

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 исследования.

Перспективность переработки молочной сыворотки подтверждается рядом актуальных проблем, среди которых ограниченность сырьевых ресурсов и экологическая эффективность молочного производства, обусловленная высокой биологической и химической способностью молочной сыворотки к окислению кислорода.

Современные реалии популяризации здорового образа жизни создают условия, которые ведут к необходимости изыскания новых путей повышения биологической ценности пищевых продуктов. В этой связи белки молочной сыворотки выступают в роли обогащающего компонента, в большей степени проявляя свою функциональность после проведения ферментативной конверсии. Для снижения затрат на дорогостоящий процесс протеолиза, преследующий получение максимального количества биопептидов, существуют методы *in silico* прогнозирования с использованием известных пептидных баз. Актуализация потенциала вышеупомянутых баз данных с использованием цифровых технологий дает больше возможностей точно прогнозировать получение пептидов с заданными свойствами. Такой подход позволяет проводить виртуальный протеолиз не только сывороточных, но и любых других белков, сведения о которых находятся в открытом доступе.

При разработке продуктов питания функциональной направленности существует ряд проблем, одной из которых является доказательная база

функциональных свойств вводимых ингредиентов. Проведение исследований как продукта, так и вносимого ингредиента на живых системах позволяет сделать обоснованный вывод непосредственно о комплексном функциональном потенциале продуктов и компонентов.

В условиях динамичного развития промышленного производства возможны изменения технических параметров, перепадов температур и кислотности. Для того, чтобы данные изменения в наименьшей степени оказывали влияние на процесс биокатализа, необходима разработка прогностической модели, учитывающей все эти риски.

Оценка содержания диссертации.

Диссертационная работа Агарковой Е.Ю. изложена последовательно и логично, состоит из введения, аналитического обзора информации, схемы организации научных исследований, методологии, объектов и методов исследования, семи глав, содержащих результаты собственных исследований, заключения по работе, списка использованной литературы и приложений. Общее содержание диссертационного исследования изложено на 260 страницах и включает 112 таблиц и 63 рисунка. Библиографический список литературы содержит 285 наименований.

Во введении обоснована актуальность тематики исследований, степень её разработанности, автором сформулированы цель и задачи исследований, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов работы.

В первой главе представлен аналитический обзор российских и зарубежных материалов, на базе которых определены наиболее перспективные направления развития в области биокаталитических технологий в пищевой промышленности.

Показана актуальность использования белков молочной сыворотки как источника функциональных пищевых ингредиентов, выявлены пробелы в

области исследований и перспективность использования протеомного анализа при разработке функциональных продуктов на основе молочных белков. На основании априорной информации соискателем сформулированы направления собственных исследований.

Во второй главе представлены организация проведения научных экспериментов, схема проведения научных исследований, объекты исследований, оборудование и методы, применяемые диссертантом при выполнении работы. Автор использует как стандартные методы для оценки качества продуктов переработки молока, так и методы *in vitro* и *in vivo*. Использование диссертантом современных методов исследований свидетельствуют о достоверности полученных результатов.

В третьей главе показаны закономерности изменения белкового профиля сывороток, полученных при различных условиях коагуляции. Исследование *in silico* показало, что пептиды с наиболее высокой антигипертензивной активностью обнаружены при применении химотрипсина С и субтилизина, а наименьшее количество горьких пептидов зафиксировано в трипсиновых гидролизатах.

Соискателем изложен алгоритм системного анализа протеолитических ферментов с интегрированием таких выходных параметров, как ингибирование АПФ, ДПП IV; антиоксидантная активность свободных аминокислот, количество горьких пептидов. Наиболее оптимальным по интегральному показателю и отсутствию аллергенных эпитопов оказался субтилизин. Определены оптимальные параметры протеолиза сывороток, проведена корректировка уравнения Михаэлиса-Мэнтен и создана равновесная модель протеолиза. Исследован фракционный состав полученных в оптимальных условиях гидролизатов, установлено присутствие в составе всех гидролизатов антиоксидантных и гипотензивных фрагментов.

В четвертой главе описана характеристика антиоксидантных (АОЕ), антигипертензивных и антимикробных свойств гидролизатов.

АОЕ всех гидролизатов составила от 400 до 600 мкМ ТЭ/г белка. Показано, что наиболее выраженной антимикробной активностью обладает гидролизат сыворотки от твердых сыров и гидролизат сыворотки от мягкого сыра без созревания, что коррелирует с данными *in silico* прогнозирования. С применением *in vivo* модели на фоне приема гидролизатов у животных показана тенденция к снижению величины токсичных продуктов в печени, выявлен бифидогенный и гипотензивный эффект.

В пятой главе показано влияние охарактеризованных с точки зрения биофункциональных свойств гидролизата как на структурно-механические, так и на органолептические показатели базового аэрированного продукта и проведено тестирование функциональных свойств на моделях *in vivo*. Установлено, что внесение гидролизатов в матрицу базового продукта негативно влияет на реологические и органолептические показатели, но при этом 100%-ная замена приводит к повышению АПФ-ингибирующей активности продукта. По результатам полнофакторного эксперимента были установлены оптимальные дозы внесения выбранного по результатам комплексной оценки гидролизата и стабилизационной системы, а также разработаны технологические режимы получения продукта.

В шестой главе описано тестирование *in vivo* на моделях индуцированного окислительного стресса. Показано, что на фоне приема продукта с гидролизатом, выбранным ранее, у животных содержание ТБК-реактивных продуктов было ниже, по сравнению с группой с интоксикацией. Показано статистически достоверное увеличение относительного содержания лакто- и бифидобактерий у животных, получавших на фоне приема антибиотика опытные образцы мусса. На модели с повышенной алиментарной липидной нагрузкой показано снижение сывороточной концентрации триглицеридов и атерогенной фракции липопротеидов на фоне базового аэрированного продукта.

В седьмой главе описана разработка технологии и исследование пяти видов обогащенных продуктов. Оценка степени тиксотропности экспериментальных образцов обогащенных молочных и творожных продуктов в сравнении с контрольными показала, что внесение гидролизата и стабилизационной системы улучшало структурно-механические характеристики новых продуктов. На основании проведенных исследований автором разработана общая технологическая схема обогащенных продуктов.

Диссертационная работа завершается **заключением**, в котором обобщены результаты экспериментальных исследований, выполненных автором. Сформулированные выводы соответствуют цели и задачам и являются логическим завершением проведенных исследований.

Диссертационная работа по структуре соответствует основным положениям и требованиям ВАК РФ, написана грамотно, аккуратно оформлена, проиллюстрирована графическими и табличными материалами.

Достоверность и новизна основных положений диссертации.

Достоверность полученных результатов подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями с использованием общепринятых подходов и современных достижений фундаментальных и прикладных наук, корректным использованием средств и методик, статистической обработкой экспериментальных данных.

Научная новизна работы заключается в получении закономерностей формирования функционального потенциала белков технологически дифференцированных молочных сывороток от пептидного профиля и в разработке системного подхода к ранжированию ферментных препаратов по биологической активности и сенсорному профилю образующихся пептидов; в 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; в

установлении зависимостей величин функциональной активности гидролизатов сывороточных белков от продолжительности протеолиза и фермент-субстратного соотношения; в изучении органолептических, структурно-механических и функциональных свойств базового аэрированного продукта от дозы внесения гидролизатов; в установлении закономерностей формирования газодисперсной структуры аэрированного продукта от технологически-аппаратурных параметров его получения.

Соискателем Агарковой Е.Ю. теоретически обоснованы условия для максимального высвобождения биологически активных пептидов из сывороточных белков, определены методы тестирования и представлены доказательства биофункциональных свойств гидролизатов.

Ценность для науки и практики.

Результаты диссертационной работы представляют собой концептуальный подход по получению пищевых ингредиентов белковой природы с доказанными функциональными свойствами. Предложенные принципы позволят усовершенствовать традиционную парадигму создания функциональных ингредиентов и расширить область их применения.

С практической точки зрения полученный базовый функциональный ингредиент (пептидный гидролизат) может быть использован для широкого спектра пищевых продуктов, о чем свидетельствует разработка и внедрение частных технологий 6-и видов обогащенных продуктов, внедренных на 4-х молокоперерабатывающих предприятиях России.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати.

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований обсуждены на конференциях, форумах и семинарах различного уровня. Соискателем опубликовано 79 печатных работ, в т.ч. 10 статей в журналах, индексируемых в наукометрической базе данных Web of Science и Scopus; 19 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ; 39 статей и

тезисов, индексируемых в РИНЦ, и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.

Автореферат полностью отражает содержание и основные результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, и дополнительно включает список опубликованных работ соискателя.

В порядке дискуссии по диссертационной работе **имеются замечания и пожелания:**

1. Поясните, что понимается под термином «технологически дифференцированные сыворотки»?
2. Не совсем понятно, каким образом задавался вес интегрального показателя для выбора ферментного препарата при разработке программного обеспечения?
3. Что подразумевается под комплексной оценкой, на основании которой осуществлен выбор ферментного препарата?
4. Чем обусловлен выбор тыквенного пектина в составе стабилизационной системы?
5. Какие выходные параметры были оптимизированы автором при получении базового аэрированного продукта с внесенным гидролизатом?
6. Автор отмечает, что была разработана общая технологическая схема получения обогащенных продуктов (рис.9, автореферат). В чём суть разработанной технологии? Каковы отличительные признаки в сравнении с известной существующей технологией?
7. Каковы технологические особенности получения пасты и напитка? Судя по схеме технологические операции аналогичны - диспергирование, пастеризация, охлаждение, вероятно применяется различное оборудование? Прокомментируйте пожалуйста режимы обработки.

Заключение.

Диссертационная работа Агарковой Е.Ю. является самостоятельным, завершенным научным исследованием, выполненным на актуальную тему, в котором решается приоритетная задача увеличения доли использования вторичных молочных ресурсов на пищевые цели с созданием биологически ценных ингредиентов функциональной направленности.

В целом, диссертационная работа по актуальности, объему проведенных исследований, научно-методическому уровню, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, изложенным в п.п. 9-14 Положения ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, **Агаркова Евгения Юрьевна**, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.3. Пищевые системы.

Официальный оппонент –
член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, профессор,
заведующий базовой кафедрой
технологии молока и
молочных продуктов ФГАОУ
ВО «Северо-Кавказский
федеральный университет»



Евдокимов

Иван Алексеевич

07.08.2023г

355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
Телефон: (8652) 95-68-08
e-mail: ievdokimov@ncfu.ru



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ:
начальник отдела по
работе с сотрудниками УКА

Л С ГОРБАЧЕВА