

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГАНУ «ВНИМИ»
д.т.н., академик РАН

 Галстян А.Г.
_____ 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт молочной
промышленности»
(ФГАНУ «ВНИМИ»)

Диссертационная работа «Разработка технологических решений для иммобилизации йода и цинка белковыми матрицами молочной сыворотки» выполнена в Федеральном государственном автономном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (ФГАНУ «ВНИМИ»).

Соискатель Барковская Ирина Александровна, 2000 года рождения, в 2021 году с отличием окончила обучение по программе бакалавриата в ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» по направлению 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения», в 2023 году с отличием окончила обучение по программе магистратуры в ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет» по направлению 19.04.03 «Продукты питания животного происхождения».

В период с 2022 по 2025 год освоила программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФГАНУ «ВНИМИ» по научной специальности 4.3.3 «Пищевые системы».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 09/25 выдана 05 июня 2025 года ФГАНУ «ВНИМИ».

Соискатель работает младшим научным сотрудником в Лаборатории технологий биотрансформации и консервирования ФГАНУ «ВНИМИ».

Научный руководитель – доктор технических наук Кручинин Александр Геннадьевич, старший научный сотрудник экспериментальной клиники – лаборатории биологически активных веществ животного происхождения (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН).

По результатам рассмотрения диссертационной работы принято следующее заключение:

Представленная диссертационная работа «Разработка технологических решений для иммобилизации йода и цинка белковыми матрицами молочной сыворотки» выполнена Барковской И.А. самостоятельно в рамках гранта Российского научного фонда № № 24-26-00220 от 29.12.2023 г. по теме «Разработка технологии направленной биокаталитической модификации α -лактальбумина с целью повышения реакционной способности к специфическому связыванию ионов йода и цинка для коррекции патологических процессов при йододефицитных состояниях» и является логично обоснованным и законченным результатом научных исследований.

Соискателем проведен анализ научно-технической литературы, освещающей вопросы современного состояния проблемы дефицита йода и мирового опыта ее решения. Изучены существующие пищевые добавки и продукты, обогащенные йодом, а также приведен перечень факторов, играющих ключевую роль в эффективности пищевых добавок для коррекции йододефицитных состояний. Установлено, что препараты, представленные на рынке алиментарных средств нивелирования дефицита йода, имеют ряд недостатков, что актуализирует разработку новых технологических решений для производства йодированных пищевых ингредиентов и продуктов.

Определено влияние ГМФ на повышение эффективности процесса термоселективного фракционирования α -ЛА из системы молочной сыворотки, обусловленное декальцинированием молекулы белка и понижением порога его температурной денатурации, а также снижением соосаждения β -ЛГ. Установлены оптимальные условия процесса (массовая доля белка – 3,56%; активная кислотность среды – 3,0 ед. рН; температура – 58°C; продолжительность процесса – 120 минут; массовая доля ГМФ – 0,2%), позволяющие получить концентрат с соотношением β -ЛГ – α -ЛА 0,7 к 1;

Установлены закономерности влияния технологических параметров на эффективность связывания цинка с декальцинированными белками, на основании которых определены рациональные условия процесса, соответствующие температуре 40°C; концентрации ионов цинка 1,5 мМ; активной кислотности среды 8,0 ед. рН; продолжительности 60 минут. Доказано, что модифицированная белковая матрица хелатирует $169,8 \pm 27,3$ мг цинка на 100 г белка, что в 1,6 раза больше, чем нативные белки;

На основе проведенного биоинформатического моделирования установлено, что наиболее подходящей протеазой для направленного гидролиза, с учетом дескрипторной модели, является трипсин. Гидролиз сывороточных белков трипсином критически не затрагивает сайты связывания

двухвалентных металлов α -ЛА и БСА, при этом потенциальные продукты гидролиза характеризуются приемлемым количеством йодсвязывающих пептидов, низким содержанием свободных аминокислот и горьких пептидов;

Оптимизированы параметры процесса гидролиза WPC- α трипсином: активная кислотность – 8,0 ед. pH; температура – 44°C; продолжительность – 180 минут, что обеспечивает максимальную степень гидролиза 4,4%. Установлены зависимости ковалентного связывания йода с белково-пептидным субстратом от технологических факторов среды и определены режимы процесса, обеспечивающие максимальное ковалентное связывание йода ($2,5 \pm 0,4$ г/100 г йода): температура 20°C; концентрация ионов йода 4 мМ; активная кислотность среды 8,0 ед. pH; продолжительность 12 часов. Доказано, что гидролизат WPC- α способен связывать в 2 раза большую концентрацию йода, чем нативные белки с интактным распределением фракций;

Доказано, что для очистки WPC- α от нехелатированного цинка перспективно использование ультрафильтрации (5 кДа) с 3-кратной диафильтрацией, а с точки зрения сохранения пептидов и очистки HWPC- α от неорганического йода перспективнее использовать нанофильтрацию (0,6 кДа) с 3-кратной диафильтрацией. Скрининг аминокислотных модификаций очищенного HWPC- α , полученных в результате хромато-масс-спектрометрического анализа, позволил установить механизм ковалентного связывания ионов йода по тирозину для трех видов пептидов, локализованных в белке предшественнике β -ЛГ;

Установлено, что воздействие температурных факторов в процессе распылительной сушки не приводит к снижению концентрации йода и цинка в дегидратированной форме ГСБ. Установлена зависимость снижения концентрации йода в обогащенном молоке при его пастеризации в диапазоне до 16%, при этом большее влияние оказывает продолжительность тепловой нагрузки на продукт;

Разработана технология и комплект технической документации на производство ГСБ, обогащенного йодом и цинком, обогащенного питьевого молока (СТО «Гидролизат сывороточного белка сухой, обогащенный йодом и цинком», СТО «Молоко питьевое пастеризованное, обогащенное йодом и цинком») Разработанные технологии апробированы и внедрены в промышленное производство на предприятиях молочной отрасли.

При личном участии соискателя определены пробелы в области исследования, сформулированы цель и задачи работы, проведено планирование экспериментов, организованы и проведены научные

исследования, в том числе сбор, обработка, анализ и систематизация экспериментального массива данных.

Работа выполнена с соблюдением общепризнанных научных принципов и опорой на фундаментальные и прикладные достижения в данной области. Экспериментальные исследования проводились с использованием сертифицированного аналитического оборудования и современных методик, обеспечивающих высокую точность измерений. Измерения и исследования проведены в 3-5 повторностях с последующим статистическим анализом, что исключает случайные погрешности и гарантирует соответствие общепринятым научным представлениям.

Научная новизна работы заключается в:

Формировании новой концепции обогащения сывороточных белков эссенциальными микроэлементами (йодом и цинком);

Получении новых знаний о зависимостях иммобилизации йода и цинка с модифицированными белками молочной сыворотки;

Разработке биоинформатического подхода для повышения эффективности обогащения белков молочной сыворотки эссенциальными микроэлементами;

Установлении устойчивости белкового комплекса, обогащенного йодом и цинком, в условиях воздействия основных технологических процессов производства молочной продукции.

Практическая значимость работы заключается в:

Разработке комплекта документов в области стандартизации (СТО «Гидролизат сывороточного белка сухой, обогащенный йодом и цинком», СТО «Молоко питьевое пастеризованное, обогащенное йодом и цинком»);

Апробации и внедрении разработанных технологий на российских предприятиях молочной отрасли;

Получении свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025661267 «Программа для моделирования процесса йодирования белков молочной сыворотки».

Соискателем за время подготовки диссертационной работы опубликовано 10 статей, в том числе 4 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК (К1-К2); 3 статьи в международных рецензируемых журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science; 3 статьи в материалах конференций и журналах РИНЦ. Результаты работы доложены и обсуждены на 6 научно-практических конференциях Всероссийского и Международного уровня. Основные результаты диссертационного исследования в опубликованных работах изложены в полной мере.

Диссертационная работа «Разработка технологических решений для иммобилизации йода и цинка белковыми матрицами молочной сыворотки» Барковской И.А. соответствует пунктам 5, 35 и 36 паспорта научной специальности 4.3.3 «Пищевые системы» и пунктам 7, 15 и 29 паспорта научной специальности 4.3.5 «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ» и отвечает критериям, установленным п. 2.1 Федерального закона от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» и п. 14 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842).

Диссертационная работа «Разработка технологических решений для иммобилизации йода и цинка белковыми матрицами молочной сыворотки» Барковской Ирины Александровны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научным специальностям 4.3.3 «Пищевые системы» (технические науки) и 4.3.5 «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ» (технические науки).

Заключение принято на заседании секции Ученого совета ФГАНУ «ВНИМИ» (протокол № 1 от 22 мая 2025 года).

Присутствовало на заседании 7 чел.

Результаты голосования: «за» – 7 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел.

Заместитель директора
по научной работе, д.т.н.

Наталия Сергеевна
Пряничникова

Подпись руки
Н.С. Пряничниковой
подтверждаю
начальник отдела кадров

Мария Андреевна Маркина