تقييم كفاءة عزلات محلية من بكتيريا *Pseudomonas fluorescens* و *Bacillus cereus* في مكافحة فطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* المسبب للذبول الوعائي على البندورة/الطماطم

ريم عبود الخليف[1]*، محمد فواز العظمة[2] ومحمود أبو غرة[2]

(1) قسم وقاية النبات، كلية الزراعة، جامعة دمشق، سورية ومختبر التنوع الحيوي، الهيئة العامة للتقانة الحيوية، دمشق، سورية؛

(2) قسم وقاية النبات، كلية الزراعة، جامعة دمشق، سورية.

*البريد الإلكتروني للباحث المراسل: reem.alkhlif@damascusuniversity.edu.sy

الملخص

الخليف، ريم عبود، محمد فواز العظمة ومحمود أبو غرة. 2026. تقييم كفاءة عزلات محلية من بكتيريا *Pseudomonas fluorescens* و *Bacillus cereus* في مكافحة فطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* المسبب للذبول الوعائي على البندورة/الطماطم. مجلة وقاية النبات العربية، 44(2):264-272. https://doi.org/10.22268/AJPP-001395

أُستخدمت عزلات بكتيرية محلية من المحيط الجذري لنبات البندورة/الطماطم ونبات النفل الأرجواني (*Trifolium purpureum*) (4 منها تتبع للنوع *Pseudomonas fluorescens* و4 أخرى تتبع للنوع *Bacillus cereus*) في مكافحة الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* المسبب لمرض الذبول الوعائي على البندورة/الطماطم والحدّ من الخسائر التي يسببها للمحصول. تم اختبار قدرة هذه العزلات في تثبيط نمو الفطر الممرض بطريقتين هما: طريقة التضاد بالقطاعات باستخدام معلقات بكتيرية، وطريقة التضاد بالحفرة باستخدام الراشح البكتيري. كما اختبرت قابلية هذه العزلات في خفض مرض الذبول الوعائي داخل الأصص. أظهرت النتائج أن أفضل العزلات البكتيرية في تثبيط نمو المشيجة الفطرية بطريقة التضاد بالقطاعات هي العزلة J02 (*Bacillus cereus*)، حيث بلغت فعالية المكافحة الحيوية بها 20.36%. أما بطريقة التضاد بالراشح فكانت العزلة الأقوى هي I91 (*Bacillus cereus*) بنسبة تثبيط 33.3%. كما كانت أفضل العزلات في خفض شدة المرض هي العزلة A12 (*Pseudomonas fluorescens*)، حيث انخفضت شدة الاصابة إلى 3.33% مقارنة مع 70% في معاملة الشاهد، كما زادت مؤشرات النمو المدروسة (طول النبات والوزن الجاف للمجموعين الجذري والخضري) ولكنها لم تثبط نمو المشيجة الفطرية في أطباق الزرع. أما العزلة RIZN التابعة للنوع *Bacillus cereus* والمعزولة من جذور نبات النفل الارجواني، فقد ثبطت الإصابة بالفطر في المختبر (نسبة التثبيط 25.3%) وفي الأصص (نسبة الإصابة 16.67%). وتفيد هذه النتائج في تطوير طريقة واعدة للمكافحة الحيوية لفطر الذبول الوعائي على البندورة/الطماطم.

كلمات مفتاحية: *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*، *Bacillus* cereus، *Pseudomonas fluorescens*، البندورة/الطماطم، سورية.

المقدمة

تعدّ البندورة/الطماطم (*Solanum lycopersicum* L.)، من أكثر محاصيل الخضر أهمية وشعبية في العالم، وتحتل المرتبة الأولى في الإنتاج العالمي للخضار، وتشير تقديرات منظمة الأغذية والزراعة الدولية (FAO) إلى أن مجمل الإنتاج العالمي من البندورة/الطماطم بلغ 189.1 مليون طناً، وزُرعت في 44 دولة. وتعدّ أمريكا وإيطاليا والصين أكبر الدول المنتجة للبندورة/الطماطم في العالم (FAO, 2022). بلغت المساحة المزروعة بالبندورة/الطماطم في سورية 7 آلاف هكتاراً ووصل انتاجها إلى 396 ألف طناً (المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية، 2022). ينتمي الجنس *Fusarium* إلى صف الفطريات الهيفية Hyphomycetes، وكان يصنف سابقاً في صف Deuteromycetes، ويعدّ الآن على نطاق واسع طوراً ناقصاً (anamorphic) ينتمي للرتبة الشكلية Hypocreales (Ascomycetes) (Ismail *et al*., 2015)، وينتج ثلاثة أشكال من الأبواغ اللاجنسية، وهي الأبواغ الكونيدية الصغرى والأبواغ الكونيدية الكبرى والأبواغ الكلاميدية، ويتناسب مع الظروف البيئية الدافئة بشكل عام (Agrios, 2005). يعدّ الذبول الوعائي الناجم عن الإصابة بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) W.C. Snyder and H.N. Hans متخصصاً بالبندورة/الطماطم. تمّ وصف هذا المرض لأول مرة بواسطة G.E. Massee في إنكلترا في عام 1892 (Massee, 1892)، ولهذا المرض أهمية في جميع أنحاء العالم حيث تم تسجيله على الأقل في 32 دولة، ويوجد بشكل كبير في البلدان

https://doi.org/10.22268/AJPP-001395
© 2026 الجمعية العربية لوقاية النبات Arab Society for Plant Protection

التي يتميز أغلبها بمناخ دافئ. يمكن أن تحدث الإصابة بمرض الذبول الوعائي في الجذور أو في منطقة التاج وفي أي مرحلة من مراحل نمو النبات. تصيب كل سلالات *Fusarium oxysporum* عموماً الحزم الوعائية الناقلة مما يؤدي لإصابة النبات بالذبول السريع بسبب الإجهاد المائي (Adisa *et al*., 2018).

تظهر أعراض الإصابة أولاً على شكل اصفرار خفيف على الأوراق القديمة وتمتد هذه العوارض غالباً من قاعدة النبات باتجاه الأعلى في جانب واحد أو فرع واحد من النبات، ثم ينتقل إلى الجانب الأخر عند وصوله إلى القمة، وبعدها تذبل وتتساقط الأوراق قبل موعد تساقطها (Alström, 2001). عند إجراء مقطع عرضي في الساق يظهر تلون في الحزم الوعائية بلون بني يكون على شكل نقاط أو حزم، ويعدّ التلون أحد الصفات التشخيصية للمرض (Burgess *et al*., 2008). إنّ مرض الذبول الفيوزارمي صعب المكافحة لأنه يستقر في الحزم الوعائية داخل النبات ويبقى في التربة على شكل أبواغ ساكنة في غياب النبات المضيف لفترة طويلة (Yadeta & Thomma, 2013). تم اقتراح العديد من الاستراتيجيات لمكافحة هذا المرض ومع ذلك، فإن محاولات المكافحة قد حققت نجاحاً محدوداً بسبب ظهور سلالات ممرضة جديدة (Juliano *et al*., 2005). شملت طرائق المكافحة التي تم استخدامها في مكافحة المرض، الأساليب الزراعية والحيوية والكيميائية واستخدام الأصناف المقاومة (Pottorff, 2006)، كما استخدمت الكائنات الدقيقة المضادة بشكل فعال لمكافحة مرض ذبول الفيوزاريوم على البندورة/الطماطم (Freeman *et al*., 2002). في دراسة سابقة وُجد أن استعمال عوامل المكافحة الحيوية (BioControl Agents, BCAs) مثل *Trichoderma hamatum*، *Gliocladium virens*، *Pseudomonas fluorescens* و *Bacillus cepacia* قلّل من إصابة نبات البندورة/الطماطم بمرض الذبول الفيوزارمي في البيوت البلاستيكية بنسبة 35–100% (Larkin & Fravel, 1998). تتضمن آليات خفض المرض باستخدام عناصر المكافحة الحيوية التطفل والتنافس والتضاد الحيوي بإنتاج المركبات المضادة لنمو المسبب الممرض وإنتاج الأنزيمات المحللة لجدران خلايا الفطر الممرض (Pal & Gardener, 2006). كما تعمل بشكل مباشر كسماد حيوي، ومن خلال إنتاج هرمونات نمو النبات، مثل حمض الإندول الخلي، الجبريلين، السيتوكينين، الإيثيلين، واذابة المعادن كالفوسفور (Sarma *et al*., 2009).

تتكيف البكتيريا الجذرية (Rhizobacteria, RB) للعيش في المحيط الجذري لمضيفاتها النباتية حيث تعيش حياة تكافلية (Vessey, 2003). في دراسة أجراها Akkopru & Demir (2005) عن استخدام البكتيريا السالبة لصبغة غرام وبكتيريا المحيط الجذري الوميضية (RB)، *Pseudomonas fluorescens*، *P. putida* و *Enterobacter cloaceae* التي تمّ عزلها من المحيط الجذري لنباتات العائلة الباذنجانية (Solanaceae) في المكافحة الحيوية، وكانت فعالة ضد *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

وفي دراسة لـ Someya *et al.* (2006) أشاروا إلى أن استخدام بكتيريا *P. fluorescens* وجرعة منخفضة (10 ميكروغرام/مل) من المبيد الفطري Benomyl كان فعالاً في خفض مرض الذبول الفيوزارمي وساهم في خفض جرعة المبيد الكيمياوي المستخدم. كما وجد Pazarlar *et al.* (2022) أن استخدام البكتيريا *Bacillus cereus* قلل من إصابة نبات البندورة/الطماطم بالفطر *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici* عن طريق تحفيز المقاومة الجهازية المستحثة. وفي دراسة قام بها Ramírez *et al.* (2022) عن استخدام بكتيريا *B. cereus* في مكافحة *F. oxysporum* على البندورة/الطماطم مختبرياً وحقلياً، تمكنت البكتيريا من خفض نسبة الإصابة من 96 إلى 12%.

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة عزلات بكتيرية محلية معزولة من المحيط الجذري لنبات البندورة/الطماطم ونبات النفل الأرجواني (*Trifolium purpureum*) في تثبيط نمو الفطر *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* مختبرياً وخفض إصابة نباتات البندورة/الطماطم بمرض الذبول الوعائي داخل الأصص.

مواد البحث وطرائقه

تحضير اللقاح الفطري

استخدمت 15 عزلة فطرية تابعة للنوع *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* منها 11 عزلة معزولة من نباتات بندورة/طماطم مصابة جُمعت من الساحل السوري، و4 عزلات من مختبر أمراض النبات في جامعة دمشق. تمّ تعريف هذه العزلات شكلياً بناءً على الصفات الزرعية والمجهرية (زيدان، 2020؛ Burgess *et al*., 1994؛ Ismail *et al*., 2015؛ Leslie & Summerell, 2006؛ Ciampi *et al*., 2009؛ Nelson *et al*., 1983؛ Rozlianah & Sariah, 2006) وإجراء اختبار الإمراضية لعزلات الفطر الممرض على صنف البندورة/الطماطم القابل للإصابة "Samertetra"، ومنه تمّ الحصول على العزلة الأكثر إمراضية FU7 (الخليف، 2023). حُضر لهذه العزلة معلق بوغي بزرع الفطر على وسط البطاطا/البطاطس–دكستروز–آجار (PDA) وتحضينه في الظلام لمدة 10 أيام حتى تشكل الأبواغ. أضيف 10 مل من الماء المقطر المعقم فوق مشيجة الفطر وحرك باستخدام إبرة معقمة (الناصر وآخرون، 2015). ضُبط تركيز المعلق البوغي باستخدام شريحة عدّ (Hemacytometer) عند التركيز 10^8 بوغة/مل.

تحضير المعلقات البكتيرية

تم الحصول على 6 عزلات بكتيرية (J02، I91، F63، C33، B22 و A12) من جذور البندورة/الطماطم السليمة المزروعة في حقول تحوي نباتات بندورة/طماطم مصابة بالذبول الفيوزارمي، وعزلة واحدة (K11) معزولة من التربة المحيطة بجذور البندورة/الطماطم، وعزلة واحدة (RIZN) معزولة من محيط العقد الجذرية لجذور النفل الأرجواني البري (*Trifolium purpureum*) (الخليف، 2023)، والتي تم تعريفها بناءً على نتائج الاختبارات الكيميائية الحيوية، إذ تنتمي العزلات F63، C33، B22 و A12 للنوع *Pseudomonas fluorescens* والعزلات RIZN، K11، J02 و I91 للنوع *Bacillus cereus* (الخليف، 2023).

حُضرت معلقات بكتيرية لهذه العزلات بزرعها في وسط المرق المغذي السائل NB وتم ضبط تراكيز المعلقات البكتيرية باستخدام المطياف الضوئي (HITACHI U-2900 Spectrophotometer, Tokyo, Japan) لقياس الامتصاصية عند طول موجة 600 نانوميتر، وبعدها تم حساب عدد الوحدات المشكلة لمستعمرة (CFU)، بطريقة أنابيب التخفيف، للعزلات البكتيرية كافة وتم ضبطه عند 10^{10} وحدة مكونة للمستعمرات/مل لكافة العزلات مع حفظ المعلقات البكتيرية في البراد (−20°س) للحدّ من تكاثر البكتيريا.

اختبار القدرة التضادية للعزلات البكتيرية بطريقة التضاد بالقطاعات ضدّ الفطر الممرض

تم اختبار تضاد العزلات البكتيرية للفطر الممرض بطريقة التضاد بالقطاعات حيث تم الزرع في أطباق بتري (9 سم) تحوي الوسط الخليط PDA+NA (1:1 حجم)، أخذت 4 خزعات لنفس العزلة البكتيرية، وزعت على محيط الطبق بشكل خط مستقيم على بعد 1 سم من حافة الطبق ووضع في مركز الطبق قرص 1 سم من مشيجة الفطر الممرض، واستخدمت 3 مكررات (أطباق) لكل عزلة بكتيرية، وتمت مقارنتها مع مستعمرة الفطر الشاهد وهي عبارة عن طبق بتري يحوي نفس الوسط الخليط زرع فيه قرص 1 سم من المشيجة الفطرية فقط. حُضنت الأطباق عند درجة حرارة 25±3°س، وبعد 96 ساعة من التحضين حُسبت النسبة المئوية لفعالية العامل الحيوي بقياس المسافات التالية باستخدام مسطرة ميليمترية (مطني وعيسى، 2013):

$$\text{فعالية المكافحة الحيوية (\%)} = \frac{\text{منطقة التثبيط}}{\text{منطقة التثبيط+ منطقة التوسع}} \times 100$$

حيث، منطقة التثبيط: هي المسافة بين خط البكتيريا ونهاية النمو الفطري، منطقة التوسع: هي التوسع الفطري باتجاه خط البكتيريا.

اختبار القدرة التضادية لرواشح العزلات البكتيرية بطريقة التضاد بالحفرة

تم اختبار العزلات البكتيرية التي أعطت تأثيراً مضاداً للفطر الممرض في الطريقة السابقة، بطريقة أخرى وهي التضاد بالحفرة (Well-plate assay) (Kerr *et al*., 1999)، وذلك باستخدام الوسط الخليط PDA+NA (1:1 حجم). وزع 100 ميكروليتر من المعلق البوغي للفطر الممرض بتركيز 10^8 بوغ/ مل، على كامل الوسط المغذي، ثم صُنعت حفرة بقطر 0.7 سم وسط الطبق ووُضع فيها 50 ميكروليتر من الراشح البكتيري، حيث رُشحت المعلقات البكتيرية (تركيز 10^{10} وحدة مكونة للمستعمرات/مل) بمرشحات حقنة معقمة (MILLIPORE 0.22 µm) للحصول على الراشح، بمعدل 3 مكررات لكل عزلة بكتيرية، وتُرك شاهد هو عبارة عن طبق بتري يحوي الوسط المختلط وزرع فيه المعلق البوغي للفطر وصُنعت حفرة بقطر 0.7 سم وسط الطبق حُقن فيها وسط NB المستخدم في تنمية البكتيريا. حضنت الأطباق لمدة 96 ساعة ثم قيس قطر منطقة التثبيط (Zone of inhibition) باستخدام مسطرة ميليمترية وتم حساب نسبة تثبيط النمو الفطري من المعادلة التالية (Ajilogba *et al*., 2013):

$$\text{نسبة التثبيط (\%)} = \frac{\text{قطر مستعمرة الفطر الشاهد- قطر مستعمرة الفطر المعاملة}}{\text{قطر مستعمرة الفطر الشاهد}} \times 100$$

اختبار قدرة العزلات البكتيرية في حماية نباتات البندورة/الطماطم من الإصابة بالفطر الممرض في الأصص

تم تحضير معلق بوغي لعزلة الفطر الممرض FU7 بتركيز 10^8 بوغ/مل. زُرعت التجربة بـ 4 مكررات (أصص بقطر 20 سم) وبمعدل 3 شتول بعمر أسبوعين في المكرر الواحد باستخدام صنف البندورة/الطماطم القابل للإصابة "Samertetra"، تبعاً للتصميم العشوائي الكامل (CRD) وكانت الخلطة الترابية مكونة من تورب TS2 ورمل وتربة زراعية بنسبة 1:1:1 حجماً، معقمة بالاتوكلاف، وبعد 48 ساعة من زراعة الشتول ومعاملتها بالمعاملات التالي ذكرها تمت معاملتها بالمعلق البوغي لأبواغ الفطر وكررت العدوى بالفطر الممرض بعد 10 أيام.

شملت التجربة المعاملات التالية: 1− شتول معداة بالمسبب المرضي FU7 فقط (شاهد إيجابي)، 2− شتول سليمة مزروعة كشاهد سليم غير معدى، 3− شتول معاملة بالعزلات البكتيرية المذكورة، كل عزلة على حدة. حيث تم تحضير معلق بكتيري من العزلات البكتيرية كافة بتركيز 10^{10} وحدة مكونة للمستعمرات/مل ومعداة بالمسبب المرضي، 4− شتول معاملة بالفطر *Trichoderma harzianum* بتركيز 10^7 بوغة/مل ومعداة بالمسبب المرضي، 5− شتول معاملة بالميكوريزا الحويصلية الشجيرية (Vesicular-arbuscular mycorrhiza, VAM) (السماد الحيوي Myco-Rise انتاج شركة BioTac الهندية) بتركيز

84 بوغ/100غ لقاح ومعداة بالمسبب المرضي، 6- شتول معاملة بالمبيد الكيميائي بلتانول Beltanol (المادة الفعالة 8-Hydroxiquinoleine Sulphate بتركيز 50%) ومعداة بالمسبب المرضي، 7- شتول معاملة بالمبيد الحيوي نوفوتريت NOVOTREAT (البكتيريا *Bacillus amyloliquefaciens* subsp *plantarum* 71 إنتاج شركة Atomes الكندية) ومعداة بالمسبب المرضي. وبعد 3 أشهر من الزراعة تم قلع النباتات ودُرست المؤشرات التالية: شدة المرض وفق السلم المعتمد ونسبة الإصابة، الوزن الجاف للمجموع الخضري وأطوال النباتات، الوزن الجاف للمجموع الجذري وقُدرت شدة المرض (%) وفقاً لسلم خماسي (1-5) (Paz-Lago *et al*., 2000) على شتلات البندورة/الطماطم كالتالي: (1) نبات سليم، (2) بداية ظهور أعراض الذبول، (3) ذبول واصفرار الأوراق وتلون بني في الأوعية الناقلة بنسبة 50%، (4) ذبول واصفرار الأوراق وتلون بني واضح في الأوعية الناقلة وبنسبة 75% وبداية موت النباتات، (5) جفاف وموت كامل النبات بسبب الذبول.

حسب معامل المرض لكل معاملة باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{معامل المرض (\%)} = \frac{\text{مجموع (عدد النباتات المصابة في كل درجة} \times \text{قيمة الدرجة)}}{\text{عدد كل النباتات} \times \text{قيمة أعلى درجة}} \times 100$$

بالإضافة لقياس نسبة الإصابة (%) على النباتات وفقاً للمعادلة التالية (Haruna *et al*., 2012):

$$\text{نسبة الإصابة (\%)} = \frac{\text{عدد النباتات المصابة}}{\text{عدد النباتات الكلي}} \times 100$$

كما حُسبت كفاءة تثبيط الإصابة (%) على النباتات وفقاً للمعادلة التالية (Abbott, 1925):

$$\text{الكفاءة (\%)} = \frac{\text{معامل المرض في الشاهد} - \text{معامل المرض في المعاملة}}{\text{معامل المرض في الشاهد}} \times 100$$

تصميم التجربة والتحليل الاحصائي

صممت التجربة وفق القطاعات العشوائية الكاملة، وتم تحديد معنوية البيانات المدروسة بطريقة تحليل التباين ANOVA باستخدام برنامج IBM SPSS الإصدار 25، وقورنت المتوسطات باستخدام اختبار أقل فرق معنوي LSD عند مستوى إحتمال 5% لتجربة الأصص و 1% للتجربة المختبرية، وحسب اختبار دنكن متعدد الحدود DMRT.

النتائج

اختبار القدرة التضادية للعزلات البكتيرية بطريقة التضاد بالقطاعات ضدّ الفطر الممرض

أظهرت النتائج (جدول 1) أن 6 من أصل 8 عزلات بكتيرية أبدت صفة التضاد ضدّ النوع *F. oxysporum*، أما باقي العزلات فلم تؤثر في النمو الفطري حيث غطت مشيجة الفطر كامل سطح الوسط حتى فوق النمو البكتيري ولم يكن هناك أي فاصل أو مسافة تضاد تفصل بين النمو الفطري والبكتيري. كما أنّ العزلات البكتيرية التي أبدت صفة التضاد ضد النوع *F. oxysporum* أظهرت فيما بينها فروقاً معنوية وكانت أفضلها العزلة J02 بمتوسط مسافة تضاد 11.7 مم، وبفعالية مكافحة 20.63% (شكل A-1).

اختبار القدرة التضادية لرواشح العزلات البكتيرية بطريقة التضاد بالحفرة

عند اختبار تأثير تضاد الراشح البكتيري تجاه الفطر الممرض بطريقة التضاد بالحفرة، أظهر التحليل الاحصائي وجود فروق معنوية بين العزلات البكتيرية في تثبيط نمو الفطر *F. oxysporum*، وكانت العزلة I91 هي الأقوى بنسبة تثبيط 33.3% وقطر منطقة التثبيط 27.7 مم (جدول 1 وشكل B-1).

جدول 1. مسافة التضاد وفعالية المكافحة الحيوية بين فطر الذبول *F. oxysporum* والعزلات البكتيرية في تجربة التضاد بالقطاعات ومنطقة التثبيط ونسبة التثبيط في تجربة التضاد بالحفرة.

Table 1. Antagonistic distance and efficacy of biological control (%) between *F. oxysporum* and bacterial isolates using the sectors method and zone of inhibition and Inhibition rate (%) in the well-plate assay.

العزلة البكتيرية Bacterial isolate	المسافة الفاصلة (مم) Antagonistic distance (mm)	فعالية المكافحة الحيوية (%) Biological control efficacy (%)	منطقة التثبيط (مم) Zone of inhibition (mm)	نسبة التثبيط (%) Inhibition (%)
B22	6.30 d	12.63 c	24.3 b	29.3 c
C33	9.30 b	16.82 b	19.7 d	23.7 e
I91	6.70 d	13.56 c	27.7 a	33.3 a
J02	11.7 a	20.63 a	27.0 a	32.5 b
K11	6.30 d	12.63 c	24.3 b	29.3 c
RIZN	8.00 c	16.00 b	21.0 c	25.3 d
$LSD_{0.01}$	0.7819	0.6904	0.7449	0.4974

القيم التي يتبعها نفس الأحرف في نفس العمود لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 1%.

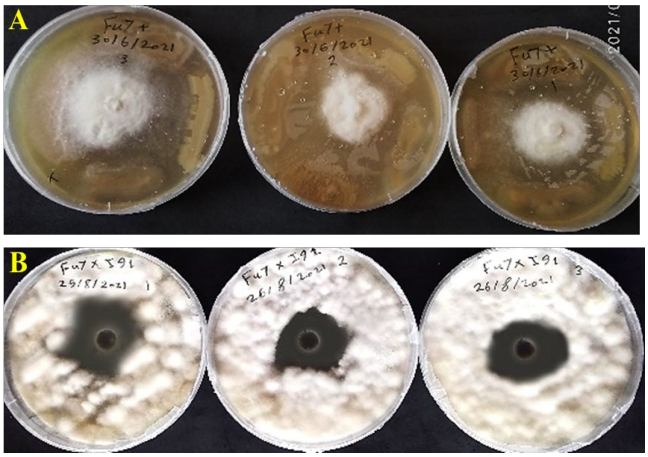
Values followed by the same letters in the same column are not significantly different at P=0.01.

اختبار قدرة العزلات البكتيرية في حماية نباتات البندورة/الطماطم من الإصابة بالفطر الممرض في الأصص

بينت النتائج (جدول 2) أن العزلة A12 التابعة للنوع *P. fluorescens* حققت أفضل النتائج في خفض نسبة وشدة إصابة نباتات البندورة/الطماطم بمرض الذبول الوعائي بمتوسط معامل المرض 3.33% ومعامل مرضي 8.33%، تلتها المعاملات B22، K11، RIZN و Novotreat بمعامل مرض 6.67% ونسبة إصابة 16.67%. كما وُجدت هناك فروق معنوية بين العزلات البكتيرية في تأثيرها على طول النبات، فكانت أفضل العزلات F63 (68.75 سم)، ومن المبيدات التجارية الفطر Trichoderma (65.75 سم) حيث زاد طول النبات أكثر من الشاهد السليم (62 سم)، كما زادت المعاملة بالعزلة I91 (*B. cereus*) الوزن الجاف للمجموع الخضري للنباتات (6.52 غ) بالمقارنة مع الشاهد السليم (3.72 غ) وكانت الفروق معنوية. أما بالنسبة للمبيدات التجارية، لم يكن بينها فروق معنوية في زيادة وزن النبات.

وجدت فروق معنوية بين جميع المعاملات في التأثير على الوزن الجاف للمجموع الجذري، وكانت أفضل معاملة هي المعاملة بالعزلة A12 بمتوسط وزن جذور 7.7 غ، وكانت أعلى من وزن جذور الشاهد السليم (4.4غ) وبفرق معنوي. أما بالنسبة للمبيدات التجارية، حققت المعاملة بـ NOVOTREAT أفضل وزن للجذور (4.3 غ).

وبناءً للنتائج التي تم الحصول عليها، كانت أفضل العزلات في خفض شدة المرض ومعامل الإصابة بالنوع *F. oxysporum* حقلياً هي العزلة A12 التابعة للنوع *Pseudomonas fluorescens*، كما زاد طول النبات والوزن الجاف للمجموعين الجذري والخضري في النباتات المعاملة بها، ولكنها لم تثبط نمو المشيجة الفطرية مختبرياً. أما العزلة I91 التابعة للنوع *Bacillus cereus*، فقد ثبطت نمو الفطر الممرض *F. oxysporum* وخفضت نسبة الاصابة ومعامل المرض. كما أشارت النتائج (الجداول 1 و 2) أن العزلة RIZN التابعة للنوع *Bacillus cereus* المعزولة من جذور نبات النفل الأرجواني ثبّطت الإصابة بالفطر *F. oxysporum* مختبرياً وفي الأصص.



شكل 1. A= طريقة التضاد بالقطاعات، B= طريقة التضاد بالحفرة.
Figure 1. A= Antagonism method by sectors, B= antagonism method by plate wells assay.

جدول 2. تأثير المعاملات الحيوية والمبيد الفطري الكيميائي في إصابة نبات البندورة/الطماطم بالفطر *F. oxysporum* وتأثيرها في مؤشرات النمو.
Table 2. The effect of biological treatments and chemical fungicide on infection of tomato plant with *F. oxysporum* and their effect on growth parameters.

الكفاءة (%) Efficacy (%)	نسبة الإصابة (%) Disease incidence (%)	معامل المرض (%) Disease index (%)	الوزن الجاف للمجموع الجذري (غ) Root dry weight (g)	الوزن الجاف للمجموع الخضري (غ) Shoot dry weight (g)	طول النبات (سم) Plant length (cm)	المعاملات Treatment	
0.00	83.33	70.00 a	1.50 h	2.23 g	47.25 i	Infected control	شاهد معدى
100.00	0.00	0.00 h	4.40 c	3.72 def	62.00 de	Healthy control	شاهد سليم
95.24	8.33	3.33 g	7.70 a	5.87 b	57.75 f	A12	
90.47	16.67	6.67 f	2.30 g	4.70 c	50.00 h	B22	
38.10	66.67	43.33 b	3.55 d	3.32 f	50.75 h	C33	
80.95	33.33	13.33 d	5.90 b	4.25 cd	68.75 a	F63	
85.71	25.00	10.00 e	3.57 d	6.52 a	61.50 e	I91	
80.95	25.00	13.33 d	2.32 g	5.47 b	64.50 bc	JO2	
90.47	16.67	6.67 f	2.75 ef	4.80 c	61.00 e	K11	
90.47	16.67	6.67 f	2.77 e	3.92 de	63.75 cd	RIZN	
90.47	16.67	6.67 f	4.30 c	3.72 def	49.25 h	NOVOTREAT	
52.38	50.00	33.33 c	2.37 fg	3.60 ef	65.75 b	*Trichoderma*	
80.95	25.00	13.33 d	1.85 h	3.77 def	55.75 g	Beltanol	
38.10	66.67	43.33 b	3.42 d	3.97 de	63.75 cd	VAM	

القيم التي يتبعها نفس الأحرف في نفس العمود 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.

المناقشة

أكدت النتائج أن العزلات التي أظهرت تضاداً إزاء الفطر *F. oxysporum* مختبرياً تنتمي للنوع *Bacillus cereus* وهذا يتوافق مع ما نشر سابقاً (Ramírez *et al*., 2022 ؛Peláez *et al*., 2022)، ويعزى سبب تأثير هذه البكتيريا على الفطر إلى نشاطها الإنزيمي في تحليل البروتين إلى بولي ببتيد وأحماض أمينية (Rocha *et al*., 2017). كما تفوقت رواشح العزلات التابعة للبكتيريا *Bacillus cereus* في تثبيط نمو الفطر *F. oxysporum*، وهذا يتوافق مع ما أشار إليه Ben Abdallah *et al.* (2015) والتي وضحت أن نواتج الاستقلاب التي تنتجها *Bacillus* spp. هي التي أحدثت التثبيط للنمو الفطري. أظهرت النباتات المعاملة بـ *Pseudomonas fluorescens* تأخراً في ظهور العوارض ومعدل إصابة منخفضاً بالذبول الفوزاريومي على البندورة/الطماطم، وهذا يتفق مع ما أشارت إليه أبحاث سابقة (Hannane *et al*., 2012؛ Vethavalli & Sudha, 2016) وقد يعود السبب إلى أن البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* ذات استعمار داخلي لجذور النبات (Endophytic bacteria) مما يوفر حماية أعلى للنبات من الممرضات (Hardoim *et al*., 2008)، بالإضافة إلى قدرتها على إنتاج إنزيم البروتياز الذي يحطم جدار الخلية الفطرية (Ahmadzadeh & Tehrani, 2009) أو لمنتجات البكتيريا الموجودة في الراشح مثل zwittermicin و 2,4−diacetyl phloroglucinol (Zape *et al.,* 2014)، أو من خلال انتاجها للأنزيمات المحللة لجدار خلايا الممرض مثل β-1,3-glucanase و β-1,4-glucanases والليباز (Denton, 2007)، أو من خلال تحريض المقاومة الجهازية المحرضة للنبات (Verhagen *et al*., 2010). كما زادت المعاملة بهذه البكتيريا مؤشرات النمو المدروسة مقارنة بالشاهد السليم، والذي يمكن أن يعزى إلى قدرة البكتيريا على تحسين التغذية المعدنية للنبات وامتصاص الماء (Choudhary & Johri, 2009)، أو لقدرة البكتيريا *Pseudomonas* على إنتاج المركبات الخالبة لأيونات الحديد (Ramamoorthy *et al.,* 2002)، وقد اتفقت هذه النتائج مع دراسات سابقة (Akkopru & Demir, 2005). أظهرت النتائج أن المعاملات المختلفة ببكتيريا *Bacillus cereus*، أدت إلى انخفاض شدة المرض، وعززت من معايير النمو المدروسة للبندورة/الطماطم، وقد يعود السبب إلى أن استخدام *Bacillus cereus* يكافح المرض من خلال المستقلبات التي تنتجها هذه البكتيريا والتي تؤثر على الميكروفلورا الموجودة في منطقة انتشار الجذور، أو من خلال تنشيط استجابات دفاع المضيف (Yamamoto *et al*., 2015). كما أن أنواع الجنس *Bacillus* تسبب استعماراً سريعاً لأنسجة نبات البندورة/الطماطم من أجل إحداث مقاومة جهازية ضدّ *F. oxysporum* (Kloepper *et al*., 2004). كما قد يعزى ذلك إلى قدرة أنواع *Bacillus* في التأثير على تغذية النبات وامتصاص العناصر الغذائية مثل اتاحة النيتروجين وإذابة الفوسفور (Glick, 1995)، أو لارتباط عديدات السكريات الخارجية التي تنتجها هذه البكتيريا بأيونات الصوديوم مما يقلل من تركيزه ويساعد النبات على النمو (Ashraf, 2004؛ Schmalenberger *et al.,* 2001). أظهر المبيد نوفوتريت ذو الأساس الحيوي (يحتوي البكتيريا *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 71) قدرة عالية في خفض شدة الإصابة، ويعزى السبب إلى إنتاج البكتيريا لمواد الاستقلاب الثانوية المضادة للفطور (Gowtham *et al.,* 2016؛ Niazi *et al.,* 2014). كما أظهرت النباتات المعاملة بنوفوتريت زيادةً في مؤشرات النمو المدروسة، وهذا يتفق مع ما أشار إليه Shahzad *et al.* (2017). أظهر المبيد الكيميائي الفطري بلتانول، الذي تم تطبيقه على التربة، فعالية متوسطة في مكافحة *F. oxysporum* وهذا يتفق مع ما نشره Mannai *et al.* (2018)، ويمكن أن يعود تأثير بلتانول إلى أن هذا المركب يعمل عن طريق جعل المعادن الثقيلة غير متوفرة للسموم التي تنتجها مسببات الأمراض (Block, 1959). تعتمد القدرة الوقائية للفطر *Trichoderma harzianum* من الإصابة بـ *F. oxysporum* على التوقيت، فكانت نسبة الإصابة مرتفعة (50%) عند إحداث العدوى بفطر الذبول بعد أسبوع واحد من معاملة النباتات بالفطر تريكوديرما، ويمكن أن يعزى ذلك إلى فشل تريكوديرما في التأسيس جيداً قبل ادخال العامل الممرض مما يجعله غير قادر على التغلب على التأثير المثبط للفيوزاريوم (Salami *et al*., 2018)، وللشراسة العالية لمسبب المرض *F. oxysporum* (70%). لم يكن للميكوريزا دور في تثبيط الإصابة بالفطر *F. oxysporum*، وقد يعزى ذلك إلى فشل الميكوريزا في استعمار الجذور قبل حدوث العدوى بالفطر الممرض وهذا يدل على أن الإصابة بفطر *F. oxysporum* تؤثر بشكل ملحوظ في استعمار الميكوريزا لجذور البندورة/الطماطم، وربما ينتج ذلك عن تراكم الفينولات في الخلية النباتية المضيفة وإنتاج الانزيمات المحللة مثل Chitinase (Hao *et al*., 2005).

Abstract

Alkhlif, R.A., M.F. Azmeh and M. Abu Ghoura. 2026. Efficiency Evaluation of Local Isolates of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus cereus* Against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* the Causal Agent of Tomato Vascular Wilt. Arab Journal of Plant Protection, 44(2):264-272. https://doi.org/10.22268/AJPP-001395

In an attempt to control *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* on tomato, and to reduce tomato yield losses, by the application of local bacterial isolates, isolated from the rhizosphere of tomato plant and *Trifolium purpureum* as biological control agents. Four of these isolates belong to *Pseudomonas fluorescens* and 4 belong to *Bacillus cereus*. Their ability to inhibit infection was tested *in vitro* by two methods: the

sectors method using bacterial suspensions and well-plate assay method using bacterial filtrates. The antagonistic activity was evaluated on plants in pots. The results obtained showed that the most effective bacterial isolate in inhibiting the growth of the fungal pathogen using the sectors method through culture suspensions was *Bacillus cereus* J02 (with a biocontrol efficacy of 20.36%). On the other hand, using the well-plate assay method, the strongest isolate was *Bacillus cereus* I91 (with an inhibition rate of 33.3%). The isolate *Pseudomonas fluorescens* A12 demonstrated the highest reduction in disease index (3.33%) compared to the infected control (70%). Moreover, it increased growth parameters (plant height, root and shoot dry weight) but did not inhibit the growth of the fungal pathogen *in vitro*. The isolate RIZN belonging to *Bacillus cereus*, isolated from the roots of *Trifolium purpureum*, exhibited inhibition of fungal infection both *in vitro* (25.3%) and on plants (disease incidence 16.67%). These results contributed to the development of a potential biocontrol agent against tomato Fusarium wilt disease.
Keywords: *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici, Bacillus* cereus, *Pseudomonas fluorescens,* Tomato, Syria.

Affiliation of authors *R.A. Alkhlif[1*], M.F. Azmeh[2] and M. Abu Ghoura[2]. (1) Damascus University, Faculty of Agriculture, Plant Protection Department, Faculty of Agriculture, Damascus University, Syria; Laboratory of Biodiversity Syrian National Commission for Biotechnology, Damascus, Syria; (2) Plant Protection Department, Faculty of Agriculture, Damascus University, Syria. *Email address of the corresponding author: reem.alkhlif@damascusuniversity.edu.sy*

References

Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology, 18(2):265-267. https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a

Adisa, I.O., V.L. Pullagurala, S. Rawat, J.A. Hernandez-Viezcas, C. Dimkpa, W.H. Elmer, J.C. White, J.R. Peralta-Videa and J.L. Gardea-Torresdey. 2018. Role of cerium compounds in Fusarium wilt suppression and growth enhancement in tomato (*Solanum lycopersicum*). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66(24):5959-5970. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01345

Agrios, G.N. 2005. Plant Pathology. 5th ed. Elsevier Academic Press, Burlington, Massachusetts, USA. 922 pp.

Ahmadzadeh, M. and A.S. Tehrani. 2009. Evaluation of fluorescent pseudomonads for plant growth promotion, antifungal activity against *Rhizoctonia solani* on common bean, and biocontrol potential. Biological Control, 48(2):101-107. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.10.012

Ajilogba, C.F., O.O. Babalola and A. Ahmad. 2013. Antagonistic effects of *Bacillus* species in biocontrol of tomato Fusarium wilt. Ethno-Medicine, 7(3):205-216.

Akköprü, A. and S. Demir. 2005. Biological control of Fusarium wilt in tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by AMF *Glomus intraradices* and some rhizobacteria. Journal of Phytopathology, 153(9):544-550. https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2005.01018.x

Alström, S. 2001. Characteristics of bacteria from oilseed rape in relation to their biocontrol activity against *Verticillium dahliae*. Journal of Phytopathology, 149(2):57-64. https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2001.00585.x.

Ashraf, M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora, 199(5):361-376. https://doi.org/10.1078/0367-2530-00165

Ben Abdallah, D., O. Frikha-Gargouri and S. Tounsi. 2015. *Bacillus amyloliquefaciens* strain 32a as a source of lipopeptides for biocontrol of *Agrobacterium tumefaciens* strains. Journal of Applied Microbiology, 119(1):196-207. https://doi.org/10.1111/jam.12797

Block, S.S. 1959. Getting the most from fungicide tests. Agricultural and Food Chemistry, 7:18-23.

المراجع

الخليف، ريم عبود. 2023. دراسة ذبول فوزاريوم في الزراعة المحمية واختبار كفاءة بكتيريا مضادة في تثبيطه. رسالة ماجستير. منشورات جامعة دمشق، دمشق، سورية. 137 صفحة.

*[**Alkhlif, R.A.** 2023. A study on Tomato Fusarium Wilt in Protected Cultivation and Efficiency of its Inhibition by Antagonist Bacteria. MSc thesis. Damascus University publications. Damascus. Syria. 137 pp. (In Arabic)].*

المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية. 2022. وازرة الزراعة والإصلاح الزراعي، قسم الإحصاء، دمشق، الجمهورية العربية السورية. http://cbssyr.sy/yearbook.htm

*[**Annual Agricultural Statistics Collection**. 2022. Ministry of Agriculture and Agrarian Reform, Statistics Division, Damascus, Syria (In Arabic)]. http://cbssyr.sy/yearbook.htm*

زيدان، ليلى. 2020. تعريف مورفولوجي وجزيئي لعزلات من الجنس Fusariumعلى القمح والكشف عن المورثات المسؤولة عن إنتاج السموم الفطرية. أطروحة دكتوراه، جامعة دمشق، دمشق. 181 صفحة.

*[**Zidan, L.** 2020. Morphological and Molecular Identification of Fusarium Isolates on Wheat and Detection of Genes Responsible for Mycotoxin Production. PhD thesis, Damascus University, Damascus, Syria. 181 pp. (In Arabic].*

الناصر، زكريا، عبد المؤمن الشبلي ووليد، نفاع. 2015. اختبار القدرة الإمراضية لعزلات من الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* على نبات البندورة، وتأثير بعض المبيدات في النمو الخطي للعزلات المختبرة في الظروف المخبرية. المجلة العربية للبيئات الجافة، 8(1-2):69-75.

*[**Alnaser, Z., A.A. Al Sheble and W. Naffaa**. 2015. Pathogenicity of Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici Isolates on Tomato and the Effect of some Fungicides on Linear Growth of Tested Isolates in vitro. The Arab Journal for Arid Environments 8 (1-2):69-75. (In Arabic)].*

مطني، عدي نجم اسماعيل وعدنان عبدالله عيسى. 2013. المكافحة البيولوجية لمرض سقوط البادرات المتسبب عن الفطر *Rhizoctonia solani* على الطماطم تحت ظروف البيت البلاستيكي. المجلة الاردنية في العلوم الزراعية، 9(3):420-426.

*[**Matny, O.N. and A.A. Eisa.** 2013. Biological control of tomato damping off caused by Rhizoctonia solani under plastic conditions. Jordanian Journal of Agriculture Sciences, 9(3):420-426 (In Arabic)].*

Haruna, S.G., S.A. Adebitan and A.U. Gurama. 2012. Field evaluation of compost extracts for suppression of Fusarium wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. International Journal of Agricultural Research, 7(4):7-17.

Ismail, M.A., S.I.I. Abdel-Hafez, N.A. Hussein and N.A. Abdel-Hameed. 2015. Contributions to the Genus Fusarium in Egypt with Dichotomous Keys for Identification of Species. T. Karpiński Publisher, Suchy Las, Poland. 179 pp.

Juliano, C., I. da Silva and B. Wagner. 2005. Potential of non-pathogenic *Fusarium oxysporum* isolates for control of Fusarium wilt of tomato. Fitopatologia Brasileira, 30(4):409-412. https://doi.org/10.1590/S0100-41582005000400012

Kerr, J.R., G.W. Taylor, A. Rutman, N. Høiby, P.J. Cole and R. Wilson. 1999. *Pseudomonas aeruginosa* pyocyanin and 1-hydroxyphenazine inhibit fungal growth. Journal of Clinical Pathology, 52(5):385-387. https://doi.org/10.1136/jcp.52.5.385

Kloepper, J.W., C.M. Ryu and S. Zhang. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. Phytopathology, 94(11):1259-1266. https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1259

Larkin, R.P. and D.R. Fravel. 1998. Efficacy of various fungal and bacterial biocontrol organisms for control of Fusarium wilt of tomato. Plant Disease, 82(9):1022-1028. https://doi.org/10.1094/PDIS.1998.82.9.1022

Leslie, J.F. and B.A. Summerell. 2006. The Fusarium Laboratory Manual. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA. 388 pp.

Mannai, S., N. Horrigue-Raouani and N. Boughalleb-M'Hamdi. 2018. Effect of six fungicides against *Fusarium oxysporum* and *F. solani* associated with peach seedlings decline in Tunisian nurseries. *Annual* Research and Review in Biology, 26(4):1-11. https://doi.org/10.9734/ARRB/2018/41295

Massee, G.E. 1892. The British Fungus-Flora: A Classified Textbook of Mycology. George Bell & Sons, London, UK. 444 pp.

Nelson, P.E., T.A. Toussoun and W.F.O. Marasas. 1983. Fusarium Species: An Illustrated Manual for Identification. Pennsylvania State University Press, University Park, Pennsylvania, USA. 193 pp.

Niazi, A., S. Manzoor, S. Asari, J. Bejai, J. Meijer and E. Bongcam-Rudloff. 2014. Genome analysis of *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* UCMB5113: a rhizobacterium that improves plant growth and stress management. PLOS ONE, 9(8):e104651. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104651

Pal, K.K. and B.M. Gardener. 2006. Biological control of plant pathogens. The Plant Health Instructor. https://doi.org/10.1094/PHI-A-2006-1117-02

Pazarlar, S., K. Madriz-Ordeñana and H. Thordal-Christensen. 2022. *Bacillus cereus* EC9 protects tomato against Fusarium wilt through JA/ET-activated immunity. Frontiers in Plant Science, 13:1090947. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1090947

Burgess, L.W., B.A. Summerell, S. Bullock, K.P. Gott and D. Backhouse. 1994. Laboratory Manual for Fusarium Research. 3rd ed. Fusarium Research Laboratory, Department of Crop Sciences, University of Sydney and Royal Botanic Gardens, Sydney, Australia. 133 pp.

Burgess, L.W., T.E. Knight, L. Tesoriero and H.T. Phan. 2008. Diagnostic Manual for Plant Diseases in Vietnam. ACIAR Monograph No. 129. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia. 210 pp.

Choudhary, D.K. and B.N. Johri. 2009. Interactions of *Bacillus* spp. and plants with special reference to induced systemic resistance (ISR). Microbiological Research, 164(5):493-513. https://doi.org/10.1016/j.micres.2008.08.007

Ciampi, L., J. Nissen, E. Venegas, R. Fuentes, M. Costa, R. Schöbitz, E. Alvarez and P. Alvarado. 2009. Identification of two species of *Fusarium* Link that cause wilting of colored callas (*Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng.) cultivated under greenhouse conditions in Chile. Chilean Journal of Agricultural Research, 69(4):525-533.

Denton, B. 2007. Advances in phytoremediation of heavy metals using plant growth promoting bacteria and fungi. Basic Biotechnology, 3:1-5.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2022. FAOSTAT. FAO, Rome, Italy. Available at: https://www.fao.org/faostat/

Freeman, S., A. Zveibil, H. Vintal and M. Maymon. 2002. Isolation of nonpathogenic mutants of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* for biological control of Fusarium wilts in cucurbits. Phytopathology, 92(2):164-168. https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.2.164

Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Canadian Journal of Microbiology, 41(2):109-117. https://doi.org/10.1139/m95-015

Gowtham, H.G., P. Hariprasad, S. Chandra Nayak and S.R. Niranjana. 2016. Application of rhizobacteria antagonistic to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* for the management of Fusarium wilt in tomato. Rhizosphere, 2:72-74. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2016.07.008

Hannane, A., R. Noureddine, M. Dahou and R. Amar. 2016. Screening for *Pseudomonas* and *Bacillus* antagonistic rhizobacteria strains for the biocontrol of Fusarium wilt of chickpea. Eurasian Journal of Soil Science, 5(3):182-191. https://doi.org/10.18393/ejss.2016.3.182-191

Hao, Z., P. Christie, L. Qin, C. Wang and X. Li. 2005. Control of Fusarium wilt of cucumber seedlings by inoculation with an arbuscular mycorrhizal fungus. Journal of Plant Nutrition, 28(11):1961-1974. https://doi.org/10.1080/01904160500310997

Hardoim, P.R., L.S. van Overbeek and J.D. van Elsas. 2008. Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. Trends in Microbiology, 16(10):463-471. https://doi.org/10.1016/j.tim.2008.07.008

and Life Sciences, 5(1):41-47. https://doi.org/10.5281/zenodo.1063040

Schmalenberger, A., I. Issoufou, H. Junge and H. Bochow. 2001. Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent for biological control of diseases on maize and sunflower. Journal of Plant Diseases and Protection, 108(5):500-512.

Shahzad, R., A.L. Khan, S. Bilal, S. Asaf and I.-J. Lee. 2017. Plant growth-promoting endophytic bacteria versus pathogenic infections: an example of *Bacillus amyloliquefaciens* RWL-1 and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato. PeerJ, 5:e3107. https://doi.org/10.7717/peerj.3107

Someya, N., K. Tsuchiya, T. Yoshida, M.T. Noguchi and H. Sawada. 2006. Combined use of the biocontrol bacterium *Pseudomonas fluorescens* strain LRB3W1 with reduced fungicide application for the control of tomato Fusarium wilt. Biocontrol Science, 11(2):75-80. https://doi.org/10.4265/bio.11.75

Verhagen, B.W.M., P. Trotel-Aziz, M. Couderchet, M. Höfte and A. Aziz. 2010. *Pseudomonas* spp.-induced systemic resistance to *Botrytis cinerea* is associated with induction and priming of defence responses in grapevine. Journal of Experimental Botany, 61:249-260. https://doi.org/10.1093/jxb/erp295

Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil, 255(2):571-586. https://doi.org/10.1023/A:1026037216893

Vethavalli, S. and S.S. Sudha. 2012. *In vitro* and *in silico* studies on biocontrol agent bacterial strains against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Research in Biotechnology, 3(2):22-31.

Yadeta, K.A. and B.P.H.J. Thomma. 2013. The xylem as battleground for plant hosts and vascular wilt pathogens. Frontiers in Plant Science, 4:97. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00097

Yamamoto, S., S. Shiraishi and S. Suzuki. 2015. Are cyclic lipopeptides produced by *Bacillus amyloliquefaciens* S13-3 responsible for the plant defence response in strawberry against *Colletotrichum gloeosporioides*? Letters in Applied Microbiology, 60(4):379-386. https://doi.org/10.1111/lam.12382

Zape, A.S., R.M. Gade, R. Singh and V.A. Deshmukh. 2014. Efficacy of different antagonists against *Sclerotium rolfsii*, *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani*. Bioscience Discovery, 5(2):1431-1434.

Paz-Lago, D., A.A. Borges, A. Gutiérrez, A. Borges, G. Cabrera-Barjas, M.A. Ramírez-Arrebato and A. Falcón. 2000. Tomato-*Fusarium oxysporum* interactions. II. Chitosan and MSB induced resistance against Fol in young tomato plants. Cultivos Tropicales, 21(4):17-20.

Peláez, R., G. Samia, N. Karkachi and M. Kihal. 2022. Antifungal activity of *Bacillus* spp. against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and *Ascochyta* sp. Journal of Plant Protection Research, 62(3):247-257. https://doi.org/10.24425/jppr.2022.142131

Pottorff, L. 2006. Recognizing tomato problems. Fact Sheet No. 2.949. Colorado State University Cooperative Extension, Fort Collins, Colorado, USA.

Ramamoorthy, V., T. Raguchander and R. Samiyappan. 2002. Induction of defense-related proteins in tomato roots treated with *Pseudomonas fluorescens* Pf1 and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Plant and Soil, 239(1):55-68. https://doi.org/10.1023/A:1014904815352

Ramírez, V., J. Martínez, M.D.R. Bustillos-Cristales, D. Castañeda-Antonio, J.A. Munive and A. Baez. 2022. *Bacillus cereus* MH778713 elicits tomato plant protection against *Fusarium oxysporum*. Journal of Applied Microbiology, 132(1):470-482. https://doi.org/10.1111/jam.15179

Rocha, F.Y.O., C.M. de Oliveira, P.R.A. da Silva, L.H.V. de Melo, M.G.F. do Carmo and J.I. Baldani. 2017. Taxonomical and functional characterization of *Bacillus* strains isolated from tomato plants and their biocontrol activity against races 1, 2 and 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Applied Soil Ecology, 120:8-19. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.025

Rozlianah, S.F. and M. Sariah. 2006. Characterization of Malaysian isolates of *Fusarium* from tomato and pathogenicity testing. Research Journal of Microbiology, 1(3):266-272. https://doi.org/10.3923/jm.2006.266.272

Salami, O.A., A.F. Bankole and O.P. Adepoju. 2018. Biocontrol potentials of *Trichoderma harzianum* and *Glomus fasciculatum* on *Fusarium oxysporum* causing Fusarium wilt disease of tomato (*Lycopersicon esculentum*). SciFed Journal of Mycology, 1(3):1011.

Sarma, M.V., R.K. Saharan, K. Prakash, A. Bisaria and V. Sahai. 2009. Application of fluorescent pseudomonad inoculant formulations on *Vigna mungo* through field trial. International Journal of Biological

Received: June 12, 2024; Accepted: March 25, 2025

تاريخ الاستلام: 2024/6/12؛ تاريخ الموافقة على النشر: 2025/3/25