

Разработка концепции производства снеков из пшеницы с элиминацией глютена биокаталитическим методом

Антон Ю. Шариков	1	anton.sharikov@gmail.com	 0000-0001-9483-5209
Елена Н. Соколова	1	elenaniksokolova@inbox.ru	 0000-0002-6084-7786
Мария В. Амелякина	1	masha.am@mail.ru	 0000-0002-5138-6746
Татьяна В. Юраскина	1	tata-santeltor@yandex.ru	 0000-0002-6877-9933
Виктор В. Иванов	1	ivanov.v.v@li.ru	
Елена М. Серба	1	serbae@mail.ru	 0000-0002-1660-2634

¹ ВНИИПБТ – филиал «ФИЦ питания и биотехнологии», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия

Аннотация. Рост количества случаев аллергических реакций и заболеваний целиакией является важной проблемой, для решения которых необходим поиск и разработка актуальных и эффективных способов элиминации глютена. Специфические последовательности аминокислот глутамина и пролина определяют устойчивость к гидролизу протеазами структурных доменов фракций глютена. Проведенный анализ данных литературных источников показал, что альтернативой к переходу на безглютеновую диету является использование биотехнологических методов модификации ингредиентов, содержащих глютен. К таким способам можно отнести использование заквасок молочнокислых бактерий или ферментных препаратов, содержащих специфичные к биокатализу глютена пептидазы. Кроме того, повышению степени гидролиза глютена способствует предобработка сырья экструзией. В ходе проведенного исследования изучено влияние фактора термопластической экструзии и различных ферментных систем, содержащих помимо протеаз амилотических, целлюлолитических и гemicеллюлолитических ферменты, на изменение молекулярных масс фракций белков пшеницы. По отсутствию на электрофореграмме проэкструированных образцов белковых полос с молекулярной массой, соответствующей глиадину и глютенину, установлено, что экструзия как фактор модификации белка значительно влияет на протеолиз белков пшеницы при использовании ферментных систем различной субстратной специфичности. Наиболее эффективный гидролиз показало применение комплексного ферментного препарата Амилопротооризин, в том числе при биоконверсии непроэкструированной пшеницы. Предложен алгоритм технологии снеков из пшеницы на основе процессов экструзии и биокатализа белков специфичными протеазами для элиминации глютена. Практическая реализация технологии позволит получить готовые к употреблению снеки, которые будут исследованы на сохранение или элиминацию антигенных свойств в ходе клинических испытаний.

Ключевые слова: ферментативный гидролиз, экструзия, снеки, белки злаков, глютен, протеазы, аминокислоты, гипоаллергенные продукты

Development of a concept for the production of wheat snacks with the elimination of gluten by the biocatalysis

Anton Yu. Sharikov	1	anton.sharikov@gmail.com	 0000-0001-9483-5209
Elena N. Sokolova	1	elenaniksokolova@inbox.ru	 0000-0002-6084-7786
Maria V. Amelyakina	1	masha.am@mail.ru	 0000-0002-5138-6746
Tatyana V. Yuraskina	1	tata-santeltor@yandex.ru	 0000-0002-6877-9933
Victor V. Ivanov	1	ivanov.v.v@li.ru	
Elena M. Serba	1	serbae@mail.ru	 0000-0002-1660-2634

¹ Russian Research Institute of Food Biotechnology – a branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, 111033, Russia

Abstract. The increase in the number of cases of allergic reactions and celiac disease is an important problem. The solution to this problem is the search and development of relevant and effective ways to eliminate gluten. Specific amino acid sequences glutamine and proline determine the resistance to protease hydrolysis of the structural domains of gluten fractions. The analysis of the literature data showed that an alternative to the gluten-free diet is the use of biotechnological methods for modifying ingredients containing gluten. Such methods include the use of leavens on the base of lactic acid bacteria or enzyme preparations containing peptidases specific to gluten biocatalysis. In addition, the pretreatment of raw materials by extrusion cooking contributes to an increase in the degree of gluten hydrolysis. The effect of the thermoplastic extrusion and various enzyme systems containing proteases, amylolytic, cellulolytic and hemicellulolytic enzymes on the changes in the molecular weights of wheat protein fractions was studied. It was found that extrusion as a factor of protein modification significantly affects the proteolysis of wheat proteins using enzyme systems of different substrate specificity. The most effective hydrolysis was shown by the use of a complex enzyme preparation Amyloprotorizin, including The effect was also noted after bioconversion of non-extruded wheat. An algorithm for the technology of wheat snacks based on the processes of extrusion and biocatalysis of proteins with specific proteases for the elimination of gluten is developed. The practical implementation of the technology will make it possible to obtain ready-to-eat snacks, which will be investigated for the preservation or elimination of antigenic properties during clinical trials.

Keywords: enzymatic hydrolysis, extrusion, snacks, cereal proteins, gluten, proteases, amino acids, hypoallergenic products

Для цитирования

Шариков А.Ю., Соколова Е.Н., Амелякина М.В., Юраскина Т.В., Иванов В.В., Серба Е.М. Разработка концепции производства снеков из пшеницы с элиминацией глютена биокаталитическим методом // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 77–83. doi:10.20914/2310-1202-2020-4-77-83

For citation

Sharikov A.Yu., Sokolova E.N., Amelyakina M.V., Yuraskina T.V., Ivanov V.V., Serba E.M. Development of a concept for the production of wheat snacks with the elimination of gluten by the biocatalysis. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 77–83. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-4-77-83

Введение

Производство и потребление снеков – стремительно развивающееся направление пищевой промышленности, обусловленное глобальными изменениями в структуре и привычках приема пищи. Экструдирование как метод переработки сельхозсырья, используемый в производстве готовых завтраков, детского и диетического питания, соленых закусок, обеспечивает возможность производства снеков из относительно недорогих ингредиентов на основе злаков. Кроме того, технология обладает большим потенциалом управления пищевой ценностью подобных продуктов на основе методов пищевой комбинаторики. Ингредиентной основой для таких продуктов являются зерно пшеницы, ржи, ячменя, овса и продуктов их переработки. Серьезным вызовом для медицинского сообщества и пищевой науки является преодоление проблем со здоровьем, вызываемых при употреблении продуктов с этими злаками ввиду аллергических реакций, опосредованных иммуноглобулином E (IgE) или не-IgE [1, 2]. Причиной является группа запасующих белков, получивших общее определение глютен, включающий объединенные глиадиновую и глютеиновою фракции. Кроме целиакии фракции глютена вызывают неглютеновую чувствительность к глютену, герпетиформный дерматит, атаксию глютена [3]. Показано, что распространенность аутоиммунных заболеваний, среди которых были инсулинозависимый сахарный диабет, аутоиммунные заболевания щитовидной железы, болезнь Аддисона, первичный синдром Шегрена, псориаз, была значимо выше в группе болеющих целиакией [4]. Фракции глютена глиадины и глютенины характеризуются высоким содержанием пролина (около 15%), глутамина (около 35%), и гидрофобных аминокислот (около 19%) [5]. В глиадине, молекулярная масса белков которого находится в диапазоне 28000–55000, выделяют четыре фракции: α , β , γ и ω [6], при этом основным инициатором иммунного ответа является 33-мерный полипептид, устойчивый к гидролизу желудочными, панкреатическими и кишечными протеазами [5]. Устойчивость фракций глютена к гидролизу этими протеазами определяется наличием структурных доменов, которые содержат уникальные повторяющиеся последовательности аминокислот глутамина и пролина.

Действенным и общепринятым способом преодоления алиментарных заболеваний, связанных с потреблением глютенсодержащих злаков, является переход и поддержание на протяжении всей жизни строгой безглютеновой

диеты [7, 8]. Проблемой для традиционных и инновационных безглютеновых продуктов является контаминация безглютенового сырья глютеновым при хранении в силосах и на производственных линиях. При этом строгий контроль на всех стадиях производства безглютеновых злаков от подготовки семенного фонда и выращивания до хранения, переработки и упаковки значительно увеличивает стоимость безглютеновых продуктов для потребителя.

Альтернативным направлением элиминации глютена, является деструкция белков пшеницы и других глютенсодержащих злаков биотехнологическими методами, нацеленными на гидролиз пролиновых и глутаминовых связей [9]. Исследование гидролиза фракций белка пшеницы при приготовлении теста с использованием заквасок молочнокислых бактерий *Lactobacillus alimentarius*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus sanfranciscensis* и *Lactobacillus hilgardii* показало [10] увеличение содержания свободных аминокислот, особенно пролина, глутаминовой и аспарагиновой кислот. Показана возможность использования пролилэндопептидазы, синтезируемой *Flavobacterium meningosepticum*, как бикатализатора для гидролиза глютена, которая снизила количество потенциально иммуностимулирующих пептидов, ослабляя тем самым их токсический эффект [11]. Кроме того, свою эффективность деструкции пролинсодержащих пептидов с перспективой их использования в оральной энзимотерапии показали пролил-лигопептидазы из *Flavobacterium meningosepticum*, *Sphingomonas capsulate* и *Mycrococcus Xanthus* [9].

Одним из способов физико-химической модификации глютена и его подготовки к эффективному гидролизу является варочная экструзия, во время которой белки разворачиваются, перегибаются, денатурируются, вторичные, третичные и четвертичные структуры претерпевают значимые изменения [12, 13]. Исследование влияния экструзии на гидролиз глютена показало увеличение степени биокатализа на 19,2% [13], повысилось содержание свободных и общих аминокислот и пептидов с молекулярной массой ниже 5 кДа.

Таким образом, процессы биокатализа и экструзии имеют большой потенциал в модификации молекулярной структуры фракций глютеинов и глиадинов пшеницы. Перспективным является объединение этих процессов в технологии получения снеков с использованием зерна пшеницы и деструкцией глютена. Варочная экструзия в таких технологиях может использоваться на двух стадиях, подготовка пшеницы и других злаков перед ферментативным гидролизом и для получения снеков

из прогидролизованного зерна, где приемлемые потребителем сенсорные атрибуты продукта (текстура, твердость, пористость) будут формироваться за счет экструдированных биополимеров крахмала пшеницы.

Целью настоящего исследования является изучение влияния различных ферментных систем и процесса экструзии на потенциал гидролиза белков пшеницы, результаты которого могут быть положены в основу разработки технологии снеков из пшеницы с элиминацией глютена.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись зерно пшеницы, гидролизаты пшеницы, процессы экструзии и биокатализа.

Экструдирование помола зерна осуществляли на двухшнековом экструдере Continua 37 (Werner&Phleiderer, Германия) с удельной длиной шнека 27. Скорость вращения шнеков составляла 200 об/мин, температура экструдирования пшеницы 160–170 °С. Ферментные препараты (ФП), используемые в исследовании, и их специфичные активности приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика ферментных препаратов

Table 1.

Characteristics of the enzyme preparations

Ферментный препарат Enzyme	Продуцент Strain producer	Состав ферментного комплекса, ед./г (ед./см ³) (ферментная активность) Specific enzymes activity, Units per 1 g of preparations (enzyme activity)				
		Протеолитическая Proteolytic	Амилолитическая Amylolytic	Глюкоамилазная Glucamylase	Ксиланазная Xylanase	Целлюлолитическая Cellulolytic
КФПА (комплексный ферментный препарат Амилопротооризин, (порошок) CFPA (powder)	<i>Aspergillus oryzae</i>	600	800	–	50	–
Протоферм FP (ультраконцентрат (УК) Protoferm FP (ultraconcentrate (UC)	<i>Aspergillus niger</i>	900	–	–	–	–
Флавозим (УК) Flavourzyme (UC)	<i>Aspergillus oryzae</i>	500	–	–	–	–
Визкоферм (УК) Viscoferm (UC)	<i>Aspergillus niger</i>	–	–	–	1000	1100
Термамил (УК) Termamyl (UC)	<i>Bacillus subtilis</i>	–	900	200	–	–

Активность ферментных препаратов определяли по ГОСТ 34430–2018 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения протеолитической активности», ГОСТ Р 55302–2012 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения ксиланазной активности», ГОСТ Р 55293–2012 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения целлюлозной активности», ГОСТ 34440–2018 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилолитической активности». Ферментативную обработку образцов пшеницы и экструдатов осуществляли ферментативными системами гидролитического действия в подобранных ранее условиях: в течение 2 ч при 50 °С при pH 5,5; гидромодуль суспензии 1:3.

Для определения фракционного состава белков исходного сырья и их ферментализатов использовали метод электрофореза в полиакриламидном геле с использованием Mini-Protean Tetra System (BioRad, USA).

Результаты и обсуждение

Проведено сравнение гидролиза неэкструдированного и проэкструдированного помола пшеницы различными ферментными системами (ФС), в состав которых входили ферменты различной

специфичности и механизма действия. Так, например, для протеаз грибного происхождения характерно наряду с протеиназами, катализирующими гидролиз внутренних пептидных связей с образованием пептидов с различной молекулярной массой, наличие пептидаз – ферментов экзо-действия, расщепляющих полипептиды с высвобождением отдельных аминокислот или дипептидов. ФП КФПА и Протоферм, в основном, представлены протеиназами и пептидазами эндо-действия: металлозависимой нейтральной, сериновой и цистеиновой протеиназами. ФС-1 и ФС-2 содержали помимо ферментов протеолитического действия, ферменты амилолитического и гемицеллюлозного действия, позволяющие деструктурировать крахмал и полисахариды зерна.

На рисунке 1 представлены электрофореграммы прогидролизованых белков пшеницы и экструдата пшеницы. Аллергенные белки пшеницы имеют молекулярную массу в диапазоне от 30 до 100 кДа. Молекулярная масса белковых фракций глиадина составляет от 30 до 60 кДа, а для глютелина – от 60 до 100 кДа.

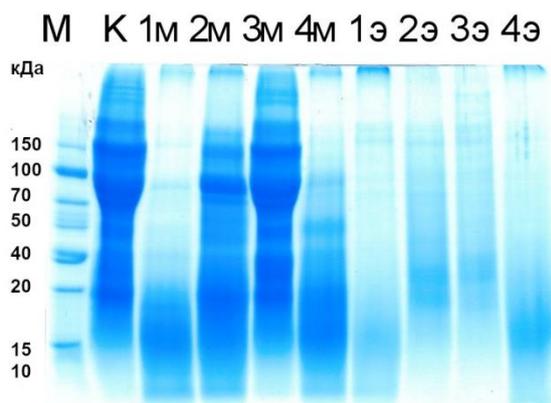


Рисунок 1. Электрофореграмма прогидролизированных белков пшеницы и ее экструдатов

Figure 1. Electrophoregram of hydrolyzed extruded and non-extruded wheat proteins

По отсутствию на электрофореграмме проэкструдированных образцов белковых полос с молекулярной массой, соответствующей глиадину и глютенину, установлено, что экструзия как фактор модификации белка значительно влияет на протеолиз белков пшеницы всеми используемыми в эксперименте ферментными системами.

Показано, что наиболее эффективный гидролиз обеспечило использование ферментного комплекса КФПА, в том числе при биоконверсии непроэкструдированной пшеницы.

Таким образом подтверждено расщепление высокомолекулярных белковых фракций пшеницы и экструдата за счет наличия в составе ферментного комплекса КФПА эндопептидазы, обеспечивающей максимальный биокатализ белковых фракций до свободных аминокислот с максимальным высвобождением фракции пролина, отвечающей за аллергенность зерна.

Полученные результаты коррелируют с ранее полученными данными по изучению влияния различных экспериментальных ферментных систем, синтезируемых *Asp. oryzae*, *Asp. foetidus*, *Bacillus subtilis*, а также коммерческой протеазы, синтезируемой *Bacillus licheniformis*, и папаина из *Papaya latex* на степень деструкции белков тритикале [14]. Наиболее эффективной была обработка комплексом ферментов, синтезируемых *Asp. oryzae*. Степень гидролиза белков составила около 90%, около 50% от общего количества аминокислот перешло в свободное состояние. Содержание пролина в свободной форме в хлебе, полученном с использованием гидролизованного тритикале увеличилось с 0,01 до 1,04 г. в 100 г. сухих веществ хлеба. Увеличилось содержание в свободной форме метионина, валина, изолейцина, лейцина, фенилаланина, треонина, триптофана и лизина.

1 м-4 м – Мука пшеничная цельнозерновая, прогидролизованная с использованием ферментов: 1 м – КФПА; 2 м – Флавозим; 3 м – Протоферм FP + Термамил + Визкоферм (ФС-1); 4 м – КФПА + Протоферм + Термамил + Визкоферм (ФС-2); 1э-4э – Экструдаты пшеницы, прогидролизированные с использованием ферментов: 1э – КФПА; 2э – Флавозим; 3э – Протоферм FP + Термамил + Визкоферм (ФС-1); 4э – КФПА + Протоферм + Термамил + Визкоферм (ФС-2)

1 m-4 m – Whole grain wheat flour, hydrolyzed using enzymes: 1 m – KFPA; 2 m – Flavozyme; 3 m – Protoferm FP + Termamil + Vizkoferm (FS 1); 4 m – KFPA + Protoferm + Termamil + Vizkoferm (FS 2); 1e 4e – Extrudates of wheat, hydrolyzed using enzymes: 1e – KFPA; 2e – Flavozyme; 3e – Protoferm FP + Termamil + Vizkoferm (FS 1); 4e – KFPA + Protoferm + Termamil + Vizkoferm (FS 2)

Использование экструзии в данном исследовании позволило значительно снизить молекулярную массу продуктов гидролиза экструдатов пшеницы. Поэтому интеграция процесса экструзии в процесс биоконверсии глютена несет определенные перспективы для его элиминации в продуктах питания, в том числе готовых к употреблению зерновых снеках. Варочная экструзия в таких технологиях может использоваться на двух стадиях, подготовка пшеницы перед ферментативным гидролизом и для получения снеков из прогидролизованного зерна, где приемлемые потребителем сенсорные атрибуты продукта (текстура, твердость, пористость) будут формироваться за счет экструдированных биополимеров крахмала пшеницы.

Необходимо отметить, что важной проблемой для использования гидролизатов в последующем экструдировании является высокое влагосодержание в прогидролизированных средах, что делает невозможным их прямую экструзионную переработку. Введение дополнительных технологических стадий обезвоживания или подсушки значительно удорожает процесс, поэтому наиболее оптимальным является смешивание и внесение в рецептуру для экструдирования безглютеновых злаков и бобовых. Также возможно использование системы отбора пара в процессе экструдирования, которая позволит значительно снизить количество воды в камере перед формирующей фильерой [15].

Технологический процесс получения готовых к употреблению зерновых снеков в данном случае должен состоять из стадий экструзии, ферментативного гидролиза экструдатов, смешивания с безглютеновыми злаками или бобовыми, повторное экструдирование высоковлажной смеси с отбором пара и последующая подсушка полученных гранул экструдата.

Также возможным является использование метода высоковлажной экструзии, в процессе которой смесь ингредиентов также, как и в случае обычной термопластической экструзии, будет перемешиваться, проходить баротермообработку, формироваться в жгуты и нарезать, но полученные экструдаты потребуют в качестве заключительной стадии этапа выпечки при режимах производства печенья.

Лимитирующим фактором при получении таких продуктов, проэкструдированных или выпеченных на последней стадии, может стать высокое содержание в составе редуцирующих сахаров. Так как высокотемпературная обработка, даже кратковременная, потенциально ведет к значительному меланоидинообразованию в результате реакции Майяра. Поэтому необходимо исключить или ограничить использование ФС, обладающих глюкоамилазной или амилолитической активностью. Важным в дальнейших исследованиях является изучение и подбор эффективных ферментативных систем для элиминации глютена, а также изучение возможности получения гидролизатов с максимально возможной концентрацией сухих веществ с соответствующим подбором гидролитических ферментов для гидролиза небелковых биополимеров зерна в целях снижения вязкости гидролизатов.

Заключение

Описанные в релевантной научной литературе перспективные биотехнологические подходы к элиминации глютена связаны с двумя направлениями – энзимотерапия, предполагающая пероральный прием препаратов, содержащих специфичную к глютену протеазу, и использование заквасок на основе молочнокислых бактерий. Оба направления имеют

определенные ограничения в применении, поэтому разработка промышленных технологий элиминации глютена в продуктах из злаков трибы *Triticeae*, а также овса является актуальной. Проведенный анализ релевантных литературных источников по проблеме непереносимости глютена, потенциальных способов его элиминации на основе процессов биоконверсии, а также дополнительных способов глубокой модификации глютена физико-химическими способами переработки показал перспективность совмещения процессов экструзии и биокатализа для элиминации глютена при получении снеков на основе зерна пшеницы. Изучение влияния различных ферментных систем и процесса экструзии на гидролиз белков пшеницы показало, что экструдирование значительно снижает молекулярную массу продуктов последующего гидролиза белков пшеницы при использовании ферментных систем различной субстратной специфичности, что делает этот процесс перспективным на этапе предобработки сырья перед биокатализом. Исследования показали, что ферментный комплекс КФПА в сравнении с другими изучаемыми ферментными системами обеспечил наиболее эффективный гидролиз белков пшеницы за счет наличия в составе эндопептидазы, специфичной к катализу фракции пролина, ассоциированной с аллергенностью зерна. Предложен алгоритм технологии снеков из пшеницы на основе процессов экструзии и биокатализа белков специфичными протеазами для элиминации глютена.

Благодарность

Работа проведена за счет средств госбюджета на выполнение государственного задания по ПНИ Тема № 0410-2020-001.

Литература

- 1 Cianferoni A. Wheat allergy: Diagnosis and management // *Journal Asthma Allergy*. 2016. V. 9. P. 13–25.
- 2 Ревякина В.А., Сурков А.Г., Лаврова Т.Е. Питание детей первого года жизни с пищевой аллергией, обусловленной непереносимостью злаков // *Вопросы детской диетологии*. 2009. Т. 7, № 2. С. 65–68.
- 3 Sapone A., Bai J.C., Ciacci C., Dolinsek J. et al. Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification // *BMC medicine*. 2012. V. 10. № 13. doi: 10.1186/1741-7015-10-13
- 4 Viljamaa M., Kaukinen K., Huhtala H., Kyrönpalo S. et al. Coeliac disease, autoimmune diseases and gluten exposure // *Scand. J. Gastroenterol*. 2005. V. 40. № 4. P. 437–443.
- 5 Shan L., Molberg Ø., Parrot I., Hausch F. et al. Structural Basis for Gluten Intolerance in Celiac Sprue // *Science*. 2002. V. 297(5590). P. 2275–2279.
- 6 Wieser H. Chemistry of gluten proteins // *Food Microbiology*. 2007. V. 24. № 2. P. 115–119.
- 7 Khoury D.El, Balfour-Ducharme S., Joye I.J. A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges // *Nutrients*. 2018. V. 10. № 10. P. 1410.
- 8 Жаркова И.М., Самохвалов А.А., Гусинович В.Г., Корячкина С.Я. и др. Обзор разработок мучных изделий для безглютенового и геродиетического питания // *Вестник ВГУИТ*. 2019. Т. 81. № 1. С. 213–217. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-213-217
- 9 Caputo I., Lepretti M., Martucciello S., Esposito C. Enzymatic strategies to detoxify gluten: Implications for celiac disease // *Enzyme Research*. 2010. V. 10. P. 9. doi:10.4061/2010/174354
- 10 Di Cagno R., De Angelis M., Lavermicocca P. et al. Proteolysis by sourdough lactic acid bacteria: effects on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance // *Applied and Environmental Microbiology*. 2002. V. 68. № 2. P. 623–633.

- 11 Marti T., Molberg Ø., Li Q., Gray G.M. et al. Prolyl endopeptidase-mediated destruction of T cell epitopes in whole gluten: chemical and immunological characterization // *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 2005. V. 312. № 1. P. 19–26. doi:10.1124/jpet.104.073312
- 12 Cui C., Zhao H., Zhao M., Chai H. Effects of extrusion treatment on enzymatic hydrolysis properties of wheat gluten // *Journal of Food Process Engineering*. 2011. V. 34. P. 187–203.
- 13 Fischer T. Effect of extrusion cooking on protein modification in wheat flour // *Eur Food Res Technol*. 2004. V. 218. № 2. P. 128–132. doi:10.1007/s00217-003-0810-4
- 14 Римарева Л.В., Фурсова Н.А., Соколова Е.Н., Волкова Г.С. и др. Биодеструкция белков зернового сырья для получения новых хлебобулочных изделий // *Вопросы питания*. 2018. Т. 87. № 6. С. 67-75. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10068.
- 15 Шариков А.Ю., Степанов В.И., Иванов В.В., Поливановская Д.В. и др. Экструдирование смесей пшеницы и выжимок моркови повышенной влажности в технологии продуктов, готовых к употреблению // *Вестник ВГУИТ*. 2018. Т. 80. № 3. С. 43–49. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-43-49

References

- 1 Cianferoni A. Wheat allergy: Diagnosis and management. *Journal Asthma Allergy*. 2016. vol. 9. pp. 13–25.
- 2 Revyakina V.A., Surkov A.G., Lavrova T.E. Nutrition of first-year infants with food allergy associated with grain intolerance. *Pediatric Nutrition*. 2009. vol. 7. no. 2. pp. 65–68. (in Russian).
- 3 Sapone A., Bai J.C., Ciacci C., Dolinsek J. et al. Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification. *BMC medicine*. 2012. vol. 10. no. 13. doi: 10.1186/1741-7015-10-13
- 4 Viljamaa M., Kaukinen K., Huhtala H., Kyrönpallo S. et al. Coeliac disease, autoimmune diseases and gluten exposure. *Scand. J. Gastroenterol*. 2005. vol. 40. no. 4. pp. 437–443.
- 5 Shan L., Molberg Ø., Parrot I., Hausch F. et al. Structural Basis for Gluten Intolerance in Celiac Sprue. *Science*. 2002. vol. 297(5590). pp. 2275–2279.
- 6 Wieser H. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*. 2007. vol. 24. no. 2. pp. 115–119.
- 7 Khoury D. El, Balfour-Ducharme S., Joye I.J. A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges. *Nutrients*. 2018. vol.10. no.10. pp. 1410.
- 8 Zharkova I.M., Samokhvalov A.A., Gustinovich V.G., Koryachkina S.Y. et al. Review. Of bakery products for gluten free and herodietetic nutrition. *Proceedings of VSUET*. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 213–217. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-213-217 (in Russian).
- 9 Caputo I.; Lepretti M., Martucciello S., Esposito C. Enzymatic strategies to detoxify gluten: Implications for celiac disease. *Enzyme Res*. 2010. vol. 10. pp. 9. doi:10.4061/2010/174354
- 10 Di Cagno R., De Angelis M., Lavermicocca P. et al. Proteolysis by sourdough lactic acid bacteria: effects on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance. *Applied and Environmental Microbiology*. 2002. vol. 68. no.2. pp. 623–633.
- 11 Marti T., Molberg Ø., Li Q., Gray G.M. et al. Prolyl endopeptidase-mediated destruction of T cell epitopes in whole gluten: chemical and immunological characterization. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 2005. vol. 312. no.1. pp. 19–26. doi:10.1124/jpet.104.073312
- 12 Cui C., Zhao H., Zhao M., Chai H. Effects of extrusion treatment on enzymatic hydrolysis properties of wheat gluten. *Journal of Food Process Engineering*. 2011. vol. 34. pp.187–203.
- 13 Fischer T. Effect of extrusion cooking on protein modification in wheat flour. *Eur Food Res Technol*. 2004. vol. 218. no. 2. pp. 128–132. doi:10.1007/s00217-003-0810-4
- 14 Rimareva L.V., Fursova N.A., Sokolova E.N., Volkova G.S. et al. Biodegradation Of Proteins Of Grain Raw Materials For The Production Of New Bakery Products. *Nutrition issues*. 2018. vol. 87. no.6. pp. 67-75. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10068 (in Russian).
- 15 Sharikov A.Yu., Stepanov V.I., Ivanov V.V., Polivanovskaya D.V. et al. Extrusion cooking of wet mixtures of wheat flour with carrot bagasse in technology of ready-to-eat products. *Proceedings of VSUET*. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 43–49. doi:10.20914/2310-1202-2018-3-43-49 (in Russian).

Сведения об авторах

Антон Ю. Шариков к.т.н., зав. отделом, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, ВНИИПБТ – филиал «ФИЦ питания и биотехнологии», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, anton.sharikov@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

Елена Н. Соколова к.б.н., старший научный сотрудник, отдел биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и биологически активных добавок, ВНИИПБТ – филиал «ФИЦ питания и биотехнологии», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, elenaniksokolova@inbox.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

Information about authors

Anton Yu. Sharikov Cand. Sci. (Engin.), head of department, department of food production equipment and membrane technologies, Russian Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, 111033, Russian Federation, anton.sharikov@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

Elena N. Sokolova Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, department of biotechnology of enzymes, yeast, organic acids and dietary supplements, Russian Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, 111033, Russian Federation, elenaniksokolova@inbox.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

Мария В. Амелякина к.т.н., науч. сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, ВНИИПБТ – филиал «ФИЦ питания и биотехнологии», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, masha.am@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

Татьяна В. Юраскина мл. научн. сотрудник, отдел биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и биологически активных добавок, ВНИИПБТ – филиал «ФИЦ питания и биотехнологии», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, tata-santeltor@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6877-9933>

Виктор В. Иванов к.т.н., вед. науч. сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, ВНИИПБТ – филиал «ФИЦ питания и биотехнологии», ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, ivanov.v.v@li.ru

Елена М. Серба д.б.н., доцент, чл.-корр. РАН, зам. директора по научной работе, ВНИИПБТ – филиал «ФИЦ питания и биотехнологии», Самокатная ул., 4Б, г. Москва, 111033, Россия, serbae@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>

Maria V. Amelyakina Cand. Sci. (Engin.), researcher, department of food production equipment and membrane technologies, Russian Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, 111033, Russian Federation, masha.am@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

Tatyana V. Yuraskina junior researcher, department of biotechnology of enzymes, yeast, organic acids and dietary supplements, Russian Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, 111033, Russian Federation, tata-santeltor@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6877-9933>

Victor V. Ivanov Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, department of food production equipment and membrane technologies, Russian Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, 111033, Russian Federation, ivanov.v.v@li.ru

Elena M. Serba Dr. Sci. (Biol.), associate professor, deputy director of research, Russian Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya Str., 4B, Moscow, 111033, Russian Federation, serbae@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/10/2020	После редакции 06/11/2020	Принята в печать 20/11/2020
Received 29/10/2020	Accepted in revised 06/11/2020	Accepted 20/11/2020