

УДК 663.43

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СОЕВОГО СОЛОДА

© 2022 г. Ю. Ю. Миллер¹, *, Т. Ф. Киселева²

¹Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Центросоюза РФ
“Сибирский университет потребительской кооперации”, Новосибирск, 630087 Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Кемеровский государственный университет”, Кемерово, 650000 Россия

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

Поступила в редакцию 07.09.2022 г.

После доработки 20.09.2022 г.

Принята к публикации 05.10.2022 г.

Предложен биокаталитический способ интенсификации производства соевого солода, заключающийся в использовании ферментного препарата “Коллупулин” на стадии замачивания сои. Препарат рекомендуется вносить в последнюю замочную воду в количестве 0.03 ед. протеолитической активности на 1 г соевого сырья, выдерживать в течение 4 ч. Установлено, что данная обработка катализирует биохимические процессы в бобовой культуре, ускоряет синтез ферментов сои и к концу проращивания увеличивает активность амилолитических ферментов на 22%, протеолитических на 34% в сравнении с активностью ферментов необработанной сои. Выявлено, что использование “Коллупулина” позволяет снизить уровень фермента уреазы до допустимых значений 0.4 ед. рН. Рекомендованная продолжительность стадий замачивания и проращивания – 48 и 72 ч соответственно. Обработка сои ферментным препаратом позволяет повысить содержание аминокислот в соевом солоде до уровня 50.11 г/100 г продукта, что в 1.5 раза выше в сравнении с нативной соей и в 1.4 раза в сравнении с необработанной. Биокаталитическая обработка сои улучшает качественные и технологические показатели соевого солода, его биологическую ценность.

Ключевые слова: биокаталитическая обработка, соевый солод, ферментный препарат “Коллупулин”, ферментативная активность, антипитательные вещества

DOI: 10.56304/S0234275822060096

В производстве напитков брожения принято использовать традиционные злаковые культуры, по химическому составу максимально подходящие под условия производственных стадий, в которых происходят химические и биохимические превращения входного сырья. В зависимости от вида производства и получаемого напитка используют ячмень, пшеницу и рожь преимущественно в виде солода. Остальные злаковые культуры, такие как рис, овес, гречиха, кукуруза, а также бобовые – соя используются крайне редко в виду специфичности их химического состава. Нетрадиционное растительное сырье применяют в пищевых технологиях чаще всего с целью придания оригинальности или функциональности производимому продукту или напитку [1, 2]. Злаковые и бобовые (зернобобовые) культуры, привлекаемые даже в небольших количествах при производстве продуктов и напитков, позволяют повысить их пищевую и/или биологическую ценность, обеспечить функциональность за счет содержания в них жизненно необходимых организму макро- и микро-

нутриентов, в том числе незаменимых [3, 4]. Соя относится к семейству бобовые и отличается от традиционных злаковых повышенным содержанием белка и аминокислот, что делает ее перспективным сырьем для использования в технологии функциональных продуктов. Однако данная культура в то же время отличается от остального сырья присутствием нежелательных, антипитательных веществ – ингибиторов протеиназ, блокирующих расщепление белков в процессе переваривания пищи, что в данном случае резко ограничивает применение сои в производстве продуктов питания/напитков [5]. Решение данной проблемы может быть достигнуто термической обработкой и химическими способами воздействия на бобовую культуру, а также биокаталитической обработкой сои ферментными препаратами на стадиях замачивания и/или проращивания сырья [6–9]. Нами предложен способ производства соевого солода с использованием на одной из технологических стадий ферментного препарата “Коллупулина”, провоцирующего целенаправленные биохими-

Таблица 1. Биохимические показатели сои
Table 1. Biochemical characteristics of soybeans

Наименование показателя	Содержание в сое
Массовая доля влаги, %	10.8 ± 0.1
Массовая доля экстракта в сухом сырье, %	42.7 ± 0.1
Массовая доля белка, %	38.9 ± 0.1
Массовая доля крахмала, %	28.4 ± 0.5
Массовая доля жира, %	11.7 ± 0.1
Амилолитическая активность, ед./г	85.4 ± 0.1
Протеолитическая активность, ед./г	29.1 ± 0.1
Активность липоксигеназы, ед./г	2370.0 ± 1.0
Активность уреазы, ед. рН	0.8 ± 0.1
Массовая доля аминокислот в образце, мг/100 г продукта с.в. (общее содержание)	34300

ческие изменения в сырье, приводящие к снижению антипитательных веществ в сое и повышению ее биологической ценности.

Цель исследования — оценка эффективности применения в производстве соевого солода ферментного препарата “Коллупулин” по критериям его качественных и технологических показателей.

УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Объекты исследования: соя сорта “Гармония” Дальневосточной селекции, соевый солод, ферментный препарат “Коллупулин” с ферментативной активностью 150 ± 5 ед./г (Gist-brocades, Нидерланды).

Предмет исследования: качественные и/или технологические показатели сои и соевого солода на всех технологических этапах производства солода.

Методы исследования:

Массовую долю влаги определяли высушиванием до постоянной массы;

массовую долю экстракта в сухом сырье — пикнометрическим методом определения сухих веществ в экстракте измельченного сырья;

массовую долю белка — методом Кьельдаля;

массовую долю крахмала — поляриметрическим методом Эверса;

массовую долю жира — гравиметрическим методом с экстракцией жира смесью хлороформа и этилового спирта;

амилолитическую активность — методом Виндиша-Кольбаха;

протеолитическую — рефрактометрическим методом по Петрову;

активность липоксигеназы — спектрофотометрически;

активность уреазы — потенциометрически; определение массовой доли аминокислот — методом капиллярного электрофореза.

Качественные показатели исследуемого образца сои приведены в табл. 1 [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основная цель солодоращения — синтез и активация ферментов зерна, которые в дальнейшем производстве напитков брожения осуществляют гидролиз высокомолекулярных соединений. В практике проращивания зернового сырья, прежде всего, акцентируют внимание на образование и повышение активности амилолитических и протеолитических ферментов, гидролизующих соединения крахмальной и белковой природы соответственно. В отдельных случаях в виду особенности химического состава, связанного с различными факторами, в частности сортовыми особенностями зерна, почвенно-климатическими условиями произрастания и другими внешними воздействиями, а также для отдельных видов зернового сырья, отличающегося повышенным содержанием некрахмальных полисахаридов, в дополнение контролируют формирование цитолитических ферментов. Соя представляет собой бобовую культуру, по химическому составу кардинально отличающуюся от злаковых растений, она содержит меньше крахмала, больше белка и жира. В связи с этим необходимо в процессе солодоращения накопить в ней в достаточном количестве протеолитических ферментов и отследить формирование и активность фермента липоксигеназы, катализирующей окисление полиненасыщенных жирных кислот. Учитывая содержание в сое нежелательных антипитательных веществ, дополнительное внимание следует уделить мониторингу уровня фермента уреазы,

Таблица 2. Динамика ферментативной активности сои в процессе биокаталитической обработки
Table 2. Dynamics of soy enzymatic activity in the process of biocatalytic treatment

Уровень ферментативной активности в сое, опыт/контроль ($\Delta = \pm 0.1$)				
исходная соя	инкубация на заключительной водяной паузе с ферментным препаратом “Коллупулин”			
	1 ч	2 ч	3 ч	4 ч
	Амилолитическая активность, ед./г			
85.4	86.1/85.9	87.6/86.3	88.6/87.1	89.7/87.8
	Протеолитическая активность, ед./г			
29.1	30.4/30.3	30.8/30.5	31.6/30.7	32.1/31.2
	Активность липоксигеназы, ед./г			
2370.0	2440/2370	2570/2480	3110/2880	3230/2970
	Активность уреазы, ед./г			
0.8	0.8/0.8	0.8/0.8	0.8/0.8	0.7/0.8

как контрольного индикатора, коррелирующего с содержанием антипитательных веществ, и в процессе солодоращения постараться максимально снизить ее активность до уровня, позволяющего использовать сою в пищевых технологиях.

Используемая в данной работе технология получения соевого солода представляла собой классический вариант солодоращения с небольшими коррективами по технологическим режимам, а также включала дополнительное внесение ферментного препарата “Коллупулин”. После очистки и мойки культуры сою подвергали замачиванию по воздушно-водяному способу с периодической выдержкой под слоем воды. Продолжительность воздушных пауз составляла 6 ч, водяных – 4 ч, общая продолжительность процесса замачивания – 48 ч. В заключительную водяную паузу в емкость с зерном вносили ферментный препарат “Коллупулин” из расчета 0.3 ед. акт./1 г соевого сырья. Температура воды при замачивании варьировалась в диапазоне 16–17°C. Влияние биокаталитической обработки сырья оценивали по уровню ферментативной активности. В качестве контрольного объекта использовали сою, замоченную без добавления ферментного препарата. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Представленные в табл. 2 данные демонстрируют хоть и незначительное, но тем не менее во всех случаях присутствующее увеличение желаемой ферментативной активности в период выдержки сои с ферментным препаратом в сравнении с контрольным образцом сои, прошедшей стадию замачивания классическим способом. Даже при небольшом четырехчасовом периоде контакта бобовой культуры с биокаталитическим препаратом наблюдается прирост амилолитической и протеолитической активности соответственно на 2.2 и 2.9% в сравнении с аналогичными показателями

контрольного варианта эксперимента, прирост активности липоксигеназы составил – 8.8%. При этом, на наш взгляд, одним из ключевых изменений, вызванных биокаталитической обработкой соевого сырья является снижение активности фермента уреазы, в то время как в контрольном варианте изменений, касающихся данного индикатора, не наблюдалось.

После замачивания зерно подвергали проращиванию по традиционной схеме – “ящичной солодовни”, с высотой слоя сои не более 0.4 м. При температуре в интервале 16–18°C продолжительность процесса проращивания составила трое суток. В течение первых двух суток проводили ворошение бобовой массы с периодичностью 2 раза в сут, на заключительных третьих сутках сою подвергали ворошению 1 раз. На этапе солодоращения проходило накопление собственных ферментов и увеличение их активности. Подтверждением этому служит снижение показателей массовой доли крахмала и белка в полученном солоде, вызванное начавшимся гидролизом крахмала и белковых соединений. При этом гидролиз белка является наиболее желательным процессом, приводящим к образованию свободных аминокислот в соевом солоде. Также, как и при замачивании на данном этапе вели мониторинг ферментативной активности по тем же контрольным критериям, результаты которого представлены в табл. 3.

На стадии проращивания в сое продолжали протекать биохимические процессы, изменяющие химический состав бобовой культуры, прежде всего, за счет образования и активации гидролитических ферментов. Представленные в табл. 3 результаты демонстрируют эффективность биокаталитической обработки соевой культуры на стадии замачивания, которая усиливает формирование ферментного потенциала сои на стадии

Таблица 3. Динамика ферментативной активности сои в процессе проращивания
Table 3. Dynamics of soybean enzymatic activity during germination

Уровень ферментативной активности в сое, опыт/контроль ($\Delta = \pm 0.1$)			
замоченная соя	продолжительность проращивания		
	1 сут.	2 сут.	3 сут.
	Амилолитическая активность, ед./г		
89.7/87.8	98.6/92.1	129.4/114.6	158.6/131.4
	протеолитическая активность, ед./г		
32.1/ 31.2	48.5/41.2	67.5/59.6	98.6/73.4
	Активность липоксигеназы, ед./г		
3230/2970	3340/3150	3590/3290	3750/3380
	Активность уреазы, ед./г		
0.7/0.8	0.6/0.8	0.5/0.7	0.5/0.7

ее проращивания. Так, уровень амилолитических ферментов в обработанной проросшей сое на 20% выше, чем в необработанной культуре, уровень протеолитической активности при аналогичном сравнении выше на 34%. Прирост активности липоксигеназы составил чуть более 10%, а в сравнении с исходной соей – 58%. Это снижает риск возникновения нежелательных окислительных процессов липидной фракции сои, отрицательным образом сказывающихся на органолептических показателях получаемого солода, при этом большая часть ферментов данной направленности разрушается при сушке солода под действием высоких температур.

Особое внимание уделяли контролю активности фермента уреазы. Согласно полученным результатам предложенная биокаталитическая обработка сои позволяет снизить уровень уреазы более выражено, чем классическое проращивание. Так уровень фермента снизился на 0.3 ед. рН в сравнении с исходной соей и практически находился на безопасном уровне (0.3–0.4 ед. рН). В случае необработанной сои следует отметить, что проращивание в течение 3 сут недостаточно для снижения уровня антипитательных веществ и следует продолжать процесс проращивания или скорректировать технологические параметры сушки в сторону увеличения ее температуры, что является не совсем желательным, поскольку может привести к большой потере гидrolитических ферментов, накопленных в течение солодоращения.

Что касается физиологических изменений соевой культуры, произошедших в ней в течение трех сут проращивания, то следует отметить следующее. Зерно в обоих случаях и опытного, и контрольного вариантов в 1.5 раза увеличилось в объеме, эндосперм зерна стал более рыхлым, появившиеся ростки достигли достаточной длины,

что свидетельствует о завершении перехода сои в солод, и проращивание целесообразно остановить, в противном случае это приведет к перерастворению бобовой культуры и перерасходу ценных веществ сои, в том числе белковой и аминокислотной фракций.

Далее проводили сушку соевого солода в течение 24 ч в максимально щадящем режиме – последовательно в два этапа при максимальной температуре сушильного агента 65°C. Затем в готовом солоде после сушки удалили ростки. Качественные и технологические показатели полученного соевого солода представлены в табл. 4.

В заключение хотелось бы отметить, что в целом сам процесс проращивания позитивным образом изменяет химический состав соевой культуры – приводит к накоплению ферментативной активности, снижению уровня антипитательных веществ, образованию аминокислот. Интенсификация процесса солодоращения за счет биокаталитической обработки сырья и управление технологическими параметрами позволяет усилить образование ферментов, в частности амилолитического и протеолитического действия, свести к допустимому уровню концентрацию антипитательных веществ, практически в 1.5 раза в сравнении с исходной соей увеличить образование в соевом солоде аминокислот, что повысит биологическую ценность получаемого солодовенного продукта.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов рекомендуется в производстве соевого солода применять на стадии замачивания биокаталитическую обработку сои ферментным препаратом “Коллупулин”, который необходимо вносить в последнюю замочную воду в расчете 0.03 ед. акт. на 1 г соевого сырья и выдерживать с ним в течение 4 ч. Данная биокаталитическая ин-

Таблица 4. Биохимические показатели соевого солода
Table 4. Biochemical parameters of soy malt

Наименование показателя	Содержание в соевом солоде	
	соевый солод с обработкой ферментным препаратом “Коллупулин”	соевый солод без обработки
Массовая доля влаги, %	4.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1
Массовая доля экстракта в сухом солоде, %	62.5 ± 0.1	57.3 ± 0.1
Массовая доля белка, %	33.4 ± 0.1	35.8 ± 0.1
Массовая доля крахмала, %	22.5 ± 0.5	24.7 ± 0.5
Массовая доля жира, %	8.6 ± 0.1	9.1 ± 0.1
Амилолитическая активность, ед./г	138.6 ± 0.1	118.4 ± 0.1
Протеолитическая активность, ед./г	79.8 ± 0.1	54.0 ± 0.1
Активность липоксигеназы, ед./г	3310.0 ± 1.0	2880.0 ± 1.0
Активность уреазы, ед. рН	0.4 ± 0.01	0.6 ± 0.01
Массовая доля аминокислоты в образце, мг/100 г продукта с.в.	50 110	37090

тенсификация солодоращения позволит целенаправленно изменить химический состав сои и сделать ее пригодной в виде солода к использованию в пищевых технологиях, в том числе в пивоварении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меренкова С.П., Андросова Н.В. Актуальные аспекты производства напитков на растительном сырье. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: пищевые и биотехнологии*, 2018, 3(6), 57–67. <https://doi.org/10.14529/food180307>
2. Стаценко Е.С., Литвиненко О.В., Корнева Н.Ю., Покотоло О.В., Штарберг М.А., Бородин Е.А. Разработка технологии производства продуктов функционального назначения на основе сои и тыквы. *Пищевая промышленность*, 2021, 7, 41–45. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.7.7.011>
3. Типсина Н.Н., Батура Н.Г., Демидов Е.Л., Белошапкин М.С. Использование сои в производстве продуктов питания и перспективы развития применения соевых полуфабрикатов в производстве хлебобулочных изделий. *Вестник КрасГАУ*. 2021, 1(166), 163–168. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-1-163-168>
4. Литвиненко О.В., Корнева Н.Ю. Перспективы использования новых сортов сои селекции всероссийского НИИ сои в производстве соево-шоколадного напитка. *Вестник МГТУ*, 2019, 3(22), 413–420. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-3-413-420>
5. Стаценко Е.С., Литвиненко О.В. Оценка технологических свойств зерна сои сортов селекции всероссийского НИИ сои и продуктов его переработки для определения их пригодности к использованию в пищевом производстве. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: пищевые и биотехнологии*, 2019, 7(3), 31–40. <https://doi.org/10.14529/food190304>
6. Li S., Z. Jin, Hu D., Yang W., Yongyong Y., Xi-Rui Nie, Jing Lin, Qingyu Z., Gai Di, Yuxiang Ji, Xiaoming Chen. Effect of solid-state fermentation with *Lactobacillus casei* on the nutritional value, isoflavones, phenolic acids and antioxidant activity of whole soybean flour. *LWT*, 2020, 125, article 109264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109264>
7. Bracco L.F., Levin G.J., Urtasun N., Navarro del Cañizo A.A., Wolman F.J.; Miranda M.V., Cascone O. Covalent immobilization of soybean seed hull urease on chitosan mini-spheres and the impact on their properties. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 2019, 18, article 101093.
8. Yalcin S., Basman A. Effects of infrared treatment on urease, trypsin inhibitor and lipoxigenase activities of soybean samples. *Food Chem.*, 2015, 16915, 203–210.
9. Киселева Т.Ф., Ульяновкина Н.Ф., Миллер Ю.Ю., Степанов С.В., Помозова В.А. Влияние проращивания на содержание антипитательных веществ в семенах сои. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2013, 6, 28–30.
10. 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, 2(51), 248–259.

Biotechnological Approach to the Intensification of Soy Malt Production

Yu. Yu. Miller^{a, #} and T. F. Kiseleva^b

^a*Siberian University of Consumer Cooperation, Novosibirsk, 630087 Russia*

^b*Kemerovo State University, Kemerovo, 650000 Russia*

[#]*e-mail: miller.yuliya@mail.ru*

Abstract—A biocatalytic method for intensifying the production of soy malt using the enzyme preparation Collupulin at the stage of soybean soaking has been proposed. The drug is recommended to be added to the last soaking water in the amount of 0.03 U of proteolytic activity per 1 g of soy raw material, followed by keeping the mixture for 4 h. It was found that this treatment catalyzes biochemical processes in the leguminous culture, accelerates the synthesis of soy enzymes and, by the end of germination, increases the activity of amylolytic enzymes by 22% and proteolytic enzymes by 34% in comparison with the corresponding activities in untreated soy. It was shown that Collupulin allows reducing the level of the urease enzyme to acceptable values of 0.4 pH units. The recommended duration of soaking and germination stages is 48 and 72 h, respectively. Soybean treatment with Collupulin makes it possible to increase the amino acid content in soy malt to the level of 50, 110 g/100 g, which is 1.5 times higher than in native soybean and 1.4 times higher than in untreated soy.

Keywords: biocatalytic treatment, soy malt, enzyme preparation Collupulin, enzymatic activity, anti-nutrients