

УДК 631.527

## СОЗДАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СЕЛЕКЦИОННОЙ ЦЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ ИЗ ТЕТРАПЛОИДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ В УСЛОВИЯХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

<sup>1</sup>Э. Б. Хатефов, доктор биологических наук, научный сотрудник

<sup>2</sup>А. В. Хачидогов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

<sup>2</sup>А. М. Кагермазов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

<sup>2</sup>Б. Р. Шомахов, старший научный сотрудник

<sup>2</sup>Р. С. Кушхова, научный сотрудник

<sup>1</sup>Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова

E-mail: khatefov@vir.nw.ru

<sup>2</sup>Институт сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра РАН

E-mail: kbniish2007@yandex.ru

**Ключевые слова:** кукуруза, полиплоидия, теосинте, трипсакум, филогения, диплоид, тетраплоид, гибридизация, селекция.

Реферат. Современная селекция гибридной кукурузы требует постоянного обновления и расширения разнообразия исходного селекционного материала. Для этого применяются многообразные методы и в том числе полиплоидия. Первые экспериментальные полиплоиды показали перспективность этого направления в селекции, за исключением зерновых культур. Первые автополиплоиды зерновых культур показали низкую женскую и мужскую фертильность. Мнения ученых по поводу причин, приводящих к низкой плодовитости автополиплоидов зерновых, разнились. В. С. Щербак и Э. Б. Хатефов выдвинули гипотезу о возможном повышении зерновой продуктивности путем проведения длительного рекуррентного отбора в тетраплоидных популяциях с целью «диплоидизации» сырых тетраплоидов. Результаты их исследований показали, что чем выше генетическая основа и генетический полиморфизм генома тетраплоидной кукурузы, тем выше ее плодовитость. В процессе взаимодействия мультивалентных ассоциаций хромосом в тетраплоидном геноме происходит «геномный шок». В процессе селекционного отбора высокоплодовитых генотипов происходят сложные межхромосомные перестройки между четырьмя гомологичными хромосомами. Следовательно, возможно предположить, что полиморфизм таких хромосом будет больше при хиазменном взаимодействии между гомологичными хромосомами разных по происхождению родительских пар. Разложив такую тетраплоидную популяцию на диплоидные гомозиготные линии, можно ожидать большего полиморфизма, чем при обычном парном скрещивании двух диплоидных линий. Основываясь на этом предположении, были проведены исследования по разложению тетраплоидной популяции на гомозиготные диплоидные линии с последующим подробным анализом их селекционной ценности. Результаты исследований показали эффективность метода редиплоидизации с целью получения исходного селекционного материала с широким полиморфизмом изменчивости признаков и их селекционную ценность.

## CREATION AND STUDY OF THE SELECTION VALUE OF RESTORED CORN LINES FROM TETRAPLOID POPULATIONS IN THE CONDITIONS OF KABARDINO-BALKARIA.

<sup>1</sup>E. B. Hatefov, Dr.Sci.Biol., research associate

<sup>2</sup>A.V. Khachidogov, candidate of agricultural sciences, research associate

<sup>2</sup>A.M. Kagermazov, candidate of agricultural sciences, senior research associate

<sup>2</sup>B. R. Shomakhov, senior research associate

<sup>2</sup>R. S. Kushkhova, research associate

<sup>1</sup>FSBSU FIC All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov.

<sup>2</sup>FSBSU, Institute of Agriculture, Kabardino-Balkarian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 360004, KBR.

**Key words:** corn, polyploidy, theosinte, trypsaicum, phylogeny, diploid, tetraploid, hybridization, selection.

*Abstract. The modern selection of hybrid maize requires constant updating and expansion of the diversity of the original selection material. For this purpose, it is used a variety of methods, including polyploidy. The first experimental polyploidy showed the promise of this direction in breeding except for grain crops. The first autopolyploids of grain crops showed low female and male fertility. The opinions of scientists about the causes leading to low fertility of autopolyploid cereals, varied. V.S. Scherbak and E. B. Khatefov put forward a hypothesis about a possible increase in grain productivity by conducting a long recurrent selection in tetraploid populations in order to «diploidize» raw tetraploids. The results of their studies showed that the higher the genetic basis and genetic polymorphism of the genome of tetraploid maize, the higher its fertility. In the process of interaction of multivalent chromosome associations in the tetraploid genome, a «genomic shock» occurs. In the process of selection of highly prolific genotypes, complex interchromosomal rearrangements occur between four homologous chromosomes. Consequently, it is possible to expect that the polymorphism of such chromosomes will be greater for a chiasmatic interaction between homologous chromosomes of different parent pairs. Having decomposed such a tetraploid population into diploid homozygous lines, it is possible to expect greater polymorphism than with the usual pair crossing of two diploid lines. Based on this assumption, studies were carried out on the decomposition of the tetraploid population into homozygous diploid lines followed by a detailed analysis of their breeding value. The results of the studies showed the effectiveness of the method of re-fertilization with the aim of obtaining the initial selection material with a broad polymorphism of the variability of the characteristics and their breeding value.*

Кукуруза – одна из важнейших зерновых культур в мире. Доля её в мировом зерновом балансе составляет более 30%, а объем ежегодного валового производства в последние годы равен 660–686 млн т. За последние 60 лет площади посева кукурузы увеличились с 87 до 146 млн га, валовое производство зерна – на 622%, а средняя урожайность в мире – с 12,7 до 46,9 ц/га [1].

Расширение посевов кукурузы и повышение ее урожайности является результатом селекционного прогресса, благодаря которому возросла продуктивность гибридов и существенным образом повысилась их приспособленность к недостатку тепла в северных регионах кукурузосеяния. Существенную роль в росте урожайности гибридов кукурузы играют ее высокая пластичность и широкий генетический полиморфизм исходного селекционного материала. Исследователи создали множество селекционных направлений для расширения использования кукурузы. Одним из таких направлений является селекция на двухпочатковость. Исследования, проведенные В. Е. Козубенко, показали, что массовый отбор двухпочатковых генотипов растений способствовал увеличению продуктивности и засухоустойчивости отселектированных популяций. Современные успехи селекционеров России позволили создать и районировать гибриды кукурузы, дающие высокие урожаи зерна в широтах до 54-й параллели. В последние годы повышается спрос на продукты из пищевой кукурузы ввиду благоприятного сочетания углеводов, определяющих высокие вкусовые качества зерна.

Повышение эффективности селекционных мероприятий по созданию гибридов и популяций кормовой и пищевой кукурузы различных групп спелости, максимально адаптированных к условиям их возделывания, а также совершенствование методов ведения селекционного процесса с целью создания и изучения нового исходного материала и последующего вовлечения его в селекционный процесс остаётся актуальной проблемой.

Первые исследования тетраплоидной кукурузы была проведены в США в 1931 г. Л. Ф. Рандольфом [2]. Ему впервые удалось получить тетраплоидную кукурузу методом температурного шока. Первые в СССР тетраплоидные генотипы кукурузы были получены В. К. Шумным в СО РАН, В. А. Дзюбой под руководством Г. С. Галеева и Ф. Н. Парий под руководством Ю. П. Мирюты в начале 70-х годов XX в. [3, 4]. Но более широкие исследования тетраплоидной кукурузы были проведены в 60-х годах В. С. Щербак (1966–1973 гг.) под руководством М. И. Хаджинова в КНИИСХ им. П. П. Лукьяненко. [5–7]. В дальнейшем на основе полученного ими экспериментального материала были исследованы механизмы семенной плодовитости тетраплоидной кукурузы и в 2012 г. запатентован сорт тетраплоидной кукурузы Баксанская сахарная. Редиплоидизация тетраплоидных геномов с использованием гаплоиндукторов впервые были предложена Э. Б. Хатефовым и О. А. Шацкой [8]. Практическое получение ди-

плоидных линий из тетраплоидных популяций было осуществлено методом разложения триплоидных геномов Э. Б. Хатефовым в 2010 г.

Цель исследований – расширение генофонда исходного материала для селекции линий, гибридов и популяций кукурузы универсального назначения, изучение его хозяйственно-ценных признаков, дальнейшее совершенствование методов его создания.

Задачи исследований:

- апробировать метод по экспериментальному восстановлению диплоидных линий из тетраплоидных популяций кукурузы;
- создать и оценить восстановленные диплоидные линии для селекции гибридов кукурузы различных групп спелости зерно-силосного и пищевого использования;
- оценить хозяйственно-ценные морфобиологические признаки восстановленных линий;
- выявить у восстановленных линий эффекты ОКС и варианты СКС в топкроссных скрещиваниях, определить их реакцию на ЦМС М-типа;
- выделить у восстановленных линий и гибридов кукурузы образцы с высокой экологической стабильностью и технологическими качествами зерна, превышающими стандартные значения;
- оценить устойчивость восстановленных линий к абиотическим и биотическим факторам среды;
- изучить у восстановленных линий наследование признака многопочатковости;
- показать биохимические качества восстановленных линий и гибридов кукурузы;
- определить экономическую эффективность выделенных по урожаю зерна гибридов;
- разработать рекомендации для селекции по созданию и изучению диплоидных линий, восстановленных из тетраплоидных популяций.

Исследования проводили в период с 2013 по 2015 г. на территории ОПХ «Нартан» при КБНИИСХ. Селекционный участок расположен в пределах предгорной зоны Северного Кавказа, на водоразделе рек Урвань – Нальчик. Земельные угодья хозяйства относятся к Нартано-Урухскому почвенному району. Пересеченный рельеф местности способствует большому разнообразию почвенного покрова. В основном почвы представлены луговыми черноземами. Содержание гумуса в пахотном слое не превышает 2,64%, реакция почвы по всему почвенному профилю среднещелочная (рН 8,1) со средней емкостью поглощения в пахотном слое (32 мг/экв на 100 г почвы), которая постепенно уменьшается с глубиной. Содержание карбонатов в пахотном слое варьирует от среднего (6,7%) на поверхности до высокого (13,6–14,7%) на глубине. Обеспеченность почвы подвижным фосфором очень низкая (0,4 мг/ на 100 г почвы), а обменным калием – очень высокая (8 г/100 г).

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 за годы исследований было отмечено, что 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 кукурузного растения, что значительно снизило значения их урожайности.

Опыты по изучению линий и экспериментальных гибридов (тест-кроссов) кукурузы проводили по методикам ВИР (1980), Госкомиссии по сортоиспытанию и охране селекционных достижений (1989) с учетом общепринятой для зоны технологии возделывания кукурузы. Испытание линий проводили в двукратной, а тест-кроссов – в трехкратной повторности. Делянки двухрядковые площадью 4,9 м<sup>2</sup>. Ширина междурядий 0,7 м, густота стояния 50–60 тыс. растений на 1 га.

Испытания многопочатковых линий проведены в предгорной и степной зонах КБР. Агротехника во всех полевых опытах была общепринятой для условий предгорной зоны КБР. Фенологические наблюдения (дата появления всходов, выметывание, цветение метелок, появления 50% рылец, созревание), измерения и учеты (высота растения, высота прикрепления нижнего хозяйственно годного початка, число листьев, длина метелки, длина и диаметр початка, масса 1000 зерен) проводились согласно общепринятым методикам: «Методические указания по селекции кукурузы ВНИИК» (Днепропетровск, 1982), и методические указания ВИР «Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы» (Л., 1985). Измерения и учеты проводились на 10 растениях и 10 початках в двукратной повторности.

Биометрические измерения и их описания даны согласно широкому унифицированному классификатору СЭВ и международному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L. (1977). Коллекционные образцы были изучены на устойчивость к поражению пузырчатой головней, повреждению хлопковой совкой, кукурузной тлей, кукурузным мотыльком согласно методике ВАСХНИЛ «Основные методы фитопатологических исследований» (1974). Устойчивость к холоду и засухе определяли согласно методике «Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям» [9]. Химические анализы проводились по общепринятым методикам: «Руководство по анализу кормов» (М., 1983), «Методика оценки качества зерна» (М., 1987), «Методика биохимических исследований растений» (Л., 1986). Сырой протеин (белок) определяли по методике Кьельдаля, содержание масла – по методу Рушковского, который основан на способности к растворению масел в бензине или эфире; содержание крахмала – поляриметрическим методом по Эверсу. Статическую обработку данных проводили по методике Б. А. Доспехова [10]. Экспериментальные данные обрабатывали различными методами биометрической статистики.

Объектами исследований были среднепоздние тетраплоидные популяции (ФАО 460), созданные в КБНИИСХ и характеризующиеся повышенной засухоустойчивостью. На основе этих тетраплоидных популяций были выделены восстановленные диплоидные линии, которые были вовлечены в селекционный процесс. Метод восстановления диплоидных линий состоял в том, что среднепоздние тетраплоидные популяции скрещивали с раннеспелыми диплоидными линиями с целью получения триплоидных зерновок и смещения группы ФАО в сторону большей раннеспелости. На следующий год (2008) полученные триплоидные зерновки высевали в пластиковые стаканчики и проращивали до фазы 3–5 листьев. Затем проростки переносили в грунт, где они вегетировали до цветения и созревания початков. В период цветения триплоидные растения самоопылялись (инцухт). После уборки и сушки початков завязавшиеся на них зерновки разделяли по фракциям на 4n, 2n, 3n и анеуплоидные. Всего в 2009 г. было получено 53 предполагаемых восстановленных диплоидных варианта (генотипа) (табл. 1). Тестирование морфологическим методом (2009 и 2010 гг.) полученных генотипов (♂) на стерильные диплоидные тестеры (♀) позволило отделить тетраплоидные линии от диплоидных. Выбраковка проводилась по признаку завязывания полноценных диплоидных зерновок на початке тестера. В случае, если опылитель оказывался диплоидом, то на початке завязывались полноценные зерновки, а в случае, когда опылитель был тетраплоидным, то на тестерных початках завязывались триплоидные зерновки.

Таблица 1

**Схема получения восстановленных диплоидных линий кукурузы из тетраплоидных популяций методом гибридизации**

Год	Потомство				
2007	2n x 4n				
2008	3n				
2009	4n	2n	3n	Xn – 1	Xn + 1
2010	4n	2n	Брак	Брак	Брак
2011	Архив	2n			
2012		2n			
2013		2n			
2014		Топкросс			
2015		Изучение			

Если растение было анеуплоидным, то на тестерном початке завязывались различные зерновки смешанной плоидности. Все восстановленные диплоидные генотипы заложены в коллекцию ВИР в 2015 г.

По группам спелости восстановленные диплоидные линии были представлены по классификации ФАО от 100 до 600. В качестве тестеров для топкроссов были использованы фертильные и стерильные линии, такие как КР703М, КР714М селекции КНИИСХ им. П. П. Лукьяненко и ГК26М селекции КБНИИСХ, а также фертильная линия с цитоплазмой N-типа – ВИР 44.

Для сравнения урожая зерна с районированными гибридами в качестве стандартов были использованы среднеранний и раннеспелый гибриды с «С -» и «М -» типами стерильности. Эти гибриды

возделываются на территории Российской Федерации на зерно и силос. Они характеризуются высокой урожайностью зерна и силосной массы (табл. 2).

Таблица 2

**Характеристика стандартных гибридов по ЦМС и группам спелости (ФАО)**

Гибриды	ФАО	Оригинатор	Плазма ЦМС
Родник 292МВ	200–300	АФ ОТБОР	М
РИК 340 МВ	300–400	ВНИИК	М

Исследования морфобиологических признаков редиплоидных линий проведены согласно широкому унифицированному классификатору СЭВ и международному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L. 1977 г. Результаты исследований показали, что варьирование ( $C_v\%$ ) таких признаков, как группа спелости, высота растений, высота прикрепления нижнего початка, число листьев на растении, число веточек первого порядка на растении, масса 1000 зерен, общее число зерен в початке, выход зерна с початка, число рядов зерен в початке, число зерен в ряду, 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 КБР, к абиотическим воздействиям окружающей среды и полеганию, консистенция и химический состав зерновки, реакция ЦМС в топкроссах, общая и специфическая комбинационная способность, 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 оценка длительности фенологических фаз проводилась в климатических условиях, сложившихся для этой зоны за годы исследований. Все образцы изученных коллекций были разделены по группам спелости ФАО (табл. 3). В процессе анализа признака числа зерен на початке линии были распределены 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 более 400 шт, меньшие значения имеют линии 1/58, 1/122, мп4а, мп4в, мп4. Низкую плодовитость имеют линии 1/130, 1/14, 1/70, 1/130–4, run-04, вр, wx123, wx25–1, wx25–2. Остальные линии имели среднее значение плодовитости, которое варьировало от 200 до 360 зерен в початке.

Таблица 3

**Распределение тестеров и восстановленных линий диплоидной кукурузы и стерильных образцов по группам спелости ФАО**

Группа	ФАО	Период вегетации	Линии	$C_v$ , %
Раннеспелая	100-200	90-100 (94)*	(КР703М)** 1/99-1-3, 1/70, 1/15, 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
Среднеранняя	201-300	100-115 (108)*	(Кр714М)** 1/130, 1/135, 1/75, 1/130-3, 1/130-1, 1/72, 1/60, 1/35-2, 1/64-2, вр, 1/130-4, 1/14х, 1/101-2, 1/73, 1/122, runo 04, мп4а, wx25-2	21,0
Среднеспелая	301-400	115-120 (120)*	(Гк26М)** 1/67, 1/66-2, 1/130х, 1/101-1, 1/130-1, 1/130-2, 1/58, wx143, мп4в, wx25-1	11,7
Среднепоздняя	401-500	120-130 (128)*	(ВИР44) 1/40, 1/129R, 1/78, 1/66	3,9

\* Период вегетации (дней) стерильных тестерных линий.

\*\*Стерильные тестерные линии.

Следует отметить, что длиннозерные формы имели более плотное и компактное расположение зерен в початке, чем у обычных шаровидных зерен. Во втором случае рядки располагались более рыхло и менее компактно, рядки часто сбивались и не имели четко выраженной линейности. Возможно, такое изменение линейности вызвано низкой завязываемостью зерен, что косвенно указывает на ее засухоустойчивость. Значение признака «выход зерна с початка» имеет тесную корреляцию с числом зерен

в початке, и этот признак очень важен при расчетах побочной продукции. Исследования выхода зерна с початка среди восстановленных линий диплоидной кукурузы показали, что варьирование признака находится в широких пределах – от 66 до 85%. Основная часть линий характеризовалась средними (1/99–1–3, 1/70, 1/15х, 1/66–3, 1/130–2х, 1/78, 1/58, 1/99–2–3, 1/99–3–3, 1/73х, вр, мп4, мп4в) и высокими (1/135, 1/101р, 1/130–1х, 1/60, 1/64–2, 1/130–4, 1/66, w143, мп4а, клф№ 5) значениями выхода зерна с початка. К линиям с низким (1/66–2; 1/130, 1/130х, 1/129R, 1/14х, 1/101–2х, 1/122, wx25–1) и очень высоким выходом зерна с початка (1/40х, 1/130–3, 1/101–1х, 1/35–1, 1/72, 1/35–2, 1/73, wx25–2) отнесены по 8 линий. Остальные линии – к группе с очень низким значением.

Признаки крупности и массы зерна представляют собой неотъемлемую часть структуры урожая кукурузы. В проведенных нами исследованиях по признаку «масса 1000 зерен» было выделено несколько образцов, обладающих мелкими, средними, крупными и очень крупными зёрнами (табл. 4).

Таблица 4

**Характеристика линий кукурузы по признаку «масса 1000 зерен» (2013 – 2015 гг.)**

Масса 1000 зерен	Значения, г	Линии	Число линий	Cv, %
Очень малая	-120			
	121-160	1/130х, 1/14х	2	12,8
Малая	161-200	1/70, 1/130-4, рупо 04, вр, wx143, wx25-1, wx25-2	7	10,3
	201-240	1/101-1х, 1/101р, 1/130-2х	3	6,9
Средняя	241-280	1/40х, 1/67, 1/99-1-3, 1/15х, 1/135, 1/67-1, 1/101-2х	7	6,6
	281-320	1/66-2, 1/130, 1/130-3, 1/130-1х, 1/129R, 1/35-1, 1/60, 1/35-2, 1/73, 1/99-3-3	10	13,5
Большая	321-360	1/75, 1/66-3, 1/72, 1/78, 1/66, 1/73х	6	15,6
	361-400	1/58, 1/99-2-3, 1/122, мп4а, мп4в, клф-5	6	12,9
Очень большая	401-	1/130-1, 1/64-2, мп4	3	14,8

Исследования линий восстановленной диплоидной кукурузы позволили 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 выше, чем в малорядных початках с тонким стержнем, но при этом возрастает скорость влагоотдачи зерном при созревании.

Были выделены линии, характеризующиеся высокими значениями количества рядков в початке и количества зерен в рядке в каждой группе спелости. Наибольшие значения признака «многорядность початка» наблюдались у линий 1/40х, 1/99–1–3, 1/66–3, 1/101р, 1/66, wx25–2, клф-5.

Значения признака «число зерен в ряду початка» не менее важны для селекционеров, поскольку являются показателями потенциала продуктивности. Изучение этого признака показало, что варьирование значений находится в пределах от 14 до 40 зерен в ряду початка, что соответствует малому и среднему значениям. Максимальное число зерен в ряду имеют линии 1/130–2, 1/99–2–3, wx143, wx25–2, а минимальные значения отмечены у линий рупо-04, 1/130, 1/135, 1/75, 1/130–3, 1/130–1, 1/72, 1/64–2, 1/122, вр. Число рядов зерен в початке тесно коррелирует с признаком «длина початка» с той разницей, что селекционер может выбрать по этому признаку линии с компактным либо разреженным расположением зерен в початке. А это, в свою очередь, влияет на форму зерновки и скорость влагоотдачи початком при созревании. Значения признака «длина початка» распределились в пределах между 10 и 22 см. Большая часть линий относятся к початку со средней длиной (14–18 см). К линиям с очень длинным початком отнесены 1/130, 1/130–3, 1/130–1х, 1/60, у которых значения признака выше 22 см. Следует отметить, что линия мп4 относится к группе как с длинным, так и с многорядным початком.

В проведенных нами исследованиях для оценки изученных образцов на признак многопочатковости мы определяли коэффициент многопочатковости, который показывает усредненное число початков на одном растении. Для этого проводили подсчет растений на делянке и числа полноценных початков с делянки. Делением суммы числа початков на число растений определяли коэффициент многопочатковости. Среди изученных в опыте образцов было выделено несколько групп, склонных к многопочатковости (мп-линии) (табл. 5). 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 початки, которые были частично озерненными, нами отнесены к частично полноценным. Линии 1/130–4, мп4в, мп4, wx25–1 характеризовались как частично, так и полностью выполненными вторыми початками. В нашем же опыте у линии мп4а и ее топкроссов с линией ГК 26М урожай зерна вторых початков составил от общего объема 35–40%.

Таблица 5

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

Число початков	Значения, шт.	Линии	Число линий	Св, %
Очень малое	До 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, рино 04, вр, wx143, клф-5	31	17,5
Малое	1,1–1,5	1/66–2, 1/130, 1/130х, 1/66–3, 1/130–1х, 1/58, wx25–2, мп4	8	14,0
Среднее	1,6–2,0	1/72, 1/130–4, мп4в, wx25–1	4	3,5
Большое	2,1–3,0	мп4а	1	3,1

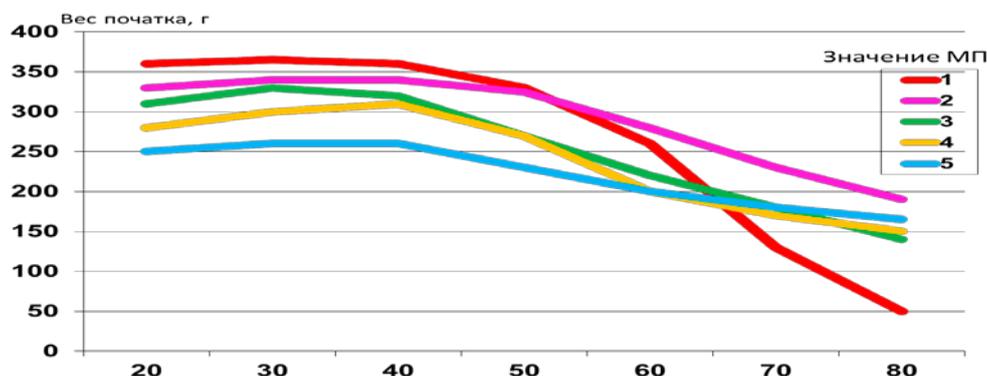
У среднепоздних линий мп4а, мп4в, мп4 урожайность вторых початков не имеет существенных отличий относительно первых за счет их синхронного цветения. Среди остальных более раннеспелых линий урожайность вторых початков существенно отстает от урожайности первых. Анализ значения числа и массы початков в степной и предгорной зонах КБР у восстановленных многопочатковых линий диплоидной кукурузы показал, что в степной зоне, где выпадает меньше осадков, масса початка с растения уступает стандарту. Но при подсчете массы початка с растения все многопочатковые линии существенно опережают стандарт (табл. 6).

Таблица 6

Характеристика восстановленных линий кукурузы по числу ( $k_{мп}$ ) и массе початков (г) в степной и предгорной зонах КБР (2013г.)

Линии	Степная зона (А)		Предгорная зона (В)		Разность между А и В	
	$k_{мп}$	масса 1-го початка	$k_{мп}$	масса 1-го початка	масса початка	масса с растения
ГК26М St	1,1	265	1,8	325	60	60,0
мп4	2,0	85	2,2	160	75	150,0
мп4а	2,2	110	2,5	187	77	169,4
мп4в	2,2	145	2,6	208	63	138,6
$X_{ср}$	2,13	113,3	2,43	185,0	71,6	152,6
$НСР_{0,05}$		16,3		11,8	17,1	

Для определения роли многопочатковости в формировании урожая при различной густоте были заложены опыты с многопочатковыми линиями. Испытания проводили на делянках с густотой стояния от 20 до 80 тыс./га. Анализ динамики числа початков на растении при загущенных посевах показал, что однопочатковые генотипы, имея преимущества при разреженном посеве от 20 до 50 тыс./га, теряют свои лидирующие позиции уже при 55–60 тыс./га, уступая ее двухпочатковым генотипам (рисунок).



Регрессия изменения числа и массы початков на растении от густоты стояния в поле у различных по признаку многопочатковости линий кукурузы (2015 г.)

По результатам проведенного анализа линий и их топкроссов все линии можно разделить по способности передавать признак многопочатковости на 4 группы (табл.7).

Таблица 7

**Наследование признака многопочатковости восстановленных линий диплоидной кукурузы  
в топкроссах (2015 г.)**

Группы доноров	Линии	X <sub>к<sub>мп</sub></sub> по			±X <sub>ср</sub>
		линиям	тестерам	гибридам	
1-я группа – линии, формирующие более 1 початка и дающие в комбинациях с однопочатковыми тестерами более 1 початка на растении	1/58, 1/66-2, 1/130-4, мп-4а, мп-4, мп-4в, wx25-1, wx25-2	1,96	1,0	1,20	+0,20
2-я группа – линии, формирующие более 1 початка и дающие в комбинациях с однопочатковыми тестерами только 1 початок	1/101p, 1/101-1, 1/35-1, 1/130-1, 1/122, 1/72	1,05	1,0	1,0	
3-я группа – линии, формирующие 1 початок и дающие в комбинациях с однопочатковыми тестерами более 1 початка	1/15, 1/40, 1/64-2, 1/67, 1/73, 1/99-3-3, 1/130-2, 1/130-3, ВР, wx143	1,00	1,0	1,15	+0,15
4-я группа – линии, формирующие 1 початок и дающие с однопочатковыми тестерами только 1 початок	1/60, 1/66-3, 1/67-1, 1/70, 1/75, 1-99, 1/99-1-3, клф-5, 1/99-2-3, 1/101-2, 1/135, 1/130, 1/130-1, 1/129R, 1/35-2, 1/78, 1/66, 1/14, 1/73, puno-04	1,00	1,0	1,00	

Немаловажную роль в этом играет признак синхронности цветения початков в период пыления метелки. Когда синхронность цветения початков верхних и нижних ярусов нарушена, происходит резкое снижение озерненности початков нижних ярусов. При синхронном цветении початки верхних и нижних ярусов не имеют существенных различий по урожаю зерна.

В целом можно с уверенностью утверждать, что признак многопочатковости способствует увеличению урожая зерна кукурузы при загущении в сравнении с однопочатковостью.

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

Наиболее опасными вредителями и болезнями кукурузы, возделываемой в Кабардино-Балкарии, являются: *Ostrinia nubilalis* Hbn-botus. – кукурузный мотылек, *Heliothis obsoleta* Farb. – хлопковая совка, *Ustilago zae* Beckm. – пузырчатая головня, *Fusarium moniliforte* Sheld. – фузариоз початка.

В процессе исследований было замечено, что образцы кукурузы, имеющие опушенный стебель и закрытые верхушки початков с плотными их обертками, слабо поражались совкой. Линии с выступающим над обертками початком и неопушенным стеблем поражались совкой гораздо сильнее. Среди изученных линий кукурузы наиболее восприимчивыми к хлопковой совке оказались 1/101p, 1/14x, 1/67-1, 20-2, 1/78, 1/66.

В результате проведенных исследований по устойчивости к кукурузному мотыльку были выделены линии с высокой частотой повреждения на естественном фоне: 1/754, 1/130-3, 1/130-1, 1/101-1, 1/66-3, 1/67, 1/15x, 1/135, 1/129 R, 1/35-1, 1/72, 1/58. У линий 1/130-4, 1/78, 1/66, мп4а, мп4, wx25-1, wx25-2, 1/754, 1/130-3, 1/130-1, 1/101-1x, 1/66-3 повреждения наблюдались в меньшей степени. Наибольшее повреждение ножки початков в период их созревания наблюдалось у линии 1/101-1x.

Анализ устойчивости восстановленных линий к основным болезням кукурузы показал высокие значения резистентности к пузырчатой головне у таких линий, как 1/67, 1/99-1-3, 1/66-2, 1/130-2, 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, 1/101-2, 1/73, 1/99-2-3, 1/99-3-3, 1/73x, w143, мп4, мп4а, мп4в, wx 25-1, а к фузариозу – 1/130-1x, 1/130x, 1/40, 1/15, 1/14, 1/67, 1/99-1-3, 1/66-2, 1/130-2, 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, 1/73, w143, мп4, мп4а, мп4в, wx25-1.

Среди изученных образцов выделено 2 линии, высокоустойчивые к фузариозу (мп-4а, мп-4), а также слабопоражаемые, среднепоражаемые и неустойчивые образцы. Линия клф-5 показала повышенную поражаемость пузырчатой головней и фузариозом початка.

При селекционном отборе на устойчивость к стрессовым 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 8 линий с высокой устойчивостью к полеганию.

Изучение засухоустойчивости в лабораторных условиях показало, что по этому признаку выделяются среднеустойчивые 1/15x, 1/66-3 и низкоустойчивые линии wx25-1, wx25-2. Высокоустойчивых линий в лабораторных условиях обнаружить не удалось.

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 инцукта значения холодостойкости снижаются.

Основными компонентами биохимического состава зерна, определяющими 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. В связи с этим в широких пределах может изменяться и его пищевое назначение. Проведенный в наших исследованиях сравнительный анализ с лучшими гибридами (St) показал повышенное содержание белка и масла в зерне гибридной комбинации (ГК26М x мп4в), тогда как по количеству крахмала в среднем они уступают гибридам (ГК26М x 1/130-4) и (ВИР44 x wx143) (табл. 8).

Таблица 8

Химический состав зерна (%) лучших фертильных топкроссов (2015 г.)

Гибрид	Урожайность зерна, т/га	Крахмал	Белок	Масло
Родник 292 МВ St	6,15	65,2	8,8	3,1
КР703 x 1/99-3-3	6,90	66,2	8,2	4,8
КР714 x 1/60	7,32	65,5	7,6	5,2
ГК 26 М x 1/130-4	8,73	69,1	8,3	3,0
ГК 26 м x 1/130-3	8,94	67,0	8,7	4,8
ГК 26 м x мп4в	9,42	65,9	9,2	3,0
ГК 26 м x wx25-2	4,29	67,4	7,5	3,8
ГК 26 м x wx25-1	3,03	68,1	8,1	3,1
ВИР 44 x wx25-2	3,78	68,5	9,0	4,0
ВИР44 x wx143	4,53	69,1	8,4	4,0
НСР <sub>0,5</sub>	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). Поэтому мы провели оценку линий по реакции на ЦМС этих двух типов. Тестерами послужили простые стерильные линии с М типом ЦМС КР 703М, КР 714М и ГК 26М.

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 ( $X_{cp} = 97,7\%$  стерильности) закрепили стерильность тестеров М-типа. Полузакрепителями стерильности ( $X_{cp} = 53,5\%$  стерильности) оказались линии 1/15, 1/40, 1/66-3, 1/67, 1/73, 1/101-2, мп-4. В процессе дальнейшей селекции и отбора из этих линий можно получить как закрепители стерильности, так и восстановители фертильности обоих типов. Линии 1/99-1-3, 1/130, 1/70, 1/130x, 1/75, 1/130-3, 1/130-1, 1/101-1x, 1/101p, 1/130-1x, 1/129R, 1/35-1, 1/72, 1/60, 1/35-2, 1/64-2, 1/130-4, 1/78, 1/66, 1/14x, 1/99-3-3, 1/73x, 1/122, рупо-04, вр, wx143, клф-5 являются универсальными восстановите-

лями фертильности: доля цветущих растений составляет не ниже 98,5–99,2%. 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 инцукте и доведении их до полной восстановительной или закрепительной способности. Всего выделено 6 линий с полувосстановительной способностью.

Для определения комбинационной способности восстановленных диплоидных линий кукурузы были использованы тестеры селекции КНИИСХ им. П. П. Лукьяненко различных групп спелости на цитоплазме М-типа стерильности. Результаты испытаний топкроссов представлены в табл. 9. Анализ значений урожая зерна показал, что из 9 гибридных комбинаций достоверные отличия отмечены у 7 гибридов, из которых существенные отличия в пределах НСР<sub>0,5</sub> были у комбинаций (КР703 х 1/99–3–3), (КР714 х 1/60), (ГК26М х 1/130–4), (ГК26М х 1/130–3), (ГК26М х мп4в).

Таблица 9

**Урожайность зерна лучших фертильных топкроссов и их стандартов (2015 г.)**

Гибрид	Дней до цветения	Период вегетации	Урожайность зерна, т/га	Отклонения от лучшего стандарта
Родник 292 МВ*	53	106	6,15	St
РИК 340 МВ	53	106	3,96	St
КР703 х 1/99–3–3	54	108	6,90	+0,75
КР703 х 1/135	55	110	6,15	+0,00
КР714 х 1/60	57	114	7,32	+1,92
КР714 х 1/72	57	114	6,27	+0,12
КР714 х 1/130–1	57	114	6,45	+0,30
КР714 х 1/130	55	110	6,45	+0,30
ГК26 М х 1/130–4	56	112	8,73	+2,58
ГК26 м х 1/130–3	59	118	8,94	+2,79
ГК26 м х мп4в	59	118	9,42	+3,27
НСР <sub>0,5</sub>			0,23	

\* Лучший по урожаю зерна стандарт.

Отклонения значения урожайности зерна от стандарта этих гибридов варьируют в пределах трех и более НСР (от 1,92 до 3,27 т/га) при НСР<sub>0,5</sub> 0,23т/га. В остальных комбинациях отмечено варьирование в пределах от 0,00 до 0,30 т/га. Анализ вариансы комбинационной способности лучших линий по признаку «урожайность зерна» показал высокую достоверность полученных значений (табл. 10).

Таблица 10

**Варианты комбинационной способности лучших восстановленных линий кукурузы по признаку «урожайность зерна»**

Изменчивость признака	Число степеней свободы		Урожайность зерна	
	2014	2015	2014	2015
ОКС	8	8	3,58**	6,48**
СКС	27	27	2,09**	2,59**
Ошибка	70	70	0,07	0,02
ОКС/СКС			1,75	2,51

\*\* Достоверно при P <0,01.

\* Достоверно при P <0,05.

Анализ эффектов ОКС и вариантов СКС показал, что линии с высокими значениями целесообразнее использовать в качестве родительских компонентов конкретных гибридных комбинаций, обладающих высокими значениями изучаемых признаков. К таким линиям можно отнести: 1/130–4, мп4в, 1/130–3 (табл. 11).

Таблица 11

Эффекты ОКС ( $G_i$ ) лучших линий восстановленной кукурузы по признаку «урожайность зерна»

Линия	$G_i$			
	2014 г.	ранг	2015 г.	ранг
1/60	0,10	4	0,09	7
1/72	-0,07	8	0,11	4
1/130	-0,17	5	0,02	5
1/130-1	-0,28	9	0,22	3
1/130 -3	0,23	3	0,03	6
1/130-4	0,42	1	0,55	1
1/135	-0,19	6	-0,51	9
1/99-3-3	0,03	7	-0,13	8
МП4в	0,29	2	0,25	2
Ст. ошибка	0,09		0,06	

Высокие и средние значения СКС показали комбинации (КР703М×1/60), (КР714М×1/99–3–3), (КР714М×1/135), (КР714М×1/135), (ГК26М×1/99–3–3), (ГК26М×мп4в), (ГК26М×1/130–4), (ВИР 44×1/130–4) (табл. 12). Проведение более тонкого анализа результатов испытания по полной схеме скрещиваний с тестерами позволит определить линии, сочетающие одновременно высокие эффекты ОКС с вариантами СКС (1/130–4, 1/130–1, 1/130–3, мп4в).

Выделенные линии с высокими ОКС и СКС позволят создавать на их основе как самоопыленные линии, так и синтетические гибриды с повышенной концентрацией комплексов генов, способствующих созданию на их основе линий для гибридной селекции кукурузы.

Таблица 12

Константы ( $S_{ij}$ ) и варианты ( $Q^2_{si}$ ) СКС гибридов по урожайность зерна (2015 г.)

Линия	$S_{ij}$				$Q^2_{si}$
	КР703М	КР714М	ГК26М	ВИР44	
1/60	0,50	0,41	-0,06	0,17	1,13
1/72	0,07	-0,53	-0,07	0,10	0,91
1/130	-0,11	0,27	0,03	-0,21	0,75
1/130–1	-0,09	0,48	0,19	-0,87	1,87
1/130–3	-0,26	0,21	-0,28	-0,15	0,65
1/130–4	-0,46	0,05	0,51	0,77	3,81
1/135	0,03	0,50	0,11	0,04	0,72
1/99–3–3	-0,53	0,62	0,89	-0,31	3,50
МП4в	0,07	0,74	0,52	0,26	3,56
$X_{cp} = 1,87$					
$HCP_{[s_i, j - s_{k, l}]} = 0,14$					

Основным критерием оценки экономической эффективности и производственной ценности возделывания новых, районированных гибридов кукурузы является снижение материальных и денежных затрат на производство продукции. Варианты опыта мы рассматривали по рентабельности производства гибридов разных подвидов. Проведенный анализ средних значений урожайности топкроссов кукурузы показал, что несмотря на относительно низкую урожайность комбинации ВИР 44 х wx143 их экономическая эффективность и рентабельность выше, чем у стандарта (табл. 13). Такая тенденция наблюдается в последние годы, поскольку на рынке складываются высокие цены на зерно кукурузы, и особенно на амилопектиновый крахмал. Поэтому, несмотря на высокую урожайность других зерновых культур, возделывание кукурузы остается предпочтительным и экономически оправданным.

Таким образом, проведена апробация метода экспериментального восстановления диплоидных линий кукурузы из тетраплоидных популяций, в результате которого синтез диплоидных генотипов проходит с частотой, близкой к 50%. Выделенные в процессе опыта линии характеризуются рядом селекционно-ценных признаков, свободно скрещиваются с другими образцами и дают плодовитое потомство.

Таблица 13

**Экономическая эффективность производства экспериментальных гибридов кукурузы, созданных на основе восстановленных диплоидных линий**

Показатели	Гибрид		
	ГК26м x мп4в	ВИР 44 x wx143	Родник 292 MB St
Урожайность, ц/га	9,42	-	6,15
Сбор крахмала, т/га	-	3,17	4,00
Прибавка урожайности, ц/га	+2,20	-0,83	-
Ср. цена реализации 1 т, руб.			
зерно	8500	-	8500
крахмала	25,000	35,000	25,000
Выручка от реализации, руб.			
зерно	80,070	-	52,575
крахмала	-	110950	100000
Себестоимость произведенной продукции, руб.	25000	25000	25000
Прибыль, руб.			
зерно	55,070	-	27,575
крахмал, руб.	-	85950	75000
Рентабельность, %			
зерно	168,77	-	152,44
крахмал	-	177,46	175,00

*Примечание.* Цены на кукурузу взяты из мониторинга бизнес-газеты «АгроНовости» от 04.04.2016.

Проведена селекционная оценка восстановленных диплоидных линий, которые распределены по группам спелости и представляют ФАО от 100 до 500, пригодны для использования в гетерозисной селекции для создания гибридов фуражной и пищевой кукурузы.

Оценка хозяйственной ценности морфобиологических признаков восстановленных линий показала широкую фенотипическую изменчивость по основным хозяйственно-ценным признакам. Выделены линии, характеризующиеся раннеспелостью, многопочатковостью, высокой комбинационной способностью, закрепительной и восстановительной способностью, устойчивостью к био- и абиотическим факторам среды, высокой питательной ценностью, экологической пластичностью.

Тестирование восстановленных линий на ОКС и СКС в топкроссных скрещиваниях позволило выявить гибридные комбинации с высокой комбинационной способностью.

Выделены гибридные комбинации кукурузы с высокой экологической стабильностью и технологическими качествами зерна, превышающими стандартные значения. Отобраны линии с высокой устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды.

Определен тип наследования признака многопочатковости восстановленных линий. Сделано предположение, что многопочатковость наследуется в линиях комплементарно, в топкроссах проявляется по типу неполного доминирования в зависимости от генотипа родителя.

Получены гибридные комбинации кукурузы, характеризующиеся высокой питательной ценностью зерна.

Создание и внедрение в производство гибридов кукурузы на основе восстановленных диплоидных линий экономически оправданно и показало высокую рентабельность.

Результаты исследований линий редидиплоидной кукурузы показали перспективность испытанного метода редидиплоидизации тетраплоидной кукурузы, а также селекционную ценность этих линий для создания высокоурожайных гибридов кукурузы. Восстановленные диплоидные линии кукурузы обладают достаточным полиморфизмом всех селекционно-ценных признаков. Выделенные в процессе изучения генотипы характеризуются разнообразными селекционно-ценными количественными и качественными признаками. На основе выделенных редидиплоидных линий возможно создание новых сортов и гибридов кукурузы, характеризующихся высоким урожаем зерна, повышенной питательной ценностью и устойчивостью к био- и абиотическим факторам среды. Выделены генетические доноры многопочатковости, устойчиво передающие этот признак гибридам в комбинациях с линией ГК26М. Их целесообразно внедрять в селекционные программы гибридной кукурузы. Внедрение в производство новых гибридов и сортов, созданных на основе восстановленных диплоидных линий кукурузы, позволит снизить риски генетической эрозии кукурузы, увеличить ее комбинативную способность за

счет вовлечения в селекционный процесс генотипов кукурузы с широким полиморфизмом, полученных методом восстановления из тетраплоидного генома.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шпаар Д.* Кукуруза (Выращивание, уборка, консервирование и использование) /под общ. ред. Д. Шпаара. – М.: ДЛВ Агродело, 2006. – 390 с.
2. *Randolph L. F.* Some effects of high temperature on poliploidy and other variations in maize.//Natur. Academ. Scien. Proc. – 1932. – Vol. 18. – P. 222–229.
3. *Дзюба В. А.* Изучение коллекции тетраплоидной кукурузы // Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. – 1969. – Т. 41, вып. 2. – С. 80–89.
4. *Методические указания по производству гибридных и сортовых семян кукурузы / ВНИИ кукурузы.* – М.: Колос, 1975. – 168 с.
5. *Хаджинов М. И., Щербак В. С.* Изменение характера конъюгации хромосом у тетраплоидной кукурузы (инбридинг двойных гибридов) // Половой процесс и эмбриогенез растений. – М., 1973. – С. 116–121.
6. *Хаджинов М. И., Щербак В. С., Литовченко Б. К.* Влияние инбридинга на отдельные признаки диплоидной и автотетраплоидной кукурузы // Вопросы селекции зерновых, зернобобовых культур и трав. – Краснодар, 1977. – Вып. 14. – С. 83–99.
7. *Щербак В. С.* Менделевское расщепление у автотетраплоидной кукурузы // Генетика. – 1971. – Т. 7, № 7. – С. 29–35.
8. *Хатефов Э. Б., Шацкая О. А.* Применение гаплоиндукторов в гетероплоидных скрещиваниях для расширения разнообразия генетической основы кукурузы // Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке: материалы II Вавилов. междунар. конф. – СПб.: КОПИ-Р, 2007. – С. 367–369.
9. *Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: метод. руководство/ ВИР.* – Л., 1988. – С. 30–31.
10. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – С. 112–146.

### REFERENCES

1. *Shpaar D.* Kukuruz (Vyirashivanie, uborka, konservirovanie i ispolzovanie) /pod obsch. red. D. Shpaara. – M.: DLV Agrodello, 2006. – 390 s.
2. *Randolph L. F.* Some effects of high temperature on poliploidy and other variations in maize.//Natur. Academ. Scien. Proc. – 1932. – Vol 18. – P. 222–229.
3. *Dzyuba V. A.* Izuchenie kollektzii tetraploidnoy kukuruzyi // Tr. po prikl. Botanike genetike i selektsii 1969. – T. 41, vyip. 2. – S. 80–89.
4. *Metodicheskie ukazaniya po proizvodstvu gibridnyih i sortovyih semyan kukuruzyi / VNIi kukuruzyi.* – M.: Kolos, 1975. – 168 s.
5. *Hadzhinov M. I., Scherbak V. S.* Izmenenie haraktera kon'yugatsii hromosom u tetraploidnoy kukuruzyi (inbriding dvoynyih gibridov) // Polovoy protsess i embriogenez rasteniy. – M., 1973. – S. 116–121.
6. *Hadzhinov M. I., Scherbak V. S., Litovchenko B. K.* Vliyanie inbridinga na otdelnyie priznaki diploidnoy i avtotetraploidnoy kukuruzyi // Voprosy selektsii zernovyih, zernobobovyih kultur i trav. – Krasnodar, 1977. – Vyip. 14. – S. 83–99.
7. *Scherbak V. S.* Mendeleevskoe rassheplenie u avtotetraploidnoy kukuruzyi // Genetika. – 1971. – T. 7, # 7. – S. 29–35.
8. *Hatefov E. B., Shatskaya O. A.* Primenenie gaploinduktorov v geteroploidnyih skreschivaniyah dlya rasshireniya raznoobraziya geneticheskoy osnovyi kukuruzyi. // Geneticheskie resursyi kulturnyih rasteniy v XXI veke: / materialyi II Vavilov. mezhdunar. konf. SPb.: KOPI – R, 2007. – S. 367–369.
9. *Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovyim vozdeystviyam. Metod. rukovodstvo/ VIR.* – L., 1988. – S. 30–31
10. *Dosphehov B. A.* Metodika polevogo opyita. – M.: Agropromizdat, 1985. – S. 112–146.