

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Агарковой Евгении Юрьевны на тему
«Разработка комплексной стратегии трансформации вторичного
молочного сырья для реализации новых биотехнологических решений
в молочной промышленности»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 4.3.3. – Пищевые системы

Актуальность темы диссертационной работы

Комплексная переработка вторичного сырья является наиболее эффективным способом оптимизации производства. Наибольший интерес в этом плане представляет переработка молочной сыворотки, которая является ценным источником таких пищевых ингредиентов как сывороточные белки, лактоза, минеральные вещества, широко используемые в специализированных продуктах питания. Применение компонентов сыворотки способствует повышению пищевой ценности и улучшению биологических и функциональных свойств специализированных пищевых продуктов. Технологии получения белковых и углеводных ингредиентов связаны с применением мембранных способов обработки сырья, позволяющих осуществлять глубокую переработку сырья без нарушения структуры продукта; создавать новые виды продуктов стабильного качества; повышать эффективность производства при экономии ресурсов; создавать безотходное производство и гарантировать экологическую безопасность.

В этой связи диссертационная работа Агарковой Е.Ю. представляет собой обширное исследование, направленное на решение важной народно-хозяйственной проблемы посредством трансформации белков молочной сыворотки в ингредиенты с доказанными функциональными свойствами и последующей технологической интеграцией в матрицы пищевых систем, и является актуальной.

Актуальность темы диссертации также подтверждается финансовой поддержкой выполненных исследований в рамках гранта РНФ 16-16-00094 «Разработка технологии получения новых функциональных ингредиентов животного происхождения – пептидных гидролизатов молочных белков и создание функциональных продуктов на основе гидролизатов, про- и пребиотиков».

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Содержащиеся в диссертационной работе Агарковой Е.Ю. научные подходы, выводы и рекомендации основаны на фундаментальных научных изысканиях, общепринятых теоретических закономерностях и являются следствием полученных автором экспериментальных данных. Степень их

обоснованности подтверждается глубоким анализом отечественных и зарубежных литературных источников, верной методологией исследования, основанной на научных принципах обеспечения качества вырабатываемой пищевой продукции. Представленные результаты теоретических, аналитических и экспериментальных исследований выполнены на высоком научном и методическом уровне с применением современных приборов и методов анализа, математического планирования, моделирования и статистической обработки полученных результатов. Соискателем получен и систематизирован значительный объем экспериментальных данных; результаты диссертационной работы успешно апробированы в производственных условиях, достоверность которых не вызывает сомнений.

Научная новизна полученных результатов исследований

Заключается в разработке комплексной стратегии исследования пептидных гидролизатов и продуктов на его основе, а также иерархической схемы выбора предпочтительных гидролизатов сывороточных белков по совокупности органолептических, физико-химических и функциональных свойств; установлении закономерностей формирования функционального потенциала белков технологически дифференцированных молочных сывороток от пептидного профиля; формировании системного подхода к ранжированию ферментных препаратов по биологической активности и сенсорному профилю образующихся пептидов, базирующегося на инкорпорировании данных по идентифицированным основным и минорным монокритериям в интегральный критерий желательности; разработке модели зависимости скорости ферментативного гидролиза от температуры и времени, позволяющей рассчитывать интегральным способом антиоксидантную способность по отношению к кислородному радикалу с учетом температурных вариаций на протяжении всего процесса; установлении зависимости величин функциональной активности гидролизатов сывороточных белков от продолжительности протеолиза и фермент-субстратного соотношения, а также зависимостей органолептических, структурно-механических и функциональных свойств базового аэрированного продукта от массовой доли гидролизатов и закономерностей формирования газодисперсной структуры базового аэрированного продукта от технологических и аппаратурных параметров его получения.

Теоретическая и практическая значимость

Состоит в формировании концептуального подхода по получению пищевых ингредиентов белковой природы с доказанными функциональными свойствами, что позволяет усовершенствовать традиционную парадигму создания функциональных ингредиентов и расширить область их применения. Автором создано программное обеспечение для виртуального высвобождения пептидов, обладающих наибольшей биологической активностью с возможностью автоматической загрузки данных из базы BIOPEP. Разработан-

ный на примере белков молочной сыворотки алгоритм является унифицированным, и может быть использован для анализа любых белков, находящихся в открытом доступе в пептидных базах. Результаты определения биофункциональных свойств с подобранными методами и подходами могут быть использованы для тестирования любых видов молочных продуктов с функциональным потенциалом и способны минимизировать затраты и снизить риски при проведении клинических испытаний. Полученный функциональный ингредиент – пептидный гидролизат (СТО 00419785-044-2019) может быть использован для получения широкой гаммы обогащенных продуктов. О чем свидетельствует успешное внедрение разработанных на его основе шести видов обогащенных продуктов: «Муссы творожные обогащенные» ТУ 10.51.56-060-00419785-2019, «Суфле творожное обогащенное» ТУ 10.51.56-086-00149785-2022, «Пасты творожные обогащенные» ТУ 10.51.56-088-00149785-2022, «Кисели молочные обогащенные» ТУ 10.51.56-090-00149785-2022, «Напитки молочные обогащенные» ТУ 10.51.56-091-00149785-2022, «Кремы творожные обогащенные» ТУ 10.51.56-092-00149785-2022. Технологии разработанных обогащенных продуктов внедрены на 4-х молокоперерабатывающих предприятиях, что подтверждается актами о внедрении.

Структура диссертации и автореферата, оценка содержания

Диссертация Агарковой Е.Ю. написана грамотным научным языком и характеризуется внутренним единством. Работа оформлена в соответствии с требованиями, установленными ВАК при Минобрнауки РФ, и состоит из введения, 7 глав экспериментального и аналитического материала, заключения, списка использованных источников, включающего 285 наименований, 3 приложений.

Во введении обоснована актуальность решаемой научной проблемы, обозначена цель и научные задачи исследований, их новизна, практические результаты и ценность, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен литературный обзор относительно современного состояния и тенденций направленной биотрансформации молочного сырья, в частности, молочных белков, а также видов ферментных препаратов для их биокатализа. Приведена характеристика биологически активных пептидов, полученных из молочного сырья. Доказана перспективность использования гидролизатов сывороточных белков в аэрированных молочных системах, поскольку это позволяет улучшить пенообразующие свойства белков. На основании проведенного анализа литературных данных сформулирована научная проблема, а также обоснован выбор объектов исследования, подтверждена актуальность темы.

Во второй главе приведена схема исследований, охарактеризованы объекты и методы исследований (в том числе методы масс-спектрометрии, анализ *in silico* *in vivo* и *in vitro*, ВЭЖХ, флуоресцентный метод ORAC, ап-

робированные математические методы обработки результатов экспериментальных данных).

Третья глава посвящена разработке алгоритма проведения протеолиза молочного сырья для получения функциональных белковых компонентов, а также программы системного анализа и выбора оптимальных ферментных препаратов для виртуального высвобождения биоактивных пептидов с возможностью автоматической загрузки данных из базы ВІОРЕР. Биоинформационным программированием подтверждена возможность использования в качестве источника биоактивных пептидов белков молочной сыворотки. Здесь представлены экспериментальные исследования по проведению гидролиза подсырной сыворотки, полученной от производства различных видов сыров. Изучено молекулярно-массовое распределение пептидов в гидролизатах. Анализ последовательностей идентифицированных пептидов с помощью базы данных ВІОРЕР позволил установить присутствие в их составе пептидов, содержащих антиоксидантные, гипотензивные фрагменты.

В четвертой главе описаны результаты исследования гидролизатов сывороточных белков *in vitro* и *in vivo*. Изучена их антиоксидантная и гипотензивная активность. Установлена антимикробная активность гидролизатов в отношении тест-штаммов *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*. На *in vivo* модели индуцированного окислительного стресса путем введения животным четыреххлористого углерода показаны антиоксидантные и гепатопротекторные свойства гидролизатов, а также статистически значимое снижение среднего систолического давления при внутрижелудочном введении гидролизатов. На модели с антибиотико-индуцированным дисбиозом исследованы их пребиотические свойства. Установлено статистически достоверное увеличение примерно в 3 раза ($p < 0,05$) относительного содержания лакто- и бифидобактерий в каловых массах экспериментальных животных, получавших на фоне приема антибиотика гидролизаты.

В пятой главе представлены исследования по разработке рецептуры аэрированного продукта с применением гидролизата сывороточных белков, а также приведены результаты тестирования его функциональных свойств на моделях *in vivo*. Установлена его АПФ-ингибирующая активность, плотность и тиксотропность.

В шестой главе в различных моделях *in vivo* показано, что разработанные продукты на основе пептидных гидролизатов сывороточных белков обладают функциональными свойствами, такими как антиоксидантные и гепатопротекторные, гипотензивные, гипохолестеринемические и бифидогенные.

Седьмая глава посвящена разработке рецептур и технологий молочных продуктов с применением полученных гидролизатов сывороточных белков, а также оценке их органолептических свойств.

В приложениях к диссертации приведены материалы, подтверждающие научную новизну и практическую значимость полученных результатов выполненных исследований.

Автореферат диссертации полностью отражает основное содержание, структуру и результаты диссертационной работы и оформлен в соответствии с требованиями ВАК при Минобрнауки РФ.

Значимость для науки и практики полученных результатов

Заключается в развитии теоретических основ переработки молочной сыворотки в ингредиенты с доказанными функциональными свойствами, а также разработке рецептур и технологических приемов для производства продуктов общего и специализированного назначения на их основе; экспериментально-прикладном обосновании применения вторичных сырьевых ресурсов молочной отрасли для получения функциональных пищевых продуктов с целью повышения пищевого статуса организма человека и населения страны.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Представленные результаты теоретических и экспериментальных исследований, приведенные в диссертационной работе, могут служить основой для дальнейшего совершенствования ресурсосберегающих технологий в молочной отрасли.

Научные выводы диссертации могут быть использованы при написании специальной литературы, имеющей отраслевое значение.

Результаты комплексных экспериментальных исследований по разработке научно-обоснованных способов трансформации белков молочной сыворотки в ингредиенты с доказанными функциональными свойствами и последующей технологической интеграцией в матрицы пищевых систем могут быть рекомендованы для производства продуктов диетического профилактического питания предприятиями молочной отрасли.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований рекомендуются для внедрения в учебном процессе при реализации основных образовательных программ подготовки бакалавров и магистров по направлению 19.03.03 и 19.04.03 «Продукты питания животного происхождения».

Полнота опубликования основных положений и результатов диссертационной работы

По материалам диссертационной работы опубликовано лично автором и в соавторстве 79 научных работ, в том числе 2 монографии, 1 учебник, 10 статей в журналах, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science, 19 статей в журналах, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки РФ для публикации результатов диссертационных исследований, 44 статьи в журналах и по материалам докладов на международных и всероссийских конференциях, которые в полной мере отражают объем и содержание диссертации.

Вопросы, замечания и пожелания по работе

Оценивая положительно диссертационную работу в целом, считаю необходимым сделать следующие замечания и высказать пожелания:

1. В п.п. 5.5 диссертации (С. 193) описан подбор технологических режимов получения базового молочного продукта с гидролизатом сывороточных белков с использованием гидродинамического измельчителя-диспергатора ГИД-100/1. Однако при определении срока годности готового продукта творожный мусс вырабатывали на приборе «Термомикс» с применением миксера «Bosch» (С. 203). Соискателю следует пояснить указанные различия.

2. Из текста диссертации не ясно, почему в процессе хранения контрольного образца мусса происходило увеличение массовой доли лактозы (табл. 6.14, С. 207).

3. Согласно технологической схеме получения обогащенных продуктов ультрафильтрация молочной сыворотки была проведена при $t = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$ (рисунок 7.3, С. 221). Чем обусловлен выбор нестандартного температурного режима этой операции? Насколько экономически целесообразно обеспечивать такую температуру ультрафильтрации в производственных условиях?

4. По тексту диссертации соискатель употребляет разные термины для описания продукта на основе гидролизата сывороточных белков: базовый аэрированный продукт, базовый творожный продукт, базовый молочный продукт, творожный мусс и др. Это усложняет прочтение и анализ полученных результатов. Целесообразно было бы использовать унифицированный термин при отсылке к базовому аэрированному продукту.

5. На мой взгляд, сведения об основных технико-экономических показателях разработанных технологических решений украсили бы работу в целом.

6. По тексту диссертации и автореферата встречаются опечатки, неточности, дублирование одних и тех же абзацев.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку выполненной диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Агарковой Е.Ю. является законченной научно-квалификационной работой. В ней сформулирована и реализована концепция трансформации белков молочной сыворотки в ингредиенты с доказанными функциональными свойствами и последующей технологической интеграцией в матрицы пищевых систем. На основании выполненных автором исследований приведены научно обоснованные технологические решения, внедрение которых позволяет решать важную народно-хозяйственную задачу – расширение ассортимента молочных продуктов для диетического и профилактического питания, в том числе низкоаллергенных, что вносит значительный

вклад в развитие страны, особенно в условиях импортозамещения. Работа в достаточной мере отражена в периодической печати.

Диссертационная работа включает необходимые элементы квалификационной работы доктора наук, носит прикладной характер и соответствует требованиям пп. 9 – 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, а ее автор Агаркова Евгения Юрьевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.3 – Пищевые системы.

Официальный оппонент,
доктор технических наук по специальности
05.18.04 – Технология мясных, молочных и
рыбных продуктов и холодильных производств,
профессор кафедры технологии продуктов
животного происхождения ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный университет
инженерных технологий», доцент

Екатерина Викторовна Богданова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий» (ФГБОУ ВО ВГУИТ)
394036, г. Воронеж, пр. Революции, д. 19
раб. телефон +7 (473) 255-27-65,
e-mail: kaf-tpzp@vsuet.ru, ek-v-b@yandex.ru
«04» августа 2023 г.

