10.28983/asj.y2020i3pp91-95 УДК 633.853.52

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СОИ

РУДИК Феликс Яковлевич, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

МОРГУНОВА Наталья Львовна, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

СЕМИЛЕТ Никита Александрович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

АБДУМАЛИКОВ Исломжон Рустамжон угли, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

МАКАРОВ Денис Вячеславович, *ОАО НПП "Химмаш-Старт"*

В статье описаны технологические особенности применения сои. Проведено теоретическое обоснование использования низкочастотной ультразвуковой технологии при обработке сои. Представлены материалы исследований подавления активности ингибитора трипсина и уреазы в сое.

Введение. Соя используется человеком с древних лет и обусловливается это тем, что она является универсальной зернобобовой культурой для потребления как человеком, так и животными, а также для использования в медицинских и промышленных целях. Уникальность химического состава сои заключается прежде всего в том, что в зависимости от сортовых особенностей и условий выращивания, она может содержать 27–50 % белка, 15–28 % масла, 14–33,2 % углеводов. Оптимальное содержание в сое минеральных солей от 3,2 до 4,2 %, кальция от 320 до 350 мг, железа от 9,2 до 14,9 % и фосфора, а также в большом количестве витаминов Р, С, РР, Е, и в малом А, B_1, B_2, B_3, B_6 и К свидетельствует о высоких потенциальных возможностях этой культуры. Вышеперечисленное предопределило возможности использования сои в пищевых и кормовых целях (рис. 1).

К основным соевым продуктам относятся цельная и обезжиренная соевая мука, соевая крупа, соевые хлопья, соевое молоко, натуральные добавки, закуски, соусы, кисломолочные продукты, сыры и масло. При этом следует отметить, что абсолютное большинство продуктов из сои обладают уникальными пищевыми свойствами, ведущими к их принадлежности к продуктам здорового питания. Так, соевый белок, являясь полноценным, содержит в себе полный набор необходимых для человека аминокислот, а также таких основных незаменимых, как изолейцин, лейцин, лизин, метионин, фенилаланин, триптофан, треонин и валин. Все они относятся к водорастворимым белкам и значительно дешевле белков животного происхождения [2].

Соевое масло характеризуется высоким содержанием незаменимых жирных кислот, в том числе полиненасыщенных жирных кислот (линолевой и линоленовой), легко усвояемых организмом человека. Соевая мука в пищевой индустрии используется в качестве ингредиента для таких продуктов питания, как супы, соусы, напитки и десерты, добавки к хлебобулочным и мясоколбасным изделиям.

Соевое молоко и кисломолочные продукты являются водным экстрактом соевых зерен, в них отсутствует холестерин и много белка, полезного для всех слоев населения и особенно людей, не переносящих лактозу.

Изолят соевого белка представляет собой рафинированную форму, с 90%-м содержанием белка в перерасчете на сухое вещество.

Соевая мука и крупа изготавливаются из зерна сои и отличаются друг от друга величиной помольных частиц.

Однако следует отметить, что зерно сои и продукты ее переработки не являются традиционными для населения России, из всего объема производства сырья всего 8–10 % приходится на пищевые продукты, и, несомненно, что это положение следует менять.

В этой связи Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на

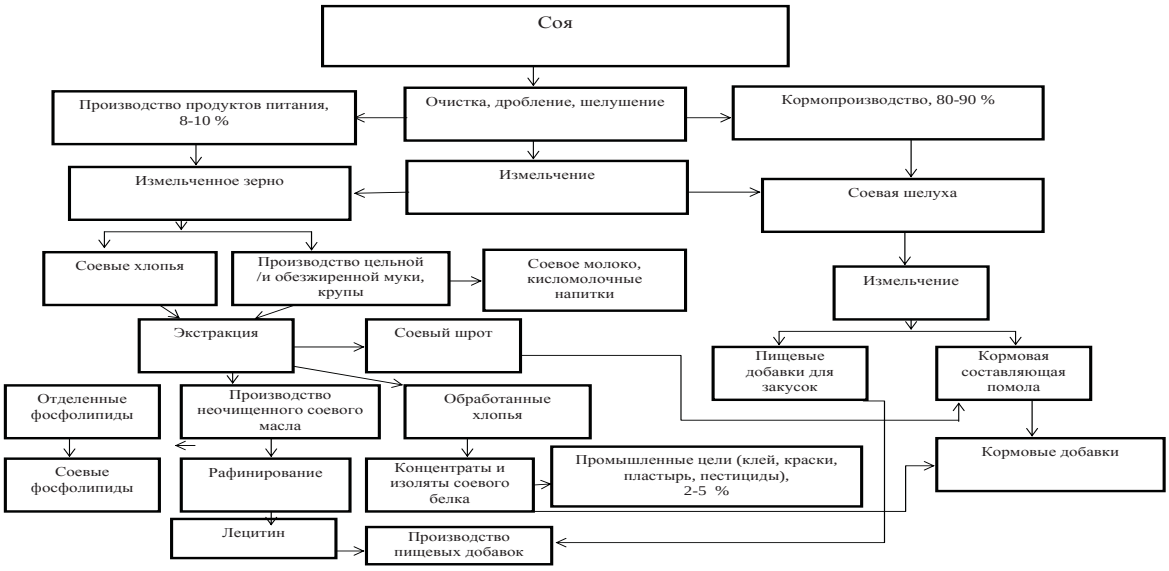

Рис. 1. Технологические направления применения пищевой и кормовой сои

2013–2020 годы и Доктриной продовольственной безопасности и импортозамещения России ключевая роль отводится активизации применения сои как в пищевых целях, так и в кормопроизводстве.

Проблематичным для увеличения применения сои в пищевой промышленности и кормопроизводстве является наличие антипитательных веществ. Наиболее отрицательное действие оказывают ингибиторы трипсина Куница и Баумана–Бирка. Причем ингибитор трипсина обладает явно выраженным отрицательным свойством не расщепляться пепсином желудка, в результате переваривание белка прекращается на стадии полипептидов, что ведет к сокращению его усвоения до 40 %.

Негативно также воздействие уреазы, представляющей собой гидролитический фермент из группы амидаз, обладающий свойством катализировать гидролиз мочевины в диоксиды углерода и аммиака, ведущий к неприятному вяжущему вкусу, запаху и низкой перевариваемости. Сырой сое необходима обработка, путем которой осуществляется экстракция бобов, что ведет к значительному изменению его химических и биологических свойств и в значительной мере снижает антипитательные свойства.

Для устранения недостатков сои, в пищевой и кормовой отраслях используются технологии, предусматривающие тепловую, механическую или химическую обработку. Однако из-за комплексного воздействия высокой температуры и влажности при обработке сои наблюдается гидролиз жиров, а также упрочнение структуры и ухудшение органолептических показателей продуктов переработки. Учитывая, что связь между ингибиторами трипсина и уреазой в условиях достаточной влажности может одновременно инактивироваться, появилась возможность их удаления выщелачиванием водным экстрагированием.

Используемые в настоящее время технологии тепловой обработки автоклавированием, пропариванием, поджариванием и механической – экструдированием дают определенный положительный эффект (табл. 1).

Исходя из данных табл. 1, утверждать о высокой эффективности водной тепловой и механической обработки сои не приходится. Остаточные показатели ингибитора трипсина и уразы достаточно высокие, и если для кормовых целей они в некоторой степени приемлемы, то для продуктов питания являются сдерживающим фактором.

Цель исследования – удаление ингибиторов трипсина и уреазы в сое интенсификацией процесса водного экстрагирования ультразвуком низких частот.

Исходя из биологической структуры зерна сои, характеризующейся большим числом пор на ее поверхности и капилляров внутри, растворение и вывод белковых ингибиторов и уреазы зависят от интенсивности влагопереноса [1].

Кинетика действия капиллярных сил при перемещении жидкости в твердом теле характеризуется межфазным контактом непрерывно поступающей жидкости в поры. Скорость течения жидкости подчиняется закону Пуазейля, учитывающему характеристики капилляра, жидкости и давления:

$$\frac{dl_к}{dt_п} = \frac{p_д r_л^2 \varepsilon}{8\mu l_л}, \text{ м/с}, \qquad (1)$$

Таблица 1

Показатели инактивация ингибитора трипсина и уреазы

Способ обработки	Активность после обработки	
	ингибитор трипсина, мг/г	уреаза, pH
Сырая соя	44,8	2,20
Соя, обработанная автоклавированием	4,4	0,05
Соя пропаренная	6,5	0,06
Соя прожаренная	5,2	0,15
Соя экструдированная	5,2	0,8

где $l_к$ – длина капилляра, м; $p_д$ – движущее давление, Па; $r_к$ – радиус капилляра, м; ε – коэффициент, учитывающий влияние пористой структуры зерна сои на движение жидкости в капилляре; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с.

Время пропитки, а соответственно, и количество выводимых ингибиторов и уреазы в соответствии с приведенным выражением (1) зависят от показателей биологического строения сои – длины $l_к$ и радиуса капилляра $r_к$, давления $p_д$ и вязкости μ.

Следовательно, для обеспечения высокой эффективности экстрагирования необходимо технологически обеспечить оптимальную длину капилляра и повысить движущее давление жидкости. Оптимальная длина капилляров может быть обеспечена только путем предварительного измельчения, а увеличение скорости продвижения жидкости в капиллярах интенсификацией давления, воздействием на жидкость направленными колебательными микротечениями.

Установлено, что наиболее эффективным средством интенсификации процесса экстракции ингибиторов являются акустические течения, возбуждаемые ультразвуком. Акустические волны представляют собой направленные микротечения, где скорость распространения звуковых волн в жидкости

$$V = A\omega\cos\omega t, \text{ м/с} \qquad (2)$$

зависит от амплитуды максимального смещения колебаний A, их циклической частоты $\omega = 2\pi/t$ и времени распространения.

Учитывая закономерность распространения звуковых волн в жидкостях

$$c = \sqrt{\frac{1}{k_{од}\rho}}, \text{ м/с}, \qquad (3)$$

в зависимости от коэффициента адиабатической сжимаемости жидкости $k_{од}$ $k_{од}$ и ее плотности ρ определяется длина волны:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \text{ м}. \qquad (4)$$

Интенсивность вывода ингибитора трипсина и уреазы осуществляется за счет конвекции – внутреннего переноса энергии микропотоками. Повышенная эффективность процесса конвективной диффузии, в сравнении с молекулярной, объясняется тем, что возрастает коэффициент диффузии и, соответственно, массообмен в обрабатываемом зерне сои, ведущий к повышению качества и сокращению времени экстрагирования.

В соевом зерне ингибиторы Кунитца и Баумана–Бирка составляют 1,4 и 0,6 % от доли белка соответственно. Наибольшим антипитательным воздействием, до 90 %, обладает ингибитор Кунитца. Данный ингибитор растворим в водной среде, поэтому широкое распространение получило водное экстрагирование.

Методика исследований. Исследованию подвергались зерна сои районированных сортов Злата, Бара, Соер 4, Соер 5 с различными показателями активности ингибитора трипсина и уреазы.

Полагаясь на выдвинутую гипотезу возможности интенсификации экстрагирования ингибиторов протеолитических ферментов и уреазы, исследованию подвергались установленные технологические и режимные параметры – степень измельчения сои, концентрация окислителя в рабочем растворе, его расход, экспозиция процесса и параметры ультразвукового излучения. Снижение активности фермента уреазы в зерне сои осуществлялось за счет окисляющего воздействия пероксида водорода в водной среде при воздействии ультразвука. Активность ингибитора трипсина в сое определялась казеинолитическим методом М.Л. Какейда (в модификации И. И. Бенкен); степень активности уреазы – по ГОСТ 13979.9–69 «Жмыхи и шроты. Методика выполнения измерений активности уреазы».

Результаты исследований. В исследуемых семенах сои наибольшая активность ингибитора была у сорта Соер 5, наименьшая – у

Злата, активность уреазы наибольшая – у Злата, наименьшая у сорта Соер 4 (табл. 2). В пищевой технологии не нормируются показатели уреазы или ингибиторов для продуктов из сои, однако продукты, получаемые при невысоких температурах, содержат антипитательные вещества. В кормовой технологии к нормируемым показателям относится содержание уреазы 0,1-0,3 ед. pH по ГОСТ 27149-95 Жмых соевый кормовой. Технические условия и 0,02-0,2 ед. pH по ГОСТ Р 53799-2010 Шрот соевый кормовой тостированный. Технические условия. Некоторые ученые предлагают снизить нормируемый показатель активности уреазы до 0,05 ед. pH [3].

Исследованиями установлено, что характер подавления ингибитора протеолитических ферментов зависит от времени замачивания. При этом наблюдаются активные изменения в период 4 ч замачивания, в последующем, к 6 ч обработки, активность падения показателя ингибитора снижается. Показатели являются остаточными и практически не меняются при продолжении процесса замачивания (рис. 2). К 8 час замачивания показатели активности ингибитора снизились у Соер-5 до 9,1 мг/г, у Соер-4 – 6,8 мг/г, у Злата – 2,7 мг/г, у Бара – 3 мг/г, что позволяет утверждать об эффективности водного экстрагирования. Однако остаточные показатели являются высокими.

Процесс интенсификации подавления активности ингибитора исследовали путем ускорения массообменного процесса воздействием ультразвуковых колебаний низких частот (рис. 3).

Результаты исследований показали, что при обработке сои в воде ультразвуком с частотой 20 кГц время подавления ингибиторов значительно сокращается, причем резкое падение наблюдается в течение 30 мин, затем показатели изменяются не значительно.

Обработка измельченной сои показала, что активность уреазы снижается с увеличением степени измельчения (рис. 4). Наилучшие показатели были при мелком измельчении сои, когда размер частиц достигал 0,25 мм. Однако обработка измельченной сои в воде не позволяет достичь нормируемых показателей. Поэтому было принято решение применения окисляющего раствора, содержащего пероксид водорода в разных процентных соотношениях.

Опытным путем была установлена концентрация раствора (12 %), позволяющая снижать активность уреазы до нормируемых параметров [4]. Однако ускорение экстрагирования антипитательных веществ с помощью ультразвука позволило снизить концентрацию раствора до 9 %. На рис. 5 представлены данные инактивации уреазы при обработке в поле ультразвука частотой 20 кГц при окисляющем действии пероксида водорода концентрацией 9 % в течение 30 мин в сравнении с обработкой ультразвуком или пероксидом водорода.

Применение ультразвуковой обработки с частотой 20 кГц измельченной сои в растворе с 9 % концентрацией пероксида водорода позволило достичь нормируемых показателей активности уреазы (см. рис. 5).

Заключение. В результате теоретических и экспериментальных исследований были установлены антипитательные вещества, негативно влияющие на пищевую и кормовую ценность зерна сои. Теоретически обоснована целесообразность кинетического воздействия капиллярных сил при перемещении жидкости в твердом теле. Установлено, что скорость течения, в соответствии с законом Пуазейля, зависит от размерных характеристик капилляра, вязкости жидкости и движущего давления жидкости. На этом основании и принято в дальнейших исследованиях, что время пропитки и качество инактивации ингибитора трипсина и уреазы можно интенсифицировать за счет уменьшения длины капилляров предварительным размолом зерна сои. А продвижение жидкости в капиллярах повысить за счет направленных колебательных акустических микротечений, создаваемых ультразвуком. Предложенная технология позволяет значительно снизить активность ингибиторов трипсина и активность уреазы до нормируемых показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Корчунов В.В., Бражная И.Э.* Химия пищи: учеб. пособие. – Мурманск, 2011. – 128 с.

Таблица 2

Содержание антипитательных веществ в сое

Показатель	Сорт			
	Злата	Бара	Соер 4	Соер 5
Активность уреазы, ед. pH	2,33	2,26	2,21	2,31
Активность ингибитора, мг/г	21,1	51,2	45,6	61,3

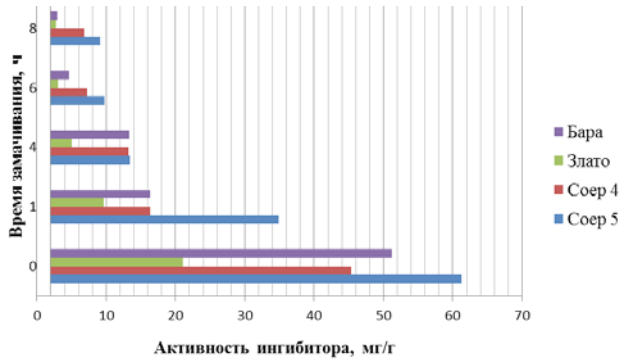

Рис. 2. Параметры активности ингибитора в зависимости от времени замачивания сортов сои: Злата; Бара, Соер 4, Соер 5

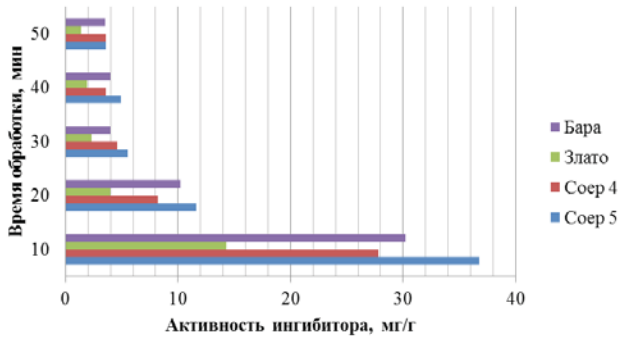

Рис. 3. Параметры активности ингибитора в зависимости от времени обработки сои ультразвуком 20 кГц

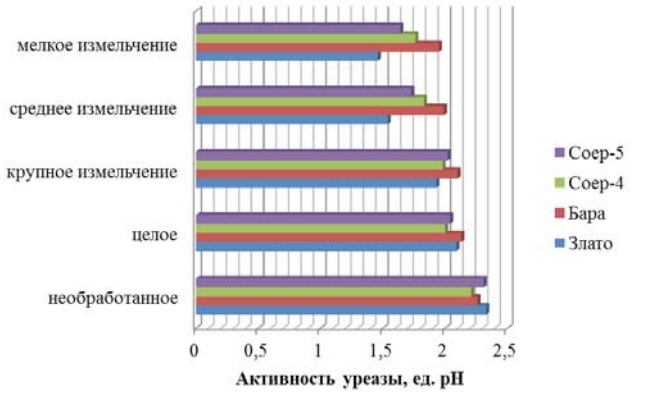

Рис. 4. Параметры активности уреазы, ед. pH

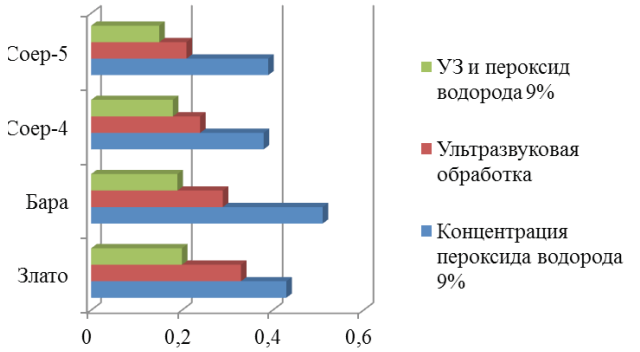

Рис. 5. Параметры активности уреазы, ед. pH

2. *Петибская, В.С.* Соя: химический состав и использование / под ред. В.М. Лукомца. – Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2012. – 432 с.

3. *Руис Н.* Активность уреазы в соевом шроте. Новый взгляд // Комбикорма. –2013. – № 10. – С. 59–61.

4. Совершенствование технологии переработки сои с использованием ультразвука / Ф.Я. Рудик [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28.– № 2.– С. 266–286.

Рудик Феликс Яковлевич, *д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологии продуктов питания», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Моргунова Наталья Львовна, *канд. с.-х. наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Семилет Никита Александрович, *канд. техн. наук, ассистент кафедры «Технологии продуктов питания», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Абдумаликов Исломжон Рустамжон угли, *магистрант, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

410056, г. Саратов, ул. Соколовая, 335.

Тел.: (8452) 69-26-21.

Макаров Денис Вячеславович, *ОАО НПП "Химмаш-Старт". Россия.*

440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3.

Тел.: (841-2) 56-26-64.

Ключевые слова: *соя; ультразвук; уреаза; ингибитор; пероксид водорода*

TECHNOLOGY AND TECHNICAL MEANS FOR SOYBEAN PROCESSING

Rudik Felix Yakovlevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Food Technology", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Morgunova Natalia Lvovna, *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the chair "Food Technology", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Semilet Nikita Aleksandrovich, *Candidate of Technical Sciences of the chair "Food Technology", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Abdumalikov Islomzhon Rustamjon ugli, *Magistrandt, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Makarov Denis Vyacheslavovcih, *OAO NPP "Himmash-Start". Russia.*

Keywords: *soy; ultrasound; urease; inhibitor; hydrogen peroxide.*

The authors describe the technological directions of soybean application. The materials of studies of reducing the activity of trypsin inhibitor and urease in soybean are presented. The theoretical justification of the use of low-frequency ultrasonic treatment of soybean is described.