

СОДЕРЖАНИЕ АМИНОКИСЛОТ В ЗЕРНЕ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ*

Дамир Ф. Асхадуллин¹, Данил Ф. Асхадуллин¹, Н. З. Василова¹, Е. В. Зуев², кандидаты сельскохозяйственных наук, А. Р. Хайруллина¹, научный сотрудник

¹Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства - обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра КазНЦ РАН, 420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 48

²Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, 190031, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская 42-44

Исследования проводили с целью определения различий в содержании аминокислот в зерне пшеницы мировой коллекции ВИР в агроклиматических условиях Республики Татарстан и поиска источников повышенного содержания незаменимых аминокислот, для использования в селекции. Работу выполняли в 2021–2022 гг. на опытном участке, расположенном в 15 км от г. Казань, почва – серая лесная. Изучали 354 образца яровой пшеницы. Содержание семнадцати аминокислот и белка в зерне пшеницы определяли методом спектроскопии в ближней инфракрасной области на приборе DS 2500F фирмы FOSS. Существенное влияние на сумму незаменимых кислот оказывало содержание белка в зерне. Коэффициент корреляции между величинами этих показателей был достоверным положительным в 2021 г. – тесным ($r = 0,91 \pm 0,02$), в 2022 г. – средним ($r = 0,69 \pm 0,04$). Среди изученных аминокислот в зерне исследованных сортов пшеницы больше всего было глутамина (до 2,22 %) и пролина (до 1,55 %). Сорт Raneе (к-26982) служит источником высокого содержания гистидина (0,38...0,40 %), изолейцина (0,53...0,54 %), лизина (0,61...0,62 %), метионина (0,28...0,30 %), фенилаланина (0,66...0,67 %), треонина (0,52...0,56 %) и тирозина (0,31...0,36 %); Panifor – цистеина (0,58...0,63 %), гистидина (0,39 %) и треонина (0,51...0,58 %); Arrino (к-65995) – лейцина (0,82...0,91 %), тирозина (0,31...0,34 %) и валина (0,75...0,78 %). По содержанию лизина в белке (г/100 г белка) выделялись образцы Raneе (к-26982) – 3,63...3,66 и NIL Avocet Yr15 (к-66241) – 2,86...4,52; метионина – Uffo (к-66798) – 1,80...1,81 и Fiorina (к-66034) – 1,70...1,91; треонина – Raneе (к-26982) – 3,04...3,36, Panifor (к-66039) – 3,09...3,20 и Cub (к-62510) – 3,07...3,20; триптофана – Ethos (к-65002) – 2,00...2,27, Тулайковская 108 (к-65452) – 2,01...2,26 и Экада 109 (к-66239) – 2,07...2,14.

AMINO ACID CONTENT IN SPRING COMMON WHEAT GRAIN

Damir F. Ashadullin¹, Danil F. Ashadullin¹, N. Z. Vasilova¹, E. V. Zuev², A. R. Hajrullina¹

¹Tatarian Agricultural Research Institute – autonomous structural subdivision of the Federal Research Center of the Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 420059, Kazan, Orenburgskii tr., 48

²Federal Research Center the Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 190031, Sankt-Peterburg, Bolshaya Morskaya, 42-44

The aim of the study was to determine the differences in the content of amino acids in wheat grains of the world collection of VIR in the agro-climatic conditions of the Republic of Tatarstan and to search for sources of increased content of essential amino acids for the use of these data in breeding. The study was conducted in 2021–2022 at the experimental base of the Tatar Research Institute of Agriculture of the Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, located 15 km away from Kazan, the soil of the experimental site is gray forest. 354 samples of spring wheat were studied. The determination of the content of seventeen amino acids and protein in wheat grain was carried out using the near-infrared spectroscopy method on the DS 2500F device from FOSS. The protein content in the grain has a significant effect on the amount of essential acids. The correlation between the protein content and the amount of essential acids in wheat grain is high in 2021. $r = 0.91 \pm 0.02$ and average in 2022. $r = 0.69 \pm 0.04$. The highest content of glutamine in wheat grain was noted – up to 2.22 % and proline – up to 1.55 %. The source of high grain content of histidine 0.38–0.40 %, isoleucine 0.53–0.54 %, lysine 0.61–0.62 %, methionine 0.28–0.30 %, phenylalanine 0.66–0.67 %, threonine 0.52–0.56 % and tyrosine 0.31–0.36 % was the Raneе sample (k-26982). The Panifor sample was a source of high grain content of cysteine 0.58–0.63 %, histidine 0.39 % and threonine 0.51–0.58 %. The Arrino sample (k-65995) is a source of high grain content of leucine 0.82–0.91 %, tyrosine 0.31–0.34 % and valine 0.75–0.78 %. According to the lysine content in protein (grams of amino acid per 100 grams of protein), samples Raneе (k-26982) – 3.63–3.66 and NIL Avocet Yr15 (k-66241) – 2.86–4.52 were isolated. According to the content of methionine in the protein, samples of Uffo (k-66798) – 1.80–1.8 and Fiorina (k-66034) – 1.70–1.91 were isolated. According to the threonine content, three samples Raneе (k-26982) – 3.04–3.36, Panifor (k-66039) – 3.09–3.20 and Cub (k-62510) – 3.07–3.20 were distinguished. The source of the high tryptophan content in the protein were samples Ethos (k-65002) – 2.00–2.27, Tulaykovskaya 108 (k-65452) – 2.01–2.26 and Ekada 109 (k-66239) – 2.07–2.14.

Ключевые слова: пшеница, белок, образец, источник, аминокислоты.

Key words: wheat, protein, variety, source, amino acids.

Белки играют исключительно важную роль в питании человека и животных. Однако они неодинаковы по своей питательной ценности, различия в которой обусловлены главным образом аминокислотным составом. Если соот-

ношение аминокислот не сбалансированно, то способность организма использовать белок будет пониженной. Аминокислоты, углеродные скелеты которых не синтезируются или синтезируются недостаточно клетками животных и

* Работа выполнена в рамках государственного задания Татарского НИИСХ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН, № 122011800138-7 и государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

человека, относительно метаболических потребностей, называют незаменимыми. Растительные белки дефицитны по большинству незаменимых аминокислот, «идеальным» считают белок молока и куриного яйца [1]. Незаменимы в питании человека и животных валин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, тирозин, треонин, триптофан, фенилаланин, цистеин [2]. Если содержание одной незаменимой аминокислоты в рационе меньше, чем требуется организму, ее дефицит ограничивает использование других аминокислот. Производство синтетических аминокислот, применяемых в животноводстве, в РФ составляет в среднем 50 тыс. т в год, однако объём их потребления ежегодно увеличивается на 20 % [3]. Возникающий в результате дефицит можно частично компенсировать путем повышения биологической ценности зерна.

Первая лимитирующая аминокислота в белке пшеницы – лизин, вторая – треонин. Имеются сведения о том, что генетические различия по ее содержанию в зерне разных сортов пшеницы могут достигать более чем 3 раз [4]. Около половины всех аминокислот нерастворимой фракции клейковины пшеницы приходится на глутаминовую кислоту и пролин [5]. При высоком содержании белка, как правило, возрастает доля клейковинных белков с низкой концентрацией лизина [6, 7]. Известно, что содержание аминокислот сельскохозяйственной продукции зависит от уровня минерального питания [8] и агроэкологических условий [9, 10, 11], значительное влияние на величину этого показателя оказывают химические средства защиты и биостимуляторы [12]. Имеются сведения, о высокой наследуемости содержания незаменимых аминокислот в зерне пшеницы [13], то есть возможно использование источников с высокой концентрацией отдельных незаменимых аминокислот в селекционных программах.

Цель исследования – определение различий в содержании аминокислот в зерне пшеницы мировой коллекции ВИР в агроклиматических условиях Республики Татарстан и выявление источников повышенной концентрации незаменимых аминокислот для использования в селекции.

Методика. Работу проводили в 2021–2022 гг. в Татарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства ФИЦ Казанского научного центра РАН. Изучали 354 образца яровой пшеницы из Австралии,

Белоруссии, Великобритании, Германии, Греции, Испании, Казахстана, Канады, Китая, Кыргызстана, Польши, Португалии, России, США, Украины, Франции, Швейцарии, Швеции и других стран, предоставленных Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова.

Технология возделывания пшеницы включала вспашку зяби (предшественник в 2021 г. фацелия, в 2022 г. яровая пшеница); внесение азотоса 250 кг/га, аммиачной селитры 100 кг/га под культивацию. Посев проводили кассетной сеялкой Неге 90, площадь делянки 1 м², норма высева 6 млн всхожих семян на 1 га. Уход заключался в химических прополках против однолетних злаковых и двудольных сорняков. Уборку осуществляли комбайном Wintersteiger «Classic».

Содержание 17 аминокислот и белка в зерне пшеницы определяли методом спектроскопии в ближней инфракрасной области [14, 15] на приборе DS 2500F фирмы FOSS (Швеция), валидация и градуировка соответствовали ГОСТ ISO 12099-2017. По результатам этого анализа образцы пшеницы ранжировали на группы в соответствии с классификационными нормами, используемыми Госсортомисией [16]: с очень высоким содержанием белка (≥16 %), с высоким (14...15,9 %), средним (13...13,9 %) и ниже среднего (менее 13 %).

Метеорологические условия в весенне-летний период 2021 и 2022 гг. были резко контрастными. В 2021 г. в мае было сухо и тепло, после посева выпало только 10 мм осадков при значительном превышении среднесуточной температуры, в сравнении со среднемноголетними значениями, на 7 °С, ГТК составил 0,31; в июне выпало 10,5 мм осадков в небольших количествах (от 2,5 до 5 мм) при норме 62 мм, ГТК был равен 0,23; в июле выпало 31,5 мм, большей частью в третьей декаде месяца, ГТК в этот период составил 0,46. В 2022 г. май был очень сырой и прохладный, ГТК был равен 3,31; июнь соответствовал средне климатической норме; во второй декаде июля выпала среднемесячная сумма осадков, ГТК в июле составил 0,97; август характеризовался отсутствием осадков и повышенной на 5,5 °С температурой воздуха относительно нормы.

Статистическую обработку результатов исследований проводили методами корреляционного и вариационного анализа [17].

Табл. 1. Содержание аминокислот в зерне пшеницы, %

Аминокислота	Среднее,		Размах, min...max		Коэффициент вариации, Cv	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Аланин	0,48	0,43	0,29...0,75	0,21...0,71	17	17
Аргинин	0,67	0,72	0,54...0,91	0,53...1,00	11	10
Цистеин	0,44	0,53	0,35...0,58	0,36...0,84	10	9
Глутамин	1,35	1,52	0,82...2,22	0,09...2,22	19	22
Глицин	0,47	0,51	0,40...0,62	0,42...0,67	8	8
Гистидин	0,27	0,30	0,11...0,43	0,18...0,39	22	11
Изолейцин	0,41	0,41	0,29...0,55	0,28...0,56	12	13
Лейцин	0,70	0,60	0,51...0,99	0,38...0,84	11	12
Лизин	0,42	0,31	0,27...0,66	0,11...0,62	17	25
Метионин	0,19	0,16	0,11...0,31	0,07...0,30	17	26
Фенилаланин	0,52	0,52	0,43...0,67	0,43...0,68	10	8
Пролин	1,13	1,32	1,00...1,30	1,11...1,55	5	5
Серин	0,51	0,58	0,41...0,67	0,48...0,72	10	7
Треонин	0,37	0,41	0,25...0,57	0,30...0,58	17	10
Триптофан	0,21	0,32	0,16...0,30	0,20...0,39	12	8
Тирозин	0,27	0,18	0,18...0,36	0,06...0,31	11	21
Валин	0,59	0,65	0,49...0,76	0,56...0,83	9	7

Табл. 2. Источники повышенного содержания незаменимых аминокислот в зерне у образцов яровой мягкой пшеницы

Аминокислота	№ в каталоге ВИР	Происхождение	Образец	Содержание аминокислоты, %	
				2021 г.	2022 г.
Цистеин	66039	Франция	Panifor	0,58	0,63
Гистидин	66039	Франция	Panifor	0,39	0,39
	26982	Австралия, Виктория	Ranee	0,38	0,40
Изолейцин	66449	Испания	Atrevido	0,55	0,52
	26982	Австралия, Виктория	Ranee	0,54	0,53
Лейцин	65995	Австралия, Западная Австралия	Arrino	0,91	0,82
Лизин	26982	Австралия, Виктория	Ranee	0,61	0,62
Метионин	26982	Австралия, Виктория	Ranee	0,28	0,30
Фенилаланин	26982	Австралия, Виктория	Ranee	0,67	0,66
Треонин	66039	Франция	Panifor	0,51	0,58
	26982	Австралия, Виктория	Ranee	0,56	0,52
Триптофан	66195	Китай, Хэнань	Yumai 34	0,29	0,37
Тирозин	26982	Австралия, Виктория	Ranee	0,36	0,31
	65995	Австралия, Западная Австралия	Arrino	0,34	0,31
	65995	Австралия, Западная Австралия	Arrino	0,75	0,78

Результаты и обсуждение. При сравнении аминокислотного состава зерна используют показатель содержания аминокислоты в продукте, при определении биологической ценности белка – чаще всего, содержание аминокислот в белке [18, 19]. И в первом, и во втором случае важную роль играет содержание белка в зерне. В нашем исследовании большинство образцов характеризовались очень высоким и высоким содержанием белка – более 14 % (см. рисунок). При этом средняя величина этого показателя по всей выборке в 2021 г. составила 12,4 %, в 2022 г. – 16,5 %. Самыми белковыми были образцы Пушкинская 3 (к - 66404, Россия, Ленинградская обл.) – 18 %, Пушкинская 4 (к - 66405, Россия, Ленинградская обл.) – 18,1 %, Blue-A (к - 43091, Канада) – 18 %, Atrevido (к-66449, Испания) – 18,1 %, Manu (к - 66029, Финляндия) – 18,3 %, Yumai 34 (к -66195, Китай, Хэнань) – 18,7 %. Между содержанием суммы незаменимых аминокислот и белка в 2021 г. отмечена

сильная связь с коэффициентом корреляции Пирсона (r) $0,91 \pm 0,02$, в 2022 г. – средняя ($r=0,69 \pm 0,04$).

Среди изученных аминокислот в зерне исследованных сортов пшеницы больше всего было глутамина (до 2,22 %) и пролина (до 1,55 %), причем для первой аминокислоты свойственна изменчивость от средней до значительной $Cv = 19 \dots 22$ %, содержание второй было более стабильным $Cv = 5$ % (табл. 1). Значительные различия между образцами пшеницы по содержанию гистидина отмечали в 2021 г. ($Cv = 22$ %), лизина, метионина и тирозина – в 2022 г. ($Cv = 25, 26$ и 21 % соответственно).

Для ряда аминокислот, в том числе заменимых глицина, серина, пролина и незаменимых цистеина, фенилаланина, валина, отмечена относительно стабильное ($Cv = 5 \dots 10$ %) содержание в зерне образцов яровой пшеницы. В то же время выделены генотипы с их повышенной концентрацией. Так, Ranee (к - 26982, Австралия, Виктория) служит источником высокого содержания гистидина (0,38...0,40 %), изолейцина (0,53...0,54 %), лизина (0,61...0,62 %), метионина (0,28...0,30 %), фенилаланина (0,66...0,67 %), треонина (0,52...0,56 %) и тирозина (0,31...0,36 %). Сортообразец Panifor (к-66039, Франция) характеризовался высоким содержанием цистеина (0,58...0,63 %), гистидина (0,39 %) и треонина (0,51...0,58 %); Arrino (к - 65995, Австралия, Западная Австралия) – повышенным содержанием лейцина (0,82...0,91 %), тирозина (0,31...0,34 %) и валина (0,75...0,78 %). Все перечисленные образцы вошли в группу высокобелковых со средней концентрацией белка 16,9 % (табл. 2). Содержание гистидина у них было выше, чем в среднем по всем образцам, на 30 %, изолейцина – на 24 %, лизина – на 41 %, метионина – на 40 %, фенилаланина –

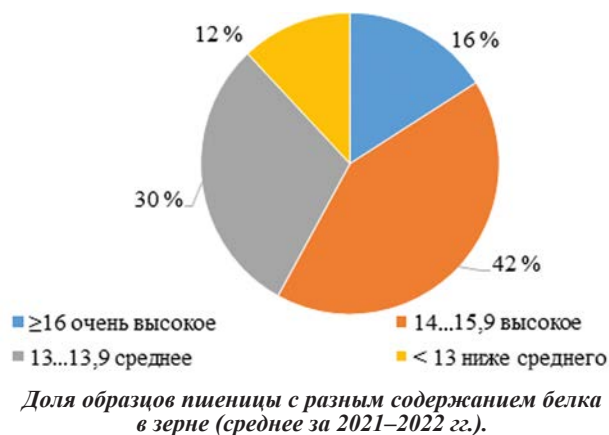


Табл. 3. Источники повышенного содержания незаменимых аминокислот в белке у образцов яровой мягкой пшеницы

Аминокислота	Образец	Происхождение	№ в каталоге ВИР	Содержание аминокислоты, г/100 г белка	
				2021 г.	2022 г.
Лизин	Ranee	Австралия, Виктория	26982	3,66	3,63
	NIL Avocet Yr15	Австралия	66241	4,52	2,86
		среднее по образцам		2,96±0,02	1,90±0,02
Метионин	Uffo	Латвия	66798	1,80	1,81
	Fiorina	Швейцария	66034	1,70	1,91
		среднее по образцам		1,57±0,01	0,97±0,01
Треонин	Ranee	Австралия, Виктория	26982	3,36	3,04
	Panifor	Франция	66039	3,09	3,20
	Cub	Великобритания	62510	3,20	3,07
		среднее по образцам		2,96±0,01	2,51±0,01
Триптофан	Ethos	Германия	65002	2,00	2,27
	Тулайковская 108	РФ, Самарская обл.	65452	2,01	2,26
	Экада 109	РФ, Татарстан	66239	2,07	2,14
		среднее по образцам		1,67±0,01	1,92±0,01

на 22 %, треонина – на 28 %, тирозина – на 31...33 %, цистеина – на 20 %, лейцина – на 25 %, валина – на 19 %.

Кроме валового количества, в селекции на повышенные содержания отдельных аминокислот важна их концентрация в белке. На сегодняшний день используют следующие подходы к конверсии аминокислот в семенах злаков – увеличение содержания запасных белков богатыми аминокислотами и (или) блокирование белков бедных одной или несколькими аминокислотами [20]. Селекционное улучшение пшеницы путем изменения содержания более двух незаменимых аминокислот в белке вряд ли возможно, поэтому необходимо уделить внимание одной из наиболее дефицитных: лизину, метионину, треонину и триптофану.

В наших исследованиях по содержанию лизина в белке выделился ранее отмеченный образец Ranee, у которого его концентрация составила 3,65 г/100 г белка, и образец NIL Avocet Yr15 – 3,69 г/100 г белка, что больше среднегрупповой на 33 и 34 % соответственно. По содержанию метионина в белке лучшими были образцы Uffo и Fiorina – 1,81 г/100 г белка, что выше, чем в среднем по всем образцам, на 30 %. По количеству треонина выделились Ranee, Panifor и Cub, среднее его содержание в белке этих образцов составило 3,13...3,20 г/100 г белка, что на 15...18 % выше, чем в среднем по всем образцам. Причем у Ranee и Panifor одновременно отмечали высокое содержание треонина и в зерне. Источником высокого количества триптофана в белке был образец Ethos и два российских сорта Тулайковская 108, Экада 109, у которых оно было выше, чем в среднем по всем образцам, на 15...16 % и находилось в диапазоне 2,11...2,14 г/100 г белка (табл. 3).

Выводы. Между содержанием суммы незаменимых аминокислот и белка в зерне отмечена положительная корреляция в 2021 г. она была сильной ($r=0,91\pm0,02$), в 2022 г. – средней ($r=0,69\pm0,04$). Среди изученных аминокислот в зерне исследованных сортов пшеницы больше всего было глутамина (до 2,22 %) и пролина (до 1,55 %).

В результате исследований установлены источники высокого содержания ряда аминокислот в зерне:

Ranee (к - 26982, Австралия, Виктория) – гистидина (0,38...0,40 %), изолейцина (0,53...0,54 %), лизина (0,61...0,62 %), метионина (0,28...0,30 %), фенилalani-

на (0,66...0,67 %), треонина (0,52...0,56 %) и тирозина (0,31...0,36 %);

Panifor (к-66039, Франция) – цистеина (0,58...0,63 %), гистидина (0,39 %) и треонина (0,51...0,58 %);

Argino (к-65995, Австралия, Западная Австралия) – лейцина (0,82...0,91 %), тирозина (0,31...0,34 %) и валина (0,75...0,78 %);

источники высокого содержания аминокислот в белке: лизина – Ranee (к-26982, Австралия, Виктория) – 3,63...3,66 г/100 г белка и NIL Avocet Yr15 (к-66241, Австралия) – 2,86...4,52 г/100 г белка;

метионина – Uffo (к-66798, Латвия) – 1,80...1,81 г/100 г белка и Fiorina (к-66798, Швейцария) – 1,70...1,91 г/100 г белка;

треонина – Ranee (к-26982, Австралия, Виктория) – 3,04...3,36 г/100 г белка, Panifor (к-66039, Франция) – 3,09...3,20 г/100 г белка и Cub (к-62510, Великобритания) – 3,07...3,20 г/100 г белка;

триптофана – Ethos (к-65002, Германия) – 2,00...2,27 г/100 г белка Тулайковская 108 (к - 65452, Россия, Самарская обл.) – 2,01...2,26 г/100 г белка и Экада 109 (к-66239, Россия, Татарстан) – 2,07...2,14 г/100 г белка.

Литература.

1. Лысков Ю. А. Аминокислоты в питании человека // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2012. №2. С. 88–105.
2. Hou Y., Wu G., *Nutritionally Essential Amino Acids // Advances in Nutrition*. 2018. Vol. 9. No. 6. P. 849–851. doi: 10.1093/advances/nny054.
3. *Перспективы развития глубокой переработки зерна / Н. Р. Андреев, В. Г. Гольдштейн, Л. П. Носовская и др. // Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. №11. С. 98–103. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11115.
4. Yigit A., Erekul O. *Antioxidant Activity and Essential Amino acid Content of Bread Wheat (Triticum aestivum L.) Varieties // Journal of Agricultural Sciences*. 2023. Vol. 29. No. 1. P. 130–141. doi:10.15832/ankutbd.999660.
5. Kaur R., Kaur H., Srivastava P. *Role of tryptophan content in determining gluten quality and wheat grain characteristics // Heliyon*. 2022. Vol. 8. No. 10. Article 10715. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022020035> (дата обращения: 05.02.2023). doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10715

6. Vogel K. P., Johnson V. A., Mattern P. J. Reevaluation of Common Wheats from the USDA World Wheat Collection for Protein and Lysine Content (1975) // *Historical Research Bulletins of the Nebraska Agricultural Experiment Station (1913-1993)*. 1993. URL: <http://digitalcommons.unl.edu/ardhistrb/172> (дата обращения: 05.02.2023)
7. Маркс Е. И., Лейболт Е. Л., Заушицына И. Г. Электрофоретические спектры белков и качество урожая пшеницы // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2015. №4 (37). С. 26–34.
8. Формирование химического состава зерна яровой пшеницы при различном уровне минерального питания / Д. В. Чикишев, Н. В. Абрамов, Н. С. Ларина и др. // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2020. Т. 10. № 3. С. 496–505. doi: 10.21285/2227-2925-2020-10-3-496-505.
9. Горянина Т. А., Макушкин А. Н. Качество зерна сортов озимых тритикале селекции Самарского НИИСХ // *Аграрный научный журнал*. 2021. №7. С. 4–8. doi: 10.28983/asj.y2021i7pp4-8.
10. Асеева Т. А., Зенкина К. В., Ломакина И. В. Хозяйственная и биологическая характеристика перспективного универсального сорта яровой пшеницы Далира // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 6. С. 59–64. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10611.
11. Бельшикина М.Е. Биохимический состав семян раннеспелых сортов сои и его вариабельность в зависимости от сортовых особенностей и метеорологических условий вегетационного периода // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 3 (51). С. 33–40.
12. Influence of seven levels of chemical/biostimulator protection on amino acid profile and yield traits in wheat / Iwaniuk P., Konecki R., Kaczynski P., et al. // *The Crop Journal*. 2022. Vol. 10. No. 4. P. 1198–1206. doi: 10.1016/j.cj.2021.12.007.
13. Jiang X., Wu P., Tian, J. Genetic analysis of amino acid content in wheat grain // *Journal of Genetics*. 2014. Vol. 93. P. 451–458. doi: 10.1007/s12041-014-0408-6.
14. Fontaine J., Schirmer B., Horr J. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) Enables the Fast and Accurate Prediction of Essential Amino Acid Contents. 2. Results for Wheat, Barley, Corn, Triticale, Wheat Bran / Middlings, Rice Bran, and Sorghum // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50. No. 14. P. 3902–3911. doi: 10.1021/jf011637k.
15. Near-Infrared Reflectance Spectrophotometry (NIRS) Application in the Amino Acid Profiling of Quality Protein Maize (QPM) / E. O. Alamu, A. Menkir, M. Adesokan, et al. // *Foods*. 2022. Vol. 11. No. 18. Article 2779. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/18/2779> (дата обращения: 07.02.2023). doi: 10.3390/foods11182779.
16. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур / под общ. ред. М. А. Федина. М.: Госагропром СССР, 1988. 121 с.
17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М.: Альянс, 2011. 350 с.
18. Simon Sarkadi L. Amino acids and biogenic amines as food quality factors // *Pure and Applied Chemistry*. 2019. Vol. 91, Issue 2. P. 289–300. doi: 10.1515/pac-2018-0709.
19. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates / S.H.M. Gorissen, J.J.R. Crombag, J.M.G. Senden, et al. // *Amino Acids*. 2018. Vol. 50. P. 1685–1695 doi:10.1007/s00726-018-2640-5.
20. Galili G., Amir R., Fernie A. R. The Regulation of Essential Amino Acid Synthesis and Accumulation in Plants // *Annual Review of Plant Biology*. 2016. Vol. 67 P. 153–78. doi: 10.1146/annurev-arplant-043015-112213.

Поступила в редакцию 08.02.2023

После доработки 01.03.2023

Принята к публикации 15.03.2023