

## ЭКОЛОГИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СЫВОРОТКИ

**Устинова Юлия Владиславовна**, доцент кафедры технологии хранения и переработки продуктов животноводства, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»,  
e-mail: [yul48888048@yandex.ru](mailto:yul48888048@yandex.ru)

**Бородулин Дмитрий Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, директор Технологического института, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»,  
e-mail: [borodulin@rgau-msha.ru](mailto:borodulin@rgau-msha.ru)

**Мясищева Нина Викторовна**, заведующая кафедрой технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», e-mail: [n.myasishcheva@rgauмсха.ru](mailto:n.myasishcheva@rgauмсха.ru)

**Сычев Роман Витальевич**, доцент кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», e-mail: [srv@rgau-msha.ru](mailto:srv@rgau-msha.ru)

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, Москва, e-mail: [rector@rgau-msha.ru](mailto:rector@rgau-msha.ru)

**Аннотация:** Сыворожка, побочный продукт сыроделия, традиционно считалась отходом в пищевой промышленности за счет большого содержания органических веществ, что оказывает негативное воздействие на окружающую среду при ее утилизации. Большая часть органических веществ содержит лактозу, жир и белок, которые являются жизненно важными питательными веществами для производства продуктов питания. Концентраты сывороточного белка, сухая сыворожка и лактоза - это лишь несколько примеров того, как в новых технологиях можно перерабатывать отходы сыворожки в ценные компоненты. Ферментация также является экономически эффективным решением для производства и разработки продуктов, таких как функциональные напитки.

В последнее время было разработано много новых напитков на основе сыворожки, содержащие фрукты, травяные добавки и другие компоненты. Однако при производстве таких напитков может возникнуть ряд проблем, в том числе кристаллизация лактозы при хранении в холодильнике, коагуляция белка при термической обработке, возникновение солоно-кислого вкуса из-за высокого содержания минералов. Для решения этих проблем на разных этапах производственного процесса следует применять различные методы обработки.

**Ключевые слова:** сыворожка, напитки, простокваша, коагуляция

Сыворотка является побочным продуктом, получаемым из простокваши, одного из самых важных этапов производства сыра. Этот этап коагуляции проводится ферментативным или кислотным способом. После введения сычужного фермента получают сладкую сыворотку с рН выше 6,0, которая отделяет гликомакропептиды от мицелл казеина и способствует свертыванию молока. Однако, когда молоко сворачивается молочнокислыми бактериями, из него образуется кислая сыворотка (рН ниже 6,0), которую затруднительно использовать в пищевой промышленности. Одним из наиболее важных параметров, влияющих на сыворотку, является значение рН [1].

На физико-химический состав сыворотки влияют различные факторы, в том числе тип производимого сыра и состав молока. Сыворотка состоит из воды, минералов, липидов, углеводов и белков. На долю лактозы приходится около 75% сухих веществ сыворотки. Обнаружено, что она обладает множеством технологических и функциональных преимуществ. Сыворотка классифицируется как пребиотик из-за ее способности увеличивать выработку полезных бактерий в кишечнике. Благодаря своим водосвязывающим и текстурирующим способностям лактоза также может выступать в качестве натурального пищевого консерванта, повышая стабильность пищевых продуктов и сроков годности [2-3].

Сыворотка также является богатым источником аминокислот. Сладкая сыворотка содержит немного больше белка и лактозы, чем кислая сыворотка. Сывороточные белки состоят в основном из  $\beta$ -лактоглобулина и  $\alpha$ -лактальбумина, эти белки содержат 58% и 57% незаменимых аминокислот. Сывороточные протеины обладают антиоксидантными и противовоспалительными свойствами, которые могут снизить риск хронических заболеваний, таких как диабет, болезни сердца и рак.  $\alpha$ -лактальбумин, богатый триптофаном сывороточный белок, был изучен на предмет его потенциального влияния на когнитивные функции. Кроме того, сыворотка является хорошим источником кальция, фосфора и селена, а также других минералов. Кальций и фосфор необходимы для костей, а селен, антиоксидант, защищает клетки от повреждений. Некоторые минералы, такие как калий, магний и цинк, присутствуют в небольших количествах. Эти минералы обеспечивают ряд преимуществ, включая поддержание нормального кровяного давления, неврологической функции и здоровья иммунной системы [4-6].

Витамины группы В, включая В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> и В<sub>12</sub>, входят в число витаминов, которые содержатся в сыворотке. Витамины Е и К также содержатся в сыворотке. Витамин Е является антиоксидантом, который помогает предотвратить повреждение клеток и имеет решающее значение для свертывания крови и поддержания прочности костей [7].

*Воздействие сыворотки на окружающую среду.* Сыворотка загрязняет окружающую среду сточными водами из-за высокого содержания органических веществ при производстве сыра. Сыворотка, сбрасываемая в водоем, приводит к проблемам эвтрофикации и токсичности, которые изменяют физико-химические свойства водных экосистем [8].

Сыворотка также может иметь неблагоприятно воздействовать на здоровье

населения при неправильной утилизации, поскольку она является переносчиком патогенов, которые могут загрязнять воду и влиять на здоровье населения, вызывая различные заболевания, начиная от проблем с желудочно-кишечным трактом и заканчивая серьезными инфекциями [9].

*Технологии переработки молочной сыворотки.* Было проведено множество исследований по приготовлению напитков с использованием нативной, порошкообразной, депротеинизированной и безлактозной сыворотки. Постоянное изменение состава сывороточных белков при термической обработке вызывают трудности при производстве. Учеными было предпринято несколько изучить использование мембранных методов или новых технологий, таких как омический нагрев и тепловое ультразвуковое воздействие вместо обычной термической обработки. Mourouzidis-Mourouzidis et al. [10] исследовали оптимальные условия микрофльтрации сладкой сыворотки в поперечном потоке с использованием керамических мембран с различными размерами пор. Наибольший потенциал для дальнейшего использования показали мембраны с номинальным размером пор 0,5 мкм.

Costa и др. (2018) [11] изучали влияние обычной пастеризации и омического нагрева сладкой сыворотки при различных технологических параметрах (2, 4, 5, 7 и 9 В/см при 60 Гц) при одной и той же температуре. Они обнаружили, что омический нагрев нагревает сыворотку за меньшее время, чем обычное нагревание, сохраняя при этом питательные вещества и качественные характеристики продукта. Кроме того, напряженность электрического поля 4-5 В приводит к значительному высвобождению биоактивных пептидов. Функциональные свойства сыворотки также были улучшены электроактивацией, которая основана на электролизе водных растворов.

Kareb et al. [12] продемонстрировали, что электроактивированная сыворотка может быть источником продуктов реакции Майяра и биоактивных пептидов. Они также обнаружили, что напряженность электрического поля 4-5 В приводит к значительному высвобождению биоактивных пептидов. Кроме того, выявлено, что постэлектроактивационная нейтрализация не снижает выработку лактулозы, пребиотика, используемого в качестве добавки в кисломолочных продуктах.

Vieira, Elsa & Fontoura et al. [13] обнаружили, что щелочная электроактивация сыворотки повышает ее растворимость и пенообразующую способность в диапазоне pH более 4,0-7,0. Это связано со структурными изменениями в белках, за счет процесса электроактивации, которая улучшает их функциональные свойства. Преимущество этого метода заключается в том, что он устраняет необходимость в фракционировании белка снижая при этом образование отходов. Щелочную электроактивацию можно проводить с помощью простого оборудования без дополнительных условий.

Процесс получения сухой цельной сыворотки включает в себя комбинацию нескольких производственных этапов. Для этапа предварительного концентрирования обычно применяется селективные мембраны [14]. Обратный осмос используется для предварительного концентрирования сыворотки, а нанофльтрация - для концентрирования и деминерализации сыворотки. Данные

процессы считаются экологически чистыми, поскольку не требуют растворителя для разделения соединений.

Распылительная сушка является основным методом производства сухой сыворотки. Метод предпочтителен в пищевой промышленности по сравнению с обычными методами сушки, поскольку он дешевый и легко воспроизводимый.

Сывороточные белки известны своими полезными свойствами и широко используются в качестве добавок в пищевой промышленности. Сывороточный белок существует в нескольких формах: концентрат сывороточного белка, изолят сывороточного белка и гидролизованный сывороточный белок.

Wen-qiong et al. [15] использовали фермент транслглютаминазу для катализа перед ультрафильтрацией и добились увеличения скорости извлечения сывороточного белка на 15-20% в условиях ферментативного катализа при pH 5,0, концентрации фермента 40 ед/г, температуре 40 °С и времени реакции 60 мин.

Хроматография является одним широко используемым методом разделения и очистки сывороточного белка наряду с мембранными методами. Для концентрации пептидов в определенных диапазонах молекулярной массы можно использовать эксклюзионную хроматографию, а для фракционирования пептидов по заряду и гидрофобности можно использовать ионообменную и обратимо-фазовую высокоэффективную жидкостную хроматографию. Мембранная хроматография, основанная на сочетании принципов хроматографии и мембранной фильтрации, предпочтительнее колоночной хроматографии. Кроме того, депротеинизированная сыворотка, может быть использована для производства нутрицевтиков, таких как пребиотики, полученные путем ферментативной конверсии лактозы и органических кислот в процессах микробной ферментации [16].

Согласно обзору Nicolás et al. [17], технология мембранной фильтрации с магнитной сепарацией может упростить процесс переработки сыворотки и сделать его более эффективным. Магнитная сепарация использует магнитные наночастицы или другие адсорбционные материалы для отделения и очистки белков от сложной смеси, такой как сыворотка. Метод заключается в связывании белка с магнитными частицами, а затем удалении частиц, покрытых белком, из смеси с помощью внешнего магнитного поля. Этот метод направлен на удаление белка с сохранением биологической функции и структурной целостности. Однако, поскольку не существует единого подхода, который мог бы эффективно обрабатывать сыворотку и изолировать белки, иногда требуются комбинации различных методов. Разработка эффективных магнитно-адсорбционных установок с улучшенной производительностью будет иметь первостепенное значение для извлечения сывороточных белков.

Лактозу получают с помощью физических процессов, таких как ультрафильтрация, нанофильтрация, концентрирование и кристаллизация. Получение лактозы из сыворотки и/или сывороточного пермеата достигается путем кристаллизации насыщенной сывороточной жидкости после удаления минералов. Однако представленные процессы, являются дорогостоящими и снижают ценность конечного продукта. Плохая растворимость лактозы

ограничивают ее использование в пищевых продуктах. С использованием лактозы в качестве сырья, образуются многочисленные производные, в том числе галактоолигосахариды, лактитол, лактулоза, лактосахароза, лактобионовая кислота и другие [18].

Галактоолигосахариды являются неперевариваемыми олигосахаридами. Они содержат от трех до десяти мономеров и производятся с помощью биокаталитических процессов с использованием сывороточной лактозы.

Лактосахароза представляет собой невосстанавливающий трисахарид галактозы, глюкозы и фруктозы, образующийся путем ферментативного трансгликозилирования лактозы. Для получения лактосахарозы используются два метода. Один из них включает использование  $\beta$ -галактозидазы для катализа переноса  $\beta$ -галактозилной группы, образующейся при расщеплении лактозы, в С4-гидроксильную группу глюкозила в сахарозе; другой включает использование  $\beta$ -фруктофуранозидазы или левансукратазы для катализа переноса фруктозной группы.

Лактосахароза считается пребиотическим олигосахаридом. Многочисленные исследования продемонстрировали полезную роль лактосахарозы в поддержании и защите микробиоты кишечника [19].

Лактулоза, также известная как 4-O-D-галактопиранозил-D-фруктофураноза, представляет собой дисахарид, состоящий из фруктозы и галактозы, связанных 1,4-гликозидной связью. Она образуется в результате щелочной изомеризации лактозы с помощью трех различных типов процессов: химический процесс, ферментативный процесс и процесс электроактивации. Для этой реакции изомеризации используется множество катализаторов, таких как щелочные агенты, комплексные реагенты и ферменты (Nooshkam et al., 2018). Добавление комплексобразователей приводит к максимальному выходу лактулозы при исходной концентрации лактозы 88% [20].

Электроактивация также использовалась для синтеза лактулозы из сывороточной лактозы. По данным Padilla, Beatriz & Ruiz-Matute [21], самый высокий выход лактулозы составил 38%, что было достигнуто за 40 мин при использовании тока 900 мА с количеством 10% раствора лактозы. В последнее время трансгалактозилирование активности  $\beta$ -глюкозидазы было использовано для синтеза лактулозы из лактозы в лабораторных масштабах. Ферментативный процесс можно рассматривать как доступный, экологически чистый и недорогой процесс.

Лактулоза широко используется в пищевой промышленности в качестве бифидогенного агента и пребиотической добавки. Он также эффективен в качестве терапевтического соединения для лечения хронических запоров и печеночной энцефалопатии [22].

Лактитол - это синтетический сахарный спирт, изготовленный из D-галактозы и D-сорбитола, который производится из лактозы. Он производится с помощью серии химических реакций каталитического гидрирования, в которых водород добавляется к карбонильной группе молекулы глюкозы. В целом, выход каталитического гидрирования лактозы существенно зависит от температуры реакции. Лактитол можно использовать в качестве наполнителя, увлажнителя и

пребиотика. Клинические исследования показали, что полиол оказывает благотворное влияние на здоровье пищеварительной системы [23].

Лактобионовая кислота (4-О-галактопиранозил-D-глюконовая кислота) представляет собой альдоновую кислоту, полученную путем окисления лактозы. В пищевой промышленности лактобионовая кислота используется в качестве желирующего агента, солюбилизатора, подсластителя, для удержания воды и пребиотика [24].

*Выделение компонентов сыворотки.* Известен способ выделения белков молочной сыворотки с применением в качестве реагента поли-N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида (ПДМДААХ), выпускаемого в промышленных масштабах под торговой маркой ВПК-402 [25]. Недостатком данного способа является низкая степень выделения белка (70%); предварительный нагрев сыворотки, что приводит к дополнительным затратам.

Известен способ выделения белковых веществ из молочной сыворотки путем введения в нее железосодержащей полиакриловой кислоты в количестве 0,3-1% от веса смеси, с последующим выдерживанием смеси и отделением образовавшегося осадка [26]. Недостатком данного способа является низкое количество выделенного белка (50-70%), значительная длительность процесса (30-90 мин), большой расход малодоступного реагента.

Авторами Liang M., Chen V.I., Chen H.L. разработан простой и экономичный метод выделения сывороточного белка из сырого молока с помощью гель-фильтрационной хроматографии. Одновременно выделяются четыре основных компонента сыворотки, включая иммуноглобулин, сывороточный альбумин, бета-лактоглобулин и альфа-лактальбумин [27].

Авторы [28] предложили изобретение, относящееся к молочной промышленности, в частности к способам выделения белковых веществ из молочной сыворотки. Способ включает введение в молочную сыворотку флокулянта, модифицированного серином, в качестве которого используется высокоанионный полиакриламид, модифицированный серином, со степенью ионизации 90%. Количество добавляемого флокулянта составляет 0,2-0,4% от массы смеси. Изобретение позволяет увеличить полноту выделения белковых веществ с сохранением их пищевой и биологической ценности, сократить длительность процесса, снизить расход добавляемого реагента. Высокая степень извлечения белка и сухого молочного остатка связана с регулированием молекулярной массы при направленной деструкции флокулянта. Процессы модификации можно разделить на медленные и быстрые. Медленная модификация происходит с высоким значением энергии активации. Она начинается с возникновения напряжения и дефектов, в кристаллической решетке, при этом происходит изменение межатомных расстояний.

Для дальнейшей реакции необходимо устранение полученных дефектов за счет перегруппировки атомов. Время жизни радикалов в твердой фазе возрастает на несколько порядков. Быстрая модификация протекает со взрывной скоростью при добавке необходимого растворителя за счет подвижности частей кристаллической решетки. К макромолекулярным реакциям относятся реакции деструкции полимеров и межмолекулярные реакции, в результате которых

образуются пространственные структуры и резко возрастает молекулярная масса. Представленный способ работает на снижение расхода используемого реагента, экономию времени модификации, увеличение выделения белка из молочной сыворотки.

Авторы [29] исследовали процесс выделения белков и лактозы из молочной сыворотки методом разделительного вымораживания. Проведены опыты по разделительному вымораживанию молочной сыворотки при температурах от  $-2$  до  $-6$  °С. Исследовано изменение плотности молочной сыворотки в процессе разделительного вымораживания. Построены графики зависимости количества образующегося льда, а также количество выпадаемого в осадок белка в процессе кристаллизации. Исследован фракционный состав белкового осадка, физико-химический состав образующегося льда в процессе кристаллизации. Определены параметры криоконцентрирования для выделения ценных компонентов молочной сыворотки.

Было установлено, что концентрировать молочную сыворотку методом разделительного вымораживания целесообразно при температуре хладоносителя  $-6$  °С в течение 10 часов, что позволяет получить концентрат молочной сыворотки, плотностью  $1044$  г/см<sup>3</sup> и водный раствор лактозы в виде кристаллизованной фазы в количестве 90 % от исходной массы сыворотки. При этом можно также задавать волнообразный характер изменения температуры хладоносителя в пределах  $-5,5 \dots -6,5$  °С с периодом вариации в 30 минут, что обеспечивает выпадение белкового осадка в количестве 4,2 % от исходной массы сыворотки. Разработанная технология разделительного вымораживания может найти широкое применение на предприятиях молочной промышленности.

Авторы Чеботарев Е.А. и др. [30] предлагают способ, включающий коагуляцию белков одним из известных способов и разделение образовавшейся суспензии в сепараторе с центробежной непрерывной выгрузкой осадка. При этом разделение суспензии «хлопья белков-сыворотка» осуществляется в две стадии: сначала гидроциклонированием, затем сепарированием. А избыточное давление суспензии на входе в гидроциклон составляет  $0,05-0,40$  МПа и устанавливается в соответствии с формулой  $P=210D^{2,4}$ , где  $D$  - диаметр цилиндрической части гидроциклона, м. Изобретение позволяет снизить энергетические затраты на сепарирование за счет уменьшения количества поступающей в сепаратор суспензии «хлопья белка-сыворотка».

Авторами Р.Х Моретти и А. Маласпина [31] предложен способ выделения белка из сыворотки коровьего молока, предусматривающий ультрафильтрацию сыворотки с использованием растворителя, например, воды, отличающийся тем, что, с целью выделения белка из молочной сыворотки, пригодного для введения в напиток, перед ультрафильтрацией из сыворотки удаляют остаточный казеин и молочный жир, снижают в ней общее количество микроорганизмов путем пропуска её через Диатомовый земляной фильтр с последующим нагревом, а после ультрафильтрации полученный концентрат белка охлаждают, пропускают через ионообменную смолу и сушат.

## Библиографический список

1. И.В. Паладий, Е.Г. Врабие, К.Г. Спринчан, М.К. Болога Молочная сыворотка: обзор работ. Часть 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение // ЭОМ. 2021. №1. С. 52-69.
2. Храпцов, А.Г., Новации молочной сыворотки, Санкт-Петербург: Профессия, 2016, с. 490.
3. Barukčić, I., Lisak, J.K., Božanić, R., Valorisation of whey and buttermilk for production of functional beverages – An overview of current possibilities, *Food Technol. Biotechnol.*, 2019, vol. 57, no. 4, p. 448. doi:10.17113/ftb.57.04.19.6460
4. Ramos, O.L., Pereira, R.N., Rodrigues, R.M., Teixeira, J.A., et al., Whey and whey powders: Production and uses, *The Encyclopedia of Food and Health* vol. 5, Caballero, B., Finglas, P., Toldrá, F. (eds.), Oxford: Academic Press, 2016, p. 498–505.
5. Nishanthi, M., Chandrapala, J., Vasiljevic, T., Properties of whey protein concentrate powders obtained by spray drying of sweet, salty and acid whey under varying storage conditions, *J. Food Eng.*, 2017, vol. 214, p. 137
6. Chandrajith, V.G.G., Karunasena, G.A.D.V., Applications of whey as a valuable ingredient in food industry, *Dairy and Vet. Sci. J.*, 2018, vol. 6 no. 5, p. 555. doi: 10.19080/JDVS.2018.06.555698.
7. Шелестун А. Сыворотка – что это за продукт и кому он полезен / А. Шелестун, Т. Елисеева // Журнал здорового питания и диетологии. 2022. №19. С. 15-19.
8. Яковлева Е.В. Обеспечение экологической безопасности путем совершенствования системы очистки сточных вод на предприятии молочной промышленности / Е.В. Яковлева, О.А. Злобина // Агротехника и энергообеспечение. 2015. №3 (7). С. 248-254.
9. Ковалева О.В. Уровень загрязненности сточных вод молокоперерабатывающих предприятий тюменской области / О.В. Ковалева, Н.В. Санникова, О.В. Шулепова // СНВ. 2020. №1 (30). С. 49-54.
10. Mourouzidis-Mourouzis, Stefanos & Karabelas, Anastasios. (2008). Whey protein fouling of large pore-size ceramic microfiltration membranes at small cross-flow velocity. *Journal of Membrane Science - J MEMBRANE SCI.* 323. 17-27. 10.1016/j.memsci.2008.05.053.
11. Costa, Naiara & Cappato, L.P. & Pereira, Marcus & Pessanha da Silva Pires, Roberto & Moraes, Jeremias & Esmerino, Erick & Silva, Ramon & Cucinelli, Roberto & Tavares, Maria Ines & Freitas, Mônica & Jr, Raimundo & Napole Rodrigues, Flavio & Bisaggio, Rodrigo & Cavalcanti, Rodrigo & Raices, Renata & Silva, Marcia. (2018). Ohmic Heating: A potential technology for sweet whey processing. *Food Research International.* 106. 10.1016/j.foodres.2018.01.046.
12. Ourdia, Kareb & Goma, Ahmed & Champagne, Claude & Jean, Julie & Aïder, Mohammed. (2016). Electro-activation of sweet defatted whey: Impact on the induced Maillard reaction products and bioactive peptides. *Food Chemistry.* 221. 10.1016/j.foodchem.2016.11.134.
13. Vieira, Elsa & Fontoura, Ana & Delerue-Matos, Cristina. (2023). Chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Swartz) Seed as an Unexploited Protein Source: Bio-Functional

and Nutritional Quality of Protein Isolates. *Foods*. 12. 2949. 10.3390/foods12152949.

14. Poništ, Juraj & Prepilková, Veronika & Samesova, Dagmar & Schwarz, Marian. (2022). Methods of processing whey waste from dairies. A review. *Environment Protection Engineering*. 47. 10.37190/epe210405.

15. Wen-qiong, Wang & Lan-wei, Zhang & Xue, Han & Lu, Yi. (2016). Cheese whey protein recovery by ultrafiltration through transglutaminase (TG) catalysis whey protein cross-linking. *Food Chemistry*. 215. 10.1016/j.foodchem.2016.07.057.

16. Nath, Arijit & Veraszto, Balázs & Basak, Somjyoti & Koris, András & Kovács, Zoltán & Vatai, Gyula. (2015). Synthesis of Lactose-Derived Nutraceuticals from Dairy Waste Whey—a Review. *Food and Bioprocess Technology*. 9. 10.1007/s11947-015-1572-2.

17. Nicolas, Paula & Ferreira, María & Lassalle, Veronica. (2018). A review of magnetic separation of whey proteins and potential application to whey proteins recovery, isolation and utilization. *Journal of Food Engineering*. 246. 10.1016/j.jfoodeng.2018.10.021.

18. Schuck, Pierre & Jeantet, Romain & Bhandari, Bhesh & Chen, Xiao & Perrone, Ítalo & Carvalho, Antonio & Fenelon, Mark & Kelly, Phil. (2016). Recent advances in spray drying relevant to the dairy industry: A comprehensive critical review. *Drying Technology*. 34. 10.1080/07373937.2016.1233114.

19. Ambrogi V., Bottacini F., Cao L., Kuipers B., Shusterman M., van Sinderen D. Galactooligosaccharides as prebiotics for infants: production, application, biologically active activity and future prospects. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2021; 0(0):1–14.

20. Nooshkam, Majid & Babazadeh, Afshin & Jooyandeh, Hossein. (2018). Lactulose: Properties, techno-functional food applications, and food grade delivery system. *Trends in Food Science & Technology*.

21. Padilla, Beatriz & Ruiz-Matute, Ana & Belloch, Carmela & Cardelle, Alejandra & Corzo, Nieves & Manzanares, Paloma. (2012). Evaluation of Oligosaccharide Synthesis from Lactose and Lactulose Using  $\beta$ -Galactosidases from *Kluyveromyces* Isolated from Artisanal Cheeses. *Journal of agricultural and food chemistry*. 60. 5134-41. 10.1021/jf300852s.

22. Karakan T., Tuohy K.M., Jansen-van Solingen G. Low doses of lactulose as a probiotic to improve intestinal health and improve mineral absorption. *Front Inner* 2021 Jul 27;8:672925. DOI: 10.3389/fnut.2021.672925. PMID: 34386514; PMCID: PMC8353095.

23. Cheng, Shouyun & Martinez-Monteagudo, Sergio. (2018). Hydrogenation of lactose for the production of lactitol. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*. 14. 10.1002/apj.2275.

24. Wu J., Liu., Zheng Z., Ouyang D. Valorization of cheese whey to lactobionic acid by a new strain of *Pseudomonas fragi* and identification of an enzyme involved in lactose oxidation. *A fact about microbial cells*. September 8, 2022; 21(1):184. DOI: 10.1186/s12934-022-01907-0 . PMID: 36076243; PMCID: PMC9461264.

25. Щетилина И. П., Родионова Н. С., Никулин С. С. Коагуляция сывороточных белков водорастворимыми полимерами // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2005. №2-3. С. 57-58.

26. Авторское свидетельство № 1011101 Способ получения белкового концентрата из сыворотки.

27. Liang M., Chen V.I., Chen H.L., Chen V. Simple and direct isolation of whey components from raw milk using gel filtration chromatography and structural characterization using Raman spectroscopy with Fourier transform. Talent. July 15, 2006; 69(5):1269-77. DOI: 10.1016/J.talent.2006.01.008. Epub 2006 February 10th. PMID: 18970714.

28. Пат. RU 2 412 606 Способ выделения белков из молочной сыворотки / Т.В. Шевченко, Е.В. Ульрих, В.П. Амеленко, Е.В. Кучкина, Ю.В. Устинова // Опубл. 27.02.2011.

29. Короткий И.А. Исследование процессов выделения белков и лактозы из молочной сыворотки / И.А. Короткий И.А., П.А. Гунько, Т.З. Валиахмедов // Техника и технология пищевых производств. 2014. №1 (32). С. 44-48.

30. Пат. RU 2 238 167 Способ выделения белков из молочной сыворотки / Е.А. Чебогарев, С.В. Василисин // Опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7.

31. Пат. SU 651650 Способ выделения белка из сыворотки коровьего молока / Р.Х. Моретти, А. Маласпина // Опубл. 1979.03.05.

## ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES FOR WHERUM PROCESSING

*Yulia Vladislavovna Ustinova, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Livestock Products, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, e-mail: [yul48888048@yandex.ru](mailto:yul48888048@yandex.ru)*

*Borodulin Dmitry Mikhailovich, Doctor of Engineering. Sciences, Professor, Director of the Technological Institute, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, e-mail: [borodulin@rgau-msha.ru](mailto:borodulin@rgau-msha.ru)*

*Myasishcheva Nina Viktorovna, Head of the Department of Technology of Storage and Processing of Fruits, Vegetables and Plant Growing Products, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, e-mail: [n.myasishcheva@rgaumcxa.ru](mailto:n.myasishcheva@rgaumcxa.ru)*

*Sychev Roman Vitalievich, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Fruits, Vegetables and Plant Growing Products, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, e-mail: [srv@rgau-msha.ru](mailto:srv@rgau-msha.ru)*

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Russia, Moscow, e-mail: [rector@rgau-msha.ru](mailto:rector@rgau-msha.ru)

**Abstract:** *Whey, a by-product of cheese making, has traditionally been considered a waste in the food industry due to its high content of organic substances, which has a negative impact on the environment during its disposal. Most organic matter contains lactose, fat and protein, which are vital nutrients for food production. Whey protein concentrates, whey powder and lactose are just a few examples of how new*

*technologies can convert whey waste into valuable components. Fermentation is also a cost-effective solution for the production and development of products such as functional drinks.*

*Recently, many new whey-based drinks have been developed containing fruits, herbal supplements and other ingredients. However, a number of problems may arise during the production of such drinks, including crystallization of lactose during storage in the refrigerator, coagulation of protein during heat treatment, and the appearance of a salty-sour taste due to the high mineral content. To overcome these problems, different processing methods should be used at different stages of the production process.*

**Key words:** *whey, drinks, curdled milk, coagulation*

**УДК: 664.8/9**

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ НА ПРИМЕРЕ ПИЩЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ**

**Шафрай Антон Валерьевич**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой инженерного дизайна, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: [shafraia@mail.ru](mailto:shafraia@mail.ru)

**Попов Анатолий Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры мехатроники и автоматизации технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: [popov4116@yandex.ru](mailto:popov4116@yandex.ru)

**Плотников Константин Борисович**, д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры мехатроники и автоматизации технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: [k.b.plotnikov.rf@gmail.com](mailto:k.b.plotnikov.rf@gmail.com)

**Косинов Виталий Сергеевич**, магистрант кафедры мехатроники и автоматизации технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: [kosinov\\_vs@mail.ru](mailto:kosinov_vs@mail.ru)

**Плотникова Ирина Олеговна**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры Агроинженерия, ФГБОУ ВО «Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия», e-mail: [ermilova-io@mail.ru](mailto:ermilova-io@mail.ru)

ФГБОУ ВО Кемеровский государственный университет,  
Россия, г. Кемерово, e-mail: [rector@kemsu.ru](mailto:rector@kemsu.ru)

**Аннотация.** В работе изучена возможность применения методов машинного обучения и искусственных нейронных сетей для проектирования продуктов питания на примере пищевых концентратов, в частности гранулированных киселей. Это можно использовать на производстве при возникновении некоторых задач: разработки продукта с заданными свойствами и показателями качества,