تأثير الحفظ في الهواء المعدل على جودة ثمار صنف الحلاوي في مرحلة البلح (الخلال)

سمية اشتيوي امحمد كشافرة[1] ومحمد أبوصاع فنير[2]
قسم الهندسة الزراعية، كلية الزراعة، جامعة طرابلس. ليبيا

المستخلص

تناولت الدراسة تقييم حفظ بلح الحلاوي في ظروف الهواء المعدَّل (5 و7% ثاني أكسيد الكربون، كل مع 5% أكسجين، ومعاملة الهواء الجوي كشاهد) وتأثيرها على بعض خصائص الجودة. جُمعت الثمار في مرحلة البلح في الأسبوع الأول من شهر سبتمبر، قُطعت الشماريخ، وغُسلتُ الثمار وفُرزت وقُسمت على المعاملات بواقع 350 جرام، ثم حُفظت داخل قناني بلاستيكية محكمة القفل لمدة ثلاثة أشهر عند 1°م ±0.5 بواقع ثلاثة مكررات. شملت الخصائص المدروسة: معدل التنفس، والصلابة، وفقد الوزن، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، والخصائص اللونية (L و a و b). قِيست جميع الخصائص عند القطف، وبعد ثلاثة أسابيع، وبنهاية فترة الحفظ بواقع خمس مكررات، وقورنت بمثيلاتها عند القطف. أظهرت النتائج تأثيراً معنوياً للهواء المعدل على معدل التنفس؛ حيث انخفض إلى أقل من 0.35 مل.كج$^{-1}$.ساعة$^{-1}$ لمعاملتي الهواء المعدل، وكانت الأفضلية معنوياً لمعاملة 5% ثاني أكسيد الكربون. أيضاً انخفضت صلابة الثمار معنوياً بنهاية زمن الحفظ مقارنة بالقيم المسجلة عند القطف، فيما لم تؤثر معاملات الهواء المعدل وزمن الحفظ معنوياً على المواد الصلبة الذائبة الكلية. سُجِّل ارتفاع معنوي لنسبة فقد الوزن بنهاية فترة الحفظ لمعاملة الهواء العادي مقارنة بمعاملتي الهواء المعدل. أما تأثير معاملات الهواء المعدل وزمن الحفظ فقد كان معنوياً على الخصائص اللونية (L، a، وb) مقارنة بتلك المسجلة عند القطف، انخفضت القيم اللونية لمعاملتي: الهواء المعدل ومعاملة الهواء العادي، وتغيّر لون الثمار من الأصفر إلى البني الفاتح. هذا وأظهرت النتائج أن الحفظ لثلاثة أشهر كان نسبياً أفضل لمعاملة 5% ثاني أكسيد الكربون.

الكلمات المفتاحية: الهواء المعدل، ثاني أكسيد الكربون، الهواء الجوي، الحلاوي، الخصائص الفيزيائية.

المقدمة

تُعد نخلة التمر (*Phoenix dactylifera* L.) من أقدم أشجار الفاكهة التي زرعها الإنسان، وتنتشر زراعتها بكثافة في الواحات الصحراوية جنوب البحر الأبيض المتوسط والشرق الأوسط، وبدرجة أقل في مناطق أخرى من العالم. ويُعد التمر محصولًا غذائيًا رئيسيًا، وله دور مهم في النمط الغذائي لعديد من المجتمعات (العكيدي، 2009). وقد بلغ الإنتاج العالمي من التمور نحو 8 ملايين طن متري وفق إحصائيات منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 2020) تستحوذ دول شمال أفريقيا والشرق الأوسط على نحو 90% من هذا الإنتاج. تتميز ليبيا بظروف بيئية ملائمة لزراعة النخيل، وتعد من الدول المهمة في إنتاج التمور؛ إذ يقدر إنتاجها السنوي بحوالي 187 ألف طن متري (FAO، 2024)؛ مما يضعها في المرتبة الثانية عشرة عالميًا (Racchi *et al.*, 2013). وتُستهلك التمور في مراحل البلح والرطب والتمر تبعًا للصنف والظروف المناخية السائدة. ففي المناطق الساحلية من ليبيا، تُجمع أغلب الأصناف في مرحلة الرطب، بينما تُستهلك أصناف محدودة في مرحلة البلح. وتكون ثمار هذه الأصناف في مرحلة النضج الفسيولوجي الكامل، وتكتسب لونها المميز غالبًا الأصفر، ومن أهمها أصناف الحلاوي والحرة واللمسي والبرحي، وجميعها مفضلة لدى المستهلك (إبراهيم وخليف، 2004؛ Ismail *et al.*, 2006).

للاتصال: محمد أبوصاع فنير، قسم الهندسة الزراعية، كلية الزراعة، جامعة طرابلس. ليبيا.
هاتف: 218 913755701+ البريد الالكتروني: M.Fennir@uot.edu.ly
استلمت بتاريخ: 2025/12/10 أجيزت بتاريخ: 2026/6/1

يشمل الفاقد في الثمار عمومًا الخسائر التي تحدث بين القطف والاستهلاك، وتعتمد نسبته على سرعة تلف الثمار؛ فكلما زادت قابلية الثمار للتلف ارتفعت نسبة الفاقد. ويُعزى الفاقد بعد الحصاد غالبًا إلى تغيرات فسيولوجية أو عمليات حيوية كالتنفس، أو إلى إصابات ميكروبية أو ميكانيكية ناتجة عن المناولة الخشنة (العاني، 1985). وتصنف التمور ضمن ثمار الفاكهة الكلايمكترية (Climacteric)؛ إذ يرافق نضجها ارتفاع معدل التنفس وإنتاج الإيثيلين، ويزداد إنتاجه مع تقدم الثمار نحو مرحلة الرطب (Kader and Hussein 2009) ويمكن خفض معدل إنتاج الإيثيلين بتخزين الثمار في ظروف هواء معدل أو متحكم فيه، حيث تكون هذه الظروف فعالة عند تراكيز منخفضة من ثاني أكسيد الكربون، بينما تؤدي التراكيز العالية منه مع مستويات منخفضة من الأكسجين –دون الوصول إلى التنفس اللا هوائي– إلى تثبيط نشاط الإيثيلين؛ لذا يُعد ثاني أكسيد الكربون من أهم وسائل حفظ الثمار (Baldwin, 2004). ورغم الأهمية الاقتصادية والغذائية للتمور في كثير من البلدان، خصوصًا العربية منها، إلا أنها تتعرض لنسب فاقد مرتفعة بعد الحصاد. وتظل تقنيات حفظها في مرحلتي البلح والرطب محدودة؛ إذ يُستخدم التبريد لحفظ البلح لفترات قصيرة، بينما تحفظ ثمار الرطب عن طريق التجميد، في حين يظل استخدام الهواء المعدل محدودًا (Fennir *et al.*, 2023). ويُعد الحفظ في ظروف الهواء المعدل من أهم تقنيات تخزين وتعبئة العديد من أصناف الخضر والفواكه والأغذية؛ إذ يسهم في تقليل العمليات الحيوية والمحافظة على الجودة حتى وصول المنتج إلى المستهلك. وتجدر الإشارة إلى أن حفظ التمور في ظروف غير مناسبة قد يؤدي إلى تدهور الجودة مثل تبلور السكريات، وجفاف التمور الرطبة، والتحمّض، وتغير اللون، فضلًا عن زيادة احتمالية الإصابة بالكائنات الحية الدقيقة (Morretti *et al.*, 2005; Prange *et al.*, 2007). ونظرًا لأهمية ثمار الحلاوي في مرحلة البلح باعتبارها فاكهة مفضلة لدى المستهلك وقصر فترة توفرها في الأسواق، فقد استهدفت هذه الدراسة التعرف على استجابة ثمار الحلاوي في مرحلة البلح لمعاملة الهواء المعدل، وتقييم تأثير هذه المعاملة في خصائص الجودة وإطالة فترة الحفظ.

المواد وطرائق البحث

جمع العينات

جُمعت عينات صنف الحلاوي في مرحلة البلح في الأسبوع الأول من شهر سبتمبر من العام 2018م من مزرعة واقعة بمنطقة سوق الجمعة بمدينة طرابلس، نُقلت العينات إلى معمل تقنيات ما بعد الحصاد بقسم الهندسة الزراعية كلية الزراعة، جامعة طرابلس.

تجهيز العينات

فُرزت العينات واستبعدت الثمار غير المرغوب فيها (صغيرة الحجم والمصابة ميكانيكيا وغير المكتملة النضج). غُسلت العينات بالماء لإزالة ما قد يكون عالقا بها من أتربة وشوائب، وُزنت العينات بواقع 350 جرام، تم وُضعت في أوعية الحفظ الموضح وصفها لاحقاً بواقع ثلاثة مكررات لكل معاملة، بالإضافة إلى وحدة خُصصت للقياس بين بداية فترة الحفظ ونهايتها.

أوعية الحفظ

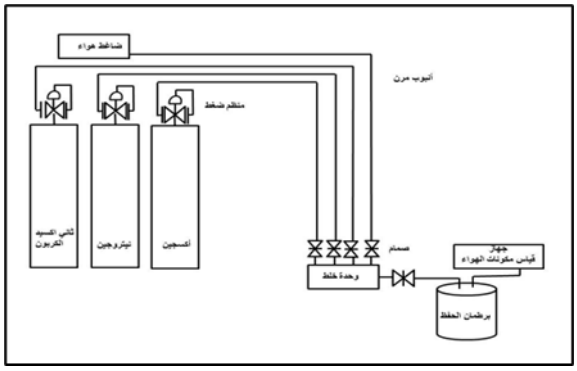
استخدمت في الدراسة قناني بلاستيكية سعة 1.5 لتر، مزودة بغطاء بلاستيكي محكم القفل، مثبت على الغطاء صمام نحاسي لتسهيل عمليتي القياس وتعديل الهواء داخل القناني، اختبر إحكام القفل ومنع تسرب الهواء خارج القناني باستخدام الهواء المضغوط عند 0.3 بار (الضغط الذي يتحمله غطاء القنينة ونقطة اتصال الصمام به)، أُجري اختبار إحكام الضغط باستخدام الرغوة ومراقبة الضغط على حواف الغطاء والصمام.

منظومة الحقن

تتكون منظومة الحقن من ثلاث أسطوانات مضغوطة بثاني أكسيد الكربون والأكسجين والنيتروجين، ومتصلة بوحدة الحقن المتكونة من ثلاث صمامات متصلة بغرفة الخلط، ومنها إلى وعاء الحفظ. يتم إدخال الغاز المطلوب إلى الغرفة بفتح أحد الصمامات، كما يوجد صمام للتحكم مركب على الغرفة وذلك للتحكم في ضغط الغاز

المجلة الليبية للعلوم الزراعية، المجلد (31)، العدد (1) 2026: 79- 90

المراد حقنه داخل الوعاء، شكل (1) يبين مكونات منظومة الحقن المستخدمة.



شكل 1. منظومة الحقن . المصدر: فنير والمؤلف (2021).

قياس وتعديل مكونات الهواء

قيست مكونات الهواء داخل القناني باستخدام جهاز قياس مكونات الهواء من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون نوع (Packaging Systems Ltd, Kent, CT14 0BD UK, Model CANAL120 O2&CO2 Gas Analyzer, EMCO). يسحب الجهاز عينة هواء صغيرة ويمررها على حساسي قياس نسبة الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، ويعرض القراءة على لوحة ضوئية رقمية كنسب مئوية.

معاملة الهواء المعدل

استخدم في التجربة تركيبة هوائية عند مستويين من ثاني أكسيد الكربون 5% و7% كل منهما مع 5 % أكسجين، وحفظت العينات عند درجة حرارة قريبة من الصفر المئوي(1م° ±0.5). اختيرت النسب المستخدمة في هذه الدراسة اعتماداً على تركيبات هوائية استخدمت في دراسات سابقة للحفظ في ظروف الهواء المعدل أجريت بمعمل تقنيات ما بعد الحصاد تراوحت بين 5 و 15% (Fennir *et al.*, 2021، فنير والمولف 2021، Fennir *et al.*, 2017).

مر اقبة العينات

تم مراقبة العينات بصورة دورية لمدة 3 أشهر، عُدلت نسب ثاني أكسيد الكربون والأكسجين كلما انحرفت عن النسبة المستهدفة بقدر ±2% باستخدام منظومة الحقن الموضحة سابقاً.

قياس معدل التنفس

قيس معدل التنفس للثمار بناء على كل من: وزن العينة، وحجم العينة، والزمن وحجم الوعاء مقفل، قياس نسب ثاني أكسيد الكربون والأكسجين. حُسب معدل التنفس معبراً عنه كثاني أكسيد الكربون مُنتج وأكسجين مستهلك بالعلاقة الآتية:

$$RR_{CO2} = \frac{(\%\ CO2)*V}{M*t} \quad \text{..... (1)}$$

$$RR_{O2} = \frac{(\%\ O2)*V}{M*t} \quad \text{..... (2)}$$

معدل التنفس كثاني أكسيد الكربون

$RRCO2 = (ml.kg^{-1}.h^{-1})$

معدل التنفس كأكسجين مستهلك

$RRO2 = (ml.kg^{-1}.h^{-1})$

قراءة جهاز القياس، % = CO2

قراءة جهاز القياس، % = O2

حجم الهواء داخل الوعاء، مل= V

وزن العينة بالكيلو جرام، كجم = M

الزمن المستغرق والوعاء مقفل، ساعة = t

تم قياس معدل التنفس عند بداية التجربة وبعد ثلاثة أسابيع وعند انتهاءها وعبر عنه كمتوسط معدل التنفس خلال فترة الحفظ.

غرفة التبريد

استخدمت غرفة تبريد حجم 8 متر مكعب تحتوي على منظومة تبريد ميكانيكي ولوحة تحكم في درجات الحرارة خارج الغرفة، كما يوجد بها أرفف معدنية بها فتحات لتسمح بمرور الهواء وذلك لضمان التبريد الجيد للعينات.

جمع وتسجيل البيانات

• النسبة المئوية لفقد الوزن

وزنت العينات في بداية التجربة بواقع حوالي 350 جرام، ثم أعيدت عملية الوزن في نهايتها بعد ثلاثة أشهر تقريباً، وحُسبت النسبة المئوية لفقد الوزن باستخدام المعادلة الآتية:

نسبة فقد الوزن =

$$\frac{\text{وزن العينة في بداية التجربة} - \text{وزن العينة نفسها في نهاية التجربة}}{\text{وزن العينة في بداية التجربة}} \times 100$$

• صلابة الثمار

أُخذت 5 ثمرات عشوائياً من كل مكرر، وقيست صلابة كل ثمرة على حده باستخدام جهاز قياس الصلابة نوع (Model FHT 803, General Tools and Instruments TM, New York, NY.10013, USA) ، يحتوي الجهاز على قضيب لاختراق الثمرة ومزود بشاشة رقمية لإظهار قوة اختراق الثمار المقاسة، استخدم قضيب الاختراق قطر 11.1ملم، عند القياس أُزيل جزء من القشرة الخارجية للثمرة في منطقة القياس، وثُبت القضيب في هذه المنطقة وضُغط تدريجيا باليد إلى أن أخترق الثمرة، عندها سجل الجهاز القراءة على الشاشة معبراً عنها بوحدة القوة (نيوتن).

• المواد الصلبة الذائبة الكلية

أُخذت 5 ثمرات عشوائياً لكل مكرر ونُزعت منها النواة ثم طُحنت وخُلطت جيداً، وضع الخليط في قطعة من الشاش واستخلصت العصارة، أخذت قطرات من المستخلص لتحديد المواد الصلبة الذائبة الكلية (TSS) باستخدام جهاز قياس انكسار الضوء الرقمي اليدوي نوع (Model PAL-α, ATAGO Co, Ltd, Tokyo, Japan) مُعبرا عن المواد الصلبة الذائبة الكلية بدرجة (Brix).

• تقييم الخصائص اللونية

قيست خصائص اللون لقشرة الثمار في بداية التجربة ونهايتها باستخدام جهاز قياس انكسار الضوء نوع (Minolta CR 400, Minolta Corp., New Jersey, USA) ، يُحدد الجهاز الخصائص اللونية للثمار ويظهر القيم اللونية على شاشة رقمية (L, a, b). يمثل (L) درجة سطوع اللون ، بينما (a) تعبر عن التدريج بين اللونين الأخضر (-100) والأحمر (+100)، في حين (b) تمثل تدرج اللون بين الأزرق (- 100) والأصفر (+ 100). عند القياس وضعت عدسة الجهاز على الثمرة ملاصقة لقشرتها وأخذت القراءات لعدد 5 ثمرات لكل مكرر من المعاملات.

تصميم التجربة

التجربة كانت عاملية وصُممت بنظام القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) بعدد 3 مكررات، بمعاملتي الهواء المعدل (5 و 7 % ثاني أكسيد الكربون) ومعاملة الهواء الجوي كشاهد وبعدد 12 وحدة تجريبية. وكانت العوامل التابعة فقد الوزن والخصائص اللونية والمواد الصلبة الذائبة الكلية والصلابة.

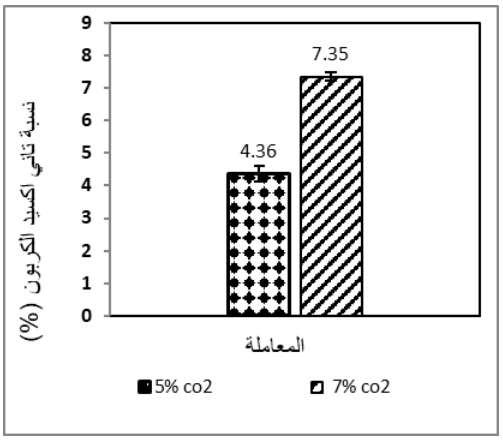
التحليل الإحصائي

استخدم تحليل التباين (ANOVA) لتحليل البيانات تحت مستوى معنوية 0.05، وذلك باستخدام البرنامج الإحصائي (SPSS) إصدار 25، وقورنت متوسطات المعاملات المختلفة معنوياً بطريقة (Tukey Kramer).

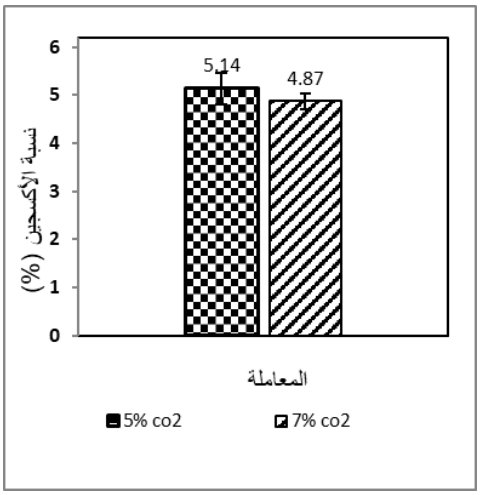
النتائج والمناقشة

أداء منظومة الحفظ

يبين الشكل (2) متوسط نسب ثاني أكسيد الكربون خلال ثلاثة أشهر، والتي كانت قريبة من النسب المستهدفة؛ حيث عُدلت نسب الأكسجين وثاني أكسيد الكربون عند انحرافها عن النسبة المستهدفة 5%، وحوالي 7% نظرا لعملية التنفس واستهلاك الأكسجين وإنتاج ثاني أكسيد الكربون في عملية التنفس. متوسطات ثاني أكسيد الكربون لمعاملة 5% كانت 4.36±0.23، وأما متوسطات معاملة 7% ثاني أكسيد الكربون فكانت 7.35±0.12. سُجل استقرار نسب ثاني أكسيد الكربون وكانت قريبة جدا من النسب المستهدفة. كما يبين الشكل (3) متوسط نسب الأكسجين خلال ثلاثة أشهر، والتي كانت – أيضاً- قريبة من النسبة المستهدفة؛ حيث عُدلت النسب المقاسة عند ابتعادها عن النسب المستهدفة بمقدار ± 2%، متوسطات الأكسجين لمعاملة 5% ثاني أكسيد الكربون كانت 5.14±0.33. أما متوسطات نسبة الأكسجين لمعاملة 5% ثاني أكسيد الكربون فكانت 4.87±0.16. سُجل استقرار لنسب الأكسجين وكانت قريبة جدا من النسب المستهدفة في الدراسة.



شكل2. متوسط نسب ثاني أكسيد الكربون داخل العبوة.



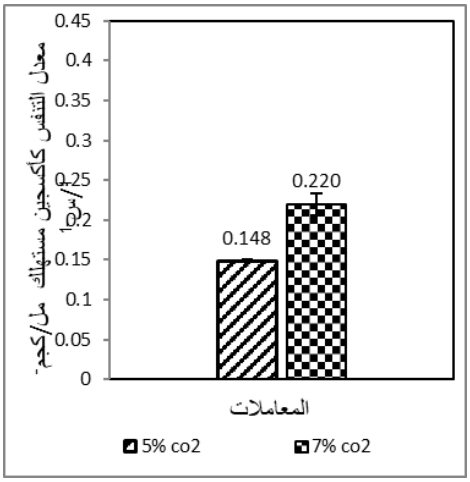
شكل .3 متوسط نسب الأكسجين داخل العبوة

● معدل التنفس

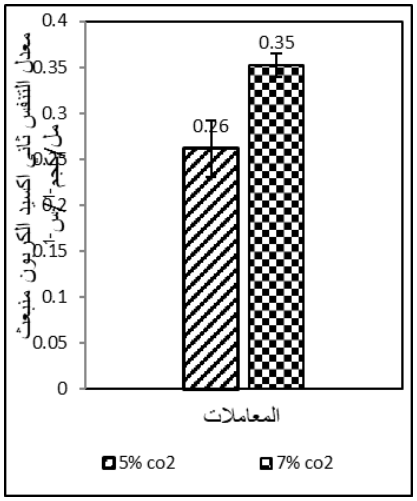
متوسط معدل التنفس كثاني أكسيد الكربون منتج وكأكسجين مستهلك

يبين الشكل (4) متوسط معدل التنفس كثاني أكسيد الكربون خلال ثلاثة أشهر، استخدمت في التجربة نسبتين من ثاني أكسيد الكربون 5%، 7% عند درجة حرارة قريبة من الصفر المئوي. وذلك للتقليل من معدل التنفس، متوسط معدل التنفس لمعاملة 5% فكان 0.26 ±0.03. أما متوسطات معاملة 5% ثاني أكسيد الكربون فكانت 0.35 ±0.01. خفضت معاملة 5% ثاني أكسيد الكربون من معدل التنفس، هنا يتضح من النتائج أن حفظ التمور تحت ظروف الهواء المعدل عند مستوى 5% ثاني أكسيد الكربون مع درجة حرارة قريبة من الصفر المئوي يخفض من معدل التنفس للثمار. هذا يتفق مع نتائج Fennir *et al.,* (2017) ، والتي أوضحت انخفاض معدل التنفس لثمار الحلاوي في ظروف الهواء المعدل بأربعة أضعاف عن معدل تنفسها الطبيعي عند درجة حرارة 5 درجة مئوية.

يبين الشكل (5) متوسط معدل التنفس كأكسجين مستهلك خلال ثلاثة أشهر، عند5% أكسجين ودرجة حرارة قريبة من الصفر المئوي، فكان متوسط معدل التنفس معبراً عنه بالأكسجين المستهلك لمعاملة 5% ثاني أكسيد الكربون (0.15 ±0.001)، أما متوسط معدل التنفس لمعاملة 7% ثاني أكسيد الكربون فكان (0.22±0.01).



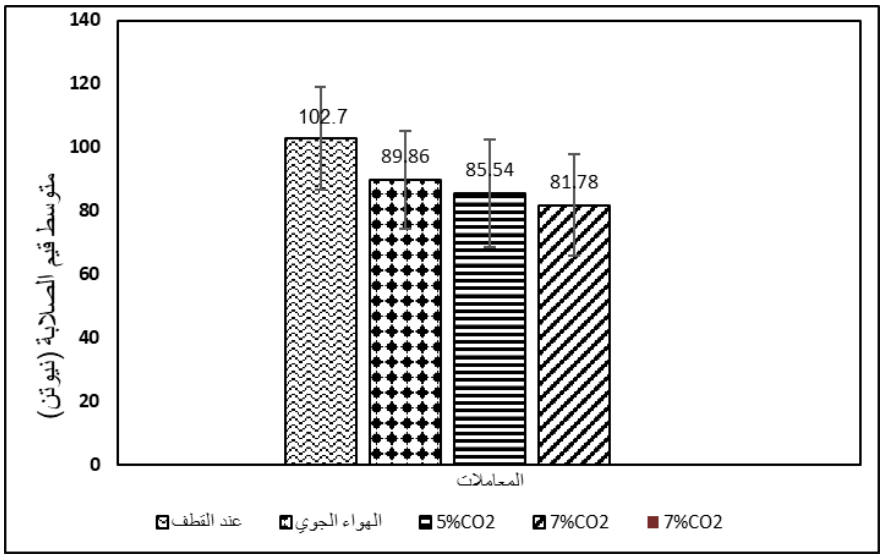
شكل 4. متوسط معدل التنفس كأكسجين مستهلك



شكل 5. متوسط معدل التنفس كثاني أكسيد الكربون منبعث.

يوضح الشكل (6) تأثير ظروف الهواء المعدل عند درجة حرارة قريبة من الصفر المئوي على صلابة الثمار بعد ثلاثة أشهر من الحفظ مقارنة بالقيم المسجلة عند

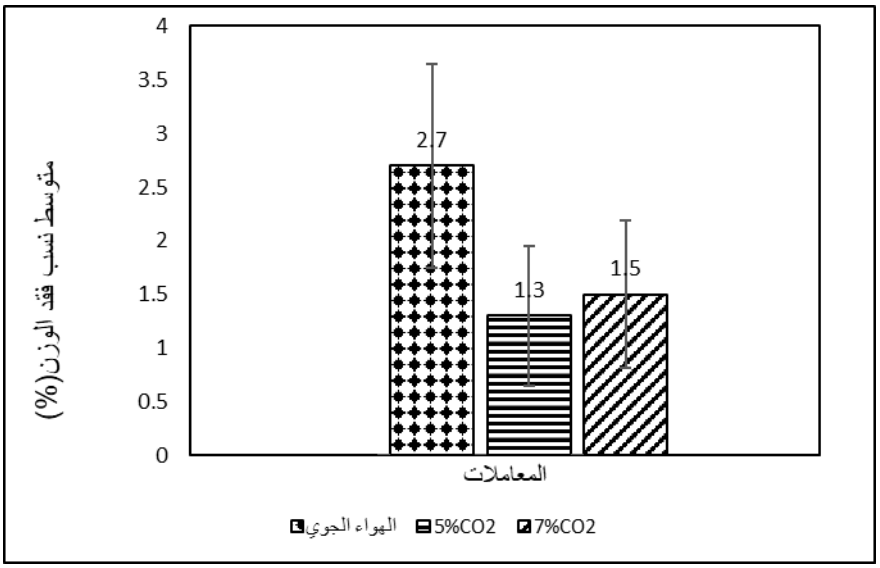
القطف. انخفضت قيم الصلابة معنوياً لمعاملتي الهواء المعدل ومعاملة الشاهد في نهاية التجربة مقارنة بالقيم المسجلة عند القطف، فقد كانت قيم الصلابة 102.76، و89.86، و85.54، و81.78 نيوتن المقاسة عند القطف والشاهد و5% و7% ثاني أكسيد الكربون، على التوالي. أظهرت النتائج وجود اختلافات معنوية بين المعاملات عند مستوى معنوية 0.05، عند المقارنة بين معاملات، سُجلت أعلى قيمة للصلابة لمعاملة الشاهد بقيمة 89.86 نيوتن مقارنة بمعاملتي الهواء المعدل 5%و7% ثاني أكسيد الكربون، بينما كان أقلها لمعاملة 7% ثاني أكسيد الكربون بقيمة 81.7 نيوتن. هذا ولم تظهر النتائج فروقًا معنوية فيما بين معاملة الهواء المعدل 5% ومعاملة الهواء الجوي، في حين سُجلت فروق معنوية بين المعاملتين 7% ثاني أكسيد الكربون والشاهد. هذه النتائج تتشابه مع نتائج لدراسة أجريت لحفظ ثمار التين في ظروف الهواء المعدل عند 5%، 10% و15% ثاني أكسيد الكربون ودرجتي حرارة 0 و5 مo (المولف، 2020). أيضا تتفق مع نتائج سابقة لدراسة أجراها Fennir *et al.*, (2017) والتي أشاروا فيها إلى أن ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون يخفض من صلابة ثمار الحلاوي في ظل ظروف الهواء المعدل. بينما كانت هذه النتائج غير مُتفقة مع ما ذكره Al-Redhaiman, (2005) بأن صلابة ثمار البرحي لم تتأثر عند تخزينها في ظروف الهواء المعدل، ربما يعود ذلك للاختلاف في الخواص بين صنفي البرحي والحلاوي.



شكل 6. تأثير الهواء المعدل على صلابة الثمار

- تأثير الهواء المعدل على فقد الوزن

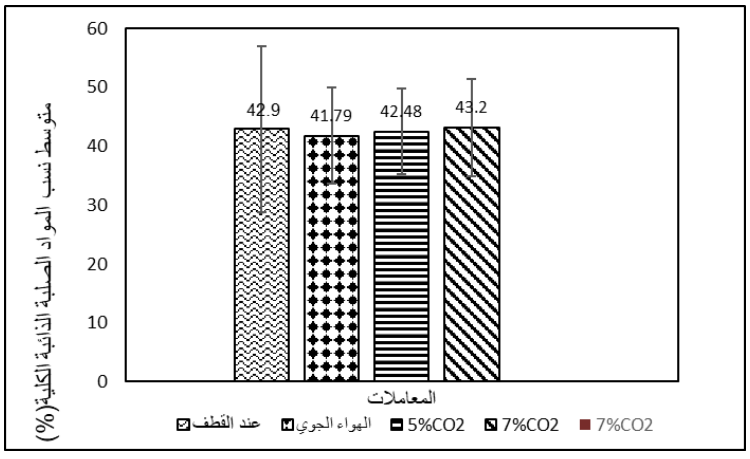
يوضح الشكل (7) تأثير ظروف الهواء المعدل عند درجة حرارة قريبة من الصفر المئوي على نسبة فقد الوزن للثمار بعد ثلاثة أشهر من الحفظ. أظهرت النتائج وجود اختلافات معنوية فيما بين المعاملات، سجلت أعلى نسبة فقد في الوزن عند معاملة الهواء الجوي (الشاهد) عند 2.7 % وأدناها لمعاملة5 % ثاني أكسيد الكربون عند 1.3 %، ولم تظهر النتائج فروقاً معنوية بين معاملتي الهواء المعدل. كما يتضح من النتائج أن معاملة 5% ثاني أكسيد الكربون خفضت من نسبة فقد الوزن مقارنة بمعاملتي الشاهد و7% ثاني أكسيد الكربون، ربما يرجع ذلك إلى انخفاض معدل التنفس الذي بدوره يخفض في نسبة فقد الوزن للثمار، إضافة إلى خفض الفقد الناتج عن تبخر الماء من سطح الثمار أثناء الحفظ (يونس وأبوترابي،2004). فيما يتعلق بالتمور أشار Al-Redhaiman (2004) في دراسته التي تناولت ثمار البرحي إلى أنه عند تخزينها في ظروف الهواء المعدل عند مستويات مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون أدى إلى تقليل فقد الوزن.



شكل 7. تأثير الهواء المعدل على نسبة الفقد بالوزن

● تأثير معاملة الهواء المعدل على المواد الصلبة الذائبة الكلية

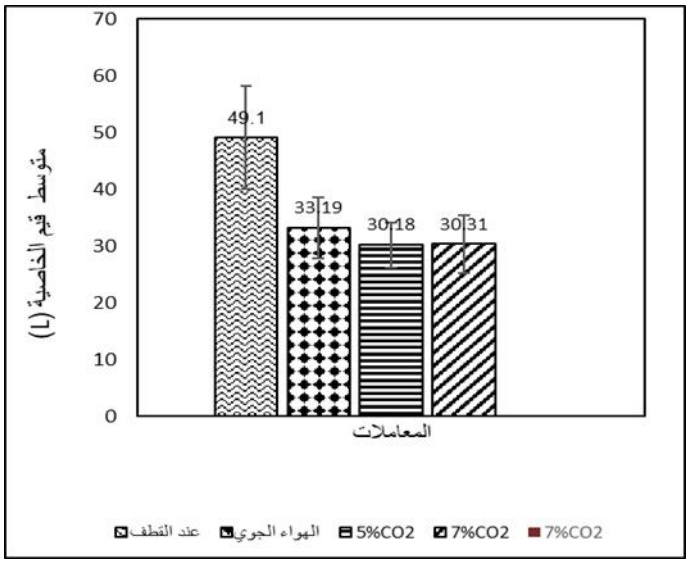
يوضح الشكل (8) تأثير ظروف الهواء المعدل عند درجة حرارة قريبة من الصفر المئوي على المواد الصلبة الذائبة الكلية بعد ثلاثة أشهر من الحفظ، أظهرت النتائج عدم وجود اختلافات معنوية فيما بين المعاملات؛ حيث كان أعلاها 7% ثاني أكسيد الكربون 43.2 بركس مقارنة بمعاملة 5% ثاني أكسيد الكربون ومعاملة الشاهد وأقلها عند معاملة الشاهد 41.79 بركس. هذا وسُجل فرق معنوي بين معاملتي الشاهد و7% ثاني أكسيد الكربون، ولم تسجل اختلافات كبيرة بين القياسات في بداية التجربة وتلك التي أُخذت في نهايتها، كما لم تتأثر نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية لمعاملة الهواء المعدل والشاهد. تتفق هذه النتائج مع دراسة أجراها Fennir *et al.*, (2017) التي تناولت ثمار صنفي الحرة والحلاوي في ظروف الهواء المعدل؛ حيث سُجل عدم وجود تغيرات في نسب المواد الصلبة الذائبة للثمار عند تخزينها لمدة ثلاثة أشهر. أجريت – أيضاً- دراسة مشابهة استهدفت تأثير تخزين ثمار البرحي تحت ظروف الهواء المعدل عند 5، و10، و20 % ثاني أكسيد الكربون عند درجة حرارة 0 م°، فقد سُجل أن الثمار التي خزنت عند مستوى 20% ثاني أكسيد الكربون ظلت محتفظة بجودتها ولم يلاحظ تغيّر المواد الصلبة الذائبة الكلية فيها لمدة 26 أسبوعاً، ولمدة 17 أسبوعاً عند مستويي 10% و 5% (Al-Redhaiman 2005).



شكل 8. تأثير الهواء المعدل على نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية

● تأثير الهواء المعدل على الخصائص اللونية

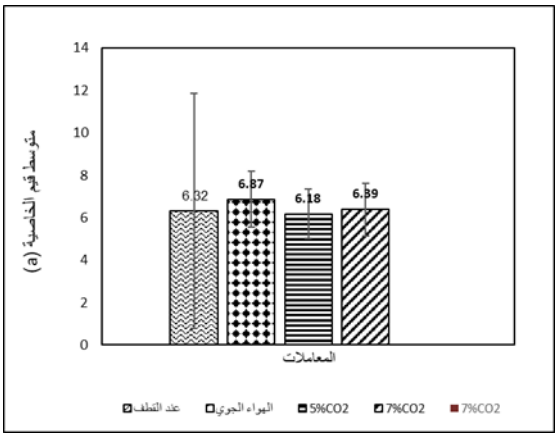
يوضح الشكل (9) تأثير ظروف الهواء المعدل عند درجة حرارة قريبة من الصفر المئوي على خاصية اللون (L). أظهرت النتائج وجود فروق معنوية بين معاملتي الهواء المعدل ومعاملة الهواء الجوي في نهاية فترة الحفظ مقارنة بتلك المسجلة عند القطف والتي كانت 49.1، عند المقارنة بين المعاملات لم تُسجل فروق معنوية فيما بينها وكانت 33.19 لمعاملة الشاهد و30.18 لمعاملة 5% و 30.31 لمعاملة 7% ثاني أكسيد الكربون. انخفاض قيم الخاصية في نهاية فترة الحفظ جعل الثمار تفقد لمعانها وسطوعها وتكتسب اللون الغامق، هذا الانخفاض لا يعود بالدرجة الأولى لاستخدام نسب مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون بل لتأثير فترة الحفظ. يتفق هذا مع نتائج سابقة لدراسة أجريت على تأثير ظروف الهواء المعدل عند مستويات مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون عند حفظ ثمار الحرة والحلاوي تحت هذه الظروف؛ حيث لوحظ تغيرات واضحة في درجة السطوع واللمعان في قشرة ثمار الحلاوي (Fennir *et al.*, 2017).



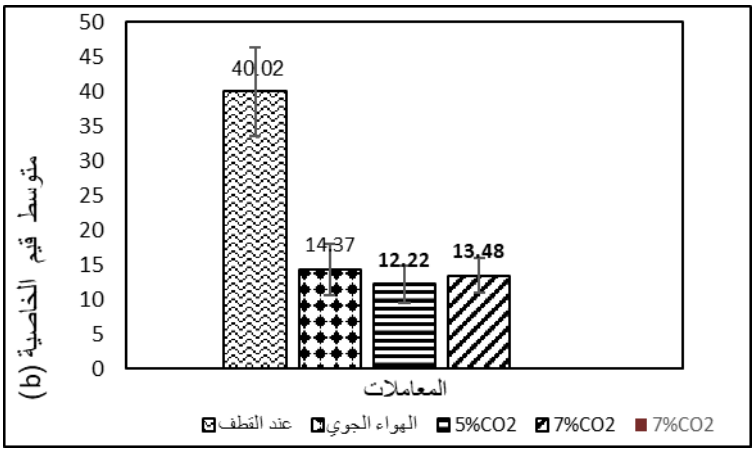
شكل 9. تأثير الهواء المعدل على خاصية اللون (L)

يوضح الشكل (10) تأثير ظروف الهواء المعدل عند درجة حرارة قريبة من الصفر المئوي على الخاصية (a)؛ حيث أظهرت النتائج عدم وجود فروق معنوية بين جميع المعاملات بما فيها تلك المسجلة والمقاسة عند القطف. اتضح من النتائج أنه ليس لمعاملة الهواء المعدل ومعاملة الهواء الجوي أي تأثير على الخاصية أثناء فترة الحفظ. الشكل (11) يوضح تأثير ظروف الهواء المعدل على الخاصية (b). أظهرت النتائج وجود فروق معنوية بين معاملتي الهواء المعدل ومعاملة الهواء الجوي مع تلك المسجلة عند القطف، عند المقارنة بين المعاملات تفوقت معاملة الشاهد التي سجلت 14.37 مقارنة بالمعاملتين 5% و 7% ثاني أكسيد الكربون واللتان سجلتا 12.22 و 13.48، على التوالي. هذا ولم تُسجل فروق معنوية بين معاملتي الهواء المعدل ومعاملة الهواء الجوي، فيما اختلفت جميعها مع تلك المقاسة عند القطف. انخفضت قيم الخاصية (b) للمعاملتين 5% و 7% ثاني أكسيد الكربون مقارنة بمعاملة الهواء الجوي، هذا الانخفاض جعل الثمار تفقد اللون الأصفر الساطع وتكتسب اللون البني الفاتح، يتفق هذا مع نتائج دراسة أجراها (Fennir et al., 2017) على تأثير ظروف الهواء المعدل على ثمار صنفي الحرة والحلاوي عند مستويات مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون، سُجلت فيها تغيرات واضحة في لون القشرة لثمار الحلاوي عند تخزينها في ظروف الهواء المعدل وبتركيزات مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون. التغير في اللون واكتساب الثمار اللون البني ربما يعود لتأثير فترة الحفظ وليس لاستخدام نسب مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون. يتضح من النتائج أن اكتساب الثمار اللون الغير مرغوب فيه لا يعود بالدرجة

الأولى إلى استخدام مستويات مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون، بل ربما يعود إلى نشاط انزيمي أو تغيرات فسيولوجية أخرى أثناء فترة الحفظ. سُجل ارتفاع في صبغة الميلانين (Melanin) وانزيم Polyphenol oxidase (PPO) عند الحفظ، ولكن يتأثر ذلك بظروف الهواء المعدل (Al-Amrani *et al.*, 2020).



شكل 10. تأثير الهواء المعدل على خاصية اللون(a)



شكل 11. تأثير الهواء المعدل على خاصية اللون(b)

الإستنتاج

أظهرت النتائج أنه يمكن حفظ ثمار الحلاوي في مرحلة الخلال لمدة ثلاثة أشهر وبمؤشرات جودة جيدة، وذلك عند جمعها في الأسبوع الأول من شهر سبتمبر؛ حيث أعطت معاملة الهواء المعدل تأثيرًا إيجابيًّا على طول فترة الحفظ وبعض خصائص الجودة، أدت معاملة 5% ثاني أكسيد الكربون إلى التقليل من فقد الوزن مقارنة بمعاملة 7% ثاني أكسيد الكربون ومعاملة الهواء الجوي، فيما لم تؤثر معاملتا الهواء المعدل ومعاملة الشاهد على نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية. أما الخصائص اللونية فقد انخفضت الخاصية (L) وفقدت الثمار سطوعها ولمعانها عند معاملتي الهواء المعدل والشاهد وبدون فروق معنوية فيما بينها، أما الخاصية (a) فقد سجلت عدم وجود فروق معنوية لمعاملتي الهواء المعدل ومعاملة الشاهد مع المسجلة عند القطف. أما فيما يخص خاصية اللون الأصفر(b) فقد فقدت الثمار خاصية اللون الأصفر عند معاملة الهواء الجوي ومعاملة الهواء المعدل مقارنة بالمعاملة عند القطف.

سُجل اكتساب الثمار اللون البني الفاتح غير المرغوب فيه تحت تأثير الهواء المعدل وبنهاية فترة الحفظ؛ حيث تلونت الثمار مع دخولها بداية مرحلة الترطيب. بصفة عامة، تغير لون الثمار إلى اللون البني يؤثر سلبًا على خصائص الثمار لكونه غير مرغوب فيه لدى المستهلك، توصي الدراسة بالآتي:

1-حفظ ثمار الحلاوي المقطوف في مرحلة البلح (الخلال) في بداية الأول من سبتمبر عند تركيز 5% ثاني أكسيد الكربون ودرجة حرارة قريبة من الصفر المئوي.

2-زيادة الدراسات والأبحاث في حفظ التمور باستخدام الهواء المعدل لمعالجة التغير في لون الثمار غير المرغوب فيه أثناء الحفظ.

الشكر والتقدير

يتقدم القائمون بالدراسة بأسمى آيات الشكر والعرفان والتقدير للهيئة الليبية للبحث العلمي لدعمها للمشروع البحثي، وتجهيز معمل تقنيات ما بعد الحصاد، وإنشاء المشروع الوطني لتقنيات ما بعد الحصاد بقسم الهندسة الزراعية، كلية الزراعة، جامعة طرابلس.

المراجع

إبراهيم، عاطف محمد؛ خليف، محمد نظيف. 2004. نخلة التمر زراعتها ورعايتها وإنتاجها في الوطن العربي. دار المعارف بالإسكندرية.

العاني، عبد الإله مخلف. 1985. فسلجة الحاصلات البستانية بعد الحصاد. الجزء الأول، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة بغداد، العراق،ص 520.

العكيدي، حسن خالد .2009. نخلة التمر سيدة الشجر ودرة الثمر. دائرة المكتبة الوطنية (عمان). ص 28- 47: 49 -300.

المولف، خالد مسعود. 2020. استخدام تقنية الهواء المحكوم في حفظ ثمار التين. رسالة ماجستير، كلية الزراعة، جامعة طرابلس، ليبيا. ص 52.

يونس، أحمد؛ أبو ترابي، بسام. 2004. تأثير درجة حرارة التخزين في القدرة التخزينية لبعض هجن البندورة، مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية. 20 (1): 85-97.

فنير، محمد أبوصاع، خالد مسعود المولف. 2021. كفاءة الهواء المعدل عند نسب مختلفة من ثاني أكسيد الكربون ودرجات الحرارة المنخفضة في حفظ محصولي التين (*Ficus carica* L.) المبكر (البيثر) والرئيسي. المجلة الليبية للعلوم الزراعية. 26 (2) 1-14.

Al-Amrani, M.; Al-Alawi , A. and Al-Marhobi L. 2020. Assessment of Enzymatic Browning and Evaluation of Antibrowning Methods on Dates. International Journal of Food Science. 1-9.

Al-Redhaiman, K. N. 2004. Modified atmosphere improves storage ability, controls decay and maintains quality and antioxidant contents of Brahi date fruits. Food, Agriculture and Environment, 2: 25-32 .

Al-Redhaiman, K.N. 2005. Chemical changes during storage of (Barhi) dates under controlled atmosphere conditions. HortScience, 40(5):1413-1415.

Ashmawi, J.; Hussain A.A. and Shaker M.M. 1955. Chemical changes of Samani dates during growth and ripening. Bull, Fac. of Agric., Cairo Univ. 60:3-13 .

Baldwin, E. 2004. Ethylene and postharvest Commodities. HortScience, 39(7): 1538-1540 .

FAO: Food and Agriculture Organization, 2025 FAOSTAT. [Accessed 10 Sep. 2025]. www.fao.org/faostat/

Fennir, M. A.; Raheel, S.E. and Morghem, M. T. 2017. Response of Libyan soft date cultivars " Hellawi" and "Hurra" at "Balah" stage to controlled atmosphere conditions. The Libyan Journal of Agriculture, 22(1): 61-73.

Fennir, M. A.; A. S. Bdewi and M. T. Morghem. 2021. The Potential of Using Modified Atmosphere and Cooling for Preserving 'Bronsi' and 'Taboni' Soft Dates at Rutab Stage. The Libyan Journal of Agriculture, 26(1): 76 – 87.

Fennir, M. A.; Raheel, S. A. and Morghem, M. T. 2023. Prospective of modified atmosphere methods in preserving quality and storability of some Libyan soft dates. ISHS Acta Horticulturae 1371 :463-474. DOI: 10.17660/ActaHortic.2023.1371.63

Ismail, B.; Haffar. I.; Baaibaki, R.; Mechref, Y. and Henry, J. 2006 Physic–chemical characteristics

and total quantity of five date varieties, Intr. J Food Sci. and Technol., 41: 919 – 926.

Kader A. A.; Hussein A. 2009. Harvesting and postharvest handling of dates. ICARDA, Aleppo, Syria. iv + 15 pp .

Morretti, C. L.; Mattos, L. M.; Berg, F. L. and Santos, J. Z. 2005. Quality attributes of tomatoes submitted to different postharvest treatment. ISHS Acta Horticulture, 682:1029-1036.

DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.682.134

Prange, R. K.; Delong, J. M.; Daniels-Like, B. J. and Harrison, P. A. 2005. Innovation in controlled atmosphere technology. Stewart Postharvest Review, 3:9 .

Racchi, M. L.; Bove, A.; Turchi, A.; Bashir, G.; Battaglia, M. and Gamunsi, A. 2013. Genetic characterization of Libyan date palm resources by microsatellite markets. 3 Biotech, DOI: 10.1007/s13205-013-0116-6*.

المجلة الليبية للعلوم الزراعية، المجلد (31)، العدد (1) 2026: 79- 90

THE LIBYAN JOURNAL OF AGRICULTURE
Volume (31) No. (1) 2026: 79 - 90

Original Article

Effect of modified atmosphere storage on quality of Hellawi dates at Khalal (Balah) stage

1- Somia Amhemed Kashafra[1] and Mohamed Abusaa Fennir[2]

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tripoli, Libya

ABSTRACT

This study evaluated the storage of 'Hellawi' date fruits under modified atmosphere (MA) conditions (5% and 7% CO2, each with 5% O2, with atmospheric air as a control) and their effect on some quality attributes. The fruits were harvested at the Balah (mature firm) stage during the first week of September. The strands were cut, and the fruits were washed, sorted, and divided into treatments (350g each). They were then stored inside sealed plastic bottles for three months at 1°C ±0.5 with three replications. The studied attributes included: respiration rate, firmness, weight loss, total soluble solids (TSS), and color parameters (L, a, b). All attributes were measured at harvest, after three weeks, and at the end of the storage period with five replications, and were compared to their values at harvest. The results showed a significant effect of MA on respiration rate, which decreased to less than 0.35 $ml \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ for both MA treatments, with the 5% CO_2 treatment showing a significant preference. Fruit firmness also decreased significantly at the end of storage compared to values recorded at harvest, while MA treatments and storage time did not significantly affect total soluble solids. A significant increase in weight loss percentage was recorded at the end of storage for the control (air) treatment compared to the two MA treatments. The effect of MA treatments and storage time was significant on color parameters (L, a, b) compared to those recorded at harvest; color values decreased for both MA treatments and the air treatment, and fruit color changed from yellow to light brown. The results also showed that storage for three months was relatively better for the 5% CO_2 treatment.

Keywords: modified atmosphere, carbon dioxide, ambient air, Hallawi, harvesting physical properties

*** Corresponding Author: Mohamed Fennir; Agric. Engineering Dep.; Agric. Faculty; University of Tripoli; Libya.**

Phone: +218913755701 **Email: M.Fennir@uot.edu.ly**

Received: 10/12/2025 **Accepted: 01/6/2026**