	-0,61	-0,59	-0,40	-0,08	-0,09	-0,09	-0,11
РСК 25	<u>-0,04</u>	<u>-0,09</u>	<u>-0,22</u>	<u>-0,08</u>	<u>-0,09</u>	<u>-0,04</u>	<u>-0,13</u>	<u>-0,03</u>
	0,63	0,24	0,55	0,41	-0,05	0,01	0,01	-0,02
Ом 255	<u>0,45</u>	<u>-0,28</u>	<u>-0,11</u>	<u>-0,08</u>	<u>-0,07</u>	<u>0,08</u>	<u>0,03</u>	<u>0,02</u>
	-0,66	-0,08	-0,30	-0,10	0,01	0,02	-0,07	-0,01
Х 46	<u>-0,83</u>	<u>-0,71</u>	<u>0,29</u>	<u>-0,11</u>	<u>-0,09</u>	<u>-0,18</u>	<u>-0,06</u>	<u>-0,20</u>
	-0,10	-0,38	-0,14	-0,36	-0,08	-0,05	-0,07	-0,07
РСК 7	<u>1,97</u>	<u>1,44</u>	<u>1,29</u>	<u>0,67</u>	<u>-0,08</u>	<u>-0,16</u>	<u>-0,11</u>	<u>-0,09</u>
	1,61	1,59	1,20	1,11	-0,04	-0,04	-0,03	-0,05
F _{факт}	<u>11,5*</u>	<u>6,0*</u>	<u>9,9*</u>	<u>3,2*</u>	<u>10,7*</u>	<u>19,1*</u>	<u>9,4*</u>	<u>8,2*</u>
	11,6*	14,1*	11,0*	7,0*	4,4*	2,0*	4,3*	3,7*
НСР (ОКС линий)	<u>1,18</u>	<u>1,18</u>	<u>1,03</u>	<u>1,18</u>	<u>0,16</u>	<u>0,15</u>	<u>0,17</u>	<u>0,17</u>
	0,96	0,77	0,83	0,89	0,16	0,19	0,16	0,18

Примечание: числитель – значение эффекта ОКС, 2020 г.
знаменатель – значение эффекта ОКС, 2021 г.

Таблица 5

Дисперсия СКС по элементам структуры початка самоопыленных линий кукурузы

Линия	Число растений, тыс. шт./га							
	длина початка				диаметр початка			
	25	45	65	85	25	45	65	85
РН26	<u>1,23</u>	<u>1,39</u>	<u>1,28</u>	<u>0,86</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,05</u>	<u>0,03</u>
	1,84	1,80	1,40	1,22	0,05	0,04	0,04	0,03
Мк 130 У	<u>2,16</u>	<u>2,07</u>	<u>1,17</u>	<u>0,68</u>	<u>0,03</u>	<u>0,03</u>	<u>0,05</u>	<u>0,04</u>
	0,57	1,05	0,52	0,69	0,05	0,05	0,03	0,04
Мк 11	<u>1,25</u>	<u>0,97</u>	<u>1,77</u>	<u>2,01</u>	<u>0,03</u>	<u>0,03</u>	<u>0,03</u>	<u>0,04</u>
	1,04	1,66	0,79	1,81	0,05	0,08	0,05	0,05
Ук12Д2	<u>1,50</u>	<u>0,96</u>	<u>1,70</u>	<u>1,12</u>	<u>0,04</u>	<u>0,03</u>	<u>0,06</u>	<u>0,02</u>
	2,18	1,06	0,60	1,57	0,03	0,03	0,02	0,03
РСК 25	<u>3,50</u>	<u>2,44</u>	<u>1,36</u>	<u>0,67</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>
	2,84	1,34	1,36	1,85	0,03	0,05	0,02	0,03



Ом 255	$\frac{1,60}{0,78}$	$\frac{0,64}{0,73}$	$\frac{1,01}{1,19}$	$\frac{0,62}{1,62}$	$\frac{0,02}{0,03}$	$\frac{0,02}{0,02}$	$\frac{0,04}{0,02}$	$\frac{0,03}{0,03}$
X46	$\frac{1,48}{1,34}$	$\frac{0,69}{1,11}$	$\frac{0,98}{1,28}$	$\frac{0,44}{1,48}$	$\frac{0,01}{0,03}$	$\frac{0,03}{0,04}$	$\frac{0,03}{0,01}$	$\frac{0,04}{0,03}$
РСК 7	$\frac{1,50}{2,08}$	$\frac{0,93}{1,09}$	$\frac{2,11}{1,59}$	$\frac{1,58}{1,25}$	$\frac{0,03}{0,03}$	$\frac{0,02}{0,03}$	$\frac{0,03}{0,03}$	$\frac{0,02}{0,03}$
F _{факт}	$\frac{5,48^*}{8,90^*}$	$\frac{3,27^*}{9,65^*}$	$\frac{2,61^*}{6,63^*}$	$\frac{1,76^*}{6,08^*}$	$\frac{3,35^*}{5,98^*}$	$\frac{3,20^*}{3,78^*}$	$\frac{2,58^*}{5,76^*}$	$\frac{1,77^*}{3,68^*}$

Примечание: числитель - дисперсия СКС диаметру початка, 2020 г.
знаменатель - дисперсия СКС диаметру початка, 2021 г.

Для выявления лучших конкретных комбинаций были вычислены константы специфической комбинационной способности линий кукурузы. Анализ показал определённую тенденцию проявления эффекта СКС в некоторых комбинациях. В ходе исследования выявлено варьирование эффектов СКС у гибридов кукурузы в года испытания. Так, в 2020 г. отмечен высокий эффект СКС по длине початка в комбинациях РСК 25 / РН 26 (1,27-1,59), Ук12Д2/ МК 130 У (1,94-1,98), РСК 25/ МК 130 У (3,07-3,30), Х46/ МК 11 (1,6-2,14), но в 2021 г. они характеризовались низкими значениями. Следует отметить изменение значений эффекта СКС относительно густоты стояния растений. Относительной стабильностью значений эффектов СКС характеризовались следующие гибриды: по длине початка - МК 11/РН26, РСК 25/ Ук12Д2, РСК-7 МВ/ РСК 25, по диаметру початка - Х46/РН26, Ук12Д2/ МК 130 У.

Заключение. Таким образом, самоопыленные линии и гибриды кукурузы реагируют на изменение условий возделывания, что является причиной изменчивости оценок общей и специфической комбинационной способности. В результате оценки на комбинационную способность по длине початка у линии Мк 11 отмечены высокие значения ОКС и СКС, отличающиеся стабильностью в различных условиях внешней среды, что позволяет использовать линию в синтетических сортах и для выделения ценных комбинаций по данному признаку. Нецелесообразно браковать линии РСК 25, Мк 130 У, у которых наряду с низким или средним эффектом ОКС выявлена высокая дисперсия СКС, так как такие линии могут использоваться для выделения ценных комбинаций. Остальные исследуемые линии характеризовались отрицательными эффектами ОКС средней степени, либо изменением знака в зависимости от условий выращивания. Использование диаллельного анализа позволило провести анализ изменчивости селекционных параметров у экспериментального материала, включенного в рабочую коллекцию по созданию раннеспелых гибридов, пригодных для современной технологии возделывания в Нижневолжском регионе.

Список литературы:

1. Перевязка Д.С., Перевязка Н.И., Супрунов А.И. Изучение морфологических и биометрических характеристик новых раннеспелых и среднеранних дигампоидных линий кукурузы и гибридов, созданных с их участием // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 174. – С. 181-189.
2. Бойко В.Н. Хатефов Э.Б. Исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2021. – 182 (4). – С. 27-35.



3. Новичихин А.П., Федорова А.А., Лемешева А.В. Классификация новых инбредных линий кукурузы посредством кластерного анализа // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 96. – С. 189-193.

4. Зайцев С.А. Комбинационная способность инцухт-линий кукурузы по количеству рядов зерен // Эффективные решения в приоритетных отраслях АПК в засушливых регионах / Сост. В.В. Бычкова. – Саратов, 2020. – С. 63-67.

5. Козаев П.З., Юлдашев М.А. Влияние густоты стояния растений на продуктивность зерна кукурузы в условиях лесостепной зоны РСО-Алания // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – 51. № 2. – С. 59-63.

6. Каюмов, М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1989. – 320 с.

7. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Семеренко С.А. Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2022. – 538 с.

8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по Требованию, 2013. – 349 с.

9. Лобачев Ю. В. Генетический анализ : учеб. пособие. Саратов : ФГОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2011. – 104 с.

10. Смиряев А. В., Кильчевский А. В. Генетика популяций и количественных признаков. М.: Колос, 2007. – 272 с.

