

## 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; 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ

### **Актуальность темы.**

Проблема полной и рациональной переработки молочной сыворотки является одной из ключевых в молочной отрасли. Уровень её глубокой переработки, по разным оценкам, не превышает 60%. Остающиеся объемы наносят значительный экологический ущерб и представляют собой нерационально используемый ресурс ценных компонентов – сывороточных белков, лактозы, минеральных веществ. Подсырная сыворотка, составляющая до 70% от общего объема получаемой в РФ сыворотки, является наиболее технологичным видом сырья, однако традиционные направления её переработки (производство сухой сыворотки, концентратов сывороточных белков) не всегда позволяют получить продукт с заданными функциональными свойствами.

Особую актуальность приобретает разработка технологий, обеспечивающих регулирование углеводного состава сыворотки, в т.ч. снижение содержания лактозы. Это востребовано для создания продуктов специализированного питания (в том числе, для лиц с непереносимостью лактозы), а также для расширения ассортимента ингредиентов с повышенным содержанием белка.

В связи с этим, диссертационная работа Хазова Д.С., направленная на создание научно-обоснованной технологии сухой низколактозной сыворотки с использованием комбинации физико-химической кристаллизации и ферментативного гидролиза, является своевременной и актуальной.

## **Научная новизна и практическая значимость.**

В диссертационной работе впервые предложена и обоснована двухэтапная технология снижения содержания лактозы в молочной сыворотке, сочетающая физико-химический (кристаллизация) и биотехнологический (ферментативный гидролиз  $\beta$ -галактозидазой *K. Lactis*) методы. Автором установлено, что применение диафильтрации при нанофильтрации подсырной сыворотки не приводит к значимому повышению эффективности кристаллизации лактозы. С использованием полного двухфакторного эксперимента определены оптимальные параметры промывки кристаллов лактозы (температура 20–30 °С, объем промывной воды 50–90% от массы кристаллов), обеспечивающие увеличение массовой доли белка в сухом остатке делактозированной сыворотки до 26,0% – более чем в 2,5 раза по сравнению с традиционным подходом.

Впервые проведено сравнительное изучение двух методов деминерализации – мембранной емкостной деионизации (МЕДИ) и электродиализа применительно к делактозированной сыворотке. Показано, что электродиализ обеспечивает глубокую деминерализацию (до 90%), однако процесс имеет двухстадийную кинетику с резким замедлением на второй стадии. Установлено, что наиболее технологически и экономически целесообразным является уровень деминерализации 70%.

Доказано влияние соотношения углеводов/белок на реологические свойства систем, обуславливающие оптимальные параметры сушки низколактозной сыворотки после физико-химической и ферментативной обработки.

Установлено влияние степени деминерализации и ионного баланса на активность  $\beta$ -галактозидазы, что имеет как научное, так и прикладное значение.

Проведены опытно-промышленные выработки, подтвердившие технологическую эффективность разработанных режимов.

Практическая ценность работы заключается в создании технологической платформы, позволяющей вырабатывать сухие продукты с различным уровнем деминерализации (70% или 90%) и степенью делактозирования (кристаллизация или гидролиз). Это расширяет ассортимент отечественных ингредиентов для пищевой (включая производство детского питания), фармацевтической и кормовой промышленности

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.**

Работа базируется на достаточном объеме экспериментальных данных (3–5 повторности), использовании современных методов анализа и статистической обработки (дисперсионный анализ с тестом Тьюки, t-критерий Стьюдента). Выводы логично следуют из полученных результатов.

**Полнота опубликования основных положений и результатов диссертации.**

Материалы диссертации получили положительную оценку на международных научно-технических конференциях и симпозиумах.

Анализ опубликованных работ соискателя позволяет утверждать, что основные положения и результаты диссертации в достаточной мере отражены в печати (опубликовано 12 научных работ, в том числе 3 в журналах, рекомендованных для опубликования ВАК РФ), носят творческий, оригинальный характер, автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

### **Структура и объем работы**

Диссертация Хазова Д.С. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, списка литературы (171 наименование, включая иностранные) и 8 приложений. Основное содержание работы изложено на 164 страницах машинописного текста, содержит 20 таблиц, 31 рисунок. Структура работы логична и соответствует поставленным задачам.

**Во введении** обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** проведен глубокий анализ научно-технической литературы по составу и свойствам молочной сыворотки, методам корректировки её компонентного состава, с особым акцентом на кристаллизацию и ферментативный гидролиз лактозы. Выводы из обзора четко определяют направления собственных исследований.

**Во второй главе** представлены объекты, методы и организация исследований, приведены характеристики использованных ферментных препаратов, приборов и оборудования.

**В третьей главе** детально изучены процессы нанофильтрации, кристаллизации, промывки кристаллов и деминерализации делактозированной сыворотки. Автором обоснована нецелесообразность применения диафильтрации для подсырной сыворотки, определены оптимальные параметры промывки и доказано преимущество электродиализа перед МЕДИ.

**Четвертая глава посвящена** исследованию ферментативного гидролиза остаточной лактозы в делактозированной сыворотке. Проведен сравнительный анализ двух коммерческих препаратов  $\beta$ -галактозидазы, установлено влияние степени деминерализации на кинетику гидролиза, обоснованы рациональные дозировки фермента. Изучено влияние гидролиза на реологические свойства и процесс распылительной сушки.

**В пятой главе** на основе полученных результатов разработана технологическая схема, представлены состав и свойства готовых продуктов, определены сроки годности, проведена оценка безопасности с учетом требований НАССР и выполнен экономический расчет, подтверждающий эффективность разработанной технологии.

Заключение содержит 10 выводов, полностью соответствующих цели и задачам работы.

Приложения содержат акты опытно-промышленных выработок, расчет технико-экономических показателей.

### **Замечания и вопросы по диссертационной работе.**

1. Оптимальная область промывки (50–90 % воды, 20–30 °С) слишком широка. Автор рекомендует диапазон, но не указывает конкретную точку оптимума.
2. В работе не приведены данные аминокислотного состава полученной низколактозной сыворотки. Было бы интересно сравнить его с аминокислотным составом традиционной сухой сыворотки или концентратов сывороточных белков.
3. С какой целью исследовали размеры, форму и однородность кристаллов лактозы (глава 3, рис. 3.4), если в технологии делактозированной сыворотки доброкачественность фракции кристаллов не является приоритетом.
4. В Главе 2 следовало бы указать методы оценки степени гидролиза лактозы, а также доли редуцирующих сахаров.
5. В автореферате диссертации на рисунке 8 указаны 3 критические контрольные точки, в то время как в диссертационной работе в таблице 5.4 – только 2.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

Диссертация Хазова Дмитрия Сергеевича «Разработка технологии сухой низколактозной сыворотки» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научно-техническая задача – разработана технология сухой молочной сыворотки с пониженным содержанием лактозы и повышенным

содержанием белка. Работа имеет важное значение для развития биотехнологии продуктов питания и пищевых систем.

Диссертация соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Хазов Дмитрий Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 4.3.3. Пищевые системы и 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Технологии продуктов  
животного происхождения» ФГБОУ ВО  
«Воронежский государственный  
университет инженерных технологий» Мельникова Елена Ивановна



ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
университет инженерных технологий»  
394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19  
Тел. 8 (4732) 55-27-65  
E mail: [melnikova@molvest.ru](mailto:melnikova@molvest.ru)

