دور حمض الساليسيليك في تحفيز المقاومة الجهازية المكتسبة في نبات البندورة/الطماطم ضد العدوى بفيروس موزاييك الخيار

وسام طحان[1*]، نصر شيخ سليمان[1]، سليم راعي[2] وحسان أحمد[3]

(1) قسم البساتين، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سورية؛ (2) قسم وقاية النبات، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سورية؛ (3) مديرية زراعة طرطوس، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، سورية.

[*]البريد الإلكتروني للباحث المراسل: wissamou.ali1993@gmail.com

الملخص

طحان، وسام، نصر شيخ سليمان، سليم راعي وحسان أحمد. 2026. دور حمض الساليسيليك في تحفيز المقاومة الجهازية المكتسبة في نبات البندورة/الطماطم ضد العدوى بفيروس موزاييك الخيار. مجلة وقاية النبات العربية، 44(1):80–88. https://doi.org/10.22268/AJPP-001363

دُرس تأثير حمض الساليسيليك (SA) في تحريض المقاومة الجهازية المكتسبة (SAR) في نبات البندورة/الطماطم ضد العدوى بفيروس موزاييك الخيار (CMV)، حيث تمت معاملة نباتات التجربة بتركيزين: 1 و 2 ملي مول من حمض الساليسيليك، بطريقتي الرش والريّ قبل ثلاثة أيام من العدوى الميكانيكية بالفيروس وذلك في خريف 2022 في محافظة طرطوس، سورية. قُيّم حدوث المقاومة الجهازية المكتسبة من خلال تحديد موعد ظهور أعراض الإصابة، الشدة المرضية، تركيز حمض الساليسيليك الحرّ، ونشاط إنزيم البيروكسيداز في نباتات التجربة. أظهرت النتائج أن المعاملة بحمض الساليسيليك أخّرت موعد ظهور أعراض العدوى الفيروسية حتى 21 يوماً بالمقارنة مع 12 يوم للشاهد، وخفّضت شدة الإصابة إلى 38.3% في معاملة الرشّ بتركيز 2 ملي مول بالمقارنة مع الشاهد 81.6%، وكانت هي المعاملة الأفضل مقارنة مع بقية المعاملات. ارتفعت قيمة حمض الساليسيليك الحر إلى 124.5 ميكروغرام/غ مقارنة مع الشاهد السليم (21.54 ميكروغرام/غ) والمعدى غير المعامل بحمض الساليسيليك (13.73 ميكروغرام/غ)، وكذلك ارتفع تركيز إنزيم البيروكسيداز إلى 0.209 ميكرومول/مغ مقارنة مع الشاهد السليم (0.112 ميكرومول/مغ) والمعدى وغير المعامل بحمض الساليسيليك (0.044 ميكرومول/مغ). إن الزيادة في محتوى حمض الساليسيليك الحر ونشاط إنزيم البيروكسيداز وتأخير موعد ظهور أعراض العدوى الميكانيكية وانخفاض شدة الإصابة تعدّ مؤشرات حيوية وكيميائية على تحريض المقاومة الجهازية المكتسبة نتيجة المعاملة بحمض الساليسيليك.

كلمات مفتاحية: حمض الساليسيليك، المقاومة الجهازية المكتسبة، فيروس موزاييك الخيار، نبات البندورة/الطماطم.

المقدمة

يتبع نبات البندورة/الطماطم (*Solanum lycopersicum* Mill.) للفصيلة الباذنجانية (Solanaceae)، ويعدّ من أهم الخضار الصيفية واسعة الانتشار في العالم نظراً لأهميته الاقتصادية، كما أنه من أكثر الخضراوات استهلاكاً في جميع أنحاء العالم (Del Giudice *et al.*, 2017). وتعدّ البندورة/الطماطم عنصراً أساسياً من عناصر النظام الغذائي في منطقة البحر المتوسط والأنظمة الغذائية التقليدية الأخرى، هذا فضلاً عن فوائدها الطبية وقيمتها الغذائية حيث تتميز باحتوائها على نسبة عالية من مضادات الأكسدة والفيتامينات (E، C، B وكاروتين) والأحماض العضوية والعناصر الغذائية كالبوتاسيوم (Rigano *et al.*, 2016؛ Ruggieri *et al.*, 2019).

تصاب محاصيل العائلة الباذنجانية وخاصة البندورة/الطماطم بالعديد من الأمراض ومنها الأمراض الفيروسية، التي تسبب خسائر اقتصادية كبيرة مع توفر الظروف البيئية الملائمة لانتشارها، لذلك كانت الوقاية من الأمراض الفيروسية هدفاً رئيسياً للعاملين في مجال أمراض النبات (الحمادي وآخرون، 2008). كما ظهر اتجاه حديث في مجال المكافحة وهو تحريض المقاومة الجهازية عند النبات لإنتاج آليات دفاع طبيعية ضدّ الممرضات (Ryals *et al.*, 1992).

يعدّ فيروس موزاييك الخيار (Cucumber mosaic virus, CMV) من الأمراض الفيروسية المهمة التي تصيب البندورة/الطماطم، وينتمي هذا الفيروس للجنس Cucumovirus، فصيلة Bromoviridae، وينتشر في الطبيعة بصورة سلالات عديدة تختلف فيما بينها من حيث العوائل وأعراض الإصابة وطرائق الانتقال (Agrios, 2005). يعدّ فيروس CMV عالمي الإنتشار وخاصة في المناطق المعتدلة، حيث يصيب أكثر من

https://doi.org/10.22268/AJPP-001363
© 2026 الجمعية العربية لوقاية النبات Arab Society for Plant Protection

1000 نوعٍ نباتي تتبع لـ 100 فصيلة (Edwardson & Christie, 1991). تختلف أعراض الإصابة بـ CMV حسب العائل النباتي، السلالة الفيروسية والظروف البيئية المحيطة، وتتمثل في البندورة/الطماطم بتقزم النمو الخضري، وتشوه وتلطخ النموات الحديثة (Sudhakar *et al.*, 2007)، التواء والتفاف الأوراق نحو الأسفل، وأحياناً يضيق نصل الورقة، وتأخذ شكل رباط الحذاء في الظروف الباردة نتيجة إعاقة نمو نصل الورقة حول العرق الوسطي. وبالنسبة للثمار فإنها لا تنضج قي النباتات المصابة بشكل جيد وتكون قليلة العدد وصغيرة الحجم، كما تكون مشوهة ومغطاة بنتوءات بارزة، أو تظهر عليها مساحات متماوتة بلون بني في الداخل (Gallitella, 2000).

تعرف المقاومة الجهازية المكتسبة بأنها نظام مُستَحِثٌّ لمقاومة أجزاء النبات المختلفة لممرضٍ ما بأن تمنع انتشاره وتحصره في مساحة صغيرة حول منطقة الإصابة الأولية، وتكمن الخصائص الحيوية لهذه المقاومة بأنها تنتشر جهازياً في أجزاء النبات غير المعاملة وتستمر لعدة أسابيع أو حتى عدة شهور (Kuc & Richmond , 1977)، ويلعب حمض الساليسيليك دوراً أساسياً في نقل الإشارة الجهازية، وهو المفتاح في تحريض المقاومة الجهازية (Gorlach *et al.*, 1996؛ Sticher *et al.*, 1997).

أشارت العديد من الدراسات إلى إمكانية تحفيز المقاومة في النبات وتخفيض أعراض المرض وإعاقة نمو المسبب المرضي (Ryals *et al.*, 1994)، باستخدام طرائق كيميائية أو حيوية، وأكد العاني وتوفيق (2011) أن معاملة النباتات بعوامل حيوية أو غير حيوية تحفز المقاومة الجهازية ضد المسببات المرضية. عُرِف حمض الساليسيليك بأنه من أهم المركبات الكيميائية الفينولية في النباتات (Einhellig, 1986)، ويعدّ هرموناً نباتياً يؤدي دوراً في تنظيم نمو وتطور النبات (Huang *et al.*, 2008)، وهو من المحرضات الكيماوية العضوية الطبيعية، وأول مركب نباتي مشتق أظهر مقدرة على تحريض المقاومة الجهازية المكتسبة، إذ يلعب دوراً أساسياً وحاسماً في تأسيس ردود فعل دفاعية جهازية وموضعية (Eberhardt & Wegmann, 1998؛ Shi & Zhu, 2008؛ Uknes *et al.*, 1992؛ Vazirimehr & Rigi, 2014).

أشار Horvath *et al.* (2003) إلى أن حمض الساليسيليك يلعب دوراً رئيسياً في مقاومة النبات إذ يعمل على تحفيز مورثات المقاومة في النبات ضد المسببات المرضية. وأظهرت نتائج دراسة Malamy *et al.* (1990) أن حمض الساليسيليك (SA) هو المنبه الجهازي الذي يحفز النبات فيؤدي لظهور المقاومة الجهازية المكتسبة، وتراكمSA في النبات وزيادة مستوياته الداخلية يؤدي إلى تحريض البروتينات المتعلقة بالقدرة الامراضية (Pathogen Related Proteins, PRP) جهازياً.

تأتي أهمية البحث من الأهمية الاقتصادية لمحصول البندورة/الطماطم في سوريا، وخطورة الأمراض الفيروسية التي تصيب هذا المحصول ولاسيما فيروس موزاييك الخيار، وقلة الدراسات حول تطبيقات المقاومة الجهازية المكتسبة في خفض الأضرار التي تسببها الفيروسات للمحاصيل الزراعية، وضرورة العمل على إيجاد وسائل وطرائق بديلة آمنة بيئياً وصحياً للحدّ من الخسائر التي تسببها فيروسات النبات، وأهمية المقاومة الجهازية المكتسبة كاتجاه واعد في إدارة الأمراض الفيروسية والتقليل من الخسائر الناتجة عنها. لذا هدف البحث إلى تقييم فاعلية حمض الساليسيليك في خفض الأضرار التي يسببها فيروس موزاييك الخيار، ودراسة سلوكية البندورة/الطماطم المحمية في مقاومة الفيروس عند معاملتها بحمض الساليسيليك بتراكيز مختلفة وبطريقتي الرش والري، من خلال تقدير مؤشرات المقاومة الجهازية المكتسبة والتي تتضمن تقدير تركيز حمض الساليسيليك الحر ونشاط إنزيم البيروكسيداز في أوراق نبات البندورة/الطماطم.

مواد البحث وطرائقه

المادة النباتية المستخدمة ومكان تنفيذ التجربة

استخدمت بذور هجين البندورة/الطماطم "دانا"، وهو هجين باكوري غير محدود النمو مناسب للزراعة الخريفية يتميز بإنتاجيته العالية وحساسيته للأمراض الفيروسية. نُفِّذَ البحث في قرية كرتو، محافظة طرطوس (30 كم جنوب مدينة طرطوس). أجريت التجربة ضمن بيت بلاستيكي ضمن عبوات فلينية سعتها 28 ليتر، وذلك في خريف 2022.

تحضير تربة الأصص وإنتاج الشتول

تم التعقيم الشمسي للتربة المستخدمة في الأصص، وبعدها تم خلط التربة المعقمة مع التورب المعقم بنسبة 2:1 (تربة معقمة: تورب)، ومن ثمّ إنتاج الشتول بزراعة بذور الهجين "دانا" في صواني فلينية من الستريبور تحوي على 200 فتحة بأبعاد 4×4×7 سم مملوءة بالتورب الزراعي المعقم بمعدل بذرة واحدة في كل فتحة. زرعت البذور على عمق 1 سم، وتمت خدمة الشتول إلى حين موعد نقلها إلى العبوات الفلينية بمعدل 3 نباتات في العبوة بتاريخ 2022/10/15.

تحضير اللقاح الفيروسي والعدوى الميكانيكية

استخدمت عزلة محلية من فيروس موزاييك الخيار معرفة مصلياً في المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا) في حلب، وحفظت على نبات التبغ في مختبر الأمراض البكتيرية والفيروسية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، سورية.

حُضِّرَ اللقاح الفيروسي بطحن أوراق حديثة من نباتات البندورة/الطماطم المعداة بالعزلة المحلية لفيروس موزاييك الخيار مع المحلول (بنسبة 1 غرام/5 مل محلول فوسفاتي منظم pH 7)، مع إضافة كربيد السليكون في جفنة بورسلان حتى الحصول على عصارة متجانسة.

أجريت العدوى الميكانيكية لنباتات التجربة بمعدل 2 مل من اللقاح الفيروسي لكل نبات (بعد ثلاثة أيام من المعاملة بمحاليل المواد المستخدمة)، بنثر بودرة كربيد السيليكون بشكل خفيف على كامل الأوراق الفلقية (Nontajak *et al*., 2014)، ومن ثمَّ مُسِحَت كامل الأوراق بقطعة قطن مبللة باللقاح الفيروسي باتجاه واحد وكُرِّرَ المسح ثلاث مرات لكل ورقة. غسلت الأوراق المعداة بالماء المقطر بعد خمس دقائق للتخلص من بقايا اللقاح الفيروسي المستخدم، وفي الوقت نفسه أعدي عدد من أوراق النبات الدال *Chenopodium album* L. من نفس اللقاح المستخدم في معاملات التجربة وذلك للتأكد حيوياً من نشاط الفيروس في اللقاح المستخدم.

تحضير محلول حمض الساليسيليك

تم تحضير محلول حمض الساليسيليك ($C_7H_6O_3$) انتاج Sigma-Aldrich، بإضافة 1.12 غ من حمض الساليسيليك النقي إلى 44 ليتر ماء مقطر لنحصل بذلك على محلول تركيزه 2 ملي مول، وتمّ أخذ ليترٍ واحد من المحلول السابق وأضيف له ليترٌ واحدٌ من الماء المقطر لنحصل على محلول حمض الساليسيليك بتركيز 1 ملي مول.

معاملات التجربة

تضمّنت التجربة معاملة النباتات بحمض الساليسيليك بالتراكيز 1 و 22 ملي مول وبطريقتي الرش والري، ومع العدوى بالفيروس وبدونها، بالإضافة إلى معاملتي الشاهد المعدى غير المعامل بحمض الساليسيليك والشاهد السليم غير المعامل بحمض الساليسيليك، وبلغ عدد المعاملات الكلي عشر معاملات، كرر كل منها ثلاث مرات واحتوى كل مكرر 6 نباتات، وبلغ عدد المكررات الكلي 30 مكرراً، وعدد النباتات الكلي 180 نباتاً.

تضمّنت التجربة 10 معاملات اختلفت بحسب حالة العدوى بفيروس موزاييك الخيار (CMV)، وتركيز حمض الساليسيليك (SA)، وطريقة الإضافة (رشّ ورقي مقابل إضافة مع ماء الري). كانت المعاملة رقم 1 هي الشاهد السليم حيث تُركت النباتات من دون تلقيح بالفيروس ومن دون أي معاملة بـSA. أمّا المعاملة رقم 2 فهي شاهد العدوى حيث تم عدوى النباتات بفيروس CMV فقط دون إضافة حمض الساليسيليك. بالنسبة لمعاملات الرشّ الورقي: تضمنت المعاملة رقم 3 رشّ النباتات بحمض الساليسيليك بتركيز 1 ملي مول دون تلقيح بالفيروس، بينما تضمنت المعاملة رقم 4 رشّ النباتات بحمض الساليسيليك بتركيز 2 ملي مول دون عدوى بالفيروس. وفي معاملات الرشّ مع العدوى الفيروسية، كانت المعاملة رقم 5 رشّ النباتات بحمض الساليسيليك بتركيز 1 ملي مول ثم العدوى بفيروس CMV، وكانت المعاملة رقم 6 رشّ النباتات بحمض الساليسيليك بتركيز 2 ملي مول ثم العدوى بفيروس CMV.

أمّا معاملات الإضافة مع ماء الري: تضمنت المعاملة رقم 7 إضافة حمض الساليسيليك بتركيز 1 ملي مول عبر الري دون تلقيح بالفيروس، وتضمنت المعاملة رقم 8 إضافة حمض الساليسيليك بتركيز 2 ملي مول عبر الري دون تلقيح بالفيروس. وأخيراً في معاملات الري مع العدوى الفيروسية، كانت المعاملة رقم 9 هي ريّ النباتات بحمض الساليسيليك بتركيز 1 ملي مول ثم العدوى بفيروسCMV، وكانت المعاملة رقم 10 هي ريّ النباتات بحمض الساليسيليك بتركيز 2 ملي مول ثم العدوى بفيروسCMV.

طريقة تنفيذ المعاملة

تمت المعاملة بطريقتي الرش والري عند وصول النبات إلى مرحلة 4–5 أوراق حقيقية؛ طريقة الرش، استُخدِم فيها مرش يدوي يعطي رذاذ دقيق حيث تمّ رش كلّ نبات ضمن المعاملة بمحاليل التراكيز المدروسة بمعدل 10 مل لكل نبات حتى مرحلة التقاطر، كلٌ على حدة. أما في طريقة الري، فتم فيها ري النباتات بأحد المحلولين بالتركيزين السابقين بمعدل 30 مل لكل نبات ضمن المعاملة كل على حدة (عتيق وآخرون، 2013).

القراءات والقياسات المأخوذة

المؤشرات المرضية

موعد تكشف الأعراض الظاهرية للفيروس– تم تسجيل عدد الأيام التي مضت بعد إجراء العدوى الميكانيكية بفيروس CMV لتحديد موعد بدء تكشّف ظهور أعراض الإصابة بفيروس CMV (شفافية العروق وبداية ظهور أعراض الموزاييك).

شدة الإصابة بفيروس موزاييك الخيار– حسبت شدة الإصابة بالفيروس بعد 30 يوماً من العدوى اعتماداً على معادلة Yang *et al.* (1996) والأعراض التي ظهرت في التجربة:

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

درجة الإصابة– قدرت درجة الإصابة لكل نبات باستعمال السلم التالي: 0= لا يوجد أعراض، 2= موزاييك خفيف على الأوراق، 4= موزاييك واضح على الأوراق، 6= موزاييك وتشوه أوراق، 8= تشوه شديد على الأوراق، 10= تشوه أوراق مع تقزم (Murphy *et al.*, 2003).

مؤشرات المقاومة الجهازية المكتسبة

تقدير تركيز حمض الساليسيليك الحرّ في أوراق نبات البندورة/الطماطم– قُدِّر تركيز حمض الساليسيليك في أنسجة النبات المعامل والشاهد السليم والمعدى وفقاً لطريقة Maria & Martinez-Merino (2007) بعد أسبوع من إجراء العدوى الميكانيكية، باستخدام الكلوروفورم، وبالتفاعل مع محلول كلور الحديدي 0.5% حيث يظهر اللون البنفسجي الدال على تركيز حمض الساليسيليك. وتمت قراءة تركيز حمض الساليسيليك (ppm) والامتصاصية بواسطة مقياس الطيف الضوئي (Spectrophotometer) عند طول موجة 540 نانومتر في المعهد العالي للبحوث البحرية.

تقدير نشاط إنزيم البيروكسيداز في أنسجة نبات البندورة/الطماطم– تم تقدير نشاط إنزيم البيروكسيداز بعد أسبوع من العدوى بفيروس موزاييك الخيار في البندورة، استخلص إنزيم البيروكسيداز وفقاً لطريقة Whitaker & Bernhard (1972)، وقدر نشاط إنزيم البيروكسيداز بعدد ميكرومولات الماء الأوكسجيني التي تتفكك بواسطة 100 مغ من النسيج النباتي الداخل في تشكيل المستخلص الإنزيمي في الدقيقة الواحدة عند 25°س (Behera *et al.*, 2012).

تصميم التجربة والتحليل الاحصائي

صُمِّمَت التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، وحُلِّلَت النتائج إحصائياً باستخدام برنامج Genstat-12، واختبار (no Bloking) One-way ANOVA، وتمت مقارنة الفروق بين المتوسطات عند أقل فرق معنوي عند مستوى احتمالية 5% واختبار دانكان.

النتائج والمناقشة

تأثير المعاملة بحمض الساليسيليك في موعد ظهور أعراض الإصابة والشدة المرضية في نبات البندورة/الطماطم

أشارت النتائج (جدول 1) بأن هناك تباين في موعد ظهور أعراض الإصابة الفيروسية بين المعاملات المدروسة، إذ تكشفت الأعراض على الأوراق الحديثة بعد 17 و 21 يوماً من العدوى الفيروسية في النباتات المعاملة بحمض الساليسيليك بطريقة الرش بالتركيزين 1 و 2 ملي مول، على التوالي، وبعد 15 و 17 يوماً من العدوى في النباتات المعاملة بحمض الساليسيليك بطريقة الري بالتركيزين 1 و 2 ملي مول، على التوالي، في حين كان موعد ظهور الأعراض بعد 12 يوماً من العدوى في نباتات الشاهد المعدى وغير المعامل بحمض الساليسيليك. وكانت معاملة طريقة الرش بتركيز 2 ملي مول هي الأكثر تأثيراً في تأخير موعد ظهور أعراض الإصابة الفيروسية مقارنة مع بقية المعاملات وبفروق معنوية واضحة. وفي السياق نفسه، كان تأثير حمض الساليسيليك في تأخير موعد ظهور أعراض الإصابة الفيروسية رشاً هو الأفضل مقارنةً بمعاملة الري بغض النظر عن نوع الفيروس ونوع النبات (خدام وآخرون، 2014؛ Mayers *et al.*, 2005؛ Murphy & Carr, 2002؛ Radwan *et al.*, 2007). بعد مضي 30 يوماً من العدوى بفيروس موزاييك الخيار والمراقبة شبه اليومية لجميع النباتات المدروسة، تبين أن شدة الإصابة في نباتات البندورة/الطماطم المعاملة بحمض الساليسيليك بطريقة الرش بتركيز 1 و 2 ملي مول بلغت 49.5 و 38.3%، على التوالي، مقارنة مع الشاهد المعدى (81.6%). وقد أشارت أبحاث سابقة (خدام وآخرون، 2014؛ Ahmad *et al.*, 2008؛ Masuta *et al*., 1999؛ Mayers *et al.*, 2005؛ Murphy & Carr, 2002؛ Radwan *et al.*, 2007) إلى فاعلية تأثير الرش بحمض الساليسيليك تركيز 1 و 2 ملي مول في خفض شدة الإصابة الفيروسية بغض النظر عن نوع الفيروس ونوع النبات.

توافقت هذه النتائج مع نتائج Ahmad *et al.* (2008) عند رشّ نباتات البطاطا/البطاطس بحمض الساليسيليك بالتركيزين 1 و 2 ملي مول خفّضت من شدة الإصابة بفيروس البطاطا/البطاطس واي (PVY) بعد 25–30 يوم من عملية الرش، كما أدت المعاملة إلى التقليل من تأثير العدوى بفيروس البطاطا/البطاطس واي على نمو وانتاج نباتات البطاطا/البطاطس تحت ظروف العدوى الميكانيكية.

أدت معاملة أوراق التبغ بحمض الساليسيليك إلى تحريض المقاومة الجهازية المكتسبة ضد فيروس موزاييك التبغ (*Tobacco mosaic virus*) وفيروس CMV وأخرت ظهور أعراض الإصابة وخفضت شدتها (Murphy & Carr, 2002). وأشار Mayers *et al.* (2005) إلى أن معاملة نبات الكوسا بحمض الساليسيليك قد أخّر من ظهور أعراض الإصابة بفيروس CMV وخفضَ من شدتها.

بيّن خدام وآخرون (2014) تأخّر ظهور أعراض الإصابة بفيروس البطاطا/البطاطس واي (PVY) بفرق معنوي عند معاملة نباتات التبغ (صنفي برلي وفرجينيا) بالتركيزين 0.5 و 0.75 ملي مول من حمض الساليسيليك، وحدوث انخفاض في الشدة المرضية للفيروس في الصنفين كليهما. وأوضح Radwan *et al.* (2007) أنّ معاملة نبات الكوسا بالتركيز 50 ميكرومول من حمض الساليسيليك أدت إلى تأخير ظهور أعراض الاصابة بفيروس الموزاييك الأصفر في الكوسا أربعة أيام عن موعد ظهورها في الشاهد المعدى، في حين أدت المعاملة بالتركيز 100 ميكرومول من حمض الساليسيليك إلى تأخيرها بما يزيد عن سبعة أيام. كما بين Masuta *et al.* (1999) أنّ معاملة نباتات التبغ بتراكيز مختلفة من حمض الساليسيليك أدى إلى تحريض مقاومة جهازية تمثلت بانخفاض شدة الإصابة بفيروس البطاطا/البطاطس واي في أجزاء النبات العلوية النبات.

جدول 1. تأثير المعاملة بحمض الساليسيليك في موعد ظهور أعراض الإصابة بعد الإعداء بفيروس CMV وفي الشدة المرضية.
Table 2. The effect of salicylic acid (SA) treatment on the duration symptoms appearance following CMV inoculation and on disease severity.

المعاملة		Treatment	طريقة التطبيق Application method	موعد ظهور الأعراض بعد العدوى (يوم) Symptoms appearance after inoculation (days)	الشدة المرضية بعد 30 يوم من العدوى (%) Disease severity 30 days after inoculation (%)
تراكيز حمض الساليسيليك SA concentration		1 mM + CMV	رش Spray	17 c	49.5 c
		2 mM + CMV		21 d	38.3 a
		1 mM + CMV	ري Irrigation	15 b	54.2 d
		2 mM + CMV		17 c	45.6 b
شاهد	Control	سليم Healthy		-	-
		معدى Inoculated		12 a	81.6 e
		$LSD_{0.05}$		1.81	3.63

mM = ملي مول، CMV= فيروس موزاييك الخيار، - = لا يوجد أعراض. القيم التي يتبعها حروف متشابهة في نفس العمود لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.

mM= milli mole, CMV= Cucumber mosaic virus, -= no symptoms. Values followed by the same letters in the same column are not significantly different at P=0.05.

تأثير المعاملة بحمض الساليسيليك في زيادة تركيز حمض الساليسيليك الحرّ وزيادة نشاط إنزيم البيروكسيداز في أوراق نباتات البندورة/الطماطم

يلعب أنزيم البيروكسيداز دوراً أساسياً في حياة النبات بمشاركته في مجموعة واسعة من العمليات الفيزيولوجية كالاستقلاب داخل جدر الخلايا ولجنتها والتئام الجروح كما يساعد في نمو ونضج ثمار الفاكهة وانبات البذور (Passardi *et al*., 2005). بيّن Quiroga *et al.* (2000) أن هناك ارتباطاً بين زيادة إنزيم البيروكسيداز، وزيادة تركيز اللجنين في جدر الخلايا في النبات. ويلعب إنزيم البيروكسيداز دوراً مهماً في تعزيز المقاومة ضدّ الممرضات عن طريق تعزيز الحواجز الفيزيائية لجدار الخلية (Vance *et al.*, 1980 ؛Fry, 1986).

أشارت نتائج هذه الدراسة (جدول 2) إلى زيادة محتوى أوراق نباتات البندورة/الطماطم من حمض الساليسيليك الحر وإنزيم البيروكسيداز في كافة المعاملات، وفي كل من طريقتي الري والرش بحمض الساليسيليك وبوجود أو غياب العدوى الفيروسية بالمقارنة مع الشاهد السليم والمعدى، كما وُجد أن معاملة الشاهد المعدى غير المعامل بحمض الساليسيليك تفوقت معنوياً على معاملة الشاهد السليم غير المعامل بحمض الساليسيليك، إذ بلغ محتوى حمض الساليسيليك الحر 21.54 و 13.73 ميكروغرام/غ وزن رطب، على التوالي، وبلغ تركيز إنزيم البيروكسيداز 0.112 و 0.044 ميكرومول/مغ، على التوالي، وقد يعود ذلك لتحفيز الفيروس على زيادة إنتاج حمض الساليسيليك داخل النبات كونه المسؤول عن تحفيز المقاومة الجهازية المكتسبة. نلاحظ من الجدول أن طريقة المعاملة بالرش تفوقت معنوياً في محتوى حمض الساليسيليك الحر ونشاط إنزيم البيروكسيداز على طريقة الري في كافة المعاملات المدروسة، وكان التركيز 2 ملي مول بطريقة الرش هو الأفضل، حيث بلغ محتوى حمض الساليسيليك الحر في الأوراق 124.5 و 112.8 ميكروغرام/غ رطب)، وبلغ نشاط إنزيم البيروكسيداز 0.209 و 0.172 ميكرومول/مغ، بوجود أو غياب العدوى الفيروسية، على التوالي.

أما في طريقة الري، أعطت المعاملة بالتركيز 2 ملي مول من حمض الساليسيليك أفضل النتائج وبفروق معنوية في زيادة محتوى حمض الساليسيليك الحر في أوراق نباتات البندورة بوجود أو غياب العدوى الفيروسية (118.6 و 99.4 ميكروغرام/غ رطب) ونشاط إنزيم البيروكسيداز (0.197 و 0.162 ميكرومول/مغ)، على التوالي، بالمقارنة مع معاملة الشاهد السليم والمعدى.

لوُحِظ بأن ازدياد مستوى حمض الساليسيليك الحر لجميع المعاملات في النباتات غير المعداة لم يصل إلى مستوى حمض الساليسيليك لذات المعاملات في النباتات المعداة، ويمكن أن يعزى السبب إلى أن الإصابة الفيروسية تزيد من تراكم حمض الساليسيليك في النبات كردّ فعل من النبات تجاه الإصابة الفيروسية، وهذا ما أشار إليه Malamy *et al.* (1990) بأن زيادة مستوى حمض الساليسيليك الحرّ في نباتات التبغ عند إصابتها بفيروس موزاييك التبغ (TMV) أدت إلى تحريض البروتينات المتعلقة بالإمراضية بشكل جهازي مما يؤدي بدوره إلى تحريض المقاومة الجهازية المكتسبة في أنسجة النبات قبل حدوث العدوى في الأوراق غير المعداة.

جدول 2. متوسط تركيز حمض الساليسيليك ونشاط إنزيم البيروكسيداز في أوراق نباتات البندورة/الطماطم بوجود أو غياب العدوى بفيروس CMV.
Table 2. Average concentration of free Salicylic acid (SA) and peroxidase activity in tomato leaves in the presence or absence of CMV infection.

المعاملة	Treatment	طريقة التطبيق Application method	تركيز حمض الساليسيليك الحر (ميكروغرام/غ طازج) Free salicylic acid concentration (µg/g fresh)	نشاط إنزيم البيروكسيداز (ميكروموول/مغ) Peroxidase activity (µmol/mg)
تراكيز حمض الساليسيليك بدون عدوى	1 mM	رش Spray	94.20 d	0.155 d
	2 mM		112.80 g	0.172 f
SA concentration without virus inoculation	1 mM	ري Irrigation	83.50 c	0.148 c
	2 mM		99.40 e	0.162 e
تراكيز حمض الساليسيليك مع عدوى	1 mM + CMV	رش Spray	108.20 f	0.192 h
	2 mM + CMV		124.50 i	0.209 j
SA concentration with virus inoculation	1 mM + CMV	ري Irrigation	98.60 e	0.182g
	2 mM + CMV		118.60 h	0.197 i
شاهد Control	سليم Healthy		13.73 a	0.044 a
	معدى Inoculated		21.54 b	0.112 b
	$LSD_{0.05}$		3.406	0.003406

mM = ملي مول، CMV= فيروس موزاييك الخيار. القيم التي يتبعها حروف متشابهة في نفس العمود لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.
mM= milli mole, CMV= Cucumber mosaic virus. Values followed by the same letters in the same column are not significantly different at P=0.05.

أشارت النتائج لاستعمال كل من طريقتي الري والرش بحمض الساليسيليك إلى تفوق معاملة الشاهد المعدى معنوياً على معاملة الشاهد السليم، من حيث محتوى الأوراق من حمض الساليسيليك الحر وإنزيم البيروكسيداز، وقد يعزى ذلك لتحفيز فيروس موزاييك الخيار النبات على إنتاج حمض الساليسيليك كرد فعل دفاعي تجاه الفيروس، والذي يعمل على تحفيز المقاومة الجهازية المكتسبة (SAR)، نتيجة تنشيط بعض مورثات الدفاع في النبات وإنتاج البروتينات المرتبطة بالإمراضية (PRP). لقد نشر سابقاً بأن حمض الساليسيليك يحفز المقاومة الجهازية المكتسبة للنباتات ضد العدوى الفيروسية عن طريق إبطاء حركة وانتشار الفيروس ضمن النبات وبالتالي إضعاف تأثير الفيروس في النبات وتأخير ظهور أعراض الإصابة وخفض الشدة المرضية (Naylor *et al.,* 1998).

بيّن Hondo *et al.* (2007) أن حمض الساليسيليك حفز تشكيل المورثات المضادة للإمراضية PR1 و PR2 لدى نباتات البندورة/الطماطم، وبيّنت دراسة أخرى أن معاملة نباتات التبغ بحمض الساليسيليك حفز نشاط إنزيم البيروكسيداز وأبطأ تضاعف وتراكم فيروس البطاطا/البطاطس واي (Nie, 2006). كما بين Hammerschmidt *et al.* (2001) وجود ارتباط إيجابي بين زيادة مستوى حمض الساليسيليك وزيادة نشاط إنزيم البيروكسيداز وإنزيم الكيتيناز لدى نباتات الخيار، ووجد Chittoor *et al.* (1999) و Ebrahim *et al.* (2011) أن زيادة الإنزيمات النباتية ومنها إنزيم البيروكسيداز يمكن أن تترافق مباشرة بالقدرة المتزايدة على حماية الأنسجة جهازياً عند مهاجمة النباتات بالممرضات النباتية. في حين بينت دراسة على نباتات الفليفلة المعاملة بثلاث تراكيز من حمض الساليسيليك (0.5، 1.0 و 2.0 ملي مول) زيادة في محتوى أوراق نباتات الفليفلة من حمض الساليسيليك وبفروق معنوية مقارنة مع الشاهدين المعدى والسليم، وحققت المعاملة بحمض الساليسيليك بتركيز 1 ملي مول أعلى زيادة في محتوى أوراق نباتات الفليفلة من حمض الساليسيليك وبفروق معنوية بوجود أو غياب العدوى بفيروس موزاييك الخيار وبنسبة زيادة وصلت إلى ما يقارب 103 و 78% بالمقارنة مع الشاهد السليم والمعدى، على التوالي (ابراهيم، 2023).

تماثلت هذه النتائج مع دراسة سابقة على فيروس موزاييك التبغ ونبات البندورة/الطماطم حيث أكدت أنّ معاملة النبات بالتركيز 2 ملي مول من حمض الساليسيليك خفّضت تركيز فيروس موزاييك التبغ بنسبة 51% مقارنة مع تركيزه في نبات الشاهد المعدى (Basim, 2016). كما تم الحصول على نتائج مشابهة لفيروسات أخرى وعلى محاصيل غير البندورة/الطماطم عند معاملتها بحمض الساليسيليك (Abo-Elnasr *et al.,* 2005؛ Ahmad *et al.,* 2008؛ Chandra *et al.,* 2007؛ Nie, 2006؛ Radwan *et al.,* 2007؛ Sedghi *et al.,* 2013)

يمكننا أن نستنتج مما سبق أن لحمض الساليسيليك تأثير واضح في تأخير ظهور أعراض الإصابة على نباتات البندورة/الطماطم عند العدوى بفيروس موزاييك الخيار، حيث يؤدي استخدام الحمض بطريقة الرش بتركيز 2 ملي مول إلى تحفيز المقاومة الجهازية المكتسبة وذلك من خلال ازدياد نشاط أنزيم البيروكسيداز وارتفاع مستوى حمض الساليسيليك الحرّ في جسم النبات وبالتالي تخفيض شدة الإصابة المرضية.

Abstract

Tahan, W., N.Sh. Slimane, S. Raee and H. Ahmad. 2026. The Role of Salicylic Acid in Stimulating Acquired Systemic Resistance in Tomato Plants Against Infection with Cucumber Mosaic Virus. Arab Journal of Plant Protection, 44(1):80-88. https://doi.org/10.22268/AJPP-001363

The effect of salicylic acid (SA) on the induction of systemic acquired resistance (SAR) in tomato plants against infection with Cucumber mosaic virus (CMV) was investigated. Plants treated with two concentrations of 1 and 2 mM of salicylic acid, using two application methods, spraying and irrigation, three days before mechanical inoculation with the virus, during the fall of 2022 in Tartous Governorate, Syria. The effect of acquired systemic resistance was assessed by: time required for symptoms development, disease severity, concentration of free salicylic acid and peroxidase activity in experimental plants. The results obtained showed that treatment with salicylic acid delayed the appearance of symptoms of viral infection by up to 21 days compared to 12 days for the control, and reduced disease severity by 38.3% in the sprayed treatment at a concentration of 2 mM compared to the rest of the treatments. The value of free salicylic acid increased to 124.5 µg/g compared to the healthy control (21.54 µg/g) and the infected plants not treated with salicylic acid (13.73 µg/g). In addition, the peroxidase enzyme concentration increased to 0.209 µmol/mg compared to the healthy control (0.112 µmol /mg), at the time when enzyme activity of infected plants not treated with salicylic acid reached 0.044 µmol/mg. An increase in the content of free salicylic acid and peroxidase activity, a delay in the onset of infection symptoms, and decrease in the disease severity were good indicators for the induction of acquired systemic resistance as a result of treatment with salicylic acid.

Keywords: Salicylic acid, systemic acquired resistance, Cucumber mosaic virus, tomato.

Affiliation of *authors:* *W. Tahan[1*], N.Sh. Slimane[1], S. Raee[2] and H. Ahmad[3]. (1) Horticulture Department, Faculty of Agricultural Engineering, Latakia University, Latakia, Syria; (2) Plant Protection Department, Faculty of Agricultural Engineering, Latakia University, Latakia, Syria; (3) Tartous Directorate of Agriculture, Ministry of Agriculture and Agrarian Reform, Syria.* *Email address of the corresponding author: wissamou.ali1993@gmail.com

References

Abo-Elnasr, M.A., Kh.A. El-Dougdoug, M.H. El-Kattan and E.A. Salem. 2005. Induction of salicylic acid in cucumber against ZYMV potyvirus by some nutrient chemicals. Egyptian Journal of Virology, 1(1):301-312. https://doi.org/10.3923/ijv.2005.30.30

Agrios, G.N. 2005. Plant Pathology. 5th edition. Elsevier, USA/UK. 922 pp.

Ahmad, A.Y., T.A. Moustafa, F.M. Abo-Elabbas and M.A. Rashed. 2008. Efficacy of acquired resistance in controlling potato virus Y. Ph.D. thesis, Plant Pathology Department, Faculty of Agriculture, Ain Shams University, Egypt. 155 pp.

Basim, H.K. 2016. Enhancement of systemic acquired resistance in *Lycopersicon esculentum* L. against tobacco mosaic virus by salicylic acid. European Academic Research, 4(1):890-899.

المراجع

ابراهيم، محمد. 2023. تأثير بعض المخصبات الحيوية والمحفزات الكيميائية في خواص التربة ونمو نبات الفليفلة ومقاومته لفيروس موزاييك الخيار CMV في الزراعة المحمية. أطروحة دكتوراه، كلية الهندسة الزراعية، جامعة تشرين، سورية. 117 صفحة.

*[**Ibrahim, M.** 2023. The effect of some biofertilizers and chemical stimulants on soil properties, pepper plant growth, and its resistance to Cucumber mosaic virus (CMV) in protected agriculture. Doctoral thesis, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Syria. 117 pp. (In Arabic)].*

الحمادي، مصطفى حلمي، جابر إبراهيم فجلة، محمد عبد المجيد شقرون وجبر خليل. 2008. المبادئ العامة في مكافحة الفيروسات النباتية والقابلة للتطبيق في البلدان العربية. الصفحات 147-192 في: الأمراض الفيروسية للمحاصيل الزراعية المهمة في المنطقة العربية. إعداد خالد محي الدين مكوك، جابر ابراهيم فجلة وصفاء غسان قمري. الجمعية العربية لوقاية النبات، بيروت، لبنان.

*[**Al-Hammadi, M.H., J.I. Fajla, M.A. Shaqroun, J. Khalil.** 2008. General principles in combating plant viruses that are applicable in the Arab countries. Pp. 147-192 In: Viral Diseases of Important Agricultural Crops in the Arab Region. K.M. Makkouk, J.I. Fijla, and S.G. Kumari (eds.). Arab Society for Plant Protection, Beirut, Lebanon. 147-192 pp. (In Arabic)].*

العاني، رقيب عاكف وليث خليل توفيق. 2011. تحفيز المقاومة الجهازية في نباتات الخيار إزاء فيروس موزاييك الخيار (CMV) باستخدام البكتيريا *Pseudomonas fluorescens Migula*. مجلة وقاية النبات العربية، 29(1):36-42.

*[**Al-Ani, R.A. and L.K. Tawfiq.** 2011. Induction of systemic resistance in cucumber plants to cucumber mosaic virus (CMV) using the bacterium Pseudomonas fluorescens Migula. Arab Journal of Plant Protection, 29(1):36-42. (In Arabic)].*

خدام، مازن، مفيد ياسين و سليم يونس راعي. 2014. دور حمض الساليسيليك في حث المقاومة الجهازية المكتسبة في صنفي التبغ برلي وفرجينيا إزاء فيروس البطاطا واي في سورية. مجلة وقاية النبات العربية، 32(1):88-91.

*[**Khaddam, M., M. Yassin, S.Y. Rahi.** 2014. The role of salicylic acid in inducing acquired systemic resistance in tobacco cultivars Burley and Virginia to potato virus Y in Syria. Arab Journal of Plant Protection, 32(1):88-91. (In Arabic)].*

عتيق، عمر، أحمد الأحمد، محمد أبو شعر، محمد موفق بيرق ومصطفى خطيب. 2013. تحريض المقاومة الجهازية المتكسبة في نبات البندورة/الطماطم إزاء الأمراض التي تحدثها بعض الأنواع من الفطر *Alternaria*. مجلة وقاية النبات العربية، 31(2):168-176.

*[**Atiq, O., A. Al-Ahmad, M. Abu Shaar and M.M. Bayrak and M. Khatib.** 2013. Induction of systemic acquired resistance in tomato plants to diseases caused by some species of Alternaria fungus. Arab Journal of Plant Protection, 31(2):168-176. (In Arabic)].*

Hondo, D., S. Hase, Y. Kanayama, N. Yoshikawa, S. Takenaka and H. Takahashi. 2007. The LeATL6-associated ubiquitin/proteasome system may contribute to fungal elicitor-activated defense response via the jasmonic acid-dependent signaling pathway in tomato. Molecular Plant-Microbe Interactions, 20(1):72-81. https://doi.org/10.1094/mpmi-20-0072

Horvath, D.P., J.V. Anderson, W.S. Chao and M.E. Foley. 2003. Knowing when to grow: signals regulating bud dormancy. Trends in Plant Science, 8:534-540. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2003.09.013

Huang, R.H., J.H. Liu, Y.M. Lu and R.X. Xia. 2008. Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of 'Cara cara' navel orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) at different storage temperatures. Postharvest Biology and Technology, 47(2):168-175. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.018

Kuc, J. and S. Richmond. 1977. Aspects of the protection of cucumber against *Colletotrichum lagenarium* by *Colletotrichum lagenarium*. Phytopathology, 67:533-536.

Malamy, J., J.P. Carr, D.F. Klessig and I. Raskin. 1990. Salicylic acid: a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. Science, 250:1002-1004.

Maria, J. and V. Martinez-Merino. 2007. Determination of the salicylic acid concentration in aspirin by forming Fe^{3+} complexes. Exercise I.11. Pages 1-8. IUPAC Publications

Masuta, C., M. Nishimura, H. Morishita and T.A. Hataya. 1999. Single amino acid in viral genome-associated protein of potato virus Y correlates with resistance breaking in "Virginia mutant" tobacco. Phytopathology, 89:118–123.

Mayers, C.N., K.C. Lee, C.A. Moore, S.M. Wong and J.P. Carr. 2005. Salicylic acid-induced resistance to cucumber mosaic virus in squash and *Arabidopsis thaliana*: contrasting mechanisms of induction and antiviral action. Molecular Plant-Microbe Interactions, 18:428-434. https://doi.org/10.1094/mpmi-18-0428

Murphy, A.M. and J.P. Carr. 2002. Salicylic acid has cell-specific effects on tobacco mosaic virus replication and cell-to-cell movement. Plant Physiology, 128(2):552-563. https://doi.org/10.1104/pp.010688

Murphy, J.F., M.S. Reddy, C.-M. Ryu, J.W. Kloepper and R. Li. 2003. Rhizobacteria-mediated growth promotion of tomato leads to protection against cucumber mosaic virus. Phytopathology, 93(10):1301-1307. https://doi.org/10.1094/phyto.2003.93.10.1301

Naylor, M., A.M. Murphy, J.O. Berry and J.P. Carr. 1998. Salicylic acid can induce resistance to plant virus movement. Molecular Plant-Microbe Interactions, 11:860-868. https://doi.org/10.1094/MPMI.1998.11.9.860

Nie, X. 2006. Salicylic acid suppresses potato virus Y isolate N:O-induced symptoms in tobacco plants. *Phytopathology*, 96(3):255-263. https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0255

Behera, B.C., N. Mahadik and M. Morey. 2012. Antioxidative and cardiovascular protective activities of metabolite usnic acid and psoromic acid produced by lichen species *Usnea complanata* under submerged fermentation. Pharmaceutical Biology, 50(8):968-979. https://doi.org/10.3109/13880209.2012.654396

Chandra, A., A. Anand and A. Dubey. 2007. Effect of salicylic acid on morphological and biochemical attributes in cowpea. Journal of Environmental Biology, 28(2):193-196.

Chittoor, J.M., J.E. Leach and F.F. White. 1999. Induction of peroxidase during defense against pathogens. Pp. 165-187. In: Pathogenesis-Related Proteins in Plants. S.K. Datta and S. Muthukrishnan (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Del Giudice, R., G. Petruk, A. Raiola, A. Barone, D.M. Monti and M.M. Rigano. 2017. Carotenoids in fresh and processed tomato (*Solanum lycopersicum*) fruits protect cells from oxidative stress injury. Journal of the Science of Food and Agriculture, 97(5):1616-1623. https://doi.org/10.1002/jsfa.7910

Eberhardt, H.J. and K. Wegmann. 1998. Induction of natural defence systems of the tobacco plant by use of elicitors: a survey of new possibilities of pathogen and pest control. P. 125 (Abstract P11). In: CORESTA Brighton Congress, 11–15 October 1998, Brighton, UK.

Ebrahim, S., K. Usha and S. Bhupinder. 2011. Pathogenesis related (PR) proteins in plant defense mechanism. Pp. 1-12. In: Science Against Microbial Pathogens: Communicating Current Research and Technological Advances. A. Méndez-Vilas (eds.). FORMATEX, Spain.

Edwardson, J.R. and R.G. Christie. 1991. Cucumoviruses. Pp. 293-319. In: CRC Handbook of Viruses Infecting Legumes. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Einhellig, F.A. 1986. Mechanisms and modes of action of allelochemicals. Pp. 317-325. In: The Science of Allelopathy. A.R. Putnam and C.S. Tang (eds.). John Wiley and Sons, New York, USA.

Fry, S.C. 1986. Cross-linking of matrix polymers in the growing cells of angiosperms. Annual Review of Plant Physiology, 37:165-186. https://doi.org/10.1146/annurev.pp.37.060186.001121

Gallitelli, D. 2000. The ecology of cucumber mosaic virus and sustainable agriculture. Virus Research, 71(1-2):9-21. https://doi.org/10.1016/S0168-1702(00)00184-2

Görlach, J., S. Volrath, G. Knauf-Beiter, G. Hengy, U. Beckhove, K.-H. Kogel, M. Oostendorp, T. Staub, E. Ward, H. Kessmann and J. Ryals. 1996. Benzothiadiazole, a novel class of inducers of systemic acquired resistance, activates gene expression and disease resistance in wheat. Plant Cell, 8(4):629-643. https://doi.org/10.1105/tpc.8.4.629

Hammerschmidt, R., J.-P. Métraux and L.C. van Loon. 2001. Inducing resistance: a summary of papers presented at the First International Symposium on Induced Resistance to Plant Diseases, Corfu, May 2000. European Journal of Plant Pathology, 107:1-6. https://doi.org/10.1023/A:1008753630626

Sedghi, M., H.K. Basiri and R.S. Sharifi. 2013. Effects of salicylic acid on antioxidant enzymes activity in sunflower. Annals of West University of Timisoara, Biology Series, 16(2):67–72.

Shi, Q. and Z. Zhu. 2008. Effects of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and oxidative system in cucumber. Environmental and Experimental Botany, 63(1-3):317-326. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.003

Sticher, L., B. Mauch-Mani and J.-P. Métraux. 1997. Systemic acquired resistance. Annual Review of Phytopathology, 35(1):235-270. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.35.1.235

Sudhakar, N., D. Nagendra-Prasad, N. Mohan and K. Murugesan. 2007. Induction of systemic resistance in *Lycopersicon esculentum* cv. PKM1 (tomato) against cucumber mosaic virus by using ozone. Journal of Virological Methods, 139(1):71-78. https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2006.09.013

Uknes, S., B. Mauch-Mani, M. Moyer, S. Potter, S. Williams, S. Dincher, D. Chandler, A. Slusarenko, E. Ward and J. Ryals. 1992. Acquired resistance in *Arabidopsis*. Plant Cell, 4(6):645-656. https://doi.org/10.1105/tpc.4.6.645

Vance, C.P., T.K. Kirk and R.T. Sherwood. 1980. Lignification as a mechanism of disease resistance. Annual Review of Phytopathology, 18:259-288. https://doi.org/10.1146/annurev.py.18.090180.001355

Vazirimehr, M.R. and K. Rigi. 2014. Effect of salicylic acid in agriculture. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, 4:291-296.

Whitaker, J.R. and R.A. Bernhard. 1972. Experiments for an Introduction to Enzymology. The Wibber Press, Davis, California, USA.

Yang, X., L. Kılıç and P. Tien. 1996. Resistance of tomato infected with cucumber mosaic virus satellite RNA to potato spindle tuber viroid. Annals of Applied Biology, 129(3):543-551. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1996.tb05775.x

Nontajak, S., S. Vulyasevi, N. Jonglaekha and P. Smitamana. 2014. Effect of mixed viruses infection on symptom expression in zucchini (*Cucurbita pepo* L.). Journal of Agricultural Technology, 10(5):1329–1341.

Passardi, F., C. Cosio, C. Penel and C. Dunand. 2005. Peroxidases have more functions than a Swiss army knife. Plant Cell Reports, 24(5):255-265. https://doi.org/10.1007/s00299-005-0972-6

Quiroga, M., G. Guerrero, M.A. Botella, A. Barceló, I. Amaya, M.I. Medina, F.J. Alonso, S.M. de Forchetti, H. Tigier and V. Valpuesta. 2000. A tomato peroxidase involved in the synthesis of lignin and suberin. Plant Physiology, 122(4):1119-1127. https://doi.org/10.1104/pp.122.4.1119

Radwan, D.M., K.A. Fayez, S.Y. Mahmoud, A. Hamad and G. Lu. 2007. Physiological and metabolic changes of *Cucurbita pepo* leaves in response to zucchini yellow mosaic virus (ZYMV) infection and salicylic acid treatments. Plant Physiology and Biochemistry, 45(6-7):480-489. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.03.002

Rigano, M.M., C. Arena, A. Di Matteo, S. Sellitto, L. Frusciante and A. Barone. 2016. Eco-physiological response to water stress of drought-tolerant and drought-sensitive tomato genotypes. Plant Biosystems, 150(4):682-691. https://doi.org/10.1080/11263504.2014.989286

Ruggieri, V., R. Calafiore, C. Schettini, M.M. Rigano, F. Olivieri, L. Frusciante and A. Barone. 2019. Exploiting genetic and genomic resources to enhance heat-tolerance in tomatoes. Agronomy, 9(1):22. https://doi.org/10.3390/agronomy9010022

Ryals, J., E. Ward and J.-P. Métraux. 1992. Systemic acquired resistance: an inducible defense mechanism in plants. Pp. 205-229. In: Inducible Plant Proteins. J.L. Wray (ed.). Society for Experimental Biology Seminar Series 49. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Ryals, J., S. Uknes and E. Ward. 1994. Systemic acquired resistance. Plant Physiology, 104(4):1109-1112. https://doi.org/10.1104/pp.104.4.1109

Received: May 24, 2024; Accepted: September 8, 2024

تاريخ الاستلام: 2024/5/24؛ تاريخ الموافقة على النشر: 2024/9/8