

УДК 633.15: 631.527.5

DOI: 10.35330/1991-6639-2020-5-97-20-30

СЕЛЕКЦИЯ НОВЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ НА ОСНОВЕ РЕДИПЛОИДНЫХ ЛИНИЙ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР*

**Б.Р. ШОМАХОВ¹, Р.С. КУШХОВА¹, Р.А. КУДАЕВ¹,
З.Т. ХАШИРОВА¹, А.Х. ГЯУРГИЕВ¹, Э.Б. ХАТЕФОВ²**

¹ Институт сельского хозяйства –
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»
360004, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224
E-mail: kbniish2007@yandex.ru

² Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
E-mail: secretary@vir.nw.ru

Расширение генетического полиморфизма исходного материала для гибридной селекции кукурузы актуально. Одним из перспективных направлений создания новых инбредных линий с высокой комбинационной способностью является редиплоидизация (ресинтез) тетраплоидных популяций кукурузы. В коллекции ВИР имеется большая коллекция редиплоидных линий, полученных из синтетических популяций тетраплоидной кукурузы. Материалом исследования служили 26 редиплоидных линий кукурузы из коллекции генетических ресурсов ВИР им. Н.И. Вавилова. В системе скрещиваний тесткроссов использовали 17 стерильных тестеров с М- и С-типами ЦМС. Полевые испытания проведены в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии в 2019 году. Выделены 34 гибридные комбинации, показавшие в испытаниях значения урожая зерна на уровне стандарта или выше. В раннеспелой группе выделены 24, в среднеспелой 6 и позднеспелой 4 гибрида. Наиболее выдающимся гибридом, превысившим стандарт на 3 величины НСР, оказалась комбинация (Rf7c × КБ 595-10-5) × 6199-2 со значением урожая зерна 13,58 т/га при НСР05=0,52 т/га.

Ключевые слова: кукуруза, гибридизация, тесткроссы, селекционный индекс, редиплоид, тетраплоид, урожай зерна, влажность зерна.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск и введение в селекционные программы новых линий кукурузы является одной из актуальных проблем гибридной селекции. Поэтому получение новых комбинаций селекционно ценных признаков и создание на их основе инбредных линий остается единственным резервом повышения продуктивности современных гибридов кукурузы. В связи с этим поиск новых методов, направленных на расширение генетического разнообразия исходного селекционного материала, весьма актуален. Для достижения этих целей применяются различные методы и подходы, направленные на расширение генетического полиморфизма путем искусственного мутагенеза, полиплоидии и редиплоидизации (ресинтеза) полиплоидов до уровня диплоидного генома. Редиплоидные генотипы обладают большим потенциалом изменчивости за счет повышенной частоты обменов гомологичными участками в мультивалентных ассоциациях хромосом [1, 2], чем у диплоидного или тетраплоидного генотипа. Кариотипы, претерпевшие конъюгирование в мультивалентном состоянии, по своей структуре более полиморфны, чем хромосомы после бивалентной ассоциации. Поэтому следует ожидать, что линии кукурузы, полученные в результате редиплоидизации тетраплоидных генотипов, будут характеризоваться большей изменчивостью селекционно ценных признаков.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ВИР № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»

Метод редиплоидизации тетраплоидных популяций был предложен Э.Б. Хатефовым и О.А. Шацкой [3] с использованием диплоидных и тетраплоидных гаплоиндукторов. Первые редиплоидные линии кукурузы были получены Э.Б. Хатефовым в 2010 г. методом разложения потомства триплоидного гибрида. Родительскими формами триплоидного гибрида служили тетраплоидная популяция и раннеспелая диплоидная линия в реципрокных скрещиваниях [4]. Полученные в результате расщепления триплоидов гетероплоидные линии были ранжированы по плоидности генома с последующим выделением из них истинных редиплоидных генотипов. Редиплоидные линии были подвержены длительному инцухту до достижения гомозиготности по всем аллелям генов, контролирующим фенотипические признаки, и затем вовлечены в тесткроссы с целью определения их селекционной ценности. Одним из важных селекционных признаков является реакция линий кукурузы на ЦМС и определение типа цитоплазмы. Тип цитоплазмы передается потомству в течение неопределенно многих поколений только по материнской линии и поэтому называется цитоплазматической, тогда как ядерные гены могут быть замещены в результате длительного беккросса. Взаимодействие ядерных рецессивных генов *rf1rf* со стерильной цитоплазмой способствует закрепительной способности, а доминантных генов *RfRf* – восстановительной способности линий кукурузы. Исходя из этого правила, селекционеры создают закрепители стерильности преимущественно на нормальной ($N^{цит}$) цитоплазме, а восстановители стерильности на $T^{цит}$, $B^{цит}$, $C^{цит}$ или $M^{цит}$ стерильной цитоплазме. Фенотипическое проявление признака мужской стерильности характеризуется наличием в пыльниках нежизнеспособной пыльцы либо отсутствием выхода пыльников из мужских гаметофитов на метелке. В селекционной практике кукурузы описано свыше 130 различных источников ЦМС [5, 6], из которых в практической селекции нашли широкое применение Т-тип ЦМС (техасский) [7], С-тип ЦМС (чарруа, парагвайский, колумбийский) [8] и S-тип ЦМС (молдавский) [9]. Каждый из типов ЦМС имеет свои фенотипические особенности, которые контролируются различными ядерными генами *restorer of fertility* (*rf*-гены) на стерильной цитоплазме: $rf1rf1rf2rf2 + T^{цит} = T$ -тип, $rf3rf3 + M^{цит} = M$ -тип и $rf4rf4rf5rf5rf6rf6 + C^{цит} = C$ -тип. В связи с восприимчивостью Т-типа ЦМС к расе *Helminthosporium maydis* Y. Nisik & C с 1990 года на территории РФ и большей части кукурузосеющих стран его использование запрещено.

Вторым, не менее важным селекционно ценным признаком является комбинационная способность линий кукурузы [10,11]. Комбинационная способность проявляется у родительских линий, которые не состоят в близком родстве и способны при скрещивании проявлять эффект гетерозиса. Близкородственные линии не способны к гетерозису и поэтому не имеют между собой выраженной комбинационной способности. Различают общую (ОКС) и специфическую (СКС) комбинационные способности с градацией от высокой к средней и низкой. Исследования показали, что комплексное влияние аддитивных эффектов генов двух родителей способствует общей, а сумма доминантных и эпистатических эффектов генов способствует проявлению специфической комбинационной способности [12].

Цель настоящего исследования – изучение селекционной ценности редиплоидных линий, ресинтезированных из тетраплоидных популяций, и их комбинационной способности в тесткроссах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований были использованы 26 редиплоидных линий коллекции кукурузы ВИР и 17 стерильных тестеров с М- и С-типами ЦМС селекции ВНИИ кукурузы, НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, агрофирмы «Отбор» и ИСХ КБНЦ РАН, относящихся к различным группам спелости по классификации ФАО (Food Agricultural Organization, <http://www.fao.org>). Всего изучено 360 гибридных комбинаций. В качестве стандартов были использованы гибриды F_1 отечественной селекции: (ВНИИ кукурузы, г. Пятигорск) Машук 170 МВ, Машук 171 МВ, Машук 172 МВ, Машук 175 МВ, Машук 480 МВ, Бештау, Ньютон, (ООО ИПА «Отбор», г. Прохладный) Этна, Дарина МВ, Берта, а также зарубежной селек-

ции (Фирмы Pioneer Hi-Bred, США) P0074, P0023 (табл. 1). В качестве стерильных тестеров были использованы 4 линии и 13 простых гибридов С- и М- типов ЦМС.

Таблица 1

СТЕРИЛЬНЫЕ ЛИНИИ И ГИБРИДЫ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В КАЧЕСТВЕ ТЕСТЕРОВ

№ п/п	Тестер	Группа спелости ФАО	Тип ЦМС	Оригинатор
1	(OL 145 м × OL 199-10-2)	150	М	ООО ИПА «Отбор»
2	(OL 273 м × 3463м)	200	М	ООО ИПА «Отбор»
3	(OL 3104 м × OL 389)	250	М	ООО ИПА «Отбор»
4	(OL 3104 м × OLT1d)	200	М	ООО ИПА «Отбор»
5	(OL 563 с × OL 275)	300	С	ООО ИПА «Отбор»
6	(OL 563 с × OL 3104)	300	С	ООО ИПА «Отбор»
7	(OL 703 м × OL 34073м)	350	М	ООО ИПА «Отбор»
8	(А679 м × OL 320)	300	М	ООО ИПА «Отбор»
9	(ИКВ 98 с × OL 245)	180	С	ООО ИПА «Отбор»
10	(ИКВ 98 с × OLT 1d)	200	С	ООО ИПА «Отбор»
11	(ИКВ 98 с × ИКВ 50-7)	180	М	ООО ИПА «Отбор»
12	714 м	200	М	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко
13	PHG 29 м	300	М	ИСХ КБ НЦ РАН
14	ГК 26 м	300	М	ИСХ КБ НЦ РАН
15	Rf7 с	400	С	ИСХ КБ НЦ РАН
16	Магнолия С	450	С	ВНИИК
17	Мирт М	180	М	ВНИИК

Редиплоидные линии были получены из потомства триплоидного гибрида между тетраплоидной популяцией МРПП-20 и диплоидной раннеспелой линии кукурузы. Количество инцухтов в инбредных редиплоидных линиях достигало не менее I₇₋₈. Родительская форма МРПП-20 получена длительным отбором на повышенную семенную продуктивность початка в синтетической популяции Synthetic-B [13]. Родительские пары подбирали индивидуально к каждой редиплоидной линии в зависимости от совпадения сроков цветения метелки и початков у материнских и отцовских форм. Тесткроссы редиплоидных линий (отцовская форма) проводили под пергаментными изоляторами переносом пыльцы на рыльца початков тестеров (материнская форма). После созревания початки убирали и досушивали в сушильной камере. Всего было получено по 3-5 початков тесткроссов для более чем 200 комбинаций.

Фенологические наблюдения за посевами проводили, начиная со всходов растений до полной спелости початков в каждой повторности. Определяли дату всходов, дату наступления фазы цветения мужских и женских соцветий, этапов созревания зерна на початках. Значения фертильности линий и их тесткроссов со стерильными тестерами проводили по 7-бальной шкале, предложенной Г. С. Галеевым [14]. Учитывали урожай зерна с делянки взвешиванием, густоту стояния растений к уборке, число полегших и больных растений, уборочную влажность зерна влагомером «Фауна-М» в трех повторностях на 3 початках с делянки.

Исследования проводили на территории Кабардино-Балкарского опорного пункта ВИР в опытно-производственном хозяйстве (ОПХ) «Опытное» при Институте сельского хозяйства – филиале Кабардино-Балкарского (КБР) научного центра РАН в 2019 году. Семена высевали вручную, широкорядным способом (70x35 см) по 2 семени в лунке с последующим ручным прореживанием до расчетной густоты стояния растений к уборке в перерасчете на 1 га 72 тыс. шт./га. Учетная площадь делянки – 4,9 м², повторность – двукратная (табл. 3) и однократная (табл. 4), расположение на участке рандомизировано, число учтенных в каждом варианте растений – 15 шт. Почвенно-климатические условия опыта соответствовали требованиям роста и развития кукурузы (табл. 2). Почвы в степной зоне представлены обыкновенными

черноземами (без достаточного увлажнения). Обеспеченность пахотного горизонта почвы общим азотом низкая и варьирует от 6,1 до 13,3 мг на 1 кг почвы. Содержание в почве гумуса 3–3,5%, подвижного фосфора – 15,6–28,7 мг/кг, обменного калия – 200–300 мг/кг (по методу Б.П. Мачигина) [15]. Реакция почвы слабощелочная (рН 7,6–8,0).

Таблица 2

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА 2019 Г.

Месяцы	Осадки по декадам, мм					t° воздуха за месяц, °С						
	I	II	III	всего за месяц	средне- многолетнее	I		II		III		среднее за месяц
						минимум	максимум	минимум	максимум	минимум	максимум	
IV	1,5	33,2	15,7	50,4	44	-1,0	21,0	0,5	23,5	-2,0	27,0	23,8
V	39,1	17,2	16,0	68,9	64	5,5	26,0	10,5	29,0	9,0	32,5	18,8
VI	1,2	7,7	20,0	28,9	78	14,0	36,0	15,5	36,0	14,5	38,0	25,9
VII	6,1	34,4	16,2	56,7	60	13,0	37,0	15,5	33,0	17,0	39,5	25,5
VIII	32,3	3,3	4,2	39,8	47	14,5	36,0	12,0	40,0	8,5	39,5	24,9

Фенологические наблюдения и учет урожая редиплоидных линий кукурузы и их гибридов проводили по методике ВИР [16, 17], агротехнические мероприятия согласно методическим указаниям по производству гибридных семян кукурузы [18], систематизация групп спелости по шкале ФАО, хозяйственно ценные признаки и их описания даны согласно «Широкому унифицированному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L.» [19]. Уборочную влажность зерна определяли в период уборки спелых початков влагомером для зерна «Фауна-М» в трехкратной повторности. Дисперсионный анализ урожая зерна с определением величины НСР₀₅, средней урожайности в т/га и точности опыта в % проведен по методике Б.А. Доспехова [20]. Селекционный индекс рассчитывался по методике, предложенной Н.А. Орлянским [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Испытанные стандартные гибриды относятся к группам спелости по классификации ФАО от раннеспелой (ФАО 100–200) до позднеспелой (ФАО 500–600). Значения продуктивности контроля в группе ФАО 100–200 показали, что урожай зерна у лучшего стандарта не превышает значения 4,89 т/га, тогда как в гибридных комбинациях в этой группе ФАО он варьировал от 5,15 до 6,71 т/га при значении НСР₀₅ = 0,46 т/га (табл. 3). Число гибридов со значением урожая зерна выше 5,35 т/га составило 11 комбинаций, а варьирование его находилось в пределах от 5,38 до 6,71 т/га. В группе позднеспелых гибридов значение лучшего стандарта было 11,16 т/га при НСР₀₅=0,52 т/га. Единственный гибрид, превысивший лучший стандарт, показал урожайность 13,58 т/га, при этом ее значение превысило стандарт больше, чем на трехкратную величину НСР₀₅. Это позволяет отнести комбинацию (Rf7c × КБ 595-10-5) × 6199-2 к выдающимся гибридным комбинациям и приступить к его первичному семеноводству. Анализ тесткроссов по результатам уборочной влажности показал, что лучшим стандартным гибридом был Машук 171 МВ, сформировавший урожай зерна с влажностью 14,2% к уборке. Варьирование значений уборочной влажности у гибридных комбинаций для этой группы спелости находилось в пределах от 13,8 % до 20,1 %, что вполне приемлемо для уборки на зерно. Три гибридные комбинации имели значения, близкие или лучше стандарта (Мирт М × 92н 136-5-1-2-1; (OL 145м × OL 199-10-2) × 92с 5231-4-3-1; Мирт М × 92с 5560-1-1). При ранжировании экспериментальных гибридов по значению селекционного индекса (СИ) выделяется ряд комбинаций, которые превысили значение лучшего стандарта Машук 171 МВ (СИ=3,44). К таким гибридам были отнесены 8 комбинаций. Из них продолжительность вегетации совпада-

СЕЛЕКЦИЯ НОВЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ
НА ОСНОВЕ РЕДИПЛОИДНЫХ ЛИНИЙ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР

ет со стандартным гибридом только у 5 комбинаций (Мирт М × 92с 5560-1-1; Мирт М × 92с 6169-5-2-5-1; (ИКВ 98с × OLT1d) × 92н 136-5-1-4-1; Мирт М × 92н 136-5-1-2-1; (OL 145м × OL 199-10-2) × 92с 5231-4-3-1). Комбинация (Rf7с × КБ 595-10-5) × 6199-2 по значению селекционного индекса также остается выдающейся в сравнении с 4 стандартами отечественной и зарубежной селекции, несмотря на высокое значение уборочной влажности (26,8%).

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ЛУЧШИХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ В ДВУКРАТНОЙ ПОВТОРНОСТИ,
ИСХ КБНЦ РАН, 2019 г.

Название гибридов	Урожай зерна при 14% влажн., т/га	Уборочная влажность зерна, %	СИ	Число дней периода всходы-цветение початка, дни
St Машук 172	3,95	15,5	2,55	49
St Ньютон	4,69	15,6	3,01	47
St Дарина	4,70	17,9	2,63	49
St Машук 171 МВ	4,89	14,2	3,44	48
Мирт М × 92с 5560-1-1	5,15	14,3	3,60	48
(ИКВ 98с × OLT1d) × БТ 182-1-4-4-1-1-1	5,16	17,1	3,02	50
(OL 3104м × OLT1d) × 92с 5986-2-2-1	5,27	19,0	2,77	50
Мирт М × 92н 136-5-1-4-3	5,31	17,7	3,00	50
Мирт М × 92н 136-5-1-2-1	5,38	13,8	3,90	47
Мирт М × 92н 136-5-1-3-2	5,44	16,7	3,26	50
(ИКВ 98с × OLT1d) × 92н 136-5-1-2-1	5,55	15,5	3,58	51
(ИКВ 98с × OL 245) × 92с 5530-2-1-3-2	5,56	18,5	3,01	50
(OL 145м × OL 199-10-2) × 92с 5231-4-3-1	5,57	13,8	4,04	43
(OL 3104м × OLT1d) × 92н 136-5-1-7-2	5,72	18,1	3,16	50
(ИКВ 98с × OLT1d) × 92н 136-5-1-6-1	5,83	16,5	3,53	50
Мирт М × 92с 5530-2-1-1-3	5,85	20,1	2,91	50
Мирт М × 92с 6169-5-2-5-1	5,98	16,5	3,62	49
(ИКВ 98с × OLT1d) × 92н 136-5-1-4-1	6,36	16,9	3,76	49
(OL 3104м × OLT1d) × 92н 136-5-1-5-2	6,71	16,5	4,07	50
Средняя по опыту, т/га	4,38			
Точность опыта, %	3,77			
НСР ₀₅	0,46			
St Бештау	8,75	27,8	3,15	65
S Машук 480 СВ	9,45	24,5	3,86	63
St Этна	10,19	25,9	3,93	66
St П-0023	10,80	18,6	5,81	56
St П-0074	11,16	19,1	5,84	58
(Rf7с × КБ 595-10-5) × 6199-2	13,58	26,8	5,07	62
Средняя по опыту, т/га	6,89			
Точность опыта, %	2,67			
НСР ₀₅	0,52			

В испытаниях гибридов, проведенных из-за недостаточного количества семян только в одной повторности, были выделены также лучшие комбинации, превысившие стандартные значения, хотя значимость и достоверность их значений рассчитать невозможно (табл. 4). В группе среднеранних гибридов урожай лучшего стандарта Дарина МВ (4,2 т/га) смогли превзойти 9 гибридов. При этом значения урожая зерна варьировали от 4,26 до 9,71 т/га. Максимальное превышение над стандартом составило более 50%. В группе среднеспелых гибридов значения урожайности стандарта Ладожский 298 МВ (6,88 т/га) смогли преодолеть 6 комбинаций, у ко-

торых значения урожая зерна находились в пределах от 7,63 т/га до 8,91 т/га. При этом превышение над стандартом у лучшего гибрида составило 38%. В позднеспелой группе лучшим стандартом по урожайности зерна оказался гибрид Бештау со значением 9,60 т/га. Превысить эти значения смогли только 2 комбинации – Магнолия С × 92с 5620-1-2-3 и Rf7с × 92с 5064-2-4 со значением 9,76 и 10,21 т/га соответственно. Урожай лучшего позднеспелого гибрида превысил стандарт на 5,9 %. Анализ значений скорости влагоотдачи при созревании зерна в раннеспелой группе показал, что 4 гибрида (714м × 92н 125-6-2-3; 714м × 92н 125-6-2-2; (OL 273м × 346зм) × 92с 6186-2-1-3; (ИКВ 98с × OL 275) × 92с 5966-6-8-2) лучше либо на уровне стандартных величин (16,5%). В группе среднеспелых гибридов значения стандарта по скорости влагоотдачи (18,2%) смог преодолеть только один генотип (OL 703м × OL 3407зм) × 92н 125-6-2-3 со значением 17,9%. В позднеспелой группе стандарт показал значение влагоотдачи не более 24,3%, а аналогичную величину обнаружили у комбинации Rf7с × 92с 5064-2-4 (24,4%). Ранжирование по селекционному индексу показало, что значения лучшего стандарта (СИ=2,54) смогли преодолеть 8 комбинаций. При этом варьирование значений составило СИ = 2,58 - 4,62. В среднеспелой группе значение стандарта Ладожский 298 МВ (СИ=3,78) смогли превысить 4 комбинации с варьированием значений СИ=3,94-4,58. В позднеспелой группе лучшим значением селекционного индекса характеризовался гибрид Rf7с × 92с 5064-2-4 (СИ=4,18).

Таблица 4

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ В ОДНОКРАТНОЙ ПОВТОРНОСТИ,
ИСХ КБНЦ РАН 2019 г.

Название гибридов	Урожай зерна при 14% влажн., т/га	Уборочная влажность зерна, %	СИ	Число дней периода всходы-цветение початка, дни
St Берта	3,33	16,4	2,03	46
St Дарина МВ	4,20	16,5	2,54	51
(ИКВ 98с × OL 275) × 92с 5966-6-8-2	4,26	16,5	2,58	51
(ИКВ 98с × OL 245) × 92с 5215-1-2-1	4,47	17,8	2,51	53
(ИКВ 98с × OLT 1d) × 92н 136-5-1-3-1	5,01	16,9	2,96	51
714м × 92н 125-6-2-3	5,47	15,1	3,62	52
714м × 1/67-1 (17)	5,50	16,8	3,27	50
714м × 92н 125-6-2-2	5,59	15,8	3,54	51
(OL 273м × 346зм) × 92с 6186-2-1-3	5,94	16,2	3,66	54
(OL 273м × 346зм) × 92с 0666-2-1-4	7,02	22,1	3,17	54
(OL 3104м × OL 389) × 92с 3229-1-1-1	9,71	21,0	4,62	53
St Ладожский 298 МВ	6,88	18,2	3,78	53
(OL 563с × OL 275) × 92с 5656-3-1-2-1	7,63	18,5	4,12	53
PHG 29м × 92с 5029-1-1-3	7,69	20,6	3,73	55
(А679м × OL 320) × 92с 0666-2-1-2	8,02	20,3	3,95	54
(OL 703м × OL 3407зм) × 92н 125-6-2-3	8,20	17,9	4,58	52
(OL 563с × OL 3104) × 92с 5029-1-1-1	8,46	23,3	3,63	54
(OL 703м × OL 3407зм) × 92н 125-6-2-1	8,91	22,6	3,94	52
St Краснодарский 377	8,50	26,6	3,20	60
St Этна	8,62	24,3	3,55	65
St Бештау	9,60	30,8	3,12	61
Rf7с × 92с 5064-2-5	9,04	25,2	3,59	55
Магнолия С × 92с 5620-1-2-3	9,76	26,6	3,67	62
Rf7с × 92с 5064-2-4	10,21	24,4	4,18	59

Результаты исследований селекционной ценности редиплоидных линий кукурузы показывают эффективность применения метода редиплоидизации тетраплоидных популяций

для расширения генетического полиморфизма и обогащения генофонда кукурузы новым исходным материалом, обладающим высоким потенциалом продуктивности. Редиплоидные линии кукурузы, изученные в опыте, прошли через полиплоидное состояние и претерпели существенные перестройки генетического материала, которые привели к расширению спектра изменчивости хромосом, несущих гены хозяйственно ценных признаков. Возможно, что этот механизм повышения величины генетической изменчивости был выработан в процессе длительной эволюции растений как путь для преодоления инбредной депрессии тетраплоидов, сопровождающейся снижением фертильности растений, которая угрожала его сохранности как вида в природе. Поэтому перестройки внутри генома, возникающие в процессе редиплоидизации тетраплоидного генома, неизбежно влекут за собой возникновение новых сочетаний аллелей генов и появление отличных от исходных родительских форм более продуктивных генотипов [22]. Таким образом, использование механизма редиплоидизации тетраплоидных генотипов имеет перспективы в создании нового исходного материала для гибридной селекции растений.

ВЫВОДЫ

Анализ урожайности экспериментальных гибридов между 26 линиями редиплоидной кукурузы и 17 стерильными тестерами различных селекционных центров показал их селекционную ценность для создания гибридов с высоким потенциалом урожая зерна. Результаты исследований позволили выделить 34 комбинации, показавшие в испытаниях значения урожая зерна на уровне стандарта или выше. В раннеспелой группе выделены 24, в среднеспелой 6 и позднеспелой 4 лучших по урожайности гибридов. Наиболее выдающимся гибридом, превысившим стандарт на 3 величины НСР, оказался (Rf7c × КБ 595-10-5) × 6199-2 со значением урожая зерна 13,58 т/га при НСР₀₅=0,52 т/га. Рекомендовано первичное семеноводство этой комбинации для производственных посевов и передачи на Госсортоиспытание.

ЛИТЕРАТУРА

1. Албертс Б., Брэй Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки: пер. с английского. В 3 томах. Т. 3. М.: Мир, 1994. 504 с.
2. Родионов А.В. Полиплоидия и межвидовая гибридизация в эволюции цветковых растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. №17(4/2). С. 916-929. URL: <https://vavilov.elpub.ru/jour/article/view/212> [дата обращения: 25.12.2019].
3. Хатефов Э.Б., Шацкая О.А. Применение гаплоиндукторов в гетероплоидных скрещиваниях для расширения разнообразия генетической основы кукурузы / В кн.: Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке: состояние, проблемы, перспективы: тезисы докладов II Вавиловской международной конференции, 26-30 ноября 2007, Санкт-Петербург. Санкт-Петербург: ВИР, 2007. С. 367-369.
4. Хатефов Э.Б., Керв Ю.А., Бойко В.Н., Головина М.А., Аннаев С.П. Расширение генетического полиморфизма исходного селекционного материала кукурузы методом редиплоидизации тетраплоидных популяций // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 16(4). С. 192-203. DOI: 10.25637/TVAN.2018.04.18.
5. Крупнов В.А. Генная и цитоплазматическая мужская стерильность растений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. 06.01.05. Саратов. гос. ун-т им. Н.Г. Чернышевского. Саратов, 1972. 49 с.
6. Горбачева А.Г. Открытие и генетическая идентификация типов ЦМС у кукурузы // Кукуруза и сорго. 2019. № 2. С. 22-34. DOI: 10.25715/KS.2019.2.31830.
7. Cao J., Schnable P. Global gene expression profiling of maize cms-T tapetal cells // Maize Genetics Conference Abstracts. 2006. Vol. 48. P. 173.
8. Meyer L.J., Newton K.J. Expression of chimeric ATP synthase genes in maize CMS-C mitochondria // Maize Genetics Conference Abstracts. 2008. Vol. 50. P. 82.

9. Gabay-Laughnan S., Chase C.D., Ortega V.M., Zhao L. Molecular-genetic characterization of CMS-S restorer-of-fertility alleles identified in Mexican maize and teosinte // *Genetics*. 2004, № 166. С. 959-970. DOI: 10.2135/cropsci1971.0011183X001100050037x.

10. Тарутина Л.А., Посканная С.И., Капустя И.Б., Хотылева Л.В. Характер проявления комбинационной способности самоопыленных линий кукурузы в онтогенезе // *Сельскохозяйственная биология*. 1991. № 1. С. 65-69.

11. Sprague G.F., Tatum L.A. General vs. combining ability in single crosses of corn // *Journal of the American Society of Agronomy*. 1942. No 34(10). Pp. 923-932.

12. Анашенков С.С. Анализ комбинационной способности новых самоопыленных линий и тестеров кукурузы // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2012. № 80(06). С. 264-273. URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/06/pdf/01.pdf> [дата обращения: 25.12.2019].

13. Хатефов Э.Б., Щербак В.С. Цитогенетические исследования семенной продуктивности тетраплоидной кукурузы // *Вестник Кабардино-Балкарского государственного университета*. Серия: Биологические науки. 2002. № 5. С. 83-88.

14. Галеев Г.С. Результаты изучения и селекционного использования цитоплазматической мужской стерильности кукурузы на Кубанской опытной станции ВИР / В кн: Цитоплазматическая мужская стерильность в селекции и семеноводстве кукурузы. Киев, 1962. С. 8-38.

15. Магницкий К.П. Диагностика потребности растений в удобрениях. М.: Московский рабочий, 1972. 272 с.

16. Филев Д.С., Циков В.С., Золотов В.И., Логачев Н.И. Методические рекомендации по проведению полевых опытов с кукурузой. Днепропетровск: ВНИИ кукурузы, 1980. 54 с.

17. Шмараев Г.Е., Матвеева Г.В. Методические указания по изучению и поддержанию образцов коллекции кукурузы. Ленинград: ВИР, 1985. 49 с.

18. Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Багринцева В.Н., Сотченко Е.Ф., Лавренчук Н.Ф., Супрунов А.И., Толорая Т.Р., Жуков Н.И., Смирнова Л.А. Методические указания по производству гибридных семян кукурузы. Пятигорск: Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы, 2019.

19. Кукеков В.Г. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов *Zea mays* L. Ленинград: ВИР, 1977.

20. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 2011. 350 с. ISBN-5903034969, 9785903034963.

21. Орлянский Н.А. Селекция и семеноводство зерновой кукурузы на повышение адаптивности в условиях Центрального Черноземья: дис. ... д-ра с.-х. наук. 06.01.05. Воронеж, 2004. 320 с.

22. Гордей И.С., Белько Н.Б., Гордей И.А. Молекулярно-генетические эффекты дупликации генома у ржи (*Secale cereale* L.) // *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2013. Т. 13. С. 156-161. Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/feeo_2013_13_41

REFERENCES

1. Alberts B., Bray D., Lewis J., Raff M., Roberts K., Watson J. *Molekulyarnaya biologiya kletki: per. / s angliiskogo* [Molecular biology of the cell. Translated from English]. In 3 volumes. V № 3. М.: Mir, 1994. 504 p. ISBN 5-03-001985-5.

2. Rodionov A.V. *Poliploidiya i mezhhvidovaya gibridizatsiya v evolyutsii tsvetkovykh ras-teniy* [Polyploidy and interspecific hybridization in the evolution of flowering plants] // *Vavilov journal of genetics and plant breeding*. 2013. No 17(4/2)/ P. 916-929. URL: <https://vavilov.elpub.ru/jour/article/view/212> [date of access: 25.12.2019].

3. Khatefov E.B., Shatskaya O.A. *Primeneniye gaploinduktorov v geteroploidnykh skreshchivaniyakh dlya rasshireniya raznoobraziya geneticheskoy osnovy kukuruzy* [Application of haploinductors in heteroploid crosses for the distribution of a diverse genetic basis of corn] / In:

genetic resources of cultivated plants in the XXI century: constant, problems, prospects: abstracts at the 2-nd International Vavilov Conference; November 26-30, 2007; Saint Petersburg, Russia. Saint Petersburg: VIR. 2007. Pp. 367-369.

4. Khatefov E.B., Kerv Yu. A., Boyko V.N., Golovina M.A., Appaev S.P. *Rasshireniye geneticheskogo polimorfizma iskhodnogo selektsionnogo materiala kukuruzy metodom rediploidizatsii tetraploidnykh populyatsiy* [Distribution of genetic polymorphism of the initial selection material of maize by the method of rediploidization of tetraploid populations] // Tavrichesky Bulletin of agrarian science. 2018. № 16(4). Pp. 192-203. DOI: 10.25637 / TVAN.2018.04.18.

5. Krupnov V.A. *Gennaya i tsitoplazmaticheskaya muzhskaya steril'nost' rasteniy: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. 06.01.05* [Genetic and cytoplasmic male sterility of plants: thesis of dissertation for the degree of the Doctor of Biological Sciences; 06.01.05] / Saratov State University n.a. N. G. Chernyshevsky. Saratov, 1972. 49 p.

6. Gorbacheva A.G. *Otkrytiye i geneticheskaya identifikatsiya tipov TSMS u kukuruzy* [Discovery and genetic identification of CMS types in maize] // Maize and sorghum. 2019. No. 2. Pp. 22-34. DOI: 10.25715 / HP 2019.2.31830.

7. Cao J., Schnable P. Global gene expression profiling of maize cms-T tapetal cells (in English) // Maize Genetics Conference Abstracts. 2006. Vol. 48. P. 173

8. Meyer L.J., Newton K.J. Expression of chimeric genes of ATP synthase in the mitochondria of maize CMS-C // Abstracts of the conference on maize genetics. 2008. Vol. 50. P. 82.

9. Gabay-Lafnan S., Chase K.D., Ortega V.M., Zhao L. Molecular genetic characteristics of CMS-s fertility restorer alleles identified in Mexican corn and teosinta // genetics. 2004, No. 166. Pp. 959-970. DOI: 10.2135/cropsci1971.0011183X001100050037x.

10. Tarutina L.A., Poskannaya S.I., Kapusta I.B., Khotyleva L.V. *Kharakter proyavleniya kombinatsionnoy sposobnosti samoopylennykh liniy kukuruzy v ontogeneze* [Character of manifestation of combinational ability of self-pollinated maize lines in ontogenesis] // Agricultural biology. 1991. No. 1. Pp. 65-69.

11. Sprague G.F., Tatum L.A. General and combining ability in single crosses of corn. Journal of the American society of agronomy. 1942. No. 34 (10). Pp. 923-932.

12. Anashenkov S.S. *Analiz kombinatsionnoy sposobnosti novykh samoopylennykh liniy i testerov kukuruzy* [Analysis of the combinational ability of new self-pollinated lines and corn testers] // Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian University. 2012. № 80 (06). Pp. 264-273. URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/06/pdf/01.pdf> [accessed: 25.12.2019].

13. Hatefov E.B., Shcherbak V.S. *Tsitogeneticheskiye issledovaniya semennoy produktivnosti tetraploidnoy kukuruzy* [Cytogenetic studies of seed productivity of tetraploid corn] // Bulletin of Kabardino-Balkar state University. Series: Biological Sciences. 2002. No. 5. Pp. 83-88.

14. Galeev G.S. *Rezultaty izucheniya i selektsionnogo ispol'zovaniya tsitoplazmaticheskoy muzhskoy steril'nosti kukuruzy na Kubanskoj opytnoj stantsii VIR* [Results of the study and selection of the use of cytoplasmic male sterility of corn at the Kuban Experimental station of VIR (All-Russian Institute of Crop Production)] // In book: Cytoplasmic male sterility in maize breeding and seed production. Kiev, 1962. Pp. 8-38.

15. Magnitsky K.P. *Diagnostika potrebnosti rasteniy v udobreniyakh* [Diagnostics of the need of plants in fertilizers]. M.: Moskovsky Rabochy, 1972. 272 p.

16. Filev D.S., Tsikov V.S., Zolotov V.I., Logachev N.I. *Metodicheskiye rekomendatsii po provedeniyu polevykh opytov s kukuruzoy* [Methodological recommendations for conducting field experiments with corn]. Dnepropetrovsk Corn Research Institute, 1980. 54 p.

17. Shmaraev G.E., Matveeva G.V. *Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i podderzhaniyu obraztsov kolleksii kukuruzy* [Methodological guidelines for the study and maintenance of models of maize collections]. Leningrad: VIR, 1985. 49 p.

18. Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Bagrintseva V.N., Sotchenko E.F., Lavrenchuk N.F., Suprunov A.I., Toloraya T.R., Zhukov N.I., Smirnova L.A. *Metodicheskiye ukazaniya po pro-*

izvodstvu gibridnykh semyan kukuruzy [Guidelines for the production of hybrid corn seeds]. Pyatigorsk: All-Russian Research Institute of Corn, 2019.

19. Kukekov V.G. *Shirokiy unifikirovannyi klassifikator SEV i mezhdunarodnyy klassifikator SEV vidov Zea mays L* [Wide unified classifier of COMECON and international classifier of COMECON species Zea Mays L]. Leningrad: VIR, 1977.

20. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of the results of investigations)]. Moscow: Agropromizdat, 2011. 350 p. ISBN -5903034969, 9785903034963.

21. Orlyansky N.A. *Selektsiya i semenovodstvo zernovoy kukuruzy na povysheniye adaptivnosti v usloviyakh Tsentral'nogo Chernozem'ya: dis. ... d-ra s.-kh. nauk. 06.01.05* [Selection and seed production of grain maize to increase adaptability in the conditions of the Central Chernozem region: dissertation for the degree of the Doctor of Agricultural Sciences: 06.01.05]. Voronezh, 2004. P. 320.

22. Gordey I.S., Belko N.B., Gordey I.A. *Molekulyarno-geneticheskiye efekty duplikatsii genoma u rzhi (Secale cereale L.)* [Molecular genetic effects of genome duplication in rye (rye flakes and some herbs of L.)] // Factors of experimental evolution of organisms. 2013. Vol. 13. Pp. 156-161. Available mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/feeo_2013_13_41

BREEDING NEW CORN HYBRIDS BASED ON REDIPLOID LINES FROM VIR COLLECTION*

**B.R. SHOMAKHOV¹, R.S. KUSHKOVA¹, R.A. KUDAEV¹,
Z.T. KHASHIROVA¹, A.KH. GYAURGIEV¹, E.B. KHATEFOV²**

¹ Institute of Agriculture –
branch of FSBSE “Federal scientific center
«Kabardin-Balkar scientific center of the Russian Academy of Sciences»
360004, KBR, Nalchik, Kirov street, 224
E-mail: kbniish2007@yandex.ru

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)
190000, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya Street, 42, 44
E-mail: secretary@vir.nw.ru

Extension of the genetic polymorphism of the starting material for hybrid breeding of maize is urgent. One of the promising directions for the creation of new inbred lines with a high combinational ability is the rediploidization (resynthesis) of tetraploid populations of maize. The VIR (All-Russian Institute of Crop Production) collection contains a large collection of rediploid lines obtained from synthetic populations of tetraploid maize. The material of the study was 26 rediploid maize lines from the collection of genetic resources of VIR. In the test-crosses crossing system, 17 sterile testers with M and C types of CMS were used. Field tests were carried out in the steppe zone of Kabardino-Balkaria in 2019. 34 hybrid combinations were identified that showed grain yield values at the standard level or higher in the tests. In the early-maturing group, 24 hybrids were identified, in the mid-maturing 6 and late-maturing 4 hybrids. The most outstanding hybrid, which exceeded the standard by 3 LSD values, turned out to be a combination (Rf7c × KB 595-10-5) × 6199-2 with a grain yield of 13.58 t / ha, with HCP05 = 0.52 t / ha.

Keywords: corn, hybridization, test crosses, breeding index, rediploid, tetraploid, grain yield, grain moisture.

Работа поступила 09.09.2020 г.

* The work was carried out within the framework of the state assignment VIR No. 0662-2019-0006 "Search, maintenance of viability and disclosure of the potential of hereditary variability of the world collection of grain and cereal crops VIR for development, optimized genebank and rational use in breeding and plant breeding"

Сведения об авторах:

Шомахов Беслан Рашидович, с.н.с. Института сельского хозяйства – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360004, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224.

Тел. 8(8662) 77-33-56.

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Кушхова Рита Сарабиевна, н.с. Института сельского хозяйства – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360004, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224.

Тел. 8-960-427-46-43.

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Кудаев Руслан Абузедович, н.с. Института сельского хозяйства – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360004, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224.

Тел. 8-928-718-02-55.

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Хаширова Зинаида Темирбиевна, м.н.с. Института сельского хозяйства – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360004, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224.

Тел. 8(8662) 77-33-56.

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Гяургиев Азамат Хасбиевич, м.н.с. Института сельского хозяйства – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

360004, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224.

Тел. 8-988-920-57-93.

E-mail: kbniish2007@yandex.ru.

Хатефов Эдуард Балилович, в.н.с. Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова.

190000, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44.

E-mail: haed1967@rambler.ru.

Information about the authors:

Shomahov Beslan Rashidovich, senior researcher, Institute of Agriculture – a branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

360004, KBR, Nalchik, Kirov street, 224.

Ph. 8(8662) 77-33-56.

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Kushkhova Rita Sarabievna, researcher, Institute of Agriculture – a branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

360004, KBR, Nalchik, Kirov street, 224.

Ph. 8-960-427-46-43.

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Kudaev Ruslan Abuzedovich, researcher, Institute of Agriculture – a branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

360004, KBR, Nalchik, Kirov street, 224.

Ph. 8-928-718-02-55.

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Khashirova Zinaida Temirbievna, junior researcher, Institute of Agriculture – a branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

360004, KBR, Nalchik, Kirov street, 224.

Ph. 8(8662) 77-33-56.

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Gyaurgiev Azamat Khazbievich, junior researcher, Institute of Agriculture – a branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

360004, KBR, Nalchik, Kirov street, 224.

Ph. 8-988-920-57-93.

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

Khatefov Eduard Balilovich, leading researcher, VIR, Federal Research Center All-Russian Plant Genetic Resources Institute named after N.I. Vavilov.

190000, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya street, 42, 44.

E-mail: haed1967@rambler.ru.