

DOI: 10.25637/TVAN.2018.04.18.

УДК 633.15: 631.52

Хатефов Э. Б.¹, Керв Ю. А.¹, Бойко В. Н.¹, Головина М. А.¹, Аппаев С. П.²

РАСШИРЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОЛИМОРФИЗМА ИСХОДНОГО СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА КУКУРУЗЫ МЕТОДОМ РЕДИПЛОИДИЗАЦИИ ТЕТРАПЛОИДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ

¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»;

²Институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»»

Реферат. Проблема поиска новых источников селекционно ценных признаков кукурузы (*Zea mays* L.) с широким генетическим полиморфизмом требует от селекционеров создания и совершенствования эффективности методов получения исходного селекционного материала. Цель исследований – изучение эффективности метода редиплоидизации тетраплоидных популяций кукурузы, как источника исходного селекционного материала для гибридной селекции. В процессе проведения исследований решены задачи по оценке селекционно ценных признаков, выделению источников и доноров генов, контролируемых ценные фенотипические признаки, определена практическая значимость нового исходного материала для селекции. В работе использованы методы разложения триплоидного гибридного потомства между тетраплоидной популяцией с широкой генетической основой и диплоидной линией с последующим отбором редиплоидных генотипов. Опыты проводили в предгорной зоне Кабардино-Балкарской Республики, где изучали комбинационную способность и реакцию на ЦМС «М» типа других селекционно ценных признаков. Выделенные новые линии редиплоидной кукурузы обладают такими селекционно ценными признаками, как: раннеспелость (12 линий), продуктивность (две линии) и высокая комбинационная способность (пять линий). Созданы доноры многопочатковости, передающие признак по неполному типу наследования в гибридных комбинациях (13 линий). Выделены новые линии кукурузы – восстановители фертильности (27 линий) и закрепители ЦМС на основе «М» типа стерильности (девять линий), выделено восемь гибридных комбинаций, превышающих по урожаю зерна стандарт на 0,75–3,27 т/га при НСР₀₅ 0,23 т/га. Результаты исследований имеют значение для разработки теоретических основ селекции кукурузы, а также создания селекционно ценных рекомбинантов и доноров эффективных генов для гибридной селекции. Расширен и обогащен генетический полиморфизм линий кукурузы, представляющий практический интерес для селекционеров и исследователей. Теоретические разработки и исходный материал характеризуются высокой зерновой продуктивностью и устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессам. Результаты работы имеют значение для селекции и частной генетики кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза *Zea mays* L., селекция, редиплоидизация, гибрид, комбинационная способность, урожай зерно.

Введение

Кукуруза – (*Zea mays* L.) это одна из важнейших зерновых культур в мире. Доля кукурузы в мировом зерновом балансе составляет более 30 %, а объем ее ежегодного валового производства в последние годы равен 660–686 млн т. За последние 60 лет площади посева кукурузы увеличилась с 87 до 146 млн га, валовое производство зерна возросло на 622 %, а средняя урожайность в мире повысилась с 12,7 до 46,9 ц/га [1]. Расширение посевов кукурузы и повышение ее урожайности –

результат селекционного прогресса, благодаря которому возросла продуктивность гибридов и значительно повысилась их приспособленность к недостатку тепла в северных регионах кукурузосеяния. Существенную роль в росте урожайности гибридов кукурузы играет ее высокая пластичность и широкий генетический полиморфизм исходного селекционного материала [2, 3]. В последние годы уделяется все больше внимания селекции кукурузы на многопочатковость как резерва для повышения ее урожайности [4, 5]. Сужение генетического разнообразия кукурузы в последние десятилетия не могут не вызвать обеспокоенности, поэтому селекционеры ведут исследования по его расширению. Современные успехи селекционеров России позволили районировать гибриды кукурузы, дающие высокие урожаи зерна в широтах до 54 параллели. В последние годы повышается спрос к продуктам из пищевой кукурузы, как к более благоприятному сочетанию углеводов, определяющих высокие вкусовые качества зерна. Совершенствование методов ведения селекционного процесса для предохранения культуры кукурузы от генетической эрозии, создание и изучение нового исходного материала и вовлечение его в селекционный процесс с целью повышения эффективности работ по созданию новых гибридов кукурузы актуально.

Цель исследований – изучение эффективности метода редиплоидизации тетраплоидных популяций кукурузы как источника исходного селекционного материала для гибридной селекции.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в период с 2013 по 2015 гг. на территории обслуживающего производства и хозяйства (ОПХ) «Нартан» при Кабардино-Балкарском НИИСХ. Селекционный участок расположен в пределах предгорной зоны Северного Кавказа, на водоразделе рек Урвань – Нальчик. В основном, почвы представлены луговыми черноземами. Содержание гумуса в пахотном слое не превышает 2,64 %, реакция почвенного раствора по всему почвенному профилю среднещелочная ($pH = 8,1$), со средней емкостью поглощения в пахотном слое (32 мг/экв. на 100 г почвы), которая уменьшается постепенно с глубиной. Значения содержания карбонатов в пахотном слое варьируют от среднего (6,7 %) на поверхности до высокого (13,6–14,7 %) на глубине. Обеспеченность почвы подвижным фосфором очень низкая (0,4 мг/100 г почвы), а обменным калием – очень высокая (8 г/100 г) [6, 7].

Климат зоны характеризуется как умеренно жаркий при сумме активных температур 3000–3200 °С и умеренном увлажнении (коэффициент увлажнения – 0,5–0,9), гидротермический коэффициент составляет 0,9–1,2.

В целом в период проведения исследований рост и развитие кукурузы проходили при избытке тепла и дефиците влаги. Наиболее благоприятные условия для формирования полноценного урожая зерна кукурузы сложились в 2014 г., который характеризовался достаточным количеством тепла и влаги, а 2013 и 2015 гг. отличались избытком тепла и недостатком влаги в период прохождения основных этапов органогенеза растений кукурузы, что значительно снизило их урожайность.

Опыты по изучению редиплоидных линий и новых гибридов кукурузы, фенологические наблюдения проводили по методикам ВАСХНИЛ и ВИР [8], методическим указаниям по производству гибридных и сортовых семян кукурузы ВАСХНИЛ и ВНИИ кукурузы [9]. Испытание линий проводили в двукратной, а тесткроссов – в трехкратной повторности. Делянки двурядковые площадью 4,9 м². Ширина междурядий 0,7 м, густота стояния – 50–60 тыс. растений на один га. Измерения и учеты проводили на десяти растениях и десяти початках в двукратной повторности. Изучение фенотипических признаков линий проводили согласно методическим указаниям [10], биометрические показатели и их описания даны согласно

международному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L. [11]. Устойчивость к холоду и засухе определяли по методикам [12, 13]. Химические анализы проводили по методикам Ермакова А. И. [14]. Экспериментальные данные обрабатывали по методикам Б. А. Доспехова [15]. Тесткроссный анализ проведен по методике В. К. Савченко [16, 17].

Материал для исследований – высокоплодовитая тетраплоидная популяция МРПП20, выделенная на основе тетраплоидных популяций, синтезированных в 1970-х гг. В. С. Щербаком в КНИИСХ имени П. П. Лукьяненко, и раннеспелая диплоидная линия коллекции ВИР. Тестерные линии КР713М и КР714М получены из Краснодарского НИИСХ имени П. П. Лукьяненко, линии ГК26М и ВИР44 – из Кабардино-Балкарского НИИСХ. Редиплоидизацию тетраплоидных популяций проводили путем разложения триплоидных зерновок, полученных от гетероплоидного скрещивания между тетраплоидной популяцией МРПП20 и диплоидной раннеспелой линией с последующим инцухтом триплоидного растения и выделением из потомства в F₂ истинных диплоидных зерновок. Выделенные диплоидные зерновки подвергали длительному инцухту до поколения F₇₋₈ и изучали в топкроссах.

Результаты и их обсуждение

Анализ фенотипических признаков показал, что варьирование (C_v %) таких признаков, как: группа спелости, высота растений, высота прикрепления нижнего початка, число листьев на растении, число побегов первого порядка на растении, масса 1000 зерен, общее число зерен на початке, выход зерна с початка, число рядов зерен на початке, число зерен в ряду на початке, длина початка, масса початка, урожай зерна с растения, число початков на стебле и характер его наследования в потомстве, экологическая пластичность и устойчивость к основным болезням и вредителям кукурузы для Кабардино-Балкарской Республики, к абиотическим воздействиям окружающей среды и полеганию, консистенции и химическому составу зерновки, реакции ЦМС в топкроссах, общей и специфической комбинационной способности происходит в широких пределах. Это свидетельствует о достаточно высоком генетическом полиморфизме и перспективности поиска для дальнейшего отбора нового селекционного материала у редиплоидных линий кукурузы.

Длина вегетационного периода служит одним из основных признаков при подборе сортов, самоопыленных линий и гибридов кукурузы для возделывания их в разных эколого-географических условиях. Поскольку опыты были заложены в предгорной зоне, то оценку длительности фенологических фаз проводили в климатических условиях, сложившихся для этой зоны за годы исследований. Все образцы изученных коллекций разделены по группам спелости ФАО (индексы Международной организации по продовольствию и сельскому хозяйству при ООН) (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение тестеров и редиплоидных линий кукурузы и стерильных образцов по группам спелости ФАО (2013–2015 гг.)

Группа	Линии	C _v , %
100–200	(КР703М)**: 1/99-1-3; 1/70; 1/15х; 1/66-3; 1/101р; 1/35-1; 1/67-1; 1/99-2-3; 1/99-3-3; 1/73х; МП4; клф № 5.	16,5
201–300	(КР714М)**: 1/130; 1/135; 1/75; 1/130-3; 1/130-1; 1/72; 1/60; 1/35-2; 1/64-2; 1/130-4; 1/14х; 1/101-2х; 1/73; 1/122; 1/122; PUNO 04; вр; МП4а; wx 25-2.	21,0
301–400	(ГК26М)**: 1/67; 1/66-2; 1/130х; 1/101-1х; 1/130-1х; 1/130-2х; 1/58; w143; МП4в; wx 25-1.	11,7
401–500	(ВИР44) 1/40х; 1/129R; 1/78; 1/66.	3,9

Примечание. * период вегетации (дней) стерильных тестеров; ** стерильные тестеры.

В процессе анализа признака числа зерен на початке линии распределены по признаку озерненности початка на группы: низкоплодовитые, среднеплодовитые и высокоплодовитые. Высокоплодовитыми из всех изученных образцов кукурузы показали себя линии 1/130-1; 1/64-2, у которых количество зерен с початка превысило 400 шт., меньшие значения имеют линии 1/58; 1/122; МП4а; МП4в; МП4. Низкая плодovitость у линий 1/130; 1/14; 1/70; 1/130-4; run-04; вр; wx123; wx25-1; wx25-2. Остальные линии имели среднее значение плодovitости, которое варьировало от 200 до 360 зерен в початке. При изучении этого признака замечено, что длиннозерные формы имели более плотное и компактное расположение зерен в початке, чем у обычных шаровидных зерен. На початках с шаровидными зернами рядки располагались более рыхло и менее компактно, часто сбивались и не имели четко выраженной линейности. Возможно, такое изменение линейности вызвано низкой завязываемостью зерен в початке, что косвенно указывает на ее низкую засухоустойчивость. Значения признака «выход зерна с початка» имеет тесную корреляцию с числом зерен в початке и этот признак важен при расчетах побочной продукции. Исследования этого признака среди восстановленных линий диплоидной кукурузы показали, что варьирование значений изменяется в широких пределах от 66 до 85 %. Основная часть линий характеризуется средними (1/99-1-3; 1/70; 1/15x; 1/66-3; 1/130-2x; 1/78; 1/58; 1/99-2-3; 1/99-3-3; 1/73x; вр; МП4; МП4в) и высокими (1/135; 1/101p; 1/130-1x; 1/60; 1/64-2; 1/130-4; 1/66; w143; МП4а; клф № 5) значениями выхода зерна с початка. Выделено восемь линий с низким выходом зерен: 1/66-2; 1/130; 1/130x; 1/129R; 1/14x; 1/101-2x; 1/122; wx25-1, и восемь с очень высоким: 1/40x; 1/130-3; 1/101-1x; 1/35-1; 1/72; 1/35-2; 1/73; wx25-2. Остальные линии обладают очень низкими значениями данного признака.

Признак крупности и массы зерна представляет собой неотъемлемую часть структуры урожая кукурузы. В проведенных нами исследованиях по признаку «масса 1000 зерен» выделено несколько образцов, обладающих мелкими, средними, крупными и очень крупными зернами (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика линий кукурузы по массе 1000 зерен на початке (2013–2015 гг.)

Балл	Значение, г	Линии	C _v , %
1	≤120	–	–
2	121–160	1/130x; 1/14x;	12,8
3	161–200	1/70; 1/130-4; PUNO 04; вр; w143; wx25-1; wx25-2	10,3
4	201–240	1/101-1x; 1/101p; 1/130-2x;	6,9
5	241–280	1/40x; 1/67; 1/99-1-3; 1/15x; 1/135; 1/67-1; 1/101-2x	6,6
6	281–320	1/66-2; 1/130; 1/130-3; 1/130-1x; 1/129R; 1/35-1; 1/60; 1/35-2; 1/73; 1/99-3-3	13,5
7	321–360	1/75; 1/66-3; 1/72; 1/78; 1/66; 1/73x	15,6
8	361–400	1/58; 1/99 -2-3; 1/122; МП4а; МП4в; клф№5	12,9
9	≥401	1/130-1; 1/64-2; МП4	14,8

Исследование линий восстановленной диплоидной кукурузы позволило выделить среди изученной коллекции образцы с многорядным початком. Связь между признаком многорядности початка и засухоустойчивостью можно объяснить тем, что многорядные початки формируют толстые стержни, в которых запас влаги существенно превышает запас в малорядных початках с тонким стержнем, но при этом возрастает скорость влагоотдачи зерном при созревании.

В целом по опыту выделены линии с высокими значениями количества рядков на початке и количества зерен в рядке в каждой группе спелости. Наибольшие

значения признака многорядности початка наблюдали у линий 1/40х; 1/99-1-3; 1/66-3; 1/101р; 1/66; wx25-2, клф-5.

Значение признака «число зерен в ряду початка» не менее важно для селекционеров, поскольку он является показателем потенциала продуктивности. Установлено, что варьирование значений находится в пределах от 14 (очень малое количество) до 40 (среднее количество) зерен в ряду початка. Максимальное число зерен в ряду имеют линии: 1/130-2; 1/99-2-3; wx143; wx25-2, а минимальные значения отмечены у линий: PUNO 041/130; 1/135; 1/75; 1/130-3; 1/130-1; 1/72; 1/64-2; 1/122; вр. Число рядов зерен на початке тесно коррелирует с признаком «длина початка» с той разницей, что селекционер может выбрать по этому признаку линии с компактным, либо разреженным расположением зерен на початке. А это, в свою очередь, влияет на форму зерновки и скорость влагоотдачи початком при созревании. Изучение признака «длина початка» показало, что значения линий находились в пределах между 10 и 22 см. Большая часть линий имеет початки средней длины (14–18см). К линиям с очень длинным (более 22 см) початком отнесены: 1/130; 1/130-3; 1/130-1х; 1/60. Следует отметить, что линия МП4 характеризуется длинным и многорядным початком.

Для оценки признака многопочатковости изученных образцов мы определяли коэффициент многопочатковости. Значения коэффициента многопочатковости показывают усредненное число початков на одном растении. Среди изученных в опыте образцов выделено несколько групп, склонных к многопочатковости (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристика линий кукурузы по числу початков на стебле (2013–2015 гг.)

Балл	Количество, шт.	Наименование линии	C _v , %
1	<1,1	1/40х; 1/67; 1/99-1-3; 1/70; 1/15х; 1/135; 1/75; 1/130-3; 1/130-1; 1/101-1х; 1/101р; 1/129R; 1/35-1; 1/60; 1/35-2; 1/64-2; 1/130-2х; 1/78; 1/66; 1/14х; 1/67-1; 1/101-2х; 1/73; 1/99 -2-3; 1/99-3-3; 1/73х; 1/122; PUNO 04; вр; wx143; клф-5.	17,5
2	1,1–1,5	1/66-2; 1/130; 1/130х; 1/66-3; 1/130-1х; 1/58; wx25-2; МП4.	14,0
3	1,6–2,0	1/72; 1/130-4; МП4в; wx25-1	3,5
4	2,1–3,0	МП4а	3,1

Различия в группах проявлялись в полноценности формируемого второго и последующего початков, образующихся на более нижних ярусах. У линий 1/58; 1/66-2; 1/101р; 1/101-1; 1/130; wx25-2 только вторые, частично озерненные початки, отнесены к частично полноценным. Линии 1/130-4; МП4в; МП4; wx25-1 обладали как частично выполненными, так и полностью выполненными вторыми початками. В нашем же опыте у линии МП4а; МП4 и их топкроссов с линией ГК26М урожай зерна вторых початков составил от общего объема 35–40 %. У линий МП4а; МП4в; МП4 урожайность вторых початков не имеет существенных различий относительно урожайности первых початков за счет их синхронного цветения. Среди остальных, более раннеспелых линий, урожайность вторых початков существенно отстает от урожайности первых (рисунок 1).

Вредители кукурузы наносят в отдельные годы больше ущерба, чем заболевания. Такое вредное действие вызвано тем, что помимо непосредственного механического действия на растения, насекомые являются и переносчиками болезней. Таким образом, именно насекомые занимают первое место по вредному воздействию на кукурузное растение.



Рисунок 1 – Растения линии многопочатковой кукурузы МП4а (слева) и гибрида (ГК26М×МП4а) (справа) в условиях предгорной зоны КБР

Основными злостными вредителями и болезнями кукурузы, возделываемой в Кабардино-Балкарии, являются: кукурузный мотылек (*Ostrinia nubilalis* Hbn), хлопковая совка (*Heliothis obsoleta* Farb.), пузырчатая головня (*Ustilago zeaе* (Beckm.) Unger), фузариоз початка (*Fusarium moniliforme* Sheld.).

В процессе исследований на естественном фоне заражения замечено, что образцы кукурузы, имеющие опушение стеблей и закрытые верхушки початков с плотными их обертками, слабо поражались совкой (*Heliothis obsoleta* Farb.). Линии с выступающими над обертками початком и не опушенным стеблем поражались совкой гораздо сильнее. Среди изученных линий кукурузы наиболее восприимчивыми к хлопковой совке оказались 1/101p; 1/14x; 1/67-1; vp; 1/78; 1/66, а по устойчивости выделены линии 1/73; 1/73x; МП4.

В результате проведения исследований на устойчивость к кукурузному мотыльку выделены линии с высокой частотой повреждения на естественном фоне: 1/754; 1/130-3; 1/130-1; 1/101-1x; 1/66-3; 1/67; 1/15x; 1/135; 1/129 R; 1/35-1; 1/72; 1/58. Линии 1/130-4; 1/78; 1/66; МП4-1; МП4; wx25-1; wx25-2: 1/754; 1/130-3; 1/130-1; 1/101-1x; 1/66-3 повреждались в меньшей степени, но в период созревания початков наибольшее повреждение ножки початков наблюдали у линии 1/101-1x.

Анализ устойчивости восстановленных линий к основным болезням кукурузы на естественном фоне заражения показал высокие значения резистентности к пузырчатой головне линий: 1/67; 1/99-1-3; 1/66-2; 1/130-2x; 1/130-4; 1/70; 1/135; 1/75; 1/101-1x; 1/66-3; 1/101p; 1/129R; 1/35-1; 1/72; 1/60; 1/35-2; 1/64-2; 1/78; 1/66; 1/58; 1/67-1; 1/101-2x; 1/73; 1/99-2-3; 1/99-3-3; 1/73x; w143; МП4; МП4а; МП4в; wx2n 25-1, к фузариозу: 1/130-1x; 1/130x; 1/40x; 15x; 1/14x; 1/67; 1/99-1-3; 1/66-2; 1/130-2x; 1/130-4; 1/70; 1/135; 1/75; 1/101-1x; 1/66-3; 1/101p; 1/129R; 1/35-1; 1/72; 1/60; 1/35-2; 1/64-2; 1/78; 1/66; 1/58; 1/67-1; 1/101-2x; 1/73; 1/99-2-3; 1/99-3-3; 1/73x; w143; МП4; МП4а; МП4в; wx2n; 25-1. Среди изученных образцов выделено две линии, высокоустойчивых к фузариозу початка (МП4а; МП4). В процессе изучения выделены слабо поражаемые, средне поражаемые и неустойчивые образцы. Линия клф-5 показала повышенную поражаемость пузырчатой головней и фузариозом початка.

При селекционном отборе на устойчивость к стрессорным факторам среды исследователи обращают внимание в первую очередь на способность растительных

организмов полноценно осуществлять свои основные жизненные функции в неблагоприятных условиях внешней среды. Анализ результатов испытания восстановленных линий кукурузы на устойчивость к полеганию позволил выделить 24 линии с очень высокой и восемь линий с высокой устойчивостью к полеганию. Значения засухоустойчивости у изученных образцов показали, что среди них в лабораторных условиях по этому признаку выделяются среднеустойчивые линии 1/15х; 1/66-3, и низко устойчивые линии wx25-1; wx25-2. Высокоустойчивые линии не обнаружены в лабораторных условиях. Проведенный анализ холодостойкости показал, что линии wx25-1; wx25-2; клф-5 имеют лучшие значения всхожести в лабораторных условиях. Причем при накоплении доли гомозигот во время инцухта значения холодостойкости снижаются.

Основными компонентами биохимического состава зерна кукурузы, определяющими его вкусовые качества, являются белки, жиры, углеводы и зольные элементы. Эндосперм зерновки кукурузы содержит различные сочетания питательных веществ в зависимости от консистенции зерна и его принадлежности к тому или иному подвиду. Проведенный сравнительный анализ с лучшими гибридами (St.) показал повышенное содержание белка и масла в зерне гибридной комбинации (ГК26М×МП4в), тогда как по количеству крахмала в среднем они уступают гибридам (ГК26М×1/130-4) и (ВИР44×wx143) (таблица 4).

Таблица 4 – Химический состав зерна лучших фертильных топкроссов (2015 г.)

Гибрид	Урожайность зерна, т/га	Содержание веществ, %		
		крахмал	белок	масло
Родник 292 МВ (St.)	6,15	65,2	8,8	3,1
КР703М×1/99-3-3	6,90	66,2	8,2	4,8
КР714М×1/60	7,32	65,5	7,6	5,2
ГК26М×1/130-4	8,73	69,1	8,3	3,0
ГК26М×1/130-3	8,94	67,0	8,7	4,8
ГК26М×МП4в	9,42	65,9	9,2	3,0
ГК26М×wx25-2	4,29	67,4	7,5	3,8
ГК26М×wx25-1	3,03	68,1	8,1	3,1
ВИР44×wx25-2	3,78	68,5	9,0	4,0
ВИР44×wx143	4,53	69,1	8,4	4,0
НСР ₀₅	0,23	0,11	0,33	0,26

Одним из селекционно ценных признаков, имеющих важное значение при изучении новых самоопыленных линий, является оценка их по реакции на цитоплазматическую мужскую стерильность (ЦМС). Оценка редиплоидных линий по реакции на «М» тип ЦМС показала, что среди изученных линий выявлены как восстановители, так и закрепители, а также в незначительной степени – полувосстановители стерильности (таблица 5).

Тестерами послужили простые стерильные линии с «М» типом ЦМС КР703М, КР714М и ГК26М. Установлено, что линии 1/58; 1/66-2; 1/67-1; 1/99-2-3; 1/130-2; 1/135; МП4а; МП4в; wx25-2 полностью (Хср = 97,7 % стерильности) закрепили стерильность тестеров «М» типа. Линии 1/99-1-3; 1/130; 1/70; 1/130х; 1/75; 1/130-3; 1/130-1; 1/101-1х; 1/101р; 1/130-1х; 1/129R; 1/35-1; 1/72; 1/60; 1/35-2; 1/64-2; 1/130-4; 1/78; 1/66; 1/14х; 1/99-3-3; 1/73х; 1/122; PUNO 04; вр; w143; клф-5 являются универсальными восстановителями фертильности: доля цветущих растений составила не ниже 98,5–99,2 %.

Таблица 5 – Реакция редиплоидных линий кукурузы на «М» тип ЦМС

Реакция на «М» тип ЦМС	Линия
Закрепители	1/58; 1/66-2; 1/67-1; 1/99-2-3; 1/130-2; 1/135; МП4а; МП4в; wx25-2
Восстановители	1/99-1-3; 1/130; 1/70; 1/130х; 1/75; 1/130-3; 1/130-1; 1/101-1х; 1/101р; 1/130-1х; 1/129R; 1/35-1; 1/72; 1/60; 1/35-2; 1/64-2; 1/130-4; 1/78; 1/66; 1/14х; 1/99-3-3; 1/73х; 1/122; PUNO 04; вр; w143; клф-5

Эти линии целесообразнее использовать как отцовскую форму в простых и трехлинейных гибридах, семеноводство которых ведется на стерильной основе «М» типа. Выделенные в опыте линии-полувосстановители (полузакрепители) нуждаются в дальнейшем инцухте и доведении их до полной восстановительной или закрепительной способности. Всего выделено шесть линий с полувосстановительной способностью. Для определения комбинационной способности восстановленных диплоидных линий кукурузы были использованы в качестве материнских форм тестеры «М» типа стерильности селекции КНИИСХ имени П. П. Лукьяненко. Результаты испытаний топкроссов представлены в таблице (таблица 6).

Таблица 6 – Урожайность зерна лучших фертильных топкроссов и их стандартов (2015 г.)

Гибрид	Урожайность зерна, т/га	Уборочная влажность зерна, %	Всходы–цветение 50 % початков	Период вегетации, дней	Отклонения от лучшего стандарта
Родник 292 МВ (St.)	6,15	17,2	53	106	–
КР703М×1/99-3-3	6,90	16,0	54	108	0,75
КР703М×1/135	6,15	16,9	55	110	0,00
КР714М×1/60	7,32	17,7	57	114	1,92
КР714М×1/72	6,27	17,5	57	114	0,12
КР714М×1/130-1	6,45	19,1	57	114	0,30
КР714М×1/130	6,45	18,5	55	110	0,30
ГК26М×1/130-4	8,73	18,8	56	112	2,58
ГК26М×1/130-3	8,94	18,3	59	118	2,79
ГК26М×МП4в	9,42	19,3	59	118	3,27
НСР ₀₅	0,23	–	–	–	–

Анализ значений урожая зерна показал, что из девяти гибридных комбинаций достоверные отличия имеют семь гибридов, из которых существенные отличия в пределах НСР₀₅ имеют комбинации (КР703М×1/99-3-3); (Кр714М×1/60); (ГК26М×1/130-4); (ГК26М×1/130-3); (ГК26М×МП4в). Отклонения этих гибридов от стандарта варьирует в пределах трех и более НСР от 1,92 до 3,27 т/га при НСР₀₅ 0,23 т/га. Остальные комбинации показали варьирование в пределах от 0,00 до 0,30 т/га.

Выводы

Апробация метода экспериментального восстановления диплоидных линий кукурузы из тетраплоидных популяций показала, что восстановление диплоидных генотипов проходит с частотой, близкой к 50 %. Выделенные в процессе опыта линии свободно скрещиваются с другими диплоидными генотипами, дают плодовитое потомство и характеризуются многими селекционно ценными признаками.

Селекционная оценка восстановленных диплоидных линий, показала распределение по группам спелости ФАО от 100 до 500 среди которых выделено 12

раннеспелых линий, три линии с крупным зерном, восемь линий с высокой комбинационной способностью. Созданы 13 линий-доноров признака многопочатковости. Выделены 27 линий-восстановителей фертильности кукурузы и девять линий-закрепителей ЦМС «М» типа стерильности, обладающих устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды, высокой питательной ценностью.

Оценка хозяйственной ценности морфобиологических признаков восстановленных линий показала широкую фенотипическую изменчивость по основным хозяйственно ценным признакам. Варьирование значений коэффициента вариации (CV) находится в пределах от 3,1 до 21 %.

Тестирование восстановленных линий на ОКС и СКС в топкроссных скрещиваниях позволило выявить пять гибридных комбинаций; с высокой комбинационной способностью и урожаем зерна выше стандарта от 1,92 до 3,27 т/га при НСР₀₅ 0,23 т/га.

Гибридная комбинация кукурузы (ГК26М×МП4в) характеризуется повышенным содержанием белка (до 9,2 %), а гибридная комбинация (КР714М×1/60) – повышенным содержанием масла (до 5,2 %) в зерне.

Работа выполнена в рамках государственного задания ВИР (0662-2018-0007, 0662-2018-0010, 0662-2018-0015, 0662-2018-0017, 0662-2018-0020) по изучению коллекции генетических ресурсов растений ВИР.

Литература

1. Зерновые культуры (Выращивание, уборка, доработка и использование) / Под общ. ред. Шпаара Д. М.: ИД ООО «DLV АГРОДЕЛО», 2008. 656 с.
2. Кагермазов А. М., Хатефов Э. Б. Основные направления селекции тетраплоидной кукурузы в Кабардино-Балкарии. Нальчик: «Полиграфсервис и Т», 2010. С. 242.
3. Хатефов Э. Б., Кагермазов А. М., Шорохов В. В. Селекция многопочатковой кукурузы в КБНИИСХ // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Золотое наследие академика ВАСХНИЛ М. И. Хаджинова». Краснодар: Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени П. П. Лукьянова, 2009. С. 65–71.
4. Казанков А. Ф., Пономаренко Л. А., Результаты селекции гибридной кукурузы на двухпочатковость. Материалы заседания ЕУКАРПИЯ: «Селекция кукурузы и сорго». Краснодар, 1979. С. 195–204.
5. Шмараев Г. Е. Генетика количественных и качественных признаков кукурузы. СПб.: ВИР, 1995. 168 с.
6. Методы изучения минералогического состава и органического вещества почв // Под ред. Рабочева Н. С. Ашхабад, 1975. 216 с.
7. Григорьев О. Н. Современные методы исследования физико-химических свойств почв. Вып. 3. М.: АН СССР, 1948. 185 с.
8. Методические указания по изучению и поддержанию образцов коллекции кукурузы. Л.: ВАСХНИЛ, ВИР, 1985. 50 с.
9. Методические указания по производству гибридных и сортовых семян кукурузы. М.: Колос, 1975. 168 с.
10. Методические указания по селекции кукурузы. М.: ВАСХНИЛ, ВНИИ кукурузы, 1982. 56 с.
11. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов *Zea mays* L. Л.: ВИР, 1977. 82 с.
12. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство // Под ред. Удовенко Г. В. Л.: ВИР, 1988. 227 с.
13. Основные методы фитопатологических исследований // Под ред. Чумакова А. Е. М.: Колос, 1974. 192 с.
14. Методы биохимического исследования растений. Изд. 2-е, перераб. и доп. // Под ред. Ермаков А. И. Л.: Колос. 1972. 456 с.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. С. 112–146.
16. Методические рекомендации по применению математических методов анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. Харьков: ВАСХНИЛ. Укр. НИИ растениеводства, селекции и генетики имени В. Я. Юрьева, 1980. 76 с.
17. Савченко В. К. Генетическое изучение триплоидных гибридов сахарной свеклы и их родительских форм. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Минск: Институт генетики и цитологии АН БССР, 1966. 25 с.

References

1. Cereals (Cultivation, harvesting, improvement and use) // Under edition of Shpaar D. Moscow: Publishing and printing center "DLV AGRODELO OOO" (Limited Liability Company), 2008. 656 p.
2. Kagermazov A. M., Khatefov E. B. The main directions of selection of tetraploid maize in Kabardino-Balkaria. Nalchik: "Polygraphservice and T", 2010. P. 242.
3. Khatefov E. B., Kagermazov A. M., Shorokhov V. V Selection of multi-ear corn in Kabardino-Balkaria Research Institute of Agriculture (KBNIISH) // Collection of scientific works of the International Scientific and Practical Conference "Golden Heritage of M. I. Khadzhinov – Academician of All Russian Academy of Agricultural Sciences (VASKhNIL)". Krasnodar, 2009. P. 65–71.
4. Kazankov A. F., Ponomarenko L. A. Results of selection of hybrid corn for double-hammering for two ears per stalk. Materials of the meeting of EUCARPIA: "Selection of corn and sorghum". Krasnodar, 1979. P. 195–204.
5. Shmarayev G. E. Genetics of quantitative and qualitative characteristics of corn. Saint-Petersburg: The N. I. Vavilov All-Russian Institute of plant genetic resources. 1995. 168 p.
6. Methods of studying the mineralogical composition and organic matter of soils // Ed. by Rabochev N. S. Ashgabat, 1975. 216 p.
7. Grigoriev O. N. Modern methods of investigation of physical and chemical properties of soils. Iss. 3. Moscow: USSR Academy of sciences, 1948. 185 p.
8. Methodological guidelines for the study and maintenance of samples of the maize collection. Leningrad: VASKhNIL, The N. I. Vavilov All-Russian Institute of plant genetic resources, 1985. 50 p.
9. Methodical instructions for the production of hybrid and varietal corn seeds. Moscow: Kolos, 1975. 168 p.
10. Methodological guidelines for the selection of corn. Moscow: VASHNIL, Institute of corn, 1982. 56 p.
11. The wide unified COMECON classifier and the COMECON international classifier of species *Zea mays*. Leningrad: The N. I. Vavilov All-Russian Institute of plant genetic resources, 1977. 82 p.
12. Diagnostics of resistance of plants to stressful influences: methodical guidance / Under edition of Udovenko G. V. Leningrad: The N. I. Vavilov All-Russian Institute of plant genetic resources, 1988. 227 p.
13. Basic methods of phytopathological research // Ed. by Chumakov A. E. Moscow: Kolos, 1974. 192 p.
14. Methods of Biochemical Research of Plants. 2nd, revised. and additional // Ed. by Ermakov A. I. Leningrad: Kolos, 1972. 456 p.
15. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. P. 112–146.
16. Methodical recommendations on the application of mathematical methods for the analysis of experimental data on the study of combinatorial ability. Kharkov: VASKhNIL. Ukr. Research Institute of Plant Production, Breeding and Genetics named after V. A. Yur'ev, 1980. 76 p.
17. Savchenko V. K. Genetic study of triploid hybrids of sugar beet and their parental forms. Authors' abstract diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Minsk: Institute of Genetic and Cytology AC BSSR, 1966. 25 p.

UDC 633.15: 631.52

Khatefov E. B., Kerv Yu. A., Boyko V. N., Golovina M. A., Appaev S. P.

EXPANSION OF THE GENETIC POLYMORPHISM OF THE INITIAL SELECTION MATERIAL OF CORN BY THE METHOD OF RE-DIPLOIDIZATION OF TETRAPLOID POPULATIONS

Summary. *The problem of searching for new sources of selection-valuable features of maize (*Zea mays* L.) with a large genetic polymorphism requires breeders to create and improve the effectiveness of methods for obtaining the initial selection material. The aim of the research is to study the effectiveness of the method of re-diploidization of tetraploid populations to create a source material for hybrid selection. As a part of the research next tasks have been fulfilled: the evaluation of selection-valuable traits that are of importance in hybrid maize breeding, identification of sources and donors of genes controlling valuable phenotypic features, as well as determination of practical significance of the new initial material for the selection. To conduct the research, we used methods of decomposition of the triploid hybrid progeny between a tetraploid population with a broad genetic basis and a diploid line, with subsequent selection of re-diploid genotypes. The study of the lines and their topcrosses was carried out under the conditions of the foothill zone of Kabardino-*

Balkaria, where the combinational ability and the reaction to CMS of the "M" type of other quantitative and qualitative characteristics having a breeding value were investigated. As a result of the studies, new lines of re-diploid corn from tetraploid populations were distinguished, characterized by many selective-valuable features such as early ripeness, productivity, and high combinational ability. Donors of multi-earness had been created; they transmit the trait according to the incomplete type of inheritance in hybrid combinations (13 lines). New corn lines had been identified as fertility restorers (27 lines) and CMS fixers based on the "M" type of sterility (9 lines), eight hybrid combinations exceeding the grain yield standard by 0.75–3.27 t/ha with least significant difference (LSD_{05}) = 0.23 t/ha were distinguished. The results of the studies are important for the development of the theoretical foundations of corn breeding, as well as for the creation of selectively valuable recombinants and donors of effective genes for hybrid breeding. The genetic polymorphism of the maize lines is expanded and enriched, which is of practical interest to breeders and researchers. Theoretical developments and the initial material are characterized by high grain productivity and resistance to biotic and abiotic stresses. The results of the work are important for the selection and private genetics of maize.

Keywords: corn *Zea mays* L., selection, re-diploidization, hybrid, combination ability, grain yield.

Хатефов Эдуард Балилович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, отдел крупяных культур, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова»; 190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44; Руководитель Кабардино-Балкарского опорного пункта ВИР «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра РАН»; 360004, Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, ул. Кирова, 224; e-mail: haed1967@rambler.ru.

Керв Юлия Алексеевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, отдел биохимии и молекулярной биологии ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова»; 190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44.

Бойко Владислав Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Филиал Кубанской опытной станции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова Российской академии сельскохозяйственных наук»; 352183, Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, ул. Центральная, 2.

Головина Мария Анатольевна, научный сотрудник, карантинного питомника Филиал Кубанской опытной станции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова Российской академии сельскохозяйственных наук»; 352183, Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, ул. Центральная, 2.

Аппаев Сафар Пахаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук»; 360004, Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, ул. Кирова, 224.

Khatefov Eduard Balilovich, Dr. Sc. (Biol.), leading researcher, groat crop genetic resources Department, N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources; 42-44, Bolshaya Morskaya Str., Saint-Petersburg, 190000, Russia. Head of the Kabardino-Balkar reference point of the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Scientific Research Institute of Agriculture of the KBSC of the Russian Academy of Sciences; 224, Kirova str., Nalchik, Republic of Kabardino-Balkaria, 360004, Russia; e-mail: haed1967@rambler.ru.

Kerv Yulia Alekseevna, Cand. Sc. (Biol.), researcher, Department of biochemistry and molecular biology of N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources; 42-44, Bolshaya Morskaya Str., Saint-Petersburg, 190000, Russia.

Boyko Vladislav Nikolaevich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher at the Branch of the Kuban experimental station of the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources; 2 Tsentralnaya str., Gulkevichskiy district, Krasnodar region, 352183, Russia.

Golovina Maria Anatolievna, researcher at the quarantine nursery of the Branch of the Kuban experimental station of the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources; 2 Tsentralnaya str., Gulkevichskiy district, Krasnodar region, 352183, Russia.

Appaev Safar Pakhaovich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, Laboratory of corn selection and seed production, Scientific Research Institute of Agriculture of the KBSC of the Russian Academy of Sciences; 224, Kirova str., Nalchik, Republic of Kabardino-Balkaria, 360004, Russia.

Дата поступления в редакцию – 01.07.2018.

Дата принятия к печати – 26.08.2018.