

Научная статья

УДК 615.36.332: 612.392.398

DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-2-29-36

Эффективность ударно-дизинтеграторно-активаторной и ферментативной обработки в технологии белковых гидролизатов из полножирной соевой муки

А.П. Жданова^{1*}, Н.В. Баракова^{1,2}, А.С. Басковцева¹, М.А. Челомбиткин¹, Е.А. Самоделкин³¹Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, *zhdanovaganna26@yandex.ru²Санкт-Петербургский государственный технологический институт, Россия, Санкт-Петербург³НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», Россия, Санкт-Петербург

Аннотация. Исследовали влияние ударно-дизинтеграторно-активаторной обработки (УДА-обработки) семян сои на окислительные процессы в полножирной соевой муке. Установлено, что при хранении муки, полученной после УДА-обработки, кислотное число повышается медленнее, чем в муке после обработки сои на измельчителе с роторно-ножевым рабочим органом (РНО-обработка). Через месяц хранения муки, произведенной двумя разными способами обработки, разница в кислотном числе муки в сторону преимущества УДА-обработки, составила 1,7%, через 4 месяца – 34% и через 12 месяцев – 31,3%. Через 12 месяцев хранения муки кислотное число в полножирной муке, полученной после УДА-обработки семян сои, увеличилось на 54%, а в муке после РНО-обработки повысилось в два раза. Снижение скорости окисления жиров обосновывается более высоким содержанием в муке фенольных веществ – антиоксидантов. В муке, полученной после УДА-обработки, на 27,4% больше фенольных веществ, чем в муке после РНО-обработки. Исследовано влияние УДА-обработки на эффективность действия ферментов различной субстратной специфичности. УДА-обработка семян сои обеспечивает ферментам амилолитического, целлюлолитического и протеолитического действия более активное участие в ферментативном гидролизе. В гидролизатах после УДА-обработки содержание белка и аминокислот было выше в сравнении с образцами после РНО-обработки. Показано, что в случае УДА-обработки семян сои для получения в гидролизате большего количества растворимого белка и аминокислот необходимо применять ксиланазу и комплекс из ксиланазы и протеазы. В случае РНО-обработки необходимо вносить комплекс из альфа-амилазы и протеазы. Полученные результаты показывают эффективность УДА-обработки сои в технологии белковых гидролизатов и могут быть использованы при получении белковых гидролизатов из других бобовых и зерновых культур.

Ключевые слова: переработка сои; полножирная соевая мука; гидролизаты соевого белка; ударно-дизинтеграторно-активаторная обработка; ферментативная обработка; фенольные вещества; кислотное число

Original article

The efficiency of impact-disintegration-activation and enzymatic processing in protein hydrolysate technology from full-fat soy flour

Anna P. Zhdanova^{1*}, Nadezhda V. Barakova^{1,2}, Angelina S. Baskovtceva¹, Mikhail A. Chelombitkin¹, Evgeniy A. Samodelkin³¹ITMO University, St. Petersburg, Russia, *zhdanovaganna26@yandex.ru²Saint-Petersburg State Institute of Technology, St. Petersburg, Russia³Research Center "Kurchatov Institute" – Central Research Institute of KM "Prometey", St. Petersburg, Russia

Abstract. The impact of impact-disintegration-activation processing (IDAP) of soybeans on oxidative processes in full-fat soy flour has been studied. It was found that during the storage of flour obtained after IDAP, the acidity value increases slowly compared to the flour obtained after processing soybeans with a rotor-blade mill processing (RBMP). After 1 month of storage, the difference in acidity value between the two processing methods favored IDAP by 1.7%, after 4 months of storage – by 34%, and after 12 months of storage – by 31.3%. After 12 months of storage, the acidity value in full-fat soy flour obtained after IDAP increased by 54%, while in the flour obtained after RBMP, it doubled. The reduction in the rate of lipid oxidation is justified by the higher content of phenolic compounds – antioxidants in the flour obtained after IDAP. The flour obtained after IDAP contains 27.4% more phenolic compounds than the flour obtained after RBMP. The impact of IDAP on the effectiveness of enzymes with different substrate specificity has been investigated. IDAP of soybeans ensures more active participation of amylolytic, cellulolytic, and proteolytic enzymes in enzymatic hydrolysis. The protein and amino acid content in hydrolysates after IDAP was higher compared to samples after RBMP. It has also been shown that in the case of IDAP of soybeans, xylanase, and a complex of xylanase and protease are necessary to obtain a higher content of soluble protein and amino acids in the hydrolysate. In the case of RBMP of soybeans, a complex of alpha-amylase and protease should be added. All the results obtained during the study demonstrate the effectiveness of IDAP of soybeans in the technology of protein hydrolysates. These findings are also applicable to the production of protein hydrolysates from other legumes and cereals.

Keywords: soybean processing; full-fat soy flour; soy protein hydrolysates; impact-disintegration-activation processing; enzymatic processing; enzymatic treatment; phenolic compounds; acidity value

Введение

Недостаток белка в рационе может вызвать серьезные нарушения в организме человека, поэтому создание пищевых продуктов, обогащенных растительным белком, является актуальной задачей [1].

Из растительных белков особенно ценится соевый белок – высококачественный по аминокислотному составу, растворимости и усвояемости. Помимо основных глобулиновых белков, соя также содержит водорастворимые альбумины, жиры, углеводы, минеральные соли, макро- и микроэлементы [2, 3].

Наибольшее содержание растительного белка обычно обнаруживается в концентратах (не менее 70% протеинов) и изолятах (не менее 85–90% протеинов), которые получают из соевых шротов. При их производстве белки отделяют от нерастворимых полисахаридов и безазотистых экстрактивных веществ. Затем из концентратов и изолятов продуцируют гидролизованные белки. На российском рынке до недавнего времени изоляты соевых белков в основном представляли зарубежные компании, а ферментативные гидролизаты соевых белков практически отсутствовали [4].

В последние годы производители кормовой продукции проявляют значительный интерес к полножирной соевой муке, которая, в отличие от обезжиренной соевой муки, получается из цельных семян сои. Процесс ее получения включает несколько технологических операций. Сначала происходит термическая обработка семян сои, затем операции отделения оболочки (40%), отделения зародыша (10%) и дробление семядоли (50%). Дробление осуществляется двумя способами: на мельницах грубого помола, где размер частиц составляет до 0,5 мм, и на вихревых мельницах, где размер частиц имеет от 5 до 25 мкм. Этот процесс обеспечивает получение полножирной соевой муки с сохранением значительного содержания жира, что делает ее ценным источником энергии и питательных веществ [5].

Полножирная соевая мука богата питательными веществами. В среднем, она содержит около 40% сырого протеина, 20% жира и 7% сырой клетчатки. Соевый жир, присутствующий в составе муки, содержит значительное количество лецитина (более 55%), растительных стеролов и ненасыщенных жирных кислот. Полножирная соевая мука также содержит достаточное количество крахмала, витаминов группы В, С и Е, а также провитамина А. Усвояемость соевого белка, который содержит набор всех незаменимых аминокислот, составляет от 88 до 98% [6].

С точки зрения химического состава полножирная мука не уступает соевому шроту и жмыху, которые традиционно используются в кормлении животных, включая аквакультуру и птиц [7]. С учетом большой энергетической ценности перспективно рассмотреть применение полножирной соевой муки и в технологии белковых гидролизатов для пищевой промышленности.

Важным компонентом в составе полножирной муки помимо белка является жир, который представляет собой концентрированную форму обменной энергии. В составе жира соевой муки преобладают ненасыщенные жирные кислоты, включая линолевую кислоту в диапазоне от 50 до 55%, линоленовую кислоту от 6 до 10%, а также арахидоновую кислоту в содержании от 0,2 до 0,5%. Эти жирные кислоты играют важную роль в питании человека, так как являются необходимыми для поддержания здоровья сердечно-сосудистой системы, нормального функционирования мозга и предотвращения воспалительных процессов в организме [8]. В процессе хранения муки происходит окисление липидного комплекса, что приводит к распаду до первичных и вторичных продуктов, которые накапливаются в муке [9], снижая энергетическую ценность продукта. Кроме того, в результате окислительных реакций в муке могут образовываться такие опасные для здоровья человека и животных соединения, как перекиси липидов и альдегиды, которые могут иметь токсические свойства и негативно влиять на функции организма при их длительном употреблении. Помимо этого, окисление жиров приводит к изменениям в органолептических свойствах продукта, таких как вкус, аромат и текстура, что снижает его качество.

Фенольные вещества являются натуральными антиоксидантами, которые широко распространены в растительных продуктах и, в частности в сое. Они способны замедлять окислительные реакции, защищая жиры от распада и образования токсичных веществ. Фенольные соединения нейтрализуют свободные радикалы, ингибируют ферменты окисления и укрепляют структуру клеточных компонентов, что помогает сохранить энергетическую ценность и органолептические характеристики продукта [10]. Современные технологии получения гидролизатов предлагают гидролиз высокомолекулярных

компонентов проводить с применением ферментов [11]. В процессе ферментативной модификации соевого белка повышается пищевая ценность готового продукта и его функциональные свойства.

Изменение химического состава и функциональных свойств гидролизатов происходит и при УДА-обработке сырья, что установлено ранее проведенными экспериментами [12, 13]. В связи с этим целесообразно исследовать приготовление белковых гидролизатов из полножирной соевой муки с применением ферментных препаратов и УДА-обработки семян сои.

Цель данной работы – изучить влияние ударно-дезинтеграторно-активаторной обработки семян сои на окислительные процессы и действие ферментов при получении белковых гидролизатов, исследовать влияние ферментных препаратов различной субстратной специфичности на показатели качества белковых гидролизатов из полножирной соевой муки.

Объекты и методы исследований

Исследовали семена сои (Красный дракон) в вакуумных упаковках, импортированные из Китая и приобретенные в Санкт-Петербурге. Семена сои обрабатывали двумя способами: на ударно-дезинтеграторно-активаторной установке и на измельчителе с роторно-ножевым рабочим органом. Для УДА-обработки использовали установку типа DESI-11 (ООО «Дезинтегратор», Эстония) с применением шестирядных роторов с частотой вращения 210 с^{-1} . Этот способ обеспечивает тонкое измельчение и, следовательно, высокую удельную поверхность, создающую условие для более полного ферментативного гидролиза высокомолекулярных компонентов. РНО-обработку семян сои проводили на измельчителе Gemlux GL-CG (ООО «Сэлдом», Россия) с частотой вращения ротора 20500 об/мин.

Содержание сырого протеина определяли методом Кьельдаля, сырого жира – методом исчерпывающей экстракции в аппарате Сокслета.

Массовую долю влаги определяли методом высушивания до постоянной массы на анализаторе влажности Shimadzu MOC120H (Япония).

Показатель кислотного числа жира определяли следующим образом: пробу полножирной муки в количестве 2,5 г помещали в коническую колбу объемом 50 см^3 , заливали 15 см^3 этанола с массовой концентрацией 96%. Плотно закрывали колбу резиновой пробкой и перемешивали содержимое в течение 40 мин с помощью магнитной мешалки при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$, затем содержимое колбы переносили в центрифужную пробирку объемом 15 см^3 и центрифугировали в течение 4 мин при 1500 об/мин. Надосадочную жидкость переносили пипеткой в коническую колбу на 50 см^3 , добавляли $0,1 \text{ см}^3$ спиртового раствора фенолфталеина с массовой концентрацией 1,5%. Далее содержимое колбы оттитровывали 0,1 н раствором калия гидроксида в течение 1–2 мин до бледно-розового цвета, используя оранжевый фильтр, для избавления от желтой окраски при перемене цвета индикатора. В контрольной пробе надосадочную жидкость заменяли этанолом 96%. Фиксировали затраченный объем раствора калия гидроксида с точностью до $0,05 \text{ см}^3$. Кислотное число жира, выраженное в миллиграммах калия гидроксида (мг КОН) на 100 г сухого вещества, определяли по формуле

$$X = \frac{8415 \cdot (V_1 - V_0) \cdot c}{m} \cdot \frac{100}{100 - W},$$

где X – кислотное число жира в исследуемом продукте, мг КОН/100 г;

c – концентрация экстракта, определенная в моль на дм^3 использованного метрического раствора калия гидроксида;

m – масса исследуемой навески, г;

V_1 – объем раствора калия гидроксида, использованного при определении, см^3 ;

V_0 – объем раствора калия гидроксида, использованного при измерении контрольной пробы, см^3 ;

W – содержание влаги в исследуемой пробе, %;

8415 – постоянная величина для калия гидроксида калия ($56,1 \cdot 1,5 \cdot 100$).

Фенольные вещества в полножирной муке определяли модифицированным методом Фолина–Чокальтеу [14]. Массовую концентрацию фенольных веществ определяли по калибровочному графику [15].

Для определения гидромодуля при приготовлении гидролизатов из полножирной соевой муки готовили образцы с разным соотношением муки и воды (гидромодулем): 1:2, 1:2,5 и 1:3 и по коэффициенту динамической вязкости был выбран гидромодуль. Коэффициент динамической вязкости определяли

на вискозиметре VISKO BasicPlus (Испания) при использовании шпинделя R3 со скоростью вращения 6 об/сек. Измерение проводилось при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Гидролизаты готовили на водяной бане LOIP LB-163 (АО «Лоип», Россия) при температуре 60°C и постоянном перемешивании замесов с использованием механических мешалок, время выдержки – 2 ч, гидромодуль 1:2,5.

Ферментативную обработку замесов из полножирной соевой муки проводили с применением ферментных препаратов производства ООО «Сиббиофарм» (Россия): АмилоЛюкс (альфа-амилаза, активность 2000 ед/см^3 , доза внесения $\text{min } 0,4 \text{ ед/г сырья}$, $\text{max } 1,0 \text{ ед/г сырья}$); ЦеллоЛюкс-А (ксиланаза, целлюлаза, активность 4500 ед/см^3 , доза внесения $\text{min } 0,1 \text{ ед/г сырья}$, $\text{max } 0,2 \text{ ед/г сырья}$), Протосубтилин Г3х (протеаза кислая, активность 120 ед/см^3 , доза внесения $\text{min } 0,07 \text{ ед/г сырья}$, $\text{max } 0,1 \text{ ед/г сырья}$) и ферментного препарата Phytaflow (фитаза, активность 20000 ед/см^3 , доза внесения 20 ед/г сырья) производителя Novozymes (Дания).

Водорастворимый белок определяли методом Лоури, свободные аминокислоты (FAN) – определением альфа-аминного азота с нингидрином.

Фитиновую кислоту определяли модифицированным методом Вайда [16].

Влияние ферментных препаратов на содержание водорастворимого белка определяли построением полного факторного эксперимента (ПФЭ) типа 2^n , где n – число факторов варьирования. X_1 – доза внесения альфа-амилазы; X_2 – доза внесения ксиланазы; X_3 – доза внесения протеазы.

Для проведения статистического анализа использовался критерий Стьюдента $t_{0,95}$. Вычисления и статистические расчеты осуществляли с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В полножирной соевой муке в отличие от обезжиренной содержится высокое количество жира. При ее хранении под действием окислительных процессов образуются продукты окисления, приводящие к прогорканию вкуса и аромата. Веществами, которые обладают антиокислительными свойствами, являются фенольные вещества [17]. В полножирной муке, полученной разными способами обработки семян сои, определяли содержание фенольных веществ (таблица 1).

Таблица 1. Химический состав полножирной муки, полученный при разных способах обработки семян сои
Table 1. The chemical composition of full-fat flour obtained by different methods of soybean seeds processing

Вид обработки семян сои	Показатели				
	массовая доля влаги, %	массовая доля сырого протеина на сухие вещества, %	массовая доля сырого жира, %	массовая доля фитиновой кислоты, мг/г	массовая доля фенольных веществ, мг/%
УДА-обработка	$5,5 \pm 0,2$	$33,2 \pm 0,2$	$21,4 \pm 0,2$	$0,12 \pm 0,2$	$11,7 \pm 0,2$
РНО-обработка	$6,0 \pm 0,2$	$28,9 \pm 0,2$	$20,6 \pm 0,2$	$0,27 \pm 0,2$	$8,5 \pm 0,3$

Результаты исследования, представленные в таблице 1, показывают, что содержание фенольных веществ в полножирной муке, полученной после УДА-обработки семян сои на 27,4% выше, чем в муке после РНО-обработки.

Изменение кислотного числа в процессе хранения полножирной муки, полученной разными способами обработки семян, представлено в таблице 2.

Таблица 2. Изменение кислотного числа полножирной соевой муки в процессе хранения
Table 2. Changes in the acidity value of full-fat soy flour during storage

Вид обработки семян сои	Кислотное число полножирной соевой муки, мг КОН/100 г		
	время хранения полножирной соевой муки, мес.		
	1	4	12
УДА-обработка	$35,8 \pm 0,1$	$53,5 \pm 0,1$	$55,0 \pm 0,1$
РНО-обработка	$36,4 \pm 0,1$	$71,7 \pm 0,1$	$72,2 \pm 0,1$

Из результатов, представленных в таблице 2, видно, что в процессе хранения полножирной муки, полученной после УДА-обработки сои, окислительные процессы жиров протекают медленнее, чем в полножирной муке, полученной после РНО-обработки. Кислотное число в муке, полученной

после УДА-обработки, через месяц хранения было на 1,7% ниже, чем в муке, полученной после РНО-обработки, а после 4 и 12 месяцев хранения – на 34 и 31,3% соответственно. Кислотное число в полножирной муке, полученной после УДА-обработки семян сои через 12 месяцев хранения относительно первоначального значения увеличилось на 54%, а в муке, полученной после РНО-обработки повысилось в два раза. Разницу между окислительными процессами, протекающими в полножирной соевой муке, можно объяснить тем, что в муке, полученной после УДА-обработки сои, содержание фенольных веществ, обладающих антиокислительными свойствами, выше, чем в муке, полученной после РНО-обработки. Фенольные вещества ингибируют окисление линолевой кислоты, входящей в состав жира полножирной муки [18]. Полученные результаты свидетельствуют о преимуществах УДА-обработки перед РНО-обработкой.

При приготовлении гидролизатов важным показателем является гидромодуль – соотношение сырья и воды. Выбор гидромодуля при приготовлении гидролизатов из полножирной муки проводили по значению коэффициента динамической вязкости замесов (таблица 3).

Таблица 3. Коэффициент динамической вязкости замесов из полножирной соевой муки, полученной после УДА-обработки сои

Table 3. The coefficient of dynamic viscosity of dough made from full-fat soy flour obtained after IDAP of soybeans

Наименование образцов	Коэффициент динамической вязкости, мПа/с
замес полножирной муки с гидромодулем 1:2	16721 ± 3
замес полножирной муки с гидромодулем 1:2,5	5047 ± 7
замес полножирной муки с гидромодулем 1:3	804 ± 4

Результаты эксперимента, представленные в таблице 3, показывают, что для получения белкового гидролизата из полножирной соевой муки оптимальным является гидромодуль 1:2,5, т. к. при гидромодуле 1:2 вязкость замеса была высокой, что в дальнейшем отрицательно сказывается на эффективности действия ферментов, при гидромодуле 1:3 получаемая консистенция замеса при концентрировании гидролизата и сушке требует большой расход энергии для удаления влаги.

При получении белковых гидролизатов важным показателем является содержание водорастворимого белка и количество аминокислот. Для формирования белкового профиля гидролизатов исследовали, какой ферментный препарат какой субстратной специфичности наибольшим образом влияет на эти компоненты: АмилоЛюкс, ЦеллоЛюкс-А и Протосубтилин Гзх согласно ПФЭ 2³. Процесс влияния ферментных препаратов на изменение вязкости замесов представлен в таблице 4.

Таблица 4. Оценка влияния различных дозировок ферментных препаратов и УДА-обработки полножирной соевой муки в технологии приготовления гидролизатов

Table 4. Assessment of the influence of various dosages of enzyme preparations and IDAP of full-fat soy flour in the technology of hydrolysate preparation

№ образца	Дозы внесения ферментов			Гидролизаты полножирной муки, после УДА-обработки сои		Гидролизаты полножирной муки, после РНО-обработки сои	
	X ₁ альфа-амилаза, ед/г сырья	X ₂ ксиланаза, ед/г сырья	X ₃ протеаза, ед/г сырья	общий белок, мг/см ³	FAN, мг/дм ³	общий белок, мг/см ³	FAN, мг/дм ³
1	0,4	0,1	0,07	1,2 ± 0,07	254 ± 1,3	0,5 ± 0,06	104 ± 1,1
2	1,0	0,1	0,07	1,4 ± 0,06	233 ± 1,0	0,6 ± 0,06	108 ± 1,0
3	0,4	0,2	0,07	1,5 ± 0,09	202 ± 1,0	0,6 ± 0,05	134 ± 1,5
4	1,0	0,2	0,07	1,4 ± 0,09	236 ± 1,1	1,1 ± 0,09	188 ± 1,3
5	0,4	0,1	0,1	0,9 ± 0,06	212 ± 1,4	0,4 ± 0,05	173 ± 1,6
6	1,0	0,1	0,1	0,7 ± 0,05	233 ± 1,7	0,5 ± 0,07	203 ± 1,8
7	0,4	0,2	0,1	1,6 ± 0,09	294 ± 2,4	1,1 ± 0,08	198 ± 1,9
8	1,0	0,2	0,1	2,0 ± 0,10	292 ± 1,9	1,1 ± 0,09	218 ± 1,8

По результатам, представленным в таблице 4, составлены уравнения регрессии:

$$Y_{\text{бел}}(\text{УДА}) = 1,34 + 0,03x_1 + 0,28x_2 - 0,04x_3 + 0,03x_1x_2 + 0,19x_2x_3 + 0,01x_1x_3 + 0,12x_1x_2x_3; \quad (1)$$

$$Y_{\text{бел}}(\text{РНО}) = 0,74 + 0,1x_1 + 0,23x_2 + 0,025x_3 + 0,04x_1x_2 + 0,09x_2x_3 - 0,05x_1x_3 - 0,08x_1x_2x_3. \quad (2)$$

Анализируя результаты, представленные в уравнениях (1) и (2), можно сделать вывод, что содержание водорастворимого белка выше в гидролизате, приготовленном из полножирной соевой муки без внесения ферментов и полученном после УДА-обработки (1,34 мг/см³), чем после РНО-обработки (0,74 мг/см³). При внесении ферментов на выход водорастворимого белка больше всего влияет фермент ксиланаза и сочетание ферментов ксиланаза и протеаза при обоих способах обработки семян.

$$Y_{\text{амин}}(\text{УДА}) = 244 + 3,8x_1 + 11,4x_2 + 13,4x_3 + 3,8x_1x_2 + 23,8x_2x_3 + 0,8x_1x_3 - 9,6x_1x_2x_3; \quad (3)$$

$$Y_{\text{амин}}(\text{РНО}) = 166 + 13,5x_1 + 18,7x_2 + 32,2x_3 + 5x_1x_2 - 1x_2x_3 - 8,5x_1x_3 - 7,5x_1x_2x_3. \quad (4)$$

Из анализа уравнений (3) и (4) видно, что содержание аминокислот выше в гидролизате, приготовленном из полножирной соевой муки без внесения ферментов, полученном после УДА-обработки (244 мг/дм³), чем после РНО-обработки семян сои (166 мг/см³). При внесении ферментов и УДА-обработке на выход аминокислот больше всего влияет фермент протеаза и сочетание ферментов ксиланазы и протеазы, а при РНО-обработке – протеаза и сочетание ферментов альфа-амилазы и ксиланазы (ферментов, снижающих вязкость замесов). Из этого следует вывод: чтобы получить белковый гидролизат из полножирной муки с высоким содержанием аминокислот, необходимо обеспечить низкую вязкость замесов из полножирной соевой муки. Вязкость замесов будет зависеть от вида обработки семян сои [19].

Заключение

В ходе исследования проанализировано воздействие различных методов обработки семян сои на процесс получения полножирной соевой муки. Выявлено, что применение ударно-дезинтеграторно-активаторного метода обработки способствует увеличению содержания фенольных веществ, которые влияют на окислительные процессы в муке, что положительно сказывается на сроках хранения продукта.

Показано, что обработка семян сои данным методом повышает содержание растворимого белка и аминокислот при получении белковых гидролизатов. Дополнительное внесение ферментов, включая ксиланазу и протеазу, увеличивает содержание водорастворимого белка и аминокислот, а регулирование их дозировки позволяет формировать необходимый белковый и аминокислотный профиль в конечных продуктах.

Данные результаты представляют важное значение для дальнейшего развития технологий производства белковых гидролизатов не только из семян сои, но и других бобовых культур, которые сейчас очень востребованы на рынке.

Литература

1. Компанцев Д.В., Попов А.В., Привалов И.М., Степанова Э.Ф. Белковый изоляты из растительного сырья: обзор современного состояния и анализ перспективных технологий получения белковых изолятов из растительного белка // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 1. С. 58–68.
2. Синеговская В.Т., Очкурова В.В., Синеговский М.О. Содержание белка и жира в семенах сортов сои различного генетического происхождения // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 5. С. 15–19. DOI: 10.31857/S250026272005004X
3. Типсина Н.Н., Батура Н.Г., Демидов Е.Л., Белошапкин М.С. Использование сои в производстве продуктов питания и перспективы развития применения соевых полуфабрикатов в производстве хлебобулочных изделий // Вестник КрасГАУ. 2021. № 1. С. 163–168. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-163-168
4. Зорин С.Н., Мазо В.К., Воробьева И.С., Воробьева В.М., Асафов В.А. Технология получения пептидного модуля на основе гидролизата соевого белка // Пищевая промышленность. 2017. № 10. С. 20–23.
5. Доценко С.М., Гужель Ю.А., Агафонов И.В., Ковалева Л.А., Волков С.П. Обоснование технологии и оборудования с целью получения соевого компонента для пищевых систем различного назначения // Вестник КрасГАУ. 2016. № 1. С. 84–90.
6. Егоров И.А., Вертипрахов В.Г., Ленкова Т.Н., Манукян В.А., Егорова Т.А., Грозина А.А., Никонов И.Н. Использование полножирной соевой муки в комбикормах для мясных кур исходных линий и цыплят-бройлеров селекции СГЦ «СМЕНА» // Аграрный научный журнал. 2019. № 12. С. 47–53. DOI: 10.28983/asj.y2019i12pp47-53

7. Муранова Т.А., Зинченко Д.В., Мирошников А.И. Гидролизаты соевых белков для стартовых кормов аквакультуры: поведение белков при ферментализе, композиционный анализ гидролизатов // Биоорганическая химия. 2019. Т. 45. № 4. С. 380–390. DOI: 10.1134/S0132342319030035
8. Савченко С.Ф., Савченко С.П., Дьяченко Ю.В. Кормовые продукты сои: проблема выбора // Вестник Омского гос. аграрн. ун-та. 2012. № 4. С. 39–46.
9. Гурьева К.Б., Козтева Е.Ф., Черенков А.А. Кислотное число жира как показатель качества пшеничной хлебопекарной муки // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 3. С. 5–9.
10. Шафигуллин Д.Р., Пронина Е.П., Гинс М.С., Солдатенко А.В. Предрасположенность накопления фенольных соединений у сои (*Glycine max* (L.) MERR) в зависимости от овощного направления использования // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 4. С. 22–24. DOI: 10.31857/S2500262720040055
11. Милорадова Е.В., Траубенберг С.Е., Бадичко Е.А., Иванушкин П.А. Исследование биохимических характеристик продуктов ферментативного гидролиза соевой муки // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. 2009. Т. 4. № 2. С. 89–94.
12. Самоделькин Е.А., Баракова Н.В., Дегтяренко Я.И., Мартыненко В.Е. Применение ударно-активаторно-дезинтеграторной обработки (УДА-обработки) для подготовки зернового сырья при конструировании продуктов питания с повышенной усвояемостью // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: сб. тр. СПб.: Изд-во Ун-та ИТМО, 2015. Т. 2. С. 247–250.
13. Sabirov A.A., Barakova N.V., Nsengumuremyi D., Samodelkin E.A. Enrichment of the grains from rye wort after shock-activator-disintegrating processing. *Agronomy Research*. 2019, V. 17, Is. 2, pp. 1424–1434. DOI: 10.15159/AR.19.031
14. Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Загоскина Н.В. Метод определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных экстрактах с реактивом Фолина-Дениса и реактивом Фолина-Чокальтеу: модификация и сравнение // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 291–299. DOI: 10.14258/jcrpm.2021028250
15. Аль-Ясари А.Х., Баракова Н.В., Басковцева А.С., Гунькова П.И., Фан Т., Оганнесян Ф.А. Влияние экстракта зеленого чая на процесс молочнокислого брожения и органолептические показатели ферментированного напитка на основе яблочного сока // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2023. № 4. С. 29–40. DOI: 10.17586/2310-1164-2023-16-4-29-40
16. Челомбиткин М.А., Баракова Н.В., Шарова Н.Ю., Басковцева А.С., Самоделькин Е.А. Эффективность применения фитаз и ударно-дезинтеграторно-активаторной обработки сои для снижения фитиновой кислоты в гидролизатах соевого белка. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2023. № 3. С. 3–10. DOI: 10.17586/2310-1164-2023-16-3-3-10
17. Жмурина Н.Д., Паршина Е.А., Баранчикова О.А. Влияние экстракта расторопши на процессы окисления белково-жировой композиции // Научные записки ОрелГИЭТ. 2016. № 2. С. 160–164
18. Ильина В.С., Соколова О.Б., Шуватова Е.Д., Аллох П., Мельчаков Р.М., Лепешкин А.И., Александрова И.В., Бараненко Д.А. Способ микроинкапсулирования масел, содержащих полиненасыщенные жирные кислоты, для использования в составе функциональных пищевых продуктов // Ползуновский вестник. 2023. № 2. С. 7–14. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.001
19. Сидоркин В.Ю. Влияние гранулометрического состава помола зерна на эффективную вязкость его водных суспензий при нагреве с высокой скоростью в спиртовом производстве // Пиво и напитки. 2016. № 1. С. 48–50

References

1. Kompantsev D.V., Popov A.V., Privalov I.M., Stepanova E.F. 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. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya*. 2016, no. 1, pp. 58–68. (In Russian)
2. Sinegovskaya V.T., Ochкурова V.V., Sinegovskiy M.O. Contents of protein and fat in soybean seeds of various genetic origin. *Russian Agricultural Sciences*. 2020, no. 5, pp. 15–19. DOI: 10.31857/S250026272005004X. (In Russian)
3. Tipsina N.N., Batura N.G., Demidov E.L., Beloshapkin M.S. The use of soy in the production of nutrition products and the prospects of the development of application of soy semi-finished products in bakery production. *Bulletin of KrasGAU*. 2021, no. 1, pp. 163–168. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-163-168. (In Russian)
4. Zorin S.N., Mazo V.K., Vorobyova I.S., Vorobyova V.M., Asafov V.A. The technology of producing the peptide of the module on the basis of the hydrolysate of soy protein. *Food Industry*. 2017, no. 10, pp. 20–23. (In Russian)
5. Dotsenko S.M., Guzhel' Y.A., Agafonov I.V., Kovalyova L.A., Volkov S.P. The justification technology and equipment to make soy components for food systems of various applications. *Bulletin of KrasGAU*. 2016, no. 1, pp. 84–90. (In Russian)
6. Egorov I.A., Vertiprakhov V.G., Lenkova T.N., Manukyan V.A., Egorova T.A., Grozina A.A., Nikonov I.N. Use of full-fat soy flour in mixed feeds for baseline's meat chickens and broiler chickens selecting by BGC "Smena". *The Agrarian Scientific Journal*. 2019, no. 12, pp. 47–53. DOI: 10.28983/asj.y2019i12pp47-53. (In Russian)
7. Muranova T.A., Zinchenko D.V., Miroshnikov A.I. Hydrolysates of soybean proteins for start feeds of aquaculture: behavior of proteins at fermentolysis, compositional analysis of hydrolyzates. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2019, V. 45, no. 4, pp. 380–390. DOI: 10.1134/S0132342319030035. (In Russian)

8. Savchenko S.F., Savchenko S.P., Djachenko Yu.V. Forage soybean products: the problem of choice. *Vestnik of Omsk SAU*. 2012, no. 4 (8), pp. 39–46. (In Russian)
9. Guryeva K.B., Kogteva E.F., Cherenkov A.A. Acid number of fat as an indicator of the wheat baking flour quality. *Storage and Processing of Farm Products*. 2017, no. 3, pp. 5–9. (In Russian)
10. Shafigullin D.R., Pronina E.P., Gins M.S., Soldatenko A.V. Predisposition of phenolic compounds accumulation in soybean (*Glycine max* (L.) MERR.) depending on the vegetable direction of use. *Russian Agricultural Sciences*. 2020, no. 4, pp. 22–24. DOI: 10.31857/S2500262720040055. (In Russian)
11. Miloradova E.V., Traubenberg S.E., Badichko E.A., Ivanushkin P.A. Study of biochemical characteristics of products obtained by enzymatic hydrolysis of soya flour. *Fine Chemical Technologies*. 2009, V. 4, no. 2, pp. 89–94. (In Russian)
12. Samodelkin E.A., Barakova N.V., Lunevskaya Y.I., Martinenko V.E. Drum-activation-disintegration processing for preparation of grains when designing food products with increased digestability. *Refrigeration and Food Technologies in the 21st Century*. Collection of works. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2015, V. 2, pp. 247–250. (In Russian)
13. Sabirov A.A., Barakova N.V., Nsengumuremyi D., Samodelkin E.A. Enrichment of the grains from rye wort after shock-activator-disintegrating processing. *Agronomy Research*. 2019, V. 17, Is. 2, pp. 1424–1434. DOI: 10.15159/AR.19.031
14. Nikolaeva T.N., Lapshin P.V., Zagoskina N.V. Method for determining the total content of phenolic compounds in plant extracts with Folin–Denis reagent and Folin–Chocalteu reagent: modification and comparison. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2021, no. 2, pp. 291–299. DOI: 10.14258/jcprm.2021028250. (In Russian)
15. Al-Yasari A.H., Barakova N.V., Baskovtceva A.S., Gunkova P.I., Phan Thi Hong L., Hovhannisyan P.A. Influence of green tea extract on the lactic acid fermentation process and organoleptic characteristics of fermented beverage based on apple juice. *Processes and Food Production Equipment*. 2023, no. 4, pp. 29–40. DOI: 10.17586/2310-1164-2023-16-4-29-40. (In Russian)
16. Barakova N.V., Chelombitkin M.A., Sharova N. Yu., Baskovtceva A.S., Samodelkin E.A. The efficiency of phytase and impact-disintegrator-activator processing of soybean for reducing phytic acid in soy protein hydrolysates. *Processes and Food Production Equipment*. 2023, no. 3, pp. 3–10. DOI: 10.17586/2310-1164-2023-16-3-3-10. (In Russian)
17. Zhmurina N.D., Parshina E.A., Baranchikova O.A. Influence of silymarin extract on the processes of protein-lipid composition oxidation. *Nauchnye Zapiski OrelGIET*. 2016, Is. 2, pp. 160–164. (In Russian)
18. Ilina V.S., Sokolova O.B., Shuvatova E.D., Alloh P., Melchakov R.M., Lepeshkin A.I., Aleksandrova I.V., Baranenkov D.A. Method for microencapsulation of oils containing polyunsaturated fatty acids for use in functional food products. *Polzunovskiy Vestnik*. 2023, no. 2, pp. 7–14. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.001. (In Russian)
19. Sidorkin V.Y. The Influence of grain-size distribution of grinding grain on the effective viscosity of its aqueous suspensions during heating with high speed in alcohol production. *Beer and Beverages*. 2016, no. 1, pp. 48–50. (In Russian)

Информация об авторах

Анна Петровна Жданова – магистрант факультета биотехнологий
Надежда Васильевна Баракова – канд. техн. наук, доцент, доцент факультета биотехнологий
Ангелина Станиславна Басковцева – аспирант факультета биотехнологий
Михаил Александрович Челомбиткин – аспирант факультета биотехнологий
Евгений Александрович Самodelкин – ведущий научный сотрудник

Information about the authors

Anna P. Zhdanova, Graduate Student of the Faculty of Biotechnology
Nadezhda V. Barakova, Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Faculty of Biotechnology
Angelina S. Baskovtceva, Postgraduate Student of the Faculty of Biotechnology
Mikhail A. Chelombitkin, Postgraduate Student of the Faculty of Biotechnology
Evgeniy A. Samodelkin, Leading Researcher

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 12.04.2024

Одобрена после рецензирования 23.05.2024

Принята к публикации 27.05.2024

The article was submitted 12.04.2024

Approved after reviewing 23.05.2024

Accepted for publication 27.05.2024