

10. Кондратьева О.В., Федоров А.Д., Слинко О.В., Войтюк В.А. Современные технологии хранения фруктов // В сб.: Современные проблемы пищевой безопасности : матер. междунауч. конф., 2020. - С. 53-59.

УДК: 664

ИМПУЛЬСНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ – ИННОВАЦИОННЫЙ НЕТЕПЛОВЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

В.С. Корко, М.А. Челомбитько, А.О. Заяц

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
Беларусь, г. Минск, korko.S@mail.ru*

В последнее время приобрел популярность широкий спектр методов нетермической обработки как потенциальный инструмент для замены традиционных методов термической обработки пищевых продуктов. Нетермические процессы обладают рядом преимуществ: низкие температуры обработки, эффективное использование энергии, сохранение качества пищевых продуктов, таких как цвет, аромат, вкус и сохранение питательных веществ, а также инактивация ухудшающих качество ферментов и микроорганизмов, вызывающих порчу, - по сравнению с тепловыми процессами.

Одним из таких нетепловых методов является метод импульсной обработки электрическим полем **PEF** (Pulsed electric field processing).

Принцип PEF. Технология PEF предполагает обработку пищевого продукта в течение нескольких миллисекунд импульсами электрического поля высокого напряжения в диапазоне 10-80 кВ / см, что приводит к инактивации микроорганизмов, присутствующих в образце пищи. Типичная система PEF имеет генератор импульсов, камеру обработки, которые связаны с устройствами управления и контроля. Процесс зависит от количества импульсов, подаваемых на продукт, который удерживается между двумя электродами. Между этими электродами имеется особый зазор, известный как рабочий зазор камеры. Электрическое поле применяется в разных формах, например, в виде экспоненциально затухающих волн, биполярных волн или колебательных импульсов. Процесс также может осуществляться в различных диапазонах температур: температура ниже, равна или выше температуры окружающей среды. Пищевые продукты упаковываются после обработки PEF и затем хранятся в холодильных камерах. Наука, связанная с передачей электрических импульсов от пищи, заключается в том, что, пища содержит несколько ионов, которые обеспечивают определенный уровень электропроводности продукта. Этот метод обычно предпочтительнее для жидких пищевых продуктов, потому что электрический ток течет в жидкую пищу более эффективно, а передача импульсов из одной точки в другую в жидкости довольно проста из-за присутствия заряженных молекул.

Механизм инактивация микробов с помощью PEF. Точный механистический подход, лежащий в основе инактивации микробов с

помощью РЕФ, еще полностью не объяснен. Однако общий механизм действия РЕФ включает нестабильность микробных мембран из-за индукции электрического поля и электромеханического сжатия, которое приводит к образованию пор в мембране. Механическое непостоянство мембран возникает из-за критического мембранного потенциала, который формируется электрическим полем. Электропорация приводит к значительному увеличению разрыва мембраны и проницаемости, что называется электропроницаемостью. Электропроницаемость может быть обратимой или необратимой, в зависимости от степени изменений мембраны, которые приводят к гибели клетки. С возрастанием силы электрического поля проницаемость мембраны значительно увеличивается. Эта повышенная нестабильность мембраны связана с инактивацией микробных клеток. В целом считается, что споры более устойчивы к обработке РЕФ по сравнению с вегетативными клетками.

Факторы, влияющие на эффективность РЕФ для инактивации микроорганизмов. Способность РЕФ инактивировать микробы зависит от нескольких факторов: параметры процесса, характер продукта и свойства микробных клеток.

Параметры процесса: сила электрического поля, длина и форма импульса, количество импульсов, температура, - повышают интенсивность инактивации микроорганизмов, однако их точное соотношение с выживаемостью микроорганизмов пока не ясно.

Характер продукта. Обработка РЕФ не очень эффективна для продуктов, имеющих частицы или особую структуру, то есть эмульсий. На скорость микробной дезактивации влияют физические и химические свойства пищевых продуктов: рН, активности воды, электропроводность. Так, рН оказывает значительное влияние на кинетику инактивации микробов. Более высокая инактивация сальмонелл наблюдалась в пищевых продуктах с нейтральным или выше нейтрального значения рН. В продуктах с высоким содержанием кислоты, таких как соки цитрусовых, было засвидетельствовано значительное снижение количества *L. monocytogenes* точно так же проводимость среды для обработки имеет обратную зависимость от микробной инактивации. Замечено, что продукты с высокой электропроводностью демонстрируют меньшую инактивацию микроорганизмов после обработки РЕФ. Напротив, активность воды имеет прямую связь со снижением количества микробов при обработке РЕФ.

Свойства микробных клеток. Инактивация микроорганизмов зависит от их характеристик: типа микроорганизмов, вида и штамма. Более устойчивыми к обработке РЕФ считаются грамположительные, грамотрицательные бактерии, споры бактерий и плесени, чем клетки дрожжей. На кинетику инактивации микроорганизмов также влияют размер и форма их клеток из-за разницы в развитии критического мембранного потенциала. Так, сальмонелла и кишечная палочка более восприимчивы к РЕФ по сравнению с видами *Listeria* и *Bacillus*.

Применения в пищевой промышленности. Применение технологии РЕФ было широко продемонстрировано для пастеризации различных пищевых продуктов, таких как соки, молоко и молочные продукты, супы и жидкие яйца. Однако она имеет несколько ограничений, например, продукт не должен содержать пузырьков воздуха и иметь более низкую электропроводность. Кроме того, размер частиц должен быть меньше, чем зазор в области обработки, чтобы обеспечить надлежащую обработку. РЕФ, как правило, не подходит для большинства твердых пищевых продуктов. В последние годы технология РЕФ использовалась для различных целей, таких как повышение эффективности сушки, изменение ферментативной активности, консервирование твердых пищевых продуктов, очистка сточных вод.

Инактивация бактерий в молоке с помощью РЕФ. Неправильно пастеризованное молоко может оказаться вредным для здоровья из-за наличия нескольких патогенных бактерий, в частности *Escherichia coli*, *Listeria* и *Pseudomonas spp.* Инактивация микробов, вызванная РЕФ, считается эффективным способом сохранения молока без отрицательного воздействия на качество молока. Однако присутствие жирных и белковых частей ограничивает способность РЕФ в цельном молоке, поскольку эти молекулы защищают бактериальные клетки во время обработки. В другом испытании обработка молока РЕФ сочеталась с термообработкой до 55-60°C, и наблюдалось значительное снижение микробной нагрузки. Требуется дальнейшее изучение возможности поддерживать целостность термочувствительных компонентов молока, одновременно инактивируя патогенные микроорганизмы в цельном молоке, при обработке РЕФ.

РЕФ и качество мяса. Мясные продукты широко потребляются во всем мире из-за наличия ценных микронутриентов и высококачественного белка. Качество мяса имеет первостепенное значение, поскольку качество мяса считается наиболее важным фактором при принятии покупательских решений. Технология импульсного электрического поля имеет первостепенное значение. продемонстрировал свой потенциал для различных применений в твердых пищевых продуктах с различными целями, включая структурные модификации, изменение параметров физического качества, извлечение биологически активных соединений и консервирование. Тем не менее, эта технология имеет ограниченное применение в мышечной пище. Технология РЕФ может использоваться при переработке мяса для различных целей, включая повышение проницаемости клеток для увеличения нежности, уменьшение микробной нагрузки для увеличения срока хранения и поддержание органолептических характеристик мяса во время хранения.

Технология РЕФ может значительно улучшить высвобождение ферментов и гликолиз, которые необходимы для протеолиза при размягчении мяса. Bekhit, AED et al. (2014) обнаружили значительное улучшение нежности говядины при обработке РЕФ (5-10 кВ). Аналогичным образом Suwandy, V. et al. (2015) применяли РЕФ (5-10 кВ) на разных частотах (20, 50 и 90 Гц) на мышцах говядины и показали, что обработка РЕФ снижает силу сдвига до 19%

и повышает нежность за счет увеличения деградации десмина и тропонина-Т во время хранения в холодильнике 21 день.

Принятие потребителями продуктов, обработанных РЕФ.

Пищевые продукты, обработанные РЕФ, имеют ограниченное признание потребителей по нескольким причинам. Основная проблема заключается в том, что природа этой технологии еще не полностью раскрыта потребителям, а последним требуется информация о потребляемых ими продуктах. Более того, продукты, обработанные РЕФ, обычно маркируются как «продукты с минимальной обработкой», что создает в сознании потребителя негативное представление о том, что пища плохо обработана и может вызвать серьезные последствия для здоровья после употребления³⁹. Поскольку четкая информация имеет первостепенное значение для потребителей, на этикетке необходимо размещать описание технологии и расшифровку терминологии, что позволит повысить конкурентоспособность пищевых продуктов, обработанных РЕФ.

Заключение. Технология импульсного электрического поля - довольно эффективный подход для консервирования и обработки разнообразных пищевых продуктов без особого влияния на их качественные характеристики. Тем не менее, исследования РЕФ как нетермического метода не должны ограничиваться только инактивацией микробов, но также и замедлением некоторых химических и ферментативных реакций, вызывающих порчу, удержанием функциональных компонентов в пище вовремя и после обработки. Хотя в литературе доступны данные об эффективности обработки РЕФ в отношении инактивации ферментов, усилении протеолиза в продуктах, обогащенных белком, и его влиянии на некоторые качественные характеристики продуктов питания, тем не менее, необходимы подробные исследования для изучения механизмов, лежащих в основе этих функций. Кроме того, необходимо надлежащее планирование для повышения конкурентоспособности пищевых продуктов, обработанных РЕФ, путем предоставления потребителям недвусмысленной информации посредством надлежащей маркировки продуктов и проведения кампаний по коммерциализации.

Список литературы

1. Bekhit, AED, Van de Ven R, Suwandy V, et al. Effect of pulsed electric field treatment on cold-boned muscles on different potential tenderness / AED Bekhit, Van de Ven R, V. Suwandy, et al. // Journal Food Bioprocess Technol. - 2014.
2. Min, S. Effect of water activity on the inactivation of *Enterobacter cloacae* by pulsed electric field treatment / S. Min, H. Zhang // IFT Annual Meeting, Dallas, USA. - 2000.
3. Siemer, C. Application of Pulsed Electric Fields in Food / C. Siemer, K. Aganovic, S. Toepfl, et al. // Conventional and Advanced Food Processing Technologies. - 2015. - PP. 645-672.
4. Suwandy, V, Carne A, Van de Ven R, et al. Effect of pulsed electric field on the proteolysis of cold boned beef *M. Longissimus lumborum* and *M. Semimembranosus* / V. Suwandy, A. Carne, Van de Ven R, et al. // Journal Meat Science. – 2015. – 100. – PP. 222-226.