

Научная статья

УДК 577.152.32:582.736

DOI: 10.17586/2310-1164-2023-16-3-3-10

## Эффективность применения фитазы и ударно-дизинтеграторно-активаторной обработки сои для снижения фитиновой кислоты в гидролизатах соевого белка

М.А. Челомбиткин<sup>1\*</sup>, Н.В. Баракова<sup>1</sup>, Н.Ю. Шарова<sup>2</sup>, А.С. Басковцева<sup>1</sup>, Е.А. Самоделкин<sup>3</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, \*mchelombitkin@gmail.com<sup>2</sup>ВНИИ пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН  
Россия, Санкт-Петербург<sup>3</sup>НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», Россия, Санкт-Петербург

**Аннотация.** Исследовали влияние фитазы и ударно-дизинтеграторно-активаторной обработки (УДА-обработки) сои при получении белкового гидролизата из полножирной соевой муки на снижение фитиновой кислоты в гидролизате. Изучали образцы полножирной соевой муки, полученной при УДА-обработке и на измельчителе с роторно-ножевым рабочим органом (РНО-обработка). УДА-обработку сои проводили на дезинтеграторной установке DEZI-11 с использованием шестирядных роторов с частотой вращения 210 с<sup>-1</sup>. РНО проводили на измельчителе Gemlux GL-CG с частотой вращения ротора 20500 об/мин. Ферментативную обработку замеса полножирной соевой муки и воды (гидромодуль 1:6) проводили ферментным препаратом *Phytaflow* (активность 20000 ед./см<sup>3</sup>) с дозой внесения фитазы 20; 40; 60 и 80 ед./г полножирной соевой муки, при температуре 50°C в течение 120 мин. Установлено, что конструкция рабочего органа измельчителя влияет на степень деструкции сои, содержание фитиновой кислоты в полножирной соевой муке, эффективность действия фитазы при получении белкового гидролизата. Содержание фитиновой кислоты в полножирной соевой муке, полученной после УДА-обработки, составило 0,118 мг/г; в полножирной соевой муке, полученной после РНО-обработки, – 0,265 мг/г муки, то есть более чем в 2 раза выше. Установлено, что фитаза эффективнее снижает содержание фитиновой кислоты в белковом гидролизате, полученном после УДА-обработки сои, чем в белковом гидролизате, полученном после РНО-обработки, в среднем в 1,5 раза. Гипотеза о влиянии УДА-обработки сои на эффективность снижения фитиновой кислоты и ферментативного гидролиза фитазой была подтверждена. Снижение фитиновой кислоты в полножирной соевой муке и в белковых гидролизатах, полученных из нее, позволяет создавать функциональные продукты питания с высокой перевариваемостью и биодоступностью белка и увеличивать дозы включения полножирной соевой муки в стартовые корма животных, птиц, аквакультур.

**Ключевые слова:** переработка сои; полножирная соевая мука; гидролизаты соевого белка; снижение фитиновой кислоты; ударно-дизинтеграторно-активаторная обработка; фитаза

Original article

## The efficiency of phytase and impact-disintegrator-activator processing of soybean for reducing phytic acid in soy protein hydrolysates

Nadezhda V. Barakova<sup>1</sup>, Mikhail A. Chelombitkin<sup>1\*</sup>, Natalia Yu. Sharova<sup>2</sup>, Angelina S. Baskovtceva<sup>1</sup>, Evgeniy A. Samodelkin<sup>3</sup><sup>1</sup>ITMO University, St. Petersburg, Russia, \*mchelombitkin@gmail.com<sup>2</sup>All-Russia Research Institute for Food Additives – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS  
St. Petersburg, Russia<sup>3</sup>Research Center "Kurchatov Institute" – Central Research Institute of KM "Prometey", St. Petersburg, Russia

**Abstract.** The efficiency of phytase and impact-disintegrator-activator processing (IDAP) of soybean in obtaining protein hydrolysate from full-fat soybean flour to reduce phytic acid in the hydrolysate was shown. For the experiments, samples of full-fat soybean flour were used, obtained through soybean processing using two different methods: impact disintegration-activation processing (IDAP) and a grinder with a rotor-knife working element (RKP – rotor-knife processing). The IDAP of soybeans was conducted using a DEZI-11 disintegrator unit with six-row rotors rotating at a frequency of 210 s<sup>-1</sup>. The RKP was carried out using a Gamlux GL-CG mill with a rotor rotation frequency of 20500 rpm. Enzymatic treatment of the mixture of full-fat soybean flour and water (with a water-to-material ratio of 1:6) was performed using the enzyme preparation *Phytaflow* (with an activity of 20000 U/cm<sup>3</sup>), with different dosages of phytase added: 20; 40; 60, and 80 U/g of full-fat soybean flour. The enzymatic treatment was conducted at a temperature of 50°C for a duration of 120 minutes. As a result of the studies, it was found that the design of the working body of the chopper affects the degree of soybean degradation, the content of phytic acid in full-fat soybean meal, and the efficiency of phytase action in obtaining protein hydrolysate. The content of phytic acid in full-fat soybean meal obtained after processing on the impact-disintegrator-activator type unit is 12% lower than in full-fat soybean meal obtained after processing on the grinder with

a rotary knife working body. Phytase was found to decrease the phytic acid content in protein hydrolysate obtained after processing soybeans with the impact-disintegrator-activator unit more effectively than in protein hydrolysate obtained after processing soybeans with the shredder with the rotary knife-type working body. The hypothesis of the effect of IDAP soybean on the efficiency of phytic acid reduction and enzymatic phytase hydrolysis was confirmed and showed a high degree of significance. The reduction of phytic acid in full-fat soybean meal and protein hydrolysates obtained from it is of great practical importance as it allows to create functional foods with high digestibility and protein bioavailability and to increase the doses of inclusion of full-fat soybean meal in starter feeds of animals, birds, and aquaculture.

**Keywords:** soybean processing; full-fat soy flour; soy protein hydrolysates; phytic acid reduction; impact disintegration-activation processing; phytase

## Введение

Гидролиз биополимеров, в частности белков, широко используется при производстве продуктов питания, в медицине, ветеринарии и микробиологической промышленности. Важным источником белка для человека и животных являются соевые белки, гидролизаты которых включаются в рецептуры пищевых продуктов и стартовых кормов для животных, птиц и аквакультуры [1].

Гидролиз белков можно проводить с применением химических реагентов – кислот и щелочей, но наиболее актуальным способом на сегодняшний день является ферментативный гидролиз [2], который улучшает функциональные свойства гидролизатов и их питательную ценность. В процессе ферментативного гидролиза за счет преобразования гликозидов в агликаны, повышения антиоксидантных и иммунорегуляторных свойств, растет биоактивность соевых белков [3].

Для повышения качества белковых гидролизатов необходимо повысить переваримость белка: снизить содержание антипитательных веществ-ингибиторов трипсина, лектинов, сапонинов, фитиновой кислоты. Фитиновая кислота проявляет сильные хелатные свойства, снижает питательную ценность соевой муки за счет связывания ионов таких металлов, как натрий, калий, кальций, магний, медь, железо и особенно цинк [4]. Кроме того, она может образовывать стабильные комплексы с белками, что затрудняет их доступность для желудочно-кишечного пищеварения. Фитиновая кислота является источником фосфора, крайне важного микроэлемента для организма человека.

Существуют разные способы снижения содержания фитиновой кислоты [5], которые можно разделить на физические – замачивание при комнатной температуре, обработка давлением (экструзия); термические – микронизация, поджаривание, кипячение замоченного зерна, автоклавирование, СВЧ-обработка; биохимические – проращивание, обработка ферментными препаратами.

Но термическая обработка может отрицательно сказаться на качестве продукта, т. к. стимулирует реакцию Майяра – превращение аминокислот в специфические альдегиды. Альдегиды образуются в результате дегидратации аминокислот с разветвленной боковой цепью (изолейцина, валина, лейцина), в итоге формируется «солодовый вкус». Более того, происходит реакция Штреккера – взаимодействие дикарбоновых промежуточных продуктов реакции Майяра и аминокислот, идет процесс разрушения аминокислот и образования пиризиннов и альдегидов, появляется «капустный», плесневый, химический запах. При температурной обработке теряются такие аминокислоты, как L-лизин, L-аргинин, L-цистеин. Конечные продукты реакции Майяра (меланоидины) ухудшают усвояемость белка в организме, а также могут обладать мутагенными свойствами.

Ферментные препараты можно применять для ускорения физических или биохимических процессов, например, используя цитолитические ферменты на стадии замачивания [6] или проращивания [7, 8] зерна.

Для снижения содержания фитиновой кислоты в зерне и бобовых эффективно применять фитазу, ее можно вносить как на стадии замачивания семян, так и на стадии приготовления замесов при получении гидролизатов [9]. Обработка фитазой может снизить количество фитиновой кислоты в муке из бобовых до 89% от всей фитиновой кислоты. Известно, что снижение содержания фитиновой кислоты может изменить и растворимость белка в сторону увеличения. Важно отметить, что ферментативная деградация фитиновой кислоты значительно увеличивает перевариваемость белков, входящих в состав бобов, повышает высвобождение свободного аминного азота на первой стадии пищеварения (желудочная фаза) [10].

Для повышения эффективности действия ферментов и фитазы, в том числе на стадии приготовления замесов для гидролизатов, необходимо обеспечивать тщательное измельчение сырья до внутриклеточного уровня. Такую глубокую деструкцию возможно осуществить применяя специальные измельчающие устройства кавитационного типа при мокром помоле, либо ударно-дезинтеграторно-активаторное воздействие при сухом.

Белковые гидролизаты, как правило, готовят из обезжиренной соевой муки или из соевых изолятов [11]. Недостатком соевых изолятов является сохранение в них фитиновой кислоты [12].

В последнее время растет интерес к применению в стартовых культурах для животных [13] полножирной соевой муки [14], в которой сохраняется такой важный компонент, как жирные кислоты, входящие в состав мембранных структур клеток и выполняющие в организме человека жизненно важные функции [15].

Наличие в сое фосфолипидов, токоферолов, изофлавонов, витаминов группы В, некоторых макро- и микроэлементов в количествах, превосходящих другие культуры, позволяет считать ее необходимым компонентом для лечебно-профилактического питания. Потребление сои в объеме 100 г в сутки может полностью удовлетворить потребность человека в полиненасыщенных жирных кислотах, изофлавонов, нерастворимых пищевых волокнах, витаминах (В<sub>1</sub>, Е, К, β-каротине, биотине, фолиевой кислоте), минеральных элементах (калии, железе, марганце, кремнии, кобальте), а в объеме 150–250 г – во всех аминокислотах при отсутствии других источников белка в рационе, в том числе и белка животного происхождения. Актуальным вопросом остается проблема разработки технологии получения соевых гидролизатов из полножирной соевой муки.

Цель данной работы – исследовать влияние фитазы и ударно-дезинтеграторно-активаторной обработки сои на содержание фитиновой кислоты в белковых гидролизатах из полножирной соевой муки.

### Объекты и методы исследований

Характеристика сырья и ферментных препаратов: семена сои были приобретены в магазине «Красный дракон» (Санкт-Петербург), ввезены из Китая, хранились в вакуумных упаковках по 500 г; ферментный препарат *Phytaflow*, содержащий фитазу, предоставлен фирмой Novozymes (Дания). Фермент содержит фитазу (6-фитаза) и катализирует реакцию: мио-инозитол-гексакисфосфат + Н<sub>2</sub>О => 1L-мио-инозитол-1,2,3,4,5-пентакисфосфат + фосфат, а также гидролиз низших инозитолфосфатов, активность фитазы – 20000 ед/см<sup>3</sup>. Фитат натрия CAS No.:14306-25 -3, приобретен в магазине «Сигма», чистота > 90%.

Семена сои обрабатывали двумя способами: на установке ударно-дезинтеграторно-активаторного действия и на измельчителе с роторно-ножевым рабочим органом. Для УДА-обработки применялись дезинтеграторные мельницы – разновидность ударно-центробежных машин, состоящих из дисков, вращающихся на большой скорости в противоположные стороны, с рядами концентрических штифтов. Загружаемый материал попадает в центр, откуда он, проходя через все штифты измельчался, и уже в состоянии порошка оказывался на крайних стенках.

УДА-обработку семян сои проводили на дезинтеграторной установке типа DEZI-11 с шестьюрядными роторами с частотой вращения 210 с<sup>-1</sup>, что обеспечивало крайне тонкое измельчение и как следствие, высокую удельную поверхность – важное условие для протекания химической реакции. РНО-обработку проводили на измельчителе Gemlux GL-CG с частотой вращения ротора 20500 об/мин.

Гранулометрический состав полножирной соевой муки определяли на лазерном дифрактометре Malvern Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, Великобритания). Распределение по размерам частиц в полножирной соевой муке после УДА- и РНО-обработки представлены в таблице, из которой видно, что УДА-обработка сои обеспечивает более мелкое измельчение, чем РНО-обработка. Размер частиц при РНО-обработке от 0 до 500 мкм составляет 62,2%, а частиц от 0 до 100 мкм – 13,12%. Размер частиц при УДА-обработке от 0 до 500 мкм составляет 99,9%, а частиц с размером от 0 до 100 мкм – 56,13%. Более мелкое измельчение сои позволяет эффективнее проводить ферментативный гидролиз и извлекать из полножирной соевой муки необходимые компоненты, в том числе белки, что очень важно при приготовлении гидролизатов соевого белка.

Таблица. Гранулометрический состав полножирной муки, полученной после УДА- и РНО-обработки  
 Table. Granulometric composition of full-fat flour obtained after IDAP and RKP

Размер частиц, мкм	Распределение частиц по размеру, %	
	УДА-обработка	РНО-обработка
0–10	7,91	1,91
10–50	34,67	7,25
50–100	13,55	3,96
100–200	16,89	9,71
200–500	26,92	39,37
500–1000	0,36	35,14
более 1000	–	2,5

Пробы сои после УДА- и РНО-обработки отмеривали в количестве 10 г по массе сухого вещества, помещали в химический стакан, после чего доводили до объема так, чтобы соотношение сухой массы муки к воде составило 1:6. Затем вносили фитазу в количестве 20; 40; 60 и 80 ед./г сырья. Ферментативный гидролиз проводили при постоянном перемешивании на водяной бане при температуре 50°C. Каждые 30; 60; 90 и 120 мин отбирали пробы для измерения содержания фитиновой кислоты.

Количество фитиновой кислоты определяли по модифицированному методу Вайда [16], основанному на способности фитиновой кислоты связывать ионы железа. Соевый раствор титровали смесью тиоцианата аммония с хлоридом железа, все концентрации сохранены как в оригинальном методе. Однако, в этом случае количество фитиновой кислоты измеряли титрованием до появления слабожелтого оттенка. Это означает, что фитиновая кислота не способна отнимать железо из комплекса и раствор окрашивается. Калибровочную кривую выстраивали по фитату натрия в соляной кислоте в концентрации 1 мг/мл. Благодаря образованию труднорастворимого комплекса железо замещает натрий из реакции. При приближении к пределу насыщения наблюдается мутноватый белый осадок фитата железа, который при определенных условиях может мешать фотометрическому определению.

Для изучения содержания фитиновой кислоты в пробах построена калибровочная кривая по раствору фитиновой кислоты заданной концентрации (рисунок 1), сформировано уравнение

$$x = \frac{y - 108,33}{5000},$$

где  $x$  – количество фитиновой кислоты, мг/г;

$y$  – объем раствора для титрации, мкл.

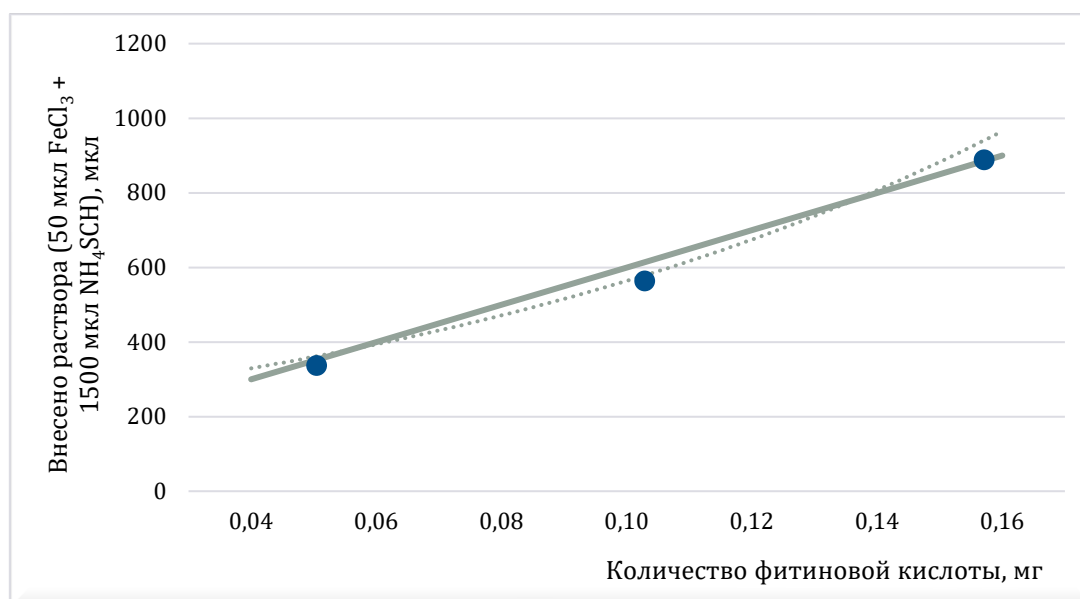


Рисунок 1 – Калибровочная кривая фитиновой кислоты ( $y = 5000x + 108,33$ ;  $R_2 = 0,9967$ )

Figure 1. Calibration curve of phytic acid

## Результаты и обсуждение

Содержание фитиновой кислоты в полножирной соевой муке, полученной после УДА-обработки, составило 0,118 мг/г муки, после РНО-обработки – 0,265 мг/г муки, что больше более, чем в два раза и свидетельствует об эффективности УДА-обработки сои.

Результаты измерения содержания фитиновой кислоты в процессе ферментативного гидролиза замеса, полученного путем УДА-обработки сои для разных концентраций фермента, представлены на рисунке 2.

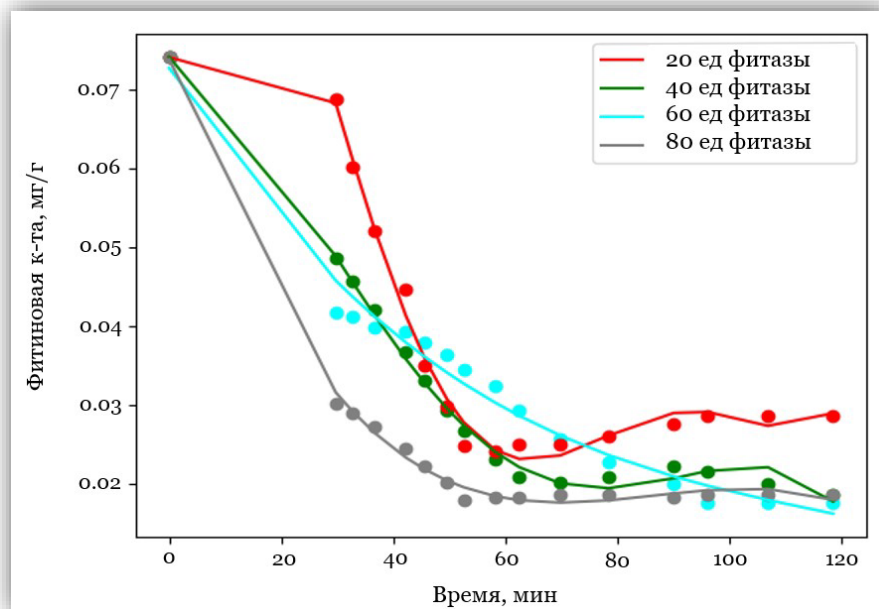


Рисунок 2. Содержание фитиновой кислоты в пробах, приготовленных из полножирной муки, полученной при УДА-обработке сои

Figure 2. The phytic acid content in samples prepared from full-fat flour obtained by IDAP of soybeans

На рисунке 3 представлены результаты измерений для замеса, полученного путем РНО-обработки сои.

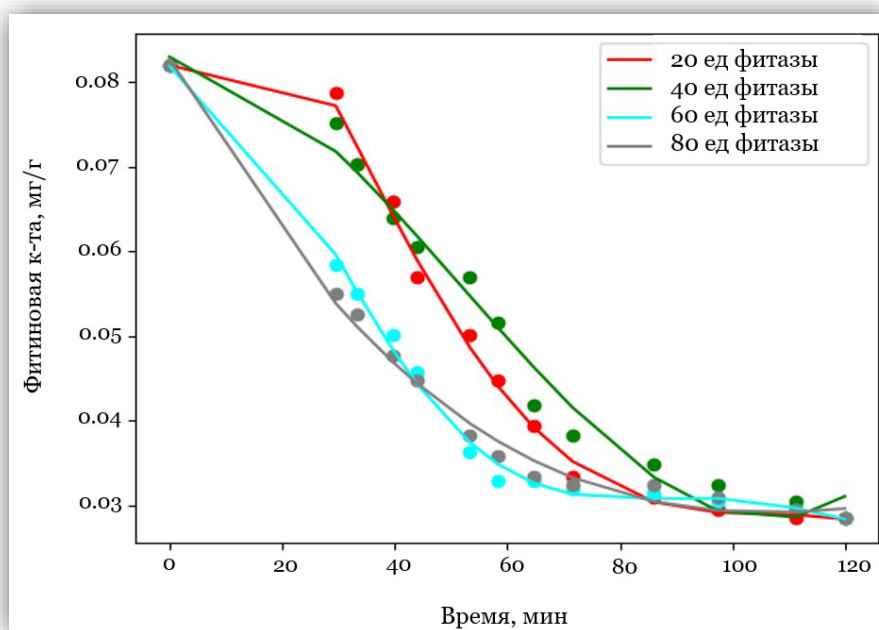


Рисунок 3. Содержание фитиновой кислоты в пробах, приготовленных из полножирной муки, полученной при РНО-обработке сои

Figure 3. The phytic acid content in samples prepared from full-fat flour obtained by RKP of soybeans

Таблица 2. Содержание фитиновой кислоты в пробах УДАО и пробах РНО  
Table 2. The phytic acid content in samples of IDAP and RKP

Количество фитиновой кислоты в замесе, мг/г

Время, мин	Доза внесения фитазы, ед/г							
	20		40		60		80	
	УДА	РНО	УДА	РНО	УДА	РНО	УДА	РНО
30	0,068	0,078	0,048	0,075	0,042	0,058	0,030	0,055
60	0,028	0,055	0,022	0,052	0,035	0,035	0,018	0,035
90	0,025	0,035	0,022	0,035	0,018	0,032	0,018	0,032
120	0,025	0,028	0,018	0,028	0,018	0,025	0,018	0,028

Из таблицы следует, что наименьшее значение фитиновой кислоты в замесе в количестве 0,018 мг/г достигается при УДА-обработке сои, при дозе внесения фитазы 40 ед./г сырья и длительности ферментативной обработки в течение 120 мин или при дозе фитазы 60 ед./г сырья и 90 мин обработки, или при 80 ед./г сырья и 60 мин обработки. Необходимо отметить, что такое количество фитиновой кислоты не достигается в замесе, полученном при РНО-обработке сои, что говорит об эффективности УДА-обработки.

При РНО-обработке сои наименьшее значение фитиновой кислоты в замесе 0,025–0,028 мг/г было получено при дозе внесения фитазы 20 ед./г сырья и длительности ферментативной обработки 120 мин или при 40 ед./г сырья и 120 мин обработки или при 60 ед./г сырья и 90 мин обработки или при 80 ед./г сырья и 120 мин обработки.

Прослеживается зависимость между дозой внесения фермента и длительностью ферментативной обработки: повышая дозу внесения фермента, можно снижать время ферментативной обработки замеса. Однако иногда повышение дозы внесения фермента не приводит к желаемому результату. При высокой концентрации фермента активность фермента может снизиться.

Необходимо отметить, что при всех дозах внесения фитазы в замесах из полножирной соевой муки, полученной после УДА-обработки сои, скорость снижения содержания фитиновой кислоты выше, чем в замесах, приготовленных из полножирной соевой муки, полученной после РНО-обработки, в среднем более чем в 1,5 раза. Это может быть связано с тем, что растворение фитиновой кислоты происходит значительно легче и полноценнее, облегчая и ускоряя тем самым реакцию ферментативного катализа. Важно, что различия в значениях фитиновой кислоты между пробами, полученными различными способами измельчения, заметны и статистически значимы. Содержание фитиновой кислоты становится ниже у замеса после УДА-обработки сои.

По результатам экспериментов можно утверждать, что способ обработки значительно влияет на содержание фитиновой кислоты в соевом замесе. Так при 30-минутной ферментации и одинаковой дозе внесенного фермента количество фитиновой кислоты для пробы, проведенной УДА-обработкой составило 0,068 мг, а для роторно-ножевого измельчения – 0,078 мг.

Из данных также следует, что ферментативный гидролиз не выгодно проводить более 60 мин при концентрации фермента 60 единиц и более для всех способов измельчения, однако при наиболее низких концентрациях фермента для роторно-ножевого измельчения снижение содержания фитиновой кислоты наблюдается и к 120 мин.

Следует предположить, что влияние способа измельчения в первую очередь отражается на скорости протекания ферментативного гидролиза. Основываясь на данных результатах, можно подобрать оптимальный режим гидролиза в зависимости от того, какие ресурсы на данный момент являются наиболее ценными. Если это время ферментации, то следует применять УДА-обработку и вносить большее количество фермента, если нет возможности применять УДА, и фермент необходимо сохранить, но время не является лимитирующим фактором, допустимо проводить более продолжительный гидролиз, однако доза внесения фермента может быть меньшей.

## Заключение

В работе рассмотрен новый способ снижения содержания фитиновой кислоты в бобовых культурах – УДА-обработка. Данный способ отличается от существующих (обжаривание, замачивание, СВЧ-обработка)

более мягкими режимами, максимально сохраняющими биологически активные вещества, входящие в состав растительного сырья, а также меньшими затратами на электроэнергию. При УДА-обработке сои не только снижается содержание фитиновой кислоты в муке, но и повышается скорость ферментативного гидролиза при внесении фитазы во время приготовления белковых гидролизатов из полножирной соевой муки, что дает возможность разработки ресурсосберегающей технологии. В дальнейшем целесообразно аналогично исследовать другие бобовые и зерновые культуры.

Результаты, полученные в процессе экспериментов, показали эффективность применения УДА-обработки сои и открывают широкие возможности включения УДА-обработанного зернобобового сырья в рецептуры пищевых продуктов и стартовых кормов для животных.

## Литература

1. Муранова Т.А., Зинченко Д.В., Мирошников А.И. Гидролизаты соевых белков для стартовых кормов аквакультуры: поведение белков при ферментализации, композиционный анализ гидролизатов // Биоорганическая химия. 2018. Т. 45. № 4. С. 380–390. DOI: 10.1134/S0132342319030035
2. Максимюк Н.Н., Марьяновская Ю.В. О преимуществах ферментативного способа получения белковых гидролизатов // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 1. С. 34–35.
3. Sun X.D. Enzymatic hydrolysis of soy proteins and the hydrolysates utilisation. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2011. V. 46, no. 12, pp. 2447–2459. DOI:10.1111/j.1365-2621.2011.02785.x
4. Молчанова Е.Н., Линник К.А. Фитиновая кислота в зерновых и зернобобовых: вред или польза // Прогрессивные технологии в индустрии питания: сб. тр. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та пищевых произ., 2016. С. 94–96.
5. Фролов В.Ю., Сысоев Д.П., Класнер Г.Т., Горб С.С. Классификация способов инактивации антипитательных веществ // Word Science. 2016. V. 1, no. 4, pp. 39–43.
6. Челомбиткин М.А., Баракова Н.В., Басковцева А.С., Нечитайло А.В. Применение ферментного препарата Ultraflo Max на стадии замачивания семян сои для снижения содержания фитиновой кислоты и ее солей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2021. № 3. С. 60–64. DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-2-60-65
7. Сапунова Л.И., Тамкович И.О., Мороз И.В. Влияние предпосевной ферментативной обработки на прорастание семян пшеницы // Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование – рекомендации – практические результаты: сб. тр. Минск: Изд-во Белорус. гос. ун-та, 2018. С. 168–169.
8. Зорин С.Н. Ферментативные гидролизаты пищевых белков и органические комплексы эссенциальных микроэлементов на их основе // Вопросы питания. 2009. Т. 76. № 6. С. 60–66.
9. Римарева Л.В., Оверченко М.Б., Сербя Е.М., Игнатова Н.И., Шелехова Н.В. Конверсия полимеров пшеницы и кукурузы под влиянием фитолитических и протеолитических ферментов // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 2. С. 374–383. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.2.374rus
10. Rosa-Sibakov N., Re M., Karsma A., Laitila A., Nordlund E. Phytic acid reduction by bioprocessing as a tool to improve the in vitro digestibility of faba bean protein. *J. Agric. Food Chem.* 2018. V. 66, no. 40, pp. 10394–10399. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b02948
11. Милорадова Е.В., Иванушкин П.А., Ананьев А.А., Траубенберг С.Е., Софьин А.В. Сравнительное изучение ферментативных гидролизатов изолированного соевого белка и соевой муки методом SE-HPLC // Вестник МИТХТ. 2010. Т. 5. № 2. С. 82–87.
12. Компанцев Д.В., Попов А.В., Привалов И.М., Степанова Э.Ф. Белковые изоляты из растительного сырья: обзор современного состояния и анализ перспектив развития технологии получения белковых гидролизатов из растительного сырья // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 1. С. 58–69.
13. Егоров И.А., Вертипрахов В.Г., Ленкова Т.Н., Егорова Т.А., Манукян В.А., Грозина А.А., Никонов И.Н. Использование полножирной соевой муки в комбикормах для мясных кур исходных линий селекции СГЦ «Смена» // Международный вестник ветеринарии. 2019. № 2. С. 67–74.
14. 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. 84–91.
15. Петрова Н.В., Метельская В.А., Соколов Е.И., Шукина Г.Н., Фомина В.М. Пищевые жирные кислоты. Влияние на риск болезней кровообращения // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2011. Т. 7. № 5. С. 620–627.
16. Землянухина О.А., Вепренцев В.Н., Калаев В.Н., Аль-Хачами Ф.Р.Х., Калаева Е.А., Славский В.А. Модификация метода Вэйда для количественного определения содержания фитина в эндосперме ореха // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2018. № 3. С. 163–169.

## References

1. 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. *Bioorganic Chemistry*. 2018, V. 45, no. 4, pp. 380–390. DOI: 10.1134/S0132342319030035. (In Russian)

2. Maksimiyuk N.N., Maryanovskaya Y.V. On the advantages of the enzymatic method of protein hydrolysates. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2009, no. 1, pp. 34–35. (In Russian)
3. Sun X.D. Enzymatic hydrolysis of soy proteins and the hydrolysates utilization. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2011, V. 46, no. 12, pp. 2447–2459. DOI:10.1111/j.1365-2621.2011.02785.x
4. Molchanova E.N., Linnik K.A. Phytic acid in cereals and legumes: harm or benefit. *Progressivnye tekhnologii v industrii pitaniya*. Collection of works. Moscow, Moscow State University of Food Production Publ. 2016, pp. 94–96. (In Russian)
5. Frolov V.Y., Sysoev D.P., Klasner G.T., Gorb S.S. Classification of methods of inactivation of anti-nutritive substances. *Word Science*. 2016, V. 1, no. 4, pp. 39–43. (In Russian)
6. Chelombitkin M.A., Barakova N.V., Baskovtceva A.S., Nechitaylo A.V. Using the enzyme Ultraflo Max to reduce phytic acid and phytates in soybeans during steeping. *Processes and Food Production Equipment*. 2021, no. 3, pp. 60–64. DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-2-60-65. (In Russian)
7. Sapunova L.I., Tamkovich I.O., Moroz I.V. Influence of pre-sowing enzymatic treatment on germination of wheat seeds. *Biologically active preparations for plant growing. Scientific background – Recommendations – Practical*. Collection of works. Minsk, Belarusian State University Publ. 2018, pp. 168–169. (In Russian)
8. Zorin S.N. Enzymatic hydrolysates of food proteins for specialized foods for therapeutic and prophylactic nutrition. *Problems of Nutrition*. 2009, V. 76, no. 6, pp. 60–66. (In Russian)
9. Rimareva L.V., Overchenko M.B., Serba E.M., Ignatova N.I., Shelekhova N.V. Influence of phytolytic and proteolytic enzymes on conversion of wheat and corn grain polymers. *Agricultural Biology*. 2021, V. 56, no. 2, pp. 374–383. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.2.374rus. (In Russian)
10. Rosa-Sibakov N., Re M., Karsma A., Laitila A., Nordlund E. Phytic acid reduction by bioprocessing as a tool to improve the in vitro digestibility of faba bean protein. *J. Agric. Food Chem.* 2018, V. 66, no. 40, pp. 10394–10399. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b02948
11. Miloradova E.V., Ivanushkin P.A., Ananiev A.A., Traubenberg S.E., Sofin A.V. Comparative study of enzymatic hydrolysates of isolated soybean protein and soybean meal by SE-HPLC. *Vestnik MITHT*. 2010, V. 5, no. 2, pp. 82–87. (In Russian)
12. 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. 58–69. (In Russian)
13. Egorov I.A., Vertiprakhov V.D., Lenkova T.N., Egorova T.A., Manukyan V.A., Grozina A.A., Nikonov I.N. The use of full-fat soy meal in compound-feeds for meat chickens breeding line of selection SSC "Smena". *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2019, no. 2, pp. 67–74. (In Russian)
14. Dotsenko S.M., Guzhel Y.A., Agafonov I.V., Kovaleva L.A., Volkov S.P. Justification of technology and equipment for the purpose of obtaining soy component for food systems for various purposes. *The Bulletin of KrasGAU*. 2016, no. 1, pp. 84–91. (In Russian)
15. Perova N.V., Metelskaya V.A., Sokolov E.I., Shchukina G.N., Fomina V.M. Dietary fatty acids. Effects on the risk of cardiovascular diseases. *Rational Pharmacother. Card.* 2011, V. 7, no. 5, pp. 620–627. (In Russian)
16. Zemlyanukhina O.A., Veprentsev V.N., Kalaev V.N., Al-Hachami F.R.H., Kalaeva E.A., Slavskiy V.A. Modification of Waid method for quantitative determination of phytin content in nut endosperme. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2018, no. 3, pp. 163–169. (In Russian)

#### Информация об авторах

Михаил Александрович Челомбиткин – аспирант факультета биотехнологий  
Надежда Васильевна Баракова – канд. техн. наук, доцент, доцент факультета биотехнологий  
Наталья Юрьевна Шарова – д-р техн. наук, профессор РАН, заместитель директора по научной работе  
Ангелина Станиславна Басковцева – аспирант факультета биотехнологий  
Евгений Александрович Самodelкин – ведущий научный сотрудник

#### Information about the authors

Mikhail A. Chelombitkin, Postgraduate Student, Faculty of Biotechnology  
Nadezhda V. Barakova, Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Faculty of Biotechnologies  
Natalia Yu. Sharova, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Research  
Angelina S. Baskovtceva, Postgraduate Student, Faculty of Biotechnology  
Evgeniy Samodelkin, Leading Research

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

Статья поступила в редакцию 30.06.2023  
Одобрена после рецензирования 18.08.2023  
Принята к публикации 21.08.2023

The article was submitted 30.06.2023  
Approved after reviewing 18.08.2023  
Accepted for publication 21.08.2023