ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-301-311
УДК 664.38

Оригинальная статья
http://fptt.ru/

Зерновые композиты с комплементарным аминокислотным составом для пищевых и кормовых целей

В. В. Колпакова[1,*], Р. В. Уланова[2], Д. С. Куликов[1], В. А. Гулакова[1], А. Т. Кадиева[3]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 410051, Россия, Московская обл., Люберцы, дп. Красково, ул. Некрасова, 11

[2] Институт микробиологии им. С. Н. Виноградского – ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, 119071, Россия, г. Москва, Ленинский пр., 33

[3] АО «Новозаймс А/С», 119330, Россия, г. Москва, Ломоносовский пр., 38

Дата поступления в редакцию: 17.04.2019
Дата принятия в печать: 21.06.2019

**e-mail: vniik@arrisp.ru*

© В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, Д. С. Куликов, В. А. Гулакова, А. Т. Кадиева, 2019

Аннотация. Целью данной работы явилась разработка процессов биотрансформации сыворотки, полученной из тритикалевого экстракта и гороховой муки после выделения из них белковых концентратов повышенной биологической ценности, и получение микробно-растительных концентратов кормового назначения с использованием композиции дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 121 и дрожжеподобного гриба *Geotrichum candidum* 977. Двухкомпонентные композиты пищевого назначения содержали массовую долю белка 75–80 % на сухое вещество, скор первой и второй лимитирующих аминокислот (лизина и треонина) равен 103–113 %, а третьих (серосодержащих) – 71–72 %. По химическому составу композиты соответствовали группе «Концентраты» со значениями функционально-технологических свойств, характерными для концентратов из других видов зерновых культур. Выявлены культуры микроорганизмов, способные активно развиваться на сыворотке – вторичном продукте переработки экстракта после выделения белков. Составлена симбиотическая закваска из гриба *Geotrichum candidum* 977 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 121, обеспечивающая рост биомассы на углевод- и азотсодержащей среде. Под действием амилазы, глюкоамилазы, целлюлазы и ксиланазы при выделении белков в растворе в 2–4 раза уменьшалось количество высокомолекулярных соединений (декстринов), триоз (раффинозы), освободившихся от взаимодействия с белком и некрахмальными полисахаридами, и в 2–10 раз увеличилось количество глюкозы, дисахаридов, ксилозы, галактозы по сравнению с исходными экстрактами. Сыворотка, остающаяся после удаления основной массы белка, обогащалась низкомолекулярными моно- и олигосахаридами, что положительно отражалось на росте микроорганизмов. Микробно-растительные концентраты с массовой долей белка 55,8–75,1 % на сухое вещество предназначаются для применения в кормопроизводстве в качестве белково-углеводной добавки, а белковые композиты из белка тритикале и гороха с комплементарным аминокислотным составом – для улучшения биологической ценности и показателей технологического качества пищевых изделий.

Ключевые слова. Тритикалевый экстракт, гороховая мука, биотрансформация, белковый концентрат, микробно-растительный концентрат, биологическая ценность

Для цитирования: Зерновые композиты с комплементарным аминокислотным составом для пищевых и кормовых целей / В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, Д. С. Куликов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 301–311. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-301-311.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Grain Composites with a Complementary Amino Acid Composition in Food and Fodder

V.V. Kolpakova[1,*], R.V. Ulanova[2], D.S. Kulikov[1], V.A. Gulakova[1], A.T. Kadieva[3]

[1]All-Russian Scientific Research Institute of Starch Products – a branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 11, Nekrasova Str., Moscow region, Kraskovo, 140051, Russia

[2] S.N. Winogradsky Institute of Microbiology of the Federal Research Center Fundamental Foundations of Biotechnology of RAS,

33, Leninskiy Ave., Moscow, 119071, Russia

[3] Novozymes A/S,
38, Lomonosovsky Ave., Moscow, 119330, Russia

*e-mail: vniik@arrisp.ru

Received: April 17, 2019
Accepted: June 21, 2019

© V.V. Kolpakova, R.V. Ulanova, D.S. Kulikov, V.A. Gulakova, A.T. Kadieva, 2019

Abstract. The present paper features processes of serum biotransformation. The serum was obtained from triticale extract and pea flour after protein concentrates of increased biological value had been extracted. The research objective was to obtain microbial and vegetable feed concentrates by using a composition of Saccharomyces cerevisiae121 yeast and the yeast-like fungus *Geotrichumcandidum* 977. The mass fraction of protein in the two-component composites was 75–80% of the dry matter. The score of the first and the second limiting amino acids (lysine and threonine) equaled 103–113%, and that of the third acid (sulfur-containing) was 71–72%. The chemical composition of the composites corresponded to the 'Concentrates' group; the values of their functional and technological properties were typical of concentrates from other types of grain crops. The study revealed some cultures that are able to actively develop in serum, which is a secondary product of processing the extract after protein isolation. A symbiotic ferment was prepared from the fungus *Geotrichumcandidum* 977 and the yeast *Saccharomyces cerevisiae* 121, which ensures the growth of biomass in a carbohydrate- and nitrogen-containing medium. Proteins were isolated under the action of amylase, glucoamylase, cellulose, and xylanase. The amount of high-molecular compounds (dextrins) and trioses (raffinose) released from the interaction with protein and non-starch polysaccharides decreased 2–4 times in the solution. The amount of glucose, disaccharides, xylose, and galactose increased 2–10 times, compared with the original extracts. The serum remaining after the removal of the main mass of the protein was enriched with low molecular weight mono- and oligosaccharides, which positively affected the growth of microorganisms. The mass fraction of proteins in the microbial-vegetable composite obtained from the extract with the triticale proteins and pea flour ratio of 1:5 was 15% higher than at the ratio of 1:3. Microbial and vegetable concentrates with a mass fraction of protein of 55.8–75.1% of dry matter can be used in fodder production as a protein-carbohydrate additive. Protein composites made of protein triticale and peas with a complementary amino acid composition can improve the biological value and performance of food products.

Keywords. Triticale extract, pea flour, biotransformation, protein concentrate, microbial and vegetable concentrate, biological value

For citation: Kolpakova VV, Ulanova RV, Kulikov DS, Gulakova VA, Kadieva AT. Grain Composites with a Complementary Amino Acid Composition in Food and Fodder. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(2):301–311. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-301-311.

Введение

Белки являются наиболее важными компонентами в питании человека, так как они расходуются на строительные, каталитические, регуляторные и транспортные функции основных частей тела, органов и тканей организма [1]. Увеличение численности населения планеты позволяет экспертам прогнозировать прогрессирующий дефицит белковой пищи как для пищевых, так и для кормовых целей. Микробиологические процессы пока не обеспечили значительных успехов в получении альтернативных источников пищевых белков. Это повышает роль природных полипептидов и усиливает значимость наукоемких процессов их производства в виде новых форм. Прогрессирующий мировой опыт развития белковой инженерии, знания в области фундаментальных исследований свойств и структуры, с одной стороны, и возрастающая потребность в белках для обеспечения активного образа жизни, уменьшения заболеваний, питания спортсменов, школьников, создания различных видов диет, с другой, создают предпосылки для создания новых технологий пищевых и кормовых белков [2]. В рационах различных животных кормовой белок также обеспечивает сбалансированное питание с достижением количественных и качественных характеристик молока, мяса, рыбы, птицы и с одновременным снижением затрат и повышением рентабельности производства [3].

Белки животного происхождения являются наиболее дорогостоящими ингредиентами. Но мировое производство злаковых культур уже в ближайшие десятилетия может удовлетворить потребность человека в его питании [4]. Однако часто аминокислотный состав растительных белков не сбалансирован и требует корректировки. Предпочтение отдается соевым белкам при одновременном расширении работ по глубокой переработке других видов растительного сырья (зернобобовые, масличные культуры, отходы переработки фруктов, ягод и т. д.) с выделением более полноценных белков [4, 5]. При этом факторами для выбора сырья являются количество, биологическая ценность, функциональные свойства и безопасность белков. Наряду с производством соевой муки и небольших объемов сухой пшеничной клейковины, современные направления развития перерабатывающей промышленности включают разработку технологий белковых продуктов из альтернативных видов сельскохозяйственного сырья (гороха, нута, амаранта и т.д.) и вторичных продуктов их переработки с применением физических, физико-химических, биохимических и других способов обработки сырья. При этом к перспективным методам получения белковых продуктов следует отнести биотехнологические способы получения белковых композитов (БК) с комплементарным аминокислотным составом (АКС) для повышения биологической ценности, улучшения показателей качества и создания специализированных пищевых продуктов с определенными медико-биологическими свойствами в целях профилактики заболеваний и поддержки здорового образа жизни.

Для крахмалопаточного производства характерно высвобождение значительного количества вторичных продуктов переработки зерновых культур, к которым относятся экстракционные (замочные) воды богатые углеводами, азотистыми и минеральными соединениями [6]. Создание и внедрение безотходного замкнутого цикла производства необходимо, с одной стороны, для извлечения ценных компонентов сырья, превращения их в полезные концентрированные продукты. А с другой стороны, для уменьшения ущерба окружающей среде от жидких выбросов производства. К приемам утилизации экстрактов зерновых культур относится биологическая переработка сырья, способствующая переходу углеводных и других видов компонентов в микробную биомассу, обогащенную белками и другими ценными веществами [7, 8]. Благодаря высокой физиологической активности в процессе биологической рециклизации отходов производств агропромышленного комплекса активно используются дрожжи и микромицеты с получением белковых концентратов пищевого или, чаще, кормового назначения [9–12]. При переработке отходов, содержащих целлюлозу, лигнин и хитин, используют грибы *T. harzianum*, *T. koningii*, *T. reesei*, *T. Longibrachiatum* и т. д. Так, на основе лузги подсолнечника с помощью гриба *T. harzianum* получена кормовая добавка с высоким содержанием каротина (90 мг/кг), витамина С (1,5 мг%) и оптимальным соотношением уксусной, масляной и молочной кислот [13]. Ранее нами был разработан процесс биоконверсии трех вторичных продуктов переработки зерна тритикале на крахмал (экстракт, мезга, сывороточные воды) с дрожжами *Saccharomyces cerevisiae*, одного тритикалевого экстракта с грибом *Pleurotus ostreatus* 23 и сыворотки, остающейся от выделения белкового концентрата, с грибом *Trichosporon pullulans*Y-955 [14, 15]. Микробно-растительные концентраты (МРК) предназначаются для кормовых целей. Максимальное образование биомассы наблюдалось при pH 7,5–8,5. Количество белка в составе препаратов составляло 34–47 % на сухое вещество.

Целью данной работы явилась разработка процессов биотрансформации сыворотки, полученной из тритикалевого экстракта совместно с гороховой мукой после выделения из них белковых концентратов повышенной биологической ценности, и получение микробно-растительных концентратов кормового назначения при использовании композиции дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 121 и дрожжеподобного гриба *Geotrichum candidum* 977.

Объекты и методы исследования

Тритикалевый экстракт (ТЭ) получали в экспериментальном цехе ВНИИ крахмалопродуктов после замачивания и дробления зерна сортов «Легион», «Бард», «Консул», полученных от Донского зонального НИИ сельского хозяйства, и несортового зерна, поставленного Мглинским крахмальным заводом Брянской области. Усредненный химический состав зерна (% на сухие вещества (СВ)) включал: крахмал – 63,8; белок (N×5,7) – 10,1; жир – 1,5; золу – 1,72; редуцирующие сахара – 10,0. Дробленое зерно замачивали в 0,15 ± 0,05 % растворе диоксида серы в течение 22–45 ч при температуре 49 ± 1 °С и соотношении замочного раствора к массе зерна 2,0–2,5:1. Экстракт, отделенный от замоченного зерна центрифугированием при 4000 мин$^{-1}$, имел химический состав (в % на СВ): массовая доля СВ – 11,00 ± 1,05 %, белка – 20,40 ± 2,10 % (N×5,7), сахаров – 10,0 ± 0,6 %, золы – 8,0 ± 0,9 %, крахмала Б – 35,5 ± 1,0 % на СВ, pH – 5,10 ± 0,1. Для получения белковых концентратов, наряду с ТЭ, использовали товарную гороховую муку, химический состав которой (в % на СВ) включал: влагу – 8,9 ± 0,2; белок – 22,9 ± 0,6 (N×6,25); золу – 3,10 ± 0,20; жир – 1,70 ± 0,25; крахмал – 52,7 ± 0,61; другие углеводы – 19,60 ± 1,01.

Для выделения белковых концентратов из композиции ТЭ с гороховой мукой использовали ферментные препараты (ФП) компании фирмы Novozymes A/S (Дания): Shearzym 500 L из штамма *Aspergillus oryzae* с грибной ксиланазной активностью 500 ГКА/г и оптимальными условиями действия 65–75 °С, pH 4,5–5,5. В качестве источника целлюлазной, α-амилазной и β-глюканазной активности использовали Viscoferm L, продуцируемый штаммами *Trichoderma* и *Aspergillus* с цитолитической активностью 600 ед/г сырья, оптимумом действия при 50–60 °С и pH 4,8–5,8. В качестве источника α-амилазы использовали Fungamyl 800 L, полученный из плесени *Aspergillus oryzae* (50–60 °С, pH 5,0–6,5), амилоглюкозидазы – AMG 300 L 2500, выделенный из гриба *Aspergillus niger*. Оптимум действия последнего лежал в области 55–60 °С, pH 4,5–5,5. В качестве источника протеаз использовали ФП Distizym Protacid от фирмы «Erbslon». Значения активности ФП использованы от производителей.

Материалом для биотрансформации служили сывороточные воды, образующиеся после выделения основной массы концентрированных белков из смеси ТЭ и гороховой муки последовательным экстрагированием их с ФП и осаждением в изоэлектрической точке [6, 14]. Сыворотка содержала 7,80 ± 0,30 % СВ, 15,60 ± 0,65 % белков и 26,77 ± 0,85 % азотистых веществ (N×6,25), 8,76 ± 0,62 золы и углеводов – 56,26 ± 0,57 % на СВ. В работе использовали культуры дрожжеподобного гриба *Geotrichum candidum* 977 и дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* 121 из коллекции лаборатории выживаемости микроорганизмов Института микробиологии им. С. Н. Виноградского РАН, которые хранили в холодильнике в пробирках с сусло-агаром (СА) при температуре 3–4 °С. Филогенетическое положение штамма *Geotrichum candidum* 977 проводили совместно с ФГБУ «ГосНИИгенетика». Идентификацию осуществляли на основе анализа последовательности рибосомальных генов по стадиям:

1. Рассев культуры и получение биомассы для анализа 18S рРНК;
2. Выделение ДНК (Genomic DNA Purification Kit);
3. Идентификация штамма по последовательности 18S рДНК.

Музейные культуры с СА пересевали в пробирку с сывороткой с последую-

Таблица 1. Аминокислотный скор белков зернового сырья и их композитов

Table 1. Amino acid score of protein of grain raw materials and their composites

Исходный материал	Аминокислоты, скор %		
	Лизин	Треонин	Метионин + Цистин
Тритикалевый экстракт	58 ± 2	76 ± 2	85 ± 1
Гороховая мука	137 ± 1	102 ± 0	54 ± 2
Композит соотношение белков ТЭ: гороховой муки			
1:1	100 ± 0	89 ± 2	70 ± 1
1:3	117 ± 0	99 ± 1	62 ± 2
1:5	122 ± 0	98 ± 2	61 ± 1

щим культивированием ее в течение 24 часа. Затем посевную культуру пересевали в колбы емкостью 300 см^3 с 50 см^3 питательной среды и в динамике выращивали на встряхивателе при скорости вращения 150 мин$^{-1}$, температуре 27 ± 1 °С и pH 6,0. Биомассу от культуральной жидкости отделяли центрифугированием при 3000 мин$^{-1}$ в течение 10 мин, после чего ее высушивали, так же как и суспензию без отделения биомассы.

Массовую долю белка в продуктах определяли по методу Кьельдаля на приборе фирмы Buchi (N×6,25) (ГОСТ 10846-91), массовую долю влаги – по ГОСТ 13586.5-93, клетчатки – по ГОСТ 13496.2-91, золы – по ГОСТ 27494-87, жира – по ГОСТ 29033-91, массовую долю СВ – по ГОСТ 12570-98, углеводов в концентратах – по разнице между 100 % и суммой остальных компонентов. Углеводный состав сыворотки и грибных препаратов исследовали на газовом хроматографе марки Shimadzu GC MS 2010 с детектором (GCMS-QP 2010). Идентификацию пиков проводили по библиотеке масс-спектров NIST 11 и по стандартным метчикам: арабинозе, глюкозе, ксилозе, инозите раффинозе, мальтозе и другим химически чистым углеводам. Аминокислотный состав определяли по методике, изложенной в работе [14]. Морфологические особенности и физиологическое состояние мицелия гриба и дрожжей анализировали с помощью микроскопа марки Axioskop 40 FL Zeiss при увеличении ×100 цифровой камерой AxioCamM4Rc. Функциональные свойства белковых композитов определяли по методикам, изложенным в работе [16].

Для определения доверительного интервала среднего арифметического результата 3–5 измерений использовали критерий Стьюдента на уровне значимости p = 0,05.

Результаты и их обсуждение

Известно, что белки большинства злаковых культур содержат недостаточное количество лизина и треонина, в то время как в состав зернобобовых эти аминокислоты входят в количестве, соответствующем эталонному белку ФАО/ВОЗ [17]. С другой стороны, белки злаков способны дополнять аминокислотный состав белков (горох, чечевица, соя и т. д.) незаменимым метионином. С целью получения белковых композитов с улучшенным (комплементарным) АКС предварительно расчетным путем определены количественные соотношения белков для исследуемых продуктов по разработанной нами компьютерной программе на основе метода подсчета Монте-Карло. Для этого использовали литературные данные АКС зерновых культур, массовую долю белка в 100 г продукта и шкалу «эталонного» белка [17–20]. По данной программе рассчитали значения скора и определили соотношения белков для составления композиций из белков ТЭ и гороховой муки, чтобы сбалансировать аминокислотный профиль концентратов по первым (лизину), вторым (треонину) и третьим (серосодержащим) лимитирующим аминокислотам (табл. 1). Видно, что белки ТЭ бедны лизином, треонином, тогда как в белкигороховой муки дефицитны по серосодержащим аминокислотам.

У двухкомпонентных композитов, взятых в количествах, соответствующих соотношению белка ТЭ и гороховой муки, 1:1, наблюдался дефицит треонина (10 %) и серосодержащих аминокислот (30 %), тогда как при соотношении 1:3 и 1:5 по содержанию лизина и треонина обе композиции были сбалансированы, но скор для суммы метионина и цистина не превышал 60 %

С целью использования данных видов сырья для получения композитов с комплементарным АМС первоначально исследовали количественный переход белков гороховой муки в раствор, использовав разработанную ранее схему для ТЭ и экстрактов из других зерновых культур [14, 15]. При этом изучили влияние размера частиц муки на переход белка в раствор с применением ФП цитолитического, ксиланазного, амилолитического и протеолитического действия. Использование ФП гидролитического действия обуславливалось задачей: как можно меньше воздействовать на белки щелочью в целях исключения их денатурации и распада аминокислот в процессе их выделения. Поэтому к гороховой муке добавляли водопроводную воду, содержащую целлюлолитические и амилолитический ФП при концентрации 50 ед./г и 2 ед./г СВ соответственно при гидромодуле 1:19 по СВ. Суспензию встряхивали 3 ч при 50 °С и pH 5,0. После чего pH доводили до 4,3, вносили растворы ксиланазы и глюкоамилазы из расчета активности 50 ед./г и 2 ед./г СВ соответственно. Суспензию вновь встряхивали 3 ч при 55 °С, затем ее центрифугировали, белковый раствор сливали, а к остатку добавляли протеолитический ФП из расчета 0,4 ед./г СВ при гидромодуле 1:12, pH 3,0 и температуре 50 °С. Обработку суспензии осуществляли 1 час при тех же условиях. Затем ее центрифугировали. После все белковые растворы объединяли, концентрировали до содержания СВ 16 % при 50 °С и добавляли раствор трансглютаминазы с концентрацией 7 ед./г СВ для агрегации белков [21]. Суспензию выдерживали 30 минут при 50 °С. Затем pH раствора доводили до 3,0–3,5 и центрифугировали его 15 минут

Таблица 2. Влияние размера частиц гороховой муки на выход белков, % от общего в навеске

Table 2. Effect of particle size of pea flour on the yield of proteins, % of the total in the sample

Стадии экстракции белков и реагенты	СВ, %	Размер частиц, мкм	
		237,7	110,4
1 + 2 стадия (целлюлаза, α-амилаза, ксиланаза, глюкоамилаза)	0,75 ± 0,02	21,46 ± 1,02	32,9 ± 0,05
3 стадия (протеаза)	0,70 ± 0,05	36,2 ± 0,78	16,5 ± 0,16
4 стадия (0,05н NaOH)	1,20 ± 0,04	11,46 ± 1,04	43,75 ± 3,02
Итого:	–	68,12 ± 1,02	93,15 ± 1,01
Осадок	19,7 ± 0,08	30,10 ± 1,07	8,12 ± 1,08
Итого:	–	98,22 ± 1,10	101,27 ± 2,02

при 5000 мин$^{-1}$. Осадок белков нейтрализовали 5 % раствором NaOH до pH 6,5 ± 0,1, промывали водой и сушили лиофильным способом.

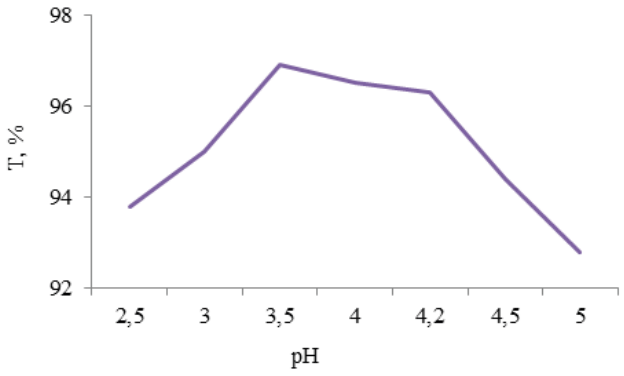
Выход белков из гороховой муки с размером частиц 110,4 мкм на 37 % был выше, по сравнению с выходом при размере 237,7 мкм, и составлял 93,15 ± 3,01 % против 68,12 ± 1,0 %. Гороховая мука с размерами частиц 237,7 мкм и в композиции с ТЭ также обеспечивала относительно низкую растворимость белков (63,51 ± 1,6 %) (табл. 2). Установлено, что без раствора щелочи в растворенное состояние с ФП переведено белков муки около 50 % от исходного их в сырье, а с ее использованием – свыше 90 %.

Процесс получения белкового концентрата из ТЭ в комбинации с гороховой мукой, имеющей размер частиц 110,4 мкм, при соотношении белков 1:3 и 1:5 с комплементарным АКС проводили по описанному выше способу. Предварительно для смеси белков тритикале и гороха определили изоэлектрическую точку (pH_I). Значение pH, соответствующее изоэлектрическому состоянию, оценивали по массе выпавшего осадка белка при различном значении pH и по коэффициенту светопропускания сыворотки при D_{650} нм, остающейся после осаждения белков. Из рисунка 1 видно, что значение pH_I смешанных белков находилось в диапазоне 3,5–4,2, а коэффициент пропускания самый большой отмечен для диапазона pH 3,5–4,5, что включало в себя отдельные значения pH_I для белков тритикале (3,5–4,5) и белков гороха (4,2–4,5).

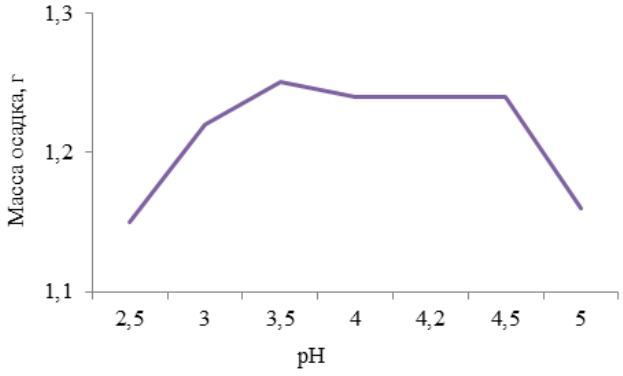
Из данных растворимости белков видно, что при использовании композиций ТЭ с гороховой мукой при соотношении белков 1:3 и 1:5 выход белков в растворе уменьшался, но незначительно, по сравнению с одной гороховой мукой, на 3 ± 6 %. Это можно было объяснить более высокой молекулярной массой и особенностями фракционного состава белков тритикале, затрудняющих переход полимеров в раствор по сравнению с белками гороха (табл. 2). Видно, что после осаждения белков в изоэлектрической точке, в сывороточных водах оставалось свыше 33 % растворимых азотистых веществ, которые, наряду с углеводами, важны для обеспечения роста микробной композиции из дрожжей и гриба при получении кормовой биомассы.

Показатели химического состава и функциональные свойства лиофильно высушенных двухкомпонентных композитов свидетельствовали о том, что белковые продукты имели высокую массовую долю белка (75–80 % на СВ) и в целом по показателям соответствовали группе «Концентраты» (табл. 3). Анализ АКС белков, при различном их соотношении в композитах, показал, что скор лизина в них повышен в 1,8–1,9 раза, треонина – в 1,3 раза, по сравнению с белками ТЭ, а скор серосодержащих аминокислот – на 33 % по сравнению с белками гороховой муки. Функциональные свойства как и химические показатели БК сходны с показателями образцов сухой пшеничной клейковины [22]. Значительных отличий в исследуемых показателях, в зависимости от соотношения в их составе белков различной природы (1:3 и 1:5), не обнаружено.

Выполнены исследования по микробной модификации углеводов и азотистых соединений сыворотки,



(а)



(б)

Рисунок 1. Зависимость коэффициента пропускания T % (а) и массы осадка (б) от значений pH раствора

Figure 1. Dependence of the transmittance T% (a) and the mass of sediment (b) on the pH values of the solution

Таблица 2. Растворимость белков муки гороха и смеси с ТЭ, % от общего в N×6,25

Table 2. Solubility of proteins of pea flour and mixtures with triticale extract, % of the total in N×6.25

Стадии выделения белков и продукты	Горох	Тритикале: горох (1:3)	Тритикале: горох (1:5)
1 + 2	21,46 ± 0,2	25,99 ± 0,2	27,72 ± 0,3
3	36,20 ± 0,4	29,64 ± 0,2	29,30 ± 0,4
4	11,46 ± 0,9	7,88 ± 0,3	9,02 ± 0,5
Итого:	69,12 ± 1,1	63,51 ± 0,85	66,04 ± 0,9
Остаток	30,88 ± 0,6	36,49 ± 0,5	33,96 ± 0,8
Сыворотка	37,85 ± 1,2	33,77 ± 1,1	33,32 ± 1,0
Осадок белка	31,27 ± 0,9	29,74 ± 0,8	32,30 ± 0,7

образующейся после извлечения белков из ТЭ и гороховой муки, с получением МРК. Углеводный состав экстрактов, выделенных на первых двух первых стадиях ферментативной обработкой зерновой композиции для удаления из них белков, представлен на рисунке 2. Видно, что на 1 стадии под действием амилазы и комплекса цитолитических ферментов резко возрастало количество высокомолекулярных соединений, представленных декстринами с различной молекулярной массой, и триоз, содержащих раффинозу, освободившихся от взаимодействия с белком и некрахмальными полисахаридами. Соответственно уменьшилось количество дисахаридов и глюкозы.

На второй стадии при действии ксиланазы, глюкоамилазы и, вероятно, продолжающемся действии амилазы от 1 стадии, почти в 4 раза уменьшилось количество декстринов и почти в 2 раза – триоз, но в 2 раза увеличилось количество глюкозы, в 10 раз – количество дисахаридов и почти в 5 раз – ксилозы, галактозы.

Следовательно, питательная среда, представляющая собой ферментированный гидролизат, содержащие простые углеводы, была благоприятна для роста симбиотических микроорганизмов и наращивания биомассы, обогащенной белком. Следовательно, сыворотка, образующаяся после извлечения белка из композиции продуктов переработки зерновых культур, имея качественный углеводный состав, могла быть использована в качестве питательного субстрата для выращивания использованных микроорганизмов.

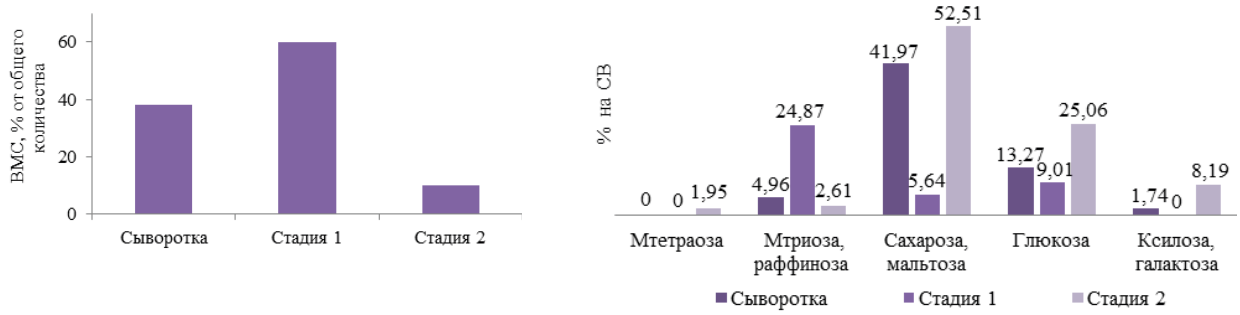
Для микробиологической переработки зерновой сыворотки были выбраны дрожжи и дрожжеподобный гриб, отличающиеся высокой скоростью роста и устойчивостью к посторонней микрофлоре. Это позволило провести культивирование в асептических условиях в ценную биомассу по составу аминокислот и липидов. Отбор микроорганизмов, способных активно перерабатывать сыворотку от композитов, провели среди дрожжей родов *Rhodotorula*, *Schwanniomyces*, *Pichia*, *Candida*, *Saccharomyces*, *Geotrichum* из коллекции ФГУП ГосНИИ Генетика и лаборатории выживаемости микроорганизмов ИНМИ РАН. Среди испытанных культур сыворотку в качестве питательного субстрата усваивали 5 дрожжевых культур: *Sacch. cerevisiae*, *Sacch. vini*, *Sacch. uvarum*, *Pichia kudriavzevii* 4295, дрожжеподобный гриб *Geotrichum candidum.* Все культуры применялись в пищевой промышленности. Среди отобранных культур наиболее продуктивными явились культуры следующих штаммов: *G. candidum* 977, *Sacch. cerevisiae* 121, и *P. kudriavzevii* 4295. Гриб *G. candidum* 977 выделен в ходе технологического процесса производства крахмала А на стадии замочки зерна тритикале, идентифицирован и депонирован в ФГУП ГосНИИ Генетика. Получение МРК включало следующие стадии: сыворотку перед биотрансформацией в течение 15–20 мин прогревали при температуре 90–95 °С, охлаждали до температуры 28–30 °С и вносили 3 % закваски, состоящей из консорциума гриба *Geotrichum candidum* 977 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 121, взятых в соотношении 1:1. Культуры усваивали новый питательный субстрат в течение 5 суток (рис. 3). Урожайность консорциума достигала максимума к 3–4 суткам выращивания. При этом на сыворотке, образующейся после удаления белков

Таблица 3. Химический состав и функциональные свойства композитов

Table 3. Chemical composition and functional properties of the composites

Соотношение белка ТЭ и гороховой муки	Влажность, %	Массовая доля, % на СВ			
		Белок (N×6.25)	Жир	Зола	Углеводы
1:3	2,90 ± 0,04	80,40 ± 1,03	1,97 ± 0,04	3,53 ± 0,06	14,10 ± 1,0
1:5	4,80 ± 0,03	75,44 ± 0,09	4,94 ± 0,20	2,93 ± 0,3	16,73 ± 0,7
	Функциональные свойства				
	Растворимость, %		ВСС, %	ЖСС, %	ЖЭС, %
1:3	0,39 ± 0,05		230 ± 2	131 ± 0,5	45,0 ± 1,0
1:5	0,13 ± 0,03		263 ± 1	131 ± 0,0	45,0 ± 0,0
	Аминокислотный скор, %				
	Лизин	Треонин		Метионин + Цистин	
ТЭ	58 ± 2	76 ± 2		85 ± 1	
Гороховая мука	137 ± 1	102 ± 0		54 ± 2	
1:3	108 ± 1	103 ± 1		71 ± 1	
1:5	113 ± 2	105 ± 1		72 ± 2	

ВСС – водосвязывающая способность, ЖСС – жиросвязывающая способность, ЖЭС – жироэмульгирующая способность;
WBC – water binding capacity, FBC – fat binding capacity, FEA – fat emulsifying ability.



(а) (б)

Рисунок 2. Углеводный состав экстрактов, % от общего количества: а – высокомолекулярные соединения (ВМС); б – низкомолекулярные углеводы

Figure 2. Carbohydrate composition of extracts, % of the total amount: a – high molecular weight compounds; b – low molecular weight carbohydrates

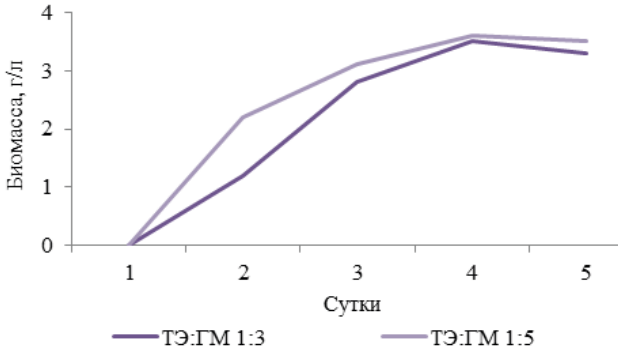


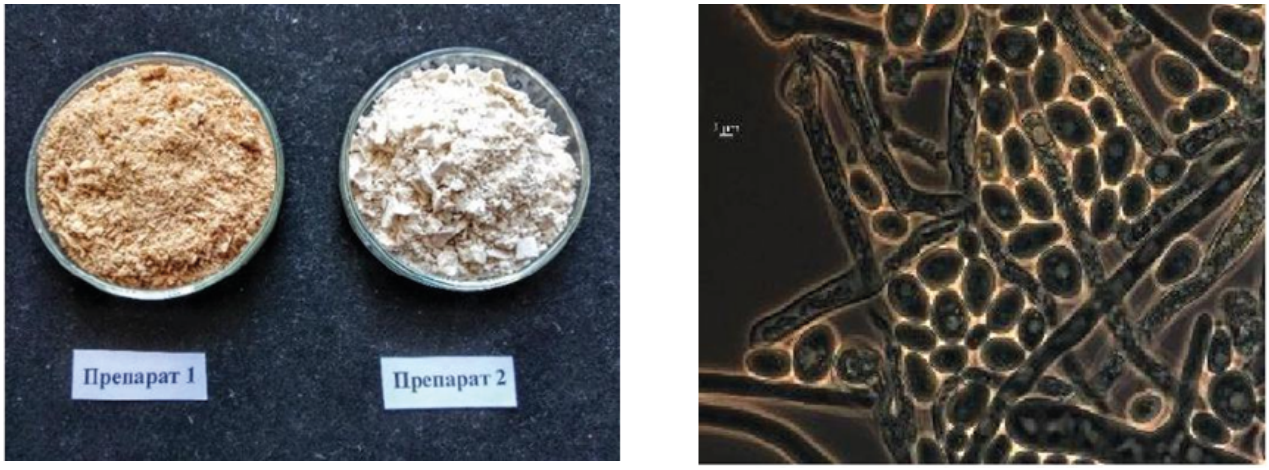
Рисунок 3. Накопление биомассы на сыворотке при различном соотношении белка ТЭ и гороховой муки (ГМ)

Figure 3. Accumulation of biomass in the serum at different ratios of protein obtained from triticale extract and pea flour

при соотношении их в смеси ТЭ с гороховой муки 1:5, в первые 3 суток биомасса росла несколько более активно, чем при соотношении белков 1:3, но после 3 суток показатели роста практически сравнивались.

По окончании роста биомассы микроорганизмы инактивировали обработкой при температуре 93 ± 2 °С в течение 10–15 мин и высушивали. Внешний вид симбиотической культуры гриба *Geotrichum candidum* 977 с *Saccharomyces cerevisiae* 121, МРК (биомассы с культуральной жидкостью) и биомассы, выросшей на сыворотке и полученной после удаления белков из экстракта тритикале и гороховой муки, приведен на рисунке 4. Продукты имели вид рассыпчатого порошка белого и кремового цвета, без посторонних запахов и вкуса.

В составе биомассы, полученной на сыворотке при соотношении белков ТЭ и гороховой муки 1:3, больше содержалось золы, жира и углеводов, чем в биомассе, полученной на сыворотке при соотношении 1:5, но меньше белка (табл. 4). Более высокое содержание белка в биомассе и МРК отмечалось при ферментации микроорганизмов на сыворотке,



(а) (б)

Рисунок 4. Внешний вид симбиотической культуры гриба с дрожжами *Geotrichum candidum* 977 + *Saccharomyces cerevisiae* 121 (а), МРК (препарат 1) и биомассы (препарат 2) (б)

Figure 4. Symbiotic fungus culture with *Geotrichum candidum* 977 + *Saccharomyces cerevisiae* 121 (a), microbial-vegetable concentrates (preparation 1) and biomass (preparation 2) (b)

Таблица 4. Химический состав продуктов биоконверсии зерновой сыворотки

Table 4. Chemical composition of the products of bioconversion grain serum

Образец	СВ, %		Массовая доля, % на СВ		
		Белок	Зола	Жир	Углеводы
		Соотношение тритикале:горох 1:3			
Сыворотка	5,60 ± 0,36	23,95 ± 0,95	8,91 ± 0,20	11,20 ± 1,05	55,94 ± 0,57
Биомасса	97,30 ± 0,04	55,80 ± 0,40	8,27 ± 0,64	13,56 ± 0,90	22,37 ± 1,20
Культуральная жидкость	3,00 ± 0,24	27,30 ± 0,40	11,52 ± 0,51	27,78 ± 1,43	33,40 ± 0,45
Культуральная жидкость с биомассой	95,26 ± 0,38	58,54 ± 1,01	2,77 ± 0,64	5,86 ± 0,84	32,83 ± 0,67
		Соотношение тритикале:горох 1:5			
Сыворотка	10,00 ± 0,23	29,60 ± 0,75	8,61 ± 1,04	5,20 ± 1,45	56,59 ± 0,57
Биомасса	97,95 ± 0,72	75,10 ± 0,05	3,35 ± 0,11	3,56 ± 0,80	18,19 ± 1,20
Культуральная жидкость	22,00 ± 1,04	13,20 ± 0,54	4,19 ± 0,06	27,78 ± 1,03	54,83 ± 0,45
Культуральная жидкость с биомассой	95,31 ± 0,57	67,71 ± 0,21	2,05 ± 0,75	4,38 ± 0,43	25,86 ± 1,34

полученной при соотношении белков тритикале:гороховая мука 1:5, в составе которой в 1,7 раза содержалось больше СВ. Массовая доля белков в биомассе при соотношении белков 1:5 была больше в 1,7 раза, а в биомассе с жидкостью – на 15 % больше, чем при соотношении белка 1:3.

Количество жира, углеводов и золы в концентрате, произведенном на сыворотке из композиции ТЭ:гороховая мука при соотношении 1:5, было в 1,27–1,35 раза меньше, чем в препарате, полученном из сыворотки при соотношении белков 1:3. Таким образом, более качественный по содержанию белка, липидов, углеводов, зольных (минеральных) элементов получен препарат, произведенный на сыворотке с соотношением белков ТЭ:гороховая мука 1:5.

Итоговая принципиальная технологическая схема процесса получения зерновых белковых и микробно-растительных композитов представлена на рисунке 5.

Выводы

Разработаны параметры и принципиальная технологическая схема биотехнологического процесса получения двухкомпонентных композитов из ТЭ и гороховой муки с комплементарным аминокислотным составом при количественном соотношении белков в сырье 1:3 и 1:5 соответственно. Скор первой и второй лимитирующих аминокислот лизина и треонина составил 103–113 %, серосодержащих – 71–72 %. Процесс выделения белков включал применение ФП гидролитического действия (целлюлазы, ксиланазы,

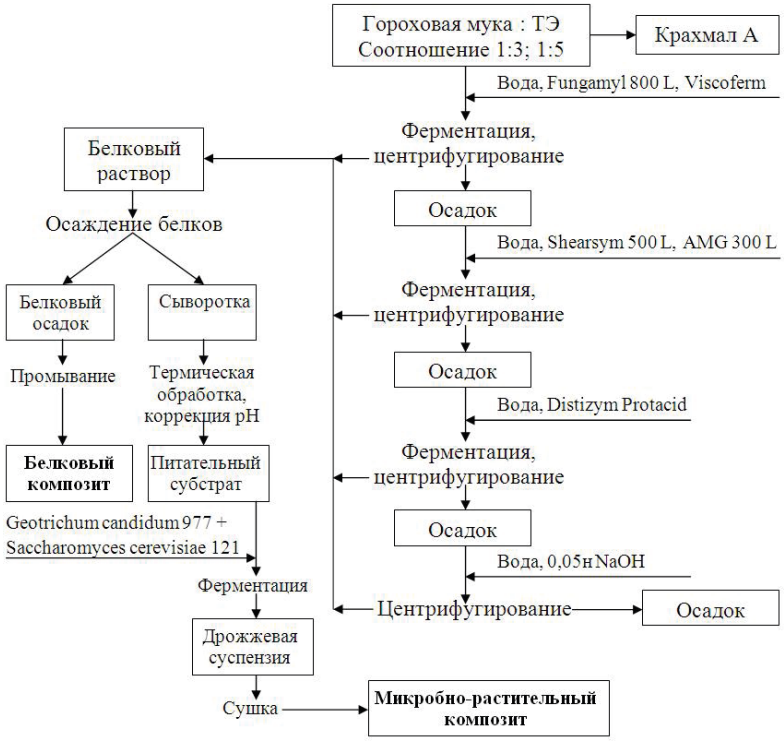


Рисунок 5. Принципиальная технологическая схема получения зерновых белковых и микробно-растительных композитов

Figure 5. Principal technological scheme of obtaining grain protein and microbial-vegetable composites

амилазы, глюкоамилазы, протеазы) для перевода белков в раствор с уменьшенным воздействием на них раствора щелочи. Выход белков в растворе составил 63,51–66,04 %, с конечным продуктом – 29,74–32,30 % от общего в сырье. По химическому составу композиты относились к группе «Концентраты» с массовой долей белка 75,44–80,40 % на СВ и значениями функционально-технологических свойств, характерными для концентратов из зерновых культур. Доказана возможность проведения биосинтетического процесса трансформации вторичного продукта переработки зерна тритикале на крахмал (экстракта) и белковые композиты совместно с гороховой мукой и получения МРК с массовой долей в % на СВ: белка 55,8–75,1, углеводов 18,9–32,83, жира 3,56–13,56, золы 2,05–8,27. Отобраны культуры микроорганизмов, способные активно развиваться на субстрате. Из них составлена симбиотическая закваска из гриба *Geotrichum candidum* 977 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 121, обеспечивающая рост биомассы на углевод- и азотсодержащей среде. Сыворотка, образующаяся после выделения концентрированных белков из композиции из ТЭ с гороховой мукой при соотношении белка 1:3 и 1:5 соответственно, являлась доброкачественной для питательных сред микробиологического синтеза. Предпочтение отдано соотношению белка в экстракте и гороховой муке 1:5. Новые МРК предназначались для применения в кормопроизводстве в качестве белково-углеводной добавки, а белковые композиты из экстракта тритикале и гороховой муки – в производстве пищевых изделий для улучшения биологической ценности и технологического качества

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансировани

Работа выполнена по Заданию № 0585-2019-0004–С-01 при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Мартинчик, А. Н. Физиология питания / А. Н. Мартинчик. – М. : Академия. – 2013. – 236 с.

2. Белковые изоляты из растительного сырья: обзор современного состояния и анализ перспектив развития технологии получения белковых изолятов из растительного сырья / Д. В. Компанцев, А. В. Попов, И. М. Привалов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 1. – С. 58.

3. Протеины: новое в технологии производства и возможности использования // Комбикорма. – 2017. – № 10. – С. 59–62.

4. Кудинов, П. И. Современное состояние и структура мировых ресурсов растительного белка / П. И. Кудинов, Т. В. Щеколдина, А. С. Слизькая // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2012. – Т. 329–330, № 5–6. – С. 7–10.

5. Доморощенкова, М. Л. Некоторые аспекты производства и формирования рынка соевых белков на современном этапе / М. Л. Доморощенкова, Л. Н. Лишаева // Пищевая промышленность. – 2010. – № 2. – С. 32–39.

6. Андреев, Н. Р. К вопросу глубокой переработки зерна тритикале / Н. Р. Андреев, В. В. Колпакова, В. Г. Гольдштейн // Пищевая промышленность. – 2018. – № 9. – С. 30–33.

7. Исследование процессов роста спиртовых и кормовых дрожжей на сернокислотных гидролизатах растительного сырья. Часть 2. Исследование процессов роста кормовых дрожжей на сернистокислотных гидролизатах смеси пшеничной соломы и отрубей / Р. Т. Валеева, С. Г. Мухачев, Э. И. Нуретдинова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 20. – С. 156–158.

8. Храпова, А. В. Скрининг новых штаммов дрожжей для получения кормового белка / А. В. Храпова, О. Б. Сопрунова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 5–3. – С. 210–214.

9. Cellulase and Biomass Production from Sorghum (*Sorghum guineense*) Waste by *Trichoderma longibrachiatum* and *Aspergillus terreus* / O. N. Olaleye, M. A. Omotayo, S. Abdus [et al.] // Journal of Microbiology Research. – 2015. – Vol. 5, № 6. – P. 169–174. DOI: https://doi.org/10.5923/j.microbiology.20150506.01.

10. Fungal Biomass Protein Production from *Trichoderma harzianum* Using Rice Polishing / A. Sibtain, M. Ghulam, A. Muhammad [et al.] // BioMed Research International. – 2017. – Vol. 2017. DOI: https://doi.org/10.1155/2017/6232793.

11. Use of Aspergillus terreus for microbial biomass production and its biological evaluation in broiler chicks / M. A. Shahzad, H. Nawaz, M. I. Rajoka [et al.] // International Conference on Food Engineering and Biotechnology IPCBEE. – Singapoore, 2011. – Vol. 9. – P. 255–260.

12. Shahzad, M. A. Single cell protein production from *Aspergillus terreusand* its evaluation in broiler chick / M. A. Shahzad, M. I. Rajoka // International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics. – 2011. – Vol. 1, № 2. – P. 137–141. DOI: https://doi.org/10.7763/IJBBB.2011.V1.25.

13. Хусид, С. Б. Подсолнечная лузга как источник получения функциональных кормовых добавок / С. Б. Хусид, А. Н. Гнеуш, Е. Е. Нестеренко // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – Т. 107, № 3. – С. 3–14.

14. Утилизация вторичных продуктов переработки тритикале с получением кормового микробно-растительного концентрата для прудовых рыб / Н. Р. Андреев, В. В. Колпакова, И. К. Кравченко [и др.] // Юг России: экология. Развитие. – 2017. – Т. 12, № 4. – С. 90–104. DOI: https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-4-90-104.

15. Биоконверсия вторичных продуктов переработки зерна тритикале на крахмал с использованием гриба *Pleurotus Ostreatus* 23 / Н. Д. Лукин, Р. В. Уланова, И. К. Кравченко [и др.] // Химия растительного сырья. – 2018. – № 4. – С. 225–234. DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.2018043993.

16. Functional technological properties and electrophoretic composition of modified wheat gluten / V. V. Kolpakova, L. V. Chumikina, L. I. Arabova [et. al.] // Foods and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4, № 2. – P. 48–57. DOI: https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-48-57.

17. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. – Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 2013. – 66 p.

18. Тутельян, В. А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания: справочник / В. А. Тутельян. – М. : ДеЛи плюс. – 2012. – 284 с.

19. Амарант: химический состав, биохимические свойства и способы переработки / И. А. Абрамов, Н. Е. Елисеева, В. В. Колпакова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. – № 6. – С. 44–48.

20. Химический состав и функциональные свойства рисовых белковых концентратов / В. В. Колпакова, Д. Н. Лукин, Л. В. Чумикина [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – Т. 66, № 4. – С. 120–124. DOI: https://doi.org/10.20914/2310-1202-2015-4-120-124.

21. Гидролиз сухой пшеничной клейковины разного качества с применением экзо-и эндопротеиназ / А. В. Васильев, Л. В. Зайцева, В. В. Колпакова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 8. – С. 38–39.

References

1. Martinchik AN. Fiziologiya pitaniya [Physiology of nutrition]. Moscow: Academia; 2013. 236 p. (In Russ.).

2. Kompantsev DV, Popov AV, Privalov IM, Stepanova EF. Protein isolates from vegetable raw materials: An overview of the current state and prospects of development of analysis technology of protein isolates from vegetable raw materials. Modern problems of science and education. 2016;(1):58. (In Russ.).

3. Proteins: new in production technology and possibility of use. Compound feeds. 2017;(10):59–62. (In Russ.).

4. Kudinov PI, Schekoldina TV, Slizkaya AS. Current status and structure of vegetable protein world resources. News institutes of higher Education. Food technology. 2012;329–330(5–6):7–10. (In Russ.).

5. Domoroshchenkova ML, Lishaeva LN. Some aspects of manufacture and formation of the market of soy fibers at the present stage. Food industry. 2010;(2):32–39. (In Russ.).

6. Andreev NR, Kolpakova VV, Goldstein VG. To the question of profound triticale grain processing. Food industry. 2018;(9):30–33. (In Russ.).

7. Valeeva RT, Mukhachev SG, Nuretdinova EhI, Shurbina MYu, Kashapova AI. Issledovanie protsessov rosta spirtovykh i kormovykh drozhzhey na sernokislotnykh gidrolizatakh rastitel′nogo syr′ya. Chast′ 2. Issledovanie protsessov rosta kormovykh drozhzhey na sernistokislotnykh gidrolizatakh smesi pshenichnoy solomy i otrubey [Growth processes of alcoholic and fodder yeasts in sulfuric acid hydrolysates of plant raw materials. Part 2. Growth processes of fodder yeasts on sulfurous acid hydrolysates of wheat straw and bran mixture]. Bulletin of the Technological University. 2014;17(20):156–158. (In Russ.).

8. Hrapova AV, Soprunova OB. The screening new strains of yeast for reception of fodder protein. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2011;13(5–3):210–214. (In Russ.).

9. Olaleye ON, Omotayo MA, Abdus S, Olanlege A-LO. Cellulase and Biomass Production from Sorghum (*Sorghum guineense*) Waste by *Trichoderma longibrachiatum* and *Aspergillus terreus*. Journal of Microbiology Research. 2015;5(6):169–174. DOI: https://doi.org/10.5923/j.microbiology.20150506.01.

10. Sibtain A, Ghulam M, Muhammad A, Muhammad IR. Fungal Biomass Protein Production from *Trichoderma harzianum* Using Rice Polishing. BioMed Research International. 2017;2017. DOI: https://doi.org/10.1155/2017/6232793.

11. Shahzad MA, Nawaz H, Rajoka MI, Sarwar M, Sultan JI, Nisa M, et al. Use of Aspergillus terreus for microbial biomass production and its biological evaluation in broiler chicks; 2011; Singapoore. Singapoore: IACSIT Press; 2011;9:255–260.

12. Shahzad MA, Rajoka MI. Single cell protein production from *Aspergillus terreusand* its evaluation in broiler chick. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics. 2011;1(2):137–141. DOI: https://doi.org/10.7763/IJBBB.2011.V1.25.

13. Khusid SB, Gneush AN, Nesterenko EE. Sunflower husks as a source of functional feed additives. Scientific Journal of KubSAU. 2015;107(3):3–14. (In Russ.).

14. Andreev NR, Kolpakova VV, Goldstein VG, Kravchenko IK, Ulanova RV, Gulakova VA, et al. Utilization of secondary tricticale processing products with production of fodder microbial-vegetative concentrate for pond fish. South of Russia: ecology, development. 2017;12(4):90–104. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-4-90-104.

15. Lukin ND, Ulanova RV, Kravchenko IK, Kolpakova VV, Goldstein VG. Bioconversion if secondary products of grain processing of triticale on starch using the *Pleurotus Ostreatus* Mushroom. Chemistry of plant raw material. 2018;(4):225–234. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.2018043993.

16. Kolpakova VV, Chumikina LV, Arabova LI, Lukin DN, Topunov AF, Titov EI. Functional technological properties and electrophoretic composition of modified wheat gluten. Foods and Raw Materials. 2016;4(2):48–57. DOI: https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-48-57.

17. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2013. 66 p.

18. Tutel′yan VA. Khimicheskiy sostav i kaloriynost′ rossiyskikh produktov pitaniya [Chemical composition and caloric content of Russian food]. Moscow: DeLi plus; 2012. 284 p. (In Russ.).

19. Abramov IA, Yeliseeva NYe, Kolpakova VV, Piskun TI. Amaranth: a chemical compound, biochemical properties and ways of processing. Storage and processing of farm products. 2011;(6):44–48. (In Russ.).

20. Kolpakova VV, Lukin DN, Chumikina LV, Shevyakova LV. Chemical composition and functional properties of rice protein concentrates. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2015;66(4):120–124. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.20914/2310-1202-2015-4-120-124.

21. Vasil'ev AV, Zaytseva LV, Kolpakova VV, Chumikina LV. Gidroliz sukhoy pshenichnoy kleykoviny raznogo kachestva s primeneniem ehkzo- i ehndoproteinaz [Hydrolysis of dry wheat gluten of different quality with the use of exo-and endoproteinases]. Storage and processing of farm products. 2009;(8):38–39. (In Russ.).

Сведения об авторах

Колпакова Валентина Васильевна
д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 410051, Россия, Московская обл., Люберцы, дп. Красково, ул. Некрасова, 11, тел.: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru
https://orcid.org/0000-0002-7288-8569

Уланова Рузалия Владимировна
канд. биол. наук, научный сотрудник, Институт микробиологии им. С. Н. Виноградского – ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, 119071, Россия, г. Москва, Ленинский пр., 33, тел.: +7 (495) 954-52-83, e-mail: info@fbras.ru
https://orcid.org/0000-0002-6315-7211

Куликов Денис Сергеевич
аспирант, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 410051, Россия, Московская обл., Люберцы, дп. Красково, ул. Некрасова, 11, тел.: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru
https://orcid.org/0000-0003-2171-0522

Гулакова Валентина Андреевна
научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 410051, Россия, Московская обл., Люберцы, дп. Красково, ул. Некрасова, 11, тел.: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru

Кадиева Альбина Таймуразовна
канд. техн. наук, технический менеджер, АО «Новозаймс А/С», 119330, Россия, г. Москва, Ломоносовский пр., 38, тел.: +7 (495) 234 44-01, e-mail: almy@novozymes.com

Information about the authors

Valentina V. Kolpakova
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Chief Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Starch Products – a branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 11, Nekrasova Str., Moscow region, Kraskovo, 140051, Russia, phone: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru
https://orcid.org/0000-0002-7288-8569

Ruzaliya V. Ulanova
Cand.Sci.(Biol.), Researcher, S.N. Winogradsky Institute of Microbiology of the Federal Research Center Fundamental Foundations of Biotechnology of RAS, 33, Leninskiy Ave., Moscow, 119071, Russia, phone: +7 (495) 954-52-83, e-mail: info@fbras.ru
https://orcid.org/0000-0002-6315-7211

Denis S. Kulikov
Postgraduate Student, Junior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Starch Products – a branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 11, Nekrasova Str., Moscow region, Kraskovo, 140051, Russia, phone: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru
https://orcid.org/0000-0003-2171-0522

Valentina A. Gulakova
Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Starch Products – a branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 11, Nekrasova Str., Moscow region, Kraskovo, 140051, Russia, phone: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru

Albina T. Kadieva
Cand.Sci.(Eng.), Technical Manager, Novozymes A/S, 38, Lomonosovsky Ave., Moscow, 119330, Russia, phone: +7 (495) 234 44-01, e-mail: almy@novozymes.com