

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ БЕЛКОВЫХ ПОЛИМЕРОВ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ КАК ФАКТОР ОТБОРА СОРТООБРАЗЦОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНОСТИ КОРМОВ**О.И. Болотова**, кандидат сельскохозяйственных наук, **И.А. Сазонова**, доктор биологических наук, **В.В. Бычкова***Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, 410050, Саратов, 1-й Институтский проезд, 4 E-mail: gelechrisum@gmail.com*

Исследование проводили с целью выявления сортобразцов с высоким содержанием полноценного белка для использования в дальнейшей селекционной работе и кормлении животных. Объектами исследования были сортобразцы кукурузы селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»: РНИИСК 1, РСК Заря, Радуга, РСК Аврора, РСК Граскorni, Артемида, РСК 7, РСК 3, РСК 354, Нова, Цукерка, 421/20. Работу выполняли в Саратовской области в 2020-2021 гг. Для анализа использовали зрелое измельченное зерно. Исследования проводили методом экстракции для разделения белков на фракции по схеме Осборна в трехкратной повторности. По количеству водорастворимых белков – альбуминов имели превосходство сортобразцы Артемида (16,98 г/100 г белка), Нова (16,83 г/100 г белка), РСК Граскorni (16,32 г/100 г белка) и Цукерка (15,68 г/100 г белка). Наибольшим содержанием глютенинов среди изучаемых образцов характеризовался сорт Радуга (25,69 г/100 г белка), наименьшим – Цукерка (16,68 г/100 г белка). Наибольшее количество проламинов в зерне отмечено у сорта Радуга (23,47 г/100 г белка), за ним следовали линия РСК-7 (22,89 г/100 г белка) и сорт РСК Аврора (22,2 г/100 г белка). Наименьшее содержание нерастворимого белка в остатке зафиксировано в зерне сорта Цукерка (12,45 г/100 г белка). Наиболее полноценным белком, который отличался самым высоким содержанием водо- и солерастворимых фракций при одновременно низком количестве нерастворимого белкового остатка характеризовались гибриды Артемида, Нова.

FRACTIONAL COMPOSITION OF PROTEIN POLYMERS OF CORN GRAIN.**O.I. Bolotova, I.A. Sazonova, V.V. Bychkova***Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, 410050, Saratov, 1-yi Institutskii proezd, 4 E-mail: gelechrisum@gmail.com*

The study of the fractional composition of protein polymers of corn grain was carried out in order to identify the most valuable varieties that have a high protein value, which will allow the further use of these varieties of corn as a component of feed. The objects of the study were maize varieties of the FGBNU RosNIISK "Rossorgo" breeding: RNIISK 1, RSK Zarya, Raduga, RSK Aurora, RSK Graskorn, Artemida, RSK 7, RSK 3, RSK 354, Nova, Zukerka, 421/20. The work was carried out in the Saratov region in 2020-2021. Mature crushed grain was used for analysis. The studies were carried out by the extraction method to separate proteins into fractions according to the Osborne scheme in triplicate. In terms of the amount of water-soluble proteins - albumins, the varieties Artemida (16.98 g/100 g of protein), Nova (16.83 g/100 g of protein), RSK Graskorn (16.32 g/100 g of protein) and Zukerka (15.68 g/100 g of protein), the lowest by Zukerka (16.68 g/100 g of protein). The highest amount of glutelins among the studied samples (25.69 g/100 g of protein), the lowest by Zukerka (16.68 g/100 g of protein). The highest amount of prolamins in the grain was noted in the Raduga variety (23.47 g/100 g of protein), followed by the RSK-7 line (22.89 g/100 g of protein) and the RSK Aurora variety (22.2 g/100 g of protein). The lowest content of insoluble protein in the residue was recorded in the grain of the Zukerka variety (12.45 g/100 g of protein). The most complete protein, which was distinguished by the highest content of water- and salt-soluble fractions with a simultaneously low amount of insoluble protein residue, was characterized by Artemis and Nova hybrids.

Ключевые слова: белок, кукуруза, фракция, альбумины, проламины, глобулины, глютенины.**Key words:** protein, corn, fraction, albumins, prolamins, globulins, glutelins.

В современном мире сегодня наблюдается снижение темпов прироста урожайности сельскохозяйственных культур, особенно по сравнению с этими показателями 60...80-х гг. XX в. Поэтому в мире начинает превалировать мнение о том, что развитие производства зерна в пищевых или кормовых целях – заключается в первую очередь в улучшении качества конечного продукта, то есть биохимического состава зерна, в том числе состава его белка. Особое внимание при этом необходимо уделять не столько увеличению содержания белка в зерне, а в изменении его фракционного состава с целью повышения доли полноценных фракций – альбуминов и глутаминов – источников незаменимого для человека и животных лизина [1]. Это касается и такой культуры, как кукуруза. Решением задачи производства зерна с повышенным содержанием полноценного белка занимаются более 50 лет, результатом этой деятельности стали соответствующие гибриды этой культуры. Использование такого зерна для кормления сельскохозяйственных животных позволяет значительно увеличить их продуктив-

ность и сократить затраты белка, используемого в том числе в качестве кормовых добавок, на 20...25 % [2].

Кукуруза (*Zea mays*) – культура высокой продуктивности и многостороннего использования, что обусловлено содержанием в зерне углеводов (65...70 %), белка (9...12 %), жира (4...8 %), минеральных солей, витаминов, незаменимых аминокислот и других веществ [1]. В развивающихся странах кукуруза служит основным продуктам питания для значительной части населения [3].

Кукурузный белок широко используют в кормах для различных животных, птиц, рыб. Общеизвестно, что важным показателем биологической ценности протеина служит его аминокислотный состав [4]. Например, для обеспечения высоких темпов роста птицы и ее продуктивности необходимо относительно высокая концентрация аминокислот, каждая из которых выполняет свою функцию [5].

Благодаря низкому содержанию золы и легкой усвояемости, белок кукурузы отлично подходит для производства кормов. Птицефабрики используют его

для ускоренного приобретения яичной скорлупой интенсивной натуральной пигментации и окрашивания желтка в более яркий цвет [6].

В то же время биологическая ценность белка в зерне кукурузы составляет всего 40 % от уровня казеина. Общее его содержание, по данным ВИР (Всероссийский институт растениеводства), варьирует от 4,9 до 23,6 % [6]. Белки зародыша зерна кукурузы богаты незаменимыми аминокислотами, которые достаточно хорошо сбалансированы, чего нельзя сказать об аминокислотном составе белков эндосперма [7]. При этом зародыш, как правило, при переработке кукурузы удаляют, что в целом мало влияет на общее содержание белка в получаемом продукте, так как зародыш составляет лишь 9...10 % зерна кукурузы.

Белковые фракции зерна различаются по аминокислотному составу и содержанию незаменимых аминокислот, от которых зависит биологическая ценность белков [8]. Наиболее высокую биологическую ценность имеют водорастворимые белки – альбумины, в составе которых все незаменимые аминокислоты содержатся почти в оптимальных соотношениях, отмечается лишь некоторый дефицит метионина. Глобулины (солеорастворимые белки зерна) характеризуются хорошо сбалансированным аминокислотным составом несмотря на то, что содержание таких незаменимых аминокислот, как метионин, триптофан и лейцин понижено, по сравнению с альбуминами [8, 9]. Глютелины (щелочерастворимые белки) у зерна кукурузы характеризуются довольно сильным дефицитом лизина, триптофана и метионина. Главные запасные белки зерна кукурузы – проламины (спирторастворимые белки) имеют наименьшую биологическую ценность [10]. Они характеризуются очень низким содержанием лизина, триптофана и метионина, а также высокой концентрацией глутаминовой кислоты и пролина. Проламины кукурузы (зеины) отличаются от белков других злаковых тем, что лучше всего растворяются в 90...93 %-ном этиловом спирте [11].

На долю зеина приходится примерно 50...70 % эндосперма, тогда как на глобулины – 3...8 % [6], глютелины – 28...34 %, альбумины – 3...18 % [12]. Зеин, в свою очередь, подразделяется на α-зеин, растворимый в 60...70 %-ном этаноле и β-зеин, растворимый в этаноле большей концентрации (85...96 %) [13].

Как правило, в зеине содержится больше лейцина (18,7 %), фенилаланина (5,2 %), изолейцина (3,8 %), валина (3,6 %) и тирозина (3,5 %), но мало таких незаменимых аминокислот, как треонин (3 %), гистидин, цистеин (1%), метионин (0,9 %) и лизин (0,1 %), почти отсутствует триптофан [14].

Многие литературные источники содержат сведения о том, что качество зерна и состав его компонентов формируется в результате сложных процессов метаболизма, происходящих в растениях под действием внешней среды [1, 5, 15]. Очевидно, что непосредственное влия-

ние на качество белков будут оказывать метеоусловия вегетационного периода [6, 13].

Изучение различных сортообразцов кукурузы, в том числе гибридов и линий, по содержанию белка и его полноценности способствует выявлению и дальнейшему использованию наиболее перспективных селекционных форм в условиях Среднего Поволжья. Одновременно, сведения о полноценности белков зерна кукурузы (аминокислотный состав, растворимость) дают возможность планировать направления дальнейшего улучшения селекционного материала, используемого для создания новых генотипов с высоким качеством продукции.

Несмотря на то, что зерно кукурузы – один из важнейших компонентов кормов в животноводстве, оно не обеспечивает достаточную питательность рационов из-за дефицита незаменимых аминокислот. Среди причин такой ситуации – повышенное содержание проламиновой фракции, которая характеризуется недостаточной питательностью. Поэтому в корма нередко добавляют дополнительные компоненты, богатые такими аминокислотами, как лизин или триптофан.

Цель исследований – выявить сортообразцы кукурузы с наибольшим содержанием полноценных фракций белка в зерне для использования в дальнейшей селекционной работе и кормлении животных.

Методика. Полевые исследования проводили на опытном поле ФГНУ РосНИИСК «Россорго». Почва экспериментального участка – южный чернозем, среднесуглинистый по механическому составу. Содержание гумуса составляет 3,7%, нитратного азота – от 3,5 до 4,2 мг на 100 г почвы, подвижного фосфора (по Мачигину) – от 3,2 до 3,8 мг, обменного калия (по Масловой) – от 18 до 23 мг. Кислотность почвенного раствора близка к нейтральной.

Опытные делянки размещали по черному пару. Весной перед посевом по мере созревания почвы участок бороновали в два следа, до посева проводили две культивации. Уборку урожая проводили вручную, початки растений крайних рядов из анализа исключали.

В качестве материала для исследований были выбраны 12 образцов кукурузы селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»: сорта РНИИСК 1, РСК Заря, Радуга, РСК Аврора, Цукерка, гибриды (гибридные популяции) РСК Граскорн, Артемида, Нова, линии РСК 7, РСК 3, РСК 354, 421/20. Большинство образцов относится к группе раннеспелых (за исключением двух средне-спелых – Нова и 421/20). Выбор изучаемых образцов обоснован их высокой адаптацией к местному климату и продуктивностью.

Для проведения анализов использовали зрелое измельченное зерно кукурузы. Белок на фракции разделяли методом экстракции по схеме Осборна, которая предусматривает последовательное извлечение белков дистиллированной водой, 0,5 М раствором хлористого

Табл. 1. Характеристика метеоусловий в период проведения опытов

Год	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Количество осадков, мм															
2020	14,00	9,20	24,80	13,80	18,20	60,20	12,60	19,80	25,20	52,40	21,80	12,40	0,00	13,50	0,50
2021	17,30	15,20	3,30	42,00	12,60	2,40	13,00	8,20	23,60	0,00	1,00	3,40	33,10	1,00	44,90
Среднедекадная температура, °С															
2020	16,20	14,30	15,50	19,45	22,30	20,70	25,90	24,10	21,90	22,60	19,20	20,40	18,20	16,40	16,80
2021	18,40	22,20	21,70	20,30	23,80	27,40	23,25	25,90	22,60	25,50	26,90	22,30	18,40	15,90	12,40

Табл. 2. Фракционный состав белка зерна кукурузы (урожай 2020 г.), г/100 г белка

Сортообразец	Белковая фракция			
	альбумины	глобулины	проламины	глутелины
Артемид	13,57	10,14	18,94	22,67
РСК-3	11,98	8,77	23,25	25,07
Нова	13,19	9,72	17,95	23,81
РСК Заря	12,30	10,06	19,48	26,67
РНИИСК 1	10,61	8,66	23,04	24,51
РСК 354	10,96	7,91	20,21	24,23
РСК Аврора	11,63	8,16	24,92	24,81
Цукерка	14,84	6,38	10,68	16,68
421/20	10,94	8,14	19,25	18,37
РСК-7	11,07	9,60	24,43	23,92
Радуга	9,30	7,91	24,62	26,95
РСК Граскорн	14,92	9,95	20,37	26,74
НСР ₀₅	1,30	2,05	1,53	2,05

калия, 70 %-ным раствором этанола и 0,2 %-ным раствором едкого натра.

Исследования проводили в трехкратной повторности, результаты подвергли двухфакторному дисперсионному анализу – по сортам и по годам с последующей обработкой данных с помощью программы Agros 2.09 [16].

В работе оценивали количественное содержание белковых фракций зерна кукурузы как качественный показатель, характеризующий селекционный материал. Кроме того, анализировали воздействие погодных факторов 2020 и 2021 гг., которые характеризовались различными гидротермическими условиями (табл. 1).

В 2020 г. за весь вегетационный период средняя температура воздуха составляла 19,6 °С, сумма осадков в среднем за декаду – 19,89 мм. Во второй декаде июля и третьей декаде августа осадков не наблюдали. В 2021 г. среднедекадная температура в районе проведения опытов за период вегетации составляла 21,8 °С, сумма осадков в среднем за декаду – 14,73 мм. В первой декаде августа осадков не наблюдали. Таким образом, в 2021 г. погода была более засушливой и жаркой, чем в 2020 г.

Результаты и обсуждение. В 2020 г. высокое содержание водорастворимых белков – альбуминов было отмечено у образцов Артемид – 13,57 г/100 г, Нова – 13,19 г/100 г, Цукерка – 14,84 г/100 г и РСК Граскорн – 14,92 г/100 г белка соответственно (табл. 2). У образцов РСК 3, РСК Заря, РНИИСК 1, РСК 354, РСК Аврора, 421/20 и РСК 7 величина этого показателя была ниже, чем у ранее перечисленных, от 16 % до 22 %. Наименьшее содержание альбуминов выявлено у сорта Радуга – на 33,6% ниже максимальной величины этого показателя в выборке.

Анализ содержания глобулинов не выявил значимых различий между сортообразцами кукурузы, за исключением сорта Цукерка, у которого оно было самым низким – 6,38 г/100 г белка, что меньше максимальной величины этого показателя в выборке на 37 %. У остальных образцов содержание глобулиновой фракции варьировало от 7,91 г/100 г белка (линия РСК 354) до 10,14 г/100 г белка (образец Артемид).

Значимых различий между большинством сортообразцов кукурузы по содержанию глутелинов также не наблюдали. Наименьшим оно было у образцов Цукерка – 16,68 г/100 г белка и 421/20 – 18,37 г/100 г белка, что соответственно на 30 % и 23 % ниже средней величины этого показателя по выборке и почти на 40 % меньше, чем у лидера – сорта Радуга (26,95 г/100 г). Высокий

уровень содержания глутелинов также отмечали у сорта РСК Заря (26,67 г/100 г белка) и гибридной линии РСК Граскорн (26,74 г/100 г белка).

Содержание проламинов в зерне кукурузы варьировало от 10,68 г/100 г белка (сорт Цукерка) до 23,04; 23,25; 24,43 и 24,62 г/100 г белка у образцов РНИИСК 1, РСК 3, РСК 7 и Радуга соответственно.

Наименьшее содержание нерастворимого белка отмечено у гибрида РСК Граскорн (28,01 г/100 г белка), наибольшее – у сорта Цукерка (51,42 г/100 г белка).

В зерне кукурузы урожая 2021 г. фракционный состав белка характеризовался широкой вариативностью (табл. 3). Содержание альбуминов в зерне гибридов Артемид и Нова было значительно выше, чем у других генотипов, и составляло 20,38 и 20,47 г/100 г белка соответственно. Самым низким оно было у линии РСК – 3 (13,40 г/100 г белка). Между показателями остальных образцов достоверных различий не наблюдали.

Наименьшим содержанием глобулинов характеризовался сорт Цукерка, у которого оно было в 2 раза ниже, чем у образца Нова (13,68 г/100 г белка). Между другими генотипами значимые различия отсутствовали. Аналогичная картина отмечена по глутелинам. Разница по содержанию этой фракции у указанных образцов также составляла почти в 2 раза, а его абсолютные величины были равны соответственно 16,67 и 30,49 г/100 г белка. У других образцов диапазон варьирования находился в интервале от 20,58 г/100 г белка (РСК 354) до 26,81 г/100 г белка (421/20).

Низкое содержание проламиновой фракции отмечено у сортов Цукерка – 14,22 г/100 г белка, РНИИСК 1 – 14,08 и РСК 354 – 15,57 г/100 г белка. У образцов Радуга, РНИИСК 7, Нова оно составляло соответственно 22,31; 21,34 и 20,89 г/100 г белка.

Табл. 3. Фракционный состав белка зерна кукурузы (урожай 2021 г.), г/100 г белка

Сортообразец	Белковая фракция			
	альбумины	глобулины	проламины	глутелины
Артемид	20,38	10,95	17,99	25,52
РСК-3	13,40	10,01	19,72	23,46
Нова	20,47	13,68	20,89	30,49
РСК Заря	15,61	8,86	16,92	21,83
РНИИСК 1	16,61	8,56	14,08	22,18
РСК 354	14,02	8,92	15,57	20,58
РСК Аврора	16,50	9,49	19,47	24,33
Цукерка	16,51	6,20	14,22	16,67
421/20	14,49	9,64	19,08	26,81
РСК-7	14,95	8,98	21,34	24,55
Радуга	15,42	9,09	22,31	24,43
РСК Граскорн	17,72	9,11	18,33	23,53
НСР ₀₅	1,66	1,30	1,01	1,92

В условиях 2021 г. среднее содержание альбуминовой фракции в зерне исследуемых образцов было выше, чем в 2020 г. на 34 %, что может указывать на его зависимость от метеорологических условий в годы исследования – более высокой температуры и пониженного количества осадков вегетационного периода. При этом содержание проламинов в 2021 г. несущественно снижалось, по сравнению с предыдущим годом, на 11 %.

В среднем за 2 года самое высокое содержание глобулиновой фракции, которая характеризуется значительным количеством незаменимых аминокислот, зафиксировано у образцов Артемид и Нова – 10,54 и 11,70 г/100 г белка соответственно (табл. 4). У сорта

Табл. 4. Полноценность белка кукурузы по фракционному составу (среднее за 2020–2021 гг.), г/100 г

Сортообразец	Белковая фракция			
	альбумины	глобулины	проламины	глутелины
Артемид	16,98	10,55	18,47	24,10
РСК-3	12,69	9,39	21,49	24,27
Нова	16,83	11,70	19,42	27,15
РСК Заря	13,96	9,46	18,20	24,25
РНИИСК 1	13,61	8,61	18,56	23,35
РСК 354	12,49	8,42	17,89	22,41
РСК Аврора	14,07	8,83	22,20	24,57
Цукерка	15,68	6,29	12,45	16,68
421/20	12,72	8,89	19,17	22,59
РСК-7	13,01	9,29	22,89	24,24
Радуга	12,36	8,50	23,47	25,69
РСК Граскорн	16,32	9,53	19,35	25,14
Среднее значение по годам	14,22	9,12	19,46	23,70
НСР ₀₅ (сорт)	1,53	1,05	2,25	2,05
НСР ₀₅ (год)	0,82	0,29	0,34	0,18
F _A (сорт)	268,61	25,75	28,97	26,68
F _B (год)	79,63	21,10	50,92	0,01
F _{AB}	106,01	7,53	10,21	17,23

Цукеркаоно было ниже максимальной в выборке величины этого показателя на 46 % (6,29 г/100 г белка).

Сорт Цукерка, наряду с низким содержанием глобулинов, характеризовался и наименьшим уровнем белков с неполноценным аминокислотным составом – глутелинов и проламинов. Их содержание было равно 16,67 и 12,45 г/100 г белка соответственно. В то же время, у него отмечено наибольшее количество нерастворимого остатка (78,90 г/100 г белка), что может свидетельствовать о низкой переваримости белка зерна этого сорта.

Высокое содержание глутелинов выявлено у образца Нова – 27,15 г/100 г белка, одновременно он характеризовался наименьшим содержанием нерастворимого остатка – 25,06 г/100 г белка. У сотообразцов РСК 3, РСК Аврора, РСК 7 и Радуга отмечено большое содержание проламинов – 21,49; 22,19; 22,89 и 23,47 г/100 г белка соответственно.

Учитывая, что альбуминовая фракция наиболее полноценна и содержит все незаменимые аминокислоты – среди изученных образцов следует выделить образцы Артемид, Нова, Цукерка и РСК Граскорн, у которых ее содержание составляло 16,97; 16,83; 15,68 и 16,32 г/100 г белка соответственно, что превышало величину аналогичного показателя у других сортообразцов на 15...25 %.

Наибольшее содержание протеина выявлено у сорта Цукерка в 2021 г. Кроме того, он выделяется высоким содержанием альбуминовой фракции (15,68 г/100 г), наименьшим – глобулиновой (6,29 г/100 г), а также низким содержанием неполноценного белка – проламинов (12,45 г/100 г белка). В то же время зерно этого сорта характеризовалось высокой концентрацией нерастворимого осадка белка (в пределах 50 %), что свидетельствует о его низкой перевариваемости.

Перспективный образец для использования в селекции – гибрид Артемид, зерно которого содержит белок с наиболее полноценным фракционным составом: высокая доля альбуминов (16,98 г/100 г) и глутелинов (24,1 г/100 г); низкая – проламинов (18,47 г/100 г) и не-

растворимого остатка, что указывает на его высокую питательную ценность.

Высокой полноценностью белка характеризуется образец Нова, у которого доля альбуминовой фракции составляла 16,83 г/100 г. При этом содержание проламинов в его зерне достигало 19,42 %. К его недостаткам можно отнести наибольшее количество глутелинов в 2021 г. было (30,49 г/100 г).

Выводы. Исходя из полученных результатов, выделены образцы кукурузы, которые имеют преимущество по содержанию более полноценной альбуминовой фракции белка – Артемид, Нова, РСК Граскорн и Цукерка, что позволяет рекомендовать их для использования в дальнейшей селекционной работе с целью создания перспективных сортов с высоким качеством белка. Гибридные линии Артемид и Нова целесообразно рекомендовать для использования в кормопроизводстве с целью повышения питательности рационов.

Литература

1. Shah T.R., Parsad K., Kumar P. Maize - a potential source of human nutrition and Maize-A potential source of human nutrition and health // *Cogent Food Agric.* 2016. Vol. 2. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311932.2016.1166995> (дата обращения: 09.09.2022). doi: 10.1080/23311932.2016.1166995.
2. Тупольских, Т. И., Вишнякова Т. А. Анализ влияния химических способов замачивания зерна кукурузы на растворимость белков // *Молодой исследователь Дона.* 2018. № 2(11). С. 102-106.
3. Тосунов Я.К., Чернышева Н.В., Барчукова А.А. Влияние обработки семян кукурузы агрохимикатом Вуксал Тернос Универсал на рост, формирование репродуктивных органов и урожайность кукурузы // *Плодородие.* 2018. №6. С.23-26.
4. Продуктивные гибриды кукурузы для успешного агробизнеса // *Аграрная наука.* 2020. № 9. С. 65.
5. Martinez E.L., Fernandez F.J.B. Economics of corn production, marketing and use // *Chemistry and technology / ed. S.O. Serna-Saldivar.* Amsterdam: Elsevier, 2018. P. 87-106.
6. Экологическое изучение гибридов кукурузы в степной зоне Нижнего Поволжья / С. А. Зайцев, Д. П. Волков, Л. А. Гудова и др. // *Аграрный научный журнал.* 2022. №4. С.13-17. doi 10.28983/asj.y2022i4pp13-17.
7. Bouis H.E, Saltzman A. Improving nutrition by bio-enrichment: A review of Harvest Plus, 2003 through 2016 // *Glob Food Security.* 2017. Vol. 12. P. 49-58. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912417300068?via%3Dihub> (дата обращения: 25.10.2022). doi: 10.1016/j.gfs.2017.01.009.
8. Айрумьян В.Ю., Сокол Н. В., Ольховатов Е. А. Химический состав продуктов переработки зерна риса и кукурузы для повышения пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий // *Ползуновский вестник.* 2020. № 3. С. 3-10. doi 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.001.
9. Wu Y., Messing J. Proteome balancing of the maize seed for higher nutritional value // *Front. Plant. Sci.* 2014. Vol. 5. P. 240–252. doi: 10.3389/fpls.2014.00240.
10. Ranum P., Pena-Rosas J.P., Garcia-Casal M.N. Global maize production, utilization, and consumption // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2014. Vol. 105. P. 1312–1337.
11. Evaluation of maize germplasm based on zein polymorphism from the archipelago of Madeira / I.R.A. Freitas, F. Ganancia, T. Santos, et al. // *Maydica.* 2005. Vol. 50. P. 105–112.

12. Landry J., Delhaye S., Damerval C. Protein distribution pattern in flourey and vitreous endosperm of maize grain // *Cereal Chem.* 2004. Vol. 81. P. 153–158. doi: 10.1094/CCHEM.2004.81.2.153.
13. Temporal patterns of gene expression in developing maize endosperm identified through transcriptome sequencing / G. Li, D. Wang, R. Yang, et al. // *Proceed. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2014. Vol. 111. P. 7582–7587. doi: 10.1073/pnas.1406383111.
14. Осборн Т.Б. Растительные белки / Перев. с англ. под редакцией проф. А.Р. Казель. М.; Л.: Биомедгиз. 1935. 220 с.
15. Бутовец Е. С., Красковская Н. А., Даниленко И. Н. Многокритериальная оценка гибридов кукурузы в условиях Приморского края // *Земледелие.* 2020. № 4. С. 26–28. doi 10.24411/0044-3913-2020-10407.
16. Мартынов С.П. Статистический и биометрико-генетический анализ в растениеводстве и селекции. Пакет программ "AGROS 2.09". Тверь. 1999.
17. Селекция новых гибридов кукурузы с пониженной уборочной влажностью зерна / А. В. Гульяшкин, Н. А. Лемешев, А. А. Земцев и др. // *Труды Кубанского государственного аграрного университета.* 2020. № 85. С. 61–67. doi: 10.21515/1999-1703-85-61-67.

Поступила в редакцию 13.12.2022

После доработки 27.01.2023

Принята к публикации 09.03.2023