

قسم علوم الاغذية، كلية الزراعة، جامعة
البصرة، البصرة، العراق.

مراجعة منهجية لتصنيع الأغذية بالتسخين الأومي والتطورات الحديثة

أثير عبد الأمير عبد الجبار المطوري، صباح مالك حبيب الشطي، أسعد رحمان سعيد الحلفي

المستخلص: هدفت المراجعة الحالية إلى التحري عن تطبيقات التسخين الأومي في تصنيع الأغذية وتأثيره على الاحياء المجهرية والمركبات النشطة بايولوجيا والتثبيط الانزيمي. تضمنت هذه المراجعة معلومات أساسية حول التسخين الأومي وآلية عمله. كذلك فوائده ومساوئه، إضافة الى تأثيره في خصائص الجودة للأغذية (التثبيط المايكروبي والانزيمي) وأيضاً تأثيره في المركبات المضادة للأكسدة وتصنيع بعض الأغذية مثل البسترة والاستخلاص. أن التسخين الأومي هو عملية حرارية متقدمة حيث يتحول الغذاء الموجود بين الأقطاب الى مقاومة كهربائية عندما يمر به تيار كهربائي متناوب ونتيجة لذلك يسخن الغذاء. يعتمد التسخين الأومي بشكل مباشر على التوصيل الكهربائي الذي يزداد مع زيادة درجة الحرارة، وكذلك المسافة بين الأقطاب ومساحة الأقطاب وفرق الجهد والاملاح الموجودة في الغذاء والمحتوى الرطوبي. خلصت الدراسة الى امكانية عمل التسخين الأومي على زيادة تثبيط الانزيمات والاحياء المجهرية وزيادة نسبة الاستخلاص وزيادة سرعة درجة حرارة التخمير بشكل أكبر (معدل التسخين كبير) مقارنة بالتسخين التقليدي. كذلك يعمل على تحسين الصفات الحسية واللون مقارنة بالتسخين التقليدي.

الكلمات المفتاحية: تصنيع أغذية، التثبيط المايكروبي، التوصيل الكهربائي.

Systematic Review of Food Processing by Ohmic Heating and Recent Developments

Abstract: The present review aimed to investigate the applications of ohmic heating in food processing and its effect on the microorganisms, bioactive compounds and enzymatic inhibition. It includes fundamental information on the principles of ohmic heating and its operational mechanism. It also discusses its advantages and disadvantages, in addition to its effect on the quality properties of food (microbial and enzymatic inhibition). It also examines its effect on antioxidant compounds and the processing of some foods such as pasteurization and extraction. Ohmic heating (OH) is an advanced thermal process in which food is placed between the electrodes and turns into electrical resistance when alternating electric current passes through it as a result heats the food. Ohmic heating directly depends on the electrical conductivity that increases with increasing temperature, as well as the distance between the electrodes, the area of the electrodes, the potential difference, salts present in the food and the moisture content. Ohmic heating increases the inhibition of enzymes and microorganisms, increases the extraction rate and increases the speed of the fermentation temperature more (the heating rate is high) compared to conventional heating. It also improves organoleptic properties, including color, relative to conventional heating.

Keywords: food processing, microbial inhibition, electrical conductivity

Atheer A. Al-Mutury, Email:
atheerengineer85@gmail.com
, Department of Food Science,
College of Agriculture, Uni-
versity of Basrah, Basrah,
Iraq.

Corresponding author: Sabah
M.H. Al-Shatty E-mail:

sabahalshatty@gmail.com
Department of Food Science,
College of Agriculture, Uni-
versity of Basrah, Basrah,
Iraq.

Asaad R.S. Al-Hilphy E-mail:
aalhilphy@yahoo.co.uk
, Department of Food Science,
College of Agriculture, Uni-
versity of Basrah, Basrah, Iraq.

Received:
06.04.2024

Accepted:
31.08.2025

Publish online:



The Author(s) 2025. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

المقدمة

يعد التسخين الأومي عملية حرارية متقدمة اذ يتحول الغذاء الموجود بين الأقطاب الى مقاومة كهربائية عندما يمر به تيار كهربائي متناوب ونتيجة لذلك يسخن الغذاء (Al-Hilphy وآخرون، 2023). يتم توزيع الحرارة داخل الغذاء بالتساوي وبسرعة وليكومن التلجأ لداخل إلى الخارج، على عكس استخدام الأسطح الساخنة التقليدية التي يكون فيها اتجاه التسخين من الخارج إلى الداخل ببطء (Shirsat وآخرون، 2004؛ Icier و Ilicali، 2005؛ Leizeron و Shimoni، 2005). كما أن تقنية التسخين الأومي صديقة للبيئة (Sakr و Liu، 2014). يعتبر التسخين الأومي (OH) تقنية ناشئة تستخدم في هندسة العمليات الغذائية، مثل الاستخلاص، والتجفيف المسبق، وإنتاج معجون الطماطم، والبسترة، والتعقيم، والتبخير، ومعالجة نفايات الغذاء. الطاقة المستهلكة واستهلاك الطاقة النوعي (SEC) وتكاليف الطاقة بواسطة OH أقل من التسخين التقليدي. علاوة على ذلك، أن معدل التسخين وكفاءة الطاقة أعلى من التسخين التقليدي. يمكن استخدام OH مع تقنيات أخرى (تقنية العقبات) لتعزيز معدات تصنيع الأغذية وجودة الأغذية. OH يثبط الأحياء المجهرية الموجودة في الأغذية ويزيد من مدة صلاحيتها. واحدة من مشاكل OH هي دنترة بروتين الشرش بجهد يزيد عن 80 فولت، ومعدل التسخين باستخدام OH بطيء في الغذاء منخفض التوصيل (Al-Hilphy وآخرون، 2023a) تقنية OH مناسبة بشكل خاص للأغذية السائلة واللزجة بسبب موصليتها الكهربائية المناسبة (Sakr و Liu، 2014).

أشار Al-Hilphy و Khaneghah (2024) ان لتقنية التسخين الأومي تطبيقات عدة مثل التركيز، التجفيف، الاستخلاص، تقطير الماء، استخلاص المركبات الفعالة، السلق، الاذابة، البسترة والتعقيم، والتثبيط المايكروبي والأنزيمي وجلتنة النشا والتخمير ذكر Kim وآخرون (2017) ان تقنيات معالجة الاغذية التي تستهدف المخاطر الميكروبية قد تحسنت بمرور الوقت اذ استخدمت التداخلات الحرارية مثل الضغط العالي والبلازما الباردة في قتل وتثبيط مسببات المرضية (Rosello-Soto وآخرون، 2018) وفضلا عن ذلك فان التقنيات الحرارية المتقدمة مثل التسخين الأومي، المايكروويف، الترددات الراديوية تستخدم على نطاق واسع بسبب استخدامها للتسخين الحجمي السريع (Tola و Ramasway، 2018). زاد في الآونة الأخيرة الطلب على تقنية التسخين الأومي وذلك لأنها سريعة ولا تحتاج الى وسط لنقل الحرارة (عثمان وآخرون، 2021). هدفت المراجعة الحالية الى التحري عن تطبيقات التسخين الأومي في تصنيع الأغذية وتأثيره في الصفات النوعية للأغذية.

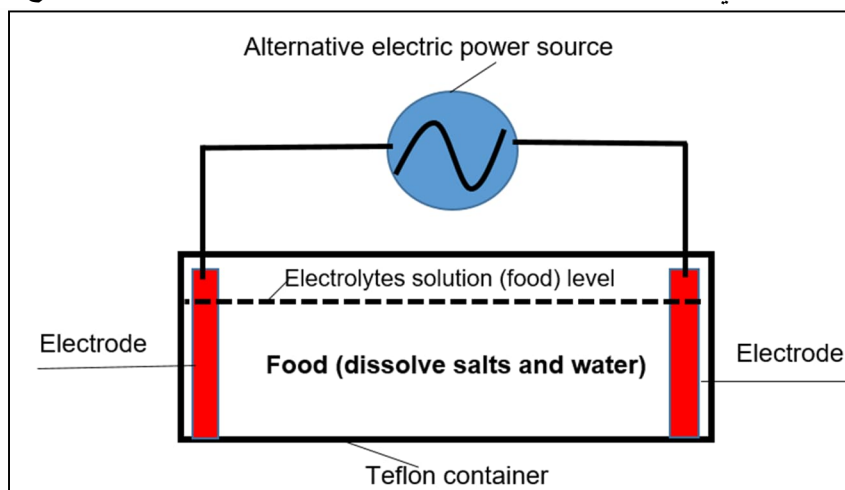
التسخين الأومي Ohmic heating

التسخين الأومي هو عملية مرور التيار الكهربائي خلال المادة الغذائية وتوليد الحرارة بداخلها (Guo وآخرون، 2017) ان الأساس العلمي للتسخين الأومي هو عند مرور التيار الكهربائي المتناوب عبر الاغذية، فانه يسبب حركة الأيونات التي ينتج عنها تصادمًا مع بعضها البعض، مما يؤدي إلى تسخين المنتج وتحويل الاغذية إلى مقاومة كهربائية، وتولد الحرارة بداخله بشكل لحظي وحجمي نتيجة حركة الأيونات. تعتمد كمية الحرارة على التيار والجهد والمجال الكهربائي والتوصيل الكهربائي للأغذية (Al-Hilphy وآخرون، 2023a؛ Kumar وآخرون، 2018؛ Al-Hilphy وآخرون، 2018).

التوصيل الكهربائي Electrical conductivity

يعد التوصيل الكهربائي من أهم الخصائص التي تؤثر على عملية التسخين الأومي كما ان التوصيل الكهربائي يعتبر العامل الرئيسي في تصميم نظام OH الفعال (Kaur و Singh، 2016) التوصيل الكهربائي هو حركة الشحنات عبر وسيط (Al-Hilphy وآخرون، 2018)، وهو خاصية مهمة تؤثر على عملية OH (Palaniappan و Sastry، 1991). يعتمد التسخين

الأومي على نوع المادة الأساسية. اد معالجتها ومحتوى الرطوبة وتركيز الأيونات. تزداد الايصالية الكهربائية خطيًا مع توصيل المواد الغذائية الصلبة والسائلة، والتي تتأثر بدرجة الحرارة والجهد والتركيز. تتناسب درجة الحرارة عكسيا مع تركيز المواد الغذائية.



شكل (1). مبدأ عمل التسخين الأومي (Al-Hilphy et al., 2023)

تزداد الموصلية الكهربائية خطيًا مع محتوى الماء ودرجة الحرارة، وتكون الاغذية الصلبة أكثر مقاومة للتوصيل الكهربائي (Kumar وآخرون، 2014). عندما يمر التيار المتردد عبر الاغذية، فإنه يحول الكهرباء إلى حرارة (Shimoni و Leizeron، 2005). ذكر (Al-Hilphy وآخرون، 2020)، ان التوصيل الكهربائي لخليط قشور الحنطة والماء بلغ 2.02 S/m عند شدة مجال كهربائي 4.28 فولت/سم وانخفضت إلى 1.02 S/m عند زيادة شدة المجال الكهربائي إلى 15.71 فولت/سم . يمكن للمركبات الأيونية مثل الأحماض والقواعد أن تساعد أيضًا في زيادة التوصيل الكهربائي، ولكنها قليلة في المركبات غير القطبية مثل الدهون. لذلك، فإن قيمة التوصيل الكهربائي للمادة ليست ثابتة (Rezaharsanto و Indiarito، 2020). يتم التعبير عن الايصالية الكهربائية $\text{electrical conductivity}$ بوحدة سيمنز لكل متر (S/m) (Sakr and Liu, 2014) بشكل عام، يتم نقل الطاقة الكهربائية إلى أجزاء مختلفة من الاغذية باستخدام التسخين الأومي. يتم إنتاج الحرارة بكميات كبيرة، مما يعطي فرصة كبيرة لتسخين الأغذية الصلبة والسائلة بنفس المعدل (Bender وآخرون، 2019).

تأثير التسخين الأومي على جودة المنتجات الغذائية: أولت المعاملات الحديثة للأغذية اهتمامًا كبيرًا بمعاملة الاغذية بالتقنيات الكهربائية (Müller وآخرون، 2020)، بما في ذلك التسخين الأومي. توفر هذه التقنية تسخينًا سريعًا وموحدًا وتنتج أضرارًا حرارية أقل للأغذية. لذلك، يمكن تصنيع منتجات عالية الجودة بأقل قدر من التغيرات الفيزيائية أو التغذوية أو الحسية كنتيجة لوقت المعاملة القصير. تلعب الخصائص الكهربائية والفيزيائية الحرارية والريولوجية للأطعمة دورًا مهمًا في التسخين المنتظم. من الضروري الإشارة إلى أهمية التفاعلات الكهروكيميائية المحتملة على سطح التلامس بين الاغذية والأقطاب وكذلك التأثيرات غير الحرارية المحتملة للمجال الكهربائي التي تعتمد على ظروف المعالجة (Jaeger وآخرون، 2016). أن المجال الكهربائي للتسخين الأومي يمكن أن يتسبب في احداث تغيرات مختلفة في الجودة والعمليات البيولوجية للغذاء، مثل تثبيط الإنزيمات والاحياء المجهرية، وتدهور المركبات الحساسة للحرارة، والتغيرات في أغشية الخلايا، واللزوجة، ودرجة الحموضة، واللون، والخصائص الريولوجية (Singh و Kaur، 2016).

جدول: (1). تطبيقات التسخين الأومي في التصنيع الغذائي

المصدر	النتائج العامة	الوقت (دقيقة)	درجة الحرارة (م)	الايصالية الكهربائية	التطبيق
(الحلبي وآخرون 2012)	عدم ظهور الاسمرار في الحليب المبستر على 80 فولت مقارنة بالبسترة عند 220 فولت و 110 فولت الذي كان الاسمرار واضحاً في الحليب وبالإضافة إلى ظهور الروائح غير المرغوب فيها. ازداد التوصيل الكهربائي والتيار مع زيادة درجة الحرارة في التسخين الأومي عند 80 , 110 فولت وانخفض مع زيادة درجة الحرارة عند 220 فولت.	15s	72	0.40-0.34 S/m	بسترة الحليب
(Al-Hilphy, 2014)	تتراوح معدل التسخين من 2.93-1.157 °م/دقيقة. كان إنتاج الزيت العطري 1.64 و 1.90 و 2.19 و 1.36% على التوالي. أيضاً، الطاقة كان استهلاك الزيت العطري باستخدام OHHD عند 60 و 70 و 80 فولت أقل بكثير ($p < 0.05$) من HD. كذلك، كانت القدرة المجهزة عند استخدام OHHD أقل من HD.	230-100	100-99	1 S/m	استخلاص الزيوت العطرية
(Suebsiri et al., 2019)	لم تظهر فروقات معنوية في محتوى البروتين، الحموضة الكلية والوزن النوعي	30	25-65	0.635-1.230 S/m	بسترة الحليب
(Supratomo et al., 2019)	درجة حرارة التخمير للكاكاو كانت سريعة مقارنة بالتسخين التقليدي	9.3, 13, 17	40, 45, 50	5, 97 V/cm	تغيير الكاكاو
(Pereira et al., 2020)	تقليل حساسية بروتينات المناعة	15 1 s 30	72.5 90 65	4 V/cm	بروتينات المناعة
(Rocha et al., 2020)	تحسين الخواص الحسية للجبن الناتج	15 s	72-75	4-12 V/cm	جبنه مناسب فريشكال

مميزات التسخين الأومي: يتميز التسخين الأومي بتجانس الحرارة داخل المادة الغذائية وعدم حصول حرق للمنتج لان سطح الغذاء لن يكون ساخناً وبالتالي عدم تدهور المنتج وسرعة في التسخين. إضافة الى كفاءة عالية في انتقال الحرارة والمحافظة على القيمة الغذائية واللون للأطعمة (Singh و Patel، 2018).

جدول:(2). تأثير التسخين الأومي على نوعية المنتجات الغذائية

المصدر	تأثير التسخين الأومي	الظروف	الغذاء
(Abdelmaksod <i>et al.</i> ,2018a)	تنشيط انزيم بولي فينول او كسيديز بنسبة 90 %	40 V/cm, 80 C and holding time for 60 s	عصير المانجو
(Kumari <i>et al.</i> ,2016)	نسبة استخلاص الزيت عالية	600, 750 and 900 V/m	زيت السمسم
(Yildiz-Turp <i>et al.</i> ,2013)	تحسين الصفات الحسية واللون مقارنة بالطريقة التقليدية	0.8 S/m and 1.6 S/m	اللحوم ومنتجاتها
(Pereira <i>et al.</i> ,2016)	استخلاص المركبات الفينولية بكميات كبيرة	15 V/cm and 30 V/cm	البطاطا الحلوة
(Funcia <i>et al.</i> ,2020)	تنشيط انزيم بكتين استيريز بصورة عالية مقارنة بالطريقة التقليدية	32–36 V/cm, 60–90 C, holding times 0–200 s	عصير البرتقال المبستر

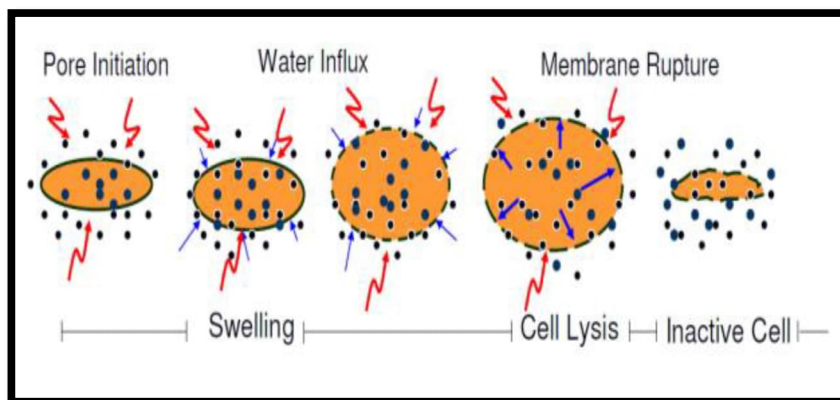
V/cm: فولت/سم، S/m: سيمنز/م، S: ثانية.

مساوى التسخين الأومي: من عيوب التسخين الأومي التكلفة الأولية لإنشاء أنظمة التسخين الأومي أعلى من طرق التسخين التقليدية. كذلك الأغذية التي تحتوي على حبيبات دهنية لا تسخن بشكل فعال بالتسخين الأومي لأنها غير موصلة بسبب قلة الماء والأملاح. أيضا تآكل الاقطاب الكهربائية بسبب التفاعلات الكهروكيميائية ولغرض منع التآكل في الاقطاب اقترح Lee وآخرون (2013) استخدام موجات نبضية عالية التردد واقطاب مصنوعة من التيتانيوم - بلاتين.

تأثير التسخين الأومي في التنشيط المايكروبي في الاغذية: تنتشر العديد من الأمراض الانتقالية عن طريق الأغذية في جميع أنحاء العالم على الرغم من التطور المستمر لتكنولوجيا الغذاء (Kang و Kim، 2016)، ومعالجة المنتجات الغذائية في درجات حرارة عالية لضمان سلامتها الميكروبية، إلا أن الضرر الحراري يحدث تغيرات في النكهة والقوام والطعم والعناصر الغذائية. لذلك، وجدت الدراسات الحديثة أن تقنيات المعالجة الحرارية المتقدمة تلعب دورًا حيويًا في منع تلف الأغذية المصنعة والقضاء على الاحياء المجهرية مثل البكتيريا وسبوراتها (Mercali وآخرون، 2015). درس Kumar وآخرون، (2014) تأثير التسخين الأومي على العدد الكلي للبكتيريا، الالعاف، الخمائر، بكتيريا القولون والسالمونيلا في حليب الجاموس تحت ظروف حرارة مطابقة وظهرت النتائج ان المحتوى المايكروبي عند استخدام التسخين الأومي كانت اقل مقارنة عند استخدام طريقة التسخين التقليدية وقد تم قتل بكتيريا السالمونيلا بالكامل مقارنة بالنماذج المعاملة بالطريقة التقليدية .

الية تنشيط المايكروبات باستخدام التسخين الأومي: يتم تنشيط فعالية الاحياء المجهرية بواسطة التسخين الأومي من خلال تلف الغشاء الخلوي للاحياء المجهرية بفعل التأثير الحراري وغير الحراري للصعق الكهربائي حيث تبدأ الخلية بالانتفاخ الى الحد الذي

تصل فيه الى الانفجار وخروج مكونات الخلية وبنفس الوقت فان زيادة الرطوبة تعمل على زيادة التوصيل الكهربائي والانتشار عبر (Fellows، 2017، وآخرون، 2014؛ Varghese) غشاء الخلية مؤدية الى هلاك الاحياء المجهرية



شكل:(2). آلية تثبيط الفعالية المايكروبية باستخدام الصق الكهربائي (Tsong,1990)

العوامل المؤثرة على التثبيط المايكروبي بالتسخين الأومي

تشمل العوامل شدة التيار وشدة المجال الكهربائي والتردد ووقت المعاملة ودرجة الحرارة ونوع ومرحلة نمو الاحياء المجهرية (Sun وآخرون، 2008) يلخص جدول (3) تأثير التسخين الأومي على التثبيط المايكروبي في الأغذية.

جدول:(3). تأثير التسخين الأومي على الفعالية المايكروبية في بعض المنتجات الغذائية

المنتج الغذائي	الاحياء المجهرية	ظروف المعاملة	تأثيرات التسخين الأومي	المصدر
اللحوم	<i>Listeria innocua</i>	50 Hz, 8.33 V/cm, 95 C, 7 min	تثبيط البكتريا	(Zell <i>et al.</i> ,2010)
عصير التفاح	<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> Spores	25 kHz; 26.7 V/cm; 100 C; 30 s	تثبيط كلي للبكتريا	(Kim <i>et al.</i> ,2017)
معجون الطماطم المركز	<i>Salmonella typhimurium</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	13.4 V/cm, 60– 63C, for 190–250 s	انخفاض لوغاريتم الاعداد البكتيرية الكلية	(Park , <i>et al.</i> ,2017)
مربي الكرز	<i>Bacillus licheniformis</i>	50 Hz	انخفاض لوغاريتم العدد البكتيري الكلي مقارنة بالطريقة التقليدية	(Kumari <i>et al.</i> , 2016)

تأثير التسخين الأومي على المركبات الفعالة حيويًا: يعد التسخين الأومي معاملة حرارية بديلة ويكون أقل تأثيرًا على المركبات الفعالة حيويًا مقارنة بالعمليات الحرارية التقليدية، والمركبات الفعالة حيويًا هي مكونات ذات قيمة عالية بسبب أهميتها الغذائية وعلاقتها بصحة الإنسان. لذلك فإن الحفاظ على هذه المركبات أثناء المعاملة الحرارية مثل الغليان والبسترة والتعقيم من أصعب التحديات في صناعة الأغذية (Jafari و Salari، 2020). تؤدي درجة الحرارة المرتفعة إلى فقدان بعض المركبات الفعالة ولغرض تحديد درجة الحرارة المناسبة لعملية ما ، يوصى بشدة باستعمال أعلى درجة حرارة تحافظ على هذه المركبات الفعالة الفعالة من التلف (Jatau وآخرون، 2018)، درس Somavat (2011) تأثير التسخين الأومي على الكاروتينات (كاروتين والليكوبين) ، المركبات الفينولية (الأحماض الفينولية، النارينجين، الكيرسيتين، والفلافونويد الكلي) ، وحامض الأسكوربيك في عصير الطماطم الطازج. أظهرت النتائج أن التسخين الأومي لم يؤثر على كمية الكاروتينات والمركبات الفينولية في عصير الطماطم. لم يتسبب التسخين الأومي أيضًا في أي انخفاض في كمية البيتا كاروتين والليكوبين والأحماض الفينولية والكيرسيتين عند درجات حرارة 95 و 100 و 105 و 110 درجة مئوية على التوالي، وأكد ثباتية اللايكوبين عند قيمة أس هيدروجيني 3.9 ودرجات حرارة تصل إلى 90 و 95 و 100 و 105 درجة مئوية على التوالي. علاوة على ذلك، يمكن أن يحافظ التسخين الأومي بنجاح على حامض الأسكوربيك وحامض داي هايدروكسي أسكوربيك عند معالجته بدرجة حرارة 90 درجة مئوية. أكدت الدراسة أيضًا قدرة التسخين الأومي على المحافظة على مستوى عالي للنارينجين مقارنة بالعينات غير المعاملة.

جدول: (4). تأثير التسخين الأومي على المركبات الفعالة حيويًا

المصدر	تأثيره على المركبات الفعالة ،محتوى الفينولات والفعالية المضادة للاكسدة	الظروف	الغذاء
(Abdelmaksoud <i>et al.</i> , 2018b)	زيادة المحتوى الكلي للفينولات بنسبة 5.4% مقارنة بالطريقة التقليدية 2.5%	30, 35 and 40 V/cm, 60 Hz frequency; 60, 70 and 80 C	عصير التفاح
(Coelho <i>et al.</i> , 2019)	تحسن في استخلاص الفينولات المتعددة بنسبة 77% مقارنة بعينة السيطرة المعاملة بالطريقة التقليدية	4, 6 and 11 V/cm, 0–100 C for 30 min	منتجات الطماطم
(Sakulchuthathip <i>et al.</i> , 2017)	انخفاض وقت الاستخلاص من 45 دقيقة إلى 3 ساعة مقارنة بالتقطير المائي. ولم تظهر فروقات معنوية في مضادات الأكسدة المستخلصة مقارنة بالتقطير المائي.	11.5 V/cm, 100 C and followed by 5.3 V/cm, 45 min	الثوم

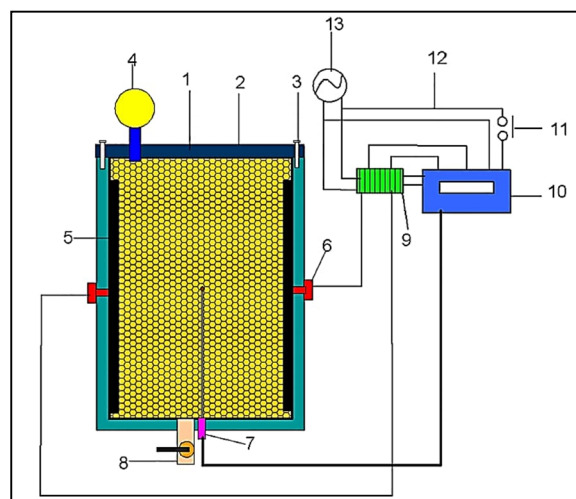
min: دقيقة، V/cm: فولت/سم، Hz: هيرتز.

تأثير التسخين الأومي على تثبيط الإنزيمات في الأغذية: الإنزيمات عبارة عن بروتينات تسرع تلقائيًا التفاعلات الكيميائية وتعتبر محفزًا حيويًا (Mäntsälä و Jarmo، 2009)، يقلل وجود الإنزيمات بشكل كبير من العمر الافتراضي للفواكه والخضروات (Terefe وآخرون، 2014) لذلك ، يجب التحكم في النشاط الأنزيمي في الأغذية خلال مراحل المعاملات الحرارية للتخلص من آثارها الضارة على خصائص الجودة مثل إنتاج النكهات غير المرغوب فيها ، والتغيرات في الخصائص الريولوجية، واللون (Vicente وآخرون، 2014) لذلك تأتي التقنيات الكهربائية وما لها من أهمية كبيرة في معاملة وحفظ الأغذية من التغيرات الفيزيائية والحسية، والحفاظ على خصائص الإنزيمات والقدرة على التحكم في ظروف المعاملة بدقة (Kostelac وآخرون، 2020) تناولت العديد من الدراسات تأثير التقنيات الكهربائية على تثبيط الإنزيمات في الأغذية، ولفهم الآلية وجد (Han وآخرون، 2019) أن هناك صلة قوية بين الأنشطة الأنزيمية وبنيتها ثلاثية الأبعاد. إذ يتم فصل الشقوق الوظيفية في البروتينات والتي

ترتبط بالفصل المشحون باستخدام المعاملات الكهربائية التكنولوجية. ومع ذلك، فقد أوضح Poojary وآخرون (2021)، أوضح هناك المزيد لاكتشافه حول آلية التقنيات الكهربائية. فيما يتعلق بتنشيط الإنزيمات ذكر عدد من الباحثين أن الطاقة الكهربائية ارية المطبقة في معاملة الاغذية بشكل فردي أو متبادل، تؤثر على التركيب الأنزيمي وتغير وظائفه (Tappi وآخرون، 2019؛ Han وآخرون، 2019) درس Saxena وآخرون (2016) تأثير التسخين الأومي على انزيم بولي فينول أوكسيداز في عصير قصب السكر على ثلاثة مستويات من المجال الكهربائي (24، 32، 48 فولت / سم) وأربع درجات حرارة (60-90 درجة مئوية) مع فترة زمنية 5-20 دقيقة. كان هناك انخفاض بنسبة 97.8 % في نشاط الإنزيم عند درجة حرارة 60-90 درجة مئوية مع زيادة في المجال الكهربائي. درس Li وآخرون (2019) إمكانية التسخين الأومي لمنع التلون البني الإنزيمي البني وتأثيره على جودة عصير الكستناء باستخدام مجالات وترددات كهربائية مختلفة ويمكن أن يزيد التسخين الأومي من فعالية إنزيم البيروكسيداز ثم يبدأ النشاط في الانخفاض بسرعة وكلما زادت الايصالية الكهربائية، لوحظ هناك تنشيط الإنزيم بشكل أكبر. وجد (Makroo *et al.*, 2017) أن معاملة عصير الطماطم باستخدام التسخين الأومي لمدة دقيقة واحدة عند 90 درجة مئوية كانت كافية لتنشيط إنزيم البكتين ميثيل استريز والبولي كالاكتورونيز، بينما تتطلب المعاملة التقليدية عند نفس درجة الحرارة 5 دقائق للحصول على نفس تنشيط الإنزيمات. درس، (Li *et al.*, 2015) تأثير التسخين الأومي على نشاط انزيم اليوريز في حليب الصويا في مجال كهربائي مقداره (160-220) فولت وتردد 10-50 كيلو هرتز وقد أظهرت الدراسة أن المجال الكهربائي كان قادرًا على تنشيط نشاط هذا الإنزيم.

الاستخلاص بمساعدة التسخين الاومي

استخلاص المركبات الفعالة: استخلص Al-Hilphy وآخرون (2020) المركبات النشطة بيولوجيا بواسطة التسخين الاومي (شكل 3) ووجدوا ان التسخين الاومي وفر 63% من استهلاك الطاقة مقارنة بطريقة الاستخلاص التقليدية. أيضا، فإنه أنتج مستخلصات بكميات عالية من المركبات النشطة بيولوجيا (110-460 جزء في المليون من الفينولات الكلية) الفعالية المضادة للأكسدة أعلى (فعالية مضادات الأكسدة بنسبة 56-84%) من تلك الموجودة في المستخلص الذي تم الحصول عليه بواسطة الطريقة التقليدية.

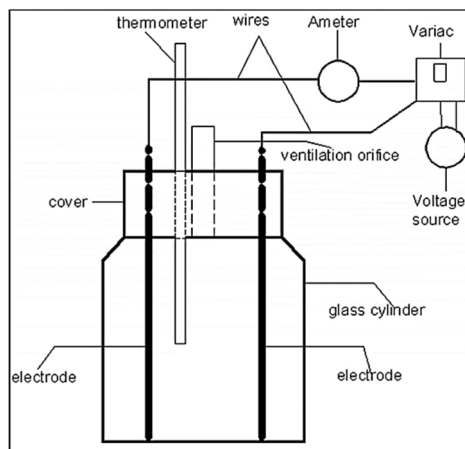


شكل (3): مخطط لاستخلاص مضادات الاكسدة بالتسخين الاومي (Al-Hilphy *et al.*, 2020) (1: غطاء الاسطوانة، 2: عينة، 3: برغي، 4: مقياس الضغط، 5:

قطب كهربائي، 6: برغي، 7: مزدوج حراري، 8: صمام، 9: موصل، 10: مقياس درجة الحرارة الرقمي، 11: مفتاح تشغيل، 12: توصيل الأسلاك، 13: امدادات الطاقة.

استخلص Al-Hilphy وآخرون (2015) المركبات الفينولية بالتسخين الاومي (شكل 4) على درجة حرارة 80 مئوي ووجدوا ان المستخلص المعامل عند 20 فولت/سم كان الأفضل في محتوى المركبات الفينولية والفعالية المضادة للاكسدة. كما بينت النتائج

أن المركبات ذات ان الجزيئات المنخفضة (أقل من 1000) هي المسؤولة عن درجة النشاط المضاد للأكسدة وتأثيرها أكبر من عالية الوزن الجزيئي (أكثر من 1000). مستخلص المعاملة 20 فولت/سم قدرتها اعلى على إعاقه الأكسدة الذاتية لزيت الزيتون بتركيز 0.25% لمدة تخزين 25 يوم.



شكل: (4). منظومة استخلاص مضادات الاكسدة بالتسخين الاومي (Al-Hilphy *et al.*, 2015).

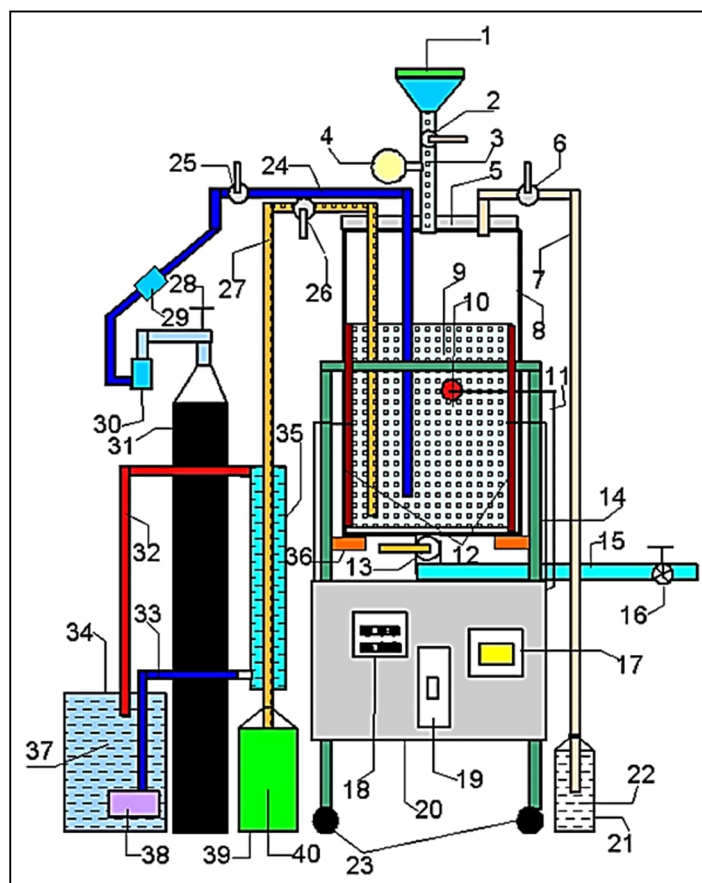
استخلاص الزيوت العطرية: قام Al-Hilphy (2014) باستخلاص الزيوت العطرية من نبات القرنفل بمساعدة التسخين الاومي (شكل 5). وجد الباحث ان استهلاك الطاقة لاستخلاص الزيت العطري بالتسخين الاومي كانت اقل من التسخين التقليدي بمقدار 50% تقريبا. كما ان حاصل الزيت كان 2.2% بينما بلغ بالتسخين التقليدي 1.47%. أيضا عامل الأداء عالي جدا في التسخين الاومي اذ يصل الى 99% وهذا يشير الى تحويل اغلب الطاقة الكهربائية الى حرارة.



شكل: (5). جهاز استخلاص زيت القرنفل بالتسخين الاومي (Al-Hilphy, 2014).

استخلاص الاحماض الامينية: صمم Kadem وآخرون (2023) جهاز جديد لاستخلاص الاحماض الامينية بالماء تحت الحرج والتسخين الاومي معا من مخلفات الدواجن عند درجة حرارة 140 م (شكل 6). الزمن اللازم للوصول الى درجة حرارة 140 مئوي باستخدام الماء تحت الحرج والتسخين الاومي عند شدة مجال كهربائي 7.14 و 8.57 فولت/سم ، كان أقل من التسخين التقليدي بمقدار 17 و 75% ، على التوالي. كما وجدوا ان أقل استهلاك للطاقة المحددة كان 403.68 كيلو جول / كجم وهو أقل

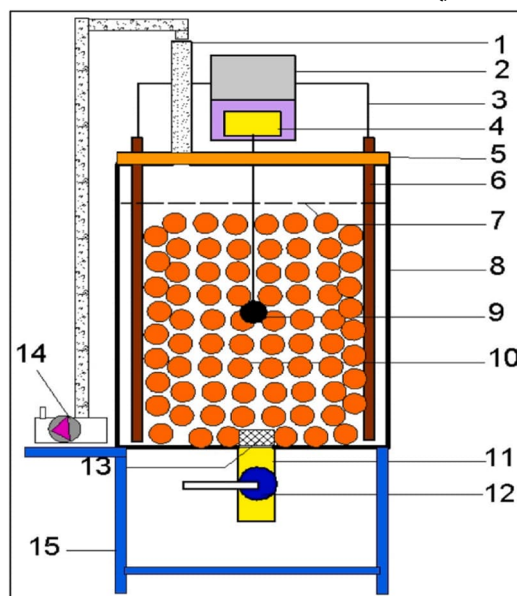
بنسبة 59.22% من التسخين التقليدي. أعلى معدل للطاقة 93.88% عند شدة مجال كهربائي 8.57 فولت/سم والتي كانت متفوقة على التسخين التقليدي بمقدار 47.13%. إجمالي الأحماض الأمينية المسترجعة بواسطة الماء تحت الحرج والتسخين الأومي عند شدة مجال كهربائي 8.57 فولت/سم أعلى من التسخين التقليدي بمقدار 70.48%. ان الماء تحت الحرج والتسخين الأومي عند شدة مجال كهربائي 5.71 فولت/سم أسفرت عن أقصى كفاءة استرجاع للأحماض الأمينية (79.40%) بينما بلغت 15.48% للتسخين التقليدي. إلى جانب ذلك، فإن نتائج محلل الأحماض الأمينية (AAA) أظهر أن الأحماض الأمينية المستردة تشمل الاسبرجين، سيرين، جلوتامين، كلايسين، ثريونين، هيسيتدين، سيستين، ألانين، أسبارتيك، تريبتوفان، أرجينين، تيروزين، فالين، ميثيونين، إيزولوسين، ليوسين، وفينيل ألانين.



شكل (6). جهاز استخلاص الأحماض الأمينية بالماء تحت الحرج والتسخين الأومي معاً (Kadem *et al.*, 2023)

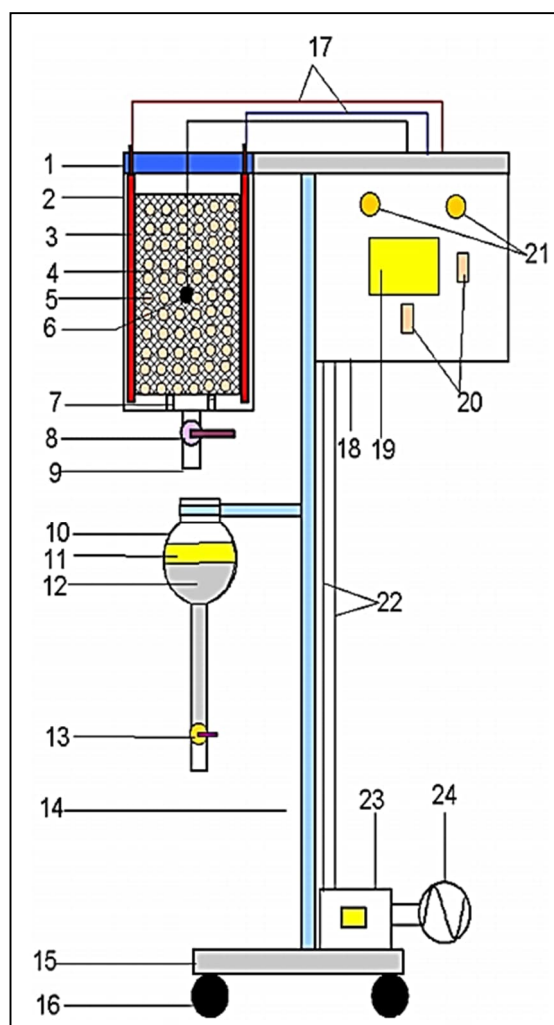
1. قمع، 2. صمام، 3. الأنابيب، 4. مقياس الضغط، 5. تغلون، غطاء، 6. صمام، 7. أنبوب، 8. تغلون، اسطوانة، 9. الماء والبروتين، 10. مزدوج حراري، 11. سلك، 12. اقطاب، 13. صمام، 14. الهيكل، 15. الأنابيب، 16. صمام، 17. مقياس درجة الحرارة الرقمية، 18. موصل، 19. مفتاح، 20. لوحة السيطرة، 21. حاوية، 22. المياه، 23. الإطارات، 24. أنابيب من الفولاذ المقاوم للصدأ، 25. صمام، 26. صمام، 27. أنبوب، 28. صمام، 29. مقياس معدل الجريان متر، 30. موزع، 31. اسطوانة غاز CO_2 ، 32. الأنابيب البلاستيكية للمياه الساخنة، 33. أنبوب بلاستيكي للمياه الباردة، 34. حاوية، 35. مبادل حراري، 36. قاعدة، 37. ماء بارد، 38. مضخة غاطسة، 39. حاوية لجمع المنتج، 40. المنتج.

استخلاص وتبخير الدبس: صمم Al-Hilphy وآخرون (2023b) منظومة لاستخلاص وتبخير الدبس من التمور بمساعدة التسخين الاومي. استخدم الباحثين منهجية سطح الاستجابة لتحسين الحاصل، ووجدوا أن الوقت اللازم للوصول إلى درجة غليان التمر وخليط الماء باستخدام التسخين الاومي كان أقل من التسخين التقليدي بنسبة 80% للاستخلاص و900% للتبخير. بالإضافة إلى ذلك، إنتاجية دبس التمر باستخدام التسخين الاومي كانت عند شدة المجال الكهربائي 11 فولت/سم أعلى من التسخين التقليدي بنسبة 86.11%. أوضح الباحثين انه لا يوجد تأثير معنوي بين الطريقتين عند 11 فولت/سم والتسخين التقليدي في محتوى الرطوبة، معامل الانكسار، الكثافة، TSS، واللزوجة. كان المستوى الأمثل للمجال الكهربائي هو 11.5 فولت/سم، مما أعطى حاصلا أعلى (64.93%). قلل التسخين الاومي الطاقة المستهلكة والتكلفة بشكل كبير. أعطى التسخين الاومي أعلى درجات للخصائص الحسية مقارنة بالتسخين التقليدي. أيضا أشار الباحثين الى انه تم الكشف عن السكريات الكلية والسكريات الأحادية والسكريات المتعددة كانت سالبة لجميع المعاملات. خفض التسخين الاومي التكلفة بنسبة 85.78% مقارنة مقارنة بالتسخين التقليدي.



شكل (7): منظومة استخلاص وتبخير دبس التمر بالتسخين الاومي (Al-Hilphy et al., 2023b)

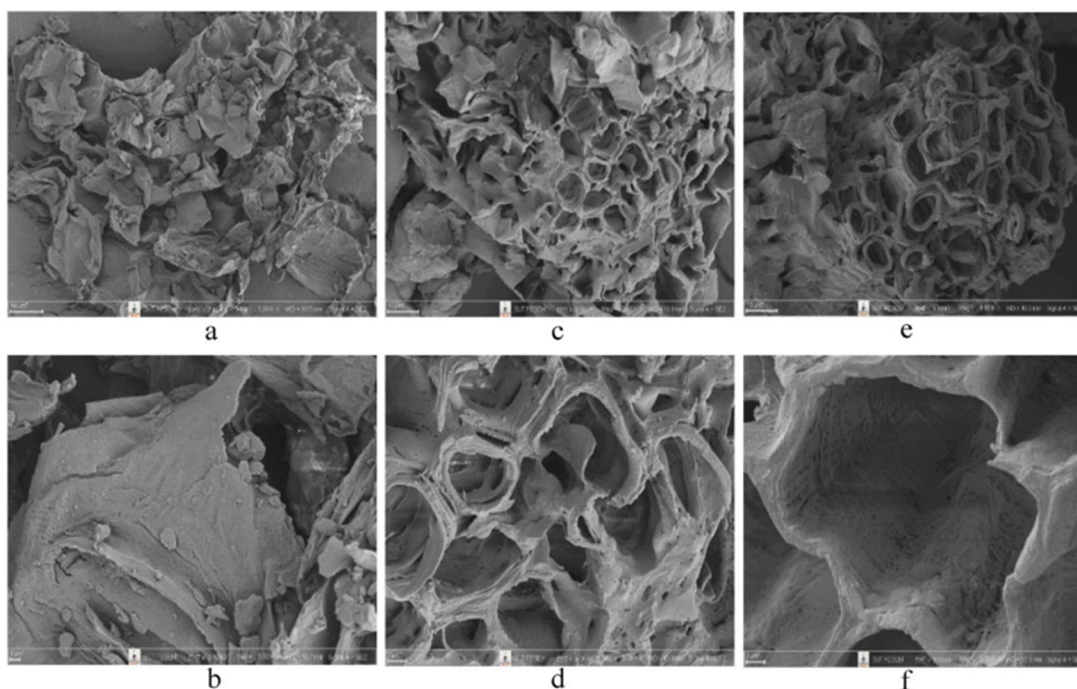
استخلاص الزيت: صمم Al-Hilphy وآخرون (2022). جهاز لاستخلاص الزيت من مخلفات الأسماك بالتسخين الاومي (شكل 8). درس الباحثين تأثير درجة الحرارة (75 درجة مئوية، 85 درجة مئوية، 95 درجة مئوية) وشدة المجال الكهربائي (7، 9، 22 فولت / سم) على المنظومة. أيضا درسوا الأداء والخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيت المستخرج ومقارنتها مع الطريقة التقليدية. إلى جانب ذلك، وجدوا أن معدل التسخين الاومي اعلى من التسخين التقليدي (4.5-51.1 درجة مئوية / دقيقة مقابل 1.0 درجة مئوية / دقيقة). أيضا، استهلاك الطاقة النوعي للتسخين الاومي أقل من التسخين التقليدي بنسبة 94.46%. علاوة على ذلك، أدى استبدال التسخين الاومي بالتسخين التقليدي إلى تقليل وقت الاستخلاص من 72 إلى 30 دقيقة بالمقارنة مع التسخين التقليدي، أدى التسخين الاومي الى تحسين مركبات اللون وتقليل البيروكسيد والأحماض الدهنية الحرة وقيم حامض الثايوباربتيوريك. شدة المجال الكهربائي 22 فولت / سم ودرجة حرارة 95 مئوي أديا إلى أعلى أداء للنظام وإنتاجية الزيت. علاوة على ذلك، زيادة درجة الحرارة وشدة المجال الكهربائي يؤديان الى تحسين الإنتاجية.



شكل: (8). جهاز استخلاص زيوت مخلفات الأسماك بالتسخين الاومي (Al-Hilphy *et al.*, 2022)

1 غطاء اسطوانة، 2 اسطوانة تسخين، 3 اقطاب، 4 مخلفات اسماك، 5 مشبك قماش، 6 مزدوجة حرارية، 7 مسند، 8 صمامات، 9 أنابيب، 10 قمع فصل، 11 طبقة زيت، 12 ماء، 13 صمام، 14 عمود، 15 قاعدة، 16 إطار، 17 سلك، 18 لوحة تحكم، 19 مقياس درجة حرارة، 20 مفتاحان لبدء التشغيل، 21 مصابيح، 22 سلك كهربائي، 23 مبادل جهد، و 24 مصدر طاقة.

تأثير التسخين الاومي في شكل خلايا أوراق الاستيفيا المعاملة: يتضح من صور المجهر الالكتروني الماسح scanning electron microscopic لأوراق الاستيفيا *Stevia rebaudiana* وأوراق الاستيفيا المعاملة بالتسخين الاومي للعينات والموضحة في الشكل 8 (a-f). حيث يتبين من الصور هنالك وجود تغييرات في مساحة سطح جزيئات أوراق الاستيفيا بعد التسخين الاومي وبمسامات أكبر وذات سطوح ناعمة كما في الشكل 8 (c-f)، بينما أظهرت عينات الأوراق غير المعاملة بتموجات محيطية على سطح الجدران الخلوية، وهي واضحة في الشكل 8 (b-a)، بسبب تأثير التنقيب الكهربائي بواسطة التسخين الاومي. تحتوي أوراق *Stevia rebaudiana* على ما يكفي من الرطوبة لتسمح للتيار الكهربائي بالمرور عبر غشاء الخلية ومسامات أكبر وأسطح ملساء لجدران الخلايا (Moongngarm وآخرون، 2022).



شكل (9): صور المجهر الإلكتروني الماسح SEM لأوراق الاستيفيا غير المعاملة (a = 1000x ، b = 3000x) ، أوراق الاستيفيا المعاملة بالتسخين الأومي (e = 1000x ، f =) (E = 200 و MC %30) (c = 1000x ، d = 3000x) (E = 200 و MC %40) وأوراق الاستيفيا المعاملة أوميا (Moongngarm *et al.*, 2022). = E شدة المجال الكهربائي فولت/سم. = محتوى الرطوبة ، MC3000x

تأثير التسخين الأومي في منتجات اللحوم: أظهر تأثير التسخين الأومي على الخصائص التركيبية لقطع لحم الخنزير المجمدة أن اذابة الجليد بالتسخين الأومي سيكون المنتج ذو صلابة أعلى ومرونة أقل من الطريقة التقليدية. أوضح الباحثون أن الجهد المطبق يؤثر على خصائص النسيج للحم المذاب. ووفقاً لذلك، ستكون درجات الحرارة أعلى، زمن مسك أطول ويكون اللحم ذو سطحاً أكثر تجانساً. بالإضافة إلى ذلك، كان اللحم المطبوخ بالتسخين الأومي ذو سطحاً ألطف وأكثر مضغاً من السطح المعامل بالطريقة التقليدية (Singh و Kaur، 2015). يمكن استخدام التسخين الأومي كاستراتيجية تسخين اختيارية للطهي السريع لكرات اللحم. وتبين أن الحرارة الناتجة عن المجال الكهربائي ونقل الحرارة بالحمل الحراري بين كرات اللحم والماء كانت قوية في درجات حرارة العينة أثناء التسخين الأومي (Rebezov وآخرون، 2022).

الاتجاهات المستقبلية: التسخين الأومي هو عملية حرارية عالية الكفاءة في استخدام الطاقة وقد وجدت العديد من التطبيقات المستقبلية الواعدة في الصناعات الغذائية وغيرها من الصناعات. يمكن استخدام التسخين الأومي بمفرده أو بالاشتراك مع تقنيات المعاملات الأخرى. تم تقييم التسخين الأومي بالمقارنة مع التقنيات الحرارية الأخرى لفعاليته. كان الجمع بين التسخين الأومي والتسخين بالأشعة تحت الحمراء أكثر فاعلية لتقليل أعداد الاحياء المجهرية في عينات كرات اللحم (Sengun وآخرون، 2017). أن تطبيق التسخين الأومي للتعقيم والتعبئة المعقمة له ميزات واعدة رئيسية في المستقبل ويمكن تطبيق التسخين الأومي بنجاح كطريقة بديلة للتعقيم التقليدي للحفاظ على الجودة الغذائية للبروتين في أغذية الأطفال النباتية (Mesías وآخرون، 2016) تشير النتائج الحديثة إلى أن شبكات بروتين مصل الحليب يمكن تعديلها عن طريق معالجات التسخين الأومية ويمكن استخدامها كمصفوفة لتضمين كيانات بروبايوتيك (Li وآخرون، 2015). أحد التطبيقات المستقبلية الجديدة للتسخين الأومي هو التقطير المائي الأومي على أساس التسخين الحجمي لتقطير الإيثانول والزيوت الأساسية، والذي يعتبر أفضل من طرق التقطير التقليدية (Mesías وآخرون، 2016).

الاستنتاجات

تم إثبات إمكانيات كبيرة لاستخدام التسخين الأومي كبديل واعد لطرق التسخين التقليدية للعديد من تطبيقات معالجة الأغذية، أن عملية التسخين الأومي تتمتع باحتفاظ الغذاء بالجودة العالية، وكفاءة عالية في استخدام الطاقة، بالإضافة الى كفاءة التسخين الأومي في القضاء على الفعالية المايكروبية، علاوة على ذلك فان التسخين الأومي يحسن من محتوى الغذاء من المركبات الفعالة حيويًا، ويمكن أن تحتوي أجهزة التسخين الأومي على خيارات مبرمجة مسبقًا للأغذية المختلفة التي تعمل على تغيير التردد والجهد ودرجة الحرارة والمدة بضغطة زر واحدة.

يتقدم المؤلفون بالشكر الى قسم علوم الأغذية-كلية الزراعة-جامعة البصرة على توفير المصادر العلمية، كما يعلن المؤلفون أنه ليس لديهم ازدواجية في الاهتمام مرتبطة بهذه المخطوطة. هذا وقد قام المؤلف الأول والثاني بكتابة المراجعة، وساهم المؤلف الثالث بمراجعة النسخة النهائية من المخطوطة.

المراجع

- الحلفي، اسعد رحمان سعيد، علي، حيدر ابراهيم ومحسن، غسان فيصل (2012). تصميم وتصنيع جهاز لبسترة الحليب بالتسخين الأومي ودراسة كفاءته. مجلة ابحاث البصرة، 30(4):1-18. <https://www.researchgate.net/publication/18-1-18>
- عثمان، معاذ بدر، الفيفي، بندر عباس، الحلفي، أسعد رحمان وحوياني، علي ابراهيم (2021). التسخين الأومي وتطبيقاته في التصنيع الغذائي. مجلة الغذاء والتغذية. 21 (51): 66-93.
- Abdelmaksoud, T.; Mohsen, S. M.; Duedahl-Olesen, L.; Elnikeety, M. M., and Feyissa, A. H. (2018a). Effect of ohmic heating parameters on inactivation of enzymes and quality of not-from-concentrate mango juice. *Asian Journal of Scientific Research*, 11(3), 383-392. <https://doi.org/10.3923/ajsr.2018.383.392>
- Abdelmaksoud, T.G.; Mohsen, S.M.; Duedahl-Olesen, L.; Elnikeety, M.M., and Feyissa, A.H. (2018b). Optimization of ohmic heating parameters for polyphenoloxidase inactivation in not-from-concentrate elstar apple juice using RSM. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7): 2420–2428. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3159-1>.
- Al-Hilphy, A. R. S. (2014). A practical study for new design of essential oils extraction apparatus using ohmic heating. *International Journal of Agricultural Science*, 4(12): 351-366. <https://www.researchgate.net/publication/270275570>
- Al-Hilphy, A.R.S. (2017). Engineering intervention for extraction of essential oils from plants. **In: Engineering Interventions in Foods and Plants**. Vermaz, D.K., and Goyal, M.R. (Eds.), 1st Edition, Apple Academic Press: Cambridge, MA, USA, 298p. ISBN 978-1-77188-596-6. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781315194677-3>
- Al-Hilphy, A. R., and Khaneghah, A.M. (2024). Ohmic heating design, thermal performance, and applications in food processing. **In: Smart Food Industry: The Blockchain for Sustainable Engineering**. Jacob- Lopes, E. ; Zepka, L. Q. and Depra, M. C.(Eds.), 1st Edition, CRC Press. pp: 273-289. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003231059-19>
- Al-Hilphy, A. R.; Al-Rikabi, A. K., and Al-Salim, A. M. (2015). Extraction of phenolic compounds from wheat bran using ohmic heating. *Food Science and Quality Management*, 43:21-28. <https://www.iiste.org>
- Al-Hilphy, A. R.; Al-Musafer, A. M., and Gavahian, M. (2020). Pilot-scale ohmic heating-assisted extraction of wheat bran bioactive compounds: Effects of the extract on corn oil stability. *Food Research International*, 137, 109649. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109649>

Doi: <https://doi.org/10.54172/zg18r718>

- Al-Hilphy, A. R.; Al-Mtury, A. A. A.; Al-Shatty, S. M.; Hussain, Q. N., and Gavahian, M. (2022). Ohmic heating as a by-product valorization platform to extract oil from carp (*Cyprinus carpio*) viscera. *Food and Bioprocess Technology*, 15(11): 2515-2530. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02897-y>
- Al-Hilphy, A. R.; Altemimi, A. B.; Alkanan, Z. T.; Eweys, A. S.; Haoujar, I.; Cacciola, F., and Abdelmaksoud, T. G. (2023a). Vacuum ohmic heating: A promising technology for the improvement of tomato paste processing, safety, quality and storage stability. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 36(1):214–237. <https://doi.org/10.37077/25200860.2023.36.1.18>
- Al-Hilphy, A. R.; Al-Behadli, T. K.; Al-Mtury, A. A.; Abd Al-Razzaq, A. A.; Shaish, A. S.; Liao, L.; Zeng, X.A., and Manzoor, M. F. (2023b). Innovative date syrup processing with ohmic heating technology: Physiochemical characteristics, yield optimization, and sensory attributes. *Heliyon*. 9 (9), e19583 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19583>
- Bender, D.; Gratz, M.; Vogt, S.; Fauster, T.; Wicki, B.; Pichler, S.; Kinner, M.; Jäger, H., and Schoenlechner, R.(2019) . Ohmic heating-A novel approach for gluten-free bread baking. *Food Bioprocess Technol.*, 12:1603–1613. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02324-9>
- Coelho, M.; Pereira, R.; Rodrigues, A.S.; Teixeira, J.A., and Pintado, M.E. (2019). Extraction of tomato by-products' bioactive compounds using ohmic technology. *Food and Bioprocess Processing*, 117:329–339. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.08.005>
- Cohen, M. L. (2000). Changing patterns of infectious disease. *Nature*, 406(6797): 762–767. DOI: <https://doi.org/10.1038/35021206>
- Fellows, P.J. (2017). Dielectric, ohmic and infrared heating. **In:** *Food Processing Technology*. Wood Head Publishing. Fourth Edition. pp: 813-844. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100522-4.00019-5>
- Funcia, E.S.; Gut, J.A.W., and Sastry, S.K. (2020). Effect of electric field on pectin esterase inactivation during orange juice pasteurization by ohmic heating. *Food Bioprocess Technol.*, 13: 1206–1214. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02478-x>
- Fung, F., Wang, H. S., and Menon, S. (2018). Food safety in the 21st century. *Biomedical Journal*, 41(2): 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.03.003>
- Guo, W.; Llave, Y.; Jin, Y.; Fukuoka, M., and Sakai, N. (2017). Mathematical modeling of ohmic heating of two-component foods with non-uniform electric properties at high frequencies. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 39: 63–78. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.11.005>
- Han, Y.; Cheng, J. H., and Sun, D. W. (2019). Activities and conformation changes of food enzymes induced by cold plasma: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59: 794–811. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1555131>
- Icier, F., and Ilicali, C. (2005). Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Research International*, 38:1135–1142. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.04.003>
- Indiarto, R., and Rezaharsanto, B. A. (2020). Review on ohmic heating and its use in food. *Int. J. Sci. Technol. Res.*, 9: 485–490. www.ijstr.org
- Jaeger, H.; Roth, A.; Toepfl, S.; Holzhauser, T.; Engel, K.H.; Knorr, D.; Vogel, R.F.; Bandick, N.; Kulling, S.; Heinz, V., and Steinberg, P. (2016). Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends Food Sci. Technol.*, 55: 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.007>
- Jakób, A.; Bryjak, J.; Wójtowicz, H.; Illeová, V.; Annus, J., and Polakovič, M. (2010). Inactivation kinetics of food enzymes during ohmic heating. *Food Chem.*, 123: 369–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.047>

- Jatau, S.H.; Sokoto, M.A.; Almustapha, M.N.; Muhammad, C.; Dabai, M.U., and Zubairu, A.Y. (2018). Effect of heat on lycopene content of hot peppers (*Capsicum annum*) using various processing temperature. *Int. J. Sci. Eng.*, 14:32–39. doi.org/10.13140/RG.2.2.28174.92481
- Kadem, Z. A.; Al-Hilphy, A. R.; Alasadi, M. H., and Gavahian, M. (2023a). Combination of ohmic heating and subcritical water to recover amino acids from poultry slaughterhouse waste at a pilot-scale: New valorization technique. *Journal of Food Science and Technology*, 60(1): 24-34. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05556-4>
- Kaur, N., and Singh, A. K. (2016). Ohmic heating: Concept and applications-A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(14):2338–2351. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.835303>
- Kim, N. H.; Cho, T. J., and Rhee, M. S. (2017). Sodium chloride does not ensure microbiological safety of foods: Cases and solutions. *Advance in Applied Microbiology*, 101: 1–47. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2017.05.001>
- Kim, S. S., and Kang, D. H. (2015). Comparative effects of ohmic and conventional heating for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* in skim milk and cream. *Journal of Food Protection*, 78: 1208–1214. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-544>
- Kostelac, D.; Putnik, P.; Markov, K.; Frece, J., and Kovačević, D.B. (2020). Effects of electro-technologies on enzymes in foods and food model systems. *Curr. Opin. Food Sci.*, 31: 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.10.005>
- Kumar, J.P.; Ramanathan, M., and Ranganathan, T.V. (2014). Ohmic heating technology in food processing- A review. *Int. J. Food Eng. Res. Technol.*, 3:1236–1241. www.ijert.org
- Kumar, T.; Smith, D. D.; Kumar, S., and Vimla, B. (2018). Effect of voltage gradient and temperature on electrical conductivity of grape (*Vitis vinifera* L.) juice during ohmic heating. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 7: 1914–1921. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.224>
- Kumari, K.; Mudgal, V.D.; Viswasrao, G., and Srivastava, H. (2016). Studies on the effect of ohmic heating on oil recovery and quality of sesame seeds. *J. Food Sci. Technol.*, 53:2009–2016. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2176-1>
- Lee, S. Y.; Ryu, S., and Kang, D. H. (2013). Effect of frequency and waveform on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* Serovar *Typhimurium* in Salsa by ohmic heating. *Appl. Environ. Microbiol.*, 79: 10–17. <https://doi.org/10.1128/AEM.01802>
- Leizerson, S., and Shimoni, E. (2005). Effect of ultrahigh-temperature continuous ohmic heating treatment on fresh orange juice. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 3519–3524. <https://doi.org/10.1021/jf050100a>
- Li, X.; Xu, X.; Wang, L., and Regenstien, J.M. (2019). Effect of ohmic heating on physicochemical properties and the key enzymes of water chestnut juice. *J. Food Process. Preserv.*, 43(4): e13919. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13919>
- Li, F.D.; Chen, C.; Ren, J.; Wang, R. and Wu, P. (2015). Effect of ohmic heating of soymilk on urease inactivation and kinetic analysis in holding time. *J. Food Sci.*, 80: 307–315. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12738>
- Loypimai, P.; Moongngarm, A.; Chottanom, P., and Moontree, T. (2015). Ohmic heating assisted extraction of anthocyanins from black rice bran to prepare a natural food colourant. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 27: 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.12.009>
- Makroo, H.A.; Srivastava, B.; Sit, N.; Badwaik, L.S., and Das, A.B. (2017). Effects of ohmic heating on different liquid food materials. *Trends Innov. Food Process. Technol.*, 3: 95–115. <https://www.researchgate.net/publication/316038217>
- Mäntsälä, P., and Jarmo, N. (2009). Enzymes: The biological catalysts of life. *Physiol. Maintenance*, 2: 1–22. [aj/https://www.eolss.net/sample-chapters/C03/E6-54-02.pdf](https://www.eolss.net/sample-chapters/C03/E6-54-02.pdf)

- Mercali, G.D.; Gurak, P.D.; Schmitz, F., and Marczak, L.D.F. (2015). Evaluation of non-thermal effects of electricity on anthocyanin degradation during ohmic heating of Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) juice. *Food Chem.*, 171:200–205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014>
- Mesías, M.; Wagner, M.; George, S., and Morales, F.J. (2016). Impact of conventional sterilization and ohmic heating on the amino acid profile in vegetable baby foods. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 34: 24–28. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.031>
- Moongngarm, A.; Sriharboot, N.; Loypimai, P., and Moontree, T. (2022). Ohmic heating-assisted water extraction of steviol glycosides and phytochemicals from *Stevia rebaudiana* leaves. *LWT*, 154: 112798. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112798>
- Müller, W.A.; Marczak, L.D.F., and Sarkis, J.R. (2020). Microbial inactivation by ohmic heating: Literature review and influence of different process variables. *Trends Food Sci. Technol.*, 99:650–659. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.021>
- Palaniappan, S., and Sastry, S.K. (1991) Electrical conductivities of selected solid foods during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*, 14: 221-236. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1991.tb00093.x>
- Park, I. K.; Ha, J. W., and Kang, D. H. (2017). Investigation of optimum ohmic heating conditions for inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* in apple juice. *BMC Microbiology*, 17(1): 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1029-z>
- Patel, A., and Singh, M. (2018). Ohmic heating for food products- A review. *Curr. J. Appl. Sci. Technol.*, 27(3):1–7. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2018/40664>
- Pereira, R. N.; Rodrigues, R. M.; Genisheva, Z.; Oliveira, H.; de Freitas, V.; Teixeira, J. A., and Vicente, A. A. (2016). Effects of ohmic heating on extraction of food-grade phytochemicals from colored potato. *LWT*, 74: 493-503. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.074>
- Pereira, R.N.; Costa, J.; Rodrigues, R.M.; Villa, C.; Machado, L.; Mafra, I., and Vicente, A. (2020). Effects of ohmic heating on the immunoreactivity of lactoglobulin-A relationship towards structural aspects. *Food Funct.*, 11: 4002–4013. <https://doi.org/10.1039/c9fo02834j>
- Poojary, M.; Roohinejad, S.; Koubaa, M.; Barba, F.; Passamonti, P.; Jambrak, A.R., and Greiner, R. (2016). Impact of pulsed electric fields on enzymes. In: *Handbook of Electroporation*. Miklavbic, D. (Ed.), Springer: Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319>
- Rocha, R.S.; Silva, R.; Guimarães, J.T.; Balthazar, C.F.; Pimentel, T.C.; Neto, R.P.; Tavares, M.I.B.; Esmerino, E.A.; Freitas, M.Q.; Cappato, L.P.... and Cruz, A.G. (2020). Possibilities for using ohmic heating in Minas Frescal cheese production. *Food Res. Int.*, 131: 109027. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109027>
- Rebezov, M.; Farhan Jahangir Chughtai, M.; Mehmood, T.; Khaliq, A.; Tanweer, S.; Semenova, A.; Khayrullin, M.; Dydykin, A.; Burlankov, S.; Thiruvengadam, M.; Shariati, M. A., and Lorenzo, J. M. (2022). Novel techniques for microbiological safety in meat and fish industries. *Applied Sciences*, 12(1), 319. <https://doi.org/10.3390/app12010319>
- Rosello-Soto, E.; Poojary, M. M.; Barba, F. J.; Koubaa, M.; Lorenzo, J. M.; Manes, J., and Moltó, J. C. (2018). Thermal and non-thermal preservation techniques of tiger nuts' beverage “horchata de chufa”. Implications for food safety, nutritional and quality properties. *Food Research International*, 105: 945–951. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.014>
- Sakr, M., and Liu, S. A. (2014). Comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 39: 262–269. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.061>
- Sakulchuthathip, V.; Yasurin, P.; Tangduangdee, C., and Asavasanti, S. (2017). Extraction of bioactive compounds from Chinese chives using ohmic assisted hydrodistillation. *Extraction*, 15
- Salari, S., and Jafari, S.M. (2020). The influence of ohmic heating on degradation of food bioactive ingredients. *Food Eng. Rev.*, 12: 191-208. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09217-0>

Doi: <https://doi.org/10.54172/zg18r718>

- Saxena, J.; Makroo, H.A., and Srivastava, B. (2017). Effect of ohmic heating on Polyphenol Oxidase (PPO) inactivation and color change in sugarcane juice. *J. Food Process. Eng.*, 40(3): e12485. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12485>
- Sengun, I. Y.; Icier, F., and Kor, G. (2017). Effects of combined ohmic–infrared cooking treatment on microbiological inactivation of meatballs. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1): e12309. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12309>
- Shirsat, N.; Lyng, J. G.; Brunton, N. P., and McKenna, B. M. (2004). Conductivities and ohmic heating of meat emulsion batters. *Journal of Muscle Foods*, 15(2):121–137. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2004.tb00716.x>
- Somavat, R. (2011). Applications and effects of ohmic heating: Sterilization, influence on bacterial spores, enzymes, bioactive components and quality factors in food. **Ph.D. Thesis**, The Ohio State University, Columbus, OH, USA. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1293568724
- Suebsiri, N.; Kokilakanistha, P.; Laojaruwat, T.; Tumpanuvat, T., and Jittanit, W. (2019). The pasteurization of milk applying ohmic heating in comparison with conventional method and the quality attributes of lactose-free milk. *Res. J. Phranakhon Rajabhat Sci. Technol.*, 14: 25–35. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/article/view/148449
- Sun, H.; Kawamura, S.; Himoto, J. I.; Itoh, K.; Wada, T., and Kimura, T. (2008). Effects of ohmic heating on microbial counts and denaturation of proteins in milk. *Food Science and Technology Research*, 14(2): 117–123. <https://doi.org/10.3136/fstr.14.117>
- Supratomo, S.; Laga, A.; Tahir, M.; Mochtar, A. A., and Salengke, S. (2019). Design and performance test of ohmic-assisted cocoa fermentation apparatus. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(8):1515–1523. www.arpnjournals.com
- Tappi, S.; Ragni, L.; Tylewicz, U.; Romani, S.; Ramazzina, I., and Rocculi, P. (2019). Browning response of fresh-cut apples of different cultivars to cold gas plasma treatment. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 53: 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.005>
- Terefe, N.S.; Buckow, R., and Versteeg, C. (2014). Quality-related enzymes in fruit and vegetable Products: Effects of novel food processing technologies, Part 1: High-Pressure Processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 54: 24–63. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.566946>
- Tola, Y. B., and Ramaswamy, H. S. (2018). Novel processing methods: Updates on acidified vegetables thermal processing. *Current Opinion in Food Science*, 23: 64–69. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.06.003>
- Tsong, T.Y. (1990). Reviews on electroporation of cell membranes and some related phenomena. *Bioelectrochem. Bioenerg.*, 24(3): 271–295. [https://doi.org/10.1016/0022-0728\(90\)87529-S](https://doi.org/10.1016/0022-0728(90)87529-S)
- Varghese, K. S.; Pandey, M.; Radhakrishna, K., and Bawa, A. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: A review. *J. Food Sci. Technol.*, 51(10):2304–2317. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0710-3>
- Vicente, A.A.; Pereira, R.N.; Penna, T.C.V., and Knirsch, M. (2014). Electricity effects on microorganisms and enzymes. **In: Ohmic Heating in Food Processing**. 1st Edition. CRC Press: Boca Raton, FL, USA. pp:115–126. <https://doi.org/10.1201/b16605>
- Yildiz-Turp, G.; Sengun, I.; Kendirci, P.; Icier, F., and Yıldız-Turp, G. (2013). Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Sci.*, 93: 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.10.013>
- Zell, M.; Lyng, J.G.; Cronin, D.A., and Morgan, D.J. (2010). Ohmic cooking of whole beef muscle–Evaluation of the impact of a novel rapid ohmic cooking method on product quality. *Meat Sci.*, 86: 258–263. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.007>