دراسة تأثير الإجهاد الأحيائي بالرشاحة المزرعية للفطر *Fusarium oxysporum.* f. sp. *tuberosi* في بعض مؤشرات نمو عشرة أصناف من البطاطا/البطاطس (*Solanum tuberosum*) في ظروف المختبر

عماد علي التيناوي[1]*، فهد البيسكي[2] وجودة فضّول[3]

(1) قسم التقانات الحيوية، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق، سورية، (2) قسم التقانات الحيوية، الهيئة العامة للتقانة الحيوية، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، دمشق، سورية؛ (3) قسم علوم وقاية النبات، كلية الزراعة، جامعة دمشق، سورية.

*البريد الإلكتروني للباحث المراسل: emademalti66@gmail.com

الملخص

التيناوي، عماد علي، فهد البيسكي وجودة فضّول. 2022. دراسة تأثير الإجهاد الأحيائي بالرشاحة المزرعية للفطر *Fusarium oxysporum.* f. sp. *tuberosi* في بعض مؤشرات نمو عشرة أصناف من البطاطا/البطاطس (*Solanum tuberosum*) في ظروف المختبر. مجلة وقاية النبات العربية، 40(3): 247–259. https://doi.org/10.22268/AJPP-40.3.247259

نُفّذتْ التجربة بهدف دراسة تأثير الإجهاد الأحيائي بالرشاحة الفطرية Cultural Filtrate (CF) للفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *tuberosi* في بعض مؤشرات النمو لعشرة أصناف من البطاطا/البطاطس المزروعة في ظروف المختبر. تمَّ تطبيق الإجهاد الأحيائي بإضافة تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية (CF) إلى وسط النمو الغذائي Murashige & Skooge (MS) (0%، 5%، 10%، 15%، 25%، 30% و 40%) باستثناء معاملة الشاهد CF0، وتمّ قياس بعض مؤشرات النمو الناتجة عن هذه المعاملات. أظهرت النتائج تباين استجابة الأصناف المدروسة للإجهاد الأحيائي وفقاً للمؤشرات المدروسة، حيث أدّت إضافة الرشاحة الفطرية إلى انخفاض جميع مؤشرات النمو بالمقارنة مع الشاهد. وأظهر التحليل العنقودي، بناءً على مجموع القيم النسبية لمعايير النمو المدروسة، توزّع الأصناف المدروسة في ثلاث مجموعات مختلفة: ضمّت المجموعة الأولى ثلاثة أصناف متحمّلة للإجهاد الأحيائي، هي Toronto، Barcelona وSuria، وضمّت المجموعة الثانية أربعة أصناف متوسطة الحساسية، وهي Ardappel، fabulla، Nectare و Spunta، في حين ضمّت المجموعة الثالثة مجموعة من الأصناف الحسّاسة وهي7-four-7 وFarida وJoly. أشارت النتائج إلى إمكانية استعمال طريقة الغربلة (الانتخاب في المختبر) باستعمال الرشاحة الفطرية السامة كوسيلة سريعة وفعّالة في سبر التباين الوراثي لتحمل الإجهاد الأحيائي في البطاطا/البطاطس.

كلمات مفتاحية: الإجهاد الأحيائي، البطاطا/البطاطس، التحليل العنقودي، الرشاحة الفطرية، السموم الفطرية.

المقدمة

تعدّ البطاطا/البطاطس (*Solanum tuberosum* L.) من أكثر محاصيل الخضار أهميةً وانتشاراً محلياً وعالمياً (Visser *et al.*, 2009)، حيث تشكّل الغذاء اليومي لأكثر من 75–90% من سكان العالم، وتُزرع في حوالي 140 دولة (Beukema, 1993). ينتمي الجنس *Solanum*، للفصيلة *Solanaceae* التي تضمّ نحو 83 جنساً وحوالي 2671 نوعاً (Albuquerque *et al.*, 2006). بلغت إنتاج البطاطا/البطاطس في سورية عام 2020 حوالي 647319 طن بغلّة مقدارها 23548 كغ/هكتار أنتجتها مساحةٌ إجمالية بلغت 27489 هكتاراً (المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية، 2020). يواجه نبات البطاطا/البطاطس عدداً كبيراً من الإجهادات الأحيائية كالأمراض ونواتجها من المواد السامة واللا أحيائية كالحرارة والملوحة والجفاف (Vinocur & Altman, 2005). يعدّ كلّ من مرضيّ الذبول الوعائي والعفن الجاف على البطاطا/البطاطس من الإجهادات الأحيائية الناجمة عن الإصابة بأحد أنواع الفطر فيوزاريوم *Fusarium* spp. أو إفرازاتها (Nelson *et al.*, 1982)، ممّا يسبّب خسائراً في الإنتاج السنوي العالمي بحدود 10–53% (Ayed *et al.*, 2006؛ Daami-Remadi & El Mahjoub, 2004؛ Trabelsi *et al.*, 2016). تنتج بعض الفطور مركبات أيضية ثانوية نشطة حيوياً، أغلبها سامّ للإنسان والحيوان والنبات والكائنات الحيّة الدقيقة. تتميز هذه المنتجات الاستقلابية بأنّها ذات أوزان جزيئية صغيرة ومتنوعة في التركيب الكيميائي، وتُنتجها أنواع فطور إختيارية التطفل والتي تستطيع الدخول ضمن النسيج النباتي الحيّ والإنتقال بعيداً عن موقع الإصابة إلى الأنسجة المجاورة (Durbin, 1983). تستطيع هذه المواد السامة إحداث تغيّرات شكلية وفيزيولوجية لأنسجة النبات (Jestoi *et al.*, 2008). ذكر Durbin (1983) بأنّ المقدرة الإمراضية تعتمد على قابلية الممرض لإنتاج

https://doi.org/10.22268/AJPP-40.3.247259
© 2022 الجمعية العربية لوقاية النبات Arab Society for Plant Protection

مفرزات سامة تؤثر في العائل، عن طريق تخريب الغشاء البلازمي مثلاً (Wang *et al*., 2014)، أو تعطيل بعض العمليات الفيزيولوجية (Bouizgarne *et al*., 2006a, 2006b؛ Gutiérrez-Nájera *et al*., 2005). حيث أنّ المركبات السامة في الرشاحة الفطرية تقلّل من تركيز الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) وتعمل على تحطيم الغشاء السيتوبلازمي واختراقه، وتثبّط عملية أكسدة البولي فينيل (polyvinyl) وأكسدة السيتوكينين (cytocinine)، وتقلّل من الانحلال الكهربائي في الغشاء فتؤثر على فعاليته وسلوكه ومستوى الـ ATP الخلوي فيه، فتعمل على إضعاف نفاذية البروتوبلاست وتقيّد عملية التنفس في الميتوكوندريا، وبالتالي فإنّها تحول دون نمو وتجدّد النبات (Bacon *et al*., 2006)، وكذلك تقلّل من نشاط أنزيم البيروكسيداز في الدهون فتؤدي لزيادة أنواع الأكسجين النشطة Reactive Oxygen Species (ROS) مما يساعد في تدمير نظام الدفاع في الخلية النباتية (Güçlü, 2010؛ Wu *et al*., 2008a, 2008b)، وتدمير خلايا الأوعية الناقلة للنسغ وبالتالي يتوقف انتقال الماء إلى الأوراق (Jaroszuk-Scisel *et al*., 2008)، فتظهر أعراض الذبول على النبات وصولاً لموته لاحقاً (Ahmad *et al*., 2019؛ Krämer, 2010؛ Li *et al*., 2020؛ Singh & Upadhyay, 2016). تُخفّض سموم الرشاحة نسبة إنبات بذور النبات ونموه، كما في الخسّ (Crisan, 1973)، والسمسم (Samuel & Valentine, 2014)، وبالتالي فإنّها تستخدم لانتخاب أصناف نباتية عديدة كالقرنفل (Thakur *et al*., 2002)، والبرسيم الحجازي (Frame *et al*., 1991)، والقمح (Anil *et al*., 2018؛ Yang *et al*., 2010)، وفول الصويا (Jin *et al*., 1993)، والأناناس (Borras *et al*., 2001)، وقصب السكر (Inayati, 2003؛ Yunus, 2000)، والموز (Mariska *et al*., 2005)؛ فقد تمّت عملية الغربلة بإضافة الرشاحة الفطرية لوسط الزراعة Murashige & Skooge (MS) (Wang *et al*., 2014) ودراسة تأثيرها في بعض مؤشرات النمو (Dong *et al*., 2012؛ Wu *et al*., 2008a, 2008b).

هدفت هذه الدراسة لمعرفة مدى تأثير الإجهاد الأحيائي باستخدام تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية للفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *tuberosi* في بعض مؤشرات النمو (طول النبات، عدد الأوراق، المساحة الورقية، عدد الجذور وطولها، والوزن الرطب والجاف للنبات) لدى عشرة أصناف من البطاطا/البطاطس المزروعة في ظروف المختبر.

مواد البحث وطرائقه

فترة ومكان تنفيذ البحث

نُفّذ البحث في مخابر كلية الزراعة في جامعة دمشق، وقسم التقانات الحيوية النباتية في الهيئة العامة للتقانة الحيوية ومخابر قسم التقانات الحيوية في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية خلال الفترة 2020–2021 باستخدام عشرة أصناف من البطاطا/البطاطس من مرتبة سوبر إيليت Super Elite (جدول 1) المعتمدة في مؤسسة إكثار البذار في سورية.

جدول 1. الصفات الشكلية والإنتاجية لأصناف البطاطا/البطاطس المستخدمة في هذه الدراسة.

Table 2. Morphological and productive traits of the potato cultivars investigated in this study.

الأصناف Varieties	التبكير في النضج Maturity	الإنتاجية Yield	حجم الدرنات Tuber size	شكل الدرنة Tuber shape	لون القشرة Skin colour	لون اللب Flesh color	فترة السكون Dormancy period
جولي	متوسط	عالية	كبيرة	بيضوية متطاولة	أصفر فاتح	أبيض	متوسطة
JOLY	Medium	High	Large	Long oval	Light yellow	white	Medium
برشلونا	متوسط	جيدة	كبيرة	بيضوية متطاولة	أصفر فاتح	أصفر فاتح	متوسطة
BARCELO NA	Medium	Good	Large	Long oval	Light yellow	Light yellow	Medium
سبونتا	متوسط التبكير-	عالية	كبيرة	متطاولة	أصفر	أصفر فاتح	متوسطة
SPUNTA	متأخر Medium - late	High	Large	Long	Yellow	Light yellow	Medium
فابيولا	متوسط	عالية	كبيرة	بيضوية	أبيض	أبيض	متوسطة
FABULA	Medium	High	Large	Oval	White	White	Medium
فريدا	متوسط	عالية	كبيرة	بيضوية متطاولة	أصفر	أصفر فاتح	متوسطة
FARIDA	Medium	High	Large	Oval long	Yellow	Light yellow	Medium
نكتار	مبكر	عالية	كبيرة	بيضوية متطاولة	أصفر فاتح	أصفر فاتح	متوسطة
NECTAR	Early	High	Large	Oval long	Light yellow	Light yellow	Medium
سورايا	متوسط	عالية	كبيرة	بيضوية	أصفر	أصفر	طويلة
SORAYA	Medium	High	Large	Oval	Yellow	Yellow	Long
فور سفن فور	متوسط	عالية	كبيرة	بيضوي متطاول	أصفر فاتح	أبيض	متوسطة - طويلة
7-FOUR-7	Medium	High	Large	Long oval	Light yellow	White	Medium-Long
تورونتو	متوسط	جيدة	كبيرة	متطاولة	أصفر فاتح	كريمي	متوسطة
TORONTO	Medium	Good	Large	Long	Light yellow	Creamy	Medium
ARDAPPEL	متوسط	عالية	كبيرة	بيضوي	أصفر فاتح	أصفر فاتح	متوسطة
أردبيل	Medium	High	Large	Oval	Light yellow	Light yellow	Medium

تمّت زراعة النهايات الوردية لكل درنة في أصص بلاستيكية تحتوي على بيتموس معقم، وجمعت النموات بعد 45 يوم من زراعتها، ثمّ قُطّعت لعقل بطول 1–1.5 سم تحمل برعماً جانبياً واحداً، وغُسلت بالماء العادي وغُمرت بالكحول 70% لمدة 1 دقيقة، ثم غُمرت بهيبوكلوريت الصوديوم NaOCl (المادة الفعّالة 5.6%) بتركيز 0.5 % مدة 10 دقائق، ثم غسلت بالماء المقطر المعقم تحت جهاز العزل الجرثومي ثلاث مرات متتالية بمعدل 5 دقائق لكلٍّ منها. زُرعت العُقل في أنابيب زجاجية مملوءة بـ 12.5 مل وسط معقّم Murashige and Skooge (MS) (1962)، درجة حموضته pH=5.8 ومضافاً له 30غ/ل و7غ/ل. حُضّنت المعاملات عند حرارة 22±2 درجة س و16:8 ساعة إضاءة:ظلام بشدة ضوئية 3000 لوكس، ورطوبة 70±5% (Albiski *et al.,* 2012).

تحضير الرشاحة الفطرية

تمّ تلقيح طبق بتري فيه مستنبت PDA (البطاطس–ديكستروز–آجار) بعزلة نقية ممرضة من الفطر *F. oxysporum*. f. sp.*tuberosi* معزولة مسبقاً ومحفوظة عند حرارة 4–8 °س. تمّ تحضير مستنبت Czapek السائل بدرجة حموضة pH=5.5، وتمّ تعقيمه عند حرارة 121 درجة سْ وضغط 1.04 كغ/سم^2 لمدة 20 دقيقة. استخدمت 10 دوارق مخروطية سعة 250 مل، وُضع في كلٍّ منها 100 مل ولُقّح بـ 5 قطع لقاح حجم كلٍّ منها 0.5 مم^3 مأخوذة من حافة مزرعة فتية (بعمر 7 أيام) من الفطر المدروس. تمّ تحضين الدوارق على جهاز هزاز 120 دورة/دقيقة عند 28 درجة سْ لمدة 21 يوماً. جُمعت الرشاحة باستعمال ورق ترشيح Whatman No.1، ثمّ ثُفّلت بالمثفلة عند 13000 دورة في الدقيقة لمدة 10 دقائق للتخلص من باقي الغزل الفطري والأبواغ، ثم عُقّمت تعقيماً بارداً تحت جهاز العزل الجرثومي باستعمال مُرشح ذي غشاء نتروسيليلوز (Millipore Filters) قطر فتحاته 0.22 ميكرون، ثم حُفظت عند حرارة –20 °س لحين الاستخدام (Kamle *et al*., 2012).

معاملات الإجهاد الأحيائي

أضيفت الرشاحة الفطرية للفطر *F. oxysporum* f. sp. *tuberosi* إلى مستنبت الزرع المغذي MS موراشيج وسكوك المُعقم عند حرارة 121 سْ وضغط 1.04 كغ/سم^2 مدة 20 دقيقة، وبتراكيز مختلفة وُزّعت على سبع معاملات كما يلي: CF0=0%، CF1=40%، CF2= 30%، CF3= 25%، CF4= 15%، CF5= 10% و CF6= 5%، كعوامل غربلة للأصناف المدروسة تحت الإجهاد الأحيائي، وخصّص لمعاملة الشاهد CF0 مستنبت MS مضافاً له مستنبت Czapek السائل بتراكيز مماثلة لتراكيز الرشاحة الفطرية لكلّ معاملة. قُسّمت سوق النباتات لعقل صغيرة (1.5-2 سم) لها برعم جانبي وورقة، وزُرعت على أوساط الإجهاد. اعتمدت مؤشرات النمو [طول النبات وعدد أوراقه (ورقة. نبات$^{-1}$)، وطول وعدد جذوره (جذر. نبات$^{-1}$)، والمساحة الورقية (مم^2) بتطبيق برنامج *ImageJ.*، والوزنين الرطب والجاف عند حرارة 110 سْ، وتمّ الوزن بميزان دقيق (دقته±0.0000) (Albiski *et al.,* 2012). أُخذت البيانات بعد 36 يوماً من الزراعة. كُرّرت التجربة مرتين وبمعدل 18 مكرراً للمعاملة.

التصميم التجريبي والتحليل الإحصائي

تمّ اتباع التصميم العشوائي التام (RCD)، وحلّلت النتائج باستخدام برنامج XLSTAT وأُجري تحليل التباين باتجاهين وفق اختبار Fisher، وتمّت مقارنة النتائج بحساب قيمة أقلّ فرق معنوي بين القيم (LSD) عند مستوى احتمال 1%. أجري التحليل العنقودي لتحديد تحمل الأصناف للرشاحة الفطرية (Vreugdenhil *et al*., 2007) بناءاً على مجموعة القيم النسبية للمؤشرات المدروسة التالية:

$$RV_{SY-C.n} = \sum \left(\frac{S_{p1 \to p9} * 100}{C_{p1 \to p9}} \right)$$

حيث $RV_{SY-C.n}$ مجموع القيم النسبية الخاصة بالصنف، $S_{p1 \to p9}$ قيمة المؤشر المدروس في النبات المعرّض للإجهاد، $C_{p1 \to 9}$ قيمة المؤشر في النبات الشاهد.

النتائج والمناقشة

أكّدت النتائج المتحصّل عليها جدوى استخدام تقنية الغربلة أو الانتخاب في المختبر *In vitro* لتحديد أصناف وراثية متحملة لمرض ما باستخدام رشاحة الممرض (Frame *et al*., 1991)، حيث تُؤثر السموم الموجودة في الرشاحة على حيوية خلايا النبات الحساس ومعايير نموه المختلفة (Mazher *et al*., 2007؛ Taiz & Zeiger, 2006)، كمتوسط طوله (Wang *et al*., 2014)، ومتوسط عدد أوراقه (Arıcı & Sarı, 2017) ومتوسط مجموع مساحته الورقية (Tomilova *et al*., 2021) ومتوسط عدد جذوره وطولها (Diniz & Oliveira, 2009) ومتوسط وزنه الرطب والجاف؛ وتتباين الأصناف في حساسيتها للرشاحة الفطرية بتباين تركيب وتركيز السموم الفطرية فيها (Diniz & Oliveira, 2009).

تأثير مؤشرات النمو المدروسة برشاحة الفطر *F. oxysporum*. f. sp. *tuberosi* ضمن ظروف المختبر *In vitro*

طول النبات – وضّحت النتائج (جدول 2) وجود فروق معنوية في طول النبات ($P \leq 0.01$) ما بين الأصناف المُجهدة جراء معاملتها بالرشاحة المضافة للوسط MS، حيث انخفض متوسط الطول مع ارتفاع شدّة الإجهاد في كلّ صنف، فكانت أدنى قيمة معنوية له عند المعاملة CF1 (0.539)، وأعلى قيمة في معاملة الشاهد CF0 (11.757 سم) وبفروق معنوية مع بقية المعاملات. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروق

معنوية بين أصناف البطاطا/البطاطس المدروسة، حيث سجّل كلٌّ من الصنفين Toronto و Barcelona أعلى قيمة لمتوسط طول النبات (4.06 سم)، في حين سجل الصنف 7-four– 7 أدنى قيمة (2.293 سم) مع عدم وجود أي فرق معنوي بينهما. أمّا بالنسبة للتفاعل بين معاملات الإجهاد والتفاعل المتبادل بينهما، فقد كان أعلى متوسط للطول في الصنف Toronto (15.292 سم) عند معاملة الشاهد CF0، في حين بقيت قيمة متوسط طول الأصناف Jolya و Ardappel و7-Four-7 (0 سم) عند معاملة CF1.

تعمل سموم الرشاحة على تخريب الغشاء الخلوي للنباتات الحساسة لها (Wang *et al*., 2014)، فتمنع امتصاص وانتقال الماء إلى خلايا أنسجة النبات ممّا يُحدث الإجهاد الحلولي المثبط الأول لنمو الخلايا (Taiz & Zeiger, 2006) ونمو النبات (Lahlou & Ledent, 2005) لإحداثه خللاً شكلياً وبنيوياً وفسيولوجياً للخلايا (Bacon *et al*., 2006؛ Diniz & Oliveira, 2009؛ Ismaiel & Papenbrock, 2015). تقلّل هذه السموم من تحمل النبات للإجهاد بسبب تعطيلها لعمل بعض العناصر المعدنية الصغرى الداخلة في تركيب أنزيمات الأكسدة التي تحدّ من زيادة أنواع الأكسجين النشطة (ROS) الضارة بالخلية (Broadley *et al*., 2012؛ Jian *et al*., 2013)، ممّا يؤدي لتدمير الخلية وموتها بما يفضي إلى تهتك أنسجة الأوعية الناقلة للماء والعناصر المغذية، مما يسبب ضعف أو عدم انتقال الماء الضروري للنبات فيذبل ويموت نتيجة تسمّمه بالرشاحة (Krämer, 2010؛ Wu *et al*., 2008a, 2008b). وتتفق نتائج هذا البحث أيضاً مع ما توصل إليه Wood (1967) من أنّ رشاحة هذا الفطر نفسه قد أثّرت في نمو ونسبة الإنبات وطول الريشة، الجُذير، وكلّ من الوزن الرطب والجاف، لمنعها اصطناع منظمات النمو.

عدد الأوراق – بيّنت النتائج وجود فروق معنوية في متوسط عدد أوراق النبات ($P \leq 0.01$) عند المستويات المختلفة من مُعاملة الرشاحة الفطرية وبين الأصناف، والتفاعل المتبادل بينهما، حيث انخفض عدد الأوراق في كلّ نبات من كل صنف مدروس، وضمن الصنف الواحد بزيادة التركيز في معاملات الإجهاد المطبقة (جدول 3). سُجّلت أدنى قيمة لمتوسط عدد الأوراق في المعاملتين CF1 و CF2 (1.15 و 1.542 ورقة/نبات، على التوالي) بدون فوارق معنوية بينهما، وسجلت أعلى قيمة لمتوسط عدد الأوراق في معاملة الشاهد CF0 (12.959 ورقة/نبات) وبفروق معنوية مع بقية المعاملات. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية بين أصناف البطاطا/البطاطس المدروسة، إلا أنّ الصنف Toronto سجّل أعلى قيمة لمتوسطات عدد الأوراق (5.625 ورقة/ نبات) ولم يوجد بينه وبين الأصناف Joly، Fabula و Barcelona أيّ فرق معنوي، في حين سجّل الصنف 7-Four-7 أدنى قيمة لمتوسط عدد أوراق النبات (2.87 ورقة/نبات) مع وجود فروق معنوية بينه وبين بقية الأصناف. أمّا بالنسبة للتفاعل ما بين الأصناف ومعاملات الإجهاد المختلفة والتفاعل المتبادل بينهما، فقد كان عدد الأوراق الأعلى معنوياً في الصنف Farida عند معاملة الشاهد CF0 (16 ورقة/نبات)، في حين كان الأدنى معنوياً كلّ من الأصناف Joly، Ardappel و7-Four-7 عند المعاملة CF1 (0.625، 0.625 و0.875 ورقة/نبات، على التوالي).

جدول 2. تأثير معاملات الإجهاد الأحيائي الناتج عن تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية (CF) في طول النبات.

Table 2. Effect of bio-stress treatments of different concentrations of the cultural filtrate of *Fusarium oxysporum*. f. sp. *tuberosi* on plant height.

متوسط الأصناف Mean of Varieties	طول النبات (سم) Plant height							الأصناف Varieties
	معاملات تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية Treatments of diff. conc. of cultural filtrate (CF)							
	CF6	CF5	CF4	CF3	CF2	CF1	CF0	
2.733	1.96 klmnop	2.58 jklm	1.63 lmnopq	0.66 qrstu	0.60 qrstu	0.00 u	11.71 c	Joly
2.826	1.96 klmnop	3.03 ijk	1.63 lmnopq	1.51 mnopqrs	1.08 opqrstu	0.40 rstu	10.19 d	Farida
2.315	1.94 klmnop	2.94 jk	1.63 lmnopq	0.66 qrstu	0.60 qrstu	0.00 u	8.45 e	Ardappel
4.024	4.20 ghi	5.00 fg	3.38 hij	1.19 opqrstu	1.00 opqrstu	1.00 opqrstu	12.41 bc	Suria
2.293	1.58 mnopqr	2.60 jklm	0.63 qrstu	0.54 qrstu	0.39 rstu	0.00 u	10.33 d	7-four-7
3.398	2.53 jklm	3.03 ijk	2.03 klmno	1.44 mnopqrs	1.06 opqrstu	0.78 pqrstu	12.92 b	Nectar
3.075	2.44 jklmn	3.06 hijk	1.49 mnopqrs	1.24 opqrst	0.34 stu	0.21 tu	12.75 bc	Fabula
4.060	4.20 ghi	5.25 fg	3.38 hij	1.19 opqrstu	1.00 opqrstu	1.00 opqrstu	12.41 bc	arcelona
3.584	3.25 hij	4.25 fgh	2.88 jk	1.44 mnopqrs	1.15 opqrstu	1.00 opqrstu	11.13 f	Spunta
4.060	2.78 jkl	4.79 fg	2.00 klmno	1.31 nopqrst	1.25 nopqrst	1.00 opqrstu	15.29 a	Toronto
3.155	3.65 B	2.68 C	2.07 D	1.12 E	0.85 EF	0.54 G	11.76 A	متوسط mean

أقل فرق معنوي عند مستوى احتمل 0.01 للمعاملات= 0.38، للأصناف= 0.45، للتفاعل= 1.29. CV%= 50.7.

القيم التي يتبعها الأحرف نفسها في العمود أو السطر نفسه لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 1%.

$LSD_{0.01}$ for treatments= 0.38, for varieties= 0.45, for Interaction= 1.29. CV%= 50.7

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

كما بيّنت النتائج (جدول 3) أنّ معاملة النباتات بالرشاحة الفطرية خفّضت عدد الأوراق ومنعت من نموها وزيادة مسطحها، وقد توافقت هذه النتائج مع ما تمّ نشره سابقاً (Arıcı & Sarı, 2017؛ Bouizgarne *et al*., 2006a, 2006b؛ Tomilova *et al*., 2021؛ Wu *et al*., 2008a, 2008b). يعزى هذا الانخفاض إلى تراجع امتصاص الماء والعناصر المعدنية المغذية بسبب تهتك الغشاء السيتوبلازمي لخلايا الأوراق وتحلّل خلايا النسيج الميزوفيلي للجذور (Wang *et al*., 2014) كما في الذرة (Arias, 1985)، والتبغ (Barna & Györgyi, 1992)، والبندورة/الطماطم (Gapillout *et al*., 1996)، مما يؤدي لنقص الماء وحدوث الإجهاد المائي المُؤثّر سلباً في عمليات تعضّي وتمايز الخلايا (Hasegawa *et al*., 2000) ويؤدي هذا بدوره لحدوث انخفاض في عدد الأوراق والمسطح الورقي (Deblonde *et al*., 1999).

المساحة الورقية – بيّنت نتائج التحليل الإحصائي (جدول 4) وجود فروق معنوية في النبات ($P\leq0.01$) ما بين مستويات الإجهاد الأحيائي المختلفة للرشاحة الفطرية CF، وما بين الأصناف، والتفاعل المتبادل بينهما. لوحظ وجود تأثير لمعاملات الإجهاد في المساحة الورقية للنبات مع زيادة شدّة الإجهاد المطبّق حسب الصنف، ولوحظ أنّ متوسط المساحة الورقية كان الأعلى معنوياً في معاملة الشاهد CF0 (343.96 مم^2)، وانخفضت المساحة الورقية بازدياد تركيز الرشاحة الفطرية CF في وسط النمو MS، حيث كانت المساحة الورقية الأدنى معنوياً في المعاملة CF1 (22.58 مم^2) وبفروق معنوية مع بقية المعاملات. وقد أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية في قيمة المساحة الورقية بين جميع الأصناف، وتفوق الصنف Toronto (139.45 مم^2) معنوياً على بقية الأصناف، في حين سجّل الصنف7-Four-7 أدنى قيمة (90.83 مم^2). أمّا بالنسبة للتفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد بالرشاحة الفطرية والتفاعل المتبادل بينهما، فقد كانت المساحة الورقية الأعلى معنوياً في الصنف Farida عند معاملة الشاهد CF0 (392.97 مم^2)، وكانت الأدنى معنوياً عند المعاملة CF1 في الصنفين Joly وArdappel (8.73 مم^2)، ثمّ في الصنف 7-Four-7 (12.22 مم^2).

تتوافق نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسات أخرى بينت أنّ إجهاد نبات البطاطا/البطاطس بالرشاحة الفطرية قد أدى إلى خفض عدد الأوراق ومساحتها (Tomilova *et al*., 2021) بسبب حدوث الإجهاد المائي في خلايا النباتات المُعرّضة للإجهاد الأحيائي بالرشاحة الفطرية (Deblonde *et al*., 1999)، حيث انخفضت المساحة الورقية بزيادة تركيز الرشاحة لتقليل السطح المعرّض لأشعة الشمس الذي نتج عنه انخفاض معدل النتح والتمثيل الضوئي assimilation rate وذلك للمحافظة على أكبر كمية من الماء داخل النبات لمساعدته على تحمُّل الإجهاد الواقع عليه (Pillay & Beyl, 1990).

جدول 3. تأثير معاملات الإجهاد الأحيائي بتراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية في عدد أوراق النبات لعدد من أصناف البطاطا/البطاطس.

Table 3. Effect of bio-stress treatments through different concentrations of cultural filtrate (CF) of *Fusarium oxysporum*. f. sp. *tuberosi* on the number of leaves/plant of different potato varieties.

متوسط الأصناف Mean of Variety	عدد الأوراق/النبات Number of leaves/plant — معاملات تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية (CF) Treatments of different concentrations of cultural filtrate (CF)							الأصناف Varieties
	CF6	CF5	CF4	CF3	CF2	CF1	CF0	
5.352A	7.75 hi	6.25 jklm	4.00 qrstu	2.50 vwxyz	1.15 ABC	0.63 c	15.19 a	Joly
5.214AB	5.38 lmnop	4.38 opqrst	3.75 rstuv	3.00 uvwxy	2.36 wxyzA	1.63 zABC	16.00 a	Farida
5.15B	8.75 gh	5.38 lmnop	4.00 qrstu	2.50 vwxyz	1.15 ABC	0.63 C	13.65 b	Ardappel
4.553D	5.63 klmno	5.00 mnopqr	4.50 opqrs	1.86 xyzABC	1.75 yzABC	1.50 zABC	11.62 cde	Suria
2.871E	2.25 xyzAB	1.63 zABC	1.50 zABC	1.25 zABC	1.00 FBC	0.88 C	11.60 de	7-four-7
4.9C	6.88 ijk	4.63 nopqr	3.63 stuvw	3.00 uvwxy	1.75 yzABC	1.50 zABC	12.93 bc	Nectar
5.272A	7.13 ij	6.50 mnop	4.38 opqrst	3.13 tuvwx	1.50 zABC	1.25 zABC	13.03 b	Fabula
5.298A	9.75 fg	5.25 mnopq	4.25 pqrstu	2.50 vwxyz	1.50 zABC	1.00 BC	12.83 bcd	Barcelona
4.588CD	5.88 jklmn	5.00 mnopqr	4.50 opqrs	1.88 xyzABC	1.75 yzABC	1.50 zABC	11.62 cde	Spunta
5.625A	10.88 ef	6.50 ijkl	6.00 jklm	2.38 wxyzA	1.50 zABC	1.00 BC	11.13 e	Toronto
4.882	7.03 B	5.05 C	4.05 D	2.40 F	1.54 G	1.15 G	12.96 A	المتوسط Mean

أقل فرق معنوي عند مستوى احتمل 0.01 للمعاملات= 0.42، للأصناف= 0.5، للتفاعل= 1.32. CV%= 36.4.
القيم التي يتبعها حروف متشابهة في الصف الواحد أو في العمود الواحد لا توجد بينها فروق معنوية عند مستوى احتمال 1%.

$LSD_{0.01}$ for treatments= 0.42, for varieties= 0.5, for Interaction= 1.32. CV%= 36.4.
Values followed by same letters in the same row or same column are not significantly different at P=0.01.

جدول 4. تأثير معاملات الإجهاد الأحيائي من خلال تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية (CF) في المساحة الورقية للنبات.

Table 4. Effect of bio-stress treatments of different concentrations of the cultural filtrate of *Fusarium oxysporum*. f. sp. *tuberosi* on leaves area of the plant.

متوسط الأصناف Mean of varieties	Leaves area (mm^2) المساحة الورقية ($مم^2$) Treatments of cultural filtrate (CF) معاملات الرشاحة الفطرية							الأصناف Varieties
	CF6	CF5	CF4	CF3	CF2	CF1	CF0	
105.24 G	111.10 hijkl	91.91 jklmnop	77.42 mnopqr	43.70 stuvw	24.05 vwx	8.73 x	379.77 ab	Joly
91.32 I	83.34 lmnopq	87.16 lmnop	68.82 nopqrs	51.68 qrstuv	39.11 stuvwx	20.36 vwx	288.78 e	Farida
96.31 H	123.60 ghij	91.91 jklmnop	77.42 mnopqr	43.70 stuvw	24.05 vwx	8.73 x	304.77 de	Ardappel
128.8 B	153.12 g	126.63 ghi	108.33 hijklm	42.19 stuvw	37.91 stuvwx	34.45 tuvwx	333.27 cd	Suria
90.83 J	89.69 klmnop	95.58 ijklmno	62.76 opqrst	45.39 rstuv	23.51 vwx	12.22 wx	306.68 de	7-four-7
114.71 F	135.98 gh	98.42 ijklmn	81.12 lmnopq	61.05 pqrst	38.72 stuvwx	31.32 tuvwx	356.39 bc	Nectar
115.04 E	140.05 gh	122.60 ghijk	80.52 lmnopq	59.97 pqrstu	25.41 vwx	20.26 vwx	356.47 bc	Fabula
119.41 C	200.04 f	110.21 hijklm	85.88 lmnop	52.58 qrstuv	38.04 stuvwx	27.7 uvwx	387.18 ab	arcelona
118.52 D	146.87 g	126.63 ghi	108.33 hijklm	42.19 stuvw	37.91 stuvwx	34.45 tuvwx	333.27 cd	Spunta
139.45 A	211.08 f	133.75 gh	121.73 ghijk	52.63 qrstuv	36.43 stuvwx	27.53 uvwx	392.97 a	Toronto
111.96	139.49 C	108.48 D	87.23 E	49.51 F	32.51 G	22.58 G	343.96 B	المتوسط mean

أقل فرق معنوي عند مستوى احتمل 0.01 للمعاملات= 10.49، للأصناف= 12.54، للتفاعل= 33.17. CV%= 39.8.

القيم التي يتبعها حروف متشابهة في الصف نفسه أو في العمود نفسه لا توجد بينها فروق معنوية عند مستوى احتمال 1%.

$LSD_{0.01}$ for treatments= 10.49, for varieties= 12.54, for Interaction= 33.17. CV%= 39.8.

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

عدد الجذور – بيّنت نتائج التحليل الإحصائي (جدول 5) وجود فروق معنوية في النبات ($P\leq0.01$) بين مستويات الإجهاد المختلفة من الرشاحة الفطرية (CF) وبين الأصناف والتفاعل المتبادل بينهما، حيث لوحظ وجود تأثير سلبي كبير لمعاملات الإجهاد الأحيائي في عدد الجذور ونموها في النبات مع زيادة شدة الإجهاد المطبق حسب الصنف، فقد انخفض متوسط عدد الجذور كثيراً عند زيادة تراكيز الرشاحة الفطرية، حيث كان عدد الجذور الأدنى معنوياً في المعاملات CF1، CF2، CF3 وCF4 (0.00 جذر/نبات) مع عدم وجود فروق معنوية بينها وبين بقية المعاملات ما عدا الشاهد، حيث كان متوسط عدد الجذور الأعلى معنوياً في معاملة CF0 (6.442 جذر/نبات). أظهرت نتائج التحليل الإحصائي عدم وجود فروق معنوية ما بين أصناف البطاطا/البطاطس المدروسة، حيث سجل الصنف Nectar أدنى قيمة لعدد الجذور (0.688 جذر/نبات)، في حين سجل الصنف Farida أعلى قيمة لعدد الجذور (1.161 جذر/نبات). أمّا بالنسبة للتفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد المختلفة والتفاعل المتبادل بينهما، فقد كان عدد الجذور الأعلى معنوياً في الصنف Nectar لمعاملة الشاهد CF0 (8.125 جذر/نبات)، بينما كان العدد الأدنى للمعاملات CF1، CF2، CF3 وCF4 (0.00 جذر/نبات) لكل الأصناف ولم يكن بينها أيّ فرق معنوي،

وتوافقت هذه النتائج مع ما نشر سابقاً (Arıcı, 2006؛ Arıcı & El-Sayeed *et al*., 2002؛ Bouizgarne *et al*., 2006a, 2006b؛ Sarı, 2017؛ Wu *et al*., 2008a, 2008b) والذي بيّن أنَّ استجابة النبات للإجهاد الحيوي الناجم عن الإجهاد بالرشاحة الفطرية CF تبدأ بتغيرات شكلية وفيزيولوجية في الجذور فتؤدّي إلى تغيرات سلبية في امتصاص الماء والعناصر المعدنية وإنتاج الهرمونات المسؤولة عن إرسال الإشارات إلى المجموع الخضري، وبالتالي تتأثر كامل العمليات الحيوية والفيزيولوجية والاستقلابية في النبات (El-Sayeed *et al*., 2002؛ Kang & Zhang, 2004؛ Mazher *et al*., 2007). يسبب الإجهاد بالرشاحة الفطرية CF انخفاضاً في نمو المجموع الجذري يؤدي إلى انخفاض المحتوى الحلولي للأنسجة، وبالتالي انخفاضاً في ضغط انتباج الخلية الذي يعمل على الحدّ من النمو والاستطالة (Taiz & Zeiger, 2006) ، وعليه، يعدّ النبات متحملاً لأيّ نوع من الإجهادات إذا طوَّرَ مجموعاً جذرياً قوياً تحت تأثير هذا الإجهاد (Rzepka-Plevnes *et al*., 2008). تمّ تسجيل هذه التأثيرات في الأصناف المدروسة في هذا البحث وبخاصةٍ عند الأصناف Suria، Barcelona وToronto الأكثر تحملاً للإجهاد تحت تأثير المعاملتين CF5 وCF6 مقارنة ببقية الأصناف، بينما تأثرت جذور الأصناف الحساسة كثيراً بسموم الرشاحة الفطرية CF (جدول 5). مما يعني أهمية إدخال الرشاحة الفطرية في الغربلة لتحديد الأصناف الحساسة ومتوسطة الحساسية والمتحملة لسموم الفطر المدروس.

طول الجذورٌ – بيّنت نتائج التحليل الإحصائي (جدول 6) وجود فروق معنوية في النبات ($P\leq0.01$) عند استخدام مستويات الإجهاد المختلفة من الرشاحة الفطرية على الأصناف والتفاعل المتبادل بينهما، حيثُ لوحظ تأثير معاملات الاجهاد الأحيائي في طول الجذور في النبات مع زيادة شدة الإجهاد المطبق حسب الصنف، فقد كان متوسط طول

الجذور الأعلى معنوياً في معاملة الشاهد CF0 (6.409 سم)، وانخفض طول الجذور بازدياد تركيز الرشاحة الفطرية في وسط النمو، حيث كان متوسط طول الجذور الأدنى معنوياً في المعاملة CF1 (0.0 سم) مع عدم وجود فروق معنوية بينها وبين المعاملات CF2، CF3 وCF4 (0.0 سم). وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية في طول الجذور بين أصناف البطاطا/البطاطس المدروسة، حيث تفوقت الأصناف Toronto، Suria وBarcelona معنوياً على باقي الأصناف (1.229، 1.199 و1.199 سم، على التوالي)، في حين سجل الصنف Nectar أدنى قيمة (0.54 سم). أمّا بالنسبة للتفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد الأحيائي المطبقة والتفاعل المتبادل بينهما، فقد كان متوسط طول الجذور الأعلى معنوياً في الصنف Torontoعند معاملة الشاهد CF0 (8.291 سم)، في حين كان متوسط طول الجذور الأدنى معنوياً عند المعاملات CF1، CF2، CF3 وCF4، وقيمته 0 سم لجميع الأصناف.

جدول 5. تأثير معاملات الإجهاد الأحيائي من خلال استخدام تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية (CF) على عدد جذور النبات.

Table 5. Effect of bio-stress treatments of different concentrations of the cultural filtrate (CF) of *Fusarium oxysporum*. f. sp. *tuberosi* on number of plant roots.

متوسط الأصناف Mean of varieties	عدد الجذور/النبات Number of roots/plant							الأصناف Varieties
	معاملات الرشاحة الفطرية Treatments of Cultural filtrate (CF)							
	CF6	CF5	CF4	CF3	CF2	CF1	CF0	
0.875 CD	0.000 f	0.000 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	6.125 d	Joly
1.161 A	0.000 f	0.000 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	8.125 a	Farida
0.875 CD	0.000 f	0.000 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	6.125 d	Ardappel
1.009 AB	0.500 f	0.125 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	6.441 cd	Suria
0.986 BC	0.000 f	0.000 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	6.900 bc	7-four-7
0.688 DE	0.000 f	0.000 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	4.819 e	Nectar
0.955 BC	0.000 f	0.000 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	6.688 cd	Fabula
1.009 AB	0.500 f	0.125 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	6.441 cd	Barcelona
1.06 AB	0.000 f	0.000 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	7.417 b	Spunta
0.817 CD	0.375 f	0.000 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	0.00 f	5.344 e	Toronto
0.944	0.138 C	0.025 C	0.00 D	0.00 D	0.00 D	0.00 D	6.442 B	متوسط mean

أقل فرق معنوي عند مستوى احتمل 0.01 للمعاملات= 0.20، للأصناف= 0.24، للتفاعل= 0.64. CV%= 91.5.
القيم التي يتبعها حروف متشابهة في الصف نفسه أو العمود نفسه لا توجد بينها فروق معنوية عند مستوى احتمال 1%.

$LSD_{0.01}$ for treatments= 0.20, for varieties= 0.24, for Interaction= 0.64. CV%= 91.5.
Values followed by same letters in the same row or same column are not significantly different at P=0.01.

جدول 6. تأثير معاملات الإجهاد الأحيائي من خلال تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية (CF) على طول جذور النبات.

Table 6. Effect of bio-stress treatments by different concentrations of the cultural filtrate (CF) of *Fusarium oxysporum*. f. sp. *tuberosi* on the length of plant roots.

متوسط الأصناف Mean of varieties	طول جذور النبات (سم) Plant roots length (cm)							الأصناف Varieties
	معاملات الرشاحة الفطرية Treatments of Cultural Filtrate (CF)							
	CF6	CF5	CF4	CF3	CF2	CF1	CF0	
0.847 B	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	5.931cd	Joly
0.580 BC	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	4.062e	Farida
0.847 B	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	5.931cd	Ardappel
1.199 A	0.188 j	0.250 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	8.179a	Suria
1.101 A	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	7.710ab	7-four-7
0.540 C	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	3.779e	Nectar
0.754 B	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	5.281d	Fabula
1.199 A	0.188 j	0.250 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	8.179a	Barcelona
0.964 AB	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	6.75bc	Spunta
1.229 A	0.375 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	0.000 j	8.291a	Toronto
0.926	0.069 B	0.005 B	0.000 B	0.000 B	0.000 B	0.000 B	6.409A	المتوسط mean

أقل فرق معنوي عند مستوى احتمل 0.01 للمعاملات= 0.33، للأصناف= 0.39، للتفاعل= 1.03. CV%= 149.2.
القيم التي يتبعها حروف متشابهة في الصف نفسه أو العمود نفسه لا توجد بينها فروق معنوية عند مستوى احتمال 1%.

$LSD_{0.01}$ for treatments= 0.33, for varieties= 0.39, for Interaction= 1.03. CV%= 149.2.
Values followed by same letters in a row or a column are not significantly different at (LSD at P<0.01).

توافقت نتائج هذا البحث مع نتائج دراسات سابقة (Arıcı, 2006؛ Bouizgarne *et al*., 2006a, 2006b؛ Arıcı & Sarı, 2017؛ El-Sayeed *et al*., 2002؛ Wu *et al*., 2008a, 2008b) والتي بيّنت أنّ إضافة تراكيز عالية من الرشاحة الفطرية (CF) إلى وسط النمو أدت إلى تخريب بنية جُدُر خلايا الأوعية الغربالية الناقلة في النبات، وإلى تغيرات شكلية وفيزيولوجية في الجذور، وانخفاض ضغط الانتاج لنقص المحتوى المائي الخلوي، وتراجع معدل استطالة الخلايا ونمو النبات (Mazher *et al*., 2007؛ Taiz & Zeiger, 2006)، وبيّنت دراسات أخرى أنّ تعرّض النبات لجرعات عالية من الرشاحة الفطرية في وسط MS تؤدّي إلى ضعف امتصاص الماء وإنتاج منظمات نمو مسؤولة عن إرسال إشارات إلى المجموع الخضري بما يؤثر على بقية العمليات الفيزيولوجية داخل الخلايا (El-Sayeed *et al*., 2002). كذلك تتوافق هذه الدراسة مع أبحاث أُخرى أظهرت أنّ التراكيز المرتفعة من حمض الفيوزاريك Fusaric Acid السام الموجود في الرشاحة الفطرية بمستوياتٍ أعلى من 1.0 ميلي مول قد أدّت لِقصَر الجذور وزيادة عددها وتسريع شيخوختها (Diniz & Oliveira, 2009)، حيث تؤثر سموم الرشاحة في عمليات أكسدة الفوسفور واصطناع الطاقة ATP اللازمة لنمو الخلايا (Arias, 1985).

الوزن الرطب للنبات – بيّنت نتائج التحليل الإحصائي (جدول 7) وجود فروق معنوية في النبات ($P \leq 0.01$) عند استخدام مستويات الإجهاد المختلفة من الرشاحة الفطرية على عدد من أصناف البطاطا/البطاطس والتفاعل المتبادل بينهما. لوحظ وجود تأثير لمستويات الإجهاد على الوزن الرطب للنبات مع زيادة شدة الإجهاد المطبق حسب الصنف، حيث تبيّن أنّ متوسط الوزن الرطب كان الأعلى معنوياً في معاملة الشاهد CF0 (0.3325 غ)، وانخفض بازدياد تركيز الرشاحة CF في وسط النمو MS، حيث كان الوزن الرطب الأدنى معنوياً في المعاملة CF1 (0.0222 غ). أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية بين أصناف البطاطا/البطاطس المدروسة، حيث تفوق الصنف Toronto معنوياً على باقي الأصناف بقيمة مقدارها 0.1118 غ، في حين سجل الصنف 7-four-7 أدنى قيمة (0.0616 غ)، أما بالنسبة لبقية الأصناف المدروسة فقد لوحظ وجود فروق معنوية فيما بينها. وبالنسبة للتفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد بالرشاحة الفطرية والتفاعل المتبادل بينهما، فقد كان الوزن الرطب الأعلى معنوياً في الصنف Barcelona لمعاملة الشاهد CF0 (0.5676 غ)، في حين كانت القيمة الأدنى معنوياً في الصنفين Joly و Ardappel للمعاملة CF1 (جدول 7).

توافقت النتائج التي حصلنا عليها مع نتائج دراسات أخرى (Arıcı, 2006؛ Arıcı & Sarı, 2017؛ Bouizgarne *et al*., 2006a, 2006b؛ Wu *et al*., 2008a, 2008b)، حيث بيّنت النتائج أنّ جميع معاملات الرشاحة الفطرية أدّت لخفض قيمة الوزن الرطب، وكذلك انخفاض مؤشرات النمو كطول وعدد أوراق النبات، وطول وعدد جذوره، ومجموع المساحة الورقية لكل نبات، والعمليات الفيزيولوجية (Deblonde *et al*., 1999؛ Lahlou & Ledent, 2005).

جدول 7. تأثير معاملات الإجهاد الأحيائي، من خلال تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية (CF)، في الوزن الرطب لأصناف مختلفة من البطاطا.
Table 7. Effect of bio-stress treatments by different concentrations of the cultural filtrate (CF) of *Fusarium oxysporum*. f. sp. *tuberosi* on the fresh weight of different potato varieties.

متوسط الأصناف Mean of varieties	الوزن الرطب للنبات (غ) Plant fresh weight (g)							الأصناف Varieties
	معاملات الرشاحة الفطرية Treatments of cultural filtrate (CF)							
	CF6	CF5	CF4	CF3	CF2	CF1	CF0	
0.082 C	0.064 hijklmn	0.051 ijklmno	0.051 ijklmno	0.048 jklmno	0.020 mno	0.016 o	0.3233cd	Joly
0.082 C	0.097 ghi	0.057 hijklmno	0.050 ijklmno	0.046 jklmno	0.022 mno	0.018 no	0.2820de	Farida
0.073 CD	0.085 ghij	0.051 ijklmno	0.051 ijklmno	0.048 jklmno	0.020 mno	0.016 o	0.2421e	Ardappel
0.107 B	0.097 ghi	0.085 ghij	0.068 hijklm	0.031 lmno	0.030 lmno	0.026 lmno	0.4116b	Suria
0.062 C	0.063 hijklmno	0.053 ijklmno	0.046 jklmno	0.033 klmno	0.030 lmno	0.024 lmno	0.1824f	7-four-7
0.078 CD	0.070 hijkl	0.066 hijklmn	0.042 jklmno	0.034 lmno	0.026 lmno	0.022 mno	0.2830de	Nectar
0.088 C	0.081 hijk	0.052 ijklmno	0.042 jklmno	0.035 klmno	0.025 lmno	0.023 lmno	0.3585c	Fabula
0.108 B	0.102 gh	0.085 ghij	0.068 hijklm	0.031 mno	0.030 lmno	0.026 lmno	0.4116b	Barcelona
0.087 C	0.130 g	0.056 hijklmno	0.047 jklmno	0.043 jklmno	0.039 jklmno	0.032 lmno	0.2631e	Spunta
0.1118A	0.057 hijklmno	0.047 jklmno	0.0394jklmno	0.0277lmno	0.024 lmno	0.021 mno	0.5676a	Toronto
0.0877	0.0846 B	0.0602 C	0.0504 CD	0.0376 D	0.0265 D	0.0222 D	0.3325A	المتوسط mean

أقل فرق معنوي عند مستوى احتمل 0.01 للمعاملات= 0.0152، للأصناف= 0.0182، للتفاعل= 0.0482. CV%= 73.8.
القيم التي يتبعها حروف متشابهة في الصف نفسه أو العمود نفسه لا توجد بينها فروق معنوية عند مستوى احتمال 1%.
$LSD_{0.01}$ for treatments= 0.0152, for varieties= 0.0182, for Interaction= 0.0482. CV%= 73.8.
Values followed by same letters in the same row or same column are not significantly different at P=0.01.

الوزن الجاف – بيّنت نتائج التحليل الإحصائي (جدول 8) وجود فروق معنوية في النبات ($P\leq0.01$) بين مستويات الإجهاد المختلفة من الرشاحة الفطرية وبين الأصناف والتفاعل المتبادل بينهما. لوحظ تأثير معاملات الإجهاد في وزن النبات الجاف مع زيادة شدة الإجهاد المطبق حسب الصنف، فقد كان متوسط الوزن الجاف الأعلى معنوياً في معاملة الشاهد CF0 (0.0406غ)، وانخفض بازدياد تركيز الرشاحة الفطرية في وسط الزرع MS، فكان الأدنى معنوياً في المعاملة CF1 (0.0048غ) وبفروق معنوية مع بقية المعاملات. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية في الوزن الجاف بين الأصناف المدروسة، حيث تفوق الصنف Toronto معنوياً على بقية الأصناف (0.0212 غ)، في حين سجّل كلّ من الصنفين 7-Four-7 وArdappel أدنى قيمة (0.0099 غ) وبفروق معنوية عن بقية الأصناف، أمّا بالنسبة للتفاعل ما بين الأصناف ومعاملات الإجهاد المختلفة والتفاعل المتبادل بينهما، فقد كان الوزن الجاف الأعلى معنوياً في الصنف Toronto عند معاملة الشاهد CF0 (0.0862 غ)، في حين كان الوزن الأدنى في الصنف 7-Four-7 لمعاملة CF1 (0.0027 غ).

يُعدّ الوزن الجاف المرتفع صفة مرغوبة في النباتات وهي مرتبطةٌ بتحمل النبات لأيّ نوع من الإجهادات، وقد أشيرَ إلى وجود علاقة وثيقة بين تراكم المادة الجافة في النبات ومقدرته الإنتاجية تحت ظروف الإجهاد، ويتوافق هذا مع ما خلصت إليه هذه الدراسة، حيث كان متوسط قيمة الوزن الجاف للصنف الأكثر تحملاً Toronto هي الأعلى، بينما كانت أدناها للصنف 7-Four-7 الأكثر حساسية لرشاحة الفطر (جدول 8). كما توافقت النتائج مع ما توصل إليه Wood (1967) الذي بيّن فيها أنّ للرواشح الفطرية السامّة تأثيرٌ ضار في الإنبات ونمو النبات المصاب ووزنه الجاف، نتيجة منعها لعملية اصطناع منظمات النمو والاستطالة وتشكل الجذور ونموها.

كما بيّنت دراسات أخرى أنّ جميع معاملات الرشاحة الفطرية أدّت إلى خفض قيمة الوزن الرطب والجاف للنبات وذلك لانخفاض معظم مؤشرات النمو (Lahlou & Ledent, 2005)، وقد أشير إلى أنّ تراجع مساحة المسطح الورقي الفاعلة في عملية التمثيل الضوئي يقلّل من تركيز وتثبيت CO_2 في حلقة إرجاع الكربون الثلاثية المتاح ضمن الصانعات الخضراء، مما يؤدي إلى نقص الوزن الجاف عموماً.

جدول 8. تأثير معاملات الإجهاد الأحيائي، من خلال تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية (CF)، في الوزن الجاف لعدد من أصناف البطاطا/البطاطس.
Table 8. Effect of bio-stress by different concentrations of the cultural filtrate (CF) of *Fusarium oxysporum*. f. sp. *Tuberosi on the dry weight of different potato varieties.*

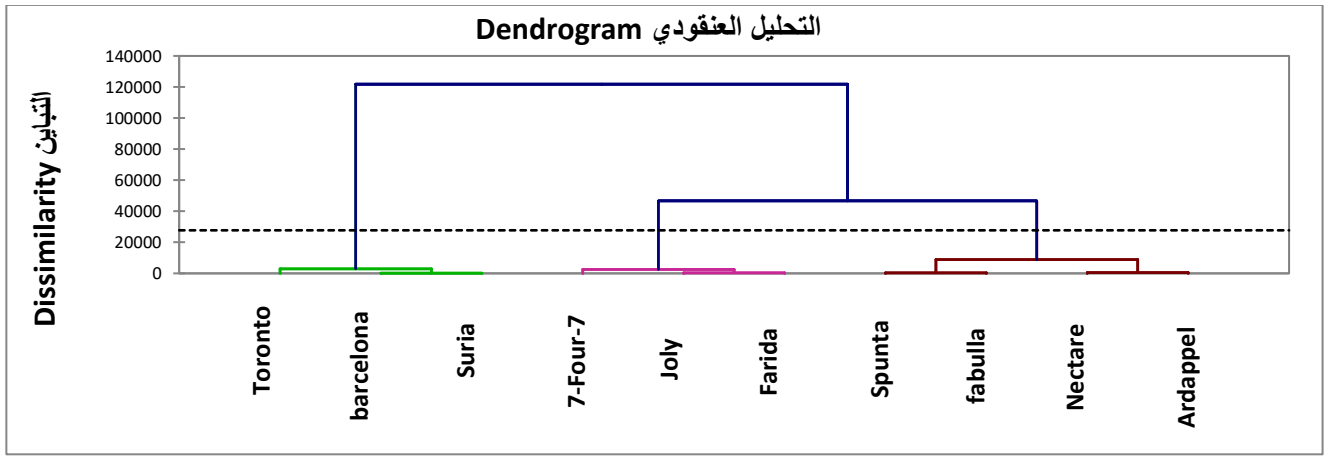
متوسط الأصناف Mean of varieties	الوزن الجاف للنبات (غ) Dray weight معاملات الرشاحة الفطرية Treatments of cultural filtrate (CF)							الأصناف Varieties
	CF6	CF5	CF4	CF3	CF2	CF1	CF0	
0.0117 CD	0.0102 hijklmnopq	0.0093 jklmnopqrs	0.0093 jklmnopqrs	0.0081 klmnopqrstu	0.0061 nopqrstu	0.0041 rstu	0.0349 c	Joly
0.0113 CD	0.0178 ef	0.0091 fghijkl	0.0102 hijklmnopq	0.0097 ijklmnopqr	0.0077 klmnopqrstu	0.0039 stu	0.0210 e	Farida
0.0099 D	0.0112 ghijklmno	0.0093 jklmnopqrs	0.0093 jklmnopqrs	0.0081 klmnopqrstu	0.0061 nopqrstu	0.0041 rstu	0.0212 e	Ardappel
0.0158 B	0.0157 efgh	0.0139 fghij	0.0125 fghijk	0.0087 jklmnopqrst	0.0069 klmnopqrstu	0.0054 pqrstu	0.0473 b	Suria
0.0099 D	0.0092 jklmnopqrs	0.0076 klmnopqrstu	0.0065 lmnopqrstu	0.0058 opqrstu	0.0041 rstu	0.0027 u	0.0334 cd	7-four-7
0.0124 C	0.0150 fghi	0.0116 ghijklmn	0.0077 klmnopqrstu	0.0055 opqrstu	0.0046 qrstu	0.0033 tu	0.0389 c	Nectar
0.0151 B	0.0155 efgh	0.0121 fghijklm	0.0109 ghijklmnop	0.0073 klmnopqrstu	0.0066 lmnopqrstu	0.0053 pqrstu	0.0480 b	Fabula
0.0160 AB	0.0173 ef	0.0139 fghij	0.0125 fghijk	0.0087 jklmnopqrst	0.0069 klmnopqrstu	0.0054 pqrstu	0.0473 b	Barcelona
0.0119 CD	0.0162 efg	0.0081 klmnopqrstu	0.0059 opqrstu	0.0105 hijklmnop	0.0086 jklmnopqrst	0.0064 mnopqrstu	0.0279 d	Spunta
0.0212 A	0.0177 klmnopqrstu	0.0122 jklmnopqrs	0.0088 klmnopqrstu	0.085l mnopqrstu	0.0079 qrstu	0.0071 u	0.0862 a	Toronto
0.0135	0.0146B	0.0107C	0.0094 D	0.0081 DE	0.0065 EF	0.0048 FG	0.0406 A	المتوسط mean

أقل فرق معنوي عند مستوى احتمل 0.01 للمعاملات= 0.0018، للأصناف= 0.0022، للتفاعل= 0.0057. CV% =57.9.
القيم التي يتبعها حروف متشابهة في الصف نفسه أو العمود نفسه لا توجد بينها فروق معنوية عند مستوى احتمال 1%.
$LSD_{0.01}$ for treatments= 0.0018, for varieties= 0.0022, for Interaction= 0.0057. CV%= 57.9.
Values followed by the same letters in the same row or same column are not significantly different at P=0.01.

التحليل العنقودي – أفضى التحليل العنقودي المعتمد على مجموع القيم النسبية لمعايير النمو المدروسة إلى تقسيم أصناف البطاطا/البطاطس المدروسة حسب تحملها للإجهاد الأحيائي بالرشاحة الفطرية، حيث توزعت أصناف البطاطا/البطاطس المدروسة في ثلاث مجموعات مختلفة (شكل 1)، ضمّت المجموعة الأولى ثلاثة أصناف متحملة للإجهاد، وهي: Toronto (أكثرها تحملاً) وBarcelona وSurya؛ وضمّت المجموعة الثانية أربعة أصناف متوسطة التحمل للإجهاد، وهي: Ardappel، Nectar، Fabula وSpunta؛ أمّا المجموعة الثالثة فضمّت ثلاثة أصناف حسّاسة للإجهاد، هي Joly، Farida و7-Four-7 (وهو أكثرها حساسية). وأكدت نتائج البحث أنّ الصنف Spunta متوسط الحساسية، ويتفق هذا مع ما تمّ نشره سابقاً (Ayed *et al*., 2006).

شكر وتقدير

يتقدّم القائمون على هذا البحث بالشكر والتقدير للهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية والهيئة العامة للتقانة الحيوية لتوفيرهما الظروف المادية والمعنوية اللازمة لإتمام البحث.



شكل 1. التحليل العنقودي بناءً على مجموع القيم النسبية لمعايير النمو لعشرة أصناف من البطاطا/البطاطس تحت تأثير تراكيز مختلفة من الرشاحة الفطرية.

Figure 1. Dendrogram based on relative values of growth parameters of ten potato varieties under the effect of different concentrations of cultural filtrate (CF) of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Tuberosi.*

Abstract

Eltinawi, E.A., F. Albiski and J. Faddoul. 2022. Effect of Cultural Filtrate of *Fusarium oxysporum.* f. sp. *tuberosi* in Some Growth Parameters of Ten Potato Varieties (*Solanum tuberosum*) *In vitro.* Arab Journal of Plant Protection, 40(3): 247-259. https://doi.org/10.22268/AJPP-40.3.247259

This study aimed to evaluate the effect of biological stress on some morphological growth parameters of ten potato varieties grown *in vitro*. Biological stress was applied by adding different concentrations of cultural filtrate (CF) of the fungal pathogen *Fusarium oxysporum.* f. sp. *Tuberosum* (0, 5 , 10, 15, 25, 30, 40%) to the MS (Murashigi-Skoog) growth medium. The growth parameters measured were: plant height (cm), number of leaves/plant, leaf area (mm²), number of roots/plant, root length (cm), and plant fresh and dry weight (g). The results showed that the potato varieties investigated differed in their response to the biological stress applied. The cluster analysis based on the sum of the relative values of the studied growth parameters, the potato varieties can be clustered in three different groups: The first group included three tolerant varieties to biological stress, Toronto, Barcelona and Suria; the second group included four moderately sensitive varieties to bio-stress, Fabulla, Nectare, Spunta and Ardappel; the third group included three sensitive varieties, 7-Four-7, Farida and Joly. The results obtained indicated that the *in vitro* screening technology could be used as a fast and efficient way to evaluate genetic variation of tolerance to biological stress in potatoes.

Keywords: Biological stress, cultural filtrate (CF), cluster analysis, mycotoxin, potatoes.

Affiliation of authors: *E.A. Altinawi[1]*, F. Albiski[1] and J. Faddoul[2]. (1) Department of Biotechnology, General Commission for Scientific Agricultural Research, Damascus, Syria, (2) Biotechnology Division, National Commission of Biotechnology (NCBT), Damascus, Syria; (3) Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Damascus University, Syria. *Email address of corresponding author: emademalti66@gmail.com*

References

Beukema, H.P. 1993. A comparison of different seed potato production system. Pages 43-62. In: Seed potato in Bangladesh. M.M. Rasid, A.A. Siddique and M.M. Hussain (eds.). BADC, Dhaka, Bangladesh.

Pillay, I. and C. Beyl. 1990. Early response for drought-resistant and -susceptible tomato plants subjected to water stress. Journal of Plant Growth Regulation, 9: Article number 213. https://doi.org/10.1007/BF02041965

Borras, O., R. Santos, A.P. Matos, R.S. Cabral and M. Arzola. 2001. A first attempt to use a *Fusarium subglutinans* culture filtrate for the selection of pineapple cultivars resistant to fusariose disease. Plant Breeding, 120(5): 435-438. https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2001.00626.x

Bouizgarne, B., H. El-Maarouf-Bouteau, C. Frankart, D. Reboutier, K. Madiona, A.M. Pennarun, M. Monestiez, J. Trouverie, Z. Amiar, J. Briand, M. Brault, J.P. Rona, Y. Ouhdouch, I. El Hadrami and F. Bouteau. 2006a. Early physiological responses of Arabidopsis thaliana cells to fusaric acid: toxic and signaling effects. New Phytologist, 169(1): 209-218. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01561.x

Bouizgarne, B., H. El-Maarouf-Bouteau, K. Madiona, B. Biligui, M. Monestiez, A.M. Pennarun, Z. Amiar, J.P. Rona, Y. Ouhdouch, I. El Hadrami and F. Bouteau. 2006b. A putative role for fusaric acid in biocontrol of the parasitic angiosperm *Orobanche ramosa*. Molecular Plant-Microbe Interactions, 19(5): 550-556. https://doi.org/10.1094/MPMI-19-0550

Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, Z. Rengel and F.J. Zhao. 2012. Function of nutrients: Micronutrients. Chapter 7. Pages 191-248. In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd Edition). Academic Press. Cambridge, MA, USA. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8

Crisan, E.V. 1973. Effects of aflatoxin on seedling growth and ultrastructure in plants. Applied Microbiology, 26(6): 991-1000. https://doi.org/10.1128/am.26.6.991-1000.1973

Daami-Remadi, M. and M. El Mahjoub. 2004. Emergence en Tunisie de *Fusarium oxysporum* f. sp. *tuberosi* agent de flétrissure vasculaire des plants et de pourriture sèche des tubercules de pomme de terre. EPPO Bulletin, 34(3): 407-411. https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2004.00770.x

Deblonde, P., A. Haverkort and J. Ledent. 1999. Responses of early and late potato cultivars to moderate drought conditions. Agronomic parameters and carbon isotope discrimination. European Journal of Agronomy, 11(2): 91-105. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00019-2

Diniz, S.P.S.S and R.C. Oliveira. 2009. Effects of fusaric acid on (*Zea mays* L.) seedlings. Fyton, 78: 155-160.

المراجع

المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية. 2020. قسم الإحصاء، مديرية الإقتصاد الزراعي، وزارة الزراعة، الجمهورية العربية السورية.

*[**Annual Agricultural Statistics Data.** 2020. Statistics Division, Directorate of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture. Syria (In Arabic).]*

Ahmad, R.M., C. Cheng, J. Sheng, W. Wang, H. Ren, M. Aslam and Y. Yan. 2019. Interruption of jasmonic acid biosynthesis causes differential responses in the roots and shoots of maize seedlings against salt stress. International Journal of Molecular Science, 20(24): 6202. https://doi.org/10.3390/ijms20246202

Albiski, F., S. Najla, R. Sanoubar, N. Alkabani and R. Murshed. 2012. In vitro screening of potato lines for drought tolerance. Physiology and Molecular Biology of Plants,18(4): 315-321. https://doi.org/10.1007/s12298-012-0127-5

Albuquerque, L.B., A. Velázquez and R. Mayorga-Saucedo. 2006. *Solanaceae* composition, pollination and seed dispersal syndromes in Mexican Mountain Cloud Forest. Acta Botanica Brasilica, 20(3): 599-613. https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000300010

Anil, V.S., S. Bennur and S. Lobo. 2018. Somaclonal variations for crop improvement: Selection for disease resistant variants *In vitro*. Plant Science Today, 5(2): 44-54. https://doi.org/10.14719/pst.2018.5.2.382

Arias, J.A. 1985. Secretory organelle and mitochondrial alterations induced by fusaric acid in root cells of *Zea mays*. Physiological Plant Pathology, 27(2): 149-158. https://doi.org/10.1016/0048-4059(85)90063-3

Arıcı, Ş.E. 2006. Somaklonal varyasyondan yararlanarak in vitro seleksiyonla buğday (*Triticum aestivum* L.)'da başak yanıklığına (*Fusarium* spp.) dayanıklı bitki elde edilmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 167 pp.

Arıcı, Ş.E. and M. Sarı. 2017. Growth and antioxidant responses of potato (*Solanum tuberosum* L., cv Agria) shoots cultured in vitro under different fusaric acid and boron concentrations. Bitki Koruma Bülteni, 57(1): 73-87.

Ayed, F., M. Daami-Remadi, H. Jabnoun-Khiareddine and M. El Mahjoub. 2006. Effect of Potato Cultivars on Incidence of *Fusarium oxysporum* f.sp. *tuberosi* and its Transmission to Progeny Tubers. Journal of Agronomy, 5(3): 430-434. https://doi.org/10.3923/ja.2006.430.434

Bacon, D.J., D.M. Goldberg, B.T.P. Rowe and A.N. Taylor. 2006. Weak gravitational flexion. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 365: 414–428.

Barna, B. and B. Györgyi. 1992. Resistance of young versus old tobacco leaves to necrotrophs, fusaric acid, cell wall degrading enzymes and autolysis of membrane lipids. Physiological and Molecular Plant Pathology, 40(4): 247-257. https://doi.org/10.1016/0885-5765(92)90075-7

Jian, Y., M. Meredith and B.C. Stack. 2013. Effects of fusaric acid treatment on HEp2 and docetaxel-resistant HEp2 laryngeal squamous cell carcinoma. Chemotherapy, 59(2): 121-128. https://doi.org/10.1159/000353718

Jin, H., J.M. Widholm and G.L. Hartman. 1993. Characterization of phytotoxin(s) involved in sudden death syndrome of soybean. Phytopathology, 83(12): 1343.

Kamle, M., S. Kalim, A. Bajpai, R. Chandra and R. Kumar. 2012. *In vitro* selection for wilt resistance in Guava (*Psidium guajava* L.) cv. Allahabad Safeda. Biotechnology, 11(3): 163-171. https://doi.org/10.3923/biotech.2012.163.171

Kang, S. and J. Zhang. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. Journal of Experimental Botany, 55(407): 2437-2446. https://doi.org/10.1093/jxb/erh249

Krämer, U. 2010. Metal hyperaccumulation in plants. Annual Review of Plant Biology, 61: 517-534. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112156

Lahlou, O. and J.F. Ledent. 2005. Root mass and depth, stolons and roots formed on stolons in four cultivars of potato under Osmotic potential. European Journal of Agronomy, 22(2): 159-173. https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.02.004

Li, J., J. Essemine, C. Shang, H. Zhang, X. Zhu, J. Yu, G. Chen, M. Qu and D. Li. Sun. 2020. Combined proteomics and metabolism analysis unravels prominent roles of antioxidant system in the prevention of alfalfa (*Medicago sativa* L.) against salt stress. International Journal of Molecular Sciences, 21(3): 909. https://doi.org/10.3390/ijms21030909

Mariska, I., E.G. Lestari, M. Komiatin and I. Roostika. 2005. Seleksi in Vitro untuk Mendapatkan Tanaman Pisang Ambon yang Tahan terhadap Penyakit Layu Fusarium. Laporan Rusnas Buah Tropis. Bogor: BB-Biogen dan Pusat Kajian Buah Buahan Tropika IPB.

Mazher, A.M.A., E.M.F. El-Quesni and M.M. Farahat. 2007. Responses of ornamental and woody trees to salinity. World Journal of Agricultural Sciences, 3(3): 386–395.

Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum, 15(3): 473-497.

Nelson, P.E., T.A. Toussoun and R.J. Cook. 1982. Fusarium: disease, biology and taxonomy. Pennsylvania State University Press, University Park and London. 474 pp.

Rzepka-Plevnes, D., D. Kulpa, M. Smolik and M. Główka. 2008. Somaclonal variation in tomato *L. Pennelli* and *L. Peruvianum* f. *glandulosum* characterized in respect to salt tolerance. Journal of Food, Agriculture and Environment, 5(2): 194-201.

Samuel, A.T. and I.T. Valentine. 2014. Effect of total aflatoxin on the growth characteristics and chlorophyll level of sesame (*Sesamum indicum* L.). New York Science Journal, 7(4): 8-13.

Dong, X., N. Ling, M. Wang, Q. Shen and S. Guo. 2012. Fusaric acid is a crucial factor in the disturbance of leaf water imbalance in Fusarium-infected banana plants. Plant Physiology and Biochemistry, 60: 171-179. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.08.004

Durbin, R.D. 1983. The biochemistry of fungal and bacterial toxins and their modes of action. Pages 137-162. In: Biochemical Plant Pathology. J. A. Callow (ed.). John Wiley & Sons, New York.

El-Sayeed, N., H. El-Aref, A. Taghian and M. Hashad. 2002. Molecular genetic markers in tomato somaclones selected for drought tolerance. Assiut Journal of Agricultural Science, 33(5): 159-180.

Frame, B., Y. Kang-Fu, B.R. Christie and K.P. Pauls. 1991. In vitro selection for resistance to Verticillium wilt in alfalfa (*Medicago sativa* L.) using a fungal culture filtrate. Physiological and Molecular Plant Pathology, 38(5): 325-340. https://doi.org/10.1016/S0885-5765(05)80134-1

Gapillout, I., M.L. Milat and J.P. Blein. 1996. Effects of fusaric acid on cells from tomato cultivars resistant or susceptible to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. European Journal of Plant Pathology, 102(2): 127-132. https://doi.org/10.1007/BF01877099

Güçlü, S.F. 2010. Kirazlarda anaçkalem ilişkilerinin biyokimyasal yöntemlerle incelenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 113 pp.

Gutiérrez-Nájera, N., R.A. Muñoz-Clares, S. Palacios-Bahena, J. Ramírez, S. Sánchez-Nieto and J. Plasencia. 2005. Fumonisin B1, a phingoid toxin, is a potent inhibitor of the plasma membrane H + -ATPase. Planta, 221(4), 589-596.

Hasegawa, P.M., R. Bressan, J. Zhu and H.J. Bohnert. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51: 463–99. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.463

Inayati, A. 2003. Seleksi ketahanan in vitro plantlet vanili terhadap *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanilae* menggunakan teknik double layer, kultur filtrat, dan asam fusarat [Thesis]. Gadjah Mada University, Yogyakarta.

Ismaiel, A. and J. Papenbrock. 2015. Mycotoxins: Producing Fungi and Mechanisms of Phytotoxicity. Agriculture, 5: 492-537. https://doi.org/10.3390/agriculture

Jaroszuk-Scisel, J., E. Kurek, K. Winiarczyk, A. Baturo and A. Lukanowski. 2008. Colonization of root tissues and protection against Fusarium wilt of rye (*Secale cereale*) by nonpathogenic rhizosphere strains of *Fusarium culmorum*. Biological Control, 45(3): 297-307. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.03.007

Jestoi, M.N., S. Paavanen-Huhtala, P. Parikka and T. Yli-Mattila. 2008. *In vitro* and *in vivo* mycotoxin production of *Fusarium* species isolated from Finnish grains. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 41: 545-558. https://doi.org/10.1080/03235400600881547

genome: outline and first results to come from the elucidation of the sequence of the world's third most important food crop. American Journal of Potato Research, 86: 417-429. https://doi.org/10.1007/s12230-009-9097-8

Vreugdenhil, D., J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers, M.A. Taylor, D.K.L. MacKerron and H.A. Ross. 2007. Water Availability and Potato Crop Performance. In: Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives, Elsevier, Amsterdam.

Wang, M., N. Ling, X. Dong, X. Liu, Q. Shen and S. Guo. 2014. Effect of fusaric acid on the leaf physiology of cucumber Seedlings. European Journal of Plant Pathology, 138(1): 103-112. https://doi.org/10.1007/s10658-013-0306-4

Wood, R.K.S. 1967. Physiological Plant Pathology. Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburg. 570 pp.

Wu, H-S., W. Bao, D-Y. Liu, N. Ling, R-R. Ying, W. Raza and Q-R. Shen. 2008a. Effect of fusaric acid on biomass and photosynthesis of watermelon seedlings leaves. Caryologia, 61: 258-268. https://doi.org/10.1080/00087114.2008.10589638

Wu, H.S., X.M. Yin, D.Y. Liu, N. Ling, W. Bao, R.R. Ying, Y.Y. Zhu, S.W. Guo and Q.R. Shen. 2008b. Effect of fungal fusaric acid on the root and leaf physiology of watermelon (*Citrullus lanatus*) seedlings. Plant and Soil, 308: 255-266. https://doi.org/10.1007/s11104-008-9627-z

Yang, Y., R. Shi, X. Wei, Q. Fan and L. An. 2010. Effect of salinity on antioxidant enzymes in calli of the halophyte *Nitraria tangutorum* Bobr. Plant Cell, Tissue and Organ. Culture, 102: 387-395.

Yunus, A. 2000. Pengaruh ekstrak *Fusarium moniliforme* terhadap pertumbuhan dan resistensi tanaman tebu terhadap penyakit pokahbung. Agrosains, 2: 1-9.

Singh, V.K. and R. Upadhyay. 2016. Induction of defence responses by fusaric acid Fusarium toxin in tomato plant. Pages 1-22. In: Proceedings of the 6th International Conference on Agriculture, Environment and Biological Sciences, Kuala Lumpur, Malaysia, 21–22 December, 2016.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. Plant physiology. 4th edition. Sinauer Associates Inc. Sunderland, Massachusetts, 60 pp.

Thakur, M., D.R. Sharma and S.K. Sharma. 2002. In vitro selection and regeneration of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) plants resistant to culture filtrate of *Fusarium oxysporum*. f. sp. *dianthi*. Plant Cell Reports, 20: 825-828. https://doi.org/10.1007/s00299-001-0412-1

Tomilova, O.G., N.A. Kryukova, M.V. Efimova, I.S. Kovtun, L.V. Kolomeichuk, V.Y. Kryukov and V.V. Glupov. 2021. Early Physiological Response of Potato Plants to Entomopathogenic Fungi under Hydroponic Conditions. Horticulturae, 7:217. https://doi.org/10.3390/horticulturae7080217

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

Vinocur, B. and A. Altman. 2005. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. Current Opinion in Biotechnology, 16(2): 123-132. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.02.001

Visser, R.G.F., C.W.B. Bachem, J.M. de Boer, G.J. Bryan, S.K. Chakrabati, S. Feingold, R. Gromadka, R.C.H.J. van Ham, S. Huang, J.M.E. Jacobs, B. Kuznetsov, P.E. de Melo, D. Milbourne, G. Orjeda, B. Sagredo and Z. Tang. 2009. sequencing the potato

Received: January 13, 2021; Accepted: April 22, 2022

تاريخ الاستلام: 2021/1/13؛ تاريخ الموافقة على النشر: 2022/4/22