

Научная статья/Research Article⁷

УДК 664.76.03: 664.641.1

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-168-178

Ирина Владимировна Федорович¹, Марина Анатольевна Янова²

^{1,2}Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹iriska1687@mail.ru

²yanova.m@mail.ru

ИЗМЕНЕНИЕ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА БЕЛКА ЗЕРНОВЫХ ТЕКСТУРАТОВ И МУКИ ПРИ ХРАНЕНИИ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

Цель исследования – изучение изменения аминокислотного состава белка зерновых текстуратов и муки при хранении различными способами. Объект исследования – текстураты, полученные из экструдатов зерна ячменя и овса, ячменная и овсяная мука. Экспериментальные образцы были заложены на хранение с использованием различных видов упаковки, обладающих разными барьерными свойствами. Образцы, хранящиеся бестарным способом, были отобраны для анализа непосредственно на предприятии. Определение аминокислотного состава проводилось с использованием поверенной системы капиллярного электрофореза в Научно-исследовательском испытательном центре Красноярского ГАУ. Лимитирующими аминокислотами в целом для большинства сроков и способов хранения являлись: для овсяной муки – триптофан, лейцин + изолейцин, для ячменной муки – лизин, лейцин + изолейцин; для текстуратов из экструдатов зерновых культур – лизин, триптофан, лейцин + изолейцин. Рассчитанный индекс незаменимых аминокислот (ИНАК) имел значение больше 1, но не характеризовал белок муки и текстурата из экструдата зерна как идеальный, приобретая такое значение за счет большей доли избыточных аминокислот. Белок текстурата из экструдата зерна овса являлся менее полноценным по сравнению с белком соответствующего вида муки при сроках хранения 1 и 12 мес. Определенное суммарное содержание расчетных аминокислот при варианте хранения в непрозрачном и прозрачном полимерном материале с воздушной средой внутри упаковки было выше по сравнению с другими вариантами. Это позволяет рассматривать данные виды упаковки как наиболее оптимальные из всех рассмотренных для хранения.

Ключевые слова: ячменная мука, овсяная мука, текстурат из экструдата зерна овса, текстурат из экструдата зерна ячменя, аминокислотный скор, сроки хранения зерновых текстуратов, сроки хранения муки, способы хранения муки, способы хранения зерновых текстуратов

Для цитирования: Федорович И.В., Янова М.А. Изменение аминокислотного состава белка зерновых текстуратов и муки при хранении различными способами // Вестник КрасГАУ. 2024. № 12. С. 168–178. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-168-178.

Irina Vladimirovna Fedorovich¹, Marina Anatolievna Yanova²

^{1,2}Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, Russia

¹iriska1687@mail.ru

²yanova.m@mail.ru

CHANGES IN THE AMINO ACID COMPOSITION OF PROTEIN OF GRAIN TEXTURES AND FLOUR DURING STORAGE BY VARIOUS METHODS

The aim of the study is to investigate changes in the amino acid composition of grain textured flour proteins during storage using different methods. The object of the study was textured flours obtained from barley and oat grain extrudates, barley and oat flour. The experimental samples were stored using different types of packaging with different barrier properties. Samples stored in bulk were selected for analysis directly at the enterprise. The amino acid composition was determined using a verified capillary electrophoresis system at the Research and Testing Center of the Krasnoyarsk State Agrarian University.

The limiting amino acids in general for most storage periods and methods were: for oat flour – tryptophan, leucine + isoleucine, for barley flour – lysine, leucine + isoleucine; for textured flours from grain crop extrudates – lysine, tryptophan, leucine + isoleucine. The calculated index of essential amino acids (INA) had a value greater than 1, but did not characterize the protein of flour and texturate from grain extrudate as ideal, acquiring such a value due to the larger proportion of excess amino acids. The protein of oat grain extrudate texturate was less complete compared to the protein of the corresponding type of flour with storage periods of 1 and 12 months. The determined total content of calculated amino acids with the storage option in opaque and transparent polymeric material with an air environment inside the package was higher compared to other options. This allows us to consider these types of packaging as the most optimal of all those considered for storage.

Keywords: *barley flour, oat flour, oat grain extrudate texturate, barley grain extrudate texturate, amino acid score, shelf life of grain texturates, shelf life of flour, flour storage methods, grain texturates storage methods*

Для цитирования: *Fedorovich I.V., Yanova M.A. Changes in the amino acid composition of protein of grain textures and flour during storage by various methods // Bulliten KrasSAU. 2024;(12): 168–178 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-168-178.*

Введение. Поиск новых видов пищевых продуктов привел пищевую отрасль к созданию с помощью экструзионной технологии экструдатов, сырьем для которых могут быть как смеси, состоящие из различного вида зернового сырья, так и однокомпонентное сырье в виде одной конкретной культуры. Благодаря их физико-химическим свойствам от полученных экструдированных продуктов ожидалось полезные физиологические эффекты. Например, подбирая оптимальные условия процесса экструзии, преследовалась цель изготовления продуктов из ячменя с повышенным содержанием резистентного крахмала, при этом сохраняя β -глюкан в макромолекулярной форме [1]. Варьируя различные параметры (например влажность, тип зернового сырья), можно оказать влияние на индекс растворимости в воде, индекс поглощения воды и степень желатинизации, что определяет их включение в пищевые продукты в качестве загустителей или в тесто, где сохранение влаги важно для поддержания текстуры [2]. Также было выявлено влияние экструзионной обработки на микробиологические показатели, выражавшееся в снижении обсемененности сырья вплоть до полного устранения бактерий группы кишечной палочки, плесневых грибов и других патогенов [3].

Биологическая ценность продуктов питания также напрямую зависит от ряда факторов, таких как качество используемого основного сырья, технологические операции и условия при их производстве и последующем хранении, а также компонентный состав рецептур производимых продуктов. Показатели, определяющие и характеризующие эту ценность, также представляют собой достаточно широкое многообразие: хими-

ческий состав, определяемый массовыми долями белков, жиров, крахмала, клетчатки и т. д., соотношение белковых фракций, играющее роль в том числе при оценке пищевой ценности, содержание минералов, витаминов, ненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон, а также аминокислотный состав [4–6].

Несмотря на то что высшие растения могут синтезировать все известные аминокислоты, в том числе и незаменимые, а растительные ингредиенты содержат все вещества, необходимые для жизнедеятельности человека, соотношение их к оптимальному количеству не всегда соответствует уровню «закрывающему», потребность [6, 7]. В связи с этим исследования, касающиеся химического состава, а также содержания аминокислот для новых видов пищевого сырья, потенциально обладающих ценностью в биологическом и пищевом отношении, являются обязательными для пищевой отрасли. Исследования аминокислотного состава пищевых продуктов в основном находятся в области «технология производства – рецептуры – новые виды сырья», тогда как по вопросам, касающимся влияния условий и способов хранения на показатели биологической и пищевой ценности, не представлены таким широким диапазоном данных [8–20]. Все это определило необходимость проведения исследований, касающихся изменения аминокислотного состава текстурированных зернопродуктов и соответствующих видов муки, хранящихся различными способами.

Цель исследования – изучение изменения аминокислотного состава белка зерновых текстуратов и муки при хранении различными способами.

Задачи исследования: рассчитать аминокислотный скор и индекс незаменимых аминокислот текстуратов из экструдатов зерновых культур (овес, ячмень) и мучного сырья из аналогичных культур при различных сроках и способах хранения; провести анализ изменений данных показателей по срокам и способам хранения; определить оптимальный срок и способ хранения для каждого вида текстурата и муки исходя из полученного расчета сбалансированности белкового состава.

Методы и материалы. Объектами исследования являлись текстураты, полученные из экструдатов зерна ячменя и овса, ячменная и овсяная мука. Образцы текстурата из экструдата зерна ячменя произведены по ТУ 10.61.22-002-97623423-2017, текстурата из экструдата зерна овса – по ТУ 10.61.22-003-97623423-2017. Образцы ячменной и овсяной муки были произведены по ТУ 10.61.22-005-97623423-2018 и ТУ 10.61.22-006-97623423-2018.

Образцы текстуратов из экструдатов основных злаковых культур и муки были заложены на хранение с использованием следующих видов упаковки: крафтовый пакет из бумаги высокой плотности (далее – БП); полиэтиленовый пакет (ПВД) с застежкой zip-lock плотностью 50 мкм (далее – ПВД (zip-lock)); пакет Дой-Пак (DoyPack) с застежкой zip-lock металлизирован-

ный непрозрачный (ПЭТ мет/ПЭ) плотностью 12 мкм/80 мкм (далее – Doy Pack, мет. (zip-lock)); полиэтиленовый пакет (ПВД) в вакуумной упаковке (далее – ПВД в вакуум.). Образцы муки, хранящиеся бестарным способом (далее – БХ), были отобраны для анализа непосредственно на предприятии. Хранение экспериментальных образцов осуществлялось при следующих условиях: температура не более 20 °С при относительной влажности не выше 70–75 %, образцы не подвергались воздействию прямых солнечных лучей, находясь в сухом вентилируемом помещении. Периодичность отбора проб текстуратов из экструдатов зерновых культур для исследований составила 1, 6, 12 мес. хранения, муки – 1, 3, 6, 9, 12 мес. Определение аминокислотного состава проводилось с использованием поверенной системы капиллярного электрофореза «Капель-105М» в соответствии с ГОСТ Р 55569-2013 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение протеиногенных аминокислот методом капиллярного электрофореза».

Определение аминокислотного скор, введенного в 1973 г. Решением Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, или WFO) и Всемирной продовольственной организации (ВПО, или FAO), проводилось по формуле

$$AKC_x = \frac{г AK_x на 100 г белка}{г AK_x на 100 г эталона} \quad (1)$$

Определение индекса незаменимых аминокислот (ИНАК) проводился по формуле, предложенной Р.Л. Осером:

$$ИНАК = \sqrt[n]{\frac{Lys}{Lys_э} \cdot \frac{(Met + Cys)}{(Met + Cys)_э} \cdot \frac{Trp}{Trp_э} \cdot \frac{Val}{Val_э} \cdot \frac{(Leu + Ile)}{(Leu + Ile)_э} \cdot \frac{Thr}{Thr_э} \cdot \frac{(Phe + Tyr)}{(Phe + Tyr)_э}}, \quad (2)$$

где n – число аминокислот; $э$ – содержание аминокислоты в эталонном белке, $г$ на 100 г белка.

Результаты и их обсуждение. Анализ расчетных данных сбалансированности белкового состава по аминокислотному скору овсяной муки и текстурата из зерна овса (табл. 1) выявил следующие лимитирующие аминокислоты для всех сроков и способов хранения, а также вариантов упаковки: лейцин+изолейцин и триптофан (с неполярным (гидрофобным) радикалом). Аминокислота лизин (с полярным (гидрофильным радикалом)) являлась таковой для экструдата из зерна овса на всех сроках, тогда как для овсяной только на первой и последней точке определе-

ния. При этом по видам упаковки отсутствуют определенно направленные закономерности.

Установлено, что рассчитанные аминокислотные скоры текстурата из экструдата зерна овса по всем вариантам упаковки ниже муки из соответствующего вида зерновой культуры по следующим алифатическим кислотам: лизин при всех сроках хранения (1, 6, 12 мес.) – от 8,2 до 78,6 %; лейцин + изолейцин при всех сроках хранения (1, 6, 12 мес.) – от 27,6 до 79,7 %; валин при сроках хранения 1, 12 мес. – от 35,1 до 77,8 %; треонин при сроках хранения 1, 12 мес. – от 41,8 до 81,2 %; метионин + цистин при сроке хранения 12 мес. – от 49,8 до 76,0 %.

У ароматических и гетероциклических аминокислотные скоры ниже по сравнению с мукой от 19,4 до 79,4 % по фенилаланин + тирозину при всех сроках хранения (1, 6, 12 мес.); от 23,4 до 87,4 % по триптофану при всех сроках хранения (1, 6, 12 мес.). Все это характеризует белок текстурата как менее полноценный по сравнению с мукой.

Рассчитанный индекс незаменимых аминокислот (ИНАК, или индекс Осера) хотя и имеет значение больше 1, не характеризует белок муки и текстурата из экструдата зерна как идеальный, приобретая такое значение за счет большей доли избыточных аминокислот.

Таблица 1

Аминокислотный скор овсяной муки и текстурата из экструдата зерна овса, %

Аминокислота	Способ хранения/ вид упаковки	Срок хранения, мес.				
		1	3	6	9	12
1	2	3	4	5	6	7
Лизин Лизин	БП	72,22* 35,0*	59,67	36,81* 21,7*	83,20*	71,39* 15,3*
	ПВД (zip-lock)		56,50	40,53 32,0*	64,28*	60,85* 33,7*
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		78,41	67,58 36,6*	95,33	85,84* 39,3*
	ПВД в вакуум.		55,42*	31,84* 29,2*	74,60	60,75* 26,2*
	БХ		72,57	61,14 20,0*	65,93*	64,83* 14,7*
Метионин + цистин	БП	196,14 833,3	225,83	229,10 284,9	245,11	206,94 52,2
	ПВД (zip-lock)		189,74	193,09 447,5	214,23	203,11 95,9
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		222,00	255,73 522,2	277,92	251,57 126,3
	ПВД в вакуум.		207,18	217,90 476,2	241,25	210,45 66,8
	БХ		203,24	201,59 262,3	224,21	195,87 47,0
Триптофан	БП	15,92* 12,2*	30,35*	51,50 6,5*	11,90*	29,38* 4,7*
	ПВД (zip-lock)		21,65*	16,88* 9,3*	14,97*	20,04* 9,0*
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		21,74*	25,88* 13,1*	19,91*	19,36* 13,0*
	ПВД в вакуум.		36,88*	44,14* 10,0*	20,85*	25,47* 10,1*
	БХ		8,84*	8,08* 6,1*	13,74*	20,66* 3,7*
Валин	БП	80,14 52,0	80,17	51,07 29,9	100,30	89,62 19,9
	ПВД (zip-lock)		51,54*	36,15 42,1	83,25	77,73 43,8
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		72,65	49,75* 50,7	88,35*	104,23 51,6
	ПВД в вакуум.		76,69	71,49 38,5	84,44	77,57 30,4
	БХ		81,59	46,55* 27,8	85,80	83,86 18,8

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Лейцин + изолейцин	БП	$\frac{53,16^*}{28,8^*}$	50,36*	$\frac{35,70^*}{15,9^*}$	57,16*	$\frac{48,01^*}{10,6^*}$
	ПВД (zip-lock)		55,42*	$\frac{35,03^*}{23,2^*}$	61,69*	$\frac{44,18^*}{24,0^*}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		44,50*	$\frac{37,97^*}{27,5^*}$	53,30*	$\frac{55,57^*}{28,5^*}$
	ПВД в вакуум.		48,40*	$\frac{44,99^*}{22,4^*}$	57,67*	$\frac{40,29^*}{18,8^*}$
	БХ		44,99*	$\frac{41,32^*}{15,0^*}$	51,42*	$\frac{49,25^*}{10,0^*}$
Треонин	БП	$\frac{81,83}{46,9}$	44,81*	$\frac{27,90^*}{33,4}$	92,63	$\frac{97,39}{23,6}$
	ПВД (zip-lock)		63,55	$\frac{34,63^*}{49,5}$	106,74	$\frac{96,04}{55,9}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		67,67*	$\frac{52,84}{58,3}$	88,86	$\frac{123,39}{64,8}$
	ПВД в вакуум.		60,02	$\frac{53,00}{42,4}$	70,55*	$\frac{75,52}{39,4}$
	БХ		64,06*	$\frac{52,13}{30,7}$	79,58	$\frac{109,60}{20,6}$
Фенилаланин + тирозин	БП	$\frac{140,95}{79,8}$	115,97	$\frac{103,84}{44,2}$	158,23	$\frac{139,91}{28,9}$
	ПВД (zip-lock)		135,01	$\frac{81,69}{65,8}$	142,91	$\frac{120,75}{66,3}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		131,37	$\frac{147,14}{76,7}$	143,81	$\frac{138,50}{77,5}$
	ПВД в вакуум.		124,10	$\frac{112,88}{63,9}$	116,53	$\frac{121,37}{58,5}$
	БХ		125,31	$\frac{112,95}{40,9}$	130,41	$\frac{130,45}{26,8}$
ИНАК	БП	$\frac{1,14}{1,19}$	1,14	$\frac{1,13}{1,11}$	1,15	$\frac{1,15}{1,03}$
	ПВД (zip-lock)		1,13	$\frac{1,11}{1,15}$	1,15	$\frac{1,14}{1,09}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		1,14	$\frac{1,14}{1,16}$	1,16	$\frac{1,16}{1,10}$
	ПВД в вакуум.		1,14	$\frac{1,13}{1,15}$	1,15	$\frac{1,14}{1,07}$
	БХ		1,14	$\frac{1,13}{1,10}$	1,14	$\frac{1,14}{1,03}$

Примечание: (*) – первая, вторая и третья лимитирующие аминокислоты; в числителе – значения овсяной муки; в знаменателе – значения текстурата из экструдата зерна овса.

Лимитирующие аминокислоты другого вида зернового текстурата (из зерна ячменя) совпадают с таковыми, выделенными для текстурата из экструдата зерна овса (табл. 2), что в целом характерно для злаковых культур: триптофан, лизин и лейцин + изолейцин. Лизин же при этом не является первой аминокислотой для ячменного и овсяного зернового текстурата в противоположность ячменной муке, где лизин является

первой аминокислотой до 6 мес. срока хранения. Лизин для ячменной муки в принципе является одной из лимитирующих аминокислот при всех сроках и вариантах хранения, на сроке же хранения 3 мес. в качестве лимитирующей аминокислоты можно выделить треонин, 6 мес. – валин и лейцин + изолейцин, 9 и 12 мес. – триптофан и лейцин+изолейцин (табл. 2).

Текстурат из экструдата зерна ячменя в сравнении с ячменной мукой в принципе характеризуется более низким уровнем алифатических кислот: лизин при сроке хранения 1 мес. на 11,9 %; лейцин + изолейцин при сроках хранения 1, 6 мес. от 13,1 до 49,8 %; треонин при сроке хранения 1 мес. на 9,5 %. У гетероциклической кислоты триптофан аминокислотный скор ниже по сравнению с ячменной мукой – от 55,7 до 82,5 % при сроках хранения 1, 6 мес.

Индекс незаменимых аминокислот (ИНАК) также превышает 1 за счет большей доли избыточных аминокислот, что было отмечено ранее

в отношении текстуратов и муки другого вида зерновой культуры.

Текстурат из зерна овса характеризовался в среднем самыми низкими значениями аминокислотных скоров (см. табл. 1) по сравнению с текстуратом из экструдата зерна ячменя (табл. 2), что является видовой особенностью зерновой культуры, определяющей химический состав. При этом первой лимитирующей аминокислотой для обоих видов текстуратов является триптофан, что также можно и отметить для овсяной муки, тогда как для ячменной муки первой кислотой является лизин на сроках 1–6 мес., а триптофан на сроках 9 и 12 мес. хранения.

Таблица 2

Аминокислотный скор ячменной муки и текстурата из экструдата зерна ячменя, %

Аминокислота	Способ хранения/вид упаковки	Срок хранения, мес.				
		1	3	6	9	12
1	2	3	4	5	6	7
Лизин	БП	57,2* 50,4*	50,1*	$\frac{24,6*}{53,2*}$	45,5*	$\frac{40,5*}{52,0*}$
	ПВД (zip-lock)		54,8*	$\frac{39,5*}{44,9*}$	58,7*	$\frac{53,9*}{49,2*}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		53,6*	$\frac{37,5*}{47,9*}$	53,1*	$\frac{47,0*}{47,4*}$
	ПВД в вакуум.		48,0*	$\frac{32,0*}{38,3*}$	41,0*	$\frac{43,0*}{29,8*}$
	БХ		49,2*	$\frac{25,7*}{47,4*}$	42,8*	$\frac{40,7*}{48,8*}$
Метионин + цистин	БП	100,8 1636,2	118,1	$\frac{134,5}{876,5}$	276,1	$\frac{261,4}{153,7}$
	ПВД (zip-lock)		122,4	$\frac{137,5}{1286,6}$	148,3	$\frac{167,1}{213,0}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		105,8	$\frac{111,6}{1310,4}$	120,3	$\frac{139,1}{257,7}$
	ПВД в вакуум.		122,5	$\frac{127,1}{987,2}$	145,2	$\frac{189,5}{179,6}$
	БХ		109,5	$\frac{116,7}{936,9}$	243,1	$\frac{224,2}{142,5}$
Триптофан	БП	97,1 22,4*	77,7	$\frac{115,2}{24,6*}$	36,8*	$\frac{28,7*}{25,1*}$
	ПВД (zip-lock)		83,9	$\frac{77,0}{16,5*}$	28,3*	$\frac{21,0*}{19,4*}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		83,3	$\frac{65,5*}{30,5*}$	41,1*	$\frac{21,4*}{43,7*}$
	ПВД в вакуум.		69,1	$\frac{47,4*}{21,0*}$	20,7*	$\frac{10,3}{22,8*}$
	БХ		71,3	$\frac{94,9}{16,6*}$	29,7*	$\frac{19,0*}{15,3*}$

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Валин	БП	$\frac{82,3}{88,2}$	57,4*	$\frac{29,7^*}{87,2}$	83,7	$\frac{76,4}{85,9}$
	ПВД (zip-lock)		66,3*	$\frac{63,8^*}{77,1}$	99,9	$\frac{87,8}{77,2}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		76,1	$\frac{66,0}{88,3}$	89,5	$\frac{67,3}{88,0}$
	ПВД в вакуум.		77,8	$\frac{56,4^*}{55,2}$	84,9	$\frac{69,2}{41,6}$
	БХ		68,9	$\frac{29,1^*}{80,6}$	77,1	$\frac{66,2}{77,4}$
Лейцин + изолейцин	БП	$\frac{79,3^*}{42,9^*}$	68,9	$\frac{60,0^*}{45,6^*}$	43,4*	$\frac{32,0^*}{44,6^*}$
	ПВД (zip-lock)		71,0	$\frac{58,9^*}{42,8^*}$	55,4*	$\frac{49,9^*}{40,9^*}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		59,3*	$\frac{56,6^*}{43,6^*}$	44,4*	$\frac{36,5^*}{41,9^*}$
	ПВД в вакуум.		69,0*	$\frac{63,6}{31,9^*}$	44,2*	$\frac{36,7^*}{25,4^*}$
	БХ		60,0*	$\frac{48,0^*}{41,7^*}$	34,7*	$\frac{26,9^*}{42,1^*}$
Треонин	БП	$\frac{71,3^*}{64,5}$	45,1*	$\frac{65,7}{91,2}$	79,2	$\frac{72,8}{107,1}$
	ПВД (zip-lock)		64,9*	$\frac{67,8}{80,7}$	82,2	$\frac{63,7}{87,8}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		66,5*	$\frac{70,7}{68,7}$	81,0	$\frac{79,2}{79,3}$
	ПВД в вакуум.		59,0*	$\frac{64,4}{50,7}$	66,5	$\frac{56,5^*}{43,2}$
	БХ		44,2*	$\frac{68,7}{86,3}$	67,2	$\frac{61,8}{101,6}$
Фенила-ланин + тирозин	БП	$\frac{118,2}{128,0}$	97,9	$\frac{77,9}{131,7}$	106,8	$\frac{98,8}{129,5}$
	ПВД (zip-lock)		109,8	$\frac{93,6}{120,8}$	121,3	$\frac{150,2}{115,0}$
Фенила-ланин + тирозин	Doу Pack, мет. (zip-lock)	$\frac{118,2}{128,0}$	115,1	$\frac{110,4}{125,7}$	123,4	$\frac{114,2}{120,5}$
	ПВД в вакуум.		114,7	$\frac{108,2}{97,9}$	114,6	$\frac{117,1}{82,8}$
	БХ		89,8	$\frac{71,9}{125,0}$	86,0	$\frac{96,1}{122,0}$
ИНАК	БП	$\frac{1,14}{1,24}$	1,12	$\frac{1,12}{1,20}$	1,15	$\frac{1,14}{1,14}$
	ПВД (zip-lock)		1,13	$\frac{1,13}{1,22}$	1,14	$\frac{1,14}{1,14}$
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		1,13	$\frac{1,12}{1,23}$	1,13	$\frac{1,12}{1,15}$
	ПВД в вакуум.		1,13	$\frac{1,12}{1,20}$	1,12	$\frac{1,13}{1,11}$
	БХ		1,12	$\frac{1,11}{1,20}$	1,13	$\frac{1,13}{1,13}$

Примечание: (*) – первая, вторая и третья лимитирующие аминокислоты; в числителе – значения ячменной муки; в знаменателе – значения текстурата из экстракта зерна ячменя.

Результаты проведенных расчетов показали, что сумма незаменимых аминокислот в противоположность муке для текстурата из экструдата зерна ячменя на интервале 1–6 мес. превы-

шала их уровень в белке-этalone ФАО/ВОЗ (36,0): сумма составляла более 79 и 50 соответственно (табл. 3).

Таблица 3

**Суммарное содержание расчетных аминокислот
(Вал + Изо + Лей + Лиз + Мет + Тре + Трип + Фен + Тир + Цис), г/100 г белка**

Вид муки/ текстурата	Способ хранения/ вид упаковки	Срок хранения, мес.				
		1	3	6	9	12
Овсяная мука	БП	32,6	29,8	24,4	37,8	33,5
	ПВД (zip-lock)		29,3	21,1	35,0	30,5
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		31,4	30,5	37,6	38,3
	ПВД в вакуум.		29,7	27,2	33,1	29,6
	БХ		30,3	26,2	32,6	32,4
Текстурат из экструдата зерна овса	БП	43,6	–	18,5	–	7,5
	ПВД (zip-lock)		–	28,1	–	16,3
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		–	32,9	–	19,7
	ПВД в вакуум.		–	28,3	–	12,6
	БХ		–	17,1	–	7,0
Ячменная мука	БП	30,4	25,8	22,6	31,1	27,8
	ПВД (zip-lock)		28,4	25,7	30,4	30,5
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		27,4	25,6	27,5	25,1
	ПВД в вакуум.		28,3	25,6	26,2	25,9
	БХ		24,5	20,2	26,7	24,8
Текстурат из экструдата зерна ячме- ня	БП	79,6	–	54,8	–	29,7
	ПВД (zip-lock)		–	66,7	–	29,1
	Doу Pack, мет. (zip-lock)		–	68,3	–	31,5
	ПВД в вакуум.		–	51,0	–	19,7
	БХ		–	55,1	–	27,7

Максимальные значения (более 65) были зафиксированы для варианта хранения в ПВД (zip-lock) и Doу Pack, мет. (zip-lock)). Для текстурата из экструдата зерна овса такое превышение наблюдалось только при 1 мес. – более 43. Также можно отметить, что с увеличением срока хранения наблюдается линейное снижение суммы незаменимых аминокислот в отношении текстурированных зернопродуктов. Следует пояснить: несмотря на то обстоятельство, что сумма незаменимых аминокислот и превышала сумму в белке-этalone, это не означало его сбалансированность по аминокислотному составу, а превышение достигалось за счет большей доли избыточных аминокислот.

Заключение. Расчет аминокислотных скоров позволил выявить следующие лимитирующие

аминокислоты в целом для большинства сроков и способов хранения: для овсяной муки – триптофан, лейцин + изолейцин, а также лизин при сроках хранения 1 и 12 мес.; для ячменной муки – лизин, лейцин+изолейцин, а также треонин при сроках хранения 1 и 3 мес. и валин при сроке хранения 6 мес.; для текстуратов из экструдатов соответствующих зерновых культур – лизин, триптофан, лейцин + изолейцин.

В отношении индекса незаменимых аминокислот (ИНАК) муки определено, что значение больше 1 приобретено за счет большей доли избыточных аминокислот, что также справедливо и в отношении зерновых текстуратов, что не характеризует белок муки и текстурата из экструдата как идеальный. При этом белок текстурата из экструдата зерна овса является менее

полноценным по сравнению с белком соответствующей муки в связи с более низкими значениями аминокислотных скоров при 1 и 12 мес. хранения по всем вариантам упаковки, тогда как для текстурата из экструдата зерна ячменя меньшие значения носят единичный характер и не позволяют выявить какую-либо общую закономерность.

Суммарное содержание расчетных аминокислот для всех видов зерновых текстуратов и овсяной муки при варианте хранения в непрозрачном полимерном материале с воздушной средой внутри упаковки (Doу Pack, мет. (zip-lock)) было выше по сравнению с другими вариантами. Для ячменной муки данный показатель был выше при хранении в ПВД (zip-lock). Это позволяет рассматривать данные виды упаковки как наиболее оптимальные из рассмотренных.

С учетом того обстоятельства, что превышение суммы незаменимых аминокислот по сравнению с белком-эталоном достигалось за счет большей доли избыточных аминокислот, сделать вывод об оптимальном сроке хранения по сбалансированности белкового состава не представляется возможным.

Наблюдаемая тенденция линейного снижения суммы незаменимых аминокислот у текстурированных зернопродуктов и уровень в белке-эталоно, установленный ФАО/ВОЗ, позволяют определить оптимальный срок хранения для текстурата из экструдата зерна овса – до 6 мес. при условии хранения в упаковке Doу Pack, мет. (zip-lock), для текстурата из экструдата зерна ячменя – до 6 мес. вне зависимости от варианта хранения. Для рассматриваемых видов муки изменения суммы незаменимых аминокислот носят волнообразный характер, не превышая уровня в белке-эталоно, что не дает оснований для установления срока хранения. Все изложенные результаты проведенных исследований обозначают необходимость при определении оптимальных сроков и вариантов хранения данных видов пищевых продуктов рассматривать их в комплексе с другими показателями, определяющими их качество и годность.

Список источников

1. Functional properties of dietary fibre enriched extrudates from barley / M. Huth [et al.] // Journal of Cereal Science. 2020. Vol. 32 (2). P. 115–128.

2. The effect of extrusion conditions and cereal types on the functional properties of extrudates as fermentation media / V. Narbutaitė [et al.] // FOODBALT-2008 : 3rd Baltic Conference on Food Science and Technology. Jelgava : Latvia University of Agriculture, 2008. P. 60–63.
3. Changes in nutritional properties and bioactive compounds in cereals during extrusion cooking : chapter in book / C.R. Moreno [et al.] // Extrusion of Metals, Polymers and Food Products. 2018. P. 103–124. URL: <https://intechopen.com/books/5830> (дата обращения: 06.10.2024).
4. Никуфорова Т.А. Совершенствование ресурсосберегающей технологии использования вторичного сырья зерноперерабатывающей промышленности для создания продуктов здорового питания: монография. Оренбург: ОГУ, 2018. 136 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/159835> (дата обращения: 07.09.2024).
5. Степичева Н.В., Петрова С.Н. Разработка функциональных хлебобулочных изделий: теория и практика: учеб. пособие. Иваново: ИГХТУ, 2017. 165 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/171824> (дата обращения: 07.09.2024).
6. Гаврилова Н.Б., Коновалов С.А. Технология продуктов из растительного сырья для специализированного питания: учеб. пособие. Омск: Омский ГАУ, 2018. 194 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/111403> (дата обращения: 07.09.2024).
7. Сечин Е.Н., Маракаев О.А., Гаврилов Г.Б. Аминокислотный состав вегетативных органов *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó (Orchidaceae) // Химия растительного сырья. 2019. № 2. С. 135–143.
8. Анализ аминокислотного состава муки из экструдата сои / В.Д. Пилякина [и др.] // Хлебобулочные. 2023. № 4. С. 30–33.
9. Артемьева И.О. Соевые белки в технологии мясных продуктов // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2022. № 43 (48). С. 30–32.
10. Ермош Л.Г., Присухина Н.В. Анализ аминокислотного состава конопляной муки // Вестник КрасГАУ. 2023. № 3 (192). С. 188–193.
11. Изучение аминокислотного состава различных видов безглютеновой муки / А.И. Кабылда [и др.] // Известия Нижневолжского

- агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 153–161.
12. Использование полбы и раторопши в рецептурах рубленых полуфабрикатов / И.С. Патракова [и др.] // Все о мясе. 2021. № 1. С. 20–23.
 13. Исследование аминокислотного состава белков муки из полуобезжиренного кукурузного зародыша / Е.В. Чернова [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2020. Т. 9, № 3 (51). С. 103–106.
 14. Кучер А.С. Исследование влияния амарантовой муки на аминокислотный состав хлебобулочных изделий // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Сер. 6. Техника. 2019. Т. 9, № 1. С. 69–77.
 15. Муслимов Н.Ж., Абуова А.Б., Кабылда А.И. Характеристика аминокислотного состава муки для производства макарон gluten-free // Вестник Алматинского технологического университета. 2022. № 3. С. 64–73.
 16. Орлова Т.В., Мосенцева И.И., Черкалина С.А. Повышение биологической ценности мучных кондитерских изделий путем использования белка подсолнечника // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2023. № 4 (81). С. 36–44.
 17. Подгорнова Н.М., Грунина А.А., Петров С.М. Фортификация мучных изделий инкапсулированным купажом растительных масел // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2023. № 1 (78). С. 19–27.
 18. Санжаровская Н.С., Романова Н.Н., Храпко О.П. Использование муки из зерна полбы в рецептуре мучных кондитерских изделий // Ползуновский вестник. 2020. № 1. С. 41–45.
 19. Снегирева Н.В., Янова М.А. Пищевая ценность льняной обезжиренной муки как функционального ингредиента для кондитерской промышленности // Агропродовольственная политика России. 2022. № 2-3. С. 25–28.
 20. Феофилактова О.В., Пономарев А.С. Исследование технологических свойств нетрадиционных видов муки при производстве продукции предприятий общественного питания // Индустрия питания. 2019. Т. 4, № 2. С. 28–34.

References

1. Functional properties of dietary fibre enriched extrudates from barley / M. Huth [et al.] // Journal of Cereal Science. 2020. Volume 32 (2). P. 115–128.
2. The effect of extrusion conditions and sereal types on the functional properties of extrudates as fermentation media / V. Narbutaitė [et al.] // FOODBALT-2008 : 3rd Baltic Conference on Food Science and Technology. Jelgava : Latvia University of Agriculture, 2008. P. 60–63.
3. Changes in nutritional properties and bioactive compounds in cereals during extrusion cooking : chapter in book / C.R. Moreno [et al.] // Extrusion of Metals, Polymers and Food Products. 2018. P. 103–124. URL: <https://intechopen.com/books/5830> (data obrashcheniya: 06.10.2024).
4. Nikiforova T.A. Sovershenstvovanie resurso-sbergayushchei tekhnologii ispol'zovaniya vtorichnogo syr'ya zernopererabatyvayushchei promyshlennosti dlya sozdaniya produktov zdorovogo pitaniya: monografiya. Orenburg: OGU, 2018. 136 s. URL: <https://e.lanbook.com/book/159835> (data obrashcheniya: 07.09.2024).
5. Stepycheva N.V., Petrova S.N. Razrabotka funktsional'nykh khlebobulochnykh izdelii: teoriya i praktika: ucheb. posobie. Ivanovo: IGKHTU, 2017. 165 s. URL: <https://e.lanbook.com/book/171824> (data obrashcheniya: 07.09.2024).
6. Gavrilova N.B., Konovalov S.A. Tekhnologiya produktov iz rastitel'nogo syr'ya dlya spetsializirovannogo pitaniya: ucheb. posobie. Omsk: Omskii GAU, 2018. 194 s. URL: <https://e.lanbook.com/book/111403> (data obrashcheniya: 07.09.2024).
7. Sechin E.N., Marakaev O.A., Gavrilov G.B. Aminokislotnyi sostav vegetativnykh organov *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó (Orchidaceae) // Himiya rastitel'nogo syr'ya. 2019. № 2. S. 135–143.
8. Analiz aminokislotnogo sostava muki iz ekstrudata soi / V.D. Pilyakina [i dr.] // Hleboprodukty. 2023. № 4. S. 30–33.
9. Artem'eva I.O. Soevye belki v tekhnologii myasnykh produktov // Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta. 2022. № 43 (48). S. 30–32.

10. *Ermosh L.G., Prisuhina N.V.* Analiz aminokislotojnogo sostava konoplyanoi muki // Vestnik KrasGAU. 2023. № 3 (192). S. 188–193.
11. *Izuchenie aminokislotojnogo sostava razlichnyh vidov bezglyutenovoi muki / A.I. Kabylda [i dr.]* // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2022. № 3 (67). S. 153–161.
12. *Ispol'zovanie polby i rastropshi v retsepturah rublenyh polufabrikatov / I.S. Patrakova [i dr.]* // Vse o myase. 2021. № 1. S. 20–23.
13. *Issledovanie aminokislotojnogo sostava belkov muki iz poluobezzhirennogo kukuruznogo zarodysha / E.V. Chernova [i dr.]* // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2020. T. 9, № 3 (51). S. 103–106.
14. *Kucher A.S.* Issledovanie vliyaniya amarantovoi muki na aminokislotojnyi sostav hlebobulochnyh izdelii // Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yanki Kupaly. Ser. 6. Tekhnika. 2019. T. 9, № 1. S. 69–77.
15. *Muslimov N.Zh., Abuova A.B., Kabylda A.I.* Harakteristika aminokislotojnogo sostava muki dlya proizvodstva makaron gluten-free // Vestnik Almatinskogo tehnologicheskogo universiteta. 2022. № 3. S. 64–73.
16. *Orlova T.V., Mosentseva I.I., Cherkalina S.A.* Povyshenie biologicheskoi cennosti muchnyh konditerskih izdelii putem ispol'zovaniya belka podsolnechnika // Tehnologiya i tovarovedenie innovacionnyh pishchevyh produktov. 2023. № 4 (81). S. 36–44.
17. *Podgornova N.M., Grunina A.A., Petrov S.M.* Fortifikaciya muchnyh izdelii inkapsulirovannym kupazhom rastitel'nyh masel // Tehnologiya i tovarovedenie innovacionnyh pishchevyh produktov. 2023. № 1 (78). S. 19–27.
18. *Sanzharovskaya N.S., Romanova N.N., Hrapko O.P.* Ispol'zovanie muki iz zerna polby v recepture muchnyh konditerskih izdelii // Polzunovskii vestnik. 2020. № 1. S. 41–45.
19. *Snegireva N.V., Yanova M.A.* Pishhevaya cennost' l'nyanoi obezhhirennoi muki kak funktsional'nogo ingredienta dlya konditerskoi promyshlennosti // Agroprodovol'stvennaya politika Rossii. 2022. № 2-3. S. 25–28.
20. *Feofilaktova O.V., Ponomarev A.S.* Issledovanie tehnologicheskikh svoystv netradicionnyh vidov muki pri proizvodstve produkcii predpriyatii obshchestvennogo pitaniya // Industriya pitaniya. 2019. T. 4, № 2. S. 28–34.

Статья принята к публикации 14.11.2024 / The article accepted for publication 14.11.2024.

Информация об авторах:

Ирина Владимировна Федорович, ассистент кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств

Марина Анатольевна Янова, заведующая кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств, доктор технических наук, доцент

Information about the authors:

Irina Vladimirovna Fedorovich, Assistant Professor, Department of Bakery, Confectionery and Pasta Production Technology

Marina Anatolievna Yanova, Head of the Department of Bakery, Confectionery and Pasta Production Technology, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

