

СОДЕРЖАНИЕ АМИНОКИСЛОТ В БЕЛКЕ СОРТОВ КОЛЛЕКЦИОННОГО ПИТОМНИКА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

И.Д. ФАДЕЕВА, кандидат сельскохозяйственных наук,

ORCID ID: 0000-0002-8453-5437, E-mail: fad-ir2540@mail.ru

Ф.Ф. КУРМАКАЕВ, научный сотрудник, ORCID ID: 0000-0003-2217-3060,

E-mail: agronom131@mail.ru

А.Э. ТАГИРОВ, младший научный сотрудник, ORCID ID 0009-0002-9151-9264, artemiitagiriov@gmail.com

А.Р. ХАЙРУЛЛИНА, научный сотрудник, ORCID ID 0009-0003-4530-041, E-mail: alsu_85@inbox.ru

ТАТАРСКИЙ НИИСХ – ОСП ФГБНУ ФИЦ «КАЗАНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН»

Аннотация. В условиях республики Татарстан в 2022-2024 гг. проведено изучение 420 сортов озимой пшеницы коллекционного питомника с целью выявления сортов-источников высокого содержания незаменимых аминокислот для использования в селекционном процессе. Сорта выращивались по чистому пару. Под предпосевную культивацию вносили азофоску 150 кг/га, весной в период возобновления вегетации – амиачную селитру 100 кг/га. Содержание аминокислот и белка в зерне пшеницы определяли методом спектроскопии на приборе DS 2500F фирмы FOSS (Дания). Содержание белка рассчитывали на 14% влажность зерна. Наиболее высокое содержание белка в зерне получено в 2023 году - 16,8%. Среди семнадцати изученных аминокислот, содержание пролина составило 12,5%; глутамина - 12,0%; аргинина – 7,6%; лейцина – 7,00% и валина – 7,04% от общей суммы аминокислот в белке. В результате проведенных исследований, выделены сорта – источники высокого содержания аминокислот в белке: лизина – сорта Вымпел (3,64 г/100 г белка), Zira (3,46 г/100 г белка), Barkan (3,43 г/100 г белка), Zhong pin 1507 (3,44 г/100 г белка) и Lada odeska (3,43 г/100 г белка), что выше среднего значения по всем изученным сортам на 27,5...35,4%. По содержанию метионина в белке, превышающего среднее сортовое значение на 38,33...45,00%, выделились сорта CDC Clair (40,33 г/100 г белка) и KAW (38,33 г/100 г белка). Высокое содержание тирозина характерно для сортов Uzdum (1,98 г/100г белка), Северо-донская имунная (2,05 г/100г белка) и NO2 Y 4529 (1,94 г/100г белка).

Ключевые слова: озимая пшеница, сорт, белок, аминокислоты, источник, коэффициент вариации

Для цитирования: Фадеева И.Д., Курмакаев Ф.Ф., Тагиров А.Э., Хайруллина А.Р. Содержание аминокислот в белке сортов коллекционного питомника озимой пшеницы. Зернобобовые и крупяные культуры. 2025. № 4 (56):187-194 DOI: 10.24412/2309-348X-2025-4-187-194

AMINO ACID CONTENT IN THE PROTEIN OF WINTER WHEAT VARIETIES FROM THE COLLECTION NURSERY

I.D. Fadeeva, F.F. Kurmakaev, A.E. Tagirov, A.R. Khairullina

TATAR RESEARCH INSTITUTE OF AGRICULTURE – SSU FRC «KazSC RAS»

Abstract: In the Republic of Tatarstan, in 2022-2024, a study of 420 winter wheat varieties from a collection nursery was conducted to identify varieties with high content of essential amino acids for use in the breeding process. The varieties were grown on bare fallow. Azofoska was added at 150 kg/ha during pre-sowing cultivation, and ammonium nitrate at 100 kg/ha in the spring

during the period of vegetation resumption. The content of amino acids and protein in wheat grain was determined by spectroscopy using a DS 2500F device from FOSS (Denmark). The protein content was calculated based on 14% grain moisture. The highest protein content in grain was obtained in 2023 - 16.8%. Among the seventeen amino acids studied, the content of proline was 12.5%; glutamine - 12.0%; arginine - 7.6%; leucine - 7.00% and valine - 7.04% of the total amino acids in the protein. As a result of the studies, the varieties were identified as sources of high amino acid content in protein: lysine - varieties Vympel (3.64 g / 100 g protein), Zira (3.46 g / 100 g protein), Barkan (3.43 g / 100 g protein), Zhong pin 1507 (3.44 g / 100 g protein) and Lada odes,ka (3.43 g / 100 g protein), which is higher than the average value for all studied varieties by 27.5 ... 35.4%. According to the content of methionine in protein, exceeding the average varietal value by 38.33 ... 45.00%, varieties CDC Clair (40.33 g / 100 g protein) and KAW (38.33 g / 100 g protein) stood out. High tyrosine content is characteristic of the varieties Uzdyum (1.98 g/100 g protein), Severo-Donskaya Imunnaya (2.05 g/100 g protein) and NO2 Y 4529 (1.94 g/100 g protein).

Keywords: winter wheat, variety, protein, amino acids, source.

Введение

Пшеница является одной из основных зерновых культур в мире и ее качество напрямую связано со здоровьем человека [1]. Увеличивающийся мировой спрос на данную культуру основан на способности производить уникальные продукты питания и растущем их потреблении в условиях индустриализации. В частности, уникальные свойства фракции глютена позволяют перерабатывать пшеницу для производства хлеба, других хлебобулочных и макаронных изделий, а также ряда функциональных ингредиентов [2]. Пищевая ценность белка определяется его аминокислотным составом, что важно для регулирования роста, поддержания, восстановления и замены тканей организма человека. Однако, незаменимые аминокислоты не могут быть синтезированы нашим организмом и, следовательно, должны поступать с пищей [3, 4 ,5, 6].

Анализируя взаимосвязь между содержанием белка пшеницы и его аминокислотным составом, ученые приходят к заключению, что с увеличением массовой доли белка увеличивается содержание глутамина и пролина, а содержание аргинина часто снижается. Увеличение нормы минеральных удобрений приводит к росту содержания глутаминовой и аспарагиновой кислот до 5,6 и 1,2% соответственно, а содержание аргинина снижается до 1,0% [7]. Установлено также, что применение биопрепаратов на различных сельскохозяйственных культурах способствует увеличению содержания в них аминокислот, в том числе незаменимых [8, 9]. В процессе созревания зерна также происходит изменение аминокислотного состава белка [10,11].

Селекционное улучшение пшеницы путем изменения содержания более двух незаменимых аминокислот в белке вряд ли возможно, поэтому необходимо уделить внимание одним из наиболее дефицитных: лизину, метионину, треонину и триптофану [12]. По данным исследователей, сорта пшеницы показывают однородный профиль незаменимых аминокислот, который характеризуется более низкими концентрациями треонина, лизина и метионина, а лейцин имеет самое высокое значение среди них [13]. Пролин (Pro), являясь важным осмотически регулирующим веществом, тесно связан с холодоустойчивостью растений. При низкой температуре содержание пролина увеличивается, что способствует эффективному увеличению концентрации клеточной жидкости, снижению температуры замерзания клеток и уменьшению летальности протоплазмы, поврежденной замораживанием в условиях низкой температуры, что помогает защитить целостность и стабильность клеточных мембран и повысить холодостойкость растений [14].

Цель исследования – определение содержания аминокислот в белке зерна озимой пшеницы различного географического происхождения и выявление сортов-источников высокого содержания незаменимых аминокислот для использования в селекционном процессе.

Материал и методы исследования

Объектом исследований являлись 420 сортов коллекционного питомника озимой мягкой пшеницы из России, Украины, Белоруссии, Китая, Германии, Швеции, Польши,

Канады, Болгарии, Сербии, США, Словакии, Казахстана. Полевые исследования проводились в Лайшевском районе Республики Татарстан на серой лесной почве в 2022-2024 годах. Предшественник - чистый пар. Под предпосевную культивацию вносили азофоску 150 кг/га, весной в период возобновления вегетации – аммиачную селитру 100 кг/га. Посев проводили кассетной сеялкой Hege 90 (Германия). Площадь делянки 1 м². Норма высева 5,5 млн. всхожих зерен на 1 га. Уборка проводилась комбайном Wintersteiger-BIM «Classic» (Россия). Содержание аминокислот и белка в зерне пшеницы определяли методом ИК спектроскопии на приборе DS 2500F фирмы FOSS (Дания), валидация и градуировка соответствовала ГОСТ ISO 12099-2017 («Корма, зерно и продукты его переработки. Руководство по применению спектрометрии в ближней инфракрасной области» Москва: Стандартинформ, 2020. – 23 с.). Содержание белка рассчитывали на 14% влажность зерна. Математическая и статистическая обработка результатов исследований проводилась по методике Б.А. Доспехова (1985, 2011).

Метеорологические условия осенне-зимнего периода в годы проведения опытов не влияли на перезимовку сортов коллекционного питомника. Возобновление вегетации озимой пшеницы в 2022 году отмечено во вторую декаду апреля (табл. 1).

Таблица 1

Метеорологические условия весенне-летней вегетации озимой пшеницы

Период	Температура выше +10 °C, °C			Осадки, мм			Фаза развития растений
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	
Апрель	41	191	228	23	0	21,5	Кущение
Май	181	465	242	60	81	39,5	Трубкование
Июнь	534	562	633	27	7	50,0	Колошение – цветение
Июль	658	667	460	64	73	2,5	Налив зерна – созревание
За период апрель–июль	1414	1888	1563	174	161	117,5	
ГТК	1,23	0,85	0,75				

В третью декаду апреля 2022 года сложились метеоусловия с большим количеством осадков, благоприятные для отрастания корневой системы и формирования дополнительных побегов кущения. Гидротермический коэффициент за период весенне-летней вегетации озимой пшеницы в 2022 году составил 1,23 (обеспеченное увлажнение).

Возобновление вегетации озимой пшеницы в 2023 году отмечено в первую декаду апреля, а 18 апреля – переход температуры воздуха через 10°C. Выпавшие в первую декаду мая осадки (60 мм) привели к дополнительному продуктивному кущению растений озимой пшеницы. В июне наблюдался дефицит осадков, а выпавшие в 1 декаду июля осадки в период налива зерна (20 мм) позволили сформировать крупное высоко натурное зерно. Гидротермический коэффициент за период весенне-летней вегетации озимой пшеницы в 2023 году составил 0,85 (засушливые условия). В июне 2024 года температуры воздуха превысили среднемноголетние значения на 9,9°C. Максимальные температуры воздуха достигали 33,1°C, а в первую декаду июля – 35,6°C. Высокие температуры и пониженная влажность воздуха привели к сокращению периода вегетации растений на 10-12 дней. Гидротермический коэффициент за период весенне-летней вегетации озимой пшеницы в 2024 году составил 0,75 (засушливые условия вегетации).

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали, что 50,9% сортов коллекционного питомника характеризовались очень высоким содержанием белка; 34,6% сортов имели высокое содержание белка в зерне (рис. 1).

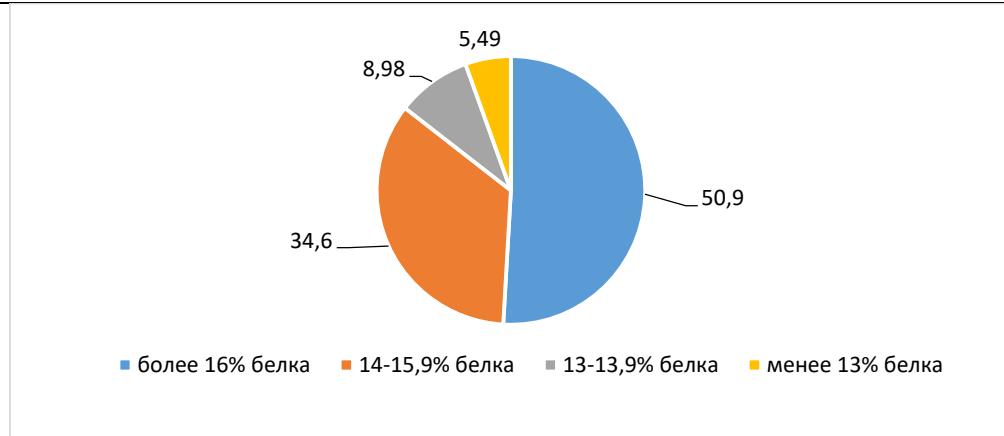


Рис. 1. Доля сортов озимой пшеницы с различным содержанием белка (среднее за 2022-2024 гг.), %

Содержание белка в зерне варьировало у сортов в 2022 году от 12,9% до 18,7% ($CV=6\%$); в 2023 году от 14,5 до 18,7% ($CV=5\%$), в 2024 году от 14 до 18,9% ($CV=9\%$). Наиболее высокое значение данного показателя в среднем по изучаемым сортам было получено в 2023 году и составило 16,8%. Самыми белковыми были сорта Универсиада (Россия) – 18,7%, Long zhong (Китай) – 18,5%, Казанская 84 (Россия) – 18,4%, Офелия (Россия) – 18,3%, Zhong pin 1507 (Китай) – 18,3% и Eroica II (Швеция) – 18,0%.

Максимальные значения суммы аминокислот в белке были получены в 2022 и 2024 годах - 61,81 г/100 г и 61,96 г/100 г белка соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Содержание аминокислот в белке пшеницы сортов коллекционного питомника, г/100 г белка

Аминокислота	Среднее по сортам			Среднее по годам	Коэффициент вариации, CV, %		
	2022	2023	2024		2022	2023	2024
Аланин	3,67	3,13	3,75	3,52	11,41	11,53	20,06
Аргинин	4,47	4,62	4,57	4,55	4,97	7,95	10,68
Цистеин	3,19	3,54	3,07	3,27	10,4	8,35	11,98
Глутамин	7,79	5,37	8,43	7,20	19,36	32,7	16,97
Глицин	3,38	3,09	3,36	3,28	5,70	7,81	7,3
Гистидин	2,50	1,68	2,35	2,18	7,76	9,68	9,57
Изолейцин	2,96	2,66	2,96	2,86	7,68	6,47	13,41
Лейцин	3,85	4,26	4,38	4,16	13,04	10,19	22,31
Лизин	2,93	2,29	2,84	2,69	13,15	16,45	18,66
Метионин	1,18	0,68	1,14	1,00	16,27	29,12	15,98
Фенилаланин	3,70	3,35	3,6	3,55	8,44	6,27	12,30
Пролин	7,70	7,44	7,33	7,49	7,23	8,27	7,57
Серин	3,89	3,48	3,76	3,71	5,46	5,77	6,61
Треонин	3,02	2,63	3,02	2,89	7,47	7,93	10,9
Триптофан	1,69	1,86	1,48	1,68	3,04	8,09	8,78
Тирозин	1,70	1,28	1,74	1,57	9,60	17,30	18,23
Валин	4,18	4,25	4,17	4,20	4,14	4,75	6,61
Сумма аминокислот	61,81	55,61	61,96	59,79	5,91	5,61	8,11

Среди семнадцати изученных аминокислот, содержание пролина составляло 12,5%; глутамина – 12,0%; аргинина – 7,6%; лейцина – 7,0% и валина – 7,0% от общей суммы аминокислот в белке. Необходимо отметить, что наиболее стабильным среди сортов было содержание валина ($CV=4,14...6,61\%$) и серина ($CV=5,46...6,61\%$). В 2023 году отмечены

значительные колебания между сортами озимой пшеницы содержания в белке аминокислоты глутамина ($CV=32,7\%$) и метионина ($CV=29,12\%$), а в 2024 году - лизина ($CV=22,31\%$).

Проведенный корреляционный анализ содержания белка и лизина в нём показал наличие слабой отрицательной связи в 2022 ($r= -0,20$), 2023 ($r= -0,17$), 2024 ($r= -0,33$) годах. Таким образом, сорта с высоким содержанием белка характеризовались меньшим содержанием лизина. Аналогичные данные были получены на ячмене Biel W. и E. Jacupo [15]. В селекции на увеличение содержания незаменимых аминокислот, необходимо учитывать их концентрацию в белке [12, 16, 17]. Наши исследования по изучению наиболее дефицитных аминокислот показали (табл. 3), что более высокое содержание лизина в белке имеют сорта Вымпел (3,64 г/100 г белка), Zira (3,46 г/100 г белка), Barkan (3,43 г/100 г белка), Zhong pin 1507 (3,44 г/100 г белка) и Lada odes'ka (3,43 г/100 г белка), что выше среднего значения по всем изученным сортам на 27,5...35,4%.

Таблица 3

Сорта – источники высокого содержания незаменимых кислот в белке

Амино-кислоты	Сорт	Происхождение	Содержание аминокислоты, г/100 г белка				+к среднему по сортам, %
			2022	2023	2024	Ср. по годам	
Лизин	Вымпел	Украина	3,87	3,42	3,64	3,64	35,3
	Zira	Украина	3,77	3,25	3,36	3,46	28,6
	Zhong pin 1507	Китай	3,51	3,38	3,42	3,44	27,8
	Barkan	Украина	3,45	3,20	3,64	3,43	27,5
	Lada odes'ka	Украина	3,08	3,41	3,79	3,43	27,5
	Среднее по сортам		2,93±0,39	2,29±0,38	2,84±0,53	2,69±0,3	
Метионин	CDC Clair	Канада	1,28	1,32	1,61	1,40	40,33
	KAW	США	1,46	1,31	1,38	1,38	38,33
	Среднее по сортам		1,18±0,19	0,68±0,20	1,14±0,18	1,00±0,23	
Тирозин	Северо-донская иммунная	Россия	2,11	1,79	2,24	2,05	29,81
	Uzdy	Украина	2,01	1,81	2,13	1,98	25,79
	NO2 Y 4529	США	1,98	1,74	2,10	1,94	23,04
	Среднее содержание по сортам		1,71±0,16	1,28±0,22	1,74±0,32	1,57±0,21	

В отношении содержания метионина в белке, превышающего средние сортовые показатели на 38,33...45,00%, выделяются следующие образцы: сорт CDC Clair с содержанием 40,33 г/100 г белка и сорт KAW с показателем 38,33 г/100 г белка. Высокое содержание тирозина характерно для сортов Uzdy (1,98 г/100 г белка), Северо-донская иммунная (2,05 г/100 г белка) и NO2 Y 4529 (1,94 г/100 г белка). Необходимо отметить, что более высокие значения содержания лизина, метионина и тирозина в белке, в среднем по всем изученным сортам, были получены в 2022 и 2024 годах, а самые низкие – в 2023 (ГТК=0,85) году. Таким образом, на содержание определенных аминокислот в белке оказывают влияние не только влага и температура за весь период весенне-летней вегетации, но также, видимо, их благоприятное сочетание по фазам развития растений.

Заключение

Полученные в результате исследований данные показывают наличие, в среднем по изученным сортам озимой пшеницы, высокого содержания пролина - 12,5%; глутамина - 12,0%; аргинина - 7,6%; лейцина - 7,0% и валина - 7,0% от общей суммы аминокислот в зерне. Различия между сортами озимой пшеницы по содержанию пролина ($CV=3,23\ldots8,27\%$), валина (4,14%...6,61% и серина ($CV=5,46\ldots6,61\%$) незначительны, что осложняет проведение отбора сортов с высоким содержанием данных аминокислот в белке. Наличие среднего уровня вариабельности между сортами по содержанию в белке лизина (13,4%...18,3%), тирозина (10,3%...19,1%) и метионина (16,7%...29,6%) позволяет выделить сорта-источники высокого содержания данных незаменимых аминокислот в белке для селекционного процесса.

В результате исследований выделены сорта-источники высокого содержания незаменимых аминокислот в белке: лизина - Вымпел (3,64 г/100 г белка), Zira (3,46 г/100 г белка), Barkan (3,43 г/100 г белка), Zhong pin 1507 (3,44 г/100 г белка) и (Lada odes'ka (3,43 г/100 г белка); тирозина - Uzdyim (1,98 г/100г белка), Северо-донская иммунная (2,05 г/100г белка) и NO2 Y 4529 (1,94 г/100г белка); метионина - CDC Clair (40,33 г/100 г белка) и KAW (38,33г/100 г белка).

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 125031003428-9 «Совершенствование комплексных отечественных технологий селекции, растениеводства и животноводства на основе идентификации высокоценных генотипов, молекулярно-генетических методов, биотехнологий, конструирования адаптивных и высокопродуктивных агробиоценозов и агроэкосистем для производства экологически безопасной и функциональной продукции».

Литература

1. Hu X et al. Effects of Low Temperature on the Amino Acid Composition of Wheat Grains. Agronomy. 2022; 12. P. 1171. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051171>
2. Shewry PR, Hey SJ. The contribution of wheat to human diet and health. Food Energy Secur. 2015; 4: 178–202. <https://doi.org/10.1002/FES3.64>
3. Shewry PR. Wheat. Journal of Experimental Botany. 2009; 60 (6): 1537-1553. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp0580>
4. Zhang P et al. Effect of irrigation and nitrogen application on grain amino acid composition and protein quality in winter wheat. Plos One. 2017; 12(6): 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178494>
5. Зенькова М.Л. Исследование минерального и аминокислотного состава пророщенного и консервированного зерна пшеницы. // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – № 49 (4). – С. 513-521. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-513-521>
6. Фадеева И.Д. Содержание аминокислот в зерне озимой пшеницы. // Зернобобовые и крупяные культуры. - 2025. – № 3 (55). – С. 132-137. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2025-3-132-137>
7. Чикишев Д.В., Абрамов Н.В., Ларина Н.С., Шерстобитов С.В. Формирование химического состава зерна яровой пшеницы при различном уровне минерального питания. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – № 10 (3). – С. 496-505. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-496-505>
8. Пахомов В.И., Брагинец С.В., Бахчевников О.Н., Рудой Д.В. Особенности технологии производства корма из зернового вороха при ранней и сверхранней уборке. // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 1. – С.16-19. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-1-16-19>
9. Лачуга Ю.Ф. и др. Исследование изменения аминокислотного состава зерновых колосовых культур в процессе созревания. // Инженерные технологии и системы. – 2023. – № 33(4). – С. 508-523. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202304.508-523>

10. Мельникова О.В. и др. Урожайность и аминокислотный состав зерна различных сортов ярового ячменя в зависимости от применения биопрепаратов. // Аграрная наука. – 2022. – № 362 (9). – С. 137-142. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-137-142>
11. Сафина Р.Р., Окунев Р.В., Рахманова Г.Ф., Гарафутдинова К.Р. Содержание аминокислот в растениях томата при применении препаратов Глутамат натрия и Аминозол в условиях солевого стресса. // Аграрная наука. – 2023. – №. 377 (12). – С. 124-128. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-124-128>
12. Асхадуллин Дамир Ф., Асхадуллин Данил Ф., Василова Н.З., Зуев Е.В., Хайруллина А.Р. Содержание аминокислот в зерне образцов яровой мягкой пшеницы. // Российская сельскохозяйственная наука. – 2023. – № 2. – С. 25-39. <https://doi.org/10.31857/S2500262723020084>
13. Yiğit A, Erekul O. Antioxidant Activity and Essential Amino acid Content of Bread Wheat (*Triticum aestivum L.*) Varieties. Journal of Agricultural Sciences (Tarim Bilimleri Dergisi. 2023; 9(1): 130-141. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.999660>
14. Gomez F, Oliva MA, Mielke MC, Almeida A-AF, Aquino LA. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in drought-stressed *Cocos nucifera* leaves. *Scientia Horticulturae*. 2010; 126 (3): 379-384. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.036>
15. Biel W, Jacyno E. Chemical composition and nutritive value of spring hulled barley varieties. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2013; 19 (4): 721-727.
16. Simon SL. Amino acids and biogenic amines as food quality factors. *Pure and Applied Chemistry*. 2019; 91(2): 289-300. https://doi.org/10.1515/pac_2018-0709.
17. Gorissen SHM et al. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*. 2018; 50: 1685-1695. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2640-5>.

References

1. Hu X et al. Effects of Low Temperature on the Amino Acid Composition of Wheat Grains. *Agronomy*, 2022, no.12, pp. 1171. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051171>
2. Shewry P.R., Hey S.J. The contribution of wheat to human diet and health. *Food Energy Secur*, 2015, no. 4, pp. 178–202. <https://doi.org/10.1002/FES3.64>
3. Shewry P.R. Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 2009, no. 60 (6), pp.1537-1553. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp058>
4. Zhang P et al. Effect of irrigation and nitrogen application on grain amino acid composition and protein quality in winter wheat. *Plos One*, 2017, no. 12(6), pp. 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178494>
5. Zenkova M.L. Mineral and Amino Acid Composition of Germinated and Canned Wheat Grains. *Pishchevaya promyshlennost': metody i tekhnologii*, 2019, no.49 (4), pp. 513–521. (In Russian). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-513-521>
6. Fadeeva I.D. Amino acid content in winter wheat grain. *Zernobobovyye i krupyanyye kul'tury*, 2025, no. 3 (55), pp. 132-137. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2025-3-132-137>.
7. Chikishev D.V., Abramov N.V., Larina N.S., Sherstobitov S.V. Chemical composition of spring wheat at different levels of mineral nutrition. *Izvestiya universitetov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*, 2020, no.10 (3), pp. 496–505. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-496-505>
8. Pakhomov V.I., Braginets S.V., Bakhchevnikov O.N., Rudoy D.V. Features of the Process for Fodder Production of Grain Heap at Early and Very Early Harvesting. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*, 2021, no. (1), pp.16–19. (In Russian) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-1-16-19>
9. Lachuga YuF et al. Study of Changes in the Amino Acid Composition of Spiked Cereals during the Ripening Process. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy*, 2023, no. 33 (4), pp. 508–523. (In Russian) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202304.508-523>
10. Melnikova O.V. et al. Yield and amino acid composition of grain varieties of spring barley, depending on the use of biological products. *Agrarnaya nauka*, 2022, no. 362 (9), pp. 137–142. (In Russian).<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-137-142>

11. Safina R.R., Okunev R.V., Rakhmanova G.F., Garafutdinova K.R. The content of amino acids in tomato plants when using the preparations “Monosodium Glutamate” and “Aminozol” in conditions of salt stress. *Agrarnaya nauka*. 2023; 377(12): 124–128 (In Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155_2023-377-12-124-128
12. Askhadullin Damir F., Askhadullin Danil F., Vasilova N.Z., Zuev E.V., Khairullina A.R. Amino acid content in the grain of spring soft wheat samples. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*, 2023, no. 2, pp. 25-39. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S2500262723020084>
13. Yiğit A., Erekul O. Antioxidant Activity and Essential Amino acid Content of Bread Wheat (*Triticum aestivum L.*) Varieties. *Journal of Agricultural Sciences (Tarim Bilimleri Dergisi)*, 2023, no. 9(1), pp. 130-141. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.999660>
14. Gomez F., Oliva M.A., Mielke M.C., Almeida A-AF., Aquino LA. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in drought-stressed *Cocos nucifera* leaves. *Scientia Horticulturae*, 2010, no. 126 (3), pp. 379-384. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.036>
15. Biel W., Jacyno E. Chemical composition and nutritive value of spring hulled barley varieties. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2013, no.19 (4), pp. 721-72.
16. Simon S.L. Amino acids and biogenic amines as food quality factors. *Pure and Applied Chemistry*, 2019, no. 91(2), pp. 289–300. https://doi.org/10.1515/pac_2018-0709.
17. Gorissen S.H.M. et al. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*, 2018, no. 50, pp. 1685–1695. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2640-5>.