

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-59-70>



Поступила 24.11.2023

Поступила после рецензирования 21.02.2024

Принята в печать 26.02.2024

© Бурак Л. Ч., Сапач А. Н., 2024

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОМИЧЕСКОГО НАГРЕВА В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

Бурак Л. Ч., Сапач А. Н.

Общество с ограниченной ответственностью «БЕЛРОСАКВА», Минск, Республика Беларусь

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

*фрукты, овощи, сок, омический нагрев, пастеризация, обработка, инактивация, сушка, выпаривание*

Современный потребитель отдает предпочтение натуральным продуктам с минимальной обработкой, позволяющей максимально сохранять пищевую ценность продукта и свежие вкус и аромат. Цель данной статьи- обзор результатов исследований, касающихся влияния омического нагрева на продукт в сравнении с термической обработкой и рассматривающих комбинированное применение данного метода с нетермическими технологиями при производстве фруктовых и овощных консервов. Материалом данного исследования послужили 105 научных публикаций. Поиск научной литературы на английском и русском языках об использовании технологии омического нагрева в процессе переработки плодовоовощной продукции проводили в библиографических базах Scopus, Web of Science, а также в других источниках. В качестве временных рамок для обзора научных публикаций принят период 2010–2023 гг. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRISMA. Научный поиск и обзор научных публикаций по теме исследования показали ограниченное количество работ, посвященных оценке технологии омического нагрева (ОН) в обработке фруктов и овощей. В процессе использования данной технологии применяется электрический ток, обеспечивая равномерное и быстрое выделение тепла внутри пищевой матрицы; ОН имеет более короткое время обработки, что способствует сохранению органолептических показателей качества продукта и его пищевой ценности. По сравнению с термической обработкой, технология ОН не только инактивирует микроорганизмы и пищевые ферменты, но и предотвращает перегрев, что снижает негативное влияние температурного воздействия на химический состав продукта. Выпаривание/концентрирование, обезвоживание/сушка фруктовых соков или пюре с помощью ОН способствовали более высокой энергоэффективности и сокращению времени обработки по сравнению с традиционными способами обработки. Несмотря на многие преимущества, существуют ограничения для масштабного промышленного применения метода ОН, включая коррозию электродов, что может оказывать негативное влияние на продукт, а также неравномерный нагрев некоторых видов плодовоовощного сырья в непрерывном режиме процесса обработки. Результаты данного обзора могут быть использованы в процессе проведения дальнейших научных исследований, которые целесообразно продолжать с целью определения конкретных параметров обработки и устранения неравномерности нагрева пищевого сырья.

Received 24.11.2023

Accepted in revised 21.02.2024

Accepted for publication 26.02.2024

© Burak L. Ch., Sapach A. N., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

## USE OF OMIC HEATING TECHNOLOGY IN THE PROCESS OF PROCESSING FRUITS AND VEGETABLES. OVERVIEW OF THE SUBJECT FIELD

Leonid Ch. Burak, Alexander N. Sapach

BELROSAKVA Limited Liability Company, Minsk, Republic of Belarus

### KEY WORDS:

*fruits, vegetables, juice, ohmic heating, pasteurization, processing, inactivation, drying, evaporation*

### ABSTRACT

The modern consumer prefers natural products with minimal processing, which allows maximum preservation of the nutritional value of the product and fresh taste and aroma. The purpose of this article is to review the results of studies concerning the effect of ohmic heating on the product in comparison with heat treatment and considering the combined use of this method with non-thermal technologies in the production of canned fruit and vegetables. The material for this study was 105 scientific publications. A search for scientific literature in English and Russian on the use of the ohmic heating technology in the process of processing fruits and vegetables was carried out in the bibliographic databases Scopus, Web of Science, as well as in other sources. The period 2010–2023 was adopted as the time frame for the review of scientific publications. To review the subject field of the study, an algorithm was used in accordance with the PRISMA protocol. A scientific search and review of scientific publications on the research topic showed a limited number of studies assessing the ohmic heating (OH) technology in the processing of fruits and vegetables. In the process of using this technology, electric current is applied, ensuring uniform and rapid release of heat inside the food matrix. OH has a shorter processing time, which helps preserve the organoleptic quality of the product and its nutritional value. Compared to heat treatment, the OH technology not only inactivates microorganisms and food enzymes, but also prevents overheating, which reduces the negative impact of temperature on the chemical composition of the product. Evaporation/concentration, dehydration/drying of fruit juices or purees using OH resulted in higher energy efficiency and reduced processing time compared to traditional processing methods. Despite many advantages, there are limitations to large-scale industrial application of the OH method, including corrosion of the electrodes, which can have a negative impact on the product, as well as uneven heating of some types of fruit and vegetable raw materials during continuous processing. The results of this review can be used in the process of conducting further scientific research, which is advisable to continue in order to determine specific processing parameters and eliminate uneven heating of food raw materials.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бурак, Л. Ч., Сапач, А. Н. (2024). Использование технологии омического нагрева в процессе переработки плодов и овощей. Обзор предметного поля. *Пищевые системы*, 7(1), 59-70. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-59-70>

FOR CITATION: Burak, L. Ch., Sapach, A. N. (2023). Use of omic heating technology in the process of processing fruits and vegetables. Overview of the subject field. *Food Systems*, 7(1), 59-70. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-59-70>

## 1. Введение

Информация об использовании натуральных продуктов, отсутствии в них химических консервантов и о применении современных технологий переработки, позволяющих максимально сохранять пищевую ценность продукта, свежесть вкуса и аромата, привлекает потребителей и определяет их покупательскую способность. Технологии обработки омическим нагревом (ОН) продуктов переработки фруктов и овощей улучшают качество конечного продукта, поскольку потребители отдают предпочтение более натуральным продуктам, содержащим минимальное количество синтетических консервантов. Омические методы можно использовать для нагрева пищевых продуктов с проводимостью от 0,1 до 10 См/м. Омическая технология применяется периодически или непрерывно. Напряженность электрического поля, конфигурация электродов и проводимость нагреваемого материала генерируют потоки тока, которые обуславливают высокую плотность мощности и быстрое выделение тепловой энергии. Параметры, применяемые при ОН: напряжение — от 400 до 4000 В; мощность поля — от 20 до 400 В/см; зазор между электродами — от 10 до 50 см. Скорость нагрева определяется эффективностью источника энергии, конструкцией оборудования и характером тепловой среды, например, проводимостью, вязкостью и теплоемкостью [1,2]. ОН — это метод быстрого и равномерного нагрева, требующий меньше энергии по сравнению с традиционной термической обработкой [3,4]. Нетермическое воздействие ОН, то есть электропорация и электрический пробой, изменяло клетки и ткани в зависимости от характеристик пищевого материала и условий процесса, таких как температура, приложенная частота и градиент напряжения. Согласно данным Gavanian и др. [4], низкая частота и повышенная напряженность электрического поля усиливают образование пор и электрический пробой клеток. Кроме того, свежее плодовоовощное сырье более чувствительно к нетепловому воздействию ОН, чем материалы, которые до ОН подвергались другим процессам, таким как сушка [4]. Хотя метод омического нагрева имеет ряд преимуществ перед традиционной обработкой, там, где необходимы высокие температуры для стерилизации, данный метод неэффективен. За последние несколько десятилетий проведен ряд исследований ОН различных пищевых материалов [5]. Технология ОН была изучена в широком диапазоне продуктов питания, включая фрукты и овощи [6], молоко и молочные продукты [7], крупы и хлебобулочные изделия [8,9], мясо и морепродукты [10,11] и так далее. Использование ОН предполагает не только пастеризацию и стерилизацию [5,12], выпаривание или концентрирование [13,14], обезвоживание [15,16,17], приготовление пищи [18,19,20], бланширование [21], запекание [22,23], но и извлечение [4,24,25,26], размораживание [27], шелушение [28,29] и размягчение тканей [8,30]. Перечисленные исследования были направлены на изучение происходящих процессов при нагревании, изменений электропроводности, моделирования и/или имитации, инактивации ферментов и микробов, изменений реологии, цвета и пищевых компонентов [31]. Цель данной статьи — обзор результатов исследований, касающихся влияния омического нагрева на продукт в сравнении с термической обработкой и рассматривающих комбинированное применение данного метода с нетермическими технологиями при производстве фруктовых и овощных консервов.

## 2. Материалы и методы

Поиск научной литературы на английском и русском языках об использовании технологии омического нагрева в процессе переработки плодовоовощной продукции проводили в библиографических базах Scopus и Web of Science. Для отбора научных статей на русском языке провели поиск, по ключевым словам, в Google Scholar и в Научной электронной библиотеке (eLIBRARY.RU).

В качестве временных рамок для обзора научных публикаций принят период 2010–2023 гг. При выполнении работы использованы научные методы — поиск и скрининг научной литературы, извлечение и анализ данных, систематизация и обобщения. При отборе публикаций для обзора приоритет отдавали высоко цитируемым источникам. Для обзора предметного поля проведенного исследования применяли алгоритм в соответствии с протоколом PRISMA и составляли схему проведения исследования.

Для поисковых запросов в зарубежных базах данных Scopus, Web of Science были использованы следующие ключевые слова и словосочетания на английском языке: ohmic heating, vegetables, fruits, pasteurization, processing, inactivation, drying, evaporation. На русском языке в базе данных Google Scholar и Научной электронной библиотеке (eLIBRARY.RU) вводились следующие ключевые слова: омический нагрев, овощи, фрукты, пастеризация, обработка, инактивация, сушка, выпаривание.

Критерии включения для статей, подлежащих анализу:

1. Статья написана в период 2010–2023 гг;
2. Статья соответствует теме исследования;
3. Типы анализируемых статей — оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, краткие отчеты.

Критерии исключения для статей, подлежащих анализу:

1. Статья не соответствует теме данного обзора: не касается тематики использования технологии омического нагрева при обработке продуктов переработки плодов и овощей;
2. Статья написана не на английском языке, статья на русском языке не входит в РИНЦ;
3. Содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

Результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм для визуализации данных. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRISMA и составили схему проведения исследования (Рисунок 1).

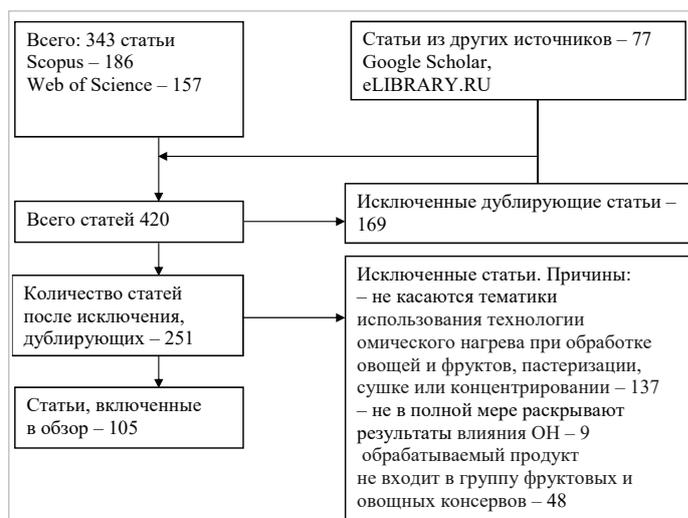


Рисунок 1. Блок-схема, описывающая процесс выбора исследования, в соответствии с протоколом PRISMA

Figure 1. Flow chart describing the process of choosing a study according to the PRISMA protocol

Примечание: PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation, 2018 (<https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/M18-0850>). In the public domain.

## 3. Результаты и обсуждение

### 3.1. Принцип действия технологии омического нагрева (ОН)

Омический нагрев (ОН) — метод относительно новый, используемый для пастеризации и стерилизации пищевых продуктов в качестве альтернативы традиционной термической обработке. ОН выделяет внутреннее тепло, сопротивляясь потоку переменного электрического тока. В технологии ОН используются высокотемпературные кратковременные процессы для равномерного и быстрого нагревания жидких и твердых продуктов [32]. Основные компоненты оборудования ОН включают источник питания, нагревательную камеру, электроды, термодатчик, датчик тока и систему сбора данных. Во время обработки ОН пищевое сырье действует как резистор и повышает свою температуру за счет эффекта Джоуля [33]. Повышение температуры влияет на структуру пищи и вызывает перенос влаги, клейстеризацию крахмала и денатурацию белка [8]. Принцип ОН основан на распределении электрической энергии в виде тепла через электрический проводник, когда электрическая энергия, поступающая в продукт, преобразуется в тепловую энергию, а электрическое сопротивление пищи вызывает объемный нагрев [34]. Нагрев с эффектом Джоуля имеет эффективность более 90% по сравнению с обычной теплопередачей (т. е. за счет температурных градиентов или горячих поверхностей от окружающей среды к среде) [35]. Кроме того, быстрый и равномерный нагрев, вызванный флуктуациями электрических полей, увеличивает динамическое движение заряженных частиц и дипольные моменты растворов [34]. Электроды ОН непосредственно воздействуют на нагреваемую среду, что является основным отличием ОН от других методов нагрева [35]. Оптимизировать систему омического нагрева весьма сложно по причине теплофизических воздействий в процессе теплопереноса.

Авторы Hashemi и Roohi [36] внедрили метод вычислительной гидродинамики, предоставив исследователям ценные данные, в том числе контроль непроектных тепловых пятен, потерь тепла и эффективности оборудования с помощью численных расчетов. Также было установлено, что ОН способствует экономии электрической энергии [37]. Разработка эффективных тепловых систем для высокотемпературных применений является перспективным направлением для промышленного использования в различных отраслях промышленности. В промышленности технология ОН может продемонстрировать эффективность более 90%, однако для достижения этого уровня необходимо обеспечить снижение тепловых потерь с помощью изоляции стен [38].

### 3.2. Использование технологии омического нагрева при переработке овощей и фруктов

Технология ОН способствует процессу пастеризации с максимальным сохранением пищевой ценности продукта, с защитой ценных компонентов, таких как каротиноиды и ксантофиллы во фруктовых соках [12]. Проведены исследования и установлено влияние ОН на инактивацию *Salmonella spp.* [39], *Lactobacillus spp.* [40] и *Staphylococcus spp.* [41]. В последнее время многие авторы изучили влияние пастеризации технологией ОН при переработке купажированных цитрусовых соков [36], морковных соков [42], виноградных соков [43], яблочного сока [44], сока шелковицы [45]. При анализе стабильности фенольных соединений во время пастеризации ОН (20,5 В/см) было установлено, что большему разрушению фенолов и флавоноидных соединений способствовало не изменение напряжения и частоты электрического поля, а трансформация формы волны (прямоугольная или импульсная) [46]. По данным Darvishi и др [47], биологически активные вещества (особенно витамин С и общее содержание фенолов) цитрусовых соков (например, апельсинового сока) сохранились за счет сокращения времени обработки и увеличения градиента напряжения. Точно так же применение технологии ОН при разных частотах электрического поля (10–1000 Гц) и напряжения (25–80 В) способствовало сохранению качества малиновых напитков на основе сыворотки. Согласно результатам данного исследования, для жидких продуктов необходимо обеспечивать равномерное распределение тепла внутри матрицы [48]. Следует отметить исследование, в ходе которого проводили пастеризацию купажированных фруктово-овощных соков методом термической обработки и омического нагрева. Были приготовлены соки из овощей, произрастающих в Республике Беларусь, таких как тыква, морковь и сельдерей. Овощные соки купажировали с соками апельсина, грейпфрута и плодов бузины. С целью увеличения срока хранения купажированных соков они были подвергнуты омической пастеризации. Согласно полученным данным, было установлено, что термическое воздействие омического метода оказывает меньший вред для флавоноидов по сравнению с общепринятым методом пастеризации. Оптимальными параметрами омической пастеризации были определены напряжение 18 В и температура 70 °С. Дальнейшее увеличение напряжения влекло изменение цвета и консистенции соковой продукции, что отрицательно влияло на внешний вид и органолептические показатели [2].

Хотя система ОН изначально была разработана для жидких пищевых продуктов, она эффективно применялась для пюре из манго с целью улучшения качественных показателей, таких как содержание растворимых сухих веществ (СВ) и кислотность продукта [49]. Метод обработки ОН не требует присутствия пара или горячей воды, а также перемешивания для достижения однородности при обработке сока. Во время концентрирования сока тепловые технологии потребляют много энергии, в то время как ОН является одной из перспективных энергоэффективных систем [50]. Согласно данным литературных источников, был исследован ряд фруктовых соков после процесса концентрирования или выпаривания методом ОН, например, апельсиновый сок [51,52], гранатовый сок [14], виноградные соки [53], вишневые соки [54,55], соки из киви [56] и вержус [57]. Авторы Fadavi и др. [54] концентрировали вишневый сок до содержания сухих веществ на уровне 33% и 46,7% от исходной массы с использованием ОН (при 10–30 В/см; при атмосферном давлении и вакууме 30 и 60 кПа). Результаты показали снижение скорости нагрева на 11,3% при снижении давления на 60% и снижение скорости нагрева на 30,7% при изменении концентрации на 46,7%. Авторы подтвердили, что при понижении давления (вакуумное состояние) электропроводность уменьшалась, а концентрация увеличивалась.

В настоящее время проведены исследования по изучению действия ОН на процесс инактивации ферментов во фруктовых и овощных соках, включая соки манго [58], томатный сок [59], соки сахарного

тростника [60–61] и арбузный сок [31]. Согласно исследованиям, проведенным Morales-Sánchez с соавторами [62], инактивация пектинметилэстеразы (ПМЭ) в результате ОН (17–23 В/см при 30–72 °С) зависит не только от приложенного электрического поля, но и от исходной проводимости образца. Ученые Jakob и др. [63] также сообщили об увеличении инактивации ПМЭ при высокой начальной электропроводности, в то время как значения электрического поля были постоянными. По мнению авторов, для обработки ОН фруктовых соков, обладающих высокой электропроводностью, достаточно короткого времени (секунды). Ранее группа исследователей [64] установила снижение активности полифенолоксидазы (ПФО) под действием ОН (20–40 В/см, 20–90 °С) в процессе переработки виноградного сока.

Обобщенные данные исследований о применении ОН в процессе переработки фруктов и овощей представлена в Таблицах 1 и 2.

### 3.3. Сравнение технологии ОН и традиционных методов нагрева

#### 3.3.1. Микробная / ферментативная инактивация

Получены результаты, указывающие на более заметную эффективность омического нагрева в инактивации *Escherichia coli*, дрожжей, лактобацилл и сальмонеллы по сравнению с традиционным методом пастеризации [16,36,39,71]. Кроме того, авторы Cho et al. [71] использовали непрерывную пастеризацию ОН собственной разработки для продукта Gochujang (ферментированный национальный корейский продукт) с пастой из острого перца. Система обеспечивала быстрый и равномерный нагрев (> 100 °С) без образования накипи, инактивацию микроорганизмов (2-логарифмическое сокращение), сокращение времени обработки по сравнению с традиционной системой нагрева периодического действия. Khue et al. [39] в своем исследовании установили более быструю инактивацию микробов при обработке фруктовых соков помело ОН по сравнению с обычной пастеризацией. По данным Hashemi and Roohi [36], скорость инактивации микроорганизмов увеличивалась при повышении напряжения от 150 до 250 В при обработке цитрусовых соков. Схожие результаты были получены автором Kumar в процессе обработки виноградного сока методом ОН: по мере увеличения градиента напряжения снижалось время, необходимое для инактивации, количество микробов было ниже рекомендуемого предела до 21 дня хранения в обработанном виноградном соке ОН (30 В / см, 85 °С, 5 мин) [43]. Priyadarshini и соавторы [72] наблюдали значительную инактивацию бактерий и дрожжей/плесени во время пастеризации мякоти манго ОН (10–20 В/см при 60–80 °С) по сравнению с обычным нагреванием при 90 °С в течение 10 мин. Пастеризация ОН (12,5 В/см, 60 °С в течение 5 минут) обеспечила максимальное снижение микробиологической обсемененности в яблочном соке. Однако с увеличением времени обработки и температуры происходили значительные изменения содержания аскорбиновой кислоты и трансформации цвета [44]. Ученые Sarkis и другие [73] продемонстрировали кинетику деградации антоцианов при 23–125 В и при обычном нагревании (70–90 °С) в мякоти ежевики. Обе технологии нагревания, ОН при низком напряжении (23 В) и обычный нагрев, показали одинаковую скорость деградации антоцианов. Авторы сообщили о значительном разрушении антоцианов при высоком напряжении из-за электрохимических реакций. Однако увеличение градиента напряжения положительно влияло на сохранение антиоксидантной активности [73]. Darvishi и соавторы [74] в своем исследовании установили самую высокую антиоксидантную активность в образцах концентрата черного винограда (патоки), обработанных ОН, по сравнению с образцами, подвергнутыми обычному нагреву. Применение технологии омического нагрева приводит к снижению себестоимости на 2,4 доллара, а также к уменьшению времени обработки в 7,2 раза и энергопотребления в 6,3 раза без изменения органолептических свойств по сравнению с обычным процессом нагревания. Следовательно, эффективность ОН зависит от параметров обработки, таких как градиент напряжения, частота и температура, а также от характеристик самого продукта.

Авторы Kanjanapongkul и Waibua использовали ОН для предотвращения обесцвечивания розового цвета, связанного с ингибированием ПФО и ПОД в кокосовой воде [85]. Хотя более высокая напряженность электрического поля быстрее снижала активность ферментов, обработка ОН (70–80 °С) непрерывно уменьшала активность ПФО в течение длительного времени. Так, ОН при 90 °С за 3 мин снижал на 10% исходную активность ПФО, которая оставалась неизменной в условиях хранения. Напротив, ОН при 70 °С сначала повышал активность ПОД, затем снижал при 80 °С с выдержкой до полной инактивации при 90 °С. После обработки кокосовая вода приобрела светло-розовый цвет на 14-й день. Вместе с тем результаты показали большую активацию фермента при увеличении напряженности электрического поля, при этом электрическая частота не оказывала

Таблица 1. Результаты использования ОН для фруктовых и овощных соков  
Table 1. Results of using OH for fruit and vegetable juices

Продукт	Процесс	Комбинирование/сравнение с другими методами	Условия проведения эксперимента	Выводы	Источник
Гранатовый ( <i>Punica granatum</i> cv. <i>Hicaz</i> ) сок	Концентрирование (до 40% сухих веществ)	В сочетании с выпариванием под вакуумом	7,5–12,5 В/см	Время ОН сокращается на 56% по сравнению с обычным нагревом	[14]
Вишневый сок	Концентрирование	В сочетании с выпариванием под вакуумом	10–14 В/см	Увеличение производительности процесса выпаривания и снижение энергоемкости	[52]
Вишневый сок	Концентрирование (до 40% потери воды)	По сравнению с обычным нагревом	8,3–13,9 В/см, 50 Гц	Скорость нагрева ОН в 10 раз выше по сравнению с обычным нагревом	[54]
Апельсиновый сок	Концентрирование	В сочетании с выпариванием под вакуумом (27 кПа), по сравнению с ОН при атмосферном давлении	15–30 В/см, 66 °С	ОН значительно замедляет процесс разрушения пектина и витамина С, а также позволяет получить сок более высокой концентрации	[51]
Апельсиновый сок	Концентрирование (до 40% сухих веществ)	В сочетании с выпариванием под вакуумом (25–101 кПа)	13 В/см, 65–100 °С, 34–54 мин	При повышении температуры время обработки уменьшилось по мере выпаривания	[55]
Сок киви	Концентрирование	В сочетании с выпариванием в вакууме, по сравнению с ОН при атмосферном давлении	—	ОН в сочетании с выпариванием под вакуумом лучше сохраняет антиоксидантную активность и витамин С в концентрированном соке. Однако при этом увеличивается время обработки, ускоряется коррозия электродов, снижается эффективность процесса и проводимость среды	[56]
Арбузный сок	Инактивация полифенолоксидазы	По сравнению с обработкой горячей водой (90 °С в течение 15–60 с)	24 В/см, 50 Гц	Активность полифенолоксидазы снизилась на 36,15% и 8,87% за 60 с при использовании горячей воды и ОН соответственно. Изменение цвета было меньше в образцах, обработанных ОН	[59]
Напитки на основе арбузного сока	Физико-химические показатели, содержание биоактивных соединений и срок годности	По сравнению с обычным нагревом	80 °С, 3 мин	При ОН снижение микробиологической обсемененности эффективнее, чем при обычном нагреве	[65]
Сок сахарного тростника	Инактивация пероксидазы	По сравнению с обычным нагревом	7,8 В/см, 60 Гц, 25 мин, 75 °С	Инактивация пероксидазы при ОН 78% в жидком состоянии и 100% в твердом состоянии, что более эффективно, чем при обычном нагреве	[60]
Сок сахарного тростника	Оценка влияния способа обработки	По сравнению с ультразвуком (20 кГц) и обычным нагревом	7,8 В/см, 60 Гц, 80 °С	ОН способствовал сохранению цвета и содержания фенольных соединений	[66]
Сок плодов помело	Инактивация <i>Salmonella enterica serovars enteritidis</i>	По сравнению с обычным нагревом	30 В/см, 50–20000 Гц	Разрушение бактерий происходит быстрее при ОН, чем при обычном нагреве	[67]
Томатный сок	Инактивация ферментов (полигалактуроназа и пектинметилэстераза)	По сравнению с обычным нагревом (90 °С, 5 мин)	90 °С, 1 мин	Инактивация ферментов происходит быстрее при ОН, что способствует сохранению цвета и консистенции	[59]
Купажированный цитрусовый сок (сладкий лимон и апельсин)	Пастеризация	По сравнению с обычным нагревом (75 °С, 30 мин)	150–250 В, 99,4 °С, 120 с	При увеличении напряжения скорость инактивации патогенных бактерий увеличивается	[36]
Сок черной шелковицы	Кинетика обработки, качество термодинамическая оценка процесса концентрирования	По сравнению с обычным нагревом	15–30 В/см	Содержание фенола в концентрированном образце в 3,0–4,5 раза выше при ОН, чем при обычном нагреве, потребление энергии в 4,6–5,3 раза ниже	[68]
Сок из плодов помело	Инактивация пектинметилэстеразы и лактобацилл	По сравнению с обычным нагревом (20–80 °С)	20–40 В/см, 50–20000 Гц	Инактивация происходит быстрее при ОН, чем при обычном нагреве	[69]
Сок из плодов помело	Влияние частоты переменного тока и напряженности электрического поля на изменения биоактивных соединений	По сравнению с обычным нагревом (20–80 °С)	20–40 В/см, 50–20000 Гц	ОН при 60 Гц и 30 В/см эффективнее совместно с пастеризацией	[69]
Морковный сок	Пастеризация	По сравнению с обычным нагревом (80 °С, 7 мин)	120 В/см, 60 кГц, 15–80 °С	При ОН увеличилась антиоксидантная способность и микробиологическая стабильность в процессе хранения в течение 60 дней при 4 °С	[42]
Морковный сок	Подбор оптимальных параметров обработки	По сравнению с обычным нагревом (80 °С в течение 60 с)	15–25 В/см, 40–90 с	После обработки ОН (17 В/см при 40 с) сок был пригоден для потребления в течение 10 дней, органолептические и микробиологические показатели были более естественные, чем при обычной обработке	[70]
Виноградный сок	Пастеризация	—	10–40 В/см, 55–85 °С, 1–5 мин	Микробиологическая стабильность после обработки при 30 В/см, 85 °С, 5 мин сохранялась в течение 21 дня	[43]
Виноградный сок	Концентрирование	—	16–24 В/см	При ОН выпаривание происходит эффективнее на 80%	[55]
Яблочный сок	Пастеризация	—	10–15 В/см, 50–60 °С, 1–5 мин	Наиболее значительное уменьшение количества микроорганизмов наблюдалось при 12,5 В/см, 60 °С и 5 мин	[44]
Яблочный сок	Инактивация <i>Staphylococcus aureus</i>	По сравнению с обычным нагревом (72 °С)	10 В/см, 50 Гц, 2 мин	При ОН гибель <i>Staphylococcus aureus</i> происходит за более короткое время по сравнению с обычным нагревом	[41]

Таблица 2. Обзор результатов использования ОН в производстве продуктов из фруктов и овощей  
Table 2. Overview of the results of using OH in production of products from fruits and vegetables

Продукт	Процесс	Комбинация/сравнение с другими методами	Условия проведения эксперимента	Выводы	Источник
Ягоды винограда	Экстракция полифенолов	По сравнению с обычным нагревом (72 °С, 90 с)	55 В/см, 60–90 с, 72 °С.	При ОН снижается время мацерации, сохранение полифенолов на 17% выше, чем при обычном нагреве	[75]
Кизил	Экстракция полифенолов ОН с микроволнами	По сравнению с микроволнами и мацерацией	20–40 В/см, 1–20 мин + микроволны (10, 60 и 120 мин)	При ОН увеличился выход полифенолов в 1,1–5,4 [раза] чем при микроволнах и мацерации (вар.ред.: по сравнению с воздействием микроволн и мацерации)	[76]
Кизил	Экстракция полифенолов ОН с ультразвуком	По сравнению с ультразвуком и мацерацией	20–40 В/см, 1–20 мин. + ультразвук (1–80 мин)	При ОН уменьшилось время экстракции на 34%	[76]
Кусочки ананаса	Сравнение физических, микроструктурных, антиоксидантных и ферментных характеристик	По сравнению с обработкой под высоким давлением (600 МПа, 3 мин) и обычным нагревом (90 °С, 5 мин)	Увеличение температуры до 90 °С	Обработка ОН свидетельствовала об электропорации клеточных стенок, а также о последовательном ухудшении равномерности распределения (ввиду большого количества мелких кусочков)	[77]
Кусочки персика	Влияние на качественные характеристики	По сравнению с обработкой под высоким давлением (600 МПа, 3 мин) и обычным нагревом (98 °С, 100 с)	98 °С, 110 с	При ОН меньшее количество инвазий, чем при обычном нагреве. При ОН увеличилось общее содержание полифенолов	[77]
Грейпфрут, лимон и апельсин	Производство пектина из цитрусовых отходов	—	9 В/см, 80 °С	Общее потребление энергии увеличивается по мере увеличения времени обработки, средняя мощность уменьшается	[78]
Томат	Очистка	По сравнению с обычным нагревом (100 °С)	1500–4500 В/м + солевой раствор (0,1–0,3%)	Быстрый рост температуры томата, а также электропорация ускорила процесс очистки. При ОН сохранность витамина С на 4,1% выше	[79]
Томатная паста	Сохранение биоактивных соединений	В сочетании с вакуумом (0,03 МПа), по сравнению с обычным нагревом (87–90 °С)	3,64 В/см, 87,30 °С	ОН-продукт имеет большую степень разрушения сахаров, а также карамельный запах, связанный с фурфуролом и 5-метилфурфуролом. ОН снижает время обработки	[79]
Пюре ежевики	Кинетика разложения антоцианов	По сравнению с обычным нагревом (70–90 С, 90 мин)	23–125 В, 60 Гц, 70–90 °С, 90 мин	Потеря антоцианов при ОН на 3% выше, чем при обычном нагреве	[73]
Пюре манго	Инактивация полифенолоксидазы	По сравнению с обычным нагревом (72 °С, 2 мин)	15–20 В/см, 60 Гц, 72 °С, 2 мин	При ОН увеличилась кажущаяся вязкость на 10,26–15,64% и содержание растворимых волокон. Инактивация на 95,7% достигнута через 15 с в обоих случаях	[58]
Пюре манго	Инактивация микроорганизмов	По сравнению с обычным нагревом (90 °С в течение 10 мин).	10–20 В/см, 60–80 °С	Бактериальная нагрузка снизилась с 80 КОЕ/мл до 7 КОЕ/мл для дрожжей/ плесеней	[80]
Морковь и яблоко, пюре	Оптимизация	По сравнению с импульсным электрическим полем (4 кВ, 0,5 кДж/кг, 0,5 мс)	572 В, 12 кГц, 114 В/см, 40–80 °С	Инактивация ОН полифенолоксидазы и пероксидазы было больше (около 90%) при 80 °С	[81]
Яблочное пюре	Влияние на качество и пищевую ценность	По сравнению с импульсным электрическим полем (600 МПа, 3 мин) и обычным нагревом (107 °С в течение 35 с)	107 °С (образец, подогретый от 25 до 60 °С).	При ОН установлено более высокое сохранение качественных характеристик яблочного пюре по сравнению с обычным нагревом	[82]
Выжимка из томата	Получение биоактивных соединений	В сочетании с умеренным электрическим полем (4–11 В/см)	Растворитель с обработкой ОН-экстракцией (70 °С, 60–280 В, 15 мин, 25 кГц с использованием 70% этанола)	Извлечение ликопина выше на 4,93 мкг/г выжимок, на 58% выше скорость извлечения. Извлечение полифенолов и каротиноидов увеличилось при использовании ОН 6 и 11 В/см	[83]
Отходы лимона	Производство пектина	—	70–90 °С для 0–30 мин	Условия экстракции влияют на выход пектина	[84]

Примечание: НРР — обработка под высоким давлением; ОН — омический нагрев; РЕФ — импульсное электрическое поле; ПФО — полифенолоксидаза; ПОД — пероксидаза; ТРС — общее содержание полифенолов.

существенного влияния на активность фермента. Также степень сохранения витамина С после ОН была значительно ниже ( $10,6 \pm 1,4\%$ ), чем при обычном нагревании ( $14,7\%$ ). В другом исследовании ОН снижал активность ПФО сока сахарного тростника (остаточная активность  $10,07\%$  при  $32 \text{ В/см}$  и  $80 \text{ °С}$ ) за более короткое время обработки (1 мин) со сроком хранения 10–30 дней при комнатной температуре и температуре охлаждения соответственно, по сравнению с обычной термической обработкой, которая снижала активность ПФО (остаточная активность  $6,47\%$ ) за 10 мин при  $80 \text{ °С}$  [61].

### 3.3.2. Концентрация / сушка

Для концентрирования фруктовых соков используется несколько традиционных методов, однако эти методы приводят к низкому качеству стабилизированных пищевых продуктов, таких как жидкости или соки с высокой вязкостью, содержащие крупные частицы.

По этой причине ОН был тщательно изучен для применения в целях испарения, концентрирования, сушки или дегидратации. Имеются недавние исследования по комбинированному использованию различных нетермических и термических технологий с обработкой ОН для пастеризации, а также с целью сохранения биоактивных соединений [86] при выпаривании или концентрировании [52,55,56,57]. Например, общее содержание фенолов в соке сахарного тростника, обработанного ОН и ультразвуком, было такое же, как и в свежем соке без дополнительной нетермической обработки. Однако при визуальном восприятии образцов в обоих вариантах обработки установлено незначительное отличие в цвете. С учетом этих двух параметров качества, согласно данным Rodrigues и соавторов [66], ультразвук и ОН оказались эффективной заменой пастеризации. Кроме того, общее содержание фенолов в концентрате сока черной шелковицы, обработанном ОН, было в 3–4,5 раза выше, потребление

ние энергии было ниже в 4,6–5,3 раза, а эффективность концентрирования — на 38–46% выше, чем при традиционном нагреве [68]. Nougouzi с соавторами [54] установили, что методы ОН (8,3–13,9 В/см) увеличивают скорость нагрева в 10 раз и сокращают на 13–45% необходимое время концентрирования вишневого сока по сравнению с обычным нагревом (горячая плита). Авторы пришли к выводу, что более высокие напряжения пропускают больший ток через образец и увеличивают скорость испарения воды, тем самым сокращая время обработки. Кроме того, изменение цвета было более заметным в обычно нагретом вишневом соке, чем при ОН. Также авторы Sokgezme и Icier [87] использовали специально разработанное омическое оттаивание (10–20 В/см) для замороженных концентратов вишневого сока (15–50% СВ) с целью сокращения времени (до 90%) по сравнению с обычным оттаиванием (4 °С). При омическом оттаивании небольшая часть замороженных образцов поднималась на поверхность из-за относительно меньшей плотности, что создавало температурную неоднородность на поверхности ввиду относительно быстрого повышения температуры в оттаивающих областях.

В некоторых научных публикациях демонстрируется влияние технологии ОН, используемой для сушки фруктов и овощей, в сравнении с обычной сушкой. Так, Cao с соавторами [88] установили, что сушка плодов личи с помощью технологии прерывистого ОН (при 70 °С; 20 мин и 5–15 мин сушки) уменьшает эффект потемнения и обеспечивает лучшее качество продукта с точки зрения запаха и вкуса, а также требует меньше энергии по сравнению с обычной сушкой [88]. Точно так же Roojitha и Athmaselvi [89] заметили, что скорость сушки была значительно выше при омическом бланшировании чеснока (26,66 В/см за 30 с) по сравнению с обычным бланшированием. Кроме того, омическое бланширование вызывало меньшую интенсивность потемнения и позволило сохранить до 945,8 мг/кг диаллилдиисульфида в чесночном порошке.

#### 3.4. Предварительная обработка и комбинирование ОН с нетермическими технологиями

В процессе обработки фруктов и овощей частичная или осмотическая дегидратация используются для удаления части воды, для ингибирования ферментативного потемнения и с целью сохранения первоначальных органолептических показателей качества [90]. Предварительная обработка ОН способствует эффективному процессу обезвоживания, обеспечивая при этом сохранение биологически активных соединений, поэтому данный способ является пригодным для промышленного внедрения. Синергическое воздействие ОН и вакуума считается лучшим методом обработки для улучшения микроструктуры яблок при производстве яблочных закусок, богатых фолиевой кислотой, а также осмотически обезвоживает клубнику и чернику [91,92,93,94]. Обработка ОН сокращала время сушки до 50% для осмодегидрированных яблок по сравнению с обычными обработками [91]. Точно так же автор Kutlu [90] использовал ОН в сочетании с осмотической дегидратацией (20–40 В/см в течение 10–30 мин) для айвы. Установлено более высокое общее содержание фенолов, выявлен коэффициент регидратации и найдены различия в цвете и диэлектрических свойствах (при 40 В/см в течение 30 минут) при концентрации сахарозы 16,67% и микроволнах (270 Вт после обезвоживания) по сравнению с контрольными образцами.

Технология ОН наряду с электропорацией, термическим и вакуумным воздействием вызвала осмотические изменения в тканевых порах и поддерживала содержание воды и вторичных метаболитов растений. Их воздействие на ПФО было значительным при 50 °С, что увеличило срок хранения обработанных яблок до 4 недель. Синергический эффект ОН и импульсного вакуума (импульсная вакуумная осмотическая дегидратация/обработка ОН) повысил эффективность процессов дегидратации и сохранил биологически активные соединения черники, особенно полифенолы [95]. Импульсное электрическое поле (ИЭП) и предварительная обработка ОН образцов обработанного сока (при 80 °С) показали более низкие значения изменения цвета и повышенную антиоксидантную активность по сравнению с необработанными образцами. Как в морковном, так и в яблочном пюре была достигнута 90% инактивация ПОД и ПФО при 80 °С (температура предварительного нагрева) [81].

Ученый Kumar и его соавторы [96] исследовали воздействие ОН (нагрев до 90 °С при 25–35 В/см в течение 60–180 с) в качестве этапа предварительной обработки перед сушкой кубиков свежевырезанного ананаса (*Anana comosus*). Обработка ОН в течение 90 и 120 с привела к максимальному изменению текстуры. Авторы продемонстрировали влияние напряженности электрического поля на разрушение текстуры, что выразилось в появлении небольших трещин на поверхности кожицы фрукта. Кроме того, электрическое поле вызвало эффект

электропорации и электропермеабилитации и увеличило скорость массопереноса, что привело к ускорению процесса обработки и, следовательно, к сокращению времени сушки. По мнению авторов, обработка ОН может использоваться в качестве альтернативы традиционному бланшированию фруктов и овощей перед сушкой и хранением. В другом исследовании Rinaldi и другие [77] наблюдали сильную электропорацию клеточной стенки кубиков персика и ананаса, предварительно обработанных ОН (в сахарном сиропе). По мнению авторов, комбинированная обработка ОН и высоким давлением (ВД) позволила добиться наилучшего сохранения размерных характеристик, твердости и цвета кубиков, консистенции сиропа. Однако для образцов, обработанных ОН и традиционным нагревом, наблюдалось значительное снижение содержания аскорбиновой кислоты и одновременное увеличение общего содержания фенолов. Авторы [77] предположили, что образцы, обработанные ВД, имеют менее поврежденную форму и микроструктуру за счет сиропа, содержащего растворимые сухие вещества. С другой стороны, ананас, обработанный обычным нагреванием, показал самую низкую остаточную активность ПФО, однако антиоксидантная способность была сопоставима с образцами обработанных кубиков ананаса.

Вакуумное выпаривание применяется в производстве фруктовых соков для концентрирования, но оно имеет некоторые ограничения в отношении сенсорных качеств, таких как модификации ароматических или летучих компонентов из-за длительного времени обработки. Традиционные системы вакуумного выпаривания с паром или горячей водой потребляют большое количество энергии при низкой энергоэффективности. Более того, обычное вакуумное выпаривание приводит к образованию нежелательных компонентов и к потере питательных веществ [55]. В качестве альтернативы вакуумное выпаривание гранатового сока с помощью ОН (при 7,5–12,5 В/см, выпаривание от 17,5% до 40% СВ) показало меньшее разложение сахара и снижение содержания гидроксиметилфурфура. Однако на значение цветových показателей, антиоксидантную активность, общее содержание мономерных антоцианов и на общее содержание фенолов больше влияли электрохимические реакции на титановых электродах. Кроме того, для более точной оценки эффекта вакуумного выпаривания с помощью ОН на концентраты сока с высокой кислотностью использовались более электрохимически инертные электроды [78]. Большое влияние вакуумного нагрева с помощью ОН привело к сокращению времени обработки, температуры кипения и низких рабочих температур, что в итоге снизило потери качества продуктов во время производства [50]. Синергическое воздействие ОН при различных градиентах напряжения (7,5–12,5 В/см) с вакуумным выпариванием было продемонстрировано для концентрирования гранатового сока, которое требует меньше времени обработки (снижение на 56% по сравнению с традиционной термической обработкой) при эффективном использовании энергии, что делает его пригодным для промышленных целей [14]. Установлено, что интеграция ОН в систему вакуумного выпаривания улучшила общее качество концентрирования (содержание СВ 30%) гранатового сока, дала самую высокую энергетическую и эксергическую эффективность, а также высокую скорость удаления воды по сравнению с вакуумным выпариванием. При использовании ОН (7,5–12,5 В/см) с вакуумным выпариванием увеличилось содержание сухих веществ гранатового сока с 17,5 до 40% [13].

ОН способствует вакуумному испарению с точки зрения эффективности использования энергии и эксергии и предотвращает частые требования к усовершенствованию системы. Авторы Tunç и другие [84] применяли вакуумное испарение с помощью ОН (17,5–25 В/см) для производства виноградного пекмеза (концентрированного сиропообразного продукта), которое потребляло меньше энергии по сравнению с обычным вакуумным выпариванием (57–50 мин). Авторы Sabanci and Icier [55] исследовали вакуумное выпаривание с помощью ОН (при 10–14 В/см, для концентрирования до 65% содержания СВ) для вишневого сока. По мнению авторов, общее потребление энергии снижалось по мере увеличения градиента напряжения; однако данный показатель возрастал при повышении содержания сухих веществ [55]. Torshizi M. V. с соавторами [97] установили, что длительное время обработки снижает энергоэффективность, но увеличивает потери и эффективность эксергии. Кроме того, градиент напряжения и процент потери веса образца связаны со временем процесса, с эффективностью использования энергии, с эффективностью и потерей эксергии и с потенциалом улучшения. Однако вакуумное выпаривание с помощью ОН можно использовать в качестве эффективной альтернативы вакуумного выпаривания концентратов фруктовых соков для получения аналогичных или лучших реологических свойств.

Комбинированное использование вакуумного нагрева с ОН (как гибридный вакуумный нагрев ОН) сохраняло качество пищевых про-

дуктов с точки зрения содержания питательных веществ. Так, к примеру, Darvishi и соавторы [47] исследовали условия вакуумного нагрева ОН во время процесса концентрирования апельсинового сока и сравнили их с отдельным процессом ОН (в атмосферных условиях) и с обычным вакуумным нагревом. Согласно результатам, комбинированный нагрев показал меньшую деградацию витамина С (10–29,2%) по сравнению с омическим (18,0–38,8%) и обычным нагревом (47,4%). Кроме того, рН, содержание общего фенола и антиоксидантная способность свежвыжатого и концентрированного сока в меньшей степени изменяются при омически-вакуумном нагревании. Согласно результатам, витамин С и общий фенол лучше сохранялись при увеличении напряжения, что сокращало время обработки.

Fadavi и другие [98] использовали различные комбинации обработок (ОН-вакуум при 10–30 В/см, 30–60 °С, атмосферное давление, вакуум 30 и 60 кПа) для грейпфрутового и лимонного соков. Грейпфрутовый сок имел более низкую электрическую проводимость (около 20%) по сравнению с лимонным соком при том же градиенте давления и напряжения. Хотя процент снижения скорости нагрева варьировался от 19% до 32%, давление значительно влияло на рН обоих соков. Однако авторы наблюдали большее снижение рН при меньшем времени обработки [98]. Abedelmaksoud с соавторами [99] применяли ультразвуковую обработку и ОН в лабораторных условиях (ультразвуковой датчик вместо обычных блендеров в смесительном резервуаре перед оборудованием ОН) для пастеризации неконцентрированного яблочного и апельсинового соков. Синергетический подход снизил 98% ПФО в яблочном соке и 96% ПМЭ в апельсиновом соке. При этом обработка ультразвуком и ОН улучшила содержание биологически активных веществ (аскорбиновая кислота, общее содержание каротиноидов и общее содержание фенолов) и цветовые характеристики соков. По мнению авторов, значительное увеличение общего содержания фенолов было получено в следующем порядке: ОН-обработка ультразвуком > термовзук > ОН > обычный нагрев [99,100].

Предварительная обработка ОН (40 °С в течение 20 мин; 40–100 °С в течение < 20 с) ускоряет процесс извлечения ценных фитохимических веществ, таких как антоцианы, из остатков виноделия (кожица винограда). Результаты показали, что ОН увеличивает проводимость, общее количество фенольных соединений, содержание растворимых сухих веществ и интенсивность красного цвета обработанных экстрактов. Предварительная обработка ОН (при высокой температуре в течение короткого времени) обеспечила быстрый внутренний нагрев кожицы винограда, что повысило содержание антоцианов: с 756 до 1349 мкг/г мальвидин-3-О-глюкозида [101].

ОН-очистка используется в качестве альтернативы обычной очистке фруктов и овощей. Однако комбинированная система ОН и небольших концентраций щелочи (гидроксида натрия или калия) или растворов солей обеспечивала лучшее качество очистки, чем процессы по отдельности [28,29,102].

### 3.5. Преимущества и недостатки использования технологии ОН в плодоовощном производстве

Технология ОН не только инактивирует микроорганизмы и пищевые ферменты, но и предотвращает перегрев и позволяет пище сохранять свое естественное качество без добавления синтетических консервантов. Однако нетермическое воздействие ОН включает электропорацию (электрический пробой), которая зависит от качества сырья и от параметров обработки ОН, таких как градиент напряжения, частота и температура [3,4]. Авторы Gavahian и другие [8] всесторонне исследовали текстурные свойства пищевых продуктов, подверженных тепловому и нетермическому воздействию ОН. Однако нетермический эффект обработки ОН в отношении микро- и макроструктур пищевых продуктов практически не изучен. Действие ОН исследовано во многих пищевых процессах, включая

пастеризацию, обжаривание, варку, приготовление пищи, сушку, стерилизацию, очистку от кожуры, микробиологическое ингибирование и извлечение полифенолов и антиоксидантов. В промышленности производстве непрерывная стерилизация ОН использовалась для высоковязких пищевых продуктов с такими преимуществами, как техническая простота, более высокая энергоэффективность и низкие капитальные затраты и затраты на техническое обслуживание [80,103]. Энергопотребление ОН было в 4,6–5,3 раза ниже, чем при обычном нагревании [104]. Усовершенствованные системы ОН имеют лучшую конструкцию или конфигурацию электродов, эффективный объемный нагрев или высокую скорость нагрева по сравнению с традиционной системой [32]. Быстрый нагрев (до желаемой температуры) сокращает время обработки, предотвращает сенсорные изменения и позволяет избежать чрезмерного термического повреждения термочувствительных компонентов. Кроме того, технология ОН для процессов очистки пищевых продуктов повышает выход по сравнению с традиционными методами, такими как очистка щелочью и паром, которые связаны с отходами, с высоким рН, с чрезмерным использованием воды и едких химикатов.

Несмотря на все преимущества, авторы научных исследований высказали ряд опасений по поводу промышленного применения метода ОН, включая коррозию электродов и ее потенциальное негативное влияние на здоровье потребителей, высокие капитальные вложения, отсутствие гарантий безопасности для обслуживающего персонала и неравномерный нагрев некоторых материалов в непрерывном режиме процесса. Согласно данным авторов Wang и Farid [105], ионы Ni и Cr переносятся с электродов из нержавеющей стали в пищу с меньшей скоростью, чем ионы Fe, что приводит к тому, что концентрации ионов Ni и Cr в приготовленной пище находятся в безопасном пределе использования при воздействии высокочастотной мощности. Авторы пришли к выводу, что оптимизация процесса, а именно применение соответствующей частоты (10 кГц вместо 50 Гц) и подходящих электродов может уменьшить химические изменения в продукте при обработке ОН [105]. Следует отметить и другие проблемы, которые связаны с вязкостью, электропроводностью и образованием отложений. Кроме того, возможность усиленного выщелачивания клеточных составов во время низкочастотного процесса ОН может быть нежелательной для некоторых продуктов по причине возможной потери питательных веществ.

### 4. Заключение

Исследования, проведенные в течение более двух десятилетий, направлены на разработку эффективных технологий, гарантирующих не только безопасность пищевых продуктов, но и повышение их качества (улучшение внешнего вида, сохранение пищевой ценности и т. д.), увеличение срока хранения и снижение производственных затрат. Обзор научных публикаций показал, что исследования технологии омического нагрева подтверждают эффективность ее использования для инактивации микроорганизмов и ферментов, воздействующих на фрукты и овощи. Выпаривание/концентрирование, обезвоживание/сушка фруктовых соков или пюре с помощью ОН способствовали более высокой энергоэффективности и сокращению времени обработки по сравнению с традиционной термической обработкой при сохранении биологически активных соединений. Результаты научных исследований показали эффективность ОН в качестве предварительной обработки перед проведением сушки, концентрирования, экстракции. Кроме того, учеными доказана целесообразность сочетания метода омического нагрева с термическими и нетермическими технологиями. Стоит отметить, что для масштабного промышленного внедрения необходимо проведение дальнейших углубленных исследований распределения температуры внутри пищевых продуктов с целью обеспечения равномерности их нагрева.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Jaeger, H., Roth, A., Toepfl, S., Holzhauser, T., Engel, K.-H., Knorr, D. et al. (2016). Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 55, 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.007>
- Бурак, Л.Ч., Завалей, А.П. (2021). Исследование соков с высокой антиоксидантной активностью, консервированных омической пастеризацией. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, 4, 38–47. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-4-38-47>
- Макроо, Н. А., Prabhakar, P. K., Rastogi, N. K., Srivastava, B. (2019). Characterization of mango puree based on total soluble solids and acid content: Effect on physico-chemical, rheological, thermal and ohmic heating behavior. *LWT*, 103, 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.003>
- Gavahian, M., Chu, Y.-H., Sastry, S. (2018). Extraction from food and natural products by moderate electric field: Mechanisms, benefits, and potential industrial applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 1040–1052. <https://doi.org/10.1111/15414337.12362>
- Tian, X., Yu, Q., Wu, W., Dai, R. (2018). Inactivation of microorganisms in foods by ohmic heating: A review. *Journal of Food Protection*, 81(7), 1093–1107. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-343>
- Kim, S.-S., Lee, J.-I., Kang, D.-H. (2019). Resistance of *Escherichia coli* O157:H7 ATCC35150 to ohmic heating as influenced by growth temperature and sodium chloride concentration in salsa. *Food Control*, 103, 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.03.037>
- Suebsiri, N., Kokilakanistha, P., Laojaruwat, T., Tumpanuvat, T., Jittanit, W. (2019). The application of ohmic heating in lactose-free milk pasteurization in comparison with conventional heating, the metal contamination, and the ice cream products. *Journal of Food Engineering*, 262, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.017>

8. Gavahian, M., Chu, Y.-H., Farahnaky, A. (2019). Effects of ohmic and microwave cooking on textural softening and physical properties of rice. *Journal of Food Engineering*, 243, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.010>
9. Ramírez-Jiménez, A. K., Rangel-Hernández, J., Morales-Sánchez, E., Loarca-Piña, G., Gaytán-Martínez, M. (2019). Changes on the phytochemicals profile of instant corn flours obtained by traditional nixtamalization and ohmic heating process. *Food Chemistry*, 276, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.166>
10. Aydin, C., Kurt, Ü., Kaya, Y. (2020). Comparison of the effects of ohmic and conventional heating methods on some quality parameters of the hot-smoked fish Pâté. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 29(4), 407–416. <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1741752>
11. Lyng, J. G., Clemente, I., McKenna, B. M. (2019). Ohmic pasteurization of meat and meat products. Chapter in a book: Handbook of farm, dairy and food machinery engineering. Amsterdam: Elsevier Inc. 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814803-7.00023-3>
12. Achir, N., Dhuique-Mayer, C., Hadjal, T., Madani, K., Pain, J.-P., Dornier, M. (2016). Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 397–404. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.002>
13. Cokgezme, O. F., Sabanci, S., Cevik, M., Yildiz, H., Icier, F. (2017). Performance analyses for evaporation of pomegranate juice in ohmic heating assisted vacuum system. *Journal of Food Engineering*, 207, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.03.015>
14. Icier, F., Yildiz, H., Sabanci, S., Cevik, M., Cokgezme, O. F. (2017). Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.014>
15. Moreno, J., Simpson, R., Pizarro, N., Pavez, C., Dorvil, F., Petzold, G. et al. (2013). Influence of ohmic heating/osmotic dehydration treatments on polyphenoloxidase inactivation, physical properties and microbial stability of apples (cv. Granny smith). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.06.006>
16. Moreno, J., Echeverria, J., Silva, A., Escudero, A., Petzold, G., Mella, K. et al. (2017). Apple snack enriched with L-arginine using vacuum impregnation/ohmic heating technology. *Food Science and Technology International*, 23(5), 448–456. <https://doi.org/10.1177/1082013217701354>
17. Moreno, J., Zúñiga, P., Dorvil, F., Petzold, G., Mella, K., Buguño, G. (2017). Osmodehydration assisted by ohmic heating/pulse vacuum in apples (cv. Fuji): Retention of polyphenols during refrigerated storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 1203–1210. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13385>
18. Farahnaky, A., Kamali, E., Golmakani, M. T., Gavahian, M., Mesbahi, G., Majzoobi, M. (2017). Effect of ohmic and microwave cooking on some bioactive compounds of kohlrabi, turnip, potato, and radish. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4), 2561–2569. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9873-6>
19. Jittanit, W., Khuenpet, K., Kaewstri, P., Dumrongpongpaiboon, N., Hayamin, P., Jantarangri, K. (2017). Ohmic heating for cooking rice: Electrical conductivity measurements, textural quality determination and energy analysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.05.008>
20. Lascorz, D., Torella, E., Lyng, J. G., Arroyo, C. (2016). The potential of ohmic heating as an alternative to steam for heat processing shrimps. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37(C), 329–335. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.014>
21. Soghani, B. N., Azadbakht, M., Darvishi, H. (2018). Ohmic blanching of white mushroom and its pretreatment during microwave drying. *Heat and Mass Transfer*, 54(12), 3715–3725. <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2393-4>
22. Bender, D., Gratz, M., Vogt, S., Fauster, T., Wicki, B., Pichler, S. et al. (2019). Ohmic heating – A novel approach for gluten-free bread baking. *Food and Bioprocess Technology*, 12(9), 1603–1613. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02324-9>
23. Masure, H. G., Wouters, A. G. B., Fierens, E., Delcour, J. A. (2019). Electrical resistance oven baking as a tool to study crumb structure formation in gluten-free bread. *Food Research International*, 116, 925–931. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.029>
24. Gavahian, M., Sastry, S., Farhoosh, R., Farahnaky, A. (2020). Ohmic heating as a promising technique for extraction of herbal essential oils: Understanding mechanisms, recent findings, and associated challenges. *Advances in Food and Nutrition Research*, 91, 227–273. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.09.001>
25. Kristinawati, A., Nikmatin, S., Irmansyah, Setyaningsih, D. (19–20 August 2019). Extraction of citronella oil using an ohmic heating method. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. West Java, Indonesia. 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/460/1/012014>
26. Termittikul, P., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S. (2018). The application of ohmic heating for inulin extraction from the wet-milled and dried powders of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.022>
27. Duygu, B., Ümit, G. (2015). Application of ohmic heating system in meat thawing. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 195, 2822–2828. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.400>
28. Wongsan-Ngasri, P., Sastry, S. K. (2016). Tomato peeling by ohmic heating: Effects of lye-salt combinations and post-treatments on weight loss, peeling quality and firmness. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.013>
29. Wongsan-Ngasri, P., Sastry, S. K. (2016). Tomato peeling by ohmic heating with lye-salt combinations: Effects of operational parameters on peeling time and skin diffusivity. *Journal of Food Engineering*, 186, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.005>
30. Farahnaky, A., Azizi, R., Gavahian, M. (2012). Accelerated texture softening of some root vegetables by ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 113(2), 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012>
31. Makroo, H. A., Saxena, J., Rastogi, N. K., Srivastava, B. (2017). Ohmic heating assisted polyphenol oxidase inactivation of watermelon juice: Effects of the treatment on pH, lycopene, total phenolic content, and color of the juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), Article e13271. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13271>
32. Muhammad, A. I., Shitu, A., Tadda, M. A. (2019). Ohmic heating as alternative preservation technique – A review. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 15(2), 268–277.
33. Vicente, A., de Castro, I., Teixeira, J. A., Machado, L. F. (2011). Ohmic heating treatment. Chapter in a book: Handbook of food safety engineering. Hoboken, NJ: Blackwell Publishing, 2011. <https://doi.org/10.1002/9781444355321.ch27>
34. Cappato, L. P., Ferreira, M. V. S., Guimaraes, J. T., Portela, J. B., Costa, A. L. R., Freitas, M. Q. et al. (2017). Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.010>
35. Silva, V. L. M., Santos, L. M. N. B. F., Silva, A. M. S. (2017). Ohmic heating: An emerging concept in organic synthesis. *Chemistry – A European Journal*, 23(33), 7855–7865. <https://doi.org/10.1002/chem.201700307>
36. Hashemi, S. M. B., Roohi, R. (2019). Ohmic heating of blended citrus juice: Numerical modeling of process and bacterial inactivation kinetics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52, 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.012>
37. Li, X., Xu, X., Wang, L., Regenstein, J. M. (2019). Effect of ohmic heating on physicochemical properties and the key enzymes of water chestnut juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(4), Article e13919. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13919>
38. Darvishi, H., Hosainpour, A., Nargesi, F., Fadavi, A. (2015). Exergy and energy analyses of liquid food in an ohmic heating process: A case study of tomato production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 31, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.06.012>
39. Khue, D. N., Tiep, H. T., Dat, L. Q., Kim Phung, L. T., Tam, L. N. (2020). Influence of frequency and temperature on the inactivation of salmonella enterica serovar enteritidis in ohmic heating of pomelo juice. *LWT*, 129, Article 109528. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109528>
40. Doan, N. K., Lai, Q. D., Le, T. K. P., Le, N. T. (2021). Influences of AC frequency and electric field strength on changes in bioactive compounds in ohmic heating of pomelo juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 72, Article 102754. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102754>
41. Shao, L., Liu, Y., Tian, X., Yu, Q., Wang, H., Li, X. et al. (2021). Inactivation and recovery of *Staphylococcus aureus* in milk, apple juice and broth treated with ohmic heating. *LWT*, 139, Article 110545. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110545>
42. Rodríguez, L. M. N., Arias, R., Soteras, T., Sancho, A., Pesquero, N., Rossetti, L. et al. (2021). Comparison of the quality attributes of carrot juice pasteurized by ohmic heating and conventional heat treatment. *LWT*, 145, Article 111255. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111255>
43. Kumar, T. (2020). Development of a laboratory scale ohmic heating system for pasteurization of grape juice. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(3), 235–238.
44. Sudheer, K. P., Ashitha, G. N., Prince, M. V. (2020). Mild thermal processing of cashew apple juice using ohmic heating. *Journal of Tropical Agriculture*, 58(1), 44–52.
45. Hardinasinta, G., Salengke, S., Mursalin, Muhidong, J. (7–9 October 2020). Evaluation of ohmic heating for sterilization of berry-like fruit juice of mulberry (*Morus nigra*), bignay (*Antidesma bunius*), and jambolana (*Syzygium cumini*). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1034, 2nd International Conference on Mechanical Engineering Research and Application (iCOMERA 2020), Malang, Indonesia, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1034/1/012050>
46. Brochier, B., Mercali, G. D., Marczak, L. D. F. (2018). Effect of ohmic heating parameters on peroxidase inactivation, phenolic compounds degradation and color changes of sugarcane juice. *Food and Bioprocess Technology*, 111, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.07.003>
47. Darvishi, H., Mohammadi, P., Fadavi, A., Saba, M. K., Behroozi-Khazaei, N. (2019). Quality preservation of orange concentrate by using hybrid ohmic – Vacuum heating. *Food Chemistry*, 289, 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.045>
48. Ferreira, M. V. S., Cappato, L. P., Silva, R., Rocha, R. S., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F. et al. (2019). Ohmic heating for processing of whey-raspberry flavored beverage. *Food Chemistry*, 297, Article 125018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125018>
49. Makroo, H. A., Prabhakar, P. K., Rastogi, N. K., Srivastava, B. (2019). Characterization of mango puree based on total soluble solids and acid content: Effect on physico-chemical, rheological, thermal and ohmic heating behavior. *LWT*, 103, 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.003>
50. Fadavi, A., Yousefi, S., Darvishi, H., Mirsaedghazi, H. (2018). Comparative study of ohmic vacuum, ohmic, and conventional-vacuum heating methods on the quality of tomato concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47, 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.004>
51. Hwang, J. H., Jung, A. H., Park, S. H. (2022). Efficacy of ohmic vacuum concentration for orange juice concentrates and their physicochemical properties under different voltage gradients. *LWT*, 154, Article 112750. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112750>
52. Sabanci, S., Icier, F. (2022). Evaluation of an ohmic assisted vacuum evaporation process for orange juice pulp. *Food and Bioprocess Technology*, 131, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.09.009>
53. Sabanci, S., Cevik, M., Göksu, A. (2021). Investigation of time effect on pectin production from citrus wastes with ohmic heating assisted extraction process. *Journal of Food Process Engineering*, 44(6), Article e13689. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13689>
54. Norouzi, S., Fadavi, A., Darvishi, H. (2021). The ohmic and conventional heating methods in concentration of sour cherry juice: Quality and engineering factors. *Journal of Food Engineering*, 291, Article 110242. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110242>

55. Sabanci, S., Icier, F. (2021). Enhancement of the performance of sour cherry juice concentration process in vacuum evaporator by assisting Ohmic heating source. *Food and Bioproducts Processing*, 122, 269–279. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.05.004>
56. Darvishi, H., Behroozi-Khazaei, N., Saba, M. K., Alimohammadi, Z., Nourbakhsh, H. (2021). The influence of ohmic/vacuum heating on phenol, ascorbic acid and engineering factors of kiwifruit juice concentration process. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4789–4798. <https://doi.org/10.1111/IJFS.15160>
57. Cevik, M. (2021). Electrical conductivity and performance evaluation of verjuice concentration process using ohmic heating method. *Journal of Food Process Engineering*, 44(5), Article e13672. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13672>
58. Barron-García, O. Y., Gaytán-Martínez, M., Ramírez-Jiménez, A. K., Luzardo-Ocampo, I., Velazquez, G., Morales-Sánchez, E. (2021). Physicochemical characterization and polyphenol oxidase inactivation of Ataulfo mango pulp pasteurized by conventional and ohmic heating processes. *LWT*, 143, Article 111113. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111113>
59. Makroo, H. A., Rastogi, N. K., Srivastava, B. (2017). Enzyme inactivation of tomato juice by ohmic heating and its effects on physico-chemical characteristics of concentrated tomato paste. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), Article e12464. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12464>
60. Brochier, B., Hertz, P. F., Marczak, L. D. F., Mercali, G. D. (2020). Influence of ohmic heating on commercial peroxidase and sugarcane juice peroxidase inactivation. *Journal of Food Engineering*, 284, Article 110066. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110066>
61. Saxena, J., Makroo, H. A., Srivastava, B. (2016). Optimization of timeelectric field combination for PPO inactivation in sugarcane juice by ohmic heating and its shelf life assessment. *LWT – Food Science and Technology*, 71, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.015>
62. Morales-Sánchez, E., Díaz-Cruz, A., Regalado, C., Velázquez, G., González-Jasso, E., Gaytán-Martínez, M. (2019). Inactivation of mango pectinmethylesterase by ohmic heating. *Revista Bio Ciencias*, 6, Article e665. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e665>
63. Jakob, A., Bryjak, J., Wojtowicz, H., Illeová, V., Annus, J., Polakovič, M. (2010). Inactivation kinetics of food enzymes during ohmic heating. *Food Chemistry*, 123(2), 369–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.047>
64. İcier, F., Yildiz, H., Baysal, T. (2008). Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.002>
65. Kumar, V., Jain, S. K., Amitabh, A., Chavan, S. M. (2021). Effect of ohmic heating on physicochemical, bioactive compounds, and shelf life of watermelon flesh-rind drinks. *Journal of Food Process Engineering*, 45(7) Article e13818. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13818>
66. Rodrigues, N. P., Brochier, B., de Medeiros, J. K., Marczak, L. D. F., Mercali, G. D. (2021). Phenolic profile of sugarcane juice: Effects of harvest season and processing by ohmic heating and ultrasound. *Food Chemistry*, 347, Article 129058. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129058>
67. Khuenpet, K., Jittanit, W. (2020). The effects of pasteurization by conventional and ohmic heating methods and concentration processes on the Madan (Garcinia schomburgkiana Pierre) juice properties. *Applied Engineering in Agriculture*, 36(2), 205–219. <https://doi.org/10.13031/aea.13618>
68. Darvishi, H., Salami, P., Fadavi, A., Saba, M. K. (2020). Processing kinetics, quality and thermodynamic evaluation of mulberry juice concentration process using Ohmic heating. *Food and Bioproducts Processing*, 123, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.003>
69. Doan, K. N., Lai, D. Q., Kim Le, P. T., Le, T. N. (2021). Inactivation of pectin methylesterase and Lactobacillus plantarum by ohmic heating in pomelo juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1987–1995. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14830>
70. Debbarma, T., Thangalakshmi, S., Tadakod, M., Singh, R., Singh, A. (2021). Comparative analysis of ohmic and conventional heat-treated carrot juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(9), Article e15687. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15687>
71. Cho, W.-I., Kim, E.-J., Hwang, H.-J., Cha, Y.-H., Cheon, H. S., Choi, J.-B. et al. (2017). Continuous ohmic heating system for the pasteurization of fermented red pepper paste. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 190–196. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.020>
72. Priyadarshini, A., Rayaguru, K., Nayak, P. K., Lenka, C. (2021). Efficiency of ohmic heating for microbial inactivation in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 13(1), 4460–4465. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2021.13.01.592>
73. Sarkis, J. R., Jaeschke, D. P., Mercali, G. D., Tessaro, I. C., Marczak, L. D. F. (2019). Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry pulp during ohmic and conventional heating. *International Food Research Journal*, 26(1), 87–97.
74. Darvishi, H., Saba, M. K., Behroozi-Khazaei, N., Nourbakhsh, H. (2020). Improving quality and quantity attributes of grape juice concentrate (molasses) using ohmic heating. *Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1362–1370. <https://doi.org/10.1007/s13197-01904170-1>
75. Junqua, R., Carullo, D., Ferrari, G., Pataro, G., Ghidossi, R. (2021). Ohmic heating for polyphenol extraction from grape berries: An innovative prefermentary process. *OENO One*, 55(3), 39–51. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.3.4647>
76. Kutlu, N., İsci, A., Sakiyan, O., Yilmaz, A. E. (2021). Effect of ohmic heating on ultrasound extraction of phenolic compounds from cornelian cherry (*Cornus mas*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), Article e15818. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15818>
77. Rinaldi, M., Littardi, P., Paciulli, M., Ganino, T., Cocconi, E., Barbanti, D. et al. (2020). Impact of ohmic heating and high pressure processing on qualitative attributes of ohmic treated peach cubes in syrup. *Foods*, 9(8), Article 1093. <https://doi.org/10.3390/foods9081093>
78. Sabanci, S., Cevik, M., Cokgezme, O. F., Yildiz, H., İcier, F. (2019). Quality characteristics of pomegranate juice concentrates produced by ohmic heating assisted vacuum evaporation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(5), 2589–2595. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9474>
79. Ghadiri, H., Ziaifar, A. M., Ghorbani, M., Aghazadeh, S. (2020). Use of Ohmic heating system in peeling tomato and its effect on physicochemical properties of the product. *Journal of Food Research*, 30(2), 57–68.
80. Priyadarshini, A., Rayaguru, K., Nayak, P. K. (2020). Influence of Ohmic heating on fruits and vegetables: A review. *Journal of Critical Reviews*, 7(19), 1952–1959.
81. Mannozi, C., Romponpol, K., Fauster, T., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, D. M. et al. (2019). Influence of pulsed electric field and fruit and vegetable juices. *Foods*, 8(7), Article 247. <https://doi.org/10.3390/foods8070247>
82. Rinaldi, M., Littardi, P., Ganino, T., Aldini, A., Rodolfi, M., Barbanti, D. et al. (2020). Comparison of physical, microstructural, antioxidant and enzymatic properties of pineapple cubes treated with conventional heating, ohmic heating and high-pressure processin. *LWT*, 134, Article 110207. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110207>
83. Alkanan, Z. T., Al-Hilphy, A. R. S., Altemimi, A. B., Mandal, R., Pratap-Singh, A. (2021). Comparison of quality characteristics of tomato paste produced under ohmic-vacuum combination heating and conventional heating. *Applied Food Research*, 1(2), Article 100014. <https://doi.org/10.1016/j.AFRES.2021.100014>
84. Tunç, M. T., Akdoğan, A., Baltacı, C., Kaya, Z., Odabaş, H. İ. (2022). Production of grape pekmez by Ohmic heating-assisted vacuum evaporation. *Food Science and Technology International*, 28(1), 72–84. <https://doi.org/10.1177/1082013221991616>
85. Kanjanapongkul, K., Baibua, V. (2021). Effects of ohmic pasteurization of coconut water on polyphenol oxidase and peroxidase inactivation and pink discoloration prevention. *Journal of Food Engineering*, 292, Article 110268. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110268>
86. Alkanan, Z. T., Altemimi, A. B., Al-Hilphy, A. R. S., Watson, D. G., Pratap-Singh, A. (2021). Ohmic heating in the food industry: Developments in concepts and applications during 2013–2020. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(6), Article 2507. <https://doi.org/10.3390/app11062507>
87. Cokgezme, O. F., İcier, F. (2019). Effect of voltage gradient on ohmic thawing characteristics of sour cherry juice concentrates for the temperature range of –18 °C to +4 °C. *Food Science and Technology International*, 25(8), 659–670. <https://doi.org/10.1177/1082013219857897>
88. Cao, X., Islam, M. N., Xu, W., Chen, J., Chitrakar, B., Jia, X. et al. (2020). Energy consumption, colour, texture, antioxidants, odours, and taste qualities of litchi fruit dried by intermittent ohmic heating. *Foods*, 9(4), Article 425. <https://doi.org/10.3390/foods9040425>
89. Poojitha, P., Athmaselvi, K. A. (2020). Effect of ohmic blanching on drying kinetics, physicochemical and functional properties of garlic powder. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 845–855. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04676-z>
90. Kutlu, N. (2022). Optimization of ohmic heating-assisted osmotic dehydration as a pretreatment for microwave drying of quince. *Food Science and Technology International*, 28(1), 60–71. <https://doi.org/10.1177/1082013221991613>
91. Moreno, J., Simpson, R., Estrada, D., Lorenzen, S., Moraga, D., Almonacid, S. (2011). Effect of pulsed-vacuum and ohmic heating on the osmodehydration kinetics, physical properties and microstructure of apples (cv. Granny smith). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(4), 562–568. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.06.011>
92. Moreno, J., Espinoza, C., Simpson, R., Petzold, G., Nuñez, H., Gianelli, M. P. (2016). Application of ohmic heating/vacuum impregnation treatments and air drying to develop an apple snack enriched in folic acid. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.014>
93. Rinaldi, M., Langialonga, P., Dhenge, R., Aldini, A., Chiavaro, E. (2021). Quality traits of apple puree treated with conventional, ohmic heating and high-pressure processing. *European Food Research and Technology*, 247(7), 1679–1688. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03738-6>
94. Moreno, J., Gonzales, M., Zúñiga, P., Petzold, G., Mella, K., Muñoz, O. (2017). Ohmic heating and pulsed vacuum effect on dehydration processes and polyphenol component retention of osmodehydrated blueberries (cv. Tibblue). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 36, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.005>
95. Moreno, J., Simpson, R., Pizarro, N., Parada, K., Pinilla, N., Reyes, J. E. et al. (2012). Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the quality and microbial stability of osmotically dehydrated strawberries (cv. Camarosa). *Journal of Food Engineering*, 110(2), 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.005>
96. Kumar, A., Begum, A., Hoque, M., Hussain, S., Srivastava, B. (2021). Textural degradation, drying and rehydration behaviour of ohmically treated pineapple cubes. *LWT*, 142, Article 110988. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110988>
97. Torshizi, M. V., Azadbakht, M., Kashaninejad, M. (2020). Application of response surface method to energy and exergy analyses of the ohmic heating dryer for sour orange juice. *Fuel*, 278, Article 118261. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118261>
98. Fadavi, A., Salari, S. (2019). Ohmic heating of lemon and grapefruit juices under vacuum pressure – Comparison of electrical conductivity and heating rate. *Journal of Food Science*, 84(10), 2868–2875. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14802>
99. Abdelmaksoud, T. G., Mohsen, S. M., Duedahl-Olesen, L., Elnikeety, M. M., Feysa, A. H. (2019). Impact of ohmicsonication treatment on pectinmethylesterase in not-from-concentrate orange juice. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3951–3956. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03834-2>
100. Abdelmaksoud, T. G., Mohsen, S. M., Duedahl-Olesen, L., Elnikeety, M. M., Feysa, A. H. (2019). Optimization of ohmicsonication for overall quality characteristics of NFC apple juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(9), Article e14087. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14087>
101. Pereira, R. N., Coelho, M. I., Genisheva, Z., Fernandes, J. M., Vicente, A. A., Pintado, M. E. et al. (2020). Using Ohmic heating effect on grape skins as a pretreatment for anthocyanins extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 124, 320–328. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.09.009>
102. Wongsan-Ngasri, P., Sastry, S. K. (2015). Effect of ohmic heating on tomato peeling. *LWT*, 61(2), 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.053>
103. Indiarito, R., Rezaharsanto, B. (2020). A review on ohmic heating and its use in food. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(2), 485–490.

104. Alkanan, Z. T., Al-Hilphy, A. R. S., Altemimi, A. B., Mandal, R., Pratap-Singh, A. (2021). Comparison of quality characteristics of tomato paste produced under ohmic-vacuum combination heating and conventional heating. *Applied Food Research*, 1(2), Article 100014. <https://doi.org/10.1016/j.AFRES.2021.100014>

105. Wang, R., Farid, M. M. (2015). Corrosion and health aspects in ohmic cooking of beef meat patties. *Journal of Food Engineering*, 146, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.011>

## REFERENCES

- Jaeger, H., Roth, A., Toepfl, S., Holzhauser, T., Engel, K.-H., Knorr, D. et al. (2016). Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 55, 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.007>
- Burak, L. Ch., Zavaley, A. P. (2021). Study of juices with high antioxidant activity preserved by ohmic pasteurization. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex – Healthy Food Products*, 4, 38–47 <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-4-38-47> (In Russian)
- Makroo, H. A., Prabhakar, P. K., Rastogi, N. K., Srivastava, B. (2019). Characterization of mango puree based on total soluble solids and acid content: Effect on physico-chemical, rheological, thermal and ohmic heating behavior. *LWT*, 103, 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.003>
- Gavahian, M., Chu, Y.-H., Sastry, S. (2018). Extraction from food and natural products by moderate electric field: Mechanisms, benefits, and potential industrial applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 1040–1052. <https://doi.org/10.1111/15414337.12362>
- Tian, X., Yu, Q., Wu, W., Dai, R. (2018). Inactivation of microorganisms in foods by ohmic heating: A review. *Journal of Food Protection*, 81(7), 1093–1107. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-343>
- Kim, S.-S., Lee, J.-I., Kang, D.-H. (2019). Resistance of *Escherichia coli* O157:H7 ATCC35150 to ohmic heating as influenced by growth temperature and sodium chloride concentration in salsa. *Food Control*, 103, 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.05.037>
- Suebsiri, N., Kokilakanistha, P., Laojaruwat, T., Tumpanuvat, T., Jittanit, W. (2019). The application of ohmic heating in lactose-free milk pasteurization in comparison with conventional heating, the metal contamination, and the ice cream products. *Journal of Food Engineering*, 262, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.017>
- Gavahian, M., Chu, Y.-H., Farahnaky, A. (2019). Effects of ohmic and microwave cooking on textural softening and physical properties of rice. *Journal of Food Engineering*, 243, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.010>
- Ramírez-Jiménez, A. K., Rangel-Hernández, J., Morales-Sánchez, E., Loarca-Piña, G., Gaytán-Martínez, M. (2019). Changes on the phytochemicals profile of instant corn flours obtained by traditional nixtamalization and ohmic heating process. *Food Chemistry*, 276, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.166>
- Aydin, C., Kurt, Ü., Kaya, Y. (2020). Comparison of the effects of ohmic and conventional heating methods on some quality parameters of the hot-smoked fish Pâté. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 29(4), 407–416. <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1741752>
- Lyng, J. G., Clemente, I., McKenna, B. M. (2019). Ohmic pasteurization of meat and meat products. Chapter in a book: Handbook of farm, dairy and food machinery engineering. Amsterdam: Elsevier Inc. 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814803-7.00023-3>
- Achir, N., Dhuique-Mayer, C., Hadjal, T., Madani, K., Pain, J.-P., Dornier, M. (2016). Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 397–404. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.002>
- Cokgezme, O. F., Sabanci, S., Cevik, M., Yildiz, H., Icier, F. (2017). Performance analyses for evaporation of pomegranate juice in ohmic heating assisted vacuum system. *Journal of Food Engineering*, 207, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.03.015>
- Icier, F., Yildiz, H., Sabanci, S., Cevik, M., Cokgezme, O. F. (2017). Ohmic heating assisted vacuum evaporation of pomegranate juice: Electrical conductivity changes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.014>
- Moreno, J., Simpson, R., Pizarro, N., Pavez, C., Dorvil, F., Petzold, G. et al. (2013). Influence of ohmic heating/osmotic dehydration treatments on polyphenoloxidase inactivation, physical properties and microbial stability of apples (cv. Granny smith). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.06.006>
- Moreno, J., Echeverria, J., Silva, A., Escudero, A., Petzold, G., Mella, K. et al. (2017). Apple snack enriched with L-arginine using vacuum impregnation/ohmic heating technology. *Food Science and Technology International*, 23(5), 448–456. <https://doi.org/10.1177/1082013217701354>
- Moreno, J., Zúñiga, P., Dorvil, F., Petzold, G., Mella, K., Bugueño, G. (2017). Osmodehydration assisted by ohmic heating/pulse vacuum in apples (cv. Fuji): Retention of polyphenols during refrigerated storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 1203–1210. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13385>
- Farahnaky, A., Kamali, E., Golmakani, M. T., Gavahian, M., Mesbahi, G., Majzoobi, M. (2017). Effect of ohmic and microwave cooking on some bioactive compounds of kohlrabi, turnip, potato, and radish. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4), 2561–2569. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9873-6>
- Jittanit, W., Khuenpet, K., Kaewsri, P., Dumrongponpaiboon, N., Hayamin, P., Jantarangsri, K. (2017). Ohmic heating for cooking rice: Electrical conductivity measurements, textural quality determination and energy analysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.05.008>
- Lascorz, D., Torella, E., Lyng, J. G., Arroyo, C. (2016). The potential of ohmic heating as an alternative to steam for heat processing shrimps. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37(C), 329–335. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.014>
- Soghani, B. N., Azadbakht, M., Darvishi, H. (2018). Ohmic blanching of white mushroom and its pretreatment during microwave drying. *Heat and Mass Transfer*, 54(12), 3715–3725. <https://doi.org/10.1007/s00251-018-2393-4>
- Bender, D., Gratz, M., Vogt, S., Fauster, T., Wicki, B., Pichler, S. et al. (2019). Ohmic heating – A novel approach for gluten-free bread baking. *Food and Bioprocess Technology*, 12(9), 1603–1613. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02324-9>
- Masure, H. G., Wouters, A. G. B., Fierens, E., Delcour, J. A. (2019). Electrical resistance oven baking as a tool to study crumb structure formation in gluten-free bread. *Food Research International*, 116, 925–931. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.029>
- Gavahian, M., Sastry, S., Farhoosh, R., Farahnaky, A. (2020). Ohmic heating as a promising technique for extraction of herbal essential oils: Understanding mechanisms, recent findings, and associated challenges. *Advances in Food and Nutrition Research*, 91, 227–273. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.09.001>
- Kristinawati, A., Nikmatin, S., Irmansyah, Setyaningsih, D. (19–20 August 2019). *Extraction of citronella oil using an ohmic heating method*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. West Java, Indonesia. 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/460/1/012014>
- Termrittikul, P., Jittanit, W., Sirisansaneeyakul, S. (2018). The application of ohmic heating for inulin extraction from the wet-milled and drymilled powders of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tuber. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.022>
- Duygu, B., Ümit, G. (2015). Application of ohmic heating system in meat thawing. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 195, 2822–2828. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.400>
- Wongsa-Ngasri, P., Sastry, S. K. (2016). Tomato peeling by ohmic heating: Effects of lye-salt combinations and post-treatments on weight loss, peeling quality and firmness. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.013>
- Wongsa-Ngasri, P., Sastry, S. K. (2016). Tomato peeling by ohmic heating with lye-salt combinations: Effects of operational parameters on peeling time and skin diffusivity. *Journal of Food Engineering*, 186, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.005>
- Farahnaky, A., Azizi, R., Gavahian, M. (2012). Accelerated texture softening of some root vegetables by ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 113(2), 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012>
- Makroo, H. A., Saxena, J., Rastogi, N. K., Srivastava, B. (2017). Ohmic heating assisted polyphenol oxidase inactivation of watermelon juice: Effects of the treatment on pH, lycopene, total phenolic content, and color of the juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), Article e13271. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13271>
- Muhammad, A. I., Shitu, A., Tadda, M. A. (2019). Ohmic heating as alternative preservation technique – A review. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 15(2), 268–277.
- Vicente, A., de Castro, I., Teixeira, J. A., Machado, L. F. (2011). Ohmic heating treatment. Chapter in a book: Handbook of food safety engineering. Hoboken, NJ: Blackwell Publishing, 2011. <https://doi.org/10.1002/9781444355321.ch27>
- Cappato, L. P., Ferreira, M. V. S., Guimaraes, J. T., Portela, J. B., Costa, A. L. R., Freitas, M. Q. et al. (2017). Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.010>
- Silva, V. L. M., Santos, L. M. N. B. F., Silva, A. M. S. (2017). Ohmic heating: An emerging concept in organic synthesis. *Chemistry – A European Journal*, 23(33), 7853–7865. <https://doi.org/10.1002/chem.201700307>
- Hashemi, S. M. B., Roohi, R. (2019). Ohmic heating of blended citrus juice: Numerical modeling of process and bacterial inactivation kinetics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52, 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.012>
- Li, X., Xu, X., Wang, L., Regensteijn, J. M. (2019). Effect of ohmic heating on physicochemical properties and the key enzymes of water chestnut juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(4), Article e13919. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13919>
- Darvishi, H., Hosainpour, A., Nargesi, F., Fadavi, A. (2015). Exergy and energy analyses of liquid food in an ohmic heating process: A case study of tomato production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 31, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.06.012>
- Khue, D. N., Tiep, H. T., Dat, L. Q., Kim Phung, L. T., Tam, L. N. (2020). Influence of frequency and temperature on the inactivation of salmonella enterica serovar enteritidis in ohmic heating of pomelo juice. *LWT*, 129, Article 109528. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109528>
- Doan, N. K., Lai, Q. D., Le, T. K. P., Le, N. T. (2021). Influences of AC frequency and electric field strength on changes in bioactive compounds in ohmic heating of pomelo juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 72, Article 102754. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102754>
- Shao, L., Liu, Y., Tian, X., Yu, Q., Wang, H., Li, X. et al. (2021). Inactivation and recovery of *Staphylococcus aureus* in milk, apple juice and broth treated with ohmic heating. *LWT*, 139, Article 110545. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110545>
- Rodríguez, L. M. N., Arias, R., Soteras, T., Sancho, A., Pesquero, N., Rossetti, L. et al. (2021). Comparison of the quality attributes of carrot juice pasteurized by ohmic heating and conventional heat treatment. *LWT*, 145, Article 111255. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111255>
- Kumar, T. (2020). Development of a laboratory scale ohmic heating system for pasteurization of grape juice. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(3), 235–238.
- Sudheer, K. P., Ashitha, G. N., Prince, M. V. (2020). Mild thermal processing of cashew apple juice using ohmic heating. *Journal of Tropical Agriculture*, 58(1), 44–52.
- Hardinasinta, G., Salengke, S., Mursalim, Muhidong, J. (7–9 October 2020). *Evaluation of ohmic heating for sterilization of berry-like fruit juice of mulberry (*Morus nigra*), bignay (*Antidesma bunius*), and jambolana (*Syzygium cumini*)*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1034, 2nd International Conference on Mechanical Engineering Research and Application (ICOMERA 2020), Malang, Indonesia, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1034/1/012050>

46. Brochier, B., Mercali, G. D., Marczak, L. D. F. (2018). Effect of ohmic heating parameters on peroxidase inactivation, phenolic compounds degradation and color changes of sugarcane juice. *Food and Bioprocess Processing*, 111, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.07.003>
47. Darvishi, H., Mohammadi, P., Fadavi, A., Saba, M. K., Behroozi-Khazaei, N. (2019). Quality preservation of orange concentrate by using hybrid ohmic – Vacuum heating. *Food Chemistry*, 289, 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.045>
48. Ferreira, M. V. S., Cappato, L. P., Silva, R., Rocha, R. S., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F. et al. (2019). Ohmic heating for processing of whey-raspberry flavored beverage. *Food Chemistry*, 297, Article 125018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.12.5018>
49. Makroo, H. A., Prabhakar, P. K., Rastogi, N. K., Srivastava, B. (2019). Characterization of mango puree based on total soluble solids and acid content: Effect on physico-chemical, rheological, thermal and ohmic heating behavior. *LWT*, 103, 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.003>
50. Fadavi, A., Yousefi, S., Darvishi, H., Mirsaedghazi, H. (2018). Comparative study of ohmic vacuum, ohmic, and conventional-vacuum heating methods on the quality of tomato concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47, 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.004>
51. Hwang, J. H., Jung, A. H., Park, S. H. (2022). Efficacy of ohmic vacuum concentration for orange juice concentrates and their physicochemical properties under different voltage gradients. *LWT*, 154, Article 112750. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112750>
52. Sabanci, S., Icier, F. (2022). Evaluation of an ohmic assisted vacuum evaporation process for orange juice pulp. *Food and Bioprocess Processing*, 131, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.09.009>
53. Sabanci, S., Çevik, M., Göksu, A. (2021). Investigation of time effect on pectin production from citrus wastes with ohmic heating assisted extraction process. *Journal of Food Process Engineering*, 44(6), Article e13689. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13689>
54. Norouzi, S., Fadavi, A., Darvishi, H. (2021). The ohmic and conventional heating methods in concentration of sour cherry juice: Quality and engineering factors. *Journal of Food Engineering*, 291, Article 110242. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110242>
55. Sabanci, S., Icier, F. (2021). Enhancement of the performance of sour cherry juice concentration process in vacuum evaporator by assisting Ohmic heating source. *Food and Bioprocess Processing*, 122, 269–279. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.05.004>
56. Darvishi, H., Behroozi-Khazaei, N., Saba, M. K., Alimohammadi, Z., Nourbakhsh, H. (2021). The influence of ohmicvacuum heating on phenol, ascorbic acid and engineering factors of kiwifruit juice concentration process. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4789–4798. <https://doi.org/10.1111/IJFS.15160>
57. Çevik, M. (2021). Electrical conductivity and performance evaluation of verjuice concentration process using ohmic heating method. *Journal of Food Process Engineering*, 44(5), Article e13672. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13672>
58. Barron-García, O. Y., Gaytán-Martínez, M., Ramírez-Jiménez, A. K., Luzardo-Ocampo, I., Velazquez, G., Morales-Sánchez, E. (2021). Physicochemical characterization and polyphenol oxidase inactivation of Ataulfo mango pulp pasteurized by conventional and ohmic heating processes. *LWT*, 143, Article 111113. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111113>
59. Makroo, H. A., Rastogi, N. K., Srivastava, B. (2017). Enzyme inactivation of tomato juice by ohmic heating and its effects on physico-chemical characteristics of concentrated tomato paste. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), Article e12464. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12464>
60. Brochier, B., Hertz, P. F., Marczak, L. D. F., Mercali, G. D. (2020). Influence of ohmic heating on commercial peroxidase and sugarcane juice peroxidase inactivation. *Journal of Food Engineering*, 284, Article 110066. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110066>
61. Saxena, J., Makroo, H. A., Srivastava, B. (2016). Optimization of timeelectric field combination for PPO inactivation in sugarcane juice by ohmic heating and its shelf life assessment. *LWT – Food Science and Technology*, 71, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.015>
62. Morales-Sánchez, E., Díaz-Cruz, A., Regalado, C., Velázquez, G., González-Jasso, E., Gaytán-Martínez, M. (2019). Inactivation of mango pectinmethylesterase by ohmic heating. *Revista Bio Ciencias*, 6, Article e665. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e665>
63. Jakob, A., Bryjak, J., Wojtowicz, H., Illeová, V., Annus, J., Polakovič, M. (2010). Inactivation kinetics of food enzymes during ohmic heating. *Food Chemistry*, 123(2), 369–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.047>
64. İcier, F., Yildiz, H., Baysal, T. (2008). Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.002>
65. Kumar, V., Jain, S. K., Amitabh, A., Chavan, S. M. (2021). Effect of ohmic heating on physicochemical, bioactive compounds, and shelf life of watermelon flesh-rind drinks. *Journal of Food Process Engineering*, 45(7) Article e13818. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13818>
66. Rodrigues, N. P., Brochier, B., de Medeiros, J. K., Marczak, L. D. F., Mercali, G. D. (2021). Phenolic profile of sugarcane juice: Effects of harvest season and processing by ohmic heating and ultrasound. *Food Chemistry*, 347, Article 129058. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129058>
67. Khuenpet, K., Jittanit, W. (2020). The effects of pasteurization by conventional and ohmic heating methods and concentration processes on the Madan (Garcinia schomburgkiana Pierre) juice properties. *Applied Engineering in Agriculture*, 36(2), 205–219. <https://doi.org/10.13031/aea.13618>
68. Darvishi, H., Salami, P., Fadavi, A., Saba, M. K. (2020). Processing kinetics, quality and thermodynamic evaluation of mulberry juice concentration process using Ohmic heating. *Food and Bioprocess Processing*, 123, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.003>
69. Doan, K. N., Lai, D. Q., Kim, L. P., Le, T. N. (2021). Inactivation of pectin methylesterase and Lactobacillus plantarum by ohmic heating in pomelo juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1987–1995. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14830>
70. Debbarma, T., Thangalakshmi, S., Tadakod, M., Singh, R., Singh, A. (2021). Comparative analysis of ohmic and conventional heat-treated carrot juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(9), Article e15687. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15687>
71. Cho, W.-I., Kim, E.-J., Hwang, H.-J., Cha, Y.-H., Cheon, H. S., Choi, J.-B. et al. (2017). Continuous ohmic heating system for the pasteurization of fermented red pepper paste. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 190–196. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.020>
72. Priyadarshini, A., Rayaguru, K., Nayak, P. K., Lenka, C. (2021). Efficiency of ohmic heating for microbial inactivation in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 13(1), 4460–4465. <https://doi.org/10.31838/ijpr.2021.13.01.592>
73. Sarkis, J. R., Jaeschke, D. P., Mercali, G. D., Tessaro, I. C., Marczak, L. D. F. (2019). Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry pulp during ohmic and conventional heating. *International Food Research Journal*, 26(1), 87–97.
74. Darvishi, H., Saba, M. K., Behroozi-Khazaei, N., Nourbakhsh, H. (2020). Improving quality and quantity attributes of grape juice concentrate (molasses) using ohmic heating. *Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1362–1370. <https://doi.org/10.1007/s13197-01904170-1>
75. Junqua, R., Carullo, D., Ferrari, G., Pataro, G., Ghidossi, R. (2021). Ohmic heating for polyphenol extraction from grape berries: An innovative prefermentary process. *OENO One*, 55(3), 39–51. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.3.4647>
76. Kutlu, N., İsci, A., Sakiyan, O., Yilmaz, A. E. (2021). Effect of ohmic heating on ultrasound extraction of phenolic compounds from cornelian cherry (*Cornus mas*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), Article e15818. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15818>
77. Rinaldi, M., Littardi, P., Paciulli, M., Ganino, T., Cocconi, E., Barbanti, D. et al. (2020). Impact of ohmic heating and high pressure processing on qualitative attributes of ohmic treated peach cubes in syrup. *Foods*, 9(8), Article 1093. <https://doi.org/10.3390/foods9081093>
78. Sabanci, S., Çevik, M., Cokgezme, O. F., Yildiz, H., Icier, F. (2019). Quality characteristics of pomegranate juice concentrates produced by ohmic heating assisted vacuum evaporation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(5), 2589–2595. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9474>
79. Ghadiri, H., Ziaifar, A. M., Ghorbani, M., Aghazadeh, S. (2020). Use of Ohmic heating system in peeling tomato and its effect on physicochemical properties of the product. *Journal of Food Research*, 30(2), 57–68.
80. Priyadarshini, A., Rayaguru, K., Nayak, P. K. (2020). Influence of Ohmic heating on fruits and vegetables: A review. *Journal of Critical Reviews*, 7(19), 1952–1959.
81. Mannozi, C., Rompooonpol, K., Fauster, T., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, D. M. et al. (2019). Influence of pulsed electric field and fruit and vegetable juices. *Foods*, 8(7), Article 247. <https://doi.org/10.3390/foods8070247>
82. Rinaldi, M., Littardi, P., Ganino, T., Aldini, A., Rodolfi, M., Barbanti, D. et al. (2020). Comparison of physical, microstructural, antioxidant and enzymatic properties of pineapple cubes treated with conventional heating, ohmic heating and high-pressure processing. *LWT*, 134, Article 110207. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110207>
83. Alkanan, Z. T., Al-Hilphy, A. R. S., Altemimi, A. B., Mandal, R., Pratap-Singh, A. (2021). Comparison of quality characteristics of tomato paste produced under ohmic-vacuum combination heating and conventional heating. *Applied Food Research*, 1(2), Article 100014. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100014>
84. Tunç, M. T., Akdoğan, A., Baltacı, C., Kaya, Z., Odabaş, H. İ. (2022). Production of grape pekmez by Ohmic heating-assisted vacuum evaporation. *Food Science and Technology International*, 28(1), 72–84. <https://doi.org/10.1177/1082013221991616>
85. Kanjanapongkul, K., Baibua, V. (2021). Effects of ohmic pasteurization of coconut water on polyphenol oxidase and peroxidase inactivation and pink discoloration prevention. *Journal of Food Engineering*, 292, Article 110268. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110268>
86. Alkanan, Z. T., Altemimi, A. B., Al-Hilphy, A. R. S., Watson, D. G., Pratap-Singh, A. (2021). Ohmic heating in the food industry: Developments in concepts and applications during 2013–2020. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(6), Article 2507. <https://doi.org/10.3390/app11062507>
87. Cokgezme, O. F., Icier, F. (2019). Effect of voltage gradient on ohmic thawing characteristics of sour cherry juice concentrates for the temperature range of –18°C to +4°C. *Food Science and Technology International*, 25(8), 659–670. <https://doi.org/10.1177/1082013219857897>
88. Cao, X., Islam, M. N., Xu, W., Chen, J., Chitrakar, B., Jia, X. et al. (2020). Energy consumption, colour, texture, antioxidants, odours, and taste qualities of litchi fruit dried by intermittent ohmic heating. *Foods*, 9(4), Article 425. <https://doi.org/10.3390/foods9040425>
89. Poojitha, P., Athmaselvi, K. A. (2020). Effect of ohmic blanching on drying kinetics, physicochemical and functional properties of garlic powder. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 845–855. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04676-z>
90. Kutlu, N. (2022). Optimization of ohmic heating-assisted osmotic dehydration as a pretreatment for microwave drying of quince. *Food Science and Technology International*, 28(1), 60–71. <https://doi.org/10.1177/1082013221991613>
91. Moreno, J., Simpson, R., Estrada, D., Lorenzen, S., Moraga, D., Almonacid, S. (2011). Effect of pulsed-vacuum and ohmic heating on the osmodehydration kinetics, physical properties and microstructure of apples (cv. Granny smith). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(4), 562–568. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.06.011>
92. Moreno, J., Espinoza, C., Simpson, R., Petzold, G., Nuñez, H., Gianelli, M. P. (2016). Application of ohmic heating/vacuum impregnation treatments and air drying to develop an apple snack enriched in folic acid. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.014>
93. Rinaldi, M., Langialonga, P., Dhenge, R., Aldini, A., Chiavaro, E. (2021). Quality traits of apple puree treated with conventional, ohmic heating and high-pressure processing. *European Food Research and Technology*, 247(7), 1679–1688. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03738-6>

94. Moreno, J., Gonzales, M., Zúñiga, P., Petzold, G., Mella, K., Muñoz, O. (2017). Ohmic heating and pulsed vacuum effect on dehydration processes and polyphenol component retention of osmodehydrated blueberries (cv. Tifblue). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 36, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.005>
95. Moreno, J., Simpson, R., Pizarro, N., Parada, K., Pinilla, N., Reyes, J. E. et al. (2012). Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the quality and microbial stability of osmotically dehydrated strawberries (cv. Camarosa). *Journal of Food Engineering*, 110(2), 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.005>
96. Kumar, A., Begum, A., Hoque, M., Hussain, S., Srivastava, B. (2021). Textural degradation, drying and rehydration behaviour of ohmically treated pineapple cubes. *LWT*, 142, Article 110988. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110988>
97. Torshizi, M. V., Azadbakht, M., Kashaninejad, M. (2020). Application of response surface method to energy and exergy analyses of the ohmic heating dryer for sour orange juice. *Fuel*, 278, Article 118261. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118261>
98. Fadavi, A., Salari, S. (2019). Ohmic heating of lemon and grapefruit juices under vacuum pressure — Comparison of electrical conductivity and heating rate. *Journal of Food Science*, 84(10), 2868–2875. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14802>
99. Abedelmaksoud, T. G., Mohsen, S. M., Duedahl-Olesen, L., Elnikeety, M. M., Feyissa, A. H. (2019). Impact of ohmicsonication treatment on pectinmethylesterase in not-from-concentrate orange juice. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3951–3956. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03834-2>
100. Abedelmaksoud, T. G., Mohsen, S. M., Duedahl-Olesen, L., Elnikeety, M. M., Feyissa, A. H. (2019). Optimization of ohmicsonication for overall quality characteristics of NFC apple juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(9), Article e14087. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14087>
101. Pereira, R. N., Coelho, M. I., Genisheva, Z., Fernandes, J. M., Vicente, A. A., Pintado, M. E. et al. (2020). Using Ohmic heating effect on grape skins as a pre-treatment for anthocyanins extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 124, 320–328. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.09.009>
102. Wongsangasri, P., Sastry, S. K. (2015). Effect of ohmic heating on tomato peeling. *LWT*, 61(2), 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.053>
103. Indiartho, R., Rezaharsanto, B. (2020). A review on ohmic heating and its use in food. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(2), 485–490.
104. Alkanan, Z. T., Al-Hilphy, A. R. S., Altemimi, A. B., Mandal, R., Pratap-Singh, A. (2021). Comparison of quality characteristics of tomato paste produced under ohmic-vacuum combination heating and conventional heating. *Applied Food Research*, 1(2), Article 100014. <https://doi.org/10.1016/j.AFRES.2021.100014>
105. Wang, R., Farid, M. M. (2015). Corrosion and health aspects in ohmic cooking of beef meat patties. *Journal of Food Engineering*, 146, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.011>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p><b>Бурак Леонид Чеславович</b> — кандидат технических наук, директор, Общество с ограниченной ответственностью «БЕЛПРОСАКВА» 220118, Республика Беларусь, Минск, ул. Шаранговича, 19, офис 718 Тел.: +375–29–646–65–25 E-mail: leonidburak@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-6613-439X">https://orcid.org/0000-0002-6613-439X</a> * автор для контактов</p>	<p><b>Leonid Ch. Burak</b>, Candidate of Technical Sciences, Director, BELROSAKVA Limited Liability Company 19, Sharangovich str., Minsk, 220018 Republic of Belarus Tel.: +375–29–646–65–25 E-mail: leonidburak@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-6613-439X">https://orcid.org/0000-0002-6613-439X</a> * corresponding author</p>
<p><b>Сапач Александр Николаевич</b> — инженер-химик, Общество с ограниченной ответственностью «БЕЛПРОСАКВА» 220118, Республика Беларусь, Минск, ул. Шаранговича, 19, офис 718 Тел.: +375–29–756–95–19 E-mail: aleksandr@belrosakva.by ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8579-2689">https://orcid.org/0000-0002-8579-2689</a></p>	<p><b>Alexander N. Sapach</b>, Chemist, BELROSAKVA Limited Liability Company 19, Sharangovich str., Minsk, 220018 Republic of Belarus Tel.: +375–29–756–95–19 E-mail: aleksandr@belrosakva.by ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8579-2689">https://orcid.org/0000-0002-8579-2689</a></p>
Критерии авторства	Contribution
<p><b>Бурак Л. Ч.</b> — концептуализация, разработка методологии исследования, научное руководство исследованием, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи <b>Сапач А. Н.</b> — научный поиск публикаций по теме, анализ результатов, формулирование выводов, написание статьи</p>	<p><b>Leonid Ch. Burak</b> — conceptualization, development of research methodology, scientific supervision of the study, conduct of the study, writing and reviewing and manuscript editing <b>Alexander N. Sapach</b> — scientific search for publications on the topic, analysis of the results, formulation of conclusions, writing an article</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p>The authors declare no conflict of interest.</p>