

ПОДБОР ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ КУКУРУЗЫ НА ОСНОВЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ

Г.Я. Кривошеев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;

А.С. Игнатьев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ignatjev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600

А.Г. Горбачева², доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела элитного и первичного семеноводства, ORCID ID: 0000-0001-9936-4565;

И.А. Ветошкина², старший научный сотрудник отдела элитного и первичного семеноводства, ORCID ID: 0000-0002-8040-7040

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

²ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы,

357528, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14-Б; e-mail: 976067@mail.ru

Цель исследования – применение метода многокритериальной оценки для выделения исходного материала различных направлений селекции кукурузы. Исследования выполнены в 2017–2018 гг. в двух пунктах испытания: засушливом – АНЦ «Донской» (г. Зерноград) и влагообеспеченном – ВНИИ кукурузы (г. Пятигорск). В качестве исходного материала послужили 10 родительских форм гибридов кукурузы Альфа М, Алмаз М, Аврора С, Милена М, Исток С, Мирт М, Мальвина С, Радуга С, Мая М, Престиж М, используемые в качестве тестеров в программах скрещивания. Изучаемые формы характеризовались разнообразием по величине основных хозяйственно-ценных признаков. Значительной изменчивостью отличались признаки: бесплодие растений ($V = 56,0\%$), поражение пузырчатой головней ($V = 46,4\%$) и ломкость стебля ниже початка ($V = 43,4\%$); средней изменчивостью – урожайность зерна ($V = 14,8 - 18,2\%$), индекс засухоустойчивости ($V = 10,5\%$), уборочная влажность зерна ($V = 18,6\%$). Использование для интегральной оценки (SD) комплекса основных хозяйственно-ценных признаков с учетом заданных вкладов (R_k) и весовых коэффициентов (W_i) позволило ранжировать исходный материал с учетом ценности его для различных направлений селекции. Выделены тестеры Мирт М, Мая М, Исток С с наилучшими интегральными оценками ($SD = 2,63-5,65$) для селекции на засухоустойчивость. Для селекции на низкую уборочную влажность зерна рекомендованы в качестве тестеров в программах скрещивания Исток С, Милена М, Аврора С ($SD = 2,14-4,07$). Выделен универсальный тестер Исток С, пригодный для селекции различных направлений. Таким образом, многокритериальная оценка может использоваться в селекционном процессе для отбора исходного материала, отвечающего требованиям планируемых направлений селекции.

Ключевые слова: гибриды кукурузы, тестеры, критерии оценки, коэффициент вариации, интегральная оценка.



THE SELECTION OF THE INITIAL MATERIAL FOR VARIOUS DIRECTIONS OF MAIZE BREEDING ON THE BASIS OF MULTI-CRITERIA ESTIMATION

G.Ya. Krivosheev¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory of maize breeding and seed-growing, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;

A.S. Ignatiev¹, Candidate of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory of maize breeding and seed-growing, ignatjev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;

A.G. Gorbacheva², Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the department of elite and primary seed production;

I.A. Vetoshkina², senior researcher of the department of elite and primary seed production

¹FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

²FSBSI All-Russian Research Institute of maize,

357528, Pyatigorsk, Ermolov Str., 14-B; e-mail: 976067@mail.ru

The purpose of the study is the application of the method of multi-criteria estimation to select the initial material of various direction of maize breeding. The studies were performed in the year of 2017–2018 in two different regions of trials, in the arid area of the ARC "Donskoy" (Zernograd) and in the moisture area of the All-Russian Research Institute of Maize (Pyatigorsk). 10 parental forms of maize hybrids 'Alpha M', 'Almaz M', 'Aurora S', 'Milena M', 'Istok S', 'Mirt M', 'Malvina S', 'Raduga S', 'Maya M', 'Prestizh M' used as testers in breeding programs were taken as initial material. The studied forms were characterized by a diversity in the value of their main economically valuable traits. Significant variability was identified in infertility of plants ($V = 56.0\%$), smut infection ($V = 46.4\%$) and fragility of a stem below a cob ($V = 43.4\%$). Average variability was identified in grain productivity ($V = 14.8-18.2\%$), drought resistance index ($V = 10.5\%$), harvesting moisture of grain ($V = 18.6\%$). The use of the complex of main economically valuable traits for the integrated assessment (SD), taking into account the specified contributions (R_k) and weight coefficients (W_i), made it possible to rank the initial material according to its value for various areas of selection. There have been identified the testers 'Mirt M', 'Maya M', 'Istok S' with the best integral values ($SD = 2.63-5.65$) for breeding on drought tolerance. 'Istok S', 'Milena M', 'Aurora S' ($SD = 2.14-4.07$) have been recommended as the testers in breeding programs to breed the varieties with low harvesting moisture of grain. There has been identified a universal tester 'Istok S' which is suitable for various directions of maize breeding. Thus, the multi-criteria estimation can be used in the breeding process to select initial material that meets the requirements of the planned breeding directions.

Keywords: maize hybrid, testers, estimation criteria, coefficient of variability, integral estimation.

Введение. Оценка исходного материала считается одним из важнейших звеньев селекционного процесса. Для определения ценности селекционных образцов их необходимо оценивать по большому количеству признаков. Значение изучаемых признаков для различных направлений селекции не одинаково. Ценность образца для какого-либо конкретного направления селекции будет зависеть от величины всех изучаемых признаков, однако некоторые из них имеют первостепенное значение.

Разработан способ отбора селекционных образцов (Мартынов, 1987) по множеству критериев, основанный на использовании суммы нормированных отклонений от заданного селекционером оптимума по совокупности селекционных признаков. Этот метод успешно использован на некоторых сельскохозяйственных культурах: озимая пшеница, соя (Бутовец, 2015) сахарное сорго (Алабушев и др., 2019).

В селекции гибридной кукурузы необходимо всестороннее изучение большого количества самоопыленных линий, тестеров с целью отбора наиболее перспективных для программ скрещивания (Кривошеев и Игнатьев, 2017), в этом плане может помочь метод многокритериальной оценки, используемый на других культурах.

Цель исследований – применение метода многокритериальной оценки для отбора исходного материала различных направлений селекции кукурузы.

Материалы и методы исследований. Полевые опыты были заложены в 2017–2018 гг. в двух пунктах испытания: засушливом – АНЦ «Донской» (г. Зерноград) и влагообеспеченном – ВНИИ кукурузы (г. Пятигорск). Опыты проводили согласно Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1989) и методике полевого опыта (2014). Использование двух пунктов испытания, контрастных по влагообеспеченности, позволило определить индекс засухоустойчивости изучаемых образцов (Щербак, 1987).

В качестве исходного материала послужили родительские формы гибридов Альфа М, Алмаз М, Аврора С, Милена М, Исток С, Мирт М, Мальвина С, Радуга М, Мая М, Престиж М, которые планируется использовать в качестве тестеров в программах скрещивания.

Родительские формы оценены по следующим признакам: урожайность зерна (в двух пунктах испытания), уборочная влажность зерна (ВНИИК), бесплодие растений (АНЦ «Донской»), поражение пузырчатой головней на естественном фоне (АНЦ

«Донской»), ломкость стебля ниже початка (ВНИИК), индекс засухоустойчивости рассчитывали по снижению урожайности в засушливом пункте в сравнении с влагообеспеченным.

Необходимым условием многокритериальной оценки по какому-либо направлению селекции является определение значимости (вкладов P_k) в интегральную оценку. Исходя из важности признака, селекционер устанавливает значение каждого признака или группы признаков в процентном отношении либо в долях от единицы. При этом, по методике Мартынова, для наиболее важных признаков или группы признаков вклады должны быть установлены более 50%. Учитывая, что при селекции на засухоустойчивость наибольшее значение имеют такие признаки как индекс засухоустойчивости, бесплодие растений и урожайность зерна в засушливом пункте испытания, устанавливаем их вклад (P_k), равный 60%, по 20% каждый признак. Вклад остальных признаков в сумме составит 40%.

При селекции на низкую уборочную влажность зерна, наиболее важный признак – влажность зерна при уборке. Его вклад (P_k) устанавливаем равным 60%. Вклад остальных признаков составит 40%.

Весовые коэффициенты рассчитывали по формуле:

$$W_i = P_k \times N,$$

где W_i – весовой коэффициент;

P_k – заданный вклад в интегральную оценку;

N – количество признаков.

Для интегральной оценки использована формула:

$$SD = \sum W_i \times (X_m - X_i) / S_i,$$

где SD значение интегральной оценки;

X_m – желательный уровень признака;

X_i – фактические значения признаков у образца;

S_i – стандартное отклонение.

Желательный уровень признака в значительной степени зависит от условий внешней среды, поэтому его часто сложно планировать. В связи с этим для расчета интегральной оценки вместо него взято среднее значение признака в опыте.

Результаты и их обсуждение. Изучаемые тестеры характеризовались разнообразием по величине основных хозяйственно-ценных признаков. Наиболее высокую урожайность зерна (6,33 т/га) во ВНИИК сформировал тестер Мая М, наименьшую – Альфа М, эти же тестеры имели наибольшую (4,14 т/га) и наименьшую (2,58 т/га) урожайность в АНЦ «Донской» (табл. 1).

1. Основные хозяйственно-ценные показатели тестеров – родительских форм гибридов кукурузы (2017–2018 гг.)

1. Main economic-valuable indexes of the testers – parental forms of maize hybrids (2017–2018)

Название	Урожайность зерна, т/га		Индекс засухоустойчивости, %	Уборочная влажность зерна (ВНИИК), %	Бесплодие растений (АНЦ «Донской»), %	Поражение пузырчатой головней (АНЦ «Донской»), %	Ломкость стебля ниже початка (ВНИИК), %
	ВНИИК	АНЦ «Донской»					
Альфа М	3,18	2,58	81,1	15,1	8,5	3,3	28,4
Алмаз М	5,14	2,89	56,2	15,6	7,0	4,7	14,7
Аврора М	3,77	2,67	70,8	14,3	8,9	2,1	33,1
Милена М	5,14	3,14	61,1	14,4	8,1	2,8	35,5
Исток С	4,55	3,27	71,9	15,0	3,5	1,0	29,7
Мирт М	5,25	3,92	74,7	20,1	3,5	0,8	7,0
Мальвина С	5,18	3,68	71,0	19,2	3,1	3,5	20,4
Радуга С	5,05	3,63	71,9	17,8	3,2	4,0	30,3
Мая М	6,33	4,14	65,1	23,0	1,7	4,0	11,7
Престиж М	5,77	3,75	64,1	22,3	2,7	1,8	17,3

Самым высоким индексом засухоустойчивости отличался тестер Альфа М (81,1%), самым низким – Алмаз М (56,2%). Низкая уборочная влажность зерна, близкая к стандартной (14,0%), отмечена у родительских форм Аврора С (14,3%) и Милена М (14,4%). Очень высокой уборочной влажностью отличались Мая М (23,0%) и Престиж М (22,3%), однако они имели в посевах минимальное количество бесплодных растений (1,7 и 2,7%). Максимальное бесплодие растений отмечено у тестера Аврора М – 8,9%. Изучаемые образцы

характеризовались невысоким поражением пузырчатой головней на естественном фоне: 0,8–4,7%, наиболее устойчивым оказался Мирт М (0,8%). Кроме этого, он отличался лучшей устойчивостью к ломкости стебля ниже початка (7,0%), у наименее устойчивого образца Милена М значение этого показателя достигало 35,5%.

К сильноварирующим признакам отнесены: бесплодие растений ($V=56,0\%$), поражение пузырчатой головней (46,4%) и ломкость стебля ниже початка (43,4%) (табл. 2).

2. Статистические показатели признаков, используемых для интегральной оценки тестеров (2017–2018 гг.)

2. Statistic indexes of the traits used for integral estimation of the testers (2017–2018)

Показатель	Урожайность зерна, т/га		Индекс засухоустойчивости, %	Уборочная влажность зерна (ВНИИК), %	Бесплодие растений (АНЦ «Донской»), %	Поражение пузырчатой головней (АНЦ «Донской»), %	Ломкость стебля ниже початка (ВНИИК), %
	ВНИИК	АНЦ «Донской»					
Максимальное значение признака (X max)	6,33	4,14	81,1	23,0	8,9	4,7	35,5
Минимальное значение признака (X min)	3,18	2,58	56,2	14,3	1,7	0,8	7,0
Среднее значение (X)	4,94	3,37	68,8	17,7	5,0	2,8	22,8
Стандартное отклонение (S)	0,9	0,5	7,2	3,3	2,8	1,3	9,9
Коэффициент вариации (V), %	18,2	14,8	10,5	18,6	56,0	46,4	43,4
Заданный вклад для селекции на засухоустойчивость в интегральную оценку (Pк)	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
Весовой коэффициент для селекции на засухоустойчивость (Wi)	0,8	1,6	1,6	0,8	1,6	0,8	0,8
Заданный вклад для селекции на низкую уборочную влажность зерна в интегральную оценку (Pк)	0,1	0,1	0,05	0,60	0,05	0,05	0,05
Весовой коэффициент для селекции на низкую уборочную влажность зерна (Wi)	0,8	0,8	0,4	4,8	0,4	0,4	0,4

Средневарирующими оказались: урожайность зерна во влагообеспеченном пункте (18,2%), урожайность зерна в засушливом пункте (14,8%), индекс засухоустойчивости (10,5%), уборочная влажность зерна (18,6%). Учитывая значительную и среднюю изменчивость по основным хозяйственно-ценным признакам, возможен отбор образцов исходного материала для различных направлений селекции. Поскольку признаки имеют различное значение для разных направлений селекции, то и заданный вклад в интегральную оценку у них будет различаться. Так, для селекции на засухоустойчивость, наиболее важное значение имеют такие признаки, как индекс засухоустойчивости, бесплодие и урожайность зерна в засушливом пункте испытания. Учитывая, что их вклад в интегральную оценку (Pк) составляет 0,6 (по 0,2 каждый), рассчитанные весовые коэффициенты (Wi), по каждому признаку равны 1,6. Заданный вклад при селекции на засухоустойчивость остальных (менее значимых для этого направления селекции) признаков: урожайность зерна во влагообеспеченном пункте, уборочная влажность зерна, поражение пузырчатой головней, ломкость стебля ниже початка – составляет 0,4 (по 0,1 для каждого признака). Рассчитанные весовые коэффициенты для них равны 0,8.

Для селекции на низкую уборочную влажность зерна первостепенное значение имеет величина этого признака у исходного материала. Учитывая, что вклад (Pк) в этом случае по признаку уборочная влажность зерна составляет 0,6, при расчете получаем весовой коэффициент (Wi), равный 4,8. Заданный вклад в интегральную оценку остальных (менее значимых для селекции на низкую уборочную влажность зерна) признаков составляет 0,4, в их числе: урожайность зерна в различных пунктах по – 0,1; индекс засухоустойчивости, бесплодие растений, поражение пузырчатой головней, ломкость стебля ниже початка – по 0,05.

Используя значения заданного вклада (Pк) в формуле для расчета весовых коэффициентов (Wi), получаем их значения для каждого признака: уборочная влажность зерна (4,8), урожайность зерна в различных пунктах (по 0,8 для каждого пункта), индекс засухоустойчивости, бесплодие растений, поражение пузырчатой головней, ломкость стебля ниже початка (по 0,4 для каждого признака).

Учитывая, что для урожайности зерна и индекса засухоустойчивости желательным является наибольшее, а для остальных признаков наименьшее значение, вычислена интегральная оценка для каждого тестера (табл. 3).

3. Интегральная оценка тестеров для различных направлений селекции кукурузы (2017–2018 гг.) 3. Integral estimation of the testers for various direction of maize breeding (2017–2018)

Тестер	Селекция на засухоустойчивость		Селекция на низкую уборочную влажность зерна	
	интегральная оценка (SD)	ранг	интегральная оценка (SD)	ранг
Альфа М	-0,78	7	+0,38	5
Алмаз М	-3,05	8	+1,22	4
Аврора М	-4,98	10	+2,14	3
Милена М	-4,19	9	+3,28	2
Исток С	+2,63	3	+4,07	1
Мирт М	+5,65	1	-0,54	7
Мальвина С	+1,63	5	-1,20	8
Радуга С	+1,14	6	-0,39	6
Мая М	+3,63	2	-4,96	10
Престиж М	2,29	4	-4,71	9

При селекции на засухоустойчивость наилучшую интегральную оценку (SD) имеют тестеры Мирт М (+5,65), Мая М (+0,63), Исток С (+2,63) и соответственно наиболее высокие ранги (1–3). По совокупности основных признаков, с учетом их значимости для этого направления селекции, они рекомендуются для использования в программах скрещивания для создания засухоустойчивых гибридов кукурузы. Наихудшими для селекции на засухоустойчивость оказались родительские формы Аврора С (SD=-4,98), ранг 10 и Милена М (SD=-4,19), ранг 9.

Наиболее высокую интегральную оценку для селекции на низкую уборочную влажность зерна имели тестеры Исток С (SD=+4,07), Милена М (SD=+3,28), Аврора С (SD=+2,14) и соответственно 1, 2, 3 ранги. Их целесообразно использовать в топкроссных скрещиваниях по созданию гибридов кукурузы с высокой интенсивностью высыхания зерна при созревании.

Проведенные исследования позволяют заключить, что для разных направлений селекции требуются различные тестеры, ранги изучаемых образцов изменяются в зависимости от направления селекции. Например, тестер Милена М, один из лучших для селекции на низкую уборочную влажность зерна (ранг 2), оказался одним из худших при селекции на засухоустойчивость (ранг 9). Однако выделен универсальный тестер Исток С, пригодный в качестве исходного материала для селекции разных направлений.

Выводы. Использование метода многокритериальной оценки позволяет дифференцировать исходный материал по ценности для различных направлений селекции. Выделены тестеры Мирт М, Мая М, Исток С с высокими значениями интегральной оценки (SD= 2,63–5,65) для селекции на засухоустойчивость. Для селекции на низкую уборочную влажность зерна рекомендуются тестеры Исток С, Милена М, Аврора С (SD=2,14–4,07). Универсальностью использования отличался тестер Исток С.

Библиографические ссылки

1. Алабушев А.В., Романюкин А.Е., Ковтунова Н.А., Шишова Е.А., Ковтунов В.В. Использование многокритериальной оценки в селекции сахарного сорго // Земледелие. 2019. № 2. С. 39–41.
2. Бутовец Е.С. Многокритериальная оценка сортов сои на заключительном этапе селекции // Дальневосточный аграрный вестник. 2015. № 2 (34). С. 13–16.
3. Кривошеев Г.Я., Игнат'ев А.С. Селекционная ценность образцов подвида восковидной кукурузы (*Zea mays L. ceratina*) // Достижения науки и техники АПК. 2017. №1. С. 39–43.
4. Мартынов С.П. Метод многокритериального выбора на заключительном этапе селекции растений // Сельскохозяйственная биология. 1987. № 6. С. 122–124.

References

1. Alabushev A.V., Romanyukin A.E., Kovtunova N.A., Shishova E.A., Kovtunov V.V. Ispol'zovanie mnogokriterial'noj ocenki v selekcii saharного sorго [The method of multi-criteria selection at the final stage of plant breeding] // Zemledelie. 2019. № 2. S. 39–41.
2. Butovets E.S. Mnogokriterial'naya ocenka sortov soi na zaklyuchitel'nom etape selekcii [Multi-criteria estimation of soybean varieties at the final stage] // Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. 2015. № 2 (34). S. 13–16.
3. Krivosheev G.YA., Ignat'ev A.S. Selekcionnaya cennost' obrazcov podvida voskovidnoj kukuruzy (*Zea mays L. ceratina*) [The use of multi-criteria estimation in sweet sorghum breeding] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017. №1. S. 39–43.
4. Martynov S.P. Metod mnogokriterial'nogo vybora na zaklyuchitel'nom etape selekcii rastenij [Breeding value of the samples of waxy maize subspecies (*Zea mays L. ceratina*)] // Sel'skokozyajstvennaya biologiya. 1987. № 6. S. 122–124.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.