مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٨) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (8) 2026

تأثير التسخين الأُومي ونظام الحواجز على بعض مؤشرات التركيب الكيميائي للبازلاء المعلبة خلال فترة التخزين

د. علي سلطانة*

م. علي غسان ديب**

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٦/١/٤ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٦/٤/٢٣)

□ ملخّص □

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير التسخين الأُومي ، بالاضافة الى تاثير اضافة كل من الأحماض العضوية ومستخلص قشور البازلاء ، في الحفاظ على بعض مؤشرات التركيب الكيميائي للبازلاء الخضراء المعلّبة أثناء التخزين بدرجة حرارة الغرفة لمدة 12 شهراً . أظهرت النتائج التأثير الايجابي لإضافة الاحماض العضوية و مستخلص قشور البازلاء بالمقارنة معT1 في التعقيم التقليدي، حيث كانت قيمة فتامين C و السكريات الكلية و مجموع الأحماض الأمينية الأساسية(TEAA) في المعاملة T3 هي الأفضل و بلغت ٢٢,٦ ملغ/١٠٠ غ ، ٦,٥١ غ/١٠٠ غ ، ٤٤٦,٥ ملغ/ ١٠٠غ على التوالي بالمقارنة مع T1(٢١,٢ ملغ/١٠٠غ ، ٦,٤ غ /١٠٠ غ، ٤٣٦,٠ ملغ/١٠٠غ).

عند تطبيق التعقيم الاومي اعطت المعاملة T6 المشتركة بين الاحماض العضوية و مستخلص قشور البازلاء أفضل النتائج في بداية عملية التخزين، اذ بلغت قيمة فتامين C و السكريات الكلية ومجموع الأحماض الأمينية الأساسية (TEAA) و ذلك بالمقارنة مع كافة المعاملات ، على التوالي ٢٦,٥ ملغ/١٠٠ غ ، ٦,٨٧ غ /١٠٠ غ ، ٤٨٠,٩ ملغ/١٠٠ غ.

ساهم التعقيم الاومي في تخفيض زمن التعقيم من ٢٠ دقيقة الى ٥ دقائق و كذلك لوحظ التأثير الايجابي لإضافة الاحماض العضوية و مستخلص فشور البازلاء في المحافظة على استقرار المنتج خلال فترات التخزين ، حيث كانت التغيرات بسيطة في قيم فتامين C و السكريات الكلية في نهاية فترة التخزين بعد ١٢ شهر، اذ بلغت ٢٠,٦ ملغ/١٠٠ غ، ٦,٥١ غ /١٠٠ غ، وهي اقل بالمقارنة مع المعاملات الأاخرى ، بحيث كانت الافضل بين كافة المعاملات .

تشير النتائج إلى أن إضافة الاحماض العضوية و مستخلص قشور البازلاء وتطبيق التعقيم الأوميُ يسمح بخفض زمن التعقيم مع المحافظة على مؤشرات الجودة الكيميائية، وكانت المعاملة T6 الأفضل إجمالاً لمعظم المؤشرات المدروسة.

الكلمات المفتاحية: التركيب الكيميائي؛ التعليب؛ البازلاء الخضراء؛ التسخين الأُومي.

*أستاذ مساعد في قسم علوم الأغذية، كلية الزراعة، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سوريا. ali.sultaneh@latakia-univ.edu.sy

**طالب دكتوراه في قسم علوم الأغذية، كلية الزراعة، اللاذقية، اللاذقية، سوريا. Alideeb666@gmail.com

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٨) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (8) 2026

Effect of Ohmic Heating and Hurdle Technology on Selected Chemical Composition Indicators of Canned Peas During Storage

Dr. Ali Sultana*
M. Ali Deeb**

(Received 4/1/2026. Accepted 23/4/2026)

□ ABSTRACT □

This study aimed to evaluate the effect of ohmic heating, as well as the addition of organic acids and pea pod extract, on preserving selected chemical-composition indices of canned green peas during storage at room temperature for 12 months. The results showed a positive effect of adding organic acids and pea pod extract compared with T1 (conventional sterilization), as treatment T3 exhibited the highest values of vitamin C, total sugars, and total essential amino acids (TEAA), reaching 22.6 mg/100 g, 6.51 g/100 g, and 446.5 mg/100 g, respectively, compared with T1 (21.2 mg/100 g, 6.40 g/100 g, and 436.0 mg/100 g). Under ohmic sterilization, treatment T6 (organic acids + pea pod extract) yielded the best results at the beginning of storage, outperforming all treatments, with vitamin C, total sugars, and TEAA values of 26.5 mg/100 g, 6.87 g/100 g, and 480.9 mg/100 g, respectively. Ohmic sterilization reduced the sterilization time from 20 min to 5 min. A positive effect of organic acids and pea pod extract on product stability during storage was also observed; changes in vitamin C and total sugars were limited by the end of the 12-month storage period, reaching 20.6 mg/100 g and 6.51 g/100 g, respectively, indicating the highest retention among treatments. These findings indicate that combining organic acids and pea pod extract with ohmic sterilization allows for a substantial reduction in sterilization time while maintaining chemical quality indices, and that treatment T6 was overall the most effective for most of the studied parameters

Keywords: chemical composition; canning; green peas; ohmic heating.

* Professor, Department of Food Sciences, Faculty of Agriculture, Lattakia University, Lattakia, Syria. ali.sultaneh@latakia-univ.edu.sy.com

** Graduate Student (PhD), Department of Food Sciences, Faculty of Agriculture, Lattakia University, Lattakia, Syria. Alideeb666@gmail.com

١- المقدمة:

تُعد البازلاء الخضراء (Pisum sativum L.) محصولاً غذائياً ذا كثافة غذائية مرتفعة لاحتوائها على البروتينات٢٣-٢٥ % والكربوهيدرات٩- ١٤ % منها حوالي ٦ % سكريات طبيعية والألياف من ٥-٦ % والفيتامينات منها A,B,C وتعد مصدراً هاماً للحديد، البوتاسيوم، الكالسيوم، والفوسفور .كما يتباين محتواها من السكريات والنشا والمركبات الفينولية تبعاً للصنف ومرحلة النضج وظروف الزراعة،و بالتالي يتم اختيار الاصناف المناسبة لكل عملية حفظو استهلاك، بالاضافة الى خواصها الحسية من حجم و لون و ملمس، وهو ما ينعكس على استجابتها أثناء التصنيع الحراري وعلى ديناميكية فقد المغذيات أثناء التخزين ,.Wu et al) . (ˇCervenski,2017). 2023).

تُعرِّض عمليات السلق والتعقيم التقليدية البازلاء إلى حمل حراري مرتفع(درجة الحرارة × الزمن)، ما قد يسرّع تحلل المركبات الحساسة للحرارة والأكسدة(خصوصاً فيتامين C وبعض السكريات)ويُحدث تغيرات في النسيج واللون .وتُعد تقانة التسخين الأُومي (Ohmic heating) من تقانات التسخين الحجمي السريع التي تُحسن تجانس التسخين وتقلل زمن الوصول إلى الدرجة المستهدفة، يعتمد على تمرير تيار كهربائي متناوب عبر المادة الغذائية، يسبب في تحرك الأيونات نحو أقطاب الشحنات المعاكسة مما يؤدي إلى حدوث تصادم مع بعضها البعض وتعمل المادة نفسها كمقاومة كهربائية مما يعيق مرور التيار، بالتالي تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية داخل المنتج ،وبذلك يتحقق تسخين سريع ومتجانس مقارنة بالتسخين التقليدي الذي يعتمد على انتقال الحرارة من السطح إلى الداخل .وتتحدد كفاءة وانتظام التسخين أساسًا بموصلية الغذاء الكهربائية وشدة المجال الكهربائي وتردده، ما يتيح ضبط زمن المعالجة وتقليل الحمل الحراري (درجة الحرارة×الزمن)وبالتالي الحد من تدهور المركبات الحساسة للحرارة والأكسدة عند تطبيقه ضمن شروط تشغيل مناسبة . (Astráin-Redín et al., 2024).

وقد ركزت مراجعات حديثة على إمكاناتها في عمليات البسترة/التعقيم وتقليل الضرر الحراري مقارنة بالمعاملات التقليدية .كما أظهرت دراسات حديثةعلى بروتين البازلاء أن التسخين الأُومي قادر على إحداث تغيّرات بنيوية يمكن التحكم بها(مثل الحد من التكتل وتعديل الخصائص الوظيفية)عند تطبيقه بزمن أقصر، ما يدعم منطق دمجه ضمن مسارات معالجة تستهدف الحفاظ على جودة المكوّنات البروتينية.

(Alkanan et al., 2021; Astráin-Redín et al., 2024; Avelar et al., 2024; Avelar et al., 2026).

تدعم دراسات تطبيقية حديثة هذا التوجه؛ إذ أظهرت دراسة مقارنة على رحيق الفراولة باستخدام تجهيزات على مقياس نصف صناعي أن التسخين الأُومي أدى إلى المحافظة على حمض الأسكوربيك بمقدار ٩٠ % ، مع بقاء أغلب فيتامينات B دون تغيرات كبيرة، بينما سُجِّلت أعلى خسارة بانخفاض الريبوفلافين بنسبة 34% في عينات التسخين الأُومي، وباحتفاظ لوني متقارب بين التقانات المقارنة.(Zia et al., 2025) .

وبالمثل، بينت دراسة على لبّ الجوافة الحمراء أن التسخين الأُومي حقق كفاءة حرارية وسطية بلغت 40.93%مقارنة بـ 2.62% للتسخين التقليدي في الحمام المائي تحت شروط معالجة متماثلة، مع عدم حدوث تغيرات لونية معنوية إجمالاً، واتباع تدهور حمض الأسكوربيك حركية من الدرجة الأولى في كلا النمطين . (Giuliangeli et al., 2023).

«ضمن مفهوم» تقانات الحواجز(Hurdle technology) ، يمكن رفع ثبات جودة الأغذية عبر الجمع بين معاملات تقلل النشاط المائي وتعدل الوسط(مثل الملح والسكريات والأحماض العضوية)مع إضافات طبيعية ذات نشاط مضاد للأكسدة/الميكروبات .تحيث يتم اضاف المستخلصات النباتية (مثل الكحولية أو المائية) إلى االمواد الغذائية المعلبة لتحسين النكهة، زيادة القيمة الغذائية، وتعزيز الحفظ الطبيعي بفضل خصائصها المضادة للميكروبات والأكسدة، وتعد مخلفات البقوليات—ومنها قشور/قرون البازلاء—مصدراً غنيّاً بالبوليفينولات؛ وقد بينت دراسات حديثة وجود مركبات مثل 5-caffeoylquinic acid و catechin-(+) و epicatechinو hesperidinو rutinبتراكيز قابلة للاستخلاص بالماء، مع تسجيل نشاطات مضادة للأكسدة والميكروبات لمستخلصات هذه المخلفات، ما يدعم توظيفها كمضاف وظيفي في المنتجات المعلبة.

(Castaldo et al., 2022; Belghith-Fendri et al., 2022; Nartea et al., 2023; Veskovíc, 2025).

أظهرت الدراسات خلال تقييم الأنشطة المضادة للميكروبات فعالية مستخلص قشور البازلاء في تثبيط نشاط بكتريا E. coli وبالتالي يمكن استخدامها كمضافات في الصناعات الغذائية ،كما أشارت الدراسات إلى فعالية قشور البازلاء الخضراء في تثبيط تآكل الفولاذ للمعلبات في درجات حرارة مختلفة. ونظراً لوجود صبغات الكلوروفيل في مستخلص قشور البازلاء يفترض إمكانية فعاليته في المساهمة بالحفاظ على اللون المرغوب لحبوب البازلاء عند اضافته إلى محلول التعبئة بنسب محددة ومدروسة (verma et al,2009).

2-أهمية البحث و أهدافه:

تواجه عملية تعليب البازلاء التقليدية تحديات رئيسية تتعلق بفقدان اللون الأخضر الزاهي، انخفاض القيمة الغذائية خاصة فيتامين C والثيامين و السكريات نتيجة المعاملة الحرارية في التعقيم و مدة التعقيم لأنه هنالك احتمالية كبيرة لتلوثها في حال عدم التعقيم الحراري الجيد، لذلك تتأثر خواص الجودة الكيميائية و الفيزيائية نتيجة هذه المعاملة ، مما يؤثر سلبا على خواصها أيضا خلال التخزين.

لذك أهمية هذا البحث تنطلق من استحدام تقنيات جديدة في التعقيم (الأومي) و كذلك استخدام مستخلص قشور البازلاء كمادة حافظة طبيعية إضافة الى الاحماض العضوية ، و دراسة تأثير ذلك على البازلاء المعلبة خلال فترة التخزين.

أهداف البحث:

١-الحصول على مستخلص قشور البازلاء .

٢-تقييم أثر تطبيق نظام الحواجز(أحماض عضوية /مستخلص قشور البازلاء)في تحسين ثبات بعض المؤشرات الكيميائية أثناء التخزين.

٣-دراسة استبدال التعقيم التقليدي (التجاري) بالتعقيم الأومي على الخصائص المدروسة .

٤-تحديد المعاملة المثلى لكل مؤشر اعتماداً على أعلى احتفاظ/أقل تغير، مما يساهم في تحسين عمليات التعليب مع المحافظة على القيمة الغذائية قدر الإمكان.

3-مواد البحث وطرائقه:

تم الحصول على عينات البازلاء الخضراء عند مرحلة النضج التكنولوجي من مزارع سهل الغاب خلال موسم2022 ، ثم جرى غسلها وفرزها وتدريجها قبل تطبيق معاملات النقع/السلق والتعبئة.

تهدف عملية النقع الى تحسين تجانس الحبوب والصفات الحسية وزيادة الناقلية الكهربائية ،تمت عملية النقع بمحلول التعبئة نفسة، لمدة ١٢ ساعة على درجة حرارة ٣٠ م.

اختير الصنف Onward لكونه من أصناف الحبوب الصغيرة و المتوسطة الملائمة للتعبئة والتعليب؛ إذ يبلغ طول القرنة نحو 89 مم وبمعدل 7 حبوب/قرنة، مع حجم حبة متوسط ذات ملمس ناعم و لون أخضر زاهي ، ما يساعد على تعبئة متجانسة وتحكم أفضل بتوزع الحرارة داخل العبوة (PGG Wrightson Seeds, 2024). وتُظهر بيانات Food Data Central انها من الاصناف الملائمة للتعليب من حيث المعاملة الجرارية و توازن الطعم والقوام.(USDA, 2026) .

تبين من التجارب الأولية عدم ملائمة الأصناف الاخرى لعمليات التعليب من حيث لون الحبوب الغامق وحجمها غير المتناسق، لذلك تم استبعادها من هذه الدراسة.

أن التحقق الميكروبي لسلامة الغذاء يبقى شرطاً قبل تعميم أي خفض في شدة التعقيم على المستوى الصناعي.و بينت التطبيقات العملية ان زمن التعقيم على درجة حرارة ١٢١ م لمدة تتراوح بين ٣-٥ دقائق بالتسخين بالمعالجة الأومية كان كافي للقضاء على كافة البكتريا المتبووغة المسببة للفساد و التسمم (Giannakourou & Taoukis, 2021; Asträin-Redín et al., 2024).

تحضير مستخلص قشور البازلاء:

جُمعت قشور/قرون البازلاء الناتجة عن عمليات التقشير، وغُسلت ثم جُففت في فرن هوائي عند°45 م حتى ثبات الوزن، وطُحنت للحصول على مسحوق ناعم .حُضّر المستخلص المائي بإضافة المسحوق إلى ماء مقطر بنسبة (1:10) وزن/حجم، ثم الاستخلاص عند°60 م لمدة ساعتين مع التحريك، تلاه الترشيح وجمع الراشح وحفظه مبرداً(4°) م لحين الاستخدام .أُضيف المستخلص إلى محلول التعبئة بنسبة (v/v) 20% وفق ما هو مبين في جدول(1)

(Castaldo et al., 2022; Belghith-Fendri et al., 2022).

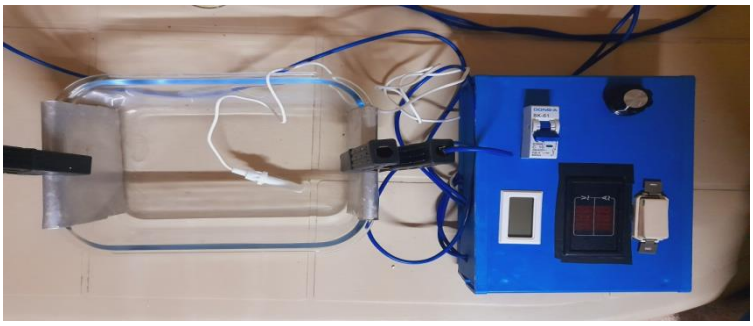
ولتوضيح الطبيعة الكيميائية لهذا المستخلص، تشير الدراسات الحديثة على المستخلصات المائية لقرون البازلاء إلى غناها بالبوليفينولات؛ حيث كانت 5-caffeoylquinic acid و epicatechinو hesperidinمن أكثر المركبات وفرة بمتوسطات تقارب 59.87 و 29.46و 19.94ملمغ/١٠٠غ على التوالي، إضافة إلى مركبات مثل catechin-(+) و rutinوغيرها .كما سُجلت قيم مرتفعة للمحتوى الفينولي الكلي في المستخلصات المائية مثل (8.80 ± 100.48 ملغ مكافئ حمض غاليك/غ مستخلص في إحدى الدراسات)،وهو ما يدعم تفسير دورها كمضادات أكسدة وقدراتها المحتملة كمضادات ميكروبية (Castaldo et al., 2022; Belghith-Fendri et al., 2022).

اختير مستخلص قشور البازلاء لسببين مترابطين **أولاً** :بوصفه مساراً لتثمين ناتج جانبي زراعي/صناعي قابل للاستخدام الغذائي، **وثانياً** :لكونه غنيّاً بمركبات فينولية وحموض فينولية وفلافونويدات قادرة على منح

تأثيرات مضادة للأكسدة وقد تسهم في كبح التغيرات غير المرغوبة أثناء التعقيم والتخزين .وتشير الأدبيات الحديثة إلى أن الفعالية الحافظة للمستخلصات النباتية تعتمد على الجرعة (dose–dependent) وعلى طبيعة الوسط الغذائي، وأن تطوير مسارات حواجز فعالة يتطلب الموازنة بين جرعة كافية من المركبات الفعالة وبين المتطلبات التكنولوجية(قابلية التعبئة، عدم زيادة اللزوجة للمنتج).وبناءً على ذلك، تم اعتماد نسبة إدراج 20% (v/v)من المستخلص المائي في محلول التعبئة بوصفها نسبة عملية ضمن نطاقات الاضافة الموصى بها لإضافة مستخلصات مشتقة من مخلفات البقوليات في التصنيع الغذائي و لاسيما في حفظ الاغذية المعلبة.

(Castaldo et al., 2022; Belghith–Fendri et al., 2022; Nartea et al., 2023; Veskovíc, 2025).

حيث استخدم جهاز تسخين أُومي محلي الصنع مزود بأقطاب من الستانلس ستيل (Stainless steel) ومصدر قدرة بجهد 220 فولت وتردد 60–50 هرتز، مع حوض زجاجي وتجهيزات للتحكم في شدة التيار وقياس درجات الحرارة والموصلية الكهربائية أثناء المعاملة، بما ينسجم مع المبادئ التشغيلية لتقانات التسخين الأُومي الموصوفة في الأدبيات.(Alkanan et al., 2021; Astráin–Redín et al., 2024) .



الشكل(١). جهاز أُومي محلي الصنع مزود بأقطاب معدنية غير قابلة للصدأ (Stainless steel).

ينعكس خفض زمن التعقيم والتسخين الحجمي السريع في المعاملات الأُومية على تقليل تحلل المركبات الحساسة للحرارة والأكسدة(خصوصاً فيتامين**C**) ،لذلك تُفسَّر الفروق في النتائج اللاحقة جزئياً على أساس اختلاف الحمل الحراري الكلي.(Astráin–Redín et al., 2024)

تصميم المعاملات :

صُمِّمت المعاملات المدروسة وفق الجدول (١) بصورة تدريجية لإظهار أثر كل خطوة من إضافة الاحماض العضوية و مستخلص قشور البازلاء و كذلك تطبيق التعقيم الأومي وفق التالي:

T1 : شاهد (معاملة تقليدية) بدون إضافة

T2 : و هي **T1** مضاف إليها الاحماض العضوية

T3: و هي **T2** مضاف إليها المستخلص المائي لقشور البازلاء

T4: وهي **T1** تعقيم أومي بدل التعقيم التقليدي

T5: وهي **T2** تعقيم أومي بدل التعقيم التقليدي

T6: وهي **T3** تعقيم أومي بدل التعقيم التقليدي

جدول (1):توصيف معاملات التحضير والتعبئة والمعالجة الحرارية المستخدمة في دراسة البازلاء المعلبة

المعاملة	T 1	T2	T3	T4	T5	T6
ملح(% w/v)	3	3	3	3	3	3
سكر (% w/v)	2	2	2	2	2	2
حمض الأسكوربيك**(% w/v)**	0	0.5	0.5	٠	0.5	0.5
حمض الستريك**(% w/v)**	0	0.5	0.5	٠	0.5	0.5
مستخلص قشور البازلاء **%(v/v)**	0	0	20	0	0	20
السلق (٨٥م- لمدة ٣د)	تقليدي	تقليدي	تقليدي	تقليدي	تقليدي	تقليدي
التعقيم(°121م)	تقليدي	تقليدي	تقليدي	أومي	أومي	أُومي
زمن التعقيم(دقيقة)	20	20	20	5	5	5

المصدر: من إعداد الباحث بناءً على بيانات البحث.

حُفظت العبوات عند درجة حرارة الغرفة لمدة 12 شهراً .أُجريت التحاليل مباشرة بعد انتهاء المعاملة الحرارية والتبريد زمن(0 شهر، ثم بعد 3 و 6 و 9 و 12شهراً)من التخزين .قُدِّمت النتائج على شكل متوسط ±انحراف معياري لثلاث مكررات تحليلية مستقلة.(n=3)

٤-طرائق التحليل:

دراسة التركيب الكيميائي:

تقدير الرطوبة :قُدِّرت الرطوبة (%) بتجفيف عينة ممثلة في فرن هوائي عند°105 م حتى ثبات الوزن، ثم حساب نسبة الفقد الوزني.(AOAC International, 2023) .

تقدير السكريات الكلية :استُخلصت السكريات من العينة ثم قُدِّرت لونيّاً باستخدام كاشف الأنثرون/حمض الكبريتيك وقياس الامتصاصية عند 620 نانومتر، مع إنشاء منحني معايرة باستخدام الغلوكوز.

(Yemm & Willis, 1954).

تقدير السكريات المختزلة :قُدِّرت السكريات المختزلة باستخدام كاشف حمض-3,5 ثنائي نيترو ساليسيليك (DNS) وقياس الامتصاصية عادة عند 540 نانومتر والتعبير عن النتائج كمكافئ غلوكوز.

(Miller, 1959).

تقدير فيتامينC :استُخلص حمض الأسكوربيك من العينة بمحلول استخلاص حامضي، ثم قُدِّر بالمعايرة بصبغة-2,6 ثنائي كلوروفينول-إندوفينول (DCPIP) وتعبير النتائج بوحدة مغ/١٠٠غ.

(AOAC International, 2023).

تقدير الأحماض الأمينية :حُللت الأحماض الأمينية بعد إجراء التحليل المائي الحمضي للعينة (6N HClعند°110 م لمدة 24 ساعة)،ثم الترشيح والتبخير وإعادة الإذابة قبل الحقن على جهاز محلل الأحماض الأمينية (Amino Acid Analyzer) ومعايرة الجهاز بمحاليل قياسية AOAC) . International, 2023).

مكان البحث :تم تنفيذ التجارب في مخابر جامعة اللاذقية، مخابر مرفأ اللاذقية، هيئة التقانة الحيوية.

4-النتائج والمناقشة:

4-1-الرطوبة:

يعتبر متوسط نسبة الرطوبة (%) في عينات البازلاء المعلّبة في العينات المختلفة خلال التخزين، من المؤشرات الهامة التي تعبرعن استقرار النسيج والتوازن الرطوبي أثناء التخزين .

تُظهر بيانات الجدول (2) أن نسبة الرطوبة انخفضت تدريجياً مع تقدم التخزين في جميع المعاملات خلال 12 شهراً، وبمقدار محدود تراوح بين 1.7–1.6 نقطة مئوية .فعلى سبيل المثال انخفضت الرطوبة في الشاهد T1 من 76.5±0.4% عند بداية التخزين إلى 74.8±0.4% بعد 12 شهراً، في حين انخفضت في T6من 75.2±0.3% إلى 73.6±0.3% خلال الفترة نفسها .ويُعزى هذا الانخفاض المحدود إلى إعادة توزيع الماء وارتباطه بالمواد الصلبة الذائبة داخل النسيج أثناء التخزين، فضلاً عن مساهمة مكونات محلول التعبئة (ملح/سكر/أحماض/مستخلص) في خفض جزء من الماء الحر ضمن العبوة

جدول رقم (2) :تأثير المعاملات المختلفة على نسبة الرطوبة (%) في عينات البازلاء المعلّبة خلال التخزين.

فترةالتخزين (شهر)	المعاملة**T1** (%)	المعاملة**T2** (%)	المعاملة**T3** (%)	المعاملة**T4** (%)	المعاملة**T5** (%)	المعاملة**T6** (%)
0	76.5 ± 0.4	76.2 ± 0.4	76.0 ± 0.3	75.6 ± 0.3	75.4 ± 0.3	75.2 ± 0.3
3	76.1 ± 0.4	75.9 ± 0.4	75.6 ± 0.3	75.3 ± 0.3	75.1 ± 0.3	74.9 ± 0.3
6	75.7 ± 0.4	75.4 ± 0.4	75.2 ± 0.3	74.9 ± 0.3	74.7 ± 0.3	74.5 ± 0.3
9	75.3 ± 0.4	75.0 ± 0.4	74.8 ± 0.3	74.5 ± 0.3	74.3 ± 0.3	74.1 ± 0.3
12	74.8 ± 0.4	74.5 ± 0.4	74.3 ± 0.3	74.0 ± 0.3	73.8 ± 0.3	73.6 ± 0.3

المصدر: من إعداد الباحث بناءً على بيانات البحث.

يُلاحظ أن المعاملات التي تضمنت إضافة الاحماض و مستخلص الفشور اعطت قيماً أقل نسبياً للرطوبة مقارنةً بالشاهد ،وهو ما ينسجم مع التأثير الأسموزي وارتفاع المواد الصلبة الذائبة الذي يقلل الماء الحر .كما أن إدراج مستخلص قشور البازلاء ساهم في خفض جزء من الماء الحر عبر زيادة المواد الصلبة الذائبة كون

المستخلص غني بالألياف/البوليفينولات .أما معاملات التعقيم الاومي فقد تميزت بسرعة و تجانس التعقيم مع خفض زمن التعقيم، وهو ما يرجّح تقليل التخريب البنيوي للجدران الخلوية وتقليل فقد الماء المرتبط بتدهور النسيج مقارنةً بالمعاملات التقليدية ذات التعقيم الأطول (Astráin-Redín et al., 2024; Castaldo et al., 2022).

-2-4-حمض الاسكوربيك:

يمكن الاعتماد على تغير قيم فيتامين C (ملغ/١٠٠غ) بوصفه أكثر المؤشرات حساسية للحرارة والأكسدة، وبالتالي أكثرها قدرة على تمييز أثر الشدة الحرارية والمضافات.

يبيّن الجدول (3) حدوث انخفاض واضح في محتوى فيتامين C مع تقدم التخزين في جميع المعاملات، وهو نمط متوقع نظراً لحساسية حمض الأسكوربيك للأكسدة والتفكك الحراري .فقد انخفضت قيمة فيتامين C في الشاهد T1 من 0.3±21.2 ملغ/١٠٠غ عند 0 شهر إلى 0.3±13.2 ملغ/١٠٠غ بعد 12 شهراً، بينما كان الانخفاض أبطأ في المعاملات المتدرجة من حيث اضافة الاحماض العضوية و مستخلص قشور البازلاء إذ بلغت القيمة في T2 مقدار 0.3±14.8 ملغ/١٠٠غ بعد 12 شهراً، وارتفعت إلى 0.3±15.1 ملغ/١٠٠غ في T3عند إدراج مستخلص قشور البازلاء،كما ارتفعت إلى(0.3±19.6 0.3±20.2 و 0.3±20.6)ملغ/١٠٠غ في المعاملات T6,T5.T4على التوالي عند تطبيق التعقيم الأومي مع خفض زمن التعقيم ، حيث انخفض زمن التعقيم الى ٥ دقائق.

جدول رقم (3) :تأثير المعاملات المختلفة على محتوى فيتامين C (ملغ/١٠٠غ)في عينات البازلاء المعلّبة خلال التخزين.

فترة التخزين (شهر)	المعاملة**T1** ملغ/١٠٠غ	المعاملة**T2** ملغ/١٠٠غ	المعاملة**T3** ملغ/١٠٠غ	المعاملة**T4** ملغ/١٠٠غ	المعاملة**T5** ملغ/١٠٠غ	المعاملة**T6** ملغ/١٠٠غ
0	21.2 ± 0.3	22.4 ± 0.4	22.6 ± 0.4	25.8 ± 0.4	26.1 ± 0.4	26.5 ± 0.3
3	19.1 ± 0.3	20.2 ± 0.4	20.6 ± 0.3	24.3 ± 0.4	24.8 ± 0.3	25.1 ± 0.3
6	17.0 ± 0.3	18.3 ± 0.3	18.7 ± 0.3	22.9 ± 0.4	23.4 ± 0.3	23.7 ± 0.3
9	15.0 ± 0.3	16.4 ± 0.3	16.8 ± 0.3	21.2 ± 0.4	21.8 ± 0.3	22.1 ± 0.3
12	13.2 ± 0.3	14.8 ± 0.3	15.1 ± 0.3	19.6 ± 0.3	20.2 ± 0.3	20.6 ± 0.3

توضح المقارنات المتسلسلة أن تأثير الحواجز ليس متساوياً بين المعاملات بالنسبة الى محتوى و استقرار فتامين C و حيث كان الأثر الأكبر في هذه السلسلة عند إدراج مستخلص قشور البازلاء مع التعقيم الاومي؛ إذ بلغت قيمة فيتامين C في بداية التخزين 0.3±26.5 ملغ/١٠٠غ وهي أكبر قيمة بالمقارنة مع باقي المعاملات ويُعزى ذلك إلى الطبيعة المضادة للأكسدة للمستخلص وما يوفره من بوليفينولات و فتامينات (A.C,B)قادرة على كبح الأكسدة .تطبيق التعقيم الاومي وخفض زمن التعقيم إلى ٥ دقائق حسّن الثبات و المحافظة على قيم فتامين C ،اذ بلغت القيمة بعد نهاية التخزين (0.3±20.6) ملغ/١٠٠غ ، وهو ما يشير إلى أن تقليل الحمل الحراري وتحسين التجانس الحراري يُكملان أثر المواد المضافة .

(Giannakourou & Taoukis, 2021; Astráin-Redín et al., 2024; Castaldo et al., 2022).

يدعم تفسير تأثير مستخلص قشور البازلاء ما وثقته الأدبيات الحديثة من غنى مستخلصات قشور/قرون البازلاء بالبوليفينولات) مثل (5-caffeoylquinic acid و epicatechinو hesperidinوغيرها)وسعة نشاطها المضاد للأكسدة؛ إذ تعمل هذه المركبات كمصائد للجذور الحرة وكمانحات للهيدروجين، وقد تسهم أيضاً في خلب أيونات المعادن الانتقالية التي تحفز أكسدة حمض الأسكوربيك .كما أن خفض Ph بإضافة حمض الستريك يعزز ثبات فيتامين C في الوسط الغذائي .

(Belghith-Fendri et al., 2022; Castaldo et al., 2022; Veskovíc, 2025; Giannakourou & Taoukis, 2021).

وبناءً على أعلى محتوى لفيتامين C في نهاية التخزين وأعلى استقرار عبر جميع الأزمنة، تُعد المعاملة T6الأفضل لهذا المؤشر.

3-4 السكريات:

يوضح الجدول (4) أثر المعاملات المختلفة على محتوى السكريات الكلية(غ/١٠٠غ)خلال التخزين حتى 12 شهراً، بما يسمح بتقدير مقدار الفقد عبر الزمن ومقارنة فعالية المعاملات في الحفاظ على السكريات الذائبة .

تبين النتائج انخفاض تدريجي في السكريات الكلية مع تقدم التخزين لدى جميع المعاملات .انخفضت السكريات الكلية في المعاملةT1 من 6.4±0.10 غ/١٠٠غ عند 0 شهر إلى 5.77±0.08 غ/١٠٠غ بعد 12 شهراً فقد 0.63 غ/١٠٠غ، بينما أدى إدراج مستخلص قشور البازلاء في T3 زيادة إضافية في القيم لتصل إلى 5.88±0.08غ/١٠٠غ في كما حققت المعاملة T6التسخين الأومي مع خفض زمن التعقيم، أعلى قيمة نهائية بين هذه المجموعو 6.51±0.08غ/١٠٠غ.

جدول رقم (4) :تأثير المعاملات المختلفة على محتوى السكريات الكلية(غ/١٠٠غ)في عينات البازلاء المعلّبة خلال التخزين.

فترة التخزين (شهر)	المعاملة**T1** غ/١٠٠غ	المعاملة**T2** غ/١٠٠غ	المعاملة**T3** غ/١٠٠غ	المعاملة**T4** غ/١٠٠غ	المعاملة**T5** غ/١٠٠غ	المعاملة**T6** غ/١٠٠غ
0	6.40 ± 0.10	6.47 ± 0.09	6.51 ± 0.10	6.78 ± 0.11	6.83 ± 0.10	6.87 ± 0.10
3	6.30 ± 0.10	6.35 ± 0.09	6.40 ± 0.09	6.70 ± 0.10	6.76 ± 0.09	6.81 ± 0.09
6	6.15 ± 0.09	6.20 ± 0.09	6.27 ± 0.08	6.59 ± 0.09	6.66 ± 0.08	6.73 ± 0.08
9	5.98 ± 0.09	6.03 ± 0.08	6.08 ± 0.08	6.47 ± 0.09	6.55 ± 0.08	6.61 ± 0.08
12	5.77 ± 0.08	5.83 ± 0.08	5.88 ± 0.08	6.38 ± 0.09	6.45 ± 0.08	6.51 ± 0.08

يُفسَّر الانخفاض أثناء التخزين بحدوث تحولات تدريجية في السكريات وبمساهمة تفاعل ميلارد في استهلاك جزء من السكريات المختزلة، إذ تتفاعل المجموعات الكربونيلية للسكريات مع المجموعات الأمينية الحرة

لتكوين نواتج وسيطة ونهائية قد تؤثر في القيمة الغذائية .كما يمكن أن تزيد الشدة الحرارية والزمن الأطول من انتقال السكريات الذائبة إلى السائل المرافق أو من تفككها.(Kathuria et al., 2023) .

تتفق النتائج مع الدراسات التي أوضحت أن السكريات الكلية في البازلاء تنخفض تدريجيًا أثناء التخزين نتيجة التحلل الحراري للسكروز. كما أكد ن مضادات الأكسدة الطبيعية تُبطئ أكسدة الكربوهيدرات، إضافة إلى أن التحكم بالحرارة أثناء التعليب يحافظ على السكريات القابلة للذوبان ويحسن الطعم دون زيادة الفقد.

(Lisiewska et al.,2008 ، Słupski,٢٠١٠ ، Margier et al.,2018، Nosworthy .,2017 et al)

وبما أن نسبة السكر المضاف كانت ثابتة في (w/v %) وفق جدول(1) ، فإن الفروق بين هذه المعاملات تُعزى أساساً إلى مساهمة مستخلص قشور البازلاء في زيادة المواد الصلبة الذائبة، وإلى خفض الحمل الحراري فيT4–T5–T6 وبالاعتماد على أقل فقد وأعلى قيمة نهائية بعد 12 شهراً ضمن المعاملات ذات الصيغة المتقاربة، كانتT6 الأفضل لهذا المؤشر (6.51±0.08) غ/١٠٠غ.

4-4-السكريات المختزلة:

يوضح الجدول (5) التغير في محتوى السكريات المختزلة(غ/١٠٠غ وزن طازج)خلال فترات التخزين(0،3 ،6 ،9 ، 12) شهر للمعاملات السبع، بوصفها مؤشراً لتحولات الكربوهيدرات واحتمال حدوث تفاعل ميلارد.

تُظهر النتائج تغيراً محدوداً في السكريات المختزلة خلال التخزين مع اتجاه ثنائي الطور(ارتفاع طفيف حتى 6 أشهر ثم استقرار/انخفاض بسيط حتى 12 شهراً). فعلى سبيل المثال ارتفعت السكريات المختزلة في T1من 1.20±0.03 غ/١٠٠غ عند 0 شهر إلى 1.27±0.03 غ/١٠٠غ عند 6 أشهر ثم انخفضت إلى 1.22±0.03غ/١٠٠غ بعد 12 شهراً .وبمستويات أعلى، بلغت القيم بعد 12 شهراً و1.33±0.03غ/١٠٠غ في T6 ما يشير إلى أن إدراج مستخلص القشوروالتعقيم الأُومي ساعدا على المحافظة على السكريات المختزلة خلال التخزين.

جدول رقم (5) :تأثير المعاملات المختلفة على محتوى السكريات المختزلة(غ/١٠٠غ وزن طازج)في عينات البازلاء المعلّبة خلال التخزين.

فترة التخزين (شهر)	المعاملةT1 غ/١٠٠غ	المعاملةT2 غ/١٠٠غ	المعاملةT3 غ/١٠٠غ	المعاملةT4 غ/١٠٠غ	المعاملةT5 غ/١٠٠غ	المعاملةT6 غ/١٠٠غ
0	1.20 ± 0.03	1.22 ± 0.03	1.24 ± 0.03	1.30 ± 0.03	1.31 ± 0.03	1.32 ± 0.03
3	1.24 ± 0.03	1.25 ± 0.03	1.27 ± 0.03	1.33 ± 0.03	1.35 ± 0.03	1.36 ± 0.03
6	1.27 ± 0.03	1.28 ± 0.03	1.29 ± 0.03	1.34 ± 0.03	1.36 ± 0.03	1.37 ± 0.03
9	1.26 ± 0.03	1.26 ± 0.03	1.27 ± 0.03	1.33 ± 0.03	1.35 ± 0.03	1.36 ± 0.03
12	1.22 ± 0.03	1.23 ± 0.03	1.25 ± 0.03	1.31 ± 0.03	1.32 ± 0.03	1.33 ± 0.03

المصدر: من إعداد الباحث بناءً على بيانات البحث.

يمكن تفسير الزيادة الأولية بتحلل بعض السكريات الثنائية/الأوليغوسكريدات إلى سكريات أبسط بفعل الوسط الحامضي والمعاملة الحرارية، بينما يُعزى الانخفاض اللاحق جزئياً إلى استهلاك السكريات المختزلة في تفاعل ميلارد مع المكونات النيتروجينية(وخاصة الأحماض الأمينية)أثناء التخزين .ويُتوقع أن يحد الوسط الأكثر حموضة ووجود مضادات أكسدة(حمض الأسكوربيك ومركبات فينولية من مستخلص القشور)من تقدم هذا المسار، ما ينسجم مع بقاء القيم أعلى فيT5 – T6مقارنةً ب T3–T4.

(Kathuria et al., 2023; Belghith-Fendri et al., 2022; Castaldo et al., 2022).

وباعتبار أن الحفاظ على السكريات المختزلة ضمن حدود أعلى مع استقرار زمني يعكس كبحاً نسبياً لمسار الاستهلاك خلال التخزين، تُعد المعاملة T6 الأفضل لهذا المؤشر إذ حافظت على 1.33±0.03 غ/١٠٠غ بعد 12 شهراً.

(Kathuria et al., 2023).

4-5-الأحماض الأمينية:

تم تلخيص تأثير المعاملات المختلفة في محتوى الأحماض الأمينية الأساسية بعد انتهاء التخزين في الجدول(6) ، وذلك لإظهار الأثر التراكمي للحمل الحراري والمضافات على جودة البروتين(متوسط±انحراف معياري).

يبين الجدول (6) أن المعاملات أثرت في محتوى الأحماض الأمينية الأساسية بصورة واضحة بعد 12 شهراً من التخزين .سجّلت المعاملة T6 أعلى مجموع للأحماض الأمينية الأساسية (TEAA=480.9) مغ/غ وزن طازج مقارنة بالمعاملة (TEAA=436) T1 مغ/١٠٠غ .وتوضح المقارنة المتدرجة أن إدراج مستخلص قشور البازلاء في المعاملة T3 ساهم في تحسن طفيف للاحماض الامينية،وتطبيق التعقيم الأومي مع خفض زمن التعقيم في T4مقارنةًT3 رفع TEAA من 446.5 إلى 470.0 مغ/١٠٠غ زيادة 23.5 مغ/١٠٠غ (≈5.3%)، كما تفوقت T6 على T1 في معظم الأحماض الأمينية الفردية مثل الليوسين (1.7±108.0) مقابل 1.7±99.2 مغ/١٠٠غ واللايسين(1.3±92.0) مقابل 1.6±84.7 مغ/١٠٠غ.

جدول رقم(6) :تأثير المعاملات المختلفة على محتوى الأحماض الأمينية الأساسية(ملغ/١٠٠غ وزن طازج)في عينات البازلاء المعلّبة

الحمض الأميني الأساسي	المعاملة **T1** **ملغ/١٠٠**	المعاملة **T2** **ملغ/١٠٠**	المعاملة **T3** **ملغ/١٠٠**	المعاملة **T4** **ملغ/١٠٠**	المعاملة **T5** **ملغ/١٠٠**	المعاملة **T6** **ملغ/١٠٠**
ثريونين**(Thr)**	64.7 ± 1.3	66.5 ± 1.0	67.0 ± 1.2	70.3 ± 1.4	71.1 ± 1.3	72.0 ± 1.2
فالين**(Val)**	73.3 ± 1.1	74.0 ± 1.2	74.5 ± 1.0	77.8 ± 1.1	78.6 ± 1.1	79.0 ± 1.2
ميثيونين**(Met)**	18.0 ± 0.3	18.1 ± 0.3	18.3 ± 0.3	19.0 ± 0.3	19.2 ± 0.3	19.5 ± 0.3
أيزوليوسين**(Ile)**	66.2 ± 1.2	67.5 ± 1.1	67.8 ± 1.0	70.2 ± 1.1	71.0 ± 1.2	71.4 ± 1.1
ليوسين**(Leu)**	99.2 ±	100.5 ±	101.1 ±	105.8 ±	107.2 ±	108.0 ±

	1.7	1.8	1.6	1.7	1.6	1.7
فينيل ألانين(**Phe**)	72.8 ± 1.1	73.4 ± 1.1	74.0 ± 1.0	77.3 ± 1.2	78.0 ± 1.1	79.1 ± 1.2
هيستيدين(**His**)	28.1 ± 0.5	28.4 ± 0.6	28.5 ± 0.5	29.3 ± 0.6	29.6 ± 0.6	29.9 ± 0.5
لايسين(**Lys**)	84.7 ± 1.6	86.0 ± 1.4	86.3 ± 1.3	90.1 ± 1.5	91.0 ± 1.4	92.0 ± 1.3
المجموع الكلي للأحماض الأساسية(**TEAA**)	436.0	444.4	446.5	470.0	475.7	480.9

ترتبط خسارة بعض الأحماض الأمينية الحساسة، خصوصاً اللايسين، بتفاعل ميلارد مع السكريات المختزلة أثناء المعاملة الحرارية والتخزين، إضافةً إلى الأكسدة وتغير البنية البروتينية .وبما أن إدراج مستخلص قشور البازلاء زاد من سعة الوسط المضادة للأكسدة، فمن المتوقع أن يحد من الأكسدة البروتينية ويقلل من تقدم التفاعلات غير المرغوبة، وهو ما ينسجم مع ارتفاع قيم اللايسين و TEAAفي T4 مقارنة بـT3 .كما أن خفض زمن التعقيم في T4–T5–T6وتطبيق التسخين الحجمي الأُومي يُرجّح تقليل فرص التفاعل الناتج عن التعرض الحراري المطوّل، ما يدعم المحافظة على جودة البروتين.

(Kathuria et al., 2023; Castaldo et al., 2022; Belghith-Fendri et al., 2022; Astráin-Redín et al., 2024).

وبناءً على أعلى TEAA وأعلى قيم للأحماض الأمينية الأساسية المفردة، تُعد المعاملة T6 الأفضل لهذا المؤشر .وتنسجم هذه النتيجة مع ما تقترحه الأدبيات الحديثة حول بروتين البازلاء من أن التسخين الأُومي قادر على تقليل زمن التعرض الحراري وتعديل الخواص البنيوية والوظيفية للبروتين، ما قد ينعكس على الحد من التدهور التراكمي خلال التخزين.(Avelar et al., 2024; Avelar et al., 2026) .

يمكن القول إن النتائج الحالية تؤكد أن التحكم في شدة المعالجة الحرارية مع إضافة مضادات أكسدة طبيعية مثل مستخلص قشور البازلاء يُعدّ نهجاً فعالاً للحفاظ على التركيب البروتيني والأحماض الأمينية الأساسية في منتجات البقوليات المعلّبة، مما يعزز قيمتها الغذائية ويطيل مدة حفظها دون تدهور نوعي.

(Dahl et al .,٢٠٢١، Abd El-Gawad et al.,٢٠١٩ ،Goyal et al.,2022)

5-الاستنتاجات:

١-أظهر فيتامين C أعلى حساسية للتخزين؛ إذ انخفض في المعاملة T1 من 0.3±21.2 إلى 0.3±13.2مغ/١٠٠غ بعد 12 شهراً .وأظهر التصميم المتدرج أن إدراج مستخلص قشور البازلاء, والأحماض العضويةساهما في تحسّن الثبات ،وتحقق أعلى مستوى في T6 تعقيم أُومي بواقع 0.3±20.6 مغ/١٠٠غ.

٢-انخفضت السكريات الكلية تدريجياً؛ فقدت T1 نحو 0.70 غ/١٠٠غ (0.08±5.77→0.10±6.4) وكانت أعلى قيمة نهائية فيT6 (0.08±6.51) غ/١٠٠غ ، ما ينسجم مع أثر إدراج مستخلص القشور وخفض الحمل الحراري في المعاملات الأُومية.

٣-اتخذت السكريات المختزلة اتجاهاً ثنائي الطور(ارتفاع حتى 6 أشهر ثم استقرار/انخفاض بسيط) ،وبلغت القيم بعد 12 شهراً 0.03±1.22 غ/١٠٠غ في T1 مقابل 0.03±1.25 في T3 و 0.03±1.33 غ/١٠٠غ في T6، ما يشير إلى أن مستخلص قشور البازلاء ثم تطبيق االتعقيم الأُومي ساهما في المحافظة على السكريات المختزلة خلال التخزين.

٤-بعد 12 شهراً، سجلت T6 أعلى محتوى من الأحماض الأمينية الأساسية (TEAA=480.9) مغ/١٠٠غ مقارنة بـ 436مغ/١٠٠غ فيT1 . وتشير هذه النتائج إلى أن مستخلص قشور البازلاء كمصدر مضادات أكسدة وخفض زمن التعقيم عند استخدام التسخين الأُومي يحدان من التدهور التراكمي لجودة البروتين أثناء التخزين.

6-التوصيات:

١-تطبيق تقنية التعقيم الأومي و اضافة مستخلص قشور البازلاء و الاحماض العضوية في تعليب البازلاء مع الاستفادة من نتائج المعاملة T6 بوصفها مؤشراً أولياً على إمكانية خفض زمن التعقيم و المحافظة على خواص الجودة المدروسة.

٢-توسيع استخدام المضافات الطبيعية—وخاصة مستخلص قشور/قرون البازلاء—كمكونات وظيفية لتحسين ثبات العناصر الغذائية،في حفظ الاغذية بالتعليب.

٣-تقييم تطبيق تقنية التسخين الأومي على منتجات غذائية اخرى وبخاصة الغنية بالمركبات الحساسة للحرارة العالية.

-المراجع:

ABD EL-GAWAD, A. M., EL-SAADANY, S. A., MOHAMED, A. M., & ABD EL-MAGEED, S. M. 2019. *Nonessential amino acids in tropical ruminant feed: Investigating their roles in metabolism and production*. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(3), 856-867.

ALKANAN, M., GAVAHIAN, M., FARAHNAKY, A., & SASTRY, S. K. 2021. *Ohmic heating in the food industry: Developments in concepts and applications*

during 2013–2020. Applied Sciences, 11(6), 2507. https://doi.org/10.3390/app11062507.

AOAC INTERNATIONAL. 2023. *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL (22nd ed*.). Rockville, MD, USA: AOAC INTERNATIONAL.

ASTRÁIN-REDÍN, L., OSPINA, S., CEBRIÁN, G., & ÁLVAREZ-LANZAROTE, I. 2024. *Ohmic Heating Technology for Food Applications, From Ohmic Systems to Moderate Electric Fields and Pulsed Electric Fields*. Food Engineering Reviews, 16, 225–251. https://doi.org/10.1007/s12393-024-09368-4.

AVELAR, Z., SARAIVA, J. A., VICENTE, A. A., & RODRIGUES, R. M. 2024. *Unraveling the impact of ohmic heating on commercial pea protein structure*. Food Hydrocolloids, 150, 109748. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109748.

AVELAR, Z., LOUREIRO, L., LEITE, A. C., VICENTE, A. A., & RODRIGUES, R. M. 2026. *The Role of Ohmic Heating in Tailoring Pea Protein Functionality*. Gels, 12(1), 50. https://doi.org/10.3390/gels12010050.

Belghith-Fendri, L., Najar, T., Damergi, E., Baccar, N. M., Abdelmelek, H., & Ayadi, M. A. 2022. *Nutritional value, phytochemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of microwave dried revalorized pea peels*. Foods, 11(12), 1752. https://doi.org/10.3390/foods11121752.

CASTALDO, L., GRAZIANI, G., GASPARI, A., IZZO, L., & RITIENI, A. 2022. *Composition and bioactivity of pea pod (Pisum sativum L*.) extracts obtained by different extraction methods. Antioxidants, 11, 1634. https://doi.org/10.3390/antiox11081634.

ČERVENSKI, J., DANOJEVIĆ, D., & SAVIĆ, A. 2017. *Chemical composition of selected winter green pea (Pisum sativum L.) genotypes.* Journal of the Serbian Chemical Society, 82(11), 1237–1246.

DAHL, A., KUCUK, O., & SAHIN, K. 2021. *Dietary polyphenols and their role in oxidative stress-induced health conditions. Antioxidants*, 10(12), 1957.

GIANNAKOUROU, M. C., & TAOUKIS, P. S. 2021. *Effect of Alternative Preservation Steps and Storage on Vitamin C Stability in Fruit and Vegetable Products: Critical Review and Kinetic Modelling Approaches*. Foods, 10(11), 2630. https://doi.org/10.3390/foods10112630.

GIULIANGELI, V. C., STRÖHER, G. R., & SHIRAI, M. A. 2023. *Comparison of energy consumption, color, ascorbic acid and carotenoid degradation in guava (Psidium guajava) pulp during conventional and ohmic heating*. Journal of Food Science and Technology, 60, 222-232. https://doi.org/10.1007/s13197-022-05607-w.

. GOYAL, S. K., SINGH, R., & KAUR, B. P. 2022. *Effects of thermal processing and storage on available lysine and furfural compounds contents of infant formulas. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(23), 6756–6762.

KATHURIA, D., HAMID, GAUTAM, S., & THAKUR, A. 2023. *Maillard reaction in different food products: Effect on product quality, human health and mitigation strategies*. Food Control, 153, 109911.

LISIEWSKA Z, KMIECIK W, GEBCZYŃSKI P, et al. 9. *Effect of pre-freezing and culinary treatment on the content of amino acids and protein quality in green peas*. Acta Sci Pol Technol Aliment. 2008 ; 7 (1): 45-59

https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109911.

MARGIER M, GEORGÉ S, HAFNAOUI N, RAYMOND D, NOWICKI M, DU CHAFFAUT L, AMIOT MJ, REBOUL E. *Nutritional composition and bioactive content of legumes*: A comprehensive review. Nutrients. 2018 ; 10 (11): 1668.

Miller, G. L. 1959. *Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar*. Analytical Chemistry, 31(3), 426–428. https://doi.org/10.1021/ac60147a030.

NARTEA, A., KUHALSKAYA, A., FANESI, B., ORHOTOHWO, O. L., SUSEK, K., ROCCHETTI, L., DI VITTORI, V., BITOCCHI, E., PACETTI, D., & PAPA, R. 2023. *Legume byproducts as ingredients for food applications: Preparation, nutrition, bioactivity, and techno-functional properties*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 22(3), 1953–1985. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13137.

NOSWORTHY MG , TULBEK MC , HOUSE JD . *Effect of processing on the in vitro and in vivo protein quality of yellow and green split peas (Pisum sativum L.)* . J Agric Food Chem . 2017 ; 65 (21) : 4379-4386

PGG WRIGHTSON SEEDS. 2024. *Pea cultivar table: Onward*. https://www.pgwseedspeas.com/cultivators/pea-cultivar-table.html (Accessed 10 Feb 2026).

Słupski J. *Content of amino acids and the quality of protein in as - eaten green peas* . Int J Food Sci Technol . 2010 ; 45 (4) : 733–739

USDA AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. 2026. *FoodData Central: Peas, green, raw (FDC ID 170419)*. https://fdc.nal.usda.gov/food-details/170419/nutrients (Accessed 10 Feb 2026).

VERMA, N., KUMAR, V., & BANSAL, M. C. 2009. Environmental viable cellulose biosynthesis. Proceedings of International Conference on Emerging Technologies in Environmental Science and Engineering, AMU–India.

VESKOVIĆ, M. 2025. *Plant extracts as natural food preservatives: Advances, challenges, and future perspectives*. In Food Preservatives: Methods, Strategies, and Emerging Applications (pp. 1–24). Springer.

WU, D.-T., LI, W.-X., WAN, J.-J., HU, Y.-C., GAN, R.-Y., & ZOU, L. 2023. *A Comprehensive Review of Pea (Pisum sativum L.)*: Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. Foods, 12(13), 2527. https://doi.org/10.3390/foods12132527.

YEMM, E. W., & WILLIS, A. J. (1954). *The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone*. Biochemical Journal, 57, 508–514.

ZIA, H., MURRAY, H., HOFSOMMER, M., MORENO BARRETO, A., PAVON-VARGAS, D., PUZOVIC, A., GĖDAS, A., RINCON, S., GÖSSINGER, M., & SLATNAR, A. 2025. *Comparing the impact of conventional and non-conventional processing technologies on water-soluble vitamins and color in strawberry nectar - a pilot scale study*. Food Chemistry, 463(Part 1), 141078. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141078.