

Обзорная статья/Review Article

УДК 664.8.036.26

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-11-192-201

Наталья Евгеньевна Посокина^{1✉}, Анна Ивановна Захарова²

^{1,2}Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Видное, Московская область, Россия

¹technol@vniitek.ru

²zakharova@vniitek.ru

ТЕРМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЕГО ХРАНИМОСПОСОБНОСТИ

Цель исследования – рассмотреть эффект термических способов обработки растительного сырья, отметить преимущества и недостатки каждого метода, а также описать сферу их применения. Задачи – проанализировать каждый вид обработки, сферу применения и перспективы развития и использования в промышленных масштабах. Рассмотрены следующие способы термической обработки: пастеризация (обработка продукта при температуре ниже 100 °С в упаковке и «в потоке»); стерилизация (обработка продукта при температуре выше 100 °С в упаковке и «в потоке»); HTST (High-Temperature Short-Time Pasteurization) – высокотемпературная кратковременная пастеризация продукта «в потоке»; УНТ (Ultra-high temperature processing) – ультравысокотемпературная обработка, или ультрапастеризация, – высокотемпературная кратковременная стерилизация продукта «в потоке»; омический нагрев; MW (микроволновой нагрев); радиочастотное нагревание (RF). В этой связи особенно актуальным является выбор и разработка таких режимов термической обработки, которые позволяют максимально сохранить качество продукта, обеспечивают микробиологическую стабильность и безопасность для потребителя, при этом немаловажным фактором является и энергоэффективность выбранного способа обработки, а также доступность оборудования для его осуществления. На сегодняшний день пастеризация и стерилизация, а также их частные случаи – HTST и УНТ, являются самыми распространенными методами термической обработки пищевых продуктов в России в силу наличия специализированного оборудования и длительного изучения самого процесса. Электрические методы нагрева интенсивно развиваются в мире и с разработкой специализированного оборудования нагрева и контроля процесса займут должное место в производстве высококачественных пищевых продуктов.

Ключевые слова: растительное сырье, термическая обработка, стерилизация, пастеризация, омический нагрев, микроволновый нагрев, радиочастотное нагревание

Для цитирования: Посокина Н.Е., Захарова А.И. Термические способы обработки растительного сырья для увеличения его хранимостности // Вестник КрасГАУ. 2022. № 11. С. 192–201. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-11-192-201.

Natalya Evgenievna Posokina^{1✉}, Anna Ivanovna Zakharova²

^{1,2}All-Russian Research Institute of Canning Technology – a branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов RAS, Vidnoe, Moscow Region, Russia

¹technol@vniitek.ru

²zakharova@vniitek.ru

THERMAL METHODS FOR PROCESSING PLANT RAW MATERIAL TO INCREASE ITS STORAGE CAPABILITY

The purpose of the study is to consider the effect of thermal methods of processing plant materials, to note the advantages and disadvantages of each method, and also to describe the scope of their application. Objectives are to analyze each type of processing, scope and prospects for development and use on an industrial scale. The following methods of heat treatment are considered: pasteurization (processing of the product at a temperature below 100 °C in the package and "in the stream"); sterilization (processing of the product at a temperature above 100 °C in the package and "in the stream"); HTST (High-Temperature Short-Time Pasteurization) high-temperature short-term pasteurization of the product "in the stream"; UHT (Ultra-high temperature processing) ultra-high temperature processing or ultra-pasteurization – high-temperature short-term sterilization of the product "in the stream"; ohmic heating; MW (microwave heating); radio frequency heating (RF). In this regard, the selection and development of such heat treatment modes that allow maximum preservation of the product quality, ensure microbiological stability and safety for the consumer are especially relevant, while an important factor is the energy efficiency of the selected processing method, as well as the availability of equipment for its implementation. To date, pasteurization and sterilization, as well as their special cases – HTST and UHT, are the most common methods of heat treatment of food products in Russia due to the availability of specialized equipment and a long study of the process itself. Electric heating methods are rapidly developing in the world and with the development of specialized heating and process control equipment, they will take their rightful place in the production of high quality food products.

Keywords: vegetable raw materials, heat treatment, sterilization, pasteurization, ohmic heating, microwave heating, radio frequency heating

For citation: Posokina N.E., Zakharova A.I. Thermal methods for processing plant raw material to increase its storage capability // Bulliten KrasSAU. 2022;(11): 192–201. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-11-192-201.

Введение. На сегодняшний день разработано достаточно много физических способов сохранения растительного сырья с использованием термического воздействия, которые обеспечивают его безопасность и приемлемые потребительские свойства:

- пастеризация (обработка продукта при температуре ниже 100 °C в упаковке и «в потоке»);
- стерилизация (обработка продукта при температуре выше 100 °C в упаковке и «в потоке»);
- HTST (High-Temperature Short-Time Pasteurization) – высокотемпературная кратковременная пастеризация продукта «в потоке»;
- UHT (Ultra-high temperature processing) – ультравысокотемпературная обработка, или ультрапастеризация, – высокотемпературная кратковременная стерилизация продукта «в потоке»;
- омический нагрев;
- MW – микроволновой нагрев;
- RF – радиочастотное нагревание.

Цель исследования – рассмотреть эффект данных способов обработки, отметить преимущества и недостатки каждого метода, а также описать сферу их применения.

Задачи: проанализировать каждый вид обработки, сферу применения и перспективы развития и использования в промышленных масштабах.

Результаты и их обсуждение. Тепловая стерилизация, пастеризация и методы бланширования традиционно использовались в пищевой промышленности на протяжении длительного времени с целью обеспечения микробиологической безопасности продукции и ингибирования ферментативных процессов. При этом для обеспечения микробиологической безопасности и стабильности продукта на протяжении длительного времени может потребоваться достаточно жесткая термическая обработка, которая потенциально может вызывать деградацию не только биологически активных компонентов сырья, но и ухудшение его качественных характеристик [1]. Например, изменение цвета, развитие посторонних запахов или постороннего привкуса, изменение текстуры [2–7]. Такие изменения характерны для предварительно упакованных продуктов с высокой плотностью, в которых отмечается медленная теплопередача,

вследствие чего достаточно трудно провести прогрев всего объема продукта (особенно геометрического центра упаковки), используя обычные поверхностные способы нагрева.

В этой связи особенно актуальным является выбор и разработка таких режимов термической обработки, которые позволяют максимально сохранить качество продукта, обеспечивают микробиологическую стабильность и безопасность для потребителя, при этом немаловажным фактором является и энергоэффективность выбранного способа обработки, а также доступность оборудования для его осуществления.

Рассмотрим основные термические способы обработки растительного сырья с точки зрения их обоснованности в том или ином случае, основные достоинства и недостатки, а также востребованность каждого метода в промышленном производстве.

Пастеризация. Термин *pasteurization* введен в честь французского ученого Луи Пастера, которому принадлежит изобретение процесса нагревания жидкостей (вина и пива) при относительно умеренной температуре (~55 °С) в течение короткого времени с целью предотвращения порчи [8, 9]. Этот быстрый тепловой метод, ведущий к гибели патогенных микроорганизмов и сокращению количества микроорганизмов порчи, стал известен как «пастеризация» и был позже применен и к другим пищевым продуктам.

Процессы пастеризации, используемые в промышленности, не ведут к гибели всех микроорганизмов, контаминирующих продукт. Пастеризация – относительно мягкая термообработка (обычно ниже 100 °С) с целью инактивирования патогенных микроорганизмов, дрожжей и плесеней. Мягкая термообработка (70–100 °С) инактивирует ферментную систему растительных клеток, максимально сохраняя при этом нативные свойства продукта. Пастеризация может быть применена как для упакованного продукта (туннельные пастеризаторы), так и для неупакованного (проточные пастеризаторы). На пищевых предприятиях распространено сочетание пастеризации продукта в потоке, розлив и затем пастеризация уже упакованного продукта. Применяемые режимы термической обработки губительны для патогенной микрофлоры, но недостаточны для разрушения термостойких спор. В силу использования невысоких темпе-

ратур, как правило, пастеризованные готовые продукты требуют хранения в охлаждаемых условиях.

Сочетание температуры/времени, используемое в пастеризации, зависит в известной степени от рН продукта. Для продуктов с $\text{pH} \geq 4,2$ основная цель термической обработки – деактивация ферментов (например, во фруктовых соках) и инактивация микрофлоры, вызывающей брожение и порчу (дрожжи, плесени, молочнокислые микроорганизмы). В низкокислотных пищевых продуктах с $\text{pH} \leq 4,2$ основная цель – разрушение конкретных патогенов, таких как *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* и др. [10].

Так как термообработка при пастеризации недостаточно серьезна, чтобы инактивировать споры *Clostridium botulinum*, готовые пастеризованные пищевые продукты требуют последующего холодильного хранения и жесткого контроля безопасности, особенно это важно для переработанных овощей, имеющих $\text{pH} \leq 4,2$ и активность воды выше, чем 0,92 [11]. Термоустойчивые микроорганизмы, а также бактериальные споры переживают пастеризацию и, потенциально, при наступлении благоприятных условий, могут развиваться и вызвать порчу пастеризованных продуктов, даже хранящихся в охлаждаемых условиях, что приводит к очень ограниченному сроку годности для этих продуктов – приблизительно 1–2 месяца или меньше в зависимости от состава. Это существенно меньше, чем срок годности коммерчески стерильных продуктов, который составляет один – три года. Оптимальный термический процесс для пастеризации зависит от природы продукта питания, рН, его обсемененности и целевых микроорганизмов. Теоретически возможно использование нескольких вариантов сочетания времени и температуры обработки, которые обеспечат необходимую микробиологическую стабильность. Но на практике обычно выбирают такие сочетания температуры и времени, которые наряду с безопасностью обеспечивают и лучшее сохранение органолептических свойств готового продукта.

Стерилизация. Процесс стерилизации подразумевает полное разрушение микроорганизмов, контаминирующих продукт при температурах выше 100 °С с использованием герметичного оборудования (автоклавов или стерилизато-

ров). Из-за наличия термоустойчивых бактериальных спор в продукте стерилизация часто означает обработку при 121 °C (250 °F) не менее 15 мин (или эквивалент термической нагрузки), чтобы инактивировать споры патогенного *C. Botulinum* и большинства микроорганизмов, вызывающих порчу. Стерилизация также означает, что каждая частица продукта должна подвергнуться действию высокой температуры [12].

На практике, однако, продукт, подвергнутый стерилизации, может не быть стерильным. Поскольку принцип абсолютной стерильности не может быть достигнут (не все микроорганизмы устранены), вероятность выживания должна быть минимизирована до приемлемого уровня. Это условие принято для 10^{-12} выживания *C. Botulinum*, названное принципом 12D (эквивалентный $F_0 = 2,5$ мин термообработке). Даже при такой обработке некоторые термоустойчивые споры, например *C. Thermosaccharolyticum*, могут перенести эту и более интенсивную термообработку ($F_0 = 5$ или более) [13]. Будучи теплолюбивыми, эти выжившие микроорганизмы не могут вырасти при нормальных условиях хранения, преобладающего в умеренных зонах (при температуре окружающей среды без охлаждения), и это условие называют промышленной стерильностью [14].

В отличие от пастеризации, коммерческая стерилизация предназначена для продуктов со сроком годности от 6 месяцев до 3–4 лет при нерегулируемой температуре (обычно от 0 до +25 °C). Процессы стерилизации могут быть разделены для удобства на две категории:

– «в упаковке» – стерилизация, которой подвергаются упакованные в потребительскую упаковку продукты (жестяные и стеклянные банки, бутылки, реторт-пакеты из полимерных и комбинированных материалов и др.);

– «в потоке» – стерилизация продукта в точном теплообменнике. Как правило, затем проводят охлаждение продукта с последующим фасованием в стерильную упаковку в стерильных условиях.

Данный вид обработки приводит к существенным изменениям качественных характеристик продукта, особенно это относится к высоковязким продуктам в крупной упаковке, которые подвергаются длительному нагреву и выдержке при температуре 120 °C. Но очевиден

тот факт, что на сегодняшний день стерилизация – главный способ термической обработки низкокислотных ($pH \leq 4,2$) продуктов. И если для жидких продуктов возможно снижение термической нагрузки путем предварительной кратковременной высокотемпературной стерилизации в потоке и затем щадящей стерилизации упакованного продукта, то для высоковязких упакованных продуктов возможно использование только длительного температурного воздействия.

HTST и UHT. Мгновенная пастеризация, также называемая «высокотемпературной кратковременной обработкой» (HTST) – способ термической обработки скоропортящихся жидких продуктов, таких как молоко, фруктовые и овощные соки, пиво, вино и т. д. HTST является эффективным методом, позволяющим сделать жидкий продукт безопасным для употребления, без необоснованного изменения его органолептических характеристик или его пищевой ценности. При организации данного процесса используют регенерацию энергии, что, несомненно, выгодно отличает данный способ от альтернативных процессов своей энергоэффективностью.

Наиболее важными определяющими факторами для обеспечения хорошей сохранности являются качество сырья, соблюдение температурно-временных условий, снижение или устранение загрязнения после пастеризации и обеспечение поддержания низкой температуры во время хранения.

Традиционный процесс периодической пастеризации осуществляется с выдержкой 30 мин при 63 °C. HTST представляет собой непрерывный процесс, в ходе которого продукт нагревается до 71,5 °C и проходит через выдерживающую трубку со скоростью, обеспечивающей требуемое время выдержки. Время выдержки, необходимое для достижения той же летальности, что и при периодическом процессе, составляет всего 15 с [15].

Непрерывный процесс HTST уникален тем, что большая часть летальности может накапливаться в течение периода выдержки при температуре, близкой к температуре теплоносителя. Степень, в которой части процесса нагревания и охлаждения будут способствовать летальности, зависит от скорости нагревания и охлаждения и, в свою очередь, от метода нагревания и охлаждения.

Кратковременная высокотемпературная пастеризация HTST предлагает значительную операционную эффективность по сравнению с традиционной периодической пастеризацией. Системы HTST позволяют производить большие объемы продукции при минимальном технологическом пространстве.

УНТ. Ультравысокотемпературная обработка (УНТ), или ультрапастеризация, – это процесс стерилизации жидких пищевых продуктов при температуре выше 135 °С в течение 2–5 с, в то время как классическую стерилизацию проводят при температуре 121 °С в течение нескольких минут. Ультрапастеризацию используют при производстве молочных продуктов, она также применима для обработки фруктовых соков, сливок, соевого молока, йогурта, вина, супов и т. д. [16, 17].

У процессов УНТ есть несомненное преимущество – минимизация воздействия на качественные характеристики продукта, что приводит также к минимизации химических процессов, например денатурации белка и разрушению витаминов [18].

После прохождения продуктом высокотемпературной стерилизации стерильный продукт охлаждают и фасуют в предварительно стерилизованную упаковку в асептических условиях.

Этот метод обработки позволяет получить готовые продукты с превосходными органолептическими свойствами и большим содержанием питательных веществ по сравнению с «классической» стерилизацией продукта в упаковке.

Данный способ обработки используется для сохранения продукта как в потребительской, так и транспортной упаковке (например bag-in-box) и может быть использован для таких продуктов, как молоко, заварной крем, томатное пюре и т. д.

Методы использования высоких температур в течение короткого времени (HTST) и сверхвысоких температур в течение очень короткого временного промежутка (УНТ) были разработаны с целью замены традиционных процессов пастеризации или стерилизации. Однако такие временные и температурные режимы подразумевают использование специализированного оборудования и обычно применимы только для жидких продуктов. Принимая во внимание кратковременное и быстрое выполнение операций, это может быть осуществлено только при организации непрерывного процесса с использованием теплообменников [19].

С другой стороны, стерилизация (пастеризация) продукта в упаковке – менее дорогостоящий процесс, при котором получают продукт приемлемого качества, независимо от его состава и консистенции.

Обычный метод тепловой стерилизации часто приводит к деградации питательных веществ и существенному изменению органолептических характеристик. Электрические способы нагрева предлагают новые возможности для стерилизации, обеспечивая лучшее сохранение качественных характеристик. Известны два типа электрических способов нагрева: прямой и косвенный. В случае прямого метода электрический ток воздействует непосредственно на продукт (способ назван омическим нагреванием «О», или электрическим нагреванием сопротивления). При косвенном электронагревании электроэнергия сначала преобразовывается в электромагнитное излучение, которое впоследствии вырабатывает тепло в продукте. Эти методы известны как микроволновый нагрев (MW) и радиочастотное нагревание (RF) [20].

Омический нагрев. Омическим нагрев – это процесс пропускания низкочастотного электрического тока (обычно переменного), при котором тепло вырабатывается из-за сопротивления молекул к электропроводности, при котором происходит равномерный нагрев всего объема продукта.

Данный метод обработки пищевых продуктов разрешен FDA (США) и обладает значительным потенциалом при проведении основных технологических операций производства консервированных продуктов [21].

Отличие такой системы нагрева состоит в непосредственной передаче энергии от ее источника к пищевому продукту без нагрева поверхности теплопередачи. Переменный ток подается на электроды, расположенные с двух сторон продукта. Скорость нагревания прямо пропорциональна квадрату напряженности электрического поля и электропроводности. Подбирая зазор между электродами, меняют электропроводность, при этом она повышается как функция температуры, что является еще одним преимуществом омического нагрева.

При использовании непрерывной технологии продукт последовательно подается в секции нагревания, выдержки и охлаждения аналогично тому, как это делается при пастеризации жидких пищевых продуктов, с тем отличием, что

при этом обрабатываются и содержащиеся в них взвешенные твердые частицы. Вязкие массы прокачивают через блок омического нагрева с помощью насоса. Взвесь проходит в колонне омического нагрева через последовательность электродов, а затем через секцию выдержки, где продукт выдерживают нужное время для обеспечения коммерческой стерильности. После этого продукт проходит через секцию охлаждения в систему асептического розлива (упаковки) [14, 22].

Омическое нагревание может использоваться для нагревания жидких продуктов, содержащих большие макрочастицы (супы, тушеные блюда, фруктовые ломтики в сиропах и соусах), и чувствительных к нагреванию жидкостей. Технология полезна для обработки белковых продуктов (например яичной массы), которые имеют тенденцию денатурировать при нагревании. Также данный способ подходит для обработки соков с целью инактивирования ферментов с меньшими потерями аромата (в отличие от традиционного нагрева). Другое возможное применение омического нагревания включает бланширование, размораживание, обезвоживание и экстракцию [14].

MW (микроволновый нагрев). В косвенных методах электрического нагрева применяют намного более высокие частоты электромагнитных волн – MW (300 МГц и 300 ГГц).

При MW-обработке используют электромагнитные волны определенных частот для выработки тепла в продуктах питания, приводящее к равномерному прогреву продукта за непродолжительное время обработки. Ряд исследований посвящен изучению возможности использования MW-нагрева для пастеризации фруктов и овощей [23, 24]. Показано преимущество данного метода перед традиционной пастеризацией в сокращении времени обработки. Кроме временного фактора исследователи отметили, что текстурные изменения были более интенсивными в образцах, подвергнутых традиционной обработке, по сравнению с MW-нагревом, показав, что у данной технологии есть некоторый потенциал для применения в пастеризации овощей [25, 26].

Частоты, обычно используемые для нагрева микроволновым излучением, – 915 ± 25 и 2450 ± 50 МГц с глубиной проникновения в пределах от 8–22 см на уровне от 915 МГц до 3–8 см на уровне 2450 МГц, в зависимости от влажности продукта [27]. По сравнению с обычной конвекцией

проводимостью и излучением электронагревание объемно, преобразовывает электроэнергию в тепловую энергию.

Польза нагрева микроволновым излучением включает сбережение энергии посредством сокращения продолжительности обработки и более высокого уровня пропускной способности продукта. Достижение температуры стерилизации за уменьшенное время приводит к лучшему сохранению питательных веществ, аромата и текстуры продукта [20, 28, 29].

Радиочастотное нагревание (RF). Из-за их более низких уровней частоты (3 кГц – 300 МГц) волны RF имеют большую глубину проникновения, чем MW, и, следовательно, смогли найти лучшее применение в продуктах большего размера. Отмечено, что время приготовления мяса и мясных продуктов с RF-нагревом намного короче, чем обычное приготовление в водяной бане, при этом потери мясного сока значительно уменьшаются. RF-нагрев специалисты рассматривают для послеуборочной обработки и дезинсекции фруктов. Он также применим для непрерывной обработки потока жидких продуктов, таких как фруктовые соки и молоко [30].

Электронагревание нашло применение в пищевой промышленности, включая тепловую обработку замороженных пищевых продуктов, предварительное приготовление мяса и сушка готовых макаронных изделий. В этих целях методы электрического нагрева демонстрируют значительные преимущества перед обычными, сокращая время обработки, улучшая качество продуктов и уменьшая воздействие на окружающую среду [31, 32].

Заключение. Фундаментальные кинетические параметры, такие как энергия активации, теплосодержание и энтропия, могут использоваться с целью оценить качественные изменения продуктов в различных термических процессах и при наличии оборудования в конечном счете привести к оптимальному выбору режима термической обработки продукта, который будет обеспечивать и микробиологическую стабильность в купе с хорошей органолептикой.

На сегодняшний день пастеризация и стерилизация, а также их частные случаи – HTST и УНТ, являются самыми распространенными методами термической обработки пищевых продуктов в силу наличия специализированного оборудования и длительного изучения самого процесса. Электрические методы нагрева интенсивно

развиваются в мире и с разработкой специализированного оборудования нагрева и контроля процесса займут должное место в производстве высококачественных пищевых продуктов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Fellows P.J.* Food Processing Technologies: Principles and Practices. Third Edition // Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2009. DOI: 10.1016/b978-1-84569-216-2.50043-8.
2. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review / *H.W. Xiao* [et al.] // Information Processing in Agriculture. 2017. № 2 (4). P. 101–127. DOI: 10.1016/j.inpa.2017.02.001.
3. Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction / *F. Chemat* [et al.] // Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2017. № 41. P. 357–377. DOI: 10.1016/j.ifset.2017.04.016.
4. Modelling the effects of thermal sterilization on the quality of tomato puree / *B. Zanoni* [et al.] // Journal of Food Engineering. 2003. № 56 (2-3). P. 203–206. DOI: 10.1016/s0260-8774(02)00251-0.
5. *Shafiur Rahman M.* Handbook of Food Preservation. 2nd Edition. 2007.
6. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances / *A. Rawson* [et al.] // Food Research International. 2011. № 44 (7). P. 1875–1887. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.02.053.
7. Влияние термической обработки на окисление жиров и белков / *Е.К. Туниева* [и др.] // Все о мясе. 2022. № 2. С. 10–13. DOI: 10.21323/2071-2499-2022-2-10-13.
8. *Tucker G.* Pasteurization of Viscous and Particulate Products // Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2003. P. 4395–4401. DOI: 10.1016/B0-12-227055-X/00891-9.
9. *Gordon A.* Food Safety and Quality in Developing Countries // Case study: formula safe foods – canned pasteurized processed cheese. 2017. P. 149–184. DOI: 10.1016/B978-0-12-801226-0.00006-2.
10. *Bell C., Kyriakides A.* Salmonella // Foodborne Pathogens. 2009. P. 627–674. DOI: 10.1533/9781845696337.2.627.
11. *Silva F., Gibbs P.* Non-proteolytic Clostridium botulinum spores in low-acid cold-distributed foods and design of pasteurization processes // Trends in Food Science and Technology. 2010. № 21. P. 95–105. DOI: 10.1016/j.tifs.2009.10.011.
12. *Deak T.* Food Technologies: Sterilization // Encyclopedia of Food Safety. 2014. № 3. P. 245–252. DOI: 10.1016/B978-0-12-378612-8.00258-4.
13. *Jilideh Z.B., Wagner P.H., Schöning M.J.* Sterilization of Objects, Products, and Packaging Surfaces and Their Characterization in Different Fields of Industry: The Status in 2020 // Physica Status Solidi. 2021. P. 1–27. DOI: 10.1002/pssa.202000732.
14. *Deak T.* Food Safety Management // Thermal Treatment. 2014. P. 423–442. DOI: 10.1016/B978-0-12-381504-0.00017-2.
15. *Singh P., Heldman D.* Introduction to Food Engineering Fifth Edition. 2014. ISBN 9780123985309. DOI: 10.1016/C2011-0-06101-X.
16. *Deeth H.C., Datta N.* Heat Treatment of Milk. Ultra-High Temperature Treatment (UHT): Heating Systems // Encyclopedia of Dairy Sciences. 2011. P. 699–707. DOI: 10.1016/B978-0-12-374407-4.00216-8.
17. Milk: Processing of Milk / *R.S. Chavan* [et al.] // Encyclopedia of Food and Health. 2016. P. 729–735. DOI: 10.1016/b978-0-12-384947-2.00464-5.
18. Effect of ultra high temperature (UHT) treatment on coffee brew stability / *P. Sopelana* [et al.] // Food Research International. 2013. № 50 (2). P. 682–690. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.07.038.
19. *Lewis M.* Ultra-High-Temperature Processing // Reference Module in Food Science. 2018. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22571-7.
20. *Marra F., Romano V.* A mathematical model to study the influence of wireless temperature sensor during assessment of canned food sterilization // Journal of Food Engineering. 2003. № 59 (2-3). P. 245–252. DOI: 10.1016/s0260-8774(02)00464-8.
21. *Ramaswamy H., Tang J.* Microwave and Radio Frequency Heating // Food Science and Tech-

- nology International. 2008. № 14(5). P. 423–427. DOI: 10.1177/1082013208100534.
22. *Maloney N., Harrison M.* Advanced Heating Technologies for Food Processing // Innovation and Future Trends in Food Manufacturing and Supply Chain Technologies. 2016. P. 203–256. DOI: 10.1016/B978-1-78242-447-5.00008-3.
23. Effect on Orange Juice of Batch Pasteurization in an Improved Pilot-Scale Microwave Oven / *L. Cinquanta* [et al.] // Journal of Food Science. 2010. № 75 (1). P. 46–50. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2009.01412.x.
24. Low-waste innovative production technology for canned quince compote, enriched with natural nutrients / *M.M. Rakhmanova* [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 938. 012010. DOI: 10.1088/1755-1315/938/1/012010.
25. *Lalou S., Ordoudi S., Th. Mantzouridou F.* On the Effect of Microwave Heating on Quality Characteristics and Functional Properties of Persimmon Juice and Its Residue // Foods. 2021. № 10 (1). P. 26–50. DOI: 10.3390/foods10112650.
26. *Marsaioli Jr. A., Berteli M., Pereira N.* Applications of microwave energy to postharvest technology of fruits and vegetables // Stewart Postharvest Review. 2009. № 5 (6). P. 1–5. DOI: 10.2212/spr.2009.6.2.
27. *Fasina O.O., Farkas B.E., Fleming H.P.* Thermal and Dielectric Properties of Sweetpotato Puree // International Journal of Food Properties. 2003. № 6 (3). P. 461–472. DOI: 10.1081/JFP-120021459.
28. *Puligundla P.* Potentials of Microwave Heating Technology for Select Food Processing Applications – a Brief Overview and Update // Journal of Food Processing & Technology. 2013. № 4 (11). 1000278. DOI: 10.4172/2157-7110.1000278.
29. Microwave-induced thermal sterilization – A review on history, technical progress, advantages and challenges as compared to the conventional methods / *A. Soni* [et al.] // Trends in Food Science & Technology. 2020. № 97. P. 433–442. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.030.
30. Application of Radiowave Frequency in Food Processing / *F. Marra* [et al.] // Conventional and Advanced Food Processing Technologies. 2014. P. 501–513. DOI: 10.1002/9781118406281.ch20.
31. Radio Frequency Heating of Foods: Principles, Applications and Related Properties – A Review / *P. Piyasena* [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2003. № 43(6). P. 587–606. DOI: 10.1080/10408690390251129.
32. Radio frequency pasteurization and disinfection techniques applied on low-moisture foods / *H. Jiang* [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. P. 1–14. DOI: 10.1080/10408398.2019.1573415.

References

1. *Fellows P.J.* Food Processing Technologies: Principles and Practices. Third Edition // Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2009. DOI: 10.1016/b978-1-84569-216-2.50043-8.
2. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review / *H.W. Xiao* [et al.] // Information Processing in Agriculture. 2017. № 2 (4). P. 101–127. DOI: 10.1016/j.inpa.2017.02.001.
3. Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction / *F. Chemat* [et al.] // Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2017. № 41. P. 357–377. DOI: 10.1016/j.ifset.2017.04.016.
4. Modelling the effects of thermal sterilization on the quality of tomato puree / *B. Zanoni* [et al.] // Journal of Food Engineering. 2003. № 56 (2-3). P. 203–206. DOI: 10.1016/s0260-8774(02)00251-0.
5. *Shafiur Rahman M.* Handbook of Food Preservation. 2nd Edition. 2007.
6. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances / *A. Rawson* [et al.] // Food Research International. 2011. № 44 (7). P. 1875–1887. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.02.053.
7. Vliyanie termicheskoj obrabotki na okislenie zhirov i belkov / *E.K. Tunieva* [i dr.] // Vse o myase. 2022. № 2. S. 10-13. DOI: 10.21323/2071-2499-2022-2-10-13.
8. *Tucker G.* Pasteurization of Viscous and Particulate Products // Encyclopedia of Food Science

- nces and Nutrition. 2003. P. 4395–4401. DOI: 10.1016/B0-12-227055-X/00891-9.
9. *Gordon A.* Food Safety and Quality in Developing Countries // Case study: formula safe foods – canned pasteurized processed cheese. 2017. P. 149–184. DOI: 10.1016/B978-0-12-801226-0.00006-2.
 10. *Bell C., Kyriakides A.* Salmonella // Foodborne Pathogens. 2009. P. 627–674. DOI: 10.1533/9781845696337.2.627.
 11. *Silva F., Gibbs P.* Non-proteolytic Clostridium botulinum spores in low-acid cold-distributed foods and design of pasteurization processes // Trends in Food Science and Technology. 2010. № 21. P. 95–105. DOI: 10.1016/j.tifs.2009.10.011.
 12. *Deak T.* Food Technologies: Sterilization // Encyclopedia of Food Safety. 2014. № 3. P. 245–252. DOI: 10.1016/B978-0-12-378612-8.00258-4.
 13. *Jildeh Z.B., Wagner P.H., Schöning M.J.* Sterilization of Objects, Products, and Packaging Surfaces and Their Characterization in Different Fields of Industry: The Status in 2020 // Physica Status Solidi. 2021. P. 1–27. DOI: 10.1002/pssa.202000732.
 14. *Deak T.* Food Safety Management // Thermal Treatment. 2014. P. 423–442. DOI: 10.1016/B978-0-12-381504-0.00017-2.
 15. *Singh P., Heldman D.* Introduction to Food Engineering Fifth Edition. 2014. ISBN 9780123985309. DOI: 10.1016/C2011-0-06101-X.
 16. *Deeth H.C., Datta N.* Heat Treatment of Milk. Ultra-High Temperature Treatment (UHT): Heating Systems // Encyclopedia of Dairy Sciences. 2011. P. 699–707. DOI: 10.1016/B978-0-12-374407-4.00216-8.
 17. Milk: Processing of Milk / *R.S. Chavan* [et al.] // Encyclopedia of Food and Health. 2016. P. 729–735. DOI: 10.1016/b978-0-12-384947-2.00464-5.
 18. Effect of ultra high temperature (UHT) treatment on coffee brew stability / *P. Sopelana* [et al.] // Food Research International. 2013. № 50 (2). P. 682–690. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.07.038.
 19. *Lewis M.* Ultra-High-Temperature Processing // Reference Module in Food Science. 2018. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22571-7.
 20. *Marra F., Romano V.* A mathematical model to study the influence of wireless temperature sensor during assessment of canned food sterilization // Journal of Food Engineering. 2003. № 59 (2-3). P. 245–252. DOI: 10.1016/S0260-8774(02)00464-8.
 21. *Ramaswamy H., Tang J.* Microwave and Radio Frequency Heating // Food Science and Technology International. 2008. № 14(5). P. 423–427. DOI: 10.1177/1082013208100534.
 22. *Maloney N., Harrison M.* Advanced Heating Technologies for Food Processing // Innovation and Future Trends in Food Manufacturing and Supply Chain Technologies. 2016. P. 203–256. DOI: 10.1016/B978-1-78242-447-5.00008-3.
 23. Effect on Orange Juice of Batch Pasteurization in an Improved Pilot-Scale Microwave Oven / *L. Cinquanta* [et al.] // Journal of Food Science. 2010. № 75 (1). P. 46–50. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2009.01412.x.
 24. Low-waste innovative production technology for canned quince compote, enriched with natural nutrients / *M.M. Rakhmanova* [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 938. 012010. DOI: 10.1088/1755-1315/938/1/012010.
 25. *Lalou S., Ordoudi S., Th. Mantzouridou F.* On the Effect of Microwave Heating on Quality Characteristics and Functional Properties of Persimmon Juice and Its Residue // Foods. 2021. № 10 (1). P. 26–50. DOI: 10.3390/foods10112650.
 26. *Marsaioli Jr. A., Berteli M., Pereira N.* Applications of microwave energy to postharvest technology of fruits and vegetables // Stewart Postharvest Review. 2009. № 5 (6). P. 1–5. DOI: 10.2212/spr.2009.6.2.
 27. *Fasina O.O., Farkas B.E., Fleming H.P.* Thermal and Dielectric Properties of Sweetpotato Puree // International Journal of Food Properties. 2003. № 6 (3). P. 461–472. DOI: 10.1081/JFP-120021459.
 28. *Puligundla P.* Potentials of Microwave Heating Technology for Select Food Processing Applications – a Brief Overview and Update // Journal of Food Processing & Technology. 2013. № 4 (11). 1000278. DOI: 10.4172/2157-7110.1000278.

29. Microwave-induced thermal sterilization – A review on history, technical progress, advantages and challenges as compared to the conventional methods / *A. Soni* [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. № 97. P. 433–442. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.030.
30. Application of Radiowave Frequency in Food Processing / *F. Marra* [et al.] // *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*. 2014. P. 501–513. DOI: 10.1002/9781118406281.ch20.
31. Radio Frequency Heating of Foods: Principles, Applications and Related Properties – A Review / *P. Piyasena* [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2003. № 43(6). P. 587–606. DOI: 10.1080/10408690390251129.
32. Radio frequency pasteurization and disinfestation techniques applied on low-moisture foods / *H. Jiang* [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019. P. 1–14. DOI: 10.1080/10408398.2019.1573415.

Статья принята к публикации 08.09.2022 / The article accepted for publication 08.09.2022.

Информация об авторах:

Наталья Евгеньевна Посокина¹, заведующая лабораторией технологии консервирования, кандидат технических наук

Анна Ивановна Захарова², научный сотрудник лаборатории технологии консервирования

Information about the authors:

Natalya Evgenievna Posokina¹, Head of the Laboratory of Canning Technology, Candidate of Technical Sciences

Anna Ivanovna Zakharova², Researcher, Laboratory of Canning Technology

