

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-29-35>

Поступила 21.11.2022

Поступила после рецензирования 09.01.2023

Принята в печать 16.01.2023

© Гурский И. А., 2023



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ТЕКСТУРА ОБЕЗЖИРЕННОГО ЙОГУРТА С ИЗОЛЯТАМИ И КОНЦЕНТРАТАМИ БЕЛКОВ

Гурский И. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

йогурт, концентраты
и изоляты белков, текстура

АННОТАЦИЯ

Йогурт является одним из самых распространенных кисломолочных продуктов. Его потребляют непосредственно в пищу и используют для производства кисломолочных десертов и мороженого. Актуальная задача для производителей йогурта — повышение качества продукта за счет дополнительно вносимых белковых компонентов. В данном исследовании оценивалось влияние изолятов и концентратов белков на реологические показатели йогурта. Методы включали определение динамической вязкости и выявление таких показателей текстуры, как твердость, липкость, разжевываемость, упругость, когезия и клейкость приготовленного йогурта через 30 суток его хранения при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$. Была оценена влагоудерживающая способность образцов йогурта. Установлено, что внесение сывороточных белков позволяет повысить влагоудерживающую способность до 77% и 80% соответственно. Наибольшее значение динамической вязкости через 5 ч сквашивания (19,3 и 26,1 Па·с) было установлено в образцах, содержащих концентрат и изолят нативных сывороточных белков. При внесении изолята молочных, концентрата соевых и изолята нативных сывороточных белков наблюдалось снижение динамической вязкости через 5 ч сквашивания. Добавление белковых компонентов приводило к значительному увеличению показателей текстуры (за исключением когезии). Наибольшее значение когезии, равное 0,4 Н·с, было установлено в образце без белковых компонентов и в образце с концентратом сывороточных белков. Показатели твердости, липкости, разжевываемости, упругости и клейкости имели наибольшее значение в образце с изолятом нативных сывороточных белков.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № 075-01190-22-00 ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

Received 21.11.2022

Accepted in revised 09.01.2023

Accepted for publication 16.01.2023

© Gurskiy I. A., 2023

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

THE TEXTURE OF NON-FAT YOGURT WITH PROTEIN ISOLATES AND CONCENTRATES

Igor A. Gurskiy

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:

yogurt, proteins concentrates
and isolates, texture

ABSTRACT

Yogurt is one of the most common fermented milk products. It is consumed directly as food or used for the production of fermented milk desserts and ice cream. The urgent task for yogurt producers is improving product quality due to additionally introduced protein components. In this study, an effect of protein isolates and concentrates on the rheological parameters of yogurt was evaluated. The methods included the determination of dynamic viscosity and texture indices, such as hardness, gumminess, chewiness, springiness, cohesiveness and adhesiveness. The prepared yogurt samples were investigated immediately and after 30 days of storage at a temperature of $4 \pm 2^\circ\text{C}$. The water-holding capacity was evaluated. It has been established that introduction of whey proteins makes it possible to increase the water-holding capacity to 77% and 80%, respectively. The highest value of dynamic viscosity (19.3 and 26.1 Pa·s) was found in the samples with isolate and concentrate of native whey proteins after 5 hours of fermentation. A decrease in dynamic viscosity with the introduction of milk protein isolate, soy protein concentrate and native whey protein isolate was observed after 5 hours of fermentation. Addition of the protein components led to a significant increase in texture indices, except for cohesiveness. The highest cohesiveness value of 0.4 N·s was found in the sample without protein components and in the sample with whey protein concentrate. The indicators of hardness, gumminess, chewiness, springiness and adhesiveness were the highest in the sample with native whey protein isolate.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. 075-01190-22-00 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Повышение спроса на йогурт среди потребителей обусловлено его пищевой ценностью и вкусовыми особенностями, что учитывают также при выборе йогурта в качестве компонента для изготовления кисломолочных десертов

и мороженого из этого продукта. В состав йогурта входят вещества, обладающие высокой биологической ценностью: белки (казеин и сывороточные белки), минералы (кальций, калий, натрий, фосфор и магний) и витамины (А, В6, В4, В2, В1 и В12) [1,2,3]. Помимо этого, йогурт содержит молочно-

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гурский, И. А. (2023). Текстура обезжиренного йогурта с изолятами и концентратами белков. *Пищевые системы*, 6(1), 29-35. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-29-35>

FOR CITATION: Gurskiy, I. A. (2023). The texture of non-fat yogurt with proteins isolates and concentrates. *Food Systems*, 6(1), 29-35. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-29-35>

кислые бактерии, которые способствуют восстановлению нормальной микрофлоры кишечника, стимулируют иммунитет, продуцируют противовоспалительные вещества, обладают противоопухолевым действием и т. д. [4]. Вкусовые характеристики йогурта обусловлены продуктами, образующимися в результате развития заквасочных культур. Органолептические характеристики йогурта в значительной степени связаны с его текстурными свойствами, такими как гладкость, вязкость, упругость и др., которые формируются в процессе сквашивания. В процессе роста и развития заквасочных микроорганизмов, используемых в производстве йогуртов (*Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus*), происходит образование молочной кислоты, которая вызывает денатурацию белка, его агрегацию и образование геля [5], свойства которого в значительной степени определяют текстуру готового продукта.

С целью повышения биологических, физико-химических, органолептических и структурно-механических показателей йогурта возможно дополнительное внесение белковых компонентов. На текстуру йогурта могут оказывать влияние следующие процессы: пастеризация, сквашивание и хранение. При пастеризации денатурируют сывороточные белки, а дальнейшее подкисление приводит к образованию дисульфидных связей между κ -казеином и сывороточными белками, в результате чего формируется более твердый гель и снижается его синерезис [6]. Происходит образование ковалентных связей между κ -казеином, α -лактальбумином и β -лактоглобулином через реакцию тиол-дисульфидного обмена в связи с образованием свободных тиоловых групп ($-SH$) [7,8]. Часть сывороточных белков при пастеризации образуют растворимые агрегаты. В процессе сквашивания казеиновые белки молока теряют свою стабильность и коагулируют при достижении изoeлектрической точки (pH 4,6) с образованием трехмерной белковой сети, в которой удерживается сыворотка [9]. В процессе хранения в йогурте может повыситься кислотность из-за медленного охлаждения и остаточной активности молочнокислых микроорганизмов [10]. Увеличение кислотности в процессе хранения приводит к укрупнению частиц казеина, к растворению фосфата кальция и реструктуризации белковой сети [11]. Подобное изменение белковой сети ведет к уплотнению структуры, снижению реологических показателей йогурта и, как правило, к отделению сыворотки, что снижает органолептические показатели продукта. Белковые компоненты, применяемые при изготовлении йогуртов для повышения их стабильности в процессе хранения и улучшения текстурных характеристик, в зависимости от используемого сырья и способа их производства могут различаться по качественному и количественному составу белковых фракций. Белковые компоненты можно разделить на концентраты и изоляты, получаемые из цельного молока [12] или побочных продуктов молочной отрасли (сыворотки) [13]. Концентраты и изоляты сывороточных белков в основном представлены фракциями α -лактальбумина и β -лактоглобулина, а концентраты молочных белков — казеином и сывороточными белками в том же соотношении, что и в молоке [14,15]. Глобулярные сывороточные белки, к которым относятся α -лактальбумин, β -лактоглобулин и альбумины, имеют разное количество свободных $-SH$ групп, поэтому показатели текстуры зависят от вида используемых белковых компонентов и от содержащихся в них фракций белков.

Результаты многих исследований свидетельствуют о влиянии белков на вязкость и влагоудерживающую способность йогурта, а также на профиль его текстуры (ощущения при жевании). В работах [16,17,18] было рассмотрено влияние соевого белка на реологические показатели йогурта, такие

как вязкость, текучесть, а также модули упругости и потерь. Однако текстурные характеристики готового продукта были рассмотрены не в полном объеме, либо в состав йогуртов входили сахароза, стабилизаторы и жиры, что сказывалось на показателях реологических и текстурных. Кроме того, стоит отметить, что в большинстве работ соевый белок был внесен в виде соевого молока, а не как сухой компонент (концентрат соевого белка). Зарубежными авторами также были рассмотрены возможности использования концентрата и изолята сывороточных белков [19,20] и изолята нативных сывороточных белков [21]. Однако, как и в случае с соевым белком в составе йогурта с изолятами и концентратами сывороточных белков присутствовали жиры, что повлияло на показатели текстуры продукта, поэтому сравнить влияние каждого белка оказалось невозможным. Белки различных производителей могут несколько отличаться по своему составу, из-за чего не все полученные результаты различных зарубежных авторов коррелируют. Учитывая, что исследований по использованию изолятов и концентратов молочных белков недостаточно и они носят противоречивый характер, изучение их влияния на реологические свойства йогуртов является актуальной задачей.

Полезные свойства и характерные для кисломолочных продуктов высокого качества органолептические показатели дают основание для совершенствования консистенции йогурта и для проведения соответствующих исследований. Стоит также отметить, что реологические характеристики йогуртов являются важными показателями при изготовлении продуктов с их использованием, таких как кисломолочное мороженое или кисломолочные десерты, сохраняющие свою форму при размораживании. В связи с этим целью данной работы являлось изучение влияния различных белковых концентратов и изолятов на физико-химические показатели обезжиренного йогурта без применения сахарозы и стабилизаторов.

2. Объекты и методы

2.1. Объекты

В данной работе объектами исследования являлись образцы йогурта с различными белковыми компонентами, состав которых представлен в Таблице 1. Для производства йогуртов использовали сухое обезжиренное молоко (СОМ) (ООО «Юговский комбинат молочных продуктов», Россия), изолят молочного белка (ИМБ) Prodiel 87B Fluid, концентрат молочного белка (КМБ) MPC85 (ST) и изолят нативного сывороточного белка (ИНСБ) Prodiel 90S (Ingredia S. A., Франция), концентрат сывороточного белка (КСБ) WPC80 (Mlekovita Group, Польша), изолят соевого белка (ИСоБ) Shansong-90 (Linyi Shansong Biological Products Co., Ltd, Китай). Использовали закваску для йогуртов JOINTEC (CSL, Италия), в состав которой входили *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus*.

Таблица 1. Состав образцов йогуртов

Table 1. Composition of yogurt samples

Компонент	Количество компонента в образце на 100 г, г					
	№ 1 (контроль)	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
СОМ*	9,6					
ИМБ	–	3,6	–	–	–	–
КСБ	–	–	–	3,8	–	–
КМБ	–	–	3,6	–	–	–
ИНСБ	–	–	–	–	–	3,5
ИСоБ	–	–	–	–	3,3	–
Вода	90,4	86,8	86,8	86,6	87,1	86,9

* сухое обезжиренное молоко.

2.2. Методы

2.2.1. Определение активной и титруемой кислотности

pH йогуртов измеряли с помощью pH-метра (модель pH-150МИ; ООО «Измерительная техника», Россия). Титруемую кислотность определяли согласно ГОСТ 3624–92¹.

2.2.2. Определение влагоудерживающей способности

Влагоудерживающую способность (ВУС) образцов определяли по измененному методу, указанному в Akalin и др. [22]. Образцы массой около 10 г (Й) центрифугировали при 1500 оборотах в течение 15 мин. Отделившуюся сыворотку (С) взвешивали. ВУС была рассчитана как:

$$ВУС(\%) = \frac{(Й - С)}{Й} \times 100. \quad (1)$$

2.2.3. Определение показателей текстуры

Анализ профиля текстуры образцов был выполнен с использованием текстурометра LFRA Texture Analyzer (Brookfield, США), оснащенного зондом в виде акрилового цилиндра диаметром 2,5 см. Скорость погружения цилиндра была 0,5 мм/с при двух циклах погружения на глубину 10 мм.

2.2.4. Определение динамической вязкости

Динамическую вязкость в процессе ферментации определяли с использованием реовискзиметра DV2+Pro (BrookField, США) с программным обеспечением Rheocalc V3 1–1 (BrookField, США) и шпинделя SC4–31 при его скорости вращения 1 об/мин.

2.2.5. Статистический анализ

Для сравнения средних значений полученных результатов использовали t-тест, $p > 0,05$ для не значимых различий. При анализе консистенции также применяли метод анализа главных компонент (PCA — principal component analysis) для уменьшения измерений путем преобразования данных, показывающих их взаимосвязь. Статистический анализ и обработку полученных результатов проводили с использованием среды анализа данных RStudio (RStudio PBC, USA).

3. Результаты и обсуждение

Внесение белковых изолятов и концентратов оказало влияние на изначальную титруемую кислотность образцов смеси для йогуртов (Таблица 2). Внесение КСБ и ИМСБ привело к увеличению изначальной титруемой кислотности смеси в 1,4–1,5 раза, КМБ и ИНСБ — в 1,2 раза. После 5 ч сквашивания в равных условиях были установлены различия в титруемой кислотности образцов йогурта. За этот период наибольший прирост кислотности был выявлен в образцах № 2, № 3 и № 4 (от 76 до 83 °Т). При внесении ИНСБ прирост титруемой кислотности за 5 ч составил лишь 50 °Т. Разница в скорости нарастания кислотности может быть связана с различной кислотностью среды [23] и с присутствием белков с различными свойствами (концентраты и изоляты белков) [24]. Также на скорость кислотообразования могут оказывать влияние: содержание сухих веществ, состав молока, взаимодействие компонентов, температура инкубации и др. [25]. Полученные результаты в части большей интенсивности кислотообразования в образцах № 2–№ 4 совпадают с исследованиями других авторов [26,27]. Повышение скорости нарастания титруемой кислотности может быть связано с наличием пептидов с низкой молекулярной массой. Данные пептиды являются биологически активными ком-

понентами и могут усиливать рост и кислотообразующую активность заквасочных микроорганизмов. Использование соевого белка (образец № 5) не оказало значимого влияния на титруемую кислотность образцов в изначальной смеси, но повысило титруемую кислотность спустя 5 ч сквашивания на 5 °Т.

Таблица 2. Значения кислотности образцов йогурта ($Me \pm SD$, $n = 3$)

Table 2. Acidity of yogurt samples ($Me \pm SD$, $n = 3$)

Образец №	Активная кислотность, pH		Титруемая кислотность, °Т	
	0 ч	5 ч	0 ч	5 ч
1	6,5	4,7	20,3 ± 1,2 ^a	87,5 ± 1,0
2	6,5	4,6	30,5 ± 1,0 ^c	108,5 ± 1,2 ^a
3	6,6	4,7	25,3 ± 0,3 ^b	108,0 ± 1,0 ^a
4	6,4	4,6	28,5 ± 0,6 ^c	104,5 ± 1,2
5	6,7	4,7	22,3 ± 1,2 ^a	92,5 ± 1,2
6	6,5	4,6	25,3 ± 1,0 ^b	75,0 ± 0,6

Значения с одинаковой буквой (^{a-c}) в одном столбце не имеют значимых различий ($p > 0,05$).

В процессе сквашивания определяли динамическую вязкость исследуемых образцов (Рисунок 1). Наибольшее значение вязкости образцов № 3, № 5 и № 6 было достигнуто спустя 4 ч сквашивания и составляло 9,8; 7,8 и 29 Па·с соответственно. Через 5 ч вязкость этих же образцов уменьшилась на 35, 48 и 10% соответственно, что может быть связано со слабым удерживанием влаги в структуре сгустка, вызванным чрезмерным сшиванием мицелл казеина. В остальных образцах разрушения сгустка установлено не было. Стоит отметить, что наибольшая вязкость была выявлена в образцах № 4 и № 6 (выше 19 Па·с), вязкость остальных образцов не превышала значения 10 Па·с. Увеличение вязкости образцов с белками по отношению к контрольному образцу связано с увеличением доли белка в продукте и с его гидрофильными свойствами. Наибольшая вязкость образцов № 4 и № 6 может быть связана с присутствием в составе концентратов α -лактальбумина, который в процессе термообработки образует комплекс с мицеллами казеина, влияя на его гидрофильные свойства [28]. В результате адсорбции сывороточных белков, концентрация которых повышена в образцах № 4 и № 6, увеличиваются гелеобразующие способности, что и повышает вязкость.

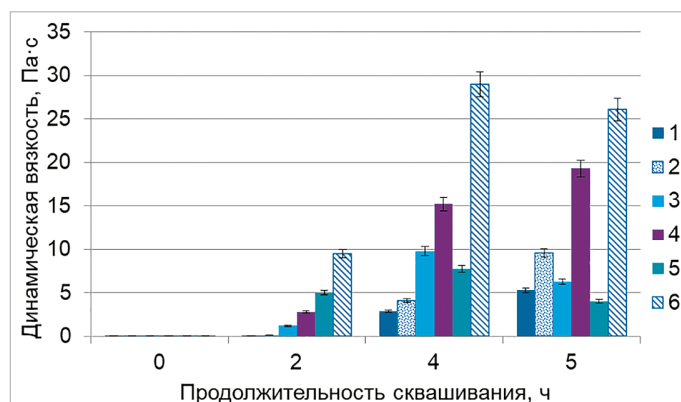


Рисунок 1. Зависимость динамической вязкости йогурта от продолжительности сквашивания
Figure 1. Dependence of dynamic viscosity of yogurt on fermentation duration

Влагоудерживающая способность является одним из важнейших показателей качества йогурта (Рисунок 2). Внесение сывороточных белков (образцы № 4 и № 6) позволило

¹ ГОСТ 3624–92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности». Москва, «Стандартинформ», 2009. — 8 с.

снизить синерезис сыворотки, влагоудерживающая способность этих образцов была выше 75%. Внесение молочных белков и соевого белка в несколько меньшей степени позволило повысить влагоудерживающую способность. Значение этого показателя для образцов № 2, № 3 и № 5 находилось в диапазоне значений от 50 до 60%. В целом, внесение белковых компонентов усилило влагоудерживающую способность в 1,3–2,0 раза. Полученные результаты исследования влагоудерживающей способности коррелируют с результатами работ зарубежных авторов [29–31], изучавших применение белковых концентратов и изолятов. Различия ВУС между образцами с различными видами белков обусловлено содержанием белковых фракций. В результате уменьшения отношения между казеином и сывороточными белками увеличивается количество точек соединения в комплексе между казеином и сывороточными белками, что усиливает ветвление и повышает ВУС.

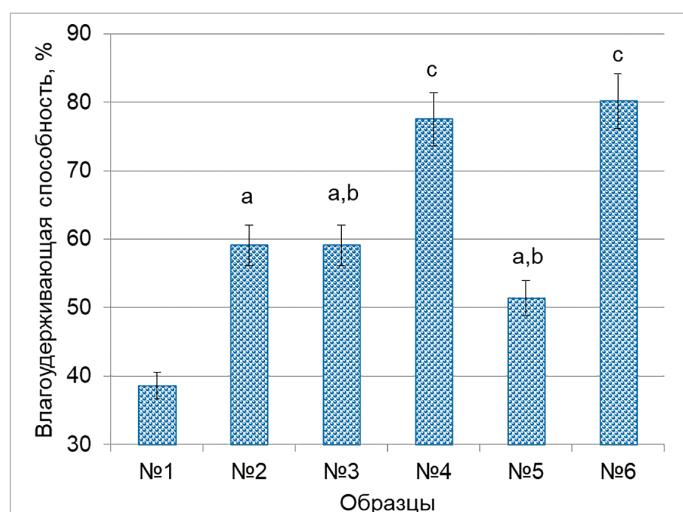


Рисунок 2. Влагоудерживающая способность образцов йогурта. Образцы с одинаковой буквой (a–c) не имеют значимых различий ($p > 0,05$)

Figure 2. Water-holding capacity of yogurt samples. Samples with the same letter (a–c) do not have significant differences ($p > 0.05$)

При проведении текстурного анализа образцов йогурта определяли твердость, липкость, разжевываемость, упругость, когезию и клейкость. Типичная кривая профиля текстуры согласно [32] представлена на Рисунке 3. Результаты измерения показателей текстуры отображены на Рисунке 4.

Твердость — одна из главных характеристик, получаемая в процессе изучения текстуры продукта, являющаяся способностью сопротивляться воздействию, в результате которого происходит деформация. Было установлено, что при внесении белковых компонентов значительно увеличивается твердость образцов. Также твердость усиливается и в процессе 30 суток хранения готового йогурта, что связано с упрочнением структуры продукта. Значение твердости образца № 6 было выше в 2–4 раза, чем в образцах с другими белками. Подобная разница может быть связана с высоким содержанием тиоловых групп, о чем сообщают авторы работы [33]. Полученные результаты коррелируют с данными других отчетов [34,35]. Значительно большая твердость образца № 6 в сравнении с № 4 объясняется большим содержанием нативного сывороточного белка и отсутствием казеинмакропептидов. Большая твердость образца № 3 в сравнении с № 4 может быть связана с увеличением общего казеина и, как следствие, с наличием большей сформированной белковой сети. Значимых различий между образцами № 4 и № 5 установлено не было. Отличия между образцами белков молочных и сывороточных могут быть связаны с различной концентрацией минеральных веществ и с соотношением сывороточных белков и казеина.

Высокое значение липкости при оценке текстуры продукта является его недостатком, т. к. данный показатель определяется как энергия, необходимая для разжевывания продукта [36]. Значимые отличия липкости были установлены в образцах № 1 (минимальное) и № 6 (максимальное). Было выявлено увеличение данного показателя в процессе хранения в 1,2–1,5 раза. Разница в показателях липкости между образцом № 1 и остальными, как и в случае с твердостью, может быть связана с увеличением количества белка, в частности тиоловых групп. В значении показателя «липкость» образцов № 1 и № 6 разница составила 4,4 раза через 1 сутки хранения и 5,4 раза через 30 суток хранения.

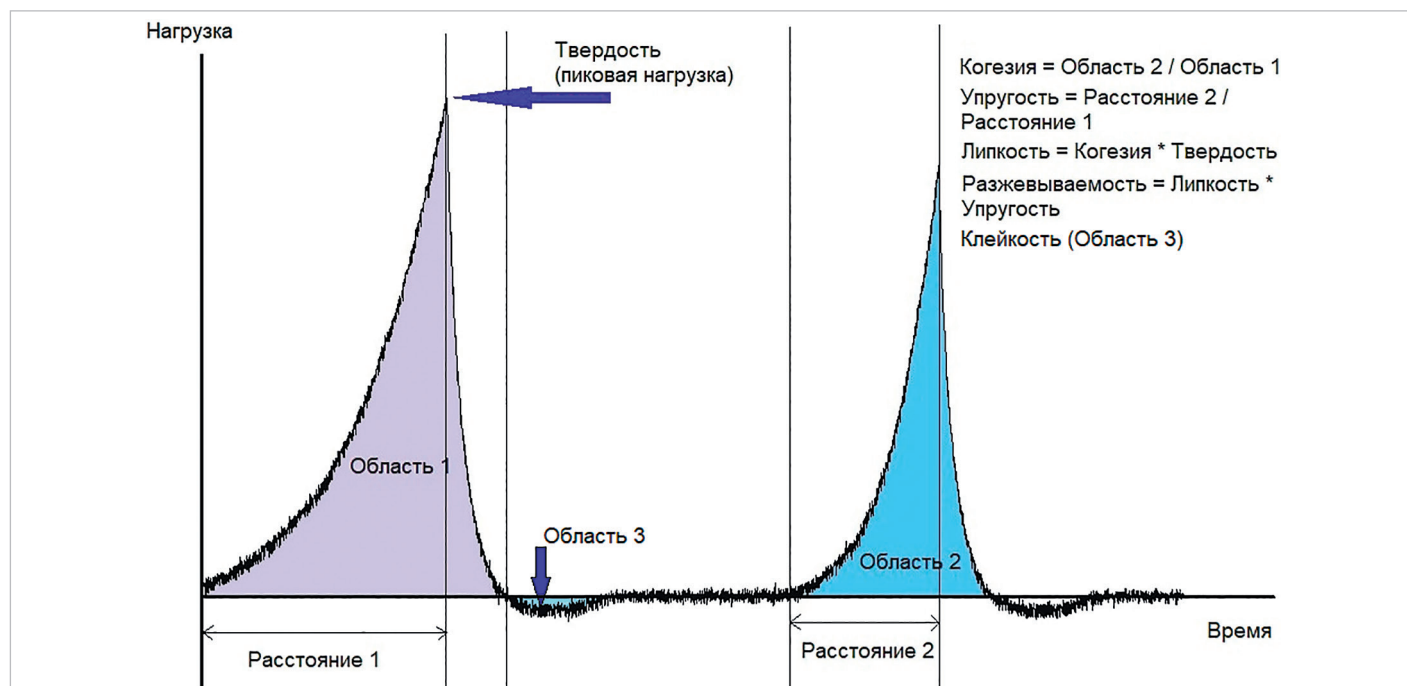


Рисунок 3. Типичная кривая, полученная в результате анализа текстурного профиля

Figure 3. Typical curve obtained as a result of texture profile analysis

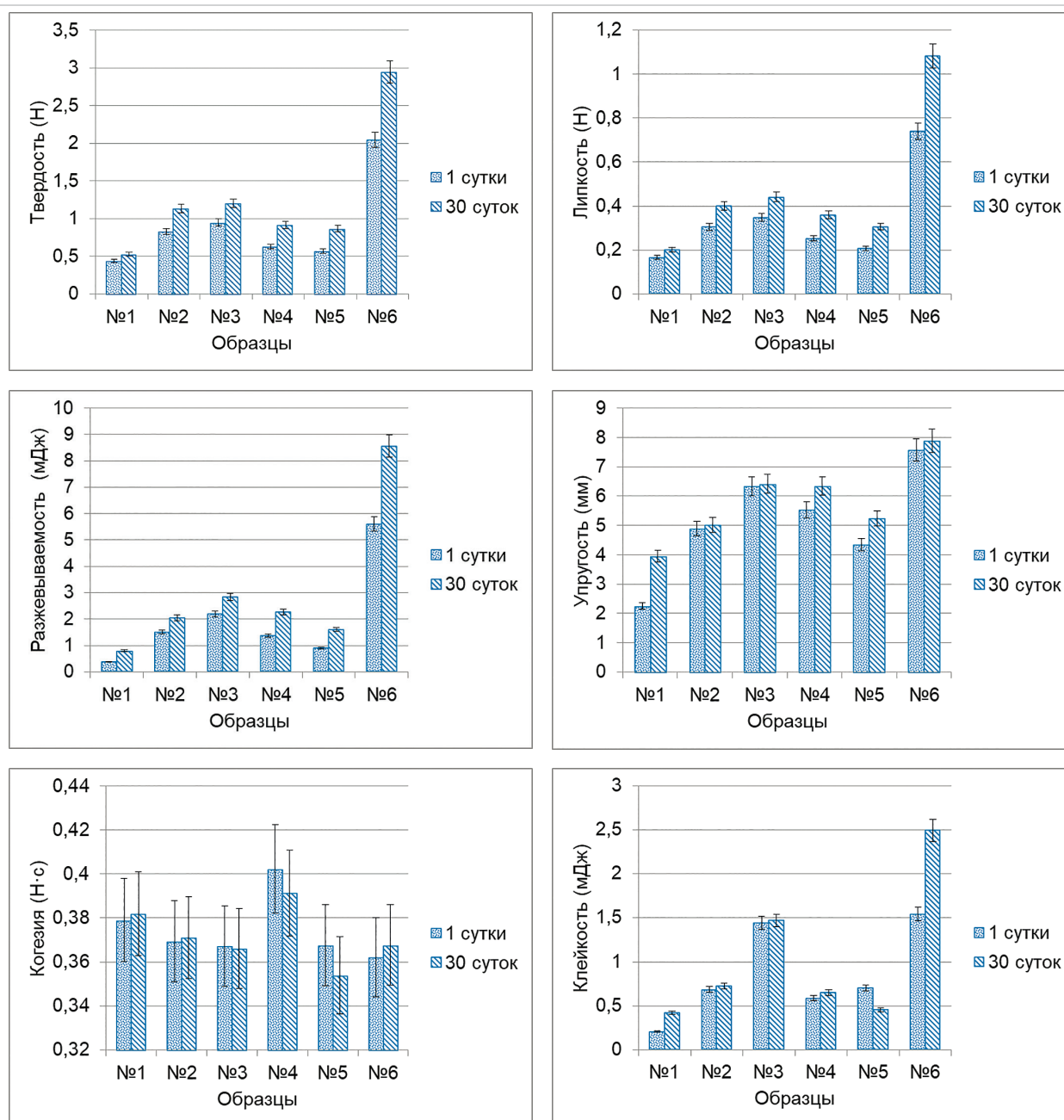


Рисунок 4. Результаты анализа текстуры образцов йогурта
Figure 4. Results of texture analysis of yogurt samples

Разжевываемость — работа, затраченная на пережевывание образца до его состояния, готового к проглатыванию [36]. Данный показатель имеет значимую корреляцию с твердостью, липкостью и упругостью. Наибольшее и наименьшее значения данного показателя, как и в случае с коррелирующими величинами, присущи образцу № 6 и № 1 соответственно. Можно сделать вывод, что увеличение данного показателя также связано с повышением доли белка и с его составом.

Упругость — показатель, характеризующий способность деформированного продукта возвращаться к исходному состоянию после устранения нагрузки. Данная характеристика зависит от температуры обработки, от взаимодействия белков и разворачивания их глобул в процессе ферментации [37]. Во всех образцах йогурта с внесенными белками значения упругости были выше в 1,9–3,4 раза через 1 сутки хранения и в 1,2–2,0 раза через 30 суток, по сравнению с образцом обычного йогурта. Значимое увеличение данного показателя было установлено только в образце обычного йогурта. Оно может быть связано с уплотнением структуры йогурта

в процессе хранения. Наибольшее значение упругости было в образце с ИНСБ. Образцы № 2, № 4 и № 5 значимых различий данного показателя между собой не имели.

Клейкость — необходимая работа для преодоления силы притяжения между поверхностью пищевого продукта, и различными объектами. Например, работа необходимая для отделения продукта, прилипшего к зубам во время еды [37]. В процессе хранения установлено значимое увеличение клейкости (в 1,6 раза) при использовании ИНСБ. Наименьшее значение данного показателя выявлено в образце № 1, а наибольшее — в № 6. Серьезных различий между образцами № 2, № 3 и № 5 установлено не было.

Как и в случае с твердостью, большое влияние на исследуемые показатели (липкость, разжевываемость, упругость, клейкость) оказывает количество нативных сывороточных белков или общего молочного белка с соотношением казеина и сывороточных белков 4:1. Несмотря на то, что уменьшение отношения между казеином и сывороточными белками повышает вязкость, показатели текстуры не увеличились.

Более низкие значения в образце с соевым белком могут быть связаны с его влиянием на образование комплексов между сывороточными белками и казеином при нагревании, что отмечали исследователи в ряде работ [38].

Когезия — параметр текстуры, определяемый величиной силы внутренних связей, препятствующих деформации продукта до разрыва. Из представленной диаграммы на Рисунке 4 видно, что наибольшая когезия характерна для образца йогурта с концентратом сывороточного белка. Большая когезия может быть связана с меньшей агрегацией мицелл казеина, в результате чего большее пространство занято сывороткой. Значительное снижение когезии в процессе хранения было установлено в образце с соевым белком (№ 5). В остальных образцах процесс хранения не оказал значимого влияния на данный показатель. Подобное различие когезии образцов с соевым белком и другими белками может быть связано с формированием высокомолекулярных полимеров белковых мицелл с белками сыворотки, как это было описано в работе [39]. При отсутствии такого рода полимеров в случае использования соевого белка слабые внутренние связи в процессе хранения продукта разрушаются, в результате чего происходит существенное снижение когезии. Также стоит отметить, что в образцах со значением когезии выше 0,37 (№ 1, № 2 и № 4) через 5 ч ферментации динамическая вязкость не снижалась.

Распределение образцов йогурта в зависимости от двух основных компонент, полученных анализом PCA, показано на Рисунке 5.

Анализ главных компонент позволяет упростить интерпретации показателей текстуры образцов йогуртов. PC2 связана с когезией и объясняет 14,1% дисперсии. PC1 объясняет 77,1% всей дисперсии. Наибольший вклад в PC1 внесли показатели «разжевываемость», «липкость» и «твердость». Корреляция между ними составила: разжевываемость — липкость (99,4%), разжевываемость — твердость (99,1%), твердость — липкость (99,8%). На рисунке четко дифференцированы образцы йогурта. Суммарно PC1 и PC2 объясняют 91,2% всей дисперсии. Расстояния между областями образца № 1 и образцов с белковыми компонентами подтверждает влияние белковых концентратов и изолятов на текстуру йогурта.

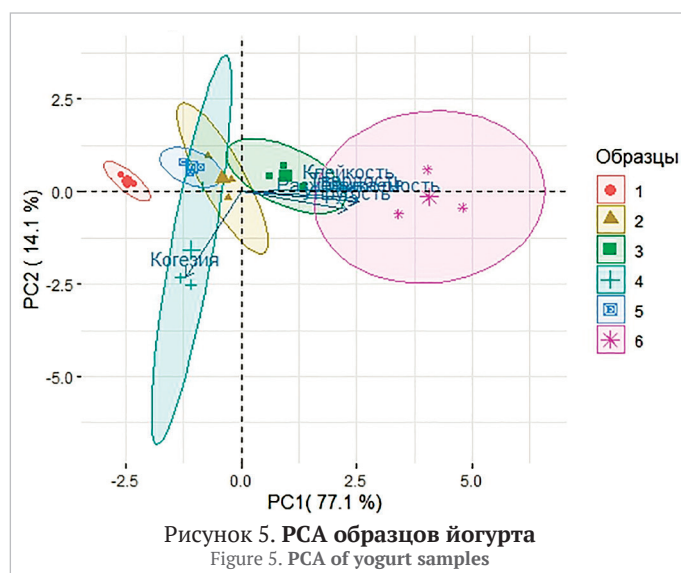


Рисунок 5. PCA образцов йогурта
Figure 5. PCA of yogurt samples

4. Выводы

В ходе работы было изучено влияние определенных белковых компонентов на физико-химические и реологические показатели обезжиренного йогурта. Образцы с различными белками имели значительные различия как между собой, так и в сравнении с контрольным образцом (образец № 1). Использование ИМБ, КМБ и КСБ приводит к получению более высоких значений титруемой кислотности. Внешение белков привело к увеличению ВУС до 51–80%. Добавление КМБ и КСБ не приводит к снижению вязкости йогурта после 5 ч сквашивания. Было установлено, что все белки улучшали показатели, связанные с текстурой. Наибольшее влияние на когезию оказало применение КСБ на остальные ИНСБ. В дальнейших работах возможно рассмотрение влияния исследуемых белков при их совместном использовании в различных концентрациях, а также обезжиренного йогурта, обогащенного концентратами белков, на текстуру продуктов с его использованием, в частности кисломолочных десертов и мороженого.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Tessier, A.-J., Presse, N., Rahme, E., Ferland, G., Bherer, L., Chevalier, S. (2021). Milk, yogurt and cheese intake is positively associated with cognitive executive functions in older adults of the Canadian Longitudinal Study on Aging. *Journals of Gerontology — Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, 76(12), 2223–2231. <https://doi.org/10.1093/gerona/glab165>
- Amellal-Chibane, H., Benamara, S. (2011). Total contents of major minerals in the nature yoghurt and in the yoghurts with the date powder of three dry varieties. *American Journal of Food and Nutrition*, 1(2), 74–78. <https://doi.org/10.5251/abjna.2011.1.2.74.78>
- Ujjwainee, B., Rakibul, M., Roshni, P., Tanima, H., Gourisankar, R. (2017). Variety of yogurt and its health aspects — a brief review. *International Journal of Innovative Practice and Applied Research*, 7(7), 55–66.
- Masood, M. I., Qadir, M., Shirazi, J. H., Khan, I. U. (2011). Beneficial effects of lactic acid bacteria on human beings. *Critical Reviews in Microbiology*, 37(1), 91–98. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2010.536522>
- Chen, C., Zhao, S., Hao, G., Yu, H., Tian, H., Zhao, G. (2017). Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review. *International Journal of Food Properties*, 20, S316–S330. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295988>
- Mahomud, M. S., Katsuno, N., Nishizu, T. (2017). Role of whey protein-casein complexes on yoghurt texture. *Reviews in Agricultural Science*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.7831/ras.5.1>
- Jang, H. D., Swaisgood, H. E. (1990). Disulfide bond formation between thermally denatured β -lactoglobulin and κ -casein in casein micelles. *Journal of Dairy Science*, 73(4), 900–904. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78746-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78746-2)
- Dalgleish, D. G. (1990). Denaturation and aggregation of serum proteins and caseins in heated milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(11), 1995–1999. <https://doi.org/10.1021/jf00101a001>
- Damin, M. R., Alcántara, M. R., Nunes, A. P., Oliveira, M. N. (2009). Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey protein concentrate and sodium caseinate on acidification kinetics, rheological properties and structure of nonfat stirred yogurt. *LWT*, 42(10), 1744–1750. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.019>
- Deshwal, G. K., Tiwari, S., Kumar, A., Raman, R. K., Kadyan, S. (2021). Review on factors affecting and control of post-acidification in yoghurt and related products. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 499–512. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.057>
- Guenard-Lampron, V., St-Gelais, D., Villeneuve, S., Turgeon, S. L. (2020). Effect of stirring operations on changes in physical and rheological properties of nonfat yogurts during storage. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 210–214. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16434>
- Shinya, I. (2015). Functional and hydration properties of milk protein concentrate (MPC). *Milk Science*, 64(2), 127–137. <https://doi.org/10.11465/milk.64.127>
- Tunick, M. H. (2008). Whey Protein Production and Utilization: A Brief History. Chapter in a book: *Whey Processing, Functionality and Health Benefits*. Hoboken: Wiley-Blackwell (US). 2008. <https://doi.org/10.1002/9780813803845.ch1>
- Svanborg, S., Johansen, A., Abrahamsen, R. K., Skeie, S. B. (2015). The composition and functional properties of whey protein concentrates produced from buttermilk are comparable with those of whey protein concentrates produced from skimmed milk. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 5829–5840. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9039>
- Uluko, H., Liu, L., Lv, J.-P., Zhang, S.-W. (2016). Functional characteristics of milk protein concentrates and their modification. *Critical Reviews in*

- Food Science and Nutrition*, 56, 1193–1208. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.758625>
16. Drake, M. A., Chen, X. Q., Tamarapu, S., Leenanon, B. (2000). Soy protein fortification affects sensory, chemical, and microbiological properties of dairy yogurts. *Journal of Food Science*, 65(7), 1244–1247. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10272.x>
 17. Kovalenko, I. V., Briggs, J. L. (2002). Textural characterization of soy-based yogurt by the vane method. *Journal of Texture Studies*, 33(2), 105–118. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2002.tb01338.x>
 18. Kong, X., Xiao, Z., Du, M., Wang, K., Yu, W., Chen, Y. et al. (2022). Physicochemical, textural, and sensorial properties of soy yogurt as affected by addition of low acyl gellan gum. *Gels*, 8(7), Article 453. <https://doi.org/10.3390/gels8070453>
 19. Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., Vernon-Carter, E. J. (2004). Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal*, 14(2), 151–159. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00166-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00166-3)
 20. Gursel, A., Gursoy, A., Anli, E. A. K., Budak, S. O., Aydemir, S., Durlu-Ozkaya, F. (2016). Role of milk protein-based products in some quality attributes of goat milk yogurt. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2694–2703. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10393>
 21. Guggisberg, D., Eberhard, P., Albrecht, B. (2007). Rheological characterization of set yoghurt produced with additives of native whey proteins. *International Dairy Journal*, 17(11), 1353–1359. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.01.013>
 22. Akalin, A. S., Unal, G., Dinkci, N., Hayaloglu, A. A. (2012). Microstructural, textural, and sensory characteristics of probiotic yogurts fortified with sodium calcium caseinate or whey protein concentrate. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 3617–3628. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5297>
 23. Rault, A., Bouix, M., Béal, C. (2009). Fermentation pH influences the physiological-state dynamics of *Lactobacillus bulgaricus* CFL1 during pH-controlled culture. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(13), 4374–4381. <https://doi.org/10.1128/AEM.02725-08>
 24. Bury, D., Jelen, P., Kimura, K. (1998). Whey protein concentrate as a nutrient supplement for lactic acid bacteria. *International Dairy Journal*, 8(2), 149–151. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(98\)00033-8](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(98)00033-8)
 25. Deshwal, G. K., Tiwari, S., Kumar, A., Raman, R. K., Kadyan, S. (2021). Review on factors affecting and control of post-acidification in yoghurt and related products. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 499–512. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.057>
 26. Sodini, I., Lucas, A., Oliveira, M. N., Remeuf, F., Corrieu, G. (2002). Effect of milk base and starter culture on acidification, texture, and probiotic cell counts in fermented milk processing. *Journal of Dairy Science*, 85(10), 2479–88. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74330-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74330-0)
 27. Zhao, Q., Wang, J., Zhao, M., Jiang, Y., Chun, C. (2006). Effect of Casein Hydrolysates on Yogurt Fermentation and Texture Properties during Storage. *Food Technology and Biotechnology*, 44, 429–434.
 28. Hashim, M. A., Nadtochi, L. A., Muradova, M. B., Proskura, A. V., Alsalem, K. A., Hammam, A. R. A. (2021). Non-fat yogurt fortified with whey protein isolate: Physicochemical, rheological, and microstructural properties. *Foods*, 10(8), Article 1762. <https://doi.org/10.3390/foods10081762>
 29. Mahomud, M. S., Katsuno, N., Nishizu, T. (2017). Formation of soluble protein complexes and yoghurt properties influenced by the addition of whey protein concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 44, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.05.010>
 30. Puvanthiran, A., Williams, R. P., Augustin, M. A. (2002). Structure and visco-elastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. *International Dairy Journal*, 12(4), 383–391. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00033-X)
 31. Salunke, P., Metzger, L. E. (2022). Functional properties of milk protein concentrate and micellar casein concentrate as affected by transglutaminase treatment. *Food Hydrocolloids*, 137, Article 108367. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108367>
 32. Wee, M. S. M., Goh, A. T., Stieger, M., Forde, C.G. (2018). Correlation of instrumental texture properties from textural profile analysis (TPA) with eating behaviours and macronutrient composition for a wide range of solid foods. *Food and Function*, 9(10), 5301–5312. <https://doi.org/10.1039/c8fo00791h>
 33. Nastaj, M., Sołowiej, B. G., Gustaw, W., Peréz-Huertas, S., Mleko, S., Wesolowska-Trojanowska, M. (2019). Physicochemical properties of High-Protein-Set Yoghurts obtained with the addition of whey protein preparations. *International Journal of Dairy Technology*, 72(3), 395–402. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12603>
 34. Tsevdou, M., Eleftheriou, E., Taoukis, P. S. (2013). Transglutaminase treatment of thermally and high pressure processed milk: Effects on the properties and storage stability of set yoghurt. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.004>
 35. Mahomud, M. S., Katsuno, N., Zhang, L., Nishizu, T. (2017). Physical, rheological, and microstructural properties of whey protein enriched yogurt influenced by heating the milk at different pH values. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), Article e13236. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13236>
 36. Mousavi, M., Heshmati, A., Daraei Garmakhany, A., Vahidinia, A., Taheri, M. (2019). Texture and sensory characterization of functional yogurt supplemented with flaxseed during cold storage. *Food Science and Nutrition*, 7(3), 907–917. <https://doi.org/10.1002/fsn3.805>
 37. Delikanli, B., Ozcan, T. (2017). Improving the textural properties of yogurt fortified with milk proteins. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), Article e13101. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13101>
 38. Roesch, R. R., Corredig, M. (2005). Heat-induced soy-whey proteins interactions: formation of soluble and insoluble protein complexes. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(9), 3476–3482. <https://doi.org/10.1021/jf048870d>
 39. Mitra, P., Nepal, K., Tavade, P. (2022). Effect of whey and soy proteins fortification on the textural and rheological properties of value-added yogurts. *Applied Food Research*, 2(2), Article 100195. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100195>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ		AUTHOR INFORMATION	
Принадлежность к организации		Affiliation	
Гурский Игорь Алексеевич — младший научный сотрудник, Лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: iixrug@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8177-3472		Igor A. Gurskiy, Junior Researcher, Ice Cream Technology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostyikova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: iixrug@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8177-3472	
Критерии авторства		Contribution	
Автор самостоятельно подготовил рукопись и несет ответственность за плагиат		Completely prepared the manuscript and is responsible for plagiarism	
Конфликт интересов		Conflict of interest	
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.		The author declare no conflict of interest.	