ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-53-66
УДК 637.12.04/.07

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Оценка влияния полиморфизма гена к-казеина в сухом молоке на технологические свойства кислотно-индуцированных молочных гелей

А. Г. Кручинин*, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, А. В. Бигаева

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

Дата поступления в редакцию: 08.12.2020 *Дата принятия в печать: 30.12.2020*

**e-mail: a_kruchinin@vnimi.org*
© А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, А. В. Бигаева, 2021

Аннотация.
Введение. Характеристики устойчивости структуры и консистенции йогурта напрямую зависят от состава и свойств сырья (в т. ч. влияния генетических факторов), технологических факторов и соблюдения температурных условий хранения. Поэтому целью данной работы являлась оценка влияния полиморфизма гена к-казеина в сухом молоке на технологические свойства кислотно-индуцированных молочных гелей при имитации различных температурных условий хранения.
Объекты и методы исследования. Образцы йогурта, приготовленные из сухого молока, идентифицированного соответственно генотипам *AA* и *BB* по гену *CSN3*. Также были приготовлены модельные системы йогурта из сухого «сборного» молока, смешанного по массовой доле белка в соотношении AA^2:BB^2 75:25, 50:50 и 25:75 % соответственно. Образцы анализировали стандартизованными методами, а также с использованием оптических методов, методов динамической вискозиметрии, ПЦР-ПДРФ.
Результаты и их обсуждение. Установлена закономерность в усилении структурно-механических свойств (СМС), формоустойчивости (КУС) и поверхностного натяжения (ПН) в модельных системах десертного йогурта с повышением массовой доли сухого «сборного» молока, детектированного по гену *CSN3* как *BB*. Повышение температуры хранения с 4 ± 2 до 12 ± 2 °C показало снижение СМС, КУС, ПН и влагоудерживающей способности при сохранении установленных ранее зависимостей. Исследование плотности сгустка после сквашивания показало отсутствие значимого влияния полиморфизма гена *CSN3*. Существенные отличия между аллельными вариантами *AA* и *BB* гена *CSN3* проявляются после полного охлаждения и структурирования продукта.
Выводы. Полученные результаты позволяют сделать вывод о косвенном влиянии полиморфизма гена к-казеина на СМС, ассоциированного с генетическим влиянием на средний диаметр мицелл казеина в исходном молоке и происходящими в результате этого биохимическими и изотермическими процессами. Результаты исследования позволяют оценить влияние полиморфизма гена *CSN3* на технологические свойства сухого молока в процессе его переработки на кисломолочные продукты.

Ключевые слова. Молоко, молочный белок, казеин, йогурт, генотип, ПЦР-ПДРФ, структурно-механические свойства, температура хранения

Для цитирования: Оценка влияния полиморфизма гена к-казеина в сухом молоке на технологические свойства кислотно-индуцированных молочных гелей / А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 53–66. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-53-66.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Evaluation of the Effect of к-casein Gene Polymorphism in Milk Powder on the Technological Properties of Acid-Induced Milk Gels

Alexandr G. Kruchinin*, Svetlana N. Turovskaya, Elena E. Illarionova, Alana V. Bigaeva

All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry, Moscow, Russia

Received: December 08, 2020 *Accepted: December 30, 2020*

**e-mail: a_kruchinin@vnimi.org*

© A.G. Kruchinin, S.N. Turovskaya, E.E. Illarionova, A.V. Bigaeva, 2021

Abstract.
Introduction. Yoghurt has become one of the most popular acid-induced dairy products in the world. Consumers see yoghurt not only as a tasty, protein-rich, and calcium-fortified dessert, but also as a product that improves intestinal microflora and prevents obesity, metabolic syndrome, type II diabetes, and cardiovascular diseases. The stability of the structure and consistency of yoghurt directly depend on the composition and properties of raw materials, including genetic and technological factors and compliance with temperature storage conditions. Yoghurt formulations include various dairy raw materials, e.g. milk powder. The research objective was to assess the effect of κ-casein gene polymorphism in milk powder on the technological properties of acid-induced milk gels when simulating different temperature storage conditions.
Study objects and methods. The research featured yoghurt samples prepared from milk powder of *CSN3* gene (*AA* and *BB*). Model systems of yoghurt were prepared from dry bulk milk, mixed by mass fraction of protein in the ratio of AA^2:BB^2 as 75:25, 50:50, and 25:75%, respectively. The experiment involved standard methods, optical methods, dynamic viscometry, and PCR-RFLP.
Results and discussion. As the mass fraction of *BB* dry bulk milk increased, the structural and mechanical properties, dimensional stability, and surface tension increased, too. As the storage temperature fell from 4 ± 2 to 12 ± 2°C, the structural and mechanical properties, dimensional stability, surface tension, and moisture-holding ability decreased while maintaining the previously established dependencies. The *CSN3* gene polymorphism proved to have no effect on the curd tension after fermentation. Significant differences between the allelic variants *AA* and *BB* became obvious only after complete cooling and structuring of the product.
Conclusion. The obtained experimental results and the analysis of related publications suggested an indirect effect of the κ-casein gene polymorphism on the structural and mechanical properties, associated with a genetic effect on the average diameter of casein micelles in the original milk and the resulting biochemical and isothermal processes. The research made it possible to assess the effect of the C*SN3* gene polymorphism on the technological properties of dry milk during its processing into fermented milk products.

Keywords. Milk, milk protein, casein, yogurt, genotype, PCR-RFLP, structural and mechanical properties, storage temperature

For citation: Kruchinin AG, Turovskaya SN, Illarionova EE, Bigaeva AV. Evaluation of the Effect of κ-casein Gene Polymorphism in Milk Powder on the Technological Properties of Acid-Induced Milk Gels. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):53–66. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-53-66.

Введение

Современное состояние структуры питания в мире показывает рост удельного веса потребления молочных продуктов как на территории Российской Федерации, так и во всем мире [1]. Привлекательность молочных продуктов для потребителей обусловлена наличием в их составе белка с высокой пищевой и биологической ценностью. Он обладает высоким коэффициентом перевариваемости, а также значительным содержанием кальция, находящегося в оптимальном соотношении с фосфором, который способствует его максимальному усвоению организмом [2, 3].

Среди разнообразия молочных продуктов, подвергнутых кислотно-индуцированному воздействию с образованием молочных гелей, популярным и потребляемым во всем мире является йогурт [4]. За последние 5 лет в странах с крупнейшими экономиками произошел рост объемов продаж йогурта более чем на 10 % [5]. Большинство потребителей рассматривают йогурт не только как богатый белком десерт формата «To go», но и как продукт для профилактики тех или иных заболеваний [6, 7]. Ряд авторов отмечает, что употребление йогурта способствует нормализации кишечной микрофлоры, профилактике ожирения, метаболического синдрома, сахарного диабета II типа и сердечно-сосудистых заболеваний, остеопороза, дисбактериоза и многих других заболеваний [8–12].

Общий мировой интерес к таким продуктам возрос наряду с ростом затрат на здравоохранение, увеличением продолжительности жизни и стремлением к высокому качеству жизни [13].

Однако, несмотря на доказанные положительные эффекты при потреблении йогурта, значимым для потребителя является вопрос качества и начальной привлекательности органолептических свойств продукта. Они предопределяют текстурные свойства и физическую стабильность йогурта, в т. ч. при хранении на полках магазина. Потребителями воспринимаются такие текстурные свойства продукта, как плотность и кремообразность сгустка на ложке, визуальная вязкость, гладкость и блеск поверхности. Физическая стабильность десертного йогурта характеризуется отсутствием синерезиса, а также видимых или воспринимаемых глазом хлопьев белка в продукте [14].

Свойства йогурта зависят как от сырьевых (в том числе генетических факторов) и технологических факторов при его производстве, так и от соблюдения холодильной цепочки движения продукта от завода до потребителя. Наибольшая нестабильность температурных режимов хранения кисломолочной продукции наблюдается в жаркий летний период при перевозке продукции в авторефрижераторах, а также при ее хранении в холодильных витринах открытого типа в потребительском отделе супермаркетов, где температурные условия способны достигать 12 ± 2 °C. Хранение кислотно-индуцированных молочных гелей при температурах, превышающих нормативно разрешенные значения (выше 6 °C), способно оказывать непосредственное влияние

на потребительские свойства продуктов, снижая заявленные сроки годности.

Одним из основных технологических факторов, влияющих на потребительские свойства десертного йогурта, является гомогенизация молочной смеси (при условии соблюдения режимов сквашивания). Гомогенизация молока способствует увеличению общей площади поверхности жировых шариков и препятствует отстаиванию, а также окислению молочного жира. Образующийся в процессе гомогенизации новый поверхностный слой жировых шариков состоит из мицелл казеина и их фрагментов, белков сыворотки и разрушенных оболочек жировых шариков. Новый поверхностный слой позволяет жировым шарикам взаимодействовать как частицы псевдоказеина в структуре кислого протеинового геля, увеличивая количество взаимодействующих частиц. Таким образом, увеличение площади поверхности жировых шариков в гомогенизированной молочной основе йогурта повышает плотность йогурта. Кроме того, снижение размера жировых шариков и частично белков напрямую коррелирует с визуально воспринимаемой повышенной гладкостью и пониженной мучнистостью йогурта [15].

Другим технологическим фактором является тепловая обработка молочной смеси. Нагрев молока до температуры 92 ± 2 °С с выдержкой от 3 до 5 мин обеспечивает практически полную денатурацию сывороточных белков – 95–99 %. Денатурированный сывороточный белок и к-казеин образуют комплексы, которые улучшают консистенцию йогурта (гладкая и блестящая поверхность), придают плотность сгустку, повышают влагоудерживающую способность и т. д. [16, 17].

Поскольку йогурт является кисломолочным продуктом с повышенным содержанием сухих веществ за счет введения в рецептуру сухого молока, то от его качества и технологических свойств напрямую зависит качество готовой продукции, особенно если йогурт полностью производят на основе сухого молока. Сухое молоко, по сравнению с другими видами молочного сырья, обладает рядом преимуществ, а именно повышенной пищевой и биологической ценностью, длительными сроками хранения в широком диапазоне температур, способностью нивелирования качественных и количественных сезонных колебаний сырья. Качество сухого молока зависит от генетических (наследственность, порода животного, его генотип), паратипических (возраст, состояние здоровья, период лактации, рацион кормления животного и т. д.) и технологических (сыропригодность, термоустойчивость, растворимость и т. д.) факторов. Значимым свойством сухого молока при производстве десертных йогуртов является его способность к коагуляции под действием заквасочной микрофлоры, первостепенная роль в которой принадлежит молочным белкам [3, 15].

Белковый состав молока и его влияние на технологические свойства уже давно являются предметом интереса мировых исследователей молочной отрасли. На сегодняшний день проведен большой объем работ по изучению влияния полиморфизма гена к-казеина (*CSN3*) на технологические свойства (термоустойчивость и сыропригодность) молока-сырья. Как следствие, информация о влиянии генотипа животного по гену *CSN3* на состав и технологические свойства получаемого молока может быть использована для их улучшения и направленной селекции крупного рогатого скота с помощью исследуемых маркеров без необходимости фенотипирования больших групп потомства [18–20].

Рассматривая полиморфизм гена *CSN3*, особую актуальность приобретает изучение его влияния в чистом и в смешанном виде (сборное молоко) на технологические свойства сухого молока после его восстановления при производстве десертного йогурта и устойчивость готового продукта, в т. ч. в процессе хранения.

Целью данной работы являлась оценка влияния полиморфизма гена к-казеина в сухом молоке на технологические свойства кислотно-индуцированных молочных гелей при имитации различных температурных условий хранения.

Объекты и методы исследования

Характеристика образцов сухого молока. Молоко-сырье, полученное от коров (КФХ «Мухаметшин», Россия, Татарстан) с генотипами *AA* и *BB* по гену к-казеина, было подвергнуто сублимационной сушке в камерах «TG-50» («Hochvakuum», Германия). Сухое сублимированное молоко было исследовано по основным физико-химическим показателям (табл. 1).

Образцы сухого молока хранились в холодильной камере при температуре 4 ± 2 °С в герметично упакованной полимерной таре на протяжении 4 месяцев. Перед проведением исследований образцы восстанавливали до массовой доли белка 3,2 %. На их основе были приготовлены смоделированные варианты образцов «сборного» молока, смешанные по массовой доле белка в соотношении AA^2:BB^2 75:25, 50:50 и 25:75 %. Навески модельных систем для восстановления сухого «сборного» молока представлены в таблице 2.

Сублимированное сухое молоко восстанавливали дважды прокипяченной дистиллированной водой с температурой 40 ± 2 °С в многофункциональном блендере-диспергаторе «Thermomix TM 31» («Vorwerk», Германия).

После внесения сухого молока в емкость смесь диспергировали в течение 10 мин при скорости

Таблица 1. Физико-химический состав образцов сухого молока и восстановленного сухого молока

Table 1. Physicochemical composition of milk powder and reconstituted milk powder samples

Наименование показателя	± неопределенность	Фактические значения						
		Сухое молоко		Восстановленное сухое молоко				
		AA[1]	*BB*[1]	*AA*[2]:*BB*[2] (100:0 %)	*AA*[2]:*BB*[2] (75:25 %)	*AA*[2]:*BB*[2] (50:50 %)	*AA*[2]:*BB*[2] (25:75 %)	*AA*[2]:*BB*[2] (0:100 %)
Массовая доля жира, %	± 0,150	29,55	31,39	3,99	4,03	4,06	4,07	4,10
Массовая доля общего белка, %	± 0,060	23,79	24,50	3,21	3,20	3,23	3,21	3,20
Массовая доля сывороточных белков, %	± 0,200	6,06	6,54	0,82	0,85	0,85	0,83	0,86
Массовая доля казеиновых белков, %	± 0,033	18,11	18,14	2,44	2,43	2,42	2,44	2,37
Массовая доля влаги, %	± 0,200	2,57	2,33	86,85	86,94	86,99	87,07	87,23
Массовая доля СОМО, %	± 0,400	97,43	97,67	9,16	9,03	8,95	8,86	8,67
Массовая доля лактозы, %	± 0,350	39,40	38,37	5,31	5,20	5,25	5,15	5,02
Содержание Са, мг/кг	± 0,500	881,85	812,05	118,96	116,10	112,57	110,82	106,17
Активная кислотность, ед. pH	± 0,020	–	–	6,83	6,84	6,79	6,80	6,78

Таблица 2. Состав модельных систем для восстановления сухого «сборного» молока, полученного из молока-сырья коров, генотипированных по гену *CSN3*

Table 2. Composition of model systems for the reconstitution of dry bulk milk obtained from raw milk of cows genotyped by the *CSN3* gene

Наименование сырья	Наименование модельных систем				
	AA[2]:*BB*[2] (100:0 %)	*AA*[2]:*BB*[2] (75:25 %)	*AA*[2]:*BB*[2] (50:50 %)	*AA*[2]:*BB*[2] (25:75 %)	*AA*[2]:*BB*[2] (0:100 %)
Сухое молоко, полученное из молока-сырья коров с генотипом *AA* по гену *CSN3*, г	135,00	101,25	67,50	33,75	–
Сухое молоко, полученное из молока-сырья коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*, г	–	32,68	65,35	98,03	130,70
Вода, г	865,00	866,07	867,15	868,22	869,30
Итого	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00

500–1000 об/мин. Затем смесь охлаждали до температуры 20 ± 2 °С и оставляли в покое для набухания белков. Физико-химические показатели восстановленных образцов представлены в таблице 1.

Приготовление образцов йогурта. Образцы восстановленного молока после сублимационной сушки, стандартизованные до массовой доли белка 3,2 % и массовой доли жира 4,0 %, предварительно нагревали до температуры 60 °С и гомогенизировали с использованием лабораторного гомогенизатора («Manton Gaulin», США) при давлении 15,0 МПа. Гомогенизированное молоко подвергали тепловой обработке при температуре 92 ± 2 °С в течение 5 мин, после чего охлаждали до температуры 42 °С. Охлажденное молоко заквашивали йогуртной заквасочной культурой YO-PROX 700 («BIOPROX», Франция). Лиофилизированную закваску предварительно активировали охлажденной кипяченной дистиллированной водой в единой емкости. Молочную смесь сквашивали при температуре 42 °С в течение 5–6 ч до образования сгустка с кислотностью pH 4,6–4,7. Образцы йогурта медленно охлаждали до температуры 20 ± 2 °С и перемешивали сгусток до однородной консистенции. Каждый образец йогурта делили на 2 части и расфасовывали по стаканчикам и доохлаждали. Одну часть йогуртов хранили при температуре 4 ± 2 °С, а другую – при 12 ± 2 °С. Инструментальные измерения были выполнены через 48 ч после окончания технологического процесса.

Молекулярно-генетический анализ молока. В исследуемых образцах сухого молока выполняли оценку полиморфизма гена *CSN3* по *A*- и *B*-аллельным вариантам посредством ПЦР-ПДРФ-анализа.

ДНК из образцов сухого молока выделяли с помощью набора «ДНК-сорб-С-М» ФБУН Центральный НИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, используя его инструкцию.

Амплификацию гена *CSN3* осуществляли на программируемом приборе «Терцик» (Россия) с реагентами производства СибЭнзим (Россия) в реакционных смесях объемом по 20 мкл, включающих:

– 2 мкл смеси dNTP (0,25 мМ каждого);
– 2 мкл буфера для Taq ДНК полимеразы (1×);
– 0,2 мкл Taq ДНК полимеразы (1 ед.);
– 0,4 мкл праймеров JK5: 5/-ATCATTTATGGCCA-

TTCCACCAAAG-3′ и JK3: 5′-GCCCATTTCGCCTTC TCTGTAACAGA-3′ (0,5 мкМ каждого);
– 2 мкл пробы ДНК.

Использовали следующий режим амплификации: ×1:94 °С – 4 мин; ×35:94 °С – 10 с, 63 °С – 10 с, 72 °С – 10 с; ×1:72 °С – 7 мин.

ПДРФ-идентификацию генотипов по аллельным вариантам *A* и *B* гена *CSN3* проводили путем обработки 20 мкл ПЦР-пробы 5 ед. рестриктазы *Hinf*I в SE-буфере «О» (СибЭнзим, Россия) с инкубацией при 37 ºС в течение 12 ч.

В результате генотипирования образцов по аллелям *A* и *B* гена *CSN3* с использованием пары праймеров JK5 и JK3 и рестриктазы *Hinf*I были получены ПЦР-продукт размером 350 bp и *CSN3*-ПДРФ-*Hinf*I профили: *BB* = 265/85 bp, *AA* = 134/131/85, *AB* = 265/134/131/85.

Для детекции полученных результатов инкубированные ПЦР-ПДРФ-фрагменты окрашивали буфером для нанесения образцов на агарозный гель (4× Gel Loading Dye, Blue, ЗАО «Евроген», Россия) в соотношении 3:1. Окрашенные амплификаты вносили в лунки 2 % агарозного геля, приготовленного путем плавления 2 г агарозы (Biotechnology Grade, «Amresco», США) в 100 мл трис-ацетатного электродного буфера (500 мл 1× ТАЕ буфера, 15 мкл 1 % раствора бромистого этидия). Детекцию осуществляли посредством горизонтального электрофореза при использовании камеры «SE-2» («Хеликон», Россия) и источника питания «Эльф-4» («ДНК-Технология», Россия) с визуализацией результатов на трансиллюминаторе системы гель-документирования Gel Doc XR+ с поддержкой программного обеспечения Image Lab («Bio-Rad», США). Используемый режим электрофореза: выходное напряжение – 180 В, выходной ток – 150 мА, время электрофореза – 45 мин [21].

Физико-химический анализ образцов. Определение основных физико-химических показателей сухого и восстановленного молока проводили по стандартизованным методикам:
– массовую долю жира определяли кислотным методом Гербера в соответствии с ГОСТ Р ИСО 2446-2011, ISO 19662:2018 [IDF 238:2018] и ISO 11870:2009 [IDF 152:2009];
– массовую долю белка определяли по методу Кьельдаля по ISO 1871:2009 и ISO 8968-1:2014 [IDF 20-1:2014] на анализаторе белка «Kjeltec-2400 Auto Analyzer» («Foss Electric», Дания);
– массовую долю сывороточных белков и фракций казеина определяли путем кислотного осаждения казеина и измерения общего азота в фильтрате по ISO 17997-1:2004 [IDF 29-1:2004];
– массовую долю сухих веществ в молоке определяли термогравиметрическими методами по ГОСТ ISO 6731/IDF 21-2012;
– массовую долю лактозы определяли поляриметрическим методом в соответствии ГОСТ Р 54667-2011 и ферментативным методом в качестве контрольного по ISO 26462:2010;
– содержание Са определяли титриметрическим методом по ISO 12081:2010 [IDF 36:2010];
– активную кислотность определяли потенциометрическим методом с использованием pH-метра «InoLab pH Level 1», оснащенного комбинированным pH-электродом «Sen Tix 61».

Определение плотности сгустка. Анализ профиля текстуры был выполнен на структурометре «СТ-2» (ООО «Лаборатория качества», Россия) с использованием теста на деформацию, подключенного к компьютеру, который запрограммирован с помощью программного обеспечения для анализа текстуры. К подвижной тензобалке прикрепляли индентор «Конус 90» (СТ-2.33.00.004) из дюрали. Скорость тензобалки была установлена на уровне 30 мм/мин. Образец йогурта измеряли при температуре 20 ± 2 °С до момента перемешивания сгустка. Начало измерения фиксировали при появлении сопротивления, а окончание при погружении индентора в продукт на 12 мм ниже поверхности йогурта.

Определение динамической вязкости и степени тиксотропности сгустка. Измерение динамической вязкости десертного йогурта проводили с помощью ротационного вискозиметра «Rheotest 2» («Medingen», Германия) в диапазоне I b и II b на системе коаксиальных цилиндров S/S1 при температуре хранения образцов 4 ± 2 и 12 ± 2 °С соответственно. Угол сдвига измерялся с использованием 12 скоростей сдвига в восходящем направлении и 11 скоростей в нисходящем направлении. Степень тиксотропности определяли как площадь петли гистерезиса между кривыми течения в диапазоне изменения скоростей сдвига от 1,5 до 656 $с^{-1}$ при прямом и обратном ходе, выраженной в процентах. Пересчет значений проводили в соответствии с методическими указаниями компании-изготовителя прибора [22].

Определение влагоудерживающей способности. Образец йогурта в количестве 25 г помещали в пластиковый фалькон с крышкой объемом 50 мл и центрифугировали при скорости 8000 об/мин в течение 15 мин. После окончания центрифугирования выделившуюся надосадочную жидкость аккуратно сливали и взвешивали. Массовая доля надосадочной жидкости использовалась как показатель синерезиса сыворотки (мг/100 г десертного йогурта).

Определение краевого угла смачивания. Измерение краевого угла смачивания (КУС), характеризующий способность десертного йогурта сохранять форму, осуществляли методом лежачей капли на анализаторе формы капли «DSA25»

Рисунок 1. Поверхность шлифованной пластины из нержавеющей стали марки «AISI 304»

Figure 1. Surface of an AISI 304 grinded stainless steel plate

(«KRÜSS», Германия) с программным обеспечением ADVANCE. КУС измеряли в момент нахождения капли йогурта в статическом состоянии на твердой поверхности. В качестве твердой поверхности были выбраны пластины из нержавеющей стали марки «AISI 304» с идентичным индексом шероховатости (рис. 1).

Подготовленный образец йогурта при заданной температуре набирали в измерительный шприц. Шприц закрепляли в подвижной каретке прибора, выравнивали иглу перпендикулярно по отношению к поверхности и калибровали прибор перед каждым измерением. Для измерения КУС десертного йогурта была подобрана игла диаметром 0,77 мм, объем выдавливаемой капли 6,0–7,0 мкл. Подача продукта осуществлялась до момента касания капли с твердой поверхностью, после чего игла удалялась. Капля стабилизировалась в течение 3 мин. Измерение КУС проводилось при помощи встроенной камеры высокой четкости. Эта операция повторялась 3–5 раз, затем фиксировалось среднее значение и отклонение. Результаты были обсчитаны автоматически при помощи программного обеспечения, поставляемого с прибором.

Определение поверхностного натяжения. Измерение поверхностного натяжения (ПН) осуществляли методом висячей капли на оптическом анализаторе формы капли «DSA25» («KRÜSS», Германия) с программным обеспечением ADVANCE. Шприц с продуктом закрепляли в подвижной каретке и производили калибровку оптического прибора. Для измерения ПН была подобрана игла диаметром 0,66 мм, объем выдавливаемой капли составлял 5–6 мкл. Подача продукта была автоматизированной исходя из максимального объема капли, способного удержаться на игле. Подвешенную на игле каплю оставляли в покое на 1 минуту для уравновешивания, после чего проводили измерения. Измерения продукта проводили при температурах его хранения. Средние значения и отклонения обсчитывались автоматически при помощи предустановленного программного обеспечения.

Моделирование эксперимента обеспечивало его проведение в 3-х кратной повторности. Обработку массивов полученных данных проводили при помощи офисных программ Microsoft Excel 2019.

Результаты и их обсуждение

Оценка плотности сгустка сквашенного йогурта. Первоочередной задачей исследований с точки зрения энергоемкости технологического процесса перемешивания йогурта являлось изучение влияния полиморфизма гена *CSN3* на плотность сгустков, образованных в результате сквашивания и охлаждения до температуры 20 ± 2 °С модельных систем «сборного» молока йогуртной заквасочной культурой (рис. 2).

Исследования показали, что образцы йогурта, сквашенные на молоке с 100 %-ным преобладанием генотипов *AA* и *BB* по гену *CSN3*, а также образец, смешанный по казеину в соотношении 50:50 %, имели приблизительно равную нагрузку для деформации на уровне 30,0–31,5 г при среднем уровне погружении конусного индентора и 103–105 г при максимальном уровне погружения. Смешивание молока с генотипами *AA* и *BB* в соотношении 75:25 и 25:75 % приводило к образованию более слабого сгустка, где нагрузка при средней глубине пенетрации составляла 25,8 и 27,8 г, а при максимальной глубине пенетрации 92,9 и 93,5 г соответственно. Таким образом, плотность сквашенных сгустков отличалась на 10 %. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии явных закономерностей, коррелирующих с генетическими факторами, влияющими на плотность охлажденного сгустка после сквашивания.

Исследование структурно-механических свойств десертного йогурта. Динамическая вязкость и способность десертного йогурта восстанавливаться после приложенных к нему механических воздействий, таких как встряхивание, относятся к факторам, формирующим качество кисломолочного продукта. Конструктивные особенности открытых магазинных витрин, перегрузка их продукцией, неисправности в системе охлаждения, несоблюдение температурных условий хранения – все это способно привести к снижению структурно-механических свойств продукта, а значит ухудшить их качество. Поэтому целью дальнейших исследований было выявление зависимостей влияния факторов полиморфизма гена к-казеина на динамическую вязкость, степень тиксотропности и устойчивости к «тепловому шоку». Для этого в структурированных после перемешивания десертных йогуртах, приготовленных на модельных системах сухого

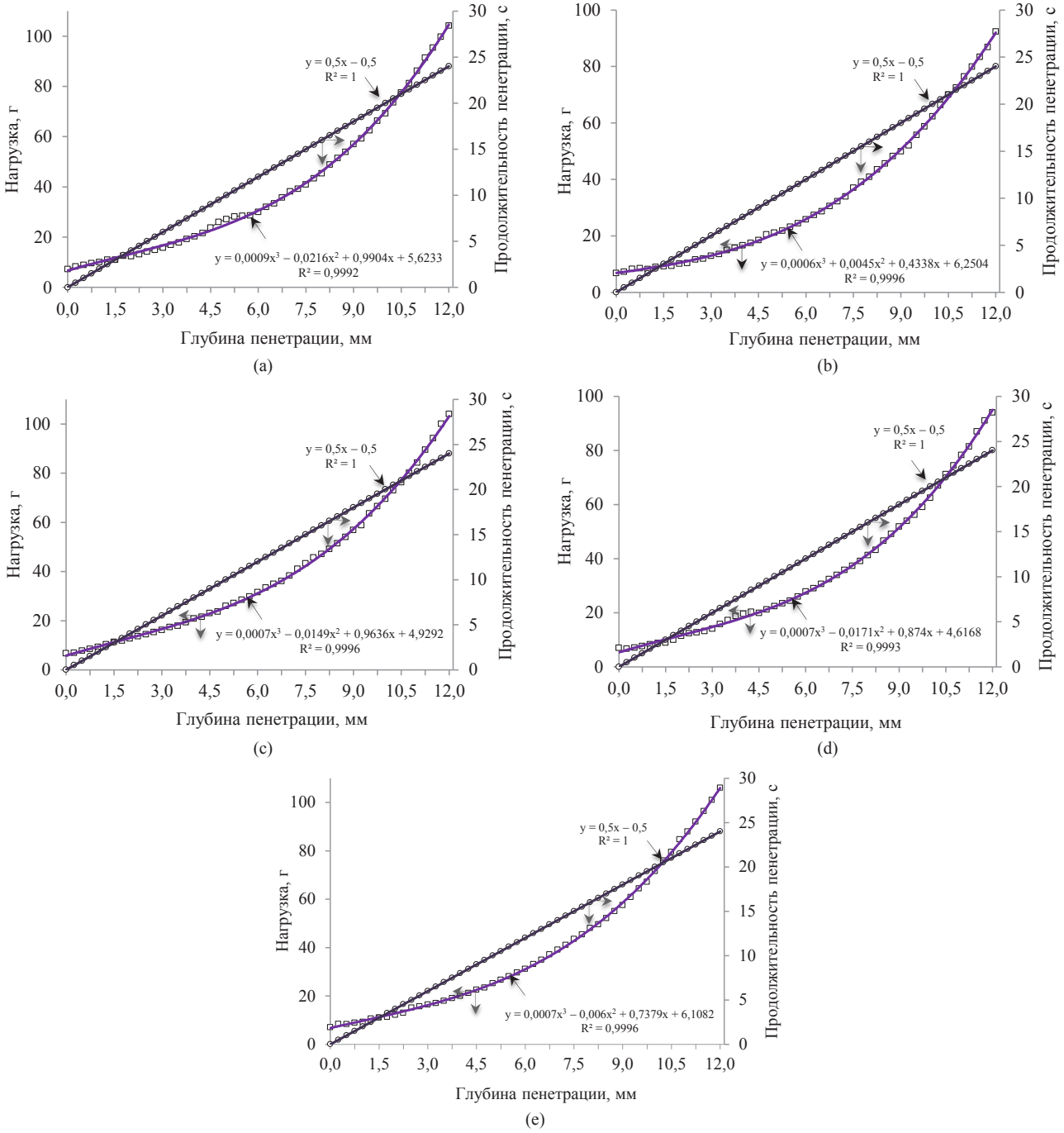

Рисунок 2. Исследование плотности сквашеного сгустка десертного йогурта после охлаждения до температуры 20 ± 2 °С: a) AA^2:BB^2 (100:0 %); b) AA^2:BB^2 (75:25 %); c) AA^2:BB^2 (50:50 %); d) AA^2:BB^2 (25:75 %); e) AA^2:BB^2(0:100 %)

Figure 2. Fermented curd tension of dessert yogurt after cooling to temperature 20 ± 2°C: a) AA^2:BB^2 (100:0%); b) AA^2:BB^2 (75:25%); c) AA^2:BB^2 (50:50%); d) AA^2:BB^2 (25:75%); e) AA^2:BB^2 (0:100%)

«сборного» молока, полученного от коров с генотипами *AA* и *BB* по гену *CSN3*, спустя 48 ч была исследована динамическая вязкость и степень тиксотропности при температуре хранения 4 ± 2 и 12 ± 2 °С (рис. 3, 4).

Анализ полученных данных показал, что наименьшей динамической вязкостью обладал десертный йогурт, приготовленный на сухом восстановленном молоке, полученном от коров с генотипом *AA* по гену *CSN3*. Выявлена зависимость повышения динамической вязкости десертного йогурта с увеличением в «сборном» сухом молоке количества молока, полученного от коров с генотипом *BB* по *CSN3*. Динамическая вязкость образца десертного йогурта AA^2:BB^2 (0:100 %) была выше на 67 %, у образца AA^2:BB^2 (50:50 %) выше на

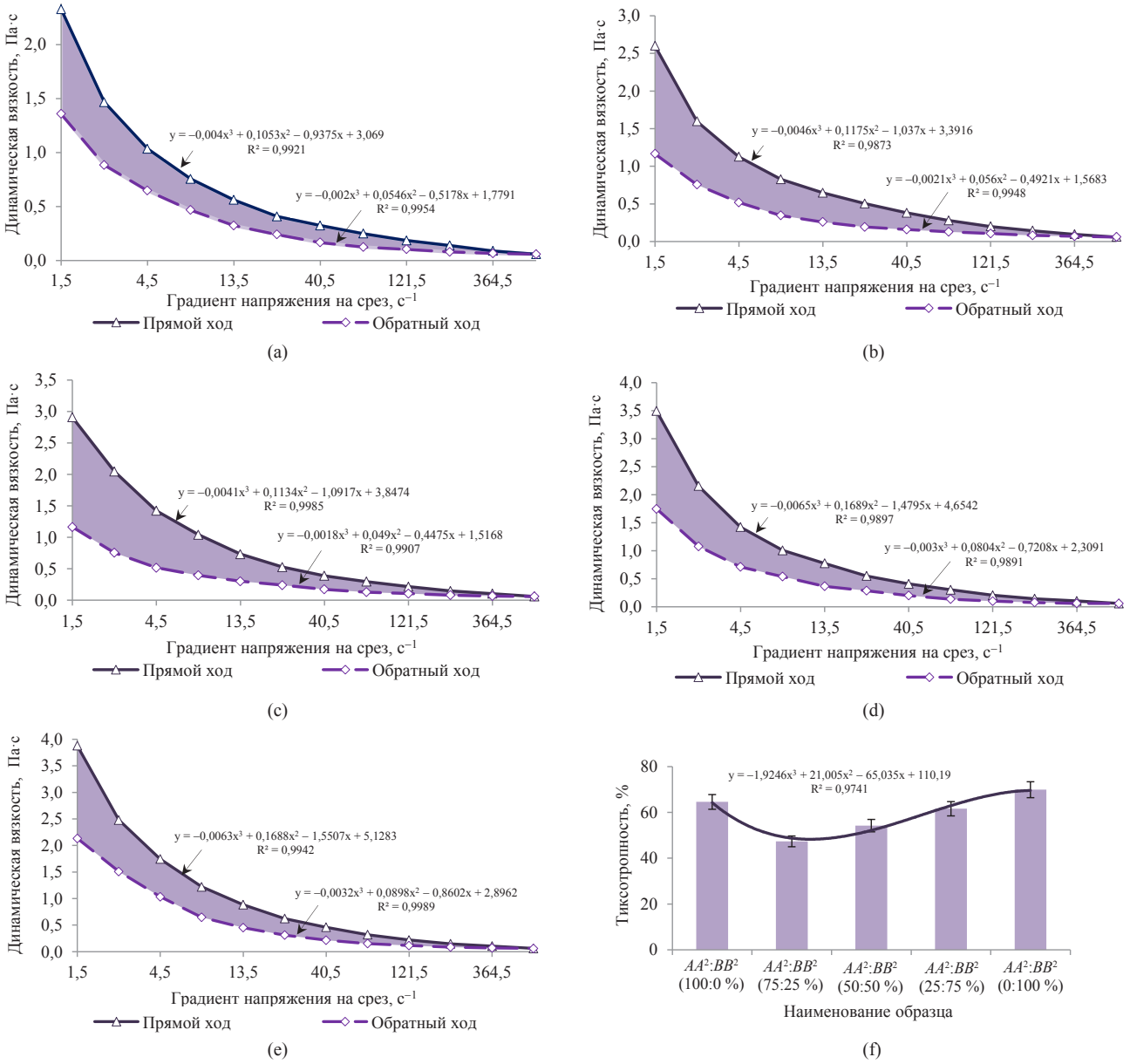

Рисунок 3. Исследование структурно-механических свойств десертного йогурта при температуре 4 ± 2 °C: a) AA^2:BB^2 (100:0 %); b) AA^2:BB^2 (75:25 %); c) AA^2:BB^2 (50:50 %); d) AA^2:BB^2 (25:75 %); e) AA^2:BB^2 (0:100 %); f) степень тиксотропности

Figure 3. Structural and mechanical properties of dessert yoghurt at temperature 4 ± 2°C: a) AA^2:BB^2 (100:0%); b) AA^2:BB^2 (75:25%); c) AA^2:BB^2 (50:50%); d) AA^2:BB^2 (25:75%); e) AA^2:BB^2 (0:100%); f) degree of thixotropy

25 %, чем у образца AA^2:BB^2 (100:0 %). Данный факт связан с размером мицелл казеина, формирующих молочный гель.

Ряд авторов в своих исследованиях показал, что молоко с маленьким размером мицелл казеина образует гель с более высокой вязкостью и твердостью, чем молоко с крупным размером мицелл. Высказано предположение, что повышенную способность к гелеобразованию можно отнести к увеличению количества *CSN3* в малых мицеллах казеина. Это увеличивает содержание растворимых комплексов сывороточных белков и *CSN3* в пастеризованном молоке. Однако высокое содержание растворимых комплексов в молочной основе йогурта с небольшими мицеллами казеина образует большее количество точек соприкосновения во время сквашивания [15]. Другие авторы отмечают, что молоко, полученное от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*, характеризуется меньшим средним диаметром мицелл казеина, чем молоко от коров с генотипом *AA* по гену *CSN3* [23, 24]. Таким образом, полиморфизм гена *CSN3* способен косвенным

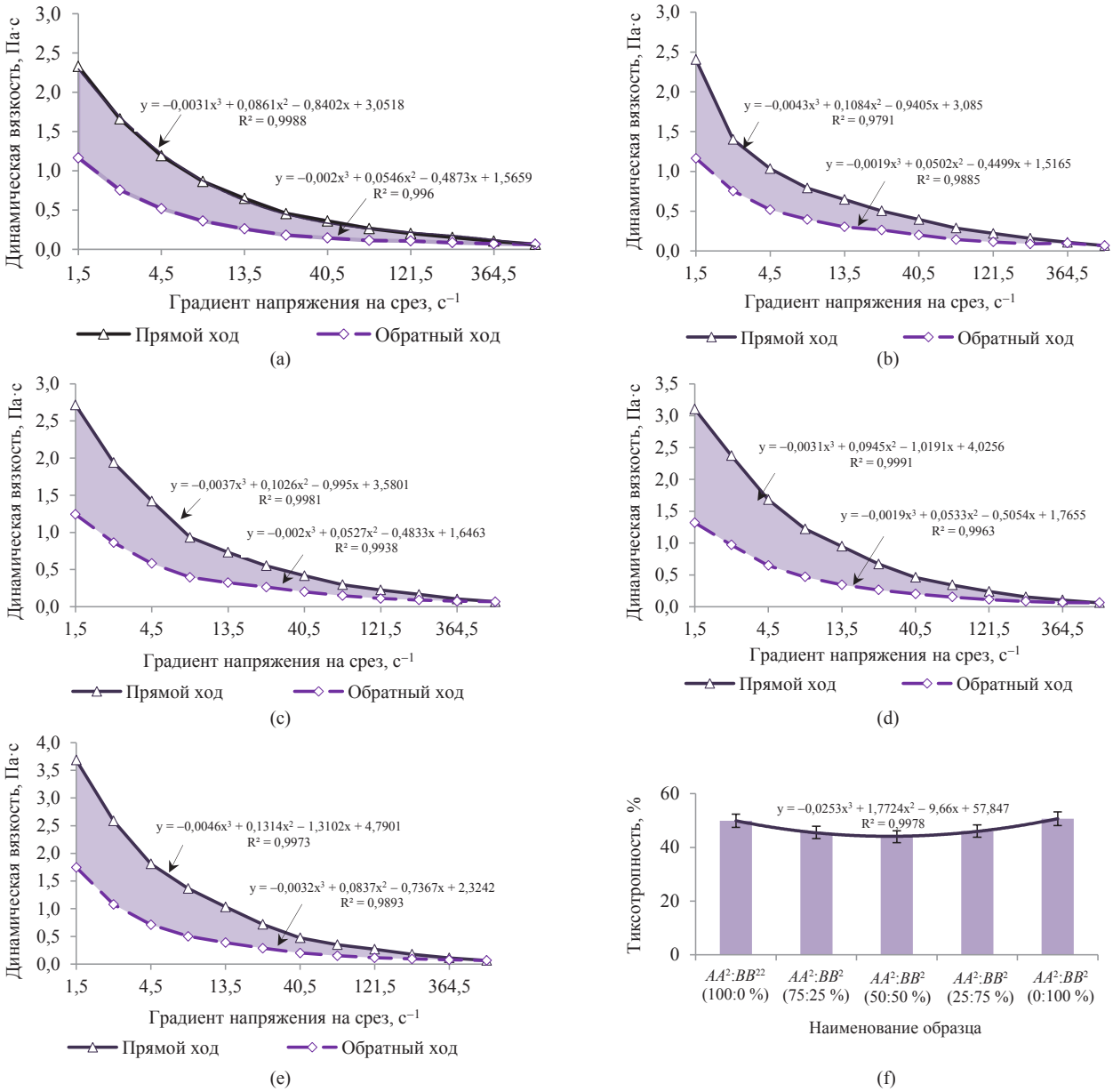

Рисунок 4. Исследование структурно-механических свойств десертного йогурта при температуре 12 ± 2 °С: a) AA^2:BB^2 (100:0 %); b) AA^2:BB^2 (75:25 %); c) AA^2:BB^2 (50:50 %); d) AA^2:BB^2 (25:75 %); e) AA^2:BB^2 (0:100 %); f) степень тиксотропности

Figure 4. Structural and mechanical properties of dessert yoghurt at temperature 12 ± 2°C: a) AA^2:BB^2 (100:0 %); b) AA^2:BB^2 (75:25%); c) AA^2:BB^2 (50:50%); d) AA^2:BB^2 (25:75%); e) AA^2:BB^2 (0:100%); f) degree of thixotropy

образом влиять на динамическую вязкость десертных йогуртов.

Анализируя тиксотропность кисломолочных гелей, можно отметь схожую зависимость в увеличении степени тиксотропности с повышением в модельных системах процентного содержания молока от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*. Исключением является образец десертного йогурта AA^2:BB^2 (100:0 %). Данная динамика может объясняться внедрением в белковую матрицу сгустка, состоящего из мицелл с крупным диаметром, мицеллярных центров с гораздо меньшим размером. Такое построение белковой матрицы восстанавливается быстрее, чем меньшие колебания дисперсности казеиновых мицелл.

Параллельно были проведены аналогичные исследования в хранении образцов десертного йогурта при температуре 12 ± 2 °С.

Исследования влияния полиморфизма гена *CSN3* на динамическую вязкость образцов при температуре 12 ± 2 °С показали схожиее зависимости с проведеными выше исследованиями. Динамическа

Таблица 3. Исследование краевого угла смачивания (формоустойчивости) десертного йогурта, произведенного из сухого молока, полученного от коров с полиморфизмом гена *CSN3*

Table 3. Wetting angle (dimensional stability) of dessert yogurt made from milk powder obtained from cows with *CSN3* gene polymorphism

Наименование образца	Хранение при температуре 4 ± 2 °C			Хранение при температуре 12 ± 2 °C		
	Средний краевой угол смачивания, °	Средний объем капли, мкл	Средний диаметр, мм	Средний краевой угол смачивания, °	Средний объем капли, мкл	Средний диаметр, мм
AA^2:BB^2 (100:0 %)	51,98 ± 1,51	6,58 ± 0,03	3,90 ± 0,06	49,71 ± 1,70	6,51 ± 0,02	3,98 ± 0,06
AA^2:BB^2 (75:25 %)	58,37 ± 1,27	6,53 ± 0,04	3,69 ± 0,08	50,49 ± 1,96	6,54 ± 0,03	3,91 ± 0,07
AA^2:BB^2 (50:50 %)	62,67 ± 1,92	6,55 ± 0,07	3,61 ± 0,08	52,41 ± 1,37	6,47 ± 0,03	3,89 ± 0,04
AA^2:BB^2 (25:75 %)	66,66 ± 1,96	6,50 ± 0,04	3,53 ± 0,08	54,20 ± 1,92	6,49 ± 0,02	3,83 ± 0,07
AA^2:BB^2 (0:100 %)	68,94 ± 1,61	6,48 ± 0,05	3,47 ± 0,23	56,81 ± 1,79	6,53 ± 0,04	3,75 ± 0,05

вязкость образца AA^2:BB^2 (0:100 %) была выше на 26 %, чем у образца AA^2:BB^2 (50:50 %) и больше на 59 %, чем у образца AA^2:BB^2 (100:0 %). Вязкость промежуточных образцов AA^2:BB^2 (75:25 %) и AA^2:BB^2 (25:75 %) полностью коррелировала с выявленной зависимостью. Сравнительный анализ динамической вязкости десертных йогуртов при температуре хранения 12 ± 2 °C показал снижение данного показателя на 7 % по отношению к соответствующим образцам, хранившимся при температуре 4 ± 2 °C. Исключением являлся образец йогурта AA^2:BB^2 (100:0 %), снижение показателя вязкости которого было минимальным и составило менее 1 %. Это может быть связано как с изначально меньшей вязкостью данного образца, так и возможным влиянием генетической изменчивости гена *CSN3* на устойчивость кисломолочного геля к повышенным температурным условиям. Что касается тиксотропных свойств, то выявленные ранее зависимости (при температуре хранения 4 ± 2 °C) невелировались. Степень тиксотропности всех образцов десертного йогурта, хранившегося при температуре 12 ± 2 °C, находилась на уровне 50 %, что является низким показателем для качественного продукта.

Исследование краевого угла смачивания десертного йогурта. Для уточнения факторов влияния генетической изменчивости гена *CSN3* на способность к сохранению формы был проведен блок исследований по измерению краевого угла смачивания образцов десертного йогурта. Нанесение кисломолочного продукта на шлифованную пластину из пищевой нержавеющей стали и измерение краевого угла смачивания способно охарактеризовать формоустойчивость образца при температуре хранения 4 ± 2 и 12 ± 2 °C (табл. 3).

Исследование краевого угла смачивания показало тенденцию к сохранению формы, выраженную в увеличение КУС в образцах с повышением содержания в десертном йогурте сухого восстановленного молока, полученного от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*. Формоустойчивость десертного йогурта AA^2:BB^2 (0:100 %) при температуре хранения 4 ± 2 °C была значительно выше, чем у образца AA^2:BB^2 (100:0 %). Разница в краевом угле смачивания между образцами составляла 17°. Замещение в сухом молоке AA^2:BB^2 (0:100 %) каждых 25 % белка на белок сухого молока AA^2:BB^2 (0:100 %) в готовом десертном йогурте приводило к увеличению КУС на 4° при средней неопределенности 1,65°.

Исследование КУС десертных йогуртов при температуре хранения 12 ± 2 °C подтвердило отмеченную ранее тенденцию (табл. 3): продукт AA^2:BB^2 (0:100 %) характеризовался более высокой формоустойчивостью, чем AA^2:BB^2 (100:0 %). Разница краевого угла смачивания между образцами составила 4°. Сравнительный анализ данных КУС хранения продукта при разных температурах (табл. 3) показал, что образец десертного йогурта AA^2:BB^2 (100:0 %) был подвержен наименьшему изменению формы (в пределах погрешности). Однако он также характеризовался наименьшей вязкостью. Влияние повышенной температуры хранения (12 ± 2 °C) десертного йогурта негативно сказалось на формоустойчивости образцов: КУС образца AA^2:BB^2 (50:50 %) изменился на 10°, в то время как у образцов AA^2:BB^2 (25:75 %) и AA^2:BB^2 (0:100 %) КУС снизился на 12°. Полученные данные коррелирует с результатами исследования динамической вязкости и могут служить частичным подтверждением гипотезы о влиянии полиморфизма гена *CSN3* на структурно-механические свойства.

Исследование поверхностного натяжения десертного йогурта. На следующем этапе исследований в образцах десертного йогурта было изучено поверхностное натяжение как одно из составляющих КУС. Непосредственное влияние на формирование ПН в молочных системах оказывает температура, состояние жира, а также фракционный состав белков. к-казеин как фракция, расположенная на поверхности мицелл казеина, способна оказывать непосредственное влияние на формирование ПН в молочных системах. Поэтому в работе было исследовано ПН в образцах десертного йогурта, приготовленных на модельных системах

Таблица 4. Поверхностное натяжение десертного йогурта, произведенного из сухого молока, полученного от коров с полиморфизмом гена *CSN3*

Table 4. Surface tension of dessert yoghurt made from milk powder obtained from cows with *CSN3* gene polymorphism

Наименование образца	Хранение при температуре 4 ± 2 °C			Хранение при температуре 12 ± 2 °C		
	Среднее поверхностное натяжение, мН/м	Средняя площадь капли, мм²	Средний параметр формы капли	Среднее поверхностное натяжение, мН/м	Средняя площадь капли, мм²	Средний параметр формы капли
AA^2:BB^2 (100:0 %)	41,77 ± 2,63	15,58 ± 0,04	0,62 ± 0,01	36,95 ± 2,65	13,62 ± 0,06	0,64 ± 0,03
AA^2:BB^2 (75:25 %)	43,96 ± 2,22	14,20 ± 0,25	0,59 ± 0,04	42,28 ± 1,24	14,32 ± 0,02	0,59 ± 0,01
AA^2:BB^2 (50:50 %)	51,12 ± 1,88	16,00 ± 0,11	0,55 ± 0,01	42,77 ± 0,51	14,64 ± 0,01	0,59 ± 0,01
AA^2:BB^2 (25:75 %)	52,80 ± 0,80	14,48 ± 0,10	0,53 ± 0,02	45,57 ± 0,06	13,61 ± 0,02	0,55 ± 0,01
AA^2:BB^2 (0:100 %)	53,73 ± 0,20	14,98 ± 0,02	0,52 ± 0,01	47,71 ± 0,43	14,94 ± 0,04	0,56 ± 0,01

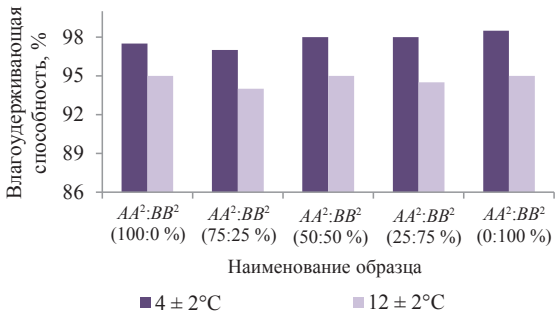

Рисунок 5. Исследование ВУС десертного йогурта при температурах хранения 4 ± 2 и 12 ± 2 °C

Figure 5. Moisture-holding ability of dessert yogurt at storage temperatures of 4 ± 2 and 12 ± 2°C

сухого «сборного» молока, полученного от коров с генотипами *AA* и *BB* по гену *CSN3* при разных температурах хранения (табл. 4).

Оценка поверхностного натяжения исследуемых образцов при температуре хранения 4 ± 2 °C показала повышение ПН в линейке смешивания образцов от AA^2:BB^2 (100:0 %) к AA^2:BB^2 (0:100 %). Разница значений между образцами составила 12 мН/м. Так как ПН является изотермически обратимым процессом, то значения исследования ПН в десертных йогуртах при температуре хранения 12 ± 2 °C были ниже, чем при температуре 4 ± 2 °C. Однако общая тенденция снижения поверхностного натяжения была схожа и составляла среднюю разницу 11 мН/м между соответствующими образцами. Данная тенденция тесно связана, как и динамическая вязкость, со средним размером мицелл казеина. Образцы десертного йогурта с преобладанием в составе сухого «сборного» молока от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3* содержат большее количество гидрофильных частей и более высокое содержание растворимых комплексов сывороточных белков и *CSN3*, что способно оказывать непосредственное положительное влияние на ПН [24].

Немаловажным фактором при хранении десертного йогурта как с точки зрения потребителя, так и с точки зрения производителя, является влагоудерживающая способность (ВУС). ВУС исследуемых образцов представлена на рисунке 5.

Анализ данных, представленных на рисунке 5, показывает отсутствие какого-либо значимого влияния полиморфизма гена *CSN3* на изменении ВУС десертного йогурта. Отмечено негативное влияние температуры хранения 12 ± 2 °C на влагоудерживающую способность десертного йогурта. У всех без исключения образцов, хранившихся при данной температуре, происходил отстой сыворотки (синерезис) как при исследовании центрифужным методом, так и при статическом хранении в холодильнике.

Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что с повышением в модельных системах десертного йогурта сухого «сборного» молока, полученного от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*, структурно-механические свойства, формоустойчивость и поверхностное натяжение повышаются. Анализ литературных данных и полученные результаты исследования позволяют сделать вывод о косвенном влиянии полиморфизма гена *CSN3* на структурно-механические показатели, связанные с генетическим влиянием на средний диаметр мицелл казеина в исходном молоке и происходящими в результате этого биохимическими и изотермическими процессами.

Полученные данные по хранению продукта при температуре 12 ± 2 °C показали снижение структурно-механических показателей, КУС, ПН, ВУС по сравнению с хранением десертного йогурта при температуре 4 ± 2 °C. Однако сохранились зависимости положительного влияния на технологические свойства десертного йогурта повышения в его составе процентного содержаия сухого восстановленного молока, полученного от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*. Исследование плотности сгустка после охлаждения показало отсутствие значимого влияния полиморфизма гена

CSN3. Таким образом, наиболее значимые отличия между аллельными вариантами *A* и *B* в десертном йогурте проявляются только после полного охлаждения и структурирования продукта.

Полученные данные позволяют оценить влияние полиморфизма гена *CSN3* на технологические свойства сухого молока в процессе его переработки на молочные продукты, вырабатываемые кислотно-индуцированным способом с образованием молочных гелей. В перспективе полученные данные могут войти в молекулярно-генетическую систему оценки технологических свойств сухого молока и будут способствовать совершенствованию систем закупочного ценообразования на перерабатываемое молочное сырье.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Мировой и отечественный опыт в развитии рынка молока и молочных продуктов / Н. М. Сурай, В. В. Носов, Ж. Н. Диброва [и др.] // Экономические науки. – 2019. – № 171. – P. 71–79. https://doi.org/10.14451/1.171.71.

2. Chandan, R. C. Role of milk and dairy foods in nutrition and health / R. C. Chandan, A. Kilara // Dairy processing and quality assurance / R. C. Chandan. – John Wiley and Sons, 2008. – P. 411–428. https://doi.org/10.1002/9780813804033.ch18.

3. Зобкова, З. С. История производства йогурта / З. С. Зобкова // Молочная промышленность. – 2017. – № 8. – С. 24–25.

4. Kumar, B. V. Trends in dairy and non-dairy probiotic products – a review / B. V. Kumar, S. V. N. Vijayendra, O. V. S. Reddy // Journal of Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 52, № 10. – P. 6112–6124. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1795-2.

5. Chandan, R. C. Yogurt: Historical background, health benefits, and global trade / R. C. Chandan, A. Gandhi, N. P. Shah // Yogurt in health and disease prevention / N. P. Shah. – Academic Press, 2017. – P. 3–29. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805134-4.00001-8.

6. Выбор рациональных условий производства йогурта, обогащенного биофлавоноидами / З. С. Зобкова, Т. П. Фурсова, Д. В. Зенина [и др.] // Молочная промышленность. – 2018. – № 4. – С. 32–33. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2018-4-32-33.

7. Выделение перспективных штаммов из национальных продуктов и определение их свойств / А. В. Бегунова, И. В. Рожкова, Т. И. Ширшова [и др.] // Молочная промышленность. – 2020. – № 5. – С. 38–41. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-05-38-40.

8. Fernandez, M. A. Potential health benefits of combining yogurt and fruits based on their probiotic and prebiotic properties / M. A. Fernandez, A. Marette // Advances in Nutrition. – 2017. – Vol. 8, № 1. – P. 155S–164S. https://doi.org/10.3945/an.115.011114.

9. Sarkar, S. Potentiality of probiotic yoghurt as a functional food – a review / S. Sarkar // Nutrition and Food Science. – 2019. – Vol. 49, № 2. – P. 182–202. https://doi.org/10.1108/NFS-05-2018-0139.

10. Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: from biology to the clinic / M. E. Sanders, D. J. Merenstein, G. Reid [et al.] // Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology. – 2019. – Vol. 16, № 10. – P. 605–616. https://doi.org/10.1038/s41575-019-0173-3.

11. The interplay between immune system and microbiota in osteoporosis / P. Locantore, V. Del Gatto, S. Gelli [et al.] // Mediators of Inflammation. – 2020. – Vol. 2020. https://doi.org/10.1155/2020/3686749.

12. Processing cottage cheese whey components for functional food production / E. Yu. Agarkova, A. G. Kruchinin, N. A. Zolotaryov [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2020. – Vol. 8, № 1. – P. 52–59. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-52-59.

13. Ozen, A. E. Worldwide consumption of functional foods: a systematic review / A. E. Ozen, A. Pons, J. A. Tur // Nutrition Reviews. – 2012. – Vol. 70, № 8. – P. 472–481. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00492.x.

14. The role of exopolysaccharide-producing cultures and whey protein ingredients in yoghurt / P. Buldo, C. Benfeldt, D. M. Folkenberg [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 72. – P. 189–198. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.050.

15. Processing of high-protein yoghurt – A review / C. E. Jorgensen, R. K. Abrahamsen, E. O. Rukke [et al.] // International Dairy Journal. – 2019. – Vol. 88. – P. 42–59. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.08.002.

16. Mahomud, M. S. Role of whey protein-casein complexes on yoghurt texture / M. S. Mahomud, N. Katsuno, T. Nishizu // Reviews in Agricultural Science. – 2017. – Vol. 5. – P. 1–12. https://doi.org/10.7831/ras.5.1.

17. Результаты перспективного сравнительного открытого рандомизированного исследования по изучению эффективности йогурта, обогащенного пребиотиками и пробиотиками, у детей раннего возраста, перенесших острую респираторную инфекцию / А. И. Хавкин, О. Б. Федотова, Г. В. Волынец [и др.] // Вопросы детской диетологии. – 2019. – Т. 17, № 1. – С. 29–37. https://doi.org/10.20953/1727-5784-2019-1-29-37.

18. Молекулярно-генетические модификации к-казеина / А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – Т. 376, № 4. – С. 12–16. https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.4.3.

19. Тюлькин, С. В. Влияние генотипа коров на их продуктивность и качество молока / С. В. Тюлькин // Пищевые системы. – 2018. – Т. 1, № 3. – С. 38–43. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-3-38-43.

20. Егорашина, Е. В. Молочная продуктивность коров разных пород во взаимосвязи с генотипами по каппа-казеину и бета-лактоглобулину / Е. В. Егорашина, Р. В. Тамарова // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2019. – Т. 27, № 2. – С. 79–85. https://doi.org/10.35523/2307-5872-2019-27-2-79-85.

21. Разработка способа проведения аллель-специфичной ПЦР для генотипирования крупного рогатого скота по аллелям *A* и *B* гена каппа-казеина / С. В. Тюлькин, А. В. Муратова, И. И. Хатыпов [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2015. – Т. 222, № 2. – С. 221–224.

22. Реотест 2: инструкция по эксплуатации. – Берлин : МРМ, 1978. – 22 р.

23. Composition and effect of blending of noncoagulating, poorly coagulating, and well-coagulating bovine milk from individual Danish Holstein cows / P. D. Frederiksen, K. K. Andersen, M. Hammershoj [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2011. – Vol. 94, № 10. – P. 4787–4799. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4343.

24. Factors influencing casein micelle size in milk of individual cows: Genetic variants and glycosylation of κ-casein / E. Bijl, R. de Vries, H. van Valenberg [et al.] // International Dairy Journal. – 2014. – Vol. 34, № 1. – P. 135–141. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.08.001.

References

1. Sarah NM, Nosov VV, Dibrova ZN, Bobkov AN, Eidinow HT. International and domestic experience in the development of the market of milk and dairy products. Economic sciences. 2019;(171):71–79. (In Russ.). https://doi.org/10.14451/1.171.71.

2. Chandan RC, Kilara A. Role of milk and dairy foods in nutrition and health. In: Chandan RC, editor. Dairy processing and quality assurance. John Wiley and Sons; 2008. pp. 411–428. https://doi.org/10.1002/9780813804033.ch18.

3. Zobkova ZS. The history of yogurt production. Dairy Industry. 2017;(8):24–25. (In Russ.).

4. Kumar BV, Vijayendra SVN, Reddy OVS. Trends in dairy and non-dairy probiotic products – a review. Journal of Food Science and Technology. 2019;52(10):6112–6124. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1795-2.

5. Chandan RC, Gandhi A, Shah NP. Yogurt: Historical background, health benefits, and global trade. In: Shah NP, editor. Yogurt in health and disease prevention. Academic Press; 2017. pp. 3–29. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805134-4.00001-8.

6. Zobkova ZS, Fursova TP, Zenina DV, Gavrilina AD, Shelaginova IR. Selection of the rationalconditions for production of the yogurt enrichedwith bioflavonoids. Dairy Industry. 2018;(4):32–33. (In Russ.). https://doi.org/10.31515/1019-8946-2018-4-32-33.

7. Begunova AV, Rozhkova IV, Shirshova TI, Krysanova YuI. Isolation of promising strains from national products and determination of their properties. Dairy Industry. 2020;(5):38–41. (In Russ.). https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-05-38-40.

8. Fernandez MA, Marette A. Potential health benefits of combining yogurt and fruits based on their probiotic and prebiotic properties. Advances in Nutrition. 2017;8(1):155S–164S. https://doi.org/10.3945/an.115.011114.

9. Sarkar S. Potentiality of probiotic yoghurt as a functional food – a review. Nutrition and Food Science. 2019;49(2):182–202. https://doi.org/10.1108/NFS-05-2018-0139.

10. Sanders ME, Merenstein DJ, Reid G, Gibson GR, Rastall RA. Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: from biology to the clinic. Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology. 2019;16(10):605–616. https://doi.org/10.1038/s41575-019-0173-3.

11. Locantore P, Del Gatto V, Gelli S, Paragliola RM, Pontecorvi A. The interplay between immune system and microbiota in osteoporosis. Mediators of Inflammation. 2020;2020. https://doi.org/10.1155/2020/3686749.

12. Agarkova EYu, Kruchinin AG, Zolotaryov NA, Pryanichnikova NS, Belyakova ZYu, Fedorova TV. Processing cottage cheese whey components for functional food production. Foods and Raw Materials. 2020;8(1):52–59. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-52-59.

13. Ozen AE, Pons A, Tur JA. Worldwide consumption of functional foods: a systematic review. Nutrition Reviews. 2012;70(8):472–481. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00492.x.

14. Buldo P, Benfeldt C, Folkenberg DM, Jensen HB, Amigo JM, Sieuwerts S, et al. The role of exopolysaccharide-producing cultures and whey protein ingredients in yoghurt. LWT – Food Science and Technology. 2016;72:189–198. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.050.

15. Jorgensen CE, Abrahamsen RK, Rukke EO, Hoffmann TK, Johansen AG, Skeie SB. Processing of high-protein yoghurt – A review. International Dairy Journal. 2019;88:42–59. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.08.002.

16. Mahomud MS, Katsuno N, Nishizu T. Role of whey protein-casein complexes on yoghurt texture. Reviews in Agricultural Science. 2017;5:1–12. https://doi.org/10.7831/ras.5.1.

17. Khavkin AI, Fedotova OB, Volynets GV, Koshkarova YuA, Penkina NA, Komarova ON. The results of a prospective comparative open-label randomised study of the effectiveness of a probioticand prebiotic-fortified yogurt in small children after an acute respiratory infection. Pediatric Nutrition. 2019;17(1):29–37. (In Russ.). https://doi.org/10.20953/1727-5784-2019-1-29-37.

18. Kruchinin AG, Turovskaya SN, Illarionova EE, Bigaeva AV. Molecular genetic modifications of κ-casein. News of institutes of higher education. Food Technology. 2020;376(4):12–16. (In Russ.). https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.4.3.

19. Tyulkin SV. The effect of cows genotype on their productivity and milk quality. Food Systems. 2018;1(3):38–43. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-3-38-43.

20. Egorashina EV, Tamarova RV. Different cow breeds milkability depending on kappa-casein and beta-globulin genotypes. Agrarian journal of the upper Volga region. 2019;27(2):79–85. (In Russ.). https://doi.org/10.35523/2307-5872-2019-27-2-79-85.

21. Tyulkin SV, Muratova AV, Khatipov II, Ahmetov TM, Ravilov RH, Vafin RR. An invention of cattle genotyping means by kappa-casein gene of allele-specific PCR for alleles *A* and *B*. Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2015;222(2):221–224. (In Russ.).

22. Reotest 2: instruktsiya po ehkspluatatsii [Reotest 2: instruction manual]. Berlin: MRM; 1978. 22 p. (In Russ.).

23. Frederiksen PD, Andersen KK, Hammershoj M, Poulsen HD, Sørensen J, Bakman M, et al. Composition and effect of blending of noncoagulating, poorly coagulating, and well-coagulating bovine milk from individual Danish Holstein cows. Journal of Dairy Science. 2011;94(10):4787–4799. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4343.

24. Bijl E, de Vries R, van Valenberg H, Huppertz T, van Hooijdonk T. Factors influencing casein micelle size in milk of individual cows: Genetic variants and glycosylation of κ-casein. International Dairy Journal. 2014;34(1):135–141. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.08.001.