

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Хазова Дмитрия Сергеевича на тему «Разработка технологии сухой низколактозной сыворотки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 4.3.3. Пищевые системы и 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ

Актуальность темы исследования.

Диссертационная работа Хазова Д.С. посвящена актуальной проблеме рационального использования вторичного молочного сырья – молочной сыворотки. Сыворотка содержит ценные компоненты – сывороточные белки, лактозу, минеральные вещества, что делает её перспективным сырьём для производства пищевых ингредиентов.

Разработка технологии получения сухой низколактозной сыворотки с использованием комбинации физико-химических и биотехнологических методов является своевременной и востребованной для молочной промышленности.

Анализ содержания диссертации.

Диссертационная работа Хазова Д.С. представлена в традиционном изложении, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, списка литературы (171 источник, в том числе 101 иностранный) и 8 приложений. Основной текст диссертации изложен на 164 страницах машинописного текста, включает 20 таблиц и 31 рисунок.

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

В первой главе представлен аналитический обзор научно-технической литературы по теме диссертационной работы. Рассмотрены основные

направления переработки молочной сыворотки, её состав и свойства как сырья для продуктов с регулируемым составом. Детально проанализированы современные технологии корректировки компонентного состава, включая баро- и электромембранные методы. Особое внимание уделено сравнительному анализу физико-химических (кристаллизация) и биотехнологических (ферментативный гидролиз) методов снижения содержания лактозы. Автором проработана отечественная и зарубежная литература, что позволило сформулировать цель и задачи исследований. Изложение материала свидетельствует о глубоких познаниях диссертанта и умении анализировать литературные данные.

Во второй главе изложена организация проведения научных экспериментов, представлена схема проведения исследований, отражены этапы работы. Приведены характеристики объектов исследований, перечень используемого оборудования. Описаны стандартные и специальные методы анализа, а также методы статистической обработки данных. Используемые методы адекватны поставленным задачам, результаты достоверны.

В третьей главе изучено влияние нанофильтрационной обработки на эффективность делактозирования методом кристаллизации. Показано, что применение диафильтрации повышает степень деминерализации с 29,6% до 45,9%, но не приводит к значимому увеличению степени кристаллизации лактозы (остаётся на уровне 65–67%). Автором обоснована нецелесообразность использования ресурсоёмкой диафильтрации для обычной подсырной сыворотки.

Исследовано влияние промывки кристаллов на компонентный состав делактозированной сыворотки. С использованием полного двухфакторного эксперимента определены оптимальные параметры промывки (температура 20–30 °С, объем промывной воды 50–90% от массы кристаллов), позволяющие повысить массовую долю белка в сухом остатке до 26,0% (в 2,5 раза выше исходного уровня).

Проведено сравнение двух методов деминерализации делактозированной сыворотки – мембранной емкостной деионизации (МЕДИ) и электродиализа. Показано, что МЕДИ обеспечивает максимальную степень деминерализации лишь около 36%, что недостаточно для получения продукта с хорошими органолептическими показателями. Электродиализ позволяет достичь деминерализации более 90%, однако процесс имеет двухстадийную кинетику с резким замедлением на второй стадии. Автором обоснован выбор уровня деминерализации 70% как технологически и экономически оптимального.

В четвёртой главе проведены исследования по снижению содержания лактозы методом ферментативного гидролиза. Выполнен систематический анализ факторов, влияющих на каталитическую активность β -галактозидазы. Изучено влияние степени деминерализации делактозированной сыворотки на каталитическую активность β -галактозидазы.

Исследовано влияние корректировки углеводного состава на процессы обезвоживания системы. На модельных системах показано, что повышение массовой доли белка в сухом остатке до 30% стабилизирует процесс распылительной сушки, повышая выход сухого продукта до 92–93%. Установлено, что низколактозная сыворотка обладает повышенной гигроскопичностью, что требует специальных условий хранения.

В пятой главе на основе полученных результатов разработана технология сухой низколактозной деминерализованной сыворотки. Представлена блок-схема технологического процесса, описаны режимы и параметры операций (нанофильтрация, кристаллизация, промывка, гидролиз, электродиализ, сгущение, распылительная сушка). Приведены составы и свойства готовых продуктов, определены сроки годности (12 месяцев). Проведена оценка безопасности разработанной технологии с учетом требований НАССР, выявлены критические контрольные точки. Выполнен расчет экономической эффективности: рентабельность производства составляет 43,64% при сроке окупаемости капитальных вложений 4,49 года.

Заключение содержит 10 выводов, которые в полной мере отражают результаты экспериментальных исследований, соответствуют цели и задачам диссертации и логически вытекают из полученных данных.

Научная новизна.

Научная новизна работы не вызывает сомнений. Автором обоснован двухэтапный подход к снижению содержания лактозы (кристаллизация и ферментативный гидролиз), впервые проведено сравнение эффективности электродиализа и мембранной ёмкостной деионизации применительно к делактозированной сыворотке, определены оптимальные параметры промывки кристаллов лактозы, позволяющие повысить массовую долю белка в сухом остатке до 26,0 %.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в выявлении закономерностей влияния ионного состава на ферментативный гидролиз лактозы и влияния соотношения углеводов/белок на реологические свойства систем. Практическая значимость подтверждена разработанной технической документацией (ТУ и ТИ 10.51.55.150-016-37676459-2025) и экономической эффективностью (рентабельность 43,64 %).

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность полученных результатов подтверждается достаточным объемом экспериментальных данных, применением современных методов статистической обработки (дисперсионный анализ, t-критерий Стьюдента, апостериорный тест Тьюки), а также положительными результатами опытно-промышленной апробации на АО «Молочный комбинат «Ставропольский»».

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати.

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований достаточно полно обсуждены на конференциях и симпозиумах различного уровня. Опубликовано в открытой печати в 12 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

При ознакомлении с диссертационной работой возникли следующие замечания:

1. В разделе о ферментативном гидролизе не приведены данные о начальной концентрации лактозы в делактозированной сыворотке до и после промывки, что не позволяет оценить истинную субстратную нагрузку на фермент.
2. Нет данных об остаточной активности фермента после гидролиза. В технологии (глава 5) предусмотрена тепловая инактивация, но не исследовано, насколько эффективно инактивируется фермент при температуре 72–75 °С. Без этого нельзя исключить остаточную активность, которая может проявляться при хранении продукта.
3. Отсутствует информация о том, проводилась ли оценка органолептических показателей готового продукта (вкус, запах, цвет) квалифицированной дегустационной комиссией, или использовались только инструментальные методы.
4. При расчетах экономической эффективности не видно, учтена ли стоимость фермента, которая может быть значимой, а также затраты на его инактивацию. Это затрудняет объективную оценку экономического преимущества по сравнению с традиционной делактозированной сывороткой без гидролиза.

Сделанные замечания не снижают научную и практическую значимость выполненных исследований и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение.

Диссертационная работа Хазова Дмитрия Сергеевича на тему «Разработка технологии сухой низколактозной сыворотки» является самостоятельной, завершенной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему. В работе решается важная задача – создание эффективной технологии переработки подсырной сыворотки в высокобелковый продукт с пониженным содержанием лактозы с

