

Использование комбинированной закваски из микроорганизмов *Aspergillus oryzae* и *Saccharomyces cerevisiae* для получения соевого соуса методом естественного брожения

Максим М. Чернов¹ maxim2015.chernov@ya.ru  0009-0009-5139-8665

Петр Е. Баланов¹ balanov@itmo.ru  0000-0002-0610-9248

Ирина В. Смотраева¹ smotraeva@itmo.ru  0000-0003-1255-832X

¹ Национальный исследовательский университет ИТМО, ул. Ломоносова д.9, г. Санкт-Петербург, 191002, Россия

Аннотация. Актуальность получения соевого соуса определяется особым интересом к продуктам из сои, способным заменить белок животного происхождения. Для получения соуса методом брожения традиционно применяются грибы *Aspergillus oryzae*. Исследования последних лет показали, что использование комбинаций микроорганизмов позволяет сократить сроки ферментации и повысить пищевую ценность продукта. Цель работы – разработка рецептуры соуса соевого с использованием комбинированной закваски из грибов *Aspergillus oryzae* и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Объектом изучения стали образцы соевого соуса, приготовленные с использованием комбинированной закваски в разных количествах. В процессе ферментации проводились визуальные наблюдения и измерялось содержание растворимых сухих веществ рефрактометрическим методом и содержание этанола ареометром. Оптимальное количество закваски было определено путем изучения физико-химических параметров (показатель pH, массовая доля сухих веществ, титруемая кислотность и антиоксидантная активность) и органолептических (внешний вид, консистенция, вкус, аромат и общая оценка вкуса и аромата) полученных образцов. На основе научных источников предполагалось, что добавление дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* позволит сократить время ферментации. Наблюдения в процессе брожения подтвердили первоначальную гипотезу о сокращении периода ферментации при совместном использовании дрожжей и грибов. В данном исследовании он составил 30 дней. Показатель pH, титруемая кислотность, содержание сухих веществ соуса соответствуют ГОСТу Р 58434 Соусы соевые. Полученные образцы имеют высокую антиоксидантную активность 10,46 ммоль/л, что мы связываем с использованием дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Наилучшую оценку по органолептическим показателям получил образец, где количество закваски составило 3% от ферментируемого сырья (15 граммов). По результатам работы можно сделать вывод о перспективности совместного использования *Aspergillus oryzae* и *Saccharomyces cerevisiae* для приготовления соуса соевого.

Ключевые слова: соевый соус, метод естественного брожения, *Aspergillus oryzae*, *Saccharomyces cerevisiae*.

Using a combined starter of *Aspergillus oryzae* and *Saccharomyces cerevisiae* microorganisms to produce soy sauce by natural fermentation

Maxim M. Chernov¹ maxim2015.chernov@ya.ru  0009-0009-5139-8665

Petr E. Balanov¹ balanov@itmo.ru  0000-0002-0610-9248

Irina V. Smotraeva¹ smotraeva@itmo.ru  0000-0003-1255-832X

¹ National Research University ITMO, 9 Lomonosov Street, Saint Petersburg, 191002, Russia

Abstract. The development of soy sauce is actual by the growing interest in soy products, which can replace animal protein. *Aspergillus oryzae* are traditionally used to produce sauce by fermentation method. Recent research has approved that using combinations of microorganisms can reduce fermentation time and improve the nutritional value of the product. The aim of this study is to develop a soy sauce recipe using a combined starter of *Aspergillus oryzae* and *Saccharomyces cerevisiae*. The objects of the study are: soy sauce samples prepared using the different quantities of combined starter. During the fermentation there were carried out the following measurements: visual observations of the quantity of soluble solids by refractometry method and the ethanol content by a hydrometer. The optimal amount of starter was determined by studying the physicochemical parameters (pH, soluble solids content, titratable acidity, and antioxidant activity) and organoleptic properties (appearance, consistency, taste, aroma, and overall taste and aroma assessment) of the obtained samples. Based on scientific literature, it was suggested that the addition of *Saccharomyces cerevisiae* to start the fermentation process would possibly reduce the period of fermentation. Observations during fermentation confirmed the hypothesis. In this investigation the period of fermentation lasted 30 days. The pH, titratable acidity, and solids content of the sauce is related with GOST R 58434 "Soy Sauces." The obtained samples have high antioxidant activity of 10.46 mmol/L, which we explain by the use of *Saccharomyces cerevisiae*. The sample containing 3% of the total amount (15 grams) of starter has received the best organoleptic rating. The results highlighted the potential of the combined use of *Aspergillus oryzae* and *Saccharomyces cerevisiae* for making soy sauce.

Keywords: food biotechnology, soy sauce, natural fermentation method, *Aspergillus oryzae*, *Saccharomyces cerevisiae*.

Для цитирования

Чернов М.М., Баланов П.Е., Смотраева И.В. Использование комбинированной закваски из микроорганизмов *Aspergillus oryzae* и *Saccharomyces cerevisiae* для получения соевого соуса методом естественного брожения // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 4. С. 118–124. doi:10.20914/2310-1202-2025-4-118-124

For citation

Chernov M.M., Balanov P.E., Smotraeva I.V. Using a combined starter of *Aspergillus oryzae* and *Saccharomyces cerevisiae* microorganisms to produce soy sauce by natural fermentation. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025, vol. 87, no. 4. pp. 118–124. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-4-118-124

Введение

В настоящее время популярность соевого соуса растет в связи с особым интересом к продуктам из сои, способным заменить белок животного происхождения. Он является низкокалорийным продуктом, содержит целый комплекс витаминов, в том числе группы В и достаточное количество макро и микроэлементов, а также аминокислоты, в том числе те, которые организм не способен синтезировать самостоятельно, а может усвоить только с пищей [1]. Благодаря уникальному сочетанию вкусов соленого, сладкого и вкуса умами соевый соус заменяет соль, делая его особенно привлекательным для тех, кому ее употребление необходимо ограничить. По данным BusinesStat, производство и потребление соевого соуса в России растет на 1,0–3,3% в год. Увеличение производства соевого соуса с 2020 по 2024 год составило 5%. По прогнозам динамика роста производства соевого соуса составит 5,7% на ближайшие 10 лет. Ферментированные продукты в настоящее время переживают поистине второе рождение [2]. Для получения соевого соуса необходимо разложить белки, содержащиеся в сое, на аминокислоты. Поставленная задача может быть реализована двумя путями: естественное брожение и кислый гидролиз. Метод ферментации требует значительных временных затрат, однако, позволяет получить соевый соус более привлекательный по своим органолептическим свойствам и богатый аминокислотами за счет естественного разложения сои, чем продукт, полученный с помощью гидролиза с применением сильных минеральных кислот [3]. Для приготовления соуса смесь сои и пшеницы инокулируют плесневыми грибами рода *Aspergillus*, процесс брожения занимает от 6 месяцев до года. *Aspergillus oryzae* хорошо известны своими исключительными свойствами. Они вырабатывают ферменты, такие как β -гликозидаза, пектиназа и целлюлаза, способствующие гидролизу белков и амилолитические ферменты, которые расщепляют сложные углеводы до моносахаридов и олигосахаридов, что формирует вкус конечного продукта за счет выработки низкомолекулярных азотсодержащих соединений [4]. Использование других микроорганизмов, например высшего съедобного гриба-ксилотрофа вешенки, в качестве ферментирующего агента позволяет сократить процесс ферментации до 20–25 суток [5]. Исследования последних лет показали, что для производства соевого соуса более эффективно применять несколько видов микроорганизмов [6–8]. Использование комбинаций микроорганизмов

позволяет увеличить активность ферментов, расщепляющих белки и углеводы, что ведет к увеличению содержания флавоноидов и свободных аминокислот и позволяет снизить сроки ферментации [9, 10]. Использование дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* имеет свои преимущества. Плесневые грибы *Saccharomyces cerevisiae* устойчивы к снижению pH раствора и высокой концентрации соли. Их применение увеличивает антиоксидантную активность конечного продукта. А также приводит к увеличению вторичных аминокислот и летучих вкусовых веществ, что улучшает органолептические свойства продукта. Кроме того, из-за расщепления сахара, эти микроорганизмы снижают pH продукта, что подавляет рост нежелательных микроорганизмов [11]. Совместное использование *Aspergillus oryzae* и *Saccharomyces cerevisiae* является перспективным для повышения биологической ценности продукта вследствие взаимообогащения компонентного состава дрожжей и грибов [11]. Грибы *Aspergillus oryzae* расщепляют крахмал до моносахаридов и олигосахаридов, которые в свою очередь употребляются дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* с накоплением широкого спектра метаболитов, формирующих базовые свойства соуса: консистенцию, кислотность, аромат, вкус. Таким образом, для данного вида продукции *Saccharomyces cerevisiae* и *Aspergillus oryzae* находятся в симбиотической связи [12]. Органолептические показатели соуса соевого формируют вкусовые аминокислоты, летучие соединения, пептиды и сахара, состав и количество которых зависит от комбинаций молочнокислых бактерий и дрожжей, участвующих в процессе ферментации [6–8].

Цель работы – разработка рецептуры соуса соевого с использованием комбинированной закваски из грибов *Aspergillus oryzae* и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*.

Материалы и методы

В качестве исходного сырья были использованы соевые бобы сорта «Грей», производитель ФГВНУ ФНЦ ВНИИ Сои соответствующие показателям ГОСТ 17109–88. При выборе соевых бобов учитывалось количественное содержание в них белков, масел и углеводов. Содержание белков – 40,8%, содержание масел – 19,4%, содержание углеводов – 13,3%. В качестве пшеничного компонента использовали булгур (ГОСТ 276–2021), принимая во внимание способ обработки его цельных зерен, позволяющий сохранить большую часть питательных веществ

и витаминов пшеницы [13]. Возможность использования булгура была подтверждена экспериментально [14]. Соотношение сои и булгура в данном исследовании составило 4:1. Использование меньшего количества углеводов негативно влияет на качество процесса брожения и органолептические свойства конечного продукта, а увеличение процентного содержания углеводного компонента сильно замедляет процесс ферментации [15]. Использовалась соль поваренная пищевая мелкого помола по ГОСТ 51674. Для ферментации соевого соуса была применена комбинированная закваска. Анализ литературы позволил предположить, что необходимым и достаточным является соотношение дрожжей и бактерий, взятых в пропорции 1:1 [9, 11, 12, 16]. Были использованы сухие, стабилизированные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* производителя Gloripan и стабилизированные сухие дрожжи *Aspergillus oryzae* (Китай) в количествах 3, 4 и 5% от общей массы ферментируемого продукта.

Исходное сырье подвергали входному контролю. Соевые бобы перебирали и сортировали по цвету и цельности. Целые желтые бобы отбирали, а зеленые и дробленые отсеивали из общей массы. Булгур отбирали по цвету и наличию шелухи: подходящая крупа должна быть золотисто-желтой без шелухи. После прохождения проверки сою и пропаренную пшеничную крупу булгур промывали по отдельности под струей теплой воды комнатной температуры для удаления загрязнений. Далее отобранные бобы замачивали на 10 ч в воде комнатной температуры в массовом соотношении 1:3, затем добавляли булгур и перемешивали. Сырье равномерно распределяли в металлическом стакане и нагревали на водяной бане до температуры 90 °C и выдерживали в течение 4 ч. Образцы дробили до пастообразного состояния в роторном измельчителе ARS HOME A-100, российского производства, производитель – ARS HOME и охлаждали до температуры 25 °C. Остывшую смесь разделяли на три равные части. В каждый из трех образцов добавляли соответственно 3, 4 и 5%, что составило 15, 20 и 25 г закваски из *Saccharomyces cerevisiae* и *Aspergillus oryzae* и 50 г. соли для предотвращения развития нежелательной микрофлоры. Смесь подвергалась ферментации в течение 30 дней. По окончании процесса добавляли воду, нагретую до температуры 25 °C и фильтровали с помощью бумажных фильтров для удаления осадка. Далее смесь нагревали в течение 120 минут для удаления микрофлоры, возникшей в период ферментации. Для улучшения органолептических свойств

в процессе нагревания добавляли 50 г. белого сахара, охлаждали до 25 °C и выдерживали в течение 2 суток.

В период ферментации проводились визуальные наблюдения и измерения содержания и растворимых сухих веществ рефрактометрическим методом. Полученные образцы исследовались по следующим показателям: показатель pH, содержание растворимых сухих веществ, титруемая кислотность, антиоксидантная активность. Все измерения проводились в трехкратной повторяемости.

Определение показателя pH было произведено в соответствии с ГОСТ 12688–2016. По точному значению величины pH можно предсказать возможные отклонения в органолептических свойствах продукта за счет присутствия посторонних веществ в белке [17]. Массовая доля сухих растворенных веществ определялась рефрактометрическим методом по ГОСТ 2173–2013. Определение титруемой кислотности производилось по ГОСТ 6687.4–860. Определение антиоксидантной активности проходило в соответствии с ГОСТ 54037–2010. После фильтрации в соусе не должно содержаться твердых включений, их отсутствие и прозрачность определяли визуально.

Органолептический анализ производился в соответствии с ГОСТ 6658–2016 дегустационной комиссией по пятибалльной шкале от 1 до 5 (1 – практически отсутствует, 2 – слабо выражен, 3 – средне выражен; 4 – сильно выражен; 5 – очень сильно выражен) по показателям: внешний вид, консистенция, вкус, аромат и общая оценка вкуса и аромата.

Результаты и обсуждение

Во время эксперимента проводились визуальные наблюдения. Изначально соевые бобы имеют желтую окраску. В процессе ферментации наблюдается постепенное потемнение. Полное потемнение идет не слишком быстро, однако видимое отличие образца по цвету от смеси сои с булгуром наблюдается уже в первые два дня ферментации. На второй день образцы приобретают более равномерную темно-желтую окраску, что показывает, что вся смесь подвергается ферментативным процессам. Запах кваса и хлеба проявляется уже после третьего дня выдержки при комнатной температуре. Значит, структура углеводов достаточно легко расщепляется под действием комбинации дрожжей и бактерий.

В процессе эксперимента с шагом в три дня измерялась массовая доля сухих веществ. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Физико-химические показатели соевого соуса
в процессе ферментации

Table 1.
Physico-chemical parameters of soy sauce during
the fermentation process

Длительность ферментации (в днях) Duration of fermentation (days)	Образец 1 (3% закваски) Sample 1 (3% of starter)	Образец 2 (4% закваски) Sample 2 (4% of starter)	Образец 3 (5% закваски) Sample 3 (5% of starter)
0	12,2	12,2	12,2
3	12	11,9	11,8
6	11,8	11,7	11,5
9	11,7	11,3	11,2
12	11,5	11	10,8
15	11,4	10,7	10,6
18	11,3	10,5	10,3
21	11,1	10,3	10,1
24	11	10,2	9,8
27	10,9	10	9,7
30	10,8	9,8	9,5

Анализ таблицы показал, что наиболее активно процесс ферментации во всех трех образцах проходил в первые две недели, третья неделя – замедление процесса. В Образце № 1 количество растворимых сухих веществ после ферментации составило 10,8%, что соответствует ГОСТ Р58434–2019 Соевые соусы, согласно которому их содержание должно быть не менее 10%, тогда как в двух других оно меньше необходимого. Также в процессе ферментации измеряли процентное содержание этианола. Динамика изменения содержания этианола в образце № 1 в процессе ферментации показана на рисунке 1.

Этианол – один из основных спиртов, вырабатываемых в процессе брожения путем преобразования сахаров. *Saccharomyces cerevisiae* превращает сахара в этианол в процессе ферментации [19]. Анализ диаграммы показал, что наиболее интенсивно этианол выделяется в первые три недели. На 7 сутки содержание этианола

составляет 0,2%, на 14 сутки – 0,5% возрастает на 21 сутки до 0,8% и практически не изменяется на 28 день и составляет 0,9%, что свидетельствует о замедлении процесса и позволяет предположить, что процесс ферментации практически завершен. Естественное уменьшение содержания этианола происходит на 31 сутки после нагрева и после выдержки в течение 2-х суток. Динамика изменения содержания этианола коррелируется с динамикой изменения содержания сухих веществ и позволяет предположить, что ферментация закончилась на четвертой неделе. Об этом же свидетельствовали и визуальные наблюдения: темно-коричневый цвет и достаточно выраженный хлебный аромат.

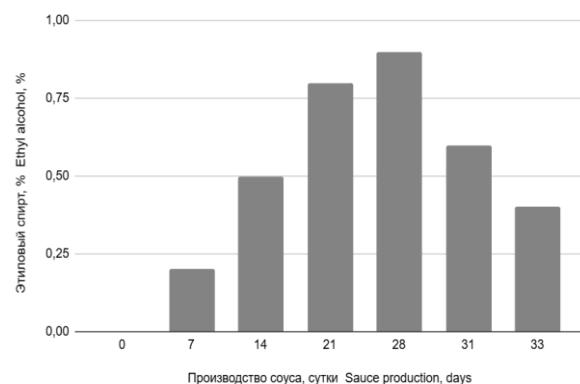


Рисунок 1. Динамика изменения содержания этианола в соевом соусе в процессе ферментации (образец № 1)

Figure 1. Dynamics of changes in ethanol content in soy sauce during fermentation (sample 1)

После высокотемпературной обработки при 75 °C в течение 2-х часов, фильтрации и отстаивания в течении 2-х суток при комнатной температуре, полученные образцы исследовали по физико-химическим показателям. Результаты представлены в таблице 2.

Физико-химические показатели соевого соуса

Таблица 2.

Physico-chemical parameters of soy sauce

Table 2.

Показатель Indicator	Значение показателей в зависимости от процентного содержания закваски Values of indicators depending on the quantity of sater		
	Образец 1 (3% закваски) Sample 1 (3% of starter)	Образец 2 (4% закваски) Sample 2 (4% of starter)	Образец 3 (5% закваски) Sample 3 (5% of starter)
pH	4,81	4,84	4,87
массовая доля растворимых сухих веществ, % the mass fraction of soluble solids, %	10,8	9,8	9,5
титруемая кислотность, см ³ 1Н NaOH/100 см ³ titratable acidity, cm ³ 1N NaOH/100 cm ³	4,5	4,48	4,46
антиоксидантная активность, ммоль/л antioxidant activity, mmol/l	10,46	10,47	10,48

Все образцы имеют хороший показатель антиоксидантной активности 10,46–10,48 ммоль/л, что мы связываем с использованием дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* [12]. Показатель титруемой кислотности и значение pH соответствуют ГОСТ 58434–2019, устанавливающему основные характеристики для соусов соевых.

Массовая доля растворимых сухих чуть ниже нормы в образцах 2 и 3. В 1 образце она находится в пределах, заданных ГОСТом – 10,8%. Органолептический анализ проводился методом дегустации. Характеристика представлена в таблице 3.

Таблица 3.

Органолептические показатели соуса соевого

Table 3.

Organoleptic properties of soy sauce

Показатели Indicators	Оценка Score			Комментарии Comments
	Образец № 1 Sample № 1 3% (15 г.)	Образец № 2 Sample № 2 4% (20 г.)	Образец № 3 Sample № 3 5% (25 г.)	
Внешний вид Form	4,5	4,5	4,5	Без включений No inclusions
Консистенция Consistency	4,5	4,5	4,5	Однородная homogeneous
Вкус Taste	умами umami	3,5	3,7	3,9
	соленый salty	2,7	2,0	2,4
	кислый acidic	1,0	2,0	2,4
	сладкий sweet	1,5	2,0	2,2
Аромат Flavor	хлебный bread	4,3	3,9	3,6
Общая оценка вкуса и аромата Total assessment of taste and aroma	4,2	4,0	3,8	Соус приятный на вид и на вкус с ярко выраженным хлебным ароматом The sauce is pleasant to look at and taste with a distinct bread aroma

Образцы представляют собой однородную непрозрачную жидкость темно-коричневого цвета, без включений. Вкус не резкий, слабосоленый, с наиболее выраженным вкусом умами. Дегустационной комиссией был отмечен выраженный хлебный аромат, другие ароматы практически неуловимы и не образуют букет. Внешний вид был оценен на 4,5 балла. Образец № 1, в котором процентное соотношение закваски составило 3%, обладает наиболее привлекательными характеристиками: выраженным вкусом умами и хлебным ароматом. На основании анализа физико-химических и органолептических показателей был выбран Образец № 1. Рецептура соевого соуса представлена в таблице 4.

Таблица 4.
Рецептура соевого соуса

Table 4.

Recipe for soy sauce

Сырье Raw material	Масса сырья, г Weight of raw materials, g
соевые бобы soy beans	400
пшеничная крупа булгур bulgur wheat grain	100
комбинированная закваска combined starter	15
соль поваренная пищевая мелкого помола finely ground table salt	50
сахар белый, кусковой white lump sugar	50
вода питьевая drinking water	385

Заключение

Разработана рецептура соуса соевого с использованием комбинации из грибов *Aspergillus oryzae* и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. На основании анализа трех образцов определено оптимальное количество закваски в соотношении 3% к общей массе ферментируемого сырья. Его органолептические свойства были оценены как 4,2 в пятибалльной системе, а физико-химические свойства соответствуют ГОСТ и имеет хороший показатель антиоксидантной активности – 10,46 ммоль/л. В процессе эксперимента подтверждена гипотеза о том, что добавление дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* позволяет сократить срок ферментации до 30 дней. Данное исследование подтверждает возможность использования комбинаций грибов *Aspergillus oryzae* и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* для ферментации сои, но требует продолжения исследований с использованием разного процентного соотношения бактерий и грибов и комбинаций других микроорганизмов, таких как *Zygosaccharomyces rouxii*, *Wickerhamiella versatilis* совместно с *Aspergillus oryzae*. Следующим этапом работы должна стать разработка и применение методики культивирования дрожжей для дальнейшего их использования в производстве соевого соуса совместно с грибами *Aspergillus oryzae*.

Литература

- 1 Еремина А.В., Лопаева Н.Л. Анализ вкусовых, питательных и биологических свойств соевого соуса естественного брожения // Молодежь и наука. 2022. № 12. С. 1–6.
- 2 Шайхова Г.И., Тураев Ф.Ш. Современное состояние проблемы использования специализированных продуктов с обогащением сои // Новый день в медицине. 2022. № 10. С. 57–63.
- 3 Серба Е.М., Римарева Л.В., Таджибова П.Ю., Погоржельская Н.С. и др. Особенности биоконверсии соевого сырья в ферментированных продуктах // Биотехнология: состояние и перспективы развития: сб. тр. М.: Изд-во Экспо-биохим-технологии, 2021. Т. 19. С. 320–322. doi: 10.37747/2312–640X-2021-19-320–322
- 4 Пат. № 2448526, RU, A23L1/238. Способ получения соевого соуса // Комолых В.О., Комолых О.М., Комолых Р.В.; /Заявл. 07.08.2–10; Опубл. 27.04.2012. URL: <https://allpatents.ru/patent/2448526.html>
- 5 Liu Y., Chen H., Liu C., Li Q., Niu C. Prediction, biochemical characterization and application of key proteolytic enzymes from *Aspergillus oryzae* BL18 in soy sauce fermentation // Food Research International. 2025. V. 211. P. 116382. doi: 10.1016/j.foodres.2025.116382
- 6 Zhang X., Liu Z., Kang B., Huang Y., Fu C., Li W., Wu Q., Liu Z., Li D., Wang C., Xu N. Effect of *Lactobacillus plantarum* or *Enterococcus faecalis* as co-inoculants with *Aspergillus oryzae* in koji making on the physicochemical properties of soy sauce // Journal of Food Science. 2022. V. 87. Is. 2. P. 714–727. doi: 10.1111/1750-3841.16035
- 7 Wang J., Xie Z., Feng Y., Huang M., Zhao M. Co-culture of *Zygosaccharomyces rouxii* and *Wickerhamiella versatilis* to improve soy sauce flavor and quality // Food Control. 2024. V. 155. P. 110044. doi: 10.1016/j.foodcont.2023.110044
- 8 Sassi S., Wan-Mohtar W., Jamaludin N., Ilham Z. Recent progress and advances in soy sauce production technologies: A review // Journal of Food Processing and Preservation. 2021. V. 45. Is. 11. P. e15799. doi: 10.1111/jfpp.15799
- 9 Song N., Xia H., Qiao Y., Zhang H., Yao L., Yang S., Chen X., Dai J. Differential analysis of ergosterol function in response to high salt and sugar stress in *Zygosaccharomyces rouxii* // FEMS Yeast Research. 2022. V. 22. No. 1. P. foac040. doi: 10.1093/femsyr/foac040
- 10 Wang J., Zhao M., Xie N., Huang M., Feng Y. Community structure of yeast in fermented soy sauce and screening of functional yeast with potential to enhance the soy sauce flavor // International Journal of Food Microbiology. 2022. V. 370. P. 109652. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109652
- 11 Zhao Y., Liu S., Han X., Zhou Z., Mao J. Combined effects of fermentation temperature and *Saccharomyces cerevisiae* strains on free amino acids, flavor substances, and undesirable secondary metabolites in huangjiu fermentation // Food Microbiology. 2022. V. 108. P. 104091. doi: 10.1016/j.fm.2022.104091
- 12 Серба Е.М., Юраскина Т.В., Римарева Л.В., Таджибова П.Ю., Соколова Е.Н., Волкова Г.С. Микробная биомасса – биоресурс для получения функциональных пищевых ингредиентов (обзор) // Технология и техника пищевых продуктов. 2023. № 3. С. 426–444. doi: 10.21603/2074-9414-2023-3-2446
- 13 Агапкин А.М. Особенности пищевой ценности, ассортимент и нормирование качества пшеничных круп (Кус-Кус, Полба, Булгур, Фрике) // Инновационные технологии. 2021. № 3. С. 48–51.
- 14 Чернов М.М. Использование экстрактов бурых водорослей при приготовлении соевых соусов методом ферментации // Пищевая индустрия: инновационные процессы, продукты и технологии: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию Технол. ин-та. 2024. С. 640–645.
- 15 Diez-Simon C., Eichelsheim C., Mumm R., Hall R.D. Chemical and sensory characteristics of soy sauce: A review // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020. V. 68. No. 42. P. 11612–11630. doi: 10.1021/acs.jafc.0c04274
- 16 Тарашкевич Е.Ю., Палагина М.В., Черевач Е.И., Фищенко Е.С. Разработка рецептуры соевых соусов с использованием экстрактов из растительного сырья дальневосточного региона // Пищевая промышленность. 2019. № 11. С. 60–63. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10179
- 17 Нарожнева А.О., Салищева О.В. Определение изоэлектрической точки белка // Пищевые инновации и биотехнологии. 2017. С. 108–109.
- 18 Хоконов А.Б., Хоконова М.Б. Биохимические процессы при вторичном брожении яблочных соков и хранении игристых вин // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2022. № 3. С. 138–144. doi: 10.55196/2411-3492-2022-3-37-138-144
- 19 Давыденко С.Г., Меледина Т.В., Андреева А.В. Исследование морфофизиологических свойств дрожжей, перспективных для производства этанола // Вестник ВГУИП. 2024. Т. 86. № 1. С. 63–69. doi: 10.20914/2310-1202-2024-1-63-69
- 20 Zhou X., Guo T., Hadiatullah H., Zhang Y., Zhao G., Tai G., Zhang W., Fan D. Metabolic behavior of *Aspergillus oryzae* in salt-reduced soy sauce and its regulation for the brewing process // Food Bioscience. 2024. V. 59. P. 104206. doi: 10.1016/j.fbio.2024.104206
- 21 Hong K.Q., Fu X.M., Lei F.F., Li X.R., Chen F., Liao L., Wang Z. Selection of salt-tolerance and ester-producing mutant *Saccharomyces cerevisiae* to improve flavour formation of soy sauce during co-fermentation with *Torulopsis globosa* // Foods. 2023. V. 12. No. 18. P. 3449. doi: 10.3390/foods12183449

References

- 1 Eremina A.V., Lopaeva N.L. Analysis of the taste, nutritional and biological properties of naturally fermented soy sauce. Youth and Science. 2022. no. 12. pp. 1–6. (in Russian).
- 2 Shaikhova G.I., Turaev F.Sh. Current state of the problem of using specialized products with soy enrichment. New Day in Medicine. 2022. no. 10. pp. 57–63. (in Russian).
- 3 Serba E.M., Rimareva L.V., Tadzhibova P.Yu., Pogorzhelskaya N.S. et al. Features of bioconservation of soybean raw materials in fermented products. Biotechnology: state and development prospects: collection of works. Moscow: Publishing House Expo-bioхim-technologii, 2021. vol. 19. pp. 320–322. doi: 10.37747/2312–640X-2021-19-320–322 (in Russian).
- 4 Patent no. 2448526, RU, A23L1/238. Method for producing soy sauce. Komolikh V.O., Komolikh O.M., Komolikh R.V. / Filed 07.08.2010; Publ. 27.04.2012. Available at: <https://allpatents.ru/patent/2448526.html> (in Russian).
- 5 Liu Y., Chen H., Liu C., Li Q., Niu C. Prediction, biochemical characterization and application of key proteolytic enzymes from *Aspergillus oryzae* BL18 in soy sauce fermentation. Food Research International. 2025. vol. 211. p. 116382. doi: 10.1016/j.foodres.2025.116382.

- 6 Zhang X., Liu Z., Kang B., Huang Y., Fu C., Li W., Wu Q., Liu Z., Li D., Wang C., Xu N. Effect of *Lactobacillus plantarum* or *Enterococcus faecalis* as co-inoculants with *Aspergillus oryzae* in koji making on the physicochemical properties of soy sauce. *Journal of Food Science*. 2022. vol. 87. iss. 2. pp. 714–727. doi: 10.1111/1750-3841.16035.
- 7 Wang J., Xie Z., Feng Y., Huang M., Zhao M. Co-culture of *Zygosaccharomyces rouxii* and *Wickerhamiella versatilis* to improve soy sauce flavor and quality. *Food Control*. 2024. vol. 155. p. 110044. doi: 10.1016/j.foodcont.2023.110044.
- 8 Sassi S., Wan-Mohtar W., Jamaludin N., Ilham Z. Recent progress and advances in soy sauce production technologies: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021. vol. 45. iss. 11. p. e15799. doi: 10.1111/jfpp.15799.
- 9 Song N., Xia H., Qiao Y., Zhang H., Yao L., Yang S., Chen X., Dai J. Differential analysis of ergosterol function in response to high salt and sugar stress in *Zygosaccharomyces rouxii*. *FEMS Yeast Research*. 2022. vol. 22. no. 1. p. foac040. doi: 10.1093/femsyr/foac040.
- 10 Wang J., Zhao M., Xie N., Huang M., Feng Y. Community structure of yeast in fermented soy sauce and screening of functional yeast with potential to enhance the soy sauce flavor. *International Journal of Food Microbiology*. 2022. vol. 370. p. 109652. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109652.
- 11 Zhao Y., Liu S., Han X., Zhou Z., Mao J. Combined effects of fermentation temperature and *Saccharomyces cerevisiae* strains on free amino acids, flavor substances, and undesirable secondary metabolites in huangjiu fermentation. *Food Microbiology*. 2022. vol. 108. p. 104091. doi: 10.1016/j.fm.2022.104091.
- 12 Serba E.M., Yuraskina T.V., Rimareva L.V., Tadzhibova P.Yu., Sokolova E.N., Volkova G.S. Microbial biomass is a bioresource for obtaining functional food ingredients (review). *Technology and technique of food production*. 2023. no. 3. pp. 426–444. doi: 10.21603/2074-9414-2023-3-2446 (in Russian).
- 13 Agapkin A.M. Features of nutritional value, assortment and quality regulation of wheat cereals (Couscous, Spelt, Bulgur, Freekeh). *Innovative Technologies*. 2021. no. 3. pp. 48–51. (in Russian).
- 14 Chernov M.M. Use of brown algae extracts in the preparation of soy sauces by fermentation method. *Food Industry: innovative processes, products and technologies: collection of materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 20th anniversary of the Technological Institute*. 2024. pp. 640–645. (in Russian).
- 15 Diez-Simon C., Eichelsheim C., Mumm R., Hall R.D. Chemical and sensory characteristics of soy sauce: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020. vol. 68. no. 42. pp. 11612–11630. doi: 10.1021/acs.jafc.0c04274.
- 16 Tarashkevich E.Yu., Palagina M.V., Cherevach E.I., Fishchenko E.S. Development of a formulation for soy sauces using extracts from plant raw materials of the Far Eastern region. *Food Industry*. 2019. no. 11. pp. 60–63. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10179 (in Russian).
- 17 Narozhneva A.O., Salishcheva O.V. Determination of the isoelectric point of a protein. *Food Innovations and Biotechnology*. 2017. pp. 108–109. (in Russian).
- 18 Khokonov A.B., Khokonova M.B. Biochemical processes during secondary fermentation of apple juices and storage of sparkling wines. *Bulletin of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2022. no. 3. pp. 138–144. doi: 10.55196/2411-3492-2022-3-37-138-144 (in Russian).
- 19 Davydenko S.G., Meledina T.V., Andreeva A.V. Study of the morphological and physiological properties of yeast promising for ethanol production. *Bulletin of VSUET*. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 63–69. doi: 10.20914/2310-1202-2024-1-63-69 (in Russian).
- 20 Zhou X., Guo T., Hadiatullah H., Zhang Y., Zhao G., Tai G., Zhang W., Fan D. Metabolic behavior of *Aspergillus oryzae* in salt-reduced soy sauce and its regulation for the brewing process. *Food Bioscience*. 2024. vol. 59. p. 104206. doi: 10.1016/j.fbio.2024.104206.
- 21 Hong K.Q., Fu X.M., Lei F.F., Li X.R., Chen F., Liao L., Wang Z. Selection of salt-tolerance and ester-producing mutant *Saccharomyces cerevisiae* to improve flavour formation of soy sauce during co-fermentation with *Torulopsis globosa*. *Foods*. 2023. vol. 12. no. 18. p. 3449. doi: 10.3390/foods12183449.

Сведения об авторах

Максим М. Чернов аспирант, факультет биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО, ул. Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Россия, maxim2015.chernov@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-5139-8665>

Петр Е. Баланов к.т.н., доцент, факультет биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО, ул. Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Россия, balanov@itmo.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0610-9248>

Ирина В. Смотраева к.т.н., доцент, факультет биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО, ул. Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Россия, smotraeva@itmo.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1255-832X>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за plagiat

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Maxim M. Chernov graduate student, Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO, Lomonosov, 9, Saint-Petersburg, 191002, Russia, maxim2015.chernov@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-5139-8665>

Petr E. Balanov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO, Lomonosov, 9, Saint-Petersburg, 191002, Russia, balanov@itmo.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0610-9248>

Irina V. Smotraeva Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO, Lomonosov, 9, Saint-Petersburg, 191002, Russia, smotraeva@itmo.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1255-832X>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 13/11/2025

После редакции 28/11/2025

Принята в печать 15/12/2025

Received 13/11/2025

Accepted in revised 28/11/2025

Accepted 15/12/2025