دراسة تأثير المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية والتعبئة العقيمة في جودة ثمار الليمون المبردة

رنا يونس حمدان*[(1)] و أنطون سمعان يوسف[(2)] و أحمد سمّور الإبراهيم[3]

(1). طالبة دكتوراه– قائم بالأعمال في قسم الهندسة الغذائية– كلية الهندسة الكيميائية والبترولية– جامعة حمص

(2). أستاذ في قسم الهندسة الغذائية– كلية الهندسة الكيميائية والبترولية– جامعة حمص

(3). أستاذ مساعد في قسم الهندسة الغذائية– كلية الهندسة الكيميائية والبترولية– جامعة حمص

(*للمراسلة: رنا حمدان، أيميل: ranahamdan999@gmail.com، هاتف: 0934591083)

تاريخ الاستلام: 17/ 2/ 2025 تاريخ القبول: 23/ 4/ 2025

الملخص

تمّ في هذا العمل دراسة تأثير استخدام الأشعة فوق البنفسجيّة في تعقيم ثمار الليمون، وتعبئتها في ظروف عقيمة وتخزينها مبردة، على نسبة التلف الميكروبيولوجي للثمار وعلى تغير تركيبها الكيميائي. من أجل التعقيم استُخدمت الأشعة فوق البنفسجيّة وفق أزمان مختلفة (1,5,10,15 min). ومن أجل التعبئة العقيمة تمّ استخدام جهاز صُنع محليّاً لتنفيذ هذا العمل، كما تمّ استخدام أكياس من البولي إيتيلين من أجل تعبئة الثمار بالتزامن مع تعقيمها. بيّنت النتائج أنّ استخدام الأشعة فوق البنفسجيّة (استطاعة 30 W، طول موجة 254 nm، لمدة 10 min) أعطى نتائج إيجابيّة من حيث إمكانيّة استخدامها وفق هذه الطريقة من أجل التخزين 6 أشهر لليمون. حيث حافظت الثمار على خصائص فيزيائيّة وكيميائيّة جيدة فقد كانت التغيرات بسيطة نسبياً في كلٍ من السكريات الكلية والأحماض وفيتامين C ومحتوى الماء والكحول الإيتيلي بعد 6 أشهر من التخزين المبرد. وحافظت الثمار على قوامها فقد بلغت قيمة القوام للثمار المعالجة 2.30 Kg/cm^2 وكان التغير اللوني (Chroma) 46.79 وكانت نسبة التلف الفيزيولوجي 1.5 % والتلف الميكروبيولوجي (فطور وخمائر) 2 %.

الكلمات المفتاحيّة: ليمون، وسط عقيم، بولي إيتيلين، أشعة فوق بنفسجيّة.

المقدّمة:

تعتبر ثمار الحمضيات من المحاصيل المهمة اقتصادياً، حيث توجد في مختلف أنحاء العالم، بما في ذلك المناطق الحارة والمعتدلة. تختلف أصناف الحمضيات بشكل كبير من حيث الحجم والشكل واللون والطعم، وتستخدم على نطاق واسع في الصناعات الغذائية والطبية والتجميلية والعطرية.

يتم تصدير الحمضيات من بلدان الإنتاج إلى بلدان الاستهلاك، ويعتبر الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة والصين واليابان وروسيا من أهم الأسواق العالمية للحمضيات، وتشمل أنواع الحمضيات الأكثر إنتاجاً في العالم: البرتقال، الليمون، الليمون الهندي،

اليوسفي، الجريب فروت، الليمون الحامض (زكرياء وعماد، 2023).

تحتل زراعة الحمضيات في سوريا مركزاً متميزاً في الاقتصاد الوطني وأهم مناطق زراعتها الساحل السوري، فقد بلغ إنتاج الليمون في محافظتي اللاذقية وطرطوس 27385 ton و 56697 ton على التوالي في عام 2022 (المجموعة الإحصائية السورية، 2022).

من أهم الاضطرابات الفيزيولوجية للحمضيات بعد الحصاد تلك التي تصيب القشرة وتسبب تحول لونها إلى اللون البني وتشكل حفر (قليلة العمق على سطحها) وزيادة نمو العفن على سطح الفاكهة (Lafuente and Zacarias, 2006).

تعدّ مكافحة أمراض الحمضيات بعد الحصاد بالوسائل الفيزيائية فعالة من حيث التكلفة كبدائل لمبيدات الفطور الكيميائيّة، أهم فوائدها الغياب التام للأثر المتبقي منها في المنتجات المعالجة وأقل تأثير بيئي. وقد درس كثير من الباحثين استخدام الوسائط الفيزيائية في معالجة آفات الحمضيات بعد الحصاد.

قام (Lanza et al., 2006) و (Sapers, 2001) بغسيل ثمار الحمضيات بالماء الساخن لفترة قصيرة عند الدرجة 60ºC ولمدة 20 ثانية ومن ثم التجفيف بالهواء القسري من أجل تقليل العفن الأخضر للحمضيات ووفرت هذه الطريقة تنظيفاً أكثر فعاليّة من غمر الفاكهة بالماء الساخن، وذلك بسبب قدرتها على إزالة الأوساخ الثقيلة والأبواغ الفطرية مع الحفاظ على جودة الفاكهة، يتم اعتماد هذه الطريقة في مصر وإندونيسيا والمغرب لمختلف الأنواع مثل البطيخ، المانجو، الجريب فروت والفليفلة.

وجد (Wan et al., 2020) أنّ معالجة ثمار البرتقال بالهواء الساخن Hot Air Flow (HAF) لمدة 48 ساعة هو العلاج الأمثل حيث تمّ تخزينها بظروف (6±0.5 °C, 90-85 % RH) لمدة 120 يوم.

وأوضحت الدراسة أن علاج HAF له آثار إيجابية على جودة وعمر ثمار البرتقال. وقد وجد أيضاً أن نشاط polyphenol oxidase (PPO) للفواكه المعالجة كان أعلى بشكل ملحوظ وذلك دليل على زيادة مقاومة الفاكهة للتعفن.

ظهرت في السنوات الأخيرة كثير من الدراسات فيما يتعلق بدراسة تأثير استخدام الأشعة فوق البنفسجية UV-C في عملية حفظ جميع أنواع الأغذية، يعتمد مبدأ عمل UV على قدرتها على إتلاف الحمض النووي (RNA و DNA) للأحياء الدقيقة من خلال التفاعل بين فوتونات الأشعة والمادة الوراثية لهذه الكائنات (Koutchma, 2009). عندما يخترق ضوء UV-C (254 nm) جدار الخلية يتم امتصاصه بواسطة الحمض النووي داخل الخلية. وهذا يعطل المادة الوراثية، مما قد يؤدي إلى تكوين روابط جديدة. حيث ترتبط قاعدتان متجاورتان في سلسلة RNA/DNA معاً. يعطل هذا الضرر الجيني قدرة الخلايا المصابة على التكاثر (Allai et al., 2023)، حيث يؤدي امتصاص الأشعة إلى تكوين منتجات ضوئية للحمض النووي DNA مثل ثنائيات بيريميدين السيكلوبوتان Cyclobutane Pyrimidine ومنتجات بيريميدين 6–4 بيريميدون Pyrimidne 6-4 Pyrimidone الضوئية، التي تعيق النسخ والتكرار مما يؤدي إلى حدوث طفرات وموت الخلايا (Gayan et al., 2014)، علاوةً على ذلك، فإنّ الإفراط في إنتاج مركبات Reactive Oxygen Species (ROS) (وهي منتجات ثانوية لعملية الاستقلاب الغذائي الطبيعي للأكسجين) الناجم عن الأشعة يمكن أن يؤدي إلى أكسدة الدهون الغشائيّة وتثبيط الأنزيمات الخلوية الحرجة (Visser et al., 2002).

تؤثر عدة عوامل في آلية عمل الأشعة فوق البنفسجية بما في ذلك شدة الضوء ونوع الأحياء الدقيقة المستهدفة والأغذية المعالجة والمسافة بين اللمبة والأغذية، والتي يمكن أن تختلف اعتماداً على التطبيق المحدد (Koutchma, 2009) و (Singh et al., 2021). من المهم ملاحظة أنّ هذه العوامل مترابطة ويجب أخذها في الاعتبار بشكل جماعي في أثناء تصميم وتنفيذ عمليات المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية.

تم استخدام الأشعة فوق البنفسجية لزيادة العمر الافتراضي للمواد الغذائية وتقليل عدد الأحياء الدقيقة المسببة للأمراض وكانت لها نتائج جيدة في زيادة العمر الافتراضي لعصائر الفاكهة والمشروبات المختلفة والخضراوات والفواكه واللحوم والدواجن ومنتجات المأكولات البحرية، وتقليل شدة النضج (Koutchma, 2009). قام (Pristijono et al., 2019) بتعريض ثمار الليمون من صنف تاهيتي (Citrus Latifolia) للأشعة فوق البنفسجية بنسب مختلفة من شدة الضوء ولاحظوا أنّ المعالجة بالشدة الضوئية 10.5 Kj/m^2 حافظت على جودة الثمار في أثناء التخزين عند درجة حرارة 10 °C ولمدة 28 يوم. وذلك من خلال تقليل إنتاج الإيتيلين وانخفاض معدل التنفس وتأخير النضج.

عالج (Daze et al., 2024) ثمار الليمون الأحمر (Citrus Limonia) والليمون التاهيتي (Citrus Latifolia) والبرتقال الحلو (Citrus Sinensis) بالأشعة فوق البنفسجية (استطاعة 20 W ولمدة 5 min) وتم تخزين الثمار في سلال بلاستيكية لمدة 21 يوم عند الدرجة 26 °C ورطوبة نسبية 70 %. أدى هذا التطبيق إلى فعالية في تأخير النضج ومنع التحبيب والحفاظ على المعايير الفيزيائية والكيميائية لهذه الحمضيات.

إنّ استخدام التعبئة العقيمة في أكياس من البولي ايتيلين سماكة 30 ميكرون (منخفض الكثافة) يمكن أن يكون حلاً لمنع التلوث اللاحق، إلا أنّه يجب أن يرتبط بسلسلة من الخطوات السابقة تتمثل بالتعقيم المسبق للثمار وإجراء عمليات التعبئة بعد التعقيم دون تعرض الثمار للتلوث سواء من الهواء أو من التلامس مع عمال التعبئة. لذا **هدف البحث إلى:**

1- صنع جهاز التعقيم باستعمال الأشعة فوق البنفسجية.
2- دراسة تأثير التعقيم في الحمولة الميكروبية لثمار الليمون.
3- دراسة تأثير التعقيم في بعض الخصائص لثمار الليمون المبردة (كيميائية، فيزيائية، ميكروبية).

مواد البحث وطرائقه:

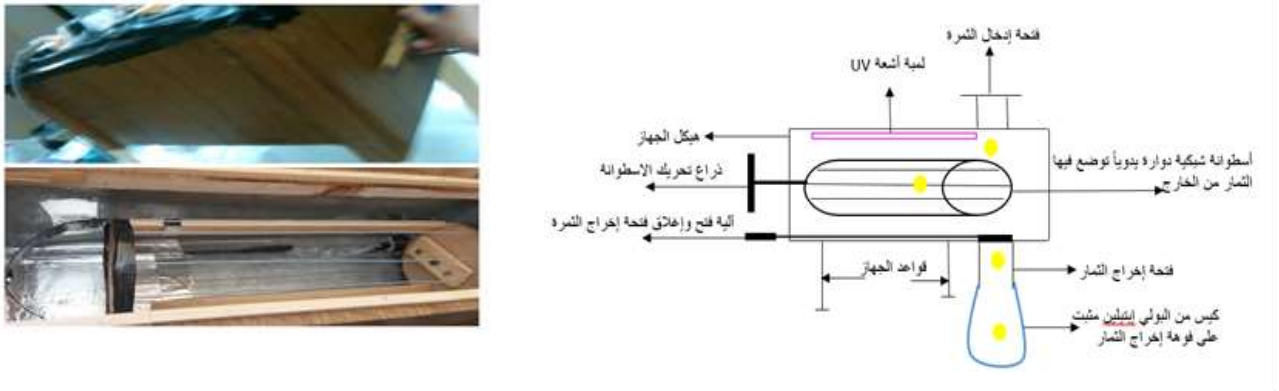
- **صنع جهاز التعقيم بأشعة UV:**

تمّ تصنيع الجهاز المبيّن بالشكل (1) من أجل تجارب التعقيم والتعبئة في ظروف عقيمة.

تم التعقيم والتعبئة العقيمة (أي ضمن جو مغلق معقم دون ملامسة الهواء من لحظة دخول الثمرة لجهاز التعقيم حتى خروجها من الجهاز وتغليفها) كما يلي:

- يثبّت الكيس على فتحة إخراج الثمرة.

- تُسقط الثمرة إلى الجهاز عبر فتحة الإدخال إلى الأسطوانة الشبكية وتُعرّض للأشعة فوق البنفسجية وتبقى فيه للمدة المطلوبة (1, 5, 10, 15 min)، مع التحريك المستمر من الخارج بواسطة ذراع تحريك الاسطوانة.
- يتم سحب الثمرة عبر إمالة الجهاز، فتسقط الثمرة في الكيس عبر فوهة الإخراج.
- يتم اللحام الحراري للكيس.
- تُؤخذ الثمار للاختبار الميكروبيولوجي أو التخزين.



الشكل (1): جهاز المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية (على اليمين مخطط رمزي، على اليسار صورة للجهاز من الخارج والداخل).

- **تحضير عينات ثمار الليمون وتعقيمها وتعبئتها:** تمّ اختيار ثمار الليمون صنف انتردوناتو (Interdonato) له المواصفات التالية:
  - اللون: أصفر.
  - الحجم: قطر الثمرة عند المنتصف 50 ±5 mm.
  - المادة الذوابة (البريكس): 12.42%.
  - نسبة سكر / حمض: 0.61.

تم اختيار الثمار السليمة وحديثة القطاف خالية من الجروح والكدمات، ويعتمد اختيار هذا النوع من الأصناف لأن ثماره تتميز بالصمود والقشر السميك وينتج بشكل عالي في سوريا ويتمتع بعصيرية جيدة وغير متوفر على مدار السنة.

عند تطبيق الأشعة تم اعتماد ما يلي:

1- استطاعة اللمبة: 30 W.

2- البعد بين اللمبة والثمرة 15 cm وهو بعد ثابت في كافة التجارب.

3- تم تجريب تطبيق الأشعة لفترات زمنية مختلفة هي: 1, 5, 10, 15 دقيقة.

- **الاختبارات الكيميائيّة والفيزيائيّة والميكروبيولوجيّة الّتي أُجريت على الثمار:**

- **نسبة الأحماض الكليّة (%)**: باستخدام طريقة المعايرة بماءات الصوديوم 0.1 N وحسبت النتائج على أساس حمض الليمون كحمض سائد حسب (AOAC, 2012).
- **محتوى فيتامين C** (mg/100g): حُدد بالطريقة اليودومتريّة باستخدام المعايرة بمحلول اليود 0.005 mol/L بوجود مشعر النشاء (5 %) حتى ظهور اللون الأزرق الغامق وفقاً لـ (Satpathy et al., 2021).
- **اللون:** باستخدام جهاز Spectrocolorimeter (CM-5) حيث تم قياس المؤشرات اللونية للثمار عند نقطتين متعاكستين بالنسبة لمركز الثمرة وأخذت قيمة المتوسط للقراءات حسب (Laboratory manual procedures for analysis of citrus products, 2011).
- **محتوى الماء:** باستخدام جهاز التجفيف حتى ثبات الوزن حسب (AOAC, 2005).
- **قوام الليمون:** بحسب الطريقة المتبعة من قبل (AOAC, 2005) وذلك باستخدام جهاز (System Ltd England TA.XT.Plus. Texture Analyses Staple. Micro).
- **تحديد النسبة المئويّة للتلف:** يُعبّر مؤشر التلف عن وجود الإصابات الفيزيولوجيّة الناتجة عن التبريد غير الملائم وكذلك الإصابات الفطرية المرئيّة على سطح الثمار الخارجي، وتمّ تقييم مؤشر التلف للثمار عن طريق المشاهدة منذ بداية التخزين وخلال فترات التخزين (عند إجراء تجارب أولية للمعالجة وخلال التخزين قصير الأمد (شهر) وبعد مرور شهرين على التخزين وفي نهاية عملية التخزين أي بعد مرور 6 أشهر)، وعند درجة حرارة تخزين 6±2 °C، لمتابعة حدوث أي إصابات فيزيولوجيّة أو نمو فطري مرئي على سطح الثمرة، ويحسب من خلال العلاقة التالية (عبد الله وعلي، 2010):

النسبة المئوية للتلف = [B/A] * 100

حيث A: العدد الكلي للثمار و B: عدد الثمار التالفة.

- **تعداد الخمائر والفطور**: استعمل الوسط المغذي PDA (Potato Dextrose Agar)، وتمّ التحضين عند درجة الحرارة 30ºC ولمدة 72 ساعة (صادق وآخرون، 2006)
- **تحديد نسبة الكحول الإيتيلي:** حُدد بالطريقة اليودومتريّة باستعمال المعايرة بـ تيوسلفات الصوديوم بوجود مشعر النشاء (1%) حتى ظهور اللون الأزرق وفقاً لـ (Manual of Methods of Analysis of Foods, 2019).
- **تحديد السكريات:** باستخدام طريقة فهلنغ (الباقوني، 2006).
- **تحديد الغازات:** تم قياس الغازات باستخدام جهاز تحليل الغازات (PBI Dansensor, Ringsted, Denmark) حسب (Karacay and Ayhan, 2010).

تم إجراء اختبارات التخزين وفق ما يلي:

1- معالجة واختيار زمن المعالجة الأفضل.

2- تخزين الليمون المعالج بالأشعة لمدة شهر.

3- تخزين الليمون المعالج مدة 6 أشهر.

- **التحليل الإحصائي:**

تمّ تحليل النتائج باستخدام برنامج Minitab 17 بواسطة تحليل التباين ANOVA one way عند مستوى معنوية $\alpha=0.05$.

النّتائج:

- **نتائج اختيار زمن المعالجة الأفضل:**

يُبين الجدول (1) نتائج التقييم الميكروبيولوجي لثمار الليمون المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية والمخزنة لمدة 72 ساعة في ظروف عقيمة.

الجدول (1): نتائج الدراسة الأولية للثمار المعالجة

البيان	الزمن min	القوام kg/cm^2	اللون Chroma	الحالة الميكروبيولوجية (تعداد الخمائر والفطور)
الليمون	**شاهد**	$3.20^{A}\pm0.18$	$45.50^{D}\pm0.03$	+
	1	$3.19^{A}\pm0.01$	$45.51^{CD}\pm0.02$	+
	5	$3.17^{A}\pm0.02$	$45.53^{BC}\pm0.01$	+
	10	$3.16^{A}\pm0.01$	$45.55^{B}\pm0.01$	-
	15	$3.14^{A}\pm0.02$	$45.60^{A}\pm0.01$	-

تمّ تمثيل النتائج باستخدام قيم المتوسط (ثلاث مكرّرات) ± الانحراف المعياري، وتُشير الأحرف الكبيرة إلى الفروق المعنويّة الهامّة بين المتوسطات ضمن العمود الواحد مع اختلاف الزمن، في حين تُشير إشارة + إلى وجود فطور وخمائر وإشارة – عدم وجود فطور وخمائر.

ويتبيّن من الجدول (1) أنّ اختلاف زمن المعالجة لم يؤثر على قيم القوام للثمار بينما كان هناك فرق معنوي بسيط في لون الثمار. إلّا أنّ الحالة الميكروبيولوجية للثمار كانت أفضل عند زمن 10 و15 دقيقة ووفقاً للمراجع (Shen et al., 2013) تم اعتماد الزمن 10 min.

- **نتائج التخزين المبرد لمدة شهر لثمار الليمون باستخدام الأشعة فوق البنفسجية (10 min) والوسط الغازي العقيم:**

يُبين الجدول (2) تغيّر الخصائص الفيزيائيّة لثمار الليمون باستخدام الأشعة فوق البنفسجية (10 min) (مدة التخزين شهراً واحداً).

الجدول (2): نتائج تغيّر الخصائص الفيزيائيّة لثمار الليمون المعالجة

البيان	القوام kg/cm^2	اللون Chroma
عينة ليمون شاهد	$2.79^{A}\pm0.03$	$45.92^{A}\pm0.08$
عينة ليمون معالجة	$3.08^{B}\pm0.02$	$45.70^{B}\pm0.04$

تمّ تمثيل النتائج باستخدام قيم المتوسط (ثلاث مكرّرات) ± الانحراف المعياري. وتُشير الأحرف الكبيرة إلى الفروق المعنويّة الهامّة بين المتوسطات ضمن العمود الواحد.

ويُبين الجدول (3) تغيّر التركيب الكيميائي لثمار الليمون المخزّنة بظروف الوسط العقيم وباستخدام الأشعة فوق البنفسجية بعد شهر من التخزين.

الجدول (3): نتائج تغيّر الخصائص الكيميائية لثمار الليمون المعالجة

البيان	المحتوى المائي %	السكريات الكليّة %	الأحماض الكليّة %	فيتامين C mg/100mL
ليمون شاهد	$86.47^{A}\pm0.09$	$2.61^{A}\pm0.03$	$4.58^{A}\pm0.06$	$73.90^{A}\pm0.13$
ليمون معالج	$86.22^{B}\pm0.04$	$2.52^{B}\pm0.01$	$5.00^{B}\pm0.02$	$73.93^{A}\pm0.01$

تمّ تمثيل النتائج باستخدام قيم المتوسط (ثلاث مكرّرات) ± الانحراف المعياري. وتُشير الأحرف الكبيرة إلى الفروق المعنويّة الهامّة بين المتوسطات ضمن العمود الواحد.

يُبين الجدول (4) التقييم الميكروبيولوجي لثمار الليمون المخزنة بظروف الوسط العقيم وباستخدام الأشعة فوق البنفسجية (10 min) بعد شهر من التخزين.

الجدول (4): نتائج التقييم الميكروبيولوجي لثمار الليمون المعالجة

البيان	التعداد العام (فطور وخمائر)	المظاهر العينية للثمار
عينة ليمون شاهد	+	ظهور عفن على سطح الثمار بشكل واضح
عينة ليمون معالجة	-	ثمار سليمة ولم يلاحظ وجود أعفان

بعد إجراء اختبار الخمائر والفطور لثمار الليمون الشاهد والمعالجة تبيّن وجود فطور على سطح الثمار غير المعالجة، ومن مشاهدة مستعمرة الفطور وشكل الميسيليوم على الليمون كانت شبيهة تماماً بالصور المرجعية لفطر Penicillium، وهي من الفطور التي تنمو عادةً على الحمضيات، في حين لم يظهر أي مستعمرة فطرية على سطح الثمار المعالجة وهذا يتطابق مع المظاهر العينية للثمار حيث يُلاحظ ظهور عفن بشكل واضح على سطح الثمرة بعد مرور شهر من التخزين في حين لم يظهر عفن على سطح الثمار المعالجة.

من أجل التأكد من طبيعة الوسط المحيط بالثمار (الوسط ضمن عبوة البولي إيتيلين) وتركيبه الغازي أي محتواه من غازات CO_2 وO_2، من أجل الحكم على ملاءمتها لعملية التخزين، تم قياس تغيّر التركيب الغازي للوسط ضمن العبوات على مدى 20 يوم حيث حصل استقرار للوسط من حيث محتواه من O_2 وCO_2. يُبين الجدول (5) هذه القياسات.

الجدول (5): تغيير التركيب الغازي للوسط المحيط بثمار الليمون المعقمة والمبردة (%).

البيان	الغاز	زمن أخذ القراءة										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ليمون شاهد	**O2**	21.0^{A} ±0.1	20.4^{B} ±0.1	18.6^{C} ±0.2	16.8^{D} ±0.2	15.6^{E} ±0.2	14.4^{F} ±0.2	13.3^{G} ±0.1	12.3^{I} ±0.3	12.5^{H} ±0.1	12.0^{J} ±0.1	12.3^{I} ±0.1
	CO2	0.0^{j} ±0.1	3.8^{i} ±0.2	5.7^{h} ±0.1	6.4^{g} ±0.1	7.2^{f} ±0.2	8.0^{e} ±0.3	9.1^{a} ±0.3	9.1^{a} ±0.2	8.8^{c} ±0.1	8.7^{d} ±0.1	9.0^{b} ±0.01
ليمون معالج بالأشعة فوق البنفسجية	**O2**	21^{A} ±0.2	18.0^{B} ±0.1	16.3^{C} ±0.2	15.8^{F} ±0.1	14.3^{I} ±0.2	15.1^{H} ±0.2	15.4^{G} ±0.1	15.8^{F} ±0.2	16.2^{D} ±0.2	16.1^{E} ±0.1	16.2^{D} ±0.1
	CO2	0.0^{k} ±0.1	8.3^{e} ±0.1	9.4^{d} ±0.2	10.1^{c} ±0.1	11.5^{a} ±0.1	10.4^{b} ±0.1	8.0^{f} ±0.2	7.1^{g} ±0.1	6.2^{i} ±0.2	5.6^{j} ±0.2	6.3^{h} ±0.1

تم تمثيل النتائج باستخدام قيم المتوسطات (ثلاث مكررات) ± الانحراف المعياري، وتُشير الأحرف الكبيرة إلى الفروق المعنوية الهامة في غاز O_2 بين المتوسطات ضمن السطر الواحد، بينما تُشير الأحرف الصغيرة إلى الفروق المعنوية الهامة في غاز CO_2 بين المتوسطات ضمن السطر الواحد. مع ملاحظة أنّ التركيب الغازي يستقر بعد مرور 14–16 يوم على بدء التخزين.

يُلاحظ من معطيات الجدول (4) أنّ نسبة غاز O_2 بالنسبة لعينات الشاهد قد انخفضت بالتدريج على مدى 20 يوماً من القيمة 21 % حتى القيمة 12.3 % بينما ارتفعت نسبة غاز CO_2 من 0 وحتى 9.0 % بعد مرور 20 يوماً ويتوافق ذلك مع نظم التخزين في الوسط المعدل للثمار (Tariq et al., 2001) وانخفاض وارتفاع تراكيز الغازات يعود إلى تنفس الثمار وإلى النفوذية الاصطفائية لغلاف البولي إيتيلين. أما بالنسبة للعينات المعالجة بالأشعة فقد كان هناك انخفاض في نسبة غاز O_2 بسبب تأثير الأشعة على الثمار الذي ظهر خلال اليومين الأوليين من التخزين بعد المعالجة فقد انخفض من 21 % إلى 16.2 % بعد مرور 20 يوماً بينما ارتفعت نسبة غاز CO2 من 0 إلى 6.3 %.

- **نتائج التخزين طويل الأمد لثمار الليمون باستخدام الأشعة فوق البنفسجية (10 min) والوسط الغازي العقيم:**

يُبين الجدول (6) تغيير التركيب الكيميائي لثمار الليمون المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية والمخزّنة في ظروف الوسط المعدّل

الجدول (6): نتائج تخزين ثمار الليمون المعالجة

البيان	المركب	زمن أخذ القراءة (شهر)						
		0	1	2	3	4	5	6
ليمون شاهد	سكريات %	2.50^{C} ±0.07	2.61^{B} ±0.03	2.80^{A} ±0.02	-	-	-	-
	الأحماض الكلية %	5.12^{A} ±0.02	4.58^{B} ±0.06	4.14^{C} ±0.04	-	-	-	-
	فيتامين C mg/100mL	74.10^{A} ±0.1	73.90^{A} ±0.13	70.10^{B} ±0.08	-	-	-	-
	نسبة الماء %	86.75^{A} ±0.2	86.47^{B} ±0.09	86.31^{B} ±0.01	-	-	-	-
	الكحول الإيتيلي %	1.39^{C} ±0.2	1.64^{B} ±0.03	1.94^{A} ±0.01	-	-	-	-
ليمون معالج بالأشعة فوق البنفسجية min 10	سكريات %	2.50^{E} ±0.07	2.52^{DE} ±0.01	2.54^{CDE} ±0.02	2.56^{BCD} ±0.01	2.58^{ABC} ±0.01	2.59^{AB} ±0.02	2.61^{A} ±0.02
	الأحماض الكلية %	5.12^{A} ±0.02	5.00^{B} ±0.02	4.80^{C} ±0.01	4.58^{D} ±0.01	4.35^{E} ±0.02	4.10^{F} ±0.01	3.90^{G} ±0.01
	فيتامين C mg/100mL	74.10^{A} ±0.1	73.93^{B} ±0.01	73.78^{C} ±0.02	73.57^{D} ±0.02	$73.^{29E}$ ±0.01	72.94^{F} ±0.05	72.80^{G} ±0.01
	نسبة الماء %	86.75^{A} ±0.2	86.22^{B} ±0.04	86.15^{BC} ±0.01	86.11^{BCD} ±0.03	86.03^{CDE} ±0.02	85.98^{DE} ±0.02	85.90^{E} ±0.05
	الكحول الإيتيلي %	1.39^{G} ±0.2	1.63^{F} ±0.2	1.80^{E} ±0.08	2.17^{D} ±0.01	2.59^{C} ±0.06	3.03^{B} ±0.01	3.50^{A} ±0.1

تمّ تمثيل النتائج باستخدام قيم المتوسط (ثلاث مكرّرات) ± الانحراف المعياري، وتُشير الأحرف الكبيرة إلى الفروق المعنويّة الهامّة بين المتوسطات ضمن السطر الواحد مع مرور الزمن (6 أشهر)، مع مُلاحظة أنّ ثمار الشاهد تلفت بعد مرور شهرين فقط من التخزين.

يُظهر الجدول (7) نتائج تقدير القوام واللون لثمار الليمون المخزّنة بالتبريد لمدة 6 أشهر، مع مُلاحظة أنّ نتائج الليمون شاهد كانت بعد مرور شهرين فقط وذلك بسبب تلفها بالكامل بعد شهرين من التخزين.

الجدول (7): تقدير القوام واللون لثمار الليمون (عينة الشاهد بعد شهرين فقط).

البيان	القوام kg/cm^2		اللون Chroma	
	قبل التخزين	بعد التخزين	قبل التخزين	بعد التخزين
شاهد	3.20A±0.18	2.10B±0.01	45.50b±0.03	46.30a±0.02
أشعة فوق بنفسجية	3.20A±0.18	2.30B±0.01	45.50b±0.03	46.79a±0.01

تمّ تمثيل النتائج باستخدام قيم المتوسط (ثلاث مكرّرات) ± الانحراف المعياري، وتُشير الأحرف الكبيرة إلى الفروق المعنويّة الهامّة بين المتوسطات ضمن السطر الواحد مع مرور الزمن، بينما تُشير الأحرف الصغيرة إلى الفروق المعنويّة الهامّة ضمن السطر الواحد مع مرور الزمن.

يُظهر الجدول (8) شكل ونسبة الفقد لثمار الليمون المخزّنة بالتبريد لمدة 6 أشهر، مع مُلاحظة أنّ نتائج الليمون شاهد كانت بعد مرور شهرين فقط وذلك بسبب تلفها بالكامل بعد شهرين من التخزين.

الجدول (8): تقدير شكل ونسبة الفقد لثمار الليمون (عينة الشاهد بعد شهرين فقط).

البيان	تغير الوزن %		تلف فيزيولوجي %	تلف ميكروبيولوجي (فطور وخمائر) %
	قبل التخزين	بعد التخزين		
شاهد	0.00^{B}±0.01	3.80^{A}±0.01	30.00	100.00
أشعة فوق بنفسجية	0.00^{B}±0.01	6.89^{A}±0.01	1.50	2.00

تمّ تمثيل النتائج باستخدام قيم المتوسط (ثلاث مكرّرات) ± الانحراف المعياري، وتُشير الأحرف الكبيرة إلى الفروق المعنويّة الهامّة بين المتوسطات ضمن السطر الواحد مع مرور الزمن، وتبيّن لدينا بداية تلف ميكروبي في ثمار الليمون المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية بعد 6 أشهر من التخزين، وعند إجراء اختبار الخمائر والفطور ظهر عدد من المستعمرات الفطرية على سطح الطبق، ومن مشاهدة مستعمرة الفطور وشكل الميسيليوم على الليمون كانت شبيهة تماماً بالصور المرجعية لفطر Peincillium.

المناقشة:

عند مقارنة النتائج الأوليّة للمعالجة بالأشعة فوق البنفسجية وفق عدة أزمان تمّ الوصول إلى أفضل زمن معالجة لثمار الليمون وهو 10 min وهذا يشابه دراسة (Shen et al., 2013)، حيث قام الباحثون بتعريض ثمار اليوسفي "ساتسوما" للأشعة فوق البنفسجية لمدة 10 min وقد أدت هذه المعالجة إلى زيادة مضادات الأكسدة ومحتوى المركبات النشطة بيولوجياً مع المحافظة على سمات الجودة للثمار مثل محتوى المواد الصلبة الكلية ورقم الحموضة والحموضة المعايرة وفيتامين C. لذلك تمّ استكمال التخزين عند هذا الزمن.

إنّ دراسة تأثير زمن التخزين (6 أشهر) والمعالجة بالأشعة فوق البنفسجية (10 min) لثمار الليمون، وتخزينها عند الدرجة (6±2°C) بشكل عقيم ضمن أكياس من البولي إيتيلين، أظهر أنّ هناك فرق بسيط في قيم السكريات كنتيجة لتأثير زمن التخزين، حيث زادت نسبة السكريات من 2.50 % إلى 2.61 % بعد ستة أشهر من التخزين، ويعود ذلك إلى نضج ثمار الليمون الذي يتمثل بتراكم السكر والذي بدوره يعتمد على الإنزيمات التحفيزية الرئيسية في عملية التمثيل الغذائي للسكر (Liao et al., 2019)، حيث يتم تحويل السكروز إلى فركتوز وغلوكوز بواسطة أنزيم الانفرتاز Invertase (INV)، وعلى العكس من ذلك، يُحفز أنزيم فوسفات السكروز Sucrose Phosphate Synthase (SPS) تخليق السكروز من الفركتوز والغلوكوز، مما أدى إلى زيادة محتوى السكروز والغلوكوز والفركتوز (Shi et al., 2016). علاوةً على ذلك قد يحدث التحبيب كعملية طبيعية في أنواع

الحمضيات، حيث ترتفع مستويات السكر أثناء النضج ثم تستقر أو تنخفض مما يؤدي إلى تدهور جودة ثمار الحمضيات (Johari et al., 2023).

ترتبط الحموضة بالأحماض العضويّة، التي تساهم بشكل كبير في نكهة الحمضيات، ويُلاحظ انخفاض كبير في قيمتها خلال التخزين ويعود ذلك إلى استهلاك الأحماض العضويّة كركائز أساسيّة في عمليّة التنفّس (liu et al., 2020)، حيث يتم استقلابها بواسطة دورة حمض ثلاثي الكربوكسيليك Ticarboxylic Acid Cycle (TCA)، مما يؤدي إلى إطلاق الطاقة على شكل ATP (Hu et al., 2019). كان هناك فرق معنوي هام $P<0.05$ في قيم فيتامين C لثمار الليمون مع استمرار التخزين حيث انخفضت قيمته مع تقدم فترة التخزين، ويُعزى ذلك إلى أكسدة حمض الأسكوربيك (فيتامين C) إلى حمض الأسكوربيك منزوع الهيدروجين. وكان الانخفاض في ثمار الليمون المعالجة أقل من الثمار غير المعالجة ويفسّر ذلك بأنّ الأشعة فوق البنفسجية تؤثر على المسار الأيضي لحمض الأسكوربيك (Pristijono et al., 2019).

أدّت المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية إلى تقليل فقدان الماء عن طريق تقليل النشاط الأيضي وتأخير معدل التنفس والنتح (Daza et al., 2024) وبذلك يكون الانخفاض في نسبة الماء لثمار الليمون في حدوده الدنيا، حيث انخفضت من 86.75 % إلى 85.90 % بعد ستة أشهر من التخزين. لُوحظ زيادة في تركيز الكحول الإيتيلي مع تقدم زمن التخزين لثمار الليمون، حيث تُعزى هذه الزيادة إلى أنّ الإيتانول (الكحول الإيتيلي) يعد من نواتج عملية التنفس وهذا يتوافق مع (Alhassan et al., 2019).

ساهمت المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية في تأخير التغيرات في لون الثمار من خلال الحد من نشاط بعض الأنزيمات مثل بولي فينول أوكسيداز Polyphynol Oxidase (PPO) وإيزوميراز الكاروتين Caroten Isomeras (Sontag et al., 2023)، ويمكن أن تحافظ المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية على اللون الأصفر عن طريق تقليل إنتاج الإيتيلين (Daza et al., 2024).

أمّا تغيّر قوام الثمار يعود بشكلٍ أساسيّ إلى نشاط الأنزيمات المحلّلة (بولي غالاكتوروناز وميتيل بكتين استيراز) الّتي تُحطم السلاسل الببتيديّة وتهدّم النشاء والمواد البكتينيّة في الثمار فتُكسبها بعض الطراوة، وإنّ هذه المعالجات تعمل على تثبيط نشاط الأنزيمات المحلّلة، وبالتالي تُؤدي إلى تأخير تليين الثمار ونضجها (Liao et al., 2024). يمكن أن تساعد المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية بعد الحصاد في تقليل خسارة الحمضيات من حيث التلف الفيزيولوجي الذي انخفض من 30 % إلى 1.5 % مقارنة بعينة الشاهد، ومن ناحية أخرى فقد انخفض التلف الميكروبيولوجي من 100 % إلى 2 % مقارنة بعينة الشاهد، وهذا يتوافق مع الدراسة التي قام بها (Sontag et al., 2023) حول فعالية الأشعة فوق البنفسجية في تقليل العفن على الخضراوات.

الاستنتاجات:

إنّ استخدام الأشعة فوق البنفسجية لتعقيم ثمار الليمون أعطى نتائج إيجابية حيث حافظت الثمار على جودتها من حيث التغيرات الكيميائية البسيطة نسبياً في كلٍ من محتوى الماء والسكريات الكلية والأحماض وفيتامين C والكحول الإيتيلي وحافظت على قوامها ولونها وكانت نسبة الإصابات الفيزيولوجية والميكروبيولوجية في حدودها الدنيا فقد بلغت نسبة التلف الفيزيولوجي والميكروبي بعد 6 أشهر من التخزين 1.5% و 2% على التوالي.

التوصيات:

1- تعقيم ثمار الليمون بالأشعة فوق البنفسجية (استطاعة 30 W، طول موجة 254 nm، لمدة 10 min) وتعبئتها بأكياس من البولي إيتيلين للمحافظة على الحد الأدنى من التلف الفيزيولوجي والميكروبي للثمار لفترة تصل إلى 6 أشهر.

2- نقترح تجربة طريقة التعقيم الشامل بالأشعة فوق البنفسجية على خضار وفواكه أخرى ووفق أزمان مختلفة.

المراجع:

الباقوني، محمد رياض (2006). كيمياء الأغذية (القسم العملي). مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، كلية الهندسة الكيميائيّة والبتروليّة، جامعة البعث. سورية.

المجموعة الإحصائيّة السوريّة، 2022، المكتب المركزي للإحصاء في سوريا.

زكرياء، بشيري وعماد، بو شعرة. 2023- دراسة نظرية حول الحمضيات، ماجستير، كلية علوم الطبيعة والحياة، جامعة الإخوة منتوري قسنطينة، الجزائر.

صادق، شريف. كشتعاري، محمود وعبود، رندى، 2006- علم الأحياء الدّقيقة (القسم العملي)، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، كلية الهندسة الكيميائيّة والبتروليّة، جامعة البعث. سورية.

عبد الله، حسن وعلي، علي. (2010). تعبئة وتخزين ثمار الفاكهة والخضار (القسم العملي). مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة تشرين. سورية.

Alhassan, N.; Golding, J.; Wills, R.B.H.; Bowyer, M.C. and Pristijono, P. (2019). Long Term Exposure to Low Ethylene and Storage Temperatures Delays Calyx Senescence and Maintains 'Afourer' Mandarins and Navel Oranges Quality. Journal of Food. 8 (1): 19-31.

Allai, F.M.; Azad, Z.R.A.A; Mir, N.A. and Gul, K., 2023- Recent advances in non-thermal processing technologies for enhancing shelf life and improving food safety, Applied Food Research, vol. 3. 100258.

AOAC (2005). Official methods of analysis (17th ed.). Association of official analytical chemists, Washington, DC.

AOAC (2012). Official methods of analysis (17th ed.). Association of official analytical chemists, Washington, DC.

Daza, J.A.; Ciro, J.A.V.; Sepulveda, V.P.; González, J.C.J.; Cubillos, V.R.; García, J.T.P.; Bastidas, J.H.S.; Pinilla, L.T.B.; Merino, J.V.A.; Palacio, D.C.Ň.; Vargas, D.F.C.; Ávila, E.L. and García, A.M.G., 2024- UV-C effect on postharvest quality of citrus fruits from the northeastern region of valle del cauca, Colombia, vol. 26. 379-386.

Gayán, E.; Condón, S. and Álvarez, I., 2014- Biological Aspects in Food Preservation by Ultraviolet Light: A Review, Food and Bioprocess Technology, vol. 7. 1-20.

Hu, L.; Yang, C.; Zhang, L.; Feng, J. and Xi, W., 2019- Effect of light emitting diodes and ultraviolet irradiation on the soluble sugar, organic acid, and carotenoid content of postharvest sweet oranges (Citrus Sinensis L. Osbeck), Molecules, vol. 24 (19). 3440.

Johari, N.H.F.; Dolhaji, N.H.; Shamsuri, S. and Latif, P.A., 2023- A review on sugar and organic profiles on the postharvest quality of fruits, vol. 17 (2). 91-108.

Karacay, E. and Ayhan, Z. (2010). Microbial, Physical, Chemical and Sensory Qualitis of minimaiiy Processed and Modified Atmosphere Packaged "Ready to Eat" Orange Segments, International Journal of Food Properties. 13 (5): 960- 971.

Koutchma, T., 2009- Advances in Ultraviolet Light Technology for Non-Thermal Processing of Liquid Foods, Food and Bioprocess Technology, vol. 2. 138-155.

Laboratory manual procedures for analysis of citrus products. 2011- by John Technologies Corporation, Inc. FMC FL 33801 USA, Citrus Systems.

Lafuente, M.T. and Zacarias, L. (2006). Postharvest physiological disorders in citrus fruit. Stewart Postharvest Review. 2 (1): 1-9.

Lanza, G.; Di Martino, A.; Strano, MC.; Calandra, M. and Aloisi, V. (2006). Evaluation of new treatments to control postharvest decay of citrus. Greece. 172-174.

Liao, L.; Dong, T.; Qiu, X.; Rong, Y.; Wang, Z. and Zhu, J., 2019- Nitrogen nutrition is a key modulator of the sugar and organic acid content in citrus fruit, Plose One, vol. 14 (10). 1-18.

liao, L.; Li, J.; Lan, X.; Li, Yaman; Li, Yunjie; Huang, Z.; Jin, Z.; Yang, Y.; Wang, X.; Zhang, M.; Sun, G.; Zhang, Xiaoai; Xiong, B. and Wang, Z. (2024). Exogenous melatonin and interstock treatments confer chilling tolerance in citrus fruit during cold storage. Scientia Horticultural. 327.

Liu, SH.; Huang, H.; Huber, D.J.; Pan, Y.; Shi, X. and Zhang, Z. (2020). Delay of ripening and softening in 'Guifei' mango fruit by postharvest application of melatonin. Postharvest Biology and Technology. 163.

Manual of Methods of Analysis of Foods. 2019- Alcoholic Beverages. Food Safety and Standars Authority of India Ministry of Health and Family Welfare. New Delhi.

Pristijono, P.; Bowyer, M.C.; Papoutsis, K.; Scarlett, C.J.; Vuong, Q.V.; Stathopoulos, C.E. and Golding, J.B., 2019- Improving the storage quality of Tahitian limes (Citrus Latifolia) by pre-storage UV-C irradiation, Journal of Food Science and Technology, vol. 56. 1438-1444.

Sapers, G.M., 2001- Efficacy of washing and sanitizing methoda for disinfection of fresh fruit and vegetable products, Food Technology and Biology, vol. 39(4). 305-311.

Satpathy, L.; Pradhan, N.; Dash, D.; Baral, P.P. and Parida, S.P. (2021). Quantitative determination of Vitamin C concentration of common edible food sources by redox titration using iodine solution. Letters in Applied NanoBioscience. 10 (3): 2361-2369.

Shen, Y.; Sun, Y.; Qiao, L.; Chen, J.; Liu, D. and Ye, X., 2013- Effect of UV-C treatments on phenolic compounds and antioxidant capacity of minimally processed Satsuma mandarin dyring refrigerated storage, Postharvest Biology and Technology, vol. 76. 50-57.

Shi, L.; Cao, S.; Shao, J.; Chen, W.; Yang, Z. and Zheng, Y., 2016- Chinese bayberry fruit treated with blue light after harvest exhibit enhanced sugar production and expression of cryptochrome genes, Postharvest Biology and Technology, vol. 111. 197-204.

Singh, H.; Bhardwaj, S.K.; Khatri, M.; Kim, K.H. and Bhardwaj N., 2021- UVC radiation for food safety: an emerging technology for the microbial disinfection of food products, Chemical Engineering Journal, vol. 417. 128084.

Sontag, F.; Liu, H. and Neugart, S., 2023- Nutritional and physiological effects of postharvest UV radiation on vegetables: A review, Agricultural and Food Chemistry, vol. 71. 9951-9972.

Tariq, A.T.; Tahir, F.M.; Asi, A.A. and Pervez, M.A., 2001- Effect of controlled atmosphere storage on damaged citrus fruit quality, International Journal of Agriculture and Biology, vol. 3(1). 9-12.

Visser, P.M.; Poos, J.J.; Scheper, B.B.; Boelen, P. and Van Duyl, F.C., 2002- Diurnal variations in depth profiles of UV-induced DNA damage and inhibition of bacterioplankton production in tropical coastal waters, Marine Ecology Progress Series, vol. 228. 25-33.

Wan, C.; Kahramanoglu, I.; Chen, J.; Gan, Z. and Chen C., 2020- Effects of Hot air Treatments on Postharvest Storage of Newhall Navel Orange. Plants, 9, 170.

The effect of UV treatment and aseptic packaging on the quality of refrigerated lemon fruits

Rana youness Hamdan*(1), Anton Sammaan Youssef(2) and Ahmad Sammour Al-Ibrahim(3)

(1). Phd student, Department of Food engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Al-Baath University

(2). Professor, Department of Food Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Al-Baath University.

(3). Assistant Professor, Department of Food Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Al-Baath University.

(Corresponding Author: Rana Hamdan, email: ranahamdan999@gmail.com, mob.: 0934591083)

Received: 17/2/2025 Accepted: 23/4/2025

Abstract

The effect of using ultraviolet rays to sterilize Lemon fruits, are studied in this research, and packaging them in aseptic conditions and storing them refrigerated, on the percentage of microbiological spoilage of the fruits and on the change in their chemical composition. For sterilization, ultraviolet rays were used in different times (1,5,10,15 min). For aseptic packaging, a locally manufactured device was used to carry out this work, and polyethylene bags were used to pack the fruits simultaneously with sterilization it. The results showed that using ultraviolet rays (power 30 W, wavelength 254 nm, for 10 min) gave positive results in terms of the possibility of using it according to this method for 6-month storage of Lemon. The fruits maintained good physical and chemical properties, with relatively minor changes in total sugars and acids, vitamin C, water content, and ethyl alcohol after 6 months of refrigerated storage. The fruits maintained their texture, as the texture value of the treated fruits reached 2.30 kg/cm^2, the color change (Chroma) was 46.79, the physiological spoilage rate was 1.5%, and the microbiological spoilage (fungi and yeasts) was 2%.

Key words: Lemon, Aseptic Ambience, Polyethelyne, Ultraviolet Radiation.