

ПИЩЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 637.146

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НИЗКОЛАКТОЗНЫХ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

Т.Л. Шуляк, Н.Ф. Гуца, А.В. Акулич

Исследованы структурно-механические свойства низколактозных кисломолочных продуктов из вторичного молочного сырья (обезжиренного молока и пахты). Изучено влияние температуры и компонентного состава продуктов на их вязкость и способность восстанавливать структуру после механического воздействия. Показано, что низколактозные кисломолочные продукты с более высокой температурой характеризуются более низкими значениями эффективной и условной вязкостей, худшими тиксотропными свойствами. Выявлено, что добавление фруктово-ягодного наполнителя улучшает структурно-механические свойства продуктов за счет стабилизационных систем, присутствующих в самом наполнителе.

Введение

На сегодняшний день в мире стремительно увеличивается количество людей, страдающих лактазной недостаточностью. В связи с этим в современной диетологии актуальным направлением является создание молочных продуктов с пониженным содержанием лактозы. Наиболее рациональный способ снижения лактозы до приемлемого уровня заключается в применении фермента β -галактозидазы (лактазы).

Авторами данной работы систематически проводятся исследования по созданию научно обоснованных технологий низколактозных кисломолочных продуктов. Разработаны технологии производства низколактозных кисломолочных продуктов из вторичного молочного сырья (пахты и обезжиренного молока) с применением ферментного препарата β -галактозидазы «Maxilact L 2000» [1,2].

Как известно, одним из важных свойств любого кисломолочного продукта является консистенция, характеризующаяся как совокупность его структурно-механических (реологических) свойств, воспринимаемых с помощью зрительных и осязательных ощущений. Количественной характеристикой консистенции кисломолочных продуктов является вязкость и влагоудерживающая способность.

Кисломолочные продукты являются структурированными системами, в которых протекают два противоположных процесса – разрушение и восстановление. Равновесное состояние между этими процессами характеризуется эффективной вязкостью и описывается зависимостью (по Ребиндеру) [3] по формуле (1):

$$\frac{F}{S} = \eta \frac{dv}{dx} \quad (1)$$

где $\frac{F}{S}$ – действующее напряжение сдвига в ламинарном потоке;

$\frac{dv}{dx}$ – градиент скорости в данном месте потока, характеризующий резкость изменения скорости слоев в нормальном к ним направлении;

η – эффективная вязкость продукта.

При подборе технологического оборудования для выработки кисломолочных продуктов и транспортирования их по трубопроводам необходимо иметь сведения о структурно-механических свойствах продукта и прежде всего эффективной вязкости.

Кисломолочные продукты относятся к продуктам, у которых эффективная вязкость зависит от температуры и градиента скорости [4]. В связи с этим целью работы явилось исследование структурно-механических свойств низколактозных кисломолочных продуктов из вторичного молочного сырья при различных значениях градиента скорости и температуры продуктов.

Результаты исследований и их обсуждение

Объектами исследований являлись низколактозный йогурт с повышенным содержанием сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), изготовленный из натурального обезжиренного молока с добавлением сухого обезжиренного молока (СОМ) в количестве 7 % от массы смеси, и низколактозный кисломолочный напиток из пахты. При производстве продуктов вначале проводили предварительный ферментативный гидролиз лактозы во вторичном молочном сырье под действием ферментного препарата β -галактозидазы «Maxilact L 2000», а затем сырье пастеризовали, охлаждали и заквашивали. При производстве йогурта использовали лиофилизированную йогуртную закваску прямого внесения «Delvo-Yog» (компания «DSM Food Specialties Australia Pty Ltd», Австралия). При производстве низколактозного кисломолочного напитка из пахты применяли лиофилизированную закваску прямого внесения АВТ-5 (компания «Chr.Hansen», Дания), включающую ацидофильную палочку, бифидобактерии и термофильный молочнокислый стрептококк. Всего было исследовано четыре образца: низколактозный йогурт без наполнителя, низколактозный йогурт с плодово-ягодным наполнителем «Мандарин», низколактозный кисломолочный напиток из пахты без наполнителя и низколактозный кисломолочный напиток из пахты с черничным джемом.

Эффективную вязкость низколактозных кисломолочных продуктов исследовали с помощью ротационного вискозиметра марки «VT 7 plus» модификации L (производства Германии). Измерения выполняли при температуре (4 ± 2) °С, соответствующей температуре хранения продуктов в холодильной камере, и при комнатной температуре (20 ± 2) °С. Определение текущей эффективной вязкости образцов проводили с использованием стандартного набора цилиндрических роторов на всем диапазоне частот их вращения. По частоте вращения ротора (об/мин) и диаметру цилиндра находили градиент скорости (c^{-1}), используя коэффициенты пересчета в соответствии с паспортными данными прибора. Для каждого образца продуктов были определены зависимости эффективной вязкости от градиента скорости сдвига. Методом математической статистики были получены уравнения, описывающие их.

Эффективная вязкость молочного сгустка в кисломолочных продуктах обусловлена характером связей между его белковыми компонентами. Прочность этих связей определяет устойчивость молочного сгустка к механическим воздействиям. В случае если после нарушения целостности молочного сгустка происходит восстановление связей между его компонентами, то они обусловлены явлением тиксотропии, то есть способностью структур после их разрушения самопроизвольно восстанавливаться во времени. На основании классификации пространственных структурированных систем, данной П.А. Ребиндером, структуру, возникающую при выработке кисломолочных продуктов, можно определить как коагуляционно-конденсационную, то есть частично восстанавливающуюся [5]. Способность сгустка к восстановлению структуры после механического воздействия можно охарактеризовать числовым параметром, который называется степенью тиксотропного восстановления структуры. Поэтому в процессе исследования изучалось также восстановление структуры сгустков низколактозных кисломолочных продуктов после механического воздействия (тиксотропные свойства). Измеряли эффективную вязкость образцов с неразрушенной и с разрушенной (после перемешивания) структурой. Для всех образцов применяли одинаковый режим перемешивания. После перемешивания выдерживали сгустки в течение 2 ч и снова контролировали вязкость восстанов-

ленной структуры. Измерения проводили при температуре хранения в холодильной камере $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ и при комнатной температуре $(20\pm 2)^\circ\text{C}$. Полученные результаты исследований представлены на рисунках 1–3.

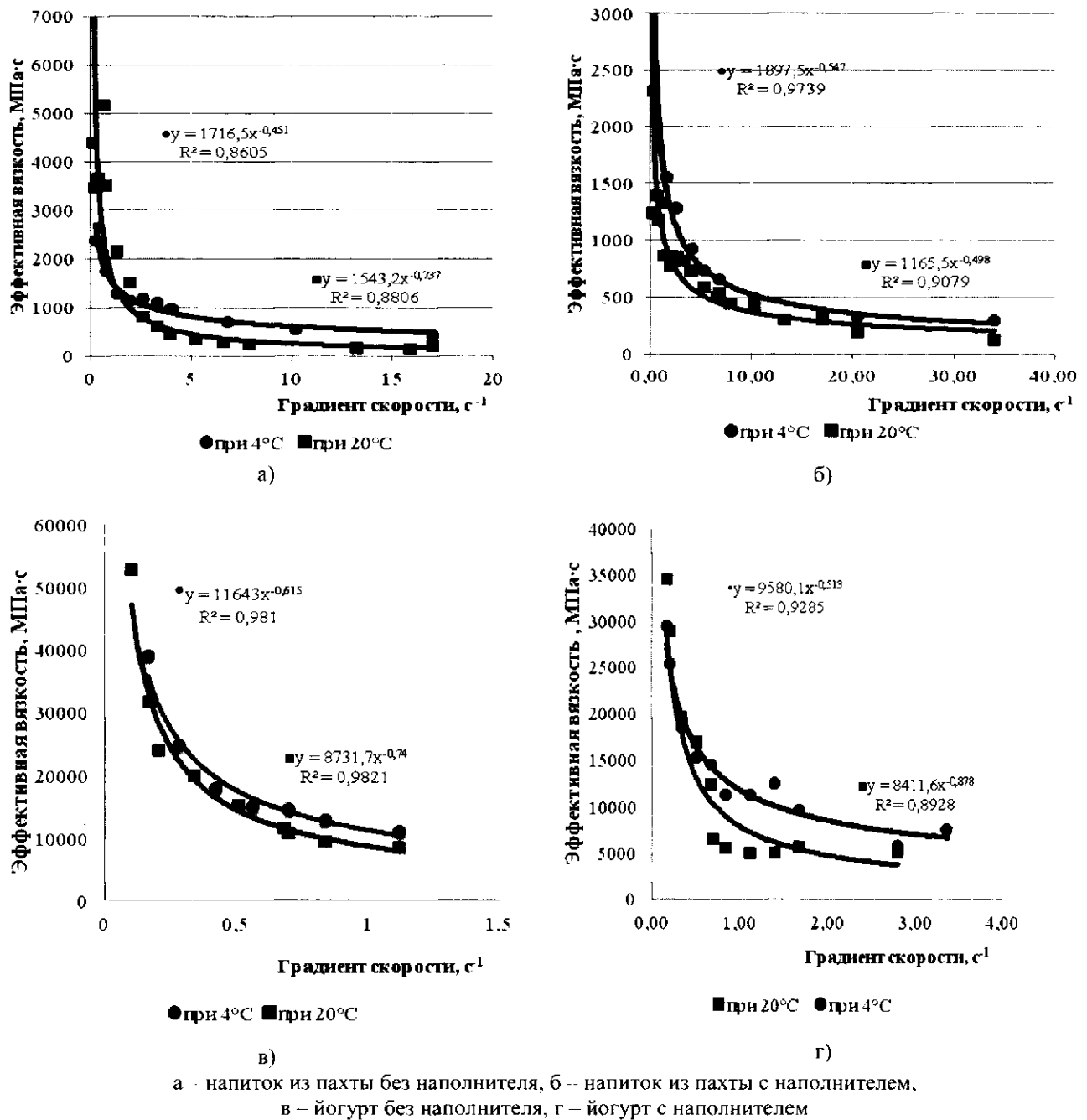


Рисунок 1 – Зависимость эффективной вязкости низколактозных кисломолочных продуктов с неразрушенным сгустком от градиента скорости при различных температурах

Так как производимые низколактозные продукты не являются идеальными жидкостями, то после механического воздействия вязкость в значительной степени снижается. По определению Ньютона идеальная жидкость – это тело, обладающее такой подвижностью, что отдельные его части могут свободно перемещаться внутри него. В реальных жидкостях такой подвижности нет. Причина, задерживающая движение этих частиц, – вязкость. То есть, чем медленнее движутся частички внутри тела, тем большей вязкостью тело обладает. При перемешивании прикладывается сила, которая увеличивает скорость движения этих частиц, и, как следствие, вязкость снижается.

В соответствии с теорией П.А. Ребиндера [3] механизм тиксотропного восстановления

структуры продукта описывается двучленной зависимостью:

$$\eta_v = \eta_p + \alpha(\eta_n - \eta_p), \quad (2)$$

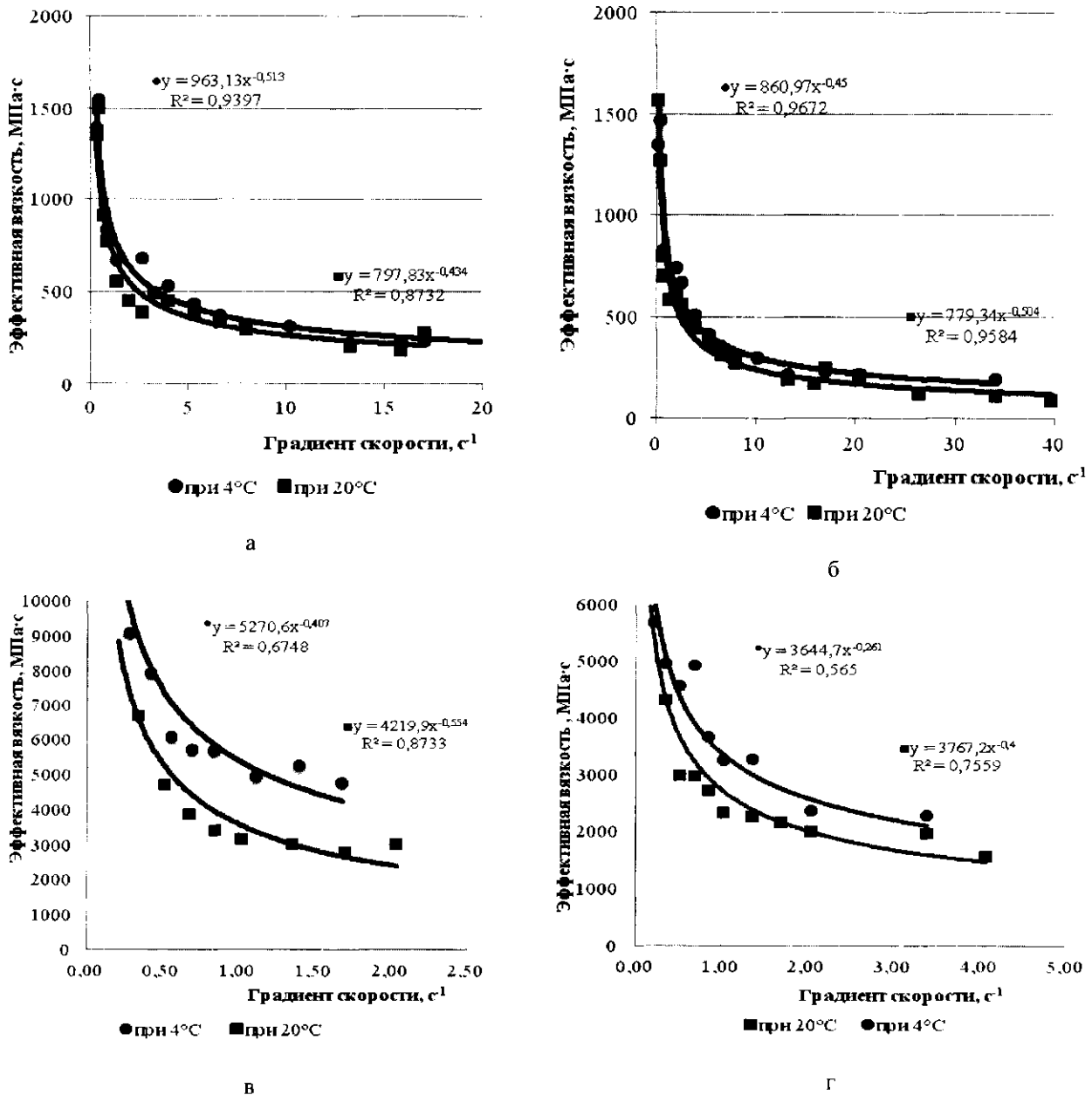
где η_v – вязкость восстановленной структуры;

η_p – наименьшая вязкость предельно разрушенной структуры;

η_n – наибольшая вязкость практически неразрушенной структуры;

α – степень тиксотропного восстановления структуры.

Результаты исследований, а также рассчитанные степени тиксотропного восстановления структуры исследуемых продуктов α представлены в таблице 1.



а – напиток из пахты без наполнителя, б – напиток из пахты с наполнителем,

в – йогурт без наполнителя, г – йогурт с наполнителем

Рисунок 2 – Зависимость эффективной вязкости кисломолочных низколактозных продуктов с разрушенным сгустком от градиента скорости при различных температурах

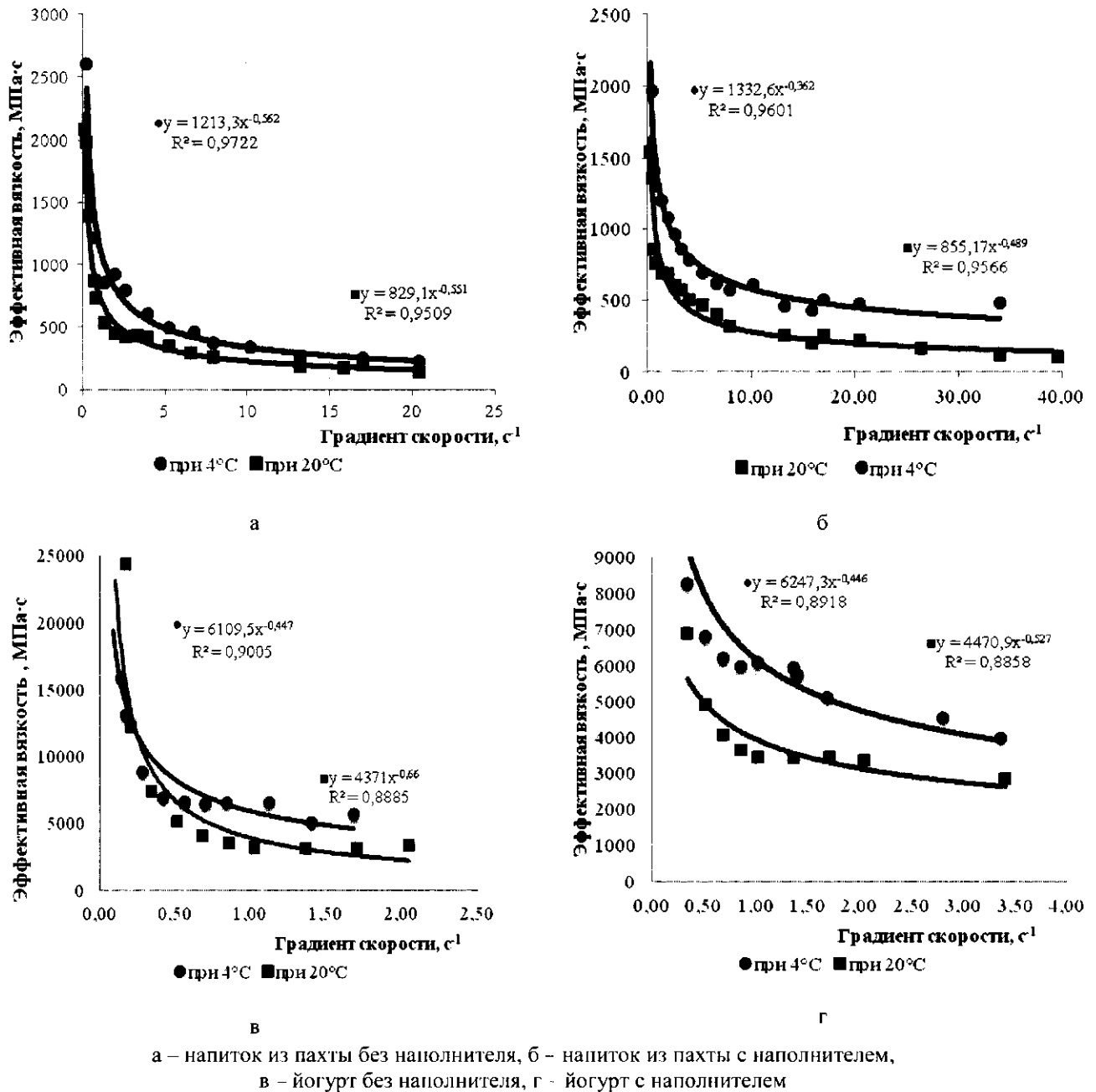


Рисунок 3 – Зависимость эффективной вязкости кисломолочных низколактозных продуктов с восстановленной структурой сгустка от градиента скорости при различных температурах

Выявлено, что с увеличением градиента скорости эффективная вязкость всех низколактозных кисломолочных продуктов снижается. Кисломолочные низколактозные напитки из пахты и низколактозные йогурты имеют меньшую эффективную вязкость при температуре 20 °С, чем те же продукты при 4 °С на всем диапазоне частот вращения ротора. Понижение вязкости при повышении температуры объясняется теорией вязкости жидкостей. Известно, что вязкость воды при повышении температуры на 1 °С понижается на 2 % – 3 %. При производстве низколактозных кисломолочных продуктов использовалось вторичное молочное сырье (пахта и обезжиренное молоко), характеризующееся низким содержанием жира. Следовательно, молочный жир не оказывает существенного влияния на вязкость продуктов. Вязкость низколактозных кисломолочных продуктов на основе вторичного молочного сырья обусловлена в большей степени системой казеин–вода, и при повышении температуры вязкость этих продуктов снижается.

Так как производимые низколактозные кисломолочные продукты не являются идеальными

ми жидкостями, то после механического воздействия на них вязкость в значительной степени снижается. Получено, что вязкость исследуемых образцов продуктов с разрушенной структурой значительно ниже, чем с неразрушенной.

Таблица 1– Изменение тиксотропных свойств низколактозных кисломолочных напитков из пахты и йогурта

Наименование продукта	Вязкость сгустка, МПа·с, при градиенте скорости 1 с ⁻¹			Степень тиксотропного восстановления структуры, α
	неразрушенного	разрушенного	восстановленного	
Напиток из пахты без наполнителя при t=4 °С	1716±17	963±18	1213±38	0,33
Напиток из пахты с наполнителем при t=4 °С	1897±62	831±24	1332±87	0,47
Напиток из пахты без наполнителя при t=20 °С	1543±37	798±42	829±17	0,04
Напиток из пахты с наполнителем при t=20 °С	1165±19	779±37	855±21	0,20
Йогурт без наполнителя при t=4 °С	11586±97	5436±47	6110±42	0,11
Йогурт с наполнителем при t= 4 °С	9580±48	3645±34	6247±57	0,44
Йогурт без наполнителя при t=20 °С	8731±28	4220±67	4371±37	0,04
Йогурт с наполнителем при t=20 °С	8411±24	3767±56	4471±38	0,15

Из таблицы 1 видно, что степень тиксотропного восстановления структуры выше у кисломолочного напитка из пахты без наполнителя, чем у йогурта без наполнителя при одной и той же температуре. Так как при производстве йогурта применялась двойная пастеризация с температурами выше 90 °С, то за счет этого значительно увеличивается количество связей конденсационного типа, и, как следствие, повышается прочность сгустка, а тиксотропные свойства ослабевают. Также следует отметить, что при производстве йогурта использовалось сухое обезжиренное молоко. Соответственно повышается массовая доля СОМО, что способствует увеличению количества контактов и более интенсивному проявлению сил взаимодействия между частицами коагулирующего казеина.

Восстановление структуры сгустков лучше происходит при температуре 4 °С, причем в большей степени восстанавливают структуру после механического воздействия низколактозные кисломолочные продукты с плодово-ягодными наполнителями, что, вероятно, обусловлено стабилизатором «пектин», который входит в состав наполнителей. Эффект стабилизации проявляется путем образования дополнительных связей белок-полисахарид, то есть эффект усиливается в результате дополнительного взаимодействия с молочным белком. Кроме того, пектин хорошо проявляет своё стабилизирующее действие в широком спектре температур.

Исследовали также условную вязкость низколактозных кисломолочных продуктов и влагоудерживающую способность сгустков центрифужным методом и определяли количество выделившейся в процессе центрифугирования сыворотки. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Условная вязкость низколактозных продуктов и влагоудерживающая способность сгустков

Продукты	Условная вязкость при температуре, с		Объем выделившейся сыворотки, см ³
	4 °С	20 °С	
Йогурт без наполнителя	313	107	2,5
Йогурт с наполнителем	320	115	2,4
Напиток из пахты без наполнителя	17	7	3,3
Напиток из пахты с наполнителем	19	8	3,2

Как видно из таблицы 2, условная вязкость йогуртов также, как и эффективная вязкость, значительно выше вязкости низколактозных кисломолочных напитков из пахты. Установи-

ли, что низколактозные кисломолочные продукты из вторичного молочного сырья характеризуются хорошей влагоудерживающей способностью. Однако объем выделившейся сыворотки у йогуртов при центрифугировании меньше. Это говорит о том, что низколактозные йогурты обладают лучшей влагоудерживающей способностью, чем низколактозные кисломолочные напитки из пахты.

Известно, что при повышенных режимах пастеризации интенсивность отделения сыворотки снижается в разы. Это объясняется увеличением содержанием в сгустках денатурированных сывороточных белков, которые, взаимодействуя с α -казеином, увеличивают заряд мицелл казеина и его гидрофильные свойства [6]. Следовательно, проведение двойной пастеризации при высоких температурах при производстве низколактозного йогурта оказало положительный эффект на влагоудерживающую способность сгустков. Также на снижение отделения сыворотки после центрифугирования влияет состав молочной смеси. Добавление СОМ к обезжиренному молоку при производстве низколактозного йогурта вызывает уплотнение структуры йогурта и снижение тенденции к синерезису во время хранения [6].

Заключение

На основании проведенных исследований установлено, что низколактозные йогурты из обезжиренного молока и низколактозные кисломолочные напитки из пахты характеризуются достаточно высокой вязкостью, хорошими тиксотропными свойствами, что имеет важное технологическое значение для получения продуктов гарантированного качества. Показано, что использование плодово-ягодных наполнителей в производстве низколактозных кисломолочных продуктов улучшает структурно-механические свойства продуктов. Полученные в работе данные целесообразно использовать при расчете и подборе технологического оборудования для производства, перекачивания и расфасовки низколактозных кисломолочных продуктов из вторичного молочного сырья.

Литература

- 1 Шуляк, Т.Л. Создание кисломолочных напитков из пахты с пониженным содержанием лактозы / Т.Л. Шуляк, Н.Ф. Гуша, В.П. Тишкевич // Перспективи розвитку м'ясної, молочної та олієжированої галузей у контексті євроінтеграції: програма та матеріали четвертої міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 24–25 березня 2015 р. / Національний університет харчових технологій.– Київ: НУХТ, 2015. – С. 90–91.
- 2 Шуляк, Т.Л. Подбор пищевых ингредиентов для производства низколактозного йогурта / Т.Л. Шуляк, Н.А. Копанец // Пищевые технологии и биотехнологии: сб. тез. докл. XIV Междунар. конф. молодых ученых, Казань, 13–14 мая 2015г. / ФГБОУВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет». – Казань: Изд-во «БРИГ», 2015. – С. 177.
- 3 Урьев, Н.Б. Физико-химическая механика и интенсификация образования пищевых масс / Н.Б. Урьев, М.А. Талейник. – М: Пищевая промышленность, 1976. – 240 с.
- 4 Косой, В.Д. Инженерная реология биотехнологических сред / В.Д. Косой, Я.И. Виноградов, А.Д. Малышев. – СПб: ГИОРД, 2005. – 648 с.
- 5 Мак Кенна, Б.М. Структура и текстура пищевых продуктов. Продукты эмульсионной природы / Б.М. Мак Кенна (ред.): пер. с англ. под науч. ред. Ю.Г. Базарновой. – СПб: Профессия, 2008. – 480 с.
- 6 Горбатова, К.К. Физико-химические и биохимические основы производства молочных продуктов / К.К. Горбатова. – СПб.: ГИОРД, 2003. – 352 с.

Поступила в редакцию 24.12.2015