

УДК 637.02

EDN [OTSUFY](#)



<https://www.doi.org/10.47813/rosnio-II.2023.8.115-119>

Влияние дополнительных методов обработки на эффективность холодной пастеризации молока посредством импульсного электрического поля

Т.В. Чубенко*, А.С. Шадоба, А.Р. Борисова, Е.О. Рысцова

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

*E-mail: chubenko_tv@pfur.ru

Аннотация. В статье рассматривается воздействие импульсного электрического тока на молоко. Изучается влияние тока на различные патогенные микроорганизмы, содержащиеся в нем, упомянуто влияние импульсов на денатурацию белков и количество лактоглобулинов. Описано улучшение технологии посредством сочетания электрической обработки с другими методами. Отмечено, что инактивация, достигаемая с помощью тока, может быть улучшена, если после процесса токовой стимуляции применять умеренный нагрев, также описано влияние низина, уксусной кислоты на эффективность метода.

Ключевые слова: молоко, импульсное электрическое поле, холодная пастеризация.

The effect of additional processing methods on the efficiency of cold pasteurization of milk by means of a pulsed electric field

T.V. Chubenko*, A.S. Shadoba, A.R. Borisova, E.O. Rystsova

Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

*E-mail: chubenko_tv@pfur.ru

Abstract. The article discusses the effect of pulsed electric current on milk. The effect of current on various pathogenic microorganisms contained there is studied, the effect of pulses on protein denaturation and the amount of lactoglobulins is mentioned. The improvement of the technology by combining electrical processing with other methods is described. It is noted that the inactivation achieved by current can be improved if moderate heating is applied after the current stimulation process, and the effect of nisin, acetic acid on the effectiveness of the method is also described.

Keywords: milk, pulsed electric field, cold pasteurization.

1. Введение

Растущий в последние годы потребительский спрос на качественные, наиболее ценные в пищевом отношении и как можно менее обработанные термически продукты, стимулирует разработку альтернатив традиционным методам, исследование новых, более щадящих процессов для улучшения или замены классических технологий. В этом смысле исследователи в области пищевых технологий изучают альтернативные методы консервирования продуктов, чтобы уменьшить негативные последствия, вызываемые традиционной тепловой обработкой.

Молоко – продукт питания, адаптированный к потребностям новорожденных млекопитающих, из чего следует, что в нем содержится много питательных веществ. Молоко обладает рядом свойств, улучшающих усвоение и биодоступность питательных веществ, например, лактоза повышает биодоступность кальция. Однако, молоко, как известно, является благоприятной средой для роста и размножения патогенных микроорганизмов, выступая в качестве резервуара как зооантропонозных, так и антропонозных инфекций. В промышленных масштабах молоко обязательно подвергается пастеризации или стерилизации для подавления активности патогенной микрофлоры, но нередко подобные термические воздействия влияют на вкусовые качества молока, а также на белки, вызывая денатурацию. Кроме того, некоторые молочные белки, такие как иммуноглобулины и лактоферрин имеют тенденцию терять свою природную структуру и функции при термической обработке, что снижает питательную ценность молока. Российские и иностранные ученые активно ищут альтернативу термической обработке пищевых продуктов, в данном обзоре описаны метод, связанный с нетермической обработкой молока – обработка посредством импульсного электрического тока, а также методы, повышающие эффективность токового воздействия на молоко.

2. Цель исследования

Целью нашей работы является изучение различных аспектов обработки молока импульсами электрического тока, включая поиск преимуществ и недостатков, анализ воздействия обработки на патогенные микроорганизмы, вкусовые качества молока и состав продукта, также были изучены способы повышения эффективности подобной обработки.

3. Методы и материалы исследования

Нетермические методы обработки имеют ряд преимуществ перед термической пастеризацией, поскольку тепловая энергия заменяется другой более «мягкой» формой обработки. При использовании импульсного электрического тока (ИЭП) эффективная инактивация микроорганизмов является следствием трансмембранной поляризации и последующего образования мембранных пор. Этого можно достичь, применяя электрические импульсы высокой интенсивности (варьирующиеся между 15 и 60 кВ/см для различных микроорганизмов) в течение коротких периодов времени к пищевой матрице. Эффекты от обработки варьируются для различных микроорганизмов, разнятся также показатели и при инаktivации вегетативных микроорганизмов и споровых форм. Предварительно необходимо обозначить, что *Bacillus cereus*, *Cronobacter sakazakii*, *E. coli*, *Listeria spp.*, *Mycobacterium paratuberculosis*, *Pseudomonas spp.*, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* являются довольно часто встречаемыми микроорганизмами в молоке, поэтому важно отслеживать инаktivацию этих микроорганизмов. [1]

4. Полученные результаты

Нетермически обработать молоко можно несколькими способами. В данном обзоре мы рассмотрим использование импульсного электрического поля, обычно жидкости при таком способе обрабатываются при комнатной температуре, между двумя электродами заливают сырое молоко и запускают циклические процессы, в продукте происходят диффузные колебания ионов, которые приводят к нарушению клеточной целостности патогена. Было замечено, что обработка с помощью импульсного электрического тока вызывает электропорацию клеточной мембраны и, следовательно, разрушение микроорганизмов. Очевидно то, что электрические поля вызывают структурные изменения в микробных клетках и мембранах микроорганизмов. В одном из исследований после обработки 64 импульсами под напряжением 20, 30 и 40 кВ/см предварительно инокулированные клетки *S. aureus* наблюдали с помощью электронной микроскопии, обнаружилось, что у клеток были шероховатые поверхности, а у клеток, обработанных в более жестких условиях (40кВ/см), были обнаружены небольшие отверстия в мембране и выход клеточного содержимого. [2] Следовательно, с увеличением напряженности поля связано клетки разрушались активнее. Ученые заметили, что напряженность электрического поля, время обработки и температура были

важными переменными для улучшения инактивации бактерий, при этом оптимальные условия обработки были достигнуты при 32 °С и 40 кВ/см в течение 89 мкс, что позволило достичь наиболее выраженных сокращений микроорганизмов. [2]

Было отмечено, что инактивация микроорганизмов также была связана с температурой обработки. Ученые подвергли обезжиренное молоко, инокулированное *E. coli*, воздействию тока в диапазоне температур от 3 до 40°C и пришли к выводу, что скорость инактивации увеличивается с повышением температуры. Это также подтверждали и другие исследования, повышение температуры обработки (50°C) приводит к более высокой эффективности в инактивации *Listeria monocytogenes*. Аналогичное исследование было проведено с инокуляцией *Salmonella* в этом случае после обработки 40 импульсами при 36,7 кВ в обработанных образцах не было обнаружено *S. dublin*. [2] Основное объяснение улучшенного эффекта обработки при умеренном нагревании связано с повышением текучести мембран. В этом состоянии образование пор в мембранах происходит легче и приводит к более высоким уровням инактивации. То есть совместное использование двух методов может позволить не подвергать молоко слишком высокой термической нагрузке, как при классической пастеризации и соответственно позволит сохранить вкусовые качества. Оптимизация обработки ИЭП для инактивации микроорганизмов молока по-прежнему находится в центре внимания многих исследователей, которые стремились изучить синергетический эффект при умеренном нагревании. Этот особый аспект технологии для переработки молока заключается в тонком балансе между электрическим и тепловым воздействием. Также с помощью электронной микроскопии было обнаружено, что бактериальные клетки, обработанные в комплексе низином и током, подвергались большему повреждению, чем клетки, обработанные только ИЭП. [3] Сообщалось, что комбинация ИЭП с добавлением уксусной или пропионовой кислоты в обезжиренное молоко может значительно улучшить инактивацию *L. innocua*, но на *P. fluorescens* не оказывали никакого воздействия.

В исследовании, в котором сравнивали действие электрического поля при 20 импульсах 24 кВ/см, длительность импульса составляла 25 с, и термической обработки были сформулированы интересные выводы. [4] Примечательно, что при нетермической обработке содержание неденатурированного сывороточного белка оставалось неизменным по сравнению с образцами сырого молока и составляло 4,98 мг/мл. -

Содержание лактоглобулина также не изменилось, что дало те же результаты, что и в образцах сырого молока, - 3,28 мг/мл. Что касается образцов молока, обработанных традиционными методами пастеризации, то содержание неденатурированного сывороточного белка снизилось.

5. Выводы

Скорость инактивации, достигаемая с помощью импульсного электрического тока, может быть улучшена путем сочетания электрической обработки с другими процессами. Отмечено, что инактивация, достигаемая с помощью тока, может быть увеличена, если после процесса токовой стимуляции применять умеренный нагрев. В нескольких исследованиях описывалось дополнение эффекта инактивации путем добавления низина или уксусной кислоты. ИЭП не подвергала молочные белки денатурации, а количество лактоглобулина сохранялось неизменным до и после обработки, в отличие от традиционного метода обработки, основанного на термическом воздействии. Эффективное совмещение нескольких способов обработки позволит сохранить полезные свойства молока, минимально подвергнуть его структуру изменениям и удалить патогены из продукта.

Список литературы

1. Kazem Alirezalu, Paulo E S Munekata, Oleksii Parniakov, Francisco J Barba, Julian Witt, Stefan Toepfl, Artur Wiktore, Jose Lorenzo / Pulsed electric field and mild heating for milk processing: a review on recent advances // J Sci Food Agric. – 2020.
2. Silvia B endichoy. Milk processing by high intensity pulsed electric fields / Silvia B endichoy, Gustavo V. Barbosa-Canovas, Olga Martin // Trends in Food Science & Technology. – 2002. – № 0924-2244. – 195-204.
3. Syed Ehtasham Amin. Naveed ul Haq Pulse electric field application for inactivation of microorganisms in liquid foods: a review / Syed Ehtasham Amin, Muhammad Tuseef, Baila Ahmad, Ansa khan, Junaid Abid, Zawar Ahmad, Usman Shoukat // Journal of Xi'an Shiyou University. – 2022. – V 18 I 12. – 932-947.
4. Aivaras Šalaševicius, Dovil'e Uždavinyt'e, Mindaugas Visockis, Paulius Ruzgys, Saulius Šatkauskas. Effect of Pulsed Electric Field (PEF) on Bacterial Viability and Whey Protein in the Processing of Raw Milk. Appl. Sci. – 2021. – 11. – 11281.