



Совершенствование технологии переработки сои с использованием ультразвука

Ф. Я. Рудик^{1*}, Б. П. Загородских¹, Н. Л. Моргунова¹,
Ю. А. Кодацкий²

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (г. Саратов, Россия)

²ООО «ПиткоФФ» (г. Норильск, Россия)

*k-rappsgau@rambler.ru

Введение. Белок сои близок по свойствам белку животного происхождения. Основным недостатком сои является содержание в ней значительного количества специфических белков-ингибиторов, образующих с протеолитическими ферментами животного происхождения (в частности, трипсином и химотрипсином) устойчивые комплексы, в составе которых фермент теряет активность. Ингибиторы резко снижают эффективность усвоения белка, вызывая угнетение роста и панкреатическую гипертрофию. По этой причине усвояемость белка сои крайне низкая, и на практике возникает необходимость снижения активности пищеварительных ингибиторов и нейтрализации уреазы различными методами, основанными на гидротермической обработке. Однако используемые в настоящее время технологии обладают низкими показателями эффективности переработки сои как с позиции качества получаемого продукта, так и с позиции его себестоимости. Целью работы было снижение активности веществ антипитательной направленности в сое с одновременным обеспечением высокого качества белка за счет интенсификации процесса экстрагирования водорастворимых ингибиторов протеаз ультразвуком.

Материалы и методы. Тормозящее действие ингибиторов, оказываемое на ферменты пищеварительного тракта, определялось согласно казеинолитическому методу М. Л. Какейда (в модификации И. И. Бенкен), основанному на сравнении протеолитической активности растворов фермента в присутствии ингибитора и без него. Вязкость водно-соевой суспензии определялась на ротационном вискографе «Вгабender».

Результаты исследования. В результате теоретических исследований были сформулированы факторы, влияющие на эффективность обработки сои в интенсивном ультразвуковом поле: степень измельчения; концентрация и количество окислительного раствора; вязкость водно-соевой суспензии; динамика экстрагирования и конструктивные особенности установки для ультразвуковой обработки зерна сои. Экспериментальные исследования позволили определить конструктивные параметры установки для ультразвуковой обработки зерна сои и рациональные технологические режимы, обеспечивающие эффективную нейтрализацию веществ антипитательной направленности: частота вращения мешалки – 10–20 мин⁻¹; частота ультразвукового излучения – 18–20 кГц; производительность установки – 120 кг/ч; степень нейтрализации фермента уреазы при окислении – 92 %; степень извлечения водорастворимого ингибитора – 86 %.

Обсуждение и заключения. Была разработана и проведена производственная проверка технологии и установки, позволяющих вести обработку сои в интенсивном поле ультразвуковых волн. Предложенная технология обеспечивает нейтрализацию вредных соединений на 80–90 % при среднем росте эффективности белка на 33 %. Срок окупаемости капиталовложений на внедрение технологии и оборудования составляет 1,17 года.



Ключевые слова: соя, переработка сои, белок, уреаса, ингибитор, ультразвук, ультразвуковая установка

Для цитирования: Совершенствование технологии переработки сои с использованием ультразвука / Ф. Я. Рудик [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 2. С. 266–286. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.266-286>

Improving Soybean Processing Using Ultrasound

F. Ya. Rudik^{1*}, B. P. Zagorodskih¹, N. L. Morgunova¹,
Yu. A. Kodatsky²

¹Vavilov Saratov State Agrarian University (Saratov, Russia)

²PitkoFF (Norilsk, Russia)

*k-pappsgau@rambler.ru

Introduction. Soy protein has properties similar to the protein of animal origin. The main disadvantage of soy is the content of a significant number of specific protein-inhibitors, forming stable complexes with proteolytic enzymes of animal origin. Inhibitors reduce the efficiency of protein absorption, causing growth suppression and pancreatic hypertrophy. There is a need to reduce the activity of digestive inhibitors and neutralize urease by various methods based on hydrothermal treatment. However, currently used technologies have low indicators of soy bean processing efficiency. The product of processing is of poor quality and high cost. The aim of the study was to improve the quality of soy protein by intensifying the process of extracting soluble inhibitors of proteases by ultrasound.

Materials and Methods. Caseinolytic method of M. L. Kakeyd (in modification of I. I. Benken) was used to determine the inhibitory effect on the digestive tract enzymes. The method is based on a comparison of the proteolytic activity of enzyme solutions in the presence of inhibitor and without it. The viscosity of the water-soybean suspension was detected on Brabender rotational viscomer. Optimal regime parameters of ultrasonic treatment, the degree of soybean grinding and the concentration of hydrogen peroxide in soybean processing were proposed based on the results of the study.

Results. As a result of theoretical studies, factors influencing the efficiency of soybean treatment in an intense ultrasonic field were formulated: degree of grinding; concentration and amount of oxidizing solution; viscosity of water-soybean suspension; dynamics of extraction and design features of the unit for ultrasonic treatment of soybean grain. Experimental studies allowed to determine the design parameters of the plant for ultrasonic treatment of soybean grain and rational technological regimes ensuring effective neutralization of substances of anti-nutritional orientation: speed of mixer is 10–20 min⁻¹; frequency of ultrasonic radiation is 18–20 kHz; capacity of installation is 120 kg/h; degree of neutralization of urease enzyme during oxidation is 92 %; degree of extraction of water-soluble inhibitor is 86 %.

Conclusions. A production check of soybean processing technology in an intense field of ultrasonic waves was developed and carried out. This technology provides neutralization of harmful compounds by 80–90 % with an average increase in protein efficiency by 33 %. The payback period for investment in the introduction of technology and equipment is 1.17 years.

Keywords: soybean, soybean processin, protein, urease, inhibitor, ultrasound, ultrasonic installation

For citation: Rudik F. Ya., Zagorodskih B. P., Morgunova N. L., Kodatsky Yu. A. Improving Soybean Processing Using Ultrasound. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(2):266–286. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.266-286>

Введение

Соя как сельскохозяйственная культура обладает рядом преимуществ: высокой урожайностью, неприхотливостью к климатическим условиям и большим содержанием полноценного белка, близкого по свойствам белку животного происхождения [1]. Вместе с тем соя имеет ряд недостатков. Например, содержащиеся в ней токсичные вещества и антиметаболиты (ингибиторы протеолитических ферментов трипсина и химотрипсина, лектина, фитогемагглютинаина, уреазы) приводят к замедлению пищеварения и тем самым снижают кормовую и пищевую ценность культуры.

Целью данной работы является снижение активности веществ антипитательной направленности в сое с одновременным обеспечением высокого качества белка за счет интенсификации процесса экстрагирования водорастворимых ингибиторов протеаз ультразвуком.

Задачи исследования:

- 1) изучение физико-химических и биологических свойств сои и выявление основных факторов, влияющих на качественные показатели белка;
- 2) обоснование режимов обработки измельченной сои в жидкости с ультразвуковой интенсификацией процесса;
- 3) экспериментальные исследования качественных показателей сои при обработке ультразвуком.

Обзор литературы

В РФ доля зерна в комбикормах составляет порядка 70 %, при этом важнейшие кормовые аминокислоты закупаются за рубежом. Такая система кормления существенно отстает от мировых показателей и ведет к удорожанию продукции животноводства и снижению ее конкурентоспособности. Устранение указанных недостатков

возможно путем развития производства сбалансированного по аминокислотному составу белка и созданию новых технологий белкового производства и их применения [Там же].

Как было отмечено выше, продуктивная ценность белка сои близка белку животного происхождения. При этом из урожая сои извлекается больше белка, чем из эквивалентного урожая любой другой культуры [2]. Исходя из этого спрос на соевое зерно, жмых и шрот увеличивается, а объемы производства и переработки неуклонно возрастают, и не вызывает сомнений, что состояние российского сельского хозяйства и продовольственный баланс страны будут во многом зависеть от развития современных технологий переработки сои¹.

Белковые молекулы чрезвычайно сложны, а их химический синтез затруднен [3]. По этой причине необходимо создание условий для преодоления структурных особенностей сои [4].

В настоящее время перспективна технология получения белка микробиологическим синтезом с выработкой кормовых дрожжей. Однако подобные технологии предназначены для переработки отходов производства, а в качестве питательной среды для развития дрожжей применяются остаточные продукты гидролизных и целлюлозных предприятий² [5], не соответствующие экологическим требованиям.

Использование при кормлении необработанной сои приводит, по причине необходимости выделения большого количества пищеварительных ферментов, к гипертрофии поджелудочной железы, значительной нехватке в кормовом балансе серосодержащих аминокислот и, как следствие, задержке развития, снижению приростов, удоев. Нерас-

¹ Мигина Е. И. Эффективность использования отходов переработки сои // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сб. тр. конф. Краснодар, 2017. С. 379–380. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29740028>

² Там же.



щепленные белковые комплексы ускоряют перистальтику кишечника, и это ведет к диарее [6].

В большинстве из применяемых в РФ технологий предусмотрены комплексные методы переработки сои³ [7], и их эффективность обеспечивается за счет многократного повторения операций, что в итоге резко увеличивает потери, длительность и себестоимость продукции [8]. Патентный и литературный анализ показывает, что наибольшее распространение при этом получили технологии, основанные на простой и низкоэффективной гидротермической обработке⁴⁻⁸. Значимость температуры в них изменяется в зависимости от самостоятельно действующих факторов при различных активаторах массообменных процессов.

Имеются технологии подавления ингибиторов, основанные на водной промывке путем замачивания в растворе щелочи и последующей термиче-

ской обработке зерна сои до влажности 8–12 %⁹. За счет увлажнения повышается чувствительность сои к нагреву, а щелочь разрушает ингибиторы Баумана-Бирка¹⁰. Значительным недостатком данного способа является усиление бобового запаха и привкуса щелочи в конечном продукте¹¹.

Известен способ подготовки сои, согласно которому она обрабатывается в течение 1 ч в жидкости при температуре 132 °С и давлении 0,2 МПа. Для уменьшения твердости сои охлаждение ведется прерывисто в течение 30 мин, с постоянным снижением давления со скоростью 0,0067 МПа/мин¹². Недостатком способа является его длительность, превышающая принятый цикл варки сои в автоклаве в 6 раз.

Предлагается также ускоренная обработка, предусматривающая варку сои в течение 5 мин при температуре 130 °С и давлении 0,16 МПа¹³. Данный способ признан неэффективным, поскольку

³ Smith K. Novel technologies for soy products, processing, and applications : dissertation theses. 2009. 109 p. URL: <http://lib.dr.iastate.edu/etd/10785>

⁴ Патент 2004130815 РФ, МПК А23L1/20. Способ обработки бобов сои / А. А. Аветисян, В. В. Васько, В. А. Прохоров; ОАО «Белореченский комбикормовый завод»; заявл. 2004130815/13; опубл. 21.10.2004.

⁵ Патент 2246225 РФ, МПК7 А23L1/20, А23J3/16. Способ влаготепловой обработки сои / И. Д. Тменов, Р. Б. Темираев, Т. Х. Кабалоев, А. А. Столбовская; Северо-Кавказский горно-металлургический ин-т; заявл. 2003123642/13; опубл. 25.07.2003.

⁶ Патент 2303369 РФ, МПК А23L1/211, А23L1/29. Способ инактивации антипитательных веществ и повышения питательной ценности соевых бобов / В. М. Кононов, А. Ф. Носовцев, И. М. Чекрыгина; Фед. гос. унит. пр-е «Таганрогский науч.-исслед. ин-т связи»; заявл. 2005118209/13; опубл. 14.06.2005.

⁷ Патент 2348179 РФ, МПК А23L1/20. Способ обработки соевого зерна / С. М. Доценко, О. В. Скрипко, О. В. Филонова, О. И. Любимова; ГНУ Всероссийский НИИ сои Россельхозакадемии; заявл. 2007135559/13; опубл. 10.03.2009.

⁸ Патент 2358459 РФ, МПК А23L1/211. Способ инактивации антипитательных веществ бобов сои / Е. К. Кулигин, В. Т. Золочевский, И. В. Шведов; ООО фирма «Кубаньпластик»; заявл. 2007134871/13; опубл. 20.09.2007.

⁹ Feeds derived from soybean grain for farm animals / G. G. Klasner [et al.] // International Scientific and Practical Conference «World Science». 2017. Vol. 1, no. 5 (21). P. 38–39.

¹⁰ Патент 2057464 РФ, МПК6 А23L1/211. Способ инактивации антипитательных веществ соевых бобов / Ю. В. Киселева, В. Н. Красильников, Н. В. Кузьмина, М. Е. Соболева; Санкт-Петербургский торгово-экономический ин-т; заявл. 93048818/13; опубл. 10.04.1996.

¹¹ Патент 2358459 РФ, МПК А23L1/211. Способ инактивации антипитательных веществ бобов сои / Е. К. Кулигин, В. Т. Золочевский, И. В. Шведов; ООО «Кубаньпластик»; заявл. 2007134871/13; опубл. 20.09.2007.

¹² Патент 2150851 РФ, МПК7 А23L1/201, А23L1/20. Способ обработки соевого зерна / С. М. Доценко, О. В. Скрипко; Дальневосточный государственный аграрный ун-т; заявл. 98119624/13; опубл. 30.10.1998.

¹³ Патент 2001135919 РФ, МПК7 А23L120, А23L1/212, А23J3/14, А23J3/16. Способ получения соевого-овощного консервированного продукта / С. Ф. Присяжная, Е. С. Глебова, О. М. Личман; Дальневосточный государственный аграрный ун-т; заявл. 2001135919/13; опубл. 27.12.2001.

при времени обработки < 10 мин активность уреазы в конечном продукте превышает норму. Обработка семян при более низкой температуре, составляющей 105–120 °С, большей выдержке (до 10–20 мин) и давлении 0,01–0,015 МПа позволяет разрушить уреазу, но активность ингибиторов при этом сохраняется, что обуславливает необходимость повторной тепловой обработки.

При переработке сои активно используется экструдирование, позволяющее обрабатывать сырье при высокой температуре и давлении¹⁴. Соя поступает в экструдер при температуре 120–140 °С и давлении 1,3–1,8 МПа. Это дает возможность одноэтапного теплового воздействия на блок, однако при этом наблюдается недостаточное разрушение ингибиторов, происходит также повреждение серосодержащих аминокислот и лизина.

Также предлагается снизить ингибиторную активность сои микронизацией [9]. Подобная обработка достаточно универсальна и может использоваться на различных этапах технологического процесса, но только в качестве окончательной, поскольку зерно должно быть предварительно подсушено или гидротермически обработано.

Другие исследования [8] направлены на получение жмыха и масла, в которых обрушенные и увлажненные зерна подвергаются кратковременной температурной обработке в электромагнитном поле СВЧ-диапазона. Это дает возможность снизить активность уреазы, но длительное воздействие лучей на сырье снижает в нем количество усвояемого белка.

Существует еще один способ¹⁵ обработки, проходящий в 2 этапа. Сначала соя без предварительного увлажнения сушится потоком горячего воздуха до температуры 95–100 °С, затем подвергается воздействию СВЧ 20–30 с. Это позволяет улучшить кормовые свойства сои за счет частичного разрушения ингибиторов, а также перехода крахмала в легкоусвояемую форму. Однако вследствие пониженной влажности семян и малого времени обработки значительная часть антипитательных веществ остается активной.

К общим недостаткам микронизации необходимо отнести неравномерный нагрев сои, что может привести к обугливанню обрабатываемой поверхности. Также возникает необходимость в специальном оборудовании для обработки сырья в активном спадающем электромагнитном поле¹⁶. Микронизация улучшает переваримость углеводов, но при этом интенсивно разрушает белки, снижает содержание в них незаменимых аминокислот. В зерне сои отмечается низкое содержание биологически активных, необходимых для развития веществ – токоферолов и каратиноидов.

Таким образом, для наиболее распространенных методов тепловой обработки сои характерны низкая эффективность нагрева, высокая энергоемкость процесса, а также отсутствие активной нейтрализации ингибиторов. Высокая температура и повышенная влажность приводит к гидролизу жиров, а это, в свою очередь, ведет к упрочнению структуры зерна и снижению органолептических показателей.

¹⁴ Патент 2153270 РФ, МПК7 А23Р1/12, В30В11/12, В30В11/22, В29В7/42. Пресс-экструдер / И. Т. Ковриков, А. Н. Холодильник, Д. К. Шабанов; Оренбургский гос. ун-т; заявл. 98112976/13; опубл. 27.07.2000.

¹⁵ **Хадзарагова Е. А., Тер-Терьян Н. Г.** Управление процессом повышения качества продукции при переработке сои // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. «Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса горных и предгорных территорий». Владикавказ, 2008. С. 458–460.

¹⁶ Патент 2044034 РФ, МПК6 С11В1/02. Способ переработки соевых семян с получением масла и жмыха или шрота / В. В. Ключкин, А. Н. Лисицин, В. И. Краснобородько, Г. Ф. Федоров; Всероссийский научн.-исслед. ин-т жиров; заявл. 94004266/13; опубл. 09.02.1994.



Приведенные материалы анализа состояния вопроса позволили сделать вывод о необходимости продолжения научно-исследовательской работы по повышению эффективности зерна сои. В виду своих неограниченных возможностей электрофизический метод обработки ультразвуком активно используется в пищевых технологиях [10]. При этом подчеркиваются перспективы его использования при разработке инновационных технологий [11]. Положительный опыт применения ультразвука в хлебной промышленности¹⁷, молочной индустрии [12], при переработке мяса [13–14], стерилизации [15] и очистке жидкой продукции [16–17] говорит о возможности его использования при переработке сои.

Материалы и методы

Химический анализ сои осуществлялся в соответствии с ГОСТ 13979.2-94 Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Метод определения массовой доли жира и экстрактивных веществ¹⁸; ГОСТ 13979.3-68 Жмыхи и шроты. Метод определения суммарной массовой доли растворимых протеинов¹⁹; ГОСТ 52839-2007 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации²⁰.

Степень ферментативной активности устанавливалась по ГОСТ 13979.9-69 Жмыхи и шроты. Методика выполнения измерений активности уреазы²¹. Отрицательное действие ингибиторов

на ферменты пищеварительного тракта определялось казеинолитическим методом М. Л. Какейда (в модификации И. И. Бенкен). Данный метод основан на сравнении протеолитической активности растворов фермента в присутствии ингибитора и без него.

На ротационном вискографе «Brabender» определялась вязкость водно-соевой суспензии. Технологические параметры назначались в соответствии с кормовыми технологиями и ГОСТ 27149-95 Жмых соевый кормовой. Технические условия²², ГОСТ 53799-2010 Шрот соевый кормовой тостированный. Технические условия²³. Обработка результатов опытов осуществлялась стандартным методом регрессионного анализа данных.

Рациональные режимные параметры ультразвуковой обработки исследовались на установке УЗУ-1,6-О при частоте ультразвуковых колебаний 18–20 кГц.

Результаты исследования

В результате ультразвуковой обработки сои по установленным режимам было выявлено падение активности фермента уреазы, протекающее за счет окисляющего действия пероксида водорода [18] и количества активного ингибитора – из-за интенсивного экстрагирования. Технологическими параметрами, влияющими на эффективность ультразвуковой обработки, являются расход раствора, степень измельчения сои, концентрация окислителя, частота и мощность ультразвукового воздействия [19].

¹⁷ Комоликов А. С., Ахмедова Д. К. Влияние ультразвука на процесс замеса и расстойки теста // Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств : мат-лы II Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2016. С. 79–84.

¹⁸ ГОСТ 13979.2-94 Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Метод определения массовой доли жира и экстрактивных веществ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200022996>

¹⁹ ГОСТ 13979.3-68 Жмыхи и шроты. Метод определения суммарной массовой доли растворимых протеинов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200022997>

²⁰ ГОСТ 52839-2007 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200064169>

²¹ ГОСТ 13979.9-69 Жмыхи и шроты. Методика выполнения измерений активности уреазы. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023004>

²² ГОСТ 27149-95 Жмых соевый кормовой. Технические условия. URL: <http://vsegost.com/Catalog/95/9532.shtml>

²³ ГОСТ 53799-2010 Шрот соевый кормовой тостированный. Технические условия. URL: <http://vsegost.com/Catalog/49/49258.shtml>

Степень измельчения обрабатываемых семян

Степень измельчения сои определялась по частной методике. Четыре навески формировались массой 50 г с разной степенью измельчения. Первая навеска заполнялась неизмельченной соей, а в остальных степень измельчения составляла 0,5; 0,1 и 0,05 соответственно. Для инактивации антипитательных веществ соя обрабатывалась пероксидом водорода.

Установлено, что ввиду зависимости эффективности обработки семян от концентрации окислителя влияние указанного фактора должно быть минимизировано. Этот эффект был достигнут за счет использования окисляющего раствора с наименьшей концентрацией, значение которой было установлено экспериментально и составило 3 %. С этой целью исходную 27,5%-ную смесь разбавили 8-кратным объемом дистиллированной воды. Кроме этого, подготовленные и измельченные до различной крупности размолы пробы семян обрабатывались повышенным количеством раствора, что позволило поддерживать постоянную концентрацию раствора вблизи твердой частицы и сделать скорость диффузии окислителя в зерне зависимой только от площади внешней поверхности частиц измельченной сои. Обработанные частицы высушивались

при комнатной температуре в течение 1 сут. до установленных при заготовках и поставках показателей влажности (в пределах 12 %). Результаты исследований приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что вполне приемлемым является резкое снижение концентрации активного фермента в зависимости от перечисленных в таблице сортов сои, в 1,34; 1,12; 1,18 и 1,26 раза при степени измельченности зерна 0,1.

Это происходит по причине уменьшения длины капилляров в частицах измельченного зерна сои и, следовательно, увеличения суммарной площади его внешней поверхности, что существенно воздействует на скорость пропитки и, следовательно, на эффективность процесса окисления фермента уреазы.

В результате дальнейших исследований было установлено, что при обработке частиц зерна сои раствором пероксида водорода наблюдается прямо пропорциональное снижение содержания активного фермента уреазы, зависящей от интенсивности процесса. При этом в зависимости от принятых режимов обработки и физико-механических особенностей зерна сои данный процесс протекает неравномерно, с множественными перепадами скорости, зависящими или от изменения биохимических свойств зерна сои в резуль-

Таблица 1

Table 1

**Зависимость содержания активной уреазы в сое от степени ее измельченности
Dependence of the content of active urease in soybean on the degree of its grinding**

Степень измельченности / Fineness degree	Активность уреазы, ед. рН / Activity of urease, pH units			
	Злато / Zlato	Бапа / Bara	Соер-4 / Soer-4	Соер-5 / Soer-5
Необработанное зерно / Unprocessed	2,33	2,26	2,21	2,31
1,00	2,09	2,13	2,00	2,04
0,50	1,93	2,10	1,98	2,02
0,10	1,54	1,99	1,83	1,73
0,05	1,46	1,95	1,76	1,64



тате фазового перехода, или от увеличения степени измельчения. Например, для сортов Злато и Соер-5 из-за резких колебаний кривой исследуемая зависимость может рассматриваться с позиции гармонического закона, а для сортов Бара и Соер-4 справедлив линейный закон, что объясняется относительно постоянной скоростью снижения концентрации активной уреазы.

Это наглядно демонстрирует снижение активности уреазы, протекающей при измельчении зерна сои до крупности помола в интервале 0,1–0,05, при котором размеры фрагментов составляют $2,5 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-4}$ м, в среднем на 25 %. Интенсивное подавление фермента при этом следует объяснить увеличением суммарной площади поверхности зерна сои при дроблении, поскольку молекулы уреазы, находящиеся внутри семян, после измельчения оказываются на внешних сторонах частиц, что активизирует ее взаимодействие с окислителем. Дальнейшее измельчение зерна сои не оказывает существенного влияния на эффективность обработки сои; снижение содержания активного фермента при этом не наблюдается. Причиной этого является повышенный расход активного вещества рабочего раствора, а также замедление его проникновения в быстро набухающие мелкие зерновые фрагменты, все еще содержащие значительное количество уреазы.

Концентрация окисляющего раствора

Концентрация окисляющего раствора имеет существенное значение для повышения технологической эффективности процесса обработки сои. Насыщенность извлекаемого активного вещества в рабочем растворе является одним из основных параметров, определяющих скорость течения гетерогенных реакций в ходе массообменных взаимодействий. Особое значение исследуемый параметр приобретает во время химической обработки, когда

при постоянной скорости реакции от концентрации окисляющего раствора зависит не только полнота извлечения компонента, но и качество полезных составляющих, в той же степени подверженных химическому воздействию при обработке.

Установлено, что при увеличении концентрации окислителя в рабочем растворе повышается эффективность нейтрализации фермента уреазы, а при высокой концентрации пероксида водорода наблюдается его взаимодействие с другими компонентами зерна сои, что ведет к ухудшению его органолептических показателей. В связи с этим особое внимание уделялось исследованиям, направленным на выявление концентрации окисляющего раствора, обеспечивающей одновременно подавление уреазы и сохранение полезных свойств сырья в полном объеме.

Рациональная концентрация окислителя исследовалась по методике, в соответствии с которой в растворе для обработки измельченного зерна сои использовались смеси, характеризующиеся последовательным увеличением концентрации пероксида водорода, начиная с ее наименьшего эффективного значения, при котором наблюдается снижение активности фермента уреазы до 3 %. В последующих исследованиях значения показателя концентрации принимались равными 6, 9 и 12 %, что дало более интенсивное снижение активности фермента (табл. 2).

Динамика изменения активности уреазы при дальнейших исследованиях обработки зерна сои растворами с различной концентрацией окислителя близка к линейной.

На начальном этапе исследования концентрации окислителя рост скорости ферментативной активности имел следующие значения: Злато – 35,6 %; Бара – 12,8 %; Соер-4 – 19,0 %; Соер-5 – 27,3 %. По мере увеличения концентрации окислителя активность уреазы снижалась, соответственно, до 28,8; 29,9;

Т а б л и ц а 2
T a b l e 2

Зависимость содержания активной уреазы от концентрации пероксида водорода
Dependence of the content of active urease concentration of hydrogen peroxide

Концентрация пероксида водорода, % / Concentration, %	Активность уреазы, ед. pH / Activity of urease, pH units			
	Злато / Zlato	Бара / Bara	Соер-4 / Soer-4	Соер-5 / Soer-5
3	1,50	1,97	1,79	1,68
6	0,88	1,31	1,03	0,85
9	0,43	0,51	0,38	0,39
12	0,18	0,22	0,20	0,14

34,4 и 35,9 %. При этом наблюдалось также снижение активности фермента на 17,2; 35,4; 29,4 и 19,9 %. Обработка измельченных частиц раствором с наибольшей концентрацией дала следующие показатели: Злато – 10,7 %; Бара – 12,8 %; Соер-4 – 8,1 %; Соер-5 – 10,8 %.

Из этого следует, что при обработке сырья растворами с концентрацией окислителя от 9 до 12 % активность уреазы удается подавить на 81,2–91,9 %, что составляет 0,15–0,39 pH.

Данные показатели содержания активного фермента удовлетворяют требованиям ГОСТов 27149–95 и 53799–2010, а значит, исследованный диапазон значений следует использовать на практике. Обработка зерна сои растворами более низкой концентрации не только интенсивнее протекает, но и значительно улучшает ее органолептические показатели (табл. 3).

Улучшение органолептических показателей объясняется окислением одо-

Т а б л и ц а 3
T a b l e 3

Значения органолептических характеристик сои после обработки раствором с 3%-ной концентрацией окислителя
Values of organoleptic characteristics of soybean after treatment with a solution of 3 % concentration of the oxidizer

Сорт / Variety	Показатель / Indicator	До обработки / Before processing	После обработки / After processing
Злато / Zlato	Цвет / Color	Бледно-желтый / Light yellow	Песочный / Sand
	Запах / Flavor	Рыбный / Fishy	Ореховый / Nutty
	Вкус / Taste	Вяжущий / Astringent	Нейтральный / Neutral
Бара / Bara	Цвет / Color	Желтый / Yellow	Янтарный / Amber
	Запах / Flavor	Бобовый / Beans	Арахисовый / Peanut
	Вкус / Taste	Слабая горечь / Slightly bitter	Нейтральный / Neutral
Соер-4 / Soer-4	Цвет / Color	Бледно-коричневый / Light brown	Золотистый / Golden
	Запах / Flavor	Землистый / Earthy	Сладкий / Sweet
	Вкус / Taste	Гороховый / Pea	Умеренно-гороховый / Mild pea
Соер-5 / Soer-5	Цвет / Color	Молочно-желтый / Milky yellow	Горчичный / Mustard
	Запах / Flavor	Выраженный бобовый / Strong bean	Отсутствует / No
	Вкус / Taste	Резкий бобовый / Sharp bean	Отсутствует / No



рирующих веществ с их дальнейшим превращением в фосфатиды. На этом основании к применению на практике рекомендуются растворы с концентрацией окислителя в интервале 3–6 %.

Количество окисляющего раствора

Необходимое количество раствора низкой концентрации определялось по методике, согласно которой формировались навески зерна сои массой 50 г на предварительно подготовленной средней пробе со степенью измельчения 0,05, обработанной различными количествами раствора пероксида водорода (табл. 4).

Стабильная и качественная эффективность обработки зерна сои наблюдается при обработке раствором, подаваемом в количестве 40 мл. Уменьшение степени инактивации фермента уреазы в этом случае наблюдается в пределах 17,6, 12,4, 8,6 и 11,3 %, что меньше соответствующих начальных показателей. При увеличении объема раствора до 80–120 мл скорость окисления возрастает, что свидетельствует о повышении интенсивности обработки на 38,2, 46,9, 47,5 и 41,6 %. В ходе дальнейших исследований наблюдается замедление скорости процесса и на 4-ом участке, соответствующем обработке раствором объемом 160 мл: активность фермента падает лишь на 9,0, 5,8, 0,9 и 1,3 %.

Судя по результатам исследования, ферментативную активность удается снизить на 94,8, 92,2, 90,0 и 92,2 %, что

соответствует значениям 0,12, 0,16, 0,22 и 0,18 рН. Данные показатели удовлетворяют требованиям ГОСТов 27149–95 и 53799–2010, и их следует рекомендовать к использованию на практике.

Вязкость обрабатываемой суспензии

Известно, что ультразвук является мощным фактором интенсификации массообменных процессов. Учитывая, что акустические излучатели создают микропотоки, омывающие объекты обработки, их воздействие наиболее эффективно в водно-соевой суспензии с пониженной вязкостью. На этом основании было принято решение оценивать вязкость суспензии для условия сдвигового характера течения нелинейных сред на ротационном вискографе «Brabender» с электронным регулированием частоты вращения от 10 до 120 мин⁻¹. Целью данных исследований было установление режимных показателей процесса, обеспечивающих равномерность обработки и способствующих эффективному развитию ультразвуковой кавитации и, как следствие, интенсивному массообмену, что в комплексе позволяет стабилизировать качественные показатели белка.

При исследованиях использовалось зерно, измельченное до крупности 150–160 мкм, с влажностью 7 %. Оно смешивалось с водой из расчета 450 мл жидкости на 120 г измельченных частиц. Измерения осуществлялись в 2 этапа: при постоянной температуре, но

Таблица 4

Table 4

Зависимость изменения активности уреазы от количества окисляющего раствора

Dependence of changes in urease activity on the amount of oxidizing solution

Количество раствора, мл / Amount of hydrogen peroxide solution, ml	Активность уреазы, ед. рН / Activity of urease pH units			
	Злато / Zlato	Бапа / Bara	Соер-4 / Soer-4	Соер-5 / Soer-5
40	1,92	1,98	2,02	2,05
80	1,22	1,35	1,29	1,17
120	0,33	0,29	0,24	0,21
160	0,12	0,16	0,22	0,18

меняющейся частоте перемешивания суспензии и при растущей температуре, но постоянной частоте вращения. Была определена пропорция, в соответствии с которой минимальная масса жидкости в суспензии должна в 3,75 раза превосходить массу зерна сои. На основании этого было принято соотношение твердой и жидкой фаз 1:3,75.

На первом этапе испытания велись при комнатной температуре, составляющей 20 °С, и при последовательном увеличении частоты вращения до 10, 20, 40, 60, 80, 100 и 120 мин⁻¹. На втором этапе – при частоте перемешивания суспензии 10 мин⁻¹ и постепенном повышении температуры до 20, 30, 40, 50, 60, 70 и 90 °С. Результаты приведены в табл. 5–6.

Исходя из данных табл. 5–6 были построены графики, отображающие характер изменения значений показателя вязкости водно-соевой суспензии при переменных частотах вращения и температурах (рис. 1–2).

На рис. 1 видно, что с увеличением частоты перемешивания в диапазоне 10–120 мин⁻¹ вязкость обрабатываемой суспензии возрастает до 70,58–229,41 Па·с. Это объясняется дилатантным эффектом: плотно расположенные измельченные частицы сои перемешаны с жидкостью, и при низких скоростях сдвига частичек жидкость способствует легкому перетеканию суспензии, а при высоких жидкость не успевает заполнять свободное пространство, образующееся между движущимися частицами. Это ведет к возрастанию трения и повышению вязкости.

Установленная зависимость описывается линейным законом, в соответствии с которым вязкость должна изменяться равномерно при незначительных отклонениях в скорости при частотах вращения 60 и 90 мин⁻¹. Частота вращения 10 мин⁻¹ обеспечивает наименьшее значение вязкости 70,58 Па·с и рекомендуется для практического использования.

Таблица 5

Table 5

Изменение показателя вязкости суспензии при различных частотах перемешивания
Change of the slurry viscosity at various temperatures

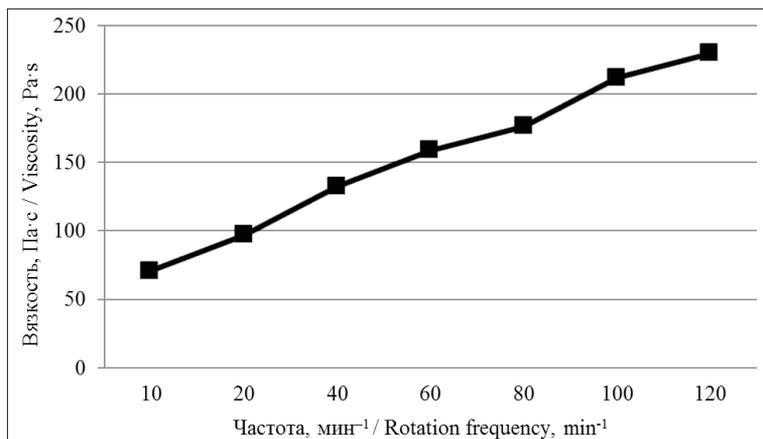
Показатель / Indicator	Значение показателя / Indicator value						
Частота, мин ⁻¹ / Rotation frequency, min ⁻¹	10	20	40	60	80	100	120
Вязкость, Па·с / Viscosity, Pa·s	70,58	97,05	132,35	158,82	176,47	211,76	229,41

Таблица 6

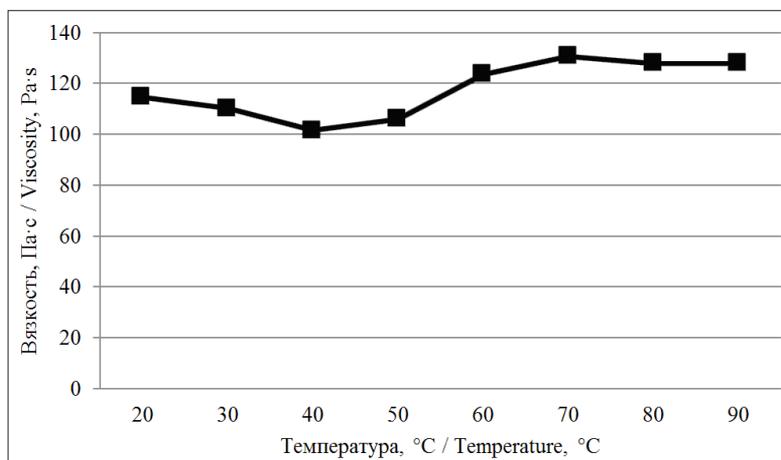
Table 6

Изменение показателя вязкости суспензии при различных температурах нагрева
Change of the slurry viscosity at various temperatures

Показатель / Indicator	Значение показателя / Indicator value							
Температура, °С / Temperature, °C	20	30	40	50	60	70	80	90
Вязкость, Па·с / Viscosity, Pa·s	114,7	110,2	101,5	105,9	123,5	130,6	127,9	127,8



Р и с. 1. Зависимость вязкости водно-соевой суспензии от частоты ее перемешивания
F i g. 1. Graph of the viscosity of the water-soybean suspension to the rotation frequency



Р и с. 2. Зависимость вязкости водно-соевой суспензии от температуры нагрева
F i g. 2. The graphical dependence of the viscosity of water-soy suspension temperature

На рис. 2 видно, что по мере роста температуры от 20 до 90 °С вязкость суспензии изменяется в пределах от 101 до 131 Па·с. Установлено, что наименьшее значение вязкости наблюдается при 43 °С, а наибольшее – при 70 °С.

Снижение вязкости на 14 Па·с при повышении температуры от 20 до 43 °С достигается за счет сообщения полимерной системе дополнительного тепла. Изменение вязкости суспензии под воздействием твердой фазы при этом исключено и, как следует из гра-

фика, резкое ее возрастание до 30 Па·с наблюдается только при дальнейшем повышении температуры до 43–70 °С. После достижения среднего значения (127 Па·с), показатели вязкости продолжают изменяться незначительно.

Таким образом, водно-соевая суспензия характеризуется относительно низкой вязкостью, изменяющейся незначительно при различных частотах перемешивания и температурных режимах. Это позволяет сделать вывод о том, что полимерная система на основе

воды и измельченной сои достаточно удобна для обработки в поле интенсивных ультразвуковых волн. Исходя из приведенных данных, в практических целях рекомендуются следующие значения обработки водно-соевой суспензии: массовое соотношение воды и измельченной сои в суспензии – 1:3,75; частота вращения мешалки – 10 мин⁻¹; температура обрабатываемой среды – 43 °С.

Исследование динамики экстрагирования ингибиторов

Как отмечалось ранее, при обработке зерна сои пероксидом водорода эффективность процесса экстрагирования ингибиторов зависит от степени его измельчения, концентрации извлекаемого вещества, количества самого экстрагента и времени, затрачиваемого на операцию экстрагирования. На этом основании возникает необходимость выбора оптимальной длительности обработки, при которой возможно экстрагировать максимальное количество ингибитора.

В исследовании были использованы образцы зерна сои, которые измельчались до крупности среднего помола и замачивались в течение 1, 4, 6 и 8 ч. Размол зерна осуществлялся с целью повысить эффективность процесса экстрагирования подобно тому, как это было при обработке раствором пероксида водорода (табл. 7).

Из полученных результатов следует, что динамика снижения активности ингибиторов протеолитических ферментов для сортов Бара и Соер-4 характеризуется многократными изменениями скорости экстрагирования, а обработка семян сортов Злато и Соер-5 протекает с более равномерно.

Данные отличия объясняются как индивидуальными особенностями биологического строения различных сортов зерна сои, так и их биохимическим составом, ингибиторами различной степени растворимости и, следовательно, скорости диффузии во внешнюю среду.

Конструктивная схема низкотемпературной ультразвуковой установки

При обработке зерна сои в ультразвуковом поле интенсификация процесса переработки протекает за счет акустических колебаний в виде направленных микропотоков [20]. Возникающее в данных микропотоках переменное давление обеспечивает перенос извлекаемого вещества за счет конвекции. Поскольку конвективная диффузия обладает более быстрым массообменом, эффективный коэффициент диффузии растет, и это позволяет сократить продолжительность экстрагирования. Эффект кавитационного явления, возникающего в жидкости при прохождении акустической волны, интенсифицирует рост движущее

Т а б л и ц а 7
T a b l e 7

Зависимость изменения активности ингибитора трипсина от длительности экстрагирования
Dependence of change of activity of trypsin inhibitor on extraction duration

Время замачивания, ч / Soaking time, hours	Активность ингибитора трипсина, мг/г / The activity of trypsin inhibitor, mg/g			
	Злато / Zlato	Бара / Bara	Соер-4 / Soer-4	Соер-5 / Soer-5
Необработанное зерно / Raw	21,1	51,2	45,6	61,3
1	9,7	16,3	16,4	34,9
4	5,0	13,3	13,2	13,4
6	3,1	4,6	7,2	9,8
8	2,7	3,0	6,8	9,1



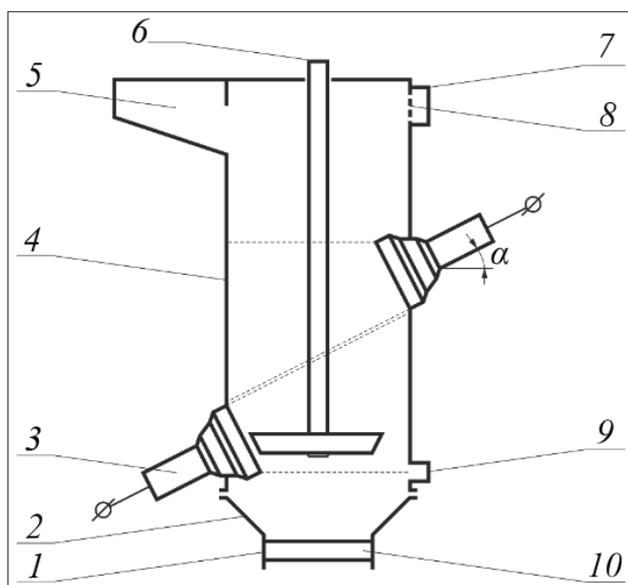
го давления, обеспечивающего активизацию влагопереноса в фазе пропитки. Кумулятивные акустические микропотоки, образованные сократившейся паровоздушной полостью, приводят к мгновенному увеличению скорости обтекания объекта обработки, интенсифицируя тем самым массоотдачу.

Схема установки для экстрагирования ингибиторов из зерна сои представлена на рис. 3.

Установка работает следующим образом. Рабочий раствор подается через патрубок 9, измельченное зерно сои – посредством загрузочного лотка 5. Перемешивание происходит в корпусе 4, оснащенный излучателем ультразвука 3, расположенными по диагонали напротив друг друга под

углом α , что позволяет продуцировать интенсивную кавитацию во всем объеме рабочей области устройства. Длительность цикла обработки – 20 мин. Обработанный продукт скапливается в нижней части устройства и выгружается через патрубок 1, снабженный выгрузным устройством 10²⁴.

С целью определения конструктивных параметров установки исследовалась кинетика распространения ультразвуковых колебаний в водно-соевой суспензии. Она связана с переносом энергии, для количественной оценки которой необходимо создать параметры акустического поля, характеризующие смещение колеблющихся частиц относительно положения покоя, их скорость и ускорение, а также частоту,



Р и с. 3. Схема установки для ультразвуковой обработки зерна: 1 – выгрузной патрубок; 2 – съемное дно; 3 – излучатель ультразвука; 4 – цилиндрический корпус; 5 – загрузочный лоток; 6 – мешалка; 7 – патрубок вывода жидкости; 8 – фильтр; 9 – патрубок подачи жидкости; 10 – выгрузное устройство

Fig. 3. – Device for ultrasonic treatment of grain: 1 – discharge nozzle; 2 – removable bottom; 3 – ultrasound emitter; 4 – cylindrical body; 5 – loading tray; 6 – agitator; 7 – branch pipe for output of liquid; 8 – filter; 9 – branch pipe for input of liquid; 10 – discharging device

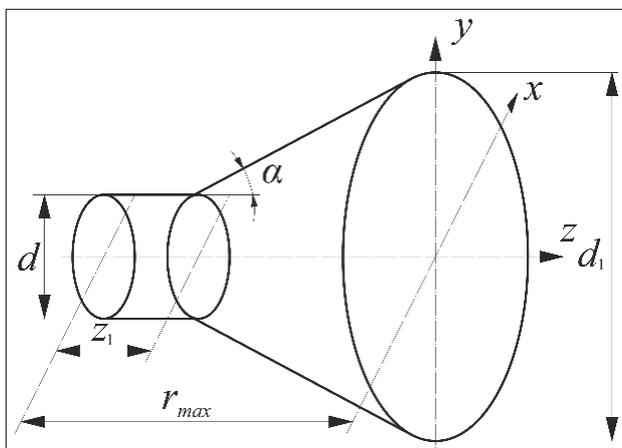
²⁴ Патент 130519, МПК В02В 1/04. Устройство для обработки зерна / Ф. Я. Рудик, Н. Л. Моргунова, Ю. А. Кодацкий. № 2013112532/13; заявл. 20.03.2013; опубл. 27.07.2013.

длину и скорость акустической волны, распространение которых исследовалось по схеме, представленной на рис. 4.

В соответствии с расчетами были установлены кинематические и дина-

ческие параметры ультразвукового излучения для обработки сои (табл. 8–9).

Подготовленная по ранее описанной методике водно-соевая суспензия обрабатывалась в ультразвуку-



Р и с. 4. Расчетная схема ультразвукового источника
F i g. 4. The calculated diagram of the ultrasonic source

Т а б л и ц а 8
T a b l e 8

Кинематические характеристики ультразвукового поля
Kinematic characterization of ultrasonic fields

Параметр / Parameter	Размерность / Dimension	Значение / Value	Параметр / Parameter	Размерность / Dimension	Значение / Value
Мгновенное смещение, a / Immediate offset, a	$m \cdot 10^{-6} / m \cdot 10^{-6}$	3,54	Скорость звуковых волн, c / Speed of sound waves, c	$m/s / m/s$	1 473
Скорость, v / Speed, v	$m/s \cdot 10^{-1} / m/s \cdot 10^{-1}$	3,99	Скорость распространения волны, λ / Wave propagation velocity, λ	m / m	0,08
Ускорение, b / Acceleration, b	$m/s^2 \cdot 10^4 / m/s^2 \cdot 10^4$	4,52	Длина зоны, z_1 / length of the zone, z_1	m / m	0,16
Амплитуда скорости, V / Amplitude of speed, V	$m \cdot 10^{-1} / m \cdot 10^{-1}$	5,65	Угол раскрытия конуса, α / The opening angle of the cone, α	рад. / rad	0,47
Амплитуда ускорения, B / Amplitude of acceleration, B	$m \cdot 10^4 / m \cdot 10^4$	6,39	Расстояние от излучателя до последнего максимума, r_{max} / Distance from emitter to last maximum, r_{max}	m / m	0,55



Динамические характеристики ультразвукового поля
Dynamic characteristics of an ultrasonic field

Параметр / Parameter	Размерность / Dimension	Значение / Value	Параметр / Parameter	Размерность / Dimension	Значение / Value
Величина звукового давления, P_3 / Value of the sound pressure, P_3	Па·10 ⁵ / Pa·10 ⁵	9,12	Полная энергия, W / Total energy, W	Вт/м ² ·10 ³ / W/m ² ·10 ³	9,79
Полное давление, $P_{пол}$ / Total pressure, $P_{пол}$	Па·10 ⁶ / Pa·10 ⁶	1,01	Коэффициент затухания, α_0 / Damping factor, α_0	сек ² /м·10 ⁻³ / sec ² /m·10 ⁻³	4,6
Среднее значение энергии ультразвуковой волны, E / Average value of ultrasonic wave energy, E	Н / м ² / N / m ²	179	Амплитуда колебания, A_{rmax} / Amplitude of oscillation, A_{rmax}	м·10 ⁻⁶ / m·10 ⁻⁶	4,99
Количество энергии, переносимое волной за единицу времени, J / The energy carried by the wave per unit time, J	Вт/м ² ·10 ⁵ / W/m ² ·10 ⁵	2,63	Интенсивность, J_{rmax} / Intensity, J_{rmax}	Вт/м ² ·10 ⁵ / W/m ² ·10 ⁵	2,62

вой установке течение 10, 20, 30, 40 и 50 мин. Использовались излучатели магнитострикционного типа мощностью 1,6 кВт, частотой излучения 18 и 20 кГц и плотностью мощности 4 Вт/см². Результаты исследований приведены в табл. 10–11.

Исходя из полученных данных, при обработке водно-соевой суспензии с частотой ультразвука 18 кГц и време-

нем обработки в интервале 30–40 мин, белковый ингибитор извлекается из нее на 86–90 %. С повышением частоты до 20 кГц время обработки снижается в 3–4 раза, а извлечение ингибитора достигает 80–90 %. Дальнейшее увеличение частоты не оказывает существенного воздействия на динамику извлечения ингибитора. Для оценки влияния акустического излучения ультразвукового

Активность ингибитора в сое при различной длительности обработки частотой ультразвука 18 кГц

Inhibitor activity in soybean at various ultrasound processing times at a frequency of 18 kHz

Время обработки, мин / Processing time, min	Активность ингибитора, мг/г / The activity of inhibitor, mg/g			
	Злато / Zlato	Бара / Bara	Соер-4 / Soer-4	Соер-5 / Soer-5
10	17,1	37,4	36,0	47,2
20	12,0	26,8	20,1	33,8
30	3,8	7,7	5,0	7,4
40	2,0	6,1	4,1	6,1
50	1,5	5,1	3,2	5,5

Активность ингибитора в сое при различной длительности обработки частотой ультразвука 20 кГц

Inhibitor activity in soybean at different ultrasound processing times at a frequency of 20 kHz

Время обработки, мин / Processing time, min	Активность ингибитора, мг/г / The activity of inhibitor, mg/g			
	Злато / Zlato	Бара / Bara	Соер-4 / Soer-4	Соер-5 / Soer-5
10	14,3	30,2	27,8	36,8
20	4,0	10,24	8,2	11,6
30	2,3	4,0	4,6	5,5
40	1,9	4,0	3,6	4,9
50	1,4	3,5	3,6	3,6

диапазона на форму и структуру белковых молекул из необработанной сои были сформированы навески массой 50 г, откуда после измельчения и обезжиривания осуществлялось экстрагирование ингибиторов. Полученные экстракты обрабатывались ультразвуком с частотой излучения 20 кГц в течение 30 мин. Активность ингибитора трипсина в соевых экстрактах приняла следующие значения: Злато – 18,3; Бара – 45,5; Соер-4 – 41,9; Соер-5 – 53,3.

Также был установлен частичный спад биологической активности веществ антипитательной направленности, средний показатель которой сократился на 11,2 %. Таким образом, акустическое излучение ультразвукового диапазона не только способствует повышению эффективности влажной обработки зерна сои, позволяя уменьшить затрачиваемое на нее время в 5–6 раз, но также может рассматриваться в качестве фактора, вызывающего денатурацию белков.

Обсуждение и заключения

В результате теоретических исследований были сформулированы факторы, влияющие на эффективность обработки сои в интенсивном ультразвуковом поле: степень измельчения; концентрация и количество окислительного раствора; вязкость водно-со-

евой суспензии; динамика экстрагирования и конструктивные особенности установки для ультразвуковой обработки зерна сои.

Экспериментальные исследования позволили определить конструктивные параметры установки для ультразвуковой обработки зерна сои и рациональные технологические режимы, обеспечивающие эффективную нейтрализацию веществ антипитательной направленности:

- частота вращения мешалки – 10–20 мин⁻¹;
- частота ультразвукового излучения – 18–20 кГц;
- производительность установки – 120 кг/ч;
- степень нейтрализации фермента уреазы при окислении – 92 %;
- степень извлечения водорастворимого ингибитора – 86 %.

Были разработаны технология и установка, позволяющие проводить обработку сои в интенсивном поле ультразвуковых волн. Производственная проверка показала, что предложенная технология обеспечивает нейтрализацию вредных соединений на 80–90 % при среднем росте эффективности белка на 33 %. Срок окупаемости капиталовложений на внедрение технологии и оборудования составляет 1,17 года.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. **Филиппов М.** Анализ качества продуктов переработки сои // Животноводство России. 2015. № 9. С. 60–61. URL: <http://www.zzz.ru/node/4214>
2. **Светашова Л. А., Климкина Е. В.** Современное состояние производства сои и оценка эффективности ее воздействия // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2015. Т. 46, № 3. С. 190–196. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24305299>
3. **Ольховатов Е. А., Щербакова Е. В.** Разработка рецептур бобовых паст «Хумус» с применением семян сои современных сортов отечественной селекции // Сб. науч. тр. Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. 2015. Т. 1, № 8. С. 241–244. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24861458>
4. Обоснование технологии и оборудования с целью получения соевого компонента для пищевых систем различного назначения / С. М. Доценко [и др.] // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. Т. 112, № 1. С. 84–91. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-tehnologii-i-oborudovaniya-s-tselyu-polucheniya-soevogo-komponenta-dlya-pischevyh-sistem-razlichnogo-naznacheniya>
5. **Рудик Ф. Я., Моргунова Н. Л., Коцацкий Ю. А.** Закономерности массообменных процессов при переработке семян сои в корм // Аграрный научный журнал. 2016. № 5. С. 70–73. URL: <https://readera.ru/zakonomernosti-massoobmennyyh-processov-pri-pererabotke-semjan-soi-v-korm-14033692>
6. **Фролов В. Ю., Сысоев Д. П., Класнер Г. Г.** Моделирование технологического процесса измельчения замоченного зерна сои // Техника и оборудование для села. 2015. Т. 212, № 2. С. 20–23. URL: https://elibrary.ru/full_text.asp?id=22962197
7. Современные технологии переработки сои в России / Л. В. Гапанова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. № 2. С. 30–31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9011015>
8. **Войтенко О. Д.** Оценка эффективности технологий тепловой обработки сои при производстве кормовых добавок // Ресурсосберегающие технологии и технические средства в животноводстве : сб. науч. тр. Зеленоград, 2005. № 5. С. 211–224.
9. **Зверев С. В., Козин Е. В.** Инактивация антипитательных веществ в сое при высокотемпературной микронизации // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. № 4. С. 30–31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=10439592>
10. **Bermúdez-Aguirre D., Mobbs T., Barbosa-Cánovas G. V.** Ultrasound applications in food processing. In: Feng H., Barbosa-Canovas G., Weiss J. Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing. Food Engineering Series. New York : Springer, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3_3
11. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food : A review / T. S. Awad [et al.] // Food Research International. 2012. Vol. 48, Issue 2. P. 410–427. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>
12. **Ботвинникова В. В., Красуля О. Н.** Формирование потребительских свойств кисломолочных напитков на основе эффектов ультразвука // Вестник Южно-Уральского государственного университета (Сер. «Пищевые и биотехнологии»). 2015. Т. 3, № 4. С. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.14529/food150405>
13. **Горбунова Н. А.** Альтернативные технологии – ультразвук в мясной промышленности (по материалам зарубежной литературы) // Все о мясе. 2016. № 2. С. 37–41. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25829026>
14. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat : A review / S. D. Jayasooriya [et al.] // International Journal of Food Properties. 2004. No. 2. P. 301–319. DOI: <https://doi.org/10.1081/JFP-120030039>
15. Plasma sterilizer with ultrasonic cavitation / V. V. Krasnyj [et al.] // Problems of Atomic Science and Technology. 2007. No. 1. P. 188–190. URL: http://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2007_1/article_2007_1_188.pdf

16. Inactivation of microorganisms / S. M. Alzamora [et al]. In: Feng H., Barbosa-Canovas G., Weiss J. Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing. Food Engineering Series. New York : Springer, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3_12

17. **Chen Z.** Microbial inactivation in foods by ultrasound // J Food Microbiol Saf Hyg. 2017. Vol. 2, Issue 1. 1000e102. DOI: <https://doi.org/10.4172/2476-2059.1000e102>

18. **Рудик Ф. Я., Коцацкий Ю. А.** Выбор рациональных параметров обработки зерна сои пероксидом водорода // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. № 11. С. 17–19.

19. **Рудик Ф. Я., Моргунова Н. Л., Коцацкий Ю. А.** Интенсификация водной обработки зерна сои с помощью ультразвука // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 66–69. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18949112>

20. **Рудик Ф. Я., Коцацкий Ю. А.** Повышение кормовой ценности зерна сои глубокой влажной обработкой // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 1. С. 41–42.

Поступила 06.12.2017; принята к публикации 29.03.2018; опубликована онлайн 29.06.2018

Об авторах:

Рудик Феликс Яковлевич, профессор, кафедра технологий продуктов питания, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., д. 1), доктор технических наук, ResearcherID: E-8546-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8444-0115>, k-pappsgau@rambler.ru

Загородских Борис Павлович, профессор, кафедра технического сервиса и технологии конструкционных материалов, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., д. 1), доктор технических наук, ResearcherID: E-8582-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3480-0631>, zagorodskihbp@yandex.ru

Моргунова Наталья Львовна, доцент, кафедра технологий продуктов питания, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., д. 1), кандидат сельскохозяйственных наук, ResearcherID: H-1435-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1671-0528>, morgunovanl@mail.ru

Коцацкий Юрий Анатольевич, технолог, ООО «ПиткоФФ» (663300, Россия, г. Норильск, ул. 50 лет Октября, д. 14), кандидат сельскохозяйственных наук, ResearcherID: H-1456-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5165-5723>, yurykodatsky@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

Ф. Я. Рудик – научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования, подготовка программы и начального варианта текста и формирование выводов; Б. П. Загородских – подготовка методики и анализ результатов исследований, доработка текста, редактирование текста; Н. Л. Моргунова – литературный и патентный анализ, проведение и обработка теоретических и экспериментальных исследований, верстка текста; Ю. А. Коцацкий – проведение теоретических и экспериментальных исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Filippov M. Quality analysis of soya processing products. *Zhivotnovodstvo Rossii = Livestock of Russia*. 2015; 9:60–61. Available at: <http://www.z zr.ru/node/4214> (In Russ.)

2. Svetashova L. A., Klimkina Ye. V. Current state of soybean production and evaluation of efficiency of technologies for its cultivation. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Voronezh State Agrarian University Bulletin*. 2015; 46(3):190–196. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24305299> (In Russ.)



3. Olkhovtov Ye. A., Shcherbakova Ye. V. [Development of recipes for bean pastes “Humus” with application of soybean seeds of modern varieties of domestic selection]. In: Proceedings of Russian Scientific Research Institute of Sheep and Goat Industry. 2015; 1(8):241–244. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24861458> (In Russ.)
4. 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. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Krasnoyarsk State Agrarian University Bulletin. 2016; 112(1):84–91. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-tehnologii-i-oborudovaniya-s-tselyu-polucheniya-soevogo-komponenta-dlya-pishevyyh-sistem-razlichnogo-naznacheniya> (In Russ.)
5. Rudik F. Ya., Morgunova N. L., Kodatsky Yu. A. Regularities of mass-transfer in the course of soy processing. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = Agrarian Scientific Journal. 2016; 5:70–73. Available at: <https://readera.ru/zakonmernosti-massoobmennyyh-processov-pri-pererabotke-semjan-soi-v-korm-14033692> (In Russ.)
6. Frolov V. Yu., Sysoev D. P., Klasner G. G. Simulation process of soaked soybeans crushing. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela* = Machinery and Equipment for Countryside. 2015; 212(2):20–23. Available at: https://elibrary.ru/full_text.asp?id=22962197 (In Russ.)
7. Gaponova L. V., Polezhaeva T. A., Volotovskaya N. V., Kuzmin A. L. [Modern technologies of soybean processing in Russia]. *Khraneniye i pererabotka selkhozsyrya* = Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2005; 2:30–31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9011015> (In Russ.)
8. Voytenko O. D. [Evaluation of the efficiency of soybean heat treatment technologies for the production of feed additives]. *Resursosberegayushchiye tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva v zhivotnovodstve* = Resource Saving Technologies and Technical Means in Animal Husbandry. 2005; 5:211–224 (In Russ.)
9. Zverev S. V., Kozin Ye. V. Inactivation of unhealthy substances in soy beans while IR-heating treatment. *Khraneniye i pererabotka selkhozsyrya* = Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2008; 4:30–31. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=10439592> (In Russ.)
10. Bermúdez-Aguirre D., Mobbs T., Barbosa-Cánovas G. V. Ultrasound applications in food processing. In: Feng H., Barbosa-Canovas G., Weiss J. Ultrasound technologies for food and bioprocessing. Food Engineering Series. New York: Springer; 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3_3
11. Awada T. S., Moharram H. A., Shaltout O. E., Askerd D., Youssef M. M. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*. 2012; 48(2):410–427. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>
12. Botvinnikova V. V., Krasulya O. N. Formulation of consumer properties of fermented milk products on the basis of ultrasound exposure. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Pishchevyye i biotekhnologii* = South Ural State University Bulletin. Series: Food and Biotechnology. 2015; 3(4):30–40. DOI: <http://doi.org/10.14529/food150405> (In Russ.)
13. Gorbunova N. A. Alternative technologies – ultrasound in meat industry (on the materials of foreign literature). *Vse o myase* = All about Meat. 2016; 2:37–41. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25829026> (In Russ.)
14. Jayasooriya S. D., Bhandari B. R., Torley P., D'Arcy B. R. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: A review. *International Journal of Food Properties*. 2004; 2:301–319. DOI: <https://doi.org/10.1081/JFP-120030039>
15. Krasnyj V. V., Klosovskij A. V., Panasko T. A., Shvets O. M., Semenova O. T., Taran V. S., et al. Plasma sterilizer with ultrasonic cavitation. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2007; 1:188–190. Available at: http://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2007_1/article_2007_1_188.pdf
16. Alzamora S. M., Guerrero S. N., Schenk M., Raffellini S., López-Malo A. Inactivation of microorganisms. In: Feng H., Barbosa-Canovas G., Weiss J. Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing. Food Engineering Series. New York: Springer; 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3_12
17. Chen Z. Microbial inactivation in foods by ultrasound. *J Food Microbiol Saf Hyg*. 2017; 2(1):E102. DOI: <https://doi.org/10.4172/2476-2059.1000e102>

18. Rudik F. Ya., Kodatsky Yu. A. [The choice of rational parameters for processing soybean grain with hydrogen peroxide]. *Khreneniye i pererabotka selkhozsyrya* = Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2011; 11:17–19. (In Russ.)

19. Rudik F. Ya., Morgunova N. L., Kodatskiy Yu. A. Intensifying the water processing of soya grain with ultrasound. *Nauchnoye obozreniye* = Scientific Review. 2013; 1:66–69. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18949112> (In Russ.)

20. Rudik F. Ya., Kodatskiy Yu. A. [Increasing the feed value of soybean grain by deep wet processing]. *Khreneniye i pererabotka selkhozsyrya* = Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2012; 1:41–42. (In Russ.)

Received 06.12.2017; revised 29.03.2018; published online 29.06.2018

About authors:

Felix Ya. Rudik, Professor, Chair of Food Technology, Vavilov Saratov State Agrarian University (1 Teatralnaya Sq., Saratov 410012, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: E-8546-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8444-0115>, k-pappsgau@rambler.ru

Boris P. Zagorodskih, Professor, Chair of Technical Service and Technology of Structural Materials, Vavilov Saratov State Agrarian University (1 Teatralnaya Sq., Saratov 410012, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: E-8582-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3480-0631>, zagorodskihbp@yandex.ru

Natalia L. Morgunova, Associated Professor, Chair of Food Technology, Vavilov Saratov State Agrarian University (1 Teatralnaya Sq., Saratov 410012, Russia), Ph.D. (Agriculture), ResearcherID: H-1435-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1671-0528>, morgunovanl@mail.ru

Yury A. Kodatsky, Technologist, PitkoFF (14 50 let Oktyabrya St., Norilsk 663300, Russia), Ph.D. (Agriculture), ResearcherID: H-1456-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5165-5723>, yurykodatsky@yandex.ru

Authors' contribution:

F. Ya. Rudik – scientific management, formation of the basic concept and the research task, development of the program, writing the draft and drawing the conclusions; B. P. Zagorodskih – development of methods and analysis of research results, revising and editing the text; N. L. Morgunova – literary and patent analysis, processing the theoretical and experimental research, word processing; Yu. A. Kodatsky – carrying out theoretical and experimental studies.

All authors have read and approved the final version of the paper.