

## Влияние типа заквасочной культуры на реологические и текстурные характеристики кисломолочных продуктов

*Егорова Е.В., Фролов Д.И.*

**Аннотация.** В статье представлены результаты сравнительного исследования влияния различных стартовых культур на физико-химические и структурно-механические свойства ферментированного молочного сырья. В качестве объектов анализа выступали образцы, изготовленные с применением традиционной йогуртной закваски, пробиотической культуры и инокулята комбучи. Установлено, что использование комбучи существенно увеличивает продолжительность ферментации до 8,2 часа, что практически вдвое превышает показатели пробиотических и йогуртных образцов, составивших 4,0 и 4,5 часа соответственно. По достижении изоэлектрической точки (рН 4,6) наиболее прочный коагулят формируется при использовании йогуртной закваски: показатели твердости составили 204,01 г, консистенции – 5377,62 г·с. Пробиотический образец характеризовался наименьшей твердостью на уровне 123,7 г. Реологический анализ подтвердил псевдопластичный характер течения всех исследуемых систем. Максимальное значение площади петли гистерезиса, свидетельствующее о высокой степени тиксотропного восстановления структуры, зафиксировано у традиционного йогурта и составило 2201 Па/с, в то время как для образца с комбучей данный показатель составил 1444 Па/с. Экспериментально доказано, что основные структурные изменения во всех типах гелей инициируются в диапазоне рН 5,4–5,1. Полученные данные свидетельствуют о принципиальной возможности применения комбучи в качестве альтернативного биологического агента для формирования специфической текстуры кисломолочных напитков.

**Ключевые слова:** йогурт, комбуча, вязкость, текстурные свойства, реология, ферментация.

**Для цитирования:** Егорова Е.В., Фролов Д.И. Влияние типа заквасочной культуры на реологические и текстурные характеристики кисломолочных продуктов // Инновационная техника и технология. 2026. Т. 13. № 2. С. 18–22.

## The influence of starter culture type on the rheological and textural characteristics of fermented milk products

*Egorova E.V., Frolov D.I.*

**Abstract.** This article presents the results of a comparative study of the influence of various starter cultures on the physicochemical and structural-mechanical properties of fermented milk raw materials. Samples prepared using a traditional yogurt starter, a probiotic culture, and a kombucha inoculum served as objects of analysis. It was found that the use of kombucha significantly increased the fermentation duration to 8.2 hours, which is almost twice as long as the probiotic and yogurt samples, which were 4.0 and 4.5 hours, respectively. Upon reaching the isoelectric point (pH 4.6), the most stable coagulum was formed using the yogurt starter: hardness was 204.01 g, and consistency was 5377.62 g s. The probiotic sample was characterized by the lowest hardness at 123.7 g. Rheological analysis confirmed the pseudoplastic flow nature of all studied systems. The maximum hysteresis loop area, indicating a high degree of thixotropic structural restoration, was recorded for traditional yogurt at 2201 Pa/s, while for the kombucha sample, this value was 1444 Pa/s. Experiments have shown that the main structural changes in all gel types are initiated in the pH range of 5.4–5.1. The obtained data demonstrate the fundamental potential of using kombucha as an alternative biological agent for creating the specific texture of fermented milk drinks.

**Keywords:** yogurt, kombucha, viscosity, textural properties, rheology, fermentation.

**For citation:** Egorova E.V., Frolov D.I. The influence of starter culture type on the rheological and textural characteristics of fermented milk products. *Innovative Machinery and Technology* [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2026. Vol. 13. No. 2. pp. 19–22. (In Russ.).

## Введение

Кисломолочные продукты являются неотъемлемым компонентом полноценного рациона питания человека [1, 2]. Благодаря уникальным вкусовым характеристикам и специфической текстуре, такие традиционные продукты, как йогурт, не только обеспечивают высокую питательную ценность, но и выступают в роли носителей функциональных ингредиентов, приносящих дополнительную пользу здоровью [3]. В современной биотехнологии пищевых систем особое внимание уделяется поиску и внедрению нетрадиционных биологических агентов ферментации.

Одним из перспективных направлений является использование комбучи (чайного гриба) – симбиотического сообщества уксуснокислых, молочнокислых бактерий и дрожжей, заключенных в целлюлозный матрикс [4, 5]. Биохимическая роль дрожжевого компонента в данном консорциуме заключается в конверсии сахарозы в органические кислоты, диоксид углерода и этанол, который в дальнейшем окисляется уксуснокислыми бактериями до ацетальдегида и уксусной кислоты. Глюкоза, в свою очередь, используется бактериями для синтеза бактериальной целлюлозы и глюконовой кислоты [6, 7].

Применение комбучи в молочной промышленности позволяет получать продукты, по своим свойствам близкие к йогурту или кефиру, обладающие при этом специфическим биологическим профилем [8]. Процесс молочнокислого брожения сопровождается трансформацией лактозы в молочную кислоту под воздействием лактококков и лактобацилл [9]. По мере снижения pH и приближения его к изоэлектрической точке (pH 4,6) происходит агрегация частиц казеина [10]. Данный процесс в сочетании с денатурацией сывороточных белков и их взаимодействием с казеиновым комплексом приводит к формированию белковой сетки, что обуславливает увеличение вязкости и прочности геля. С физико-химической точки зрения йогурт представляет собой слабую вязкоупругую и тиксотропную систему, структурные параметры которой напрямую зависят от динамики кислотообразования.

Целью настоящего исследования является изучение влияния типа заквасочной культуры (традиционной йогуртной, пробиотической и инокулята комбучи) на кинетику ферментации, а также на комплекс реологических и текстурных показателей

готовых кисломолочных продуктов. В работе проведено сравнительное сопоставление таких характеристик, как твердость, консистенция и площадь петли гистерезиса, определяющих потребительские свойства и стабильность структуры целевого продукта.

## Объекты и методы исследований

Объектами исследования выступали образцы ферментированного молока, изготовленные на основе гомогенизированного и пастеризованного сырья. Для сравнительного анализа были выбраны три типа заквасочных культур: традиционная йогуртная закваска, содержащая термофильные штаммы *Streptococcus thermophilus*; пробиотическая культура, включающая *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* и *Streptococcus thermophilus*; а также нетрадиционный инокулят комбучи. Коммерческие закваски вносились в молочную основу в дозировке 0,005 г/100 г согласно рекомендациям производителя.

Подготовка инокулята комбучи (чайного гриба) осуществлялась путем его культивирования на черном чае (*Camellia sinensis*, 1,5 г/л) с добавлением сахарозы в концентрации 70 г/л. После семидневной инкубации при температуре 29°C готовый инокулят вносился в молоко в количестве 10% от объема смеси. Все экспериментальные образцы термостатировались при температуре 42°C в трехкратной повторности. Отбор проб для анализа производился при достижении определенных уровней кислотности: pH 5,4; 5,1; 4,8 и 4,6.

Реологические параметры полученных продуктов определялись при температуре 5°C с использованием вискозиметра. Для оценки тиксотропных свойств применялся тест на сдвиговую деформацию, в ходе которого скорость сдвига равномерно увеличивалась от 0 до 40 с<sup>-1</sup> и затем снижалась до исходного значения в течение 50 секунд. Обработка полученных данных и расчет площади петли гистерезиса проводились с помощью специализированного программного обеспечения.

## Результаты и их обсуждение

В ходе исследования были проанализированы основные физико-химические показатели ферментированных молочных продуктов, представленные

Таблица 1 – Физико-химические характеристики образцов, изготовленных с применением различных заквасок

Образцы	pH	Время ферментации, ч	Сухие вещества, г/100 г	Жир, г/100 г
Йогурт	4,6	4,5	11,12	1,95
Пробиотик	4,6	4	10,81	1,95
Комбуча	4,6	8,2	10,34	1,9

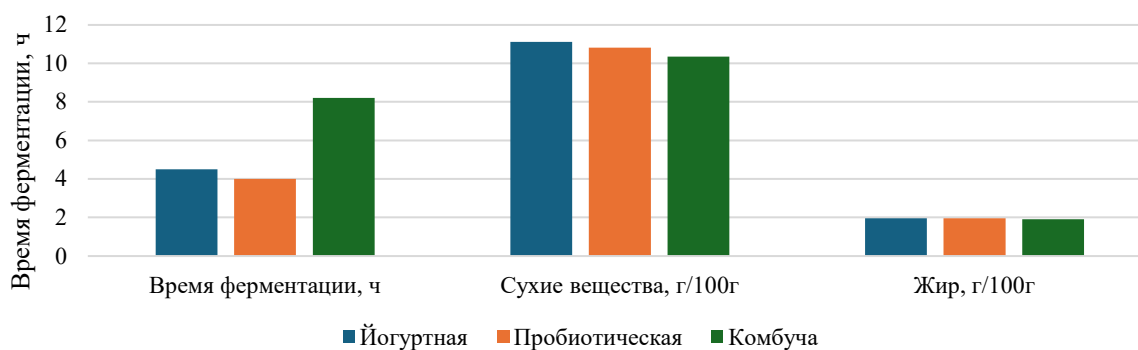


Рис. 1. Кинетика ферментации и физико-химические показатели

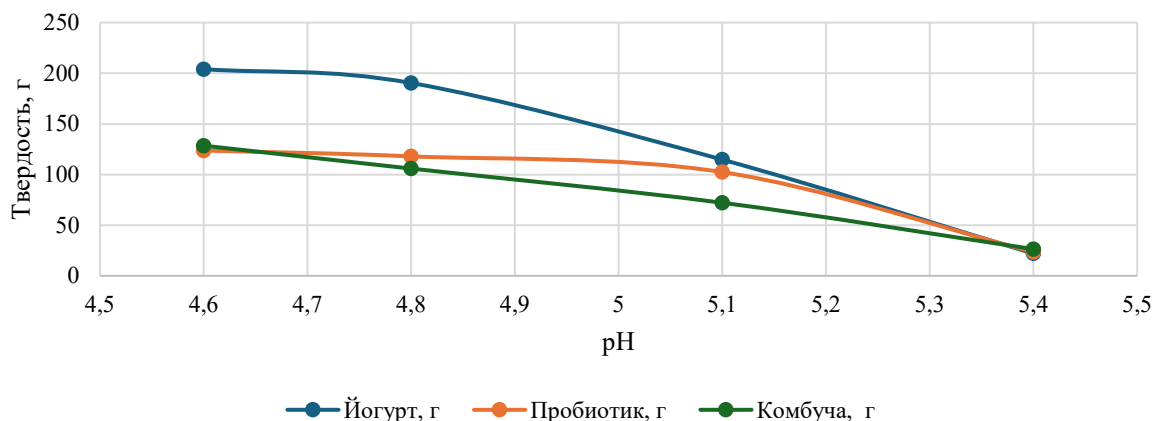


Рис. 2. Изменение твердости в зависимости от pH

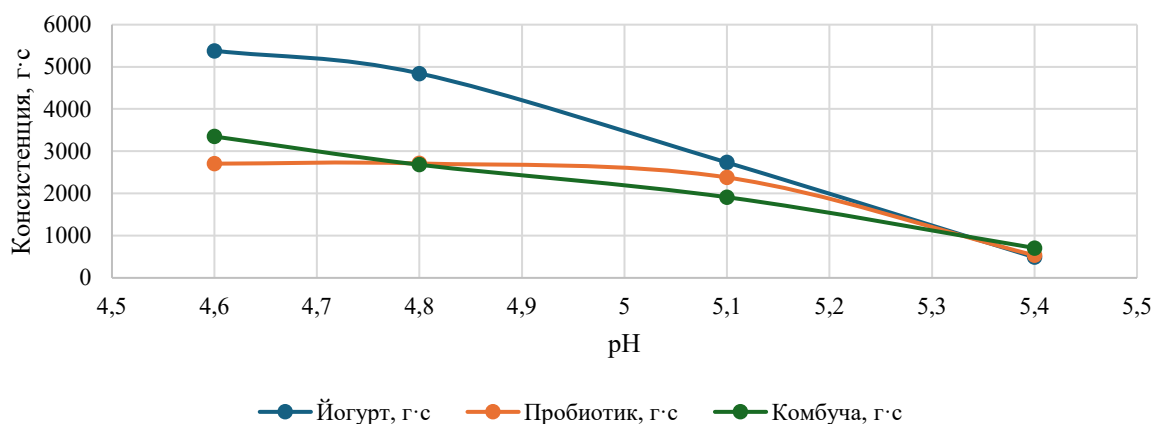


Рис. 3. Изменение консистенции в зависимости от pH

в таблице 1. Установлено, что тип закваски оказывает критическое влияние на скорость технологического процесса. Наименьшая продолжительность ферментации (4,0 ч) зафиксирована для пробиотического образца, в то время как применение комбучи привело к увеличению времени сквашивания до 8,2 ч, что связано с особенностями метаболической активности симбиотической культуры чайного гриба в молочной среде.

Комплексный анализ физико-химических показателей исследуемых образцов (рис. 1) позволил выявить существенные различия в кинетике процесса в зависимости от типа применяемой закваски. Установлено, что использование комбучи значительно пролонгирует время ферментации до 8,2

ч, что практически вдвое превышает показатели пробиотической (4,0 ч) и традиционной йогуртной (4,5 ч) культур. Несмотря на различия в скорости сквашивания, содержание жира в готовых продуктах оставалось стабильным (около 1,95%), в то время как образец с комбучей характеризовался несколько меньшим содержанием сухих веществ – 10,34 г/100г.

Динамика изменения твердости геля в зависимости от текущего значения уровня кислотности представлена на рисунке 2. Экспериментально доказано, что наиболее интенсивное упрочнение структуры во всех группах происходит в интервале pH от 5,4 до 5,1. При достижении финальной точки ферментации (pH 4,6) максимальная твердость

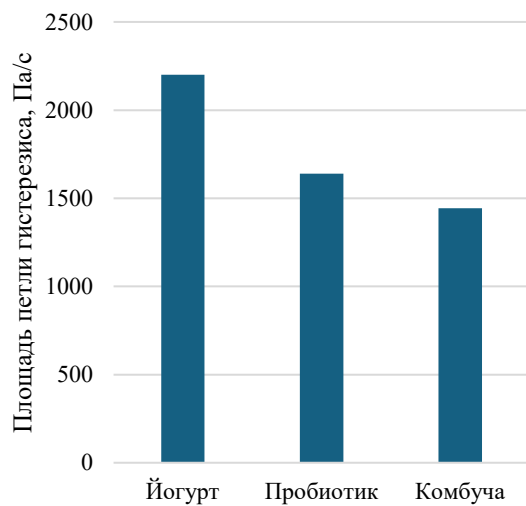


Рис. 4. Площадь петли гистерезиса при pH 4,6

зафиксирована у йогурта (204,01 г), в то время как пробиотический образец сформировал наиболее нежный сгусток с показателем 123,7 г.

Изменение консистенции продуктов в процессе закисления (рис. 3) демонстрирует закономерности, полностью коррелирующие с данными прочностных испытаний. Аналогично твердости, резкий скачок значений консистенции наблюдается при переходе от pH 5,4 к 5,1. В итоговой точке (pH 4,6) йогурт характеризуется наиболее высокой консистенцией (5377,62 г·с), существенно опережая как пробиотический продукт (2706,3 г·с), так и образец на основе комбучи.

Анализ тиксотропных свойств систем проводился по величине площади петли гистерезиса при достижении pH 4,6 (рис. 4). Данный параметр отражает способность белкового каркаса к разрушению и последующему восстановлению под действием механической нагрузки. Наивысшее значение площади петли гистерезиса (2201 Па/с) отмечено у традиционного йогурта, что свидетельствует о формировании наиболее развитой и обратимой пространственной структуры. Для образца с комбучей

этот показатель составил 1444 Па/с, что объясняется образованием менее компактного геля.

Сопоставление полученных данных позволяет сделать вывод, что, несмотря на специфику кинетики ферментации и абсолютных значений вязкости, реологическое поведение продуктов на основе комбучи идентично классическим молочным системам. Локализация фазы активного структурообразования в диапазоне pH 5,4–5,1 является ключевым фактором, который необходимо учитывать при проектировании технологий функциональных напитков с заданными текстурными характеристиками.

### Выводы

На основании проведенных исследований установлено, что выбор стартовой культуры является определяющим фактором, формирующим кинетику производства и структурно-механические характеристики ферментированных молочных систем. Применение инокулята комбучи приводит к существенному замедлению процесса сквашивания до 8,2 ч, что практически вдвое превышает показатели традиционных йогуртных и пробиотических культур. Реологический анализ подтвердил псевдопластичный характер течения всех образцов, при этом наиболее интенсивная фаза структурообразования и нарастания твердости была локализована в узком диапазоне pH от 5,4 до 5,1. Несмотря на то, что традиционный йогурт продемонстрировал наивысшие показатели твердости (204,01 г) и лучшую способность к тиксотропному восстановлению (2201 Па/с), характер формирования казеиновой сетки при использовании комбучи идентичен классическим аналогам. Таким образом, использование комбучи является перспективным технологическим решением для создания функциональных продуктов с заданными текстурными свойствами, сопоставимыми с традиционными кисломолочными напитками.

### Литература

- [1] Коновалов К. Л., Шулбаева М. Т., Мусина О. Н. Пищевые вещества животного и растительного происхождения для здорового питания // Пищевая промышленность. – 2008. – № 8. – С. 10-12.
- [2] Бельмер С. В. Кисломолочные продукты: от истории к современности // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2019. – Т. 64. – № 6. – С. 119-125.
- [3] Файзуллина Р. А., Самороднова Е. А., Федотова О. Б. Кисломолочные продукты в питании детей раннего возраста: эволюция от традиционных к функциональным // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2019. – Т. 64. – № 4. – С. 133-140.

### References

- [1] Konovalov K. L., Shulbaeva M. T., Musina O. N. Nutrients of animal and plant origin for healthy nutrition // Food industry. - 2008. - No. 8. - P. 10-12.
- [2] Belmer S. V. Fermented milk products: from history to the present // Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics. - 2019. - Vol. 64. - No. 6. - P. 119-125.
- [3] Fayzullina R. A., Samorodnova E. A., Fedotova O. B. Fermented milk products in the nutrition of young children: evolution from traditional to functional // Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics. - 2019. - Vol. 64. - No. 4. - P. 133-140.
- [4] Kovaleva D. Z., Doiko I. V. Possibilities of Using Local Plant Raw Materials in Kombucha Production // Food Industry in Modern Conditions: Trends and

- [4] Ковалева Д. З., Дойко И. В. Возможности использования местного растительного сырья в производстве комбучи //Пищевая индустрия в современных условиях: тренды и инновации: Сборник научных статей. – 2024. – С. 22-26.
- [5] Фролова Ю. В. Российский рынок ферментированных напитков на основе чайного гриба //Вопросы питания. – 2022. – Т. 91. – №. 3 (541). – С. 115-118.
- [6] Гладышева Е. К., Скиба Е. А. Биосинтез бактериальной целлюлозы культурой *Medusomyces Gisevii* //Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – №. 3 (65). – С. 149-156.
- [7] Гладышева Е. К. Изучение биосинтеза бактериальной целлюлозы культурой *Medusomyces gisevii* J. Lindau на средах с различной начальной концентрацией глюкозы //Фундаментальные исследования. – 2015. – №. 2-1. – С. 13-17.
- [8] Мачнева И. А. Биологическая ценность ферментированных пищевых продуктов на растительной основе //Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2024. – №. 87 (3). – С. 154.
- [9] Абдуллаева Н. Ф., Тагизаде З. А., Мустафаева Р. С. Микробиологические и биохимические характеристики молочнокислых бактерий и области их применения (обзор) //Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2017. – №. 3-3. – С. 31-35.
- [10] Ельчанинов В. В. Современные представления о структуре казеиновой мицеллы //Молочная промышленность. – 2011. – №. 4. – С. 76-78.
- Innovations: Collection of Scientific Articles. – 2024. – Pp. 22-26.
- [5] Frolova Yu. V. Russian Market of Fermented Kombucha-Based Drinks // Nutrition Issues. – 2022. – Vol. 91. – No. 3 (541). – Pp. 115-118.
- [6] Gladysheva E. K., Skiba E. A. Biosynthesis of Bacterial Cellulose by *Medusomyces Gisevii* Culture // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2015. – No. 3 (65). – Pp. 149-156.
- [7] Gladysheva E. K. Study of bacterial cellulose biosynthesis by *Medusomyces gisevii* J. Lindau culture on media with different initial glucose concentrations // Fundamental research. - 2015. - No. 2-1. - P. 13-17.
- [8] Machneva I. A. Biological value of fermented plant-based food products // Fruit growing and viticulture of the South of Russia. - 2024. - No. 87 (3). - P. 154.
- [9] Abdullaeva N. F., Tagizade Z. A., Mustafayeva R. S. Microbiological and biochemical characteristics of lactic acid bacteria and their applications (review) // Current issues in the humanities and natural sciences. - 2017. - No. 3-3. - P. 31-35.
- [10] Elchaninov V. V. Modern concepts of the structure of casein micelles // Dairy industry. - 2011. - No. 4. - P. 76-78.

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

<p><b>Егорова Елена Владимировна</b>                  магистрант кафедры «Пищевые производства»                  ФГБОУ ВО «Пензенский государственный                  технологический университет»                  440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11  <b>E-mail:</b></p>	<p><b>Egorova Elena Vladimirovna</b>                  undergraduate of the department «Food productions»                  Penza State Technological University  <b>E-mail:</b></p>
<p><b>Фролов Дмитрий Иванович</b>                  кандидат технических наук                  доцент кафедры «Пищевые производства»                  ФГБОУ ВО «Пензенский государственный                  технологический университет»                  440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11  <b>Тел.:</b> +7(937) 408-35-28  <b>E-mail:</b> surr@bk.ru</p>	<p><b>Frolov Dmitriy Ivanovich</b>                  PhD in Technical Sciences                  associate professor at the department of «Food productions»                  Penza State Technological University  <b>Phone:</b> +7(937) 408-35-28  <b>E-mail:</b> surr@bk.ru</p>