Effect of heat treatment and storage on the bioactive compounds and sensory properties of canned peas

Ali Deeb [*]
Dr. Ali sultaneh [**]

(Received 15 / 3 / 2026. Accepted 29 / 4 /2026)

□ ABSTRACT □

This study evaluated the impact of pre-treatments (citric and ascorbic acids, pea pod aqueous extract, and ohmic sterilization) on the quality of canned green peas during 12‑month ambient storage. Six treatments were prepared: conventional control (T1), acids (T2), acids+extract (T3), ohmic sterilization (T4), ohmic+acids (T5), and ohmic+acids+extract (T6). Total phenolics (TPC, Folin–Ciocalteu), DPPH radical-scavenging activity, total spore-formers, and hedonic sensory attributes were monitored at 0, 3, 6, 9 and 12 months. TPC decreased in all treatments; however T6 retained the highest level (273.0±4.1 to 235.5±3.5 mg GAE/100 g dry matter) compared with T1 (182.0±2.7 to 138.7±2.1). DPPH inhibition declined from 58.1% to 48.1% in T6, while T1 dropped from 41.7% to 29.3%. Spore bacteria-former counts remained below detection throughout storage. Ohmic heating-based treatments better preserved color, aroma, taste and texture, with T6 showing the best acceptability after 12 months (e.g., texture 4.05±0.12 vs 3.30±0.15 for T1). The combined hurdle (ohmic + acids + pea pod extract) is recommended to enhance functional quality and sensory stability of canned peas.

Keywords: Ohmic heating; Canned green peas; Pea pod extract; Total phenolics; Sensory quality.

Copyright **:**Latakia University journal (formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

[*] **PhD Student , Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University(formerly Tishreen), Lattakia, Syria. ali.g.deeb@latakia-univ.edu.sy.**
****Professor, , Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University(formerly Tishreen), Lattakia, Syria. alisultaneh@latakia-unvi.edu.sy**

تأثير المعاملات الحرارية والتخزين على المركبات الفعالة حيوياً والخصائص الحسية للبازلاء المعلبة

علي ديب *

د. علي سلطانة **

(تاريخ الإيداع 15 / 3 / 2026. قبل للنشر في 29 / 4 / 2026)

ملخّص

هدفت الدراسة إلى تقييم أثر بعض المعاملات الأولية (إضافة حمض الليمون وحمض الأسكوربيك، وإدراج المستخلص المائي لقشور/قرون البازلاء، والتعقيم بالتسخين الأُومي) في ثبات جودة البازلاء الخضراء المعلّبة خلال 12 شهراً من التخزين بدرجة حرارة الغرفة. نُفذت ست معاملات: شاهد تقليدي (T1)، أحماض عضوية (T2)، أحماض+مستخلص (T3)، تعقيم أُومي (T4)، أُومي+أحماض (T5)، وأُومي+أحماض+مستخلص (T6). قيس المحتوى الفينولي الكلي (TPC) ونشاط مضادات الأكسدة بطريقة DPPH والتعداد الكلي للبكتيريا المتبوغة إضافة إلى التقييم الحسي (اللون، الرائحة، الطعم، القوام) عند 0 و3 و6 و9 و12 شهراً. انخفض TPC في جميع المعاملات، إلا أن 6T حققت أعلى احتفاظ (273.0±4.1 إلى 235.5±3.5 mg GAE/100g مادة جافة) مقارنة بالشاهد (182.0± 2.7 إلى138.7± 2.1). كما تراجعت فعالية DPPH في T6 من 58.1% إلى 48.1% مقابل 41.7% إلى 29.3% في T1. بقي تعداد البكتيريا المتبوغة دون حد الكشف طوال التخزين، ما يؤكد سلامة المنتج. أظهرت معاملات التسخين الأُومي، ولاسيما T6، تفوقاً حسياً حتى نهاية التخزين (قوام 4.05±0.12 مقابل3.30±0.15في T1). توصي الدراسة باعتماد الحواجز المشتركة لتحسين الجودة الوظيفية والثبات الحسي.

الكلمات المفتاحية: التسخين الأُومي؛ البازلاء الخضراء المعلبة؛ مستخلص قرون/قشور البازلاء؛ الفينولات الكلية؛ التقييم الحسي.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **طالب دكتوراه، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية(تشرين سابقاً) ، اللاذقية، سوريا.** ali.g.deeb@latakia-univ.edu.sy

** **أستاذ ، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية(تشرين سابقاً) ، اللاذقية، سوريا.** alisultane@latakia-unvi.edu.sy

مقدمة:

تُعد البازلاء الخضراء (*Pisum sativum L.*) من أهم البقوليات الغذائية لما تجمعه من بروتين نباتي وألياف ومواد معدنية وفيتامينات، كما تُستهلك على نطاق واسع طازجة أو مجمّدة أو مُعلّبة، ويولّد تصنيعها كميات كبيرة من القرون/القشور كنواتج جانبية يمكن تثمينها بوصفها مصدراً لألياف ومركبات فينولية فعالة حيوياً [1].

في المقابل، تُعَدّ الخضروات المعلّبة من المنتجات منخفضة الحموضة، ما يفرض معالجة حرارية كافية لتحقيق «التعقيم التجاري» في عبوات محكمة الغلق وضمان منع نمو الممرضات وتلف المنتج، خصوصاً الأحياء المتبوغة المقاومة للحرارة [2]. إلا أن زيادة «الحمل الحراري» (درجة الحرارة×الزمن) في عمليات السلق والتعقيم التقليدية قد تسرّع فقد اللون الأخضر نتيجة تحوّل الكلوروفيل إلى فيوفايتين تحت تأثير الحموضة والحرارة، وتزيد من طراوة الحبوب بسبب تغيرات البكتين وجدار الخلية [3].

يبرز التسخين الأُومي (Ohmic heating) كتقانة تسخين حجمي تعتمد على تحويل الطاقة الكهربائية إلى حرارية داخل الغذاء نفسه (تأثير جول)، ما يحقق معدلات تسخين أعلى وتجانساً أفضل مقارنة بالتسخين التقليدي، مع إمكان تقليل فرط المعاملة السطحية واستهلاك الطاقة [4]. وتشير مراجعات حديثة إلى أن تحسين التجانس وتقليص زمن الوصول لدرجة التعقيم يمكن أن يخفض الفاقد في المركبات الحساسة للحرارة، مع الحفاظ على مستوى أمان ميكروبي مماثل عند ضبط شدة الحقل الكهربائي وتردد التيار وموصلية الوسط [5].

إلى جانب التقانات الحرارية، تتجه الصناعات الغذائية إلى استراتيجيات «الحواجز المتعددة» التي تدمج عوامل فيزيائية وكيميائية ومكونات طبيعية مضادة للأكسدة/الميكروبات لتقليل شدة التعقيم مع الحفاظ على السلامة والجودة [2،3]. وتُعد قرون البازلاء مصدراً واعداً لمركبات مثل أحماض الفينول والفلافونويدات (مثل chlorogenic acid وcatechins وesperidinh)، وقد أظهرت مستخلصاتها المائية محتوىً عالياً من الفينولات ونشاطاً مضاداً للأكسدة وفعالية مثبطة لبعض الجراثيم، ما يدعم توظيفها كمضاف وظيفي أو كمكوّن في محلول التعبئة [1،6].

على الرغم من توافر أبحاث واسعة حول التسخين الأُومي وحول مستخلصات المخلفات النباتية، ما تزال الدراسات التي تقيم الأثر التآزري لدمج التعقيم الأُومي مع تعديل الحموضة وإضافة مستخلص قرون البازلاء في منتج منخفض الحموضة مثل البازلاء المعلبة خلال التخزين الطويل محدودة [4،6].

انطلاقاً مما سبق، تبرز فجوة بحثية تتمثل في تقييم الأثر التكاملي لاستخدام مستخلص قرون/قشور البازلاء كمادة حافظة طبيعية ضمن منظومة التعليب، مع مقارنة التعقيم الأُومي بالتعقيم التقليدي، على مؤشرات الجودة ،لذلك تهدف هذه الدراسة إلى مقارنة معاملات تقليدية وأُومية مع/بدون أحماض عضوية وحمض أسكوربيك ومع/بدون مستخلص قرون البازلاء، وتحديد تأثيرها في ثبات المركبات الفينولية والقدرة المضادة للأكسدة، والسلامة الميكروبية، والقبول الحسي خلال 12 شهراً من التخزين.

الدراسة المرجعية:

أن التعقيم الحراري التقليدي داخل العبوة يضمن ثبات المنتج في درجة حرارة الغرفة، إلا أن الوصول إلى مستوى الإبادة الميكروبية المطلوب يرتبط غالباً بعبء حراري مرتفع ينعكس سلباً على جودة الخضروات المعلّبة، و هذا يؤثر على احتفاظ الأغذية النباتية بمركباتها الحيوية (الفيتامينات، والمواد الفينولية، ومضادات الأكسدة)، كما يمكن أن يعزز انتقال جزء من هذه المركبات إلى محلول التعبئة (المحلول الملحي/المنقوع) أثناء المعالجة الحرارّية [7].

يوصي العديد من الباحثين بتبني مقاربات «الحواجز» التي تسمح بتخفيض الشدة الحرارية مع الحفاظ على السلامة والجودة الغذائية [8،7].

تزايد الاهتمام بالمستخلصات النباتية الطبيعية والمركبات الفينولية النباتية بوصفها بدائل أو مكملات للمحفّظات التقليدية [10،9]. ترتكز فعالية المستخلصات النباتية على آليات متعددة تشمل تثبيط الأكسدة، وإحداث اضطراب في نفاذية الأغشية الخلوية للجراثيم، وتعطيل بعض المسارات الأنزيمية؛ إلا أن تطبيقها العملي يتطلب مراعاة ثباتها أثناء المعالجة الحرارية، وتأثيرها الحسي، وإمكانية توحيد تركيبها الكيميائي بين الدُفعات [9–11].

تُعد نواتج تصنيع البازلاء –وخاصة القرون/القشور– مصدراً واعداً للمركبات الفعالة حيوياً في إطار الاقتصاد الدائري وتثمين المخلفات الزراعية–الغذائية [1]. فقد بيّنت تحاليل المستخلصات المائية/القطبية لقرون البازلاء وجود طيف غني من الأحماض الفينولية والفلافونويدات، مع بروز 5–o–caffeoylquinic acid (chlorogenic acid) و epicatechin و hesperidin بين المركبات الأكثر تمثيلاً [12]. كما أظهرت مراجعات حديثة أن قرون البازلاء تشكل نسبة ملموسة من كتلة المحصول، وتضم إضافةً إلى الألياف معادن وسكريات وبروتينات، ما يدعم جدواها كمكوّن وظيفي أو كمصدر لمستخلصات مضادة للأكسدة/الميكروبات [1]. وتزداد أهمية ذلك عند التفكير بتطبيق المستخلص مباشرة في محلول الـتعبئة (المنقوع) بحيث يعمل كمضاد أكسدة ومكمّل لحواجز السلامة خلال التخزين.

يُعد نمط الاستخلاص عاملاً حاسماً في العائد من المركبات الفينولية ونشاطها الحيوي؛ إذ تُبرز مراجعات حديثة لتقانات الاستخلاص الخضراء (مثل الموجات فوق الصوتية والميكروويف) مع المذيبات الخضراء كالمذيبات اليوتكتية العميقة الطبيعية (NaDESs) بوصفها مساراً واعداً لرفع الانتقائية والكفاءة وتقليل الأثر البيئي، مع ضرورة تحسين اللزوجة وشروط التشغيل لضمان انتقال الكتلة بكفاءة [13]. التطبيق الصناعي في المنتجات المعلّبة يركز غالباً على مستخلصات مائية التي تحقق أعلى محتوى فينولي وثباتاً وظيفياً.

يحقق التسخين الأُومي (Ohmic Heating) تسخيناً حجمياً سريعاً ومتجانساً نسبياً عبر مرور التيار الكهربائي في المادة الغذائية، بما قد يخفض زمن الوصول إلى درجة التعقيم ويحد من الإفراط في معالجة السطح مقارنة بالتسخين التقليدي [14،4]. تُحسّن المعالجة الأُومية الاحتفاظ بالصفات الحسية وبعض المركبات الحيوية في الفواكه والخضروات، كما تُظهر كفاءة في تعطيل بعض الإنزيمات المرتبطة بتدهور الجودة [15،14].

يعتبر دمج الأُومية ضمن مفهوم «تقانات الحواجز» عبر الجمع بين معالجة حرارية أكثر كفاءة وإضافات طبيعية مضادة للأكسدة/الميكروبات ضمن محلول التعبئة، و يُعد توجهاً منطقياً لتقليل العبء الحراري والحفاظ على اللون والقيمة الغذائية والقبول الحسي مع ضمان السلامة [9–11،15].

أهمية البحث وأهدافه:

تُعدّ البازلاء المعلّبة من المنتجات واسعة الاستهلاك، إلا أن التعقيم الحراري التقليدي المستخدم لضمان السلامة الميكروبية، ولا سيّما تجاه الأحياء الدقيقة المتبوغة المقاومة للحرارة، قد يفرض أحمالاً حرارية مرتفعة تؤدي إلى تدهور الخواص الحسية والمركبات الفعالة حيوياً.

لذلك هنالك حاجة لتطبيق معاملات حرارية (التعقيم الأُومي) تحقق الوصول إلى متطلبات التعقيم المكافئ بزمن أقصر وتقليل فروق الحرارة داخل العبوة، الأمر الذي ينعكس عادةً على تحسين الاحتفاظ بالصفات الحسية وبعض مؤشرات الجودة مقارنة بالمعاملة التقليدية عند ضبط الشروط التشغيلية بصورة صحيحة.

كما تزداد الحاجة إلى حلول حفظ طبيعية تُنسجم مع التوجهات العالمية لتقليل الإضافات الصناعية، ومن هنا تأتي أهمية توظيف مستخلص قشور البازلاء (كناتج ثانوي غني بالمركبات الفينولية) بالاشتراك مع الحواجز الكيميائية المسموح بها مثل الأحماض العضوية/الأسكوربيك، لدراسة أثر "التآزر" بين الحواجز (الحرارية والكيميائية والفعالية المضادة للأكسدة) على سلامة وجودة البازلاء المعلبة خلال التخزين.

أهداف البحث:

1- تقييم تأثير المعاملات الأولية المطبقة (الأحماض العضوية ومستخلص قشور البازلاء) ونمط التعقيم (تقليدي/أُومي) في المركبات الفعالة حيوياً في البازلاء المعلبة أثناء التخزين.

2- تقدير كفاءة المعاملات المطبقة في ضمان السلامة الميكروبية من البكتيريا المتبوغة المقاومة للحرارة إلى ما دون حدّ الكشف خلال فترة التخزين.

3- توصيف تغير الصفات الحسية (اللون، الرائحة، الطعم، القوام) خلال التخزين وربطها بالمعاملات الأولية ونمط المعاملة الحرارية.

4- تحديد المعاملة الأمثل بما يدعم تحسين عمليات تعليب البازلاء مع المحافظة قدر الإمكان على القيمة الغذائية والجودة الحسية.

طرائق البحث ومواده:

تم الحصول على عينات البازلاء الخضراء عند مرحلة النضج التكنولوجي من مزارع سهل الغاب خلال موسم 2022 واختير الصنف Onward لكونه من أصناف الحبوب الصغيرة والمتوسطة الملائمة للتعبئة والتعليب .ثم فُرِّغت الحبوب من القرون، وغُسلت، وفُرزت ودُرِّجت قبل تطبيق معاملات السلق والتعبئة.

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.

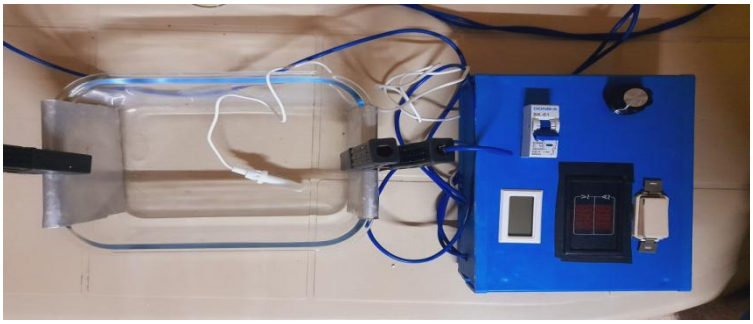
استخدم جهاز تسخين أُومي محلي الصنع (الشكل 1) مزوداً بأقطاب من الستانلس ستيل (Stainless steel) ومصدر قدرة بجهد 220 فولت وتردد 50–60 هرتز، مع وعاء زجاجي وتجهيزات للتحكم في شدة التيار وقياس درجات الحرارة والموصلية الكهربائية أثناء المعاملة، بما ينسجم مع المبادئ التشغيلية لتقانات التسخين الأُومي [4،5]. بعد الانتهاء من تجهيز حبوب البازلاء وتطبيق معاملات الإضافة المختلفة وفق تصميم الدراسة، أُجريت المعاملات الحرارية وفق مسارين مختلفين بحسب نوع المعاملة. في المعاملات التقليدية (T1 وT2 وT3)، عُبئت حبوب البازلاء مع محلول التعبئة في عبوات زجاجية، ثم أُغلقت بإحكام، وخضعت بعد ذلك للتعقيم الحراري التقليدي داخل الأوتوكلاف عند 121°م لمدة 20 دقيقة. وبذلك مثّلت هذه المعاملات نمط التعقيم الحراري داخل العبوة بعد التعبئة والإغلاق.

أما في المعاملات الأُومية (T4 وT5 وT6)، فقد أُجريت المعاملة الحرارية الأُومية داخل الوعاء الزجاجي لجهاز التسخين الأُومي حتى استيفاء شرط المعاملة المستهدف (121°م لمدة 5 دقائق)، وبعد انتهاء زمن المعاملة، عُبئ المنتج مباشرة وهو لا يزال ساخناً في عبوات زجاجية وأغطية معقمة مسبقاً بالأوتوكلاف، ثم أُغلقت العبوات فوراً إغلاقاً محكماً. وبذلك مثّلت هذه المعاملات معالجة أُومية قبل التعبئة متبوعة بتعبئة عقيمة، ولم تكن تعقيماً حرارياً داخل العبوة

النهائية كما في المعاملات التقليدية. وقد أُنجزت عملية التعبئة في المعاملات الأُومية خلال زمن قصير جداً، باستخدام أدوات معقمة، وضمن محيط تعبئة معزول ومعقم (غرفة زجاجية معقمة)، بهدف ضبط الوسط وخفض احتمال إعادة التلوث إلى أدنى حد ممكن. وعليه، فإن احتمال التلوث بعد المعاملة الأُومية لا يُعد معدوماً من الناحية النظرية، إلا أنه كان مضبوطاً ومخفَّضاً عملياً ضمن نظام تعبئة معقم ومراقَب.

استُخدمت في جميع المعاملات عبوات زجاجية محكمة الإغلاق مع أغطية مناسبة، ثم خُزنت العينات لمدة 12 شهراً في درجة حرارة الغرفة، في مكان جاف وبمعزل عن الضوء وأشعة الشمس المباشرة. ونظراً إلى حدود الإمكانات التجريبية المتاحة في هذه الدراسة، لم يكن من الممكن تصميم نظام تعقيم أُومي متكامل داخل عبوات زجاجية مغلقة مزودة بمسار كهربائي ناقل. لذلك اعتمدت الدراسة نموذج المعالجة الأُومية قبل التعبئة متبوعة بالتعبئة العقيمة المباشرة في عبوات زجاجية معقمة. ويمكن مستقبلاً، عند توافر تجهيزات أكثر تقدماً، تطوير نظام أُومي متكامل داخل عبوات مغلقة أو إجراء نمذجة أكثر تفصيلاً لتوزيع الحرارة وشروط التعقيم بالتسخين الأُومي.

الشكل رقم 1. جهاز أُومي محلي الصنع مزود بأقطاب معدنية غير قابلة للصدأ (Stainless steel).



صُمِّمت المعاملات المدروسة وفق الجدول (1) بصورة تدريجية لإظهار أثر كل خطوة من إضافة الأحماض العضوية ومستخلص قشور البازلاء، وكذلك تطبيق المعاملة الحرارية، وفق التالي:

T1: تعقيم تقليدي من دون إضافة،**T2** : وهي T1 مضاف إليها الأحماض العضوية

T3: وهي T2 مضاف لها المستخلص المائي لقشور البازلاء،**T4** : وهي T1 معاملة أُومية بدل التعقيم التقليدي

T5: وهي T2 معاملة أُومية بدل التعقيم التقليدي،**T6** : وهي T3 معاملة أُومية بدل التعقيم التقليدي

يوضح الجدول 1 توصيف معاملات التحضير والتعبئة والمعالجة الحرارية المستخدمة في دراسة البازلاء المعلبة.

الجدول رقم 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	0	0.5	0.5
حمض الستريك (% w/v)	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5
مستخلص قشور البازلاء %(v/v)	0	0	20	0	0	20
السلق (85م- 3د)	تقليدي	تقليدي	تقليدي	تقليدي	تقليدي	تقليدي
التعقيم(121°م)	تقليدي	تقليدي	تقليدي	أومي	أومي	أُومي
زمن التعقيم (دقيقة)	20	20	20	5	5	5

طرائق التحليل:

1-دراسة التركيب الكيميائي:

تقدير البوليفينولات (TPC):

تم تقدير الفينولات الكلية بطريقة فولين-سيوكالتو مع استخدام حمض الغاليك كمعيار. طُحنت العينة 10 غ واستخلصت بمزيج إيثانول/ماء (30 مل إيثانول + 10 مل ماء مقطر)، ثم رُشح المستخلص. مُزج حجم معلوم من المستخلص مع 200 ميكرولتر من كاشف فولين-سيوكالتو، ثم استُكمل الحجم إلى 3.16 مل بالماء المقطر، وأضيف 600 ميكرولتر من محلول كربونات الصوديوم. حُضنت العينات في الظلام حتى تطور اللون، ثم قيس الامتصاص عند 765 نانومتر. حُسبت النتائج من منحنى المعايرة وعُبِّر عنها كمكافئ حمض الغاليك (mg GAE/100 g) مادة جافة. [17،18]

تقدير القدرة المضادة للأكسدة (DPPH):

حُضّرت مستخلصات العينات بإضافة 20 mL من مزيج إيثانول/ماء (75:25) إلى 1 g عينة مطحونة، ثم إجراء استخلاص بالموجات فوق الصوتية لمدة 30 دقيقة عند ~15°C، ثم الترشيح. حُضّر محلول DPPH بإذابة 0.059 g في 200 mL ميثانول. أضيف 2 mL من محلول DPPH إلى 2 mL من المستخلص في كل أنبوب، وترك المزيج في الظلام لمدة 30 دقيقة، ثم قيس الامتصاص عند 517 nm. حُسبت نسبة التثبيط وفق المعادلة :

نسبة تثبيط DPPH(%)= A0-AS/A0×100

حيثA0(امتصاصية الشاهد DPPH + المذيب) و As (امتصاصية العينة). [19،20]

2-دراسة المحتوى المكروبي:

البكتيريا المتبوغة: عُولجت العينات حرارياً عند 80°م لمدة 10 دقائق لإتلاف الخلايا الخضرية، ثم زُرعت على Plate Count Agar بطريقة الصب، وحُضنت عند 37°م لمدة 48 ساعة. [21] كما حُدد حدّ الكشف للطريقة المتبعة عند 1.0 log10 CFU/g (أي 10 CFU/g) اعتماداً على أقل تخفيف مزروع وحجم الزرع بطريقة الصب، وأشير للقراءات الأدنى بالرمز (-). وعُبِّرت النتائج عن المتوسط بوحدة log CFU/g.

أُجريت جميع القياسات بثلاث مكررات مستقلة، وتم التعبير عن النتائج على أنها بكتيريا متبوغة كلية دون تحديد الهوية النوعية

3-التقييم الحسي:

تمت دراسة الصفات الحسية لكل من اللون والرائحة والطعم والقوام، حيث تم اعتماد مقياس التفضيل (Hedonic scale) بدرجات خمس للصفات المدروسة (اللون، الرائحة، الطعم، القوام) كما يلي: 1 = غير مقبول جداً، 2 = غير مقبول، 3 = مقبول، 4 = مقبول جداً، 5 = ممتاز/مقبول للغاية، ثم حُسبت المتوسطات والانحرافات المعيارية لكل صفة ولكل معاملة عبر فترات التخزين [22،23]. تم التقييم الحسي من قبل فريق مكون من 20 مقيم.

4-التحليل الإحصائي:

قُدِّمت النتائج على شكل متوسط ± الانحراف المعياري لثلاث مكررات تحليلية مستقلة (n=3). وجرى اختبار الفروق بين المتوسطات عند مستوى معنوية ($P\leq0.05$)، مع الإشارة إلى الفروق المعنوية في الجداول بالحروف المختلفة ضمن العمود. كما أُجري تحليل التباين (ANOVA) بحسب تصميم الدراسة، وتبعت المقارنات البعدية باختبار توكي (Tukey) لتمييز الفروق بين المتوسطات عند ($P\leq0.05$) باستخدام برنامج إحصائي.

مكان البحث: تم تنفيذ التجارب في مخابر جامعة اللاذقية– كلية الهندسة الزراعية – قسم علوم الأغذية، مخابر مرفأ اللاذقية، هيئة التقانة الحيوية، مخبر الوقاية في مديرية الزراعة والاصلاح الزراعي فرع اللاذقية.

النتائج والمناقشة:

1- التركيب الكيميائي:

1-1- الفينولات الكلية (TPC):

يُعد محتوى الفينولات الكلية (Total Phenolic Content; TPC) مؤشراً مهماً لجودة البازلاء المعلبة وقيمتها الوظيفية؛ إذ تُسهم المركبات الفينولية في السعة المضادة للأكسدة وترتبط بجوانب صحية وتكنولوجية متعددة في البقوليات والخضار [24].

تُظهر بيانات الجدول رقم (2) القيم التقديرية لـ TPC ، mg GAE/100g (مادة جافة) لعينات البازلاء المعلبة وفق معاملات الدراسة المختلفة خلال التخزين (0–12) شهراً. لوحظ انخفاض تدريجي في جميع المعاملات مع تقدم التخزين، مع تفوق واضح للمعاملات المدعمة بالمستخلص النباتي و/أو المعقمة بالتسخين الأُومي في الحفاظ على محتوى الفينولات.

يُلاحظ من الجدول (2) أن TPC انخفض مع تقدم التخزين في جميع المعاملات، وهو سلوك متوقع في المنتجات النباتية المعالجة حرارياً والمخزنة؛ إذ تنخفض الفينولات نتيجة الأكسدة الذاتية وتفاعلات الاقتران/التكاثف وتحوّلها إلى أشكال أقل تفاعلاً، إضافةً إلى دور الأكسجين المنحل والمعادن , كعوامل محفِّزة [25]. كما قد تُسهم تفاعلات ميلارد في الأغذية المعلّبة بتعديل «القدرة الاختزالية» للمستخلص بما ينعكس على قراءة فولين [26].

الجدول رقم 2. تأثير المعاملات المختلفة على محتوى الفينولات الكلية (TPC) في عينات البازلاء المعلبة خلال التخزين.

فترة التخزين (شهر)	المعاملةT1	المعاملةT2	المعاملةT3	المعاملةT4	المعاملةT5	المعاملةT6
0	182.0 ±2.7	192.3 ±2.9	232.8 ±3.5	221.5 ±3.3	224.1 ±3.4	273.0 ±4.1
3	171.2 ±2.6	181.8 ±2.7	220.3 ±3.3	213.2 ±3.2	216.2 ±3.2	263.6 ±4.0
6	160.8 ±2.4	171.9 ±2.6	210.8 ±3.2	205.5 ±3.1	208.1 ±3.1	254.2 ±3.8
9	149.6 ±2.2	161.1 ±2.4	196.5 ±2.9	198.6 ±3.0	200.3 ±3.0	244.0 ±3.7
12	138.7 ±2.1	150.2 ±2.3	182.9 ±2.7	188.3 ±2.8	192.5 ±2.9	235.5 ±3.5

بلغ الانخفاض في الشاهد التقليدي (T1) من **182.0 ±2.7**إلى **138.7 ±2.1** (mg GAE/100g) مادة جافة بعد 12 شهراً (انخفاض ≈23.8%)، وبالمثل انخفضت القيم في (T2) من**192.3 ±2.9** إلى**150.2 ±2.3** (≈21.9%) وفي (T3) من**232.8 ±3.5** إلى **182.9 ±2.7** (≈21.4%). بالمقابل كان الانخفاض أقل في المعاملات المعقمة أومياً؛ إذ تراجع (T4) من **221.5 ±3.3** إلى**188.3 ±2.8** (≈15.0%) و(T5) من **224.1**

3.4± إلى **2.9**± **192.5** (≈14.1%)، بينما سجلت (T6) أقل خسارة من **4.1**± **273.0** إلى**3.5**± **235.5** (≈13.7%).

يُفسَّر تحسن الاحتفاظ النسبي في المعاملات الحاوية على الأحماض (T5،T2) جزئياً بأن الوسط الحامضي يحدّ من مسارات الأكسدة الذاتية لبعض الفينولات مقارنة بالوسط القلوي، ويُسهم في تقليل تدهورها أثناء التخزين [25]. ويُضاف إلى ذلك أن «المعالجة الحمضية» تسمح عادةً بتخفيف شدة المعاملة الحرارية المطلوبة لتحقيق الأمان الميكروبي (خفض Fo المكافئ) بما يقلل الحمل الحراري الكلي وبالتالي خسائر المركبات الحساسة [27].

على مستوى تأثير المعاملات، سجلت المعاملات المدعمة بالمستخلص (T3 وT6) قيماً ابتدائية أعلى من غير المدعمة، وهو ما يتوافق مع توصيف قشور/قرون البازلاء كمصدر غني ومتنوع للبوليفينولات (مثل 5-caffeoylquinic acid وepicatechin وhesperidin) كما أظهرت المعاملات المعقمة بالتسخين الأُومي (T6–T4) احتفاظاً أعلى من نظيراتها التقليدية (T3–T1)، ويُعزى ذلك إلى سرعة التسخين الحجمي والتجانس الحراري في التسخين الأُومي، ما يقلل زمن التعرض الحراري الفعّال ويحسّن احتفاظ المركبات الحيوية مقارنة بالتسخين التقليدي [28].

1-2- القدرة المضادة للأكسدة بطريقة DPPH:

تُعد طريقة DPPH من أكثر الاختبارات استخداماً لتقدير فعالية «اصطياد الجذور الحرة» في المستخلصات النباتية؛ وتعتمد على قياس انخفاض امتصاصية الجذر الحر •DPPHعند 517 نانومتر بعد تفاعله مع مانحات الإلكترون/الهيدروجين في العينة [46].

يبين الجدول رقم (3) وجود فروق واضحة بين المعاملات عند بداية التخزين (0 شهر)، إذ بلغت قدرة التثبيط في المعاملة التقليدية (T1) **0.8**± **41.7**%، بينما ارتفعت في المعاملات المدعّمة بمستخلص القشور وبالتسخين الأُومي؛ إذ سجلت (T6) **1.2**± **58.1**%، تلتها (T5) و(T4) بقيم 51.3% و50.7% على التوالي. يعكس ذلك الأثر التراكمي لإضافة الأحماض/الأسكوربيك ودمج مستخلص قشور البازلاء الغني بالفينولات والفلافونويدات ذات القدرة الاختزالية [26]، إضافةً إلى تقليل زمن المعاملة الحرارية عند استخدام التسخين الأُومي مقارنة بالتعقيم التقليدي [28].

الجدول رقم 3. تأثير المعاملات المختلفة على القدرة المضادة للأكسدة بطريقة (DPPH) في عينات البازلاء المعلبة خلال التخزين.

فترة التخزين (شهر)	المعاملةT1 %	المعاملةT2 %	المعاملةT3 %	المعاملةT4 %	المعاملةT5 %	المعاملةT6 %
0	41.7 ±0.8	44.0 ±0.9	49.6 ±1.0	50.7 ±1.0	51.3 ±1.0	58.1 ±1.2
3	38.5 ±0.8	40.8 ±0.8	46.2 ±0.9	48.4 ±1.0	49.2 ±1.0	55.7 ±1.1
6	35.4 ±0.7	37.9 ±0.8	42.9 ±0.9	46.1 ±0.9	47.0 ±0.9	53.2 ±1.1
9	32.2 ±0.6	34.9 ±0.7	39.6 ±0.8	43.6 ±0.9	44.6 ±0.9	50.6 ±1.0
12	29.3 ±0.6	32.2 ±0.6	36.5 ±0.7	41.2 ±0.8	42.3 ±0.8	48.1 ±1.0

خلال التخزين لوحظ اتجاه تنازلي تدريجي في جميع المعاملات حتى 12 شهراً، وهو سلوك متوقع في المنتجات النباتية المعالجة حرارياً؛ إذ قد ينجم انخفاض المركبات الفينولية والفعالية المضادة للأكسدة عن الأكسدة الذاتية والتحولات البنيوية للمركبات الحساسة، مع احتمال مساهمة ضئيلة للأكسجين المحتجز داخل أنسجة حبيبات البازلاء أو المنحل في الوسط، فضلاً عن دور الآثار المعدنية الدقيقة كمحفزات للأكسدة [25]. وعلى سبيل المثال، انخفضت (T1) من 41.7% إلى 29.3% بعد 12 شهراً (نقصان ~29.7%)، في المقابل حافظت (T6) على أعلى فعالية وأفضل استقرار نسبي؛ إذ انخفضت من 58.1% إلى 48.1% (~17.3%).

يدعم هذا السلوك ما ورد في دراسة [29] حول العلاقة الوثيقة بين الفينولات والنشاط المضاد للأكسدة، وحساسية هذه المؤشرات للمعالجة الحرارية والتخزين. ففي دراسة حديثة على بذور البازلاء، تراجعت مؤشرات الفينولات والقدرة المضادة للأكسدة بعد السلق مقارنة بالشاهد [29]. كما أظهرت دراسة تطبيقية على عصير الفاكهة أن التسخين الأُومي حافظ على TPC والنشاط المضاد للأكسدة بدرجة أفضل من التسخين التقليدي، وأن إضافة 0.25% حمض أسكوربيك خفّض معدلات التدهور أثناء التخزين [30]، وهو ما يتوافق اتجاهياً مع تفوق معاملات التسخين الأُومي ومعاملات الإضافة الحمضية في الدراسة الحالية.

يمكن تفسير تفوق المعاملات التي تضمنت مستخلص القشور (T3 وT6) بأن القشور تعد مصدراً مركزاً للفينولات والفلافونويدات القادرة على التبرع بالإلكترون/الهيدروجين وتثبيط الجذور الحرة. كما أن إضافة الأحماض العضوية وحمض الأسكوربيك قد تُسهم في إبطاء سلسلة الأكسدة الذاتية للفينولات عبر خفض pH وتوفير وسط أقل ملاءمة للأكسدة، فضلاً عن إمكانية تخفيف شدة المعاملة الحرارية المطلوبة في المنتجات المُحمّضة [25،27].

أما التسخين الأُومي (T6–T4) فيُتوقع أن يساهم في تحسين/حفظ الفعالية المضادة للأكسدة عبر تقليل زمن التعقيم وتحقيق تسخين حجمي أسرع وأكثر تجانساً، ما يحدّ من التحلل الحراري للمركبات الحساسة ويقلل انتقالها إلى السائل المرافق مقارنة بالمعالجة التقليدية [28]. وبناءً على القيم عبر جميع الأزمنة تُعد المعاملة (T6) الأفضل إجمالاً من ناحية القدرة المضادة للأكسدة وثباتها أثناء التخزين.

ويُستدل من توازي اتجاهات TPC وDPPH على أن جزءاً كبيراً من الفعالية المضادة للأكسدة مصدره المركبات الفينولية المضافة/المحفوظة. كما أن تقليل زمن التعقيم في الأُومي يخفض فرصة تولد نواتج أكسدة ثانوية قد تُضعف وتُسهم في تدهور النكهة واللون. لذلك يمكن اعتبار تفوق (T6) نتيجة تآزر ثلاثي: (مستخلص غني بالفينولات) + (وسط حامضي/أسكوربيك) + (تعقيم أُومي بزمن أقصر). [28،30]

3- البكتيريا المتبوغة المقاومة للحرارة:

أظهرت بيانات جدول (4) أن أعداد البكتيريا المتبوغة المقاومة للحرارة في جميع المعاملات (T6–T1) بقيت دون حدّ الكشف (<1.0 log10 CFU/g) حتى نهاية مدة التخزين (12 شهراً). تُعد هذه النتيجة مؤشراً عملياً على تحقق «العقم التجاري» في المنتج، أي غياب الكائنات القابلة للنمو تحت ظروف التخزين الاعتيادية، وهو معيار جوهري في سلامة الأغذية المعلبة منخفضة الحموضة لاحتمال دعمها نمو مُمرضات مُتبوغة شديدة الخطورة عند حدوث أي قصور في المعاملة أو الإغلاق [31،32].

الجدول رقم 4. الكشف عن البكتيريا المتبوغة (log10 CFU/g) خلال التخزين 12 شهرًا

فترة التخزين (شهر)	المعاملةT 1	المعاملةT 2	المعاملةT 3	المعاملةT 4	المعاملةT 5	المعاملةT 6
0	–	–	–	–	–	–
3	–	–	–	–	–	–
6	–	–	–	–	–	–
9	–	–	–	–	–	–
12	–	–	–	–	–	–

يمكن تفسير أن أعداد البكتيريا كانت دون حد الكشف بأن المعاملة الحرارية التقليدية (التعقيم عند 121°م لمدة 20 دقيقة) والمعاملة الحرارية الأُومية (121°م لمدة 5 دقائق)، مع وجود إغلاق محكم وتخزين في درجة حرارة الغرفة، يقللان احتمال إعادة التلوث بعد المعاملة، وتصبح أي أبواغ متبقية –إن وجدت– في حالة إجهاد حراري/تحت مميت يقلل قدرتها على الإنبات [33].

كما أن إضافة الأحماض العضوية ومستخلص قشور البازلاء قد تكون أسهمت أيضاً في الحفاظ على الاستقرار الميكروبي. وبناءً على ما سبق، يمكن اعتبار الغياب الكامل القابل للكشف للبكتيريا المتبوغة خلال 12 شهراً نتيجة متوقعة لتكامل ثلاثة مستويات من الحماية: (1) شدة حرارية كافية لتحقيق العقم التجاري، و(2) تحسين كفاءة القتل وتقليل النقاط الباردة وربما تعزيزات كهربائية في التسخين الأُومي، و(3) حواجز كيميائية/وظيفية (خفض pH + مستخلص غني بالبوليفينولات) تحدّ من الإنبات والنمو خلال التخزين. وعليه، فإن هذه النتائج تدعم صلاحية المنتج للاستهلاك من منظور السلامة الميكروبية ضمن حدود طريقة الكشف المعتمدة [31–33].

دراسة الصفات الحسية:

تُمثّل الصفات الحسية معياراً حاسماً لقبول المستهلك لمنتجات البازلاء المعلبة، إذ تعكس بصورة تكاملية أثر شدة المعاملة الحرارّية، وتركيب الوسط (الحموضة/مضادات الأكسدة)، وإضافة المستخلصات النباتية على استقرار اللون، والرائحة، والطعم، والقوام خلال الخزن. تُظهر بيانات الجداول (5–8) أن جميع الصفات الحسية تتناقص تدريجياً مع تقدم الخزن حتى 12 شهراً، مع تفوّقٍ ثابت للمعاملات المعقمة بالتسخين الأُومي (T4–T6)، ولا سيّما المعاملة المدعّمة بالأحماض ومستخلص قشور البازلاء (T6). ويُعزى ذلك إلى التسخين الحجمي السريع والمتجانس الذي يخفّض الحمل الحراري الفعّال ويحدّ من تدهور مركبات الجودة الحساسة للحرارة مقارنة بالتعقيم التقليدي.[34،35]

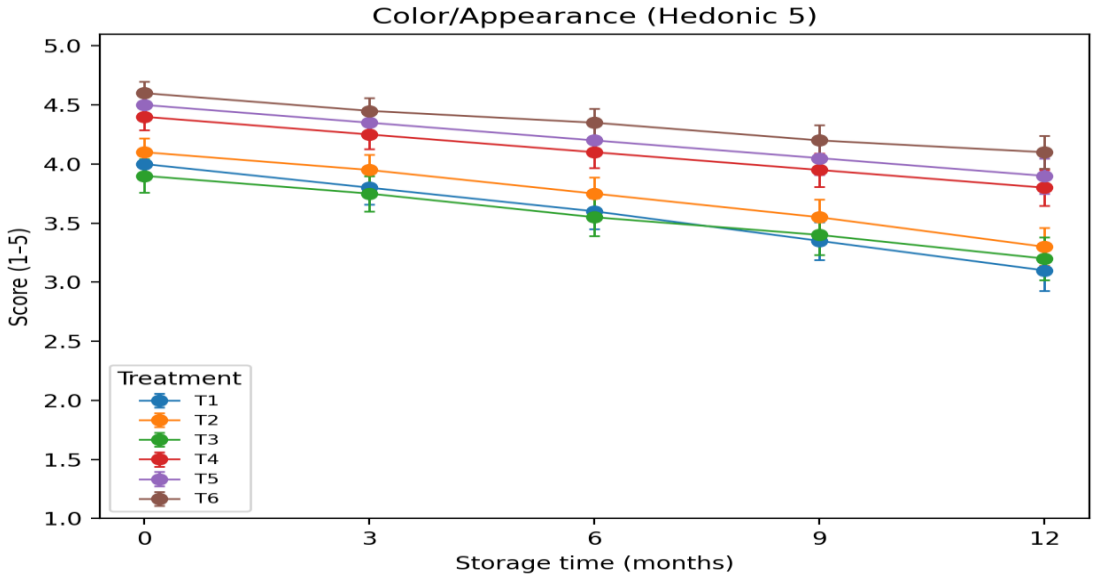
يرمز T1–T6 إلى المعاملات المبينة في الجدول (1).

أولاً: اللون

تُظهر بيانات الجدول (5) أفضلية واضحة للمعاملات الأُومية في الحفاظ على اللون/المظهر عبر جميع أزمنة الخزن؛ فقد سجّلت T6 أعلى درجة عند 0 شهر (0.10± 4.60) واحتفظت بقيمة مرتفعة عند 12 شهر (0.14± 4.10) مقارنةً بالشاهد التقليدي T1 (من0.13± 4.00 إلى0.17± 3.10). يتوافق ذلك مع حقيقة أن التسخين الأُومي يحقق تسخيناً حجمياً سريعاً ومتجانساً يقلل زمن التعرض الحراري ويحد من ظاهرة "المعاملة الزائدة" على سطح الحبوب، ما ينعكس مباشرة على احتفاظ الصبغات الطبيعية وقبول اللون.[34،35]

الجدول رقم 5. متوسط درجات القبول الحسي لصفة اللون في حبوب البازلاء الخضراء المعلبة خلال الخزن (0–12 شهر).

فترة التخزين (شهر)	المعاملة T1 درجة/5	المعاملة T2 درجة/5	المعاملة T3 درجة/5	المعاملة T4 درجة/5	المعاملة T5 درجة/5	المعاملة T6 درجة/5
0	4.00 ±0.13	4.10 ±0.12	3.90 ±0.14	4.40 ±0.11	4.50 ±0.11	4.60 ±0.10
3	3.80 ±0.14	3.95 ±0.13	3.75 ±0.15	4.25 ±0.12	4.35 ±0.12	4.45 ±0.11
6	3.60 ±0.15	3.75 ±0.14	3.55 ±0.16	4.10 ±0.13	4.20 ±0.13	4.35 ±0.12
9	3.35 ±0.16	3.55 ±0.15	3.40 ±0.17	3.95 ±0.14	4.05 ±0.14	4.20 ±0.13
12	3.10 ±0.17	3.30 ±0.16	3.20 ±0.18	3.80 ±0.15	3.90 ±0.15	4.10 ±0.14



الشكل رقم(2): تغير درجات التقييم الحسي لصفة اللون خلال فترات التخزين

القيم تمثل متوسط ± الانحراف المعياري. تشير الحروف المختلفة ضمن العمود إلى فروق معنوية عند ($P\leq0.05$).

على المستوى الميكانيكي/البيوكيميائي، يرتبط تدهور اللون الأخضر في البازلاء أساساً بتحول الكلوروفيل إلى مشتقات أقل خضرة تحت تأثير الحموضة والحمل الحراري للمعاملة، كما قد تسهم بعض التغيرات غير الإنزيمية أثناء التخزين بدرجة محدودة. أما الإسهام الإنزيمي بعد السلق والتعقيم فيُتوقع أن يكون مهملاً، نظراً إلى أن هذه المعاملات تؤدي عادةً إلى تعطيل معظم الإنزيمات المؤكسدة المرتبطة بتدهور اللون. وقد بينت دراسة تطبيقية على هريس البازلاء أن الأُومي يحقق تعطيل أسرع للبيروكسيداز مع تغيرات لونية أقل من السلق/التسخين التقليدي، وهو ما يساند تفسير تفوق T6–T4 في هذا البحث [36]. كما أظهرت دراسة التعقيم الدوراني لحبوب البازلاء المعلبة أن تحقيق الشدة المكافئة بوقت أقصر (مفهوم HTST) يحسن احتفاظ اللون، وهو منطق يتقاطع مع فلسفة الأُومي في خفض زمن المعاملة الفعّال [37].

أما إضافة الأحماض العضوية (حمض الليمون + حمض الأسكوربيك) فارتبطت بتحسن طفيف في الاحتفاظ اللوني ضمن نمط التعقيم نفسه (T2> T1 وT4 >T5 عند 12 شهر). ورغم أن انخفاض pH قد يسرّع نزع

المغنيسيوم من الكلوروفيل وتكوين الفيوفايتين وفق ما ورد في دراسة Koca وآخرون، فإن وجود حمض الأسكوربيك كمضاد أكسدة/مانح إلكترون، إضافةً إلى تقليل زمن التسخين في الأُومي، قد يحدّ من مسارات الأكسدة ويُبطئ الاسمرار التأكسدي خلال الخزن.[38،39]

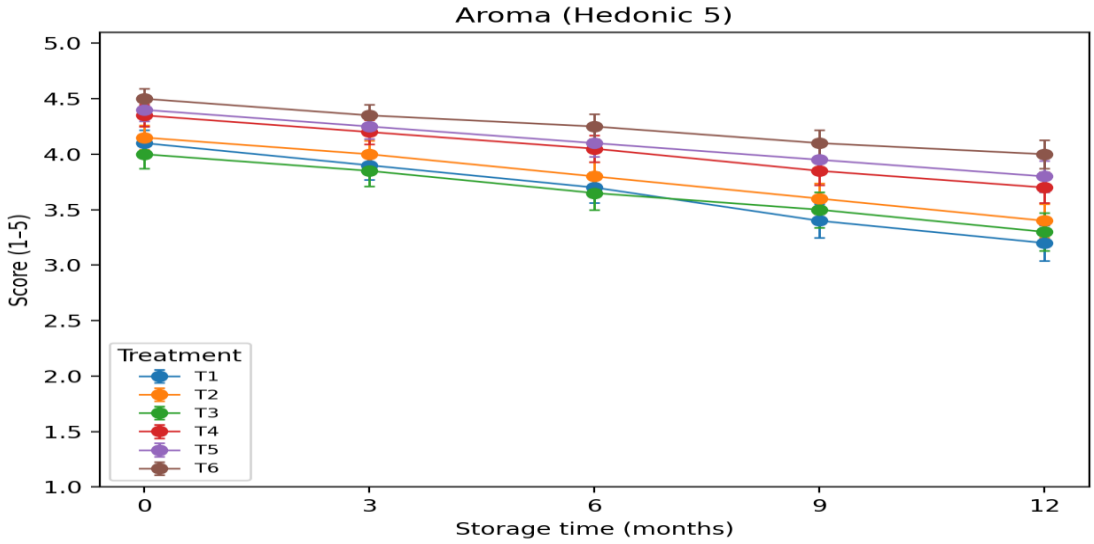
يُلاحظ أيضاً أن تأثير قشور/قرون البازلاء كان ثنائياً؛ ففي المعاملة التقليدية (T3) انخفضت درجة اللون بشكل طفيف عند البداية مقارنةً بـ (3.90 ±0.14 T2 مقابل 4.10 ±0.12)، وهو سلوك متوقع عند إدخال مركبات فينولية/صبغية قد تُكسب المنتج مسحة لونية أغمق أو تقلل «نقاء» اللون. بالمقابل، عند دمج المستخلص مع الأُومي والأحماض (T6) ظهر أثره الوقائي بوضوح على المدى البعيد من خلال أعلى احتفاظ باللون حتى 12 شهر. وتؤكد الأدبيات أن مخلفات قرون البازلاء تمثل مصدراً لكل من الصبغة الخضراء (الكلوروفيل) ومركبات (البولي)فينول ذات النشاط المضاد للأكسدة، ما يفسر دورها في حماية اللون واللمعان عبر تحسين الاستقرار التأكسدي للصبغات والمكونات الدهنية الدقيقة في الوسط. [40–43]

ثانياً: الرائحة:

تُظهر نتائج جدول (6) أن الرائحة احتفظت بمستويات قبول أعلى في المعاملات الأُومية، ولا سيما T6 (4.50 ±0.09 عند 0 شهر إلى 4.00 ±0.13 عند 12 شهر) مقارنةً بالشاهد التقليدي (4.10 ±0.12 T1 عند 0 شهر إلى 3.20 ±0.16 عند 12 شهر).

الجدول رقم 6. متوسط درجات القبول الحسي لصفة الرائحة في حبوب البازلاء الخضراء المعلبة خلال الخزن (0–12 شهر).

فترة التخزين (شهر)	المعاملةT 1 درجة/5	المعاملةT 2 درجة/5	المعاملةT 3 درجة/5	المعاملةT 4 درجة/5	المعاملةT 5 درجة/5	المعاملةT 6 درجة/5
0	4.10 ±0.12	4.15 ±0.11	4.00 ±0.13	4.35 ±0.10	4.40 ±0.10	4.50 ±0.09
3	3.90 ±0.13	4.00 ±0.12	3.85 ±0.14	4.20 ±0.11	4.25 ±0.11	4.35 ±0.10
6	3.70 ±0.14	3.80 ±0.13	3.65 ±0.15	4.05 ±0.12	4.10 ±0.12	4.25 ±0.11
9	3.40 ±0.15	3.60 ±0.14	3.50 ±0.16	3.85 ±0.13	3.95 ±0.13	4.10 ±0.12
12	3.20 ±0.16	3.40 ±0.15	3.30 ±0.17	3.70 ±0.14	3.80 ±0.14	4.00 ±0.13



الشكل رقم(3): تغير درجات التقييم الحسي لصفة الرائحة خلال فترات التخزين

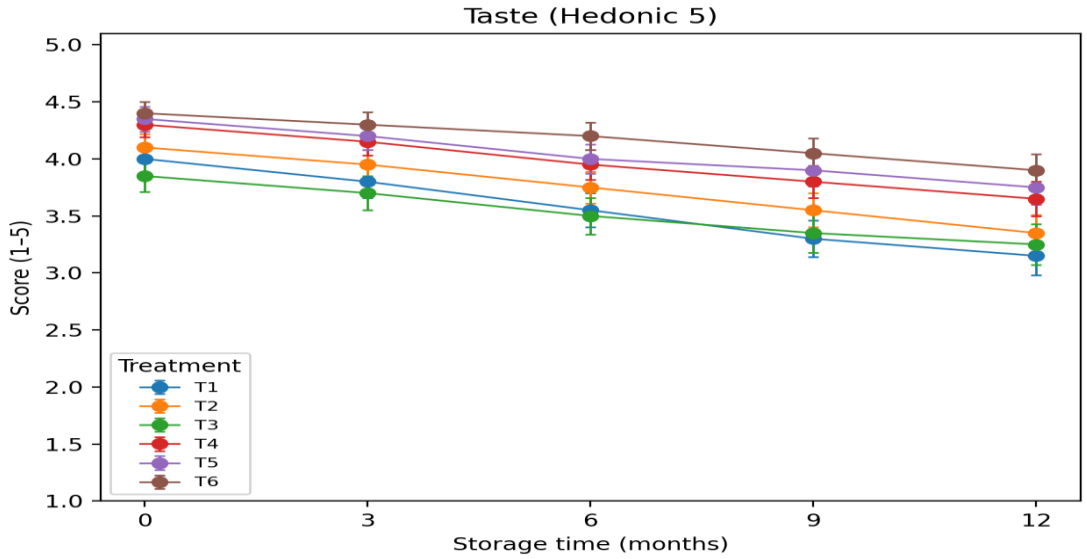
تزداد احتمالية تكوّن الروائح غير المرغوبة خلال الخزن بفعل أكسدة الدهون وتفاعلات الأكسدة–الاختزال لمركبات النكهة، ولهذا قد يفسَّر التفوق النسبي للمعاملات المدعمة بالأحماض/الأسكوربيك (T2 و T5) من خلال تعزيز القدرة الاختزالية للوسط، إضافة إلى خفض فعالية بعض الإنزيمات المولّدة للنكهة غير المرغوبة. كما أن المركبات الفينولية في مستخلص قشور/قرون البازلاء يمكن أن تعمل كمضادات أكسدة وكمخلِّبات للمعادن، ما يثبط سلاسل الأكسدة المسببة لروائح زنخة أثناء الخزن.[41–43] ومع ذلك، قد يضيف المستخلص النباتي في المعاملة التقليدية (T3) رائحة عشبية/خضراء ناتجة عن مكونات نباتية طيارة ، الأمر الذي يفسر انخفاضه النسبي مقارنة بـT2 في بعض الأزمنة. إن تحسن T6 رغم وجود المستخلص يشير إلى أن تقليل العبء الحراري وتوازن الحموضة ساعدا في دمج هذه الرائحة ضمن مجال عطري أكثر قبولاً، مع تقليل نواتج التدهور المتراكمة خلال الخزن.

ثالثاً: الطعم: يعتبر الطعم هو الأكثر تأثراً بتداخل الحموضة، والمرارة/القَبَض، ونواتج التسخين. من النتائج الموضحة بالجدول (7) نجد أن المعاملة T6 سجّلت أعلى قبول للطعم عند البداية (4.40 ±0.10) واستمرت الأعلى عند 12 شهر (3.90 ±0.14)، في حين انخفضت T1 إلى3.15 ±0.17. ويُفسَّر ذلك بأن تقليل زمن التسخين في الأُومي يحد من تولد مركبات الطعم "المطبوخ" ومن تفاعلات الاسمرار غير الإنزيمي التي قد تضعف تقبل الطعم في الخزن.[35،34]

الجدول رقم 7. متوسط درجات القبول الحسي لصفة الطعم

في حبوب البازلاء الخضراء المعلبة خلال الخزن (0–12 شهر).

فترة التخزين (شهر)	المعاملةT 1 درجة/5	المعاملةT 2 درجة/5	المعاملةT 3 درجة/5	المعاملةT 4 درجة/5	المعاملةT 5 درجة/5	المعاملةT 6 درجة/5
0	4.00 ±0.13	4.10 ±0.12	3.85 ±0.14	4.30 ±0.11	4.35 ±0.11	4.40 ±0.10
3	3.80 ±0.14	3.95 ±0.13	3.70 ±0.15	4.15 ±0.12	4.20 ±0.12	4.30 ±0.11
6	3.55 ±0.15	3.75 ±0.14	3.50 ±0.16	3.95 ±0.13	4.00 ±0.13	4.20 ±0.12
9	3.30 ±0.16	3.55 ±0.15	3.35 ±0.17	3.80 ±0.14	3.90 ±0.14	4.05 ±0.13
12	3.15 ±0.17	3.35 ±0.16	3.25 ±0.18	3.65 ±0.15	3.75 ±0.15	3.90 ±0.14



الشكل رقم(4): تغير درجات التقييم الحسي لصفة الطعم خلال فترات التخزين

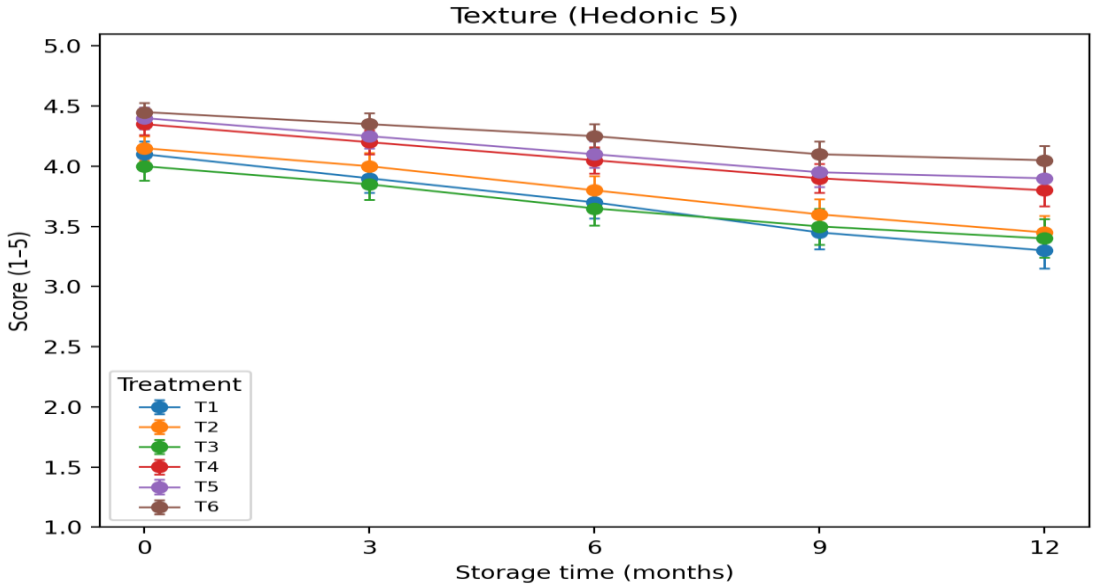
في المعاملات التقليدية، أدى تدعيم الوسط بالأحماض العضوية (T2) إلى تحسن ملموس مقارنة بالشاهد (T1) خاصة عند نهاية الخزن (3.35 ±0.16مقابل3.15 ±0.17). وتبين مراجعات تذوق الأحماض العضوية أن تأثيرها على الطعم لا يقتصر على الحموضة، بل يشمل تفاعلات ثنائية مع المذاقات الأخرى قد تُخفض إدراك المرارة أو تُحسن الاتزان الحسي ضمن تراكيز معينة، إضافةً إلى أدوارها التكنولوجية كمُنظمات حموضة ومضادات أكسدة [62]. انخفاض T3 عن T2 في الطعم عند 0 شهر (3.85 ±0.14مقابل4.10 ±0.12) يتوافق مع وجود مركبات (بولي)فينول قد تسهم في المرارة/القَبَض عبر تفاعلها مع بروتينات اللعاب، وهو ما أكدته مراجع مركبات الفينول وتأثيرها الحسي في الأغذية.[43] وعليه، فإن الأداء المتفوق لـT6 يقترح أن مزيج (الأُومي + الأحماض + المستخلص) وفر توازناً بين "الفائدة الوظيفية" للمستخلص (مضادات أكسدة/مركبات فعّالة) وبين ضبط العتبة الحسية للمرارة عبر الحموضة وتقليل التدهور الحراري–التأكسدي خلال الخزن.[39،41–43]

رابعاً: القوام: يبين جدول (8) أن القوام كان أكثر ثباتاً في المعاملات الأُومية، إذ بلغت T6 عند 12 شهر 4.05 ±0.12 مقابل3.30 ±0.15 للشاهد T1. في المنتجات البقولية المعلبة، يرتبط فقد القوام عادة بتحلل البكتين والهيكل الخلوي بفعل التسخين والرطوبة، ما يقود إلى تطرّي مفرط. وتؤكد مراجعات بنية/وظيفية البكتين أن شدة المعاملة (زمن × حرارة) تتحكم بدرجة إزالة الميثيل والتحلل والذوبان، وبالتالي بصلابة النسيج.[44]

الجدول رقم 8. متوسط درجات القبول الحسي لصفة القوام في حبوب البازلاء الخضراء المعلبة خلال الخزن (0–12 شهر).

فترة التخزين (شهر)	المعاملةT 1 درجة/5	المعاملةT 2 درجة/5	المعاملةT 3 درجة/5	المعاملةT 4 درجة/5	المعاملةT 5 درجة/5	المعاملةT 6 درجة/5
0	4.10 ±0.11	4.15 ±0.10	4.00 ±0.12	4.35 ±0.09	4.40 ±0.09	4.45 ±0.08
3	3.90 ±0.12	4.00 ±0.11	3.85 ±0.13	4.20 ±0.10	4.25 ±0.10	4.35 ±0.09
6	3.70 ±0.13	3.80 ±0.12	3.65 ±0.14	4.05 ±0.11	4.10 ±0.11	4.25 ±0.10

4.10 ±0.11	3.95 ±0.12	3.90 ±0.12	3.50 ±0.15	3.60 ±0.13	3.45 ±0.14	9
4.05 ±0.12	3.90 ±0.13	3.80 ±0.13	3.40 ±0.16	3.45 ±0.14	3.30 ±0.15	12



الشكل رقم(5): تغير درجات التقييم الحسي لصفة القوام خلال فترات التخزين

يتميز التسخين الأُومي بتقليل "زمن الوصول" ورفع تجانس التسخين، ما يسمح بتحقيق الهدف الميكروبيولوجي مع تقليل زمن تعرض الجدار الخلوي للحرارة، وبالتالي تقليل التفكك البنيوي والتطرّي. وتدعم مراجعات قوام الأغذية تحت الأُومي فكرة إمكانية الحصول على قوام مُحدد وبتجانس أعلى في زمن أقصر مقارنة بالتسخين التقليدي، مع اختلافات مرتبطة بخصائص المادة الخام ومعلمات المجال الكهربائي[45]. أما تأثير الأحماض العضوية فكان محدوداً لكنه إيجابي نسبياً ضمن البيانات (T1 <T2 و T4 <T5 عند 12 شهر). يمكن تفسير ذلك بأن خفض pH مع توافر الأسكوربيك قد يحد من بعض مسارات التدهور التأكسدي التي تؤثر بصورة غير مباشرة في صلابة النسيج، وبأن التسخين السريع (الأُومي) يسرّع تعطيل إنزيمات التحلل المرتبطة بجدار الخلية، ما يقلل فقد القوام خلال الخزن[57،62،67]. وأخيراً، قد يسهم مستخلص قشور/قرون البازلاء عبر مركباته الفينولية في دعم الاستقرار البنيوي بصورة غير مباشرة من خلال تقليل الأكسدة والتفاعلات الجانبية خلال الخزن، إضافةً إلى احتمال مساهمته بمواد صلبة ذائبة/ألياف دقيقة تعزز الإحساس الجيد للقوام، مع الإشارة إلى أن هذا الأثر يكون أكثر وضوحاً عندما تُضبط ظروف المعاملة الحرارية لتفادي طراوة مفرطة—وهو ما تحقق عملياً في T6. [41،42،45].

تُظهر نتائج هذا البحث ترابطاً وظيفياً واضحاً بين مؤشرات الجودة الكيميائية (TPC وDPPH) ومؤشرات القبول الحسي؛ فالمعاملات التي احتفظت بمحتوى فينولي أعلى وفعالية مضادة للأكسدة أكبر (خاصة T6) كانت هي نفسها الأكثر حفاظاً على اللون والرائحة والطعم والقوام خلال 12 شهراً و هي كانت اقل تأثر خلال فترة التخزين كما هو واضح في الشكل (2) و الشكل (3) و الشكل (4) و الشكل (5) التي توضح انخفاض المؤشرات الحسية خلال فترة التخزين و لكن بدرجة أقل في المعاملة المثالية (التسخين الأومي مع مستخلص القشور) . ويُفسَّر ذلك بأن خفض الأكسدة وتثبيط تفاعلات التدهور التأكسدي يحدان من فقد الصبغات والمركبات الطيّارة وتدهور النسيج. وبالتوازي، فإن بقاء البكتيريا المتبوغة دون حدّ الكشف (log10 CFU/g 1.0>) في جميع المعاملات يؤكد تحقق **شرط السلامة**

الميكروبية، ما يسمح بتقييم التفوق من زاوية «الجودة» ضمن أمان مكافئ. وبناءً على مجمل المؤشرات عبر الزمن، تُعد المعاملة T6 (تعقيم أُومي + أحماض عضوية/أسكوربيك + مستخلص قشور البازلاء) الأفضل إجمالاً لتحقيق أعلى ثبات وظيفي وحسي مع زمن معالجة أقصر وحمل حراري أقل مقارنة بالتعقيم التقليدي.

تقدم هذه الدراسة **إطاراً تطبيقياً** للجمع بين تثمين المخلفات النباتية (قشور/قرون البازلاء) كمصدر طبيعي لمركبات فعالة وبين تقنيات التعقيم الحديثة (التسخين الأُومي) ضمن مفهوم «الحواجز المتكاملة»، بما يحقق سلامة ميكروبية مكافئة مع تقليل الحمل الحراري والحفاظ على الصفات الوظيفية والحسية خلال خزن طويل. وتبرز الأهمية العملية في إمكانية اعتماد المعاملة الأفضل لتقليل زمن المعالجة وتحسين جودة المنتجات المعلبة، بما يدعم الصناعة المحلية ويواكب التوجهات العالمية نحو الإضافات الطبيعية والعمليات الأكثر كفاءة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1–أظهرت المعاملة T6 أفضل أداء في الحفاظ على المركبات الفعالة حيوياً والقدرة المضادة للأكسدة خلال التخزين مقارنةً ببقية المعاملات.

2–حققت المعاملات المعقمة أُومياً، ولا سيماT6 ، ثباتاً حسياً أفضل من المعاملات التقليدية من حيث اللون والرائحة والطعم والقوام.

3–بقيت البكتيريا المتبوغة دون حدّ الكشف في جميع المعاملات طوال فترة التخزين، مما يؤكد تحقق السلامة الميكروبية ضمن حدود طريقة القياس المستخدمة.

4–تشير النتائج إلى أن الدمج بين التسخين الأُومي والأحماض العضوية ومستخلص قشور البازلاء يمثل خياراً واعداً لتحسين جودة البازلاء المعلبة وتقليل أثر المعاملة الحرارية في صفاتها الوظيفية والحسية.

التوصيات:

1– اعتماد معاملة T6 كخيار مفضل للإنتاج نظراً لتوازنها بين السلامة الميكروبية، والاحتفاظ بمضادات الأكسدة، والقبول الحسي خلال التخزين.

2– إجراء تقييم صناعي للتسخين الأُومي لتقييم تجانس التسخين والكفاءة الطاقية والتحكم بمعاملات الجهد/التردد مقارنةً بالتعقيم التقليدي.

3– توسيع اختبارات الصلاحية لتشمل قياسات لونية موضوعية (L*a*b* والكلوروفيل) واختبارات مستهلكين أوسع وتقييم ثبات المغذيات.

References:

[1] G. Nasir, S. Zaidi, N. Tabassum, et al., A review on nutritional composition, health benefits and potential applications of by-products from pea processing, Biomass Conversion and Biorefinery. Vol. 14, pp. 10829-10842, (2024). https://doi.org/10.1007/s13399-022-03324-0

[2] Codex Alimentarius Commission, Code of Hygienic Practice for Low-Acid and Acidified Low-Acid Canned Foods (CAC/RCP 23-1979), FAO/WHO, (1979).

[3] N. Koca, F. Karadeniz, H.S. Burdurlu, Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas, Food Chemistry. Vol. 100, pp. 609-615, (2007). https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.079

[4] L. Asträin‐Redín, S. Ospina, G. Cebrián, I. Álvarez‐Lanzarote, Ohmic Heating Technology for Food Applications, From Ohmic Systems to Moderate Electric Fields and Pulsed Electric Fields, Food Engineering Reviews. Vol. 16, pp. 225-251, (2024). https://doi.org/10.1007/s12393-024-09368-4

[5] Z.T. Alkanan, A.B. Altemimi, A.R.S. Al-Hilphy, D.G. Watson, A. Pratap-Singh, Ohmic Heating in the Food Industry: Developments in Concepts and Applications during 2013-2020, Applied Sciences. Vol. 11, Article 2507, (2021). https://doi.org/10.3390/app11062507

[6] L.B. Fendri, F. Chaari, F. Kallel, et al., Antioxidant and antimicrobial activities of polyphenols extracted from pea and broad bean pods wastes, Journal of Food Measurement and Characterization. Vol. 16, pp. 4822-4832, (2022). https://doi.org/10.1007/s11694-022-01547-3

[7] S. de Lima Sampaio, M. Suárez-Recio, I. Aguiló-Aguayo. Influence of Canning on Food Bioactives. In: Retention of Bioactives in Food Processing. Springer, pp. 177-202, (2022). https://doi.org/10.1007/978-3-030-96885-4_6

[8] M.C. Giannakourou, P.S. Taoukis. Effect of Alternative Preservation Steps and Storage on Vitamin C Stability in Fruit and Vegetable Products: Critical Review and Kinetic Modelling Approaches. Foods. Vol. 10, 2630, (2021). https://doi.org/10.3390/foods10112630

[9] L. Pinto, M.R. Tapia-Rodríguez, F. Baruzzi, J.F. Ayala-Zavala. Plant Antimicrobials for Food Quality and Safety: Recent Views and Future Challenges. Foods. Vol. 12(12), 2315, (2023). https://doi.org/10.3390/foods12122315

[10] I. de Oliveira, C. Santos-Buelga, Y. Aquino, L. Barros, S.A. Heleno. New frontiers in the exploration of phenolic compounds and other bioactives as natural preservatives. Food Bioscience. Vol. 68, 106571, (2025). https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106571

[11] Y. Wu, X. Wang. Hurdle Technologies. In: Antimicrobial Strategies in the Food System: Updates, Opportunities, Challenges. Springer, pp. 239-268, (2025). https://doi.org/10.1007/978-3-031-95056-8_6

[12] L. Castaldo, L. Izzo, A. Gaspari, et al. Chemical Composition of Green Pea (Pisum sativum L.) Pods Extracts and Their Potential Exploitation as Ingredients in Nutraceutical Formulations. Antioxidants. Vol. 11(1), 105, (2022). https://doi.org/10.3390/antiox11010105

[13] F. de S. Bezerra, M.G.B. Koblitz. Extraction of Phenolic Compounds from Agro-Industrial By-Products Using Natural Deep Eutectic Solvents: A Review of Green and Advanced Techniques. Separations. Vol. 12(6), 150, (2025). https://doi.org/10.3390/separations12060150

[14] Z.T. Alkanan, A.B. Altemimi, A.R.S. Al-Hilphy, D.G. Watson, A. Pratap-Singh. Ohmic Heating in the Food Industry: Developments in Concepts and Applications during 2013-2020. Applied Sciences. Vol. 11(6), 2507, (2021). https://doi.org/10.3390/app11062507

[15] L. Shao, Y. Zhao, B. Zou, X. Li, R. Dai. Ohmic heating in fruit and vegetable processing: Quality characteristics, enzyme inactivation, challenges and prospective. Trends in Food Science & Technology. pp. 601-616, (2021). https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.009

[16] U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. FoodData Central. [Internet] .[cited 2026 Mar 5/Available from: https://fdc.nal.usda.gov .[
[17] V.L. Singleton, J.A. Rossi Jr., Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents, American Journal of Enology and Viticulture. Vol. 16(3), pp. 144-158, (1965). DOI: 10.5344/ajev.1965.16.3.144.
[18] E.A. Ainsworth, K.M. Gillespie, Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent, Nature Protocols. Vol. 2, pp. 875-877, (2007). DOI: 10.1038/nprot.2007.102.
[19] W. Brand-Williams, M.E. Cuvelier, C. Berset, Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, LWT - Food Science and Technology. Vol. 28(1), pp. 25-30, (1995). DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
[20] P. Molyneux, The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity, Songklanakarin Journal of Science and Technology. Vol. 26(2), pp. 211-219, (2004).
[21] Y. Salfinger, M.L. Tortorello (Eds.), Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, 5th ed., APHA Press, Washington, DC, (2015).
[22] ISO, Sensory analysis — Methodology — General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area (ISO 11136:2014), International Organization for Standardization, Geneva, (2014).
[23] M. Meilgaard, G.V. Civille, B.T. Carr, Sensory Evaluation Techniques, 5th ed., CRC Press, Boca Raton, (2016).
[24] D.-T. Wu, W.-X. Li, J.-J. Wan, Y.-C. Hu, R.-Y. Gan, L. Zou, A Comprehensive Review of Pea (Pisum sativum L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. Foods. 2023;12(13):2527. https://doi.org/10.3390/foods12132527.
[25] P.L. Pasquet, D. Julien-David, M. Zhao, M. Villain-Gambier, D. Trébouet, Stability and preservation of phenolic compounds and related antioxidant capacity from agro-food matrix: Effect of pH and atmosphere. Food Bioscience. 2024;57:103586. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103586.
[26] F. Raposo, R. Borja, J.A. Gutiérrez-González, A comprehensive and critical review of the unstandardized Folin-Ciocalteu assay to determine the total content of polyphenols: The conundrum of the experimental factors and method validation. Talanta. 2024;272:125771. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.125771.
[27] H. Singh, H.S. Ramaswamy, Thermal Processing of Acidified Vegetables: Effect on Process Time-Temperature, Color and Texture. Processes. 2023;11(4):1272. https://doi.org/10.3390/pr11041272.
[28] L. Shao, Y. Zhao, B. Zou, X. Li, R. Dai, Ohmic heating in fruit and vegetable processing: Quality characteristics, enzyme inactivation, challenges and prospective. Trends in Food Science & Technology. 2021;118(Part A):601-616. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.009.
[29] M. Younis, I.A.M. Ahmed, M.M. Özcan, N. Uslu, Investigation of quantitative changes in bioactive compounds, colour properties, phenolic constituents and mineral contents of fresh, boiled and dried-pea (Pisum sativum L.) seeds. International Journal of Food Science & Technology. 2023;58(12):6342-6350. https://doi.org/10.1111/ijfs.16742.
[30] N.K. Doan, T.H. Nguyen, N.T. Le, M.T. Pham, T.X.U. Phan, Q.D. Lai, T.K.P. Le, Effects of ohmic heat processing and ascorbic acid on antioxidant compounds and colour of red-fleshed dragon (Hylocereus polyrhizus) fruit juice during storage. International

Journal of Food Science & Technology. 2023;58(7):3819-3826. https://doi.org/10.1111/ijfs.16483.
[31] Codex Alimentarius Commission. Code of Hygienic Practice for Low-Acid and Acidified Low-Acid Canned Foods (CAC/RCP 23-1979). Adopted 1979; revisions 1989 and 1993; editorial corrections 2011. FAO/WHO, Rome.
[32] U.S. Food and Drug Administration (FDA). Acidified & Low-Acid Canned Foods Guidance Documents & Regulatory Information. (Content current as of 05/29/2025). Accessed 2026-03-04.
[33] W.I. Cho, M.S. Chung, Bacillus spores: a review of their properties and inactivation processing technologies. Food Science and Biotechnology. 2020;29:1447-1461. https://doi.org/10.1007/s10068-020-00809-4
[34] L. Shao, Y. Zhao, B. Zou, X. Li, R. Dai, Ohmic heating in fruit and vegetable processing: Quality characteristics, enzyme inactivation, challenges and prospective. Trends in Food Science & Technology. 2021;118(Part A):601-616. doi:10.1016/j.tifs.2021.10.009.
[35] L. Astráin-Redín, S. Ospina, G. Cebrián, I. Álvarez-Lanzarote, Ohmic Heating Technology for Food Applications, From Ohmic Systems to Moderate Electric Fields and Pulsed Electric Fields. Food Engineering Reviews. 2024;16:225-251. doi:10.1007/s12393-024-09368-4.
[36] F. Icier, H. Yildiz, T. Baysal, Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree. Journal of Food Engineering. 2006;74(3):424-429. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.03.032.
[37] R. Garrote, E. Silva, R. Bertone, R. Roa, Changes of ascorbic acid and surface color of green peas sterilized in cans subjected to end-over-end agitation. Journal of Food Engineering. 2006;73(1):29-37. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.01.002.
[38] N. Koca, F. Karadeniz, H.S. Burdurlu, Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. Food Chemistry. 2007;100(2):609-615. doi:10.1016/j.foodchem.2005.09.079.
[39] Y. Shi, D. Pu, X. Zhou, Y. Zhang, Recent Progress in the Study of Taste Characteristics and the Nutrition and Health Properties of Organic Acids in Foods. Foods. 2022;11(21):3408. doi:10.3390/foods11213408.
[40] B.K. Pooja, S. Sethi, A. Joshi, E. Varghese, C. Kaur, R. Kumar, Shridhar, Ultrasound-Assisted Extraction of Chlorophyll from Pea Pod Waste: Optimization, Kinetics, and Stability Study. Food Analytical Methods. 2023;16:1358-1369. doi:10.1007/s12161-023-02502-8.
[41] L.B. Fendri, F. Chaari, F. Kallel, et al., Antioxidant and antimicrobial activities of polyphenols extracted from pea and broad bean pods wastes. Journal of Food Measurement and Characterization. 2022;16:4822-4832. doi:10.1007/s11694-022-01547-3.
[42] L. Castaldo, L. Izzo, A. Gaspari, S. Lombardi, Y. Rodríguez-Carrasco, A. Narváez, M. Grosso, A. Ritieni, Chemical Composition of Green Pea (Pisum sativum L.) Pods Extracts and Their Potential Exploitation as Ingredients in Nutraceutical Formulations. Antioxidants. 2022;11(1):105. doi:10.3390/antiox11010105.
[43] H. El Gharras, Polyphenols: food sources, properties and applications - a review. International Journal of Food Science and Technology. 2009;44(12):2512-2518. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.02077.x.

[44] J. Liu, J. Bi, D.J. McClements, X. Liu, J. Yi, J. Lyu, M. Zhou, R. Verkerk, M. Dekker, X. Wu, D. Liu, Impacts of thermal and non-thermal processing on structure and functionality of pectin in fruit- and vegetable-based products: A review. Carbohydrate Polymers. 2020;250:116890. doi:10.1016/j.carbpol.2020.116890.
[45] M. Gavahian, B.K. Tiwari, Y.H. Chu, Y. Ting, A. Farahnaky, Food texture as affected by ohmic heating: Mechanisms involved, recent findings, benefits, and limitations. Trends in Food Science & Technology. 2019;86:328-339. doi:10.1016/j.tifs.2019.02.022.