

تأثير استخدام المخصب العضوي النانوي Optimus Plus على نمو اشجار نخيل التمر *Phoenix dactylifera L* صنف الزاملي تحت اجهاد الملوحة

فiras مهدي عباس الحمود* علي شاكر مهدي عماد حميد عبد الصمد العرب مريم مجيد عودة

مركز ابحاث النخيل-جامعة البصرة-البصرة-العراق

*الباحث المراسل: firas.abbas@uobasrah.edu.iq

الخلاصة

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الرش بالمخصب العضوي النانوي (Optimus Plus) وملوحة مياه الري والتداخل بينهما في بعض الصفات الكيميائية والفسلجية لاشجار نخيل التمر صنف الزاملي (*Phoenix dactylifera L.*). اجريت تجربة عاملية لدراسة محتوى الأوراق من النتروجين، والفسفور، والبوتاسيوم، والبرولين والكلوروفيل الكلي، تحت مستويات ملوحة مختلفة (0 و5 و10 و15 ديسيمنز م⁻¹) مع وبدون الرش بالمخصب العضوي النانوي. أظهرت النتائج تفوق معاملة الرش بالمخصب العضوي النانوي معنوياً في تحسين محتوى الأوراق من العناصر الغذائية مقارنة بعدم الرش، إذ سجلت أعلى القيم لكل من النتروجين (2.012%) والفسفور (2.441 غم كغم⁻¹) والبوتاسيوم (7.931 غم كغم⁻¹) والكلوروفيل الكلي (19.776 ملغم 100غم⁻¹)، مع انخفاض محتوى البرولين (0.514 مايكروغرام غم⁻¹). كما بينت النتائج أن زيادة ملوحة مياه الري أدت إلى انخفاض معنوي في محتوى العناصر الغذائية والكلوروفيل، حيث سجلت أعلى ملوحة (15 ديسيمنز م⁻¹) أقل القيم للنتروجين (0.901%) والفسفور (1.466 غم كغم⁻¹) والبوتاسيوم (5.236 غم كغم⁻¹) والكلوروفيل (10.246 ملغم 100غم⁻¹)، في حين ارتفع محتوى البرولين (0.835 مايكروغرام غم⁻¹). وأوضحت نتائج التداخل أن الرش بالمخصب العضوي النانوي ساهم في التخفيف من التأثيرات السلبية للملوحة، إذ حافظ على مستويات أعلى من العناصر الغذائية والكلوروفيل تحت مستويات الملوحة المختلفة، في حين أعطى التداخل بين عدم الرش والملوحة العالية أقل القيم. ويستنتج أن المخصب العضوي النانوي (Optimus Plus) يعد خياراً واعداً لدعم استدامة زراعة نخيل التمر في البيئات الملحية.

الكلمات المفتاحية: البرولين، لتغذية الورقية، الاجهاد الملحي، العناصر الكبرى، الكلوروفيل.

المقدمة

Introduction

يعد نخيل التمر (*Phoenix dactylifera L.*) من أهم محاصيل الفاكهة في المناطق الجافة وشبه الجافة، لما يتمتع به من قيمة غذائية واقتصادية عالية ودور بيئي مهم في استدامة النظم الزراعية. ويعد العراق من الدول الرئيسية عالمياً في إنتاج التمور (ابراهيم، 2008). شهد هذا القطاع تراجعاً في الإنتاجية خلال السنوات الأخيرة نتيجة تدهور الظروف البيئية، ولاسيما شح الموارد المائية وارتفاع ملوحة التربة ومياه الري، والتي تعد من أهم العوامل المحددة لنمو وإنتاجية نخيل التمر في البيئات الجافة، وتشير التقارير الحديثة إلى أن تفاقم مشكلة الملوحة في الأراضي الزراعية، خصوصاً في جنوب العراق، أدى إلى انخفاض واضح في كفاءة امتصاص العناصر الغذائية واضطراب العمليات الفسلجية الأساسية، مما انعكس سلباً على نمو الأشجار وإنتاجيتها (Alhamd and Ibrahim, 2024). تعد العمليات الزراعية، ولاسيما التسميد، من العوامل الأساسية في تحسين نمو وإنتاجية نخيل التمر، إذ تسهم في تزويد النبات باحتياجاته الغذائية الضرورية ودعم عملياته الحيوية المختلفة (Salman *et al.*, 2014). كما تعد التغذية الورقية من الوسائل الفعالة في تحسين كفاءة امتصاص العناصر الغذائية، لما لها من دور مباشر في تعزيز العمليات الفسلجية داخل النبات وتحسين الاستجابة للإجهادات البيئية (Abdel Latef *et al.*, 2026). في المقابل، تمثل الملوحة أحد أهم العوامل المعيقة للإنتاج الزراعي، إذ تؤدي إلى تراكم أيونات الصوديوم والكلور في التربة والنبات، مما يسبب اضطراباً في التوازن الأيوني، وانخفاض امتصاص العناصر الغذائية، وتراجع محتوى الكلوروفيل، إضافة إلى تحفيز الإجهاد التأكسدي الناتج عن زيادة أنواع الأوكسجين التفاعلية التي تؤدي إلى تلف الخلايا واختلال العمليات الأيضية (Hasanuzzaman *et al.*, 2021). كما تسبب الملوحة تغيرات مظهرية وتشريحية في النبات، وتؤدي إلى تدهور النمو العام والإنتاجية (Kumari *et al.*, 2021). ونظراً لتفاقم مشكلة الملوحة، برزت الحاجة إلى اعتماد تقنيات حديثة للتخفيف من آثارها السلبية، ومن بينها استخدام المخصبات الحيوية التي تسهم في تحسين خصوبة التربة وزيادة كفاءة امتصاص العناصر الغذائية وتقليل الإجهاد الملحي (Di Sario *et al.*, 2025). وفي هذا السياق، ظهرت تقنية النانو كأحد أهم التطورات الحديثة في الزراعة، لما توفره من كفاءة عالية في إيصال العناصر الغذائية للنبات، وزيادة سرعة الامتصاص، وتحسين استجابة النبات للظروف البيئية غير الملائمة (Shoukat, 2025). وقد أثبتت الدراسات الحديثة أن الأسمدة النانوية تعمل على رفع كفاءة استخدام العناصر الغذائية، وتقليل الفاقد البيئي، وتحسين كفاءة البناء الضوئي، مما يجعلها خياراً واعداً لتحقيق الزراعة المستدامة، كما تسهم المخصبات النانوية في تعزيز نمو النبات وزيادة تحمله للإجهادات

غير الحبوية من خلال تحسين العمليات الفسلجية وتنظيم الاتزان الغذائي داخل النبات (Kekeli *et al.*, 2025). يعد صنف الزاملي من الأصناف متوسطة النضج ذات الأصل الإقليمي، وقد ادخل إلى العراق حديثاً، وتتميز ثماره بشكلها البيضوي ولونها الأصفر في مرحلة الخلال، إلا أنها لا تستهلك طازجة بسبب احتوائها على المواد العفصية (المياح والاسدي، 2021). ونظراً لمحدودية الدراسات التي تناولت تأثير المخصبات النانوية في تحسين أداء اشجار نخيل التمر صنف الزاملي تحت ظروف الإجهاد الملحي، هدفت هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة المخصب العضوي النانوي (Optimus Plus) في تحسين المؤشرات الكيميائية والفسلجية لاشجار هذا الصنف، وتحديد دوره في التخفيف من الآثار السلبية لإجهاد الملوحة في مياه الري، بما يسهم في دعم استدامة هذا الصنف وتحسين قدرته على التكيف مع البيئات المتأثرة بالملوحة.

Materials and Methods

المواد وطرائق العمل

أجريت هذه الدراسة في احد البساتين الاهلية في منطقة الهارثة خلال الموسم الزراعي 2023-2024. أختيرت 24 شجرة من نخيل التمر صنف الزاملي ناتجة من زراعة الانسجة بعمر 7-8 سنوات متماثلة قدر الإمكان في النمو الخضري وخالية من الاصابات المرضية.

المعاملات التجريبية

قسمت الاشجار إلى مجموعتين، ضمت المجموعة الاولى 12 شجرة، رويت بثلاثة تراكيز ملحية (5 و 10 و 15 ديسيمنز م⁻¹)¹ وبواقع ثلاث اشجار لكل معاملة، فضلا عن معاملة المقارنة. في حين ضمت المجموعة الثانية 12 شجرة رشّت بالمخصب العضوي النانوي Optimus Plus المنتج من شركة Agri sciences التركية وبتركيز 2.75 مل لتر⁻¹ (التركيز الموصى به من الشركة المنتجة) بعد معاملتها بالتراكيز الملحية. اجريت عملية رش المجموع الخضري في الصباح الباكر بواقع 8 رشات بدءاً من 2023/10/1 ولغاية 2024/2/1 بمعدل رشّة كل 15 يوم. اضيفت مادة Tween 20 بتركيز 0.1% كمادة ناشرة لتقليل الشد السطحي.

الصفات المدروسة

الصفات الكيميائية للأوراق

1- محتوى الأوراق من النتروجين

قدر النتروجين حسب الطريقة الموصوفة في (Page *et al.*(1982) بأستعمال جهاز مايكروكلدال .

2-محتوى الأوراق من الفسفور

قدر الفسفور حسب طريقة (Murphy and Riley, 1962) باستعمال جهاز Spectrophotometer وعند الطول الموجي 700 نانو ميتر.

3- محتوى الأوراق من البوتاسيوم

لتقدير البوتاسيوم تم اخذ 2 مل من المحلول الرائق (محلول الهضم) وخفف بنسبة 1:10 وفقا لما ذكره (Page *et al.*, 1982) باستعمال جهاز اللهب Flame photometer.

4- محتوى الأوراق من الحامض الاميني البرولين

قدر الحامض الاميني البرولين في الأوراق حسب طريقة (Bates *et al.*, 1973) وتمت قراءة الامتصاصية على الطول الموجي 520 نانوميتر باستعمال جهاز المطياف الضوئي Spectrophotometer. حسب تركيز البرولين اعتمادا على منحني قياسي استعمل فيه الحامض الاميني البرولين وعبر عن النتائج بوحدة مايكروغرام.غم⁻¹.

5- محتوى الأوراق من الكلوروفيل الكلي

قدر محتوى الأوراق من الكلوروفيل الكلي حسب طريقة Holden والموصوفة من قبل (Howertiz, 1975). وقدرت الامتصاصية بواسطة جهاز المطياف الضوئي وعلى طول موجي 645 و 665 نانوميتر ثم قدرت كمية الكلوروفيل حسب المعادلة ادناه:

$$\text{Total chlorophyll (mg L}^{-1}\text{)} = 20.2 \text{ (O.D. 645)} + 8.02 \text{ (O.D. 663)}$$

التحليل الإحصائي

نفذت التجربة وفق تصميم القطع المنشقة (Split-plot design) ضمن تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD) وبثلاث مكررات، حيث مثلت ملححة مياه الري القطع الرئيسية، في حين مثل الرش بالمخصب العضوي النانوي القطع الثانوية. تم تحليل البيانات إحصائياً باستخدام البرنامج الإحصائي GenStat، وقورنت المتوسطات باستخدام اختبار أقل فرق معنوي (LSD) عند مستوى احتمالية 0.05.

Results and Discussion

النتائج والمناقشة

محتوى الأوراق من النتروجين

أظهرت النتائج في جدول (1) تفوقا معنويا واضحا للرش بالمخصب العضوي النانوي في رفع محتوى أوراق اشجار نخيل التمر من النتروجين، إذ سجلت معاملة الرش أعلى قيمة بلغت 2.01% مقارنة بـ 1.20% في معاملة عدم الرش، مما يعكس زيادة تتجاوز 67% تقريبا، وهو فارق يدل على كفاءة عالية في تحسين جاهزية وامتصاص النتروجين. ويمكن تفسير هذا التفوق بأن الأسمدة النانوية تمتاز بصغر حجم جسيماتها وارتفاع فعاليتها السطحية، مما يعزز اختراقها عبر الثغور وتحسين النقل الداخلي للعناصر، وبالتالي زيادة تراكم النتروجين في الأنسجة الورقية (Ding *et al.*, 2023).

كما أظهرت النتائج أن الملوحة كان لها تأثير مثبط واضح على محتوى النتروجين، إذ انخفضت القيم تدريجيا مع زيادة الملوحة لتسجل معاملة 15 ديسيسمنز م⁻¹ أدنى قيمة بلغت 0.90% مقارنة بـ 2.47% في معاملة المقارنة، أي بانخفاض حاد يتجاوز 63%، مما يؤكد التأثير السلبي للإجهاد الملحي على امتصاص ونقل واستقلاب النتروجين داخل النبات نتيجة اضطراب التوازن الأيوني وتثبيط العمليات الفسلجية المرتبطة بالنمو. ومع ذلك، فإن إضافة المخصب العضوي النانوي أظهرت قدرة واضحة على التخفيف من هذا الأثر السلبي، إذ حافظت المعاملات المضافة عليها على قيم أعلى من النتروجين حتى تحت الملوحة المتوسطة والعالية، حيث سجل التداخل بين الرش والملوحة 5 ديسيسمنز م⁻¹ قيمة مرتفعة بلغت 2.47%، وهي نفس قيمة معاملة المقارنة، ما يشير إلى قدرة هذا المخصب على زيادة كفاءة امتصاص النتروجين تحت الإجهاد. ويعزى ذلك إلى دور المخصبات النانوية في تحسين كفاءة استخدام المغذيات وتنظيم العمليات الأيضية المرتبطة بالنتروجين وزيادة قدرة النبات على تحمل الإجهادات غير الحيوية، بما فيها الملوحة (Sahoo *et al.*, 2024; Taneja *et al.*, 2026). في المقابل، سجل التداخل بين عدم الرش والملوحة العالية (15 ديسيسمنز م⁻¹) أدنى قيمة بلغت 0.47%، مما يؤكد أن غياب تأثير المخصب العضوي النانوي يزيد من حدة التأثير السلبي للملوحة على محتوى النبات من النتروجين.

ءءول (1) الأأئر المءصء العءوءو النانوو Optimus Plus والملوءة فو مءنوو اوراق نءل الالمر صنف الزالمو من

النلروءون (%)

مءل الأأئر المءصء العءوءو النانوو	مستووا الملوءة (ءوسوسمنز م ⁻¹)				المءصء العءوءو النانوو
	15	10	5	0	
2.01	1.32	1.78	2.47	2.47	رء
1.20	0.47	0.74	1.12	2.48	ءءون رء
	0.90	1.26	1.79	2.47	مءل الأأئر الملوءة
	للمءصء = 0.08 للملوءة = 0.16 للءاءل = 0.17				قومة LSD

مءنوو الاوراق من الفسفور

أظهرل النلاءج فو ءءول (2) أن الرء بالمءصء العءوءو النانوو Optimus Plus أءى إلى زواءة مءنوو فو مءنوو أوراا اشءار نءل الالمر صنف الزالمو من الفسفور، إء سءلل مءاملة الرء أعلى قومة بلعلل 2.44 ءم كءم⁻¹ مءارئة بـ 1.45 ءم كءم⁻¹ فو مءاملة ءءم الرء، وبعزى ذلك إلى كفاءة الأسمءة النانوو فو ءءسفن امءصاء العناصر ءءائوءة الءقوئة والكبورة نئوئة ارءفاع المساحة السطءو للءسوامل النانوو وقءرءها على ءءسفن انءقال العناصر ءاءل الأنسءة النباءو، مما بعكس على زواءة تراكم الفسفور فو الأوراا (Bhanuprakash *et al.*, 2025). كما أظهرل نلاءج الملوءة انءصاءاً مءنوواً فو مءنوو الفسفور مع زواءة مسنوو الإءهاد المءو، إء سءلل مءاملة المءارئة و5 ءوسوسمنز م⁻¹ أعلى القوم (2.24 و2.23 ءم كءم⁻¹)، فو ءفن انءصءل ءء 15 ءوسوسمنز م⁻¹ إلى 1.46 ءم كءم⁻¹، وبعزى ذلك إلى انءصاء ءاهزوة الفسفور فو الءربة وئئبب امءصاه نئوئة الءنافس الأوونو مع Na⁺ و Cl⁻ وقلل نشاط ءءور ءءل الإءهاد المءو (Isayenkov and Maathius, 2019). أما الءءاءل بفن العاملفن فقء أظهر أن الرء بالمءصء النانوو ساهم فو قلل الءأئر السلبو للملوءة، إء سءل الءءاءل بفن الرء ومءاملة المءارئة ومءاملة 5 ءوسوسمنز م⁻¹ أعلى قوم بلعلل 2.75 و2.74 ءم كءم⁻¹ على الءوالو، فو ءفن سءل الءءاءل بفن ءءم الرء والملوءة العالو 15 ءوسوسمنز م⁻¹ أءنى قومة بلعلل 1.04 ءم كءم⁻¹، مما یشور إلى ءور المءصباء النانوو فو ءءسفن كفاءة اسءءءام الفسفور وزواءة قءرة النباء على ءءمل الإءهاد المءو ءبر ءءسفن الامءصاء وئئظوم النقل الأوونو ءاءل النباء (Di Sario *et al.*, 2025).

جدول (2) تأثير المخصب العضوي النانوي Optimus Plus والملوحة في محتوى أوراق نخيل التمر صنف الزاملي من

الفسفور(%)

معدل تأثير المخصب العضوي النانوي	مستويات الملوحة (ديسيمنز م ⁻¹)				المخصب العضوي النانوي
	15	10	5	0	
2.44	1.88	2.39	2.74	2.75	رش
1.45	1.04	1.31	1.72	1.74	بدون رش
	1.46	1.85	2.23	2.24	معدل تأثير الملوحة
	للمخصب = 0.12 للملوحة = 0.24 للتداخل = 0.25				قيمة LSD

محتوى الاوراق من البوتاسيوم

أظهرت النتائج في جدول (3) أن الرش بالمخصب العضوي النانوي Optimus Plus أدى إلى زيادة معنوية في محتوى أوراق اشجار نخيل التمر من البوتاسيوم، إذ سجلت معاملة الرش أعلى قيمة بلغت 7.93 غم كغم⁻¹ مقارنة بـ 5.45 غم كغم⁻¹ في معاملة عدم الرش، ويعزى ذلك إلى كفاءة الأسمدة النانوية في تحسين امتصاص العناصر الغذائية وزيادة نقلها داخل النبات نتيجة صغر حجم الجسيمات وارتفاع فعاليتها السطحية، مما يعزز امتصاص الأيونات الأساسية مثل K⁺ ويزيد تراكمها في الأوراق (Bastakoti *et al.*, 2026). كما أظهرت نتائج الملوحة تأثيراً سلبياً واضحاً، إذ سجلت معاملتنا المقارنة و5 ديسيمنز م⁻¹ أعلى قيم للبوتاسيوم (7.46 و7.45 غم كغم⁻¹)، في حين انخفضت عند مستوى 15 ديسيمنز م⁻¹ إلى 5.23 غم كغم⁻¹، ويعزى هذا الانخفاض إلى التنافس الأيوني بين Na⁺ و K⁺ داخل النبات، مما يؤدي إلى اضطراب في امتصاص البوتاسيوم ونقله عبر الأغشية الخلوية تحت ظروف الإجهاد الملحي (Wang *et al.*, 2022). أما التداخل بين العاملين فقد بين أن الرش بالمخصب النانوي ساهم في التخفيف من تأثير الملوحة، إذ سجلت معاملات الرش عند 0 و5 ديسيمنز م⁻¹ أعلى قيم بلغت 8.80 و8.79 غم كغم⁻¹ على التوالي، في حين سجل التداخل بين عدم الرش والملوحة العالية 15 ديسيمنز م⁻¹ أدنى قيمة بلغت 4.10 غم كغم⁻¹، مما يدل على دور الأسمدة النانوية في تعزيز كفاءة استخدام البوتاسيوم والحفاظ على توازنه الأيوني داخل النبات تحت الإجهاد الملحي (Goyal *et al.*, 2025).

جدول (3) تأثير المخصب العضوي النانوي Optimus Plus والملوحة في محتوى اوراق نخيل التمر صنف الزاملي من

البوتاسيوم (%)

معدل تأثير المخصب العضوي النانوي	مستويات الملوحة (ديسيمنز م ⁻¹)				المخصب العضوي النانوي
	15	10	5	0	
7.93	6.36	7.77	8.79	8.80	رش
5.45	4.10	5.46	6.12	6.13	بدون رش
	5.23	6.61	7.45	7.46	معدل تأثير الملوحة
	للمخصب=0.28 للملوحة=0.56 للتداخل =0.59				قيمة LSD

محتوى الاوراق من البرولين

أظهرت النتائج في جدول (4) أن محتوى أوراق اشجار نخيل التمر صنف الزاملي من البرولين تأثر معنوياً بكل من المخصب العضوي النانوي وملوحة مياه الري والتداخل بينهما، إذ سجلت معاملة عدم الرش بالمخصب العضوي النانوي أعلى قيمة بلغت 0.72 مايكروغرام غم⁻¹ مقارنة بمعاملة الرش التي أعطت أقل قيمة بلغت 0.51 مايكروغرام غم⁻¹، مما يشير إلى أن إضافة المخصب أسهمت في تقليل تراكم البرولين في الأوراق. ويعد هذا الانخفاض مؤشراً على تحسن الحالة الفسلجية للنبات وتقليل شدة الإجهاد، إذ يعد البرولين أحد أهم المركبات الأسموزية التي تتراكم عادة تحت ظروف الإجهادات غير الحيوية مثل الملوحة (Kaur *et al.*, 2024). كما أظهرت نتائج الملوحة ارتفاعاً معنوياً في محتوى البرولين مع زيادة مستوى الإجهاد الملحي، إذ سجلت معاملة 15 ديسيمنز م⁻¹ أعلى قيمة بلغت 0.83 مايكروغرام غم⁻¹، في حين انخفضت القيم عند 0 و 5 ديسيمنز م⁻¹ إلى 0.39 و 0.57 مايكروغرام غم⁻¹ على التوالي، مما يعكس الدور التحفيزي للملوحة في تراكم البرولين كاستجابة دفاعية نباتية للمحافظة على الاتزان الأسموزي وحماية الخلايا من الإجهاد التأكسدي. أما التداخل بين العاملين فقد أظهر أن أعلى تراكم للبرولين كان في معاملة عدم الرش مع الملوحة العالية (15 ديسيمنز م⁻¹) حيث بلغ 0.99 مايكروغرام غم⁻¹، في حين سجلت أقل القيم في معاملات الرش مع الملوحة المنخفضة والمتوسطة (0 و 5 ديسيمنز م⁻¹)، مما يؤكد أن المخصب العضوي النانوي ساهم في تقليل تراكم البرولين عبر تحسين الحالة التغذوية والفسلجية للنبات والتخفيف من شدة الإجهاد الملحي. وتتفق هذه النتائج مع ما أشارت إليه عدد من الدراسات من أن تراكم البرولين يزداد تحت الإجهاد الملحي كآلية

دفاعية، في حين تؤدي المعاملات المحسنة غذائياً وخاصة الأسمدة النانوية إلى تقليل الحاجة لتراكمه نتيجة تحسين كفاءة امتصاص العناصر وتقليل الإجهاد الأيضي (Hasanuzzaman *et al.*, 2021; Kumari *et al.*, 2021).

جدول (4) تأثير المخصب العضوي النانوي Optimus Plus والملوحة في محتوى أوراق نخيل التمر صنف الزاملي من

البرولين (مايكروغرام غم⁻¹)

معدل تأثير المخصب العضوي النانوي	مستويات الملوحة (ديسيمنز م ⁻¹)				المخصب العضوي النانوي
	15	10	5	0	
0.51	0.68	0.54	0.44	0.39	رش
0.72	0.99	0.80	0.71	0.40	بدون رش
	0.83	0.67	0.57	0.39	معدل تأثير الملوحة
	للمخصب=0.07 للملوحة=0.15 للتداخل=0.16				قيمة LSD

محتوى الاوراق من الكلوروفيل الكلي

أظهرت النتائج في جدول (5) أن الرش بالمخصب العضوي النانوي Optimus Plus أدى إلى زيادة معنوية في محتوى أوراق اشجار نخيل التمر صنف الزاملي من الكلوروفيل الكلي، إذ سجلت معاملة الرش أعلى قيمة بلغت 19.77 ملغم 100غم⁻¹ مقارنة بـ 13.40 ملغم 100غم⁻¹ في معاملة عدم الرش، مما يشير إلى الدور الإيجابي للمخصب في تعزيز كفاءة البناء الضوئي وتحسين الحالة التغذوية للنبات. ويمكن تفسير ذلك بأن المخصبات النانوية تسهم في زيادة جاهزية العناصر الغذائية الضرورية لتكوين جزيئات الكلوروفيل، ولاسيما النتروجين والمغنيسيوم، فضلاً عن دورها في تحسين كفاءة التمثيل الضوئي وتقليل الأضرار التأكسدية التي تؤثر في استقرار الأصباغ الضوئية (Kekeli *et al.*, 2025).

كما بينت النتائج أن زيادة ملوحة مياه الري أدت إلى انخفاض معنوي في محتوى الكلوروفيل الكلي، إذ سجلت معاملتا المقارنة و 5 ديسيمنز م⁻¹ أعلى القيم بواقع 24.44 و 17.77 ملغم 100غم⁻¹ على التوالي، في حين انخفضت القيمة إلى 10.246 ملغم 100غم⁻¹ عند مستوى الملوحة 15 ديسيمنز م⁻¹. ويعزى هذا الانخفاض إلى التأثيرات السلبية للإجهاد الملحي في إضعاف تكوين الكلوروفيل وزيادة تحلله نتيجة تراكم أنواع الأوكسجين التفاعلية (ROS) واختلال امتصاص العناصر الغذائية المرتبطة بعملية البناء الضوئي، مما ينعكس سلباً على كفاءة التمثيل الضوئي ونمو النبات (Hasanuzzaman *et al.*,

(2021). أما التداخل بين المخصب العضوي النانوي والملوحة فقد أظهر قدرة واضحة للمخصب على التخفيف من التأثير السلبي للإجهاد الملحي، إذ سجل التداخل بين الرش ومعاملي المقارنة و5 ديسيسمنز م⁻¹ أعلى قيم للكلوروفيل بلغت 24.75 و24.45 ملغم 100غم⁻¹ على التوالي، في حين سجل التداخل بين عدم الرش والملوحة العالية (15 ديسيسمنز م⁻¹) أدنى قيمة بلغت 8.36 ملغم 100غم⁻¹. وتشير هذه النتائج إلى أن المخصب العضوي النانوي ساهم في المحافظة على سلامة الجهاز الضوئي وتحسين كفاءة التمثيل الضوئي تحت ظروف الملوحة، من خلال تعزيز امتصاص العناصر الغذائية وتنشيط الأنظمة المضادة للأكسدة وتقليل الأضرار الناتجة عن الإجهاد الملحي، وهو ما أكدته الدراسات الحديثة التي بينت أن التقنيات النانوية تحسن محتوى الكلوروفيل وتزيد من قدرة النباتات على تحمل الإجهادات غير الحيوية، بما فيها الملوحة (Junedi *et al.*, 2023).

جدول (5) تأثير المخصب العضوي النانوي Optimus Plus والملوحة في محتوى أوراق نخيل التمّر صنف الزاملي من

الكلوروفيل الكلي (ملغم 100غم⁻¹)

معدل تأثير المخصب العضوي النانوي	مستويات الملوحة (ديسيسمنز م ⁻¹)				المخصب العضوي النانوي
	15	10	5	0	
19.77	12.12	17.78	24.45	24.75	رش
13.40	8.36	9.99	11.10	24.14	بدون رش
	10.24	13.89	17.77	24.44	معدل تأثير الملوحة
	للمخصب=0.46 للملوحة=0.92 للتداخل=0.97				قيمة LSD

Conclusions

الاستنتاجات

أكدت نتائج الدراسة الحالية أن الرش بالمخصب العضوي النانوي Optimus Plus أسهم بفاعلية في تحسين الحالة الغذائية والفسلجية لاشجار نخيل التمّر صنف الزاملي، من خلال زيادة محتوى الأوراق من العناصر الغذائية الأساسية (النتروجين و الفسفور والبوتاسيوم) والكلوروفيل الكلي، وتقليل تراكم البرولين مقارنة بمعاملة عدم الرش، مما يعكس تحسناً في كفاءة الامتصاص والنشاط الحيوي للنبات. كما أظهرت النتائج أن زيادة ملوحة مياه الري أدت إلى انخفاض واضح في محتوى العناصر الغذائية والكلوروفيل، مع زيادة تراكم البرولين، مما يؤكد التأثير السلبي للإجهاد الملحي على النمو والحالة الفسيولوجية

للنبات. في المقابل، ساهم المخصب العضوي النانوي في التخفيف من آثار الملوحة، إذ حافظت الأشجار المعاملة به على مستويات أعلى من العناصر الغذائية والكلوروفيل حتى تحت الإجهاد الملحي. وبشكل عام، يتضح أن استخدام المخصبات العضوية النانوية يمثل استراتيجية فعالة لتحسين كفاءة استخدام العناصر الغذائية وتعزيز تحمل أشجار نخيل التمر للملوحة.

References

المصادر

- ابراهيم، عبد الباسط عودة (2008). نخلة التمر شجرة الحياة. المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والاراضي القاحلة (اكساد)، 380 ص.
- المياح، عبد الرضا اكبر علوان والاسدي وداد مريان ظاهر (2021). اطلس اصناف النخيل والتمور . مديرية دار الكتب للطباعة والنشر .جامعة البصرة . العراق : 429ص.
- Abdel Latef, A. A. H., Hameed, M., Khan, Z., Khan, S., Imran, A., & Fatima, N. (2026).** Foliar stimulants: A sustainable strategy for enhancing plant resilience to abiotic and biotic stresses. *Physiologia Plantarum*, 178(1), e70741. <https://doi.org/10.1111/ppl.70741>
- Alhamd, A., & Ibrahim, M. (2024).** Unveiling soil and groundwater salinity dynamics and its impact on date palm yield in Southern Basrah, Iraq. *DYSONA - Applied Science*, 5(2), 25. <https://doi.org/10.30493/das.2024.427608>
- Bastakoti, B., Eneh, N., & Singh, H. P. (2026).** Nanofertilizers: A new Era in sustainable agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, 27(102793), 102793. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2026.102793>
- Bates, L.S. (1973).** Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. *Plant Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bhanuprakash, H. R., Kumar, C., Hanumanthappa, M., Rajath, H. P., & Vishwanth, V. E. (2025).** Foliar application of nano-fertilizers enhances growth, nutrient uptake and agronomic efficiency in maize (*Zea mays* L.). *Plant Science Today*. <https://doi.org/10.14719/pst.9289>
- Di Sario, L., Boeri, P., Matus, J. T., & Pizzio, G. A. (2025).** Plant biostimulants to enhance abiotic stress resilience in crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(3), 1129. <https://doi.org/10.3390/ijms26031129>

- Ding, Y., Zhao, W., Zhu, G., Wang, Q., Zhang, P., & Rui, Y. (2023).** Recent Trends in Foliar Nanofertilizers: A Review. *Nanomaterials*, 13(21), 2906. <https://doi.org/10.3390/nano13212906>
- Goyal, A., Chavan, S. S., Mohite, R. A., Shaikh, I. A., Chendake, Y., & Mohite, D. D. (2025).** Emerging trends and perspectives on nano-fertilizers for sustainable agriculture. *Discover Nano*, 20(1), 97. <https://doi.org/10.1186/s11671-025-04286-8>
- Hasanuzzaman, M., Raihan, M. R. H., Masud, A. A. C., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2021).** Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(17), 9326. <https://doi.org/10.3390/ijms22179326>
- Howertiz, W. (1975).** Official methods of analysis. Association of analytical chemists, Washington, D.C.U.S.A
- Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J. M. (2019).** Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, 10, 80. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080>
- Junedi, M. A., Mukhopadhyay, R., & Manjari, K. S. (2023).** Alleviating salinity stress in crop plants using new engineered nanoparticles (ENPs). *Plant Stress*, 9(100184), 100184. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100184>
- Kaur, G., Sanwal, S. K., Kumar, A., Pundir, R. K., Yadav, M., & Sehrawat, N. (2024).** Role of osmolytes dynamics in plant metabolism to cope with salinity induced osmotic stress. *Discover Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00070-x>
- Kekeli, M. A., Wang, Q., & Rui, Y. (2025).** The role of nano-fertilizers in sustainable agriculture: Boosting crop yields and enhancing quality. *Plants*, 14(4), 554. <https://doi.org/10.3390/plants14040554>
- Kumari, P., Gupta, A., Chandra, H., Singh, P., & Yadav, S. (2021).** Effects of salt stress on the morphology, anatomy, and gene expression of crop plants. In *Physiology of Salt Stress in Plants* (pp. 87–105). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119700517.ch6>
- Murphy, J. and Riley, J.P. (1962).** A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)

-
- Page, A.L., Miller, R.H. & Keeney, D.R. (1982).** Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. In Soil Science Society of America, Vol. 1159.
- Sahoo, B.R., Dash, A.K., Mohapatra, K.K., Mohanty, S., Sahu, S.G., Sahoo, B.R., Prusty, M. and Priyadarshini, E. (2024).** Strategic management of nano-fertilizers for sustainable rice yield, grain quality, and soil health. *Front. Environ. Sci.* 12:1420505. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1420505>
- Salman, A.H., Shams Allah, J.A., Rashid, I.M. & Abbas, N.A. (2014).** The effect of irrigation system and chemical fertilization on growth of as certain palm tree. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences.* 2014;45(1):53-64.
- Shoukat, A. (2025).** Nanofertilizers and stress management: emerging opportunities for climate-resilient farming. *Agrobiological Records* 22: 73-88. <https://doi.org/10.47278/journal.abr/2025.050>
- Taneja, D., Ahmed, F., Naeem, M., Tuteja, N., Gill, R., & Gill, S. S. (2026).** Nanofabricated fertilizers for precision nutrient delivery and abiotic stress management in crop plants. *Plant Nano Biology*, 16(100304), 100304. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2026.100304>
- Wang, Y., Zeng, F.-R., Wang, Y., Xu, S., & Chen, Z.-H. (2022).** Potassium transporters and their evolution in plants under salt stress. In *Cation Transporters in Plants* (pp. 63–83). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85790-1.00022-1>

Effect of using the organic nano-fertilizer Optimus Plus on the growth of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings, cv. Al-Zamli, under salt stress

Firas M. A. Al-Hamoud* Ali S. Mahdi Emad H. A. Alarab Maryam M. Odeh

Date palm Research Center, University of Basrah, Basrah, Iraq.

*Corresponding author: firas.abbas@uobasrah.edu.iq

Abstract

This study aimed to evaluate the effect of foliar spraying of the organic nano-fertilizer (Optimus Plus), irrigation water salinity, and their interaction on some chemical and physiological traits of date palm seedlings cv. Al-Zamli (*Phoenix dactylifera* L.). A factorial experiment was conducted to study leaf content of nitrogen, phosphorus, potassium, proline, and total chlorophyll under different salinity levels (0, 5, 10, and 15 dS m⁻¹) with and without foliar application of the organic nano-fertilizer. The results showed that foliar application of the nano-fertilizer significantly improved leaf nutrient contents compared with the non-sprayed treatment, recording the highest values of nitrogen (2.012%), phosphorus (2.441 g kg⁻¹), potassium (7.931 g kg⁻¹), and total chlorophyll (19.776 mg 100 g⁻¹), along with a reduction in proline content (0.514 µg g⁻¹). Results also indicated that increasing irrigation water salinity significantly decreased nutrient and chlorophyll contents, where the highest salinity level (15 dS m⁻¹) recorded the lowest values of nitrogen (0.901%), phosphorus (1.466 g kg⁻¹), potassium (5.236 g kg⁻¹), and chlorophyll (10.246 mg 100 g⁻¹), while proline content increased (0.835 µg g⁻¹). Interaction results showed that nano-fertilizer application mitigated the adverse effects of salinity by maintaining higher levels of nutrients and chlorophyll under different salinity levels, whereas the interaction between no spraying and high salinity produced the lowest values. It is concluded that the organic nano-fertilizer (Optimus Plus) represents a promising option for supporting the sustainability of date palm cultivation in saline environments.

Keywords: Proline, Foliar spray, Salinity stress, Macro nutrients, Chlorophyll.

المكافحة الحيوية والكيميائية لحشرة سوسة النخيل الحمراء الغازية (*ferrugineus* (Olivier 1970)
(Coleoptera: Curculionidae) *Rhynchophorus*

داود سلمان حامد¹ حسين علي مهدي¹ حازم محسن علي^{2*}

¹قسم وقاية النبات-كلية الزراعة-جامعة البصرة-البصرة-العراق

²مركز ابحاث النخيل-جامعة البصرة-البصرة-العراق

*الباحث المراسل: hazim.ali@uobasrah.edu.iq

الخلاصة

تعد سوسة النخيل الحمراء (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier) من أخطر الآفات التي تهدد زراعة نخيل التمر في العديد من دول العالم، نظراً لقدرتها العالية على إحداث أضرار جسيمة تؤدي إلى تدهور الأشجار وانخفاض إنتاجيتها وقد تصل إلى موتها. هدفت هذه الدراسة إلى استعراض أهم الأساليب المستخدمة في مكافحة هذه الآفة، مع التركيز على المكافحة الحيوية والفيرومونية والكيميائية. أظهرت الدراسات أن النيMATODA الممرضة للحشرات، ولاسيما أنواع *Steinernema* و *Heterorhabditis bacteriophora* و *carpocapsae*، تمتلك كفاءة عالية في مكافحة الأطوار اليرقية للحشرة. كما أثبتت الفطريات الممرضة للحشرات، وخاصة *Beauveria bassiana* و *Metarhizium anisopliae* و *Trichoderma harzianum*، فعالية كبيرة في خفض أعداد السوسة وإصابة مختلف أطوارها الحياتية. وأظهرت مصادد الفيرومونات دوراً مهماً في الكشف المبكر عن الإصابة ورصد الكثافات السكانية للحشرة والمساهمة في خفض أعدادها، خاصة عند دمج الفيرومونات التجميعية مع الطعوم الغذائية المناسبة. كما بينت الدراسات أن المبيدات الكيميائية، ولاسيما عند تطبيقها بطريقة الحقن الجذعي، ما تزال من أكثر وسائل المكافحة فعالية في القضاء على أطوار الحشرة المختلفة. وتشير النتائج إلى أن الإدارة المتكاملة لسوسة النخيل الحمراء، والتي تجمع بين الرصد المستمر والمكافحة الحيوية والفيرومونية والكيميائية، تمثل الخيار الأكثر كفاءة واستدامة للحد من انتشار هذه الآفة وتقليل خسائرها الاقتصادية في بساتين نخيل التمر.

الكلمات المفتاحية: *Rhynchophorus ferrugineus*، سوسة النخيل الحمراء، الآفات الغازية، المكافحة الحيوية، المكافحة

المتكاملة.

Introduction

المقدمة

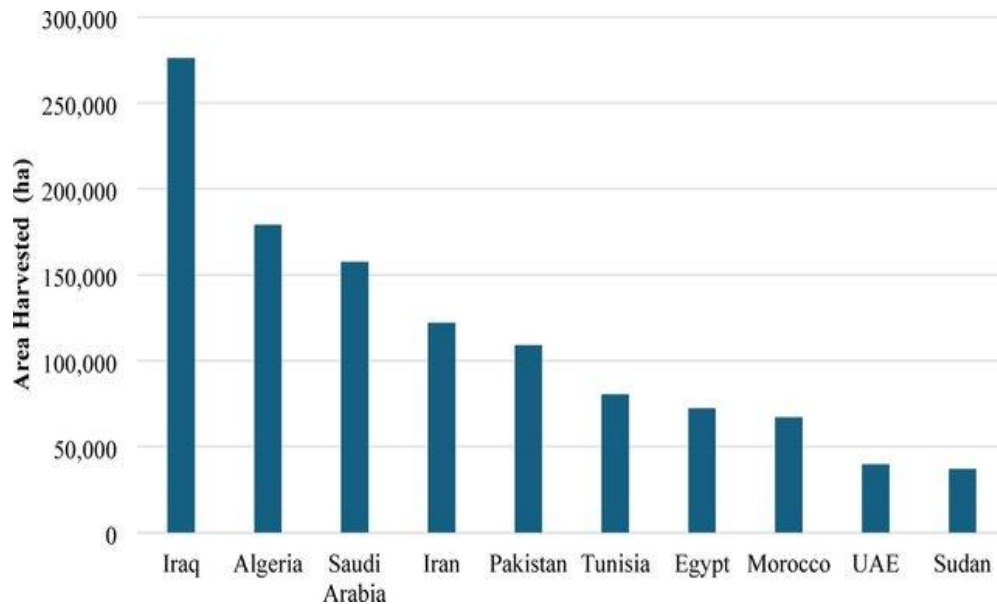
يعد نخيل التمر (*Phoenix dactylifera* L.) من أهم محاصيل الفاكهة التابعة للفصيلة النخيلية (*Arecaceae*) ، ويزرع على نطاق واسع عالمياً، إذ بلغت المساحة المزروعة به حوالي 1.3 مليون هكتار في عام 2023. (Moneim, 2026) ويُنتشر هذا المحصول في المناطق الجافة وشبه الجافة، ولاسيما في شبه الجزيرة العربية والشرق الأوسط وشمال أفريقيا، حيث ارتبط منذ العصور القديمة بحياة الإنسان وثقافته في تلك المناطق. وتتركز زراعته وإصاباته بشكل رئيسي في الدول العربية ضمن الشرق الأوسط وشمال أفريقيا (Mahdi *et al.*, 2026). ويتميز نخيل التمر بقدرته العالية على تحمل الظروف الحيوية وغير الحيوية، إلا أن هذا التحمل غالباً ما يكون على حساب جودة الثمار والإنتاجية. لذلك، فإن تحسين إدارة هذا المحصول يشمل تعزيز الاهتمام بالخدمات الزراعية بهدف رفع جودة الإنتاج، فضلاً عن تطوير أساليب المعالجة والتسويق، وتوسيع استخدامات المنتجات الثانوية ومشتقات الثمار (Zhang *et al.*, 2024). يتعرض نخيل التمر للعديد من الآفات الحشرية، وتُعد سوسة النخيل الحمراء (*Rhynchophorus ferrugineus*) من أخطرها وأكثرها تدميراً، إذ تُصيب نخيل التمر وجوز الهند في معظم مناطق زراعتها حول العالم (السعود، 2000). وتُعد هذه الحشرة آفة شديدة الخطورة بسبب انجذابها إلى الأنسجة الغضة والرطوبة العالية والرائحة الناتجة عن الجروح، مما يوفر بيئة مناسبة لتغذية اليرقات وتطورها. كما تهاجم الفسائل والأشجار البالغة بقوة نتيجة سهولة اختراقها للأنسجة النباتية (Abraham *et al.*, 2000; Asiri, 2025).

وتسهم طبيعة دورة حياتها المتداخلة وقدرتها على الطيران لمسافات طويلة في انتشارها السريع، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية سنوية كبيرة تؤثر على مزارعي النخيل والأسواق العالمية، خاصة في منطقة الشرق الأوسط. وتشير التقارير إلى أن هذه الآفة أصبحت عالمية الانتشار، حيث سُجلت في أكثر من 35 دولة عبر قارات آسيا وأفريقيا وأوروبا وأوقيانوسيا (عيدان وخليفة، 2018). كما أن استمرار وجودها على مدار العام يزيد من صعوبة مكافحتها، ويؤدي إلى تضاعف أعدادها وأضرارها، في حين أن صعوبة اكتشاف الإصابات المبكرة يحد من فعالية المكافحة ويؤدي إلى خسائر كبيرة. (Abbas, 2019) وقد سُجلت إصابة سوسة النخيل الحمراء على 26 نوعاً من النخيل تنتمي إلى 16 جنساً مختلفاً. (Dembilio and Jaques, 2012)

تهدف هذه الدراسة إلى استعراض وتقييم أهم أساليب مكافحة سوسة النخيل الحمراء، بما في ذلك المكافحة الحيوية والفيرومونية والكيميائية، وتسلط الضوء على كفاءتها النسبية وإمكانية دمجها ضمن برامج الإدارة المتكاملة للآفة للحد من انتشارها وتقليل خسائرها الاقتصادية.

الانتشار والاهمية الاقتصادية للحشرة

تنتشر زراعة النخيل في العديد من دول اذ تنتشر في العراق والمملكة العربية السعودية والامارات والجزائر وتونس والمغرب وايران (mohamoud *et al.*,2019). كما في شكل (1).



شكل (1) توزيع نخيل التمر عالميا حسب الدول عام 2023 (FAOSTAT, 2025)

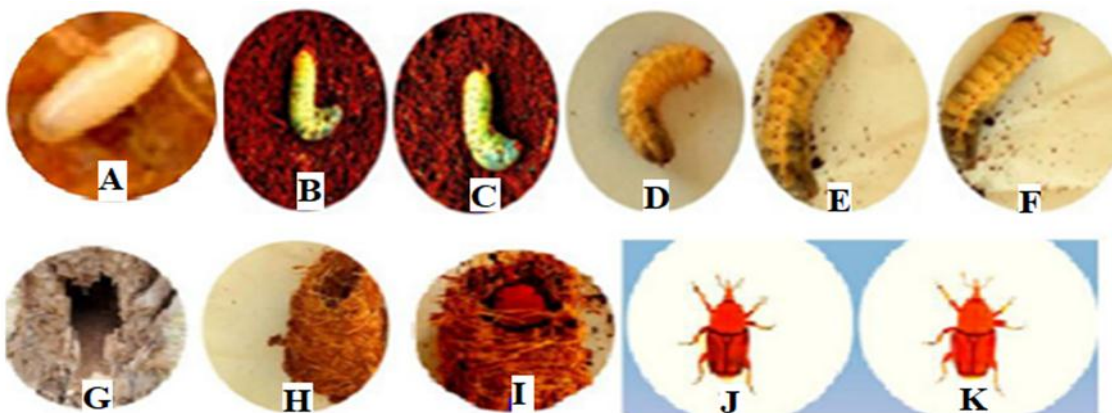
تعد سوسة النخيل الحمراء من اخطر الآفات التي تصيب نخيل التمر ونخيل الزينة ونظرا لتغذي اليرقات المدمر على المناطق المرستيمية في النخيل المصاب، يؤدي الضرر الكبير الذي تلحقه اليرقات بالمرستيم في الأفرع أو تاج النخيل غالباً إلى موت النخيل، كما يسمح هذا الضرر بدخول مسببات الأمراض والحشرات الضارة الأخرى التي قد تكون قاتلة أيضاً (Faleiro,2006;Giblin *et al.*,2013). سوسة النخيل الحمراء هي أهم حفارات سيقان وجذوع أشجار النخيل في جميع أنحاء العالم. تتغذى يرقات سوسة النخيل الحمراء داخلياً على الأنسجة الرخوة للجدع، مما يؤدي إلى تدمير الأشجار وقتلها من الداخل (Al-Dosary *et al.*,2016). وتعد هذه الآفة أكثر الحشرات ضرراً خلال مرحلة اليرقة. تنفس البيوض داخل شقوق الأنسجة الرخوة للنخلة ومن هناك، تقوم اليرقات بقضم الأنسجة الرخوة والتغذي عليها باستخدام فكوكها القوية في أجزاء منها، مما يؤدي تدريجياً إلى حفر أنفاق عميقة داخل جذع الشجرة. ويصعب تحديد أشجار النخيل المصابة في مزارع النخيل بسبب غياب أعراض واضحة للإصابة، خاصة في المراحل المبكرة منها (Kontodimas *et al.*,2017;Rochat *et al.*,2017)

وصف الحشرة

الحشرة الكاملة لونها بني محمر طولها يتراوح بين 35-40 ملم لها خرطوم يحمل في نهايته اجزاء فم قارضة. (السعود ، 2000). يمكن تمييز الذكر بوجود مجموعة من الشعيرات البنية القصيرة على الجزء الظهرى القمي من الخرطوم ويكون عادة أكثر استدارة ويكون طويل في الانثى وقصير في الذكر وتوجد بقع سوداء على الصدر تختلف في الشكل والعدد بين الانواع. اليرقة لونها ابيض سمى عديمة الارجل راسها احمر وفوكها قوية لها من 5-7 اعمار يرقية، العذراء داخل شرنقة تصنعها من الياف النخيل. (Milosavljević et al., 2019) كما في شكل 2.

حياتية الحشرة

يحدث تطور سوسة النخيل من البيضة إلى الحشرة البالغة في أغلب الأحيان داخل أشجار النخيل المضيفة، ومجموعة الأجناس والأنواع التي تدعم هذا التطور بنجاح واسعة النطاق. يُعرف ما لا يقل عن 40 نوعاً من النخيل ضمن 19 جنساً على الأقل بأنها مضيفات تكاثرية لسوسة النخيل الحمراء. تضع الإناث بيضها في ثقب تحفرها في مواد مضيضة مناسبة باستخدام فوكها الموجودة في الطرف البعيد من منقارها، ويُغطى البيض بإفراز سريع اذ تضع الاناث عدد من البيوض يومياً ، يصل الى المئات خلال دورة حياتها التي تمتد الى عدة اشهر (Ju et al., 2011 Giblin–Davis et al., 2013).



شكل

(2): اطوار الحياة لسوسة النخيل الحمراء *Rhynchophorus ferrugineus*

A: بيضة الحشرة B: الطور اليرقي الاول C: الطور اليرقي الثاني D: الطور اليرقي الثالث E: الطور اليرقي الرابع F: الطور اليرقي الخامس G: اصابة اليرقات H+ I: الشرنقة تحتي على عذراء J: حشرة بالغة ذكر K: حشرة بالغة انثى

المكافحة باستخدام النيماتودا

أظهرت النيماتودا الممرضة للحشرات إمكانيات واعدة في مكافحة سوسة النخيل الحمراء، إذ أجرى (Manzoor *et al.*, 2017) دراسة مختبرية لتقييم كفاءة ثلاثة أنواع من النيماتودا هي *Steinernema carpocapsae* و *Heterorhabditis bacteriophora* و *Steinernema feltiae* ضد اليرقات المتقدمة لسوسة النخيل الحمراء (الطور الثالث والعاشر). وقد حققت *S. carpocapsae* أعلى معدلات الهلاك، حيث بلغت 96.5% و 88.17% في اليرقات، تلتها *H. bacteriophora* بمعدلات بلغت 85.75% و 74.4%، في حين سجلت *S. feltiae* معدلات هلاك أقل بلغت 38.68% و 35.35%. وعلى العكس من ذلك، لوحظ انخفاض كفاءة الأنواع المدروسة تجاه الحشرات الكاملة مقارنة باليرقات. كما أظهرت النتائج زيادة تدريجية في معدلات الهلاك خلال الفترة الممتدة من 12 إلى 192 ساعة بعد المعاملة. وخلص الباحثون إلى إمكانية اعتماد النيماتودا الممرضة للحشرات كأحد الخيارات الحيوية الواعدة في برامج مكافحة سوسة النخيل الحمراء. كما تم عزل *Steinernema sp.* من عذارى وحشرات كاملة مصابة بالسوسة، وأظهرت فعالية جيدة عند اختبارها مختبرياً على الحوريات والحشرات الكاملة. وفي دراسة أخرى، تسبب النوع *S. carpocapsae* (Weiser) في هلاك 90% من يرقات سوسة النخيل الحمراء بعد عشرة أيام من المعاملة (Husain *et al.*, 2024). كذلك أشارت دراسات متعددة إلى أن الأنواع التابعة لجنس *Steinernema* و *Heterorhabditis* قادرة على خفض أعداد هذه الآفة بصورة ملحوظة تحت الظروف المختبرية. فقد حقق النوع *Heterorhabditis bacteriophora* نسبة هلاك بلغت 100% في اليرقات، كما تمكنت الأنواع *Steinernema glaseri* و *S. longicaudum* و *S. carpocapsae* و *S. kraussei* من إحداث هلاك كامل (100%) ليرقات سوسة النخيل الحمراء. في المقابل، أظهرت بعض الأنواع فعالية محدودة، إذ بلغت نسب الهلاك 35% و 3% و 10% لكل من *S. glaseri* و *S. feltiae* و *S. apuliae* على التوالي (Triggiani & Tarasco, 2011). كما تمكن (Shamseldeen & Atwa (2004) من عزل النيماتودا الممرضة للحشرات من أفراد سوسة النخيل الحمراء في مصر، وأثبتت فعاليتها ضد اليرقات والحشرات الكاملة في الظروف المختبرية. وأظهرت دراسة أخرى أن استخدام النيماتودا ضد يرقات وحشرات السوسة الكاملة حقق نتائج جيدة في المختبر، إلا أن كفاءتها انخفضت تحت الظروف الحقلية، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع درجات الحرارة وتدفق العصارة النباتية في مواقع الإصابة، مما يؤثر سلباً في بقاء النيماتودا ونشاطها. (Abbas *et al.*, 2001)

الفطريات

تُعد الفطريات الممرضة للحشرات من أهم عوامل مكافحة الحيوية المستخدمة ضد سوسة النخيل الحمراء، وقد أظهرت العديد من الدراسات كفاءتها العالية في الحد من أعداد هذه الآفة. فقد بينت الدراسات التي أجريت في إيطاليا أن الفطر *Metarhizium anisopliae* المعزول من سوسة النخيل الحمراء يمتلك فعالية مرتفعة ضد اليرقات والحشرات الكاملة (Francardi et al., 2012; Francardi et al., 2013). كما سجل (Cito et al., 2014) لأول مرة إصابة سوسة النخيل الحمراء بسلاسل من فطر *Metarhizium* في فيتنام، حيث تمكن الفطر من قتل الحشرات الكاملة خلال فترة قصيرة نتيجة نشاطه العالي في إنتاج إنزيمات البروتيز والسموم الفطرية. وفي جنوب إيطاليا، عُزلت عدة أنواع من الفطريات من المراحل الحياتية المختلفة لسوسة النخيل الحمراء، شملت *Beauveria bassiana* و *Aspergillus sp.* و *Fusarium sp.* و *Trichothecium sp.* و *Penicillium sp.* و *Metarhizium sp.* (Tarasco et al., 2008; Torta et al., 2009). وأوضح (Torta et al., 2009) أن فطر *B. bassiana* يتمتع بفعالية ملحوظة ضد الأطوار اليرقية للحشرة. كما أظهرت دراسة أجراها (Malik et al., 2016) أن معاملة يرقات سوسة النخيل الحمراء في الطورين الثاني والرابع بطريقة الغمر لمدة دقيقة واحدة بمعلق أبواغ الفطر أدت إلى معدلات هلاك بلغت 77.8% و 68.64% على التوالي. كذلك سجل (Jalinas et al., 2015) معدل هلاك بلغ 50% في يرقات السوسة بعمر 30 يوماً عند معاملتها بمعلق فطري بتركيز $10^6 \times 1$ بوغ/مل. وفي العراق، سجل (Hasan et al., 2025) أول استخدام لفطر *Trichoderma harzianum* كعامل مكافحة حيوية ضد سوسة النخيل الحمراء، حيث تم عزل الفطر من يرقات نافقة للحشرة جُمعت من منطقة صفوان في محافظة البصرة خلال عام 2024. كما أشار (Nazeer Ahmad et al., 2025) إلى نجاح استخدام فطر *M. anisopliae* في مكافحة سوسة النخيل الحمراء وتحقيق نتائج إيجابية في خفض أعدادها. وفي دراسة مقارنة، حققت الفطريات *B. bassiana* و *M. anisopliae* و *T. harzianum* و *Aspergillus flavus*، إلى جانب البكتيريا *Serratia nematodiphila*، نسب هلاك بلغت 90% و 78% و 85% و 80% و 88% على التوالي عند استخدام تركيز 1.5×10^7 (Ali et al., 2024). ويُعد فطر *M. anisopliae* من أكثر الفطريات الواعدة في مكافحة سوسة النخيل الحمراء، إذ أظهرت إحدى السلالات المحلية المسماة MET-GRA4 قدرة عالية على إحداث الإصابة، حيث حققت نسبة هلاك بلغت 100% للحشرات الكاملة بعد 21 يوماً من المعاملة، مع تسجيل نسبة إصابة فطرية بلغت 92% عند ارتفاع حيوية الأبواغ (Ishak et al., 2019). كما

أظهرت دراسة أخرى أن استخدام مستحلب زيتي لفطر *M. anisopliae* أدى إلى تحسين ثبات الفطر وزيادة تحمله للإجهادات البيئية وإطالة فترة صلاحيته، محققاً نسبة هلاك بلغت 56.67% من خلال انتقال العدوى بالتلامس بين الأفراد (Lei et al., 2023). وتؤكد الدراسات الحديثة الأهمية التطبيقية لفطر *B. bassiana* في برامج مكافحة الحبوية لسوسة النخيل الحمراء، إذ يمتلك القدرة على إصابة جميع الأطوار الحياتية للحشرة والتسبب في هلاكها، مع تسجيل كفاءة مرتفعة ضد اليرقات والحشرات الكاملة. كما تزداد فعالية الفطر بزيادة تركيز الأبواغ المستخدمة، الأمر الذي ينعكس في ارتفاع معدلات الهلاك المسجلة للحشرة (El-Husseini, 2019; Manzoor et al., 2020).

مصادر الفرمونات

تعد مصائد الفيرومونات من أهم الوسائل المستخدمة في برامج الإدارة المتكاملة لسوسة النخيل الحمراء والمبينة بعض نماذجها في شكل (3)، إذ تنجذب الحشرات الكاملة إلى الفيرومون التجميعي الذي تفرزه الذكور لجذب كلا الجنسين نحو الأشجار المناسبة للتغذية ووضع البيض. وتزداد كفاءة المصائد عند دمج الفيرومونات التجميعية مع الروائح المنبعثة من أشجار النخيل المجهددة أو الطعوم الغذائية، مما يعزز من قدرتها على استقطاب الحشرات الكاملة. ولضمان فعالية هذه المصائد، ينبغي فحصها دورياً وتنظيفها وإعادة تزويدها بالطعوم الغذائية واستبدال مصادر الفيرومونات المستخدمة (Al-Zyoud et al., 2021). أظهرت دراسة أجراها Sabbahi et al. (2021) أن مصائد القمع المزودة بالفيرومون والطعم الغذائي تمتلك قدرة كبيرة على خفض أعداد سوسة النخيل الحمراء والمساهمة في حماية أشجار النخيل من الإصابة. كما أشار (Arafa, 2020) إلى أن المصائد المحتوية على بروبيونات الإيثيل والفيروجينول وأسيئات الإيثيل وعصير بنجر السكر كانت أكثر كفاءة في جذب الحشرات الكاملة مقارنةً بالمواد الجاذبة الأخرى. وفي إطار برامج مكافحة واسعة النطاق، نفذت إمارة أبوظبي مشروعاً شمل نحو 23,050 بستاناً، حيث تم نصب ما يقارب 118,797 مصيدة فرمونية أسهمت في اصطياد نحو مليوني حشرة كاملة خلال النصف الأول من عام 2013، مما يؤكد أهمية هذه التقنية في خفض الكثافات الحشرية على المستوى المحلي (Jaddou et al., 2017). كما بينت الدراسة نفسها أن بعض أنواع مصائد الطعم كانت أقل كفاءة من المصائد المعتمدة على الفيرومونات التجميعية في استقطاب الحشرات الكاملة. وفي المملكة العربية السعودية، درس Al-Otaibi (2024) النشاط الموسمي لسوسة النخيل الحمراء باستخدام مصائد فرمونية مزودة بطعم غذائي وبألوان مختلفة (الأسود والأحمر والأبيض) خلال عام 2021 في محافظة الطائف. وأظهرت النتائج أن اللون الأسود كان الأكثر جذباً للحشرة، يليه

اللون الأحمر، في حين سجل اللون الأبيض أقل كفاءة. كما أوضحت الدراسة وجود السوسة على مدار العام، مع تسجيل أعلى كثافة سكانية خلال شهر نيسان وأدنى كثافة خلال شهر أيلول. وبينت النتائج وجود ارتباط سلبي بين كثافة الحشرة ودرجة الحرارة، في حين سُجل ارتباط إيجابي مع الرطوبة النسبية. كما كشفت الدراسة عن تذبذب النشاط الموسمي للحشرة تبعاً للعوامل البيئية، حيث بلغ ذروته خلال فصل الربيع وانخفض إلى أدنى مستوياته خلال فصل الخريف. ومن جهة أخرى، أوضح Abbas et al. (2001) تأثير أنواع الفيرومونات والطُعم الغذائية وأشكال المصائد المختلفة في كفاءة جذب الحشرات الكاملة لسوسة النخيل الحمراء. فقد سجل الفيرومون الهلامي Rhyncho gel أعلى متوسط لعدد الحشرات المصادة بلغ 20.17 حشرة/مصيدة، مقارنةً بفيرومونات Rhyno cap والفيرومون الإنجليزي والفيرومون الكوستاريكي، التي بلغت متوسطاتها 17.44 و 12.94 و 7.44 حشرة/مصيدة على التوالي. كما حقق التمر أعلى كفاءة كطُعم غذائي بمتوسط 55.47 حشرة/مصيدة، متفوقاً على الأناناس وبنجر السكر وقصب السكر وحبوب لفاح النخيل التي سجلت 27.56 و 25.25 و 11.83 و 10.39 حشرة/مصيدة على التوالي. كذلك أظهرت نتائج الدراسة تفوق المصيدة ذات الشكل الثالث، التي حققت أعلى متوسط لعدد الحشرات المصادة بلغ 16.81 حشرة/مصيدة، مقارنةً بالشكلين الأول والثاني. وبناءً على ذلك أوصى الباحثون باستخدام المصيدة ذات الشكل الثالث المزودة بفيرومون Rhyncho gel والتمر كطُعم غذائي لارتفاع كفاءتها في جذب الحشرات الكاملة والحد من أعدادها في بساتين النخيل. كما بينت دراسة حديثة أن أعداد سوسة النخيل الحمراء المصادة في المصائد الفرمونية تتباين بصورة واضحة خلال أشهر السنة، حيث سُجل أعلى متوسط لعدد الحشرات المصادة في شهري آذار ونيسان بواقع 2.06 و 2.47 حشرة/مصيدة على التوالي، في حين انخفضت الأعداد إلى أدنى مستوياتها خلال شهري كانون الثاني وكانون الأول، إذ بلغت 0.51 و 0.54 حشرة/مصيدة على التوالي (Alderawii et al., 2025). وتشير هذه النتائج إلى أهمية المصائد الفرمونية ليس فقط كوسيلة للمكافحة، بل أيضاً كأداة فعالة لرصد التغيرات الموسمية في كثافة السوسة وتحديد الفترات الحرجة لتطبيق إجراءات المكافحة.



شكل (3) بعض نماذج المصائد الفرمونية لحشرة سوسة النخيل الحمراء

المبيدات الكيميائية

تعد المبيدات الحشرية الكيميائية من أكثر الوسائل شيوعاً في مكافحة سوسة النخيل الحمراء، إذ تستخدم ضمن برامج مكافحة متكاملة بطرق تطبيق متعددة تشمل الرش والحقن والمعاملات الوقائية والعلاجية (Al-Zyoud et al., 2021). وقد أثبتت العديد من المبيدات الحشرية الاصطناعية كفاءة عالية في مكافحة هذه الآفة، من أبرزها *Cypermethrin* و *Malathion* و *Beta-cyfluthrin* و *Fenitrothion* و *Chlorpyrifos* و *Imidacloprid* و *Deltamethrin* و *Carbaryl* و *Dimethoate* (Rasool et al., 2024). وفي دراسة ميدانية امتدت لمدة ست سنوات (2017-2022) في منطقة سفوان، تم تقييم فعالية برنامج مكافحة كيميائية يُنفذ مرتين سنوياً ويعتمد على الرش والحقن بمبيدي الإيميداكلوبريد والدلتا مثرين. وأظهرت النتائج وجود تباين في مستويات الإصابة بسوسة النخيل الحمراء بين البساتين خلال عام 2017، إلا أن مستويات الإصابة انخفضت بصورة ملحوظة بحلول عام 2022، مما يشير إلى فعالية البرنامج المستخدم في خفض أعداد الحشرة والحد من انتشاره (Alderawii et al., 2025). كما أجريت دراسة في عدة مواقع بالمملكة العربية السعودية لتقييم كفاءة طريقة مبسطة ومنخفضة الكلفة لحقن جذوع نخيل التمر المصابة بالمبيدات الحشرية. وشملت المعاملات استخدام مبيدات بنزوات الإيمامكتين (50 غ/لتر)، والإيميداكلوبريد (200 غ/لتر)، والدلتا مثرين (2.5%) لمكافحة الإصابات الموجودة في قمة الجذع والجذع. وقد أظهرت النتائج أن حقن الأشجار المصابة بينزوات الإيمامكتين غير المخفف أدى إلى شفاء كامل لـ 90.6% من الأشجار المصابة في منطقة قمة الجذع، كما حقق نجاحاً بنسبة 100% في القضاء على جميع أطوار سوسة النخيل الحمراء الموجودة داخل الجذع. في المقابل، كانت كفاءة المبيدات الأخرى أقل، إذ بلغت نسب القضاء على أطوار الحشرة 64.25% و 53.91% عند استخدام الإيميداكلوبريد والدلتا مثرين، على التوالي (Nasraoui et al., 2024). وتشير هذه النتائج إلى أن المعاملات الكيميائية،

ولاسيما الحقن الجذعي بالمبيدات الجهازية، تمثل خياراً فعالاً في مكافحة سوسة النخيل الحمراء، خاصةً عند استخدامها ضمن برامج الإدارة المتكاملة للآفة، مع مراعاة اختيار المبيد المناسب وتوقيت التطبيق لتحقيق أعلى كفاءة ممكنة في خفض الإصابة.

Conclusions

الاستنتاجات

تعد سوسة النخيل الحمراء (*Rhynchophorus ferrugineus*) من أخطر الآفات التي تهدد زراعة نخيل الالمر في العديد من دول العالم، لما تسببه من أضرار مباشرة تؤدي إلى تدهور الأشجار وانخفاض إنتاجيتها وقد تصل إلى موتها. وأظهرت الدراسات أن الاعتماد على أسلوب واحد في المكافحة لا يوفر حماية كافية ومستدامة ضد هذه الآفة، مما يستدعي تبني برامج الإدارة المتكاملة التي تجمع بين وسائل المكافحة المختلفة. وقد بينت الدراسات أن النيماآودا الممرضة للحشرات، و لاسيما أنواع *Heterorhabditis bacteriophora* و *Steinernema carpocapsae*، تمتلك كفاءة عالية في مكافحة الأطوار اليرقية لسوسة النخيل الحمراء تحت الظروف المختبرية. كما أثبتت الفطريات الممرضة للحشرات، خاصةً *Beauveria bassiana* و *Trichoderma harzianum* و *Metarhizium anisopliae*، قدرتها على إصابة مختلف الأطوار الحياتية للحشرة والتسبب في معدلات هلاك مرتفعة، مما يؤكد أهميتها كبدائل حيوية صديقة للبيئة. وأظهرت مصاد الفيرومونات دوراً مهماً في رصد الحشرة وخفض كثافتها السكانية، لاسيما عند دمج الفيرومونات التجميعية مع الطعوم الغذائية المناسبة، مما يجعلها أداة فعالة في الكشف المبكر عن الإصابة ودعم برامج المكافحة. في المقابل، ما زالت المبيدات الكيميائية تمثل أحد أكثر أساليب المكافحة فاعلية، خاصةً عند استخدامها بطريقة الحقن الجذعي أو ضمن برامج المكافحة المنظمة، إلا أن استخدامها يجب أن يكون وفق أسس علمية مدروسة للحد من الأثار البيئية وتقليل احتمالية ظهور المقاومة. وبناءً على ذلك، فإن نجاح مكافحة سوسة النخيل الحمراء يعتمد على تطبيق استراتيجية متكاملة تجمع بين الرصد المستمر والكشف المبكر والإجراءات الزراعية السليمة واستخدام وسائل المكافحة الحيوية والفيرمونية والكيميائية بصورة متكاملة، بما يحقق خفضاً مستداماً لأعداد الحشرة ويحافظ على إنتاجية واستدامة بساتين نخيل الالمر.

References

المصادر

عيان ، نعيمة ابراهيم و خليفة ، أيناا عبد (2018). الموقع التصنيفي والتركيب المظهري لسوسة النخيل الحمراء *Rhynchophorus ferrugineus* (Olive.) (Coleoptera: Dryophthoridae) في جنوب العراق . مجلة

- السعود ، أحمد حسين (2000). مكافحة سوسة النخيل الحمراء *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier باستخدام الفيرومونات التجميعة . مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية 22(1)
- Abbas, M. K. (2019).** The economic impact of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier in Egypt. Arab Journal of Plant Protection, 37(2).
- Abbas, M. S. T., Saleh, M. M. E., & Akil, A. M. (2001).** Laboratory and field evaluation of the pathogenicity of entomopathogenic nematodes to the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.)(Col.: Curculionidae). Anzeiger für schädlingskunde, 74(6), 167-168.
- Abraham, V. A., Faleiro, J. R., Al Shuaibi, M. A., & Prem Kumar, T. (2000).** A Strategy to Manage Red Palm Weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. on Date Palm Phoenix doctylifera Its successful weevil pheromone traps. Journal of Entomology,7:54- 59.
- Alderawii, M. M., Alyousuf, A. A., Hasan, S. A., Abood, R. A., Abbas, S. S., & Abdullah, R. T. (2025).** Evaluating Field Management Protocol of the Invasive Pest Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* at Basrah, Iraq. Arab Journal of Plant Protection, 43(1).
- Al-Dosary, N. M. N., Al-Dobai, S., & Faleiro, J. R. (2016).** Review on the management of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier in date palm Phoenix dactylifera L. Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA), 28(1). 34-44. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-10-897>
- Ali, M. A., Abou-Ghadir, N. M., Hassan, M. A. A., & Ahmed, D. M. (2024).** Enhanced Biocontrol of Red Palm Weevil Using Insect Pathogens in Date Palm Cultivation: A Sustainable Alternative to Pesticides. Journal of Plant Protection & Pathology, 15(12). 433 - 441
- Al-Otaibi, W. M. (2024).** Elucidating biological management (nutritional and coloring) mediated control of red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*). Applied Ecology & Environmental Research, 22(3) 2775-2784.
- Al-Zyoud, F., Shibli, R., & Ghabeish, I. (2021).** Current status, challenges, management and future perspectives of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera, Curculionidae) eradication-a review. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 9(6), 697-714.

- Arafa, O. E. (2020).** Field evaluation of synthetic pheromone, allomone, palm kairomone and ester in capturing adult red palm weevils, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) by aggregation pheromone traps in date palm plantations. *Plant Arch*, 20, 1857-1862.
- Asiri, B. M. (2025).** Occurrence of the Red Palm Weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) Infesting Date Palm Plantations and its Control in Saudi Arabia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 34(4), 4605-4616. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/190598>
- Cito, A., Mazza, G., Strangi, A., Benvenuti, C., Barzanti, G. P., Dreassi, E., ... & Roversi, P. F. (2014).** Characterization and comparison of *Metarhizium* strains isolated from *Rhynchophorus ferrugineus*. *FEMS Microbiology Letters*, 355(2), 108-115.
- Dembilio, Ó., & Jaques, J. A. (2012).** Bio-ecology and integrated management of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae), in the region of Valencia (Spain). *Hellenic Plant Protection Journal*, (5), 1-12.
- Kontodimas, D., Soroker, V., Pontikakos, C., Suma, P., Beaudoin-Ollivier, L., Karamaouna, F., & Riolo, P. (2017).** Visual identification and characterization of *Rhynchophorus ferrugineus* and *Paysandisia archon* infestation. *Handbook of major palm pests: Biology and management*, 187-208. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119057468.ch9>.
- Faleiro, J. R. (2006).** A review of the issues and management of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Rhynchophoridae) in coconut and date palm during the last one hundred years. *International journal of tropical Insect Science*, 26(3), 135-154.
- FAO, FAOSTAT statistical database, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025).** <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> (accessed June 14, 2025).
- Francardi, V., Benvenuti, C., Barzanti, G. P., & Roversi, P. F. (2013).** Autocontamination trap with entomopathogenic fungi: a possible strategy in the control of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier)(Coleoptera Curculionidae). *Redia*, 96, 57-67.
- Francardi, V., Benvenuti, C., Roversi, P. F., Rumine, P., & Barzanti, G. (2012).** Entomopathogenicity of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin isolated from different sources in the control of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier)(Coleoptera Curculionidae). *Redia*, 95, 49-55.

- Giblin-Davis, R. M., Faleiro, J. R., Jacas, J. A., Peña, J. E., & Vidyasagar, P. S. P. V. (2013).** Biology and management of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. In Potential invasive pests of agricultural crops (pp. 1-34). Wallingford UK: Cabi.
- Hasan, S. A., Abed, A. Z., Alderawii, M. M., Abass, M. H., Alyousuf, A., & Mustafa, A. A. (2025).** First record of *Trichoderma harzianum* as a potent biocontrol agent against red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier 1790) in Iraq. Basrah Journal of Agricultural Sciences, 38(Special Issue), 387-399. <https://doi.org/10.1093/jee/tov023>
- Husain, M., Rasool, K. G., Sutanto, K. D., Omer, A. O., Tufail, M., & Aldawood, A. S. (2024).** Laboratory evaluation of indigenous and commercial entomopathogenic nematodes against red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). Insects, 15(4), 290.
- Ishak, I., Ng, L. C., Haris-Hussain, M., Jalinis, J., Idris, A. B., Azlina, Z., ... & Wahizatul, A. A. (2020).** Pathogenicity of an indigenous strain of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae)(MET-GRA4 Strain) as a potential biological control agent against the red palm weevil (Coleoptera: Dryophthoridae). Journal of Economic Entomology, 113(1), 43-49. doi: <https://doi.org/10.1093/jee/toz233>
- Jaddou, M. I., Al Kaabi, A. J., Agla, A. M. A., Al Kaabi, A. S., & Al Kayoumi, K. N. (2017).** Field Evaluation to the attraction efficiency for the different sources of the red palm weevil aggregation pheromone. Open Science Journal, 2(4).
- Jalinis, J., Güerri-Agulló, B., Mankin, R. W., Lopez-Follana, R., & Lopez-Llorca, L. V. (2015).** Acoustic assessment of *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae) effects on *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Dryophthoridae) larval activity and mortality. Journal of Economic Entomology, 108(2), 444-453.
- Ju, R. T., Wang, F., Wan, F. H., & Li, B. (2011).** Effect of host plants on development and reproduction of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier)(Coleoptera: Curculionidae). Journal of Pest Science, 84(1), 33-39.
- Lei, C. J., Ahmad, R. H. I. R., Halim, N. A., Asib, N., Zakaria, A., & Azmi, W. A. (2023).** Bioefficacy of an oil-emulsion formulation of entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* against adult Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. Insects, 14(5), 482. <https://doi.org/10.3390/insects14050482>
- Mahdi Ali S., Hazim, M. A., Firas, M. A.-H., Osama , N. J., & Khairullah, M. A. (2026).** Evaluation of health hazards linked to heavy metal concentrations in date palm (*Phoenix*

dactylifera L.) fruits from Basrah, Iraq. Plant Science Today, 13(1).
<https://doi.org/10.14719/pst.8787>

- Malik, M. A., Manzoor, M., Ali, H., Muhammad, A., ul Islam, S., Qasim, M., ... & Saqib, H. S. A. (2016).** Evaluation of imidacloprid and entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* against the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Entomology and Zoology Studies, 4(1), 262-268.
- Manzoor, M., Ahmad, J. N., Giblin-Davis, R. M., Javed, N., & Haider, M. S. (2020).** Effects of entomopathogenic nematodes and/or fungus on the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Curculionidae: Coleoptera). Nematology, 22(10), 1193-1207.
- Manzoor, M., Ahmad, J. N., Sharif, M. Z., Majeed, D., Kiran, H., Jafir, M., & Ali, H. (2017).** Comparative effectiveness of entomopathogenic nematodes against red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*) in Pakistan. J. Entomol. Zool. Stud, 5, 756-760.
- Milosavljević, I., El-Shafie, H. A., Faleiro, J. R., Hoddle, C. D., Lewis, M., & Hoddle, M. S. (2019).** Palmageddon: The wasting of ornamental palms by invasive palm weevils, *Rhynchophorus* spp. Journal of Pest Science, 92(1), 143-156.
- Mohamoud, Y. A., Mathew, L. S., Torres, M. F., Younuskuju, S., Krueger, R., Suhre, K., & Malek, J. A. (2019).** Novel subpopulations in date palm (*Phoenix dactylifera*) identified by population-wide organellar genome sequencing. BMC genomics, 20(1), 498.
- Moneim, O., El-Mously, H., Bakeer, B., & Elsabbagh, A. (2026).** Review on the characterization and applications of date palm petiole for sustainable material applications. Discover Materials.
- Nasraoui, B., Jaddou, M., Musallam, Z., Al-Shareedi, A., Al-Fahid, Y., Chebbi, H., ... & Al-Ghamdi, A. (2024).** Control of the Apical and Trunk Infestations of Date Palm by Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*, Using a Simple and Inexpensive Injection Technique. Arab Journal of Plant Protection, 42(1). 82-87. <https://doi.org/10.22268/AJPP-001222>
- Nazeer Ahmad, J., Ahmed, R., Awais, M., Freed, S., & Farooq, M. (2025).** Lethal and transgenerational effect of chlorpyrifos, Imunit and *Metarhizium anisopliae* on the survival, immunity and demographic parameters of *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier. CABI Agriculture and Bioscience, 6(1), 0034.
- Rasool, K. G., Husain, M., Alwaneen, W. S., Sutanto, K. D., Omer, A. O., Tufail, M., & Aldawood, A. S. (2024).** Assessing the toxicity of six insecticides on larvae of red palm

weevil under laboratory condition. Journal of King Saud University-Science, 36(7), 103268.

Rochat, D., Dembilio, O., Jaques, J. A., Suma, P., Pergola, A. L., Hamidi, R., ... & Soroker, V. (2017). *Rhynchophorus ferrugineus*: Taxonomy, distribution, biology, and life cycle. Handbook of major palm pests: Biology and management, 69-104. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119057468.ch4>.

Tarasco, E., Porcelli, F., Polisenio, M., Quesada Moraga, E., Santiago Álvarez, C., & Triggiani, O. (2008). Natural occurrence of entomopathogenic fungi infecting the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790)(Coleoptera, Curculionidae) in Southern Italy. IOBC/WPRS Bull, 31, 195-197.

Torta, L., Leone, V., Caldarella, C. G., Lo Verde, G., & Burruano, S. (2009). Microrganismi fungini associati a *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivr) in Sicilia e valutazione dell'efficacia entomopatogena di un ceppo di *Beauveria bassiana* (Bals. 9 Vuill: osservazioni preliminari. Micologia Italiana, 2009(2), 49-56.

Triggiani, O., & Tarasco, E. (2011). Evaluation of the effects of autochthonous and commercial isolates of Steinernematidae and Heterorhabditidae on *Rhynchophorus ferrugineus* .Bulletin of Insectology 64 (2): 175-180, 2011

Biological and chemical control of the invasive red palm weevil insect *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1970) (Coleoptera: Curculionidae)

Dawood S. Hamid¹ Husien A. Mahdi¹ Hazim M. Ali^{2*}

¹Plant protection Department-Agriculture College, University of Basrah-Basrah-Iraq.

²Date palm Research Center, University of Basrah, Basrah, Iraq.

*Corresponding author: hazim.ali@uobasrah.edu.iq

Abstract

The red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier) is considered one of the most serious pests threatening date palm cultivation in many countries worldwide, due to its high ability to cause severe damage that leads to tree deterioration, reduced productivity, and may eventually result in tree death. This study aimed to review the most important methods used to control this pest, with emphasis on biological, pheromonal, and chemical control. Studies have shown that entomopathogenic nematodes, particularly *Steinernema carpocapsae* and *Heterorhabditis bacteriophora*, possess high efficiency in controlling the larval stages of the insect. Likewise, entomopathogenic fungi, especially *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Trichoderma harzianum*, have demonstrated significant effectiveness in reducing weevil populations and infecting different life stages. Pheromone traps have also played an important role in early detection of infestation, monitoring insect population densities, and contributing to population reduction, especially when aggregation pheromones are combined with suitable food baits. Furthermore, studies have indicated that chemical insecticides, particularly when applied via trunk injection, remain among the most effective control methods for eliminating different developmental stages of the insect. The results indicate that integrated management of the red palm weevil, combining continuous monitoring, biological control, pheromonal trapping, and chemical control, represents the most efficient and sustainable approach to limiting the spread of this pest and reducing its economic losses in date palm orchards.

Keywords: *Rhynchophorus ferrugineus*, red palm weevil, invasive pests, biological control, integrated control..

دور الاسمدة الحيوية في الحد من اضرار الاجهاد الحراري على نخيل التمر-مقال مراجعة

عماد حميد عبد الصمد العرب* محمد عبد الباسط الدرويش محمد هادي طعيمة

مركز ابحاث النخيل-جامعة البصرة-البصرة-العراق

*الباحث المراسل: amad.abdalsamad@uobasrah.edu.iq

الخلاصة

تُعد نخلة التمر (*Phoenix dactylifera* L.) من أهم المحاصيل الاستراتيجية في المناطق الجافة وشبه الجافة، إلا أن التغيرات المناخية وارتفاع درجات الحرارة باتت تمثل تحدياً متزايداً لاستدامة إنتاجها من خلال ما تسببه من اضطرابات فسيولوجية وبيوكيميائية تؤثر سلباً في النمو والإنتاجية. تستعرض هذه المقالة المعارف الحالية المتعلقة بتأثير الإجهاد الحراري في نخيل التمر، مع التركيز على دور الاسمدة الحيوية كأحد الأساليب الزراعية المستدامة لتعزيز قدرة النبات على التكيف مع الظروف الحرارية القاسية. كما تناقش الآليات المختلفة التي تعتمد عليها الكائنات الحية الدقيقة النافعة، بما في ذلك البكتيريا المحفزة لنمو النبات (PGPR)، والفطريات الجذرية التكافلية (AMF)، والفطريات الداخلية، في تحسين امتصاص الماء والعناصر الغذائية، وتنشيط منظومات الدفاع المضاد للأكسدة، وتحفيز إنتاج بروتينات الصدمة الحرارية، والمحافظة على كفاءة التمثيل الضوئي وسلامة الأغشية الخلوية. وتتناول المراجعة كذلك دور الاسمدة الحيوية في تحسين خصائص التربة الفيزيائية والحيوية وتعزيز التنوع الميكروبي، بما يسهم في استدامة الأنظمة الزراعية. وتسلط الضوء على أبرز التحديات البحثية والاتجاهات المستقبلية، بما في ذلك دراسة التفاعلات بين الميكروبات المدخلة والمجتمعات الميكروبية المحلية وتوظيف التقنيات الجزيئية الحديثة لتقييم الكفاءة والآثار البيئية طويلة الأمد. وتؤكد الأدلة المتاحة أن دمج الاسمدة الحيوية في برامج إدارة نخيل التمر يمثل خياراً واعداً لتعزيز تحمل الإجهاد الحراري وتحسين استدامة الإنتاج الزراعي في ظل التغيرات المناخية المتسارعة.

الكلمات المفتاحية: الزراعة المستدامة، الإجهاد الحراري، الكائنات الدقيقة، اجهادات لحيوية، فطريات الميكورازيا.

المقدمة

Introduction

يعد نخيل التمر (*Phoenix dactylifera L.*) من أقدم أشجار الفاكهة التي عرفها الإنسان، وينتمي إلى العائلة النخيلية (Arecaceae) والرتبة (Arecales) ، وهو من النباتات أحادية الفلقة (Monocotyledons) وقد ارتبطت زراعته منذ آلاف السنين بحضارات المناطق الجافة وشبه الجافة، ولا سيما في الوطن العربي ومنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، حيث أسهم بصورة كبيرة في تحقيق الاستقرار الزراعي والاجتماعي والاقتصادي لهذه المناطق (FAO, 2023). ويصنف نخيل التمر ضمن المحاصيل الاستراتيجية ذات الأهمية الاقتصادية والاجتماعية والغذائية، إذ يشكل جزءاً أساسياً من التراث الزراعي في العراق ودول الخليج العربي وشمال أفريقيا، وتزرع منه ملايين الهكتارات حول العالم. إلا أن التغيرات المناخية المتسارعة وما يرافقها من ارتفاع في درجات الحرارة أصبحت تشكل تحدياً متزايداً أمام استدامة إنتاجيته وجودة ثماره (Due *et al.*, 2025). كما يمثل التمر أحد المكونات الرئيسية للنظام الغذائي في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، فضلاً عن دوره في توفير فرص العمل وتعزيز دخل العاملين في القطاع الزراعي، الأمر الذي يبرز أهمية تطوير استراتيجيات فعالة لمواجهة مختلف أنواع الإجهادات الحيوية وغير الحيوية التي تحد من إنتاجيته (Oubrhou *et al.*, 2024). يعد الإجهاد الحراري من أبرز العوامل البيئية التي تؤثر سلباً في نمو النباتات وإنتاجيتها، إذ يؤدي إلى إحداث تغيرات فسلجية وبايوكيميائية معقدة تشمل انخفاض نشاط العديد من الإنزيمات الحيوية وزيادة إنتاج أنواع الأوكسجين التفاعلية (Reactive Oxygen Species; ROS)، مما يسبب أضراراً للأغشية الخلوية والبروتينات ومكونات الخلية الأخرى (Yoo, 2023). وتتعرض هذه التأثيرات بصورة مباشرة على النمو الخضري والعمليات التكاثرية والعقد، الأمر الذي يؤدي في النهاية إلى انخفاض الحاصل وتراجع جودة الثمار (Zahiri *et al.*, 2023). وفي ظل التحديات البيئية الراهنة، برزت الأسمدة الحيوية كأحد البدائل الزراعية المستدامة والصديقة للبيئة، لما تؤديه من دور مهم في تحسين خصوبة التربة وتقليل الاعتماد على الأسمدة الكيميائية. وتحتوي هذه الأسمدة على كائنات دقيقة نافعة يتم إكثارها واستخدامها لتحسين جاهزية العناصر الغذائية ورفع كفاءة امتصاصها من قبل النبات، مما يساهم في تعزيز النمو والإنتاج الزراعي (Mazid & Khan, 2014). وقد أدى السعي المتزايد نحو تحقيق الأمن الغذائي إلى التوسع في استخدام الأسمدة الكيميائية بصورة مكثفة، الأمر الذي تسبب في العديد من المشكلات البيئية، منها انخفاض محتوى التربة من المادة العضوية، وضعف قدرتها على الاحتفاظ بالماء، وتراجع خصوبتها، وازدياد مستويات الملوحة والحموضة، فضلاً عن اختلال امتصاص العناصر الغذائية وانخفاض أعداد الكائنات الحية الدقيقة النافعة، مما انعكس سلباً

على التوازن الغذائي وكفاءة الإنتاج الزراعي (Nosheen et al., 2021; Das et al., 2023; Xing et al., 2025). وعلى النقيض من ذلك، تسهم الأسمدة الحيوية في تحسين خصائص التربة من خلال توفير النتروجين والفيتامينات والبروتينات، وتعزيز قدرتها على الاحتفاظ بالماء، وبالتالي التخفيف من الآثار السلبية المرتبطة بالاستخدام المفرط للأسمدة الكيميائية (Jacob & Sripriya, 2023). وتعد التربة الركيزة الأساسية لإنتاج الغذاء واستدامة النظم الزراعية، إلا أن التوسع في تطبيق الممارسات الزراعية الحديثة، بما في ذلك الاستخدام المكثف للمبيدات والأسمدة الصناعية، أدى إلى تدهور بيئي واسع النطاق تمثل في انخفاض التنوع الحيوي وتراجع قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية (Harman et al., 2021). وتلعب الكائنات الحية الدقيقة دوراً محورياً في المحافظة على صحة التربة من خلال تفاعلاتها التكافلية مع جذور النباتات، حيث تدعم العديد من الوظائف البيئية الأساسية وتسهم في تحسين كفاءة استخدام الموارد (Kumar et al., 2022). وقد أظهرت الدراسات الحديثة أن استخدام الأسمدة الحيوية ينعكس إيجابياً على الخصائص الميكروبيولوجية للتربة وبنيتها، مما يعزز دورات العناصر الغذائية ويحسن نمو النباتات وإنتاجيتها (Zhang et al., 2025). كما أن دمج الكائنات الدقيقة النافعة مع المواد العضوية يزيد من النشاط الميكروبي الطبيعي في التربة، ويسرع عمليات تحلل المادة العضوية وإطلاق العناصر الغذائية اللازمة للنبات (Chaudhary et al., 2021). وتصنف العلاقات بين النباتات والكائنات الدقيقة إلى علاقات نافعة تسهم في تحسين بقاء النبات وتغذيته وإنتاجيته، وعلاقات ضارة تؤثر سلباً في نموه، ويحدد التوازن بين هذين النوعين من العلاقات مستوى خصوبة التربة وكفاءتها الإنتاجية (Vishwakarma et al., 2020).

وانطلاقاً من أهمية تطوير حلول مستدامة للتخفيف من آثار الإجهاد الحراري على نخيل التمر، تهدف هذه المقالة إلى استعراض الدور المحتمل للأسمدة الحيوية في تعزيز قدرة النخيل على التكيف مع الظروف البيئية القاسية، مع التركيز على تأثيرها في تحسين خصوبة التربة وكفاءة امتصاص العناصر الغذائية، فضلاً عن دورها في تنشيط الأنظمة الدفاعية للنبات، بما في ذلك منظومات مضادات الأكسدة الطبيعية، بما يسهم في تعزيز تحمل الإجهاد الحراري وتحقيق استدامة الإنتاج الزراعي.

اهمية نخيل التمر

تتجلى أهمية نخيل التمر بوصفه محصولاً استراتيجياً متعدد الأبعاد يجمع بين الأهمية الزراعية والاقتصادية والغذائية والصحية والبيئية والاجتماعية، مما يفسر انتشاره الواسع في البيئات الجافة وشبه الجافة. زراعياً، يتميز نخيل التمر بقدرته العالية على

تحمل الظروف البيئية القاسية مثل الجفاف وارتفاع درجات الحرارة والملوحة، إضافة إلى طول عمره الإنتاجي واستقراره النسبي في الإنتاج عند اتباع ممارسات إدارة بستانية جيدة، مما يجعله محصولاً مهماً في النظم الزراعية الصحراوية (FAO, 2024). اقتصادياً، يعد من المحاصيل ذات القيمة التجارية العالية، حيث يسهم في توفير فرص عمل متعددة في مراحل الإنتاج والتسويق والتصنيع الغذائي، كما تدخل التمور في صناعات تحويلية متنوعة مثل الدبس والعجوة والمخبوزات والمنتجات الغذائية الوظيفية. إضافة إلى ذلك، فإن الاستفادة من مخلفات النخيل مثل السعف والنوى تدعم صناعات الأعلاف والسماد العضوي والطاقة الحيوية، مما يعزز كفاءة استغلال الموارد (Al-Alawi et al., 2017; Du et al., 2025). غذائياً، تتميز ثمار التمر بارتفاع محتواها من السكريات البسيطة سريعة الامتصاص مثل الجلوكوز والفركتوز والسكروز، مما يجعلها مصدرًا سريعًا للطاقة، فضلاً عن غناها بالمعادن الأساسية والفيتامينات والألياف الغذائية التي تدعم صحة الجهاز الهضمي (Al-Farsi & Lee, 2008). كما تمتلك خصائص وظيفية وصحية مهمة تشمل النشاط المضاد للأكسدة والالتهابات والميكروبات (Bouhlali et al., 2016; Djaoud et al., 2022a). صحياً، تحتوي التمور على مركبات فعالة حيويًا مثل الفينولات والفلافونويدات التي تسهم في تقليل الإجهاد التأكسدي، وقد تساعد في الوقاية من بعض الأمراض المزمنة وتعزيز المناعة وتنظيم سكر الدم عند تناولها باعتدال (Djaoud et al., 2022b; Al-Yahyai et al., 2024). بيئيًا، يسهم نخيل التمر في تثبيت التربة والحد من التعرية، وتحسين الظروف المناخية المحلية، ودعم التنوع الحيوي، إضافة إلى دوره في التكيف مع التغيرات المناخية واستدامة الإنتاج في البيئات الهشة (Oban et al., 2023). أما اجتماعيًا وثقافيًا، فيمثل نخيل التمر رمزًا مهمًا في التراث العربي والإسلامي، ويسهم في دعم الاقتصاد الريفي وتوفير فرص دخل للأسر، مما يساعد في الحد من الهجرة الريفية وتعزيز التنمية المحلية (Hadrami & Al-Khayri, 2013).

تأثير الإجهاد الحراري على نخيل التمر

يعد الإجهاد الحراري أحد أهم العوامل البيئية المحددة لنمو وإنتاج نخيل التمر في المناطق الجافة وشبه الجافة، سيما في دول الخليج العربي والعراق، حيث قد تتجاوز درجات الحرارة الصيفية 50 درجة مئوية. تؤدي هذه الظروف الحرارية المرتفعة إلى اضطرابات فسيولوجية وبيوكيميائية واضحة، تشمل انخفاض كفاءة عملية البناء الضوئي، وزيادة معدل النتح، وتلف الأغشية الخلوية، وضعف امتصاص العناصر الغذائية، مما ينعكس سلباً على النمو والإنتاجية (Zahiri et al., 2023). وعلى المستوى الخلوي، يؤدي التعرض المستمر لدرجات الحرارة العالية إلى زيادة إنتاج أنواع الأوكسجين التفاعلية Reactive

(ROS) Oxygen Species، مثل بيروكسيد الهيدروجين والجذور الحرة، مما يسبب إجهاداً تأكسدياً يؤدي إلى تلف البروتينات والدهون والأنظمة الإنزيمية داخل الخلايا (Yoo, 2023). وتظهر هذه التأثيرات على شكل اصفرار الأوراق واحتراق أطرافها، إضافة إلى انخفاض نشاط الجذور نتيجة فقدان الماء وتضرر الأنسجة الموصلة. كما يؤثر الإجهاد الحراري سلباً في العمليات التكاثرية، حيث تقل حيوية حبوب اللقاح وتضعف قدرتها على الإنبات على المياسم، مما يؤدي إلى انخفاض نسبة العقد النهائي وتراجع كمية ونوعية الثمار (Zahiri et al., 2023). وفي إطار الاستجابة الفسلجية، يقوم نخيل التمر بتحفيز إنتاج بروتينات الصدمة الحرارية (HSPs) Heat Shock Proteins، التي تسهم في حماية البروتينات الخلوية من التلف وإعادة طيها بشكل صحيح. ومع ذلك، فإن كفاءة هذه الآلية الدفاعية تبقى محدودة عند استمرار الإجهاد الحراري لفترات طويلة أو في حال وجود نقص في الماء والعناصر الغذائية (Yoo, 2023). ومن الناحية البيئية، يسهم الإجهاد الحراري في زيادة تدهور التربة الزراعية وارتفاع مستويات الملوحة نتيجة التبخر الشديد وفقدان الرطوبة، مما يضاعف من التأثيرات السلبية على أداء نخيل التمر. ولذلك فإن إدارة الإجهاد الحراري تُعد ضرورة ملحة من خلال اعتماد ممارسات زراعية مستدامة، مثل استخدام الأسمدة الحيوية، وتحسين الغطاء النباتي، وتطبيق تقنيات الري الحديثة، بهدف تقليل آثار ارتفاع درجات الحرارة وضمان استدامة إنتاج نخيل التمر في ظل التغير المناخي المتسارع (Due et al., 2025).

الاسمدة الحيوية الانواع والاهمية

تعرف الأسمدة الحيوية بأنها مستحضرات طبيعية قد تكون ذات منشأ نباتي أو حيواني أو ميكروبي، وتحتوي على كائنات دقيقة نافعة مثل البكتيريا والفطريات والطحالب وغيرها من الأحياء الدقيقة، تُضاف إلى التربة أو البذور أو النبات بهدف تحسين النمو وزيادة الإنتاجية بوسائل طبيعية ومستدامة. وتعمل هذه الكائنات، سواء كانت حية أو خاملة، على تعزيز كفاءة الامتصاص الحيوي ونقل العناصر الغذائية داخل النبات، مما يسهم في تحسين خصوبة التربة عبر آليات متعددة تشمل تثبيت النيتروجين الجوي، وإذابة الفوسفات غير الذائبة، وتحفيز إنتاج منظمات النمو النباتية (Lee et al., 2018; Abbey et al., 2019). وتشمل الأسمدة الحيوية عدة مجموعات رئيسية ذات وظائف متخصصة. من أبرزها بكتيريا تثبيت النيتروجين مثل *Rhizobium* و *Azotobacter* و *Azospirillum*، والتي تقوم بتحويل النيتروجين الجوي إلى أشكال قابلة للامتصاص النباتي. كما تضم بكتيريا إذابة الفوسفات مثل *Bacillus megaterium* و *Pseudomonas fluorescens*، والتي تفرز أحماضاً عضوية تعمل على إذابة الفوسفات غير المتاح في التربة. إضافة إلى ذلك، تعد الفطريات الجذرية التكافلية (Mycorrhizae)

من أهم المكونات، إذ تُكوّن علاقة تكافلية مع جذور النبات تزيد من كفاءة امتصاص الماء والعناصر الغذائية، خصوصاً الفوسفور. كما تشمل الطحالب الخضراء المزرقّة، وهي كائنات قادرة على تثبيت النيتروجين وتُستخدم في نظم الزراعة المائية والحقول الزراعية المختلفة (Chaudhary et al., 2021). وبذلك تمثل الأسمدة الحيوية نظاماً ميكروبياً فعالاً يسهم في تحسين خصوبة التربة وتعزيز نمو النبات من خلال تفاعلات بيولوجية طبيعية تدعم استدامة الإنتاج الزراعي.

دور الاسمدة الحيوية في استصلاح الترب المتضررة

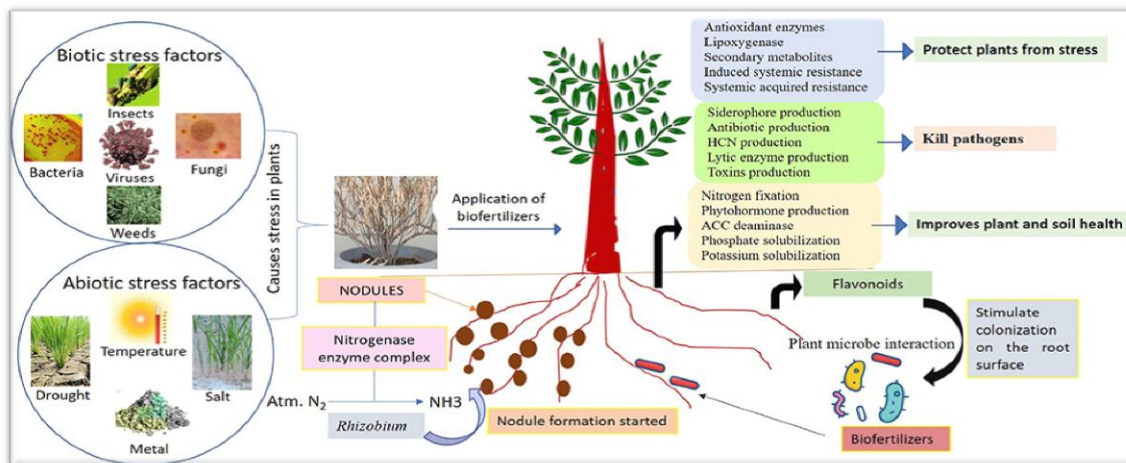
يعد استخدام الأسمدة الحيوية في النظم الزراعية الحديثة توجهاً متزايد الأهمية، إلا أن المعرفة العلمية المتعلقة بقدرتها على الاستقرار في التربة لفترات طويلة وسلوكها البيئي لا تزال محدودة نسبياً (Compant et al., 2019). وفي هذا السياق، يزداد الاهتمام البحثي بدراسة التفاعلات بين الكائنات الدقيقة المضافة والمجتمعات الميكروبية المحلية في منطقة الرايزوسفير، لما لها من دور حاسم في تحديد نجاح هذه المدخلات الحيوية (Berg et al., 2020). ويعد التركيب الميكروبي الأصلي للتربة أحد العوامل الرئيسية التي تحدد كفاءة الأسمدة الحيوية، إذ إن المنافسة الشديدة داخل المجتمعات الميكروبية قد تؤثر في بقاء السلالات المضافة وقدرتها على دعم نمو النبات وتحسين إنتاجيته (Hanif et al., 2024). كما أن تلقيح البذور أو الشتلات بالكائنات الحية الدقيقة، إلى جانب استخدام محسنات التربة، قد يؤدي إلى تغييرات في تركيب ووظائف المجتمعات الميكروبية، مما يستدعي تقييم هذه التغييرات من منظور السلامة البيئية، خصوصاً عند إدخال سلالات جديدة إلى الأنظمة الزراعية لاحتمال تأثيرها في التوازن الحيوي للتربة ووظائفها الحيوية (Trivedi et al., 2020). ولا تقتصر التأثيرات المحتملة للأسمدة الحيوية على الكائنات الدقيقة المستهدفة، بل قد تمتد لتشمل كائنات غير مستهدفة ودورات العناصر الغذائية والعمليات الكيميائية الحيوية، إضافة إلى خصائص التربة الفيزيائية مثل البنية، والمسامية، والاحتفاظ بالماء، والخصوبة العامة، فضلاً عن دورها في تقليل انجراف التربة (Yadav, 2018; Kumar et al., 2022). ولذلك تُعد الدراسات الحقلية طويلة الأمد ضرورية للوصول إلى تقييم دقيق وموثوق لكفاءة هذه المدخلات والمخاطر البيئية المحتملة المرتبطة باستخدامها (Schloter et al., 2018)، مع التأكيد على الحاجة إلى مزيد من البحوث المتعمقة قبل اعتمادها على نطاق تجاري واسع كمدخلات زراعية آمنة (Jansson & Hofmockel, 2020). وقد استُخدمت في دراسة تأثير الأسمدة الحيوية على المجتمعات غير المستهدفة مجموعة من الأساليب التقليدية القائمة على الزراعة المختبرية، إلى جانب تقنيات حديثة غير معتمدة على الزراعة شملت التحليلات الفسيولوجية والجزيئية. وعلى الرغم من أهمية طرائق العد المجهرية والزرع في توصيف المجتمعات

الميكروبية، إلا أنها لم تعد كافية وحدها لفهم التأثيرات الوظيفية المعقدة داخل التربة، مما يستدعي توظيف التقانات الجزيئية المتقدمة لتحليل ديناميكية التربة ووظائفها الميكروبية (Sharma et al., 2020). وفي هذا السياق، يُعد تحليل الحمض النووي (DNA) أداة مهمة لتقييم التنوع الميكروبي والإمكانات الوراثية للمجتمعات، إلا أن التطورات الحديثة في تحليل الحمض النووي الريبي الرسول (mRNA) من التربة أتاحت إمكانية تقييم النشاط الوظيفي الفعلي للكائنات الدقيقة في الزمن الحقيقي. وتوفر تقنيات Metatranscriptomics فهماً أكثر دقة لوظائف الأسمدة الحيوية داخل النظام البيئي في أوقات محددة، مما يجعل دمج التقنيات عالية الإنتاجية مع الأساليب التقليدية ضرورة أساسية لإجراء تقييم شامل للتنوع والكفاءة والمخاطر البيئية قبل التوسع في استخدامها الزراعي (Naylor et al., 2017).

تأثير الأسمدة الحيوية في نمو النبات

تُسهّم الأسمدة الحيوية في تحسين نمو النبات من خلال إعادة التوازن إلى المجتمعات الميكروبية في التربة وتنشيط العمليات الحيوية فيها، فضلاً عن دورها في ترشيد استخدام الأسمدة الكيميائية والحد من التلوث البيئي، مما ينعكس إيجاباً على زيادة الإنتاجية وتحسين جودة المحصول (Yaduvanshi and Swarup, 2005). ويعد الاستخدام المشترك للأسمدة الحيوية والأحماض العضوية من الاستراتيجيات المهمة للحد من التدهور البيئي الناتج عن الإفراط في استخدام الأسمدة الكيميائية. وقد أثبتت الأسمدة الحيوية، التي تشمل الفطريات الجذرية الشجرية (AMF)، والبكتيريا المحفزة لنمو النبات (PGPR)، والفطريات الداخلية مثل *Piriformospora indica*، كفاءة عالية في تحسين تحمل النباتات للإجهادات البيئية مثل الملوحة، إضافة إلى دورها في تقليل التكاليف الزراعية وزيادة كفاءة الإنتاج. كما أكدت العديد من الدراسات فعاليتها في محاصيل مختلفة من حيث رفع الإنتاجية وتحسين جودة المحصول (Dattat et al., 2009). وتسهم الأسمدة الحيوية في تزويد النبات بجزء من احتياجاته من العناصر الغذائية الكبرى مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، إلى جانب إفراز الأحماض العضوية والهرمونات النباتية التي تعمل كمنظمات نمو. كما تنتج بعض الكائنات الدقيقة المرتبطة بها مضادات حيوية طبيعية تسهم في تقليل انتشار الأمراض التربة، مما يؤدي إلى تحسين النمو النباتي وزيادة كفاءة الإنتاج. وبالإضافة إلى ذلك، فإن استخدامها ينعكس إيجاباً على تحسين المحتوى الغذائي للمحاصيل مقارنة بالأسمدة الكيميائية، مع خفض تكاليف التسميد والرش والحد من الاعتماد على المبيدات الكيميائية. ويعتمد التسميد الحيوي أساساً على تعديل التركيب الميكروبي في منطقة الرايزوسفير من خلال تلقح التربة بكائنات دقيقة نافعة معزولة من بيئاتها الطبيعية. وتُعد هذه المنطقة بيئة غنية بالكائنات الحية الدقيقة القادرة على إذابة العناصر

الغذائية المرتبطة بمعادن التربة، والمحافظة على خصوبتها وخصائصها الفيزيائية والكيميائية عبر زيادة أعداد الكائنات المفيدة، مما يعزز استدامة الإنتاج الزراعي (Choudhary et al., 2022a). وفي هذا السياق، تُعد الفطريات الجذرية الشجيرية (AMF) من أكثر المجموعات المدروسة في الزراعة، إذ تسهم في زيادة امتصاص الماء والعناصر الغذائية، وتحسين تحمل النباتات للإجهادات غير الحيوية مثل الجفاف من خلال تعزيز منظومة مضادات الأكسدة، فضلاً عن دورها في زيادة تحمل الإجهادات الحيوية (Benhiba et al., 2015). كما تُعرف هذه الفطريات بأنها كائنات تكافلية تقدم فوائد كبيرة للنباتات، بما في ذلك تحسين امتصاص الماء في أشجار النخيل (Qaddoury, 2017). وتؤثر الكائنات الدقيقة، ولا سيما المجتمعات الفطرية، بشكل مباشر في صحة النبات ونموه وكفاءة امتصاصه للعناصر الغذائية، بما في ذلك نخيل التمر (Ferjani et al., 2015; Abumaali et al., 2023). وقد تم التعمق في دراسة أدوار هذه المجتمعات بهدف تحسين إنتاجية المحاصيل وتعزيز استدامة النظم الزراعية، خصوصاً فيما يتعلق بقدرتها على رفع تحمل النبات للإجهادات البيئية (Xiong and Lu, 2022). كما أظهرت الدراسات أن التلقيح ببعض الأسمدة الحيوية، مثل الفطر *Piriformospora indica*، يساهم في تعزيز مقاومة النباتات للإجهاد البيئي والإصابات المرضية (Paul et al., 2023; Ur Rahman et al., 2023). وتعزى هذه التأثيرات إلى قدرته على تحفيز تفاعلات كيميائية حيوية داخل النبات، تشمل زيادة نشاط إنزيمات مضادات الأكسدة (Boorboori and Zhang, 2022)، وتراكم المواد المنظمة للتوازن الأسموزي (Chen et al., 2022)، وتنظيم مستويات الهرمونات النباتية (Leyva-Rojas et al., 2020). كما بينت بعض الدراسات أن خلط بعض الكائنات البكتيرية مثل *Pseudomonas* و *Bacillus lentus* و *Azospirillum brasilense* أدى إلى زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة ورفع محتوى الكلوروفيل تحت ظروف الإجهاد، مما يساهم في تحسين كفاءة البناء الضوئي (Heidari & Golpayegani, 2012). كما يمكن لهذه الكائنات تعزيز قدرة النبات على الاستجابة للإجهاد البيئي من خلال تنشيط مسارات الإشارات الحيوية (Li et al., 2022, 2023). ومع تزايد تأثيرات التغير المناخي وارتفاع معدلات الجفاف والحرارة والملوحة، أصبحت هذه العوامل من أهم الضغوط المحددة لنمو النباتات على مستوى العالم. وفي هذا السياق، أظهرت العديد من الدراسات الحديثة الإمكانيات الواعدة للعودة للفطر *Piriformospora indica* في تعزيز مقاومة النباتات للإجهادات البيئية المختلفة (Ji et al., 2024).



شكل (1): دور الأسمدة الحيوية في زيادة إنتاجية النبات والمحافظة على سلامة التربة (Chaudhary et al., 2022)

تأثير الأسمدة الحيوية على نخيل التمر تحت الإجهاد الحراري

تُظهر الدراسات المتعلقة بنخيل التمر والموضحة في جدول (1) أن المعاملات الحيوية تلعب دوراً محورياً في تعزيز النمو وزيادة القدرة على تحمل الإجهادات البيئية المختلفة، بما في ذلك الإجهاد الحراري، وذلك عبر تنشيط آليات فسلجية وبيوكيميائية متعددة. فقد أشار (Ahmad et al. (2019)، الى أن استخدام فطر *Trichoderma harzianum* أدى إلى تحسينات معنوية في النمو الخضري والجذري لنخيل التمر، تمثلت بزيادة ارتفاع النبات وطول الجذور والوزن الطري والجاف لكلا المجموعين، مما يعكس الدور الإيجابي لهذا الفطر في تعزيز النمو العام للنخيل. وبين (Akenous et al. (2022a) أن استخدام المحفزات الحيوية المتمثلة في الفطريات الجذرية التكافلية (AMF) والبكتيريا المحفزة لنمو النبات (PGPR) مع الإضافات العضوية أسهم في تحسين نمو وإنتاجية نخيل التمر تحت ظروف الإجهادات اللاأحيائية مثل الجفاف والملوحة، كما عزز مقاومته للإجهاد الحراري من خلال تنشيط أنظمة الدفاع المضادة للأكسدة. كما أكد (Akenous et al. (2022b) أن تلقيح نخيل التمر بالفطريات الجذرية التكافلية (AMF) تحت ظروف الإجهاد البيئي المختلفة، بما فيها الحرارة، أدى إلى تحسين كفاءة امتصاص الماء والعناصر الغذائية، وزيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة مثل CAT وSOD وPOD، مما ساهم في رفع قدرة النبات على التكيف مع الإجهادات البيئية. كذلك أوضح (Al-Zubaidy & Al-Asadi (2025) أن استخدام المحفزات الحيوية Calmax و Stimplex في نخيل التمر أدى إلى زيادة محتوى المركبات المضادة للأكسدة مثل الفلافونويدات والجلوتاثيون وفيتامين C، إضافة إلى تعزيز نشاط إنزيم Superoxide Dismutase (SOD)، مما يقوي الدفاعات الخلوية ضد الضغوط البيئية، بما فيها الحرارة المرتفعة. أما (Yoo (2025) فقد أشار إلى أن نخيل التمر يمتلك آليات تحمل حراري

ذاتية عند تعرضه لدرجات حرارة تصل إلى 37 °م، تتمثل في تحفيز إنتاج بروتينات الصدمة الحرارية (HSPs) ، والتي يمكن تعزيز فعاليتها بشكل غير مباشر عبر الأسمدة الحيوية من خلال تنظيم التوازن الأكسدي داخل النبات ودعم أنظمة الدفاع الخلوي.

جدول (1): استجابات نخيل التمر للمعاملات الحيوية ودورها في تعزيز تحمل الإجهاد الحراري

المصدر	نوع المعاملة الحيوية	الاستجابة والتأثير في نخيل التمر
Akensous <i>et al.</i> , (2022a)	Biostimulants: AMF + PGPR + Organic Amendments	تشجع نمو وانتاجية نخيل التمر، تحمل الإجهادات مثل الجفاف والملوحة، تحسين مقاومة الإجهاد الحراري عبر تعزيز نظام الدفاع المضاد للأكسدة.
Al-Zubaidy & Al-Asadi (2025)	Biostimulants (Calmax & Stimplex)	زيادة محتوى مضادات الأكسدة الفلافونويد، الجلوتاثيون، فيتامين C وإنزيم SOD عند المعاملة، مما ينشط الدفاعات الخلوية ضد الضغوط البيئية ومنها الحرارة العلية.
Yoo., 2025	استجابات نباتية ذاتية	تحفيز آليات التحمل الحراري الذاتية عبر بناء بروتينات HSP التي يمكن للأسمدة الحيوية تنشيطها ها بشكل غير مباشر عبر تعديل التمثل المضاد للأكسدة.
Akensous <i>et al.</i> , (2022b)	الفطريات الجذرية التكافلية AMF	تحسن كفاءة الامتصاص المائي والعناصر، وتزيد نشاط مضادات الأكسدة (CAT)، (SOD)، (POD)، ما يدعم قدرة نخيل التمر على تحمل الإجهادات البيئية، مع قابلية عالية لتعزيز التحمل الحراري بشكل غير مباشر.
Ahmad <i>et al.</i> ,(2019)	Trichoderma harzianum	حصول زيادة معنوية في ارتفاع المجموع الخضري وطول المجموع الجذري وزيادة الوزن الطري والجاف للمجموعين الخضري والجذري.

Conclusions

الاستنتاجات

تُشير الأدلة المستخلصة من الدراسات الحديثة إلى أن الأسمدة الحيوية تمثل استراتيجية فعالة في تعزيز نمو نخيل التمر وزيادة قدرته على تحمل الإجهادات البيئية، ولا سيما الإجهاد الحراري، وذلك من خلال تحسين امتصاص الماء والعناصر الغذائية، وتنشيط أنظمة الدفاع المضادة للأكسدة، ورفع كفاءة العمليات الفسيولوجية المرتبطة بالنمو والإنتاج. كما تساهم هذه المعاملات في تعزيز استجابة النبات الجزيئية عبر تحفيز آليات مثل بروتينات الصدمة الحرارية (HSPs) ، مما ينعكس إيجاباً على استقرار الأداء النباتي تحت الظروف البيئية القاسية. وتؤكد النتائج أيضاً أن التكامل بين الكائنات الدقيقة النافعة مثل AMF و PGPR و *Trichoderma spp.* والمحفزات الحيوية العضوية يحقق تأثيرات تراكمية تساهم في تحسين جودة التربة وزيادة

استدامة الإنتاج الزراعي لنخيل التمر. وعليه، فإن الاعتماد على الأسمدة الحيوية لا يمثل فقط بديلاً بيئياً للأسمدة الكيميائية، بل يعد مدخلاً أساسياً لتعزيز كفاءة النظم الزراعية في البيئات الهشة.

وتبرز الحاجة الى توسيع الدراسات الحقلية طويلة الأمد لتقييم فعالية هذه الأسمدة تحت ظروف مناخية واقعية ومتغيرة، مع التركيز على فهم التفاعلات المعقدة بين الميكروبات المضافة والمجتمعات الميكروبية الأصلية في التربة. كما يوصى بتوظيف التقنيات الجزيئية الحديثة والتحليل الوظيفي الجيني لتحديد الآليات الدقيقة المسؤولة عن تحسين تحمل الإجهاد الحراري. إن دمج هذه المقاربات سيسهم في تطوير برامج إدارة متكاملة ومستدامة لنخيل التمر، تدعم الأمن الغذائي في ظل التغير المناخي المتسارع.

References

المصادر

- Abbey, L., Abbey, J., Leke-Aladekoba, A., Iheshiulo, E. M. A., and Ijenyo, M. (2019).** Biopesticides and biofertilizers: types, production, benefits, and utilization. *Byprod. Agri. Fisher.* 2019, 479–500.
- Abumaali D.A, Al-Hadidi S.H, Ahmed T.E (2023).** Bacterial Community structure and predicted function in the Rhizosphere of Wild and cultivated date palms: effects of fertilizers on composition and functionality. *Ecological Genetics and Genomics*, 29:100195. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2023.100195>
- Agegnehu, G., Srivastava, A. K., & Bird, M. I. (2017).** The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, 119, 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.008>
- Ahmed. A. N., Al-Arab, E. H. A., Ofi, B.G. (2019).** Effect of the addition of liquid fertilizers and Inoculation *Trichoderma harzianum* on the growth Parameters of date palm seedlings. *Basrah Journal For Date Palm Research* 18(1):1-19.
- Akensous, F. Z., Anli, M., & Meddich, A. (2022a).** Biostimulants as innovative tools to boost date palm (*Phoenix dactylifera* L.) performance under drought, salinity, and heavy metal (Oid) s' stresses: a concise review. *Sustainability*, 14(23), 15984. <https://doi.org/10.3390/su142315984>

- Akensous, F. Z., Anli, M., Boutasknit, A., Ben-Laouane, R., Ait-Rahou, Y., Ahmed, H. B., ... & Meddich, A. (2022b).** Boosting date palm (*Phoenix dactylifera* L.) growth under drought stress: Effects of innovative biostimulants. *Gesunde Pflanzen*, 74(4), 961-982.
- Al-Alawi, R. A., Al-Mashiqri, J. H., Al-Nadabi, J. S., Al-Shihi, B. I., & Baqi, Y. (2017).** Date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.): natural products and therapeutic options. *Frontiers in plant science*, 8, 845. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00845>
- Al-Farsi, M. A., & Lee, C. Y. (2008).** Nutritional and Functional Properties of Dates: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(10), 877–887. <https://doi.org/10.1080/10408390701724264>
- Al-Habsi, N. (2025).** Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruit: Strategic Crop for Food Security, Nutritional Benefits, Postharvest Quality, and Valorization into Emerging Functional Products. *Sustainability*, 17(16), 7491.
- Al-Yahyai, R., Manickavasagan, A., & Al-Rawahi, A. (2024).** Date palm: Postharvest biology, processing and health benefits. *Scientia Horticulturae*, 322, 112425.
- Al-Zubaidy BHF and Al-Asadi ADK (2025).** Biostimulants effect on the antioxidants of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *SABRAO J. Breed. Genet.* 57(2): 841-850.
- Benhiba, L., Fouad, M. O., Essahibi, A., Ghoulam, C., & Qaddoury, A. (2015).** Arbuscular mycorrhizal symbiosis enhanced growth and antioxidant metabolism in date palm subjected to long-term drought. *Trees*, 29(6), 1725-1733. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1253-9>
- Berg, G., Rybakova, D., Fischer, D., Cernava, T., Vergès, M. C. C., Charles, T., & Schloter, M. (2020).** Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*, 8(1), 103.
- Boorboori, M. R., & Zhang, H. Y. (2022).** The role of *Serendipita indica* (*Piriformospora indica*) in improving plant resistance to drought and salinity stresses. *Biology*, 11(7), 952. <https://doi.org/10.3390/biology11070952>
- Bouhlali, E.D.T., Bammou, M., Sellam, K., Benlyas, M., Alem, C. and Filali-Zegzouti, Y. (2016).** Evaluation of Antioxidant, Antihemolytic and Antibacterial Potential of Six

Moroccan Date Fruit (*Phoenix dactylifera* L.) Varieties. Journal of King Saud University—Science, 28, 136-142.

Chaubey, O. P., & Prakash, R. (2014). Bio-reclamation of degraded ecosystem. International Journal of Bio-Science and Bio-Technology, 6(4), 145-154.

Chaudhary, A., Parveen, H., Chaudhary, P., Khatoon, H., & Bhatt, P. (2021). Rhizospheric microbes and their mechanism. In Microbial technology for sustainable environment (pp. 79-93). Singapore: Springer Singapore.

Chaudhary, P., Singh, S., Chaudhary, A., Sharma, A., & Kumar, G. (2022). Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science, 13, 930340. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.930340>

Chen, W., Lin, F., Lin, K.-H., Chen, C., Xia, C., Liao, Q., et al. (2022). Growth promotion and salt-tolerance improvement of *Gerbera jamesonii* by root colonization of *Piriformospora indica*. J. Plant Growth Regul. 41, 1219–1228. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10385-4>

Compant, S., Samad, A., Faist, H., & Sessitsch, A. (2019). A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application. Journal of Advanced Research, 19, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.004>

Das, H., Devi, N. S., Venu, N., Sarkar, A., Tamalam, A. D., & Devi, L. N. (2023). Effect of Boron and Lime on Boron Transformation in a Fluvaquentic Humaquepts Soil Concerning Uptake and Yield of Green Gram. Int. J. Plant Soil Sci, 35(18), 1648-1659. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i183440>.

Datta, J.K., A. Banerjee1, M. Saha Sikdar, S. Gupta and N.K. Mondal. (2009). Impact of combined exposure of chemical, fertilizer, biofertilizer and compost on growth, physiology and productivity of *Brassica campestris* in old alluvial soil. Journal of Environmental Biology.30(5): 797-800.

Djaoud, K., Louaileche, H., & Zadi-Karam, H. (2022a). Antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial properties of date palm fruits: A review. Journal of Food Biochemistry, 46(4), e14012.

-
- Djaoud, K., Muñoz-Almagro, N., Benítez, V., Martín-Cabrejas, M.A., Madani, K., Boulekbache - Makhlof, L., et al. (2022b).** New Valorization Approach of Algerian Dates (*Phoenix dactylifera* L.) by Ultrasound Pectin Extraction: Physicochemical, Techno-Functional, Antioxidant and Antidiabetic Properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 212, 337-347.
- Du, B., Franzisky, B. L., Muhammad, W., Alfarraj, S., Geilfus, C. M., & Rennenberg, H. (2025).** How to cope with stress in the desert—the date palm approach. *Plant, Cell & Environment*, 48(1), 768-780. <https://doi.org.10.1111/pce.15188>
- FAO, Rome. (2023).** Africa Region. Date Palm Cultivation and Date Production in the Near East and North
- FAO. (2024).** The global date palm sector: Production, challenges and opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Ferjani, R., Marasco, R., Rolli, E., Cherif, H., Cherif, A., Gtari, M., & Ouzari, H. I. (2015).** The date palm tree rhizosphere is a niche for plant growth promoting bacteria in the oasis ecosystem. *BioMed research international*, 2015(1), 153851. <https://doi.org.10.1155/2015/153851>
- Hadrami, A. E., & Al-Khayri, J. M. (2013).** Socioeconomic and Traditional Importance of Date Palm. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(4), 371–385.
- Hanif, M. S., Tayyab, M., Baillo, E. H., Islam, M. M., Islam, W., & Li, X. (2024).** Plant microbiome technology for sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1500260. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1500260>
- Heidari, M., & Golpayegani, A. (2012).** Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11(1), 57-61.
-

- Imran, M., Crowley, D. E., Khalid, A., Hussain, S., Mumtaz, M. W., & Arshad, M. (2015).** Microbial biotechnology for decolorization of textile wastewaters. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(1), 73-92.
- Jacob, S. M., & Paranthaman, S. (2023).** Biofertilizers: An advent for eco-friendly and sustainable agriculture development. *Vegetos*, 36(4), 1141-1153. <https://doi.org/10.1007/s42535-022-00550-9>
- Jansson, J. K., & Hofmockel, K. S. (2020).** Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 18(1), 35–46. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>
- Ji, H., Zhang, M., Huang, C., Lin, W., Lu, Y., Wang, P., ... & Guo, L. (2024).** The Impact of *Piriformospora indica* on plant heat and drought tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1479561. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1479561>
- Jiménez-Mejía, R., Medina-Estrada, R. I., Carballar-Hernández, S., Orozco-Mosqueda, M. D. C., Santoyo, G., & Loeza-Lara, P. D. (2022).** Teamwork to survive in hostile soils: use of plant growth-promoting bacteria to ameliorate soil salinity stress in crops. *Microorganisms*, 10(1), 150. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010150>
- Kumar, K., Parida, M., & Katiyar, V. K. (2013).** Short term traffic flow prediction for a non urban highway using artificial neural network. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104, 755-764.
- Kumar, R., Kumawat, N., & Sahu, Y. K. (2017).** Role of biofertilizers in agriculture. *Popular kheti*, 5(4), 63-66.
- Kumar, V., Singh, R., Singh, D., & Singh, P. K. (2022).** Microbial biofertilizers: A sustainable approach for soil fertility management and crop improvement. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 347–362.
- Lee, L. H., Wu, T. Y., Shak, K. P. Y., Lim, S. L., Ng, K. Y., Nguyen, M. N., et al. (2018).** Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: A mini-review. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 93, 925–935. <https://doi.org/10.1002/jctb.5490>

- Leyva-Rojas, J. A., Coy-Barrera, E., Hampp, R. (2020).** Interaction with soil bacteria affects the growth and amino acid content of *Piriformospora indica*. *Molecules* 25, 572. <https://doi.org/10.3390/molecules25030572>
- Li, L., Guo, N., Zhang, Y., Yuan, Z., Lu, A., Li, S., (2022).** Reprogramming of Fundamental miRNA and Gene Expression during the Barley-*Piriformospora indica* Interaction. *J. Fungi* 9, 24. <https://doi.org.10.3390/jof9010024>
- Li, L., Hao, R., Yang, X., Feng, Y., Bi, Z. (2023).** *Piriformospora indica* Increases resistance to *Fusarium pseudograminearum* in wheat by Inducing Phenylpropanoid pathway, *24(10):8797*. <https://doi.org/10.3390/ijms24108797>
- Mao, Z., Harris, J., & Zhang, Z. (2024).** Responses of natural microorganisms to land reclamation and applications of functional microorganisms in bioremediation of coal mining area. *Diversity*, 16(2), 86. <https://doi.org/10.3390/d16020086>
- Mazid, M. and Khan, T. A. (2014).** Future of bio-fertilizers in Indian agriculture : an overview. *Inter.J. of Agri. food Res.*3(3):10 -23.
- Naylor, D., DeGraaf, S., Purdom, E., & Coleman-Derr, D. (2017).** Drought and host selection influence bacterial community dynamics in the grass root microbiome. *The ISME journal*, 11(12), 2691-2704.
- Nosheen, S., Ajmal, I., & Song, Y. (2021).** Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. *Sustainability*, 13(4), 1868. <https://doi.org/10.3390/su13041868>
- Obón, C., Rivera, D., Amorós, A., Díaz, G., Alcaraz, F., & Johnson, D. V. (2023).** Botany and physiology of date palm. *Date palm*, 22-64. <https://doi.org/10.1079/9781800620209.0002>
- Oubrhou, A., Ouhejjou, B., Hajjami, R., Misbah, A., Sellam, K., Bouhlali, E. D. T., ... & Alem, C. (2024).** Evaluation of Date Valorization Units in the Drâa-Tafilalet Region. *Agricultural Sciences*, 15(12), 1525-1539. <https://doi.org.10.4236/as.2024.1512085>
- Paul, A., NS, R., RV, M., Johnson, J. M. (2023).** Beneficial Fungal Root Endophyte *Piriformospora indica* Diminishes Yield Loss Without Compromising Quality of Banana

Fruits Due to Banana bract mosaic virus Infection through Better Soil Nutrient Mobilization. *Int. J. Plant Soil Sci.* 35, 1397–1415.

Qaddoury, A. (2017). Arbuscular Mycorrhizal Fungi provide complementary characteristics that improve Plant Tolerance to Drought and Salinity: date palm as Model. In: Prasad R (ed) *Mycoremediation and environmental sustainability*. Springer International Publishing, Cham, pp 189–215.

Samat, A. T., Soltabayeva, A., Bekturova, A., Zhanassova, K., Auganova, D., Masalimov, Z., & Kurmanbayeva, A. (2025). Plant responses to heat stress and advances in mitigation strategies. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1638213. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1638213>

Schlöter, M., Nannipieri, P., Sørensen, S. J., & van Elsas, J. D. (2018). Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils*, 54(1), 1–10.

Sharma, S., Arora, N. K., & Kumar, S. (2020). Application of microbial biofertilizers for sustainable crop production. *Applied Soil Ecology*, 147, 103414. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1638213>

Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. *International journal of soil, sediment and water*, 3(2), 13. <https://doi.org/10.3390/su11123393>

Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2020). Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nature reviews microbiology*, 18(11), 607–621. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>

Ur Rahman, S., Khalid, M., Hui, N., Rehman, A., Kayani, S.-I., Fu, X., (2023). *Piriformospora indica* alter root-associated microbiome structure to enhance *Artemisia annua* L. tolerance to arsenic. *J. Hazard. Mater.* 457, 131752. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131752>

Vishwakarma, K., Kumar, N., Shandilya, C., Mohapatra, S., Bhayana, S., & Varma, A. (2020). Revisiting plant–microbe interactions and microbial consortia application for

enhancing sustainable agriculture: A review. *Frontiers in Microbiology*, 11, 560406.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.560406>

Xing, Y., Xie, Y., & Wang, X. (2025). Enhancing soil health through balanced fertilization: A pathway to sustainable agriculture and food security. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1536524. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1536524>

Xiong C, Lu Y .(2022). Microbiomes in agroecosystem: diversity, function and assembly mechanisms. *Environ Microbiol Rep* 14:833–849. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.13126Digital>

Yadav, A. (2018). Microbial inoculants for sustainable agriculture. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 7, 800-804.

Yoo, S. W. (2023). Role of heat shock proteins in date palm heat tolerance. *Journal of Plant Molecular Biology*, 78(4), 345–358. <https://doi.org/10.1007/s13258-025-01648-5>

Yoo, S. W., Choi, J. H., Jeong, S. W., Park, Y. I., Byon, Y. J., & Oh, M. H. (2025). Role of heat shock proteins and analysis of gene expression in response to high temperatures in date palm (*Phoenix dactylifera*). *Genes & Genomics*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13258-025-01648-5>

Zahiri, I., et al. (2023). Effect of air temperature on pollination and fruit set in date palm. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1326141. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1326141>

Zhang, X., Zhang, L., Liu, J., Shen, Z., Liu, Z., Gu, H., Hu, X., Yu, Z., Li, Y., Jin, J., & Wang, G. (2025). Biofertilizers enhance soil fertility and crop yields through microbial community modulation. *Agronomy*, 15(7), 1572. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071572>

The Role of Biofertilizers in Mitigating Heat Stress Damage in Date Palm- Review Article

Emad .H .A. Al- Arab * Mohammed A. Al-Darwish Mohammad H. Tuaimah

Date palm Research Center, University of Basrah, Basrah, Iraq.

*Corresponding author: amad.abdalsamad@uobasrah.edu.iq

Abstract

Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is one of the most important strategic crops in arid and semi-arid regions. However, climate change and rising temperatures have become increasing challenges to the sustainability of its production by causing physiological and biochemical disturbances that negatively affect growth and productivity. This review summarizes current knowledge on the effects of heat stress on date palm, with particular emphasis on the role of biofertilizers as a sustainable agricultural approach to enhance plant adaptation to high-temperature conditions. The review discusses the various mechanisms employed by beneficial microorganisms, including plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), and endophytic fungi, in improving water and nutrient uptake, activating antioxidant defense systems, inducing heat shock protein production, and maintaining photosynthetic efficiency and cellular membrane stability. It also highlights the role of biofertilizers in improving the physical and biological properties of soil and enhancing microbial diversity, thereby contributing to the sustainability of agricultural systems. Furthermore, the review addresses key research challenges and future perspectives, including the interactions between introduced microorganisms and native microbial communities, as well as the application of modern molecular techniques to evaluate biofertilizer efficiency and their long-term environmental impacts. Available evidence indicates that integrating biofertilizers into date palm management programs represents a promising strategy for improving heat stress tolerance and enhancing the sustainability of agricultural production under accelerating climate change.

Keywords: Sustainable agriculture, Heat stress, Microorganisms, Abiotic stress, Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF).

التوزيع الجغرافي للإصابة بحشرة الحميرة *Batrachedra amydraula* (Meyrick) على نخيل التمر
في مدينة البصرة والكفاءة الحقلية لبعض المبيدات الكيميائية والتداخل التآزري لجسيمات الفضة النانوية
في مكافحتها

ايهاب عبد الكريم النجم محمد عبد الباسط الدرويش حازم محسن علي ناصر حميد الدوسري*

مركز ابحاث النخيل-جامعة البصرة-البصرة-العراق

*الباحث المراسل: naser.mohammed@uobasrah.edu.iq

الخلاصة

تعد حشرة الحميرة *Batrachedra amydraula* من أخطر الآفات التي تصيب ثمار نخيل التمر، مسببة خسائر كبيرة في الإنتاج وجودة الثمار. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الانتشار الجغرافي والموسمي للإصابة بالحشرة في ثلاث مناطق من محافظة البصرة (أبي الخصيب، شط العرب، القرنة)، ودراسة حساسية خمسة أصناف من نخيل التمر (الحلاوي، السائر، الخضراوي، البريم، البرحي) للإصابة، بالإضافة إلى مقارنة كفاءة خمسة مبيدات كيميائية (أبامكتين، ألفا سايبيرمثرين، أكتاك، ماتريكسين بلص، دلتامثرين) وتأثير تداخلها مع جسيمات الفضة النانوية في مكافحة الحشرة خلال مواعيد رش مختلفين. أظهرت النتائج تفاوتاً معنوياً في نسب التساقط بين مناطق الدراسة، حيث سجلت منطقة شط العرب أعلى نسبة تساقط (67.27%)، كما تبين أن الفترة الثانية بعد التلقيح (24 يوماً) كانت الأكثر إصابة وسجل صنف الحلاوي والسائر أعلى نسب تساقط بلغت 47.73% و 41.15% على التوالي. أظهرت نتائج المكافحة الكيميائية تفوق مبيد ماتريكسين بلص في خفض نسبة التساقط مقارنة ببقية المبيدات. كما أسفر تداخل هذا المبيد مع جسيمات الفضة النانوية، وبخاصة عند التركيز (1 مل مبيد + 0.5 غم جسيمات)، عن زيادة فعاليته بشكل ملحوظ، محققاً نسبة تساقط صفرية في بعض المعاملات. تشير النتائج إلى أن استخدام المبيدات المدمجة مع جسيمات الفضة النانوية يمكن أن يمثل استراتيجية واعدة لتعزيز كفاءة المكافحة وتقليل الأضرار الناجمة عن هذه الآفة، مع التوصية بتحديد موعد المكافحة المبكر لضمان حماية فعالة للثمار.

الكلمات المفتاحية: نخيل التمر ، حشرة الحميرة ، مكافحة كيميائية، جسيمات الفضة النانوية (AgNPs) ، نسبة التساقط، حساسية الأصناف.

المقدمة

Introduction

يعد نخيل التمر *Phoenix dactylifera L.* أحد أشهر أشجار الفاكهة ذات القيمة الاقتصادية والتاريخية العظيمة وخاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، حيث يشكل ركيزة أساسية للحياة الزراعية والغذائية (Al-Alawi *et al.*; Jonoobi *et al.*, 2019) وتعتبر ثمار نخيل التمر الجزء الاقتصادي المهم بسبب احتوائها على مواد ذات قيمة غذائية كبيرة مثل الكربوهيدرات والألياف والبروتينات والمعادن ومركب فيتامين B ، مثل الثيامين (B1) والريبوفلافين (B2) والنياسين (B3) والبانثوثينيك (B5) والبيريدوكسين (B6) (Al-Alawi *et al.*, 2022) لذلك تساهم ثمار نخيل التمر ومنتجاتها كاحد عناصر الامن الغذائي العالمي (FAOSTAT, 2018). بالتالي اي ضرر يحدث لهذه الثمار يقلل من اهميتها الاقتصادية والغذائية. يتعرض إنتاج نخيل التمر لتهديد مستمر نتيجة إصابته بالعديد من الحشرات والأمراض، وتعد حشرة الحميرة *Batrachedra amydraula*، والمعروفة أيضا بدودة البلح الصغرى أو عثة النخيل التمر الصغرى *The lesser date moth*، واحدة من أخطر الآفات الحشرية التي تصيب ثمار نخيل التمر في جميع مناطق زراعته حول العالم، تؤدي الإصابة بهذه الآفة إلى خسائر فادحة في الانتاج وتدهور جودة ثمار نخيل التمر ، مما يؤثر بشكل مباشر على سبل عيش المزارعين والاستقرار الاقتصادي للمناطق المنتجة للتمور (عزيز، 2005). ذلك حظيت هذه الحشرة باهتمام كبير نظرا لانتشارها الواسع وتأثيرها الضار على إنتاج النخيل وما تفرضه من تحديات على طرق إدارتها ومكافحتها نظرا لصعوبة السيطرة عليها (El-Shafie *et al.*, 2018). تنتمي حشرة الحميرة الى رتبة حرشفية الاجنحة (Lepidoptera) والى عائلة (Batrachedridae) موطنها الاصلي شمال إفريقيا والشرق الأوسط تنتشر هذه الحشرة في جميع مناطق زراعة نخيل التمر اذا تتواجد في العراق وايران ودول الخليج العربي اضافة الى باكستان ومصر و يعزى الانتشار السريع لحشرة الحميرة إلى عوامل مثل التجارة الدولية والنقل وقدرة الحشرة على التكيف مع الظروف المناخية المختلفة وقدرتها على تحمل المبيدات وظهور صفات المقاومة لديها اتجاه فعل المبيدات الكيميائية لذلك لا بد من ايجاد طرق فعالة للحد من تأثير واضرار هذه الآفة على نخيل التمر (Shayesteh *et al.*, 2010; Javadzadeh & Hosseini-Gharalari, 2017). اشارت العديد من الدراسات ان لحشرة الحميرة ثلاثة اجيال سنويا في البصرة يظهر الجيل الاول في نهاية شهر آذار والجيل الثاني في بداية شهر ايار والجيل الثالث يمتد من بداية شهر حزيران حتى شهر آذار من السنة القادمة، يختلف موعد ظهور بالغات حشرة الحميرة على النخيل من سنة الى أخرى تبعا للظروف البيئية في منطقة تواجدها (المسافر، 2021) تبدأ دورة حياتها بوضع الانثى البيوض على ثمار نخيل التمر الصغيرة.

وبعد فقسها ، تتجه اليرقات الى ثمار نخيل التمر في مرحلتي والحبابوك والجمري لتتغذى عليها تمر بعدها اليرقة مراحل للنمو المختلفة ونتيجة لتغذيتها على الثمار مما يتسبب في أضرار جسيمة للأنسجة الداخلية تؤدي هذه الإصابة إلى تساقط الثمار وصغر حجمها وخفض جودتها الغذائية. بالإضافة إلى ذلك، توفر الثقوب التي أنشأتها اليرقات في الثمار نقاط دخول لمسببات الأمراض الثانوية مما يزيد من تفاقم الضرر وتؤدي إصابة ثمار نخيل التمر بهذه الآفة الى فقد حوالي 90% من الثمار وتكون الثمار المتساقطة ذات لون بني محمر لذلك سميت هذه الآفة بحشرة الحميرة (الدوسري، 2010، Shayesteh *et al.*, 2010). وأشارت دراسات سابقة الى وجود اختلافات متفاوتة في حساسية ثمار أصناف نخيل التمر للإصابة بحشرة الحميرة وقد تعزى هذه الفروقات إلى تباين محتوى الثمار من المركبات الكيميائية التي تؤدي دورا محوريا في هذا التباين فبعض هذه المركبات قد تكون جاذبة للحشرة أو تشكل مصدرا غذائيا لها في حين أن مركبات أخرى مثل المواد الفينولية والتانينية قد تتميز بخصائص طاردة أو قاتلة للحشرة، كما يؤثر موعد نضج الثمار في قابلية الإصابة بهذه الحشرة إذ إن الأصناف المبكرة النضج كالساير والحلاوي أكثر عرضة للإصابة مقارنة بالأصناف متوسطة أو المتأخرة النضج كالبرحي والبريم (اليوسف مزعل، 2008؛ Metwally & Basheer, 2019؛ المسافر، 2021).

تعد السيطرة على حشرة الحميرة تحديا كبيرا إذ أن اليرقات محمية بصورة جيدة داخل الثمار ويصعب اكتشافها والوصول وهي تتواجد في أماكن يصعب على المبيدات الكيميائية وعوامل مكافحة الأخرى الوصول إليها وخاصة في مرحلة التشتية ، كما ان التلوث البيئي وتطور صفة المقاومة للمبيدات الحشرية والمخاوف بشأن صحة الإنسان والحيوان لدى أظهرت طرائق مكافحة التقليدية بما في ذلك المبيدات الكيميائية نجاحا محدودا وبالتالي هناك حاجة متزايدة لوضع وتنفيذ استراتيجيات جديد لمكافحة هذه الآفة (Javadzadeh, & Hosseini-Gharalari, 2017)، تعد جسيمات الفضة النانوية (AgNPs) بديلا واعدة في مكافحة الحشرات، فهي تحدث أضرار جسيمة بالحشرات عند ملامستها وتقلل الحاجة للمبيدات التقليدية مما يجعلها حل مبتكر يساهم في حماية المحاصيل الزراعية من الإصابة بالحشرات المختلفة (Pathipati, & Kanuparthi, 2021) وقد أكدت العديد من الدراسات والأبحاث الى فعالية تداخل المركبات النانوية مع المبيدات الكيميائية وعوامل المكافحة الأخرى في زيادة كفاءة هذه العوامل وتقليل نسب التلوث والمخاطر المصاحبة لاستخدام المبيدات الكيميائية (Shahid *et al.*, 2021)؛ (Javadzadeh *et al.*, 2017). أشارت العديد من الدراسات السابقة ان حشرة الحميرة تشكل تهديدا خطيرا لإنتاج نخيل التمر في أماكن زراعتها مما يؤثر على الازدهار الاقتصادي والأهمية الزراعية المرتبطة بنخيل التمروان تطبيق استراتيجيات جديدة

للتنبؤ حول موعد الظهور الحشرة وبالتالي مكافحتها بوقت محدد يعد أمر بالغ الأهمية لتقليل من انتشار وتقليل الضرر الناجم عن هذه الآفة لذلك هدفت الدراسة الحالية الى إجراء مسح لتحديد الاصابة بحشرة الحميرة لغرض تحديد بوعدها ظهورها في مناطق مختلفة من محافظة البصرة ومقارنة كفاءة بعض المبيدات الكيميائية وتداخلها مع مركب الفضة النانوية في مكافحتها.

Materials and Methods

المواد وطرائق العمل

دراسة الانتشار الجغرافي لحشرة الحميرة

لغرض معرفة انتشار حشرة الحميرة ومعرفة فترة ذروة الإصابة على نخيل التمر صنف الحلاوي (باعتباره الأكثر زراعة وانتشاراً في مناطق الدراسة أبو الخصيب، شط العرب (الجباسي الكبير)، والقرنة، تم اختيار ثلاثة بساتين مزروعة بهذا الصنف عشوائياً من كل منطقة على أن تكون البساتين متجانسة قدر الإمكان من حيث عمر الأشجار (7-8 سنوات) والعمليات الخدمة، وقد تُرُكت الأشجار دون مكافحة لتقدير نسبة التساقط الحقيقية الناتجة عن الحشرة إذ لقت أشجار النخيل في بداية شهر آذار بصنف ذكري الغنمي الأخضر وطبقت عليها العمليات الخدمة المختلفة، ولتقدير نسبة التساقط بسبب حشرة الحميرة، اتبعت طريقة الدوسري وجماعته (2013)، إذ اختيرت عشوائياً عشرة أشجار نخيل من صنف الحلاوي من كل بستان (ثلاثة بساتين لكل منطقة)، ووضع كيس من البولي إيثيلين أسفل كل عذق في بداية شهر ايار وجمعت الثمار المتساقطة على الكيس بعد أربع فترات زمنية من التلقيح: 15 و 24 و 30 و 45 يوماً، ثم اختيرت عشوائياً عشرة شماريخ من كل نخلة، وشُخصت الثمار المتساقطة بسبب الحشرة من الطبيعية من خلال رؤية ثقب قرب قواعد الثمار او وجود اليرقات داخلها، وحسبت نسبة التساقط الفعلية لكل فترة بطرح نسبة التساقط التراكمية للمرحلة السابقة من نسبة التساقط التراكمية للمرحلة الحالية، ثم حسبت نسبة التساقط الكلية ونسبة التساقط بسبب حشرة الحميرة وفقاً للمعادلات التالية:

$$\text{نسبة التساقط الكلية (\%)} = \frac{\text{عدد الثمار المتساقطة}}{\text{عدد الثمار الكلي}} \times 100$$

$$\text{نسبة التساقط بسبب حشرة الحميرة (\%)} = \frac{\text{عدد الثمار المتساقطة بسبب حشرة الحميرة}}{\text{العدد الكلي للثمار المتساقطة}} \times 100$$

نسبة التساقط الفعلية لفترات = نسبة التساقط التراكمية (او الكلية) - نسبة التساقط الفعلية للفترة السابقة

(الدوسري، 2010، الدوسري وآخرون، 2013).

حساسية اصناف النخيل للاصابة بحشرة الحميرة

لغرض دراسة حساسية اصناف نخيل التمر للاصابة بحشرة الحميرة اختير خمسة اصناف الاكثر زراعة وانتشار في محافظة البصرة وهي الحلاوي والساير والخضراوي والبريم والبرحي متماثلة في العمر (7-8 سنوات) وعمليات الخدمة مزروعة في احد بساتين ابي الخصيب في قرية حمدان وتركت بدون مكافحة اذا اختير عشرة اشجار بصورة عشوائية من كل صنف من اصناف النخيل وتبعت نفس الخطوات الواردة في الفقرة السابقة وحسبت نسبة الاصابة ونسبة التساقط بسبب حشرة الحميرة بعد 45 يوم من التلقيح وحسب المعادلات الواردة في الفقرة السابقة (الدراسة الانتشار).

المكافحة الكيميائية

اختبار كفاءة بعض المبيدات الكيميائية في مكافحة حشرة الحميرة

اجريت هذه الدراسة لمقارنة كفاءة بعض المبيدات الكيميائية في مكافحة حشرة الحميرة اعتمادا على نسبة تساقط الثمار بسبب حشرة الحميرة أذ اختير خمسة مبيدات كيميائية (جدول 1) نفذت هذه التجربة في احد بساتين ابي الخصيب المزروعة بصنف الحلاوي المتماثلة بقدر الامكان في الصفات وعمليات الخدمة والعمر (7-8 سنوات)، اجريت عمليات الخدمة كما في الفقرة السابقة (فقرة دراسة الانتشار) اذ اختير عشرة اشجار نخيل لكل مبيد اضافة الى معاملة المقارنة التي رشت بالماء، قسمت اشجار النخيل الى مجموعتين رشت المجموعة الاولى بعد اسبوعين من التلقيح (بداية شهر آذار) بينما رشت المجموعة الثانية بعد خمس اسابيع من العملية التلقيح والنسب الموصى بها لكل مبيد (جدول 1) وحسبت نسبة التساقط في نهاية شهر آيار وحسب وما ورد سابقا في فقرة دراسة الانتشار للحشرة. واختير افضل المبيدات في مكافحة الحشرة الحميرة وخلط مع مركب الفضة النانوية لمعرفة فعاليتها على حشرة الحميرة في الدراسة التالية.

جدول 1 المبيدات الكيميائية المستخدمة في الدراسة لمكافحة حشرة الحميرة

المبيد	المادة الفعالة	نسبة المادة الفعالة	المستحضرة التجاري	الشركة المصنعة	نسبة الاستخدام مل/لتر
ابامكتين	Abamectin	1.8%	مركز قابل للاستحلاب CE	VAPCO	1
الفا سايبيرمثرين	Alpha Cypermethrin	10%	مركز قابل للاستحلاب CE	VAPCO	1
الاكتك	Actellic	50%	مركز قابل للاستحلاب	Syngenta	1

CE					
1	Russel IPM	مركز قابل للاستحلاب CE	5%+2.5%	Abamectin+ Oxymatrine	ماتريكسين بلص
1	CIC	مركز قابل للاستحلاب CE	%10	Deltamethrin	دلتا مثرين

دراسة كفاءة المبيدات الكيميائية وتداخلها مع مركب الفضة النانوية في مكافحة حشرة الحميرة.

لغرض معرفة فعالية الخلط مركب الفضة النانوية (AgNPs) (Silver Nanoparticles) مع افضل مبيد من الدراسة السابقة (تجربة مقارنة فعالية المبيدات) في مكافحة حشرة الحميرة طبقت المعاملات الواردة في الجدول (2) على اشجار نخيل التمر صنف الحلوي المزروعة في احد بساتين ابي الخصيب اذ اختيرت عشرة اشجار لكل معاملة من معاملات التجربة قسمت اشجار النخيل الى مجموعتين رشت المجموعة الاولى بعد اسبوعين من التلقيح بينما رشت المجموعة الثانية بعد خمس اسابيع من العملية التلقيح وحسبت نسبة التساقط بسبب حشرة الحميرة وفقا ما اتبعت في الفقرة السابقة الخاصة بدراسة كفاءة المبيدات.

علما ان مركب الفضة النانوية تم تجهيزه من شركة Sky spring Nanomaterials الامريكية.

جدول 2 المعاملات المستخدمة ونسب خلط مركب الفضة النانوية AgNPs مع المبيد لمكافحة حشرة الحميرة

المعاملة	نسب الخلط مل/غم (حجم/وزن) لكل لتر ماء
المبيد ماتريكسين بلص + AgNPs	
الاولى	1 مل + 0.5 غم
الثانية	1 مل + 0.4 غم
الثالثة	1 مل + 0.3 غم
الرابعة	1 مل + 0.2 غم
الخامسة	1 مل + 0.1 غم
السادسة	1 مل + 0.00 غم
السابعة (المقارنة)	رشت بالماء فقط

التحليل الاحصائي

جمعت بيانات الدراسة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة C.R.B.D وحللت احصائيا باستخدام جدول تحليل التباين ANOVA Table وقرنت المتوسطات حسب اختبار اقل فرق معنوي LSD تحت مستوى احتمالية 0.05. واستخدم البرنامج الاحصائي SPSS في تحليل البيانات إحصائيا.

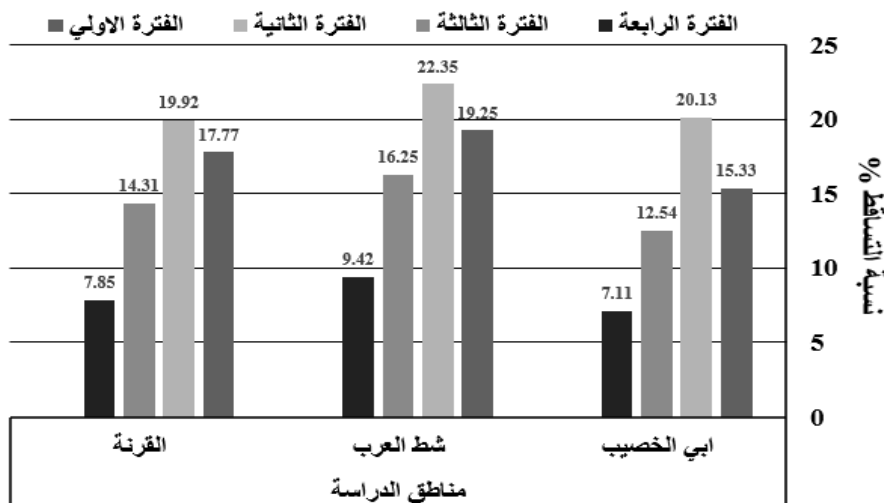
Results

النتائج

دراسة الانتشار الجغرافي لحشرة الحميرة

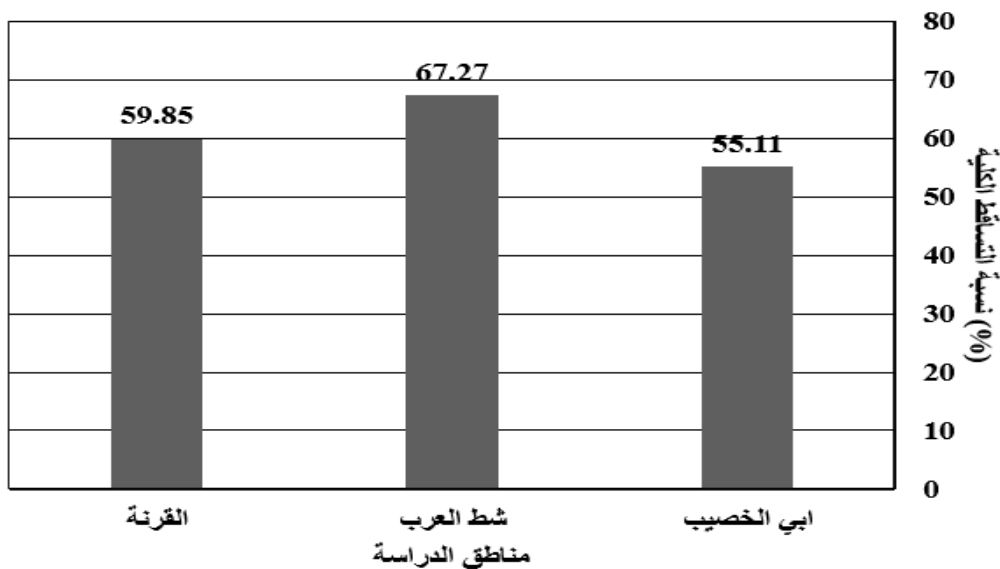
اظهرت نتائج الشكل (1) وجود فروق معنوية للتداخل بين مناطق الدراسة وفترة اخذ العينات اذ سجلت اعلى نسبة تساقط لثمار بسبب حشرة الحميرة على نخيل التمر صنف الحلاوي في بساتين منطقة شط العرب (الجباسي الكبير) للفترة الثانية وبلغ 22.35 % وبفارق معنوي عن بقية مناطق وفترات الدراسة تلتها بساتين قضاء القرنة وللفترة الثانية من الدراسة وكانت نسبة التساقط 19.92 % بينما سجلت بساتين قضاء ابي الخصيب للفترة الاولى اقل نسبة تساقط وبلغت 7.11 % تلتها بساتين قضاء القرنة وللفترة الاولى وسجلت 7.85 %. واكدت نتائج الشكل (2) وجود فروق معنوية في نسب تساقط ثمار نخيل التمر لمناطق الدراسة اذ سجلت بساتين شط العرب اعلى نسبة تساقط لثمار نخيل التمر صنف الحلاوي بسبب حشرة الحميرة وبلغت 67.27 % وبفارق معنوي عن منطقتي ابي الخصيب والقرنة بينما سجلت بساتين ابي الخصيب اقل نسبة تساقط للثمار وبلغت 55.11 % تلتها بساتين القرنة وسجلت 59.85 %. كما بينت نتائج الدراسة (شكل 3) ان الفترة الثانية سجلت اعلى نسبة تساقط ولجميع مناطق الدراسة وبلغت 20.80 % وبفارق معنوي عن جميع فترات اخذ قراءات الدراسة الاخرى تلتها الفترة الاولى وبلغت 17.45 % بينما سجلت الفترة الاخيرة من اخذ القراءات للدراسة الحالية اقل نسبة تساقط لثمار نخيل التمر وبلغت 8.13 %.

اما ما يخص تباين الاصابة بعض اصناف نخيل التمر للإصابة بحشرة الحميرة فبينت نتائج الدراسة الموصوفة في الشكل (4) ان جميع الاصناف التي شملتها الدراسة كانت معرضة للإصابة ونسبة 100 % ولكن بنسب مختلفة لتساقط الثمار بسبب حشرة الحميرة اذ سجلا صنف الحلاوي والساير اعلى نسبة تساقط للثمار بلغتا 47.73 % و 41.15 % على التوالي وبفارق معنوي عن بقية اصناف نخيل التمر المدروسة بينما سجل صنف البريم اقل نسبة تساقط للثمار بسبب حشرة الحميرة اذ سجل 28.33 % تلاه صنف البرحي وكان 29.44 %.



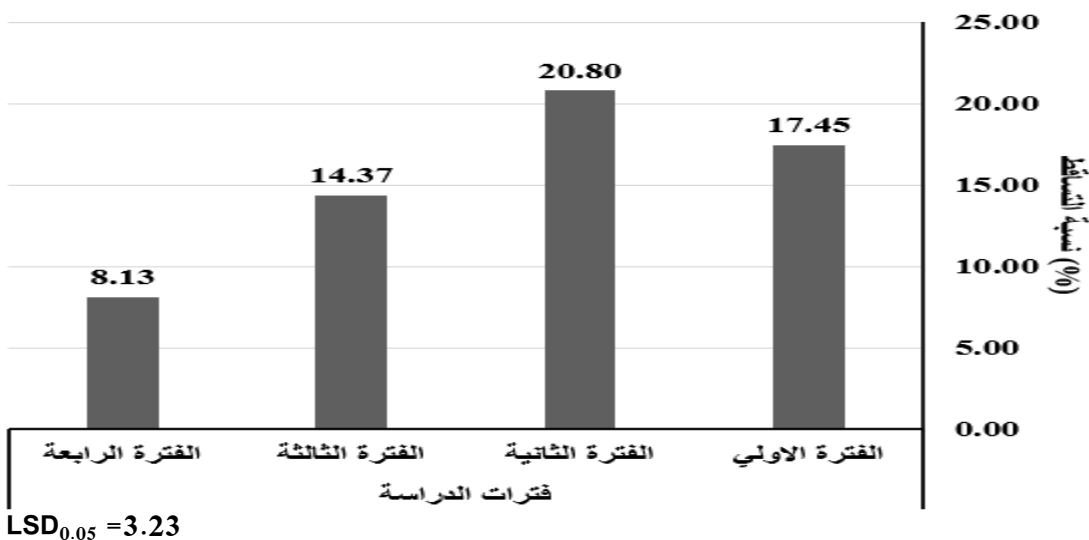
LSD_{0.05} = 2.11

شكل (1) نسبة تساقط ثمار نخيل التمر صنف الحلوي بسبب حشرة الحميرة في بعض مناطق وفترات الدراسة لمحافظة البصرة

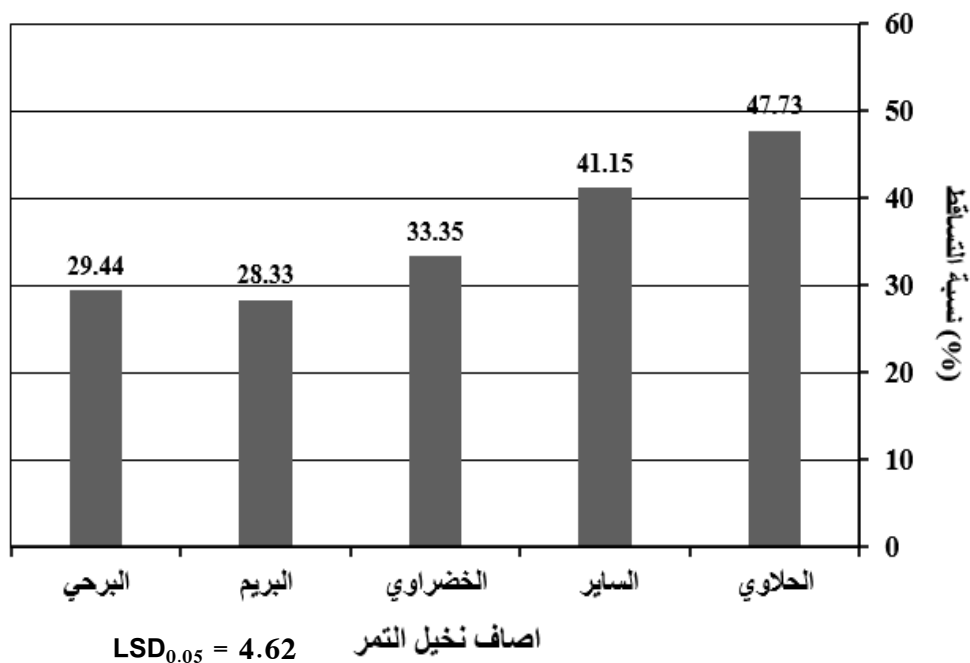


LSD_{0.05} = 3.22

شكل (2) نسبة تساقط ثمار نخيل التمر صنف الحلوي بسبب حشرة الحميرة في بعض مناطق محافظة البصرة



شكل (3) نسبة تساقط ثمار نخيل التمر صنف الحلاوي بسبب حشرة الحميرة لفترات الدراسة في محافظة البصرة

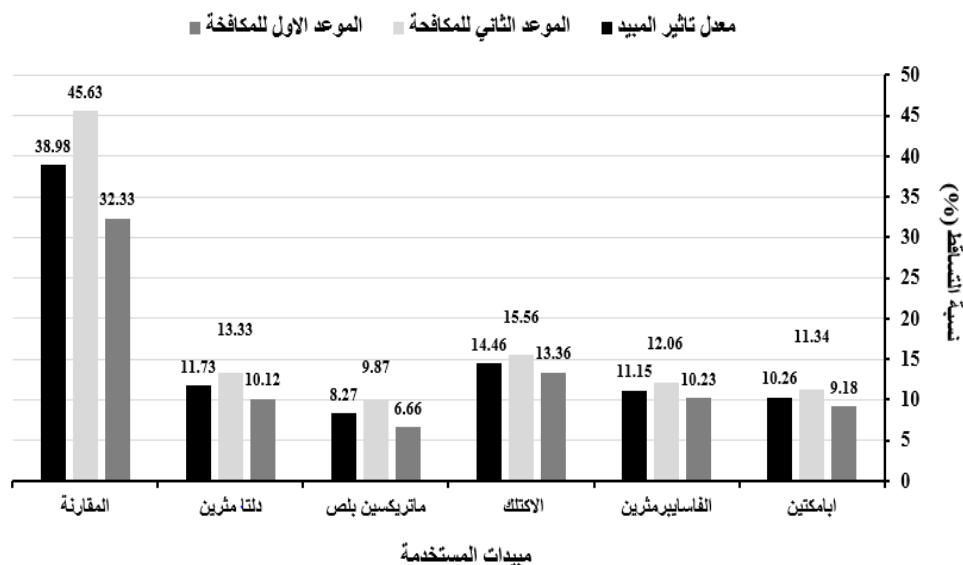


شكل (4) نسبة تساقط ثمار بسبب حشرة الحميرة على بعض اصناف نخيل التمر

المكافحة الكيميائية لحشرة حميرة نخيل التمر

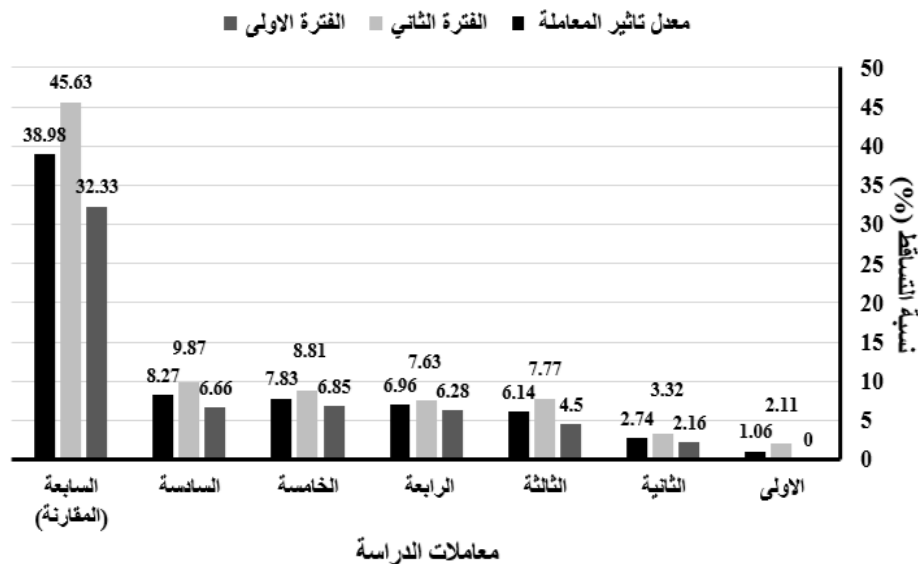
اظهرت نتائج دراسة مقارنة كفاءة بعض المبيدات في مكافحة حشرة الحميرة خلال مواعدي المكافحة (شكل 5) الى وجود تفاوت في كفاءة المبيدات المستخدمة في الدراسة اذ سجل مبيد ماتركسين بلص ومبيد الاباتكتين في المواعيد الاولى للمكافحة اقل نسبة تساقط للثمار وبلغتا 6.66% و 9.18% ومبيد ماتركسين بلص لموعد المكافحة الثاني اذ سجل 9.87% ويفارق معنوي عن جميع مبيدات ومواعيد المكافحة الاخرى المستخدمة في الدراسة الحالية بينما سجل مبيد اكتك اقل كفاءة في حماية ثمار نخيل التمر بالاصابة بحشرة الحميرة اذ سجل اعلى نسبة تساقط للثمار مقارنة بالمبيدات الاخرى المستخدمة في الدراسة وبلغ 16.36% و 15.56% للموعد الاول والثاني للمكافحة على التوالي، اما معاملة المقارنة في موعد المكافحة الثاني فسجلت اعلى نسبة تساقط وبلغت 45.63%، واظهرت النتائج ان معدل تأثير مبيد ماتركسين بلص حقق اقل نسبة تساقط للثمار نخيل التمر وبلغ 8.27% ويفارق معنوي عن بقية المبيدات بينما سجلت مبيد اكتك اعلى نسبة تساقط للثمار وكانت 14.46% مقارنة بالمبيدات الاخرى، بينما سجلت معاملة المقارنة اعلى نسبة تساقط للثمار وخلال فترتي الدراسة وكانت 38.98%.

بينت نتائج الشكل (6) ان اضافة الفضة النانوية الى مبيد ماتركسين بلص وبنسب مختلفة زاد من فعالية المبيد وكفاءته اذ سجلت المعاملة الاولى (1مل+0.5غم) وخلال مواعدي الرش اقل نسبة تساقط لثمار نخيل التمر اذ حققنا 0.00% و 2.11% وتلها المعاملة الثانية (1مل+0.4غم) وللموعد المكافحة الاول وبلغ 2.16% ويفارق معنوي عن جميع معاملات الدراسة ولموعد المكافحة بينما سجلت معاملة المقارنة ولموعد المكافحة الثاني اعلى نسبة تساقط للثمار وبلغ 45.63%، ونلاحظ من الشكل ان لمعاملتين الاولى والثاني التأثير الكبير في خفض نسبة التساقط للثمار اذ سجلنا اقل معدل نسبة تساقط وكانت 1.06% و 2.74% للمعاملة الاولى والثانية على التوالي ويفارق معنوي عن جميع المعاملات بينما سجلت معاملة المقارنة اعلى معدل نسبة تساقط وبلغ 38.98%.



LSD_{0.05} = للتداخل (مبيدات فترات) 1.13، للمبيدات 2.04

شكل (5) كفاءة بعض المبيدات الكيميائية في مكافحة حشرة الحميرة خلال مواعيد الرش



LSD_{0.05} = للتداخل (معاملات + فترات) 1.13، للمبيدات 2.04

شكل (6) كفاءة مبيد ماتريكسين بلص وتداخله مع مركب الفضة النانوية AgNPs في مكافحة حشرة الحميرة خلال مواعيد الرش

Discussion

المناقشة

دلت النتائج بصورة عامة ان جميع مناطق الدراسة معرضة للإصابة بصورة متفاوتة وان الفترة الثانية من فترات الدراسة (24 يوم بعد التلقيح) سجلت اعلى نسبة تساقط للثمار كما اشارت الدراسة ان صنف الحلاوي كان اكثر الاصناف عرضة للإصابة بحشرة الحميرة اذ سجل اعلى نسبة تساقط للثمار، وهذه النتائج تتفق مع العديد من الدراسات السابقة التي اشارت ان جميع مناطق زراعة النخيل في العراق ومنها مناطق الدراسة في محافظة البصرة معرضة للإصابة بهذه الافة (المسافر، 2021؛ Aldosari *et al.*, 2016) وقد يعزى التفاوت في شدة الإصابة (نسبة التساقط للثمار) بحشرة الحميرة الى اختلاف الظروف البيئية المحيطة لمناطق الدراسة اذ ان ارتفاع نسبة الإصابة في بساتين شط العرب قد يرجع الى كون نسب الرطوبة في هذه البساتين تكون مرتفعة وتقارب المسافة بين شجار النخيل اضافة الى اهمال هذه البساتين من قبل المزارعين جميع هذه العوامل ادت الى زيادة الإصابة والانتشار لهذه الافة لبساتين هذه المنطقة مقارنة بالمناطق الاخرى، وبينت دراسة المسافر (2021) و Shayesteh *et al.* (2010) ان الرطوبة ودرجة الحرارة والظروف البيئية الاخرى المحيطة والعمليات الخدمية لبساتين وأشجار نخيل التمر لها الدور المهم والتاثير الكبير لتفشي الضرر وانتشار الإصابة بحشرة الحميرة وهذه الظروف تتباين باختلاف المناطق زراعة النخيل (Haldhar *et al.*, 2017)، بينما قد يعزى سبب تسجيل اعلى نسبة تساقط للثمار في الفترة الثانية كون هذه الفترة تكون الظروف البيئية فيها مؤاتية لنشاط الافة وفسس البيض وخروج اليرقات التي تسبب التساقط، كما ان يرقات حشرة الحميرة تفضل طوري الحبابوك والجمري في الإصابة مقارنة بطور الخلال للثمار في حدوث الإصابة بالتالي تزداد الإصابة بهذه الاطوار من ثمار النخيل مقارنة بطور الخلال (عزيز، 2005؛ المسافر، 2021 ؛ والدوسري وآخرون، 2016، Haldhar *et al.*, 2017). ان تباين في حساسية ثمار اصناف نخيل التمر في اصابتها بحشرة الحميرة قد يعود الى اختلاف محتوى هذه الثمار من المواد الكيميائية التي تلعب دورا كبيرا وحيويا في حدوث هذه التباين لان المواد الكيميائية قد تكون جاذبة لهذه الحشرة او مصدر غذائي لها ومود اخرى قد تكون طاردة وقاتلة للحشرة مثل المواد الفينولية والتانينية، لذلك وجد ان صنف السائر الحلاوي من الاصناف اكثر تضررا وحساسية للإصابة بحشرة الحميرة (اليوسف ومحمد، 2008؛ Metwally & Basheer, 2019)، كما يؤثر موعد نضج الثمار في قابلية الإصابة بهذه الحشرة إذ إن الأصناف المبكرة النضج كالساير والحلاوي أكثر عرضة للإصابة مقارنة بالأصناف متوسطة أو المتأخرة النضج كالبرحي والبريم (المسافر، 2021).

وفيما يخص مكافحة الكيمائية ودور المبيدات المستخدمة وخليطها مع الفضة النانوية أذ اتفقت نتائج الدراسة الحالية مع العديد من الدراسات التي اجريت على نخيل التمر التي شاركت الى دور المبيدات الكيمائية في مكافحة الافات نخيل التمر ومنها حشرة الحميرة أذ توفير هذه المبيدات الحماية المطلوبة لثمار نخيل التمر من الاصابة او تقليل الاصابة بهذه الحشرة (الدوسري، 2010؛ Latifian, 2017; El-Shafie *et al.*, 2018) وترجع فعالية المبيدات الكيمائية من خلال تأثيرها على الحشرات البالغة او البيوض قبل الفقس او اليرقات بعد الفقس نتيجة لتعرضها للمبيدات بصورة مباشرة او ملامستها للمبيد على اسطح اشجار النخيل وخاص الثمار بعد عملية مكافحة (الدوسري، 2010؛ Javadzadeh & Hosseini-Gharalari, 2017)، وتعزى فعالية مبيد ماتركسين بلص في الدراسة الحالية الى كون هذه المبيد هو عبارة عن خليط من مادتين فعاليتين (Abamectin+ Oxymatrine) (جدول 1) وان خلط المبيدات يساعد على زيادة فعاليتها من خلال تقليل ظهور صفة المقاومة للمبيد وذلك لكون كل مادة فعالة لها تأثير يختلف عن المادة الاخرى وهذه بدور يحقق زيادة في فعالية المبيد بالتالي توفير حماية فعالة للاسطح المعاملة وهذا يؤدي الى تقليل الاضرار الناتجة من الاصابة بالآفات الزراعية المختلفة (Kalyabina *et al.*, 2021) وان اضافة وخط مركب الفضة النانوية الى المبيدات الكيمائية زاد من فعالية المبيد بشكل ملحوظ وفعال من خلال التأثير على تغلغل المبيد واختراقه الى داخل جسم الافة المستهدفة اما من خلال احداث تشققات نانوية في جدار جسم الحشرة او زيادة نفاذية المبيد الى اخل جسم الحشرة من خلال التصاق المبيد على مركب الفضة النانوية ونقلها الجسم الافة المستهدفة ووصولها الى الاعضاء التي يؤثر عليها المبيد (Gul *et al.*, 2014) كمان ان المركبات النانوية تعمل كمركبات سيطرة على كمية المبيدات المطلقة (Control release) وبذلك سوف تطلق المبيدات بصورة منخفضة ولفترات طويلة وهذا سوف يعمل على زيادة فعالية المبيدات المستخدمة الى اطول فترة ممكنة دون التأثير على البيئة لكون الكميات المنبثقة من المبيد هي كمية صغيرة ولكن ذات تأثير وفعالية عالية (Ahmed *et al.*, 2019؛ El-Ashmouny *et al.*, 2022)

Conclusions

الاستنتاجات

بينت النتائج الدراسة الحالية ان جميع اشجار النخيل المزروعة في مناطق الدراسة مصابة بحشرة الحميرة وان اشجار نخيل بساتين شط العرب (الجاسي الكبير) اكثر اصابة بهذه الحشرة وان طور الجمري اكثر تضررا بالاصابة من طور الحبابوك كما

دلت نتائج الدراسة ان جميع اصناف النخيل كانت مصابة بهذه الافة ولكن صنفى الحلاوي والساير سجلا اعلى نسبة تساقط للثمار بسبب حشرة الحميرة، وظهرت النتائج دور المبيدات الكيميائية في مكافحة حشرة الحميرة وان اضافة مركب الفضة النانوية زاد من فعالية المبيدات بشكل فعال وملحوظ. وعلى ضوء هذه النتائج فان الدراسة الحالية توصي باجراء المكافحة باستخدام المبيدات الكيميائية وخليطها مع الفضة النانوية في مكافحة اشجار النخيل في البساتين الاكثر اصابة وخاصة بساتين منطقة شط العرب وتحديد موعد المكافحة المبكر لأهميته في حماية ثمار نخيل التمر من الاصابة بهذه الحشرة وتقليص الاضرار.

References

المصادر

- الدوسري، ناصر حميد وايهاب عبد الكريم النجم وحسين علي مهدي (2013).
 كفاءة مبيدي باهيا وفندكم في مكافحة حشرة الحميرة *Batrachedra amydraula* وحلم غبار النخيل
Oligonychus afrasiaticus خلال اوقات مختلفة وعلى اجزاء متعددة. مجلة البصرة للعلوم الزراعية، 26(2):
 153-137.
- الدوسري، ناصر حميد محمد وعلاء ناصر احمد وايهاب عبد الكريم النجم (2016). دراسة اسباب تساقط ثمار نخيل التمر
 الحشرية والفطرية. مجلة جامعة الكوفة للحياء، 8(1): 422-413.
- الدوسري، ناصر حميد (2010). تقييم كفاءة بعض المبيدات الكيميائية والمصائد اللاصقة الملونة في حماية ثمار نخيل التمر
 من الإصابة بحلم الغبار (*Oligonychus afrasiaticus* (McGregor) وحشرة الحميرة *Batrachedra amydraula* (Merck). مجلة البصرة للعلوم الزراعية 23(1): 21-1.
- عزيز ، فوزية محمد. (2005). دراسات حياتية وبيئية على حشرة حميرة النخيل *Batrachedra* sp.
Lepidoptera:Cosmopterygidae والتنبؤ بموعد ظهورها واصابتها للنخيل في أول الربيع . أطروحة دكتوراه .
 كلية العلوم . جامعة بغداد 99 . صفحة

المسافر، محسن عبدالكريم (2021). دراسة تشخيصية وبيئية ومكافحة متكاملة لحشرة حميرة النخيل *Batrachedra amydraula* Meyrick (Batrachedridae : Lepidoptera) في المنطقة الجنوبية والوسطى من

العراق. أطروحة دكتوراه . كلية الزراعة . جامعة البصرة . 154 صفحة.

اليوسف ، عقيل عدنان ومزعل، محمد مهدي (2008). دراسة الأصابة بحشرة حميرة النخيل *Batrachedra amydraula* والخسارة الاقتصادية الناتجة عنها في صنف السابر والحلاوي . مجلة البصرة لأبحاث

نخلة التمر، 11 – 1 (2 :) 7

Ahmed, H., Hashim, A., & Abduljalil, H. (2019). Analysis of structural, electrical and electronic properties of (polymer nanocomposites/silicon carbide) for antibacterial application. Egyptian Journal of Chemistry, 62(4), 767-776.

Al-Alawi, R. A., Al-Mashiqri, J. H., Al-Nadabi, J. S., Al-Shihi, B. I., & Baqi, Y. (2017). Date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.): natural products and therapeutic options. Frontiers in plant science, 8, 845.

El-Ashmouny, R. S., Rady, M. H., Merdan, B. A., El-Sheikh, T. A. A., Hassan, R. E., & El Gohary, E. G. E. (2022). Larvicidal and pathological effects of green synthesized silver nanoparticles from *Artemisia herba-alba* against *Spodoptera littoralis* through feeding and contact application. Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences, 9(1), 239-253.

El-Shafie, H. A. F., Abdel-Banat, B. M. A., & Al-Hajhoj, M. R. (2018). Arthropod pests of date palm and their management. CABI Reviews, (2017), 1-18.

FAO STAT (2018). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Gul, H. T., Saeed, S., Khan, F. Z. A., & Manzoor, S. A. (2014). Potential of nanotechnology in agriculture and crop protection: A. Appl Sci Bus Econ, 1(2), 23-28.

Haldhar, S. M., Maheshwari, S. K., & Muralidharan, C. M. (2017). Pest status of date palm (*Phoenix dactylifera*) in arid regions of India. Journal of Agriculture and Ecology, 3, 1-11.

Metwally, H. A. A., & Basheer, A. M. (2019). Sensitivity of Some Date Palm Cultivars to Infestation with Lesser Date Moth *Batrachedra amydraula*. World Journal Agricultural Sciences, 15(5), 310-316.

-
- Javadzadeh, M., & Hosseini-Gharalari, A. (2017).** Chemical Control of the Lesser Date Moth, *Batrachedra amydraula* (Lepidoptera: Batrachedridae). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 52(2), 215-218.
- Jonoobi, M., Shafie, M., Shirmohammadli, Y., Ashori, A., Hosseinabadi, H. Z., & Mekonnen, T. (2019).** A review on date palm tree: Properties, characterization and its potential applications. *Journal of Renewable Materials*, 7(11), 1055-1075.
- Kalyabina, V. P., Esimbekova, E. N., Kopylova, K. V., & Kratasyuk, V. A. (2021).** Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health—a review. *Toxicology reports*, 8, 1179-1192.
- Latifian, M. (2017).** Integrated pest management of date palm fruit pests: A review. *Journal of Entomology*, 14(3), 112-121.
- Pathipati, U. R., & Kanuparthi, P. L. (2021).** Silver nanoparticles for insect control: Bioassays and mechanisms. In *Silver nanomaterials for agri-food applications* (pp. 471-494). Elsevier.
- Shahid, M., Naeem-Ullah, U., Khan, W., Saeed, D. S., & Razzaq, K. (2021).** Application of nanotechnology for insect pest management: A review. *J. Innov. Sci*, 7, 28-39.
- Shayesteh, N., Marouf, A., & Amir-Maafi, M. (2010).** Some biological characteristics of the *Batrachedra amydraula* Meyrick (Lepidoptera: Batrachedridae) on main varieties of dry and semi-dry date palm of Iran. *Julius-Kühn-Archiv*, (425):151-155.

Geographical Distribution of Lesser Date Moth *Batrachedra amydracula* (Meyrick) Infestation on Date Palm in Basrah City and the Field Efficacy of Selected Chemical Insecticides and Their Synergistic Interaction with Silver Nanoparticles

**Ihab A. Alnajim Mohammed A. Al-Darwish Hazim M. Ali
Naser H. Aldosary***

Date palm Research Center, University of Basrah, Basrah, Iraq.

*Corresponding author: naser.mohammed@uobasrah.edu.iq

Abstract

The lesser date moth, *Batrachedra amydracula*, is one of the most dangerous pests infesting date palm fruits, causing significant losses in yield and fruit quality. This study aimed to assess the geographic and seasonal distribution of infestation in three regions of Basra Governorate (Abi Al-Khasib, Shatt Al-Arab, Al-Qurna), and to investigate the susceptibility of five date palm cultivars (Hallawi, Sayer, Khadrawi, Breim, Barhi) to infestation. Additionally, the study compared the efficacy of five chemical pesticides (Abamectin, Alpha-cypermethrin, Actellic, Matrinx Plus, Deltamethrin) and the effect of their combination with silver nanoparticles at two different spray timings. The results showed significant variation in fruit drop percentages among the study regions, with Shatt Al-Arab recording the highest drop rate (67.27%). The second period after pollination (24 days) was found to be the most susceptible to infestation. Regarding cultivar susceptibility, Hallawi and Sayer recorded the highest drop percentages at 47.73% and 41.15%, respectively. The chemical control results demonstrated the superiority of Matrinx Plus in reducing fruit drop percentage compared to other pesticides. Furthermore, the combination of this pesticide with silver nanoparticles, particularly at the concentration (1 ml pesticide + 0.5 g nanoparticles), significantly enhanced its effectiveness, achieving zero drop percentage in some treatments. The results indicate that using pesticides integrated with silver nanoparticles may represent a promising strategy to improve control efficacy and reduce the damage caused by this pest, with a recommendation to determine early spray timing to ensure effective fruit protection.

Keywords: *Phoenix dactylifera*, *Batrachedra amydracula*, chemical control, (AgNPs), fruit drop rate, cultivar susceptibility.



تأثير إضافة الاحماض الامينية وحامض الساليسليك في الاستجابات الكيموحيوية والثباتية الوراثية لفسائل

نخيل التمر *Phoenix dactylifera L.* النسيجية تحت الاجهاد الملحي

رشا حاتم شنشول عقيل عبود سهيم* محمد عبد الامير حسن النجار

قسم البستنة وهندسة الحدائق-كلية الزراعة-جامعة البصرة-البصرة-العراق

*الباحث المراسل: aqeel.suhaim@uobasrah.edu.iq

الخلاصة

اجريت الدراسة الحالية في قسم البستنة وهندسة الحدائق- كلية الزراعة - جامعة البصرة، خلال موسم النمو 2025-2026، بهدف دراسة تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك في تخفيف اثار الاجهاد الملحي على فسائل نخيل التمر. تم دراسة تأثير تراكيز من مزيج من الاحماض الامينية باستخدام مستحضر تجاري (Max amino) وحامض الساليسليك بالتراكيز (0 و 100 و 200) ملغم لتر⁻¹ في الصفات الكيموحيوية والثباتية الوراثية لفسائل نخيل التمر النامية تحت تأثير الري بالمياه المالح بتركيز 10 ديسيسمنز.م¹. اظهرت نتائج الدراسة ان الرش بالتركيز 200 ملغم لتر⁻¹ بالاحماض الامينية وكذلك بحامض الساليسليك ادت الى تحسين الصفات الكيموحيوية لفسائل نخيل التمر صنف البرحي حيث ادت الى اعطاء اعلى معدل لصبغة الكلوروفيل الكلي وبلغت 5.318 ملغم غم⁻¹ وذلك اعطت اعلى محتوى للأوراق من البروتينات الذائبة الكلية وبلغت 5.446 ملغم غم⁻¹ كما لوحظ ان المعاملة ذاتها قد خفضت من مستويات حامض البرولين الى اقل مستوى وبلغ 3.766 مايكروغرام غم⁻¹، ومعدل مؤشر اكسدة الدهون في الاوراق ليبلغ اقل مستوى 2.043 مايكروغرام غم⁻¹ والذي انعكس على تحسين صفة مؤشر ثباتيه الاغشية في الاوراق ليبلغ افضل معدل 71% بالمقارنة مع المعاملات المختلفة. كما بينت نتائج الثباتية الوراثية بتقنية الترحيل الكهربائي للبروتينات بتقنية SDS-PAGE تكون 43 حزمة بروتينية و انعزال المعاملات الى مجموعتين رئيسية بالاعتماد على مؤشر التشابه الوراثي بين المعاملات حيث انعزلت المعاملة 100 ملغم لتر⁻¹ ساليك و 200 ملغم لتر⁻¹ احماض امينية بمجموعة مفردة ومؤشر ثباتية 0.8% في حين انعزلت بقية المعاملات بمجموعة اخرى.

الكلمات المفتاحية : البرولين، لتغذية الورقية، الاجهاد الملحي، العناصر الكبرى، الكلوروفيل.

Introduction

المقدمة

يعد نخيل التمر *Phoenix dactylifera* L. من الأشجار المعمرة ذات الأهمية الاقتصادية في العديد من المناطق الجافة وشبه الجافة في شمال إفريقيا والشرق الأوسط وتعد في العراق من أشجار الفاكهة المهمة فضلا عن القيمة التجارية والغذائية لنخيل التمر فإن لها قدرة جيدة على تحمل الظروف المناخية سيما الملوحة مقارنة بأشجار الفاكهة الأخرى (Diallo, 2005). يؤدي إجهاد الملوحة Salinity stress إلى سلسلة من التغيرات المظهرية والفسلجية والكيموحيوية والوراثية التي تؤثر سلباً على مختلف العمليات المرتبطة بنمو النبات وإنتاجيته (Etesami and Noori, 2019). كما ينتج عن إجهاد الملوحة أيضاً إجهادات ثانوية مثل إجهاد الجفاف والإجهاد التأكسدي Oxidative stress والاضطرابات الغذائية والمهرمونية للنباتات و هذه الآثار السلبية تقلل بشكل كبير من نمو وإنتاج النبات (Parihare *et al.*, 2015). يعد الإجهاد البيئي احد اهم أسباب انخفاض النمو المحتملة في النباتات وخاصة في الفترات الأولى من النمو حيث تتعرض نخلة التمر اثناء فترة نموها كغيرها من النباتات الأخرى الى العديد من العوامل البيئية المختلفة مثل الحرارة والجفاف والملوحة وغيرها من العوامل التي تسبب الإجهاد (Suhim *et al.*, 2023). تعتبر الاحماض الامينية هي اللبنات الأساسية للبروتينات وتعد واحدة من اليات الدفاع عندما تتعرض النباتات للإجهاد حيث تبدأ في إنتاج بروتينات معينة تعرف ببروتينات الصدمة هذه البروتينات تعمل على حماية البروتينات الأخرى في الخلية من التلف او التفكك مما يحافظ على وظائفها الحيوية (Hassan *et al.*, 2020) أدى استخدامها لتخفيف الإجهاد في النبات اذ تساعد في تحسين الخصائص الكيموحيوية مثل الكلوروفيل الكلي والكربوهيدرات وتركيز البرولين والبروتينات الذاتية الكلية كما تعد احد الطرق المتاحة في تخفيف الإجهاد اللاحيوي على النبات (Ihsan *et al.*, 2019). تعد الهرمونات النباتية مثل حمض الأبسيسيك والإيثيلين وحمض الساليسيليك (SA) مكونات هامة في مسارات الإشارات المختلفة المشاركة في الدفاع عن النبات ضد الإجهادات الحيوية وغير الحيوية. إن التطبيق الخارجي لحمض الساليسيليك يتحكم في مختلف العمليات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية والجزيئية في النباتات بما في ذلك أنشطة الإنزيمات المضادة للأوكسدة علاوة على ذلك ينظم حمض الساليسيليك مكونات مسار الإشارات الخاص به بالإضافة إلى مشاركته مع المسارات الأخرى التي تتوسط مقاومة النبات (War *et al.*, 2011). يعمل حمض الساليسيليك (SA) كهرمون نباتي حيوي لتعزيز المناعة والتحمل ضد الإجهادات البيئية (الجفاف والملوحة والحرارة) والحيوية (الأمراض والحشرات) ويعمل كجزء إشارة

لتنشيط الدفاعات الطبيعية وينظم غلق الثغور ويقلل الضرر التأكسدي عن طريق تعزيز مضادات الأكسدة مما يحسن نمو الجذور والأوراق والإنتاجية (Bari and Jones, 2009).

لتقليل اضرار الاجهاد الملحي وتحسين صفات النمو لفسائل نخيل التمر النسيجي صنف البرحي اتجهت الدراسة الى دراسة استخدام الاحماض الامينية باستخدام مستحضرات تجارية متوفرة ورخيصة الثمن وحامض الساليسليك كواحدة من الطرق الفعالة لتعزيز تحمل النبات ضد الاجهاد الناتج عن المعاملة الملحية من خلال تقدير الصفات الكيموحيوية والوراثية النامية تحت تاثير الاجهاد الملحي.

Materials and Methods

المواد وطرائق العمل

اجريت هذه الدراسة في مختبرات قسم البستنة وهندسة الحدائق - كلية الزراعة - جامعة البصرة، لموسم النمو 2025-2026. بهدف دراسة تاثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك بثلاث تراكيز (0 و 100 و 200 ملغم لتر⁻¹) لكل منهما في تخفيف الاثار الضارة لاجهاد الملوحة على فسائل نخيل التمر صنف البرحي المنتج نسيجيا وبعمر 3 سنوات. استخدم المستحضر التجاري Max amino (احماض امينية 50% وبروتين خام 97% والرطوبة 3% وذوبانيته في الماء بنسبة 100% والمظهر مسحوق اصفر خفيف). تم تعريض فسائل نخيل التمر لاجهاد الملوحة عن طريق السقي بمياه مالحة بتركيز 10 ديسيمنز م⁻¹.

الصفات المدروسة

الكلوروفيل الكلي

قدرت صبغة الكلوروفيل الكلي اعتماداً على طريقة (Arnon, 1949) وذلك بطحن 200 ملغم من الاوراق في 8 مل من الاسيتون (80%) باستخدام هاون خزفي وفصل الراشح باستخدام جهاز الطرد المركزي (3000 دورة/دقيقة)، نوع Eppendorf موديل (5804 R) الماني المنشأ. وقيست الاطوال الموجية 663 و 645 نانوميتر باستخدام جهاز مطياف ضوئي موديل UV-1100D صناعة شركة EMCLAB GmbH الماني المنشأ وقدرت قيم الصبغات النباتية اعتماداً على المعادلات التالية حسب (Asare-boamah *et al.*, 1986) وعبر عنها بوحدة (ملغم غم⁻¹).

$$\text{الكلوروفيل الكلي} = 8.02(OD 663) + 20.2(OD 645) = X \text{ حجم العينة} \times X \text{ وزن العينة}$$

حيث: OD = الامتصاصية عند كل طول موجي.

الكربوهيدرات الكلية

اتبعت الطريقة الموصوفة في (Watanabe *et al.*, 2000) في تقدير الكربوهيدرات الكلية، وذلك بمزج 0.5 غم من الاوراق الطرية مع 80% ايثانول في هاون خزفي، ثم فصل الراشح باستخدام جهاز الطرد المركزي على سرعة 5000 دورة دقيقة⁻¹ لمدة 10 دقائق. واضيف اليه 3 مل من كاشف الانثرون Enthron Reagent وسخن انابيب الاختبار في الحمام المائي على درجة حرارة 100 °م لمدة 10 دقائق ثم بردت الانابيب وذلك بوضعها في الثلج، ثم قيست الامتصاصية على طول موجي 620 نانوميتر باستخدام جهاز المطياف الضوئي.

البروتينات الذائبة الكلية

استخلصت البروتينات الذائبة الكلية من انسجة الاوراق اعتمادا على الطريقة المذكورة في (Bavei *et al.*, 2011) اذ تم هرس 0.3 غم من الاوراق ومزج مع 3 مل من المحلول الدارئ Tris-HCl (تركيز 0.1 مولار والرقم الهيدروجيني 7.5) المحتوي على مادة PMSF (Phenylmetmanesulfonyl Fluoride)، واجريت لها عملية الطرد المركزي بسرعة 13000 دورة/دقيقة ولمدة 10 دقائق. استخدم الراشح في تقدير البروتينات الذائبة الكلية حسب طريقة (Bradford, 1976) ثم قيست الامتصاصية على طول موجي 595 نانوميتر.

البرولين

قدر محتوى البرولين في انسجة العينات الورقية اعتماداً على طريقة (Bates *et al.*, 1973) وذلك بمزج 0.5 غم من الانسجة الورقية في 10 مل من المحلول المائي لحامض (3%) Sulphosalicylic، وفصل الراشح واضيف اليها 2 مل من حامض الخليك الثلجي Glacial acetic acid و 2 مل من محلول ننهيدرين الحامضي Acid Ninhyderine ثم نقل المزيج الى واضيف اليه 4 مل من التولوين Toluene وقدر فيها محتوى البرولين وذلك بقراءة الامتصاصية على طول موجي 520 نانوميتر باستخدام جهاز المطياف الضوئي، وعبر عنها بوحدة (مايكرومول غم⁻¹ وزن طري).

مؤشر اكسدة الدهون محتوى (MDA)

تم تقدير محتوى الانسجة من مادة MDA وفقاً لطريقة (Heath and Packer, 1968) وذلك بمزج 0.5 غم من الانسجة مع 5 مل من مادة Trichloroacetic acid TCA (0.1%) (وزن/حجم)، ثم طرد المزيج مركزياً بسرعة 10000 دورة/دقيقة ولمدة 5 دقائق، ثم اضيف 1 مل من الراشح الى 4 مل من محلول مادة Thiobarbitric acid TBA (0.5%)

(وزن/حجم) ثم اجريت عملية طرد مركزي مرة اخرى بسرعة 10000 دورة/دقيقة ولمدة 15 دقيقة، بعد ذلك تم قياس الامتصاصية في الراشح على طول موجي 532 و 600 نانوميتر وعبر عن النتائج بوحدة مايكرومول غم⁻¹ وزن طري.

وتم حساب محتوى MDA حسب المعادلة الآتية:

$$\text{محتوى الانسجة MDA} = \frac{[OD 600 - OD 532]1000}{155}$$

اذ 155 = معامل الانطفاء Extinction Coefficient للمادة MDA.

مؤشر ثبات الاغشية (MSI)

تم حساب مؤشر ثبات الاغشية Membrane Stability Index بالاعتماد على طريقة (Lutts and Bouharmont, 1996) في الاوراق وذلك بمزج 0.25 غم من الاوراق مع 10 مل من الماء المقطر منزوع الأيونات داخل أنابيب محكمة الإغلاق ثم تركت لمدة 24 ساعة على رجاج دوار، بعد ذلك تم قياس التوصيل الكهربائي حيث اعتبرت (القراءة الاولى)، ثم وضع المزيج في فرن على درجة حرارة 90 °م لمدة ساعتين، ثم بردت العينات على درجة حرارة 25 °م، واخذ قراءة ثانية للتوصيل الكهربائي واعتبرت القراءة الثانية، وتم حساب مؤشر ثبات الاغشية من خلال المعادلة الآتية :

$$\text{مؤشر ثبات الاغشية (\%)} = 100 \times \left(\frac{\text{القراءة الاولى}}{\text{القراءة الثانية}} \right) - 1$$

الترجيل الكهربائي للبروتينات الكلية الذائبة باستخدام تقنية SDS-PAGE

تم استخلاص البروتينات الكلية الذائبة واخذ 40 مايكروليتر من الراشح لغرض الترحيل بتقنية SDS-PAGE واعتمادا على طريقة (Laemmle 1970). بعد تقدير عدد الحزم المتكونة من عملية الترحيل الكهربائي للبروتينات الذائبة الكلية وتقدير اوزانها الجزيئي باستخدام برنامج Photocapt MW V. 10.01، تم تسجيل الرقم 1 عند وجود الحزمة وصفر عند عدم وجودها، وحدد عدد الحزم المشتركة والمتباينة بين معاملات المختلفة ومعاملة المقارنة. تم حساب مؤشر التشابه الوراثي

Genetic Similarity Index (GSI) حسب المعادلة التالية

$$\text{مؤشر التشابه الوراثي} = \frac{أ * 2}{ب + ج}$$

حيث: أ = عدد الحزم المتشابهة بين المعاملتين و ب+ج = مجموع الحزم في المعاملة الاولى والثانية.

انشئت مصفوفة ثنائية Binary Matrix اعتماداً على قيم التشابه الوراثي، واستخدمت في رسم مخطط التحليل التجميعي Dendrogram، وذلك باستخدام طريقة (UPGAM) Unweighted pair-group Method with Arithmetic Average، باستخدام الموقع الإلكتروني genomes.urv.cat/UPGMA، وأستخدم برنامج Fig Tree v. 1.4.3 في تحرير المخطط التجميعي للبيانات لرسم شجرة التقارب الوراثي.

التحليل الإحصائي

تم تصميم التجربة باستخدام تصميم القطاعات العشوائية الكامل Randomized Complete Block Design كتجربة عاملية Factorial Experiments بعاملين العامل الأول: المعاملة بالاحماض الامينية و العامل الثاني المعاملة بحامض الساليسليك حللت النتائج باستخدام تحليل التباين بين الصفات المدروسة بواسطة البرنامج الإحصائي SPSS كما حللت المتوسطات واختبرت المعنوية بحسب اختبار اقل فرق معنوي L.S.D عند مستوى احتمال 0.05 (بشير، 2003).

Results and Discussion

النتائج والمناقشة

تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك في محتوى الاوراق من الكلوروفيل الكلي

اظهرت النتائج في جدول (1) ان رش اوراق فسانل نخيل التمر صنف البرحي المنتج من زراعة الانسجة النباتية بمستويات مختلفة من الاحماض الامينية وحامض الساليسليك ادت الى تحسن في محتوى الاوراق من صبغات البناء الضوئي وانعكس ذلك في زيادة في محتوى الاوراق من صبغة الكلوروفيل الكلي عند المعاملة بالتركيز 200 ملغم لتر⁻¹ من الاحماض الامينية اذ بلغت 4.963 ملغم غم⁻¹ ويفارق معنوي عن المعاملات بالتركيز الاخرى كما يلاحظ تفوق التركيز 200 ملغم لتر⁻¹ من حامض الساليسليك في اعطاء اعلى محتوى من الكلوروفيل الكلي حيث بلغ 4.524 ملغم غم⁻¹ ويفارق معنوي عن التركيزات الاخرى. اما بالنسبة لتأثير التداخل بين الاحماض الامينية وحامض الساليسليك فوجد ان المعاملة بتركيز 200 ملغم لتر⁻¹ من كل منهما اعطت اعلى محتوى من الكلوروفيل الكلي بلغت 5.318 ملغم غم⁻¹ تلتها في التأثير المعاملة 100 ملغم لتر⁻¹ من الاحماض مع 200 ملغم لتر⁻¹ من الساليسليك اذ اعطت محتوى الكلوروفيل بلغ 5.121 ملغم غم⁻¹ والتي اختلفت معنويًا عن بقية التداخلات الاخرى ومعاملة المقارنة.

جدول(1): تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك في محتوى اوراق فسانل نخيل التمر صنف البرحي المعرضة لاجهاد الملوحة من الكلوروفيل الكلي (ملغم غم⁻¹).

معدل حامض الساليسليك	تركيز الاحماض الامينية (ملغم لتر ⁻¹)			تركيز حامض الساليسليك ملغم لتر ⁻¹
	200	100	0	
3.654	3.929	3.430	3.603	0
3.942	4.325	3.868	3.634	100
4.963	5.318	5.121	4.448	200
	4.524	4.140	3.895	معدل الاحماض الامينية
	0.044=التداخل	0.018=للساليسليك	0.018=للاحماض	LSD p _≥ 0.05

تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك في محتوى الاوراق من البروتينات الذائبة الكلية

بينت النتائج في جدول (2) تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك في محتوى الاوراق من البروتينات الذائبة الكلية اذ وجد ان المعاملة بالتركيز 200 ملغم لتر⁻¹ من الاحماض الامينية ادت الى زيادة معنوية في محتوى الاوراق بلغت 5.139 ملغم غم⁻¹ وبفارق معنوي عن المعاملات الاخرى كما يلاحظ تفوق التركيز 200 ملغم لتر⁻¹ من حامض الساليسليك في اعطاء اعلى محتوى من البروتينات حيث بلغ 4.776 ملغم غم⁻¹ وبفارق معنوي عن التراكيز الاخرى. كما يلاحظ وجود فروق معنوية في معاملات التداخل بين الاحماض الامينية وحامض الساليسليك فوجد ان المعاملة بالتركيز 200 ملغم لتر⁻¹ من كل منهما اعطت اعلى محتوى بلغ 5.446 ملغم غم⁻¹ وبفارق معنوي عن بقية التداخلات الاخرى ومعاملة المقارنة.

جدول(2) تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك في محتوى اوراق فسانل نخيل التمر صنف البرحي المعرضة لاجهاد الملوحة من البروتينات الذائبة الكلية (ملغم غم⁻¹).

معدل حامض الساليسليك	تركيز الاحماض الامينية (ملغم لتر ⁻¹)			تركيز حامض الساليسليك ملغم لتر ⁻¹
	200	100	0	
3.842	4.029	3.861	3.637	0
4.476	4.852	4.363	4.213	100

5.139	5.446	5.115	4.857	200
	4.776	4.446	4.235	معدل الاحماض الامينية
0.148= للتداخل		0.121= للساليستيك	0.121= للاحماض	LSD $p \geq 0.05$

تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليستيك في محتوى الاوراق من حامض البرولين

اوضحت النتائج في جدول (3) تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليستيك في محتوى الاوراق من حامض البرولين اذ لوحظ ارتفاع مستوى الحامض الاميني عند معاملة المقارنة حيث بلغت 6.245 مايكروغرام غم⁻¹ وبفارق معنوي عن المعاملات الاخرى في حين ادت المعاملة بالتركيز 200 ملغم لتر⁻¹ من كل من الاحماض الامينية والساليستيك الى خفض محتوى الاوراق من البرولين الى ادنى مستوى له حيث بلغ (3.906 و 4.584) مايكروغرام غم⁻¹ على الترتيب. كما لوحظ ان معاملة التداخل بين الاحماض الامينية وحامض الساليستيك عند التركيز 200 ملغم لتر⁻¹ من كليهما اعطت اقل محتوى بلغ 3.766 مايكروغرام غم⁻¹ وبفارق معنوي عن بقية التداخلات الاخرى ومعاملة المقارنة.

جدول(3) تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليستيك في محتوى اوراق فسانل نخيل التمر صنف البرحي المعرضة

لاجهاد الملوحة حامض البرولين (مايكروغرام غم⁻¹)

معدل حامض الساليستيك	تركيز الاحماض الامينية (ملغم لتر ⁻¹)			تركيز حامض الساليستيك ملغم لتر ⁻¹
	200	100	0	
5.969	5.808	5.853	6.245	0
4.350	4.180	4.293	4.578	100
3.906	3.766	3.808	4.143	200
	4.584	4.652	4.989	معدل الاحماض الامينية
0.149= للتداخل		0.121= للساليستيك	0.121= للاحماض	LSD $p \geq 0.05$

تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليستيك في مؤشر اكسدة الدهون (تركيز مركب MDA)

بينت نتائج التحليل الاحصائي في جدول (4) تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليستيك في مؤشر اكسدة الدهون في اوراق نخيل التمر صنف البرحي النسيجي اذ اظهرت النتائج ارتفاع مستوى المؤشر عند معاملة المقارنة حيث بلغت 4.179

مايكروغرام غم⁻¹ وبفارق معنوي عن المعاملة بالتراكيز المختلفة من الاحماض الامينية وحامض الساليسليك في حين ادت المعاملة بالتركيز 200 ملغم لتر⁻¹ من كل من الاحماض الامينية والساليسليك الى خفض معدل مؤشر اكسدة الدهون الى ادنى مستوى له حيث بلغ (2.363 و2.518) مايكروغرام غم⁻¹ على الترتيب وبفارق معنوي عن المعاملات الاخرى. في حين وجد ان معاملة التداخل بين الاحماض الامينية وحامض الساليسليك عند التركيز 200 ملغم لتر⁻¹ من كليهما اعطت اقل معدل بلغ 2.043 مايكروغرام غم⁻¹ وبفارق معنوي عن بقية التداخلات الاخرى ومعاملة المقارنة.

جدول (4) تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك في مؤشر اكسدة الدهون (تركيز مركب MDA) (مايكروغرام

غم⁻¹) في اوراق فسائل نخيل التمر صنف البرحي المعرضة لاجهاد الملوحة.

معدل حامض الساليسليك	تركيز الاحماض الامينية (ملغم لتر ⁻¹)			تركيز حامض الساليسليك ملغم لتر ⁻¹
	200	100	0	
3.455	2.842	3.343	4.179	0
3.058	2.668	2.840	3.666	100
2.363	2.043	2.182	2.864	200
	2.518	2.788	3.570	معدل الاحماض الامينية
	0.06= للتداخل	0.05= للساليسليك	0.05= للاحماض	LSD p≥ 0.05

تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك في مؤشر ثباتية الاغشية MSI

بينت النتائج في جدول (5) تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك في مؤشر ثباتية الاغشية في اوراق نخيل التمر صنف البرحي النسيجي اذ اظهرت النتائج تفوق المعاملة بالتركيز 200 و 100 ملغم لتر⁻¹ من الاحماض الامينية في اعطاء اعلى معدل لمؤشر ثباتية الاغشية اذ بلغ 69.66% و 68.22% بفارق معنوي عن معاملة المقارنة كما وجد ان المعاملة بالتركيز 200 و 100 ملغم لتر⁻¹ من حامض الساليسليك اعطت اعلى معدل للمؤشر بلغت 68.44% و 68.00% وبفارق معنوي عن معاملة المقارنة. في حين وجد ان معاملة التداخل بين الاحماض الامينية وحامض الساليسليك عند التركيز 200 و 100 ملغم لتر⁻¹ من كليهما اعطت اعلى معدل بلغ 71.00% و 69.66% وبفارق معنوي عن بقية التداخلات الاخرى ومعاملة المقارنة.

جدول(5) تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك في مؤشر ثباتية الاغشية (%) في اوراق فسانل نخيل التمر

صنف البرحي المعرضة لاجهاد الملوحة

معدل حامض الساليسليك	تركيز الاحماض الامينية (ملغم لتر ⁻¹)			تركيز حامض الساليسليك ملغم لتر ⁻¹
	200	100	0	
64.00	64.66	64.00	63.33	0
68.22	69.66	69.00	66.00	100
69.66	71.00	71.00	67.00	200
	68.44	68.00	65.44	معدل الاحماض الامينية
	لتداخل = 2.42	للساليسليك = 1.99	للاحماض = 1.99	LSD p ≥ 0.05

تؤثر الملوحة في استجابة النبات لعمليات البناء الضوئي حيث تؤثر في كمية صبغات الكلوروفيل في الأوراق نتيجة خفض عمليات الامتصاص للعناصر المغذية مما يؤدي إلى انخفاض التمثيل الضوئي المقاس على أساس وحدة الكلوروفيل (Munns and Tester, 2008; Sperling *et al.*, 2014). أظهرت بعض الدراسات إن محتوى الأوراق من صبغات الكلوروفيل تنخفض تحت تأثير الملوحة (Sperling *et al.*, 2014; Rahneshan and Moghadam, 2018) وإن النبات المعرضة للإجهاد الملحي تكون محتوى الأوراق من الصبغات النباتية منخفضا مما ينعكس على مؤشرات النمو والمكونات الحيوية المهمة التي تساعد في تطور النبات (Flowers, 2004). ووضح (Torabi *et al.*, 2013) أن النباتات النامية تحت ظروف الإجهاد الملحي يتعرض لتغيرات في مستوى الكربوهيدرات والبروتينات فضلاً عن الصبغات النباتية المسؤولة عن عمليات البناء الضوئي. يعتبر الحامض الاميني البرولين من المركبات الواقية من الأزموزية العالية (Kishor *et al.*, 2015) حيث يؤدي البرولين دور حيوي في عملية التمثيل الغذائي كذلك يقوم بإزالة الجذور الحرة التي تنتج عند تعرض النبات الى الإجهادات الحيوية والغير حيوية ، كما يعد من مضادات الأكسدة ، وتزداد نسبة هذا الحامض عند تعرض النبات الى إجهاد ليصل الى 80% مقارنة بالظروف الطبيعية التي يشكل البرولين اقل من 5% من محتوى النبات من الاحماض الامينية(Kumar and Vardhini, 2015).يعد مركب المالوندايهايد (MDA) هو مركباً ساماً ينتج عن عملية اكسدة الدهون سيما الدهون غير المشبعة، (Suhim *et al.*, 2017) وان الزيادة في تركيز هذا المركب تحت الاجهاد سواء كان حيويًا او لا حيوي ينسجم مع نتائج يعد احد اسباب تدهور حالة النبات كونه من المركبات ذات السمية الخلوية على النبات(Brengi *et al.*, 2022). ان الزيادة في تركيز مركب MDA يرافق انخفاض في مؤشر ثباتيه الاغشية وقد يعزى

سبب هذا الضرر الى الاثار السامه لمركب MDA و تتفق هذه النتائج مع نتائج دراسات اشارت الى انخفاض مؤشر قيمة ثباتيه الاغشية في اوراق نخيل التمر تحت الاجهاد(الجابري،2017). وتلعب الأحماض الأمينية ادوارا حيوية متعددة في النبات فهي فضلا عن كونها وحدات البناء الاساسية للبروتينات، فبعض الاحماض الامينية هي المركبات البادئة للهرمونات النباتية ومواد النمو الأخرى، وتدخل في تركيب الاحماض النووية، كما تعمل على تحسين كفاءة عملية التمثيل الغذائي وتعزيز نمو النبات وزيادة الانتاج وزيادة تحمل النبات للإجهادات كما انها تعمل على تسهيل امتصاص المغذيات ونقلها واستخدامها(Goossens *et al.*, 2016). وبينت (Darwesh, 2013) أن المعاملة الخارجية لفسائل نخيل التمر صنف (Bartomouda) بمنظمات النمو النباتية SA بتركيز 400ppm و IAA بتركيز 30ppm النامية تحت الاجهاد الملحي NaCl 14000ppm أدت إلى تحسن صفات النمو الخضري والوزن الجاف للأوراق فضلا عن تقليل فعالية الأنزيمات المضادة للأكسدة (CAT و POD) وتقليل تراكم Na^+ و Cl^- . تتفق هذه النتائج مع القدرة المعروفة لحمض الساليسيليك (SA) على تعزيز المرونة من خلال تنظيم الاتزان الداخلي الخلوي، بما في ذلك العمليات المضادة للأكسدة، والتنظيم الأسموزي، واستقرار الأغشية، والحفاظ على سلامة البنية للخلايا (Carillo *et al.*, 2011; Doğan, 2012).

تأثير الرش بالاحماض الامينية وحامض الساليسيليك على فسائل نخيل التمر صنف البرحي النسيجي النامي تحت تأثير الملوحة في صفات الثباتية الوراثية(الترحيل الكهربائي للبروتينات الكلية الذائبة باستخدام تقنية SDS-PAGE)

توضح النتائج في جدول (6) قيم التشابه والاختلاف بين المعاملات الدراسة حسب مؤشر التشابه الوراثي للبروتينات الكلية الذائبة باستخدام تقنية SDS-PAGE لصنف نخيل التمر البرحي المنتج من زراعة الانسجة النباتية والنامي تحت تأثير الاجهاد الملحي حيث يلاحظ وجود اختلافات بين المعاملات في درجة التشابه بالاعتماد على الاوزان الجزيئية للحزم المتكونة والمتشابهة بين المعاملات وكما موضحة في الشكل (1)، حيث كونت المعاملات حزما بروتينية عددها 43 حزمة تراوحت اوزانها الجزيئية (375.00- 7.381) كيلو دالتون مع تسجيل اربعة حزم في المعاملات C (200ملغم 1^{-} ساليسيليك) و F (100 ملغم لتر 1^{-} ساليسيليك + 100 ملغم لتر 1^{-} احماض امينية) وخمسة حزم في المعاملات A (المقارنة) و B (100 ملغم لتر 1^{-} ساليسيليك) و D (100 ملغم لتر 1^{-} احماض امينية) و G (100 ملغم لتر 1^{-} ساليسيليك + 200 ملغم لتر 1^{-} احماض امينية) و(200 ملغم لتر 1^{-} ساليسيليك + 200 ملغم لتر 1^{-} احماض امينية) في حين يلاحظ ان المعاملة E (200 ملغم لتر 1^{-} احماض امينية) قد سجلت ستة حزم بروتينية . وإشارة الى مؤشر التشابه الوراثي المبين في الجدول(6) فان قيمة المؤشر

تراوحت بين 0.8-0.18 % . مما يدل على وجود بعض التغيرات بسبب الملوحة ومعاملات التخفيف عند استخدام الاحماض الامينية وحامض الساليسليك حيث لوحظ تكون حزم ات اوزان جزئية منخفضة عند المعاملة بالاحماض الامينية وحامض الساليسليك. كما يلاحظ من المخطط التحليل التجميعي Dendogram باستخدام برنامج UPGAM في الشكل (2) وجود انعزالا بين المعاملات بسبب تكون بعض الحزم الجديدة واختفاء بعضها حيث انعزلت المعاملات الى مجموعتين رئيسية وبثلاث مجموعات داخلية Clusters بالاعتماد على مؤشر التشابه الوراثي المبين في الجدول(6) حيث انعزلت المعاملات جميعها بمجموعة والمعاملة G (100 ملغم لتر⁻¹ ساليسليك + 200 ملغم لتر⁻¹ احماض امينية) بمجموعة منفردة رئيسية .وهذا يعزز الدور الفعال للاحماض الامينية بالتركيز 200 ملغم لتر⁻¹ مع حامض الساليسليك بالتركيز 100 ملغم لتر⁻¹ في تخفيف اثار الاجهاد الملحي على فسائل نخيل التمر صنف البرحي المنتج نسيجيا. حيث يعد الترحيل الكهربائي للبروتينات باستخدام طريقة SDS PAGE من الطرق الحيوية المهمة التي توضح نمط توزيع الحزم البروتينية تحت ظروف الاجهاد المختلفة مقارنة بأخرى غير معرضة للإجهاد (Kapardar *et al.*, 2010). اثار (El Rabey *et al.*, 2015) ان عملية فحص الاضرار الناجمة عن الاجهادات البيئية وخاصة الملوحة بتقنية الترحيل الكهربائي للحزم البروتينية يعطي دلالة يده لمدى تحمل النبات وخاصة النخيل عن طريق انتاج بروتينات جديدة تعالج الضرر في المحتوى البروتيني للنبات المتضرر. واكد (El Rabey and Abulnaja, 2016) ان نخيل التمر المعرض لاجهاد الملوحة لوحظ انه كون حزما بروتينية جديدة وقد اختلفت اوزانها بالاعتماد على تركيز المجهد وبين ان البروتينات ذات الاوزان الواطئة تتكون بنمط اعلى كونها تعتبر بروتينات علاجية لأضرار الاجهاد(النجار،2017). اوضح الجابري(2017) ان الاجهاد البيئي المتمثل بالتلوث بالمعادن الثقيلة اثرت في الصفات الوراثية لأشجار النخيل، اذ اشارت نتائج الترحيل الكهربائي للبروتينات بطريقة SDS-PAGE الى ظهور حزمة جديدة ووزن الجزئي بلغ 18 كيلو دالتون واختفاء الحزمة 33 كيلو دالتون بالاعتماد على مؤشر التشابه الوراثي Genetic Similarity Index. وبين (Shareef and Al-Khayri, 2021) ان نمط توزيع البروتينات يتغير بحسب طبيعة نوع الاجهاد المعرض له النخيل حيث تظهر حزم بروتينية جديدة وتختفي اخرى بالاعتماد على مستوى ونوع المجهد وعمر النبات. اوضح (Resan *et al.*, 2026) ان الاجهادات البيئية الشديدة والمجمعة مسؤولة عن حدوث أعلى التغيرات في توزيع الانماط البروتينية بتقنية الترحيل الكهربائي. وتقود الى الاستنتاج أن الإجهادات اللاأحيائية تغير بشكل ملحوظ البنية البروتينية لأوراق

نخيل التمر، وتؤكد أيضاً على أن التوصيف الكهربائي للبروتين يُعد أداة كيميائية حيوية موثوقة لتقييم نظرة عامة عن الإجهاد في صنف النخيل البرحي النسيجي ذو القيمة الاقتصادية العالية من نخيل التمر.

جدول(6): قيم التشابه بين المعاملات حسب مؤشر التشابه الوراثي Genetic Similarity Index (GSI) للبروتينات

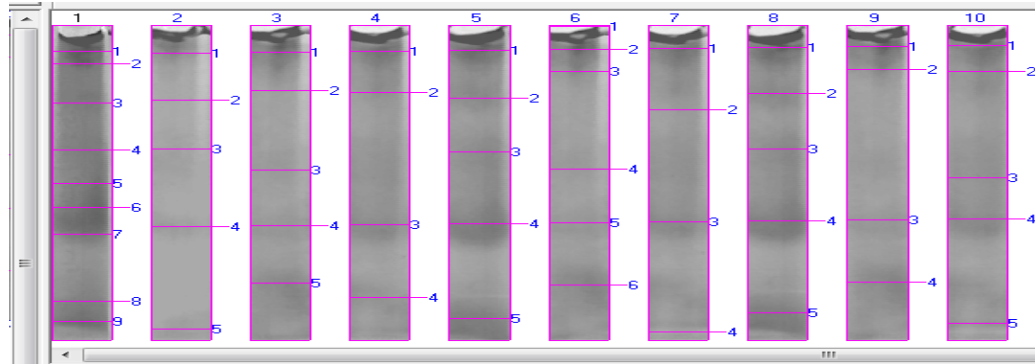
الكلية الذاتية باستخدام تقنية SDS-PAGE

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	0	0.6	0.4	0.6	0.18	0.6	0.6	0.4	0.6
B	0.6	0	0.6	0.6	0.5	0.2	0.6	0.6	0.4
C	0.4	0.6	0	0.3	0.6	0.2	0.6	0.5	0.4
D	0.6	0.6	0.3	0	0.5	0.4	0.8	0.6	0.4
E	0.18	0.5	0.6	0.5	0	0.4	0.7	0.6	0.5
F	0.6	0.2	0.2	0.4	0.4	0	0.6	0.5	0.6
G	0.6	0.6	0.6	0.8	0.7	0.6	0	0.6	0.6
H	0.4	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0	0.6
I	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0

A (المقارنة)، B (100 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك)، C (200 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك)، D (100 ملغم لتر⁻¹ امحاض امينية)، E (200 ملغم لتر⁻¹ امحاض

امينية)، F (100 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك + 100 ملغم لتر⁻¹ امحاض امينية)، G (100 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك + 200 ملغم لتر⁻¹ امحاض امينية

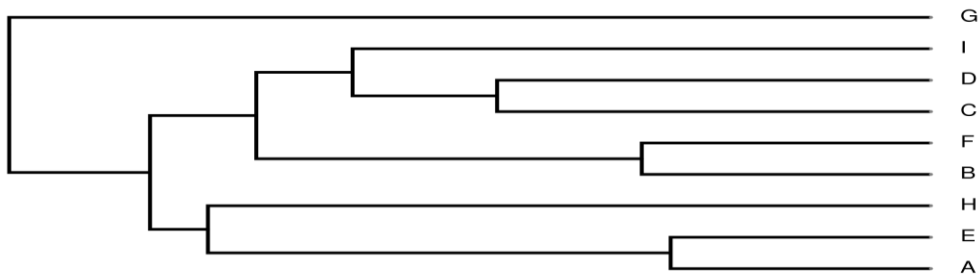
H: (200 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك + 100 ملغم لتر⁻¹ امحاض امينية)، I: (200 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك + 200 ملغم لتر⁻¹ امحاض امينية).



		M.W.									
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
1		225.000	212.333	218.656	225.000	230.769	375.000	242.308	248.077	253.846	259.615
2		150.000	102.639	113.011	110.763	104.529	236.538	96.934	109.669	141.566	138.780
3		100.000	75.653	59.765	28.133	73.537	138.780	29.198	75.653	29.933	54.127
4		75.000	27.450	27.788	15.718	28.483	60.479	7.381	29.564	17.825	30.307
5		50.000	8.095	17.718		10.782	28.838		12.312		9.524
6		35.000					17.499				
7		25.000									
8		15.000									
9		10.000									

شكل(1): الحزم البروتينية لنتائج الترحيل الكهربائي والاوزان الجزئية المستخرجة باستخدام برنامج Photocapt MW V.

10.01



شكل(2): المخطط التحليل التجميعي باستخدام طريقة Unweighted pair-group Method with

(UPGAM) Arithmetic Average

A (المقارنة) ، B، (100 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك)، C (200ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك) ، D، (100 ملغم لتر⁻¹ احماض امينية)، E، (200 ملغم لتر⁻¹ احماض امينية المقارنة) ، F (100 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك + 100 ملغم لتر⁻¹ احماض امينية) ، G، (100 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك + 200 ملغم لتر⁻¹ احماض امينية) ، H، (200 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك + 100 ملغم لتر⁻¹ احماض امينية) ، I، (200 ملغم لتر⁻¹ ساليسيلك + 200 ملغم لتر⁻¹ احماض امينية).

Conclusions

الاستنتاجات

خلصت الدراسة الحالية إلى أن الرش الورقي بالأحماض الأمينية وحامض الساليسيليك، سيما عند التركيز 200 ملغم لتر⁻¹، أدى إلى تحسين المحتوى الكلوروفيل الكلي والبروتينات الذائبة الكلية، وزيادة ثباتية الأغشية الخلوية، مع خفض محتوى البرولين ومؤشر أكسدة الدهون في فسائل نخيل التمر صنف البرحي النسيجي النامية تحت الإجهاد الملحي. كما أظهرت نتائج SDS-PAGE حدوث تغيرات في الأنماط البروتينية المرتبطة باستجابة النبات للملوحة، مما يؤكد كفاءة الأحماض الأمينية وحامض الساليسيليك في تعزيز تحمل الإجهاد الملحي وتحسين الأداء الفسيولوجي لفسائل النخيل.

References

المصادر

- بشير، سعد زغلول(2003). دليلك إلى البرنامج الإحصائي SPSS. الإصدار العاشر. المعهد العربي للتدريب والبحوث الإحصائية. 159-170 ص.
- الجابري، خير الله موسى عواد (2017). التغيرات الموسمي للتلوث بالمعادن الثقيلة وتأثير معاملة الكادميوم والرصاص في بعض الصفات الكيميوحيوية والتشريحية والوراثية لنخيل التمر (*Phoenix dactylifera* L .) صنف البرحي. أطروحة دكتوراه -كلية العلوم -جامعة البصرة - العراق - 206 ص.
- النجار، محمد عبد الامير حسن (2017). علاقة الاجهاد البيئي بالنمط البروتيني في نخيل التمر (*Phoenix dactylifera* L.) صنف الحلاوي والساير المجلة العلمية لجامعة الملك فيصل العلوم الاساسية والتطبيقية ، 18(2):1-8.
- Arnon D.I.(1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.
- Asare-Boamah N. K., Hofstra G., Fletcher R. A. and Dumbroff E. B. (1986). Triadimefon protects bean plants from water stress through its effects on abscisic acid. Plant Cell Physiol. 27:383-390.
- Bari, R., & Jones, J. D. G. (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. Plant Molecular Biology, 69(4): 473-488. <https://doi.org/10.1007/s11103-008-9435-0>
- Bates L. S., Waldren R. P. and Teare I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. J. Plant and Soil. 39:205-207.
- Bavei V., Shiran B., Khodambashi M. and Ranjbar A. (2011). Protein electrophoretic profiles and physiochemical indicators of salinity tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Afr. J. Biotechnol. 10(14):2683-2697.

- Bradford M. M. (1976).** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem.* 38:248-252.
- Brengi, S.H., Khedr, A.A.E.M. and Abouelsaad, I.A. (2022).** Effect of melatonin or cobalt on growth, yield and physiological responses of cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants under salt stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(1), pp. 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.06.012>
- Carillo, P., Grazia, M., Pontecorvo, G., Fuggi, A., & Woodrow, P. (2011).** Salinity Stress and Salt Tolerance. In *Abiotic Stress in Plants-Mechanisms and Adaptations*. InTech. <https://doi.org/10.5772/22331>
- Darwesh, R.S.S. (2013).** Improving growth of date palm plantlets grown under salt stress with yeast and amino acids applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 58(2): 247–256. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2013.07.014>
- Diallo, H. (2005).** The role of date palm in combat desertification. In: *The Date Palm: From Traditional Resource to Green Wealth. and Strategy Researches* (pp. 13-19.). UAE Center of Studies Abu Dhabi, UAE.
- Doğan, M. (2012).** Investigation of the effect of salt stress on the antioxidant enzyme activities on the young and old leaves of *Salsola* (Stenoptera) and tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *African Journal of Plant Science*, 6(2). <https://doi.org/10.5897/ajps11.116>
- El Rabey, H. A., Al-Malki, A. L., Abulnaja, K. O., & Rohde, W. (2015).** Proteome analysis for understanding abiotic stress (salinity and drought) tolerance in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *International Journal of Genomics*, 2015, 407165. <https://doi.org/10.1155/2015/407165>
- El Rabey, H. A., Al-Malki, A. L., & Abulnaja, K. O. (2016).** Proteome analysis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) under severe drought and salt stress. *International Journal of Genomics*, 2016, 7840759. <https://doi.org/10.1155/2016/7840759>
- Etesami, H., Noori, F. (2019).** Soil Salinity as a Challenge for Sustainable Agriculture and Bacterial-Mediated Alleviation of Salinity Stress in Crop Plants. In: Kumar, M., Etesami, H., Kumar, V. (eds) *Saline Soil-based Agriculture by Halotolerant Microorganisms*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8335-9_1
- Flowers, T.J. (2004).** Improving crop salt tolerance', *Journal of Experimental Botany*, 55(396), pp. 307–319. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh003>.

- Goossens, J., Fernández-Calvo, P., Schweizer, F., & Goossens, A. (2016).** Jasmonates: signal transduction components and their roles in environmental stress responses. *Plant molecular biology*, 91(6): 673–689. <https://doi.org/10.1007/s11103-016-0480-9>
- Hassan, M. U., Chattha, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Barbanti, L., Aamer, M., ... Aslam, M. T. (2021).** Heat stress in cultivated plants: nature, impact, mechanisms, and mitigation strategies—a review. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 155(2): 211–234. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1727987>
- Heath R. L. and Packer L. (1968).** Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch Biochem. Biophys.* 125:189–198.
- Ihsan, M. Z., Daur, I., Alghabari, F., Alzamanan, S., Rizwan, S., Ahmad, M., ... Shafqat, W. (2019).** Heat stress and plant development: role of sulphur metabolites and management strategies. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 69(4): 332–342. <https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1569715>
- Kapardar, R. K., Ranjan, R., Grover, A., Puri, M., & Sharma, R. (2010).** Identification and characterization of genes conferring salt tolerance to *Escherichia coli* from pond water metagenome. *Bioresource Technology*, 101(11): 3917–3924. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.017>
- Kumar, I., Rao, S. and Vardhini, B. (2015).** Role of Phytohormones during Salt Stress Tolerance in Plants. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 9(4): 334–343.
- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. (1996).** NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance', *Annals of Botany*, 78(3): 389–398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>
- Munns, R. and Tester, M. (2008).** Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1): 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015).** Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research International*, 22(6): 4056–4075. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1>
- Polavarapu, B. K. K. (2015).** Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00544>

- Rahneshan, Z., Nasibi, F. and Moghadam, A.A. (2018).** Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. Journal of Plant Interactions, 13(1): 73–82. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1424355>
- Resan, A. Z., Gabash, H. M., Lafta, A. Y., & Al-Tamimi, H. M. A. (2026).** Proteomic responses of tissue-cultured date palm (*Phoenix dactylifera* L. cv. Barhi) to salinity, drought, and heavy metal stress. Pakistan Journal of Agricultural Research, 39(1):179-186. <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2026/39.1.179.186>
- Shareef, H. J., & Al-Khayri, J. M. (2021).** Salt and drought stress exhibits oxidative stress and modulated protein patterns in roots and leaves of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). Acta Agriculturae Slovenica, 117(1): 1-10. <https://doi.org/10.14720/aas.2021.117.1.1829>
- Sperling, O., Lazarovitch, N., Schwartz, A., & Shapira, O. (2014).** Effects of high salinity irrigation on growth, gas-exchange, and photoprotection in date palms (*Phoenix dactylifera* L., cv. Medjool). Environmental and Experimental Botany, 99: 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.014>
- Suhim, A. A., Awad, K. M., Jaffer, O. N., & Abass, M. H. (2023).** Impact of salicylic and jasmonic acid in mitigating salinity stress on date palm *Phoenix dactylifera* L. Barhi CV. Basrah Journal of Agricultural Sciences, 36(1): 120–130. <https://doi.org/10.37077/25200860.2023.36.1.10>
- Suhim, A.A., Abbas, K.F. and Al-Jabary, K.M.A. (2017).** Oxidative responses and genetic stability of date palm *Phoenix dactylifera* L. Barhi cv. under salinity stress. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 7(8): 70–80.
- Torabi, M., Ridzwan, A.H., Aliakbar, M. and Miri, Y. (2013)** Physiological and biochemical responses of plants in saline environment. In: Crop Biology and Agriculture in Harsh Environments. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, pp. 47-80. ISBN 9783659376917
- War, A. R., Paulraj, M. G., War, M. Y., & Ignacimuthu, S. (2011).** Role of salicylic acid in induction of plant defense system in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant Signaling & Behavior, 6(11): 1787–1792. <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.1768>
- Watanabe S., Kojima K., Ide Y. and Sasaki S. (2000).** Effect of saline and osmotic stress on proline and sugar accumulation in *Populus euphratica* in vitro. Plant Cell Tissue Organ Cult. 63:199-206.

Effects of Amino Acids and Salicylic Acid on Biochemical Responses and Genetic Stability of Tissue-Cultured Date Palm Offshoots Under Salt Stress

Rasha H. Shanshol Aqeel A. Suhim* Mohammed A. H. Alnajjar

Department of Horticulture and Landscape, College of Agriculture, University of Basrah, Basrah, Iraq.

*Corresponding author: aqeel.suhaim@uobasrah.edu.iq

Abstract

The present study was conducted at the Department of Horticulture and Landscape, College of Agriculture, University of Basrah, on three-year-old tissue culture-derived date palm offshoots (*Phoenix dactylifera* L., cv. Barhee). It aimed to evaluate the effects of amino acid and salicylic acid foliar application on alleviating salinity stress during the 2025–2026 growing season. Plants were irrigated with saline water at 10 dS m⁻¹ (100 mM), and treated with amino acid mixture (0, 100, 200 mg L⁻¹) and salicylic acid (0, 100, 200 mg L⁻¹). Results showed that the combined application of 200 mg L⁻¹ amino acids and 200 mg L⁻¹ salicylic acid significantly improved biochemical traits. This treatment produced the highest total chlorophyll content (5.318 mg g⁻¹) and soluble protein content (5.446 mg g⁻¹), while reducing proline to 3.766 mg g⁻¹ and lipid peroxidation to 2.043 mg g⁻¹, and enhancing membrane stability index to 71%. SDS-PAGE analysis revealed 43 protein bands, indicating changes in protein expression under salinity and treatments. Cluster analysis grouped treatments into two main clusters; notably, the combination of 100 mg L⁻¹ salicylic acid and 200 mg L⁻¹ amino acids formed a distinct group with a genetic stability index of 0.8%. Overall, salinity induced noticeable biochemical and genetic alterations, whereas amino acids and salicylic acid effectively mitigated stress effects and improved plant performance and genetic stability.

Keywords: Salinity stress, Date palm, Amino acids, Salicylic acid, SDS-PAGE.

Comprehensive Evaluation of Nutritional Quality, Phytochemical Profile, Antioxidant Activity, and Microbial Safety of Date Palm Sap from Different Cultivars

Hagir M. Abdallah^{*1}, Laila Abosella², Abdalbasit A. Mariod³, and Hanan I. Shuwat⁴

^{*1} Department of Health Nutrition-Faculty of public Health- Aljmail- Sabratha University- Sabratha/ Libya

² Department of Pharmaceautical Chemistry-Faculty of Pharmacy- Aljmail / Sabratha University/Sabratha/ Libya

³ Department of Biological Science-College of Science- University of Jeddah- Jeddah- Saudi Arabia

⁴ Department of Chemistry-Faculty of Science- Misurata University/ Misurata/ Libya

*Corresponding author: drhajarsalih@gmail.com

Abstract

This study evaluated the nutritional quality and health safety of date palm sap from four Libyan cultivars (Amy, Bekrari, Dokar, and Tabony) and one Tunisian Bekrari sample. Chemical analyses showed significant variation among samples, with Dokar sap recording the highest total solids content (27.55 °Brix), while exhibiting the lowest total acidity (0.065%) and pH (7.00). Phytochemical screening revealed high levels of glycosides, phenols, and flavonoids in all samples. The Libyan Bekrari sap contained the highest total polyphenol content (10.81 mg GAE/g). Mineral analysis demonstrated that date sap is a rich source of essential minerals, particularly potassium, calcium, and phosphorus. Microbiological examination detected coliform bacteria ($45-551 \times 10^2$ CFU/ml) and yeasts and molds ($2-73 \times 10^2$ CFU/ml) in the analyzed samples, whereas *Escherichia coli* was absent in all cases. These findings highlight the nutritional and functional value of date sap but also indicate concerns regarding microbial contamination. The study emphasizes the need for improved hygienic practices during sap collection, handling, and packaging to enhance product safety and shelf life. Furthermore, the results provide important baseline data that may support the development of quality standards and safety regulations for date palm sap intended for human consumption in Libya.

Keywords: date sap, flavonoids, chemical composition, nutritional value, functional foods.

Introduction

The date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.), often referred to as the "Tree of Life," has been cherished since ancient times as one of the earliest fundamental natural foods. The date palm is a source of many food products, such as dates, sugar, date kernel oil, and date sap (Mahomoodally et al., 2023). Date palm sap juice (known as Lagmi in Libya) is a natural drink rich in energy and nutrients and has many health benefits. It is also a value-added palm tree product. Global production of date sap has seen rapid growth in recent years due to its distinctive sensory properties and high sugar content. Date sap juice is rich in natural sugars, minerals, phenolic compounds, and antioxidants, which contribute to its nutritional value and potential health benefits, including energy provision and antioxidant activity (Aparnna, et al., 2023). Furthermore, date palm sap is a naturally renewable resource that can be processed with minimal industrial input, supporting sustainable food production systems (Ansar et al., 2021; Saputro et al., 2017). In Arab nations, especially in the northwest region of Africa, date sap is a vital and revitalizing beverage in the summer months, when it is traditionally harvested by slicing the stem of a date palm tree. The date palm produces about 8-10 liters of date sap per day (Sarkar et al., 2023, Sarma et al., 2022). The amount of production varies depending on the types of palm trees, the season, and the time of extraction (morning and evening). The period of collecting date sap may extend from one month to 6 months from the same palm tree (Sarma, et al., 2022). Although date sap is extracted and consumed as a refreshing natural juice in Libya, there are several research gaps that need to be addressed, such as investigating the chemical properties, nutritional value, and microbial content of date sap extracted from different Libyan date varieties. The date sap juice is negatively affected by the microbial population, especially bacteria and yeasts. The microbiological quality of date palm sap plays a decisive role in determining its suitability for consumption as a fresh beverage. Date sap is highly susceptible to microbial contamination due to its high sugar content and near-neutral pH, which favors the growth of bacteria, yeasts, and molds (Djermal, et al., 2025). The rapid fermentation of date sap juice by natural microorganisms and the lack of modern technical methods for collecting and preserving, in addition to the lack of people's knowledge of its nutritional value and health benefits, are among the most important reasons for not getting the maximum benefit from this beverage (Aparnna et al., 2024). Although date sap has been collected and consumed as fresh natural juice for many decades in Libya, and

despite the technological and marketing progress in the field of food manufacturing, there have not been many recent studies on date sap in Libya in order to value this nutritious natural product.

This study aimed to evaluate the chemical, phytochemical, mineral, and microbiological characteristics of date palm sap from different cultivars to assess its nutritional value, safety for human consumption, and potential use in developing quality standards.

Materials and Methods

Traditional date palm sap extraction method (cutting stem method):

In this traditional method, the farmer makes an incision at the upper part of the date palm trunk to allow the sap to flow, which is then collected in a container attached to the tree. This technique is considered efficient, as it yields substantial quantities of date sap without causing significant damage to the palm. After collecting sap from several date palm trees of the same cultivar, the sap is pooled into a single container, then filtered and manually filled into plastic bottles, and finally stored under freezing conditions, and subsequently sold at local points of sale as a fresh, refreshing beverage.

Sample collection

Date palm sap samples were collected from local retail outlets in the Zliten region (150 km away from the capital, Tripoli, on the western coast of Libya), where the sap is traditionally extracted by farmers and sold chilled or frozen at points of sale. To ensure sample integrity, only freshly refrigerated samples were selected at the time of purchase. The samples were transported to the laboratory in insulated and ice-cooled containers to minimize temperature fluctuations and microbial changes. Upon arrival, samples were kept under refrigerated conditions (4 °C) and analyzed at the same day. All samples were handled under hygienic conditions throughout transportation and preparation to prevent external contamination. As for the Tunisian date sap sample, it was purchased from Gabes, Tunisia, and it is also transported under the same isolated and refrigerated conditions and kept refrigerated during analysis.

Chemical analysis:

All chemical analysis was determined using standard analytical procedures described by (AOAC, 2023).

Total Soluble Solids (TSS): The Rhino Brix refractometer HR-150N/Rhino technology (Brix scale 0-80%) was used to determine TSS date sap samples.

Titrateable acidity (TA): was determined by the titration method using NaOH (0.1 N) and phenolphthalein as indicators.

pH: pH measurement was conducted using calibrated digital pH meter (SensoDirect 150, Multi-Parameter Meter, Tintometer GmbH, United Kingdom).

Moisture Content: Determined using an ATG high-temperature oven (Shanghai, China). 5 g of the sample was dried at 135 °C for 2 hours until a constant weight was reached.

Ash Content: Determined using a ZE electric muffle furnace (Italy). 5 g of the sample was placed in a pre-weighed crucible and incinerated at 550 °C for 6 hours. After cooling in a desiccator, the residue was weighed, and ash content was expressed as (%).

Protein content was determined using the micro Kjeldahl method, which involves three main steps: digestion, distillation, and titration. Protein content was calculated using a conversion factor of 6.25.

Fat content: was determined using the Soxhlet extraction method. Fat content was expressed as grams of fat per 100 g of sample (g/100 g).

Fibers: Crude fiber content was determined using the acid–alkali digestion method. Crude fiber content was calculated as a percentage of the original sample weight.

Carbohydrate: the percentages of moisture, crude protein, crude fat, fiber and ash were determined using standard analytical procedures (AOAC, 2023). The total carbohydrate content was then calculated by subtracting the sum of these components from 100, according to the following equation:

$$\text{Total carbohydrates (\%)} = 100 - (\% \text{ moisture} + \% \text{ protein} + \% \text{ fat} + \% \text{ ash} + \% \text{ fiber})$$

Mineral concentrations: were determined using a flame photometer (BWB Technologies, England). Quantification was carried out by comparing sample readings with calibration curves constructed from standard solutions of each mineral (according to Harborne, 1998).

Phytochemical Identification Tests: Qualitative phytochemical screening was carried out using the methanolic extract of the samples to identify major bioactive constituents as follows:

Alkaloids: Two milliliters of the extract were mixed with 2 mL of dilute hydrochloric acid and heated in a water bath. The mixture was filtered, and a few drops of Mayer's or Wagner's reagent were added to the filtrate. The formation of a white or brown precipitate indicated the presence of alkaloids.

Flavonoids: Two milliliters of the extract were treated with 1 mL of 10% sodium hydroxide solution. The appearance of a yellow coloration that disappeared upon the addition of diluted hydrochloric acid confirmed the presence of flavonoids.

Tannins: A few drops of 1% ferric chloride solution were added to 2 mL of the extract. The development of a blue-black or green coloration indicated the presence of tannins.

Saponins: Two milliliters of the extract were vigorously shaken with 5 mL of distilled water for 30 seconds. The persistence of stable froth for at least 10 minutes indicated the presence of saponins.

Glycosides: The extract was treated with glacial acetic acid containing ferric chloride, followed by the careful addition of concentrated sulfuric acid along the side of the test tube. The formation of a brown ring at the interface indicated the presence of glycosides.

Determination of Total Polyphenol Content

Total polyphenols were determined using the Folin–Ciocalteu method. Polyphenolic compounds were extracted using methanol. An aliquot (0.5 mL) of the extract was mixed with 2.5 mL of diluted Folin–Ciocalteu reagent (1:10, v/v). After 5 minutes, 2 mL of 7.5% sodium carbonate solution were added. The mixture was incubated at room temperature in the dark for 30 minutes. Absorbance was measured at 695 nm using a spectrophotometer. Total polyphenol content was calculated from a standard calibration curve (gallic acid) and expressed as mg gallic acid equivalents (GAE) per gram of sample (Gutfinger, 1981).

Determination of Total Antioxidant Capacity (Phosphomolybdenum Assay): Total antioxidant capacity was evaluated using the phosphomolybdenum method. The reagent solution consisted of 0.6 M sulfuric acid, 28 mM sodium phosphate, and 4 mM ammonium molybdate. One milliliter of the extract was combined with 3 mL of the reagent and incubated in a water bath at 95°C for 90 minutes. After cooling to room temperature, absorbance was measured at 695 nm. Antioxidant capacity was expressed relative to a standard calibration curve prepared using ascorbic acid.

Energy content: The energy content was determined via a CALO-3 bomb calorimeter, which is used to measure the heat of combustion when placed in a reaction container surrounded by water, where the substance and oxygen gas are placed and heated until the substance combusts, as the

temperature of the water surrounding the reaction container increases; then, the combustion temperature is calculated according to the following equation:

$$Q = mC_p\Delta T$$

Where

Q = heat absorbed by water, m = mass of water in grams, $C_p = 1$ Cal/g °C, ΔT = change in temperature

Microbiological analysis:

Microbiological analysis was performed using Compact Dry™ plates (Nissui Pharmaceutical Co., Japan) a rapid ready-to-use test system for the enumeration of aerobic colony count (TC), coliforms, *E. coli*, yeasts, and molds according to (Mizuochi, et al., 2016). One ml of each sample was aseptically homogenized with 9 ml of sterile buffered peptone water to obtain a 10^{-1} dilution, followed by preparation of appropriate serial dilutions. One ml of each dilution was inoculated onto Compact Dry Total Count (TC), Compact Dry Coliforms/ *E. coli* (CF/EC), and Compact Dry Yeast and Molds (YM) plates. The plates were incubated according to the manufacturer's instructions at 35–37 °C for 24–48 h for TC, coliforms, and *E. coli*, and at 25 ± 1 °C for 3–5 days for yeasts and molds. After incubation, characteristic colonies were counted, and microbial loads were expressed as colony-forming units per ml (CFU/ml) of sample.

Statistical analysis: In this study, ANOVA table and LSD test was used. Chemical analysis results of this study (for 3 replicates) were subjected to statistical analysis using the SPSS program (version 21). An LSD test was conducted at a significant level of $p \leq 0.05$ to identify statistically significant differences among the mean values. The results were expressed as mean \pm standard deviation.

Results and Discussion

Quality characteristic:

The percentage of total solids reflects the concentration of sugars in the date sap juice, which is an indicator of the degree of sweetness and nutritional value, while the acidity and pH affect the sensory properties, especially the taste, as well as the microbial quality characteristics and fermentation speed. The findings presented in Table (1) illustrate the chemical quality attributes of the date sap juice samples. Significant variations exist due to genetic differences (cultivars).

Sample D showed the highest sugar concentration, likely due to superior photosynthetic efficiency. It was found that the Dokar sample had the highest percentage of total solids (27.55 ± 0.071) and the lowest percentage of acidity (0.06 ± 0.007) and was characterized by a neutral pH of (7.00 ± 0.007), while the Tunisian date sap sample showed the highest average acidity and a low pH (0.22 ± 0.007 and 5.02 ± 0.007 , respectively). Date sap samples in this study had pH values near neutral except Tabony and Tunisian sample (Bekrari) as shown in table (1).

Table (1) Quality characteristics of date palm sap samples

Sample	TSS (Brix ⁰)	pH	Acidity% (as malic acid)
A	22.10 ± 0.141^c	6.12 ± 0.000^c	0.15 ± 0.028^b
B	25.05 ± 0.071^b	7.30 ± 0.021^a	0.04 ± 0.020^d
D	27.55 ± 0.070^a	7.00 ± 0.007^b	0.08 ± 0.021^c
T	18.60 ± 0.142^d	5.84 ± 0.042^d	0.13 ± 0.026^b
T0	24.75 ± 0.072^b	5.05 ± 0.035^e	0.22 ± 0.029^a
P-value	0.000	0.000	0.000
Comment	S	S	S

The ANOVA test (F test) was used at the 0.05 significant level, with * meaning significantly different and ** highly significantly different. P-value ≥ 0.05 . A, B, D, T, T0 are date palm sap samples (according to variety) where: A: Amy, B: Bekrari, D: Dokar (male date tree), T: Tabony (Libyan varieties), T0: Bekrari sample from Qabes/ Tunisia

The pH values recorded in this study showed a broader variation compared to the results of Zango et al. (2020), who reported a pH of 6.55. This divergence is likely due to differences in cultivar characteristics, soil composition, and the environmental conditions. It is also obvious that there is a significant difference between samples in the mean of TSS, pH, and Acidity all p-values are equal to 0.000 less than 0.05. According to Shanta et al. (2021), the total soluble solids (TSS) and acidity of fresh date palm juice were found to be 9.0 and 0.12, respectively. From the results obtained in the above table it is evident that Dokar and Bekrari samples are characterized by the super quality attributes among the samples under study.

Chemical composition

A significant difference between samples in the means of chemical composition was observed; all p-values ≥ 0.001 . The date sap sample was characterized by moderate high-water content. It was found that the moisture content ranged between 69.89 ± 0.014 and $81.11 \pm 0.007\%$. For ash content, the Amy date sap sample recorded the highest reading ($3.50 \pm 0.007\%$), which is considered an indicator of the content of date sap of minerals and salts. The results further indicated that Dokar sample recorded the highest carbohydrate, fiber, and energy content (24.47%, 1.53%, and 108.32 kcal/100ml, respectively). The Dokar sample (D) is the sweetest sample among the tested samples. The Bekrari sample from Tunisia was distinguished by the highest protein content (6.02%) (Table 2).

Table (2) Chemical composition and total energy content of date sap samples

Sample	Moisture%	Ash%	Carbohydrate %	Protein%	Fat%	Fiber%	Total energy (kcal/100 ml)
A	77.00 ± 0.007^b	3.50 ± 0.007^a	14.61 ± 0.049^d	3.54 ± 0.035^b	0 \pm 0	1.35 ± 0.014^b	72.60 ± 0.057^d
B	72.70 ± 0.007^d	1.30 ± 0.014^c	22.92 ± 0.028^b	1.91 ± 0.014^c	0 \pm 0	1.17 ± 0.007^c	99.32 ± 0.057^b
D	69.89 ± 0.014^c	1.51 ± 0.007^d	24.47 ± 0.049^a	2.60 ± 0.007^c	0 \pm 0	1.53 ± 0.035^a	108.28 ± 0.17^a
T	81.11 ± 0.007^a	2.93 ± 0.021^b	13.02 ± 0.035^e	2.22 ± 0.021^d	0 \pm 0	0.72 ± 0.028^d	60.96 ± 0.226^e
T0	73.53 ± 0.014^c	1.57 ± 0.021^c	17.77 ± 0.057^c	6.02 ± 0.007^a	0 \pm 0	1.11 ± 0.014^c	95.16 ± 0.198^c
P-value	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000
Comment	S	S	S	S		S	S

ANOVA test (F test) was used at 0.05 significant level, S \equiv significant different, NS \equiv Non-significance differences A, B, D, T, T0 are date palm sap samples where: A: Amy, B: Bekrari, D: Dokar (male date tree), T: Tabony, T0: (Bekrari sample) from Qabes, Tunisian.

As is known, water is very important in diets as it is a natural source for hydrating the body, maintaining its vital functions, transporting nutrients, and eliminating waste. It also helps regulate body temperature, which is what makes date juice a refreshing drink, especially in the scorching summer heat. In terms of ash content, the results of this study (ranging from 1.30% to 3.50%) were higher than the findings reported by Sarkar et al. (2023), who found an ash content of 1.8%.

This discrepancy is particularly evident in the Amy cultivar, which recorded the highest ash content at 3.50%. Such variations likely arise from differences in soil mineral composition, cultivar types, and geographical locations. According to Dirkes et al. (2021), the sweetness of date sap is primarily due to its high sugar content, which constitutes a major portion of its total carbohydrates. From a nutritional point of view, date palm sap is a natural beverage rich in sugars, which are a major source of immediate energy for the body; essential minerals that help balance electrolytes in the body; soluble fiber, which improves digestive health and bowel movements; and proteins, which play a crucial role in building and repairing tissues and cells and producing enzymes and hormones (Mahomoodally et al., 2023; Hai et al., 2024).

Phytochemical screening:

The phytochemical compounds present in date sap samples were examined to gain insights into their characteristics. Although some differences were observed during qualitative evaluation, the analysis showed strong positive results for some active chemical compounds, especially glycosides (+++). Compared to the other samples in this study, Amy's date sap sample exhibited medium and strong values of flavonoids, phenols, and alkaloids (Table 3).

Table (3) Preliminary phytochemical screening of active chemical components of date sap samples

Samples	Flavonoids	Phenols	Alkaloids	Glycosides	Saponins	Tannins
A	+++	++	++	+++	+	-ve
B	++	++	-ve	+++	+	++
D	-ve	++	-ve	+++	+	+++
T	++	-ve	+	+++	++	++
T0	-ve	-ve	-ve	+++	++	+++

(-ve, +, ++, +++) represent qualitative intensity levels of active phytochemical compounds.

Flavonoids have anti-inflammatory and antioxidant properties, which improve cognitive function and contribute to cardiovascular health (Li et al., 2018). The strength of antioxidant activity is

linked to the presence of phenolic compounds, flavonoids, and tannins, as the removal of free radicals is directly linked to these compounds (Kruk et al, 2022). It should be noted that environmental conditions at the time of sap collection such as temperature, humidity, and seasonal variations, can influence the concentration and activity of these phytochemicals. For example, higher temperatures and prolonged exposure during collection may lead to slight degradation of sensitive compounds, whereas cooler conditions may help preserve antioxidant constituents. Flavonoids are known for their anti-inflammatory and antioxidant properties, contributing to cardiovascular health and cognitive function (Ben Rawat et al., 2025). The strength of antioxidant activity is closely linked to the presence of phenolic compounds, flavonoids, and tannins, as these compounds play a direct role in free radical scavenging (Kruk et al., 2022).

4. Polyphenols and antioxidants:

The results presented in Table (4) demonstrate a highly significant variation ($p < 0.000$) in the total polyphenol content among the investigated date sap samples. Sample B exhibited the most robust phenolic profile (10.817 ± 0.741 mg GAE/g), which was significantly higher than all other treatments. This diversity in TPC can be attributed to the genetic variation between cultivars, physiological maturity of the palm at the time of tapping, and potential environmental stressors that stimulate the phenylpropanoid pathway, leading to increased secondary metabolite production. In contrast, the antioxidant activity showed no statistically significant differences across all samples ($p = 0.072$). Although Sample B had a nominally higher value (0.28 ± 0.03), the lack of significance (NS) suggests that the antioxidant capacity in date sap may be influenced by a complex synergistic effect of various bioactive constituents beyond just total phenols. These constituents may include melanoidins formed during sap handling or water-soluble vitamins. Furthermore, this outcome implies that while the quantity of polyphenols varies significantly by variety, the fundamental antioxidant potential remains relatively stable, ensuring a consistent functional value for the sap regardless of the source cultivar.

Table (4) Determination of polyphenols and antioxidants

	Polyphenols (mg/ GAE/g)	Antioxidants (mg/GAE/g)
A	2.017±0.341 ^d	0.20±0.03
B	10.817±0.741 ^a	0.28±0.03
D	0.090±0.025 ^c	0.23±0.02
T	6.876±0.544 ^b	0.23±0.02
T0	4.563±2.220 ^c	0.25±0.05
P-value	0.000	0.072
Comment	S	NS

ANOVA test (F test) was use at 0.05 significant level, S ≡significant different, NS ≡ non-significant different

Date sap is known to contain chemically active compounds such as flavonoids and polyphenols, which are known for their health benefits in improving cardiovascular health (Jim et al., 2025). Al-Shwyeh, (2019), showed that the high levels of flavonoids in date sap were accompanied by high antioxidant activity and free radical inhibition, this result making date sap a promising drink for fighting cancer. Antioxidants and polyphenols are of great importance in promoting human health due to their ability to combat oxidative stress, which is the main cause of many diseases (Rudrapal, et al., 2022). Many studies have indicated that antioxidants and polyphenols are linked to reducing the risk of many chronic diseases such as cardiovascular disease, improving levels of beneficial HDL cholesterol, and preventing the formation of blood clots. Some types of antioxidants also help reduce the mutation of cells into cancerous cells, combat aging, and support digestive health through their positive effect on the gut microbiome, which in turn converts it into more effective bioactive compounds (Giurranna et al., 2024; Feldman et al., 2021; Serino & Salazar, 2018).

Mineral content:

The mineral composition of date sap samples (Table 5) revealed significant diversity ($p < 0.000$) across all tested elements. Potassium was the most abundant mineral, ranging from 435.00 to 585.50 ppm. This aligns with previous studies on *Phoenix dactylifera* products, which typically identify potassium as the primary inorganic constituent. Notably, the negligible concentrations of sodium across most samples (specifically A, D, and T) result in a high K:Na ratio, a key metric for evaluating the cardioprotective potential of functional foods. Furthermore, the variation in Magnesium levels—peaking at 86.50 ppm in Sample (T) suggests that different date varieties or sap collection methods significantly influence the micronutrient density. The high Phosphorus content in Sample T0 (539.50 ± 0.71 ppm) further distinguishes it as a potential source of dietary minerals compared to refined sweeteners. These results indicate that date palm sap is not merely a source of carbohydrates (as shown in Table 2) but also a complex matrix of essential minerals, particularly for potassium and magnesium. Significant differences ($P \geq 0.05$) were detected between samples in term of mineral content, this difference may be due to the difference in varieties, environmental conditions and soil type.

Table (5) Minerals content (ppm)

Sample	P	K	Mg	Na	Ca
A	476.50 ± 0.707^b	435.00 ± 2.828^d	16.00 ± 1.414^d	0.00 ± 0.000^c	70.25 ± 0.04^a
B	471.00 ± 2.828^c	581.50 ± 2.121^a	17.50 ± 0.707^d	1.75 ± 0.071^b	51.34 ± 0.34^e
D	381.50 ± 2.121^d	585.50 ± 0.707^a	66.50 ± 2.121^b	0.00 ± 0.000^c	61.77 ± 0.67^b
T	252.00 ± 4.243^e	442.00 ± 2.828^c	86.50 ± 2.121^a	0.00 ± 0.000^c	60.03 ± 0.03^c
T0	539.50 ± 0.707^a	499.50 ± 0.707^b	18.00 ± 1.414^c	3.30 ± 0.141^a	56.79 ± 0.09^d
P-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Comment	S	S	S	S	S

ANOVA test (F test) was use at 0.05 significant level, * ≡ significant different, ** ≡ Highly significant differences

The high K:Na ratio is highly desirable in modern diets. High potassium intake is linked to reduced blood pressure and lower cardiovascular risk, mention that date sap acts as a "natural

electrolyte" source (Souza et al., 2025). The mineral profile is characterized by an exceptionally high potassium-to-sodium ratio. This suggests that date sap could serve as a functional ingredient in hypertension-friendly diets, where low sodium and high potassium are essential for osmotic balance. Magnesium is a cofactor for over 300 enzyme systems. Phosphorus is vital for ATP production and bone health. Compare these to other saps (like maple or coconut sap). Usually, date sap is richer in phosphorus than many other palm saps, which adds to its value as a nutrient-dense beverage (Barbagallo et al., 2023). Calcium is often a limiting factor in plant-based diets. Even at ppm levels, the presence of calcium in a liquid sweetener adds to the "ash content," representing higher overall mineral density compared to refined sugars. Date sap juice contains a group of minerals necessary for human health as it is rich in potassium, which is necessary for muscle contraction and heart health, and calcium. Date sap is also abundant in phosphorus and magnesium (Al-Okbi, 2022).

Microbiological contamination:

The microbiological profile (Table 6) highlights a significant disparity in the microbial load among the samples. The absence of *E. coli* across all treatments is a crucial indicator of the biological safety of the sap for human consumption. However, the high Total Colony Count (TCC) in Sample B (415×10^2 CFU/ml) suggests a high susceptibility to microbial proliferation, likely due to its high nutrient density. Regarding Yeasts and Molds, Sample T0 exhibited the lowest microbial density (0.02×10^2 CFU/ml). This observation correlates strongly with the physicochemical findings in Table 1, where T0 showed the lowest pH and highest acidity. This acidic environment likely acted as a bio-preservative, inhibiting the growth of acid-sensitive microorganisms.

Table (6) Microbiological analysis: (CFU/ml, 10^2)

Sample	Total Count	Colony	Total Coliforms	Yeasts and Molds	E. coli
A	1.03		0.69	0.73	N.D.
B	415.00		1.03	0.36	N.D.
D	21.00		5.51	0.24	N.D.

T	1.12	0.45	0.51	N.D.
T0	1.25	N.D.	0.02	N.D.

Harper et al. (2022) and Reuben et al. (2019) confirmed that *Leuconostoc spp.*, (one of the fermenting lactic acid bacteria strains) showed anti-*E. coli* activity, which may explain the absence of it in the date sap samples under study. Since the presence of bacteria and yeasts has a significant impact on the fermentation of date sap and the conversion of sugars into alcohol, it can be confirmed that contamination of date sap with bacteria and yeasts has a significant impact on its chemical and sensory quality and suitability for consumption. According to international guidelines for fresh juices and beverages, the absence of *E. coli* is a key requirement for consumer safety, whereas elevated total microbial and yeast counts may limit shelf life and marketability unless appropriate hygienic controls are applied. It should be noted that date sap in Libya collected and packaged using traditional, non-sterilized containers, which likely contributed to the observed microbial loads and may not fully reflect the intrinsic microbial quality of freshly exuded sap. Therefore, under current traditional handling practices, fresh date sap may pose quality and safety challenges for direct commercialization. However, the implementation of improved hygienic collection methods, use of sterilized containers, rapid cooling, or mild preservation treatments could significantly reduce microbial contamination and enhance its potential as a safe and marketable fresh beverage.

Conclusion

This study has proven that date sap is a rich source of easily absorbed carbohydrates, proteins, and essential minerals like potassium and calcium, in addition to its good content of chemically active compounds such as phenolic compounds and antioxidants. From all of this, we conclude that date sap juice is a unique beverage that is more than just a refreshing summer drink; it extends to form a functional product that offers health advantages, positioning it as a potential choice in the sustainable food and beverage industry. The study recommends the development of strict protocols for the safety of date sap to ensure its continued production as a high-quality and safe product for consumers, thus strengthening its position as a sustainable product with high nutritional and functional value. Rather, it extends to form a functional product with health benefits, making it a promising option in the sustainable beverage market. This supports its

position as a sustainable product with high nutritional and functional value, while emphasizing the development of effective extraction methods that do not harm the palm tree.

References

- Al-Okbi SY. (2022).** Date Palm as Source of Nutraceuticals for Health Promotion: a Review. *Curr Nutr Rep.* 2022 Dec;11(4):574-591. doi: 10.1007/s13668-022-00437-w. Epub 2022 Sep 20. PMID: 36125704; PMCID: PMC9750914.
- Al-Shwyeh HA. (2019).** Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruit as Potential Antioxidant and Antimicrobial Agents. *J Pharm Bioallied Sci.* 2019 Jan-Mar;11(1):1-11. doi: 10.4103/jpbs.JPBS_168_18. PMID: 30906133; PMCID: PMC6394164.
- Ansar, Nazaruddin, Azis, A.D. & Fudholi, A. (2021).** Enhancement of bioethanol production from palm sap (*Arenga pinnata* (Wurmb) Merr) through optimization of *Saccharomyces cerevisiae* as an inoculum. *Journal of Materials Research and Technology.* 14:548-554. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.085>
- AOAC International (2023).** Official Methods of Analysis of AOAC International. 22nd Edition, Latimer Jr., G. W. Ed., AOAC International.
- Aparna V. P. Kumar Chauhan A. Singh S. (2024).** Palm-based beverages around the world: a review. *Curr. Nutr. Food Sci.* 20, 16–27. <https://doi.org.10.2174/1573401319666230417083106>
- Barbagallo M, Veronese N, Dominguez LJ. (2023).** Magnesium-An Ion with Multiple Invaluable Actions, Often Insufficiently Supplied: From In Vitro to Clinical Research. *Nutrients.* 13;15(14):3135. <https://doi.org.10.3390/nu15143135>. PMID: 37513553; PMCID: PMC10385004.
- Djemal, S., Gdoura, M., Mathlouthi, N. E., Gdoura, R., Cassagne, C., Oumarou Hama, H. (2025).** The microbiota of fresh unfermented date palm sap: a culturomics and metagenomics investigation. *bioRxiv* 2025.01.10.632404; <https://doi.org/10.1101/2025.01.10.632404>
- De Vaugelade, S., Aime, M., Farcette, N., Maurel, E., Lacour, T., Thomas, C., Bouchonnet, S., & Pirnay, S. (2017).** Comparison of the compact dry TC method with the standard
-

method ISO 21149:2006 for determining aerobic colony counts in cosmetic emulsion. International Journal of Cosmetic Science, 39(1), 17–24. <https://doi.org/10.1111/ics.12343>

Dirkes, R. · Neubauer, P.R. · Rabenhorst, J. (2021). Pressed sap from oil palm trunks: a revolutionary growth medium for the biotechnological industry Biofuels, Bioprod.. *Biorefining*. 2021; 15:931-944

Djaoudene, O., Rodríguez-Solana, R., & Romano, A. (2026). Valorization of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruits and By-Products as High-Value Sustainable Products: A Comprehensive Review on Bioactive Composition, Health Benefits, and Industrial Applications. *Molecules*, 31(7), 1194. <https://doi.org/10.3390/molecules31071194>

Giurranna E, Nencini F, Bettiol A, Borghi S, Argento FR, Emmi G, Silvestri E, Taddei N, Fiorillo C, Becatti M. (2024). Dietary Antioxidants and Natural Compounds in Preventing Thrombosis and Cardiovascular Disease. *Int J Mol Sci*. 2024 Oct 25;25(21):11457. doi: 10.3390/ijms252111457. PMID: 39519009; PMCID: PMC11546393.

Gutfinger, T. (1981). Polyphenols in olive oil. *Journal of the American Chemists Society*, 58, (11): 966-968.

Hai, A., Rambobu. K., Al Dhaheri, A. S., Kurup, S. S. S., Banat, F. (2024). Tapping into palm sap insights to extract practical, quality profiles of fermentation chemistry and preservation techniques. *Heliyon Journal*, 10, 15e35611.

Harper, A.R.; Dobson, R.C.J.; Morris, V.K.; Moggré, G. (2022). Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria. *Microbial Biotechnology*, 2022, 15, 1404–1421.

Jim EL, Jim EL, Wildan A, Santini A, Nurkolis F. (2025). Nature's Cardioprotective Sweetness: A Review of Dates as Functional Food in Hypertension. *Foods*, 8;14(24):4208. <https://doi.org.10.3390/foods14244208> . PMID: 41464915; PMCID: PMC12731471.

Kruk J, Aboul-Enein BH, Duchnik E, Marchlewicz M. (2022). Antioxidative properties of phenolic compounds and their effect on oxidative stress induced by severe physical exercise. *J Physiol Sci*, 5;72(1):19. <https://doi.org.10.1186/s12576-022-00845-1> . PMID: 35931969; PMCID: PMC10717775.

-
- Li, B., Gao, X., Li, N., Mei, J. (2018).** Fermentation process of mulberry juice-whey based Tibetan Kefir Beverage production, Czech Journal of Food Science, 36: 494–501 <https://doi.org/10.17221/468/2017-CJFS> .
- Mahomoodally, M. F., Khadaroo, S. K., Hosenally, M., Zengin, G., Rebezov, M., Shariati, M. A., Khalid, A., Abdalla, A. N., Algarni, A. S. & Simal-Gandara, J. (2023)** Nutritional, medicinal and functional properties of different parts of the date palm and its fruit (*Phoenix dactylifera* L.)—A systematic review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, <https://doi.org.10.1080/10408398.2023.2191285>
- Mizuochi S, Nelson M, Baylis C, Jewell K, Green B, Limbum R, Fernandez MC, Salfinger Y, Chen Y. (2016).** Matrix Extension Study: Validation of the Compact Dry TC Method for Enumeration of Total Aerobic Bacteria in Selected Foods. J AOAC Int. 99(2):461-8. <https://doi.org.10.5740/jaoacint.15-0267> Epub 2016 Mar 10. PMID: 26965401.
- Plummer, D. T. (1990).** An Introduction to Practical Biochemistry, 179 Third Edition
- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999).** Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. Analytical Biochemistry, 269(2), 337–341. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>
- Rawat, P., Dasila, K., Singh, M. Kuniyal, J. (2025).** Influence of environmental factors on phytochemical compositions and antioxidant activity of *Juniperus communis* L. Discov Environ, 3, 11 (2025). <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00189-8>
- Reuben, R.C.; Roy, P.C.; Sarkar, S.L.; Alam, R.-U.; Jahid, I.K. (2019).** Isolation, characterization, and assessment of lactic acid bacteria toward their selection as poultry probiotics. BMC Microbiology, 19, 253.
- Rudrapal M, Khairnar SJ, Khan J, Dukhyil AB, Ansari MA, Alomary MN, Alshabrmi FM, Palai S, Deb PK, Devi R. (2022).** Dietary Polyphenols and Their Role in Oxidative Stress-Induced Human Diseases: Insights Into Protective Effects, Antioxidant Potentials and Mechanism(s) of Action. Front Pharmacol. 2022 Feb 14;13:806470. <https://doi.org.10.3389/fphar.2022.806470>. PMID: 35237163; PMCID: PMC8882865.
-

-
- Saputro, A.D., Van de Walle, D., Aidoo, R.P., et al. (2017).** Quality attributes of dark chocolates formulated with palm sap-based sugar as nutritious and natural alternative sweeteners. *European Food Research and Technology*, 243, 177–191 (2017). <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2734-9>
- Sarkar, T. · Mukherjee, M. · Roy, S. (2023).** Palm sap sugar is an unconventional source of sugar exploration for bioactive compounds and its role on functional food development. *Heliyon*. 2023; 9, e14788
- Sarma, C., Mummaleti, G., Sivanandham, V., Kalakandan, S., Rawson, A., Anandharaj, A. (2022).** Anthology of palm sap: The global status, nutritional composition, health benefits & value-added products. *Trends in Food Science & Technology*, 119: 530-549. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.002>
- Serino A, Salazar G. (2028).** Protective Role of Polyphenols against Vascular Inflammation, Aging and Cardiovascular Disease. *Nutrients*. 2018 Dec 28;11(1):53. <https://doi.org/10.3390/nu11010053> . PMID: 30597847; PMCID: PMC6357531.
- Shanta, F. H., Rahut, B. K., Islam, M. J., Azad, M. O. K., Sohel, M. A. T., Rajib, M. R. R., Shams-Uddin, M., & Adnan, M. (2021).** Development of value-added drinks from date palm juice (*Phoenix sylvestris*). *Heliyon*, 7(11), e08322. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08322>
- Souza, A. M., Bezerra, I. W. L., Torres, K. G., Pereira, G. S., Costa, R. M., & Oliveira, A. G. (2025).** Association of Dietary Sodium-to-Potassium Ratio with Nutritional Composition, Micronutrient Intake, and Diet Quality in Brazilian Industrial Workers. *Nutrients*, 17(15), 2483. <https://doi.org/10.3390/nu17152483>
- Zongo O., Cruvellier N., Leray F., Bideaux C., Lesage J., Zongo C., Traoré Y., Savadogo A., Guillouet S. (2020).** Physicochemical composition and fermentation kinetics of a novel palm sap-based kefir beverage from the fermentation of *Borassus aethiopum* Mart. fresh sap with kefir grains and ferments. *Scientific African*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00631> .
-

تقييم شامل للجودة الغذائية والمحتوى الكيميائي والنشاط المضاد للأكسدة والسلامة الميكروبية لعصارة نخيل التمر من أصناف مختلفة

هاجر محمد صالح عبد الله^{1*} ليلي ابو سلة² عبد الباسط ادم مريود³ حنان ابراهيم شواط⁴

¹ قسم التغذية الصحية/كلية الصحة العامة-الجميل/جامعة صبراتة/ صبراتة/ ليبيا

² قسم الكيمياء الصيدلانية/كلية الصيدلة-الجميل/جامعة صبراتة/صبراتة/ ليبيا

³ قسم علوم الحياة/كلية العلوم/جامعة جدة/جدة/المملكة العربية السعودية

⁴ قسم الكيمياء/كلية العلوم/جامعة مصراتة/مصراتة/ليبيا

*الباحث المراسل drhajarsalih@gmail.com

الخلاصة

قيم هذا البحث الجودة الغذائية والسلامة الصحية لعصارة نخيل التمر من أربعة أصناف ليبية (Amy و Bekrari و Dokar و Tabony) وعينة واحدة من صنف Bekrari التونسي. أظهرت التحاليل الكيميائية تبايناً ملحوظاً بين العينات، حيث سجلت عصارة صنف Dokar أعلى محتوى من المواد الصلبة الكلية (27.55 درجة بريكس)، في حين أظهرت أدنى قيم للحموضة الكلية (0.065%) ودرجة الحموضة (7.00). وكشفت الفحوصات الكيميائية النباتية عن مستويات مرتفعة من الغليكوسيدات والفينولات والفلافونويدات في جميع العينات. كما احتوت عصارة صنف Bekrari الليبي على أعلى محتوى من متعددات الفينول (10.81 ملغم/GAE غم). وأوضحت التحاليل المعدنية أن عصارة التمر تُعد مصدراً غنياً بالعناصر المعدنية الأساسية، ولا سيما البوتاسيوم والكالسيوم والفوسفور. وأظهرت الفحوصات الميكروبيولوجية وجود بكتيريا القولون (45-551 × 10² CFU/مل) والخمائر والعفن (2-73 × 10² CFU/مل) في العينات المدروسة، في حين لم يتم الكشف عن الإشريكية القولونية في أي منها. وتبرز هذه النتائج القيمة الغذائية والوظيفية لعصارة التمر، لكنها تشير أيضاً إلى مخاوف تتعلق بالتلوث الميكروبي. كما تؤكد الدراسة على ضرورة تحسين الممارسات الصحية أثناء جمع العصارة ومعالجتها وتعبئتها لتعزيز سلامة المنتج وإطالة مدة صلاحيته. إضافة إلى ذلك، توفر النتائج بيانات أساسية مهمة يمكن أن تدعم تطوير معايير الجودة ولوائح السلامة الخاصة بعصارة نخيل التمر المخصصة للاستهلاك البشري في ليبيا.

الكلمات المفتاحية: عصارة التمر، الفلافونويدات، التركيب الكيميائي، القيمة الغذائية، الاغذية الوظيفية.

Effect of hot water infusion of roasted date palm seeds on improving insulin sensitivity and alleviating high-carbohydrate diet-induced hyperglycaemia in rats

*Chukwuma Raphael Ekeanyanwu Njoku-Henry, Doris Obiageri

*Department of Biochemistry, Imo State University, Owerri, Imo State, Nigeria

*Corresponding author: ekeanyanwu.chukwuma@imsuonline.edu.ng

Abstract

The antihyperglycaemic potential of hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* (date palm) seeds (HAERD) was evaluated in high-carbohydrate diet (HCD)-induced hyperglycaemic male Wistar rats. Doses of 200 and 500 mg/kg body weight were selected based on previous studies on date seed infusions and to establish a clear dose-response relationship. After 8 weeks of HCD feeding to induce hyperglycaemia, rats were treated orally with HAERD (200 and 500 mg/kg), metformin (150 mg/kg), or vehicle for 21 days. HAERD produced significant dose-dependent reductions in fasting blood glucose ($p < 0.05$), with the 500 mg/kg dose returning values to near normal by Week 6. The infusion also significantly improved serum insulin concentrations and HOMA-IR index in a dose-dependent manner ($p < 0.05$), approaching the effects of metformin. Furthermore, HAERD normalized the serum lipid profile by significantly lowering total cholesterol, triglycerides, LDL-C, and VLDL-C ($p < 0.0001$). It restored antioxidant enzyme activities (SOD, CAT, GPx) and markedly reduced malondialdehyde (MDA) levels ($p < 0.0001$). Treatment with HAERD also significantly decreased liver enzymes (ALT, AST, ALP) and bilirubin levels ($p < 0.0001$), accompanied by recovery of total protein and albumin. Histopathological examination revealed dose-dependent regenerative changes and near-normal tissue architecture in the liver, kidney, and heart at the 500 mg/kg dose, comparable to the metformin-treated group. These results demonstrate that HAERD exerts robust multi-target metabolic benefits antihyperglycaemic, hypolipidaemic, antioxidant, and multi-organ protective effects in HCD-induced hyperglycaemia. The 500 mg/kg dose showed efficacy approaching that of metformin ($p < 0.05$). The findings support the traditional use of roasted date palm seed infusion and its potential as a sustainable, affordable nutraceutical for managing hyperglycaemia and associated complications.

Keywords: *Phoenix dactylifera*, date palm seeds, hot water infusion, high-carbohydrate diet, hyperglycaemia, antihyperglycaemic, metformin.

Introduction

Type 2 diabetes mellitus has emerged as one of the most pressing public health challenges worldwide. According to the International Diabetes Federation, approximately 537 million adults were living with diabetes in 2021, with projections estimating a rise to 783 million by 2045 (Aebi *et al.*, 1984). The burden is particularly severe in low- and middle-income countries, where over 80% of cases occur. In Nigeria, the prevalence has risen dramatically in recent decades due to rapid urbanization, dietary shifts toward high-carbohydrate diets, and sedentary lifestyles. Current estimates indicate that Nigeria has one of the highest diabetes burdens in sub-Saharan Africa, with approximately 3 – 5 million adults affected and urban prevalence rates ranging from 5% to 10% (Uloko *et al.*, 2018; IDF, 2021). Conventional antidiabetic agents remain the cornerstone of therapy but have notable limitations. Metformin, the first-line drug, primarily acts by suppressing hepatic gluconeogenesis and improving peripheral insulin sensitivity through activation of AMP-activated protein kinase (AMPK). Sulfonylureas stimulate insulin secretion from pancreatic β -cells by closing ATP-sensitive potassium channels, leading to membrane depolarization and calcium influx. Insulin therapy directly replaces or supplements endogenous insulin to promote glucose uptake and inhibit hepatic glucose production. While effective, these agents are frequently associated with adverse effects including gastrointestinal intolerance (metformin), hypoglycaemia and weight gain (sulfonylureas and insulin), and high treatment costs, which compromise long-term adherence, especially in resource-limited settings (Maruthur *et al.*, 2016). These challenges have intensified interest in natural products from traditionally used medicinal plants, particularly those derived from underutilised agro-industrial waste. The seeds of the date palm (*Phoenix dactylifera L.*), which constitute 10–15% of the fruit and are frequently discarded as waste, have a long history of use in Middle Eastern and North African ethnomedicine for the management of diabetes and metabolic disorders (Vayalil, 2012; Shah *et al.*, 2023). Recent research has highlighted the rich phytochemical profile of date palm seeds, including polysaccharides, phenolic acids, flavonoids, and unsaturated fatty acid esters (Alkhoori *et al.*, 2022; Mrabet *et al.*, 2020; Salomón-Torres *et al.*, 2019; Manai *et al.*, 2024). Several studies have reported hypoglycaemic, hypolipidaemic, and antioxidant activities of date seed extracts in streptozotocin- or high-fat diet-induced diabetic models (Hasan and Mohieldei, 2016; Khan *et al.*, 2018). Similar investigations on Nigerian medicinal plants such as *Vernonia amygdalina* and *Gongronema latifolium* have demonstrated significant antihyperglycaemic and antioxidant effects

in high-carbohydrate diet models (Atangwho *et al.*, 2012; Okon *et al.*, 2022). Building on preliminary phytochemical and in silico findings showing a methyl oleate-rich profile with strong binding to pancreatic α -amylase, the present study evaluated the in vivo efficacy of the hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD) in a high-carbohydrate diet (HCD)-induced hyperglycaemia model. High-carbohydrate diet (HCD)-induced hyperglycaemia in Wistar rats closely recapitulates key metabolic features of human type 2 diabetes, including glucose intolerance, insulin resistance, dyslipidaemia, and oxidative stress (Skovsø, 2014). The present study investigated the antihyperglycaemic, hypolipidaemic, antioxidant, and multi-organ protective effects of HAERD (200 and 500 mg/kg) in HCD-induced hyperglycaemic male Wistar rats, using Metformin (150 mg/kg) as a positive control. By evaluating glycaemic control, insulin sensitivity, lipid profile, oxidative stress markers, liver function parameters, and histopathological changes in liver, kidney, and heart over 21 days of treatment, this work aims to provide comprehensive preclinical validation of the traditional use of roasted date palm seed infusion and to explore its potential as a sustainable, affordable nutraceutical for managing hyperglycaemia and associated metabolic complications.

Materials and Methods

Materials

Equipment

All experimental procedures, including animal housing, diet preparation, treatment administration, biochemical assays, and histopathological evaluation, were performed using standard laboratory equipment available at the Department of Biochemistry Laboratory, Imo State University, Owerri, Nigeria, and the Multi-User Science Laboratory, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria. The major equipment included a Memmert oven (Germany), Kenwood electric grinder Model BL335 (UK), Endecotts 1 mm sieve (UK), Haier refrigerator (China), Tecniplast standard plastic cages with stainless steel wire lids (Italy), a locally fabricated hand-operated pelleting machine, Roche handheld glucometer (Switzerland), Thermo Fisher Scientific spectrophotometer (USA), Eppendorf refrigerated centrifuge (Germany), Leica Microsystems rotary microtome (Germany), Olympus Corporation light microscope with digital photomicrographic system (Japan), and Whatman No. 1 filter paper (UK).

Reagents/chemicals

Reagents and chemicals were sourced from verified reputable suppliers and used strictly according to the manufacturers' instructions and within their expiry periods. The major reagents included glucose assay kits (GOD-POD method) from Randox Laboratories Ltd. (UK), lipid profile kits (total cholesterol, triglycerides, HDL-C, LDL-C) from Fortress Diagnostics Ltd. (UK), liver function assay kits (ALT, AST, ALP) from Agappe Diagnostics (Switzerland), insulin ELISA kits from Elabscience Biotechnology Inc. (USA), thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) reagents for malondialdehyde (MDA) assay, Ellman's reagent (DTNB) for glutathione determination, catalase and superoxide dismutase assay reagents from Sigma-Aldrich (Germany), 10% neutral-buffered formalin and phosphate-buffered saline from Merck (Germany), and analytical-grade ethanol, methanol, sulfuric acid, trichloroacetic acid, and n-butanol from Merck (Germany).

Plant Material

Source and Identification of *Phoenix dactylifera* Seeds: Dry fruits of *Phoenix dactylifera* (date palm) were purchased from a reputable local market in Kano State, Nigeria. The seeds were manually separated from the fruit pulp, thoroughly washed with distilled water to remove any adhering fruit residues, and air-dried at room temperature. Botanical identification and authentication were carried out by Dr C.I.N Unamba, a plant taxonomist at the Department of Plant Science and Biotechnology (Botany), Imo State University, Owerri, Nigeria. A voucher specimen (Voucher No.: IMSU/PSB/PHOENIX/024) was deposited in the university herbarium for future reference.

Experimental Animals

Healthy adult male Wistar albino rats (*Rattus norvegicus*), weighing 106 – 163 g at the start of the study, were procured from the Animal House Unit, Department of Anatomy, Imo State University, Owerri, Nigeria. Upon arrival, the animals were housed in clean, well-ventilated standard plastic cages with stainless steel wire lids and wood shavings as bedding. They were maintained under controlled environmental conditions: temperature 22 ± 2 °C, relative humidity $55 \pm 10\%$, and a 12-h light/12-h dark cycle. The rats were allowed two weeks of acclimatization to laboratory conditions with free access to standard rat chow (Vital Feed, Nigeria) and clean drinking water *ad libitum* before the commencement of the experiment. All procedures involving animals were conducted in accordance with internationally accepted principles for the use and

care of laboratory animals and were approved by the Institutional Animal Ethics Committee (IAEC).

Methods

Ethical approval

The National Institute of Health Care's Guide for the Care and Use of Laboratory Animals (NRC, 2011) was followed in this investigation. The study will comply with IACUC, NIH, and ARRIVE 2.0 guidelines (Percie du Sert *et al.*, 2020).

Preparation of Hot Water Infusion of Roasted Date Seeds

Dry fruits of *Phoenix dactylifera* were purchased from a local market in Kano State, Nigeria. Seeds were manually separated from the pulp, thoroughly washed with distilled water to remove residual sugars and adhering matter, and air-dried under shade at ambient temperature (25–28 °C) for 10–14 days until constant weight was attained. The dried seeds were roasted in a controlled electric oven at 180 °C for 25 min to reduce antinutritional factors, enhance palatability, and improve the release of bound phenolics while preserving thermolabile bioactives (Al Juhaimi *et al.*, 2018; Halabi *et al.*, 2024). After cooling, the seeds were milled into fine powder and sieved to uniform particle size. The hot water infusion was prepared using a modified traditional decoction method. Briefly, 100 g of roasted seed powder was added to 1 L of boiling distilled water and maintained at gentle boiling for 60 min with occasional stirring. The mixture was cooled, filtered through Whatman No. 1 filter paper, concentrated under reduced pressure at 40 °C using a rotary evaporator, and lyophilized to obtain a dry powder. The infusion (HAERD) was stored in amber-coloured airtight containers at 4 °C until use. The detailed phytochemical composition and chemical characterization of the hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD), including GC–MS analysis, were performed and are reported in a separate companion manuscript submitted to the *Basrah Journal of Date Palm Research* (Ekeanyanwu and Njoku-Henry, submitted).

Formulation of High-Carbohydrate Diet

A high-carbohydrate diet (HCD) was formulated to induce hyperglycaemia and insulin resistance in Wistar rats. The basal rodent chow (Vital Feed, Nigeria) was supplemented with refined sucrose and maize starch as primary carbohydrate sources, partially replacing protein- and fat-

rich ingredients. Based on a study by Ble-Castillo *et al.*, (2012) the final diet composition was adjusted such that carbohydrates contributed about 65% of the total caloric content, while maintaining adequate protein (19%), lipids (6%), total caloric energy (3,900 kcal/kg), and micronutrient levels suitable for long-term feeding. All ingredients were accurately weighed, thoroughly mixed in a mechanical blender to ensure homogeneity, moistened with warm distilled water, and pelletized using a hand-operated pelleting machine to produce uniform cylindrical pellets (approximately 10–12 mm diameter). The pellets were air-dried at room temperature for 12 h and then oven-dried at 50 °C for 24 h to reduce moisture content below 10%, thereby preventing microbial growth and ensuring stability. Hyperglycaemia was induced by feeding the HCD *ad libitum* for 8 consecutive weeks. Fresh diet was provided daily, and drinking water was available *ad libitum*. Body weight and general health were monitored weekly. This prolonged high-carbohydrate regimen has been shown to progressively impair glucose tolerance, reduce insulin sensitivity, and produce sustained fasting hyperglycaemia that closely mimics early-stage type 2 diabetes (Skovsø. 2014; Komiyama *et al.*, 2002; Dupas *et al.*, 2016).

Experimental design

Thirty-six adult male Wistar albino rats (106 – 163 g) were used in this study. After one week of acclimatization, the animals were randomly assigned to six experimental groups (n = 6 per group) using a computer-generated random number sequence to ensure unbiased allocation. The groups were as follows:

- Group 1 (Normal control): Fed standard laboratory chow and received vehicle (distilled water) orally.
- Group 2 (HCD control): Fed high-carbohydrate diet (HCD) and received vehicle orally.
- Group 3 (HCD + Low-dose HAERD): Fed HCD and treated orally with hot water infusion of roasted date palm seeds (HAERD) at 200 mg/kg body weight.
- Group 4 (HCD + High-dose HAERD): Fed HCD and treated orally with HAERD at 500 mg/kg body weight.
- Group 5 (HCD + Positive control): Fed HCD and treated orally with metformin (150 mg/kg body weight).

- Group 6 (Normal + HAERD): Fed standard laboratory chow and treated orally with HAERD at 500 mg/kg body weight (safety/toxicity control group).

Hyperglycaemia was induced in Groups 2 – 5 by exclusive ad libitum feeding of the formulated HCD for eight consecutive weeks as previously described (Ble-Castillo et al., 2012; Skovsø, 2014). Successful induction was confirmed at the end of week 8 by measuring fasting blood glucose levels (≥ 150 – 180 mg/dL) using tail-vein sampling and a calibrated handheld glucometer. The treatment phase lasted 21 days and commenced immediately after confirmation of hyperglycaemia. During this period, Groups 3 – 5 continued receiving the HCD while being administered their respective treatments once daily by oral gavage between 08:00 and 10:00 h. The hot water infusion was freshly reconstituted in sterile distilled water immediately before administration. The gavage volume did not exceed 10 mL/kg body weight and was adjusted daily based on the most recent body weight. Groups 1 and 2 received the vehicle only. Group 6 continued on standard chow and received the infusion at 500 mg/kg to evaluate its effects in normoglycaemic animals. Body weight, food intake, and fasting blood glucose levels were monitored weekly throughout the study. Humane endpoints were predefined and included sustained body weight loss $\geq 20\%$ within 7 days, severe lethargy, persistent diarrhoea, impaired mobility, or any signs of acute distress. Animals reaching these endpoints were immediately humanely euthanized. Personnel involved in biochemical assays and histopathological evaluation were blinded to treatment allocation wherever feasible to minimise observer bias. At the study endpoint (day 22), animals were fasted overnight, anaesthetised with ketamine/xylazine, and euthanised by cardiac exsanguination. Blood and major organs (liver, kidneys, and heart) were collected for biochemical and histopathological analyses.

Induction of Hyperglycaemia

Hyperglycaemia was induced in Groups 2–5 by exclusive ad libitum feeding of the formulated high-carbohydrate diet (HCD) for eight consecutive weeks, with free access to drinking water. This prolonged high-carbohydrate regimen has been shown to progressively impair glucose tolerance, reduce insulin sensitivity, and produce sustained fasting hyperglycaemia that closely mimics early-stage type 2 diabetes (Skovsø, 2014; Dupas *et al.*, 2016). Body weight and food intake were monitored weekly to assess nutritional status and detect any feeding abnormalities.

Fasting blood glucose levels were measured at baseline and at the end of week 8 using tail-vein blood sampling and a calibrated handheld glucometer after overnight fasting (12 h, water ad libitum). Successful induction was confirmed when fasting blood glucose reached ≥ 150 – 180 mg/dL. Animals that did not meet this criterion after eight weeks were excluded from the treatment phase.

Sample Collection

At the study endpoint (day 22), animals were fasted overnight (12 h), deeply anaesthetised with ketamine/xylazine administered intraperitoneally, and humanely euthanised by cardiac exsanguination. Terminal blood samples were collected via cardiac puncture and immediately transferred into appropriate tubes. Serum was obtained by allowing blood to clot at room temperature for 30–45 min, followed by centrifugation at $3000 \times g$ for 10–15 min at 4°C . The resulting serum was aliquoted and stored at -80°C until analysis for glucose, insulin, lipid profile, liver enzymes, and oxidative stress markers. Multiple aliquots were prepared to avoid repeated freeze–thaw cycles. Immediately after blood collection, a midline abdominal incision was made, and the liver, kidneys, and heart were carefully excised. Organs were rinsed briefly in ice-cold physiological saline (0.9% NaCl), blotted dry on sterile filter paper, and weighed to determine absolute and relative organ weights. Representative sections (approximately 1 cm^3) from each organ were fixed in 10% neutral-buffered formalin (fixative volume $\geq 10 \times$ tissue volume) for 48 h. Fixed tissues were processed using standard histological techniques (graded ethanol dehydration, xylene clearing, paraffin embedding), sectioned at $5\ \mu\text{m}$ thickness, and stained with haematoxylin and eosin (H&E) for microscopic evaluation (Suvarna *et al.*, 2019). All samples were labelled with a unique animal identifier, group, sample type, and collection date to ensure full traceability and reproducibility.

Biochemical Analysis

Biochemical analyses were performed on serum and 10% (w/v) tissue homogenates prepared in ice-cold phosphate-buffered saline (PBS, pH 7.4) containing protease inhibitors. All assays were conducted in duplicate using validated commercial enzymatic colorimetric or immunoassay kits according to the manufacturers' protocols. Each run included multi-point calibration curves, reagent blanks, and quality control samples to ensure accuracy and precision (intra-assay CV $< 10\%$, inter-assay CV $< 15\%$).

Fasting Blood Glucose

Fasting blood glucose was measured at baseline, weekly during the 8-week induction phase, and at the end of the 21-day treatment using tail-vein blood sampling after overnight fasting (12 h). Glucose levels were determined immediately with a calibrated handheld glucometer (Accu-Chek or equivalent). For endpoint confirmation, serum glucose was quantified using the glucose oxidase–peroxidase (GOD-POD) enzymatic colorimetric method with a commercial kit (Randox Laboratories Ltd., UK) and measured spectrophotometrically at 505 nm (Tietz, 1995).

Serum Insulin and HOMA-IR

Serum insulin concentrations were quantified using a rat-specific sandwich ELISA kit (Merckodia or Elabscience). The Homeostatic Model Assessment of Insulin Resistance (HOMA-IR) was calculated as:

$$\text{HOMA-IR} = [\text{fasting insulin } (\mu\text{IU/mL}) \times \text{fasting glucose (mg/dL)}] / 405 \text{ (Kang } et al., 2005).$$

Lipid Profile

Serum total cholesterol (TC), triglycerides (TG), and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) were measured using enzymatic colorimetric kits (Randox or Fortress Diagnostics). Low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) and very-low-density lipoprotein cholesterol (VLDL-C) were calculated using the Friedewald equation when $\text{TG} < 400 \text{ mg/dL}$:

$$\text{LDL-C} = \text{TC} - \text{HDL-C} - (\text{TG}/5)$$

$$\text{VLDL-C} = \text{TG}/5 \text{ (Friedewald } et al., 1972).$$

2.2.7.4 Oxidative Stress Markers

Malondialdehyde (MDA) was determined as thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) using the method of Ohkawa *et al.* (1979). Superoxide dismutase (SOD) activity was assayed by the pyrogallol auto-oxidation method (Marklund and Marklund, 1974), catalase (CAT) activity by the Aebi method (Aebi, 1984), and reduced glutathione (GSH) using Ellman's reagent (DTNB) (Ellman, 1959). All results were expressed per mg protein or per mL serum after protein quantification by the Bradford method.

Histological Examination

Immediately after sacrifice, the liver, kidneys, and heart were harvested, gently rinsed in ice-cold normal saline to remove residual blood, and fixed in 10% neutral-buffered formalin for 24 – 48 h. Fixed tissues were dehydrated through a graded ethanol series (70–100%), cleared in xylene, infiltrated with molten paraffin wax at 56 – 60 °C, and embedded in paraffin blocks. Sections were cut at 5 µm thickness using a rotary microtome, floated on a warm water bath, mounted on glass slides, and stained with haematoxylin and eosin (H&E). Stained slides were examined under a light microscope at ×40, ×100, ×200, and ×400 magnifications. Histopathological evaluation focused on tissue architecture, cellular morphology, necrosis, steatosis, inflammation, sinusoidal changes, tubular integrity, and myocardial fibre organisation. Representative photomicrographs were captured using a digital imaging system for documentation and qualitative comparison (Suvarna *et al.*, 2019).

Statistical Analysis

All quantitative data were expressed as mean ± standard deviation (SD). Normality of distribution was assessed using the Shapiro–Wilk test, supplemented by visual inspection of histograms. Statistical analyses were performed using GraphPad Prism software (GraphPad Software, San Diego, CA, USA). Comparisons among the six experimental groups were conducted using one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey’s honestly significant difference (HSD) post-hoc test when the overall F-test was significant ($p < 0.05$). Repeated-measures data (body weight and fasting blood glucose over time) were analysed using two-way repeated-measures ANOVA with Sidak’s or Tukey’s post-hoc tests. A two-tailed p -value < 0.05 was considered statistically significant. Levels of significance were denoted as * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, and **** $p < 0.0001$ versus the respective control group.

Results

Effects of Roasted Date Seed Infusion on Body Weight in Hyperglycaemic Wistar Rats

The body weight progression of Wistar rats during the six-week experimental period is presented in Table 1. Data are expressed as mean ± standard deviation. Sample size was $n = 6$ rats per group during the pre-induction and induction phases (Weeks 1–3). One-way repeated-measures ANOVA was performed separately for each group to evaluate the effect of time on body weight. Significant time-dependent increases were observed in the normal control group (Group 1; $F = 3.97$, $p = 0.0070$) and especially in the HAERD-only group (Group 6; $F = 7.82$, $p = 0.0001$). No

significant overall time effects were detected in the HCD control (Group 2; $F = 0.39$, $p = 0.8504$), low-dose HAERD (Group 3; $F = 2.02$, $p = 0.1084$), high-dose HAERD (Group 4; $F = 1.73$, $p = 0.1582$), or metformin (Group 5; $F = 0.82$, $p = 0.5478$) groups. During the pre-induction (Week 1) and induction phases (Weeks 2–3), body weights remained relatively stable across all groups with only minor fluctuations. Following initiation of treatment in Week 4, progressive increases became evident in several groups. The normal control (Group 1) showed a moderate but consistent rise, reaching statistical significance by Week 6. Group 6 (HAERD-only, 500 mg/kg) exhibited the most pronounced and statistically distinct stepwise weight gain ($p = 0.0001$), increasing from 122.8 ± 11.1 g (Week 1) to 163.4 ± 18.4 g (Week 6). Group 5 (metformin) displayed a numerical increase from Week 4 onward with high variability, though the overall time effect was not statistically significant. Groups 3 and 4 showed modest upward trends during the treatment phase, while the HCD control group (Group 2) remained largely stable throughout the experiment ($p = 0.8504$).

Effects of Roasted Date Seed Infusion on Blood Glucose Levels in Wistar Rats

Blood glucose levels during the six-week experimental period are presented in Table 2. During the pre-induction (Week 1) and induction phases (Weeks 2–3), most HCD-fed groups exhibited a significant rise in fasting blood glucose, consistent with the metabolic stress of sustained high-carbohydrate intake. Group 5 showed the highest variability and peak value in Week 3 (180.3 ± 115.4 mg/dL), largely due to an extreme individual reading. In contrast, the normal control (Group 1) and HAERD-only (Group 6) groups maintained stable glucose levels throughout induction. Following treatment initiation in Week 4, blood glucose levels stabilized or declined in the HCD-fed groups, with statistically significant time effects observed in Group 2 ($F = 5.26$, $p = 0.0014$), Group 3 ($F = 5.85$, $p = 0.0009$), and Group 4 ($F = 2.80$, $p = 0.0343$). The HCD control group (Group 2) peaked at 121.7 ± 5.6 mg/dL in Week 4 before returning toward baseline by Week 6. Both low-dose (Group 3) and high-dose (Group 4) HAERD groups showed progressive reductions, with Group 4 achieving the most consistent decline. Group 5 also exhibited a numerical decrease, though high variability limited statistical significance. Groups 1 and 6 remained stable throughout the treatment phase.

Effect of Roasted Date Seed Infusion on Serum Insulin and HOMA-IR in Diet-Induced Hyperglycaemic Wistar Rats

Serum insulin concentration and the homeostatic model assessment of insulin resistance (HOMA-IR) index are presented in Figure 1. The high-carbohydrate diet (HCD) control group showed markedly reduced serum insulin levels (0.95 ± 0.10 ng/mL) compared with the normal control group (3.29 ± 0.14 ng/mL, $p < 0.05$). Treatment with hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD) produced a dose-dependent increase in serum insulin. The 200 mg/kg dose raised insulin to 1.61 ± 0.15 ng/mL, while the 500 mg/kg dose further increased it to 1.93 ± 0.04 ng/mL, a value comparable to the metformin-treated group (1.78 ± 0.08 ng/mL). The HAERD-only group (500 mg/kg) recorded the highest insulin level (3.81 ± 0.12 ng/mL). A parallel pattern was observed for the HOMA-IR index. The HCD control group exhibited a significantly lower index (0.24 ± 0.02) than the normal control (0.80 ± 0.04 , $p < 0.05$). HAERD treatment improved HOMA-IR in a dose-dependent manner, reaching 0.43 ± 0.04 at 200 mg/kg and 0.49 ± 0.01 at 500 mg/kg, values similar to metformin (0.48 ± 0.02). The HAERD-only group showed the highest HOMA-IR index (0.99 ± 0.03).

Serum Lipid Profile in Hyperglycaemic Wistar Rats Treated with Roasted Date Seed Infusion

Serum lipid profile results are presented in Table 3. The high-carbohydrate diet (HCD) control group developed significant dyslipidaemia, characterised by elevated total cholesterol (81.31 ± 3.07 mg/dL), triglycerides (103.76 ± 4.68 mg/dL), LDL-C (8.97 ± 3.10 mg/dL), and VLDL-C (20.75 ± 0.94 mg/dL) compared with the normal control group ($p < 0.05$). Treatment with hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD) for 21 days produced dose-dependent improvements in the lipid profile. Both 200 mg/kg and 500 mg/kg doses significantly reduced total cholesterol, triglycerides, LDL-C, and VLDL-C relative to the HCD control group. The high-dose HAERD (500 mg/kg) achieved reductions comparable to the metformin-treated group (150 mg/kg), particularly in triglycerides. The HAERD-only group (500 mg/kg) maintained a lipid profile similar to the normal control. One-way ANOVA revealed highly significant differences among groups for total cholesterol ($F = 38.92$, $p < 0.0001$), triglycerides ($F = 118.45$, $p < 0.0001$), LDL-C ($F = 6.78$, $p = 0.0009$), and VLDL-C ($F = 118.45$, $p < 0.0001$), with significant differences also observed for HDL-C ($F = 7.84$, $p = 0.0004$). Post-hoc Tukey's test confirmed that means with different superscript letters within the same parameter differ significantly ($p < 0.05$).

Serum Antioxidant Enzyme Activities and Lipid Peroxidation in Hyperglycaemic Wistar Rats Treated with Roasted Date Seed Infusion

Serum antioxidant enzyme activities (GPx, SOD, and catalase) and the lipid peroxidation marker malondialdehyde (MDA) are presented in Table 4. The high-carbohydrate diet (HCD) control group exhibited significantly reduced GPx (32.25 ± 1.71 U/L), SOD (27.75 ± 1.89 U/L), and catalase (21.75 ± 0.50 U/L) activities, accompanied by elevated MDA levels (4.91 ± 0.08 mg/dL) compared with the normal control group ($p < 0.0001$). Treatment with hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD) for 21 days restored antioxidant enzyme activities in a dose-dependent manner. The 200 mg/kg dose increased GPx to 39.00 ± 1.41 U/L, SOD to 31.50 ± 1.29 U/L, and catalase to 21.00 ± 1.41 U/L, while reducing MDA to 4.23 ± 0.07 mg/dL. The 500 mg/kg dose further improved these parameters (GPx 39.25 ± 2.50 U/L, SOD 31.25 ± 2.87 U/L, catalase 22.00 ± 0.82 U/L) and lowered MDA to 4.14 ± 0.05 mg/dL, values comparable to the metformin-treated group (150 mg/kg). The HAERD-only group (500 mg/kg) showed the highest antioxidant enzyme activities and the lowest MDA level (3.00 ± 0.17 mg/dL). One-way ANOVA revealed highly significant differences among the experimental groups for all parameters ($p < 0.0001$).

Serum Liver Function and Protein Profile in Hyperglycaemic Wistar Rats Treated with Roasted Date Seed Infusion

Serum liver function enzymes (ALT, AST, and ALP) and protein profile are presented in Table 5. The high-carbohydrate diet (HCD) control group showed significantly elevated liver enzyme activities (ALT 92.50 ± 3.70 U/L, AST 107.75 ± 3.86 U/L, ALP 147.00 ± 10.20 U/L) and total bilirubin (1.19 ± 0.05 mg/dL) compared with the normal control group ($p < 0.0001$). Total protein and albumin levels were also lower in the HCD control.

Treatment with hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD) for 21 days produced dose-dependent reductions in liver enzyme activities and bilirubin, accompanied by recovery of total protein and albumin. The 500 mg/kg dose reduced ALT to 81.50 ± 4.73 U/L, AST to 83.75 ± 3.59 U/L, and ALP to 117.50 ± 2.08 U/L, with values comparable to the metformin-treated group (150 mg/kg). The HAERD-only group (500 mg/kg) maintained liver enzyme activities and protein levels similar to the normal control. One-way ANOVA revealed highly significant differences among the experimental groups for all parameters ($p < 0.0001$).

Histopathological changes

Histopathological examination of the liver, kidney, and heart (H&E staining, $\times 400$ magnification) is presented in Figure 2. The normal control group (Group 1) showed typical tissue architecture across all organs. In contrast, the HCD control group (Group 2) exhibited clear degenerative changes, including hepatic necrosis and fat deposition around central veins, disruption of renal corpuscles with glomerular distortion and tubular damage, and myocardial fibre disorganization with widened interfibrillar spaces. Treatment with hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD) produced dose-dependent regenerative effects. At 200 mg/kg (Group 3), partial recovery was observed with reduced necrotic areas in the liver, improved glomerular and tubular integrity in the kidney, and decreased myocardial disarray. At 500 mg/kg (Group 4), regeneration was more advanced and near-complete, with restoration of normal lobular architecture in the liver, intact renal corpuscles and tubules in the kidney, and well-arranged myocardial fibres in the heart. The metformin-treated group (Group 5) showed substantial recovery comparable to the high-dose HAERD group. The HAERD-only group (Group 6) displayed normal histological features across all organs with no pathological changes, confirming the safety of the infusion at the therapeutic dose.

Table 1: Body weight progression (g) in Wistar rats with high-carbohydrate diet-induced hyperglycaemia treated with hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (mean \pm SD, n = 6 per group)

Week	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6
Week 1 (Pre)	120.8 \pm 10.2 ^a	118.2 \pm 22.0 ^a	121.7 \pm 22.1 ^a	117.8 \pm 14.1 ^a	130.0 \pm 27.0 ^a	122.8 \pm 11.1 ^a
Week 2 (Induction)	122.7 \pm 9.2 ^a	125.7 \pm 9.5 ^a	125.3 \pm 19.2 ^a	117.5 \pm 14.4 ^a	126.2 \pm 28.6 ^a	117.5 \pm 13.3 ^a
Week 3 (2nd Induction)	128.7 \pm 7.5 ^{ab}	118.7 \pm 22.8 ^a	130.0 \pm 14.8 ^a	125.0 \pm 7.1 ^{ab}	137.5 \pm 29.8 ^a	131.7 \pm 12.5 ^b
Week 4 (Treatment Week 1)	138.3 \pm 10.8 ^{bc}	106.3 \pm 25.8 ^a	137.4 \pm 9.0 ^{ab}	126.7 \pm 9.8 ^{ab}	148.3 \pm 34.7 ^b	141.4 \pm 13.8 ^{bc}
Week 5 (Treatment Week 2)	140.0 \pm 14.1 ^{bc}	125.0 \pm 26.5 ^a	143.0 \pm 9.7 ^b	130.8 \pm 18.6 ^b	154.2 \pm 35.6 ^{bc}	149.4 \pm 16.8 ^c
Week 6 (Treatment Week 3)	141.2 \pm 13.6 ^c	133.3 \pm 20.7 ^a	145.0 \pm 12.2 ^b	139.2 \pm 22.5 ^b	153.3 \pm 39.2 ^c	163.4 \pm 18.4 ^d
F value (within group)	3.97	0.39	2.02	1.73	0.82	7.82
P value	0.0070	0.8504	0.1084	0.1582	0.5478	0.0001

Values are mean \pm SD of body weight across six time points (n = 6 initially; reduced to n = 5 in selected groups due to missing data). Different superscripts indicate significant differences over time ($p < 0.05$, repeated-measures ANOVA with Tukey's test).

Table 2: Blood glucose levels (mg /dL) in Wistar rats during high-carbohydrate diet induction and 21-day treatment with hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds

Week	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6
Week 1 (Pre)	103.7 ± 7.4 ^a	107.0 ± 7.6 ^a	110.7 ± 7.3 ^a	116.5 ± 9.0 ^a	116.3 ± 11.6 ^a	105.0 ± 10.3 ^a
Week 2 (Induction)	96.2 ± 8.8 ^a	99.0 ± 9.5 ^b	103.7 ± 12.7 ^b	107.7 ± 15.0 ^b	105.7 ± 12.6 ^a	102.5 ± 10.8 ^a
Week 3 (2nd Induction)	104.3 ± 6.8 ^a	116.8 ± 6.0 ^c	122.8 ± 4.8 ^c	126.0 ± 5.8 ^c	180.3 ± 115.4 ^b	110.8 ± 7.6 ^a
Week 4 (Treatment Week 1)	101.2 ± 7.1 ^a	121.7 ± 5.6 ^c	121.4 ± 4.1 ^c	119.0 ± 8.4 ^{ac}	156.3 ± 75.4 ^b	110.0 ± 7.9 ^a
Week 5 (Treatment Week 2)	97.2 ± 4.3 ^a	112.0 ± 10.8 ^{ac}	119.2 ± 4.0 ^c	114.8 ± 12.6 ^{abc}	129.7 ± 37.3 ^{ab}	109.0 ± 7.9 ^a
Week 6 (Treatment Week 3)	98.8 ± 2.4 ^a	104.0 ± 12.3 ^{ab}	108.8 ± 8.2 ^a	105.3 ± 12.9 ^b	110.5 ± 17.8 ^a	105.8 ± 8.4 ^a
F value (within group)	1.63	5.26	5.85	2.80	1.48	0.76
P value	0.1821	0.0014	0.0009	0.0343	0.2248	0.5893

Values are mean ± SD of blood glucose (mg/dL) (n = 6/group). Different superscripts across weeks indicate significant differences over time (p < 0.05, repeated-measures ANOVA with Tukey's test).

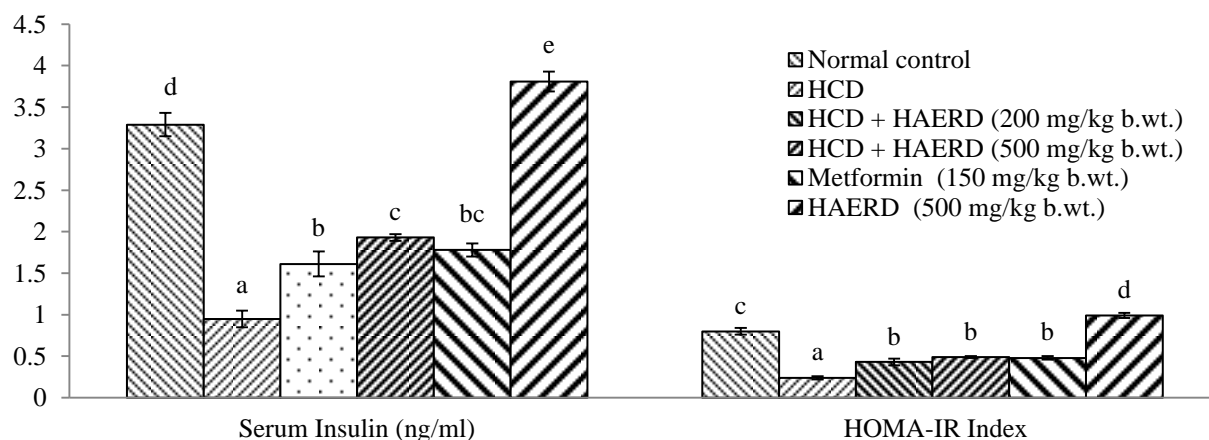


Figure 1: Effect of hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds on serum insulin concentration and HOMA-IR index in high-carbohydrate diet-induced hyperglycaemic Wistar rats.

Bars represent mean ± standard deviation (SD) (n = 3). Different superscript letters above the bars indicate statistically significant differences between groups at p < 0.05, as determined by one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's post-hoc multiple comparison test. The experimental groups include normal control, high-carbohydrate diet (HCD) control, HCD + hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD) at 200 mg/kg and 500 mg/kg body weight, HCD + metformin (150 mg/kg body weight), and HAERD only (500 mg/kg body weight).

Table 3: Serum lipid profile (mg/dL) in Wistar rats following high-carbohydrate diet induction and 21-day treatment with hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD)

Group	Total Cholesterol (mg/dL)	HDL-C (mg/dL)	Triglycerides (mg/dL)	LDL-C (mg/dL)	VLDL-C (mg/dL)
Group 1 (Normal Control)	59.18 ± 2.35 ^a	43.39 ± 4.07 ^a	69.54 ± 2.64 ^a	4.13 ± 1.81 ^a	13.91 ± 0.53 ^a
Group 2 (HCD)	81.31 ± 3.07 ^b	51.59 ± 0.64 ^b	103.76 ± 4.68 ^b	8.97 ± 3.10 ^b	20.75 ± 0.94 ^b
Group 3 [HCD + HAERD] (200 mg/kg b.wt.)	71.78 ± 2.66 ^c	53.00 ± 2.90 ^b	83.59 ± 2.84 ^c	2.07 ± 1.60 ^a	16.72 ± 0.57 ^c
Group 4 [HCD + HAERD] (500 mg/kg b.wt.)	72.04 ± 3.55 ^c	49.56 ± 1.09 ^{ab}	82.60 ± 1.38 ^c	6.00 ± 3.30 ^{ab}	16.52 ± 0.28 ^c
Group 5 [Metformin] (150 mg/kg b.wt.)	72.15 ± 0.81 ^c	51.09 ± 1.68 ^b	73.20 ± 1.70 ^a	6.42 ± 1.97 ^{ab}	14.64 ± 0.34 ^a
Group 6 [HAERD 500 mg/kg b.wt.] (Toxicity/Safety Control)	73.60 ± 3.44 ^c	50.63 ± 2.05 ^b	67.68 ± 2.38 ^a	9.36 ± 1.50 ^b	13.54 ± 0.48 ^a
F-value (within group)	38.92	7.84	118.45	6.78	118.45
p-value	< 0.0001	0.0004	< 0.0001	0.0009	< 0.0001

Values are mean ± SD (mg/dL) (n = 3/group). Different superscripts within column indicate significant differences (p < 0.05, ANOVA with Tukey's test); same letters indicate no significance.

Table 4: Serum Antioxidant Enzyme Activities and Lipid Peroxidation (MDA) in Wistar Rats Following High-Carbohydrate Diet Induction and 21-Day Treatment with Hot Water Infusion of Roasted *Phoenix dactylifera* Seeds (HAERD)

Group	GPx (U/L)	SOD (U/L)	Catalase (U/L)	MDA (mg/dL)
Group 1 (Normal Control)	49.75 ± 2.50 ^a	36.00 ± 2.45 ^a	25.00 ± 0.82 ^a	3.46 ± 0.10 ^a
Group 2 (HCD)	32.25 ± 1.71 ^b	27.75 ± 1.89 ^b	21.75 ± 0.50 ^b	4.91 ± 0.08 ^b
Group 3 [HCD + HAERD] (200 mg/kg b.wt.)	39.00 ± 1.41 ^c	31.50 ± 1.29 ^c	21.00 ± 1.41 ^b	4.23 ± 0.07 ^c
Group 4 [HCD + HAERD] (500 mg/kg b.wt.)	39.25 ± 2.50 ^c	31.25 ± 2.87 ^c	22.00 ± 0.82 ^b	4.14 ± 0.05 ^c
Group 5 [Metformin] (150 mg/kg b.wt.)	42.75 ± 0.96 ^c	31.75 ± 1.71 ^c	23.00 ± 1.41 ^c	4.06 ± 0.07 ^c
Group 6 [HAERD 500 mg/kg b.wt.] (Toxicity/Safety Control)	54.50 ± 3.70 ^d	38.50 ± 1.29 ^a	30.00 ± 1.41 ^d	3.00 ± 0.17 ^a
F-value (within group)	38.45	19.72	42.18	156.89
p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Values are mean ± SD (n = 6/group). Different superscripts within columns indicate significant differences (p < 0.05, ANOVA with Tukey's test); same letters indicate no significance.

Table 5: Effect of Hot Water Infusion of Roasted Date Palm Seeds (HAERD) on Serum Liver Function Indices and Protein Profile in High-Carbohydrate Diet–Induced Hyperglycaemic Wistar Rats

Group	ALT (U/L)	AST (U/L)	ALP (U/L)	Total Protein (g/dL)	Albumin (g/dL)	Globulin (g/dL)	Total Bilirubin (mg/dL)
Group 1 (Normal Control)	22.00 ± 2.16 ^a	30.25 ± 2.06 ^a	67.50 ± 2.38 ^a	5.45 ± 0.16 ^a	2.84 ± 0.06 ^a	2.61 ± 0.10 ^a	0.65 ± 0.04 ^a
Group 2 (HCD)	92.50 ± 3.70 ^b	107.75 ± 3.86 ^b	147.00 ± 10.20 ^b	5.05 ± 0.11 ^b	2.37 ± 0.11 ^b	2.68 ± 0.04 ^a	1.19 ± 0.05 ^b
Group 3 [HCD + HAERD] (200 mg/kg b.wt.)	82.75 ± 2.87 ^c	91.50 ± 1.29 ^c	122.25 ± 5.38 ^c	5.55 ± 0.14 ^a	3.01 ± 0.02 ^c	2.69 ± 0.20 ^a	1.07 ± 0.07 ^c
Group 4 [HCD + HAERD] (500 mg/kg b.wt.)	81.50 ± 4.73 ^c	83.75 ± 3.59 ^c	117.50 ± 2.08 ^c	5.65 ± 0.13 ^a	3.01 ± 0.06 ^c	2.64 ± 0.18 ^a	1.03 ± 0.05 ^c
Group 5 [Metformin] (150 mg/kg b.wt.)	79.25 ± 2.75 ^c	80.25 ± 2.63 ^c	110.25 ± 2.22 ^c	5.63 ± 0.15 ^a	2.99 ± 0.03 ^c	2.61 ± 0.15 ^a	0.94 ± 0.04 ^c
Group 6 [HAERD 500 mg/kg b.wt.] (Toxicity/Safety Control)	23.25 ± 2.22 ^a	28.00 ± 2.16 ^a	69.00 ± 5.10 ^a	6.75 ± 0.24 ^a	3.24 ± 0.09 ^c	3.51 ± 0.25 ^b	0.64 ± 0.02 ^a
F-value (within group)	412.18	678.94	312.76	28.45	45.72	9.83	98.76
p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Values are mean ± SD of liver function indices (n = 4/group). Different superscripts indicate significant differences among groups (p < 0.05, ANOVA with Tukey's test). Group 6 was the HAERD-only toxicity control (500 mg/kg, no HCD).

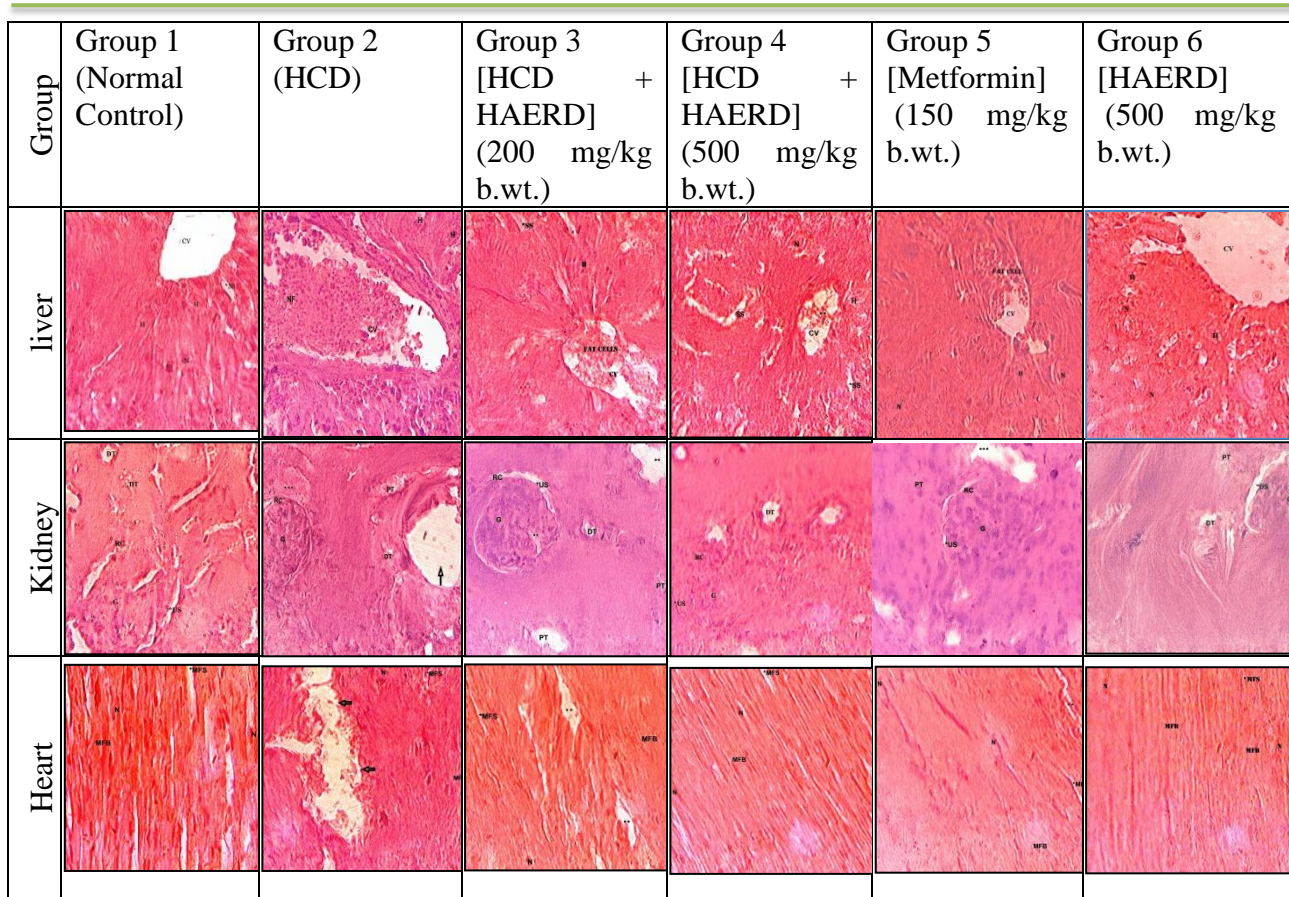


Figure 2: Histology of the liver, kidney and heart of Wistar rats with high-carbohydrate diet-induced hyperglycaemia treated with hot water infusion of roasted date (HAERD) seeds (400 ×).

CV, central vein; DT, distal convoluted tubule; G, glomerulus; H, hepatocytes; H&E, hematoxylin and eosin; MFB, myofibrils; MFS, myofibrillar spaces; N, nucleus; NF, necrotic formations; PT, proximal convoluted tubule; RC, renal corpuscle; SS, sinusoids; HCD, high-carbohydrate diet; HAERD, hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds.

Discussion

The present study demonstrates that the hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD) exerts significant dose-dependent antihyperglycaemic, insulin-sensitizing, hypolipidaemic, antioxidant, and multi-organ protective effects in high-carbohydrate diet (HCD)-induced hyperglycaemic Wistar rats. At the higher dose of 500 mg/kg, HAERD significantly reduced fasting blood glucose levels ($p < 0.05$), increased serum insulin concentration, improved the HOMA-IR index, normalised the serum lipid profile, restored antioxidant enzyme activities (GPx, SOD, and CAT), and decreased malondialdehyde (MDA) levels. These effects were

largely comparable to those of the standard antidiabetic drug metformin (150 mg/kg). The infusion-only group maintained normal biochemical and histological parameters, confirming the safety of HAERD at the tested dose. HAERD treatment produced progressive and significant reductions in fasting blood glucose, with the 500 mg/kg dose achieving near-normal values by the end of the 21-day treatment period. This antihyperglycaemic effect was accompanied by a dose-dependent increase in serum insulin levels and marked improvement in the HOMA-IR index, indicating enhanced insulin sensitivity. Concurrently, HAERD ameliorated HCD-induced dyslipidaemia by significantly lowering total cholesterol, triglycerides, LDL-C, and VLDL-C ($p < 0.0001$). These metabolic benefits were supported by strong antioxidant activity, evidenced by the restoration of endogenous antioxidant enzymes and substantial reduction in lipid peroxidation. The infusion also exerted hepatoprotective effects, as shown by significant decreases in ALT, AST, and ALP activities, reduced bilirubin levels, and recovery of total protein and albumin. Histopathological examination provided morphological corroboration of the biochemical findings. HCD feeding caused hepatic steatosis and necrosis, renal glomerular and tubular damage, and myocardial fibre disorganization. Treatment with HAERD, particularly at 500 mg/kg, resulted in clear dose-dependent regeneration, restoring near-normal tissue architecture in the liver, kidney, and heart, comparable to the metformin-treated group. The observed multi-target effects can be attributed to the phytochemical constituents of HAERD. Methyl oleate, the major compound in the infusion, showed strong binding affinity to pancreatic α -amylase (-7.2 kcal/mol), suggesting inhibition of carbohydrate digestion and reduced intestinal glucose absorption. Controlled roasting at 180°C enhances the release of bound phenolics and lipophilic compounds while generating Maillard reaction products with potent antioxidant properties (Al Juhaimi *et al.*, 2018; Halabi *et al.*, 2024). Phenolic compounds and unsaturated fatty acid derivatives likely act synergistically to scavenge reactive oxygen species, preserve β -cell function, and improve insulin signalling pathways (Alkhoori *et al.*, 2022; Hasan and Mohieldein, 2016). This multi-target mechanism explains the simultaneous improvement in glycaemic control, insulin sensitivity, lipid metabolism, and organ protection. The HCD model employed in this study is particularly relevant because it closely mimics the diet-induced insulin resistance and progressive metabolic dysfunction seen in early-stage human type 2 diabetes, unlike chemical-induced models that cause rapid β -cell destruction (Skovsø, 2014; Ble-Castillo *et al.*, 2012; Dupas *et al.*, 2016). The ability of HAERD to counteract these changes highlights its potential for use in preventive and early-intervention strategies against metabolic disorders. The

present findings are consistent with previous reports demonstrating the hypoglycaemic, hypolipidaemic, and antioxidant activities of date palm seed infusions in different diabetic animal models (Mrabet *et al.*, 2020; Hasan and Mohieldein, 2016). However, this study advances existing knowledge by utilising a traditionally relevant hot water infusion of roasted seeds in a high-carbohydrate diet model that reflects common dietary patterns in many African populations. It also complements findings from other Nigerian medicinal plants such as *Vernonia amygdalina* and *Gongronema latifolium* in similar models (Atangwho *et al.*, 2012; Okon *et al.*, 2022). Key strengths of this study include the use of a highly relevant diet-induced model, comprehensive evaluation of glycaemic control, insulin sensitivity, lipid profile, oxidative stress, liver function, and multi-organ histopathology, as well as the valorisation of an abundant agro-industrial waste. Limitations include the exclusive use of male rats, the relatively short treatment duration (21 days), calculation of LDL-C using the Friedewald formula, and the lack of molecular gene expression studies on pathways such as AMPK, GLUT4, or Nrf2. Future studies should address these gaps through longer-term experiments, inclusion of both sexes, inflammatory cytokine profiling, and clinical trials. The present study has some limitations that should be considered when interpreting the results. First, the study was conducted exclusively on male Wistar rats to minimise variability associated with the female estrous cycle. This precludes evaluation of potential sex differences in response to HAERD. Second, the treatment duration was limited to 21 days, which, while sufficient to demonstrate efficacy in this proof-of-concept study, may not fully reflect the long-term efficacy, safety, or sustainability of the extract in a chronic condition such as type 2 diabetes. Third, LDL-C values were calculated using the Friedewald formula rather than direct measurement, which may introduce some estimation errors. Furthermore, this study did not investigate the molecular mechanisms underlying the observed effects (e.g., expression of AMPK, GLUT4, or Nrf2) or profile key inflammatory cytokines such as TNF- α and IL-6. These important aspects warrant further investigation in future studies

Conclusion

In conclusion, the hot water infusion of roasted *Phoenix dactylifera* seeds (HAERD) exhibits robust multi-target efficacy in mitigating HCD-induced hyperglycaemia, insulin resistance, dyslipidaemia, oxidative stress, and tissue injury in Wistar rats. At 500 mg/kg, HAERD produced metabolic improvements approaching those of metformin. By transforming discarded date palm seeds into a safe, effective, and culturally acceptable nutraceutical, this study supports sustainable

approaches to managing type 2 diabetes and associated complications. Further mechanistic, bioactivity-guided, and clinical investigations are warranted to fully establish the therapeutic potential of HAERD.

References

- Aebi, H. (1984).** Catalase in vitro. In L. Packer (Ed.), *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 121–126). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
- Al Juhaimi, F., Özcan, M. M., Uslu, N., & Ghafoor, K. (2018).** The effect of drying temperatures on antioxidant activity, phenolic compounds, fatty acid composition and tocopherol contents in citrus seed and oils. *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 190–197. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2895-y>
- Alkhoori, M. A., Kong, A. S., Aljaafari, M. N., Abushelaibi, A., Lim, S. H. E., Cheng, W. H., Alhamoudi, A., & Eid, A. H. (2022).** Biochemical composition and biological activities of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds: A review. *Biomolecules*, 12(11), 1626. <https://doi.org/10.3390/biom12111626>
- Atangwho, I. J., Edet, E. E., Uti, D. E., Obi, A. U., Asmawi, M. Z., & Ahmad, M. (2012).** Biochemical and histological impact of *Vernonia amygdalina* supplemented diet in obese rats. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(4), 385–392. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.05.003>
- Ble-Castillo, J. L., Aparicio-Trapala, M. A., Juárez-Rojop, I. E., Torres-López, J. E., Méndez, J. D., Aguilar-Mariscal, H., Olvera-Hernández, V., Palma-Cordova, A., & Diaz-Zagoya, J. C. (2012).** Differential effects of high-carbohydrate and high-fat diet composition on metabolic control and insulin resistance in normal rats. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(5), 1663–1676. <https://doi.org/10.3390/ijerph9051663>
- Dupas, J., Goanvec, C., Feray, A., Guernic, A., Alain, C., Guerrero, F., Kober, F., Piquet, M. A., & Le Guennec, J. Y. (2016).** Progressive induction of type 2 diabetes: Effects of a reality-like fructose-enriched diet in young Wistar rats. *PLoS One*, 11(1), e0146821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146821>

-
- Ellman, G. L. (1959).** Tissue sulfhydryl groups. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 82(1), 70–77. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(59\)90090-6](https://doi.org/10.1016/0003-9861(59)90090-6)
- Friedewald, W. T., Levy, R. I., & Fredrickson, D. S. (1972).** Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clinical Chemistry*, 18(6), 499–502.
- Halabi, Y., Nasri, C., El Guezzane, C., Harhar, H., Gharby, S., Zarrouk, A., Benmoussa, H., Zine, S., & Bouyahya, A. (2024).** Optimized roasting parameters of full-fat date palm (*Phoenix dactylifera* L.) using a central composite design and chemometric approach to prepare antioxidant-rich beverage. *Letters in Applied NanoBioScience*, 13, 113. <https://doi.org/10.33263/LIANBS133.113>
- Hasan, M., & Mohieldein, A. (2016).** In vivo evaluation of antidiabetic, hypolipidemic, antioxidative activities of Saudi date seed extract on streptozotocin induced diabetic rats. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(3), FF06–FF12. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/16879.7419>
- International Diabetes Federation. (2021).** *IDF diabetes atlas* (10th ed.). International Diabetes Federation.
- Kang, E. S., Yun, Y. S., Park, S. W., Kim, H. J., Ahn, C. W., Song, Y. D., Lee, K. W., Kim, D. J., Choi, S. H., Kim, K. R., & Lee, H. C. (2005).** Limitation of the validity of the homeostasis model assessment as an index of insulin resistance in Korea. *Metabolism*, 54(2), 206–211. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2004.08.014>
- Khan, T. J., Kuerban, A., Razvi, S. S., Mehanna, M. G., Khan, K. A., Almulaiky, Y. Q., Ahmad, A., & Alshammari, G. M. (2018).** In vivo evaluation of hypolipidemic and antioxidative effect of ‘Ajwa’ (*Phoenix dactylifera* L.) date seed extract in high-fat diet-induced hyperlipidemic rat model. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 107, 675–680. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.07.134>
- Komiyama, N., Kaneko, T., Sato, A., Takahashi, Y., Tamura, Y., & Aizawa, T. (2002).** The effect of high carbohydrate diet on glucose tolerance in patients with type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 57(3), 163–170. [https://doi.org/10.1016/S0168-8227\(02\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0168-8227(02)00053-0)
-

-
- Manai, S., Boulila, A., Sanches-Silva, A., Barbosa-Pereira, L., Sendón, R., & Khwaldia, K. (2024).** Recovering functional and bioactive compounds from date palm by-products and their application as multi-functional ingredients in food. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 38, 101475. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101475>
- Marklund, S., & Marklund, G. (1974).** Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *European Journal of Biochemistry*, 47(3), 469–474. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1974.tb03714.x>
- Maruthur, N. M., Tseng, E., Hutfless, S., Wilson, L. M., Suarez-Cuervo, C., Berger, Z., Chu, Y., Iyoha, E., Segal, J. B., & Bolen, S. (2016).** Diabetes medications as monotherapy or metformin-based combination therapy for type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Internal Medicine*, 164(11), 740–751. <https://doi.org/10.7326/M15-2650>
- Mrabet, A., Jiménez-Araujo, A., Guillén-Bejarano, R., Rodríguez-Arcos, R., & Sindic, M. (2020).** Date seeds: A promising source of oil with functional properties. *Foods*, 9(6), 787. <https://doi.org/10.3390/foods9060787>
- National Research Council. (2011).** Guide for the care and use of laboratory animals (8th ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12910>
- Ohkawa, H., Ohishi, N., & Yagi, K. (1979).** Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*, 95(2), 351–358. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(79\)90738-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(79)90738-3)
- Okon, I. A., Beshel, J. A., Nna, V. U., & Owu, D. U. (2022).** *Gongronema latifolium* leaf extract protects against dexamethasone-induced myocardial cell injury via cardiac oxido-inflammatory molecules modulation. *Journal of Food Biochemistry*, 46(11), e14378. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14378>
- Percie du Sert, N., Ahluwalia, A., Alam, S., Avey, M. T., Baker, M., Browne, W. J., Clark, A., Cuthill, I. C., Dirnagl, U., Emerson, M., Garner, P., Holgate, S. T., Howells, D. W., Hurst, V., Karp, N. A., Lazic, S. E., Lidster, K., MacCallum, C. J., Macleod, M., Pearl, E. J., Petersen, O., Rawle, F., Reynolds, P., Rooney, K., Sena, E. S., Silberberg, S. D.,**
-

-
- Steckler, T., & Würbel, H. (2020).** Reporting animal research: Explanation and elaboration for the ARRIVE guidelines 2.0. *PLoS Biology*, 18(7), e3000411. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000411>
- Salomón-Torres, R., Ortiz-Uribe, N., Valdez-Salas, B., Rosas-González, N., García-González, C., Chávez, D., Sosa-Morales, M. E., & Márquez-Ríos, E. (2019).** Nutritional assessment, phytochemical composition and antioxidant analysis of the pulp and seed of Medjool date grown in Mexico. *PeerJ*, 7, e6821. <https://doi.org/10.7717/peerj.6821>
- Shah, S. M. M., Naqvi, S. A., Jaskani, M. J., & Shah, I. M. (2023).** Review on phytochemicals and pharmacological chemicals of date palm (*Phoenix dactylifera*). *Journal of Advanced Research in Food Agriculture and Environmental Science*, 9, 8–25. <https://doi.org/10.53555/nnfaes.v9i8.1811>
- Skovsø, S. (2014).** Modeling type 2 diabetes in rats using high fat diet and streptozotocin. *Journal of Diabetes Investigation*, 5(4), 349–358. <https://doi.org/10.1111/jdi.12235>
- Suvarna, K. S., Layton, C., & Bancroft, J. D. (2019).** Bancroft's theory and practice of histological techniques (8th ed.). Elsevier.
- Tietz, N. W. (1995).** Clinical guide to laboratory tests (3rd ed.). W.B. Saunders.
- Uloko, A. E., Musa, B. M., Ramalan, M. A., Gezawa, I. D., Puepet, F. H., Uloko, A. T., Sada, K. B., Iwuala, S. O., Ibrahim, D. A., Isezuo, S. A., & Okafor, C. I. (2018).** Prevalence and risk factors for diabetes mellitus in Nigeria: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes Therapy*, 9, 1307–1316. <https://doi.org/10.1007/s13300-018-0441-1>
- Vayalil, P. K. (2012).** Date fruits (*Phoenix dactylifera* Linn): An emerging medicinal food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(3), 249–271. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.499824>
-

تأثير المستخلص المائي الساخن لبذور نخيل التمر المحمص على تحسين حساسية الإنسولين وتخفيف فرط سكر الدم

المستحث بالحمية عالية الكربوهيدرات في الجرذان

تشوكوما رافاييل إيكانيانوا* نجوكو-هنري، دوريس أوبياغيري

قسم الكيمياء الحيوية، جامعة ولاية إيمو، أويري، ولاية إيمو، نيجيريا

*الباحث المراسل ekeanyanwu.chukwuma@imsuonline.edu.ng

الخلاصة

تم تقييم القدرة الخافضة لسكر الدم للمستخلص المائي الساخن لبذور نخيل التمر المحمص (*Phoenix dactylifera*) (HAERD) في ذكور جرذان ويستر المصابة بفرط سكر الدم المستحث بالحمية عالية الكربوهيدرات (HCD). تم اختيار جرعات 200 و 500 ملغم/كغم من وزن الجسم استناداً إلى دراسات سابقة حول مستخلصات بذور التمر ولإرساء علاقة واضحة بين الجرعة والاستجابة. بعد 8 أسابيع من تغذية HCD لإحداث فرط سكر الدم، عولجت الجرذان فموياً بـ 200 HAERD (500 ملغم/كغم)، أو الميتفورمين (150 ملغم/كغم)، أو بالمذيب (vehicle) لمدة 21 يوماً. أدى HAERD إلى انخفاضات معنوية معتمدة على الجرعة في سكر الدم الصائم ($p < 0.05$)، حيث أعادت جرعة 500 ملغم/كغم القيم إلى مستويات قريبة من الطبيعية بحلول الأسبوع السادس. كما حسن المستخلص بشكل معنوي تراكيز الإنسولين في المصل ومؤشر HOMA-IR بشكل معتمد على الجرعة ($p < 0.05$)، مقترباً من تأثير الميتفورمين. علاوة على ذلك، قام HAERD بتطبيع ملف الدهون في المصل من خلال خفض معنوي لكل من الكوليسترول الكلي والدهون الثلاثية وكوليسترول LDL و VLDL ($p < 0.0001$). كما أعاد نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة (SOD, CAT, GPx) وخفض بشكل ملحوظ مستويات المالوندايديهايد (MDA) ($p < 0.0001$) كما أدى العلاج بـ HAERD إلى خفض معنوي في إنزيمات الكبد (ALT, AST, ALP) ومستويات البيليروبين ($p < 0.0001$)، مترافقاً مع استعادة البروتين الكلي والألبومين. أظهر الفحص النسيجي تغيرات تجديدية معتمدة على الجرعة وبنية نسيجية شبه طبيعية في الكبد والكلية والقلب عند جرعة 500 ملغم/كغم، بما يتوافق مع مجموعة الميتفورمين. تُظهر هذه النتائج أن HAERD يمتلك فوائد أيضية متعددة الأهداف قوية تشمل تأثيرات خافضة لسكر الدم، وخافضة للدهون، ومضادة للأكسدة، وحامية لعدة أعضاء في حالات فرط سكر الدم المستحث بالحمية عالية الكربوهيدرات. وأظهرت جرعة 500 ملغم/كغم فعالية تقارب تأثير الميتفورمين ($p < 0.05$) وتدعم هذه النتائج الاستخدام التقليدي لمستخلص بذور نخيل التمر المحمص وإمكاناته كمكمل غذائي مستدام ومنخفض التكلفة لإدارة فرط سكر الدم ومضاعفاته

الكلمات المفتاحية: نخيل التمر، بذور نخيل التمر، المستخلص المائي الساخن، حمية عالية الكربوهيدرات، فرط سكر الدم،

خافض لسكر الدم، الميتفورمين.

Role of Fertigation in Improving Water and Nutrient Use Efficiency in Date Palm Cultivation and Production

*Hussein J. Shareef Aqeela M. Salih Muntaha J. Kadhim

Date palm Research Centre-University of Basrah-Basrah-Iraq

*Corresponding author: hussain.shareef@uobasrah.edu.iq

Abstract

Fertigation, the application of fertilizers with water through an irrigation system, has emerged as an effective approach to enhance nutrient and water-use efficiency in date palm. This review highlights current progress in applying the fertigation technique to improve date palm growth, yield, fruit quality, and sustainability in arid and semi-arid environments. The review covers various water-soluble fertilizers, their impact on nutrient availability in the soil around the roots, and different fertigation techniques. Beyond this, the review also highlights the roles of water conservation and environmental protection by minimizing nutrient loss and enhancing fertilizer management through fertigation. The technology-related constraints, such as water quality, emitter clogging, and management, are also reviewed. In general, the results of this study indicate that fertigation can be a potential technique for sustainable date palm production when combined with good irrigation and nutrient management practices.

Keywords: Fertigation, date palm nutrition, drip irrigation, water-soluble fertilizers, nutrient use efficiency.

Introduction

Date palms (*Phoenix dactylifera* L.) are a globally cultivated crop and a major agricultural commodity in many arid and semi-arid regions of the world, with both economic and cultural significance (Shareef *et al.*, 2022). The actual temperature is better suited to hot conditions and low rainfall, which means they require adequate watering to achieve yield. To address this issue, fertigation has been suggested, as it allows nutrient applications to be synchronized with the growth phases of date palm, thereby increasing fertilization efficiency and improving crop performance (Dhaouadi and Haj-Amor, 2025). Fertigation is an agricultural technique that uses irrigation to deliver water-soluble fertilizers to the root zone of plants, ensuring they are applied quickly and with sufficient soil moisture (Ghosh *et al.*, 2025). Such an innovative practice is now widely adopted because it can enhance both water and nutrient management simultaneously—very useful in parts of the world with limited access to irrigation. Fertigation is the combination of fertilization and irrigation (Ali, 2012) and refers to nutrient supply through this method, which also has moistening effects on crops. A fertigation system is an advanced approach that delivers fertilizers through irrigation media, offering scope for sustainable agriculture. Finally, one of the most important advantages of fertigation is that applying nutrients directly in the root zone minimizes nutrient losses through leaching and runoff, which are more common with conventional practices. Treatment of specific nutrients can support maximum plant growth and minimize environmental pollution associated with conventional fertilizers (Kaur *et al.*, 2025). Rationalizing irrigation water consumption while mitigating environmental impacts is a pressing challenge in arid date palm cultivation, where water scarcity and salinity threaten productivity and ecosystem health. Fertigation offers a powerful strategy to address these dual concerns (Alhamd, 2024). First, fertigation synchronizes water and nutrient supply with the tree's actual physiological demand. Traditional flood or furrow irrigation often applies excessive water to ensure adequate nutrient distribution, leading to deep percolation, runoff, and leaching of nitrates and phosphates into groundwater (Sun *et al.*, 2023). In contrast, drip-based fertigation applies water directly to the root zone in controlled volumes, minimizing evaporation and eliminating over-irrigation (Çetin & Akalp, 2019). For date palms, which have shallow but extensive root systems, this ensures that moisture and essential elements (e.g., nitrogen, potassium, and magnesium) are available precisely during critical growth stages—flowering, fruit set, and ripening. Consequently, overall irrigation water consumption can be reduced by 30–50%

compared to conventional methods without compromising yield or fruit quality (Mazahrih et al., 2018). Second, fertigation mitigates key environmental impacts associated with date palm agriculture. Salinization, which occurs when excess irrigation raises the water table and leaves behind salts as water evaporates, is reduced because efficient water delivery limits deep drainage and salt accumulation in the root zone (Farag et al., 2025). Controlled nutrient application also prevents fertilizer runoff, which can degrade aquifers and surface water bodies through eutrophication. Advanced fertigation systems allow the use of saline or brackish water—common in many date-growing regions, such as the Middle East and North Africa—by adjusting fertilizer formulations and leaching fractions, thereby reducing pressure on freshwater resources and preserving natural ecosystems. Moreover, higher nutrient uptake efficiency means lower total fertilizer volumes are needed, which reduces greenhouse gas emissions from fertilizer production and transport (Alnajjar et al. 2020). In practice, rationalizing irrigation via fertigation in date palm orchards requires careful design: soil moisture sensors, evapotranspiration-based scheduling, and periodic monitoring of electrical conductivity (EC) and pH in the root zone (Mazahrih et al., 2018). Split applications of nitrogen, for instance, can reduce nitrous oxide emissions compared to single heavy doses. The shift also encourages the use of biodegradable or controlled-release fertilizers, further lessening environmental persistence. When combined with mulching or cover cropping, fertigation can improve soil structure and carbon sequestration, enhancing orchard resilience to climate change. Fertigation systems can thus provide functional solutions to address operational constraints, maintaining soil nutrient levels while reducing external crop inputs (Xing and Wang, 2024).

This literature review summarizes the features that contribute to the positive effects of fertigation in date palms and then describes the methods and requirements for applying this practice. This article presents selected case studies to demonstrate how fertigation can improve the productivity and agricultural sustainability of date palms in arid zones. In doing so, we underscore the need to practice resource-conserving crop management and sustainable production systems.

Fertigation vs Other Fertilization Methods

Fertigation is a method of delivering nutrients to crops through an irrigation system. A distinction is needed between fertigation, foliar spray fertilization, and ground fertilization in order to

determine the appropriate technique for date palm crops. Key characteristics of each method for comparison are presented in Table 1.

Table 1. Comparison of Fertigation with Other Fertilization Methods

Feature	Fertigation	Foliar Spray Fertilization	Ground Fertilization
Application Method	Nutrients are mixed with irrigation water and delivered directly to the root zone via drip or sprinkler systems.	Nutrients are sprayed directly onto the leaves for immediate absorption.	Nutrients are applied directly to the soil surface or incorporated into the soil.
Nutrient Uptake Efficiency	Very high (up to 95%) due to direct root zone delivery.	Moderate to high, depending on leaf surface area and environmental conditions.	Variable, often lower due to leaching and runoff.
Water Usage	Low water consumption; synchronized with irrigation.	Environmental conditions such as humidity and temperature may influence absorption efficiency	A variable can lead to water waste if not managed properly.
Cost-Effectiveness	High; reduces fertilizer and water use, leading to lower overall costs.	Moderate; can be cost-effective for micronutrient applications but may require frequent applications.	Variable; initial costs can be high, and efficiency depends on soil conditions.
Environmental Impact	Low; minimizes runoff and nutrient leaching into waterways.	Moderate; potential for leaf burn and runoff if not applied correctly.	Higher levels can lead to nutrient leaching and groundwater contamination.
Labor Requirements	Moderate; requires setup and maintenance of irrigation systems.	High; often requires manual application and careful monitoring.	Variable; can be labor-intensive depending on application methods and soil preparation.
Best Use Cases	Ideal for water-sensitive crops, such as date palms, in arid regions.	Effective for quick correction of nutrient deficiencies; useful for micronutrients.	Best for establishing nutrient-rich soil conditions prior to planting.

Benefits of Fertigation

Enhanced Nutrient Efficiency

Fertigation delivers nutrients directly to the root zone, significantly improving fertilizer use efficiency compared to conventional broadcast or furrow application. Studies demonstrate that under controlled conditions—depending on the specific nutrient (e.g., nitrogen, phosphorus, or potassium), crop type (such as date palms), soil properties, and irrigation scheduling—uptake efficiencies can exceed those of traditional methods, often reaching very high levels (e.g., over 90% for nitrogen in drip-irrigated systems) (Sarma *et al.*, 2023). This precise input matching minimizes fertilizer waste, reduces leaching losses, lowers farmers' input costs, and enables crops to perform at their optimal potential. However, reported efficiency values must be interpreted within the context of the experimental conditions, as they vary with nutrient mobility, root distribution, and environmental factors.

Water Conservation

Fertigation saves water and reduces leaching by synchronizing water with nutrient supply (Sood *et al.*, 2025), an important benefit in areas with limited water resources. This is particularly important in regions with limited water resources, especially in arid and semi-arid environments, to make crop cultivation resilient to climatic stress.

Soil Health Preservation

Fertigation contributes to soil health by enabling precise, controlled nutrient delivery, reducing the risks of nutrient imbalance, salinity buildup, and leaching associated with conventional fertilization. It also supports better nutrient distribution in the root zone, promoting improved root development and soil conditions. When combined with organic amendments, fertigation may enhance soil organic matter, structure, and water-holding capacity, thereby supporting long-term soil fertility and sustainable agricultural production (Xing *et al.*, 2025).

Environmental Protection

Fertilizer management reduces the pollution potential of groundwater, particularly nitrate levels that are deleterious to human health when drinking water from aquifers contaminated with fertilizers; therefore, reducing fertilizer leaching plays a positive role in reducing agriculture's negative impact on water resources (Singh and Craswell, 2021). Fertigation reduces the risk of

nutrients leaching into waterways, safeguarding sensitive aquatic habitats and helping to prevent eutrophication.

Cost-Effectiveness

According to Adamo *et al.* (2025), when these benefits are combined, they can substantially reduce agricultural input costs by reducing fertilizer use, water consumption, and labor. Simply applying the required amount of fertilizer prevents resource waste and enhances benefits to farmers. This economic benefit plays an important role in attracting smallholder farmers who may have limited resources.

Enhanced Crop Resilience

Fertigation provides a steady supply of nutrients to plants, helps develop a consistent growth profile, and aids the cropping system in combating disease and pests (Sneha *et al.*, 2025). In fact, this is a critical moment in date palm cultivation, and nutrient deficiencies increase the susceptibility to various plant pathogens, leading to reduced yield and quality.

Methods of Fertigation

This could occur indirectly through several modes of fertigation tailored to the requirements of agriculture:

Drip Irrigation

With this technique, fertilizers can be applied to the plant's root zone, and the nutrients remain available to the plant. Drip irrigation systems operate simultaneously, supplying water and nutrients, keeping plants in optimal growth conditions, which ultimately contributes to high efficiency (Al-Nawaiseh, 2025).

Spray Irrigation

Some fertilizers are also applied to the foliage of a target plant via the air for rapid nutrient uptake. In this method, a metric departure mechanism for micronutrients is designed, with the recipient consuming small amounts of them after the onset of apparent nutrient deficiency (Shareef *et al.*, 2022).

Tank Mixing

Different fertilizers are usually mixed in water tanks before application, ensuring that the resulting solution has consistent chemical properties and that the compounds remain soluble and do not precipitate. This approach allows multiple fertilizers to be applied in a single fertigation event, thereby increasing nutrient diversity and balancing plant nutrient levels (Aisham and Rahim 2019). Proper mixing protocols—such as maintaining appropriate pH, avoiding incompatible fertilizer salts (e.g., calcium with sulfates or phosphates), and using sequential injection—are essential to prevent emitter clogging and ensure uniform nutrient delivery to the root zone.

Nutrient Considerations

Primary Nutrients

The high frequency of N application by fertigation and their low application rates for P, as very little is applied through fertigation due to precipitation, with the high concentrations of Ca and Mg present in the waters. Table 2: Examples of K nutrients that can also be applied in this way, with some macronutrients.

Table 2. Suitable fertilization method as fertigation for the primary nutrients of date palms

Nutrient	Function	Recommended Application Method	References
Nitrogen (N)	Promotes vegetative growth	Drip irrigation	Brewer <i>et al.</i> (2018)
Phosphorus (P)	Supports root development	Foliar spray	Görlach and Mühling (2021)
Potassium (K)	Enhances fruit quality	Drip irrigation	Ghazzawy <i>et al.</i> (2023)
Calcium (Ca)	Strengthens cell walls	Foliar spray	Shareef and ALarab (2025)
Magnesium (Mg)	Aids in photosynthesis	Drip irrigation	Salama <i>et al.</i> (2014)

Secondary and Micronutrients

Biofortification of iron (Fe), manganese (Mn), and zinc (Zn). These three micronutrients are the most critical overall for maximum growth (Ahmed *et al.*, 2024). These can be applied through fertigation or foliar sprays to remedy deficiencies and ensure the plants have access to all required elements for success.

Fertigation Strategies

Nutrient Availability

Fertigation maximizes the availability of these essential nutrients to date palms. This approach requires scheduling and intensity based on suitable crop requirements at different growth stages (Ashrafi *et al.*, 2020).

Fertigation Frequency

Typically, these Fertigation applications are done based on the crop growth stages. Previous studies indicate that split applications during the growing season can enhance nutrient use efficiency and minimize leaching losses. This method provides a continuous supply of nutrients, enabling uniform growth (Cai *et al.*, 2023).

Monitoring Soil and Water Quality

For successful fertigation, soil and water quality must be monitored regularly. Soil nutrient levels and irrigation water quality are suitable for the types and rates of fertilizer being used. This type of proactive management aims to provide sufficient crop nutrition while reducing risk (Pibars *et al.*, 2022).

Challenges and Solutions

Clogging: Calcium or magnesium at sufficiently high concentrations can cause phosphorus to precipitate, clogging our drip emitters. Frequent system flushing can alleviate this issue, and the addition of acidifiers can keep mineral deposits low while keeping the irrigation system operational (Dehghanisani *et al.*, 2025). Manganese ions (Mn^{2+}) have been shown to mitigate clogging issues associated with phosphorus fertilization in drip irrigation emitters (Xu *et al.*, 2025). The proposed mechanism involves Mn^{2+} binding with phosphate ions to form soluble complexes or altering the crystallization kinetics of calcium phosphate precipitates—common

clogging agents—thereby reducing their deposition within emitter channels. However, the extent of this effect depends on water quality parameters such as pH, bicarbonate concentration, and the presence of other divalent cations (e.g., Ca^{2+} , Mg^{2+}). Thus, while Mn^{2+} can reduce clogging risk, it is not a universal solution but rather one component of an integrated anti-clogging strategy for fertigation systems. Fertigation mitigates soil salinity in date palm orchards primarily by enabling precise, localized water application that minimizes deep percolation and capillary rise of saline groundwater (Suhim *et al.*, 2017). Traditional flood irrigation often supplies excess water, raising the water table and drawing salts upward as water evaporates from the soil surface. In contrast, drip-based fertigation delivers water and fertilizers directly to the root zone at rates matching the palm's evapotranspiration demand, thereby reducing the upward movement of salts. Moreover, fertigation allows growers to apply a controlled “leaching fraction”—a small surplus of water that dissolves accumulated salts and carries them below the root zone without wasting significant water. The continuous, low-volume irrigation also maintains a stable soil moisture regime, preventing the extreme drying cycles that concentrate salts near the roots. Additionally, fertigation can be integrated with saline or brackish water by adjusting fertilizer blends (e.g., increasing calcium and magnesium) to counter sodium toxicity and improve root osmotic balance. Over time, these practices lower the electrical conductivity (EC) of the root-zone soil solution, enhancing date palm growth, fruit yield, and long-term orchard sustainability.

Fertigation Compatible – Incompatible Fertilizers

Fertilizers adapted to this type of use can also be highly soluble or compatible with the irrigation system, facilitating their application by drip irrigation and, in some cases, by foliar application. The nitrogen sources listed in numerous descriptions include urea, ammonium nitrate, and calcium ammonium nitrate for proper vegetative development, fruit fullness, and potential problems such as soil acidification (due to the calcium). Also, potassium nitrate provides a completely soluble, bioavailable nutrient source without chloride toxicity. Ammonium polyphosphate qualifies as a soluble phosphorus source, but caution is warranted, and it must be closely monitored during mixing and application due to its high potential for runoff. Instead, (suitable under specific conditions) fertilizers are mostly eliminated from the list because they create either operational or agronomic issues. Ammonium sulfate is not recommended in this case due to its potential to cause salinity hazards and plant toxicity. Feed-grade superphosphate, which is very soluble in water, and triple superphosphate will not be adequate for use because

they may contain significant insoluble fractions, leading to clogging of irrigation emitters or sedimentation. A potassium chloride recommendation with its high salt index will be deleterious to yield and toxic to sensitive crops. Drip irrigation is used to prevent sodium ions from precipitating calcium nitrate; on the other hand, calcium nitrate is problematic since it can actually precipitate calcium out of fertigation water. Finally, the tables highlight that a successful fertigation track record requires the use of soluble fertilizers to reduce clogging risks and to mitigate the effects of terrestrialization and precipitation events. These fertilizers, divided into three categories: very appropriate, suitable, and unsuitable for the fertigation of date palm, are summarized in summary tables with their chemical analysis (Tables 3 and 4).

Table 3. Suitable Fertilizers in the Fertigation of Date Palm

Fertilizer Type	Description	Application Method	
		Drip irrigation	Foliar spray
Nitrogen Fertilizers	Highly soluble, promotes vegetative growth and fruits	(Mazahrih et al., 2018)	Murad and Al-Dulaimy (2021)
Calcium Ammonium Nitrate	Combines nitrogen and calcium, preventing soil acidification	(Jasim et al., 2016)	Jasim <i>et al.</i> (2016)
Urea Ammonium Nitrate	Liquid fertilizer with high nitrogen content	(Kassem, 2012)	El-Salhy <i>et al.</i> (2024)
Potassium Nitrate	Provides potassium without chloride toxicity	(El-Salhy et al., 2024)	Elsayd <i>et al.</i> (2018)
Ammonium Polyphosphate	Soluble phosphorus source, used with caution	(Chtouki et al., 2024)	Fasal <i>et al.</i> (2014)

Table 4. Not suitable Fertilizers in the Fertigation of Date Palm

Fertilizer Type	Reason for Unsuitability	References
Ammonium Sulfate	High risk of salinity and potential toxicity to plants	Buck <i>et al.</i> (2020)
Superphosphate	Contains insoluble forms that can clog emitters	Muhammad <i>et al.</i> (2021)
Potassium Chloride (KCl)	A high salt index can cause toxicity in sensitive crops	Watanabe <i>et al.</i> (2017)
Calcium Nitrate	Can lead to precipitation issues in high-calcium waters	Carina and Silva (2017)
Triphosphate Fertilizers	High insoluble content leading to sedimentation	Ma <i>et al.</i> (2020)

Fertigation in Date Palms Research

The most common date palm fertigation systems include drip fertigation, micro-sprinkler systems, etc. Studies on split nitrogen applications for the same crops in a similar irrigation cycle showed increases of 20–30% in yields compared to conventional schemes (Mahgoub *et al.*, 2017). All studies assessed multiple fertigation approaches for date palms, using combinations of methods and inputs to address salinity issues and increase productivity. Mazahrih *et al.* (2018) compared three fertilizer application methods: continuous fertigation via a hydraulic injector (Dezatron), manual surface broadcast application 3 times a year, and a conventional bypass tank system delivering annual NPK (20:20:20) rates per tree via a drip irrigation schedule. The effect of nano-fertilizer (IQ Combi at 0, 0.5 and 1 g L⁻¹) or Disper Osmotic fertilizer (0, 1 and 2 g L⁻¹) was compared on growth and yield of two date palm cultivars by three times application through irrigation water in time of pollination; four weeks later (after the first application); eight weeks later by using 60 liters/palm as described by Abd *et al.* (2020) and Altemimy *et al.* (2019). As another method of ameliorating salinity impact, Alturki (2020) used deionized water and saline (50-200 mM NaSO₄)+Ca(NO₃)₂ (0-20mM) solutions to irrigate three-year-old date palms in a

20-week experiment. Finally, Alnajjar *et al.* (2020) found that salinity was mitigated by adding the industrial isomer Neutra-Sol-335 at 1.5 L per 200 L of water to the irrigation tank throughout the month (see Table 5).

Table 5. Effect of fertigation of mineral nutrients on date palm

Nutrients	Concentrations	Treatment date	Cultivar	Details	References
NPK (20:20:20)	(1 kg of N, 0.5 kg P, and 1.5 kg K per tree	1 st December	Madjool, Sacchari, Sggaa, and Kheyarah	increases in yield and fruit quality	Mazahrih <i>et al.</i> (2018)
nano-fertilizer (IQ Combi)	0, 0.5, and 1 g L ⁻¹	1 st March	Khastawi and Zahdi	Increased percentage of hold fruits, increase in fruit flesh weight, length, and weight of fruits	Altamimy <i>et al.</i> (2019)
bio-nutritious Disper Osmotic GS	0, 1, and 2 g L ⁻¹	1 st March	Khastawi and Zahdi	Increased percentage of hold fruits, increase in fruit flesh weight, length, and weight of fruits	Altamimy <i>et al.</i> (2019)
nano-fertilizer (IQ Combi)	0, 0.5, and 1 g L ⁻¹	1 st March	Khastawi and Zahdi	Increased leaf content of N, Pb, K, and Ca, decreased Na and Cl	Abd <i>et al.</i> (2020)
bio-nutritious Disper Osmotic GS	0, 1, and 2 g L ⁻¹	1 st March	Khastawi and Zahdi	Increased leaf content of N, Pb, K, and Ca, decreased Na and Cl	Abd <i>et al.</i> (2020)
Neutra-sol-335 industrial salinity enhancer	1.5 L per 200 L of water	Monthly for a year with irrigation water	Chipchap	Increasing offshoot height, trunk diameter, and root spread	Alnajjar <i>et al.</i> (2020)
NaCl	50, 100, 150 and 200 (mM)	1 st April	Offshoots not known	Enhanced chlorophyll content and reduced the accumulation of Na and Cl in plant parts.	Alturki, (2021)
Ca(NO ₃) ₂	0, 5, 10 and 20 mM				

Challenges of Fertigation Applications

Modern fertilization practices for date palms, relying exclusively on chemical fertilizers, pose a significant challenge to the crop's productivity because of the complexity and interplay among numerous factors in the fertilization system. Fertilizer contamination is already one of the most pressing environmental and public health challenges we face. This contamination manifests in various ways, including nutrient leaching from soil into adjacent aquatic ecosystems, leading to water degradation, eutrophication, and oxygen-consuming algal blooms that kill aquatic organisms. This negative impact can be mitigated by maintaining a balance between the quantity of nutrients applied to the plant and their actual availability for absorption. One more major issue is over-fertilization and its adverse effects. Excessive fertilizer applications—beyond what the crop requires—can elevate certain nutrients to toxic concentrations, harm plant health, and create soil chemical imbalances. Over-fertilization weakens date palms, reduces their physiological efficiency, and increases production costs without agronomic benefits. Therefore, more stage-specific fertigation practices must be developed, based on continuous soil analysis and real-time monitoring of tree nutrient demand. The goal is to supply nutrients precisely in line with crop uptake curves—meeting, but not exceeding, the palms' nutritional requirements (i.e., avoiding both deficiency and toxicity). Furthermore, the soil of many date palm farms is deficient in various essential nutrients, either due to long-term depletion or improper fertilizer application methods. Deficiencies of iron, magnesium, and potassium may limit palm growth and reduce fruit quality. A balance between nutrient needs and availability is a prerequisite for sustaining date palm cultivation, and providing adequate fertilization protocols requires updated knowledge among farmers. As is clear, there is a need to work together across all stakeholder groups — public and private sectors — to create a joint initiative for the sustainable production of palm resources, so that forests are protected against conversion.

Recommendations

To advance fertigation research and extension for date palms, researchers and agricultural extension services should prioritize developing cultivar-specific nutrient uptake curves that define the dynamic demands for nitrogen, phosphorus, potassium, and magnesium across key phenological stages—pollination, fruit set, kimri, rutab, and tamar. Long-term field trials are needed to validate the anti-clogging efficacy of manganese ions (Mn^{2+}) under real irrigation

conditions, particularly in high-carbonate waters, while also quantifying environmental trade-offs such as nitrous oxide emissions and overall life cycle impacts. Additionally, integrated protocols for the use of saline or brackish water in fertigation—including appropriate fertilizer blends and leaching fractions—must be developed to support date palm cultivation in arid regions. For farmers and orchard managers, the effective adoption of fertigation hinges on real-time monitoring tools. Installing soil moisture and electrical conductivity (EC) sensors enables dynamic scheduling that prevents both over-irrigation (which leaches nutrients) and under-irrigation (which concentrates salts). Split applications of nitrogen and potassium—divided into 4 to 6 weekly or bi-weekly doses during active growth—should replace single annual applications to match palm uptake and reduce leaching. To prevent emitter clogging, acidifying agents (e.g., phosphoric or nitric acid) should be injected to maintain a drip line pH between 6.0 and 7.0, especially when water has high bicarbonate or calcium content. Proper tank mixing is essential: avoid combining calcium nitrate with sulfates or phosphates in concentrated stock solutions, and follow sequential injection protocols. Regular system maintenance—flushing drip lines, cleaning filters, and periodic chlorination—must be performed routinely.

Conclusion

Now, one of the biggest advancements in managing date palm nutrition is fertigation. The consequences of irrigation and fertilizer techniques include better nutrient management, enhanced crop performance, and reduced environmental impact. Storylines for the use of sustainable agronomic practices exemplified by fertigation methods for cultivated date palms in a world underpinned by resource stress and a food boom.

References

- Abd, A. M., Altemimy, I. H. H., and Altemimy, H. M. A. (2020).** Evaluation of the effect of nano-fertilization and disper osmotic in treating the salinity of irrigation water on the chemical and mineral properties of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 33(1): 68–88. <https://doi.org/10.37077/25200860.2020.33.1.06>
- Adamo, T., Caivano, D., Colizzi, L., Dimauro, G., and Guerriero, E. (2025).** Optimization of irrigation and fertigation in smart agriculture: An IoT-based micro-services framework. *Smart Agricultural Technology*, 11: 100885. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100885>

- Ahmed, N., Zhang, B., Chachar, Z., Li, J., Xiao, G., Wang, Q., Hayat, F., Deng, L., Narejo, M.-N., Bozdar, B., and Tu, P. (2024). Micronutrients and their effects on Horticultural crop quality, productivity and sustainability. *Scientia Horticulturae*, 323: 112512. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112512>
- Aisham, B., and Rahim, A. (2019). Design of reservoir tanks modelling to mix several types of fertilizer for fertigation planting system : part a. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1150: 012024. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1150/1/012024>
- Alhamd, A. D. (2024). Impact of irrigation and mulching method on soil properties and date palm *Phoenix dactylifera* L. productivity. *Basrah Journal of Date Palm Research*, 23(2), 138–152.
- Al-Nawaiseh, M. B. (2025). The Effect of Drip vs Hydroponic Irrigation Systems on Water Saving in Dry Regions. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 14(6): 1151–1159.
- Ali, N. E.-D. S. (2012). *Fertilizer Techniques and Their Uses*. University Press for Printing, Publishing, and Translation. University of Baghdad. Higher Education and Scientific Research. Iraq. 208 pp.
- Alnajjar, M. A. A. H., Al-Hamad, A. D. S., and Al-Masaudi, A. J. O. (2020). The salinity treatment by neutra-sol and effect of organic fertilizer and irrigation water quality on protein pattern of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) offshoots cv. chipchap. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 21(45–46): 52–62.
- Altemimy, H. M. A., Altemimy, I. H. H., and Abed, A. M. (2019). Evaluation the efficacy of nano-fertilization and Disper osmotic in treating salinity of irrigation water in quality and productivity properties of date palm *Phoenix dactylifera* L. *Earth and Environmental Science*, 388: 012072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/388/1/012072>
- Alturki, S. M. (2021). The potential use of ca (no3) 2 to improve salinity tolerance in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 52(2): 445–453.
- Ashrafi, M. R., Raj, M., Shamim, S., and Lal, K. (2020). Effect of fertigation on crop productivity and Nutrient use efficiency. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5): 2937–2942.
- Brewer, M., KT, M., L, Z., and CD, S., D, K. (2018). Effect of Drip Irrigation and Nitrogen , Phosphorus and Potassium Application Rates on Tomato Biomass Accumulation , Nutrient Content , Yield , and Soil Nutrient Status. *Journal of Horticulture*, 5: 227.

<https://doi.org/10.4172/2376-0354.1000227>

- Buck, G. B., Castro, G. F. De, Mattiello, E. M., and Zotarelli, L. (2020).** Applications of Gypsum and Ammonium Sulfate Change Soil Chemical Properties of a Salt-Affected Agricultural Soil. *Journal of Agricultural Science*, 12(7): 1–14. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n7p1>
- Cai, D., Shoukat, M. R., Zheng, Y., Tan, H., Sun, M., and Yan, H. (2023).** Improving Wheat Grain Yield and Nitrogen Use Efficiency by Optimizing the Fertigation Frequency Using Center Pivot Irrigation System. In *Water*, 15, 10: p. 1932). <https://doi.org/10.3390/w15101932>
- Carina, A. N. A., and Silva, P. D. A. (2017).** Technical paper calcium nitrate concentrations in fertigation for ‘terra’ banana production. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, 37(2): 385–393. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n2p385-393/2017 TORQUATO>
- Çetin, Ö., and Akalp, E. (2019).** Efficient Use of Water and Fertilizers in Irrigated Agriculture: Drip Irrigation and Fertigation. *Acta Horticulturae et Regioteecturae*, 22(2), 97–102. <https://doi.org/10.2478/ahr-2019-0019>
- Chtouki, M., Naciri, R., and Oukarroum, A. (2024).** A review on phosphorus drip fertigation in the Mediterranean region: Fundamentals, current situation, challenges, and perspectives. *Heliyon*, 10(3): e25543. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25543>
- Dehghanisani, H., Mirlatifi, S. M., Emami, S., Rajabzadeh, T. (2025).** Reducing the clogging of emitters in drip irrigation systems using acid washing and ultrasonic technology. *Scientific Reports*, 15(1): 12499. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95915-w>
- Dhaouadi, L., and Haj-Amor, Z. (2025).** Irrigation water requirements of date palms in the Arab region: influencing factors, climate change effect, and sustainable irrigation practices. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 11(1): 52. <https://doi.org/10.1007/s41207-025-00959-z>
- El-Salhy, A. M., Hemdan, H., Khalil, O. A., and Doaa, M. F. A. (2024).** Effect of foliar spray of urea and potassium citrate on fruiting of Barhee date palm. *Aswan University Journal of Science and Technology*, 4(2): 140–150. <https://doi.org/https://journals.aswu.edu.eg/stjourna>
- Elsayd, I. A. E.-R., El-Merghany, S., Zaen and El – Dean, E. M. A. (2018).** Influence of Potassium Fertilization on Barhee Date Palms Growth, Yield and Fruit Quality Under Heat Stress Conditions. *Journal of Plant Production*, 9(1): 73–80.
-

<https://doi.org/10.21608/jpp.2018.35258>

- Farag, A. A., El-Aziz, M. A. A., and El-Husseiny, A. M. (2025).** Effects of irrigation systems and water management strategies on soil chemical properties and citrus tree productivity in clayey soils. *Scientific Reports*, 15(1), 33324. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19575-6>
- Fasal, H. A., AbdulWahid, A. H., and Authafa, Q. J. (2014).** Effect of spray phosphorus and proline on some physical and chemical characteristics and production for date palm *Phoenix dactylifera* L. Shuker cultivar Hassan. *Basra Journal for Date Palm Research*, 13(1–2): 2–8.
- Ghazzawy, H. S., Alqahtani, N., Munir, M., Alghanim, N. S., and Mohammed, M. (2023).** Combined Impact of Irrigation, Potassium Fertilizer, and Thinning Treatments on Yield, Skin Separation, and Physicochemical Properties of Date Palm Fruits. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051003>
- Ghosh, S., Pradhan, P., and Behera, P. (2025).** Fertigation. In S. P. Shinde (Ed.), *Natural Resource Management in Agriculture : A Modern-Day Necessity* (p. 518).
- Görlach, B. M., and Mühlhng, K. H. (2021).** Phosphate foliar application increases biomass and P concentration in P deficient maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 184(3), 360–370. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jpln.202000460>
- Jasim, A. M., Abbas, M. F., and Shareef, H. J. (2016).** Calcium application mitigates salt stress in Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) offshoots cultivars of Berhi and Sayer. *Acta Agriculturae Slovenica*, 107(1): 103–112. <https://doi.org/10.14720/aas.2016.107.1.11>
- Kassem, H. A. (2012).** The response of date palm to calcareous soil fertilisation. In *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12 (1): 45–58). <https://doi.org/10.4067/S0718-95162012000100005>
- Kaur, T., Sharma, P. K., Brar, A. S., Singh, S., and Singh, S. (2025).** Precision irrigation and fertilization strategies for sustainable cotton-wheat systems in water-scarce regions. *Agricultural Water Management*, 317: 109669. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109669>
- Ma, C., Xiao, Y., Puig-Bargués, J., Shukla, M. K., Tang, X., Hou, P., and Li, Y. (2020).** Using phosphate fertilizer to reduce emitter clogging of drip fertigation systems with high salinity water. *Journal of Environmental Management*, 263: 110366. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110366>
- Mahgoub, N. A., Mohamed, A. I., Sayed, E., Sikhary, M. El, and Ali, O. M. (2017).** Roots and Nutrient Distribution under Drip Irrigation and Yield of Faba Bean and Onion. *Open*
-

- Journal of Soil Science, 7, 52–67. <https://doi.org/10.4236/ojss.2017.72004>
- Mazahrih, N. T., Al Sayari, A. S., Al Shamsi, S. A., and Salah, M. B. (2018).** Drip Fertigation Technology for Enhancing Date Palm Productivity and Fruit Quality. *Journal of Agricultural Science*, 10(11): 380. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n11p380>
- Muhammad, T., Zhou, B., Liu, Z., Chen, X., and Li, Y. (2021).** Effects of phosphorus-fertigation on emitter clogging in drip irrigation system with saline water. *Agricultural Water Management*, 243: 106392. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106392>
- Murad, H. J., and Al-Dulaimy, A. F. Z. (2021).** Response of Date Palms Cv . Zahdi to Foliar Spray with Urea and Seaweed Extract. *Earth and Environmental Science*, 761: 012052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/761/1/012052>
- Pibars, S. K., Gaballah, M. S., Mansour, H. A., and Khalil, S. E. (2022).** Management of fertigation and its effects on irrigation systems performance and crop yield. *International Journal of Health Sciences*, 6(S2 SE): 1634–1659. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS2.5420>
- Salama, A. S. M., El-Sayed, M., and Abdel-Hameed, A. A. (2014).** Effect of Magnesium Fertilizer Sources and Rates on Yield and Fruit Quality of Date. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 10(2): 118–125.
- Sarma, H. H., Paul, A., Kakoti, M., and Talukdar, N. (2023).** Fertigation: A Modern Approach for Enhancing Nutrient use Efficiency. In *Frontiers in Agricultural Sustainability* (pp. 113–126). Integrated Publications TM.
- Shareef, H. J., Abbas, M. F., and Jasim, A. M. (2022).** Response of date palm offshoots (*Phoenix dactylifera* L .) Sayer cultivar to the foliar spray of salicylic acid and citric acid under salinity conditions. *Folia Oecologica*, 49(2): 130–136. <https://doi.org/10.2478/foecol-2022-0015>
- Shareef, H. J., and ALarab, E. H. (2025).** Antioxidant compounds enhanced the anatomical characteristics of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) offshoot leaves under salinity stress. *Basrah Journal Of Date Palm Research*, 24(2): 92–113. <https://palm.uobasrah.edu.iq/index.php/paml/article/view/80>
- Singh, B., and Craswell, E. (2021).** Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences*, 3(4): 1–24. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>
- Sneha, R., Jegadeeswari, V., Vijayalatha, K. R., Kaleeswari, R. K., Nithila, S., and**

-
- Kalaivani, J. (2025).** Effect of Fertigation on Soil Nutrients, Microbial Activity, Plant and Fruit(s) Growth Parameters Grown Under Tropical Environments: A Discussion. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 00(00): 1–29. <https://doi.org/10.1080/00103624.2025.2522190>
- Sood, T., Kapoor, S., Kaur, J., Hussain, N., and Sood, S. (2025).** Fertigation: A Paradigm Shift in Nutrient Delivery for Sustainable Agriculture BT - Agricultural Nutrient Pollution and Climate Change: Challenges and Opportunities. In N. Hussain, C.-Y. Hung, & L. Wang (Eds.), *Agricultural Nutrient Pollution and Climate Change* (pp. 135–164). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-80912-5_5
- Suhim, A. A., Abbas, K. F., and Al-Jabary, K. M. A. (2017).** Oxidative responses and genetic stability of date palm *Phoenix dactylifera* L. Barhi cv. under salinity stress. *Journal of Biology*, 7(8): 70–80.
- Sun, X., Li, Y., Heinen, M., Ritzema, H., Hellegers, P., and van Dam, J. (2023).** Fertigation Strategies to Improve Water and Nitrogen Use Efficiency in Surface Irrigation System in the North China Plain. In *Agriculture* (Vol. 13, Issue 1, p. 17). <https://doi.org/10.3390/agriculture13010017>
- Watanabe, K., Tominaga, J., Takaragawa, H., and Ueno, M. (2017).** Effects of Different Kinds of Potassium and Chloride Salts on Sugarcane Quality and Photosynthesis. *Sugar Tech*, 19(4): 378–385. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0486-2>
- Xing, Y., and Wang, X. (2024).** Precise application of water and fertilizer to crops : challenges and opportunities. *Front Plant Sci*, 15: 1444560. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1444560>
- Xing, Y., Xie, Y., and Wang, X. (2025).** Enhancing soil health through balanced fertilization: a pathway to sustainable agriculture and food security. *Frontiers in Microbiology*, 16: 1536524. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1536524>
- Xu, T., Bao, S., Yu, Q., and Gao, Y. (2025).** Solving Phosphorus Fertilization-Related Drip Irrigation Emitter Clogging by Adding Mn^{2+} . *Agronomy*, 15(1): 127. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010127>
-

دور التسميد المائي في تحسين كفاءة استخدام المياه والمغذيات في زراعة نخيل التمر

حسين جاسم شريف* عقيلة مهدي صالح منتهى جواد كاظم

مركز ابحاث النخيل-جامعة البصرة-البصرة-العراق

*الباحث المراسل husein.shareef@uobasrah.edu.iq

الخلاصة

برز التسميد المائي، وهو تطبيق الأسمدة مع الماء عبر نظام الري، كنهج فعال لتعزيز كفاءة استخدام المياه والمغذيات في النخيل. تسلط هذه المراجعة الضوء على التقدم الحالي في تطبيق تقنية التسميد المائي لتحسين نمو النخيل، وإنتاجيته، وجودة ثماره، واستدامته في البيئات الجافة وشبه الجافة. وتغطي المراجعة أنواعًا مختلفة من الأسمدة القابلة للذوبان في الماء، وتأثيرها على توافر المغذيات في التربة المحيطة بالجذور، وتقنيات التسميد المائي المختلفة. إضافةً إلى ذلك، تُبرز المراجعة أيضًا دور ترشيد استهلاك المياه وحماية البيئة من خلال تقليل فقدان المغذيات وتحسين إدارة الأسمدة عبر التسميد المائي. كما تُستعرض القيود المتعلقة بالتكنولوجيا، مثل جودة المياه، وانسداد المنقطات، والإدارة. وبشكل عام، تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن التسميد المائي يمكن أن يكون تقنية واعدة لإنتاج النخيل المستدام عند دمجها مع ممارسات الري الجيدة وإدارة المغذيات.

الكلمات المفتاحية: التسميد المائي، تغذية نخيل التمر، الري بالتنقيط، الأسمدة القابلة للذوبان في الماء، كفاءة استخدام

العناصر الغذائية.

**Impact Temperatures on the Biological Characteristics of the
Bio-parasitoid *Trichogramma* spp. Reared on the Eggs of the Lesser Date
Moth *Batrachedra amydraula* (Meyrick).**

Ghazwan F. Al-Saedi Hassan A. Faisal Waad M. Ghadban

Date palm Research Centre-University of Basrah-Basrah-Iraq

Corresponding author: ghazwan.khalaf@uobasrah.edu.iq

Abstract

Lesser date moth *Batrachedra amydraula* presents an important threat to the sustainability of date palm in Iraq. This study evaluated two potential egg parasitoids *Trichogramma evanescens* and *T. brassicae*, through comparative laboratory and field assessment of their biological performance. Experiments examined thermal responses at 25, 30 and 35°C across Sayer, Hillawi and Khadhrawi date palm cultivars, measuring parasitism, emergence, embryo mortality and sex ratio. Results indicated a clear thermal optimum at 30 °C where *T. brassicae* achieved 80.11% parasitism and *T. evanescens* 79.93% on Hillawi cultivar. At 35°C, performance declined sharply to below 55% parasitism. *T. evanescens* showed highest emergence (64.2%) and lowest mortality (35.8%) at 30 °C, whereas *T. brassicae* exhibited high embryonic mortality (49.43%) at 35°C. Field observations revealed peak activity in April on Khadhrawi cultivars, while Hillawi showed the highest biological compatibility with a female biased sex ratio of 57 to 62.5%. The study identifies 30 °C as the optimal temperature for mass rearing and field release, and recommends *T. evanescens* as the most effective agent for IPM programs in southern Iraq, with April as the best release window before extreme summer temperatures. Overall, The integration of laboratory and field data demonstrates that temperature strongly governs parasitoid efficiency, with 30 °C representing a critical threshold for maximizing biological potential against *B. amydraula*, while heat stress beyond this limit reduces effectiveness and should be considered in climate-adapted integrated pest management strategies.

Keywords: *Batrachedra amydraula*, *Trichogramma* spp., Biological control, embryonic mortality, parasitism.

Introduction

Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) plays a strategic role in agricultural and ecological systems for arid and semi-arid zones around the globe. In the Middle East and North Africa especially, date palm cultivation is essential for sustainability efforts. Date palm growing along Shatt Al-Arab basin in Iraq's south eastern governorate Basra has been part of local heritage and economy for many years. Due to this special ecosystem and microclimate, conditions are suitable for growing high quality cultivars which may have promising commercial value. Unfortunately, various insect pests threaten date palm plantation production, and the most important of these insects is lesser date moth *Batrachedra amydraula* (Meyrick) (Abd *et al.* 2025). This pest presents a major economic threat to date palm growers because of its voracious feeding behavior on the fruit during early stages of development (Hababouk and Kimri stages). This can lead to dried fruits that drop from the tree prematurely and result in significant financial loss if effective management strategies are not implemented (Latifian, 2020 ; Al-Naabi *et al.* 2023). Losses can exceed 50% of total yield in extreme cases. For many years now, controlling this pest has mainly depended on the use of traditional synthetic pesticides. Even though these chemicals can work for a short time, their widespread and careless use has led to serious harm to the environment (Abdifitah *et al.* 2026).. This has caused significant problems in Shatt Al Arab, including soil and water pollution, negative effects on positive organisms, and the creation of pesticide-resistant insects. Therefore, IPM practices need to be adopted immediately because biological control methods with *Trichogramma* egg parasitoids are an excellent and sustainable method to use for pest control (Bueno *et al.* 2023). These parasitoids are extremely effective at reducing pest populations during their most vulnerable stage at the egg which prevents any damage from being done before the fruit is even produced. This method is not only good for the environment but also really flexible for use in field release initiatives (Navik and Richa, 2018; Satyanarayana *et al.* 2024). This method is set to be a game changer in 2024. The field efficiency of biological control agents is not static rather it is the product of a complex interaction between the parasitoids genetic traits and surrounding environmental factors primarily temperature. Temperature serves as the fundamental driver for all biological and physiological processes in insects, determining developmental speed, longevity, and host-seeking capability, as well as directly influencing the sex ratio of the resulting progeny (Ana-Cristina *et al.* 2020). In a thermally fluctuating environment like Southern Iraq where temperatures transition from moderate spring conditions to

extreme summer heat stress understanding the thermal plasticity of these parasitoids is essential for the success of control programs (Ramos Aguila *et al.* 2023 ; Alary *et al.* 2026). In addition to climatic factors the host plant cultivar plays a pivotal role in the success of the parasitism process. Morphologic, physical, or chemical traits of different date palm cultivars, including Sayer, Hillawi, and Khadrawi, may create differences in the attraction of pest species for oviposition or may affect the micro climate surrounding the egg. These variations then impact the parasitoids ability to locate the host and develop within. Despite a wealth of global literature on the genus *Trichogramma*, there remains a significant gap in local research comparing the species *T. evanescens* and *T. brassicae* when reared on a natural host (*B. amydraula*) under varying thermal pressures across different date palm cultivars in the Basra environment (Alrubeai *et al.* 2014 ; Al-Musafir *et al.* 2022 ; Al-Saedi, 2025). Thus, this research was conducted to provide a thorough and in depth investigation into how three different temperatures 25°C, 30°C and 35°C affect the biological characteristics of both species of these parasitoids. The objectives are to define the optimal temperature range for their activity, to see how their activities change when the host plant is grown from different cultivars. Therefore, this provides an accurate scientific database to aid in determining the best time to release them in the field of-date palm orchards, both for protection of the crop and for maintaining the ecological integrity of the area.

Materials and Methods

Study Area and Site Description

Field trials conducted in private date palm orchards located in the Shatt Al-Arab district of Basrah Province, Southern Iraq selected a geographic site representing the environmental conditions of date palm cultivation that experienced large seasonal variability in the magnitude and duration of temperature fluctuations. The research evaluated three commercially grown varieties of the date palm Sayer, Hillawi, and Khadrawi. Homogeneous trees (10–15 years old) with similar heights were selected ensuring they were subjected to uniform agricultural practices (irrigation, fertilization and pruning) throughout the study period to minimize external variables.

Host Insect Rearing and Maintenance

The initial source of lesser date moth *B. amydraula* was derived from larval-infested fruit bunches located within a defined study area, these samples were then transported to laboratory facilities and maintained within wooden boxes with fine mesh cover at 25±2°C and 60±5% RH

using the same experimental methodologies. Parcels of freshly laid less than 24h eggs were collected for parasitic experimentations thereafter to periodically ensure that the maximum suitability was provided to each host material (Al-Naabi et al 2023).

Parasitoid Sources and Acclimatization

The parasitoids *Trichogramma brassicae* and *T. evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) were produced in large quantities on the eggs of the Mediterranean flour moth *Ephestia kuehniella*. Eggs of *E. kuehniella* were pasted onto cardboard measuring 8 x 4 cm. Each card contained 50 eggs. *T. brassicae* and *T. evanescens* are reared in glass containers with a height of 21 cm and a diameter of 10cm covered with muslin cloth by using rubber bands that are kept in place until use. Six cards of freshly collected eggs (1 day old) were placed in each glass jar along with 2 cards containing parasitic eggs that would hatch within 24 hours. *E. kuehniella* and *Trichogramma* species were reared at a temperature of 25 ± 2 °C, 70 % relative humidity (El-Dakroury *et al.*, 2002).

Thermal Experimental

To evaluate the biological characteristics of the parasitoids under varying thermal pressures, the following steps were implemented, three constant temperatures (25°C, 30°C, and 35°C) were maintained inside programmed growth chambers with a precision of ± 0.5 °C. One hundred fresh Lesser Date Moth eggs (categorized by cultivar) were fixed onto small paper cards and exposed to a mated pair of parasitoids for 24 hours. Five replicates were assigned to each treatment (Parasitoid species \times Temperature \times Cultivar). Following the exposure period cards were transferred to clean test tubes and kept in incubators to monitor embryonic development (Mohammad *et al.* 2015).

Assessment of Biological Parameters

The following detailed biological indicators were recorded parasitism rate (%) calculated based on the number of eggs that turned black due to the development of parasitoid larvae. Adult emergence percentage (%) calculated by counting the exit holes left by emerging adults in the host eggs. Embryonic mortality rate (%) calculated as the percentage of parasitized (blackened) eggs that failed to produce emerging adults. Sex ratio emerged adults were examined under a

stereomicroscope to differentiate females from males (based on antennal morphology) to calculate the female progeny percentage.

Statistical Analysis

The data were analyzed using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with a factorial experimental framework. Analysis of variance (ANOVA) was used to analyze the effects of the temperature, the parasitoid species, the date palm cultivars, and their interactions on the biological parameters measured after the parasitism of the date palm trees. To determine the significance of differences between the means, a Duncans Multiple Range Test was used with a significance level of ($P \leq 0.05$). All statistical analyses were performed using the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) software, version 23.

Results

Parasitism efficiency and the interaction between temperature and cultivars

The findings presented in Table (1) indicate a significant impact of temperature on the parasitism rates of both bio-parasitoid species. The temperature of 30°C was statistically superior (significance level a) compared to other thermal regimes. At this optimal temperature *T. brassicae* recorded its highest parasitism rate at 80.11% on the Hillawi cultivar, followed closely by *T. evanescens* at 79.93% on the same cultivar (Figure 1). When the temperature was increased to 35°C a significant reduction in parasitism efficiency occurred (level b) with rates fluctuating between 56.88% and 62.64% reflecting the negative impact of heat stress on female activity. Conversely, the lowest parasitism rates (level c) were recorded at 25°C reaching a minimum of 48.95% for *T. brassicae* on the Khadhrawi cultivar. As observed in Table (1) the Hillawi cultivar provided a more conducive environment for parasitism compared to Sayer and Khadhrawi, although the differences between cultivars were less pronounced than the variations caused by temperature.

Table (1): Interaction effect of temperature and date palm cultivars on the parasitism rate (%) of *Trichogramma* spp. on *B. amydracula* eggs.

Parasitoid Species	Temperature (°C)	Sayer (Mean ± SE)	Hillawi (Mean ± SE)	Khadhrawi (Mean ± SE)
<i>T. evanescens</i>	25°C	51.34 ±1.2 c	52.61 ±0.9 c	50.15 ±1.1 c
	30°C	78.45 ±0.8 a	79.93 ±0.5 a	77.20 ±1.0 a
	35°C	58.12 ±1.5 b	59.73 ±1.3 b	56.88 ±1.4 b
<i>T. brassicae</i>	25°C	49.88 ±1.1 c	50.43 ± 1.2 c	48.95 ±0.8 c
	30°C	79.12 ±0.7 a	80.11 ±0.6 a	78.45 ± 0.9 a
	35°C	61.20 ±1.8 b	62.64 ±1.5 b	60.10 ±1.7 b

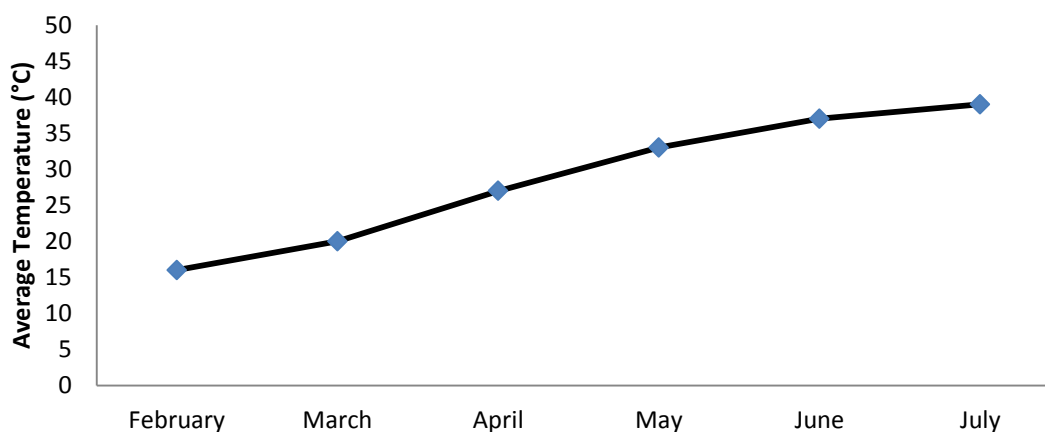


Figure 1: Average Monthly Temperatures in Basrah Governorate from February to July.

Biological Performance

Table (2) illustrates the biological characteristics related to the completion of the life cycle within the host egg. The results showed a qualitative superiority for *T. evanescens* at the optimal temperature 30°C achieving the highest adult emergence rate of 64.20%. This value was statistically significant (level a) outperforming *T. brassicae* which recorded 58.85% at the same degree. The relationship between embryonic mortality rates and emergence efficiency appears to be reverse. The lowest statistical embryonic mortality rate was recorded at 30°C for *T. evanescens* (35.80%). In comparison, both species exhibited high levels of embryonic mortality (50.85% and 49.43% respectively) in the high temperature (35°C) treatment which contributes to low levels of attack success by these natural enemies in field conditions during intense summer heat.

Table (2): Biological performance (Adult Emergence % and Mortality %) of *Trichogramma* spp. at various constant temperatures.

Parasitoid Species	Temp (°C)	Adult Emergence (%)	Mortality Rate (%)
<i>T. evanescens</i>	25°C	54.12 ±1.1 b	45.88 ±0.9 b
	30°C	64.20 ±0.8 a	35.80 ±0.7 c
	35°C	49.15 ±1.4 c	50.85 ±1.2 a
<i>T. brassicae</i>	25°C	52.33 ±1.0 b	47.67 ±1.1 b
	30°C	58.85 ±0.9 ab	41.15 ±0.8 bc
	35°C	50.57 ±1.5 c	49.43 ±1.4 a

Progeny Sex Ratio

Data from Table (3) indicate that all treatments produced offspring progeny with a female biased ratio, this is an economically desirable trait for biological control programs. *T. brassicae* reached the maximum percentage of female progeny (62.50%) on the Sayer cultivar at 30°C. Similarly, temperature analysis indicates that temperatures of both 25°C and 30°C maintained high female percentages and statistically consistent female ratios (level a) without significant differences between these temperatures, however a temperature of 35°C significantly decreased female percentages (level b) at all replication of cultures tested with *T. evanescens* producing the lowest ratio of 57.85% on the Kadhrawi cultivar. This decrease may be due to the fact that thermal stress may impact the viability of fertilized (female) and unfertilized (male) eggs differently (more so on fertilized eggs).

Table (3): Influence of temperature and date palm cultivars on the Sex Ratio (Female %) of the progeny.

Parasitoid Species	Temperature (°C)	Sayer (%)	Hillawi (%)	Khadhrawi (%)
<i>T. evanescens</i>	25°C	60.12 a	61.33 a	59.45 a
	30°C	60.45 a	61.41 a	60.05 a
	35°C	58.20 b	59.08 b	57.85 b
<i>T. brassicae</i>	25°C	61.15 a	61.88 a	60.30 a
	30°C	62.50 a	62.10 a	61.55 a
	35°C	59.10 b	60.02 b	58.70 b

General Synthesis of Numerical Data

By correlating the three tables it is evident that the triple interaction between parasitoid species, temperature, and host-plant cultivar plays a pivotal role in the success of biological control. While *T. brassicae* possesses a slightly higher parasitism capacity at high temperatures (Table 1), *T. evanescens* excels in embryonic viability and adult emergence (Table 2), making it the more sustainable species for the thermally variable environment of Shatt Al-Arab district-Basrah governorate-Iraq.

Discussion

The data show that the two types of insects achieved 80 percent parasitism at 30°C on Hillawi. Palm trees have an ideal temperature for their excellence in metabolic efficiency. However, at 35°C the two species became critically separated. *T. evanescens* had a high degree of physiological plasticity with a 64.2% rate of emergence associated with *T. brassicae* shigh embryonic mortality and sensitivity to high temperatures. The cultivar of Hillawi provided a protective micro climate from thermal degradation resulting in increased success of the parasitoid. Based on these data, *T. evanescens* should be used for IPM programs in southern Iraq during the Golden Biological Window in April, in which there is an alignment of temperature and physiological optimal. The timing allows pest control to be maximized prior to the arrival of extreme summer heat waves during June. The results from the study by Gameel *et al.*, (2014) support the efficacy of *T. evanescens* through a series of long term field trials during which *T. evanescens* was released at 20,000 parasitized eggs/feddan in early May. These trials showed an average of a 73.74% reduction in the level of infestation of *B. amydraula*. The similar result from this study provides the conclusion that selecting *T. evanescens* is an effective strategy to minimize the impact of lesser date moth infestations and subsequently fruit drop. According to the findings of Mohammad *et al.*, (2011), the results of our study are congruent with one another confirming that *T. evanescens* would be the best species available to use for controlling pests in southern Iraq using biological pest control methods IPM. There is also an assurance that using *T. evanescens* will result in high quality crop production while providing agricultural producers with assurance about the safety of their environment as well as the health of humans living close to agricultural land. In addition, Mohammad *et al.* (2011) found that when releasing *T. evanescens* at a release rate of 3 capsules per palm it provided a maximum control efficacy of 70.8%. Analysis of efficiency of parasitism with thermal response the (Table 1) peak of the rate of

parasitism at approximately 30 degrees celsius is most likely due to an increase in the females activity level and host searching behaviour. At the same time we believe that the decrease in the rate of parasitism which was apparent at 35°C was the result of the effects from heat stress induced oxidative damage that reduced the average longevity and reproductive cycle of the female wasps. This accounts for the complete failure of parasitoids in Basrah during the very hot summer months, when the temperatures are usually over the upper limit of their thermoregulation. In the study performed by Khethani *et al.* (2013), the developmental biology of the parasitoid *Trichogrammatoidea lutea* was examined using six constant temperatures (18, 21, 24, 27, 30, and 35°C) in combination with three different lepidopteran host eggs. From this research it was determined that *T. lutea* was unable to complete its development at a temperature of 35°C using any of the three host species. It is evident from this study that a temperature of 35°C represents a critical thermal barrier that halts the development of many *Trichogramma* species. This underscores the vital importance of selecting the appropriate timing for field releases, ensuring they occur away from the peak summer heat. Emergence, Mortality, and Physiological plasticity the data indicated that *T. evanescens* had an advantage over other species in terms of both emergence and mortality (Table 2). This leads us to believe that *T. evanescens* has a greater degree of Physiological Plasticity enabling the *T. evanescens* embryo to withstand thermal stress while residing in its host egg. The increased mortality level at 35°C may not only be due to deaths of individual embryos; it also may reflect that the host egg *B. amydraula* was desiccated by superheated air in which they were incubated. The resultant hardening of the chorion of the host egg will create a mechanical barrier, thus preventing larvae from feeding upon or emerging from their' host eggs. Mohammad *et al.* (2015) demonstrates that *T. evanescens* is a highly effective bio-agent against the lesser date moth, achieving a peak parasitism rate of 94.4% within an optimal thermal range of 27°C. Findings indicate that temperature significantly dictates life stages, with longevity stretching to 35 days at 15°C and contracting to 7 days at 33°C. Population stability and sex ratio although the sex ratios value remained stable (Table 3), the small decrease in the temperature at 35°C supports the hypothesis that female embryos formed from fertilized eggs have a greater environmental sensitivity than male embryos. Maintaining a female ratio of about 60% is an effective indicator of whether or not these parasitoids will successfully establish populations in palm orchards when released at the correct biological window. A study conducted in Iran by Tabebordbar *et al.* (2022) confirms that temperature is the decisive factor in determining the biological efficiency of the *T. euproctidis* parasite, as 32.5°C

was recorded as the optimal temperature for parasitism, female production, and survival. Life table indices showed a positive relationship between temperature rise and the intrinsic rate of increase up to a certain threshold, before decreasing at extreme heat 40°C. The Hillawi cultivar was found to be more suitable for the parasitoid species compared to the other cultivar's characteristics like the fruit is likely to provide some level of shelter from dry winds, thus creating a suitable micro-climate for the parasitoid. The Khadhrawi cultivar has greater levels of attractiveness towards the pest however, there may also be certain chemicals like tannins or resins present in this cultivar in greater concentrations than in the Hillawi cultivar that could hinder the parasitism of the pest by the parasitoid. Therefore, in order to effectively manage the pest within this cultivar, we will have to release higher concentrations of parasitoids within this cultivar. In a study he conducted Firake and Khan (2014) showed that daily temperature fluctuations and short term thermal shocks adversely affect the survival of *Trichogramma* parasites in terms of emergence, fecundity and longevity. In the same regard, Mehrnoosh *et al.* (2021) confirms that the efficiency of *T. brassicae* follows a non-linear relationship with temperature, peaking at 30°C before declining at higher thermal regimes. The results highlight the high performance of the parasite in tropical and warm conditions, while maintaining a biased sex ratio across different temperatures. Thus, these bioclimatic models enable optimization of mass rearing protocols and precise field release timing to ensure maximum control effectiveness.

Conclusion

The study found that 30°C is the optimal temperature for maximum parasitism and emergence, and is therefore recommended for mass rearing of *Trichogramma*. *T. evanescens* performed better than *T. brassicae*, especially under heat stress at 35°C, showing higher thermal tolerance. Host cultivar influenced effectiveness, with Hillawi showing the best compatibility, while Khadhrawi required higher release rates due to greater infestation levels. All treatments showed a female-biased sex ratio (57–62%), indicating good potential for stable field populations. Overall, April was identified as the best release period in southern Iraq, as field temperatures align with optimal parasitoid activity.

References

- Abd, N. T., Shafeeq, A. F., Al-Obeidi, N. A., & Fahad, M. M. (2025).** Biological Constraints in the Establishment and Development of Date Palm Orchards in Iraq. *Journal of Kirkuk University for Agricultural Sciences*, 16(2): 154-162. <https://doi.org/10.58928/ku25.16219>
- Abdifitah A., Ozan D. , Abdihamid S. and Abdullahi M. (2026).** Impact of Synthetic Agricultural Pesticides on Non-Target Insects. *Cross Current International Journal of Agriculture and Veterinary Sciences* ; 8(1): 12-22. <https://doi.org/10.36344/ccijavs.2026.v08i01.002>
- Alary S., Isabelle D., and Manuel M. (2026).** Transgenerational effects of a high temperature impair the resistance of the pest *Spodoptera frugiperda* to a parasitoid. *Science of the Total Environment* 1010, 181166. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.181166>
- Al-Musafir, M. A., Abdulkader, A. A., & Alwaily, D. S. (2022).** Studying the effect of environmental conditions in the seasonal abundance of lesser date moth (*Batrachedra: amydraula: Meyrick*) on date palm, *Phoenix dactylifera* L. in central and southern Iraq. *Biochemical & Cellular Archives*, 22(2): 3535-3539. <https://doi.org/10.51470/bca.2022.22.2.3535>
- Al-Naabi S., 1 , Mrs. Najma M. and Rashid S. (2023).** Biological Control of Lesser Date Moth (*Batrachedra. amydraula/ mayrick*) using the local parasitoid *Goniozus omanensis*. *Journal of Agricultural, Environmental and Veterinary Sciences (JAEVS)* . 7(4): 29-36.
- Ana-Cristina F., Cristina-M., Daniel C. and Mihaela-Monica D. (2020).** Influence of Environmental Factors on Entomopathogenic Microorganisms with Potential as Biological control agents . *Romanian Journal for Plant Protection*, Vol. XIII. <https://doi.org/10.54574/RJPP.13.15>
- Bueno, A. de F., Sutil, W. P., Maciel, R. M. A., Roswadoski, L., Colmenarez, Y. C., & Colombo, F. C. (2023).** Challenges and opportunities of using egg parasitoids in FAW augmentative biological control in Brazil. *Biological Control: Theory and Applications in Pest Management*, 186(105344), 105344. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105344>
- El-Dakroury, M. S. I., Eweis, M. A., & Abul Fadl, H. A. A. (2002).** Mass production and utilization of *Trichogramma evanescens* West. as a biocontrol agent against date fruit pests
-

in Siwa Oasis, Egypt. 2nd International Conference, Plant Protection Research Institute, Cairo, Egypt, 263-265.

Firake D. and Khan M. (2014). Alternating temperatures affect the performance of *Trichogramma* species. J Insect Sci.14:41. <https://doi.org.10.1093/jis/14.1.41>

Gameel S. M. M.; Ewais, M. A. and Sayed, A. A. (2014). Using of *Trichogramma evanescens* west (Hymenoptera: Trichogrammatidae) for controlling *Arenipses sabella* hmpson and *Batrachedra amydraula* meyrick in the date palm fields at the new valley-Egypt. Egypt. Acad. J. Biolog. Sci., 6(1): 35-41.

Latifian M. (2020). Effects of climatic stress on the severity of date palm fruits pests and diseases damages. Iranian Journal of Plant Protection Science. 51(1): 39-53. [10.22059/ijpps.2020.290086.1006912](https://doi.org/10.22059/ijpps.2020.290086.1006912)

Mohammad, J., Radhi A. and Abul-Sattar A. (2015). Influence of Temperature on Some Biological Characteristics of *Trichogramma evanescens* (Westwood) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on the Egg of Lesser Date Moth *Batrachedra amydraula* Meyrick. Journal of Biological Control 29(3):125. <https://doi.org/10.18641/jbc/29/3/86145>

Mehrnoosh Negahban, Amin Sedaratian-Jahromi, Mojtaba Ghane-Jahromi, Mostafa Haghani, Myron P. Zalucki. (2021). Response of *Trichogramma brassicae* (Hym.: Trichogrammatidae) to temperature: Utilizing thermodynamic models to describe curvilinear development, Crop Protection, 143, 105562, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105562>

Mohammad, J.K., Ali, A.A., Al-Jassani, R.F., El-Bouhssini, M. (2011). The use of the egg parasitoids *Trichogramma evanescens* Westwood and *T. principium* Sugonjaev and Sorkina for the biological control of the lesser date moth *Batrachedra amydraula* Meyrick, Anbar Journal Of Agricultural Sciences, 9 (3), 292-303.

Navik OS and Richa V. (2018). Utilization of Trichogrammatid Egg Parasitoid in Pest Management". Acta Scientific Agriculture 2.3: 49-53.

Ramos Aguila, L.C.; Li, X.; Akutse, K.S.; Bamisile, B.S.; Sánchez Moreano, J.P.; Lie, Z.; Liu, J. (2023). Host–Parasitoid Phenology, Distribution, and Biological Control under Climate Change. Life, 13, 2290. <https://doi.org/10.3390/life13122290>

Satyanarayana P., Guhan T., Ganesan T. Bhagyalakshmi A., Pallavi L., Koshariya A.K., Sabarimuthu M., Rajaram A. (2024). Exploring the impact of pesticide resistance in agricultural pest management, Global NEST Journal, 26(9), 05931.

Tabebordbar F, Shishehbor P, Ebrahimi E, Polaszek A and Ugine TA. (2022). Effect of Different Constant Temperatures on Life History and Life Table Parameters of *Trichogramma euproctidis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). J Econ Entomol.115(2):474-481. <https://doi.org/10.1093/jee/toac007>

تأثير درجات الحرارة على الخصائص الحيوية لطفيل البيوض *Trichogramma spp.* المربى على بيض حشرة الحميرة

Batrachedra amydraula (Meyrick)

غزوان فيصل خلف الساعدي حسن عبد الامام فيصل وعد مجيد غضبان

مركز ابحاث النخيل-جامعة البصرة-البصرة-العراق

*الباحث المراسل: ghazwan.khalaf@uobasrah.edu.iq

الخلاصة

تُعد حشرة الحميرة *Batrachedra amydraula* من الآفات المهمة التي تهدد استدامة زراعة نخيل التمر في العراق. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم نوعين من متطفلات البيوض هما *Trichogramma evanescens* و *T. brassicae* من خلال مقارنة أدائهما الحيوي مختبرياً وحقلياً. شملت التجارب دراسة استجابة النوعين لثلاث درجات حرارة (25 و 30 و 35°م) على أصناف نخيل التمر السائر والحلاوي والخضراوي، مع تقييم نسبة التطفل ونسبة خروج الحشرات الكاملة ونسبة موت الأجنة ونسبة الجنس. أظهرت النتائج وجود درجة حرارة مثلى واضحة عند 30°م، حيث سجل *T. brassicae* أعلى نسبة تطفل بلغت 80.11%، في حين سجل *T. evanescens* نسبة تطفل بلغت 79.93% على صنف الحلاوي. وعند 35°م انخفضت كفاءة التطفل بشكل ملحوظ إلى أقل من 55%. كما حقق *T. evanescens* أعلى نسبة خروج للحشرات الكاملة (64.2%) وأدنى نسبة موت (35.8%) عند 30°م، بينما أظهر *T. brassicae* أعلى نسبة لموت الأجنة بلغت 49.43% عند 35°م. وبينت الملاحظات الحقلية أن أعلى نشاط للمتطفلات سجل خلال شهر نيسان على صنف الخضراوي، في حين أظهر صنف الحلاوي أعلى درجة من التوافق الحيوي مع المتطفلات، مع نسبة جنس منحاظة للإناث تراوحت بين 57 و 62.5%. وتحدد الدراسة درجة حرارة 30°م بوصفها الدرجة المثلى للإكثار الكمي والإطلاق الحقلية، كما توصي باستخدام *T. evanescens* بوصفه العامل الحيوي الأكثر كفاءة ضمن برامج مكافحة المتكاملة للآفات في جنوب العراق، مع اعتماد شهر نيسان موعداً مثالياً للإطلاق قبل حلول درجات الحرارة الصيفية المرتفعة. وتؤكد النتائج أن درجة الحرارة تعد عاملاً حاسماً في تحديد كفاءة المتطفلات، إذ تمثل 30°م الحد الحراري الأمثل لتعظيم قدرتها على مكافحة عثة تمر النخيل الصغرى، في حين يؤدي تجاوز هذا الحد إلى انخفاض فعاليتها، الأمر الذي ينبغي مراعاته عند تطوير استراتيجيات مكافحة المتكاملة المتكيفة مع الظروف المناخية.

الكلمات المفتاحية: حشرة الحميرة، متطفلات *Trichogramma*، مكافحة الحيوية، موت الاجنة، التطفل.