

УДК 664.8

## ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ НЕТЕРМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Челомбитько М.А., к.с.-х.н.,

Корко В.С., к.т.н.

*Белорусский государственный аграрный технический университет  
г. Минск, Беларусь*

**Постановка проблемы.** В последние годы потребители требуют удобных и здоровых пищевых продуктов, которые имели бы характеристики высокого качества и «свежести», но при этом были бы безопасными и имели длительный срок хранения.

Существующие традиционные технологии термической обработки пищевых продуктов (пастеризация, высокотемпературная стерилизация, сушка и выпаривание) могут обеспечивать микробиологическую безопасность или стабильность качественных показателей их продуктов, но могут разрушить некоторые пищевые ингредиенты, особенно термочувствительные витамины и полифенолы, которые были связаны с качеством пищи [5]. Более высокие температуры обработки и длительное время воздействия также производят некоторые потенциально вредные компоненты в пищевых продуктах, которые представляют опасность для человека [4].

В связи с этим необходимы инновационные технологии обработки и консервирования пищевых продуктов, которые не требуют высоких температур и длительного времени обработки. Такие низкотемпературные обработки с коротким временем действия будут вызывать минимальные изменения вкуса пищевых продуктов и основных питательных веществ или вообще не менять их [8]. Поэтому в последние годы нетермические технологии в пищевой промышленности широко исследуются, и они потенциально способны частично или полностью заменить традиционные устоявшиеся процессы консервации [3]. Цель настоящей работы состоит в том, чтобы представить направления использования нетепловых технологий и механизмы их действия, а также изучить потенциальные перспективы применения комбинации нетепловых обработок в пищевой промышленности, потому что это не только позволит преодолеть недостатки конкретной технологии, но также повысит ее эффективность при меньшей интенсивности использования.

**Основные материалы исследования.** Нетермические технологии, использующие такие факторы как ультрафиолетовое (УФ) излучение, электрические импульсные поля (ЭИП), высокое

гидростатическое давление (ВГД) и ультразвук (УЗ), могут обеспечивать сенсорное качество и питательную ценность пищевых продуктов при более коротком времени обработки и более низких температурных условиях и по-прежнему использоваться для повышения безопасности пищевых продуктов и продления срока хранения пищевых продуктов [1].

Например, обработка электрическим импульсным полем применялась к таким продуктам, как яблочный сок, и было показано, что логарифмическое сокращение дрожжевых клеток составляет 5,03 [7]. Нетермические технологии могут подавлять активность ферментов в пищевых продуктах, таких как липоксигеназа (LOX), полифенолоксидаза (PPO), пероксидаза (PO) и пектинэстераза (PE).

В таблице 1 показаны некоторые типичные методы нетепловой консервации и их влияние на активность микроорганизмов и ферментов. Механизмы стерилизации нетермических технологий в основном относятся к следующим двум аспектам: изменение структуры клеточной мембраны для устранения регулирующей функции микроорганизма; разрушение генетического материала с целью вызвать метаболические нарушения у микроорганизма. Эти технологии также могут применяться для экстракции, сушки и других процессов массопереноса, если технологический процесс может изменить структуру клеточной мембраны, например, технологии с применением (PEF) и US.

Таблиця 1

**Характеристики нетермических технологий в пищевой промышленности**

Действующий физический фактор	Параметры воздействий	Критические факторы	Механизм инактивации	Области применения
Импульсное УФ-излучение (PL)	1...20 импульсов в секунду при плотности энергии от 0,01 до 50 Дж/см <sup>2</sup>	Количество импульсов, расстояние от источника излучения и толщина продукта	Поглощение УФ-излучения вызывает мутации ДНК	Для обработки поверхности пищевых продуктов, оборудования и упаковочных материалов
Ультразвук (US)	Частоты выше 100 кГц при интенсивностях ниже 1 Вт/см <sup>2</sup> или 18...100 кГц при	Плотность звуковой энергии (Вт/см <sup>3</sup> ) и пищевые свойства, такие как вязкость и размер частиц	Истончение клеточных мембран, локальный нагрев и образование свободных радикалов	Для эмульгирования, стерилизации, экстракции и замораживания свежих пищевых продуктов

	10...1000 Вт/см <sup>2</sup> )			
Радиационное облучение (IR)	<sup>60</sup> Со в качестве источника энергии гамма-излучения и стерилизующих доз около 1...50 кГр (обычно в диапазоне 1...10 кГр)	Характеристики пищевых продуктов (плотность, влажность и уровни антиоксидантов) и внешние факторы (температура, наличие или отсутствие кислорода и последующие условия хранения)	Изменение хромосомной ДНК и/или цитоплазматической мембраны	Используются для расфасованных или сыпучих пищевых продуктов
Холодная плазма (CPL)	Обычно барьерный тлеющий разряд между двумя параллельными электродами	Условия обработки (давление газа, тип, расход, частота и мощность возбуждения плазмы) и состав газа	Разрушение липидного бислоя клеточной мембраны	Используется для обработки поверхности сырья и упаковочных материалов
Импульсные электрические поля (PEF)	Напряженность электрического поля в диапазоне 20...80 кВ/см, несколько импульсов и время обработки менее 1 с.	Параметры устройства (тип волны, напряженность электрического поля, ширина импульса, частота) и пищевые свойства (проводимость, значение pH и т.п.)	Нарушение клеточных мембран (электрической пробой и электропорация)	Используется для обработки жидких продуктов (фруктовый сок, молоко и др.)
Обработка под высоким давлением (HPP)	Обычно давление от 200 до 400 МПа и температура <50 °С.	Независимо от геометрии продукта, размера оборудования и параметров оператора (давление, температура и время обработки)	Проницаемость клеточной мембраны	Используется для расфасованных пищевых продуктов или сыпучих продуктов

Нетермические технологии способны инактивировать микроорганизмы при температуре окружающей среды или умеренных температурах, но эти процессы требуют очень высокой интенсивности обработки или некоторых ограничений использования указанных в таблице технологий, так как их летальный эффект обычно связан с более низким значением pH. Более того, бактериальные споры и высокоустойчивые микроорганизмы также могут ограничивать летальную эффективность отдельных нетермических технологий, таких как технология PEF.

Чтобы усилить противомикробный эффект при более низкой интенсивности процесса, можно сочетать нетермические технологии с традиционными методами консервации в пищевой промышленности. Например, можно применять противомикробные агенты или другие нетермические методы обработки: сочетание НРР с лактицином или низином; использование PEF с одновременным воздействием ультразвуком. Antonio-Gutiérrez, O. и др. [2] показали, что соки грейпфрута, обработанные ультразвуковым распылением в сочетании с методом УФ-излучения, были эффективны в инактивации *S. cerevisiae*. Они обнаружили, что микробная популяция сока была уменьшена на 2,8 log цикла после трех проходов за счет комбинации нетеплового процесса по сравнению с 0,84 log цикла при использовании одного УФ-излучения, а качество сока не имеет значительных изменений, таких как pH и цвет.

Комбинированные нетермические методы не только могут компенсировать недостатки одного метода, но также могут обеспечить синергетический эффект во время обработки пищевых продуктов. Хотя механизмы инактивации путем комбинирования нетепловых процессов все еще неясны, концепция барьерной технологии может быть возможным пониманием того, почему комбинации нетепловых процессов могут обеспечить лучший антимикробный эффект. Во время инактивации микробной клетки нацеливание на препятствия определяется за один нетермический процесс.

Летальная эффективность может быть увеличена до определенной степени за счет оптимизации условий обработки, но клетки имеют одновременно механизм самовосстановления, что приводит к тому, что некоторые микробные клетки находятся в сублетальном состоянии, тем самым расходуя часть внешней энергии. После того, как враждебная среда исчезла, метаболизм клеток может быть частично, или полностью восстановлен. Однако при стерилизации микробной клетки с использованием сочетания различных типов нетепловых технологий могут быть атакованы различные клеточные мишени, такие как мембранный белок, липид и ДНК, и нарушены некоторые функции микробной клетки, что приводит к самопроизвольной работе клеток.

Следовательно, сочетание различных методов обработки может усилить их смертельное или ингибирующее действие на микроорганизмы. Несмотря на то, что в последние годы в некоторых исследованиях сообщалось, что комбинация нетепловых технологий успешно улучшила эффект инактивации по сравнению с контрольными или единичными методами обработки в пищевой промышленности, но исследования следует считать предварительными, а категории их применения пока ограниченными. Это означает, что сочетание технологий нетермической обработки должно быть тщательно изучено, чтобы обеспечить наилучший стерилизационный эффект в условиях минимальной интенсивности обработки, которые соответствуют концепции «зеленой обработки». Исследователи считают, что объединение нетепловых технологий станет новым направлением исследований в будущем.

**Результаты и выводы.** В технологиях нетермической обработки не используется нагрев в качестве основного средства инактивации микроорганизмов и ферментов в пищевых продуктах, поэтому оказывается минимальное влияние на их цвет, аромат, вкус и пищевую ценность, обеспечивая при этом высокие стандарты условий безопасности, а также соответствие требованиям потребителей к «минимально обработанным пищевым продуктам». Более того, по сравнению с термической обработкой, такой как пастеризация, выпаривание и сушка, эти нетермические методы обработки имеют преимущества сокращения времени обработки, снижения энергоемкости, повышения уровня безопасности и увеличения срока хранения пищевых продуктов. Однако все эти нетермические технологии имеют значительные ограничения в обеспечении качества пищевых продуктов с точки зрения сенсорных свойств, таких как текстура, цвет, вкус и аромат, а также пищевая ценность, поскольку оба они значительно ухудшаются из-за экстремальных условий обработки, таких как время обработки, температура, подводимая энергия [6].

Следовательно, для получения более безопасных, здоровых и качественных пищевых продуктов комбинированная обработка может быть более эффективным методом обработки для пищевой промышленности. Например, пищевое сырье, прошедшее обработку PEF или US перед традиционными процессами сушки и замораживания, не только повышает эффективность сушки и замораживания, но и обеспечивает улучшенное качество продукта. Кроме того, производство оборудования в промышленных масштабах, определение четких механизмов, разработка стандартов и исправление неправильных представлений потребителей о нетермической обработке будут важны для продвижения нетермических технологий в пищевой промышленности. Как только эти проблемы будут решены,

рассмотренные технологии найдут гораздо более широкое применение в пищевой промышленности.

***Список использованной литературы***

1. Alexandre, E.M., Brandão, T.R. & Silva, C.L. Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 108. P. 417–426.

2. Antonio-Gutiérrez, O., López-Malo, A., Ramírez-Corona, N. & Palou, E. Enhancement of UVC-light treatment of tangerine and grapefruit juices through ultrasonic atomization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017. Vol. 39. P. 7–12.

3. Frewer, L., Bergmann, K., Brennan, M. et al. Consumer response to novel agri-food technologies: implications for predicting consumer acceptance of emerging food technologies. *Trends in Food Science & Technology*. 2011. Vol. 22. P. 442–456.

4. Hellwig, M. & Henle, T. Baking, ageing, diabetes: a short history of the Maillard reaction. *Angewandte Chemie International Edition*. 2014. Vol. 53. P. 10316–10329.

5. Lima, G.P.P., Vianello, F., Corrêa, C.R., da Silva Campos, R.A. & Borguini, M.G. Polyphenols in fruits and vegetables and its effect on human health. *Food and Nutrition sciences*. 2014. Vol. 5. P. 1065–1082.

6. Lopes, R.P., Mota, M.J., Gomes, A.M., Delgadillo, I. & Saraiva, J.A. Application of High Pressure with Homogenization, Temperature, Carbon Dioxide, and Cold Plasma for the Inactivation of Bacterial Spores: a Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2018. Vol. 17. P. 532–555

7. Marx, G., Moody, A. & Bermúdez-Aguirre, D. A comparative study on the structure of *Saccharomyces cerevisiae* under nonthermal technologies: high hydrostatic pressure, pulsed electric fields and thermo-sonication. *International Journal of Food Microbiology*. 2011. Vol. 151. P. 327–337

8. Pina-Pérez, M., Rodrigo, D. & Martínez, A. Non-thermal inactivation of *Cronobacter Sakazakii* in infant formula milk: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2014. Vol. 5. P. 1620–1629.