دور البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات (PGPR) في تحريض المقاومة الجهازية في نباتات البطاطا/البطاطس ضدّ الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

ياسر علي حماد* وصفاء جهاد شدّود

قسم علوم التربة والمياه، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سورية.

*البريد الإلكتروني للباحث المراسل:Yaser.hammad@tishreen.edu.sy

الملخص

حماد، ياسر علي وصفاء جهاد شدّود. 2026. دور البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات (PGPR) في تحريض المقاومة الجهازية في نباتات البطاطا/البطاطس ضد الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. مجلة وقاية النبات العربية، 44(2):253-263.

https://doi.org/10.22268/AJPP-001400

هدف هذا البحث إلى تقييم كفاءة خليط من الريزوبكتيريا المعززة لنمو النبات في الحدّ من الإصابة بالذبول الفيوزاريومي المتسبب عن الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* في نباتات البطاطا/البطاطس صنف Sponta، وتحديد المعاملة الأفضل. حضرت ثلاثة مخصبات باستخدام ثمان عزلات من الريزوبكتيريا PGPR، أضيفت إلى النبات عند الزراعة، وبعد الانبات وعند الإباضة، أخذت القراءات وعينات الدراسة بعد 45 يوماً من العدوى. تم قياس نشاط أنزيم البيروكسيداز وكمية الفينولات الكلية ومحتوى الأوراق من حمض الساليسيليك. كما تم حساب نسبة وشدة الاصابة بالفطر *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*. وتحديد النسبة المئوية لتخفيض الإصابة بالذبول. نفذ البحث وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة خلال العروة الربيعية 2021، في حقل تابع للمؤسسة العامة لإكثار البذار في محافظة اللاذقية. أظهرت النتائج فعالية اللقاحات البكتيرية المدروسة في زيادة نشاط أنزيم البيروكسيداز ومحتوى الأوراق من الفينولات الكلية وحمض الساليسيليك في أوراق نباتات البطاطا/البطاطس المعداة بالذبول الفيوزاريومي في جميع المعاملات وبفروق معنوية مقارنة مع الشاهد المعدى، وخفضت نسبة وشدة الاصابة بالذبول الفيوزارمي. تفوقت المعاملة بمزيج العزلات البكتيرية الثمانية والاضافة المتكررة (M3D4) على باقي المعاملات، وسجلت أعلى القيم لنشاط أنزيم البيروكسيداز (0.19 ميكرومول/مغ)، وأكبر محتوى من الفينولات الكلية (79.69 مغ/100غ) وحمض الساليسيليك (176.61 ميكروغرام/غ) في أوراق نباتات البطاطا/البطاطس بالمقارنة مع الشاهد المعدى (0.1، 45.01 و 107.12، على التوالي). كما خفضت نسبة الإصابة والشدة الإمراضية للفيوزاريوم وبفروق معنوية مقارنة مع الشاهد المعدى، وسجلت المعاملة M3D4 أعلى نسبة تخفيض للإصابة (82.33%). أكدت هذه النتائج فعالية التلقيح المختلط بثمان عزلات من الريزوبكتيريا المعززة لنمو النبات عند الاضافة المتكررة لتحفيز المقاومة الجهازية في نباتات البطاطا/البطاطس المعداة بالفطر *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* ، وبالتالي إمكانية استخدام أنواع الريزوبكتيريا المختبرة في برامج المكافحة الحيوية ضدّ هذا الفطر.

كلمات مفتاحية: البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النباتات، PGPR، البطاطا/البطاطس، الذبول الفيوزاريومي، حمض الساليسيليك، فينولات، أنزيم البيروكسيداز.

المقدمة

تعدّ البطاطا/البطاطس (*Solanum tuberosum* L.) من أهم محاصيل الخضر المزروعة في سورية، إذ بلغت المساحة المزروعة بها 23864 هكتاراً، وبإنتاجٍ إجمالي بلغ 554740 طناً موزعة على العروات الثلاث الربيعية والصيفية والخريفية (المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية، 2022). تعدّ الفطور القاطنة للتربة، ومنها أنواع الجنس *Fusarium*، فطوراً ذات مدى عائلي واسع، تسبب أمراضاً من الصعب السيطرة عليها باستخدام المبيدات الكيميائية ونظام الدورة الزراعية (El-Gali, 2003).

يسبب مرض الذبول الفيوزارمي المتسبب عن الفطر *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycoprsici* (FOL) (Lenc, 2011) فقداً في الإنتاج يصل إلى 60%. إذ يقوم الفطر باختراق جذور النباتات والانتشار في الأوعية النباتية، مما يؤدي إلى انسدادها بالتالي الحدّ من نقل الماء والعناصر الغذائية إلى الأجزاء العليا للنبات، ما يتسبب في ذبول النبات ثم موته (Ragab *et al*., 2012؛ Ignjatov *et al*., 2012؛ Saleh & Abed, 2023). لمكافحة الأمراض بالمبيدات الكيميائية عدة عيوب، كتطور المقاومة لدى الفطر، والأثر المتبقي للمبيدات المستخدمة (Ullah *et al*., 2022)، لذلك كان من الصعب كيميائياً السيطرة الكاملة على تفشي مرض الذبول.

https://doi.org/10.22268/AJPP-001400
© 2026 الجمعية العربية لوقاية النبات Arab Society for Plant Protection

تعدّ البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات (PGPR) واحدة من الوسائل الحيوية المستخدمة في كبح المسببات المرضية. حيث أكدت دراسات سابقة امتلاك بعض أنواع البكتيريا الجذرية/الرايزوبكتيريا القدرة على تثبيط نمو الفطر *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* مختبرياً (المغربي وآخرون، 2016؛ عقيل، 2024)، وإمكانية استخدامها في برامج المكافحة المتكاملة بديلاً للمكافحة الكيميائية المتبعة لإدارة المرض والسيطرة عليه في الحقل (Przemieniecki *et al*., 2015; 2018؛ Sallam *et al*., 2013). تعمل بكتيريا PGPR على تعزيز نمو النبات وكبح العوامل الممرضة من خلال آليات مباشرة وغير مباشرة (Glick, 2012؛ Pérez-Montaño *et al*., 2014). تتضمن الآليات المباشرة تأمين العناصر الغذائية بشكل متاح للنبات وإنتاج مركبات حاملات الحديد (Sidrophores) والهرمونات النباتية والأنزيمات التي تعطي خصائص حيوية لمحلول التربة. أما الآليات غير المباشرة، فتتمثل بكبح الممرضات من خلال التأثير على فيزيولوجيا النبات وتعزيز المقاومة الجهازية للنبات بتحفيز آليات الدفاع داخل النبات (Roychowdhury *et al*., 2014).

تعمل بكتيريا PGPR على تحفيز المقاومة الجهازية في النبات قبل تعرضه لأحد المسببات المرضية، كالعدوى بفيروس موزاييك الخيار، وذلك عن طريق تطوير القدرة الدفاعية لدى النبات من خلال التحريض على تركيب وتجميع البروتينات المرتبطة بالدفاع النباتي كالبيروكسيداز وزيادة محتوى الفينولات الكلية (إبراهيم وآخرون، 2020؛ Al-Shami *et al*., 2017؛ Hahm *et al.,* 2017). تعدّ الهرمونات والبروتينات المرتبطة بالإمراضية (Pathogenesis-related (PR) proteins) ونشاط أنزيم البيروكسيداز ومركبات اللجنين، من المكونات المهمة المتشكلة نتيجة تحريض المورثات المرتبطة بالدفاع والمقاومة (Wang *et al*., 2021; 2022)، وتشير زيادتها داخل النسيج النباتي إلى تحفيز مقاومة النبات لإجهادٍ ما. أوصى Jadoon *et al.* (2019) باستخدام البكتيريا المعزولة من محيط جذور (Rhizosphere) البطاطا/البطاطس لتطوير الأسمدة الحيوية وإضافتها للبطاطا/البطاطس كعوامل مكافحة حيوية للفطر *F. oxysporum*، لامتلاكها قدرة عالية على إنتاج NH3، HCN و IAA، ومجموعة كبيرة من الأنزيمات المحللة (Lytic-enzymes)، وأثبتت قدرة تثبيطية لنمو فطر *F. oxysporum* في حدود 13–46%. أدت إضافة النوع *Bacillus subtilis* والفطر *Trichoderma asperellum* إلى البطاطا/البطاطس (نقعاً أو رشاً) إلى التقليل من أعراض اللفحة المتأخرة على البطاطا/البطاطس المتسببة عن فطر *Phytophthora infestans* بنسبة وصلت إلى 72.32 و 72.95% وخفضت نسبة الإصابة بمقدار 72.23 و 74.12% وخفضت عدوى الفطر بنسبة وصلت إلى 12.24 و 14.60%، على التوالي (Abdirahman *et al*., 2023).

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة بعض المزائج البكتيرية لأنواع من الرايزوبكتيريا وتحديد المعاملة الأفضل في تحفيز المقاومة الجهازية لدى نبات البطاطا/البطاطس بهدف الحدّ من الإصابة بالذبول الفيوزاريومي المتسبب عن الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

مواد البحث وطرائقه

المادة النباتية

استخدمت تقاوي بطاطا/بطاطس من الصنف "Sponta" (المصدر هولندا)، تم الحصول عليها من المؤسسة العامة لإكثار البذار، وهو صنف مبكر عالي الإنتاج، محتواه من المادة الجافة 20.3%، متوسط الحساسية للمتربوزين المادة الفعالة لمبيدات الأعشاب، معرض إلى حدّ ما لأمراض الجرب الشائع وللندوة (اللفحة المتأخرة) على الأوراق.

مكان تنفيذ التجربة وموعد الزراعة

تمت الدراسة في حقل تابع للمؤسسة العامة لإكثار البذار (فرع اللاذقية، منطقة وطى البسليس) في محافظة اللاذقية، سورية. خلال العروة الربيعية لموسم 2021، تمت الزراعة بتاريخ 12 شباط/فبراير في تربة طينية سلتية مائلة إلى القلوية، تحوي نسبة عالية من كربونات الكالسيوم الكلية، وذات محتوى جيد من المادة العضوية.

تجهيز التربة وإعداد وزراعة الدرنات

نفذت حراثتان متعامدتان بعمق 30–35 سم، وأضيف السماد العضوي الجاف (سماد بلدي) قبل الزراعة بمعدل 3 م^3/دونم. تم انتقاء درنات سليمة تماماً بلغت أوزانها حوالي 65 غ، زرعت على خطوط مفردة بمسافة 70 سم، وبين النباتات 40 سم، وعلى عمق 8 سم، بطريقة الخضير، بكثافة نباتية 3.57 نبات/م^2. زرعت نباتات كفواصل بين المعاملات لمنع انتقال اللقاح وكحماية على الجوانب الأربعة المخصصة للتجربة. بعد الإنبات الحقلي، تمت عمليات العزيق والتحضين. اتبع نظام الري بالرذاذ، وتم الفطام قبل الجني بـ 10 أيام بعد ظهور علامات النضج، وذلك بعد 102 يوماً من تاريخ الزراعة.

المواد المستخدمة في الدراسة

استخدمت خلائط (مزائج) من الرايزوبكتيريا (PGPRs) المتباينة في محتواها من الأنواع البكتيرية (مثبتة للآزوت الجوي، ميسرة للبوتاسيوم، ميسرة للفوسفور، منشطة للنمو) والموصّفة (المغربي وآخرون، 2016؛ حماد والشامي، 2017؛ Hammad, 2020) والمحفوظة في مختبر الأحياء الدقيقة وأبحاث علوم التربة والمياه، وزعت ضمن ثلاثة مزائج

بكتيرية: اللقاح الأول M1 = مزيج من العزلات البكتيرية: *Azotobacter chroococcum*، *Bcillus megaterium* pv. *phosphticum*، *Frateuria aurantia* KSB-Fr، *Rhizobium legominosarum* pv. *vicia*. واللقاح الثاني M2 = مزيج من الأنواع: *Azotobacter chroococcum*.Ac، *Bacillus circulans* KSB-Bc، *Bacillus subtilis* PSB-Bs، *Rhizobium phaseoli* pv. phaseoli، واللقاح الثالث M3 = مزيج اللقاحين الأول والثاني M1+M2.

تحضير اللقاح البكتيري

نشطت العزلات البكتيرية قبل 48 ساعة من تحضير اللقاح للحصول على خلايا نشطة، باستخدام بيئة Yeast Extract Manitol (YEMA) Agar لتنمية عزلات *R. leguminisarum* pv. *vicia, R. phaseoli* pv. *phaseoli* ، وبيئة Ashby's Mannitol Agar لتنمية عزلات *A. chrococcum* Ac, *A. chrococcum* At، وبيئة Pikoviskaya's Agar لتنمية عزلات *B. megaterium* pv. *phosphticum*, *B. subtilis* PSB-Bs، وبيئة Glocuse-Yeast extract–$CaCO_3$ لتنمية عزلات *F. aurantia* KSB-Fr, *B. circulans* KSB-Bc. حضر وسط غذائي سائل Tryptic Soy Broth (TSB)، وعقم في الأوتوكلاف عند درجة حرارة 121°س لمدة 45 دقيقة ثم لقح بالبكتيريا. حضنت البيئة الملقحة ضمن حاضنة هزازة عند درجة حرارة 28°س، وسرعة 100–250 دورة/دقيقة لمدة 72 ساعة. استخدمت شرائح العدّ (Burker) لضبط كثافة المعلق البكتيري (اللقاح) عند (10^9 خلية/مل) وكذلك تحضير المزائج البكتيرية.

إضافة اللقاح البكتيري

تمت إضافة اللقاح البكتيري من المزائج البكتيرية الثلاث وفق مخطط التجربة، بطريقة نقع للتقاوي قبل الزراعة وري التربة بمعدل 15 مل/نبات بمواعيد إضافة مختلفة كالآتي: عند الزراعة (D1): نقعت التقاوي غمراً باللقاح البكتيري لمدة أربع ساعات قبل الزراعة مباشرة، ثم أضيف اللقاح البكتيري إلى التربة حول الدرنة؛ بعد الانبات (D2)؛ عند الاباضة (D3)؛ وبشكل متكرر في المواعيد الثلاثة (D4) حيث تمت إضافة المخصبات بمعدل 15 مل للنبات الواحد حول الشتول مباشرة. وأضيف 15 مل ماء مقطر معقم إلى معاملة الشاهد دون إضافة اللقاح البكتيري.

تحضير لقاح العدوى بالفطر

تم تحضير اللقاح من عزلة الفطر *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL) موصفة ومحفوظة في المختبر، وذلك عن طريق تجهيز معلق بوغي بتركيز (10^8 بوغة/مل) من مستعمرة الفطر باستخدام شريحة العدّ (Hemocytometer). أجريت العدوى بعد ظهور البادرات لجميع المعاملات بإضافة المعلق البوغي حول جذور الشتول مباشرة في الحقل (Ozgonen & Gülcü, 2011)، أما الشاهد السليم (غير ملقح وغير معدى) فأضيف له ماء مقطر معقم.

تصميم التجربة والتحليل الإحصائي

اتبع في تنفيذ البحث تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، بمعدل ثلاثة مكررات لكل معاملة، وثمانية نباتات في المكرر. تم استخدام برنامج التحليل الإحصائي SAS، ومقارنة الفروق بين المتوسطات باستخدام اختبار دانكان عند مستوى احتمال 5%. وزعت المعاملات وفق نوع المزيج البكتيري المضاف (M1، M2 و M3) وطريقة وموعد إضافته (D1، D2، D3 و D4) كما هو موضح في الجدول 1.

القراءات والقياسات المدروسة

أخذت القراءات بعد 45 يوماً من العدوى بالفطر *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* على الشكل التالي:

شدة الاصابة بالمرض– سجلت شدة الإصابة وفقاً للأعراض الظاهرية وباستخدام سلم من خمس درجات (0–4) (Trabelsi *et al*., 2016) على الشكل التالي: 0= أوراق بدون أعراض، 1= أوراق ذابلة، 2= أوراق تظهر اصفراراً أحادي الجانب، 3= أوراق تظهر نخراً من جانب واحد، 4= أوراق ميتة).

تقدير المركبات الفينولية الكلية– استخدمت لذلك طريقة كاشف الفولين–سيوكالتو (Singleton & Rossi, 1965)، قيست الامتصاصية الضوئية للمحلول الناتج باستخدام جهاز الطيف الضوئي عند طول موجة 650 نانومتر.

معامل المرض (Disease index)–حسب معامل المرض وفق المعادلة التالية (Yang *et al*., 1996):

$$\text{معامل المرض (\%)} = \frac{\text{عدد النباتات في كل درجة} \times \text{درجة الإصابة}}{\text{أعلى درجة إصابة} \times \text{العدد الكلي للنباتات}} \times 100$$

النسبة المئوية لتخفيض الاصابة– حسبت من المعادلة التالية:

$$\text{تخفيض الإصابة (IR\%)} = \frac{\text{المعاملة- الشاهد المعدى}}{\text{الشاهد المعدى}} \times 100$$

جدول 1. المعاملات المدروسة وفق نوع المخصب وموعد وطريقة إضافته إلى نباتات البطاطا/البطاطس.

Table 1. The evaluated treatments according to the type of fertilizer and application date to potato.

المعاملة المدروسة Evaluated treatments	موعد الإضافة (D) Application date(D)		نوع اللقاح البكتيري (M) Type of bacterial inoculum (M)
M1D1	Soaking and watering at planting (D1)	النقع وريا عند الزراعة (D1)	اللقاح البكتيري الأول (M1)
M1D2	Watering after germination (D2)	ريا بعد الإنبات (D2)	Bacterial inoculum I (M1)
M1D3	Watering after tuber initiation (D3)	ريا عند بداية الإباضة (D3)	
M1D4	Watering at the three previously mentioned dates (D4)	ريا بالمواعيد الثلاثة السابقة (D4)	
M2D1	Soaking and watering at planting (D1)	النقع وعند الزراعة (D1)	اللقاح البكتيري الثاني (M2)
M2D2	Watering after germination (D2)	بعد الإنبات (D2)	Bacterial inoculum II (M2)
M2D3	Watering after tuber initiation (D3)	عند بداية الإباضة (D3)	
M2D4	Watering at the three previously mentioned dates (D4)	ريا بالمواعيد الثلاثة السابقة (D4)	
M3D1	Soaking and watering at planting (D1)	النقع والإضافة عند الزراعة (D1)	اللقاح البكتيري الثالث (M3)
M3D2	Watering after germination (D2)	بعد الإنبات (D2)	Bacterial inoculum III (M3)
M3D3	Watering after tuber initiation (D3)	عند بداية الإباضة (D3)	
M3D4	Watering at the three previously mentioned dates (D4)	ريا بالمواعيد الثلاثة السابقة (D4)	
Ci	Infected with the fungus but without inoculation with the bacteria	بدون إلقاح بالبكتيريا وإعداء بالفطر	الشاهد المعدى Infected control
C0	Without inoculation with either the fungus or the bacteria	بدون إلقاح بالبكتيريا وبدون إعداء بالفطر	الشاهد السليم Healthy control

تقدير حمض الساليسيليك– تم التقدير في أوراق البطاطا/البطاطس من القمة النامية بعد استخلاص حمض الساليسيليك بالكلوروفورم وإضافة محلول كلوريد الحديد $FeCl_3$ تركيز 0.5% إذ يتفاعل حمض الساليسيليك مع شاردة الحديد الثلاثية ليتشكل معقد بنفسجي يختلف لونه حسب تركيز حمض الساليسيليك في العينة المختبرة، وتم تحديد تركيزه (جزء في المليون) وفق الامتصاصية الضوئية باستخدام جهاز الطيف الضوئي عند طول موجة 540 نانومتر.

تقدير نشاط أنزيم البيروكسيداز– تم في الأوراق بعد 45 يوم من العدوى بالفطر،حسب ما نشر سابقاً (Behera *et al.*, 2012؛ Hammerschmidt *et al.*, 1982)، عن طريق استخلاص أنزيم البروكسيداز باستخدام محلول فوسفاتي منظم (تركيز 0.1 مول/ليتر، pH=7) عند درجة حرارة 4°س، تم تثقيل المستخلص عند سرعة 10000 دورة/دقيقة. أخذ القسم الطافي وخفّف بنسبة 20/1، وتم قياس نشاط الأنزيم بأخذ 0.5 مل من المستخلص الأنزيمي المخفف، وأضيف إليه 1.5 مل من محلول البيروغالول (Pyrogallol) تركيز 5 مول/ليتر، و0.5 مل الماء الأكسجيني بتركيز 1%. حضن مزيج التفاعل عند درجة حرارة 28°س لمدة دقيقة واحدة. تم القياس باستخدام جهاز الطيف الضوئي عند طول موجة 420 نانومتر. أخذت القراءة كل 30 ثانية لمدة ثلاث دقائق. قدر نشاط الأنزيم بعدد ميكرومولات الماء الأكسجيني التي تتفكك بوساطة 100 مغ من النسيج النباتي الداخل في تشكيل المستخلص الأنزيمي في الدقيقة الواحدة عند درجة حرارة 25°س، وفق المعادلة:

$$\text{نشاط أنزيم البيروكسيداز (\%)} = \frac{\text{كمية الماء الأكسجيني} \times \text{عامل التمديد}}{\text{زمن التفاعل} \times \text{حجم العينة}} \times 100$$

كمية الماء الأكسجيني المتفاعلة بين الزمن الأولي والنهائي مقدرة بالميكرومول/ليتر = الامتصاصية عند الزمن 3 دقيقة– الامتصاصية عند الزمن 0.5 دقيقة

عامل التمديد= 20، عدد مرات تمديد العينة لإعطاء القيمة الحقيقية في 3 مل من المستخلص الأنزيمي .

زمن التفاعل: الوقت النهائي (3 دقائق)– الوقت البدائي (0.5 دقيقة).

النتائج والمناقشة

نشاط أنزيم البيروكسيداز في أوراق نبات البطاطا/البطاطس

بينت النتائج (جدول 2) زيادة نشاط أنزيم البيروكسيداز في جميع المعاملات المدروسة وبفروق معنوية فيما بينها، وبالمقارنة مع الشاهدين المعدى والسليم غير المعاملين بالبكتيريا. تفوقت النباتات المعاملة باللقاح البكتيري الثالث M3 على اللقاح البكتيري الأول M1 والثاني M2، كما تفوقت المعاملة M3D4 معنوياً على باقي المعاملات وحققت أعلى قيمة لنشاط أنزيم البيروكسيداز (0.187 ميكرومول/مغ) بالمقارنة مع الشاهدين

المعدى والسليم واللذين سجلا أقل نشاط للأنزيم بقيمة بلغت 0.1 و 0.07 ميكرومول/مغ، على التوالي. بينت نتائج مقارنة نشاط أنزيم البيروكسيداز في أوراق نباتات البطاطا/البطاطس المعداة بالفيوزاريوم، حسب طرائق الإضافة لكل لقاح بكتيري على حدة، أن الإضافة D4 (تكرار الإضافة في المواعيد الثلاثة) حققت أعلى نشاط لأنزيم البيروكسيداز عند المعاملة باللقاح البكتيري الثالث، تلتها الإضافة في الموعدين الثاني والأول (D1 و D2)، بينما لم تعط إضافة اللقاحات البكتيرية في الموعد الثالث D3 أثراً واضحاً بالمقارنة مع الشاهدين، وسجلت المعاملة M1D3 أقل نشاط للأنزيم (0.103 ميكرومول/مغ). يلعب أنزيم البيروكسيداز دوراً أساسياً في نمو النبات، ويشارك في بناء وتصلب جدر الخلايا، وفي تخليق الايثيلين والماء الأكسجيني، وتنظيم مستوى الأوكسين، وحماية الأنسجة من الضرر والعدوى بالكائنات الدقيقة الممرضة (Dunford, 1991؛ Wakamatsu & Takahama, 1993).

كما يحفز أنزيم البيروكسيداز تشكل الليجنين وإنتاج أنزيم Phenylalanine ammonia-lyase (PAL) اللذين يدخلان في تركيب المركبات الفينولية والفيتوألكسين (Ramamoorthy *et al*., 2001) التي تشارك في آليات الدفاع ضد مسببات الأمراض (Sie *et al*., 2011). إن زيادة نشاط أنزيم البيروكسيداز في أوراق نباتات البطاطا/البطاطس الملقحة بالريزوبكتيريا ومن ثم العدوى بالفيوزاريوم والإصابة بالذبول، دليل على قدرة البكتيريا على تحفيز النبات لتشكيل المواد الدفاعية ضد الممرضات، إذ تلعب دوراً مهمّاً في لجننة الخلايا داخل النبات. كما أكدت دراسات سابقة قدرة الريزوبكتيريا على انتاج إنزيمات تحللية مثل البروتياز والكاتالاز والجلوكوسيداز والكيتيناز وغيرها من المركبات، والتي لها دور واضح في تثبيط مسببات الأمراض الفطرية والبكتيرية (Asad *et al*., 2014; 2015)، فضلاً عن إنتاج الريزوبكتيريا للمضادات الحيوية وسيانيد الهيدروجين (HCN)، والمركبات الطيارة، Siderophores، مما يعزز دورها المضاد للمرض (Ajit *et al*., 2006).

كمية الفينولات الكلية في أوراق نبات البطاطا/البطاطس المعداة بالفطر

أظهرت النتائج (جدول 2) زيادة كمية الفينولات الكلية في أوراق نباتات البطاطا/البطاطس المعداة بالفيوزاريوم في جميع المعاملات المدروسة مقارنة بالشاهدين المعدى والسليم. وكانت هذه الزيادة معنوية في جميع المعاملات مع تفوق المعاملة M3D4 على جميع المعاملات، إذ سجلت أعلى محتوى من الفينولات الكلية بقيمة 79.69 مغ/100 غ بالمقارنة مع الشاهدين المعدى والسليم واللذين سجلا أدنى قيمة (45.01 و 31.827 مغ/100 غ)، على التوالي. وقد لعب اللقاح البكتيري المستخدم دوراً إيجابياً في زيادة كمية الفينولات الكلية في أوراق نباتات البطاطا/البطاطس المعداة بمرض الذبول الفيوزاريومي، وأبدى المخصّبان الثالث M3 والثاني M2 فعالية أكبر من المخصب الأول M1. كما أثر موعد إضافة كل مخصب في فعاليته في زيادة الفينولات الكلية في الأوراق المعداة. فقد سجلت معاملة الإضافة المتكررة D4 للمخصبين الأول M1 والثالث M3 أعلى محتوى من الفينولات الكلية تلتها معاملة الإضافة المفردة في الموعد الثاني D2 ثم الموعد الأول D1 ثم الموعد الثالث D3، بينما أبدى المخصب الثاني M2 فعالية أكبر عند الإضافات المفردة (D2> D1> D3) في زيادة المحتوى من الفينولات الكلية ضمن أوراق البطاطا/البطاطس المعداة بالذبول الفيوزاريومي.

تعزى زيادة محتوى الفينولات في أوراق النباتات المعاملة بالبكتيريا والمعداة بفطر الفيوزاريوم مقارنةً بالشاهد المعدى والسليم، إلى دور البكتيريا في تحفيز المقاومة الجهازية في النبات وتفعيل مسار تخليق الفينولات عن طريق تحريض المورثات المرتبطة بالمقاومة (Wang *et al*., 2021)، وتراكم مستقلبات فينيل بروبانويد الثانوية (Elsakhawy *et al*., 2020)، ويتفق هذا مع دراسات سابقة أكدت زيادة محتوى النبات من الفينولات الكلية عند التلقيح بالريزوبكتيريا (Gaafar *et al*., 2021; Alsaady *et al*., 2020)، والعدوى بالفيوزاريوم (Sie *et al*., 2011) وأن زيادة تركيزها في النبات يزيد من مقاومة النبات للممرضات (Scalbert, 1991)، حيث أن التفاعلات التآزرية بين فطر الميكوريزا وبكتيريا PGPR أدت إلى تعزيز الحماية الحيوية ضدّ الأمراض النباتية المنقولة بالتربة (Bagyaraj, 2018).

كمية حمض الساليسيليك في أوراق نبات البطاطا/البطاطس

أشارت النتائج (جدول 2) إلى ارتفاع محتوى أوراق البطاطا/البطاطس من حمض الساليسيليك في جميع المعاملات الملقحة بالريزوبكتيريا والمعداة بالفطر *F. oxysporum*، وبفروق معنوية بالمقارنة مع الشاهدين المعدى والسليم غير المعاملين بالبكتيريا.

أبدت المخصبات الحيوية الثلاث المدروسة كفاءةً عالية في زيادة محتوى أوراق نباتات البطاطا/البطاطس المعداة بالذبول الفيوزاريومي من حمض الساليسيلك، وتفوق المخصب البكتيري الثالث M3 على المخصبين البكتيريين M1 و M2، ويعزى هذا إلى الأثر الإيجابي الكبير لتآزر عزلات الريزوبكتيريا الثمانية الموجودة في هذا المخصب البكتيري. كما لوحظ تفاوت فعالية كل مخصب بكتيري على حدة حسب موعد وطريقة إضافته، وتفوقت طريقة الإضافة المتكررة D4 على الإضافات المفردة وسجلت أفضل النتائج في محتوى أوراق البطاطا/البطاطس من حمض الساليسيليك وبالنسبة لجميع أنواع المخصبات، تلتها الإضافة المفردة في الموعد الثاني بعد الإنبات D2 ثم الموعد الأول D1 ثم الموعد الثالث D3. وبالتالي سجلت المعاملة M3D4 أعلى محتوى من حمض الساليسيليك 176.61 بالمقارنة مع الشاهدين المعدى والسليم اللذان سجلا أقل محتوى 107.12 و 101.96، على التوالي.

جدول 2. نشاط أنزيم البيروكسيداز وكمية الفينولات الكلية وحمض الساليسيليك في أوراق نباتات البطاطا/البطاطس المعاملة باللقاح البكتيري بعد 45 يوماً من العدوى بفطر *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* وفق المعاملات المختلفة.

Table 2. Peroxidase activity and the amount of total phenols and salicylic acid in the leaves of potato plants treated with the bacterial inoculum 45 days after infection with *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* as influenced by the different treatments.

كمية حمض الساليسيليك (ميكرو غرام/غ) Salicylic acid (µg/g)	الفينولات الكلية (مغ/100 غ) Total phenols content (mg/100g)	نشاط أنزيم البيروكسيداز (ميكرومول/مغ) Peroxidase activity (µmol/mg)	المعاملات* Treatments*	موعد الإضافة (D) Addition date (D)	نوع اللقاح البكتيري (M) Type of bacterial inoculum (M)
133.01 g	60.560 fgh	0.140 e	M1D1	D1	اللقاح البكتيري الأول (M1)
157.37 d	67.110 cd	0.140 e	M1D2	D2	Bacterial inoculum I (M1)
134.51 g	52.740 i	0.103 f	M1D3	D3	
164.21 c	70.380 c	0.160 cd	M1D4	D4	
132.51 g	71.460 bc	0.140 e	M2D1	D1	اللقاح البكتيري الثاني (M2)
156.48 d	75.580 ab	0.140 e	M2D2	D2	Bacterial inoculum II (M2)
123.43 h	62.300 efg	0.120 f	M2D3	D3	
142.20 f	64.350 def	0.160 cd	M2D4	D4	
167.23 c	59.710 gh	0.170 cb	M3D1	D1	اللقاح البكتيري الثالث (M3)
171.26 b	59.080 gh	0.180 ab	M3D2	D2	Bacterial inoculum III (M3)
147.48 e	56.203 hi	0.110 f	M3D3	D3	
176.61 a	79.690 a	0.190 a	M3D4	D4	
107.12 i	45.010 j	0.100 f	Ci		الشاهد المعدى Infected control
58.74 k	14.48 k	0.03 k	C0		الشاهد السليم Healthy control
3.9676	4.5314	0.0149			$LSD_{0.05}$

القيم التي يتبعها نفس الحروف في العمود نفسه لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.

Values followed by the same letters in the same column are not significantly different at P=0.05.

* يرجى الاطلاع على المعاملات في الجدول 1.

* Please see the treatments in Table 1.

يمكن أن تعزى زيادة حمض الساليسيليك في النباتات المعاملة بالبكتيريا والمعداة بالفطر إلى استجابة النبات وتحفيز مقاومته، لكون حمض الساليسيليك ينتج في النبات موضعياً في موقع الإصابة وينتقل إلى الأوراق البعيدة لإعطاء إشارة البدء في المقاومة الجهازية المكتسبة (Métraux, 2001). كما يؤثر حمض الساليسيليك في مجموعة متنوعة من التحولات الكيميائية الحيوية والجزيئية المرتبطة بتحريض مقاومة الأمراض، التي تلعب دوراً مهماً في التعبير عن المقاومة الموضعية (الذاتية) سواءً تلك التي تتحكم بها المورثات الرئيسية أو المقاومة الجهازية المستحثة (ISR) بعد العدوى بمسببات الأمراض (Hammerschmidt & Smith-Becker, 2000). وهذا ما يفسر زيادة حمض الساليسيليك في النباتات عند العدوى بالفيوزاريوم. وذكر El-Fiki *et al.,* (2004) أن معاملة نقع بذور السمسم لمدة ساعتين في حامض الساليسيليك بتركيز 4 مليمول أدت إلى استحثاث المقاومة ضدّ التعفن الفحمي المتسبب عن الفطر *Macrophomina phaseolina*.

وقد توصل El-Mougy (2004) إلى إمكانية استخدام حامض الساليسيليك والاسيتايل ساليسيليك في معاملة بذور الترمس كطريقة فعالة في مكافحة مرض تعفن جذور الترمس، وأظهرت النتائج زيادة في إنزيم الكيتيناز. كما أشار McConchie *et al.* (2007) إلى أن معاملة بذور البطيخ (*Cucumis melo*) بحامض الساليسيليك أدى إلى استحثاث المقاومة الجهازية بزيادة إنزيمات الكيتيناز (Chitinases) والبيروكسيداز (Peroxidases). وكانت أمراض ما بعد الجني أقلّ قياساً بمعاملة الشاهد، وهذا يعزز ما توصلت إليه نتائج بحثنا حيث ترافقت زيادة حمض الساليسيليك في أوراق نباتات البطاطا/البطاطس المعاملة بالريزوبكتيريا بعد العدوى بالذبول الفيوزاريومي بزيادة نشاط أنزيم البيروكسيداز في هذه المعاملات مما يؤكد فعالية هذه الأنواع البكتيرية في تحفيز المقاومة الجهازية في نباتات البطاطا/البطاطس عند تعرضها للعدوى المرضية.

تأثير الريزوبكتيريا في شدة ونسبة الإصابة بمرض الذبول الفيوزاريومي على نباتات البطاطا/البطاطس

بينت النتائج (جدول 3) أن الإلقاح بالمخصبات البكتيرية خفض الشدة الإمراضية للفيوزاريوم بعد 45 يوماً من العدوى بالفطر في جميع المعاملات المدروسة وبفروق معنوية مقارنة مع الشاهد المعدى. كان

لنوع المخصب المستخدم في تلقيح نباتات البطاطا/البطاطس المعداة بالفيوزاريوم تأثير في درجة ظهور أعراض الإصابة والذبول، وبالتالي في الشدة الإمراضية لفطر الفيوزاريوم، وتفوق المخصب البكتيري M3 الحاوي على خليط من الأنواع البكتيرية الثمان (مزيج M1 و M2)، وبلغ معامل المرض أقل قيمة له في المعاملة (M3D4) وبلغت 13.89% بالمقارنة مع الشاهد (79.17%)، وتساوت قيم المعاملتين (M2D4=M1D4) وبلغت 33.33%.

واختلفت الشدة الإمراضية للعدوى بالذبول الفيوزاريومي حسب موعد إضافة كل مخصب بكتيري، وتفوقت المعاملة بالمخصبات عند الإضافة المتكررة (D4) على باقي الإضافات لمرة واحدة (D1، D2 و D3) في التقليل من الشدة الإمراضية للعدوى بالذبول الفيوزاريومي، تلتها معاملة الإضافة المفردة عند الإنبات D2 ثم معاملة النقع والإضافة عند الزراعة D1، في حين كانت معاملة الإضافة المفردة للمخصب البكتيري عند بداية الإباضة D3 هي الأقل تأثيراً في تقليل الشدة الإمراضية حيث بلغت (M3D3= 56.94%، M2D3= 69.44%، M1D3 =70.83%).

أظهرت النتائج (جدول 3) أن المعاملة بالمخصبات البكتيرية المدروسة والمعداة بفطر الفيوزاريوم أدت لزيادة النسبة المئوية لتخفيض الإصابة بالذبول الفيوزاريومي في جميع المعاملات المدروسة بفروق معنوية بالمقارنة مع الشاهد المعدى، مع وجود تفاوت في نسبة التخفيض بين هذه المعاملات، إذ سجلت المعاملة بالمخصب الثالث مع تكرار الاضافة (M3D4) أكبر نسبة تخفيض للإصابة (82.33%). كما اختلفت النسبة المئوية لتخفيض الإصابة حسب موعد إضافة كل مخصب، إذ تفوقت طريقة الإضافة المتكررة لكل مخصب (D4) في تحفيز المقاومة ضد الذبول الفيوزاريومي، فقد خفضت الإصابة بالذبول في المعاملات M3D4، M2D4 و M1D4 بنسبة 82.33، 57.72 و 57.93%، على التوالي. كانت الإضافة المفردة للمخصب البكتيري عند الإنبات D2 الأكبر تأثيراً بين الإضافات المفردة في زيادة النسبة المئوية لتخفيض الإصابة تلتها المعاملة D1 ثم المعاملة D3 التي كانت الأقل فاعلية في تحفيز المقاومة الجهازية لدى نبات البطاطا/البطاطس وتخفيض النسبة المئوية لإصابته بالذبول الفيوزاريومي.

توافقت هذه النتائج مع دراسات سابقة أشارت إلى تخفيض الإصابة بعفن جذور البندورة/الطماطم *Fusarium solani* عند استخدام نوعين من البكتيريا (*Bacillus subtilis* و *Pseudomonas fluorescens*) (El-Gamal *et al.*, 2016)، وتخفيض الإصابة بالذبول الفيوزاريومي على اللوبياء باستخدام خليط من الريزوبكتيريا (*B. subtilis*، *P. ostreatus* و *P. fluorescens*) (Gaafar *et al*., 2021).

جدول 3. الشدة الإمراضية ونسبة تخفيض الإصابة بالفطر *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* على نباتات البطاطا/البطاطس المعاملة باللقاح البكتيري وفق المعاملات المدروسة.

Table 3. Pathogenicity and infection rate of *F. oxysporum* f. sp. l*ycopersici* on potato plants treated with bacterial inoculum according to the treatments studied.

نوع اللقاح البكتيري (M) Type of bacterial inoculum (M)	موعد الإضافة Addition date	المعاملات* Treatments*	معامل المرض (%) Disease index (%)	نسبة تخفيض الإصابة بـ FOL % FOL Infection rate reduction (%)
اللقاح البكتيري الأول (M1) Bacterial inoculum I (M1)	D1	M1D1	50.00 d	36.90 e
	D2	M1D2	37.50 f	52.43 c
	D3	M1D3	70.83 b	10.30 g
	D4	M1D4	33.33 f	57.93 c
اللقاح البكتيري الثاني (M2) Bacterial inoculum II (M2)	D1	M2D1	43.98 ed	44.37 ed
	D2	M2D2	34.72 f	56.17 c
	D3	M2D3	69.44 b	12.20 g
	D4	M2D4	33.33 f	57.73 c
اللقاح البكتيري الثالث (M3) Bacterial inoculum III (M3)	D1	M3D1	38.89 ef	50.67 cd
	D2	M3D2	26.39 g	66.80 b
	D3	M3D3	56.94 c	28.00 f
	D4	M3D4	13.89 h	82.33 a
الشاهد المعدى Infected control		Ci	79.17 a	00.00

القيم التي يتبعها نفس الحروف في العمود نفسه لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.

Values followed by the same letters in the same column are not significantly different at P=0.05.

* يرجى الاطلاع على المعاملات في الجدول 1.

* Please see the treatments in Table 1.

يمكن تفسير انخفاض نسبة وشدة الاصابة بالفيوزاريوم في النباتات المعاملة باللقاح البكتيري إلى دور عزلات الريزوبكتيريا المستخدمة في تحفيز المقاومة الجهازية في النبات وبالتالي زيادة محتوى النبات من الفينولات الكلية وحمض الساليسيليك ونشاط أنزيم البيروكسيداز، كما أشارت دراسات سابقة (Alsaady *et al*., 2020؛ Métraux, 2001؛ Saikia *et al*., 2003)، ومن خلال فعالية الريزوبكتيريا في تثبيط نمو الفطر بالتضاد المباشر (عقيل، 2024)، وإنتاج أنزيمات (كيتيناز، β-1,3 جلوكاناز و β-1,4 جلوكاناز) تحطم الجدار الخلوي وتحلل ميسيليوم الفطر الممرض (Gaafar *et al*., 2021).

كما تستخدم الريزوبكتيريا آليات حماية ضد مسببات الأمراض كالمنافسة على المساحة والمواد الغذائية، وإتاحة الحديد والمنغنيز حسب حاجة النبات، وتحرير المضادات الحيوية وسيانيد الهيدروجين(HCN)، وتوفير الهرمونات النباتية بشكل متوازن ما يعزز نمو النبات ويحفز المقاومة الجهازية وآليات الدفاع النباتية (Bagyaraj, 2018) مما يساعد في خفض نسبة وشدة الإصابة بالأمراض.

نستنتج مما سبق أن تلقيح نباتات البطاطا/البطاطس بالريزوبكتيريا أدى إلى خفض الشدة الإمراضية ونسبة الإصابة بمرض الذبول الوعائي في نباتات البطاطا/البطاطس بعد 45 يوماً من العدوى بالفطر *F. oxysporum* f. sp. *lycoprsici*، وزيادة نشاط أنزيم البيروكسيداز والفينولات الكلية وحمض الساليسيليك الحرّ في أوراق نباتات البطاطا/البطاطس، وكانت إضافة اللقاح الثالث لمزيج ثمان عزلات من الريزوبكتيريا في المراحل المبكرة من نمو النبات هي المعاملة الأفضل في خفض نسبة الاصابة وشدتها وزيادة قيم مؤشرات تحفيز المقاومة الجهازية في نباتات البطاطا/البطاطس المعداة بالفطر، مما يشجع على امكانية استخدام هذه العزلات من الريزوبكتيريا في برامج المكافحة ضدّ الممرضات قاطنات التربة.

Abstract

Hammad, Y.A. and S.J. Shadoud. 2026. Role of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Inducing Systemic Resistance in Potato Plants Against the Fungal Pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Arab Journal of Plant Protection, 44(2):253-263. https://doi.org/10.22268/AJPP-001400

This study aimed to evaluate the efficiency of rhizobacteria mixtures as biofertilizers in reducing the incidence of Fusarium wilt caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in potato plants cv. Sponta, and determine the best control treatment. Three fertilizers were prepared using eight isolates of PGPR rhizobacteria, added at planting, after germination, and at ovulation. Readings of study samples were taken 45 days after infection. The activity of the peroxidase enzyme, the amount of total phenols, and the content of salicylic acid in the leaves were measured. In addition, peroxidase activity, total phenols, and salicylic acid content in the leaves were also measured. The severity of infection, disease index and reduction in disease incidence rate were also determined. The results showed the effectiveness of the studied biofertilizers in increasing the activity of the peroxidase enzyme and the leaf content of total phenols and salicylic acid in the leaves of potato plants infected with Fusarium wilt following all treatments, with significant differences compared to the infected control, and reduced disease index and severity of infection with Fusarium wilt. The treatment with the mixture of eight bacterial isolates and repeated addition (M3D4) outperformed the rest of the treatments and gave the highest values in peroxidase activity (0.19 µmol/mg), and the highest content of total phenols (79.69 mg/100g) and salicylic acid (176.61 µg/mg) in the leaves of potato plants compared to the infected control (0.1, 45.01, 107.12, respectively). The infection rate and disease severity were also reduced with significant differences compared to the infected control, and the M3D4 treatment produced the highest infection reduction rate of 82.33%. These results confirmed the effectiveness of mixed inoculation with eight isolates of PGPR rhizobacteria, upon repeated addition, stimulating systemic resistance in infected potato plants infected with *F. oxysporum,* thus the possibility of using these types of rhizobacteria in biocontrol programs against this fungus is recommended.

Keywords: Rhizobacteria, plant growth promoting rhizobacteria, PGPR, bacterial biofertilizers, potato, *Solanum tuberoseum*, productivity.

Affiliation of authors: *Y.A. Hammad* and S.J. Shadoud, Department of Soil Sciences and Water, Faculty of Agricultural Engineering, University of Latakia, Lattakia, Syria. *Email address of the corresponding author: Yaser.hammad@tishreen.edu.sy*

المراجع

References

ابراهيم، سلمان محمد، ياسر علي حماد وسليم راعي. 2020. دور بعض المخصبات الحيوية وحمض الساليسيليك في المحتوى الفينولي ونشاط أنزيم البيروكسيداز في أوراق نباتات الفليفلة المعداة بفيروس موزاييك الخيار. الجمعية لوقاية النبات العربية، 38(4):327-332. https://doi.org/10.22268/AJPP-38.4.327332

[***Ibrahim, M.S., Y.A. Hammad and S. Raee.*** *2020. The role of some bio-fertilizers and salicylic acid in phenolic content and peroxidase enzyme activity in pepper plants infected with Cucumber mosaic virus. Arab Journal of Plant Protection, 38(4):327-332. (In Arabic)].*https://doi.org/10.22268/AJPP-38.4.327332

المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية. 2022. صادرة عن وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، دمشق، سورية.

[***Annual Agricultural Statistical Collection****. 2022. Issued by the Ministry of Agriculture and Agrarian Reform, Damascus, Syria. (In Arabic)].*

المغربي، صباح، ياسر حماد وبشرى رزق. 2016. دراسة تأثير بكتيريا *Rhizobium leguminosarum* في نمو الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* مخبرياً. مجلة وقاية النبات العربية، 34(2):135-141.

Behera, B.K., P. Das, A. Patra and A.P. Sharm. 2012. Transcriptome Analysis of Enterobacter aerogenes KCTC 2190 in response to elevated salt stress. In: Proceedings of 99th the Indian Science Congress. 3-7 January, 2012. Bhubaneswar, Odisha.

Dunford, H.B. 1991. Horseradish peroxidase: structure and kinetic properties. Pp. 1-24. *In*: Peroxidases in Chemistry and Biology. Vol. 2. J. Everse, K.E. Everse and M.B. Grisham (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

El-Fiki, A.I., A.A. El-Deeb, F.G. Mohammed and M.M. Khalifa. 2004. Controlling sesame charcoal rot incited by *Macrophomina phaseolina* under field conditions by using resistant cultivars and some seed and soil treatments. Egyptian Journal of Phytopathology, 32:103-118.

El-Gali, Z.I. 2003. Histopathological and biochemical studies on bean seeds infected by some seed-borne fungi. PhD thesis, Department of Agricultural Botany, Alexandria University, Egypt.

El-Gamal, N.G., A.N. Shehata, E.R. Hamed and H.S. Shehata. 2016. Improvement of lytic enzymes-producing *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* isolates for enhancing their biocontrol potential against root rot disease in tomato plants. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 7(1):1393-1400.

El-Mougy, N.S. 2004. Preliminary evaluation of salicylic acid and acetylsalicylic acid efficacy for controlling root rot disease of lupin under greenhouse conditions. Egyptian Journal of Phytopathology, 32:11-21.

Elsakhawy, T., M.D. Alkahtani, A.A.H. Sharshar, K.A. Attia, Y.M. Hafez and K.A.A. Abdelaal. 2020. Efficacy of mushroom metabolites (*Pleurotus ostreatus*) as a natural product for suppression of broomrape growth (*Orobanche crenata* Forsk.) in faba bean plants. Plants, 9(10):1265. https://doi.org/10.3390/plants9101265

Gaafar, D.E.M., Z.A.M. Baka, M. Abou-Dobara, H.S. Shehata and H.M.A. El-Tapey. 2021. Effect of some microorganisms on controlling *Fusarium* wilt of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Egyptian Journal of Phytopathology, 49(1):98-113. https://doi.org/10.21608/ejp.2021.61270.1022

Glick, B.R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. Scientifica, 2012:963401. https://doi.org/10.6064/2012/963401

Hahm, M., J. Son, Y. Hwang, D. Kwon and S.-Y. Ghim. 2017. Alleviation of salt stress in pepper (*Capsicum annuum* L.) plants by plant growth-promoting rhizobacteria. Journal of Microbiology and Biotechnology, 27(10):1790-1797. https://doi.org/10.4014/jmb.1609.09042

Hammad, Y. 2020. Isolation and identification of some species of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) from some bio-fertilizers. Arab Journal of Arid Environments, 13(1):23-31.

Hammerschmidt, R., E.M. Nuckles and J. Kuć. 1982. Association of enhanced peroxidase activity with induced systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. Physiological Plant

*[**Al-Maghribi, S., Y. Hammad and B. Rezk.** 2016. Effect of Rhizobium leguminosarum on growth of Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici in vitro. Arab Journal of Plant Protection, 34(2): 135-141. (In Arabic)].*

عقيل، شادي. 2024. دراسة تأثير بعض أنواع الرايزوبكتريا المحفزة لنمو النبات (PGPR) في تثبيط نمو فطر *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersica* مخبرياً. 11(4):372-382.

*[**Akil. S.** 2024. Study the effect of some species of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in inhibition of Fusarium oxysporum sp. lycopersica in vitro. Syrian Journal of Agricultural Research, 11(4): 372-381. (In Arabic)].*

حماد، ياسر ورامز الشامي. 2017. توصيف بعض أنواع بكتريا الرايزوسفير المحفزة لنمو النبات من بعض الأسمدة الحيوية والتربة. مجلة جامعة البعث (سورية)، 39:25.

*[**Hammad, Y. and R. Al-Shami**. 2017. Characterization of some types of rhizosphere bacteria that stimulate plant growth from some biofertilizers and soil. Al-Baath University Journal, 39:25. (In: Arabic)].*

Abdirahman, S.H., M.J. Joseph, P.K. Kimurto and M. Nyon. 2023. Efficacy of biofertilizers and farmyard manure in management of late blight (*Phytophthora infestans*) and yield of potato. World Journal of Agricultural Research, 11(2):59-67. https://doi.10.12691/wjar-11-2-4.

Ajit, N.S., R. Verma and V. Shanmugam. 2006. Extracellular chitinases of fluorescent pseudomonads antifungal to *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* causing carnation wilt. Current Microbiology, 52(4):310-316. https://doi.org/10.1007/s00284-005-4589-3

Alsaady, M.H.M., H.A. Salim, R.A. Al-Ani, H.M. Aboud and J.T.M. Al-Roubaie. 2020. Effectiveness of bacterial strains (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Streptomyces*) against *Fusarium graminearum*, causal agent of crown rot disease on wheat. Journal of Agricultural Science and Review, 8(1):1-10.

Al-Shami, R., I. Ismail and Y. Hammad. 2017. Effect of three species of rhizobacteria (PGPR) in stimulating systemic resistance on tomato plants against cucumber mosaic virus (CMV). International Journal of Agriculture and Environmental Science, 4(6):11-16. https://doi.org/10.14445/23942568/IJAES-V4I6P103

Asad, S.A., A. Tabassum, A. Hameed, H. Fayyaz, A. Afzal, S.A. Khan, R. Ahmed and M. Shahzad. 2015. Determination of lytic enzyme activities of indigenous *Trichoderma* isolates from Pakistan. Brazilian Journal of Microbiology, 46(4):1053-1064. https://doi.org/10.1590/S1517-838246420140787

Asad, S.A., N. Ali, A. Hameed, S.A. Khan, R. Ahmad, M. Bilal, M. Shahzad and A. Tabassum. 2014. Biocontrol efficacy of different isolates of *Trichoderma* against soil-borne pathogen *Rhizoctonia solani*. Polish Journal of Microbiology, 63(1):95-103. https://doi.org/10.33073/PJM-2014-014

Bagyaraj, D.J. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi and biological control of soil-borne plant pathogens. Kavaka, 51(1):1-6.

Fusarium oxysporum, the causal agent of wilt disease of pepper (*Capsicum annuum* L.). International Journal of Agriculture and Forestry, 2(2):70-77. https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20120202.11

Ramamoorthy, V. and R. Samiyappan. 2001. Induction of defense-related genes in *Pseudomonas fluorescens*-treated chilli plants in response to infection by *Colletotrichum capsici*. Journal of Mycology and Plant Pathology, 31(2):146-155.

Roychowdhury, D., M. Paul and S.K. Banerjee. 2014. A review on the effects of biofertilizers and biopesticides on rice and tea cultivation and productivity. International Journal of Science, Engineering and Technology Research, 2(8):96-106.

Saikia, R., T. Singh, R. Kumar, J. Srivastava, A.K. Srivastava, K. Singh and D.K. Arora. 2003. Role of salicylic acid in systemic resistance induced by *Pseudomonas fluorescens* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri* in chickpea. Microbiological Research, 158(3):203-213. https://doi.org/10.1078/0944-5013-00202

Saleh, M. and J. Abed. 2023. Investigation of the *Fusarium oxysporum*-caused watermelon wilt infection and testing of some hybrids' susceptibility to infection. Bionatura, 8(1):1-5. https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.01.81

Sallam, N.A., S.N. Riad, M.S. Mohamed and A.S. El-Eslam. 2013. Formulations of *Bacillus* spp. and *Pseudomonas fluorescens* for biocontrol of cantaloupe root rot caused by *Fusarium solani*. Journal of Plant Protection Research, 53(3):295-300. https://doi.org/10.2478/jppr-2013-0044

Scalbert, A. 1991. Antimicrobial properties of tannins. Phytochemistry, 30(12):3875-3883. https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83426-L

Sie, R.S., G. Diallo, H.A. Kone, D. Toueix, Y. Dje and M. Branchard. 2011. Breeding of *Hibiscus sabdariffa* L.: evaluation of resistance to *Fusarium oxysporum* Schlecht. emend. Snyd. and Hans. in two varieties. Agriculture and Biology Journal of North America, 2(1):125-133. https://doi.org/10.5251/abjna.2011.2.1.125.133

Singleton, V.L. and J.A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16(3):144-158. https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144

Trabelsi, B.M., R.A.B. Abdallah, N. Ammar, Z. Kthiri and W. Hamada. 2016. Bio-suppression of *Fusarium* wilt disease in potato using nonpathogenic potato-associated fungi. Journal of Plant Pathology and Microbiology, 7:347. https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000347

Ullah, M., F. Ullah, M.A. Khan, S. Ahmad, M. Jamil, S. Sardar, K. Tariq and N. Ahmed. 2022. Efficacy of various natural plant extracts and the synthetic insecticide cypermethrin 25EC against *Leucinodes orbonalis* and their impact on natural enemies in brinjal crop. International Journal of Tropical Insect Science, 42:173-182. https://doi.org/10.1007/s42690-021-00528-1

Pathology, 20(1):73-82. https://doi.org/10.1016/0048-4059(82)90025-X

Hammerschmidt, R. and J.A. Smith-Becker. 2000. The role of salicylic acid in disease resistance. Pp. 37-53. *In*: Mechanisms of Resistance to Plant Diseases. A. Slusarenko, R.S.S. Fraser and L.C. van Loon (eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Ignjatov, M., D. Milošević, Z. Nikolić, J. Gvozdanović-Varga, J. Jovičić and G. Zdjelar. 2012. *Fusarium oxysporum* as causal agent of tomato wilt and fruit rot. Pesticides and Phytomedicine, 27(1):25-31. https://doi.org/10.2298/PIF1201025I

Jadoon, S., A. Afzal, S.A. Asad, T. Sultan, T. Tabassum, M. Umer and M. Asi. 2019. Plant growth-promoting traits of rhizobacteria isolated from potato (*Solanum tuberosum* L.) and their antifungal activity against *Fusarium oxysporum*. Journal of Animal and Plant Sciences, 29(4):1026-1036.

Lenc, L. 2011. Pathogenicity and potential capacity for producing mycotoxins by *Fusarium sambucinum* and *Fusarium solani* isolates derived from potato tubers. Plant Breeding and Seed Science, 64:23-34. https://doi.org/10.2478/v10129-011-0025-y

McConchie, R., K. McDonald, B. Anandalwar and S.C. Morris. 2007. Systemic acquired resistance as a strategy for disease management in rockmelon (*Cucumis melo* var. *reticulatus*). Acta Horticulturae, 731:205-210. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.731.28

Métraux, J.-P. 2001. Systemic acquired resistance and salicylic acid: current state of knowledge. European Journal of Plant Pathology, 107:13-18.

Ozgonen, H. and M. Gülcü. 2011. Determination of mycoflora of pea (*Pisum sativum*) seeds and the effects of *Rhizobium leguminosarum* on fungal pathogens of pea. African Journal of Biotechnology, 10(33):6235-6240.

Pérez-Montaño, F., C. Alías-Villegas, R.A. Bellogín, P. del Cerro, M.R. Espuny, I. Jiménez-Guerrero, F.J. López-Baena, F.J. Ollero and T. Cubo. 2014. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. Microbiological Research, 169(5-6):325-336. https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.011

Przemieniecki, S.W., T.P. Kurowski and A. Karwowska. 2015. Plant growth-promoting potential of *Pseudomonas* sp. SP0113 isolated from potable water from a closed water well. Archives of Biological Sciences, 67(2):663-673. https://doi.org/10.2298/ABS141002029P

Przemieniecki, S.W., T.P. Kurowski, M.M. Damszel, A. Karwowska and E. Adamiak. 2018. Effect of Roundup 360 SL on survival of *Pseudomonas* sp. SP0113 strain and effective control of phytopathogens. Journal of Agricultural Science and Technology, 20:1417-1427.

Ragab, M., A.M.A. Ashour, M. Abdel-Kader, R. El-Mohamady and A. Abdel-Aziz. 2012. *In vitro* evaluation of some fungicide alternatives against

Wang, T., S.H. Ahmad, L. Yang, X. Yan, Y. Zhang, S.H. Zhang, L. Wang and Y. Luo. 2022. Preparation, biocontrol activity and growth promotion of biofertilizer containing *Streptomyces aureoverticillatus* HN6. Frontiers in Plant Science, 13:1090689. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1090689

Yang, G., M.S. Rose, B.G. Turgeon and O.C. Yoder. 1996. A polyketide synthase is required for fungal virulence and production of the polyketide T-toxin. The Plant Cell, 8(11):2139-2150. https://doi.org/10.1105/tpc.8.11.2139

Wakamatsu, K. and U. Takahama. 1993. Changes in peroxidase activity and in peroxidase isozymes in carrot callus. Physiologia Plantarum, 88(1):167-171. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb01774.x

Wang, H., Y. Kang, H. Li, S. Huang, W. Li, M. Zheng, R. Huang, B. Lei and X. Yang. 2021. *Salvia miltiorrhiza*-derived carbon dots and their heat stress tolerance of Italian lettuce by promoting growth and enhancing antioxidant enzyme activity. ACS Omega, 6(49):32262-32269. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05074

Received: August 17, 2024; Accepted: December 19, 2024

تاريخ الاستلام: 2024/8/17؛ تاريخ الموافقة على النشر: 2024/12/19