

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348
УДК 606(635.65+636.085)


Обзорная статья
http://fptt.ru/

Пищевые и кормовые белковые препараты из гороха и нута: производство, свойства, применение

В. В. Колпакова^{1,*}, Д. С. Куликов¹, Р. В. Уланова², Л. В. Чумикина²



¹ Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, Красково, Россия

² ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук , Москва, Россия

Дата поступления в редакцию: 21.01.2021

Дата принятия в печать: 09.03.2021



*e-mail: val-kolpakova@rambler.ru

© В. В. Колпакова, Д. С. Куликов, Р. В. Уланова, Л. В. Чумикина, 2021

Аннотация.

Введение. Для ликвидации дефицита белка в рационе человека и животных в качестве альтернативы полимерам животного происхождения разрабатываются современные технологии получения белковых препаратов из различного вида растительного сырья. Актуальность решения проблемы вызывает необходимость выполнения анализа сырьевой базы распространенных видов зернобобовых культур (гороха и нута), технологических схем производства различных белковых препаратов, свойств и перспектив применения их в пищевых продуктах.

Объекты и методы исследования. Результаты экспериментальных исследований, сравнение информации в области современных тенденций развития производства, свойств, безопасности, применения пищевых и кормовых белковых препаратов из гороха и нута. Используются методы поиска, отбора, сортировки, систематизации данных, анализа литературных источников рецензируемых научных журналов, их значимости, достоверности и методы оформления библиографического списка литературы.

Результаты и их обсуждение. Анализ состояния выращивания зернобобовых культур в стране свидетельствует о том, что на имеющейся отечественной сырьевой базе перспективно организовывать производство пищевых и кормовых белковых препаратов из зерна гороха и нута с максимальным сохранением биологической ценности, состава и свойств. Зерно гороха и нута, имея высокую биологическую ценность, содержит клетчатку, минеральные вещества, витамины, антиоксиданты и т. д., которые удаляются в процессе переработки сырья. Для утилизации вторичных продуктов производства белковых продуктов целесообразно использовать биосинтетические процессы их трансформации с различными видами грибных и/или бактериальных энзимов, физических и/или физико-химических способов воздействий для получения кормовых или пищевых продуктов с соответствующим выходом. Для получения сбалансированного рациона человека и животных в состав белковых препаратов перспективно включение минеральных веществ, витаминов, жирных кислот, антиоксидантов и т. д. в количествах, удовлетворяющих требованиям функциональных продуктов питания.

Ключевые слова. Зернобобовые культуры, белковые препараты, производство, функциональные свойства, применение, вторичные продукты переработки

Для цитирования: Пищевые и кормовые белковые препараты из гороха и нута: производство, свойства, применение / В. В. Колпакова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 2. С. 333–348. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348.

Review article

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

Food and Feed Protein Preparations from Peas and Chickpeas: Production, Properties, Application

Valentina V. Kolpakova^{1,*}, Denis S. Kulikov¹,
Rusalia V. Ulanova², Ludmila V. Chumikina²

¹ All-Russian Research Institute for Starch Products, Kraskovo, Russia

² Federal Research Center “Fundamentals of Biotechnology” of the Russian Academy of Sciences , Moscow, Russia

Received: January 21, 2021

Accepted: March 09, 2021



Abstract.

Introduction. New legume-based protein preparations are an excellent alternative to polymers of animal origin and can eliminate the protein deficiency in the diet of humans and animals. In this respect, the raw material base of common leguminous crops has to be thoroughly analyzed in order to develop new technological schemes for novel protein formulations.

Study objects and methods. The present research compared modern trends in the production, properties, and safety of food and feed protein preparations based on peas and chickpeas. It involved such standard methods as data systematization and analysis of literary sources.

Results and discussion. The leguminous agriculture in Russia is stable enough to produce food and feed protein preparations from peas and chickpeas with the maximum preservation of biological value, composition, and properties. Peas and chickpeas have a high biological value and are rich in polypeptides, fiber, minerals, vitamins, antioxidants, etc., which are lost during processing. By-products of protein production can be processed using biosynthetic transformation with various types of fungal and/or bacterial enzymes, as well as physical and/or physicochemical methods, to obtain feed or food products with an appropriate yield. A synthesis with enzymes or microorganisms can result in functional foods and feeds fortified with minerals, vitamins, fatty acids, and antioxidants.

Keywords. Legumes, protein preparations, production methods, functional properties, application, by-products

For citation: Kolpakova VV, Kulikov DS, Ulanova RV, Chumikina LV. Food and Feed Protein Preparations from Peas and Chickpeas: Production, Properties, Application. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):333–348. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348>.

Введение

Современные тенденции производства пищи свидетельствуют о том, что цены на животные продукты будут повышаться, а промышленность будет испытывать потребность в новых качественных источниках белка. Число голодающих в мире возрастает. В настоящий момент оно достигло трети всего населения Земли, а часть населения испытывает дефицит полноценного белка [1]. Озабоченность по поводу высокого уровня холестерина в пище, аллергии, высоких цен на продукты питания и негативного воздействия производства некоторых пищевых продуктов на окружающую среду привели к повышению интереса к альтернативным источникам белка [2]. Одним из решений устранения указанных недостатков является получение белковых препаратов из растительного сырья [3].

Бобовые культуры с древних времен используются в рационе людей, включая не употребляющих по тем или иным причинам мясо [2]. Особый интерес вызывает одна из традиционных зернобобовых культур для европейских стран, включая Россию, – горох. Его использование позволяет создавать технологии белковых концентратов, муки, изолятов и побочных продуктов [4]. В последнее время интерес возрос и к другой зернобобовой культуре – нуту. В условиях повторяющейся засухи и глобального потепления данная культура, стойкая к жаркому климату, является отличным дополнением к гороху [5, 6]. Введение бобовых культур в севооборот не является новой концепцией. Бобовые культуры, такие как горох и нут, введены в зерновой севооборот в конце 3000 года до нашей эры [8]. Бобовые играют уникальную

роль в системах органического земледелия благодаря своей глубокой корневой системе и способности фиксировать азот и синтезировать белок.

Актуальность решения проблемы обеспечения населения белком диктует проведение анализа сырьевой базы указанных видов зернобобовых культур, технологических схем производства из них белковых препаратов различных форм, назначений и перспектив применения последних в пищевых продуктах различного состава и свойств.

Целью данной работы стал анализ производства зерна гороха и нута в стране, его качества, включая биологическую ценность, особенностей технологий производства, функциональных свойств, применения белковых продуктов из гороха и нута и возможностей утилизации вторичных продуктов переработки современными биосинтетическими способами.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования стали результаты экспериментальных исследований, сравнение информации в области современных тенденций развития производства, свойств, безопасности, применения пищевых и кормовых белковых препаратов из гороха и нута.

В работе использованы методы поиска, отбора, сортировки, систематизации данных, анализа литературных источников рецензируемых научных журналов, их значимости, достоверности и методы оформления библиографического списка литературы.

Результаты и их обсуждение

Состояние производства зерна гороха и нута в

Российской Федерации. Горох и нут – зернобобовые культуры, имеющие различное продовольственное и кормовое значение. По данным на 2018 г. в РФ собрано 2303 тыс. тонн гороха, что на 30 % меньше предыдущего года. Однако, по сравнению с 2013 г., валовые сборы гороха увеличились на 71 % (рис. 1). Несмотря на падение роста валовых сборов в 2018 г., по России наблюдается рост производства гороха [8, 9]. Посевные площади гороха в 2018 г. находились на уровне 1434,7 тыс. га. За год площади выросли на 8,1 %, за 5 лет – на 29,3 %, за 10 лет – на 119,7 % (на 781,8 тыс. га). Это свидетельствует об их стабильном росте. Крупнейшими по размеру площадей в 2018 г. являлись следующие регионы (тыс. га): Ставропольский край – 200,0, Алтайский край – 92,3, Краснодарский край – 83,1, Ростовская область – 134,7, Омская область – 86,0, что составило 13,9, 6,4, 5,8, 9,4 и 6,0 % от общего количества земель соответственно. Средняя урожайность гороха (ц/га) в 2018 г. составила 16,6, в 2017 г. – 25,3, в 2013 г. – 14,0, в 2008 г. – 19,8, в 2001 г. – 19,7. Анализ среднегодовых показателей урожайности позволяет определить вклад использования передовых технологий в изменение условий выращивания гороха. Среднегодовая урожайность гороха в России в 1991–2000 гг. достигла 11,5 ц/га, в 2001–2010 гг. она возросла до 16,7 ц/га, в 2011–2018 гг. увеличилась до 18,1 ц/га, т. е. наблюдается стабильный рост урожайности гороха. Наибольшая среднегодовая урожайность гороха в 2018 г. отмечена в Орловской (30,8 ц/га), Тамбовской (21,3 ц/га) и Новосибирской (19,2 ц/га) областях, Краснодарском (21,1 ц/га) и Алтайском краях (17,8 ц/га), а также Республике Башкортостан (16,3 ц/га) [8].

Производство нута в 2018 г. в России находилось на уровне 620,4 тыс. тонн, т. е. увеличился урожай, по сравнению с 2017 и 2013 гг., на 48,2 и 22 % соответственно (рис. 1). После падения в 2015 г.

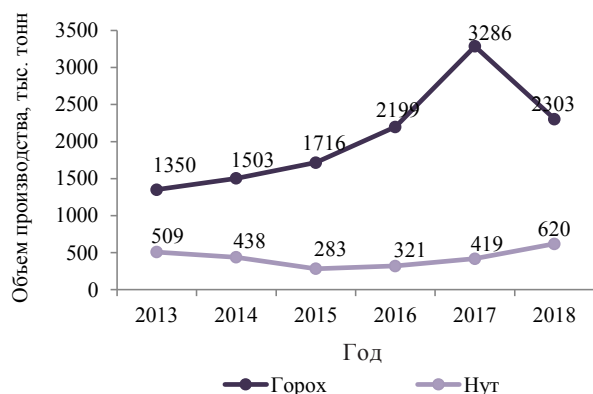


Рисунок 1. Динамика производства гороха и нута в России

Figure 1. Production of peas and chickpeas in Russia

валовой сбор нута постепенно увеличивался в последние годы. Посевные площади нута в 2018 г. составили 851,2 тыс. га. За год они возросли на 71,6 % (на 355,2 тыс. га), за 5 лет – на 26,5 % (на 178,1 тыс. га). Несмотря на некоторые колебания в сторону уменьшения, посевные площади нута имеют тенденцию к росту. Крупнейшими регионами по размеру площадей нута в 2018 г. стали следующие области (тыс. га): Саратовская – 266,6, Волгоградская – 191,3, Оренбургская – 114,6, Самарская – 88,5 и Ростовская – 74,1. Это составило 31,3, 22,5, 13,5, 10,4 и 8,7 % от общей площади посевов нута в России соответственно. Средняя урожайность нута в России в 2018 г. составила 7,6 ц/га убранной площади, что на 17,4 % (на 1,6 ц/га) меньше, чем в 2017 г. По отношению к уровню пятилетней давности урожайность нута снизилась на 3,4 % (на 0,3 ц/га). Это свидетельствует о проблемах в выращивании нута, включая особенности почвенно-климатических условий. Среднегодовая урожайность нута в 2011–2018 гг. находилась на отметках в 8,4 ц/га. Среди регионов наибольшая среднегодовая урожайность нута в 2018 г. отмечена в Воронежской (13,1 ц/га), Белгородской (11,7 ц/га) и Самарской (10,5 ц/га) областях, а также Краснодарском крае (10,4 ц/га) [10]. В Астраханской области разработаны способы внекорневой подкормки нута и фасоли микробиологическими препаратами и стимуляторами роста с урожайностью зерна на уровне 1,8–3,3 т/га. Обоснованы элементы ресурсосберегающей технологии возделывания зернобобовых культур в условиях орошения, обеспечивающие получение высокопродуктивной продукции [6].

Таким образом, опубликованные данные свидетельствуют о наличии сырьевой базы зернобобовых культур в России (2,9–3,7 млн тонн в год) для организации отечественного производства белковых препаратов различных форм, состава и назначений.

Химический состав и медико-социальные аспекты применения белковых препаратов из зерна гороха и нута. Химический состав гороха следующий (в % на сухое вещество): белок – 19,2–26,1, зола – 2,73–3,35, жир – 1,63–8,19, крахмал – 46,4–54,3, сахара – 2,7–5,1 [11, 12]. Нут, по данным различных авторов (в % на СВ), имеет следующий состав: белок – 18–30, зольные элементы – 2,0–5,0, жир – 4,1–8,0, крахмал – 42,0–59,0, клетчатка – 3–5. Колебания содержания веществ зависят от сорта и условий возделывания. Например, для российских сортов «Волжанин» и «Волжанин 50» массовая доля белка составляла (в % на СВ) 24,32–24,54, золы – 2,77–2,91, жира – 4,89–5,89, углеводов – 67,02–67,66 [13]. Зернобобовые культуры обладают большим потенциалом в плане ликвидации голода и сглаживания недостатков белка, который является источником дефицитных незаменимых аминокислот. В отличие от белка зерновых культур белок зернобобовых растений

Таблица 1. Массовая доля незаменимых аминокислот (НАК) в гороховом, нутовом, эталонном белках (г/100 г) и скор НАК, %

Table 1. Mass fraction of essential amino acids in peas, chickpeas, and reference proteins (g/100 g); the rate of essential amino acids, %

НАК	Эталонный белок [14] (1974 г.)	Гороховый белок [16]	Нутовый белок [17]	Скор НАК белка, % (1974 г.)		Эталонный белок [15] (2013 г.)	Скор НАК белка, % (2013 г.)	
				горохового [16]	нутового [17]		горохового [12]	нутового [12]
Trp	1,0	0,94	0,94	94	94	6,6	212	185
Thr	4,0	3,59	3,95	89	98	2,5	160	139
Phe	4,0	3,33	4,14	83	103	3,0	166	120
Leu	7,0	6,58	6,58	94	94	6,1	144	112
Lys	5,5	6,84	7,62	124	138	4,8	145	100
Met+Cys	3,5	2,58	3,12	73	89	2,3	109	100
Phe+Tyr	6,0	7,35	7,58	122	126	4,1	183	196
Val	5,0	3,89	4,06	77	81	4,0	110	86
His	–	–	–	–	–	1,6	144	121

содержит повышенное количество незаменимых аминокислот (НАК) (треонина, изолейцина, лейцина, валина, фенилаланина, лизина, триптофана) [5]. Среди них важную роль играет лизин, который участвует в различных биохимических процессах в организме животных и человека. В гороховом белке лизина содержится около 7 г в 100 г продукта, а в нутовом белке – более 7 г в 100 г (табл. 1). Это делает нут привлекательным сырьем для производства белковых препаратов. Биологическая ценность белков нута иногда превышает ценность гороха. Дефицитными НАК принято считать серосодержащие аминокислоты и валин, если учитывать состав эталонного белка, опубликованного в документах ФАО/ВОЗ в 1974 г., и практически их отсутствие, если использовать данные рекомендаций по составу эталонного белка, предложенные в 2011 г. и опубликованные в 2013 г. [14, 15].

Фракционный состав белка гороха, в зависимости от сорта, колеблется в следующих пределах: альбумины – 8,0–21,5 %, глобулины – 58,6–76,6 %, глютелины – 10,0–19,8 % [16]. Проламины (спирторастворимые) и склеропротеины (нерастворимые) фракции белков находятся в зерне гороха в незначительных количествах [2]. Белки нута, как и белки гороха, представлены альбуминами и глобулинами, массовая доля которых достигает 97 % [17]. По сравнению с другими растительными белками белки из бобовых культур являются гипоаллергенными [18]. Для их выделения предпочитают использование растворов солей (0,5–3,0 моль·л⁻¹).

Наряду с белками, обладающими питательной ценностью, в состав зернобобовых культур входят антиалиментарные вещества – ингибиторы протеаз и лектины. Они понижают питательную ценность и безопасность белковых продуктов [18]. Ингибиторы протеаз подавляют деятельность ферментов желудочно-кишечного тракта, таких как трипсин, химотрипсин,

ферменты плазмы крови. Лектины способны вызывать агглютинацию (склеивание) эритроцитов крови, клеток и бактерий. Агглютинация происходит путем связывания лектинов с углеводными компонентами клеток. Поэтому в технологии производства белковых продуктов из зернобобовых культур требуется использование приемов, соблюдающих санитарно-гигиенические требования по снижению активности антипитательных веществ в готовой продукции. Активность ингибиторов протеаз достигается обработкой паром, вымачиванием, кипячением или другими методами. Условия инактивации лектинов являются более мягкими, чем ингибиторов протеаз, – нагревание при 80 °С.

Зернобобовые культуры (горох, нут) являются источником не только биологически ценных белков, но липидов и углеводов. Они содержат пищевые волокна (клетчатку, гемицеллюлозы, лигнин и др.), холин – компонент лецитина, действующий как нейромедиатор, витамины E, B₁, B₆, A, PP, B₂ и др., а также кальций, калий, магний, железо, цинк, другие макро- и микроэлементы [4, 19]. Медико-социальные аспекты использования белков бобовых культур в пище заключаются в том, что они способствуют улучшению кровоснабжения и рекомендуются для людей, страдающих гипертонией, а также снижают риск сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний [20]. Лизин, содержащийся в большом количестве в бобовых культурах, используется при выработке коллагена, необходимого для соединительной ткани организма, и карнитина, играющего важную роль в «сжигании» жира [4]. В данных культурах присутствуют антиоксиданты, которые могут входить в состав некоторых концентратов, влияя на иммунитет организма, делая его сильнее, и выводить из организма токсины, защищая мозг от старения [19, 20].

В фармацевтической промышленности широко используют целый ряд зернобобовых

культур в качестве сырья для получения лечебно-профилактических препаратов направленного действия. Фармакологическими свойствами обладают фитостероиды, лектины гороха и нута, ингибиторы протеиназ и другие биологически активные вещества, которые можно выделить до процесса получения белковых препаратов. Установлено, что семена зернобобовых культур, прежде всего белки гороха и нута, «поглощают» желчные кислоты, холестерин, а ингибиторы протеиназ гороха действуют угнетающе на пролиферацию раковых клеток в культуре *in vitro* [21]. С другой стороны, присутствие ингибиторов в белковых препаратах регламентируется из-за их отрицательного воздействия повышенных количеств на работу желудочно-кишечного тракта.

Экстракты и низкомолекулярные фракции фенолов и танинов из зерна гороха и нута обладают антиоксидантной активностью. Содержащиеся в зерне флавоноиды обладают желчегонным, гипогликемическим, гипоазотермическим, антивирусным действием и противоопухолевой активностью. Ситостерины образуют нерастворимые комплексы, снижающие риск развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. Сапонины обладают тонизирующим эффектом, положительно влияя на метаболизм липидов, улучшая половую функцию, сперматогенезис, повышая иммунитет и понижая давление крови [22, 23]. Присутствие таких соединений в белковых препаратах должно контролироваться, как и ингибиторов протеиназ, но отдельное их выделение иногда предусматривается при комплексной переработке зерна наряду с производством белковых препаратов.

Соблюдение всех требований к особенностям химического и биохимического состава зерна гороха и нута является обязательным условием развития новых технологий производства белковых препаратов при переработке зернобобовых культур, способствующих расширению ассортимента кормовых и пищевых продуктов как массового, так и функционального, специального или диетического назначения. Одновременно решаются проблемы безопасности и возможности получения различных видов отдельных ингредиентов как биологически активных добавок [4].

Технологические особенности производства белковых продуктов из гороха и нута. Процессы производства белковых продуктов, которые применяют для получения таких белоксодержащих продуктов, как мука, изоляты и концентраты, могут быть классифицированы на «сухие» и «жидкостные» [24]. «Сухие» процессы включают помолы и воздушную сепарацию, предназначенную для разделения частиц зерен бобовых культур по размеру и плотности на две фракции: легкую – белковую, тяжелую – крахмальную. После фракционирования муки методом воздушной сепарации тяжелую

(крахмальную) фракцию повторно сепарируют и получают вторую белковую и более «очищенную» крахмальную фракцию. Эффективность отделения белка от крахмала определяется его процентным содержанием в обеих фракциях от общего содержания белка в муке [2]. Сухие методы имеют преимущество по сравнению с жидкостными методами экстракции. При них сохраняется естественная функциональность белков, на получение требуется меньшее количество энергии и не используется вода. Сухие процессы производства белковой муки или концентратов отличаются относительно низким выходом белков (40–75 %) [25]. Н. Р. Андреев с соавторами пневмокласификацией разделили гороховую муку на белковую фракцию с массовой долей белка 60–40 % и выходом 8,5–9,5 % и на крахмальную фракцию с массовой долей полисахарида 68,5–71,1 % и выходом 90,5–91,5 % [26].

Жидкостные методы обеспечивают получение концентратов с массовой долей белков от 70 до 90 % и изолятов с концентрацией белка выше 90 %. Экстракция белков зависит от химической природы реактива, pH и ионной силы раствора, температуры, размера частиц, отношения растворителя к массе белков и/или к массе сырья. Методы извлечения белков разрабатываются так, чтобы максимально обеспечить их выход без ущерба для функциональности и биологической ценности [2, 19, 27, 28].

Жидкостные методы экстракции белков подразделяются на кислотные, щелочные, солевые, фильтрационные и ферментативные. Одним из первых видов экстракций зарегистрирована кислотная (1820 г.). Для коммерциализации процессов с различными видами кислотной экстракции потребовалось несколько десятилетий. Сегодня данный метод предусматривает использование соляной или серной кислоты, но для получения гидролизованых белков как усилителей вкуса. Небольшую часть препаратов, после основной экстракции белков, с использованием кислот получают в биотехнологических процессах после применения ферментных препаратов или для частичного или полного удаления соли [2, 26]. Некоторые производители удаляют соль нанофильтрацией или с помощью ионообменных смол. При кислотном гидролизе часть незаменимых аминокислот (триптофан, метионин, цистин и цистеин) разрушается, а глутамин и аспарагин могут превращаться в глутаминовую и аспарагиновую кислоты соответственно. Кислотная обработка способна гидролизовать белки на отдельные аминокислоты или пептиды, но с меньшей молекулярной массой.

В процессе щелочного выделения белков муку или другие продукты размолотого зерна обрабатывают растворами гидроксидов металлов с pH 9–11. Затем сепарацией отделяют нерастворимые вещества, осаждают белки в изоэлектрической точке при pH

4,2 и центрифугируют [27]. При щелочной экстракции некоторые ученые предварительно солюбилизируют белки нагреванием с последующим добавлением щелочных агентов (гидроксидов кальция, натрия, калия) и поддержанием температуры до желаемого значения (27–55 °С). Экстракцию или гидролиз продолжают в течение нескольких часов до заданной степени, продукт выпаривают, пастеризуют и сушат распылением [29]. Тем не менее в пищевой промышленности часто используются концентраты, полученные щелочной экстракцией, с содержанием белка более 70 % [2]. Изоляты содержат 90–95 % белков с общим их выходом 60–80 %. При щелочной экстракции или гидролизе некоторые аминокислоты (серин, треонин) могут разрушаться из-за рацемизации аминокислот, приводящей к снижению усвояемости белка. Поскольку, наряду с высоким выходом и качеством, важным фактором для производителей является максимальное сохранение состава и функциональности, то сегодня совершенствование процессов экстракции и улучшения свойств продолжается в направлении замены растворов щелочи другими агентами и приемами [19].

К приемам совершенствования технологий относится солевая экстракция, при которой белки глобулинов отделяют от альбуминов в виде осадка. Обычно в процедуре экстракции белки изначально растворяют в водном растворе 0,3–0,5 моль/дм³ NaCl при нейтральном pH, потом осаждают. Процесс осаждения белка проводят либо разбавлением водой для понижения ионной силы, либо удалением соли диализом [2]. При этом белковые продукты, полученные из зерна нута и гороха с помощью щелочной экстракции, могут иметь более высокую массовую долю белка (85,4 и 88,8 % соответственно), по сравнению с теми, которые получены солевой экстракцией (81,6 и 81,1 % соответственно) [30].

Фильтрация на мембранах с давлением в качестве движущей силы разделения также является методом разделения и выделения белков, представляющим собой их фракционирование. Фильтрацию подразделяют на микро- и ультрафильтрацию. Микрофильтрацию используют для отделения частиц или макромолекул размером более 0,1 мкм, а ультрафильтрацией удаляют частицы в диапазоне 0,001–0,02 мкм. Для повышения количества извлеченного белка часто используют оба метода после щелочной или кислотной экстракции [31]. Выделенные белковые препараты отличаются высокими функциональными свойствами и меньшим количеством антипитательных веществ, по сравнению с теми, которые выделены осаждением в изоэлектрической точке. По данным A. Singhal и др., метод ультрафильтрации обеспечивал высокую массовую долю белка в итоговом продукте 83,9 % против 81,7 % у белкового продукта, полученного в изоэлектрической точке [2].

Одним из современных процессов экстракции белков является ферментация без термической обработки и воздействия кислот или щелочи. Использование бактериальных или грибных протеаз имеет большое значение, поскольку они, инициируя незначительный частичный распад белков, облегчают отделение полипептидов с разной молекулярной массой от остальных компонентов, таких как клетчатка и гемицеллюлозы. Также ферментация способствует уменьшению содержания антипитательных веществ в белковых продуктах и улучшению поглощения минералов путем образования органических кислот, которые образуют с ними растворимые комплексы, делая минералы недоступными для взаимодействия с фитатами [29].

Для получения гидролизованных белков используют ферменты, произведенные из животных, растений и микробных источников. Достижения в методах гидролиза белков чаще получают с протеазами. При этом условия гидролиза мягкие, а ферменты более специфичные. Это позволяет производителям точно контролировать степень гидролиза и адаптировать продукцию для конечных потребителей. Гидролиз белков может быть достигнут с помощью одной ферментативной стадии или ряда последовательных стадий с использованием нескольких ферментов разного принципа действия. Выбор фермента зависит от природы белков и требований пользователя. Например, если белки имеют высокое содержание гидрофобных аминокислот, то фермент должен расщеплять остатки гидрофобных аминокислот. Если белки содержат большое количество гидрофильных аминокислот, то фермент должен активно расщеплять связи, образованные гидрофильными аминокислотами [29].

В течение многих лет бобовые культуры, без разделения на белковые компоненты, использовались для приготовления полезных питательных блюд в сочетании с другими источниками пищи или ингредиентами. Горох и продукты его переработки, смешанные с регионально выращенными зерновыми, сегодня имеют огромное значение для удовлетворения потребностей в питании людей, использующих белково-углеводные диеты [32]. Однако процессы переработки композитного сырья выходят сегодня на новые уровни с использованием различной степени глубины его фракционирования и проектирования новых видов белковых формул и/или композитов. Задача таких композитов – сбалансировать аминокислотный состав рациона, обогатить пищу биологически активными веществами до значений, придающих ей свойства функциональности при сохранении или превышении показателей технологических свойств пищевых продуктов. В основе конструирования композитов лежат математические методы планирования и компьютерные программы, обеспечивающие сбалансированность

аминокислотного или жирнокислотного состава. Так, созданы белковые композиты с продуктами из пшеничных отрубей, аминокислотный состав которых дополнен составом аминокислот бобовых культур, липидный состав – биологически активными жирными кислотами, маслами и лецитином с целью его сбалансирования [33]. Композиты содержали 35–40 % белка, 30–35 % жиров, 40–45 % углеводов, 5–10 % лецитина, витамины Е и С. Изделия легкоусвояемые, удобохраняемые. При этом особенности различных форм связности групп липидов, электрофоретического состава и функциональных свойств белков послужили основой для использования композитов, созданных на основе белковых продуктов из зерновых и бобовых, в производстве хлебобулочных, мучных кондитерских и конфетных изделий для массового и функционального питания.

Другими направлениями использования зернобобовых культур является их совместное использование с вторичными продуктами переработки зерновых культур на крахмал или другие компоненты (экстракты, сыворотка, мезга, мука, отруби, мучка, крупка и т. д.) [34]. В то же время, например, биосинтетические ферментативные процессы между белками различной природы и качества для обеспечения комплементарности аминокислотного состава и направленного конструирования функционально-технологических свойств композитных продуктов пока еще недостаточно изучены. Однако они уже разрабатываются и используются [35, 36].

Таким образом, биотехнологические способы выделения белковых препаратов и конструирования на их основе различного состава композитов достаточно эффективны как с точки зрения сохранения аминокислотного состава, так и с точки зрения регулирования их функциональных свойств. В то же время сведений об использовании энзимов, кроме класса гидролаз и их подклассов (протеазы, карбогидразы, эстеразы), например, для получения высокого выхода белков, массовой доли их в препаратах и надлежащих функциональных свойств из зернобобовых культур, недостаточно. Поэтому дальнейшая разработка экономически эффективных технологических решений экстрагирования и конструирования белков из гороха и нута для внедрения их на отечественных предприятиях с различными видами энзимов, физическими, физико-химическими или иными методами является актуальной и необходимой. Приемы, направленные на снижение количества антипитательных факторов, тормозящих усвоение белков и вызывающих другие негативные процессы в организме, считаются обязательными для получения качественной и безопасной продукции.

Функциональные свойства и применение белковых препаратов из гороха и нута. Функциональные свойства белковых препаратов включают:

растворимость, жироэмульгирующую, водо- и жиродерживающую способности, пенообразование, стабильность пены, гелеобразование и т. д. Свойства определяют конкурентоспособность препаратов на рынке, поскольку они влияют на органолептические и физико-химические показатели продукции. Функциональные свойства концентратов и изолятов из бобовых культур различаются из-за особенностей свойств и структуры белков сырья, способов их экстракции и обработки [13, 18, 28, 32, 37].

Растворимость белка играет важную роль в различных пищевых системах, т. к. от нее зависят другие функциональные свойства (пенообразование, гелеобразование, эмульгирование). Высокая растворимость белка может быть полезна при производстве детского сухого и имитационного молока, которое требует быстрой растворимости. Например, имитационное молоко с изолятом белка чечевицы имело такое же качество, что и молоко, приготовленное из изолята соевого белка, но его качество ниже, чем молоко с изолятом белка гороха [38]. Исследование пяти различных бобовых культур (гороха, нута, фасоли, чечевицы, сои) показало высокую растворимость изолятов, полученных методом щелочной экстракции (85,9 %), по сравнению с теми, которые получали с помощью солевой экстракции (61,5 %). С другой стороны, при щелочной экстракции изолят белка фасоли имел самую низкую растворимость (61,4 %), изоляты сои – наибольшую (96,5 %), а изоляты гороха, чечевицы и нута занимали промежуточное положение по данному показателю (более 90,0 %) [2].

Водосвязывающая и жиросвязывающая способность – это свойства белков связываться с водой и жиром соответственно. Свойства имеют значение для обеспечения качества продукта, срока годности и органолептических характеристик (текстуры, приятного ощущения во рту и т. д.). Неспособность белка связывать воду может привести к хрупкости и сухости продукта [2]. Значения водосвязывающей способности для концентратов белка различных видов и сортов зернобобовых культур (горох, фасоль, чечевица, нут) находятся в диапазоне 0,6–4,9 г/г продукта. Это позволяет предположить, что вид культуры и способ ее обработки влияют на способность поглощать воду. Белки гороха и нута характеризуются повышенной водосвязывающей способностью и растворимостью [4, 28, 29].

Жиросвязывающая способность также зависит от вида, сорта и метода обработки зернобобовой культуры и находится в пределах 1,0–3,96 г/г продукта [2]. Способность связывать воду и жир важна для изготовления пищевых продуктов, таких как мясные продукты, макаронные изделия, печенье и т. д. Возможность добавления нутового белка, например, в говяжий фарш доказана в количестве 15 % без потерь органолептических свойств продукта благодаря

жироэмульгирующей и жиросвязывающей способности. Эмульсии термодинамически нестабильны и со временем разделяются на слои масла и жидкости из-за столкновения и слияния капель. Для получения стабильных эмульсий используются эмульгаторы. Белок как эмульгатор адсорбируется на границе раздела масло-вода с образованием вязкоупругой пленки, окружающей капли масла. Исследования, выполненные для гороха, нута, фасоли, сои и чечевицы, показали, что природа белков и метод их экстракции (щелочная, ультрафильтрационная) влияли на активность, стабильность и другие физико-химические свойства эмульсии [31]. Гороховые белки способны образовывать йогуртовые гели как без дополнительных ингредиентов, так и с их использованием (рапсовое масло, клетчатка). Подкисление делало густыми гели со слабым реологическим поведением. Добавление масла и/или клетчатки повышало концентрацию горохового белка в водной фазе и комплексный модуль сдвига, что положительно отражалось на качестве йогуртов [39].

Функциональные свойства белков могут быть улучшены с помощью модификаций, таких как ограниченный ферментативный гидролиз с использованием протеаз (трипсина, пепсина и др.). Реакция гидролиза приводит к частичному разрыву пептидных связей и раскручиванию белковых молекул, тем самым открывая больше гидрофобных и ионных групп для взаимодействия с каплями масла [2]. Свойства образования и стабильности эмульсии белков зернобобовых культур играют важную роль в формировании ряда таких продуктов питания, как колбасы, мясные аналоги, пирожные, супы и т. д. Наряду с другими ингредиентами (сухая пшеничная клейковина, рис, грибы, тофу и т. д.) белковые препараты из зернобобовых могут имитировать готовые мясные продукты (курицу, говядину, колбасу, бекон и т. д.). Рынок аналогов мяса большой и пользуется спросом среди вегетарианцев, веганов и людей, которые не едят мясные продукты из-за религиозных или культурных обычаев [2]. Наиболее перспективным для применения в мясных аналогах является гороховый белок, структурированный методом высоковлажной экструзии [40].

Пенообразование – способность белка образовывать пену, которая свойственна белковым препаратам. Подобно эмульсиям пены имеют две несмешивающиеся фазы (водную и газовую). Белки в растворе адсорбируются на границе раздела газ-жидкость, образуя вязкоупругую пленку, окружающую пузырьки газа, что помогает противостоять разрыву и слиянию пузырьков. Известны различные пищевые продукты, в которых в качестве стабилизатора используется белок зернобобовых (безе, взбитые десерты, зефир, пастила, муссы, бисквиты и др.) [41]. Доказано, что пенообразующие свойства изолята гороха выше, чем у сухого обезжиренного молока, пшеничной

муки, изолятов соевого белка [42]. Группа ученых при исследовании пенообразующей способности белковых продуктов гороха и нута, полученных методами ультрафильтрации и щелочной экстракции, обнаружила, что способность образовывать пену у образцов концентрата гороха не зависела от метода экстракции [2, 20, 37]. Однако концентрат нута, полученный методом щелочной экстракции, обладал высоким пенообразованием, но низкой стабильностью пены, по сравнению с гороховым концентратом.

В последнее время растет интерес к белку из гороха и нута в составе «новых» продуктов для обеспечения питательной ценности, низкой стоимости, хороших функциональных свойств и полезных эффектов для здоровья [2, 20, 37]. Белковые концентраты и изоляты из гороха применялись в производстве имитационного молока, творога, йогурта, мясных аналогов, колбас, а также специализированных мучных хлебобулочных и макаронных изделий, кексов, бисквитов, напитков, продуктов детского, спортивного питания, комплексных пищевых добавок и др. При этом использование белковых продуктов не оказывало негативного влияния на качественные характеристики готовой продукции [39, 43, 44]. Муку и белковые препараты, полученные из зерна нута и гороха, применяют в композициях с насекомыми, пшеничной и соевой мукой, продуктами животного происхождения в качестве высокобелкового ингредиента для приготовления мучных изделий, творога тофу, комбинированных мясных продуктов, а также модифицируют путем предварительного проращивания зерна для повышения биологической ценности продукта [2, 22, 45–49]. Совершенно новым направлением является создание микробных консорциумов, способных колонизировать продукты на основе гороховых белков и положительно влиять на высвобождение летучих соединений, имитируя различные виды ароматов или, наоборот, уменьшение постороннего сенсорного бобового аромата [50].

Микробиологическая трансформация вторичных продуктов переработки сырья в различные виды добавок. В современных условиях традиционной перерабатывающей промышленности разрабатываются новые технологии и приемы получения кормовых и пищевых продуктов. Одним из таких приемов является вовлечение в схему использования сырья метода биоконверсии вторичных продуктов переработки в пищевые, кормовые и другие виды добавок. Микроорганизмы на определенных составах питательной среды обладают высокой скоростью роста и способностью синтезировать спектр питательных соединений: белков, липидов, углеводов, каротиноидов, витаминов и т. д. [51, 52]. Биомасса микроорганизмов может использоваться в составе рационов сельскохозяйственных животных и птицы для повышения продуктивности, а в питании человека – для

получения новых источников белков. Основой для культивирования биомассы микроорганизмов служит разнообразное сырье и побочные продукты различных отраслей пищевой промышленности и сельского хозяйства. Так, препарат, полученный в процессе ферментации стеблей кукурузы сахаромицетами или консорциумом сахаромицетов *Lactobacillus plantarum* с *Lactobacillus casei*, оказывал положительное влияние на организм животных и окружающую среду [53, 54]. Дрожжи, вводимые в корма кур-бройлеров в количестве 0,8 %, также повышали эффективность использования корма [55]. Изучение микробиоты фекальных образцов на 21 и 42 день, проведенное с помощью полимеразной реакции (ПЦР), выявило положительное влияние добавки на микрофлору кур-бройлеров. Введение дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в корма жвачных животных повышало усвояемость волокон и увеличивало популяцию целлюлолитических бактерий *Ruminococcus flavefaciens* рубца [56, 57]. Также доказано, что добавление в рацион крупного рогатого скота *S. cerevisiae* и/или *Aspergillus oryzae* повышало надои и жирность молока [58–61].

Известны кормовые добавки, полученные из трудно перевариваемого кофейного шлама, из спиртовой барды с пшеничными отрубями при совместном выращивании на них дрожжей *Saccharomyces diastaticus* и каротинообразующих дрожжей *Rhodospiridium species* с повышенным на 41 % содержанием незаменимых аминокислот [62, 63]. Получена кормовая добавка с каротиноидами и липидами выращиванием дрожжей *Rhodospiridium glutinis*, *Rhodospiridium mucilaginosum* и *Rhodospiridium gracilis* на среде, состоящей из депротеинизированных сточных вод переработки картофеля и отходов глицерина [64]. На жидких отходах, образующихся при ферментации патоки сахарного тростника и дистилляции спирта ликероводочных заводов с полной утилизацией моносахаридов, органических кислот, меланоидинов в белковые и липидные метаболиты, получена кормовая грибная биомасса с *Aspergillus niger* с выходом 35 г/дм³ [64]. В работе В. А. Karetkin и др. показано, что продукты переработки зерна пшеницы, при обработке их протеолитическими ферментными препаратами, могут быть использованы в качестве питательной среды при культивировании лактобактерий и бифидобактерий для функциональных продуктов питания [65].

Сведения относительно переработки вторичных продуктов, образующихся из зернобобовых культур, по данному направлению пока ограничены, несмотря на перспективность данного направления. Так, на основе побочного продукта, образующегося при экстракции горохового белка, с использованием мицелиальных грибов синтезирован пищевой микопротеиновый концентрат для «замены» мяса. Исследования проведены с пятью штаммами грибов (*A. oryzae*, *Fusarium venenatum*, *Monascus*

purpureus, *Neisseria intermedia*, *Rhizopus oryzae*) ферментацией при 35 ± 2 °С в течение 48 ч. Содержание белка в биомассе грибов достигало 43,13–59,74 %. Показано, что внедрение данного процесса в переработку гороха может обеспечить получение около 680 кг грибной биомассы с 38 % дополнительного белка на каждую 1 тонну побочного продукта [66, 67]. Доказана возможность биоконверсии вторичного продукта переработки зерна тритикале на крахмал (экстракта) с гороховой мукой с получением кормового концентрата 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 [36]. Отобраны культуры микроорганизмов, способные активно развиваться на субстрате. Из них составлена симбиотическая закваска из нового штамма гриба *Geotrichum candidum* 977 и дрожжей *S. cerevisiae* 121, обеспечивающая рост биомассы на углевод- и азотсодержащей среде. Сыворотка, образующаяся после выделения концентрированных белков из композиции с гороховой мукой, являлась доброкачественной для питательных сред микробиологического синтеза с грибом *G. candidum* 977 и дрожжами *S. cerevisiae* 121.

Выводы

Данные анализа количества посевных площадей и урожайности бобовых культур в России свидетельствуют о наличии сырьевой базы зернобобовых культур (2,9–3,7 млн тонн в год). Это позволит организовывать с ее использованием отечественное производство белковых препаратов. Белки гороха и нута имеют высокую биологическую ценность, позволяющую обеспечивать комплементарность состава незаменимых аминокислот с аминокислотами белков зерновых культур при их совместном применении.

Для ликвидации дефицита белков в рационе человека в качестве альтернативы белкам животного происхождения разрабатываются различные технологии выделения белков из зернобобовых культур с использованием современных биотехнологических и физико-химических способов. К таким способам относятся процессы с ферментными препаратами, исключаящие разрушение структуры и состава белковых фракций сырья и сохраняющие функциональные свойства, в отличие от процессов с кислотами и щелочами.

Зернобобовые культуры, наряду с белками, содержат такие полезные компоненты, как клетчатка, минеральные вещества, витамины и антиоксиданты, способные взаимодействовать с полипептидами, понижать их выход и входить в состав белковых препаратов, хоть и в незначительном количестве. Для получения сбалансированного рациона человека и животных в состав белковых препаратов перспективно включение минеральных веществ, витаминов, жирных

кислот, антиоксидантов и т. д. в количествах, удовлетворяющих требованиям функциональных продуктов питания. Например, с помощью синтеза с энзимами или микроорганизмами получать белковые композиты.

Наращивать производство пищевых и кормовых белковых концентратов из продуктов переработки зерна гороха и нута на белки и крахмал с максимальным сохранением их биологической ценности и утилизацией вторичных продуктов переработки (сыворожка, твердые остатки и т. д.) перспективно с различными видами грибных и/или бактериальных энзимов и микроорганизмов на имеющейся сырьевой базе.

Критерии авторства

В. В. Колпакова планировала, анализировала и описывала результаты публикаций. Д. С. Куликов осуществлял сбор литературных данных, написание

и оформление статьи. Р. В. Уланова и Л. В. Чумикина в равной степени участвовали в сборе литературных источников и обсуждении результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

V.V. Kolpakova designed the research and analyzed the available publications. D.S. Kulikov collected literary data and wrote the manuscript. R.V. Ulanova and L.V. Chumikina collected literary sources and discussed the results.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Driving commitment for nutrition within the UN Decade of Action on Nutrition. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. 12 p.
2. Pulse proteins: from processing to structure-function relationships / A. Singhal [et al.] // Grain legumes / A. Goyal editor. InTech, 2016. P. 55–78. <https://doi.org/10.5772/64020>.
3. Innovative foods / P. Eisner [et al.] // Biological transformation / R. Neugebauer editor. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2019. P. 39–65. (In Ger.). https://doi.org/10.1007/978-3-662-58243-5_4.
4. Pruter T. Alternative crops for a traditional potato starch producer // 69th Starch Convention. Detmold, 2018. 35 p.
5. Зернобобовые культуры – важный фактор устойчивого экологически ориентированного сельского хозяйства / В. И. Зотиков [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. Т. 17. № 1. С. 6–13.
6. Бондаренко А. Н. Влияние ростостимулирующих препаратов на продуктивность и экономическую эффективность нута в условиях светло-каштановых солонцеватых почв Астраханской области // Аграрная Россия. 2019. № 1. С. 24–26. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-1-24-26>.
7. Singh A., Chahal H. S. Organic grain legumes in India: potential production strategies, perspective, and relevance // Legume crops – prospects, production and uses / M. Hasanuzzaman editor. IntechOpen, 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93077>.
8. Зотиков В. И., Сидоренко В. С., Грядунова Н. В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. Т. 26. № 2. С. 4–10. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>.
9. Посевные площади, валовые сборы и урожайность гороха в России. Итоги 2018 года. URL: <https://www.agro-al.ru/novosti-otrasli/Posevnye-ploshchadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-gorokha-v-Rossii-Itogi-2018-goda> (дата обращения: 15.12.2020).
10. Посевные площади, валовые сборы и урожайность нута в России. Итоги 2018 года. URL: <https://ab-centre.ru/news/posevnye-ploshchadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-nuta-v-rossii-itogi-2018-goda> (дата обращения: 15.12.2020).
11. Оценка перспективных сортообразцов гороха по качеству и взаимосвязь биохимических показателей с урожайностью и массой 1000 зерен / И. С. Браилова [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. Т. 35. № 3. С. 20–25. <https://doi.org/10.24411/2309-348x-2020-11180>.
12. Зиядов Э. О., Орипов Д. М., Вафоева М. Б. Показатели качества сортов и сортообразцов гороха на богаре // Инновационная наука. 2019. № 10. С. 23–26.
13. Biotechnological process for producing protein products from chickpeas with a high biological value / D. Kulikov [et al.] // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2020. Vol. 2020. № 6.1. P. 175–181. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/6.1/s25.023>.
14. Энергетические и белковые потребности: доклад Специального объединенного комитета экспертов ФАО/ВОЗ. М.: Медицина, 1974. 143 с.
15. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. 79 p.

16. Хабибулина Н. В., Красноштанова А. А., Адучиева В. Д. Получение очищенной альбуминовой фракции гороховой муки методом ультраконцентрирования с использованием плоских мембран // *Argiogi*. Серия: Естественные и технические науки. 2016. № 1. С. 1–10.
17. Панкина И. А., Борисова Л. М. Исследование набухания и растворимости сухих веществ семян зернобобовых культур // *Научный журнал НИУ ИТМО*. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2016. № 2. С. 13–20.
18. Roy F., Boye J. I., Simpson B. K. Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil // *Food Research International*. 2010. Vol. 43. № 2. P. 432–442. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.002>.
19. Dhaliwal S. K., Salaria P., Kaushik P. Pea seed proteins: a nutritional and nutraceutical update // *Grain and seed proteins functionality* / J. C. Jimenez-Lopez editor. IntechOpen, 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95323>.
20. Antioxidant properties, ACE/renin inhibitory activities of pigeon pea hydrolysates and effects on systolic blood pressure of spontaneously hypertensive rats / A. I. Olagunju [et al.] // *Food Science and Nutrition*. 2018. Vol. 6. № 7. P. 1879–1889. <https://doi.org/10.1002/fsn3.740>.
21. Gorecka D., Korezak J., Flaczyk E. Adsorption of bile acids and cholesterol by dry grain legume seeds // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2003. Vol. 12/53. № 1. P. 69–73.
22. Serventi L., Vittadini E., Vodovotz Y. Effect of chickpea protein concentrate on the loaf quality of composite soy-wheat bread // *LWT – Food Science and Technology*. 2018. Vol. 89. P. 400–402. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.012>.
23. Identification and characterization of antioxidant peptides from chickpea protein hydrolysates / C. Torres-Fuentes [et al.] // *Food Chemistry*. 2015. Vol. 180. P. 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.046>.
24. Tian S., Kyle W. S. A., Small D. M. Pilot scale isolation of proteins from field peas (*Pisum sativum* L.) for use as food ingredients // *International Journal of Food Science and Technology*. 1999. Vol. 34. № 1. P. 33–39. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1999.00236.x>.
25. Mondor M. Pea // *Pulses* / A. Manickavasagan, P. Thirunathan editors. Cham: Springer, 2020. P. 245–273. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41376-7_14.
26. Изучение процесса пневмокласификации гороховой муки на экспериментальной установке / Н. П. Андреев [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2017. № 11. С. 43–48.
27. Karaca A. C. Modification of legume proteins for improved functionality // *Grain and seed proteins functionality* / J. C. Jimenez-Lopez editor. IntechOpen, 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.96274>.
28. Pasupuleti V. K., Braun S. State of the art manufacturing of protein hydrolysates // *Protein hydrolysates in biotechnology* / V. K. Pasupuleti, A. L. Demain editors. Dordrecht: Springer, 2010. P. 11–32. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6674-0_2.
29. Karaca A. C., Low N., Nickerson M. Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction // *Food Research International*. 2011. Vol. 44. № 9. P. 2742–2750. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.012>.
30. Impact of impurities on carbon molecular sieve membranes for application in olefins units / M. Brayden [et al.] // *AIChE Ethylene Producers Conference Proceedings*. San Antonio, 2017. P. 454–465.
31. Boye J., Zare F., Pletch A. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed // *Food Research International*. 2010. Vol. 43. № 2. P. 414–431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>.
32. Белок из пшеничных отрубей VI. Проектирование сбалансированного состава пищевых композитов белково-жировой природы / В. В. Колпакова [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2001. № 11. С. 42–47.
33. Зерновые композиты с комплементарным аминокислотным составом для пищевых и кормовых целей / В. В. Колпакова [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2019. Т. 49. № 2. С. 301–311. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-301-311>.
34. Composition on the basis of plantbased proteins with the use of transglutaminase / V. Kolpakova [et al.] // *18 International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM: Conference proceedings*. Albena, 2018. P. 119–125. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/6.2/S25.016>.
35. Гайворонская И. С., Колпакова В. В. Белковые композиции из зерновых культур с повышенной биологической ценностью, синтезированные с ферментом транскляминазой // *Пищевая промышленность*. 2019. № 4. С. 28–29. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10013>.
36. Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying / İ. Tontul [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018. Vol. 109. P. 1253–1259. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.135>.
37. Егорова Е. Ю. «Немолочное молоко»: обзор сырья и технологий // *Ползуновский вестник*. 2018. № 3. С. 25–34. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.005>.
38. Klost M., Drusch S. Structure formation and rheological properties of pea protein-based gels // *Food Hydrocolloids*. 2019. Vol. 94. P. 622–630. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.030>.
39. Osen R., Schweiggert-Weisz U. High-moisture extrusion: meat analogues // *Reference Module in Food Science*. 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03099-7>.

40. Economic effect of innovative flour-based functional foods production / V. G. Lobanov [et al.] // Foods and Raw Materials. 2018. Vol. 6. № 2. P. 474–482. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-474-482>.
41. Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality / A. C. Y. Lam [et al.] // Food Reviews International. 2018. Vol. 34. № 2. P. 126–147. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1242135>.
42. Rheological and microstructural characterization of batters and sponge cakes fortified with pea proteins / M. Assad-Bustillos [et al.] // Food Hydrocolloids. 2020. Vol. 101. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105553>.
43. Bajaj P. R., Tang J., Sablani S. S. Pea protein isolates: Novel wall materials for microencapsulating flaxseed oil // Food and Bioprocess Technology. 2015. Vol. 8. № 12. P. 2418–2428. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1589-6>.
44. Казанцева И. Л., Кулеватова Т. Б., Злобина Л. Н. К вопросу применения муки из зерна нута в технологии мучных кондитерских изделий // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. Т. 25. № 1. С. 76–81.
45. Shrivastava C., Chakraborty S. Bread from wheat flour partially replaced by fermented chickpea flour: Optimizing the formulation and fuzzy analysis of sensory data // LWT – Food Science and Technology. 2018. Vol. 90. P. 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.019>.
46. Мирошник А. С., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И. Разработка технологии мясного рубленого полуфабриката полифункциональной направленности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 11. С. 26–29.
47. Use of insects and pea powder as alternative protein and mineral sources in extruded snacks / P. Garcia-Segovia [et al.] // European Food Research and Technology. 2020. Vol. 246. № 4. P. 703–712. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03441-y>.
48. Physical and sensory characterisation of noodles with added native and denatured pea protein isolate / M. S. M. Wee [et al.] // Food Chemistry. 2019. Vol. 294. P. 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.042>.
49. Design of microbial consortia for the fermentation of pea-protein-enriched emulsions / S. Ben-Harb [et al.] // International Journal of Food Microbiology. 2019. Vol. 293. P. 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.01.012>.
50. Application of de-lignified cellulose to enhance intracellular and extracellular lipid production from oleaginous yeast using acetic acid / J. C. Xu [et al.] // Bioresource Technology. 2019. Vol. 293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122032>.
51. Valorization of crude glycerol, residue deriving from biodiesel- production process, with the use of wild-type new isolated Yarrowia lipolytica strains: Production of Metabolites with Pharmaceutical and Biotechnological Interest / D. Sarris [et al.] // Current Pharmaceutical Biotechnology. 2019. Vol. 20. № 10. P. 881–894. <https://doi.org/10.2174/1389201020666190211145215>.
52. Production of carotenoids by *Rhodotorula toruloides* isolated from Brazilian tropical savannah / W. R. M. Machado [et al.] // International Food Research Journal. 2019. Vol. 26. № 4. P. 1259–1267.
53. Sweet corn stalk treated with *Saccharomyces cerevisiae* alone or in combination with *Lactobacillus plantarum*: Nutritional composition, fermentation traits and aerobic stability / X. L. Zhou [et al.] // Animals. 2019. Vol. 9. № 9. <https://doi.org/10.3390/ani9090598>.
54. Efficacy of *Saccharomyces cerevisiae* NBRC 0203, *Lactobacillus plantarum* NBRC 3070 and *Lactobacillus casei* NBRC 3425 as a technological additive (silage additive) for all animal species / V. Bampidis [et al.] // EFSA Journal. 2019. Vol. 17. № 4. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5700>.
55. Effects of yeast cultures with different fermentation times on the growth performance, caecal microbial community and metabolite profile of broilers / Z. Sun [et al.] // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2020. Vol. 104. № 1. P. 212–223. <https://doi.org/10.1111/jpn.13241>.
56. Effects of yeast culture on broiler growth performance, nutrient digestibility and caecal microbiota / Y. G. Zhen [et al.] // South African Journal of Animal Science. 2019. Vol. 49. № 1. P. 99–108. <https://doi.org/10.4314/sajas.v49i1.12>.
57. Live yeast supplementation improves rumen fibre degradation in cattle grazing tropical pastures throughout the year / D. O. Sousa [et al.] // Animal Feed Science and Technology. 2018. Vol. 236. P. 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.015>.
58. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield in Nili-Ravi buffaloes / M. I. Anjum [et al.] // Iranian Journal of Veterinary Research. 2018. Vol. 19. № 2. P. 96–100. <https://doi.org/10.22099/IJVR.2018.4852>.
59. Effect of indigenously isolated *Saccharomyces cerevisiae* probiotics on milk production, nutrient digestibility, blood chemistry and fecal microbiota in lactating dairy cows / G. Shakira [et al.] // Journal of Animal and Plant Sciences. 2018. Vol. 28. № 2. P. 407–420.
60. The effect of *Saccharomyces cerevisiae* live cells and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on the lactational performance of dairy cows / S. M. A. Sallam [et al.] // Animal Biotechnology. 2020. Vol. 31. № 6. P. 491–497. <https://doi.org/10.1080/10495398.2019.1625783>.
61. Кофейный шлам как сырье для получения кормовой добавки / Е. В. Башашкина [и др.] // Успехи химии и химической технологии. 2008. Т. 22. № 13 (93). С. 38–40.
62. Получение биологически активных добавок на основе обогащенной дрожжевой биомассы / Е. М. Серба [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 2. С. 74–79.

63. Effect of exogenous stress factors on the biosynthesis of carotenoids and lipids by *Rhodotorula* yeast strains in media containing agroindustrial waste / A. M. Kot [et al.] // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2019. Vol. 35. № 10. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2732-8>.

64. Production of *Aspergillus niger* biomass on sugarcane distillery wastewater: physiological aspects and potential for biodiesel production / G. ChuppaTostain [et al.] // Fungal Biology and Biotechnology. 2018. Vol. 5. № 1. P. 6–8. <https://doi.org/10.1186/s40694-018-0045-6>.

65. Heterogeneous submerged fermentation of a probiotic in media based on wheat flour and by-products of wheat starch production / B. A. Karetkin [et al.] // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2017. Vol. 17. № 61. P. 711–718. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/61/S25.093>.

66. Veganmycoprotein concentrate from peaprocessing industry byproduct using edible filamentous fungi / P. F. Souza Filho [et al.] // Fungal Biology and Biotechnology. 2018. Vol. 5. № 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40694-018-0050-9>.

References

1. Driving commitment for nutrition within the UN Decade of Action on Nutrition. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2018. 12 p.

2. Singhal A, Karaca AC, Tyler R, Nickerson M. Pulse proteins: from processing to structure-function relationships. In: Goyal A, editor. Grain legumes. InTech; 2016. pp. 55–78. <https://doi.org/10.5772/64020>.

3. Eisner P, Weisz U, Osen R, Mittermaier S. Innovative foods. In: Neugebauer R, editor. Biological transformation. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg; 2019. pp. 39–65. (In Ger.). https://doi.org/10.1007/978-3-662-58243-5_4.

4. Pruter T. Alternative crops for a traditional potato starch producer. 69th Starch Convention; 2018; Detmold. Detmold; 2018. p. 35.

5. Zotikov VI, Naumkina TS, Sidorenko VS, Gryadunova NV, Naumkin VV. Pulses as an important factor of sustainable ecologically oriented agriculture. Legumes and Groat Crops. 2016;17(1):6–13. (In Russ.).

6. Bondarenko AN. Effect of growth-stimulating preparations on productivity and economic efficiency of chickpea under the conditions of light chestnut saline soils of the Astrakhan oblast'. Agrarian Russia. 2019;(1):24–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-1-24-26>.

7. Singh A, Chahal HS. Organic grain legumes in India: potential production strategies, perspective, and relevance. In: Hasanuzzaman M, editor. Legume crops – prospects, production and uses. IntechOpen; 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93077>.

8. Zotikov VI, Sidorenko VS, Gryadunova NV. Development of production of leguminous crops in the Russian Federation. Legumes and Groat Crops. 2018;26(2):4–10. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>.

9. Posevnye ploschadi, valovye sbory i urozhaynost' gorokha v Rossii. Itogi 2018 goda [Acreage, gross harvest, and yield of peas in Russia in 2018] [Internet]. [cited 2020 Dec 15]. Available from: <https://www.agro-al.ru/novosti-otrasli/Posevnye-ploschadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-gorokha-v-Rossii-Itogi-2018-goda>.

10. Posevnye ploschadi, valovye sbory i urozhaynost' nuta v Rossii. Itogi 2018 goda [Acreage, gross harvest, and yield of chickpeas in Russia in 2018] [Internet]. [cited 2020 Dec 15]. Available from: <https://ab-centre.ru/news/posevnye-ploschadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-nuta-v-rossii-itogi-2018-goda>.

11. Brailova IS, Filatova IA, Yuryeva NI, Belousova YuV. Evaluation of perspective pea varieties by quality and relationship of biochemical indicators with yield and weight of 1000 grains. Legumes and Groat Crops. 2020;35(3):20–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2309-348x-2020-11180>.

12. Ziyadov EhO, Oripov DM, Vafoeva MB. Pokazateli kachestva sortov i sortoobraztsov gorokha na bogare [Quality indicators of varieties and cultivars of peas on bogara]. Innovation Science. 2019;(10):23–26. (In Russ.).

13. Kulikov D, Kolpakova V, Slozhenkina M, Ulanova R, Chumikina L. Biotechnological process for producing protein products from chickpeas with a high biological value. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2020;2020(6.1):175–181. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/6.1/s25.023>.

14. Ehnergeticheskie i belkovye potrebnosti: доклад Spetsial'nogo ob"edinennogo komiteta ehkspertov FAO/VOZ [Energy and Protein Requirements: Report of the FAO/WHO Ad Hoc Joint Expert Committee]. Moscow: Meditsina; 1974. 143 p. (In Russ.).

15. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2013. 79 p.

16. Khabibulina NV, Krasnostanova AA, Aduchieva VD. Obtaining of purified albumin fraction from pea flour using flat membranes ultrafiltration. Apriori. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Apriori. Series: Natural and Technical Sciences]. 2016;(1):1–10. (In Russ.).

17. Pankina IA, Borisova LM. Grain legumes' swelling and solubility of their dry solids. Scientific Journal NRU ITMO. Processes and Food Production Equipment. 2016;(2):13–20. (In Russ.).

18. Roy F, Boye JI, Simpson BK. Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil. Food Research International. 2010;43(2):432–442. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.002>.

19. Dhaliwal SK, Salaria P, Kaushik P. Pea seed proteins: a nutritional and nutraceutical update. In: Jimenez-Lopez JC, editor. *Grain and seed proteins functionality*. IntechOpen; 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95323>.
20. Olagunju AI, Omoba OS, Enujiugha VN, Alashi AM, Aluko RE. Antioxidant properties, ACE/renin inhibitory activities of pigeon pea hydrolysates and effects on systolic blood pressure of spontaneously hypertensive rats. *Food Science and Nutrition*. 2018;6(7):1879–1889. <https://doi.org/10.1002/fsn3.740>.
21. Gorecka D, Korezak J, Flaczyk E. Adsorption of bile acids and cholesterol by dry grain legume seeds. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2003;12/53(1):69–73.
22. Serventi L, Vittadini E, Vodovotz Y. Effect of chickpea protein concentrate on the loaf quality of composite soy-wheat bread. *LWT – Food Science and Technology*. 2018;89:400–402. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.012>.
23. Torres-Fuentes C, Contreras MDM, Recio I, Alaiz M, Vioque J. Identification and characterization of antioxidant peptides from chickpea protein hydrolysates. *Food Chemistry*. 2015;180:194–202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.046>.
24. Tian S, Kyle WSA, Small DM. Pilot scale isolation of proteins from field peas (*Pisum sativum* L.) for use as food ingredients. *International Journal of Food Science and Technology*. 1999;34(1):33–39. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1999.00236.x>.
25. Mondor M. Pea. In: Manickavasagan A, Thirunathan P, editors. *Pulses*. Cham: Springer; 2020. pp. 245–273. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41376-7_14.
26. Andreev NR, Kovalyonok VA, Nosovskay LP, Adikaeva LV, Goldstein VG. The study of the process of air classification of pea flour in a pilot plant. *Storage and Processing of Farm Products*. 2017;(11):43–48. (In Russ.).
27. Karaca AC. Modification of legume proteins for improved functionality. In: Jimenez-Lopez JC, editor. *Grain and seed proteins functionality*. IntechOpen; 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.96274>.
28. Pasupuleti VK, Braun S. State of the art manufacturing of protein hydrolysates. In: Pasupuleti VK, Demain AL, editors. *Protein hydrolysates in biotechnology*. Dordrecht: Springer; 2010. pp. 11–32. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6674-0_2.
29. Karaca AC, Low N, Nickerson M. Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International*. 2011;44(9):2742–2750. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.012>.
30. Brayden M, Xu L, Barbay G, Koros WJ. Impact of impurities on carbon molecular sieve membranes for application in olefins units. *AIChE Ethylene Producers Conference Proceedings*; 2017; San Antonio. San Antonio: American Institute of Chemical Engineers; 2017. p. 454–465.
31. Boye J, Zare F, Pletch A. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*. 2010;43(2):414–431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>.
32. Kolpakova VV, Martynova IV, Severinenko SM, Nechaev AP, Berman YuK, Belok iz pshenichnykh otrubey VI. Proektirovanie sbalansirovannogo sostava pishchevykh kompozitov belkovo-zhirovoy prirody [Wheat bran VI protein. Designing a balanced composition of protein-fat food composites]. *Storage and Processing of Farm Products*. 2001;(11):42–47. (In Russ.).
33. 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.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-301-311>.
34. Kolpakova V, Gaivoronskaya E, Gulakova V, Sardzhveladze A. Composition on the basis of plantbased proteins with the use of transglutaminase. *18 International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM: Conference proceedings*; 2018; Albena. Albena: STEF92 Technology; 2018. p. 119–125. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/6.2/S25.016>.
35. Gaivoronskaya IS, Kolpakova VV. Creation of multicomponent protein compositions with increased biological value with the use of transglutaminase. *Food Industry*. 2019;(4):28–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10013>.
36. Tontul İ, Kasimoglu Z, Asik S, Atbakan T, Topuz A. Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018;109:1253–1259. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.135>.
37. Egorova EYu. “Nemolochnoe moloko”: obzor syr’ya i tekhnologiy [“Non-dairy milk”: an overview of raw materials and technologies]. *Polzunovskiy Vestnik*. 2018;(3):25–34. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.005>.
38. Klost M, Drusch S. Structure formation and rheological properties of pea protein-based gels. *Food Hydrocolloids*. 2019;94:622–630. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.030>.
39. Osen R, Schweiggert-Weisz U. High-moisture extrusion: meat analogues. *Reference Module in Food Science*. 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03099-7>.
40. Lobanov VG, Slepokurova YuI, Zharkova IM, Koleva TN, Roslyakov YuF, Krasteva AP. Economic effect of innovative flour-based functional foods production. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(2):474–482. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-474-482>.
41. Lam ACY, Can Karaca A, Tyler RT, Nickerson MT. Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International*. 2018;34(2):126–147. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1242135>.

42. Assad-Bustillos M, Jonchère C, Garnier C, Réguerre AL, Della Valle G. Rheological and microstructural characterization of batters and sponge cakes fortified with pea proteins. *Food Hydrocolloids*. 2020;101. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105553>.
43. Bajaj PR, Tang J, Sablani SS. Pea protein isolates: Novel wall materials for microencapsulating flaxseed oil. *Food and Bioprocess Technology*. 2015;8(12):2418–2428. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1589-6>.
44. Kazantseva IL, Kulevatova TB, Zlobina LN. About of chickpea flour application in flour confectionery technology. *Legumes and Groat Crops*. 2018;25(1):76–81. (In Russ.).
45. Shrivastava C, Chakraborty S. Bread from wheat flour partially replaced by fermented chickpea flour: Optimizing the formulation and fuzzy analysis of sensory data. *LWT – Food Science and Technology*. 2018;90:215–223. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.019>.
46. Miroshnik AS, Gorlov IF, Stozhenkina MI. Development of technology of functional chopped meat semi-finished product. *Storage and Processing of Farm Products*. 2017;(11):26–29. (In Russ.).
47. Garcia-Segovia P, Igual M, Noguerol AT, Martínez-Monzó J. Use of insects and pea powder as alternative protein and mineral sources in extruded snacks. *European Food Research and Technology*. 2020;246(4):703–712. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03441-y>.
48. Wee MSM, Loud DE, Tan VWK, Forde CG. Physical and sensory characterisation of noodles with added native and denatured pea protein isolate. *Food Chemistry*. 2019;294:152–159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.042>.
49. Ben-Harb S, Saint-Eve A, Panouillé M, Souchon I, Bonnarme P, Dugat-Bony E, et al. Design of microbial consortia for the fermentation of pea-protein-enriched emulsions. *International Journal of Food Microbiology*. 2019;293:124–136. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.01.012>.
50. Xu JC, Zhang M, He T, Luo H, Peng K, Huang X, et al. Application of de-lignified cellulose to enhance intracellular and extracellular lipid production from oleaginous yeast using acetic acid. *Bioresource Technology*. 2019;293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122032>.
51. Sarris D, Sampani Z, Rapti A, Papanikolaou S. Valorization of crude glycerol, residue deriving from biodiesel- production process, with the use of wild-type new isolated *Yarrowia lipolytica* strains: Production of Metabolites with Pharmaceutical and Biotechnological Interest. *Current Pharmaceutical Biotechnology*. 2019;20(10):881–894. <https://doi.org/10.2174/1389201020666190211145215>.
52. Machado WRM, Silva LG, Vanzela ESL, Del Bianchi VL. Production of carotenoids by *Rhodotorula toruloides* isolated from Brazilian tropical savannah. *International Food Research Journal*. 2019;26(4):1259–1267.
53. Zhou XL, Ouyang Z, Zhang X, Wei Y, Tang S, Ma Z, et al. Sweet corn stalk treated with *Saccharomyces cerevisiae* alone or in combination with *Lactobacillus plantarum*: Nutritional composition, fermentation traits and aerobic stability. *Animals*. 2019;9(9). <https://doi.org/10.3390/ani9090598>.
54. Bampidis V, Azimonti G, de Lourdes Bastos M, Christensen H, Dusemund B, Kouba M, et al. Efficacy of *Saccharomyces cerevisiae* NBRC 0203, *Lactobacillus plantarum* NBRC 3070 and *Lactobacillus casei* NBRC 3425 as a technological additive (silage additive) for all animal species. *EFSA Journal*. 2019;17(4). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5700>.
55. Sun Z, Wang T, Aschalew ND, Zhao W, Chen X, Zhang X-F, et al. Effects of yeast cultures with different fermentation times on the growth performance, caecal microbial community and metabolite profile of broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2020;104(1):212–223. <https://doi.org/10.1111/jpn.13241>.
56. Zhen YG, Zhao W, Chen X, Li LJ, Lee HG, Zhang XF, et al. Effects of yeast culture on broiler growth performance, nutrient digestibility and caecal microbiota. *South African Journal of Animal Science*. 2019;49(1):99–108. <https://doi.org/10.4314/sajas.v49i1.12>.
57. Sousa DO, Oliveira CA, Velasquez AV, Souza JM, Chevaux E, Mari LJ, et al. Live yeast supplementation improves rumen fibre degradation in cattle grazing tropical pastures throughout the year. *Animal Feed Science and Technology*. 2018;236:149–158. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.015>.
58. Anjum MI, Javaid S, Ansar MS, Ghaffar A. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield in Nili-Ravi buffaloes. *Iranian Journal of Veterinary Research*. 2018;19(2):96–100. <https://doi.org/10.22099/IJVR.2018.4852>.
59. Shakira G, Qubtia M, Ahmed I, Hasan F, Anjum MI, Imran M. Effect of indigenously isolated *Saccharomyces cerevisiae* probiotics on milk production, nutrient digestibility, blood chemistry and fecal microbiota in lactating dairy cows. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 2018;28(2):407–420.
60. Sallam SMA, Abdelmalek MLR, Kholif AE, Zahran SM, Ahmed MH, Zeweil HS, et al. The effect of *Saccharomyces cerevisiae* live cells and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on the lactational performance of dairy cows. *Animal Biotechnology*. 2020;31(6):491–497. <https://doi.org/10.1080/10495398.2019.1625783>.
61. Bashashkina EV, Pashinina EA, Pashinin AE, Suyasov NA. Kofeynyy shlam kak syr'e dlya polucheniya kormovoy dobavki [Coffee sludge as a raw material for a feed additive]. *Uspekhi khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology]. 2008;22(13)(93):38–40. (In Russ.).
62. Serba EM, Sokolova EN, Fursova NA, Volkova GS, Borshheva YuA, Kurbatova EI, et al. Obtaining biologically active additives based on enriched yeast biomass. *Storage and Processing of Farm Products*. 2018;(2):74–79. (In Russ.).

63. Kot AM, Błażej S, Kieliszek M, Gientka I, Bryś J, Reczek L, et al. Effect of exogenous stress factors on the biosynthesis of carotenoids and lipids by *Rhodotorula* yeast strains in media containing agroindustrial waste. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2019;35(10). <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2732-8>.
64. ChuppaTostain G, Hoarau J, Watson M, Adelar L, Sing ASC, Caro Y, et al. Production of *Aspergillus niger* biomass on sugarcane distillery wastewater: physiological aspects and potential for biodiesel production. *Fungal Biology and Biotechnology*. 2018;5(1):6–8. <https://doi.org/10.1186/s40694-018-0045-6>.
65. Karetkin BA, Panfilov VI, Panfilova EV, Khromova NY, Shakir IV. Heterogeneous submerged fermentation of a probiotic in media based on wheat flour and by-products of wheat starch production. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*. 2017;17(61):711–718. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/61/S25.093>.
66. Souza Filho PF, Nair RB, Andersson D, Lennartsson PR, Taherzadeh MJ. Veganmycoprotein concentrate from peaprocessing industry byproduct using edible filamentous fungi. *Fungal Biology and Biotechnology*. 2018;5(1):1–10. <https://doi.org/10.1186/s40694-018-0050-9>.