

ФОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ КИСЛОМОЛОЧНЫХ НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТОВ УЛЬТРАЗВУКА

В.В. Ботвинникова¹, О.Н. Красуля²

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

² Московский государственный университет технологий и управления
имени К.К. Разумовского (Первый Казачий Университет), г. Москва

В современных промышленных технологиях значительная роль отводится нетрадиционным способам обработки, которые выполняют разнообразные функции – способствуют интенсификации производства, улучшают функциональные свойства продовольственного сырья и полученных на его основе пищевых продуктов, повышают их хранимоспособность, позволяют внедрять ресурс- и энергосберегающие технологии. Известны способы сверхвысокочастотной обработки в непрерывном и импульсном режиме, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, электроконтактный нагрев, обработка в электростатическом поле и пр. Сегодня методы ультразвукового воздействия (УЗВ) определены мировым научным сообществом как особенно перспективная технология для пищевой промышленности в целом и молочной отрасли в частности. Доказано, что механические и химические эффекты, генерируемые низкочастотным ультразвуком высокой интенсивности, могут быть полезны для инактивации патогенных микроорганизмов в пищевых продуктах и находят применение в процессах пастеризации и стерилизации жидких пищевых продуктов. Ультразвуковая технология ускоряет процесс экстрагирования биологически активных веществ из сырья, а в сочетании с сорбционными процессами способствует снижению уровня техногенных загрязнений в молоке. Основная идея реализации эффектов, наблюдаемых при ультразвуковом воздействии в пищевой промышленности, состоит в том, что эффекты кавитации вызывают изменения функционально-технологических свойств жидких пищевых систем (химических, технологических, физических, органолептических и т. д.), что способствует достижению определенного технологического эффекта. Технология сонохимической водоподготовки может быть реализована в технологии кисломолочных продуктов. Авторами теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность применения кавитационной дезинтеграции на основе УЗВ в технологии производства кефира и кефирных напитков с целью улучшения их потребительских свойств. Установлены оптимальные режимы УЗВ, улучшающие технологические свойства молочного сырья на фоне дисперсных изменений.

Ключевые слова: кисломолочные продукты, интенсификация производства, ультразвуковая кавитация, кефир и кефирные напитки.

Актуальность темы исследования. Доступ к безопасному и здоровому питанию – основное право человека. Достаточность питания, согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), не сводится только к проблеме голода в развивающихся странах, а существует во всех регионах среди различных социально-экономических слоев населения. Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года, Указ Президента Российской Федерации «О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения», «Стратегия раз-

вития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года», утвержденная распоряжением Правительства РФ № 559-р от 17 апреля 2012 г., ставят задачи по реализации мероприятий, направленных на формирование здорового образа жизни граждан РФ, включая популяризацию культуры здорового питания.

Большой вклад в разработку перспективных технологий производства функциональных молочных продуктов питания и исследование их свойств внесли отечественные ученые: А.Г. Храмцов, В.Д. Харитонов, З.С. Зобкова, Л.А. Остроумов, Ю.Я. Свириденко, Н.А.

Тихомирова, В.И. Ганина, Н.Б. Гаврилова, А.А. Майоров, А.Ю. Просеков, Л.А. Забодатова, И.А. Смирнова, Д.М. Захарова и другие.

Успешная реализация поставленных задач в технологии производства молочных продуктов, направленных на получение продукции с высокими качественными показателями и заданными функциональными свойствами, возможна на основе применения инновационных подходов. Особую актуальность приобретают вопросы научно-обоснованного рационального использования технологий с применением современных электрофизических способов воздействия, в том числе ультразвуковых.

Одним из перспективных подходов к решению различных технологических задач в пищевой отрасли является ультразвуковое кавитационное воздействие на гетерогенные пищевые среды с жидкой фазой. Применение ультразвуковых кавитационных технологий, по сравнению с известными физическими способами, имеет ряд существенных преимуществ, обусловленных совокупностью специфических эффектов, которые оказывают комплексное действие, направленное на интенсификацию процесса. Создание современных высокоэффективных пьезокерамических материалов стало толчком к разработке надежных, малогабаритных и простых в эксплуатации аппаратных средств для реализации технологии [4, 6, 7, 17].

Возможности использования ультразвука различной мощности и обоснование его применения в технологиях пищевых производств представлены в работах В.А. Акуличева, А.Г. Галстяна, С.Д. Шестакова, О.Н. Красули, И.Ю. Потороко, М. Ashokkumar, Bogdan Zisu, Jian-Yong Wu, Pablo Juliano, T.G. Leighton, K.S. Suslick, F. Grieser и других ученых.

Сочетание ультразвукового и микроволнового воздействия позволяет обеспечить ресурсо- и энергосбережение в технологических процессах производства на основе интенсификации и эффективности химических и биохимических процессов. Высокая эффективность и перспективность УЗ воздействия доказана многочисленными исследованиями для широкого спектра технологических сред (вода, органические растворители, масла, экстракты и т. д.), которые в ряде случаев могут содержать твердую или жидкую дисперсную фазу микронного (1...100 мкм) или субмикронного (0,01...1 мкм) размера (эмульсии, суспензии) [4, 20, 21, 23].

Австралийскими учеными Muthupandian Ashokkumar, Pablo Juliano, Bogdan Zisu предлагается применять эффекты кавитации для инкапсуляции функциональных компонентов и их переноса. Это новый подход в формировании функциональных свойств продукции, с учетом потребительских вкусовых предпочтений [19]. Французскими учеными – проф. Farid Chemat и проф. Jochen Strubem – доказана применимость ультразвукового воздействия в технологии натуральных продуктов на основе процессов эко-экстракции. Исследования сосредоточены на инновационных методах извлечения нутриентов из растительного сырья различной природы, основанных на сочетании микроволновых и ультразвуковых воздействий. Показана применимость данного подхода для технологий продуктов питания, а также в фармацевтике и парфюмерно-косметических производствах [14].

Берником И.Н. предложена ультразвуковая кавитационная технология извлечения пектина из растительного сырья и оборудования для ее реализации. Показана применимость данного исследования для извлечения пектина из яблочных выжимок [1]. Исследования, проведенные Быковым А.В., Межуевой Л.В., Мирошниковым С.А., Быковой Л.А. и др. (Оренбургский государственный университет), подтверждают способность кавитационной обработки для получения некрахмалистых полисахаридов на основе разрушения стенок растительных клеток. Это, в свою очередь, повышает доступность жира, протеина и крахмала, содержащихся в клетках, для воздействия ферментов пищеварительного тракта [2].

Учеными Бийского технологического института (В.Н. Хмелев, В.П. Севедин, В.И. Шестернин и др.) предложено использование ультразвука в процессе производства виноградных вин из ранних сортов винограда, культивируемых в Алтайском крае, на основе ультразвуковой и ферментативной обработки мезги. Данный подход способствовал накоплению полифенолов и антоцианов в винома-териалах. Аналогичные результаты получены в исследованиях Фаткуллина Р., связанных с производством напитков из натурального сырья – ягод клюквы [2].

Красулей О.Н., Богуш В.И., Цирульниченко Л.А. доказана применимость кавитационной дезинтеграции рассолов при производстве мясных продуктов и продуктов переработки мяса птицы, что позволяет обеспечить

высокую эффективность процессов гидратации белков и безопасность полученной на основе УЗВ продукции (колбаса и мясные полуфабрикаты) [8, 10].

Некоторые работы (Тихомировой Н.А., Поповой Н.В., Потороко И.Ю. и др.) содержат сведения, показывающие положительное влияние ультразвука на процессы производства молочных продуктов на основе восстановления сухого молочного сырья и свойства готовых продуктов [3, 5, 10].

Вместе с тем, влияние ультразвуковых технологий на процесс интенсификации производства кисломолочных продуктов, а также уровень накопления функциональных компонентов в них изучены недостаточно, что обуславливает особую значимость исследований, определяет цель и задачи исследования.

Целью настоящей работы является поиск методов модификации технологии производства кисломолочных напитков, направленных на улучшение их потребительских свойств за счет применения ультразвуковых воздействий (УЗВ).

Объекты и методы исследования. На первом этапе работы объектами исследования служили образцы кисломолочной продукции (кисломолочные напитки – кефир, кефирные напитки, ряженка, питьевые йогурты), реализуемые на потребительском рынке Уральского региона.

На втором этапе работы объектами исследования являлись модельные образцы кисломолочных напитков, подготовленные в лабораторных условиях по традиционной и модифицированной с применением УЗВ технологиям:

– кефир, полученный с применением закваски кефирного грибка (ККГ);

– кисломолочный напиток на основе комбинированной закваски (ККГ+КЗ).

Для ультразвуковой обработки применялся аппарат ультразвуковой технологический «Волна» модель УЗГА-0,4/22-ОМ (частота механических колебаний – $(22 \pm 1,65)$ кГц, максимальная потребляемая мощность – 400 Вт, диапазон регулирования мощности – 30–100 % с объемом кюветы 250 мл). Каждому из объектов исследования были определены условия ультразвукового воздействия с учетом вариаций по мощности (120 Вт – 30 % от паспортной, 180 Вт – 45 % от паспортной, 240 Вт – 60 % от паспортной).

Результаты исследования и их обсуждение. С целью проведения анализа ассортимента кисломолочных напитков, представленных на потребительском рынке г. Челябинска, установления отношения потребителей к функциональным продуктам, проведены исследования в торговой сети супермаркетов методами витринных наблюдений и опроса целевой группы потребителей. Выборка составила 750 человек (респонденты в возрасте от 20 до 70 лет) на основе ISO 20252–2012 «Market, opinion and social research – Vocabulary and service requirements».

Анализ приоритетности выбора молочной продукции по комплексу оценочных факторов (рис. 1) показал, что определяющими критериями выбора для 90 % потребителей является свежесть продукта, далее большая часть потребителей ориентируется на органолептические характеристики продукта, такие как вкус и запах, консистенция, внешний вид (88, 76 и 54 % от числа опрошенных соответственно), и 69 % опрошенных среди наиболее значимых критериев, на которые они обращают внимание при выборе кефира, отмечают производителя продукта.

Потребители молочных продуктов, сохраняя свои приоритеты, достаточно часто (в 2–3 случаях из 10) ощущают некоторую неудовлетворенность (рис. 2) в их качестве. Так, почти 50 % потребителей неудовлетворенно вкусом и консистенцией продукции, более 60 % хотят быть уверенными в составе и пищевой ценности потребляемых напитков. Для 24 % опрошиваемых необходимы гарантии показателя свежести, а для 34 % – их безопасности, около 43 % потребителей молочной продукции волнует наличие в продукции сухих молочных компонентов, о чем, как правило, заявлено на маркировке.

В целях выявления наиболее часто встречающихся несоответствий качества кисломолочных продуктов было проведено исследование кисломолочных напитков (кефир, ряженка, питьевые йогурты), реализуемых на потребительском рынке в разных областях Уральского региона. Результаты органолептической оценки качества кисломолочных напитков установлены в диапазоне от 2,4 до 3,6 баллов при максимальном значении 5 баллов. Выявлены незначительные отклонения по физико-химическим показателям (табл. 1), однако установлена тенденция изменения

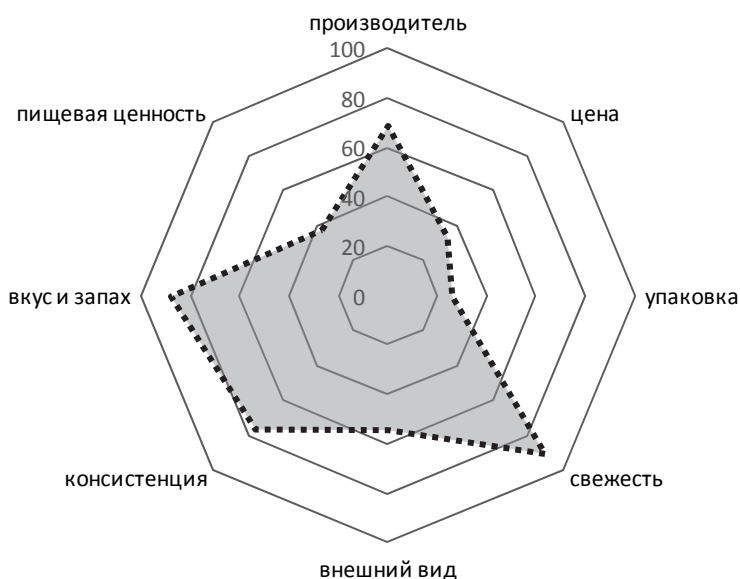


Рис. 1. Вектор распределения приоритетов респондентов, определяющих выбор молочной продукции, %

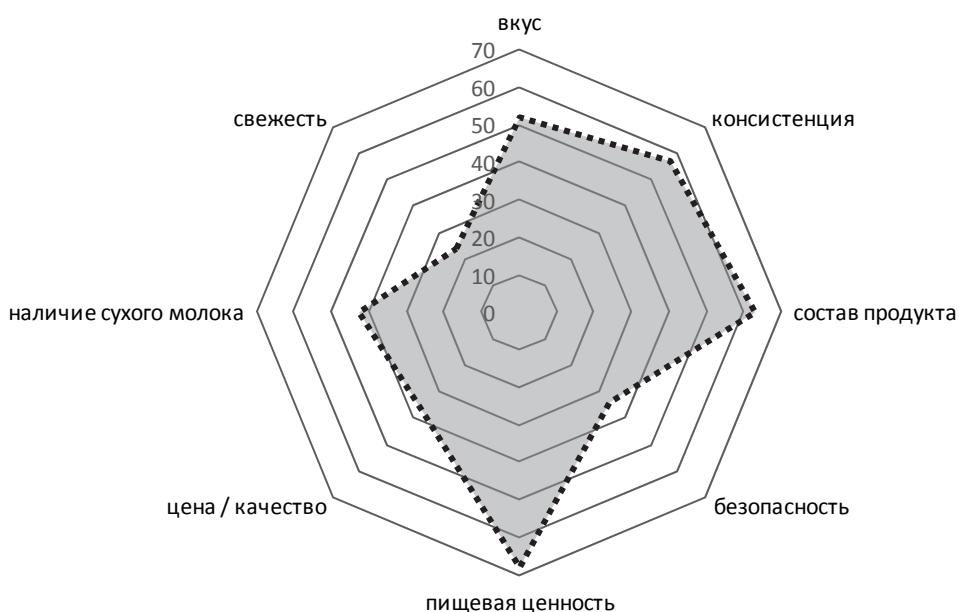


Рис. 2. Вектор распределения неудовлетворенности потребителей качеством молочной продукции (для Уральского региона), %

значений показателей в зависимости от территории получения продукта. Показатель эффективной вязкости разрушенных структур (η_p) для кефиров, произведенных в Курганской области находился в диапазоне $8,1 \dots 9,4 \cdot 10^{-3}$ Па·с; в Свердловской области – $12,3 \dots 15,9 \cdot 10^{-3}$ Па·с; в Челябинской области – $17,9 \dots 25,3 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Сопоставляя эти данные с результатами оценки синергетических

свойств, которые выражаются в объеме отделенного количества сыворотки, можно отметить отсутствие прямой корреляции между показателем вязкости и показателем синерезиса. Однако масса сухого обезжиренного остатка выше у кефиров, производимых в Челябинской области, что свидетельствует о возможной рекомбинации молочного сырья, не заявленной на этикетке.

Таблица 1

Результаты оценки физико-химических показателей качества кефира, йогурта и ряженки, реализуемых в Уральском регионе

Наименование показателя	Норма	Действительные значения показателей качества напитков, реализуемых в Уральском регионе		
		Челябинская область	Курганская область	Свердловская область
Кефир, массовая доля жира 2,5 % (ГОСТ Р 52093–2003)				
Кислотность, Т	85...130	81,9...115,3	86,2...103,5	94,2...122,7
СОМО, %		9,12...9,42	8,62...8,97	8,94...9,34
Синерезис, мл сыворотки		45...52	47...59	47...58
Ряженка, массовая доля жира 4,0 % (ГОСТ Р 52094–2003)				
Кислотность, Т	70...110	80,7...91,9	82,6...89,8	85,5...93,2
СОМО, %		8,18...8,32	8,68...8,96	8,53...8,89
Синерезис, мл сыворотки		50...61	54...59	55...62
Йогурты питьевые 2,5% (ГОСТ 31981–2013)				
Кислотность, Т	75...140	87...113	101...116	96...110
СОМО, %		8,7...9,2	8,5...9,3	8,7...9,5
Синерезис, мл сыворотки		53...56	45...54	49...53

Базируясь на результатах научных исследований отечественных и зарубежных ученых в качестве воздействующего фактора применили ультразвуковое воздействие, которое порождает эффекты кавитации. Этот подход был определен в качестве основной рабочей гипотезы на последующих этапах исследований [9, 11, 12, 13, 15, 20, 23].

В результате органолептической оценки было установлено, что применение УЗВ благоприятно влияет на консистенцию и внешний вид сгустков, но степень влияния на структуру и однородность сгустка различна, так, наиболее прочными были сгустки ККГ при режиме УЗВ 3-60 и сгустки ККГ и ККГ+КЗ при режиме УЗВ 3-45.

Также было отмечено наличие приятного запаха, характерного для кефира, ярко выраженный кисломолочный вкус, однородная консистенция. Образцы кефира, полученные с применением смеси заквасок, имели менее выраженный аромат. Применение ультразвуковой кавитации повлияло на вязкость и устойчивость сгустка к самопроизвольному уплотнению структуры (рис. 3).

Скорость отделения сыворотки от сгустка была различной в первые 30 мин наблюдений.

Средний прирост объема составлял для контроля от 5,5 мл до 9 мл. Сгустки с режимом обработки УЗВ 3-60 сначала активно отдавали влагу, а затем интенсивность истечения сыворотки снижалась. Применение УЗВ в режиме 3-30 позволяет для кефира на кефирном грибок снизить отделение сыворотки в 1,4 раза, а для ККГ+КЗ в 1,5 раз, что обеспечивает высокие реологические свойства напитков.

При микроскопировании экспериментальных образцов наблюдалась типичная для данных видов заквасок микрофлора, посторонних микроорганизмов не обнаружено. Вместе с тем выявлено, что сгустки ККГ характеризуются однородной консистенцией с меньшими агрегатами молочного белка и большим количеством комплексов белка небольшого размера по сравнению с образцами ККГ+КЗ. В целом, результаты эксперимента дают возможность сделать вывод, что УЗВ поддерживает жизнеспособность молочнокислых микроорганизмов и дрожжей на регламентированном уровне.

Наибольший прирост биомассы кефирного грибка наблюдался при режиме УЗВ 3-60, что согласуется с результатами микроскопического наблюдения. Активизация процесса роста

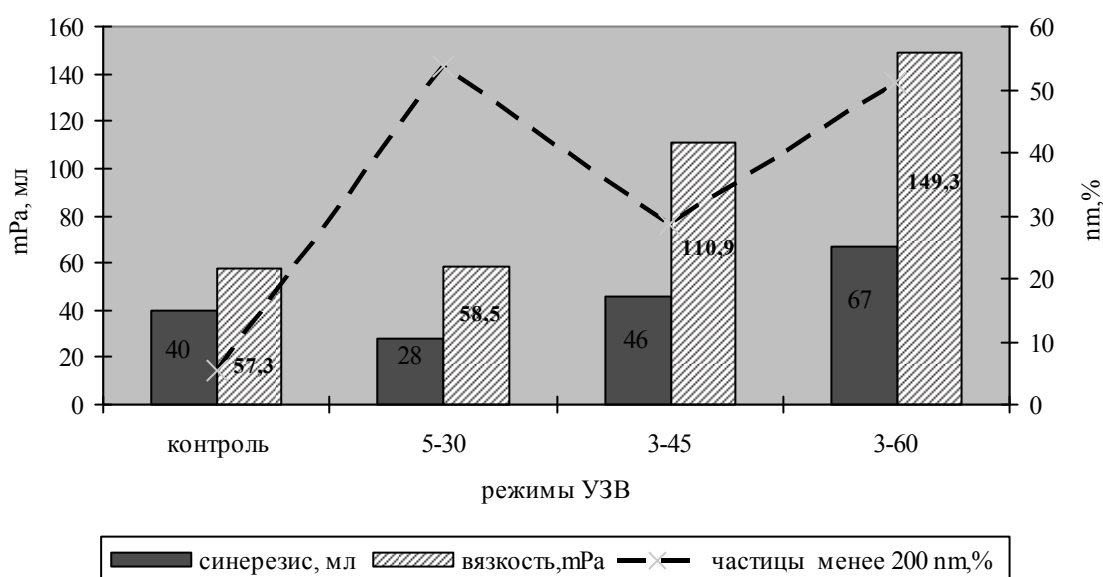


Рис. 3. Соотношение показателей вязкости и синерезиса сгустков кефира с учетом дисперсного состава исходного молока при различных режимах УЗВ

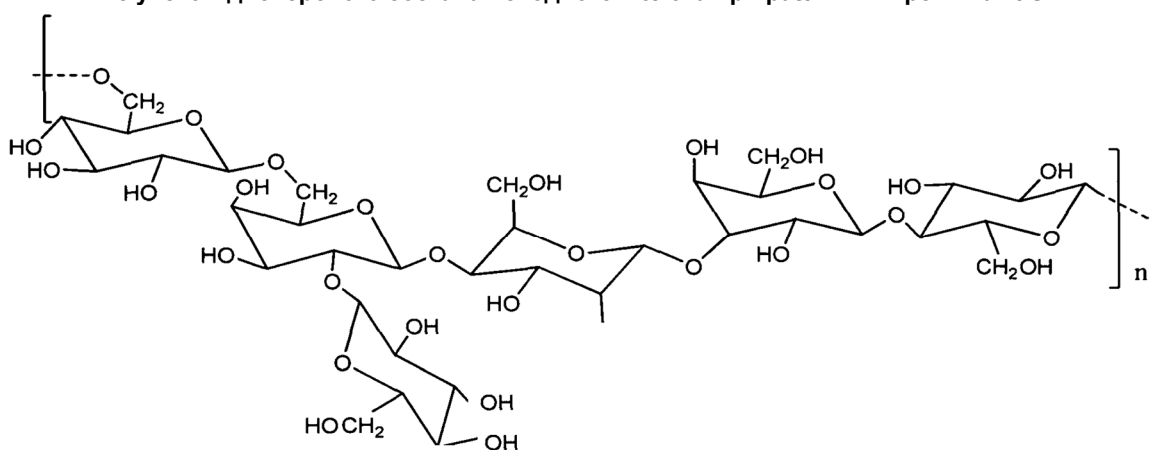


Рис. 4. Структурная формула кефирана

кефирного грибка сопровождается накоплением продуктов метаболизма, в частности экзополисахарида – кефирана (рис. 4), обладающего высокой степенью функциональности.

Кефиран – это водорастворимый экзополисахарид, продуцируемый *Lactobacillus kefiranofaciens*, *L. kefirgranum*, *L. parakefir*, *L. kefir* and *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*. Кефиран состоит примерно в равных пропорциях из D-глюкозы и D-галактозы. Микроскопические исследования кефирных зерен показывают, что кефиран инкапсулирует на уксуснокислых бактериях и дрожжах, вовлеченных в процесс брожения. Он синтезируется на поверхности наружной мембраны клетки, причем образует когезионно связанный слой в

виде полисахаридной капсулы, обеспечивая поверхности клетки гидрофильные свойства [16, 18, 22].

Установлено, что динамика его накопления находится в прямой зависимости от режимов УЗ В и активности заквасочных культур. Так, в ККГ количество кефирана составляет 164,24...204,94 мг/л, а в напитках, полученных на основе комбинированной закваски (ККГ+КЗ), кефирана продуцируется меньше – 187,7...190,7 мг/л.

Значения показателя вязкости кисломолочных напитков варьировалось в диапазоне 58,5...149 мПа в образцах кефира на кефирном грибке и в диапазоне от 74,3...100,19 мПа в образцах ККГ+КЗ.

Математическая обработка полученных данных позволила получить следующие уравнения регрессии для ККГ:

$$Y_1 = -0,065 \cdot x_1^2 - 6,968 \cdot x_2^2 - 0,15 \cdot x_1 \cdot x_2 + 7,949 \cdot x_1 + 50,097 \cdot x_2 - 182,036; \quad (1)$$

$$Y_2 = -8,341 \cdot 10^{-3} \cdot x_1^2 - 5,549 \cdot x_2^2 - 3,667 \cdot 10^{-3} \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,071 \cdot x_1 + 35,613 \cdot x_2 + 106,613 \quad (2)$$

и ККГ+КЗ

$$Y_3 = -0,096 \cdot x_1^2 - 5,968 \cdot x_2^2 - 0,016 \cdot x_1 \cdot x_2 + 8,938 \cdot x_1 + 38,236 \cdot x_2 - 155,536; \quad (3)$$

$$Y_4 = -0,013 \cdot x_1^2 - 4,965 \cdot x_2^2 - 0,087 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,429 \cdot x_1 + 34,892 \cdot x_2 + 104,83, \quad (4)$$

адекватно описывающие процесс изменения вязкости (Y_1 , Y_3) и накопления кефирана (Y_2 , Y_4) в зависимости от мощности (X_1) и длительности (X_2) УЗВ, а также установить оптимальные режимы воздействия.

Учитывая технические возможности настройки аппарата, оптимальными режимами УЗВ можно считать следующие: для максимального накопления экзополисахарида кефирана и обеспечения вязкости ККГ – 3-60; ККГ+КЗ – 3-45.

Заключительным этапом исследований по оценке эффективности технологических процессов производства кисломолочных напитков с применением УЗВ, ориентированных на формирование заданных потребительских свойств, является оценка продукции потенциальными потребителями дескриптивно-профильным методом (QDA). По результатам фокус-дегустаций сформирован ожидаемый потребителем вкусовой портрет «идеального» кисломолочного продукта (приемлемый диапазон 4–9). Обобщенные результаты потребительской оценки, представленные в табл. 2, указывают на то, что большая часть образцов,

полученных с применением закваски кефирного грибка, включая контрольные, укладываются в диапазон ожидаемой приемлемости значений показателей.

Однако сенсорные оценки (вкус, запах, консистенция) кефира, полученного на основе кефирного грибка, с применением ультразвукового воздействия в режиме 3-60, имеют более высокие значения ($8,4 \pm 0,3 \dots 8,5 \pm 0,6$ баллов), чем образцы, полученные при режиме УЗВ 3-45 ($7,6 \pm 0,5 \dots 8,2 \pm 0,8$ баллов). Образцы кефира на основе комбинированной закваски (контрольный и после воздействия ультразвуком при режиме 5-30) по всем трем сенсорным характеристикам были оценены ниже значений приемлемого диапазона – ($2,0 \pm 0,3 \dots 3,3 \pm 0,8$) баллов. Но в образцах, выработанных при режиме УЗВ 3-45, всеми дегустаторами было отмечено улучшение сенсорных характеристик. На наш взгляд, это означает, что УЗВ может выступать фактором, формирующим приемлемые сенсорные характеристики, даже в случае малой активности комбинированных заквасок.

Основные выводы. Для потребителей молочных продуктов значимым фактором их выбора является надежность производителя, гарантирующего качество и полезность своей продукции.

Установлена высокая вариабельность качества кисломолочных напитков, реализуемых на потребительском рынке Уральского региона, обусловленная следующими факторами информационной неопределенности.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность применения кавитационной дезинтеграции как эффекта УЗВ в технологии производства ке-

Таблица 2
Потребительская оценка кисломолочных напитков, полученных на основе УЗВ с разными заквасочными культурами

Условное обозначение образцов	Значения сенсорных характеристик, балл		
	Вкус и запах	Текстура	Приемлемость
ККГ (6/0)	$5,8 \pm 0,3$	$6,8 \pm 0,3$	$5,2 \pm 0,4$
ККГ (5-30)	$7,6 \pm 0,2$	$7,4 \pm 0,4$	$7,8 \pm 0,3$
ККГ(3-45)	$8,2 \pm 0,8$	$7,3 \pm 0,5$	$7,6 \pm 0,5$
ККГ (3-60)	$8,5 \pm 0,6$	$8,6 \pm 0,4$	$8,4 \pm 0,3$
ККГ+КЗ (6/0)	$2,8 \pm 0,3$	$2,8 \pm 0,4$	$2,6 \pm 0,6$
ККГ+КЗ (5-30)	$3,3 \pm 0,8$	$2,0 \pm 0,3$	$2,2 \pm 0,9$
ККГ+КЗ (3-45)	$6,1 \pm 0,1$	$7,5 \pm 0,3$	$6,1 \pm 0,6$
ККГ+КЗ (3-60)	$6,3 \pm 0,2$	$6,5 \pm 0,4$	$6,1 \pm 0,9$

фира и кефирных напитков. Установлены следующие оптимальные режимы УЗВ: для кисломолочных напитков, полученных на основе кефирного грибка – 3-60; для кисломолочных напитков, полученных с применением комбинированной закваски – 3-45. Установленные оптимальные режимы УЗВ позволяют улучшить потребительские свойства готовых кисломолочных напитков и интенсифицируют накопление полисахарида кефирана на 8 – 18 %, который предложено использовать в качестве интегрального показателя физиологической ценности кисломолочных напитков.

Результаты потребительской оценки указывают на то, что оптимальным является применение в технологии кисломолочных напитков, полученных на основе: кефирного грибка – УЗВ мощностью 240 Вт в течение 3 минут, комбинированной закваски – УЗВ мощностью 180 Вт длительностью 3 минуты.

Перспективы дальнейшей разработки темы. С учетом теории подобия кавитационных реакторов, разработанной профессором С.Д. Шестаковым, все установленные в ходе исследования режимы УЗВ могут быть применены для промышленных ультразвуковых установок.

Литература

1. Берник, И.Н. Гидролиз-экстракция пектиновых веществ растительного сырья с использованием механических колебаний / И.Н. Берник // *Вибрации в технике и технологиях*. – 2008. – № 2 (51). – С. 90–93.
2. Быков, А.В. Перспективы использования кавитационного гидролиза некрахмальных полисахаридов / А.В. Быков, Л.В. Межуева, С.А. Мирошников, Л.А. Быкова, В.М. Тыщенко // *Вестник ОГУ*. – 2011. – № 4 (123).
3. Попова, Н.В. Инновации в технологии восстановления сухого молока как фактор управления качеством восстановленных продуктов переработки молока / Н.В. Попова // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент»*. – 2013. – Вып. 7, № 4. – С. 181–186.
4. Потороко, И.Ю. Влияние электрофизических методов воздействия на микроструктуру дисперсной среды коровьего молока / И.Ю. Потороко, И.В. Калинина // *Сборник научных трудов Sworld*. – 2010. – Т. 6, № 4. – С. 74–75.
5. Потороко, И.Ю. Теоретическое и экспериментальное обоснование возможности использования электрофизического воздействия в формировании потребительских свойств восстановленных молочных продуктов / И.Ю. Потороко, Н.В. Попова // *Товаровед продовольственных товаров*. – 2013. – № 1. – С. 17–21.
6. Тихомирова, Н.А. Технология и организация производства молока и молочных продуктов / Н.А. Тихомирова. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 560 с.
7. Хмелев, В.Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: научная монография / В.Н. Хмелев, О.В. Попова // *Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова*. – Барнаул: Изд. АлтГТУ, 1997. – 160 с.
8. Потороко, И.Ю. Исследование кинетических закономерностей посола мяса птицы с использованием кавитационно активированных жидких сред / И.Ю. Потороко, Л.А. Цирульниченко // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые биотехнологии»*. – 2014. – Том 2, № 3. – С. 21–28.
9. Шестаков, С.Д. Математическая модель и критерий подобия кавитации в сонореакторах. Текст / С.Д. Шестаков, А.Е. Краснов, П.А. Городищенский // *Прикладная физика*. – 2012. – № 1. – С. 31–39.
10. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – 152 с.
11. Akbari Mousavi, S.A.A.. Investigations on the effects of ultrasonic vibrations in the extrusion process. *J. Materials Proc. Tech/ S.A.A. Akbari Mousavi, H. Feizi, R. Madoliat*. – 2007. – 187–188, 657–661 p.
12. Bates, D.M., Bagnall, W.A., & Bridges, M.W. Method of treatment of vegetable matter with ultrasonic energy (US patent application 20060110503), 2006.
13. Cogan, T.M. The utilization of citrate by lactic acid bacteria in milk and cheese/ T.M. Cogan// *Dairy Ind. Int.* – 1976. – V. 41. – № 1. – P. 12–16.
14. Farid Chemat and Jochen Strube Green extraction of natural products. *Theory and practice*. 2015, Wiley-VCH, Germany; 363 p.
15. Fox, P.F. Milk proteins: molecular, colloidal and functional properties/ P.F. Fox, D.M. Mulvihill// *J. Dairy Res.* – 1982. – V. 49. – № 4. – P. 679–693.

16. Kwon O.K., Ahn K.S., Lee M.Y., Kim S.Y., Park B.Y., Kim M.K., Lee I.Y., Oh S.R., Lee H.K. Inhibitory effect of kefiran on ovalbumin-induced lung Inflammation in a murine model of asthma // *Arch. Pharm. Res.* – 2008. – Vol. 31, № 12. – P. 1590–1596.
17. Lahey, R. Sonofusion technology revisited/ R. Lahey, R. Taleyarkhan and R. Nigmatulin// *Nuclear Eng. and Design.* – 2007. – V. 237. – P. 1571–1585.
18. Maeda, H. Structural characterization and biological activities of an exopolysaccharide kefiran produced by *Lactobacillus kefiranofaciens* WT-2BT / H. Maeda, X. Zhu, S. Suzuki, K. Suzuki, S. Kitamura // *J. Agric. Food Chem.* – 2004. – Vol. 52. – P. 5533–5538.
19. Muthukumaran, S. Application of Ultrasound in Membrane Separation processes: A Review/ S. Muthukumaran, S.E. Kentish, G.W. Stevens, M. Ashokkumar// *Rev. Chem. Eng.* – 2006. – Vol. 22. – P. 155–194.
20. Suslick, K.S. In *Ultrasound: Its Chemical, Physical, and Biological Effects*/ K.S. Suslick// VCH Publishers, New York, 1998.
21. Sweetsur A.W. Effect of homogenization on the heat stability of milk / A.W. Sweetsur, D.D. Murr // *J. Dairy Res.* – 1983. – V. 50. – № 3. – P. 291–300.
22. Vinderola, G. Effects of the oral administration of the exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefiranofaciens* on the gut mucosal immunity/ G. Vinderola, G. Perdigon, J. Duarte, E. Farnworth, C. Matar // *Cytokine.* 2006; 36: 254–260.
23. Wu, H. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter/ H. Wu, G.J. Hulbert, J.R. Mount// *Innovative Food Science & Emerging Technologies.* – 2000. – 1. – 211–218 p.

Ботвинникова Валентина Викторовна. Старший преподаватель кафедры «Экспертиза и управление качеством пищевых производств» Института экономики, торговли и технологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), valens_b@mail.ru.

Красуля Ольга Николаевна. Доктор технических наук, профессор, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского» (Первый казачий университет) (г. Москва), okrasulya@mail.ru.

Поступила в редакцию 12 ноября 2015 г.

DOI: 10.14529/food150405

FORMULATION OF CONSUMER PROPERTIES OF FERMENTED MILK PRODUCTS ON THE BASIS OF ULTRASOUND EXPOSURE

V.V. Botvinnikova¹, O.N. Krasulya²

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovskiy, Moscow, Russian Federation

Unconventional methods of processing, which fulfill different functions, namely, facilitate intensification of production, improvement of functional properties of food stock and obtained on its basis food products, improve their storage stability, help to introduce resource and energy-saving technology, play a significant role in the modern industrial technology. The methods of high-frequency processing in the continuous and pulse mode, UV and IR radiation, electric-contact heating, processing in the electrostatic field are well known. Today the methods of ultrasonic exposure are identified by the world scientific community as a particularly advanced technology for the food industry in whole and the milk industry in particular. The author proves that mechanical and chemical effects, generated by low-frequency ultrasound of high intensity,

may be useful for destroying of pathogenic microorganisms in food products and find a use in the processes of pasteurization and sterilization of fluid foods. The ultrasonic technology facilitates the extraction process of biologically active substances from raw materials, and in combination with sorption processes furthers the reduction of the level of technogenic pollution in milk. The main idea of realization of effects, observed during the ultrasonic exposure in the food industry is that cavitation effects produce changes of functional and technological properties of fluid foods (chemical, technological, physical, organoleptic), that in its turn facilitates the achievement of a specified operational benefit. The technology of sonochemical water treatment may be realized in the technology of fermented milk products. The authors theoretically justify and experimentally confirm the applicability of cavitation disintegration on the basis of ultrasonic impact in the technology of kefir production in order to improve their consumer properties. The optimal modes of ultrasonic exposure which improve technological properties of milk products against disperse changes are specified.

Keywords: fermented milk products, intensification of production, ultrasonic cavitation, kefir and kefir products.

References

1. Bernik I.N. Gidroliz-ekstraktsiya pektinovykh veshchestv rastitel'nogo syr'ya s ispol'zovaniem mekhanicheskikh kolebaniy [Hydrolysis-extraction of pectic substances of plant products with the use of mechanical oscillations]. *Vibratsii v tekhnike i tekhnologiyakh* [Vibrations in methods and technology], 2008, no. 2 (51), pp. 90–93.
2. Bykov A.V., Mezhueva L.V., Miroshnikov S.A., Bykova L.A., Tyshchenko V.M. Perspektivy ispol'zovaniya kavitatsionnogo gidroliza nekrakhlmal'nykh polisakharidov [Prospects of using cavitation hydrolysis of non-starch polysaccharides]. *Vestnik OGU* [Bulletin of OSU], 2011, no. 4 (123).
3. Popova N.V. Innovations in milk powder recovery technology as a factor of quality management for reduced products of milk processing. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2013, vol. 7, no. 4, pp. 181–186. (in Russ.)
4. Potoroko I.Yu., Kalinina I.V. Vliyanie elektrofizicheskikh metodov vozdeystviya na mikrostrukturu dispersnoy sredy korov'ego moloka [Influence of electrophysical methods of effect on the microstructure of disperse medium of cow milk]. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld* [Collection of scientific works Sworld], 2010, vol. 6, no. 4, pp. 74–75.
5. Potoroko I.Yu., Popova N.V. Teoreticheskoe i eksperimental'noe obosnovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya elektrofizicheskogo vozdeystviya v formirovani potrebitel'skikh svoystv vosstanovlennykh molochnykh produktov [Theoretical and experimental justification of applicability of electrophysical influence in the formation of consumer properties of rehydrated milk products]. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov* [Commodity expert of food products], 2013, no. 1, pp. 17–21.
6. Tikhomirova N.A. *Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva moloka i molochnykh produktov* [Technology and organization of milk and milk products manufacture]. Moscow, DeLi print Publ., 2007. 560 p.
7. Khmelev V.N., Popova O.V. *Mnogofunktsional'nye ul'trazvukovye apparaty i ikh primenenie v usloviyakh malyykh proizvodstv, sel'skom i domashnem khozyaystve* [Multifunctional ultrasonic devices and their use in terms of small business, agriculture and household]. Barnaul, 1997. 160 p.
8. Potoroko I.Yu., Tsurul'nichenko L.A. Analysis of kinetic regularities of poultry curing with the use of cavitating active liquid media. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2014, vol. 2, no. 3, pp. 21–28. (in Russ.)
9. Shestakov S.D., Krasnov A.E., Gorodishchenskiy P.A. Matematicheskaya model' i kriteriy podobiya kavitatsii v sonoreaktorakh [Mathematical model and similarity criterion in sonoreactors]. *Prikladnaya fizika* [Applied physics], 2012, no. 1, pp. 31–39.
10. Shestakov S.D., Krasulya O.N., Bogush V.I., Potoroko I.Yu. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya obrabotki pishchevykh sred s ispol'zovaniem kavitatsionnoy dezintegratsii* [Technology and equipment for processing of food media using cavitation disintegration]. Moscow, GIOR Publ., 2013. 152 p.
11. Akbari Mousavi S.A.A., Feizi H., Madoliat R. Investigations on the effects of ultrasonic vibrations in the extrusion process. *J. Materials Proc. Tech.*, 2007, pp. 187–188, 657–661. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2006.11.168
12. Bates D.M., Bagnall W.A., & Bridges M.W. *Method of treatment of vegetable matter with ultrasonic energy* (US patent application 20060110503), 2006.
13. Cogan T.M. The utilization of citrate by lactic acid bacteria in milk and cheese. *Dairy Ind. Int.*, 1976, vol. 41, no. 1, pp. 12–16.

14. Farid Chemat and Jochen Strube. *Green extraction of natural products. Theory and practice*, 2015, Wiley-VCH, Germany; 363 p. DOI: 10.1002/9783527676828
15. Fox P.F., Mulvihill D.M. Milk proteins: molecular, colloidal and functional properties. *J. Dairy Res*, 1982, vol. 49, no. 4, pp. 679–693. DOI: 10.1017/S0022029900022822
16. Kwon O.K., Ahn K.S., Lee M.Y., Kim S.Y., Park B.Y., Kim M.K., Lee I.Y., Oh S.R., Lee H.K. Inhibitory effect of kefiran on ovalbumin-induced lung Inflammation in a murine model of asthma. *Arch. Pharm. Res.*, 2008, vol. 31, no. 12, pp. 1590–1596. DOI: 10.1007/s12272-001-2156-4
17. Lahey R., Taleyarkhan R. and Nigmatulin R. Sonofusion technology revisited. *Nuclear Eng. and Design*, 2007, vol. 237, pp. 1571–1585. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2006.12.014
18. Maeda H., Zhu X., Suzuki S., Suzuki K., Kitamura S. Structural characterization and biological activities of an exopolysaccharide kefiran produced by *Lactobacillus kefiranofaciens* WT-2BT. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, vol. 52, pp. 5533–5538. DOI: 10.1021/jf049617g
19. Muthukumaran S., Kentish S.E., Stevens G.W., Ashokkumar M. Application of Ultrasound in Membrane Separation processes: A Review. *Rev. Chem. Eng.*, 2006, vol. 22, pp. 155–194. DOI: 10.1515/REVCE.2006.22.3.155
20. Suslick K.S. *In Ultrasound: Its Chemical, Physical, and Biological Effects*. VCH Publishers, New York, 1998.
21. Sweetsur A.W., Murr D.D. Effect of homogenization on the heat stability of milk. *J. Dairy Res*, 1983, vol. 50, no. 3, pp. 291–300. DOI: 10.1017/S0022029900023128
22. Vinderola G., Perdigon G., Duarte J., Farnworth E., Matar C. Effects of the oral administration of the exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefiranofaciens* on the gut mucosal immunity. *Cytokine*, 2006; 36: 254–260. DOI: 10.1016/j.cyto.2007.01.003.
23. Wu H., Hulbert G.J., Mount J.R. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2000, no. 1, pp. 211–218. DOI: 10.1016/S1466-8564(00)00020-5

Botvinnikova Valentina Viktorovna, senior lecturer, Department of Expertise and quality control of food production, South Ural State University, Chelyabinsk, valens_b@mail.ru.

Krasulya Olga Nikolaevna. Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovskiy (Moscow), okrasulya@mail.ru.

Received 12 November 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Ботвинникова, В.В. Формирование потребительских свойств кисломолочных напитков на основе эффектов ультразвука / В.В. Ботвинникова, О.Н. Красуля // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2015. – Т. 3, № 4. – С. 30–40. DOI: 10.14529/food150405

FOR CITATION

Botvinnikova V.V., Krasulya O.N. Formulation of Consumer Properties of Fermented Milk Products on the Basis of Ultrasound Exposure. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2015, vol. 3, no. 4, pp. 30–40. (in Russ.) DOI: 10.14529/food150405