دراسة تأثير حمض السالسيليك والمبيد هايمكسازول في تحفيز مقاومة نباتات البندورة ضد الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicislycopersici* (FORL)

عفراء مطيع حيدر[1] و محمد زكريا طويل[1] و عصام علاف[1]

[1] كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سورية.

(*للمراسلة: عفراء مطيع حيدر، البريد الإلكتروني: Afraaafraa485@gmail.com)

تاريخ الاستلام: 19/ 12/ 2025 **تاريخ القبول:** 4/ 3/ 2026

الملخّص

نفذت تجربة نصف حقلية خلال موسمين متتاليين لزراعة البندورة في عامي 2024 – 2025، بهدف التعرف على تأثير حمض السالسيلك والمبيد هايمكسازول في تحفيز المقاومة لدى نباتات البندورة التي تعود للصنف الهجين بستونا ضد الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicislycopersici* المسبب لمرض عفن الجذور والتاج. أبدى كل من المركبين فعالية في خفض نسبة وشدة الإصابة حتى بلغت 61.1 %، 27.8% على التوالي في النباتات المعداة المعاملة بحمض السالسيلك، في حين بلغت نسبة وشدة الإصابة 72.2%، 19.4% على التوالي عند النباتات المعداة المعاملة بالمبيد مقارنة مع الشاهد المعدي الذي كانت نسبة وشدة الإصابة لديه 100 %، 65.3 % على التوالي. كما تبين التأثير المحفز لكل من المبيد وحمض السالسيليك لنبات البندورة من خلال زيادة تركيز هرمون الميثيل جاسمونيك إلى أكثر من 170 مرة، وأكثر من 350 مرة على التوالي مقارنة مع الشاهد المعدى، كما أسفرت المعاملة بالمبيد وحمض السالسيليك للنباتات المعداة إلى تنشيط إنزيم البيروكسيداز ليبلغ (214.2، 238.8) × 10^{-5}ميكرومول / ملغ على التوالي مقارنة مع نشاطه في الشاهد المعدي الذي بلغ 151.3 × 10^{-5}ميكرومول/ملغ،وارتفع المحتوى الفينولي الكلي حتى 17.5، 16.5 ميكرومول/غ وزن رطب في النباتات المعداة المعاملة بالمبيد أو حمض السالسيلك على التوالي مقارنة مع الشاهد المعدي الذي بلغ محتوى الفينول الكلي لديه 13.9 ميكرومول / غ وزن رطب.

الكلمات المفتاحية: مرض عفن الجذور والتاج الفيوزارمي على البندورة، *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicislycopersici* (FORL)، تحفيز المقاومة، حمض السالسيليك، المبيد هايمكسازول.

المقدمة:

يُعد مرض عفن الجذور والتاج المتسبب عن الفطر *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *radicislycopersici*Jarvis & Shomaker (FORL) من **الأمراض الخطيرة على نباتات** البندورة *Solanumlycopersicum* في الزراعة المحمية والمكشوفة ويؤثر على الإنتاج في جميع أنحاء العالم (Yang *et al*., 2024) بل ويُعدّ من أكثر الأمراض تدميرًا للبندورة في بعض المناطق (Zhang *et al*., 2011). سُجِّل هذا الفطر لأول مرة في اليابان عام 1969 ثم توالى تسجيله في العديد من بلدان العالم ومنها سورية (حيدر وآخرون، 2023). يصيب المرض البادرات في المشاتل ، كما يصيب النباتات الناضجة، حيث تتمثل الأعراض الأولية للمرض بالتقزم، الاصفرار والذبول، موت البادرات بكاملها أو الأوراق الحقيقية السفلية (Can *et al*., 2004) وتتمثل الأعراض العامة للمرض بالاصفرار، الذبول، توقف النمو، تغير لون أنسجة الساق الداخلية حيث يمتد التلون البني داخل أنسجة الساق لأكثر

من 50 سم فوق خط التربة (حيدر وآخرون، 2023)، تبدأ الأوراق القديمة بالاصفرار أولاً مع وصول الثمار إلى مرحلة النضج ثم تتحول هذه الأوراق الصفراء إلى اللون البني في النهاية (Katan and Katan, 1999). تتطلع الأبحاث الحالية لإيجاد آليات فعالة آمنة لمكافحة الفطر فيوزاريوم بأنواعه المختلفة ومنها تحفيز المقاومة لدى النبات باستخدام محفزات طبيعية أو كيميائية، ويعد حمض السالسيليك من المحفزات الكيميائية التي أُثبِتت كفاءتها في برامج المكافحة الحيوية لعدد من الممرضات الفطرية من بينها الفطر فيوزاريوم حيث أشارت الأبحاث إلى دوره في تحفيز نشاط إنزيمات الاستجابة المناعية لدى النبات لاسيما إنزيم البيروكسيداز وإنزيم فينيل ألانين أمونيا – لياز (PAL) (Mandal *et al.*, 2009) التي تساهم في قوة الجدران الخلوية للنبات وإنتاج مركبات مضادة للممرضات مما يخفف من أعراض الإصابة بالمرض ويحد من ضرر الفطر على النبات. وأشار Radhajeyalakshmi وآخرون (2009) إلى أن معاملة النباتات بحمض السالسيليك تزيد كمية البروتينات المرتبطة بالإمراضية في النباتات عشرات المرات مما يحفز مورثات المقاومة لإنتاج بروتينات ذات طبيعة إنزيمية أو إنزيمات دفاعية مثل الغلوكاناز والكيتيناز.

هدف البحث إلى مقارنة تأثير حمض السالسيليك مع المبيد هايمكسازول في العزلة FORL13 التي تعود للفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicis lycopersici* المسبب لمرض عفن الجذور والتاج ودورهما في تحفيز المقاومة لدى نبات البندورة (الهجين بستونا)، من خلال قياس مستويات هرمون ميثيل الجاسمونيك وتقدير نشاط إنزيم البيروكسيداز في النباتات المعاملة إضافة إلى محتوى الأوراق من الفينولات الكلية.

وتنبع أهمية هذا البحث من الحاجة إلى طرق آمنة لمكافحة مرض عفن الجذور والتاج على نباتات البندورة المتسبب عن الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicislycopersici* عن طريق تحفيز مقاومة النبات للفطر الممرض.

مواد البحث وطرائقه:

1. مكان تنفيذ البحث:

نفذ هذا البحث في بيت بلاستيكي ملحق بكلية الهندسة الزراعية التابع لقسم وقاية النبات في كلية الهندسة الزراعية في جامعة اللاذقية خلال عامي 2024، 2025.

2. تصميم التجربة:

تم إتباع تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، وشملت الدراسة اختبار تأثير حمض السالسيليك مقارنة مع المبيد هايمكسازول في تحفيز المقاومة لدى نباتات البندورة العائدة للصنف الهجين بستونا ضد الفطر المسبب لمرض عفن الجذور والتاج، حيث تم اختبار خمس معاملات بواقع ثلاثة مكررات لكل معاملة وكل مكرر مكون من ثلاثة نباتات.

3. مواد البحث:

- **العزلة FORL13:** هي عزلة محلية من قرية محورتي–بانياس في المنطقة الساحلية في سورية، تم تعريفها جزيئياً في المعهد المتوسطي البحري والبري للتنوع الحيوي والبيئي، جامعة ايكس–مرسيليا، فرنسا (the Mediterranean Institute of marine and terrestrial Biodiversity and Ecology in Aix Marseille University, France) وتسجيلها في البنك الوراثي للمركز الوطني للمعلومات التقنية الحيوية National Center for Biotechnology Information (NCBI) في الولايات المتحدة بالرقم PP213248 (FORL13).

- **حمض السالسيليك Salycylic Acide تركيز 99%**
- **مبيد هايمكسازول 30%** (اسمه التجاري تاشجارينTachigaren: مركز ذواب في الماء SL)
- **بذور هجين البندورة بستونا:** بلد المنشأ **Thailand**
- **أكياس زراعة:** ملئ كل منها بحوالي 3 كغ خليط مؤلف من تربة معقمة بالفورمالين لمدة أسبوع مع رمل وتورب معقمين بالأوتوغلاف على حرارة 120 لمدة نصف ساعة مرتين يفصل بينهما يومين، أي الخليط تربة: رمل: تورب بنسبة (1: 1: 1).

4. طرائق البحث:

1) **إعداد شتول البندورة:** زرعت بذور الصنف الهجين بستونا المعقمة ضمن التورب المعقم في صينية الإنبات حيث بلغت نسبة الإنبات 92%. تم توزيع أكياس التربة المعقمة في البيت الزراعي، حيث نقلت الشتول بعمر عشرين يوماً في مرحلة الورقة الحقيقية الثانية أو الثالثة إلى أكياس الزراعة بواقع 3 مكررات لكل معاملة (كل مكرر عبارة عن ثلاثة أكياس في كل منها نبات واحد) والمعاملات خمس هي:

- **شاهد** غير معامل **C**
- **شاهد معدي** بالفطر فيوزاريوم فقط **F** عندما أصبحت النباتات بعمر 45 يوماً.
- **معاملة بحمض السالسيلك فقط S** (تمت المعاملة بحمض السالسيليك مرتين: الأولى عند نقل شتول البندورة إلى أكياس الزراعة بعمر 25 يوم، والثانية قبل تنفيذ العدوى بالفطر الممرض في معاملات العدوى الاصطناعية بـ 5 أيام).
- **معاملة بحمض السالسيليك ثم الفطر فيوزاريومSF:** تمت المعاملة بحمض السالسيليك مرتين: الأولى بعمر 20 يوماً (عند نقل شتول البندورة إلى أكياس الزراعة) قبل العدوى بالفطر بـ 25 يوماً، والثانية قبل العدوى بـ 5 أيام.
- **معاملة بالمبيد هايمكسازول ثم الفطر فيوزاريومHF:** تمت المعاملة بالمبيد مرتين الأول بعند نقل شتول البندورة إلى أكياس الزراعة، والثانية قبل العدوى بـ 5 أيام حيث تمت العدوى بعد 25 يوم من نقل الشتول.

2) **المعاملة بمحلول حمض السالسيليك:**

حضر محلول حمض السالسيليك في الماء المقطر بتركيز 200 مغ/ل اعتماداً على نتائج تجربة أولية قمنا بها لتحديد مدى قدرة شتول بندورة بعمر عشرين وأربعين يوماً على تحمل تراكيز مختلفة من حمض السالسيليك.حيث تمت المعاملة عن طريق ري التربة بمعدل 200 مل لكل نبات عند نقل الشتول إلى أكياس الزراعة (الشتول بعمر 20 يوماً)، ثم كررت المعاملة رياً للتربة ورشاً على المجموع الخضري عنما أصبحت النباتات بعمر 40 يوماً بمعدل 200 مل لكل نبات وتركيز **200 مغ/ ل**. تجدر الملاحظة:أنه عند تحضير محلول حمض السالسيلك لابد من إذابة الكمية المطلوبة من مركب السالسيليك بكمية قليلة من الكحول المطلق لاتتجاوز 5 مل قبل إضافته للماء المقطر أو العادي بسبب الانحلال الضعيف لحمض السالسيلك في الماء.

3) **معاملات المبيد هايمكسازول:** أضيف لتربة كل نبات 200 مل محلول المبيد محضر بالتركيز المنصوح به حقلياً وهو 2 مل/ل. ثم كررت المعاملة قبل إعداء التربة بالفطر فيوزاريوم بخمسة أيام رياً للتربة ورشاً على المجموع الخضري.

4) **إجراء العدوى الاصطناعية بالفطر فيوزاريوم:** تمت العدوى عندما أصبحت النباتات بعمر 45 يوماً، باستخدام مستعمرات فطرية بعمر 18 يوماً حيث قطعت المستعمرات إلى أقراص دائرية قطر كل منها 1 سم، وأضيف ثلاثة أقراص لكل نبات

في منطقة المحيط الجذري مع تجريح جزء من الجذور باستخدام إبرة معقمة. بلغت حمولة القرص الواحد من الأبواغ بالمتوسط $10^7 \times 387.5$ بوغة للقرص الواحد.

5) دراسة تأثير حمض السالسيليك في الصفات البيوكيميائية لنباتات البندورة مقارنةً مع المبيد هايمكسازول:

أخذت العينات الورقية من النباتات تمهيداً لتحديد الصفات البيوكيميائية، حيث تم أخذ العينات الورقية وإجراء تحليل المحتوى الفينولي الكلي ونشاط إنزيم البيروكسيداز عندما أصبحت النباتات بعمر شهرين، في حين قيس تركيز هرمون الميثيل جاسمونيك عند بلوغها عمر 85 يوماً.

- **المحتوى من الفينولات الكلية:**

تم تقدير عديدات الفينول الكلية باستعمال طريقة Folin-Ciocalteu (Li *et al*., 2007)، حيث تعتمد هذه الطريقة على إرجاع مكونات كاشف بواسطة المجاميع الهيدروكسلية الفينولية، مشكلة ناتجاً أزرقاً في وسطٍ قاعدي. حيث تم سحق 100 – 120 ملغ من أوراق البندورة الطازجة في 1.5 مل من الميثانول عالي النقاوة تركيزه 99.5%. ومن ثم وُضِع 0.5 مل من مستخلص العينة النباتية في أنبوب زجاجي سعة 10 مل، وأُضيف لها 0.4 – 0.5 مل من محلول كاشف فولين، رُجَّت الأنابيب وحُفِظت في درجة حرارة المخبر لمدة 5 دقائق، وبعد ذلك أضيف لكل أنبوب2.5 – 2.6 مل من محلول كبريتات الصوديوم (7.5 %)، وحُفظت في درجة حرارة المختبر لمدة ساعتين حتى تترسب الكبريتات. تم قياس الامتصاص الضوئي على طول موجة 750 نانومتر باستخدام جهاز Spectrophotometer ومن ثم تقدير محتوى عديدات الفينول في العينات (ميكرومول/غ وزن رطب) بالاعتماد على منحني قياسي باستعمال حمض الغاليك (16–20 ملغ/مل).

- **تقدير تركيز إنزيم البيروكسيداز في أنسجة نباتات البندورة:**

استخلص إنزيم البيروكسيداز وفق طريقة Altunkaya وGokmen(2011) بطحن 1 غ من أوراق العينات المحفوظة عند درجة حرارة -20 س° باستخدام 10 مل من محلول فوسفات الصوديوم (pH=7, 0.1M)، وثُقِّلت العينات المطحونة بسرعة (5000) دورة/دقيقة لمدة 10 دقائق عند 4 س°، أخذ المستخلص الناتج عن التثفيل الحاوي على مكونات العصير الخلوي بما فيها إنزيم البيروكسيداز. لقياس تركيز إنزيم البيروكسيداز أضيف إلى 2.8 مل من محلول فوسفات الصوديوم، 48 ميكروليتر من محلول غواياكول (وهو مركب فينولي) و0.1 مل من المستخلص الإنزيمي المحضر سابقاً ثم مقدار 0.1 مل من بيروكسيد الهيدروجين Hydrogen Peroxide (H_2O_2) (12.5 mM) قبل التحضين مباشرة ، ولتحضير العينة الشاهد أخذت المقادير السابقة عدا المستخلص الإنزيمي، الذي استعيض عنه بإضافة محلول فوسفات الصوديوم (0.1 M) pH=7. حضّنت العينات مدة 5 دقائق عند درجة حرارة 25 س°، وقدّر تركيز إنزيم البيروكسيداز في العينات النباتية باستخدام الطريقة اللونية بإضافة 3 مل من مزيج التفاعل المحضر سابقاً في خلية المطياف الضوئي Spectrophotometer عند طول الموجة 570 نانومتر، أخذت 4 قراءات بمعدل قراءة كل دقيقة، وتم تقدير نشاط إنزيم البيروكسيداز بعدد ميكرومولات H_2O_2 التي تتفكك بوساطة 100 مغ من النسيج النباتي الداخل في تشكيل المستخلص الإنزيمي في الدقيقة الواحدة عند حرارة° 25 س. وحُسب نشاط إنزيم البيروكسيداز كما اعتمد من قبل قواس وآخرون (2017) وفق معادلة الشركة المصنعة للمادة القياسية للإنزيم كمايلي:

نشاط إنزيم البيروكسيداز = B × معامل تخفيف العينة/ زمن التفاعل × حجم العينة المضافة إلى حجرة القياس

حيث: B هي كمية الماء الأكسجيني المنخفضة بين الزمن الاولي والزمن النهائي مقدرة بـ نانومول.

حجم العينة المضافة إلى حجرة القياس مقدرة بـ مل.

زمن التفاعل مقدر بـ دقيقة بلغ في تجربتنا 4 دقيقة.

وحسب معدل الزيادة في نشاط إنزيم البيروكسيداز بفعل عامل التأثير وفق المعادلة التالية

% الزيادة في النشاط الإنزيمي= (النشاط في المعاملة – النشاط في الشاهد) / النشاط في الشاهد × 100

- **تقدير تركيز هرمون ميثيل جاسمونيك MeJa في أنسجة نبات البندورة:**

تم استخلاص هرمون ميثيل جاسمونيك MeJAبطريقة ثنائي كلوريد الميثان حسب Liu وآخرون (2010)، حيث سُحِق 500مغ من عينة الأوراق الطازجة لكل معاملة بـ 5 مل من سائل الاستخلاص (1 أسيتون:1 ميثانول) وتركت العينات المطحونة خلال الليل على درجة حرارة 4 س°، ثم عرّضت للطرد المركزي بسرعة دوران 4800 دورة/دقيقة لمدة 10 دقائق وبدرجة حرارة 4 س°، جُمِع بعد ذلك الوسط السائل العلوي في أنابيب 2Eppendorf مل. أعيد استخلاص الراسب باستخدام 200 ميكرولتر من سائل الاستخلاص، ثم جمع السائل من جديد واستبعد الراسب وجفف المستخلص هوائياً بتركه خلال الليل عند درجة حرارة 4س°، ثم أذيبت المواد المتبقية بعد التجفيف بـ 1 مل من محلول فوسفات الصوديوم 0.1M (pH= 7.8) . أعيد استخلاص هذا الوسط الجديد مرتين باستخدام ثنائي كلوريد الميثان بالطرد المركزي، حيث فصل الوسط المائي عن الوسط العضوي في المرتين، وجمع كل وسط على حدى في أنبوب لوحده، وعدّل pH المستخلص المائي إلى 2 بإضافة حمض كلور الماء HCl (6 مولار)،ثم أعيد استخلاص الوسط المائي مرتين بواسطة الهكسان ومرتين بواسطة ثنائي كلوريد الميثان، حيث تعادل كمية المذيب العضوي المضاف بالاستخلاص في كل مرة كمية الوسط المستخلص الذي تتم عملية الاستخلاص منه، ثم حقن من العينة مقدار 20ميكروليتر في جهاز الكروموتوغرافيا السائلة عالية الأداء High-performance liquid chromatography (HPLC). تم حقن 20ميكرولتر من المادة القياسية وهي ميثيل جاسمونيك عيار 95% في جهاز HPLC وذلك قبل حقن المستخلص النباتي الحاوي على هرمون ميثيل الجاسمونيك، للتعرف على زمن ومساحة القمة التي تشير إلى وجود هرمون ميثيل الجاسمونيك في العينات المدروسة. قيس تركيز هرمون ميثيل جاسمونيك في العينة وفق طريقة Kramell وآخرون (1997) باستخدام جهاز HPLC، ضمن الشروط التالية: عمود الفصل سيلكاC18، بمواصفات (4.6×mm, 5 µm250)، درجة حرارة 35 س°، الطور المتحرك Mobile phase (ماء: أسيتونتريل) (60:40)، pH = 2.6 للوسط المذيب بإضافة حمض الخل الثلجي، معدل التدفق 0.5 مل/1 دقيقة، الكشف بوساطة الأشعة فوق البنفسجية عند طول موجة 195 نانومتر عند زمن امتصاص 15.50دقيقية. وبالتالي تم حساب تركيز (C) هرمون ميثيل الجاسمونيك وفقاً للمعادلة التالية حسب Kimura وآخرون (2002).

$$C = \frac{RF.Vext.Area}{Vinj.Ws}$$

حيث C (Concentration): تركيز هرمون ميثيل الجاسمونيك ويقدر بـ ng/g (نانوغرام من هرمون ميثيل الجاسمونيك في 1 غ من النسيج النباتي).

RF (Retention Factor): يملك قيمة ثابتة تتعلق بالمادة القياسية وهي ميثيل جاسمونيك عيار 95%، ويحسب بالمعادلة التالية:

$$RF = \frac{Vinj.Co}{AreaSt}$$

Vinj: حجم المادة القياسية المحقونة في جهازHPLCوتعادل20ميكرولتر.

Co: تركيز المادة القياسية (Methyl jasmonate) والذي يبلغ (44.8 mg/µl).

AreaSt:مساحة المنحني بالمادة القياسية والذي بلغ 17272.5

Vext: حجم الخلاصة للعينة بعد عملية الاستخلاص والذي بلغ 250ميكرولتر.

Ws: وزن العينة الأولية التي استخلص منها المركب، وحسبت قيمة RF وبلغت 246×10^{-8}.

Area: مساحة المنحني للعينة.

- **حساب نسبة وشدة الإصابة:**

حسبت النسبة المئوية للإصابة بالمرض عندما أصبحت النباتات بعمر 90 يوماً بالاعتماد على المعادلة التالية:

نسبة الإصابة% = (عدد النباتات المصابة في المعاملة / عدد النباتات الكلية في المعاملة) × 100

وحسبت شدة الإصابة بالاعتماد على سلم شدة المرض البصري المدرج من 0 إلى 4 حسب (محمود وآخرون، 2024):

0: لا توجد إصابة (جذور سليمة بيضاء اللون)

1: بقع بنية صغيرة فاتحة اللون على الجذر الرئيسي والجذور الثانوية، غير مترافقة بأعراض واضحة على النبات.

2: البقع على الجذور الرئيسية ومنطقة التاج بنية غامقة وأكثر امتداداً مع تحلل الجذور الجانبية الليفية، يرافق ذلك ظهور اصفرار وشحوب خفيف على النبات.

3: تعفن بني غامق جزئي للحاء التاجي والخشب الداخلي وظهور جذور تعويضية حديثة غير مصابة فوق منطقة التاج، توقف نمو النبات واصفرار عام، تساقط الأزهار وصغر حجم الثمار.

4: تحلل كامل الجذور وموت النبات.

باستخدام المعادلة التالية (Mckinney, 1923):

$$\text{شدة الإصابة (\%)} = \frac{\text{مجموع(عدد النباتات في كل درجة×قيمة الدرجة)}}{\text{مجموع النباتات×أعلى قيمة في سلم الإصابة}} \times 100$$

- **التحليل الإحصائي:**

أجري تحليل تباين تأثير المعاملات على البيانات المقاسة باستخدام إجراء النموذج الخطي العام لبرنامج SPSS الإصدار 20.0. حللت التجارب باستخدام تحليل التباين القياسي ANOVA وحسبت الفروق المعنوية بين المعاملات باستخدام اختبار دانكان عند مستوى المعنوية 5%

النتائج والمناقشة:

1. التأثير في نسبة وشدة الإصابة:

يظهر الجدول 1 إصابة نباتات الشاهد بنسبة 100% في كلا الموسمين، وكانت شدة الإصابة 69.4 % في الموسم الأول و61.1 % في الموسم الثاني ليكون متوسط الموسمين 61.3 %، في حين لم يلاحظ أي إصابة للشاهد غير المعدي والمعاملة بحمض السالسيليك للنباتات غير المعداة، أما بالنسبة للنباتات المعداة المعاملة بحمض السالسيليك فكانت نسبة الإصابة لمتوسط الموسمين 61.1 % وانخفضت شدة الإصابة إلى 27.8%، أي بلغ انخفاض شدة الإصابة في النباتات المعداة المعاملة بحمض السالسيليك إلى 57.4% بالمقارنة مع الشاهد المعدي. أما النباتات المعداة المعاملة بالمبيد هايمكسازول فكان متوسط نسبة الإصابة للموسمين 72.2% ومتوسط شدة الإصابة 19.4% وبذلك حقق المبيد التأثير الأهم في خفض شدة الإصابة إذ وصلت إلى 70.3% بالمقارنة مع الشاهد المعدي. نلاحظ من هذه النتائج ومقارنة المعاملة بحمض السالسيليك أو المبيد هايمكسازول أن تأثيرهما في نسبة الإصابة

كان ضعيف أو تراوح بين 38.9 و27.8% على التوالي بالمقارنة مع الشاهد المعدي، لكن التأثير في شدة الإصابة كان أكبر ووصل انخفاض شدة الإصابة لنسبة 57.4% و70.3% بالمقارنة مع الشاهد المعدي. وعند إجراء التحليل الإحصائي يتبين وجود فروق معنوية في نسبة وشدة الإصابة بين النباتات المعدية والنباتات غير المعدية بالفطر الممرض، كما يلاحظ وجود فروق معنوية بين النباتات المعدية غير المعاملة وتلك المعدية المعاملة بالمبيد أو حمض السالسيليك دون وجود فروق معنوية في نسبة وشدة الإصابة بين النباتات المعدية المعاملة بالمبيد وتلك المعدية المعاملة بحمض السالسيليك، مما يشير إلى التقارب في التأثير بين المبيد وحمض السالسيليك وفعاليتهما في تخفيض نسبة وشدة الإصابة مقارنة مع الشاهد المعدي.

الجدول (1): يوضح تأثير المعاملات المختلفة في نسبة وشدة الإصابة

المعاملة	الموسم الأول		الموسم الثاني		المتوسط خلال الموسمين	
	الإصابة %	شدة الإصابة%	الإصابة%	شدة الإصابة%	الإصابة%	شدة الإصابة%
الشاهد السليم	0 c	0 c	0 c	0 c	0	0
الشاهد المعدي	100 a	69.4 a	100 a	61.1 a	100	65.3
حمض السالسيلك دون عدوى	0 c	0 c	0 c	0 c	0	0
حمض السالسيلك مع عدوى	66.7 b	30.5 b	55.6 b	25 b	61.1	27.8
المبيد مع العدوى	77.8 b	19.4 b	66.7 b	19.4 bc	72.2	19.4
LSD	15.6	16.6	31.3	23.1		

ملاحظة: تدل الأحرف المختلفة في الجدول على الفروق المعنوية بين المعاملات بالاعتماد على اختبار L.S.D عند مستوى معنوية0.05

2. المحتوى من الفينولات الكلية ونشاط إنزيم البيروكسيداز في نباتات البندورة:

بعد تحليل المحتوى الفينولي الكلي في نباتات التجربة تبين عدم وجود فروق معنوية بين معاملتي الشاهد السليم والشاهد المعدي والشاهد المعامل بحمض السالسيليك دون عدوى حيث تراوحت قيم تركيز الفينولات الكلية في كلا الموسمين بين 15.65، 13.9، 13.45 ميكرومول /غ وزن رطب على التوالي. في حين أبدت النباتات المعداة بالفطر المعاملة بالمبيد والنباتات المعداة المعاملة بحمض السالسيليك تفوقاً معنوياً على باقي المعاملات، بقيمة متوسطة للموسمين وصلت إلى 17.45 و16.45 ميكرومول/غ على التوالي. مما يشير إلى الدور الذي يلعبه كل من المبيد وحمض السالسيليك في تحفيز المقاومة لدى النباتات، ويتوافق ارتفاع المحتوى الفينولي الكلي لدى النباتات المعداة المعاملة بحمض السالسيليك مع ما توصل إليه (Jendoubi *et al.*, 2015). ترافق ارتفاع المحتوى الفينولي لدى النباتات المعداة المعاملة بالمبيد بانخفاض نسبة الإصابة إلى 72.2 % وشدة الإصابة إلى 19.4% مقارنة مع الشاهد المعدي الذي بلغت نسبة وشدة الإصابة لديه 100، 65.3% على التتالي، في حين انخفضت نسبة وشدة الإصابة في النباتات المعداة المعاملة بحمض السالسيليك إلى61.1، 27.8 % على التوالي. يظهر الجدول 2 نشاط إنزيم البيروكسيداز في المعاملات المختلفة ونلاحظ تفوق المعاملة بحمض السالسيليك للنباتات المعداة على باقي المعاملات حيث بلغ نشاط الإنزيم قيمة متوسطة قدرها 238.83 × 10^{-5}ميكرومول/ ملغ ، تلتها النباتات المعداة المعاملة بالمبيد حيث بلغت 214.25× 10^{-5}ميكرومول/ ملغ ، بالمقارنة مع 151.3 للشاهد المعدي، 136.35 للشاهد السليم، و 90.23 للشاهد غير المعدي المعامل بحمض السالسيليك، وبذلك نلاحظ ارتفاع نشاط إنزيم البيروكسيداز في معاملة النباتات المعداة المعاملة بحمض السالسيليك أو المبيد بنسبة وصلت إلى

57.8 % و 41.6 % وقد ترافق هذا النشاط مع انخفاض نسبة وشدة الإصابة في نباتات هاتين المعاملتين مقارنة مع الشاهد المعدي، ويؤكد هذا النشاط الإنزيمي استحثاث المقاومة لدى النباتات المعداة بفعل حمض السالسيليك والمبيد. تتوافق هذه النتائج مع نتائج تحليل المحتوى الفينولي الكلي، ويظهر الارتباط القوي بين المحتوى الفينولي ونشاط إنزيم البيروكسيداز في الجدول 4

الجدول (2): نتائج تحليل محتوى الأوراق من الفينولات الكلية (ميكرومول/غ وزن رطب)، ونشاط إنزيم البيروكسيداز (× 10^{-5}ميكرومول/ ملغ) في نباتات البندورةبتأثير المعاملات المختلفة بعد 15 يوم من العدوى.

المعاملة	الموسم الأول		الموسم الثاني		متوسط الموسمين	
	المحتوى الفينولي الكلي	نشاط إنزيم البيروكسيداز	المحتوى الفينولي الكلي	نشاط إنزيم البيروكسيداز	المحتوى الفينولي الكلي	نشاط إنزيم البيروكسيداز
الشاهدC	15.8 bc	144.355 c	15.5 a	128.425 d	15.65	136.39
شاهد معديF	14.9 c	155.75 c	12.9 b	146.85 c	13.9	151.3
حمض السالسيليك S دون عدوى	14.4 c	95.486 d	12.5 b	84.975 e	13.45	90.23
حمض السالسيليك SF مع عدوى	17.0 b	240.34 a	15.9 a	237.325 a	16.45	238.83
المبيد مع عدوىHF	18.8 a	217.84 b	16.1 a	210.65 b	17.45	214.25
LSD	2.7	18.18	3.04	18.18		

ملاحظة: تدل الأحرف المختلفة في الجدول على الفروق المعنوية بين المعاملات بالاعتماد على اختبار L.S.D عند مستوى معنوية0.05

3. تركيز نشاط هرمون ميثيل الجاسمونيك:

يظهر الجدول 3 تركيز هرمون ميثيل الجاسمونيك في كلا الموسمين وكانت نتائج التحليل في الموسم الثاني أقل مما كانت عليه في الموسم الأول، وعند مقارنة القيمة المتوسطة لكلا الموسمين كان التركيز الأعلى للهرمون في النباتات المعداة المعاملة بحمض السالسيليك إذ بلغت 8165.3 نانو غرام/غرام نبات تلتها النباتات المعداة المعاملة بالمبيد 3280.5 نانوغرام/غ نبات بالمقارنة مع تركيز الهرمون في نباتات الشاهد المعداة والتي لم تتجاوز 18.25 نانوغرام/غ وهذه الزيادة في النباتات المعداة المعاملة بحمض السالسيليك أو المبيد تعادل 350 و 171 مرة على التوالي بالمقارنة مع الشاهد المعدي، أما بالنسبة للشاهد غير المعدي أو الشاهد غير المعدي المعامل بحمض السالسيليك فكان تركيز الهرمون ضعيفاً ولم يتجاوز 132.6 و 7.35 نانوغرام/غ على التوالي. وهذا ما يفسر الانخفاض في نسبة وشدة الإصابة في النباتات المعداة بحمض السالسيليك أو المبيد حيث لعب كلاهما دوراً في تحفيز المقاومة لدى النباتات المعداة من خلال تنشيط تخليق هرمون ميثيل الجاسمونيك.

يبين (الجدول 4) الارتباط بين تراكيز الفينولات الكلية مع هرمون ميثيل الجاسمونيك وإنزيم البيروكسيداز في نباتات البندورة بتأثير المعاملات المختلفة خلال الموسمين، حيث تشير النتائج إلى الارتباط المعنوي القوي بتناسب طردي بين المحتوى الفينولي الكلي ونشاط إنزيم البيروكسيداز، وهذا يتوافق مع ما توصلت إليه (Jendoubi *et al.*, 2015) وعدم وجود ارتباط مع تركيز هرمون ميثيل الجاسمونيك.

الجدول (3): محتوى الأوراق من هرمون ميثيل الجاسمونيك (نانوغرام / غ نبات) في نباتات بعد 40 يوم من العدوى.

المعاملة	العام الأول	العام الثاني	متوسط التراكيز في كلا الموسمين
	هرمون ميثيل الجاسمونيك	هرمون ميثيل الجاسمونيك	
الشاهد	159.2 c	106.1 c	132.6 c
شاهد معدي	21.9 d	14.6 d	18.25 c
حمض السالسيليك دون عدوى	8.8 d	5.9 d	7.35 c
حمض السالسيليك مع عدوى	8046.5 a	8284.1 a	8165.3 a
المبيد مع عدوى	3936.6 b	2624.4 b	3280.5 b
LSD	14.13	14.13	519.67

ملاحظة: تدل الأحرف المختلفة في الجدول على الفروق المعنوية بين المعاملات بالاعتماد على اختبار L.S.D عند مستوى معنوية 0.05

الجدول (4): يوضح الارتباط بين تراكيز الفينولات الكلية مع هرمون ميثيل الجاسمونيك وإنزيم البيروكسيداز.

المؤشر المدروس		إنزيم البيروكسيداز	هرمون ميثيل الجاسمونيك	الفينولات الكلية
إنزيم البيروكسيداز	Pearson Correlation	1	-.139-	.843**
	Sig. (2-tailed)		.274	.000
	N	64	64	64
هرمون ميثيل الجاسمونيك	Pearson Correlation	-.139-	1	-.153-
	Sig. (2-tailed)	.274		.226
	N	64	64	64
الفينولات الكلية	Pearson Correlation	.843**	-.153-	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.226	
	N	64	64	64

الاستنتاجات:

1) أبدى حمض السالسيليك فعالية أكبر من المبيد في خفض نسبة الإصابة في حين كان المبيد أكثر فعالية في خفض شدة الإصابة لدى النباتات المعداة مقارنة مع الشاهد المعدي.
2) تفوقت المعاملة بحمض السالسيليك للنباتات المعداة بالفطر على باقي المعاملات في تنشيط إنزيم البيروكسيداز ورفع المحتوى الفينولي الكلي، وزيادة تركيز هرمون ميثيل الجاسمونيك.
3) أظهر المبيد هايمكسازول تأثيراً محفزاً من خلال رفع تركيز حمض ميثيل الجاسمونيك وتنشيط إنزيم البيروكسيداز ورفع المحتوى الفينولي الكلي.

المراجع:

حيدر، عفراء؛ لوسي ميشي، نادين علي، محمد عماد خريبة، عصام علاف ومحمد زكريا طويل، 2023. التسجيل الأول للفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicislycopersici* في المنطقة الساحلية من سورية. مجلة وقاية النبات العربية 41 (4): 348-352. https://doi.org/10.22268/AJPP-41.4.348352.

قواس، حنان، أحمد أحمد، عمر حمودي وعماد إسماعيل، 2017. تاثير سلالات من البكتريا المحسنة لنمو النبات في نشاط إنزيم البيروكسيداز ونمو نباتات البندورة / الطماطم في ظروف الزراعة المحمية. مجلة وقاية النبات العربية، 35 (2): 58 – 66.

محمود، نغم، محمد أبو شعر وقصي الرحية. 2024. دور الكمبوست في المكافحة الأحيائية لمرض عفن تاج وجذور البندورة/الطماطم المتسبب عن الفطر Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici تحت ظروف الزراعة المحمية. مجلة وقاية النبات العربية، 42 (4): 526 – 533. https://doi.org/10.22268/AJPP-001276

Altunkaya, A. and Gokmen, V. 2011. *Purification and characterization of polyphenol oxidase, peroxidase and lipoxygenase from freshly cut Lettuce (L. sativa).*Biotechnol. **49**: 249 –256.

Can C, Yu¨ cel S, Korolev N, Katan T., 2004. First Report Of Fusarium Crown And Root Rot Of Tomato Caused By Fusarium Oxysporum F. Sp. RadicisLycopersici In Turkey. Plant Pathol; 53:814.

Jendoubi, W., K. Harbaoui, W. Hamada. 2015. Salicylic acid-induced resistance against *Fusariumoxysporum* f. sp.*radicislycopercisi*in hydroponic grown tomato plants. Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, 21(5), 985-995.

Katan T, and Katan J. 1999. Vegetative compatibility grouping in Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici from the UK, the Netherlands, Belgium and France. Plant Pathol;48:541–9.

Kimura, M.; Delia, B. and Amaya, R. 2002. *A Scheme For Obtaining Standards And HPLC Quantification Of Leafy Vegetable Carotenoids.* Food Chemistry. **3**: 389-398.

Kramell, R.; Schneider, G. and Miersch, O. 1997. *Chiral Separation Of Amide Conjugates Of Jasmonic Acid By Liquid*

Li, H.B., Cheng, K.W., Wong, C.C., Fan, K.W., Chen, F.D., Jiang, Y.S., 2007. Evaluation Of Antioxidant Capacity And Total Phenolic Content Of Different Fractions Of Selected Microalgae. Food Chemistry 102: 771-776

Liu, X.; Yang, Y.; Lin, W.h.; Tong, J.; Huang, Z. and Xiao, L. 2010. *Determination Of Both Jasmonic Acid And Methyl Jasmonate In Plant Samples By Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry.* Chinese Science Bulletin. **55**: 2231-2235.

Mandal, S., N. Mallick and A. Mitra.2009. Salicylic Acid-Induced Resistance To *Fusarium Oxysporum*F. Sp. *Lycopersici*In Tomato. Plant Physiology and Biochemistry, 47: 642-649.https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.03.001

Mckinney, H.H. 1923. *Influence of soil, temperature and moisture on infection of wheat seedlings by Helminthosporium sativum.* Journal of Agricultural Research, Washington. **26**: 195-217.

Radhajeyalakshmi, R., R. Velazhahan, R. Samiyappan and S. Doraiswamy. 2009. Systemic Induction Of Pathogenesis Related Proteins (Prs) In *Alternaria Solani* Elicitor Sensitized Tomato Cells As Resistance Response. Scientific Research and Essays, 4: 685-689.

Yang, Y.;Wang, Y.; Gao, J.; and Liu, Y.2024.Characterisation of Fusarium Oxysporum f. sp. Radicis-Lycopersici in Infected Tomatoes in Inner Mongolia, China. J. Fungi,10, 622. https://doi.org/10.3390/jof10090622.

Zhang, S, P.D. Roberts, R.J. McGovern, and L.E. Datnoff. 2011.Fusarium Crown and Root Rot of Tomato in Florida. Pp. 52. https://edis.ifas.ufl.edu/pg

Study of the effect of salicylic acid and the pesticide Hymexazole on inducing tomato plants resistance Against the Fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. radicislycopersici (FORL)

Afraa Mutie Haidar[1], Mohammad Zakaria Tawil[1] and Essam Allaf[1]

[1] Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria.

(Corresponding author Afraa Mutie Haidar, Email: Afraaafraa485@gmail.com)

Received: 19/ 12/ 2025 **Accepted:** 4/ 3/ 2026

Abstract

A semi-field experiment was conducted over two consecutive tomato growing seasons in 2024-2025 to study the effect of salicylic acid and the fungicide hymexazole on inducing resistance in the hybrid tomato variety *Pistona* against the fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. radicislycopersici, which causes root and crown rot. Both compounds showed effectiveness in reducing the percentage and severity of infection to 61.1% and 27.8% respectively in infected plants treated with salicylic acid, while the percentage and severity of infection reached 72.2% and 19.4% respectively in infected plants treated with the pesticide, compared to the infected control, which had a percentage and severity of infection of 100% and 65.3% respectively.The stimulatory effect of both the pesticide and salicylic acid on tomato plants was demonstrated by increasing the concentration of methyl jasmonic hormone to more than 170 times and more than 350 times, respectively, compared to the infected control. Treatment of the infected plants with the pesticide and salicylic acid also resulted in the activation of the peroxidase enzyme to (214.2, 238.8) × 10^{-5} µmol/mg, respectively in contrast to the infected control, which had an activity of 151.3 × 10^{-5} µmol/mg, the total phenolic content increased to 17.5 and 16.5 µmol/g wet weight in infected plants treated with the pesticide or salicylic acid, respectively, compared to the infectious control, which had a total phenolic content of 13.9 µmol/g wet weight.

Keywords: *Fusarium oxysporum* f. sp. radicislycopersici (FORL), root and crown rot disease, resistance inducer, salicylic acid, fungicide hymexazole.