

Формирование качественных характеристик соевого солода посредством использования активатора роста органической природы



Ю. Ю. Миллер^{1,*}, Т. Ф. Киселева², Ю. В. Арышева²

¹ Сибирский университет потребительской кооперации^{ROR}, Новосибирск, Россия

² Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Дата поступления в редакцию: 21.01.2021

Дата принятия в печать: 22.02.2021



*e-mail: miller.yuliya@mail.ru

© Ю. Ю. Миллер, Т. Ф. Киселева, Ю. В. Арышева, 2021

Аннотация.

Введение. Перспективным сырьем в пищевых технологиях можно считать сою, отличающуюся высоким содержанием белка и аминокислот. Однако использовать данное сырье в производстве продуктов питания, в частности в напитках, возможно, предварительно снизив в ней уровень антипитательных соединений. Цель исследования – получение солода на основе сои, обладающего высокой ферментативной активностью, низким содержанием антипитательных веществ и повышенной пищевой ценностью.

Объекты и методы исследования. Сорты сои Дальневосточной селекции и солода на их основе. В работе применялись стандартные методы контроля качества сырья, полупродуктов и готовой продукции пивобезалкогольной отрасли, метод капиллярного электрофореза, спектрофотометрический и потенциометрический методы.

Результаты и их обсуждение. Проведение проращивания сои всех сортов способствует накоплению гидролитических ферментов и аминокислот в зерне. Использование на стадии замачивания комплекса органических кислот из цикла Кребса в концентрации 10^{-9} моль/дм³ стимулирует гидролитические процессы в сое и приводит к увеличению амилолитической, протеолитической и липоксигеназной активностей на 11, 22 и 12 % соответственно. Уровень уреазы, коррелирующий с содержанием антипитательных веществ, снижается в 2 раза от уровня исходной сои и составляет 0,4–0,5 ед. рН. Сокращается продолжительность стадии проращивания до 2,5–3 суток, повышается содержание аминокислот на 33–35 % в сравнении с необрабатываемым при замачивании солодом.

Выводы. Проведение солодоращения сои с применением комплекса органических кислот позволяет получить соевый солод с высокими качественными и технологическими показателями, повышенным уровнем аминокислот, допустимым уровнем антипитательных веществ, пригодным в производстве пищевых продуктов, в частности напитков.

Ключевые слова. Соя, солод, солодоращение, антипитательные вещества, ферментативная активность, аминокислоты, правильное питание

Для цитирования: Миллер Ю. Ю., Киселева Т. Ф., Арышева Ю. В. Формирование качественных характеристик соевого солода посредством использования активатора роста органической природы // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 2. С. 248–259. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-248-259>.

Original article

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

Forming Soy Malt Quality with Organic Growth Promoters

Yuliya Yu. Miller^{1,*}, Tatyana F. Kiseleva², Iulia V. Arysheva²

¹ Siberian University of Consumer Cooperatives^{ROR}, Novosibirsk, Russia

² Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: January 21, 2021

Accepted: February 22, 2021



*e-mail: miller.yuliya@mail.ru

© Yu.Yu. Miller, T.F. Kiseleva, Iu.V. Arysheva, 2021

Abstract.

Introduction. Soy is one of the most promising plant raw materials as it is rich in proteins and amino acids. However, its content of anti-nutritive compounds is too high to be used in food and beverage industry without precure. The research objective was to obtain soy-based malt with a high enzymatic activity, low content of anti-nutritional substances, and increased nutritional value.

Study objects and methods. The study featured Far-Eastern soybean varieties and malt. It involved standard methods of quality control of raw materials, semi-finished products, and finished products of beer and alcohol industry, as well as the capillary electrophoresis, spectrophotometry, and potentiometry.

Results and discussion. Germination of soybeans of all varieties contributed to the accumulation of hydrolytic enzymes and amino acids in the grain. The use of a complex of organic acids from the Krebs cycle at a concentration of 10^{-9} mol/dm³ at the soaking stage increased amylolytic, proteolytic, and lipoxygenase hydrolytic processes by 11, 22, and 12%, respectively. The level of urease, which correlates with the content of anti-nutritional substances, decreased by two times from the original level and was 0.4–0.5 units of pH. Germination stage fell down to 2.5–3 days, while the content of amino acids increased by 33–35% in comparison with unprocessed malt during soaking.

Conclusion. The use of organic acids in soy malting improved the quality and technological indicators, increased the level of amino acids, and decreased the level of anti-nutritional substances, making soy malt suitable for beverage industry.

Keywords. Soy, malt, malting, anti-nutritional substances, enzymatic activity, amino acids, proper nutrition

For citation: Miller YuYu, Kiseleva TF, Arysheva IuV. Forming Soy Malt Quality with Organic Growth Promoters. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):248–259. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-248-259>.

Введение

Огромную роль в полноценной жизни человека играет питание, являющиеся фундаментальной базой здоровья. Правильное питание, основанное на определенных принципах, способствует не только укреплению здоровья, в том числе повышению иммунитета, улучшению функционирования отдельных органов и снижению веса, но и получению положительных эмоций. Многочисленные оздоровительные программы и проекты, проходящие во многих странах мира, демонстрируют роль и значимость улучшения структуры питания в снижении заболеваемости и смертности населения. Поэтому правильное питание считается приоритетным фактором, обеспечивающим высокую продолжительность жизни и ее качество.

Организация правильного питания должна основываться на современных научных подходах, основной целью которых является сохранение здоровья человека и обеспечение его трудоспособности. При правильном питании нужно соблюдать следующие принципы: режим питания, калорийность и разнообразие рациона, а также его рациональное распределение в течение всего дня. Повышенное внимание уделяется гармоничности и сбалансированности употребляемой пищи, которая должна интегрировать в себе все необходимые макро- и микронутриенты. Белки всегда позиционируются как основной «строительный материал», с которым тесно связаны все жизненные процессы, такие как обмен веществ, рост и развитие молодого организма, регенерация клеток в зрелом возрасте. Углеводы и жиры выполняют энергетическую функцию. Витамины и минеральные вещества участвуют в регулировании процессов, происходящих в организме человека, а вода выступает в качестве универсального растворителя.

Присутствующие в рационе питания человека белки выполняют не только строительную функцию, но и выступают в качестве органических катализаторов, ускоряющих биохимические процессы в организме человека. Кроме этого, белки входят в состав гормонов, являются факторами роста, выполняют транспортную функцию, насыщая ткани кислородом и питательными веществами, а также являются источниками аминокислот. Белки являются незаменимыми компонентами питания человека, поскольку не имеют возможности накапливаться в организме. Особое внимание при питании человека уделяется употреблению белков животного происхождения. Это обусловлено их высокой биологической ценностью, критерием которой служит аминокислотный скор белка, имеющий явное преимущество относительно аминокислотного сора белков из растительного сырья. Однако при составлении суточного рациона на долю белков животного происхождения отводится около 55–60 %, что говорит о необходимости введения в рацион также продуктов растительного происхождения с повышенным содержанием белка.

Приоритетным источником растительного белка принято считать бобовые. Соя является одной из самых высокобелковых сельскохозяйственных культур, возделываемых в мире. Это свойство позволяет использовать ее в приготовлении различных готовых блюд и основ для их получения в качестве заменителя животного белка. Уникальность соевого зерна с точки зрения использования его в пищевой промышленности заключается в одновременном получении из него масла и высокобелковых жмыха и шрота, являющихся сырьем для производства широкого ассортимента пищевых продуктов с высоким содержанием белка. Из соевого зерна производят соевое молоко, мисо, тофу, солод, муку, соевые ростки, соевые соусы, изоляты и другие продукты [1–6]. При этом традиционным можно

считать использование соевой культуры в производстве ферментированных и неферментированных продуктов [7, 8].

Соя является уникальным зерновым сырьем, сочетающим в себе масличность и белковость с присутствием ценных витаминов и зольных элементов. Химический состав семян сои по содержанию белка и свободных аминокислот выделяется в сравнении с другими широко распространенными высокобелковыми пищевыми продуктами, такими как фасоль, творог, яйцо куриное и др. В зерне сои содержится 38–43 % белка, в оболочках – 4,9–6,7 %. Белок сои генеративный. В зависимости от сортовых особенностей он на 88–95 % представлен водорастворимой фракцией, включающей альбумины (8–25 %), легкорастворимые (60–81 %) и труднорастворимые глобулины (3–7 %). На долю экстрактивных азотных веществ приходится 15–20 % общего азота, а нерастворимый остаток составляет не более 5 % [9–11]. Глобулиновая фракция состоит из двух компонентов, различающихся константами седиментации (11S и 7S). Аминокислотный состав глобулина следующий: незаменимые аминокислоты – валин, лейцин, изолейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин; заменимые – аланин, аргинин, аспаргиновая кислота, гистидин, глицин, глутаминовая кислота, пролин, серин, тирозин и цистеин.

Кроме азотистых соединений большое внимание по химическому составу соевой культуры уделяется содержанию в ней ферментов, поскольку ферментативные процессы оказывают существенное влияние на химический состав данной бобовой культуры и возможности ее использования в производстве пищевых продуктов. Ферментный потенциал сои достаточно разнообразен и представлен следующими соединениями: уреазы, липаза, липоксигеназа, протеаза, протеиназа, каталаза, пероксидаза, фитаза, редуктаза и др., активность которых изменяется в ту или иную сторону в процессе проращивания зерна.

Жирорасщепляющие ферменты присутствуют в зерне в виде двух соединений в активном состоянии (даже в нативном непророщенном зерне) в сравнении с другими злаковыми. При этом липоксигеназа, присутствующая в сое, способна сохранять свою активность даже при повышении pH до 12 ед. Присутствие данных ферментов в зерне играет отрицательную роль, поскольку они провоцируют при расщеплении липидов и жирных кислот образование соединений с неприятным запахом прогорклости.

Протеолитические ферменты сои представлены в виде двух белокгидролизующих систем. Их принципиальное отличие заключается в оптимальном их действия относительно уровня pH – 5,5 и 7,0. Доказано, что действие этих ферментов влияет только на белок пророщенного зерна, что объясняется модификацией белка сои в процессе проращивания за счет разрушения четвертичной структуры.

Это подготавливает белок к воздействию на него протеаз. Приоритетную роль в проведении подобной модификации играют синтезированные протеазы, образование которых происходит в первые часы замачивания зерна. Совместное действие пептидаз и протеиназ в зерне обеспечивают полный распад его протеиновых соединений.

Зерно сои содержит незначительное количество ферментов амилитического действия, которые представлены β -амилазой. Ее содержание в зерне зависит от сортовых особенностей и климатических условий выращивания сои. При этом β -амилаза может содержаться как в пророщенном, так и непророщенном зерне данной бобовой культуры.

Особое внимание ферментной системы сои уделяется содержанию в ней уреазы, поскольку данный фермент является косвенным ориентиром пищевой ценности сои. Уреазы – однокомпонентный фермент из группы амидаз, катализирующий реакцию расщепления мочевины с образованием аммиака и углекислого газа, поэтому присутствие уреазы в активной форме в пищевых продуктах нежелательно. Кроме этого, по наличию активной уреазы в сое следует ожидать присутствия в высоких концентрациях антипитательных веществ, таких как ингибиторы протеаз, сапонины, танины и др. Наибольшее значение при использовании сои в пищевых продуктах уделяется ингибиторам протеолитических ферментов (трипсина и химотрипсина), которые разделяют на три уровня активности ферментов – низкий, средний и высокий. Соевая культура относится к зерну с высоким уровнем трипсинингибиторной активности. Вследствие этого ее использование без специальной обработки, снижающей концентрацию антипитательных веществ, в качестве сырья для производства пищевых продуктов невозможно.

На сегодняшний день существует большое количество методов и технологических приемов, изменяющих химический состав сои и позволяющих минимизировать концентрацию антипитательных веществ в сое, тем самым повышая ее пищевую ценность [12–19]. Эффективным действием инактивации трипсина считается термическая обработка зерна, при которой активность антипитательных соединений падает. При этом снижение происходит в той же степени, что и снижение активности уреазы. В связи с этим оценку содержания в сое антипитательных веществ проводят по определению активности фермента уреазы, поскольку активность данного фермента напрямую коррелирует с концентрацией трипсина в соевой культуре.

Повышение температуры при обработке сои до 115 °C посредством автоклавирования и выдержка при этой температуре в течение 20 мин позволяет полностью разрушить ингибиторы трипсина и частично расщепить антивитамины, фитаты и другие нежелательные соединения, снижающие пищевую ценность сои.

В ряде стран при использовании белковых продуктов из семян бобовых культур в хлебопечении, кондитерской и других отраслях пищевой промышленности особое внимание уделяется подтверждению отсутствия высокой активности как ингибиторов ферментов, так и лектинов. По сравнению с ингибиторами ферментов снижение активности лектинов может быть достигнуто при применении мягких режимов обработки (нагревание при 80 °С).

Применение термоденатурации в качестве приема снижения антипитательных веществ зерна в определенных пределах позволяет увеличить перевариваемость соевых белков за счет повышения активности протеолитических ферментов, гидролизующих белки. Сама соя после проведения инактивации антипитательных веществ становится более полноценной с точки зрения пищевой ценности, поскольку содержит большое количество незаменимых аминокислот.

Интересным способом снижения активности уреазы в сое и в ее оболочке является использование хитозана, действие которого направлено на связывание фермента уреазы через сульфгидрильные группы. Данная иммобилизация уреазы приводит к снижению ее активности на 50 % [16].

Хорошие результаты дает обработка сои инфракрасными лучами различной мощности (814, 1003, 1208 и 1342 Вт). Данный способ позволяет проводить обработку сухого и замоченного зерна. В последнем случае рекомендуется увеличить продолжительность до 30–45 мин, в то время как сухое зерно можно выдерживать под инфракрасными лучами около 10–15 мин в зависимости от их мощности. Такое воздействие позволяет снизить не только активность уреазы, но и ингибитора трипсина и липоксигеназ [17].

Известен способ твердофазного брожения (SSF) с применением микроорганизмов *Lactobacillus casei*,

позволяющий изменить химический состав соевой муки в лучшую сторону, в том числе по содержанию в ней изофлавонов, фенольных кислот, антиоксидантных соединений, витаминов В₁ и В₂. В то же время данный способ брожения приводит к снижению нежелательных соединений, таких как липоксигеназа, ингибитора трипсина и уреазы. Кроме этого, происходит увеличение содержания незаменимых аминокислот [18].

Еще одной группой способов снижения антипитательных веществ в сое, кроме термической обработки, можно считать проращивание бобовой культуры. Солодоращение позволяет получить зерновое сырье с требуемым химическим составом, а использование на отдельных этапах солодоращения различных стимуляторов позволяет добиться желаемого результата с большим эффектом и с сокращением расходных ресурсов.

В настоящее время ведется поиск новых путей совершенствования солодоращения сои. Известны способы получения соевого солода с применением ферментных препаратов, способствующие снижению антипитательных веществ сои: использование ферментных препаратов различной направленности «Brewers» и «Коллупулин» на стадиях получения солода, позволяющие снизить общее количество антипитательных веществ на 77 % [19].

Целью исследования являлось целенаправленное изменение химического состава сои посредством проведения проращивания зерна с применением органического активатора, способствующего снижению в ней антипитательных веществ и повышению пищевой ценности зерна, позволяющего в перспективе использовать сою в качестве альтернативного зернового ресурса в производстве напитков.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования стали соя сортов

Таблица 1. Физико-химические показатели сои

Table 1. Physicochemical profile of soybean

Наименование показателя	Содержание в сое		
	«Гармония»	«Ария»	«Приморская 69 (Фортуна)»
Цвет, запах, вкус	свойственный нормальной сое, без посторонних оттенков		
Массовая доля влаги, %	10,8 ± 0,1	10,4 ± 0,1	10,5 ± 0,1
Натура, г/дм ³	705,0 ± 1,0	710,0 ± 1,0	712,0 ± 1,0
Абсолютная масса, г	48,9 ± 1,0	48,7 ± 1,0	49,1 ± 0,1
Способность прорастания, %	96,6 ± 0,5	95,9 ± 0,5	96,3 ± 0,1
Массовая доля белка, %	38,9 ± 0,1	39,8 ± 0,1	41,6 ± 0,1
Массовая доля крахмала, %	28,4 ± 0,5	27,6 ± 0,5	26,4 ± 0,5
Массовая доля жира, %	11,7 ± 0,1	14,3 ± 0,1	13,6 ± 0,1
Массовая доля экстрактивных веществ, %	42,7 ± 0,1	43,1 ± 0,1	43,0 ± 0,1
Активность уреазы, ед. рН	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1
Амилитическая способность, ед/г	85,4 ± 0,1	80,1 ± 0,1	74,2 ± 0,1
Протеолитическая активность, ед/г	29,1 ± 0,1	24,5 ± 0,1	28,7 ± 0,1
Активность липоксигеназы, ед/г	2370,0 ± 1,0	2420,0 ± 1,0	2170,0 ± 1,0
Содержание аминокислот	34300	33150	35100

«Гармония», «Ария», «Приморская 69 (Фортуна)» Дальневосточной селекции и солод на их основе. Предметом – качественные показатели соевого зерна на стадиях получения из него солода. Методами исследования являлись методы контроля качества сырья, полупродуктов и готовой продукции, традиционно принятые в пивобезалкогольной отрасли, а также специальные методы (определение аминокислот методом капиллярного электрофореза, липоксигеназной активности – спектрофотометрическим методом, активность уреазы – потенциометрическим методом). Качественные показатели исследуемых образцов сои приведены в таблице 1.

Анализируя представленные в таблице 1 результаты, было отмечено высокое содержание белка во всех образцах сои. Это и послужило основанием выбора данных сортов соевой культуры. Массовая доля экстрактивных веществ находится на невысоком уровне, который недостаточен для полноценного извлечения всех экстрактивных веществ зерна. Однако данная проблема решается посредством солодоращения, позволяющего накопить ферментный потенциал зерна и обеспечить максимально возможный гидролиз высокомолекулярных соединений. Особое значение при оценке исходных качественных и технологических показателей исследуемых образцов сои уделялось ферментативной активности зерна. При этом, как показывают результаты таблицы 1, все образцы имеют недостаточный (одинаковый для всех образцов) уровень гидролитических ферментов. В то же время уровень уреазы составляет 0,8–0,9 ед. рН, что является «тревожным» значением, характеризующим повышенное содержание антипитательных веществ. Еще одним важным показателем с точки зрения солодоращения является высокая «способность

прорастания» зерна, которая позволяет говорить о возможных перспективах получения соевого солода из отобранных для исследования образцов сои.

Результаты и их обсуждение

Солодоращение – прогрессивный способ снижения антипитательных веществ соевой культуры. В процессе солодоращения при определенном сочетании факторов технологических процессов возможно получение соевого продукта с требуемым химическим составом. В современной научной литературе недостаточно информации, критериально характеризующей зависимость процесса солодоращения и изменения антипитательных веществ сои, на основании которой можно было бы усовершенствовать классические режимы технологии солода. В связи с этим исследование в направлении технологии соевого солода – перспективного в использовании продуктов здорового питания солодовенного продукта с повышенным содержанием белка – являются актуальными и своевременными.

Для достижения цели исследования на каждом этапе солодоращения проводили мониторинг физико-химических показателей зерна. Контрольными индикаторами эксперимента являлась ферментативная активность сои.

Технологическая схема производства соевого солода представляла собой последовательное проведение классических этапов: очистку и мойку зерна, замачивание и проращивание зерна, сушку солода и удаление ростков. Очистку и мойку исходной соевой культуры проводили с целью удаления посторонней микрофлоры, препятствующей дальнейшему проращиванию зерна, а именно замедлению процессов замачивания, проращивания,

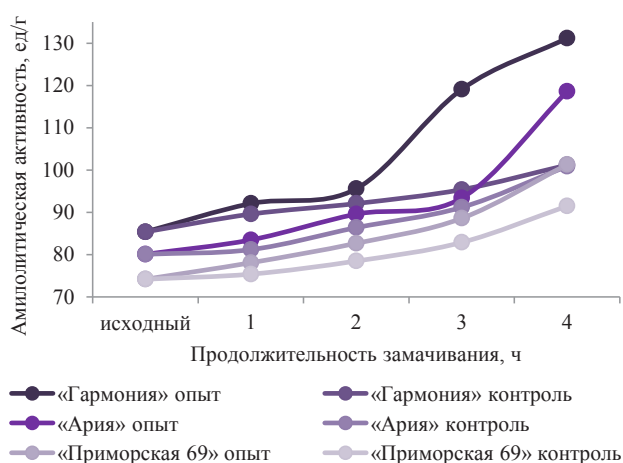


Рисунок 1. Динамика накопления активности амилолитических ферментов в сое при обработке ее комплексом органических кислот

Figure 1. Accumulation of amylolytic enzyme in soybean when treated with a complex of organic acids

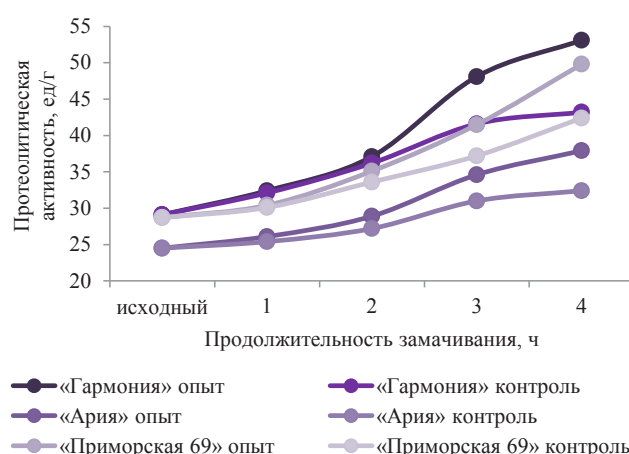


Рисунок 2. Динамика накопления активности протеолитических ферментов в сое при обработке ее комплексом органических кислот

Figure 2. Accumulation of proteolytic enzyme activity in soybean when treated with a complex of organic acids

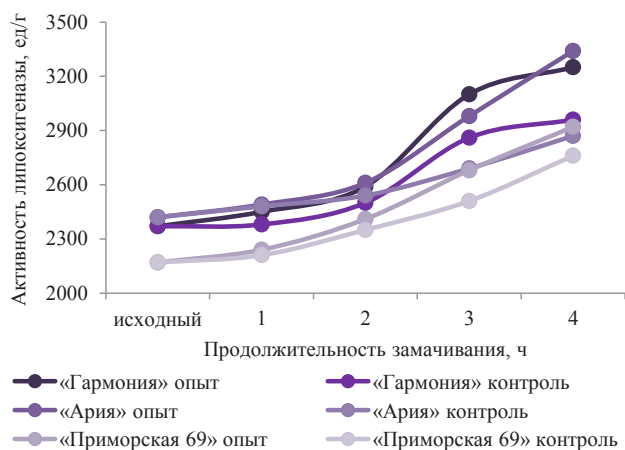


Рисунок 3. Динамика накопления активности липоксигеназы в сое при обработке ее комплексом органических кислот

Figure 3. Accumulation of lipoxygenase activity in soybean when treated with a complex of organic acids

или приводящей (в некоторых случаях) к отклонениям при этих же процессах. Далее следовало замачивание зерна по воздушно-водяному способу. При этом зерно попеременно выдерживали под слоем воды в течение 2 ч, затем в воздушном пространстве в течение 4 ч. Таким образом набирая заданную влажность зерна без его переувлажнения, приводящего к угнетению физиологических и биохимических процессов, происходящих в зерне на последующей стадии. Продолжительность процесса замачивания составила 34 ч, влажность замоченных образцов сои к концу процесс достигла 43 %. Максимальная температура воды и воздуха составляла 16 °С.

Отличительной особенностью предложенной технологии являлось использование на стадии замачивания органического стимулятора роста в виде комплекса органических кислот, входящих в цикл Кребса. Проведенные ранее исследования отечественными учеными в данной области подтвердили эффективность применения данного органического препарата, состоящего из α-кетоглutarовой, янтарной, яблочной, лимонной и fumarовой кислот, на развитие и рост растений и микроорганизмов [20–22]. Использование данного органического комплекса в определенной концентрации улучшает проницаемость клеточных мембран за счет специфической транс-конформации органических кислот. Оптимальной концентрацией комплекса органических кислот, позволяющей стимулировать рост и развитие растений и микроорганизмов, считается 10^{-8} моль/дм³. Однако в некоторых случаях наблюдались положительные изменения и в диапазоне концентраций 10^{-9} и 10^{-10} моль/дм³. Нами предполагалось, что использование при замачивании сои комплекса органических кислот позволит активизировать ферментативную систему зерна и ускорит физиологические и биохимические процессы, происходящие с ним на всех этапах солодоращения, а подбор оптимальных критериев технологических этапов сформирует требуемый химический состав соевого солода. На основании позитивных результатов ранее проведенных исследований в области применения комплекса органических кислот в качестве стимулятора роста в производстве солода на примере ячменя и пшеницы принято решение не менять концентрацию органического препарата и проводить эксперимент с использованием при замачивании сои комплекса органических кислот в концентрации 10^{-9} моль/дм³ [21, 22].

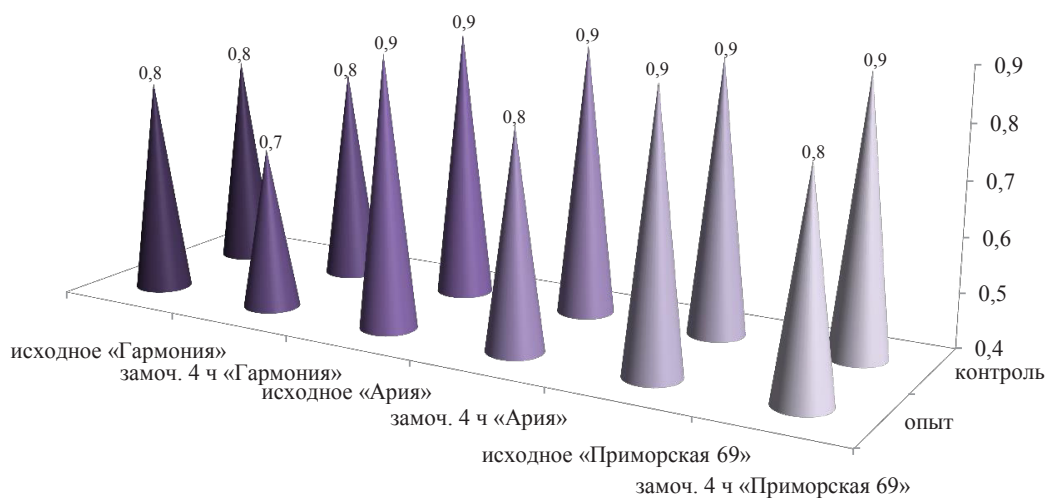


Рисунок 4. Динамика изменения активности уреазы в сое при обработке ее комплексом органических кислот

Figure 4. Changes in the activity of urease in soybean when treated with a complex of organic acids

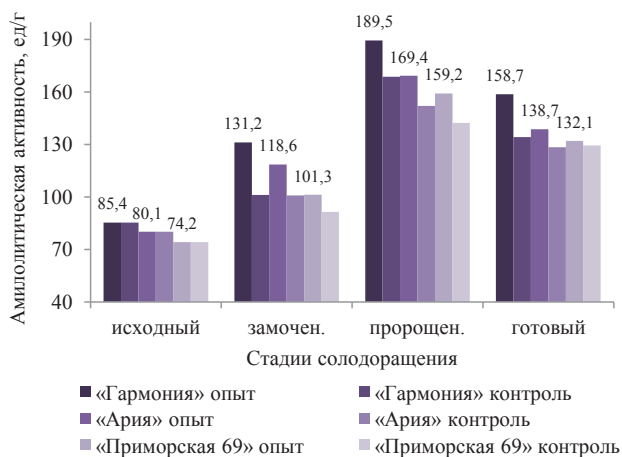


Рисунок 5. Динамика накопления активности амилолитических ферментов в сое при получении соевого солода

Figure 5. Accumulation of amylolytic enzyme activity in soybeans during soybean malt production

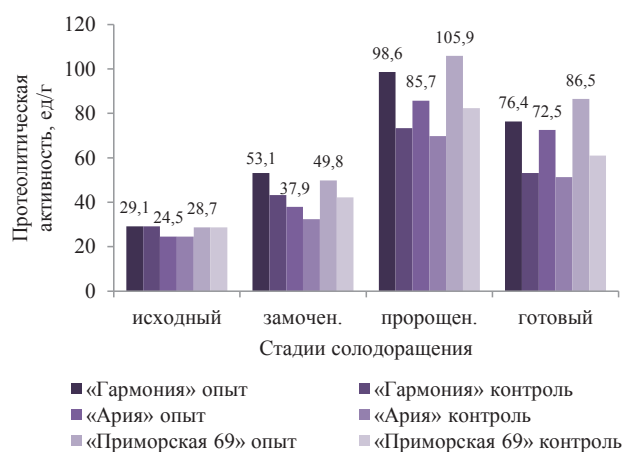


Рисунок 6. Динамика накопления активности протеолитических ферментов в сое при получении соевого солода

Figure 6. Accumulation of proteolytic enzyme activity in soybean during soybean malt production

В последнюю водяную паузу в водно-зерновую массу вносили комплекс органических кислот в концентрации 10^{-9} моль/дм³ и выдерживали зерно в данных условиях в течение 4 ч. Результаты проведенного мониторинга изменения ферментной системы зерна в процессе замачивания представлены на рисунках 1–4.

Анализируя представленные данные, следует отметить общую положительную тенденцию изменения ферментативного потенциала и его активности уже на стадии замачивания зерна. Обработка соевой культуры комплексом органических кислот провоцирует ускорение еще невидимых физиологических изменений, но уже ощутимых биохимических превращений в зерне. Во всех образцах сои независимо от сорта происходят явно выраженные процессы образования и активации ферментов на примере амилолитической, протеолитической и липоксигеназной активностей. Полученные результаты свидетельствуют о том, что даже незначительная обработка сои органическим препаратом из кислот цикла Кребса (4 ч) увеличивает амилолитическую, протеолитическую и липоксигеназную активности на 10–23, 14,5–18,6 и 6–14 % соответственно. При этом для ферментов, отвечающих за гидролиз высокомолекулярных крахмальных и белковых соединений, заметный эффект обработки зерна органическим стимулятором наблюдается в случае замачивания зерна сои сорта «Гармония».

Желаемая отрицательная динамика ферментативной активности отразилась в случае активности фермента уреазы. На рисунке 4 представлена сводная информация эксперимента замачивания зерна сои: обработанного комплексом органических кислот –

опытные образцы, необработанного – контрольные варианты. Проведенный эксперимент показал, что классический процесс замачивания зерна (без обработки) за данный период времени не повлиял на изменение активности данного фермента – уровень фермента уреазы остался на исходном значении. В то же время применение при замачивании органической обработки несколько снизило данный показатель – на 0,1 ед. рН. Для этого потребовалась обработка зерна не менее 4 ч. Меньшая выдержка зерна в данных условиях, также как и в контрольном варианте, не приводила ни к каким изменениям.

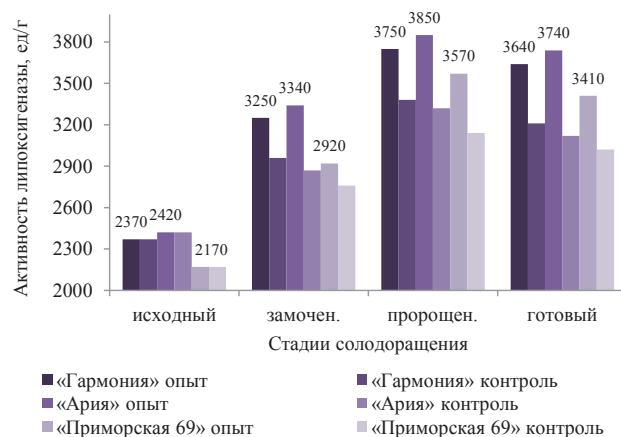


Рисунок 7. Динамика накопления активности липоксигеназы в сое при получении соевого солода

Figure 7. Accumulation of lipoxigenase activity in soybeans during soybean malt production

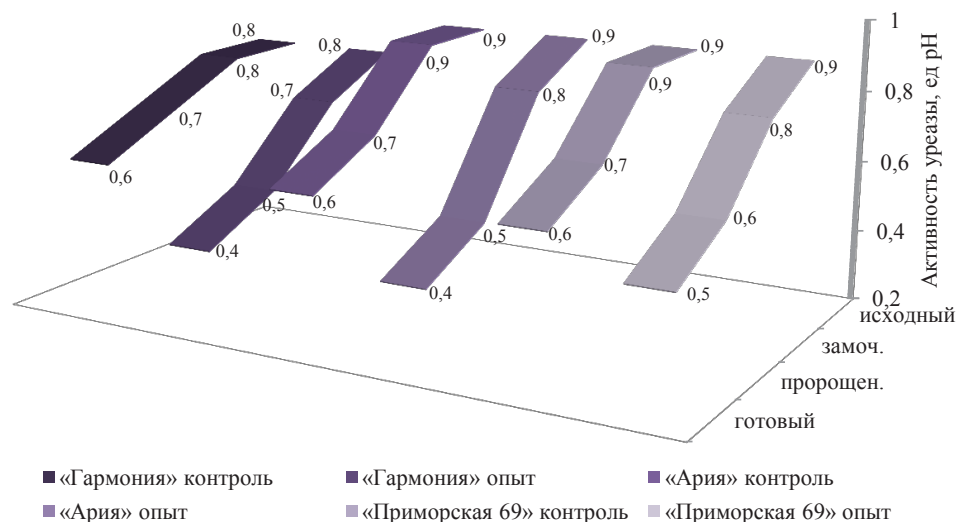


Рисунок 8. Динамика изменения активности уреазы в сое при получении соевого солода

Figure 8. Changes in urease activity during soybean malt production

Таблица 2. Физико-химические показатели соевого солода

Table 2. Physicochemical parameters of soy malt

Наименование показателя	Содержание в соевом солоде					
	«Гармония»		«Ария»		«Приморская 69 (Фортуна)»	
	контрольный образец	опытный образец	контрольный образец	опытный образец	контрольный образец	опытный образец
Массовая доля влаги, %	4,0 ± 0,1	4,0 ± 0,1	3,9 ± 0,1	3,9 ± 0,1	3,9 ± 0,1	4,0 ± 0,1
Массовая доля экстракта в сухом солоде, %	57,1 ± 0,1	62,4 ± 0,1	58,4 ± 0,1	64,2 ± 0,1	58,7 ± 0,1	63,9 ± 0,1
Массовая доля белка, %	35,4 ± 0,1	33,8 ± 0,1	36,4 ± 0,1	35,2 ± 0,1	37,9 ± 0,1	35,8 ± 0,1
Массовая доля крахмала, %	24,5 ± 0,5	22,5 ± 0,5	23,5 ± 0,5	22,0 ± 0,5	23,0 ± 0,1	21,5 ± 0,1
Массовая доля жира, %	9,2 ± 0,1	8,7 ± 0,1	12,7 ± 0,1	11,2 ± 0,1	12,4 ± 0,1	10,9 ± 0,1
Амилолитическая активность, ед/г	134,2 ± 0,1	158,7 ± 0,1	128,4 ± 0,1	138,7 ± 0,1	129,4 ± 0,1	132,1 ± 0,1
Протеолитическая активность, ед/г	53,2 ± 0,1	76,4 ± 0,1	51,3 ± 0,1	72,5 ± 0,1	61,0 ± 0,1	86,5 ± 0,1
Активность липоксигеназы, ед/г	3210,0 ± 1,0	3640,0 ± 1,0	3120,0 ± 1,0	3740,0 ± 1,0	3020,0 ± 1,0	3410,0 ± 1,0
Активность уреазы, ед. рН	0,60 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,60 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,60 ± 0,01	0,50 ± 0,01
Лабораторное сусло:						
Цвет, ц.ед.	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	1,00 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,10 ± 0,01
Кислотность, к.ед.	1,10 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,00 ± 0,01	1,00 ± 0,01	1,20 ± 0,01	1,20 ± 0,01
Прозрачность	прозрачное					

Далее последовательно проводили следующие за замачиванием этапы солодоращения: проращивание замоченных образцов сои, сушку готового солода и удаление ростков. Проращивание осуществляли по типу «ящичной солодовни» при температуре 16–18 °С и с периодическим ворошением зерна два раза в сутки. По мере необходимости – для поддержания заданного уровня влажности в проращиваемом зерне – проводили его орошение. Продолжительность проращивания

составила трое суток. После этого готовый соевый солод отправляли на сушку, проведенную в две стадии при максимальной температуре – 70 °С. Такой постепенный нагрев и высушивание зерна при относительно высоких температурах сушки, хоть и составил общую продолжительность процесса 24 ч, но поспособствовал сохранению накопленного ферментного потенциала соевой культуры, чему свидетельствуют ниже приведенные результаты.

Образовавшиеся при проращивании ростки удаляли сразу же после высушивания зерна, пользуясь тем, что в этот момент они являются очень хрупкими и процесс их отделения не составляет каких-либо сложностей. На рисунках 5–8 представлена интегрированная со всех этапов солодоращения информация об изменении ферментативной активности в зерне.

Проведенные исследования подтверждают целесообразность обработки сои комплексом органических кислот. Независимо от сорта соевой культуры на протяжении всего процесса солодоращения наблюдается положительная тенденция в преобразовании ферментной системы зерна. Продолжает происходить увеличение амилолитической активности, протеолитических ферментов, а также фермента липоксигеназы. При этом преобладание ферментативной активности в зерне, подвергнутого обработке при замачивании органическим стимулятором, над активностью аналогичных ферментов, но уже необработанного зерна, составляет для амилолитической, протеолитической и липоксигеназной активностей 11, 22 и 12 % соответственно. Несмотря на близкую схожесть результатов по ферментативной активности всех трех опытных образцов, хотелось бы отметить, что в большей степени прирост протеолитической

активности (в сравнении обработанного и необработанного зерна) наблюдается в отношении сортов «Гармония» и «Приморская 69», а активности фермента липоксигеназы (в том же сравнении) – для сорта «Ария».

Формирование ферментов происходит с замачивания соевой культуры и продолжается на протяжении всего процесса проращивания. Уникальность сои отражается в ее способности подвергаться ярким превращениям в довольно короткие сроки относительно других зерновых культур, исследуемых ранее (пшеница и ячмень) [21, 22]. В данном эксперименте отмечено, что органической обработки зерна сои достаточно всего 4 ч при замачивании и около трех суток при проращивании. В случае проращивания сорта «Гармония» продолжительность процесса можно сократить еще на 12 ч, поскольку физиологическое созревание солода к этому времени завершилось, а ферментативные накопления практически не изменяются.

После проведения сушки в соевом солоде несколько падает уровень и активность гидролаз и оксидазы, что является естественным для данного процесса. При этом активность амилолитических ферментов снижается на 20,6 % по всем сортам сои, а протеолитической – от 18–29 %. Сорт «Ария» самый устойчивый к

Таблица 3. Содержание аминокислот в исследуемых образцах сои

Table 3. Content of amino acids in soybean samples

Аминокислота	Массовая доля аминокислоты в образце, мг/100 г продукта с.в.						
	исходный образец зерна сои «Гармония»	«Гармония»		«Ария»		«Приморская 69 (Фортуна)»	
		контрольный образец	опытный образец	контрольный образец	контрольный образец	опытный образец	контрольный образец
Аланин	1550	1810	2360	1640	2160	1670	2260
Аргинин	2790	3340	3270	3450	3610	3240	3490
Валин	1380	1340	1780	1410	1560	1380	1680
Гистидин	950	790	1320	890	1240	850	1160
Глицин	1390	1570	2120	1550	2200	1690	2450
Лизин	2190	2150	2920	1940	2560	2410	2640
Аспарагин и аспарагиновая кислота (суммарно)	4390	4800	7460	4600	7250	4640	7490
Глутамин и глутаминовая кислота (суммарно)	6430	6070	9840	6510	9460	6670	9540
Лейцин и изолейцин (суммарно)	3870	4110	5090	3940	5010	4460	4570
Триптофан	450	400	530	460	560	420	480
Метионин	300	500	600	300	350	340	610
Пролин	1680	2060	2480	1980	2600	1890	2640
Серин	2090	2440	3110	2400	2940	2260	3100
Тирозин	1050	1320	1570	1450	1750	1480	1740
Треонин	1490	1850	2380	1920	2540	2290	2640
Фенилаланин	1520	1720	2180	1810	2340	1640	2310
Цистин	780	820	1100	950	1210	840	1160
Общее количество	34300	37090	50110	37200	49340	38170	50960

воздействию высоких температур и сохраняющий накопленную ферментативную активность гидролаз.

Что касается изменений такого класса ферментов, как оксидоредуктазы (на примере исследуемой липоксигеназы), то можно констатировать следующий факт: прирост данного фермента на протяжении всего процесса солодоращения незначительный, поскольку в большинстве случаев проращивание зерна приводит к возрастанию оксидоредуктаз в 40–60 раз, а липоксигеназы 5–9 раз. Это является нежелательным с точки зрения негативного последствия воздействия данного фермента на субстрат сои. В нашем случае стимулирование биохимических превращений сои посредством применения комплекса органических кислот не приводит к резко выраженному увеличению ферментов данной природы.

Особое внимание при проведении эксперимента уделялось активности уреазы, положительные изменения которой начинались, хоть и незначительно, со стадии замачивания и продолжались до окончания всего технологического цикла производства соевого солода. Во всех образцах сои уровень уреазы существенно снизился после проращивания, процесс сушки также простимулировал снижение активности данного фермента. В большей степени активность уреазы снизилась в образце сои «Ария»: с уровня 0,9 ед. рН в исходном сырье до 0,4 ед. рН в готовом соевом солоде, т. е. в 2,3 раза. В остальных сортах снижение активности менее заметно и составило для сортов «Гармония» и «Приморская 69» 2,0 и 1,8 раза соответственно. Из представленных данных рисунка 8 видно положительное влияние обработки сои на стадии замачивания комплексом органических кислот, усиливающее инактивацию фермента уреазы в дополнение к естественным процессам ее снижения на стадиях проращивания и сушки. При этом активность уреазы опытных образцов сои относительно контрольных ниже на 33 % для сортов «Гармония» и «Ария» и на 17 % для сорта «Приморская 69».

В таблицах 2 и 3 приведены качественные показатели всех образцов соевого солода и качественный аминокислотный состав (для сравнения с исходным соевым зерном приведены данные по сорту «Гармония»).

Представленные выше результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности получения соевого солода на основе трех сортов – «Гармония», «Ария», «Приморская 69 (Фортуна)» Дальневосточной селекции. С целью получения солода на основе сои с высокими качественными и технологическими характеристиками целесообразно применять на одной из стадий солодоращения комплекса органических кислот из цикла Кребса в концентрации 10^{-9} моль/дм³. Данная обработка позволяет получить соевый солод с повышенной ферментативной активностью, меньшим содержанием

антипитательных веществ и высоким уровнем аминокислот.

Выводы

Как показали результаты проведенного исследования, процесс солодоращения благоприятствует получению соевого солода с адекватным химическим составом, позволяющим в дальнейшем использовать полученный таким способом соевый солод в качестве альтернативного сырья в производстве напитков. Обработка сои на стадии замачивания комплексом органических кислот в рекомендуемой концентрации способствует улучшению показателей качества получаемого солода.

Использование органического стимулятора формирует требуемый химический состав соевого зерна, делая его пригодным к применению в пищевых технологиях за счет снижения активности уреазы в 2 раза. Предложенный нами способ отличается простотой (данную обработку легко можно внедрить на классической технологии солодоращения), эффективностью (снижение активности уреазы в 2 раза) и доступностью (незначительные затраты на расход комплекса органических кислот).

Кроме этого, данный способ воздействия на соевую культуру позволяет повысить пищевую ценность соевого солода. Применение органического стимулятора усиливает образование заменимых и незаменимых аминокислот в той или иной степени для каждого отдельного сорта сои.

Таким образом, получение соевого солода по предложенной нами технологии дает возможность и перспективы производства нового солодового продукта, отличающегося от остального традиционно используемого зернового сырья высоким уровнем белка и аминокислот, и использование его в технологии напитков с повышенной пищевой ценностью.

Критерии авторства

Т. Ф. Киселева – общее руководство и написание рукописи. Ю. Ю. Миллер – методология и организация эксперимента, участие в написание рукописи. Ю. В. Арышева – проведение эксперимента.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

T.F. Kiseleva supervised the project and wrote the manuscript. Yu.Yu. Miller was responsible for methodology and organization of experimental studies and proofread the manuscript. Iu.V. Arysheva performed the experiment.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Jayachandran M., Xu B. An insight into the health benefits of fermented soy products // Food Chemistry. 2019. Vol. 271. P. 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.158>.
2. Erdem B. G., Kaya S. Production and application of freeze dried biocomposite coating powders from sunflower oil and soy protein or whey protein isolates // Food Chemistry. 2021. Vol. 339. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127976>.
3. Metabolite dynamics and phytochemistry of a soy whey-based beverage bio-transformed by water kefir consortium / F. Azi [et al.] // Food Chemistry. 2021. Vol. 342. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128225>.
4. Chua J.-Y., Lu Y., Liu S.-Q. Evaluation of five commercial non-*Saccharomyces* yeasts in fermentation of soy (tofu) whey into an alcoholic beverage // Food Microbiology. 2018. Vol. 76. P. 533–542. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.07.016>.
5. Soy, soy isoflavones, and protein intake in relation to mortality from all causes, cancers, and cardiovascular diseases: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies / S. M. Nachvak [et al.] // Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2019. Vol. 119. № 9. P. 1483–1500. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.04.011>.
6. Tang C.-H. Nanostructured soy proteins: Fabrication and applications as delivery systems for bioactives (a review) // Food Hydrocolloids. 2019. Vol. 91. P. 92–116. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.012>.
7. Effects of replacing soybean meal, soy protein concentrate, fermented soybean meal or fish meal with enzyme-treated soybean meal on growth performance, nutrient digestibility, antioxidant capacity, immunity and intestinal morphology in weaned pigs / X. Ma [et al.] // Livestock Science. 2019. Vol. 225. P. 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.016>.
8. Bioactivity of soy-based fermented foods: A review / Z.-H. Cao [et al.] // Biotechnology Advances. 2019. Vol. 37. № 1. P. 223–238. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.12.001>.
9. Кретович В. Л. Биохимия растений. М.: Высшая школа, 1986. 503 с.
10. Free amino acids and biogenic amines in wines and musts from the Alentejo region. Evolution of amines during alcoholic fermentation and relationship with variety, sub-region and vintage / P. Herbert [et al.] // Journal of Food Engineering. 2005. Vol. 66. № 3. P. 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.024>.
11. Profiling and associations of seed nutritional characteristics in Chinese and USA soybean cultivars / M. Azam [et al.] // Journal of Food Composition and Analysis. 2021. Vol. 98. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103803>.
12. Oxidative stability of soy proteins: From ground soybeans to structured products / P. Duque-Estrada [et al.] // Food Chemistry. 2020. Vol. 318. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126499>.
13. Physicochemical and functional properties of γ -aminobutyric acid-treated soy proteins / Y. Wang [et al.] // Food Chemistry. 2019. Vol. 295. P. 267–273. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.128>.
14. Effect of high-power sonication pretreatment on extraction and some physicochemical properties of proteins from chickpea, kidney bean, and soybean / B. Byanju [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. 2020. Vol. 145. P. 712–721. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.118>.
15. Singh S. K., Singha P., Muthukumarappan K. Modeling and optimizing the effect of extrusion processing parameters on nutritional properties of soy white flakes-based extrudates using response surface methodology // Animal Feed Science and Technology. 2019. Vol. 254. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.06.001>.
16. Covalent immobilization of soybean seed hull urease on chitosan mini-spheres and the impact on their properties / L. F. Bracco [et al.] // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2019. Vol. 18. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101093>.
17. Yalcin S., Basman A. Effects of infrared treatment on urease, trypsin inhibitor and lipoxygenase activities of soybean samples // Food Chemistry. 2015. Vol. 169. P. 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.114>.
18. Effect of solid-state fermentation with *Lactobacillus casei* on the nutritional value, isoflavones, phenolic acids and antioxidant activity of whole soybean flour / S. Li [et al.] // LWT – Food Science and Technology. 2020. Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109264>.
19. Влияние проращивания на содержание антипитательных веществ в семенах сои / Т. Ф. Киселева [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 6. С. 28–30.
20. Пермякова Л. В., Помозова В. А., Верещагин А. Л. Применение смеси кислот цикла кребса в сверхнизких концентрациях для активации культуры пивных дрожжей // Пиво и напитки. 2018. № 1. С. 20–24.
21. Возможность интенсификации солодоращения посредством использования комплекса органических кислот / Т. Ф. Киселева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 40. № 1. С. 11–17.
22. Исследование возможности использования органического стимулятора в производстве пшеничного солода / Т. Ф. Киселева [и др.] // Современная наука и инновации. 2019. Т. 25. № 1. С. 161–167.

References

1. Jayachandran M, Xu B. An insight into the health benefits of fermented soy products. Food Chemistry. 2019;271:362–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.158>.

2. Erdem BG, Kaya S. Production and application of freeze dried biocomposite coating powders from sunflower oil and soy protein or whey protein isolates. *Food Chemistry*. 2021;339. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127976>.
3. Azi F, Tu C, Meng L, Zhiyu L, Cherinet MT, Ahmadullah Z, et al. Metabolite dynamics and phytochemistry of a soy whey-based beverage bio-transformed by water kefir consortium. *Food Chemistry*. 2021;342. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128225>.
4. Chua J-Y, Lu Y, Liu S-Q. Evaluation of five commercial non-*Saccharomyces* yeasts in fermentation of soy (tofu) whey into an alcoholic beverage. *Food Microbiology*. 2018;76:533–542. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.07.016>.
5. Nachvak SM, Moradi S, Anjom-shoae J, Rahmani J, Nasiri M, Maleki V, et al. Soy, soy isoflavones, and protein intake in relation to mortality from all causes, cancers, and cardiovascular diseases: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2019;119(9):1483–1500. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.04.011>.
6. Tang C-H. Nanostructured soy proteins: Fabrication and applications as delivery systems for bioactives (a review). *Food Hydrocolloids*. 2019;91:92–116. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.012>.
7. Ma X, Shang Q, Hu J, Liu HS, Brokner C, Piao XS. Effects of replacing soybean meal, soy protein concentrate, fermented soybean meal or fish meal with enzyme-treated soybean meal on growth performance, nutrient digestibility, antioxidant capacity, immunity and intestinal morphology in weaned pigs. *Livestock Science*. 2019;225:39–46. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.016>.
8. Cao Z-H, Green-Johnson JM, Buckley ND, Lin QY. Bioactivity of soy-based fermented foods: A review. *Biotechnology Advances*. 2019;37(1):223–238. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.12.001>.
9. Kretovich VL. Biokhimiya rasteniy [Plant biochemistry]. Moscow: Vysshaya shkola; 1986. 503 p. (In Russ.).
10. Herbert P, Cabrita MJ, Ratola N, Laureano O, Alves A. Free amino acids and biogenic amines in wines and musts from the Alentejo region. Evolution of amines during alcoholic fermentation and relationship with variety, sub-region and vintage. *Journal of Food Engineering*. 2005;66(3):315–322. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.024>.
11. Azam M, Zhang S, Qi J, Abdelghany AM, Shaibu AS, Ghosh S, et al. Profiling and associations of seed nutritional characteristics in Chinese and USA soybean cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021;98. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103803>.
12. Duque-Estrada P, Kyriakopoulou K, de Groot W, van der Goot AJ, Berton-Carabin CC. Oxidative stability of soy proteins: From ground soybeans to structured products. *Food Chemistry*. 2020;318. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126499>.
13. Wang Y, Liu C, Ma T, Zhao J. Physicochemical and functional properties of γ -aminobutyric acid-treated soy proteins. *Food Chemistry*. 2019;295:267–273. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.128>.
14. Byanju B, Rahman MM, Hojilla-Evangelista MP, Lamsal BP. Effect of high-power sonication pretreatment on extraction and some physicochemical properties of proteins from chickpea, kidney bean, and soybean. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;145:712–721. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.118>.
15. Singh SK, Singha P, Muthukumarappan K. Modeling and optimizing the effect of extrusion processing parameters on nutritional properties of soy white flakes-based extrudates using response surface methodology. *Animal Feed Science and Technology*. 2019;254. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.06.001>.
16. Bracco LF, Levin GJ, Urtasun N, del Canizo AAN, Wolman FJ, Miranda MV, et al. Covalent immobilization of soybean seed hull urease on chitosan mini-spheres and the impact on their properties. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2019;18. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101093>.
17. Yalcin S, Basman A. Effects of infrared treatment on urease, trypsin inhibitor and lipoxygenase activities of soybean samples. *Food Chemistry*. 2015;169:203–210. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.114>.
18. Li S, Jin Z, Hu D, Yang W, Yan Y, Nie X, et al. Effect of solid-state fermentation with *Lactobacillus casei* on the nutritional value, isoflavones, phenolic acids and antioxidant activity of whole soybean flour. *LWT – Food Science and Technology*. 2020;125. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109264>.
19. Kiseleva TF, Ul'yankina NF, Miller YuYu, Stepanov SV, Pomozova VA. Germination of soybean as a way to reduce antinutrients. *Storage and Processing of Farm Products*. 2013;(6):28–30. (In Russ.).
20. Permyakova LV, Pomozova VA, Vereshchagin AL. Use of mix of acids of krebs cycle in ultralow concentration for activation of culture of beer yeast. *Beer and beverages*. 2018;(1):20–24. (In Russ.).
21. Kiseleva TF, Miller YuYu, Grebennikova YuV, Stabrovskaya EI. Intensification of malting using organic acid complex. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2016;40(1):11–17. (In Russ.).
22. Kiseleva TF, Miller YuYu, Vereschagin AL, Golub OV. Investigation of the possibility of using an organic stimulant in the production of wheat malt. *Sovremennaa nauka i innovacii*. 2019;25(1):161–167. (In Russ.).