УДК 633.15

**Оценка биохимического состава зерна кукурузы селекции ФГБНУ
РосНИИСК «Россорго» для дальнейшего использования в АПК**

Сазонова И.А.^{1,2}, Титов В.Н.¹, Бочкарева Ю.В.¹, Бычкова В.В.¹

¹ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»

²ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

Аннотация

В статье рассмотрена биологическая ценность сортов, гибридов (гибридных популяций) и линий кукурузы селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в рамках биохимического состава зерна. Изучены основные показатели: белок, жир, зола, клетчатка, крахмал и безазотистые экстрактивные вещества. По содержанию основных питательных веществ максимальное значение белка составило 13,58% у линии кукурузы РСК 3. В этой же линии отмечалось наибольшее количество минеральных веществ (1,79%). Самое большое количество жира (7,50%) и крахмала (69,24%) было у сорта Цукерка. Было сделано заключение о возможности проведения дальнейшей селекции для выведения форм с направленными свойствами и биологической ценностью.

Ключевые слова: КУКУРУЗА, СОРТА, БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ, БЕЛОК, ЖИР, КЛЕТЧАТКА, МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА, КРАХМАЛ

Введение

Кукуруза – одна из наиболее распространенных сельскохозяйственных культур в мире. Она выращивается практически на всех континентах на площади более 110 млн га ежегодно. В России под кукурузой занято 830 тыс. га. В современном производстве зерна кукуруза занимает одно из лидирующих положений, являясь растением универсального использования [1]. Она считается древнейшим культурным растением на земле, неспособным к самопосеву и одичанию. Будучи важным компонентом питания, кукуруза уступает лишь пшенице и рису. В настоящее время во всех странах мира на

продовольственные цели ежегодно используют до 20-25% от всего сбора зерна кукурузы [2].

Являясь высокопродуктивной культурой, кукуруза отличается универсальностью использования. Данная культура широко используется в пищевой (производство крупы, муки, кукурузных хлопьев, хлеба, блинов, попкорна, крахмала, патоки, пищевого масла, детского питания) [3, 4], сельскохозяйственной (заготовка силоса и зеленая подкормка животным) [5], спиртовой (производство биоэтанола) [6], медицинской и косметической промышленности [3].

Спирторастворимые белки кукурузы – зеины в последние годы используются как альтернатива различным коммерческим пластмассам на основе нефти. Кроме того, зеины обладают прекрасными пленкообразующими свойствами, которые находят широкое применение в медицине и пищевой промышленности [7].

Зерно кукурузы имеет высокое содержание крахмала (до 70%), а также богато жиром (до 7%), но содержит меньше кальция (в 3,5 раза - чем в зерне овса и сорго, в 3 раза - чем в зерне ячменя и проса, в 2 раза - чем в зерне ржи и в 1,5 раза - чем в зерне пшеницы) [5]. В зародыше зерна кукурузы содержатся физиологически активные вещества, такие как полиненасыщенные жирные кислоты, токоферолы, фитин, лецитин, нуклеин, провитамин D, β -каротин, витамин K, тиамин, ниацин, рибофлавин, пантотеиновая, фолиевая и глютаминовая кислоты и др. [4]. По данным ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), общее содержание белков в зерне кукурузы колеблется от 4,9 до 23,6%. Они распределены неравномерно: в эндосперме – 10-12%, в зародыше – до 20%.

Для обоснования выбора источников ценного пищевого и кормового сырья, обеспечивающих высокие потребительские свойства, проведен отбор сортов, гибридов (гибридных популяций) и линий кукурузы собственной селекции, имеющих высокую продуктивность и адаптивность к местным природно-климатическим условиям. Безусловно, изучение качества зерна в сортовом разрезе позволит выявлять генотипы с наиболее ценными питательными свойствами для перерабатывающей промышленности в АПК и вести селекцию в этом направлении.

В связи с вышесказанным, целью настоящего исследования было выявить сорта, гибриды (гибридные популяции) и линии кукурузы селекции ФГБНУ РосНИИСК

«Россорго» (далее – Россорго), обладающие наибольшей питательной ценностью по биохимическому комплексу зерна.

Материалы и методы

В качестве материала исследований выбраны 17 сортов, гибридов (гибридных популяций) и линий кукурузы собственной селекции урожая 2020 года.

РНИИСК 1 – имеет кормовое назначение. Очень раннеспелый сорт-популяция. Окраска зерна в средней части початка – желтая. Окраска оболочки и алейронового слоя – желтая. Окраска эндосперма – светло-желтая. Подгруппа – полузубовидная. Длина початка 18 см. Урожай спелого зерна (14% влажности) – 1,51-3,18 т/га. Урожай всей зеленой массы – 11,9-22,6 т/га. Озерненность початков – 84-98%.

РСК Заря – тип зерна зубовидный, хорошая потеря влаги зерном при созревании, пониженная уборочная влажность зерна. Обладает устойчивостью к стеблевому полеганию, пузырчатой и пыльной головне, кукурузному мотыльку. Засухоустойчивость – выше средней, холодостойкость – выше средней. Урожайность на зерно 5-12 т/га, на силос – 20-65 т/га.

Радуга – имеет кормовое назначение. Окраска зерна в средней части початка – желтая. Окраска оболочки и алейронового слоя – желтая. Окраска эндосперма – желтая. Урожай спелого зерна (14% влажности) – 1,74-3,63 ц/га. Урожай всей зеленой массы – 14,3-24,4 т/га. Озерненность початков – 82-96%.

РСК Аврора – раннеспелый универсальный трехлинейный гибрид на зерно и силос. Время цветения метёлки раннее. Початок слабokonический. Тип зерна – зубовидное, желтое. Окраска верхней части зерна жёлтая. Засухоустойчивость – выше средней. Урожайность на зерно 5-13,5 т/га; на силос – 20-70 т/га.

Стимул – имеет кормовое назначение. Группа спелости: среднеранний. Тип зерна промежуточный, ближе к зубовидному, окраска верхней части зерна оранжевая, нижней – жёлто-оранжевая. Средняя урожайность зерна в регионе составляет 19,5 ц/га.

РСК Грасскорн – раннеспелая экспериментальная сложная гибридная популяция. Окраска зерна желтая. Урожайность зерна 4,25-4,66 т/га. Тип зерна кремнистый. Имеет пищевое и кормовое направление.

Артемиды – раннеспелая экспериментальная сложная гибридная популяция. Окраска

зерна желтая. Урожайность зерна 4,45-4,76 т/га. Тип зерна кремнистый. Имеет пищевое и кормовое направление.

Нова – среднеспелая экспериментальная сложная гибридная популяция. Окраска зерна желтая. Урожайность зерна 4,8-5,5 т/га. Тип зерна кремнисто-зубовидный. Имеет пищевое и кормовое направление.

Цукерка – имеет кормовое, пищевое, техническое значение. Рекомендуются для использования в консервной промышленности, потребления свежееотваренных початков, замороженных зерен. Зерно желто-оранжевого цвета, с желто-оранжевой окраской оболочки и алейронового слоя. Окраска эндосперма желто-оранжевая. Консистенция зерна стекловидная. Озерненность початка 94-97%.

РСК 3 – раннеспелая линия. Окраска зерна оранжевая. Урожайность зерна 2,4-3,0 т/га. Тип зерна кремнисто-зубовидный. Является родительской формой гибридов Инсайд, Клинок, Радикал, Неон 147 МВ.

РСК 7 – раннеспелая линия. Окраска зерна желтая. Урожайность зерна 1,88-2,66 т/га. Тип зерна кремнистый. Является родительской формой гибрида Инсайд.

РСК 126 – раннеспелая линия. Окраска зерна желтая. Урожайность зерна 2,26-3,08 т/га. Тип зерна зубовидный. Является родительской формой гибрида Пион М.

РСК 354 – раннеспелая линия. Окраска зерна красная. Урожайность зерна 2,55-2,88 т/га. Тип зерна зубовидный. Является родительской формой гибрида Фея М.

425/20 Б 293 – раннеспелая линия. Окраска зерна желтая. Урожайность зерна 2,45-3,10 т/га. Тип зерна зубовидный. Является родительской формой гибрида Плутон МВ.

481/20 АРСК 4812 – среднеспелый гибрид. Окраска зерна желтая. Урожайность зерна 4,7-5,3 т/га. Тип зерна кремнисто-зубовидный. Является родительской формой гибридной популяции Нова.

480/20 ДРСК 3361 – среднеспелый гибрид. Окраска зерна желтая. Урожайность зерна 4,85-5,35 т/га. Тип зерна кремнисто-зубовидный. Является родительской формой гибридной популяции Нова.

421/20 РСК 123 – среднеспелая линия. Окраска зерна желтая. Урожайность зерна 1,80-2,55 т/га. Тип зерна кремнисто-зубовидный. Является родительской формой экспериментальных гибридов.

У вышеописанных образцов проводили биохимический анализ на инфракрасном

анализаторе Spectral Star XT методом спектроскопии, который основан на том, что спектры поглощения молекул являются характерными для данного вещества, а интенсивность поглощения связана с содержанием поглощающего компонента в облучаемом объекте. Показатели качества зерна: белок, жир, зола (минеральные вещества), клетчатка, крахмал, БЭВ (безазотистые экстрактивные вещества).

Результаты подвергались однофакторному дисперсионному анализу с последующей обработкой данных с помощью программы Agros 2.09 [8].

Результаты исследований

Биохимический состав зерна, определяющий его качество, формируется в результате сложных процессов метаболизма, происходящих в растениях под действием факторов внешней среды и в результате реализации генетической информации, которая заложена в генотипе. Очевидно, что высококачественное зерно формируется лишь при оптимальном физиолого-биохимическом состоянии растений.

Отобранные семена исследовались в 2021 году. Все подготовленные к изучению образцы прошли визуальную оценку. Были представлены налитым, полноценным зерном. Незрелого, трещиноватого зерна не обнаружено. Биологическая ценность исследуемых сортов, гибридов и линий кукурузы представлена в таблице 1.

Необходимо отметить, что зерно кукурузы является источником белка для организма животных и человека и играет большую роль в технологии пищевого производства за счет образования белками вязких коллоидных растворов. Это позволяет использовать кукурузу для выпечки хлебобулочных и кондитерских изделий. Показатель, характеризующий содержание белка в зерне, соответствовал минимальному значению 7,94% у линии 480/20, а максимум составил 13,58% у линии кукурузы РСК 3. Среди сортов и гибридов наиболее протеиносодержащими оказались РСК Грасскорн и РСК Аврора, разница между ними составляла всего лишь 1 %. По сравнению с Грасскорном количество белка в зерне было меньше у Радуги на 16%, у РНИИСК 1 на 11%, у Цукерки на 10%, у Артемиды и Стимула на 20%, у сорта Нова на 25% и у РСК Заря на 27%. Самые нижние границы по количеству белка в зерне отмечались у линий кукурузы. Анализируя литературные источники, можно сделать вывод, что содержание белка в зерне кукурузы селекции Россорго находится в диапазоне данных других научных изысканий от 8,3 до 14

% [9-12].

Наряду с достаточно высоким источником белка, кукуруза содержит небольшое количество жиров, что делает ее привлекательной в лечебном и детском питании. По данным различных исследований зерно этой культуры может содержать от 4 до 8 % жира [11, 13, 14]. Кукурузное масло богато фосфолипидами, которые входят в состав всех клеточных мембран и обеспечивают функциональность мозга. В связи с этим нерафинированное кукурузное масло рекомендуется употреблять в пищу больным с нарушениями обмена липидов, сахарным диабетом, атеросклерозом, болезнями печени [4]. По наличию в нем определенного состава жирных кислот и свойствам оно близко к таким растительным маслам, как подсолнечное, хлопковое, кунжутное, соевое [15]. Исследуемые сортообразцы характеризовались содержанием липидов от 4,02 до 7,5 %. Самый высокий уровень жира в зерне отмечался у сорта Цукерка, а самый низкий – у Стимула. Если учитывать более выгодное в пищевом плане малое количество жира в зерне, то можно выделить еще некоторые сорта, гибриды и линии, отличающиеся данной особенностью и имеющие разницу со Стимулом: линия РСК 3 на 3,7 %, РСК Заря и линия 421/20 на 10,7 %.

Наличие в кукурузе таких минеральных веществ, как кальций, фосфор, магний и железо, а также микроэлементов позволяет рекомендовать изделия из кукурузы в качестве пищевого продукта людям, испытывающим недостаток в этих элементах. По нашим данным наибольшее содержание минеральных веществ в зерне из всех изучаемых вариантов было у РСК 3, которая имела преимущество перед всеми образцами по количеству белка (13,58 %). Близкими значениями результатов характеризовалась линия РСК 7, у которой минеральных веществ на 7 % меньше, а белка – на 11 %, по сравнению с РСК 3. Из изучаемых сортов наибольшее количество золы было в Цукерке.

В кукурузной крупе содержится большое количество крахмала (больше только в рисе), что позволяет использовать кукурузу для производства этилового спирта. Следует отметить, что повышение содержания крахмала в зерне кукурузы, как селекционная задача, начала звучать в последнее время в связи с ростом интереса к производству биоэтанола [16, 17]. Однако, крахмал кукурузы, в отличие от пшеничного или ржаного, труднее поддается тепловой и ферментативной обработке [6] и его растворимость зависит от количества липидов, которые в свою очередь уменьшают ее, образуя амилозно-липидные комплексы [18]. По результатам исследований наиболее выгодное сочетание липидов и крахмала было

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

у сорта Стимул, где при наименьшем из всех образцов по количеству жира соответствовало большое количество крахмала. Всего на 1,3 % отмечалось преимущество по крахмалу у сорта Цукерка, что было верхней границей среди всех изучаемых образцов – 69,24 %. Близкими к этому значению и между собой статистически неразличимыми были сорт Стимул и линии РСК 126 и 425/20.

Таблица 1. Биохимический состав зерна кукурузы селекции Россорго, %

№ п/п	Образец	Белок	Жир	Зола	Клетчатка	Крахмал	БЭВ
Сорта							
1	РНИИСК 1	10,36 gh	4,85 i	1,55 h	2,18 c	64,94 b	81,06 i
2	РСК Заря	9,11 c	4,45 c	1,43 d	2,22 c	64,80 b	82,80 n
3	Радуга	9,97 f	4,70 g	1,44 e	2,22 c	65,83 def	81,67 l
4	РСК Аврора	11,39 k	4,61 e	1,61 k	2,49 gh	65,87 ef	79,90 g
5	Стимул	9,61 e	4,02 a	1,43 d	1,93 a	68,33 kl	83,02 o
6	РСК Грасскорн	11,53 m	5,56 n	1,63 l	2,47 fgh	63,94 a	78,82 d
7	Цукерка	10,44 h	7,50 p	1,66 mn	2,24 c	69,24 m	78,15 b
Линии							
8	Артемиды	9,63 e	5,18 kl	1,47 f	2,23 c	67,58 hij	81,49 k
9	РСК 7	12,23 n	5,11 jk	1,68 o	2,37 de	65,50 cde	78,61 c
10	РСК 3	13,58 o	4,17 b	1,79 p	2,52 h	66,03 ef	77,95 a
11	РСК 354	11,49 lm	4,69 fg	1,59 j	2,24 c	66,08 f	79,99 h
12	РСК 126	10,79 j	5,66 o	1,59 ij	2,38 e	68,04 jkl	79,58 f
13	Нова	9,21 d	5,36 m	1,40 c	2,16 bc	64,74 b	81,87 m
14	425/20	11,50 m	5,22 l	1,66 n	2,71 i	68,50 l	78,90 e
15	481/20	8,23 b	4,84 hi	1,32 a	1,86 a	67,87 ijk	83,75 p
16	480/20	7,94 a	4,56 de	1,34 b	2,18 c	65,98 ef	83,98 q
17	421/20	10,55 i	4,47 c	1,52 g	2,23 c	67,50 ghij	81,24 j
Р, %		0,28	0,49	0,20	1,21	0,26	0,01
НСР		0,084	0,070	0,009	0,078	0,503	0,027
F ₀₅		2414,776*	1034,89 2*	1880,09 4*	57,850*	78,308*	42484,395 *
Средняя ± ошибки		10,44±0,3 5	4,84±0,1 2	1,55±0,0 3	2,27±0,05	66,52±0,3 8	80,75± 0,47
Интервал min- max		7,94- 13,57	4,02- 5,66	1,32- 1,79	1,86-2,71	63,94- 69,24	77,95- 83,98
V, %		13,84	9,803	8,77	9,13	2,34	2,41

Примечание: * – данные по каждому сорту и линии, обозначенные разными буквами, значимо различаются при $p < 0,05$ в соответствии с Тестом множественных сравнений Дункана

Кроме крахмала в большую группу безазотистых экстрактивных веществ входят другие углеводы. Причем крахмал содержится в эндосперме зерна, а остальные сахара – в зародыше. Углеводы имеют большое значение для организма. Они входят в состав клеточной оболочки, клеточного сока, пластид, нуклеопротеидов протоплазм и клеточного ядра. Изученные образцы характеризовались достаточно большим содержанием БЭВ (от 77,95 до 83,98 %). Здесь также выделялся сорт Стимул по высокому количеству не только крахмала, но и других сахаров.

Количество сырой клетчатки в опытных образцах варьировало от 1,86 до 2,71 %. В основном в эту биохимическую фракцию входят перегородки клеток растения и состоят из целлюлозы, гемицеллюлозы, которые способны перевариваться в организме, и частично лигнина – неперевариваемого элемента. Наибольшее количество клетчатки отмечалось в зерне линий РСК 3 и 425/20, а из сортов этой особенностью обладали РСК Аврора и РСК Грасскорн. Более высокое количество клетчатки в кукурузе может положительно отразиться на дальнейшем ее применении как в кормопроизводстве, так и в пищевой промышленности, для получения продукции с более низким гликемическим индексом, которая не повышает уровень сахара в крови. В то же время при хлебопечении необходимо регулировать уровень клетчатки в тесте, так как при больших ее количествах мякиш хлеба может быть сухим и крошащимся. По нашим данным меньше всего клетчатки содержалось в зерне сорта Стимул и линии 481/20, статистически между собой не различающихся.

Заключение

Совокупность полученных результатов исследований показывает целесообразность использования зерна кукурузы в различных сферах АПК в качестве источника ценного растительного сырья.

Среди образцов собственной селекции определены сорта, гибриды (гибридные популяции) и линии кукурузы, которые содержат наибольшее количество белка в зерне – РСК 3, РСК 7, РСК Грасскорн, РСК Аврора. Кроме того, кукуруза РСК 3 отличалась одновременно небольшим количеством жира и самым большим содержанием минеральных веществ и клетчатки, вследствие чего можно рекомендовать данную линию не только при приготовлении кормов, но и для производства диетической пищевой продукции. Хорошие биохимические показатели для кормопроизводства отмечались у линии кукурузы РСК 7 и

сорта Цукерка: значительное содержание белка, жира, золы и клетчатки позволит составлять полноценные рационы для животных и птицы.

Сорт кукурузы Сtimул отличался выгодными показателями для хлебопечения, так как содержал наибольшее количество БЭВ, в том числе крахмала и небольшой уровень клетчатки. Это может позволить получать хлебобулочные изделия с хорошим пышным мякишем и сдобные изделия.

Список использованных источников

1. Булдыкова И.А., Шеуджен А.Х. Влияние микроудобрений на урожайность и качество зерна кукурузы // Научный журнал КубГАУ. – 2014. - № 98. – С. 1-15.
2. Торилов В.Е., Дронов А.В., Торилов В.В. и др. Ценность кукурузы, соргоовых культур и их урожайность в зависимости от приемов выращивания // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. – 2019. – № 5 (75). – С. 15-22.
3. Волчанская А.А., Конарева В.Р., Аленикова Ю.Б. Химический состав различных гибридов кукурузы // Молодой ученый. – 2016. – № 13. – С. 914-916.
4. Шаззо А.А., Бутина Е.А., Герасименко Е.О. Существующие и перспективные направления комплексной переработки зерна кукурузы // Новые технологии. – 2011. – № 2. – С. 6.
5. Ахияров Б.Г., Сотченко Б.Н., Абдулвалеев Р.Р. и др. Формирование урожая гибридов кукурузы в условиях Республики Башкортостан // Пермский аграрный вестник. – 2020. – № 1 (29). – С. 28-37.
6. Кузьменкова Н.М., Крикунова Л.Н. Влияние режима гидротермической обработки на реологические характеристики зерна кукурузы // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2012. – № 5-6. – С. 78-81.
7. Штанчаев А.Ш., Насриддинов А.С., Тешаев Х.И. и др. Турбидиметрическое титрование зеина кукурузной муки / Доклады АН РТ. - Т.50. – 2007. № 9-10. – С. 748-752.
8. Мартынов С.П. Статистический и биометрико-генетический анализ в растениеводстве и селекции. Пакет программ "AGROS 2.09". – Тверь. 1999.
9. Волчанская А.А., Конарева В.Р., Аленикова Ю.Б. Химический состав различных гибридов кукурузы // Молодой ученый. – 2016. – № 13 (117). – С. 914-916.
10. Крупнова О.В. О взаимосвязи урожайности с содержанием белка в зерне у зерновых и бобовых культур // Сельскохозяйственная биология. – 2009. – № 3. – С. 23.
11. Николаев С.И., Карапетян А.К., Плешакова И.Г., Струк А.Н., Струк М.В. Сравнительный химический состав и питательность зерна кукурузы и сорго // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. - № 2 (50). – С. 293-302.

12. Dudley J.W. From means to QTL: the Illinois long-term selection experiment as a case study in quantitative genetics. Crop Sci., 2007, 47: 20-31.
13. Шаззо А.А., Бутина Е.А., Герасименко Е.О. Существующие и перспективные направления комплексной переработки зерна кукурузы // Новые технологии. – 2011. - № 2. – С. 54-58.
14. Ториков В.Е., Дронов А.В., Ториков В.В., Осипов А.А., Ланцев В.В. Ценность кукурузы, сорговых культур и их урожайность в зависимости от приемов выращивания // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. - № 5 (75). – С. 15-22.
15. Corn Part of Our Daily Lives. Corn Refiners Association Annual Report 2005 – Corn Refiners Association, Inc. Washington, D.C., 2005. - 22 p
16. Bothast R. J., Schlicher M.A. Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2005. – Vol. 67. – P. 19–25.
17. Mazur B., Krebbers E., Tingey S. Gene discovery and product development for grain quality traits. Science. - 1999. - Vol. 285. – P. 372–375.
18. Андреев Н.Р., Карпов В.Г. Структура, химический состав и технологические признаки основных видов крахмалосодержащего сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 7. – С. 30-33.

Цитирование:

Сазонова И.А., Титов В.Н., Бочкарева Ю.В., Бычкова В.В. Оценка биохимического состава зерна кукурузы селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» для дальнейшего использования в АПК [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st_624.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20216624>.