

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 لاحيوية، 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 إنتاجه 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 إنتاجه (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 يسهم 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 مصدراً سريعاً 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 الاجهاد 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

(Oxygen Species (ROS)، 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

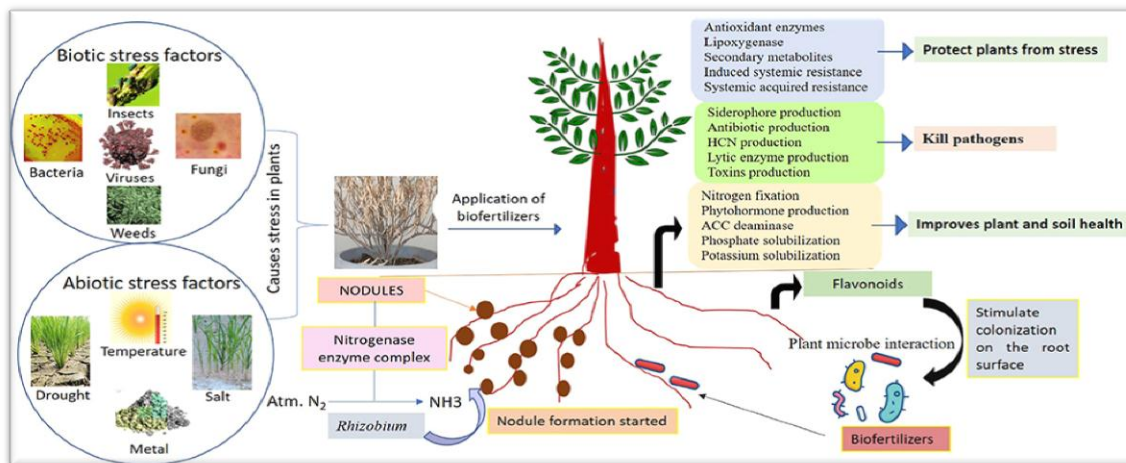
يعد استخدام الأسمدة الحيوية في النظم الزراعية الحديثة توجهاً متزايد الأهمية، إلا أن المعرفة العلمية المتعلقة بقدرتها على الاستقرار في التربة لفترات طويلة وسلوكها البيئي لا تزال محدودة نسبياً (Compant et al., 2019). وفي هذا السياق، يزداد الاهتمام البحثي بدراسة التفاعلات بين الكائنات الدقيقة المضافة والمجتمعات 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 الإمكانات 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)	<i>Trichoderma harzianum</i>	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).