

Особенности формирования потребительских свойств поликомпонентных молочных систем

Всероссийский
научно-исследовательский институт
молочной промышленности, г. Москва,
Российская Федерация

Е. Ю. Агаркова, В. В. Кондратенко, А. Е. Рябова, А. Н. Яшин,
Д.Н. Глазунова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Евгения Юрьевна Агаркова
E-mail: e_agarkova@vniimi.org

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Агаркова, Е.Ю., Кондратенко, В.В.,
Рябова, А.Е., Яшин, А.Н., & Глазуно-
ва, Д.Н. (2025). Особенности форми-
рования потребительских свойств
поликомпонентных молочных систем.
Хранение и переработка сельхозсырья,
33(1), 68-81. <https://doi.org/10.36107/spfp.2025.1.635>

ПОСТУПИЛА: 13.12.2024

ДОРАБОТАНА: 05.03.2025

ПРИНЯТА: 15.03.2025

ОПУБЛИКОВАНА: 31.03.2025

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Исследования проведены
в рамках государственного
задания Министерства науки и
высшего образования Российской
Федерации FNSS-2025-0003
«Развить принципы интегральных
процессовых и методологических
наукоемких решений для повышения
эффективности и экологичности
промышленных технологий
переработки молока в условиях
последовательного ряда переделов».



АННОТАЦИЯ

Введение: Молочные поликомпонентные системы являются основой большинства молочных продуктов. Благодаря широкой вариабельности состава, разработчики пищевых систем имеют неограниченные возможности при создании новых видов продуктов. Несмотря на это, при работе с нетрадиционными компонентами, такими как мука орехоплодных, неизбежно возникают проблемы формирования привлекательных потребительских характеристик, нивелировать которые возможно грамотно подобранными стабилизационными системами. При очевидной перспективности интегрирования компонентов орехоплодных в пищевые матрицы, существующие в мировой научной среде данные не позволяют спрогнозировать их свойства в сложноконпонентной молочной системе.

Материалы и методы: Объектами исследования являлись модельные системы «молоко-пектин-МГО» с различными массовыми долями пектина и МГО. Процедура исследования состояла из двух последовательных этапов: приготовление модельных систем и их исследование. Всего было подготовлено 100 модельных систем «молоко-пектин-МГО». Оценивалась активная кислотность, титруемая кислотность и органолептические показатели. Методы исследований стандартизованные и оригинальные, математическую обработку проводили на базе табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation Inc.) и программного обеспечения TableCurve 3D.

Результаты: Анализ взаимосвязи между pH трёхкомпонентной системы и её интегральной органолептической оценкой показал наличие чётко очерченной границы множества экспериментальных данных в координатах «pH – органолептический показатель». Вблизи точек пересечения с этой границей наблюдалась минимальная неопределённость взаимосвязи, в то время как при удалении от неё неопределённость возрастала. Полученные данные позволяют заключить, что чем дальше значение pH отклоняется от некоторого промежуточного уровня, тем более выраженным становится влияние этого параметра на органолептические свойства системы. Напротив, вблизи данного значения pH возможно проявление маскирующего эффекта либо ослабление стабилизирующего действия со стороны неидентифицированных компонентов. Таким образом, pH, близкий к промежуточному значению, можно рассматривать как зону максимальной чувствительности системы к композиционным изменениям, а его отклонение – как фактор усиления предсказуемости органолептического отклика.

Выводы: Сложные взаимодействия внутри системы «молоко-МГО-пектин» предполагает более глубокое её изучение для детальной проверки фундаментальных гипотез и предположений и вызывает мысль о возможных путях ингредиентной корректировки системы. Одним из таких путей может быть внесение дополнительного компонента, направленно корректирующего протекание базовых процессов при формировании системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

молоко; поликомпонентные системы; органолептические свойства; титруемая кислотность; пектин; мука грецкого ореха

Features of the Formation of Consistency of Multicomponent Dairy Systems

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

Evgeniya Yu. Agarkova, Vladimir V. Kondratenko,
Anastasia E. Ryabova, Alexey N. Yashin, Dariya N. Glazunova

CORRESPONDENCE:

Evgeniya Yu. Agarkova

E-mail: e_agarkova@vnimi.org

FOR CITATIONS:

Agarkova, E.Yu., Kondratenko, V.V.,
Ryabova, A.E., Yashin, A.N., & Glazunova,
D.N. (2025). Features of the Formation of
Consumer Properties of Multicomponent
Dairy Systems. *Storage and Processing of
Farm Products*, 33(1), 68-81. [https://doi.
org/10.36107/spfp.2025.1.635](https://doi.org/10.36107/spfp.2025.1.635)

RECEIVED: 13.12.2024

REVISED: 05.03.2025

ACCEPTED: 15.03.2025

PUBLISHED: 31.03.2025

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING:

The research was conducted within
the framework of the state assignment
of the Ministry of Science and Higher
Education of the Russian Federation
FNSS-2022-0006 «To develop the
principles of integrated process and
methodological science-intensive
solutions to improve the efficiency and
environmental friendliness of industrial
milk processing technologies in the
context of a sequential series of stages».



ABSTRACT

Introduction: Milk-based multicomponent systems form the basis of most dairy products. Due to the broad variability of their composition, food system developers have virtually unlimited possibilities for creating new types of products. Nevertheless, the use of non-traditional components, such as nut flours, inevitably presents challenges in achieving desirable consumer characteristics. These challenges can be mitigated through the careful selection of stabilization systems. Despite the promising potential of integrating nut components into food matrices, existing international scientific data do not allow for reliable prediction of their behavior within complex dairy systems.

Materials and Methods: The study focused on model systems composed of milk, pectin, and walnut flour (WF), varying in the mass fractions of pectin and WF. The research procedure included two sequential stages: preparation of the model systems and their subsequent evaluation. A total of 100 model “milk–pectin–WF” systems were prepared. The parameters assessed included active acidity (pH), titratable acidity, and sensory attributes. Both standardized and original research methods were employed. Data analysis was carried out using Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation Inc.) and TableCurve 3D software.

Results: The analysis of the relationship between the pH of the three-component system and its overall sensory evaluation revealed a clearly defined boundary of the experimental data set in the «pH – sensory index» coordinate space. Near the points where this boundary is intersected, the uncertainty of the relationship was minimal, whereas it increased with greater deviation from these points. The data suggest that the farther the pH value deviates from a certain intermediate level, the more pronounced its influence on the sensory properties of the system becomes. Conversely, at pH values close to this intermediate level, there may be a masking effect or a reduction in the stabilizing effect caused by unidentified components. Thus, the intermediate pH value can be considered a zone of maximum sensitivity of the system to compositional changes, while deviation from this value serves as a factor that increases the predictability of the sensory response.

Conclusion: The complex interactions within the “milk–WF–pectin” system require further in-depth study to verify foundational hypotheses and assumptions, and they point to possible approaches for ingredient-based system adjustment. One such approach may involve the introduction of an additional component aimed at selectively modulating the basic processes involved in system formation.

KEYWORDS

milk; multicomponent systems; sensory properties; titratable acidity; pectin; walnut flour

ВВЕДЕНИЕ

Создание поликомпонентных систем на молочной основе является базисным вектором развития направления разработки новых видов пищевых продуктов с акцентом на дополнительные полезные эффекты от их употребления (Донская и соавт., 2024; Креккер и соавт., 2023; Basbous et al., 2024; Furuki et al., 2024). Кроме того, в тренде создания новых продуктов «правильного питания» актуальна тенденция по разработке пищевых систем, не содержащих «лёгкие» углеводы (Бычкова и соавт., 2014; Зобкова & Лазарева, 2021; Юдин, 2023). С другой стороны, современный образ жизни привёл к изменениям в пищевых привычках, таким как употребление в пищу продуктов с высоким содержанием насыщенных жиров, сахара и соли, которые являются факторами риска для неинфекционных заболеваний (Юрова и соавт., 2022; Offia-Olua, 2014). Изменить эту негативную тенденцию возможно, предлагая потребителю полезные продукты с новыми привлекательными потребительскими свойствами (Колоколова и соавт., 2024; Донская, 2020; Рожкова и соавт., 2020).

Одним из перспективных ингредиентов для интегрирования в молочные продукты с точки зрения их обогащения является мука орехоплодных, обладающая неоспоримой пользой для организма человека, в частности, мука грецкого ореха (МГО) (Алехина и соавт., 2023; Martín-Esparza et al., 2021; Nu et al., 2022). Регулярное употребление продуктов, содержащих МГО, способствует снижению содержания общего холестерина, а также уровня липопротеинов низкой плотности и повышению уровня липопротеинов высокой плотности в крови. МГО содержит до 72 % мононенасыщенных жирных кислот, является источником всех незаменимых жирных кислот, которые благодаря своему противовоспалительному действию помогают снизить риск гипертонии, ишемической болезни сердца, инсульта, а также рака молочной железы, толстой кишки и простаты (Offia-Olua, 2014; Santos et al., 2018).

Мука ГО является богатым источником фитохимических веществ с антиоксидантной активностью, включая мелатонин, эллаговую кислоту, витамин Е (гамма-токоферол), каротиноиды и полифенольные соединения. В состав МГО входит также ряд витаминов группы В, таких как рибофлавин, ниацин, тиамин, пантотеновая кислота, витамин В6 и фо-

лиевая кислота. Помимо этого, мука ГО отличается богатым минеральным комплексом, в состав которого входят марганец, медь, калий, кальций, железо, магний, цинк и селен, которые, в свою очередь, являются кофакторами для многих жизненно важных ферментов, включая цитохром-с-оксидазу, супероксиддисмутазу, глутатионпероксидазу и др. (Хуцишвили и соавт., 2018; Васипов & Вытовтов, 2016).

Несмотря на очевидную пользу для организма человека, мука грецкого ореха используется преимущественно в кондитерских изделиях и хлебопечении (Offia-Olua, 2014; Wójcik et al., 2023; Pysia & Juszczak, 2023; Burbano, 2022; Chochkov et al., 2016), что обусловлено проблемой стабилизации дисперсной фазы ореховой муки в молоке, обладающей ограниченной растворимостью. Максимальные значения растворимости МГО фиксируются при щелочном pH, нехарактерном для молочных пищевых систем, что сдерживает их применение в молокоперерабатывающей отрасли (Burbano et al., 2024). Существует ограниченное количество локальных исследований по включению МГО в рецептуры молочных и кисломолочных продуктов, свидетельствующие скорее о перспективности таких разработок, чем об их практической реализации (Хуцишвили и соавт., 2018; Афанасьева & Широкова, 2021). Помимо проблемы формирования привлекательной консистенции продуктов с МГО, возникает вероятность возникновения в потенциальном продукте горького привкуса, обусловленного высоким содержанием фенольных соединений в ядре и околоядерной пленке, которые в то же время обладают доказанным антиоксидантным эффектом (Santos et al., 2018; Almoraie, 2019; Deedam et al., 2020).

Достичь стабильной к расслоению текстуры продукта на основе молока с использованием МГО и нивелировать горечь возможно при помощи различных гидроколлоидов (Зобкова, 2025), самым перспективным из них является пектин, обладающий также рядом функциональных свойств и может выступать как безопасное натуральное детоксицирующее средство, выводящее из организма ионы тяжелых металлов (Nabiyeva et al., 2021). Высокометоксилированный пектин имеет широкое применение в технологиях кисломолочных продуктов, при средних значениях pH около 4,0, вступая во взаимодействие с казеином и способствуя формированию гелей (Jensen et al., 2010; Nobuhara et al., 2014; Laurent & Boulenguer, 2003). Низкоме-

токсилированный пектин, в отличие от высокоме-токсилированного, не вступает во взаимодействие с мицеллами казеина и компонентами ореховой муки, он имеет способность нейтрализовывать катионы кальция, тем самым предотвращая коагуляцию, позволяя достичь заданной нами вязко-текучей консистенции. По мнению некоторых ис-следователей, казеин просто служит источником ионов кальция, которые способствуют гелеобразо-ванию пектина (Oakenfull et al., 2000; Wójcik, Dziki, Matwijczuk, & Gawlik-Dziki, 2023; Ye et al., 2024).

Разработка стойких дисперсных систем на молоч-ной основе с использованием МГО, стабилизиро-ванных пектином, является актуальной с точки зре-ния создания новой линейки молочных продуктов, сочетающих пользу молочных и растительных ком-понентов. Целью текущего исследования являлось определение влияния дисперсной фазы МГО на ак-тивную и титруемую кислотность и органолептиче-ские показатели системы «молоко-пектин».

Исследовательские вопросы:

RQ#1: Какое влияние оказывает МГО на активную и титруемую кислотность и органолептические свойства систем «молоко-пектин»?

RQ#2: Какие факторы влияют на формирование органолептических свойств систем «молоко-пек-тин-МГО»?

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектом исследования являлись модельные си-стемы «молоко-пектин-МГО» с различными массо-выми долями пектина (от 0,1 до 1,0 %) и МГО (от 1,0 до 10,0 %).

Материалы

Для приготовления и изучения модельных систем «молоко-пектин-МГО» использовали:

- (1) молоко топленое «Молочная станция» (АО «Вер-ховский молочно-консервный завод», Россия);
- (2) обезжиренная мука грецкого ореха с массо-вой долей белка 15,0 %, массовая долей жира

18,0 %, массовой долей углеводов 3,0 % (про-мышленная компания «Народная Здрава», Россия);

- (3) низкоэтерифицированный амидированный пектин марки APC201Y со степенью этери-фикации (27 ± 3 %), степенью амидирования (22 ± 3 %) («DSM Andre Pectin», Китай);
- (4) натрий гидроокись 0,1Н (ЗАО «Уралхимин-вест», Россия);
- (5) спиртовой раствор фенолфталеина с массо-вой концентрацией 10 г/дм³.

Методы

Приготовление модельных систем

Необходимое количество компонентов отвешива-ли согласно рецептуре, далее в термостойкий ста-кан помещали пектин, добавляли по каплям 0,5 мл этилового спирта крепостью 96,0 % об., доливали предварительно нагретую до 60 °С дистиллирован-ную воду при непрерывном перемешивании и вы-держивали при этой температуре 30 мин на водя-ной бане Stegler WB-6 (Shanghai Jingke Scientific Instrument Co., Ltd; Китай) при температуре 60 °С. Затем раствор пектина охлаждали до 40 °С и при не-прерывном перемешивании добавляли пастери-зованное топлёное молоко с такой же температу-рой. Смесь выдерживали на водяной бане 30 мин при температуре 40 °С. Далее в смесь добавляли заданное рецептурой количество МГО при непре-рывном перемешивании до образования гомоген-ной дисперсной структуры, после чего полученную систему выдерживали 30 мин при температуре 40 °С и охлаждали до комнатной температуры.

Активная кислотность

Активную кислотность определяли потенциоме-трическим методом с помощью pH-метра inoLab pH/Cond Level 1 (Wissenschaftlich — Technische Werkstätten GmbH (WTW), Германия) с комбини-рованным стеклянным электродом WTW SenTix 81 согласно ГОСТ 32892–2014.

Титруемая кислотность

Титруемую кислотность в модельных системах определяли методом с применением индикатора фенолфталеина по ГОСТ 3624–92 с коэффициентом пересчета 10.

Органолептические показатели

Оценку органолептических показателей проводили по ГОСТ ISO 4121–2016 по однополярной интервальной числовой шкале от 0 до 5 баллов по методике условного профилирования.

Процедура исследования

Процедура исследования состояла из двух последовательных этапов: приготовление модельных систем и их исследование. Всего было подготовлено 100 модельных систем «молоко-пектин-МГО». Их состав рассчитывали так, чтобы массовая доля топленного молока была 50%, массовая доля пектина — от 0,1 до 1,0% с шагом 0,1, массовая доля МГО — от 1,0 до 10,0% с шагом 1,0. Объем до 100% доводили дистиллированной водой. Приготовленные модельные системы оставляли на хранение в течение 24 часов при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$. Далее определяли их активную и титруемую кислотность и органолептические показатели. Все эксперименты проводили в трехкратной повторности.

Анализ данных

Все результаты представлены по данным трех независимых экспериментов. Результаты представляли как среднее значение. Для обработки полученных данных и построения графиков использовали стандартные статистические методы на базе табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation Inc., США) и программного обеспечения TableCurve 3D (Grafiti LLC Headquarters, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка влияния пектина и МГО на активную и титруемую кислотность модельных систем

В результате проведенных исследований для каждого варианта соотношения «пектин — МГО» были получены экспериментальные данные, включающие активную (рН) и титруемую кислотность, а также основные органолептические показатели: консистенцию, вкус, запах, цвет. В общей совокупности данных имела место вариативность по рН в пределах от 5,4 до 6,4 и титруемой кислотности в пределах

от 10,67 до 77,33 °Т. Анализ экспериментальных данных показал, что увеличение массовой доли пектина приводит к некоторому снижению рН трёхкомпонентной системы (Рисунок 1), что логично, поскольку пектин имеет в составе остатки галактуроновой кислоты, несущие в том числе и свободные карбоксильные группы, и при увеличении концентрации кислотных групп в системе рН должен закономерно демонстрировать некоторое снижение.

На рисунке данное влияние прослеживается визуально. При этом коэффициент корреляции рассматриваемой взаимосвязи составляет $-0,67$, что говорит о преобладающей доле данного влияния, но недостаточной для прогностической оценки значения рН.

Теоретически, рН и титруемая кислотность, при рассмотрении их природы как результата накопления в системе свободных ионов гидроксония, должны демонстрировать определённую взаимосвязь друг с другом. Однако, вопреки ожиданиям, статистически значимого влияния массовой доли пектина на титруемую кислотность выявлено не было. Коэффициент корреляции составил всего $-0,19$. В противоположность пектину, на титруемую кислотность оказывала влияние массовая доля МГО (Рисунок 2).

Рисунок 1

Влияние массовой доли пектина на рН трёхкомпонентной системы

Figure 1

Effect of Pectin Mass Fraction on the pH for the Three-Component System

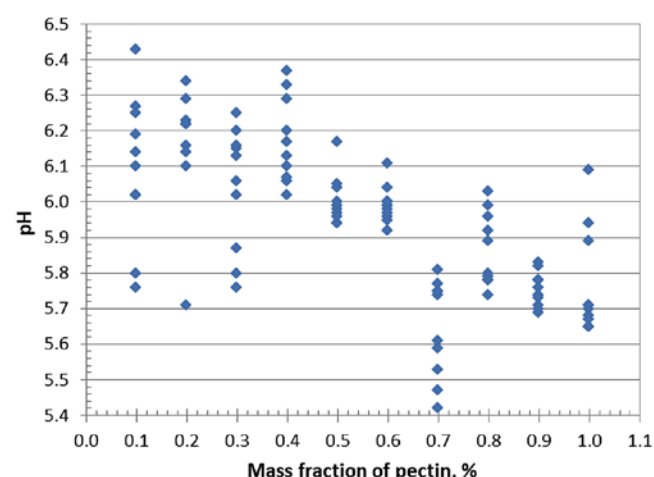
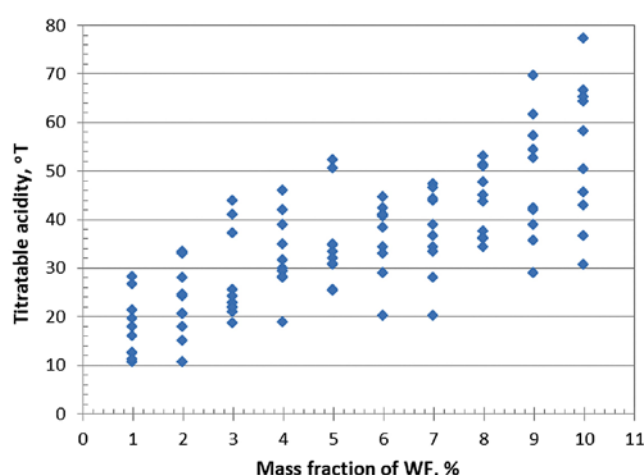


Рисунок 2

Влияние массовой доли МГО (в английской интерпретации WF — от «walnut flour») на титруемую кислотность трёхкомпонентной системы

Figure 2

Influence of MF Mass Fraction on Titratable Acidity of Three-Component System



С учётом некоторой доли неопределённости коэффициент корреляции составил 0,75. При этом визуально идентифицируется практически прямая зависимость, возмущаемая в сторону увеличения титруемой кислотности при массовой доле МГО, равной или меньшей 5, и — в сторону уменьшения показателя при массовой доле МГО, равной или большей 6. То есть, влияние МГО на титруемую кислотность оказалось выше, чем пектина на pH. Но, в свою очередь, массовая доля МГО практически не оказывала влияния на pH (коэффициент корреляции -0,13). В результате получили противоречие: оба показателя — и pH, и титруемая кислотность — теоретически, должны отражать суть проявления средой кислотных свойств, вследствие чего должна иметь место корреляция между ними или, что, фактически, то же самое, массовые доли пектина и МГО, показывая корреляцию с одним вариантом отображения кислотности, должны показывать наличие корреляции и с другим. Однако, как показали результаты исследований, этого не происходит. Отталкиваясь от природы pH, можем предположить, что в составе МГО содержатся компоненты, способные в сочетании с молоком и пектином проявлять себя в качестве кислот и оснований Льюиса, тем самым оказывая значимое влияние на титруемую кислотность без обязательной необходимости участия в процессе продуцирования катионов H^+ (Carey, 2003, Greenwood et al., 1997). Данное предположение косвенно подтверждается положительной корреляцией титруемой кислотности с массовой долей МГО. При этом вероятно, в рассматриваемой системе титруемая кислотность формируется преимущественно по данному механизму, поскольку вклад катионов H^+ , вносимый диссоциацией карбоксильных групп пектина, непосредственного влияния не оказывает.

В этой связи возникает вопрос о влиянии каждого из факторов кислотности на проявление органолептических свойств.

Исследование влияния величины pH, титруемой кислотности и состава модельных систем на их органолептические характеристики

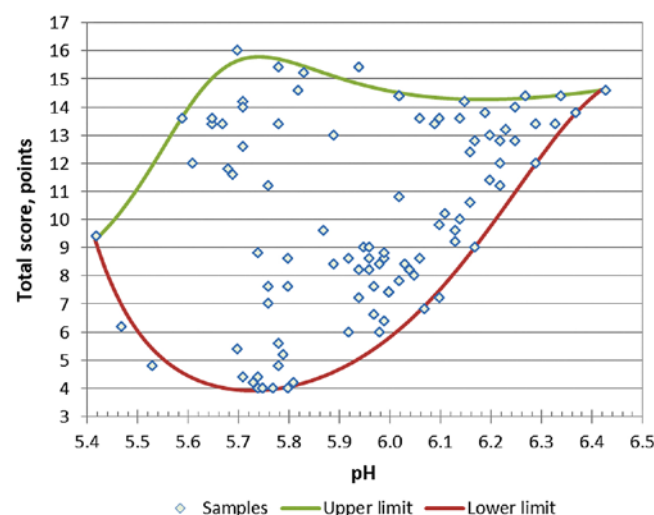
Для учёта всей совокупности органолептических свойств исследованных трёхкомпонентных систем, в дальнейшем оперировали интегральным показателем, представляющим собой сумму баллов. Результаты исследований показали нетривиальную картину взаимосвязи pH трёхкомпонентной системы и общей органолептической оценки (Рисунок 3). При отсутствии явно выраженной взаи-

Рисунок 3

Влияние pH системы «молоко — пектин — МГО» на интегральный органолептический показатель (Upper и Lower limit — верхняя и нижняя границы, соответственно, Samples — экспериментальные данные)

Figure 3

Effect of pH of the System “Milk — Pectin — WF” on the Total Score



мосвязи обращает на себя внимание резкая очерченность границы множества экспериментальных данных в координатах «рН — интегральный органолептический показатель».

В результате аппроксимации пограничных экспериментальных данных были определены эмпирические модели, адекватно описывающие, соответственно, нижнюю и верхнюю границы множества:

$$TS = \exp(a + b \cdot pH + c \cdot pH^2 + pH^3), \quad (1)$$

$$TS = \frac{a + c \cdot pH^{0.5} + e \cdot pH + g \cdot pH^{1.5}}{1 + b \cdot pH^{0.5} + d \cdot pH + f \cdot pH^{1.5}}, \quad (2)$$

где TS — сумма баллов органолептического анализа, балл; a — константы; b, c, d, e, f и g — коэффициенты.

Статистические характеристики моделей представлены в Таблице 2.

Верхняя и нижняя границы имеют выраженный максимум и минимум, соответственно, при рН системы в пределах 5.7–5.8. Обращает на себя внимание замкнутость границ: верхняя и нижняя границы пересекаются в точках [5.42; 9.27] и [6.42; 14.60], практически все экспериментальные данные находятся внутри области, между границами. При этом, чем ближе к точкам пересечения, тем меньше неопределённость взаимосвязи, и — наоборот. Этот факт может косвенно указывать, что чем дальше значение рН трёхкомпонентной системы от некоторого промежуточного значения, тем выше однозначность влияния показателя на её органолептические свойства, тогда как промежуточное значение является оптимумом для проявления неустанов-

ленными компонентами маскирующего эффекта, либо снижения ими стабилизирующего эффекта. Двуплечий характер проявления неопределённости позволяет предполагать, что эти компоненты имеют белковую природу, и изменение конформации вследствие изменения рН приводит либо к вовлечению в проявление органолептических свойств дополнительных функциональных групп, либо к частичной инаktivации в области, вероятно, имеющей природу изоэлектрической точки, когда стабильность компонентов в системе снижается до минимума. Примечательно, что на данном этапе исследований обе гипотезы равнозначны, не имея друг перед другом каких-либо преимуществ.

В то же время каких-либо особенностей влияния титруемой кислотности как таковой на интегральный показатель органолептических свойств выявлено не было.

Нехарактерный результат был получен при анализе взаимосвязи рН трёхкомпонентных систем «молоко — пектин — МГО» и титруемой кислотности. Массив из ста точек, полученных в результате исследований, образовал в координатах «рН — титруемая кислотность» некоторое подобие треугольника с криволинейными сторонами и основанием, почти сонаправленным оси абсцисс, и выраженными вершинами (Рисунок 4).

Наложение экспериментальных данных, соответствующих верхней и нижней границам рисунка 3, не позволило выявить однозначной общей закономерности их распределения в пределах «криволинейного» треугольника на рисунке 4. Однако имели место некоторые частные закономерности, интервального характера, зашумленные данными

Таблица 2

Статистические характеристики моделей верхней и нижней границ множества данных влияния рН системы на её интегральный органолептический показатель

Table 2

Statistical Characteristics of Models for the Upper and Lower Bounds of the Data set for the Influence of the System' pH on Its Integral Organoleptic Index

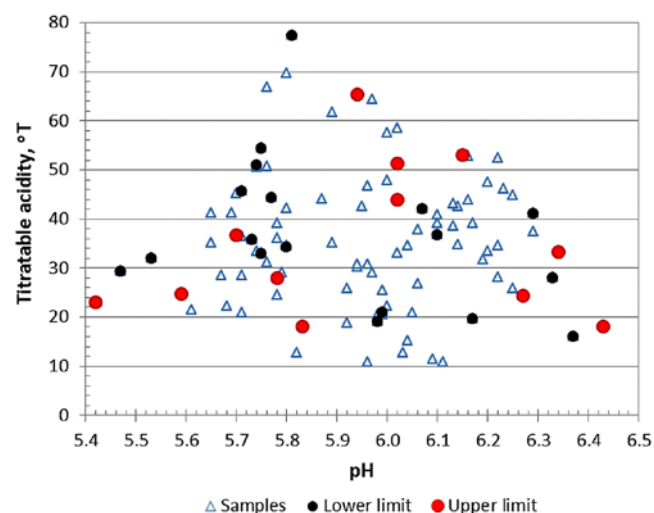
Модель		Константа и коэффициенты							r^2	$P > F$
		a	b	c	d	e	f	g		
Нижняя граница	значение	1378.582	-681.542	112.038	-6.115	—	—	—	0.9935	$< 10^{-5}$
	$P > t $	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	—	—	—		
Верхняя граница	значение	0.577	-1.162	0.206	0.447	-0.486	-0.057	0.125	0.9789	0.0005
	$P > t $	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$		

Рисунок 4

Эмпирическая взаимосвязь pH и титруемой кислотности в системе «молоко — пектин — МГО»

Figure 4

Empirical Relationship between pH and Titratable Acidity in the System "Milk – Pectin – WF"



с промежуточными значениями органолептической оценки. Так, визуально может быть идентифицировано значение pH 5,9, разделяющее треугольник на две области. В левой, в диапазоне меньших

значений pH, расположение точек верхней границы было стохастично относительно значений титруемой кислотности, тогда как расположение точек нижней границы демонстрировало прямую экспоненциальную зависимость титруемой кислотности от pH с увеличивающейся зашумленностью при приближении к границе раздела областей. В области, соответствующей диапазону больших значений pH, имела место обратная тенденция: на фоне стохастического расположения относительно титруемой кислотности точек, соответствующих нижней границе, точки верхней границы демонстрировали зашумленную, но обратную, практически линейную взаимосвязь pH и титруемой кислотности. В целом, общий характер неопределённости между pH и титруемой кислотностью, так же, как и в случае с ситуацией, представленной на рисунке 3, наталкивает на мысль о белковой природе факторов, определяющих эту неопределённость и влияющих на её выраженность, с критической точкой (возможно — изоэлектрической) в районе pH 5,9.

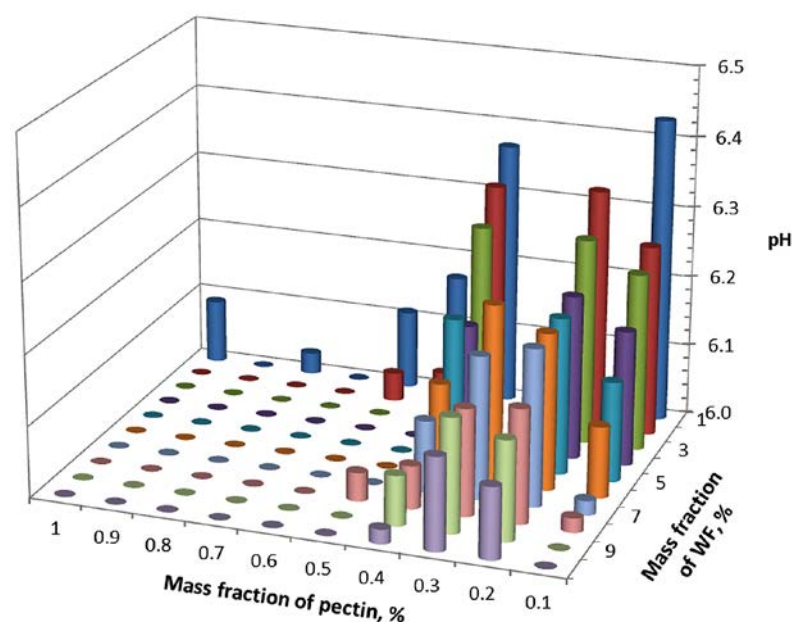
В этой связи довольно показательна картина комплексного влияния массовых долей пектина и МГО в трёхкомпонентной системе на pH в диапазоне значений зависимого фактора от 6 и выше (Рисунок 5).

Рисунок 5

Влияние массовых долей пектина и МГО в системе «молоко — пектин — МГО» на pH (в диапазоне pH от 6 и выше)

Figure 5

Effect of Pectin and WF Mass Fractions in the System "Milk – Pectin – WF" on pH (in pH range from 6 and above)



Несмотря на отсутствие общей корреляции между массовой долей МГО и pH, в диапазоне массовой доли пектина от 0,1 до 0,4% такая корреляция уже имеет место, и логично вписывается в картину формирования pH, уменьшая её значение при увеличении массовой доли МГО. И лишь при добавлении диапазона pH со значениями, меньшими 6, формируемого увеличением массовой доли пектина в системе, усиливают свою роль эффекты, которые мы выше определили как увеличение доли кислот и оснований Льюиса.

Анализ влияния массовой доли пектина оказывать возмущающий эффект на взаимосвязь титруемой кислотности и массовой доли МГО показал, что такой эффект действительно имеет место (Рисунок 6).

И при этом степень проявления возмущающего эффекта зависит как от массовой доли пектина, так и соотношения массовых долей пектина и МГО, что косвенно указывает на имеющие место взаимодействия как минимум компонентов МГО и пектина и наличие некоторого спектра как вариаций этого взаимодействия, так и его результатов. Последний вывод в общих чертах вполне согласуется с существующими представлениями об особенно-

стях взаимодействия пектиновых молекул с белками, в том числе молочными (Wusigale et al., 2020).

Анализ совокупности рассмотренных выше результатов исследований, предложенных гипотез, а также современных представлений о молекулярной структуре пектиновых молекул и сложном составе МГО позволяют предположить о весьма неоднозначном совместном влиянии массовых долей пектина и МГО на проявление органолептических свойств исследованных трёхкомпонентных систем с их участием. Результаты непосредственного исследования этого участия представлены на Рисунке 7.

Поскольку интегральный органолептический показатель включает значения органолептической оценки по четырём показателям, целесообразно рассматривать комплексное участие компонентов системы на его формирование в диапазоне значений, больших 12. В этом случае заслуживает внимания область, включающая диапазон массовой доли пектина от 0,4 до 0,8 и диапазон массовой доли МГО от 3,0 до 1,0%, для которой в пределах принятых допущений формирование трёхкомпонентной системы «молоко — пектин — МГО» не имеет смыс-

Рисунок 6

Влияние массовых долей пектина и МГО в системе «молоко — пектин — МГО» на титруемую кислотность

Figure 6

Effect of Pectin and MGO Mass Fractions in the System "Milk – Pectin – MGO" on Titratable Acidity

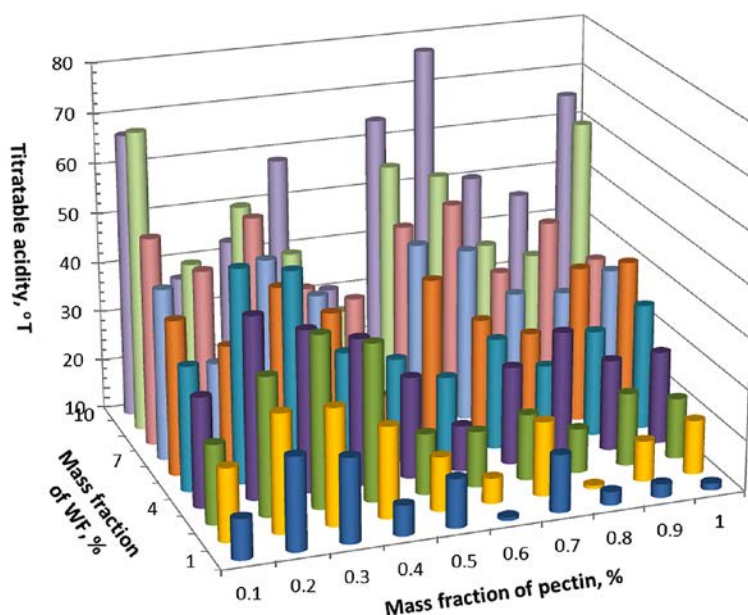
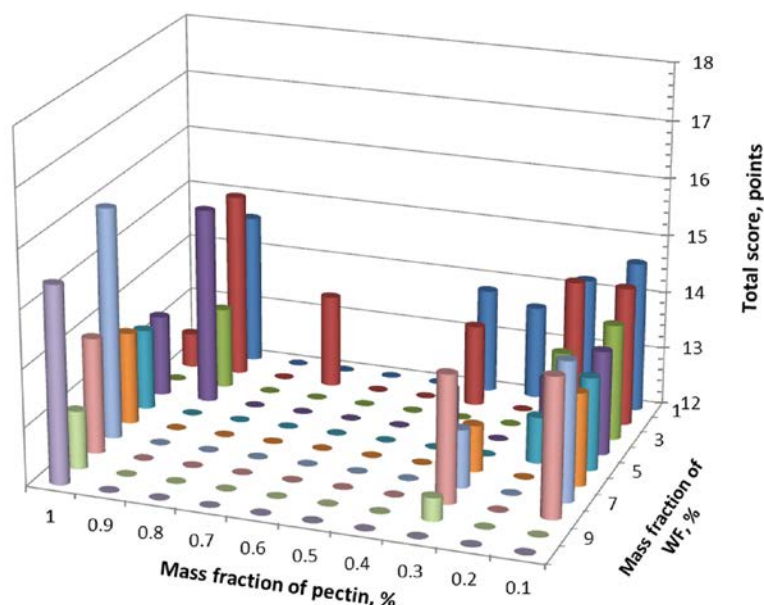


Рисунок 7

Влияние массовых долей пектина и МГО в системе «молоко — пектин — МГО» на интегральный органолептический показатель

Figure 7

Effect of Pectin and MGO Mass Fractions in the System “Milk – Pectin – MGO” on the on the Total Score



ла с точки зрения органолептической оценки полученного результата. При этом обращают на себя внимание два диапазона массовых долей пектина — от 0,1 до 0,3 % и 0,9%, — в которых интегральная органолептическая оценка системы удовлетворительна в широком интервале массовых долей МГО. В остальном диапазоне приемлемой являлась массовая доля МГО не более 0,4% или же совсем включающая приемлемые варианты.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Целью текущего исследования являлось заполнение пробела существующих знаний посредством определения влияния дисперсной фазы МГО на активную и титруемую кислотность; органолептические показатели системы «молоко-пектин» как основы потенциальных продуктов нового поколения. Ранее проведенные исследования по проектированию пищевых систем с мукой орехоплодных были сфокусированы исключительно на продуктах хлебопекарной, кондитерской и мясной отрасли и не позволяют валидировать их на молочные системы (Алехина и соавт., 2023; Offia-Olua, 2014; Wójcik et al., 2023; Pycia & Juszczak, 2023; Burbano,

2022; Chochkov et al., 2016). Существующие знания о взаимодействии МГО с компонентами других пищевых продуктов неприменимы к молочным в силу специфики их состава и не могут быть адекватно применены к молочным системам. При этом особенности дисперсной фазы МГО свидетельствуют о прогнозируемом неоднозначном поведении в молоке, включая влияние на органолептические свойства, несмотря на очевидную пользу и перспективность её использования.

Выдвинутые предположения о неприменимости существующих знаний о влиянии МГО в сложноконтактной молочной системе были подтверждены отсутствием статистически значимого влияния массовой доли пектина на титруемую кислотность в присутствии МГО, поэтому возникал вопрос о необходимости изучения влияния каждого из факторов кислотности на проявление органолептических свойств.

Полученные результаты указывают на общий характер неопределённости между pH и титруемой кислотностью в исследуемых системах. Замкнутость границ и их пересечения могут отражать баланс между маскирующими и стабилизирующими

ми эффектами, обусловленными конформацией белков (гипотетически) вблизи изоэлектрической точки. Треугольное распределение данных и разделение при pH 5.9 косвенно подтверждают роль белковых структур, чья активность модулируется pH. Отсутствие общей корреляции титруемой кислотности с органолептическими свойствами указывает на доминирование иных факторов, таких как взаимодействие пектина с белками МГО, что согласуется с известными механизмами формирования пектин-белковых комплексов (Jensen et al., 2010; Nobuhara et al., 2014; Laurent & Boulenguer, 2003; Oakenfull et al., 2000). Оптимальные диапазоны компонентов подчёркивают нелинейность их совместного влияния, вероятно, связанную с конкурентными процессами связывания и денатурации.

Данное исследование имеет ряд сильных сторон. Например, результаты, полученные в ходе выполнения работы, позволили выявить особенности формирования органолептического профиля молочных систем с МГО и выявить интегральную корреляцию между ним и показателями кислотности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов продемонстрировал, что при введении МГО значимое влияние массовой доли пектина на титруемую кислотность отсутствует. При этом влияние самой МГО на титруемую кислотность оказалось значимым, в отличие от pH. И титруемая, и активная кислотность в значительной степени влияют на органолептический профиль поликомпонентных молочных систем.

Предложенный подход к оценке взаимосвязи органолептических свойств и кислотности может быть использован и для оценки других физико-химических показателей, и планируется его практическое воплощение в дальнейших работах при разработке продуктов, в состав которых будет входить мука орехоплодных.

Основным ограничением исследования является то, что молочные продукты с мукой орехоплодных практически отсутствуют, несмотря на очевидную перспективность их разработки в качестве социально значимых с функциональным потенциалом.

Достаточно сложное поведение трехкомпонентной системы «молоко-МГО-пектин», с одной стороны, предполагает более глубокое её изучение для детальной проверки фундаментальных гипотез и предположений, представленных в рамках данного исследования, и, с другой стороны, наталкивает на мысль о возможных путях ингредиентной корректировки системы. Для более четкого понимания формирования органолептических свойств молочных продуктов с МГО необходимы дальнейшие исследования, посвященные поиску дополнительного компонента, направленному корректирующему протеканию базовых процессов при формировании системы.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Евгения Юрьевна Агаркова: концептуализация; разработка методологии исследования; руководство исследованием.

Владимир Владимирович Кондратенко: создание рукописи и её редактирование; формальный анализ; работа с программным обеспечением.

Анастасия Евгеньевна Рябова: предоставление ресурсов; администрирование проекта.

Алексей Николаевич Яшин: создание черновика рукописи; визуализация данных.

Дарья Николаевна Глазунова: проведение исследований.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Evgeniya Yu. Agarkova: conceptualization; development of research methodology; research management.

Vladimir V. Kondratenko: creation of the manuscript and its editing; formal analysis; work with software.

Anastasia E. Ryabova: providing resources; project administration.

Alexey N. Yashin: drafting manuscript; data visualization.

Dariya N. Glazunova: conducting research.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алехина, Н.Н., Пономарева, Е.И., Бакаева, И.А. (2023). Разработка технологии хлеба функционального назначения на основе хлебопекарной смеси из биоактивированной пшеницы и ржи. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 41–53. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.16>
- Alekhina, N. N., Ponomareva, E. I., & Bakaeva, I. A. (2023). Development of functional bread technology using bioactivated wheat and rye flour. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 41–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.16>
- Афанасьева, М. М., & Широкова, Н. В. (2021). Актуальность использования растительных ингредиентов в технологии кисломолочного продукта. *Инновационные технологии продуктов питания и кормов* (с. 6–9). Ростов-на-Дону: Донской государственный аграрный университет.
- Afanasyeva, M. M., & Shirokova, N. V. (2021). The relevance of using plant-based ingredients in fermented milk product technology. *Innovative technologies of food and feed* (pp. 6–9). Rostov-on-Don: Don State Agrarian University. (In Russ.)
- Бычкова, Т.С., Донская, Г.А., Крутина, Е.М., Дягилева, Ю.А. (2024). Кисломолочный продукт с противолучевой добавкой как средство стабилизации антиоксидантного статуса организма. *Пищевая промышленность*, (12), 74–79. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.12.12.014>
- Bychkova, T.S., Donskaya, G.A., Krutina, E.M., Dyagileva, Yu.A. (2024). Fermented milk product with antiradiation additive as a means of stabilizing the antioxidant status of the body. *Food Industry*, (12), 74–79. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.12.12.014> (In Russ.)
- Васипов, В. В., & Вытовтов, А. А. (2016). Обоснование использования муки из жмыха грецкого ореха (*Juglans regia* L.) в рецептуре мучных кондитерских и хлебобулочных изделий специализированного назначения. *Пищевые инновации и биотехнологии: материалы IV Международной научной конференции* (с. 42–45). Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности.
- Vasipov, V. V., & Vytovtov, A. A. (2016). Rationale for the use of walnut meal flour in specialized bakery and confectionery formulations. *Food innovations and biotechnologies: Proceedings of the 4th International Scientific Conference* (pp. 42–45). Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry. (In Russ.)
- Донская, Г.А. (2020). Антиоксидантные свойства молока и молочных продуктов: обзор. *Пищевая промышленность*, (12), 86–91. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10150>
- Donskaya, G. A. (2020). Antioxidant properties of milk and dairy products: A review. *Food Industry*, (12), 86–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10150>
- Донская, Г.А., Креккер, Л.Г., Колосова, Е.В. (2024) Радиопротекторные ингредиенты композиционного молочного продукта. *Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета*, 27(2), 193–204. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-193-204>
- Donskaya, G.A., Krekker, L.G., Kolosova, E.V. (2024) Radioprotective ingredients of a composite dairy product. *Vestnik of MAU. Works of Murmansk Arctic University*, 27(2), 193–204. (In Russ.) <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-193-204>
- Зобкова, З. С. (2025). Влияние пищевых добавок на качество кисломолочных продуктов. *Молочная промышленность*, (1), 38–41.
- Zobkova, Z. S. The influence of food additives on the quality of fermented milk products. *Dairy industry*, (1), 38–41. (In Russ.)
- Зобкова, З. С., & Лазарева, Е. Г. (2021). Оценка антиоксидантных свойств обогащенного кисломолочного продукта с повышенной биологической ценностью. *Пищевая промышленность*, (8), 51–53. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.8.8.013>
- Zobkova, Z. S., & Lazareva, E. G. (2021). Evaluation of antioxidant properties of enriched fermented milk product with high biological value. *Food Industry*, (8), 51–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.8.8.013>

- Колоколова, А. Ю., Кишилова, С. А., Рожкова, И. В., Митрова, В. А. (2024) Изучение стимулирования роста бифидобактерий постбиотическим комплексом кисломолочного продукта как один из факторов повышения его биологической эффективности. *FOOD METAENGINEERING*, 2(2), 12–21. <https://doi.org/10.37442/fme.2024.2.56>
- Kolokolova, A. Y., Kishilova, S. A., Rozhkova, I. V., & Mitrova, V. A. (2024). The role of postbiotic composition in the growth stimulation of bifidobacteria. *FOOD METAENGINEERING*, 2(2), 12–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.37442/fme.2024.2.56>
- Креккер, Л.Г., Донская, Г.А., Колосова Е.В., В. К. Карапетян, В.К. (2023). Радиопротекторные ингредиенты для получения молочных продуктов. *Переработка молока*, 9(287), 16–20. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-193-204>
- Krekker, L.G., Donskaya, G.A., Kolosova, E.V., V.K. Karapetyan, V.K. (2023). Radioprotective ingredients for dairy products. *Milk Branch*, 9(287), 16–20. (In Russ.) <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-193-204>
- Рожкова, И. В., Бегунова, А. В., & Крысанова, Ю. И. (2020). Разработка кисломолочных продуктов с использованием пробиотиков. *Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством*, 1(1), 45–50. <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-457-461>
- Rozhkova, I. V., Begunova, A. V., & Krysanova, Y. I. (2020). Development of fermented dairy products using probiotics. *Current Issues in the Dairy Industry, Interdisciplinary Technologies, and Quality Management Systems*, 1(1), 45–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-457-461>
- Хуцишвили, М. Г., Друкер, О. В., & Крючкова, В. В. (2017). Мука грецкого ореха как растительный ингредиент в технологии обогащенного творожного продукта. *Вестник Донского государственного аграрного университета*, 4–1(26), 127–133.
- Khutsishvili, M. G., Druker, O. V., & Kryuchkova, V. V. (2017). Walnut flour as a plant-based ingredient in enriched curd product technology. *Bulletin of the Don State Agrarian University*, 4–1(26), 127–133. (In Russ.)
- Юдин, С. А. (2023). Рекламное продвижение на рынке здорового питания. *Молодёжь третьего тысячелетия* (часть 1, с. 45–50). Омск: Издательство ОмГАУ.
- Yudin, S. A. (2023). Advertising promotion in the healthy food market. *Youth of the third millennium* (part 1, pp. 45–50). Omsk: Omsk State Agrarian University Publishing House. (In Russ.)
- Юрова, Е. А., Фильчакова, С. А., & Ананьева, Н. В. (2022). Молоко как основа для производства специализированных продуктов питания с улучшенными нутритивными свойствами. *Вестник КрасГАУ*, 5(182), 206–215. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-206-215>
- Yurova, E. A., Filchakova, S. A., & Ananeva, N. V. (2022). Milk as a base for producing specialized food products with enhanced nutritional properties. *BULLETIN OF KSAU*, 5(182), 206–215. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-206-215>
- Almoraie, N. M. (2019). The effect of walnut flour on the physical and sensory characteristics of wheat bread. *International Journal of Food Science*, 2019(1), Article 5676205. <https://doi.org/10.1155/2019/5676205>
- Basbous, M., Yehya, N., Salti, N., Tamim, H., & Nabulsi, M. (2024). Cost-benefit analysis of a multicomponent breastfeeding promotion and support intervention in a developing country. *PLOS ONE*, 19(7), e0295194. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295194>
- Burbano, J. J., Cabezas, D. M., & Correa, M. J. (2022). Gluten-free cakes with walnut flour: A technological, sensory, and microstructural approach. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 4772–4781. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15591>
- Burbano, J. J., Cabezas, D. M., & Correa, M. J. (2024). Characterization and techno-functional properties of high protein walnut flour from an oil by-product. *Plant Foods for Human Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s11130-024-01219-1>
- Carey, F. A. (2003). *Organic chemistry* (5th ed.). Boston: McGraw-Hill.

- Chochkov, R., Ivanova, P., Petkova, N., & Desseva, I. (2016). The influence of walnut flour quantity on the quality of wheat bread. *International Journal of Engineering Research*, 7, 1161–1164.
- Deedam, N. J., China, M. A., & Wachukwu, H. I. (2020). Proximate composition, sensory properties and microbial quality of chin-chin developed from wheat and African walnut flour blends for household food security. *European Journal of Nutrition and Food Safety*, 12(6), 56–67. <https://doi.org/10.9734/ejnfs/2020/v12i830260>
- Furuki, T. et al. (2024) Reentrant condensation of a multicomponent cola/milk system induced by polyphosphate. *Food Chemistry: X*, 21, 101165. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101165>
- Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). Chemistry of the elements (2nd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Hu G. G. et al. (2022) Applications of plant protein in the dairy industry. *Foods*, 11(8), 1067. <https://doi.org/10.3390/foods11081067>
- Jensen, S., Rolin, C., & Ipsen, R. (2010). Stabilisation of acidified skimmed milk with HM pectin. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 291–299. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.10.004>
- Laurent, M. A., & Boulenguer, P. (2003). Stabilization mechanism of acid dairy drinks (ADD) induced by pectin. *Food Hydrocolloids*, 17(4), 445–454. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00028-6)
- Martín-Esparza, M. E. et al. (2021). Role of hydrocolloids in the structure, cooking, and nutritional properties of fiber-enriched, fresh egg pasta based on tiger nut flour and durum wheat semolina. *Foods*, 10(10), 2510. <https://doi.org/10.3390/foods10102510>
- Nabiyeva, Z., Alimardanova, M., & Hasanova, S. (2021). Development of dairy products technology with application low-etherificated pectin products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(11), 111–118. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233821>
- Nobuhara, T., Matsumiya, K., Nambu, Y., Nakamura, A., Fujii, N., & Matsumura, Y. (2014). Stabilization of milk protein dispersion by soybean soluble polysaccharide under acidic pH conditions. *Food Hydrocolloids*, 34, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.01.022>
- Oakenfull D., Nishinari K., & Miyoshi E. A. (2000). Comparative study of milk gels formed with κ-carrageenan or low-methoxy pectin. *Hydrocolloids*, 2, 153–163. <https://doi.org/10.1016/B978-044450178-3/50080-9>
- Offia-Olua, B. I. (2014). Chemical, functional and pasting properties of wheat (*Triticum spp*)-walnut (*Juglans regia*) flour. *Food and Nutrition Sciences*, 5(16), 1591–1604. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.516172>
- Pycia, K., & Juszczak, L. (2023). Influence of hazelnut and walnut oil cakes powder on thermal and rheological properties of wheat flour. *Foods*, 12(22), 4060. <https://doi.org/10.3390/foods12224060>
- Santos, J., Álvarez-Ortí, M., Sena-Moreno, E., Rabadán, A., Pardo, J. E., & Beatriz, M. (2018). Effect of roasting conditions on the composition and antioxidant properties of defatted walnut flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(5), 1813–1820. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8657>
- Wilbanks, D. J., Yazdi, S. R., & Lucey, J. A. (2022) Effects of varying casein and pectin concentrations on the rheology of high-protein cultured milk beverages stored at ambient temperature. *Journal of Dairy Science*, 105(1).72–82. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20597>
- Wójcik, M., Dziki, D., Matwijczuk, A., & Gawlik-Dziki, U. (2023). Walnut flour as an ingredient for producing low-carbohydrate bread: Physicochemical, sensory, and spectroscopic characteristics. *Foods*, 12(17), 3320. <https://doi.org/10.3390/foods12173320>
- Wusigale, L. L., & Luo, Y. (2020). Casein and pectin: Structures, interactions, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 391–403. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.027>
- Ye, X., Wei, L., Sun, L., Xu, Q., Cao, J., Li, H., Pang, Z., & Liu, X. (2024). Fabrication of food polysaccharide, protein, and polysaccharide-protein composite gels via calcium ion inducement: Gelation mechanisms, conditional factors, and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279, 135397–135397. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135397>