دراسة كفاءة عزلات محلية للنيماتودا الممرضة للحشرات التابعة للجنسين *Steinernema* spp. و *Heterorhabditis* spp. في قتل يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس (*Phthorimaea operculella*)

نورة الصطوف*، محمد عبد الحي وسلوم موسى

قسم وقاية النبات، كلية الهندسة الزراعية، جامعة إدلب، سورية.

*البريد الإلكتروني للباحث المراسل: noura_ahmad_alsattouf@idlib-university.com

الملخص

الصطوف، نورة، محمد عبد الحي وسلوم موسى. 2026. دراسة كفاءة عزلات محلية للنيماتودا الممرضة للحشرات التابعة للجنسين *Steinernema* spp. و *Heterorhabditis* spp. في قتل يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس (*Phthorimaea operculella*). مجلة وقاية النبات العربية، 44(3):370-376. https://doi.org/10.22268/AJPP-001415

تُعدّ فراشة درنات البطاطا/البطاطس(*Phthorimaea operculella* Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae) من أكثر آفات البطاطا/البطاطس ضرراً في العالم، وتصعب مكافحتها لأن اليرقات تتغذى داخلياً على النبات والدرنات. هناك ثمّة حاجة إلى تطوير طرائق مكافحة صديقة للبيئة لإدارة هذه الآفة. تم في هذه الدراسة اختبار حساسية يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس لثمان عزلات محلية من النيماتودا الممرضة للحشرات (EPNs) باستخدام ثلاثة تراكيز (50، 100 و200 طور يافع معدي/مل، عند ثلاثة مستويات من درجات الحرارة (20، 25 و 30°س) تحت الظروف المختبرية. أظهرت النتائج حساسية يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس للعزلات الثمانية عند مستويات درجات الحرارة الثلاث وبنسب متفاوتة، حيث حققت جميع العزلات عند جميع التراكيز وجميع مستويات الحرارة متوسط نسبة موت أعلى من 50%. وهذا يدل على تأثر يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس بشكل كبير بالعزلات المحلية، حيث تراوح متوسط نسبة موت يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس بين 63% عند درجة حرارة 30°س وتركيز 50 طور يافع معدي/مل، إلى 100% عند جميع مستويات درجات الحرارة، وتركيز 200 طور يافع معدي/مل. وكان التفاعل بين العزلات والتراكيز معنوياً عند جميع مستويات درجات الحرارة. كما تبين أن درجة الحرارة المثلى لمعظم العزلات كانت عند 25°س، حيث بلغ متوسط نسبة الموت 97.80، 96.70، 96.70، 95.60، 93.0 و 91.0% لكل من العزلات التابعة لجنس *Steinernema*، وهي RMD، RMF، RMN، RMJ، RMM و RMZ، على التوالي، عند درجة حرارة 25°س، بينما كانت العزلات RMA و RMG التابعة لجنس *Heterorhabditis* حساسة عند درجة حرارة 20°س حيث انخفض متوسط نسبة الموت إلى 86.70 و 83.30%، على التوالي. أما عند درجة حرارة 30°س فكان متوسط نسبة الموت 100%. نستنتج من ذلك أن العزلات التي تنتمي إلى جنس *Steinernema* تفضل درجات الحرارة الباردة والمعتدلة، بينما تفضل العزلات التي تنتمي إلى جنس *Heterorhabditis* درجات الحرارة المرتفعة.

كلمات مفتاحية: فراشة درنات البطاطا/البطاطس، النيماتودا الممرضة للحشرات، الحرارة، متوسط نسبة الموت.

المقدمة

تتعرض نباتات البطاطا/البطاطس في الظروف الحقلية للإصابة بعدد كبير من الآفات الحشرية مثل المنّ ونطاطات الأوراق وغيرها من الآفات الأخرى، وتعدّ فراشة درنات البطاطا/البطاطس (*Phthorimaea operculella* Zeller) الآفة الحشرية الأكثر ضرراً وتتسبب في خسارة درنات البطاطا/البطاطس المخزنة بنسبة من 23 إلى 47% (Kepenekci *et al.*, 2013). ويعدّ طور يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس هو الطور الأكثر ضرراً، حيث أنه كلما زاد عدد اليرقات، زاد الضرر والخسائر التي تلحق بمحصول البطاطا/البطاطس (Alvarez *et al.*, 2005). بالإضافة إلى أنها تهاجم نباتات العائلة الباذنجانية الأخرى مثل البندورة/الطماطم والتبغ والباذنجان والفليفلة/الفلفل في معظم مناطق زراعتها (Kepenekci *et al.*, 2013)، ويشكل الاستخدام المفرط للمبيدات الحشرية مصدر قلق كبير على صحة الإنسان والبيئة، ومن المتوقع أن يتفاقم هذا الأمر بسبب تأثيرات تغير المناخ (Kroschel *et al.*, 2020). تبدأ الإصابة في المخزن في الغالب من خلال الدرنات المصابة التي تم حصادها حديثاً أو من خلال دخول الفراشة إلى مرافق التخزين. تتغذى اليرقات على الدرنات مما يجعلها غير صالحة للتسويق والاستهلاك.

https://doi.org/10.22268/AJPP-001415
© 2026 الجمعية العربية لوقاية النبات Arab Society for Plant Protection

يزداد الضرر بسرعة عندما تتطور عدة أجيال أثناء فترة التخزين حيث أن اليرقات قادرة على التسبب في أضرار للمحصول سواءً في الحقل أو في المخزن (Sharaby & Fallatah, 2019). تهاجم اليرقة درنات البطاطا/البطاطس بطريقتين، الطريقة الأولى حيث تبدأ اليرقات الحديثة الفقس بالحفر بالقرب من العرق الرئيسي للورقة، ومن هذا الموضع تبدأ اليرقة بحفر الأنفاق بين بشرتي الورقة، تكون الأنفاق في البداية صغيرة وبشكل متعرج، ثم تبدأ بالتوسع، وتوجد اليرقة وبرازها داخل النفق، وتؤدي الإصابة الشديدة إلى جفاف الأوراق وموتها (النسر، 2009). تضع الفراشة الملقحة البيض على الأوراق، ثم تنتقل اليرقات إلى الساق، مما يؤدي إلى تفريغ الساق من محتوياتها وجفافها، وإلى ذبول القمم النامية، وعند بداية تشكل الدرنات تقوم الفراشات بوضع البيض على سطح الدرنات المكشوفة كما في المخزن، حيث تضع بيضها على سطح الدرنة وتقوم بحفر نفق يتجه من الأعلى نحو الأسفل. تحفر اليرقات في الدرنات في الحقل وفي المخزن، وتظهر الأعراض من خلال وجود كتل البراز والثقوب في القشرة، وتؤدي هذه الثقوب إلى أنفاق التغذية ذات اللون البني المسود (Rondon & Gao, 2018). من الصعب السيطرة على هذه اليرقات بواسطة المبيدات الكيميائية كونها محمية داخل أنفاق مما يؤدي إلى زيادة تكاليف استخدام المبيدات وما لها من مخاطر على الإنسان والبيئة والتنوع الحيوي، بالإضافة إلى خطر ظهور سلالات حشرية مقاومة للمبيدات (Alvarez *et al*., 2005).

وفي هذا السياق، تؤدي المكافحة الحيوية للحشرة دوراً مهماً في السيطرة على هذه الآفة لأنها آمنة بيئياً. ويعدّ استخدام بعض أنواع النيماتودا المتخصصة كممرضات ضدّ الحشرات من أهم الوسائل الأحيائية (Bale *et al.*, 2008). ورغم قلة الأبحاث عن النيماتودا الممرضة للحشرات في سورية، حيث سجلت أول دراسة عليها عام 2007 (Abdulhai *et al*., 2007)، لكن العديد من الأبحاث حول العالم أكدت على فعالية النيماتودا الممرضة للحشرات، حيث أشارت أبحاث سابقة (Ebrahimi *et al*., 2022) إلى أن فعالية النيماتودا الممرضة للحشرات تساوي فعالية المبيد الكيميائي ألفاسايبرمثرين، كما تم استخدام النيماتودا الممرضة للحشرات في مكافحة يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس في تركيا وذلك باستخدام ثلاث عزلات محلية من النيماتودا الممرضة للحشرات، وعلى وجه الخصوص، سلالة البحر الأسود (*Steinernema carpocapsa*e) التي كان لديها مستوى عالٍ من القدرة على السيطرة على هذه الآفة، حيث بلغ معدل الموت 96% عند درجة حرارة 25°س وتركيز 1000 طور حَدَثْ/ يافع معدي/مل (Kepenekci *et al*., 2013).

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم قدرة ثمان عزلات محلية من النيماتودا الممرضة للحشرات على قتل يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس مختبرياً. ومن ثم تحديد كفاءة أكثر السلالات ضراوة من خلال دراسة نسبة موت يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس.

مواد البحث وطرائقه

تمت دراسة تأثير ثلاث درجات حرارة (20، 25 و 30°س) على إمراضية ثمان عزلات للنيماتودا الممرضة للحشرات من الجنسين *Heterorhabditis* و *Steinernema* والتي حصلنا عليها من عملية الحصر في بساتين وحقول شمال غرب سورية، وهي: RMD، RMF، RMJ، RMM، RMZ و RMN من الجنس *Steinernema*؛ والعزلات RMA و RMG من الجنس *Heterorhabditis*.

تربية النيماتودا الممرضة للحشرات

استُخدِمت يرقات الطور الأخير من دودة الشمع الكبرى (*Galleria mellonella*) لتربية النيماتودا الممرضة للحشرات المستخدمة في التجارب. تم وضع عشر يرقات في طبق بتري قطر 9 سم مبطن بورق ترشيح ومبلل بـ 1 مل بمعلق طور الحدث المعدي للنيماتودا الممرضة للحشرات. أغلق الطبق بالبارافيلم عند درجة حرارة 23–25°س. تم الحصول على أطوار الأحداث المعدية من يرقات دودة الشمع المصابة باستخدام طريقة "مصيدة وايت" (White, 1927). وُضعِت هذه اليرقات في قوارير وحُفظت عند درجة حرارة 10°س. وللحفاظ على حيوية الأطوار المعدية للنيماتودا، تم إعادة عدوى يرقات دودة شمع جديدة كل شهر إلى شهرين، وبالتالي تم تجديد الأطوار المعدية للنيماتودا الممرضة للحشرات.

تحضير تراكيز الطور المعدي لعزلات النيماتودا المحلية في المختبر

أُتبِعت طريقة التخفيف الموصوفة سابقاً (Kaya & Stock, 1997) للحصول على التراكيز المطلوبة من طور الحدث المعدي، حيث تم نقل أفراد طور الحدث المعدي من أطباق العزلة الواحدة إلى كأس مدرج لتحديد حجم المعلق المائي لطور الحدث المعدي (IJs)، بعد ذلك تم أخذ ثلاث قطرات من المعلق المائي بواسطة ماصة دقيقة (كل قطرة 25 ميكروليتر من المعلق النيماتودي)، وضعت على شريحة عدّ زجاجية خاصة لعد النيماتودا. تمَّ عدّ طور الحدث المعدي بوضع الشريحة تحت مجهر ضوئي عند التكبير 10X، أُخذ متوسط القطرات الثلاثة، وحُسب تركيز طور الحدث المعدي باستخدام معادلة تخفيف التركيز وهي:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

حيث: V1= حجم المعلق قبل التخفيف، ويقدر بـ مل، V2= حجم المعلق بعد التخفيف، ويقدر بـ مل، C1= تركيز المعلق قبل التخفيف، ويقدر بـ طور معدي/مل، C2= تركيز المعلق بعد التخفيف، ويقدر بـ طور

معدي/مل. ثم تم تخفيف المعلق بالماء المقطر للحصول على المعدلات المطلوبة.

مصدر يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس

تربية الحشرات: تم جمع درنات البطاطا/البطاطس المصابة بفراشة درنات البطاطا/البطاطس من الأسواق المحلية. وضعت هذه الدرنات ضمن صناديق خشبية ذات أبعاد 20×20×30 سم مزودة بفتحات تهوية. مفروشة بالرمل الناعم. تمّ تزويد هذه الصناديق بالدرنات المصابة بشكل دوري كغذاء لليرقات من أجل استخدامها في دراسة فعالية عزلات النيماتودا الممرضة للحشرات في قتل هذه الآفة (Hassani-Kakhki *et al.*, 2013).

تمت دراسة تأثير درجات حرارة مختلفة (20، 25 و 30°س) في القدرة الإمراضية لبعض عزلات النيماتودا الممرضة للحشرات على يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس. نفذت التجربة في حاضنة مختبرية باستخدام ثلاثة تراكيز (50، 100 و 200) طور حدث معدي/مل، واستخدمت أطباق بتري قطر 9 سم مبطنة بورقة ترشيح، حيث تمّ تحضير التراكيز المطلوبة من عزلات النيماتودا المستخدمة. بعد ذلك تم إضافة 1 مل من معلق النيماتودا المحضر بالتراكيز المطلوبة، ثم وضعت خمس يرقات من فراشة درنات البطاطا/البطاطس في كل طبق بتري، وبعد ذلك تمّ إغلاق الأطباق بالبارافيلم ودونت عليها كامل المعلومات (اسم العزلة، تركيز معلق العزلة، تاريخ التلقيح، درجة الحرارة، رقم المكرر،....) تم عمل ثلاث مكررات من كل عزلة وذلك بالنسبة لكل درجة حرارة وكل تركيز إضافة إلى الشاهد الذي أضيف له الماء بدلاً من معلق النيماتودا.

أُخذِت القراءات بعد يوم، يومين، ثلاثة أيام، ثم بعد 5 أيام وذلك بالنسبة لعدد اليرقات الميتة. بعد ذلك، وُضِعت اليرقات الميتة على مصائد وايت لاستقبال الأطوار المعدية من النيماتودا حيث تم تسجيل نسبة موت يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس.

تمّ اتباع طريقة التصميم العشوائي الكامل في تصميم التجربة وأجري تحليل التباين والمقارنة بين المتوسطات باستخدام اختبار أقل فرق معنوي عند مستوى احتمال 1%.

تمّ حساب نسبة الموت من خلال حساب النسبة المئوية لموت يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس المصححة حسب معادلة أبوت ضمن كل طبق بتري (Abbott, 1925) على الشكل التالي:

$$\text{نسبة الموت \%} = \frac{\text{عدد اليرقات الحية في الشاهد} - \text{عدد اليرقات الحية في المعاملة}}{\text{عدد اليرقات الحية في الشاهد}} \times 100$$

النتائج

أشارت النتائج إلى أن يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس (*P. operculella*) معرضة جداً للإصابة بالنيماتودا الممرضة للحشرات، وتتمتع العزلات بمستوى عالٍ من الإمكانات للسيطرة على هذه الآفة (جدول 1)

أظهرت نتائج الدراسة أن يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس كانت حساسة لجميع العزلات المحلية المختبرة من النيماتودا الممرضة للحشرات التابعة للجنسين Steinernema و Heterorhabditis، مع وجود تباين واضح في متوسط نسبة الموت تبعاً للعزلة المستخدمة، وتركيز المعلق النيماتودي، ودرجة الحرارة. وقد حققت جميع العزلات، عند التراكيز الثلاثة ودرجات الحرارة الثلاث المختبرة، متوسطات موت تجاوزت 50%، مما يدل على امتلاك هذه العزلات قدرة إمراضية جيدة ضدّ يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس تحت الظروف المختبرية. كما أظهرت النتائج وجود تأثير واضح للتداخل بين العزلة والتركيز ودرجة الحرارة في نسبة موت اليرقات، حيث تراوحت القيم المسجلة بين 63.33% عند استخدام العزلتين RMF و RMZ بتركيز 50 طوراً حدثاً معدياً/مل ودرجة حرارة 30°س، و 100% في عدد من المعاملات، ولا سيما عند التركيز المرتفع (200 طور حدث معدي/مل).

نسبة الموت عند درجة حرارة 20°س

بلغ المتوسط العام لنسبة موت اليرقات 85.10% عند درجة حرارة 20°س. وقد لوحظ أن أعلى نسب الموت سجلت عند التركيز 200 طور حدث معدي/مل، حيث بلغت نسبة الموت 100% عند العزلات RMD، RMF، RMJ، RMM و RMN، مما يشير إلى كفاءة مرتفعة لهذه العزلات عند درجة الحرارة تلك عند استخدام التركيز الأعلى. وفي المقابل، سجلت أقل نسبة موت عند العزلة RMG بتركيز 50 طور حدث معدي/مل، حيث بلغت 70.0%. وعند مقارنة متوسطات العزلات عند هذه درجة الحرارة هذه، تراوح متوسط نسبة الموت بين 76.67% للعزلة RMG و 93.33% للعزلة RMF، وكانت العزلة RMF الأعلى كفاءة، تلتها العزلتان RMJ و RMN بمتوسط موت بلغ 88.89% لكل منهما. وتشير هذه النتائج إلى أن بعض عزلات Steinernema أظهرت أداءً جيداً عند درجة الحرارة المنخفضة نسبيًا، خصوصاً عند زيادة تركيز المعلق النيماتودي.

نسبة الموت عند درجة حرارة 25°س

أما عند درجة حرارة 25°س، فقد ارتفع المتوسط العام لنسبة موت اليرقات إلى 93.80%، وهو أعلى متوسط عام مسجل بين درجات الحرارة الثلاث، مما يدل على أن هذه الدرجة الحرارية كانت الأنسب عموماً لنشاط أغلب

العزلات المختبرة. وقد وصلت نسبة الموت إلى 100% عند العزلات RMD، RMF، RMJ، RMM، RMN وRMZ عند التركيز 200 طور حدث معدي/مل، كما سجلت العزلتان RMD و RMN نسبة موت بلغت 100% عند التركيز 100 طور حدث معدي/مل. وفي المقابل، كان أدنى متوسط موت عند هذه الدرجة الحرارية 80.00%، وسجل عند العزلتين RMG و RMZ بتركيز 50 طور حدث معدي/مل. وعند مقارنة متوسطات العزلات بصرف النظر عن التركيز، سجلت العزلة RMD أعلى متوسط موت بلغ 97.80%، تلتها العزلتان RMF و RMN بمتوسط 96.70% لكل منهما، ثم العزلة RMJ بمتوسط 95.60%، في حين سجلت العزلة RMG أدنى متوسط بلغ 87.80%. ومع ذلك، لم تكن الفروق بين العزلات عند درجة حرارة 25°س معنوية، مما يعكس تقارب كفاءة معظم العزلات عند هذه الدرجة الحرارية.

نسبة الموت عند درجة حرارة 30°س

عند درجة حرارة 30°س، بلغ المتوسط العام لنسبة موت اليرقات 85.69%. وقد تميزت العزلة RMA بكفاءة عالية عند هذه الدرجة، إذ سجلت نسبة موت بلغت 100% عند التراكيز الثلاثة جميعها. كما أظهرت العزلة RMG أداءً مرتفعاً عند التركيزين 100 و 200 طور حدث معدي/مل، حيث بلغت نسبة الموت 100% في كلا التركيزين. في المقابل، سجلت أقل نسبة موت عند العزلتين RMF و RMZ بتركيز 50 طور حدث معدي/مل، وبلغت 63.33%. وعند مقارنة متوسطات العزلات عند درجة حرارة 30°س، سجلت العزلة RMA أعلى متوسط موت بلغ 100%، تلتها العزلة RMG بمتوسط 96.67%، ثم العزلة RMN بمتوسط 95.56%. أما العزلة RMZ فقد سجلت أدنى متوسط موت بلغ 71.11%. وتشير هذه النتائج إلى أن درجة الحرارة المرتفعة كانت أكثر ملاءمةً للعزلات التابعة للجنس Heterorhabditis، وبخاصة RMA و RMG، مقارنة ببعض عزلات Steinernema.

بالنسبة إلى تأثير التركيز، أظهرت النتائج وجود علاقة طردية واضحة بين تركيز النيماتودا الممرضة للحشرات ونسبة موت يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس. فقد حقق التركيز 200 طور حدث معدي/مل أعلى متوسطات الموت عند درجات الحرارة الثلاث، إذ بلغ متوسط الموت 95.42% عند 20°س، و 99.17% عند 25°س، و 91.67% عند 30°س. أما التركيز 50 طور حدث معدي/مل فقد سجل أدنى المتوسطات، حيث بلغت نسبة الموت 76.67% عند 20°س، و 87.50% عند 25°س، و 79.17% عند 30°س. وحقق التركيز المتوسط 100 طور حدث معدي/مل قيماً متوسطة بين التركيزين الآخرين، إذ بلغت نسبة الموت 83.33، 94.58 و 86.25% عند درجات الحرارة 20، 25 و 30°س، على التوالي. وتؤكد هذه النتائج أن زيادة تركيز الأطوار المعدية أدت إلى رفع كفاءة العزلات في إحداث الموت، وإن كانت درجة الاستجابة للزيادة في التركيز قد اختلفت باختلاف العزلة ودرجة الحرارة.

وعند النظر إلى التأثير المشترك للعزلة والتركيز ودرجة الحرارة، يتضح أن أفضل أداء عام قد تحقق عند درجة حرارة 25°س وبتركيز 200 طور حدث معدي/مل، حيث سجلت معظم العزلات نسب موت بلغت 100%. كما أظهرت بعض العزلات كفاءة عالية وثابتة نسبياً عبر أكثر من درجة حرارة، مثل RMN التي سجلت متوسطات مرتفعة عند درجات الحرارة الثلاث، و RMA التي أظهرت تفوقاً واضحاً عند درجة حرارة 30°س. في المقابل، أظهرت بعض العزلات انخفاضاً نسبياً في كفاءتها عند درجة الحرارة المرتفعة، وبخاصةٍ عند التركيز المنخفض، كما لوحظ في العزلتين RMF و RMZ عند 30°س وتركيز 50 طور حدث معدي/مل.

وبصورة عامة، بيّنت النتائج أن العزلات المحلية المدروسة من النيماتودا الممرضة للحشرات ذات قدرة جيدة على قتل يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس، وتأثرت كفاءتها بدرجة الحرارة والتركيز. وكانت درجة الحرارة 25°س هي الأنسب لمعظم عزلات Steinernema، في حين أظهرت عزلات Heterorhabditis، وبخاصةٍ RMA و RMG، كفاءة أعلى عند درجة حرارة 30°س. كما بينت النتائج أن التركيز 200 طور حدث معدي/مل كان الأكثر فاعلية في رفع نسب الموت، مما يجعله التركيز الأفضل ضمن ظروف هذه الدراسة المختبرية. وتدعم هذه النتائج إمكانية استخدام العزلات المحلية الواعدة ضمن برامج المكافحة الحيوية لفراشة درنات البطاطا/البطاطس، بعد استكمال تقييمها تحت ظروف أكثر قرباً من الظروف الحقلية أو ظروف التخزين.

المناقشة

لوحظ من النتائج التي حصلنا عليها في هذه الدراسة (جدول 1) أن تفاعل كل عزلة مع التركيز كان ذو دلالة إحصائية عند كل درجة حرارة، حيث حققت جميع العزلات عند كافة التراكيز وعند درجات الحرارة الثلاثة نسبة موت أعلى من 50%، مما يدل على أن يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس كان شديد التأثر بالعزلات المحلية، حيث تراوح متوسط نسبة موت يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس بين 63% عند 30°س عند تركيز 50 طور حدث معدي/مل إلى 100% عند مستويات الحرارة المختلفة (20، 25 و 30°س) وتركيز 200 طور حدث معدي/مل. كانت نتيجة التفاعل بين العزلة والتركيز معنوية عند كل درجات الحرارة.

جدول 1. متوسط نسبة موت يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس باستخدام تراكيز مختلفة لعدة عزلات من النيماتودا الممرضة للحشرات عند ثلاث درجات حرارة.

Table 1. Average mortality rate of potato tuber moth larvae using different concentrations of several insect-pathogenic nematode isolates at three temperatures.

Temperatures (°C) (°س) درجات الحرارة												
30				25				20				
Nematode suspension concentration (IJs/ml) (طور حدث معدي/مل) تركيز المعلق النيماتودي												
المتوسط Mean	200	100	50	المتوسط Mean	200	100	50	المتوسط Mean	200	100	50	العزلات Isolates
100.00 a	100.00 a	100.0 a	100.0 a	91.10 a	96.70 a	93.30 a	83.30 a	81.11 bc	86.70 ab	80.00 b	76.70 b	RMA
76.67 bc	86.67 ab	76.67 b	66.67 c	97.80 a	100.00 a	100.00a	93.30 a	86.6 abc	100.00 a	86.70 ab	73.30 b	RMD
77.78 bc	90.00 ab	80.00 b	63.33 c	96.70 a	100.00 a	96.70 a	93.30 a	93.33 a	100.00 a	93.30 ab	86.70 ab	RMF
96.67 a	100.00 a	100.0 a	90.00 ab	87.80 a	96.70 a	86.70 a	80.00 a	76.67 c	83.30 ab	76.70 b	70.00 b	RMG
83.33 b	93.33 ab	80.00 b	76.67 b	95.60 a	100.00 a	93.30 a	93.30 a	88.89 ab	100.00 a	86.70 ab	80.00 b	RMJ
84.44 b	90.00 ab	86.67 ab	76.67 b	93.30 a	100.00 a	93.30 a	86.70 a	84.4 abc	100.00 a	80.00 b	73.30 b	RMM
95.56 a	96.67 ab	96.67 ab	93.33 ab	96.70 a	100.00 a	100.0 a	90.00 a	88.89 ab	100.00 a	86.70 ab	80.00 b	RMN
71.11 c	76.67 b	73.33 b	63.33 c	91.10 a	100.00 a	93.30 a	80.00 a	81.11 bc	93.30 ab	76.70 b	73.30 b	RMZ
	91.67 a	86.25 b	79.17 c		99.17 a	94.58 ab	87.50 b		95.42 a	83.33 b	76.67 b	متوسط التراكيز Mean for Conc.
		85.69				93.8				85.1		المتوسط العام Overall average
		4.87				7.93				6.78		$LSD_{0.01}$ للتراكيز $LSD_{0.01}$ for Conc.
7.954		13.77		12.95		22.43		11.07		19.18		$LSD_{0.01}$ الكلي Overall $LSD_{0.01}$
7.3		7.3		10.9		10.9		10.3		10.3		معامل الاختلاف CV%

القيم المتبوعة بأحرف مختلفة توجد بينها فروق معنوية عند مستوى معنوية 1%، وذلك بين العزلات والتراكيز عند كل درجة حرارة.

Values followed by different letters indicate significant differences at 1% significance level, between isolates and concentrations at each temperature.

أكدت أحد دراسات تأثيرات النيماتودا الممرضة للحشرات على فراشة درنات البطاطا/البطاطس (Moawad *et al.*, 2018) أن *S. carpocapsae* و *Heterorhabditis bacteriophora* يسببان قتلاً بنسبة تراوحت بحدود 98–100% وأن هذين النوعين من النيماتودا الممرضة للحشرات فعالان جداً ضدّ فراشة درنات البطاطا/البطاطس. وقد توافقت هذه الدراسة مع دراسة سابقة (Kepenekci *et al.*, 2013) في فعالية *S. carpocapsae*، *S. feltiae* و *H. bacteriophora*، والتي تم اكتشافها في تركيا، ضدّ فراشة درنات البطاطا/البطاطس، حيث تسببت *S. carpocapsae* و *H. bacteriophora*، وفق تلك الدراسة، في معدل قتل يرقات بنسبة 96 و 80%، على التوالي، عند 25°س وتركيز 1000 طور حدث معدي/مل. وكنتيجة للدراسة، وُجِد أن *S. carpocapsae* (عزلة البحر الأسود) لها أعلى تأثير ضد فراشة درنات البطاطا/البطاطس. أشارت ذات الدراسة إلى أن النوع *H. bacteriophora* لديه إمكانات جيدة لمكافحة يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس، بينما في الدراسة الحالية أعطت عزلات النيماتودا الممرضة للحشرات نتائج مشابهة عند التركيز 200 طور حدث معدي/مل ويعود بعض الاختلاف القائم بينهما إلى نوع العزلة وشراستها.

إن أفضل العزلات الواعدة هي تلك التي تملك مدىً حراري واسع وتتأقلم نوعاً ما مع كل درجات الحرارة، كما أن تطور القدرة على الإصابة عند النيماتودا الممرضة للحشرات ومدى توسيع حدود الإصابة يعود بشكل كامل أو جزئي لتطور مستوى نمو البكتيريا – *Photorhabdus Xenorhabdus*المتعايشة معها، وهنا تلعب درجة الحرارة دوراً مهماً في تطور مستوى نمو البكتيريا (El Khoury *et al.*, 2018). ولوحظ أيضاً (جدول 1) أن درجة الحرارة المثلى لمعظم العزلات هي 25°س حيث بلغ متوسط نسبة الموت 97.8، 96.7، 96.7، 95.6، 93.0 و 91.0% عند كل من العزلات التابعة للجنس *Steinernema*: RMD، RMF، RMN، RMJ، RMM، وRMZ، على التوالي، عند حرارة 25°س، في حين أن العزلتين RMA و RMG التابعتان للجنس *Heterorhabditis* كانتا حساستين لدرجة الحرارة 20°س حيث انخفض متوسط نسبة الموت إلى 86.70 و 83.30%، على التوالي، أما عند 30°س فكانت نسبة الموت 100%. نستنتج من ذلك أن العزلات التابعة للجنس *Steinernema* تفضل الحرارة الباردة والمعتدلة في حين أن العزلات التابعة للجنس *Heterorhabditis* تفضل الحرارة المرتفعة، وتتوافق هذه النتيجة مع ما نشر سابقاً (Kung *et al.*, 1991). إن المدى الحراري للنيماتودا ضيق، كما تقل القدرة على إحداث العدوى والموت بارتفاع أو انخفاض درجات الحرارة (Chen *et al.*, 2003). عند اختبار عدة عزلات من النيماتودا الممرضة للحشرات تحت ثلاث درجات حرارة مختلفة (10، 15 و 20°س) كانت *S. feltiae* هي النوع الوحيد الذي

قتل يرقات فراشة الملفوف عند 10°س، كانت *S. carpocapsae*، *S. arenarium* و *H. megidis* فعالة عند 15–20°س بينما قتلت *H. bacteriophora* اليرقة عند 20°س فقط. أثرت درجة الحرارة بشكل كبير على قدرة البحث عن العائل لجميع الأنواع المختبرة، كما أشارت دراسة سابقة (Molyneux *et al.*,1985) أن العزلات التابعة للجنس *Steinernema* يمكن أن تصيب يرقات ذبابة كوبرينا الزرقاء عند درجات حرارة تتراوح بين 2 و30°س، في حين كانت العزلات التابعة للجنس *Heterorhabditids* قادرة على إصابة العائل نفسه في نطاق 7–35°س. كما توافق نتائج هذه الدراسة مع دراسة سابقة (Butuner *et al.*, 2023) حيث وجد أن الطور الأخير من يرقات فراشة البطاطا/البطاطس شديدة التأثر بـ *H. bacteriophora* التي تسببت بموت يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس في معدل موت بنسبة 80% عند حرارة 15 و 20°س عند تركيز 1000 طور حدث معدي/مل. كما أنه عند درجة الحرارة الواحدة فإن متوسط نسبة الموت يزداد بازدياد التركيز لكل عزلة، حيث أن زيادة تركيز النيماتودا الممرضة للحشرات يسبب زيادة في نسبة قتل يرقات فراشة درنات البطاطا/البطاطس (Radhakrishnan *et al.*, 2017).

Abstract

Alsatouf, N., M. Abdulhai and S. Mousa. 2026. Efficiency of Local Isolates of Entomopathogenic Nematodes *Steinernema* spp. and *Heterorhabditis* spp. in Mortality of Potato Tuber Moth (*Phthorimaea operculella*) Larvae. Arab Journal of Plant Protection, 44(3):370-376. https://doi.org/10.22268/AJPP-001415

The potato tuber moth (PTM) *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), is the most damaging potato pest in the world and is difficult to control as the larvae are internal feeders in the plant and tubers. This study aimed to develop an eco-friendly control method for the management of this pest. Accordingly, susceptibility of PTM to eight native isolates of entomopathogenic nematodes (EPNs) was tested using three concentrations 50, 100 and 200 infective juveniles (IJs)/ml at three temperatures (20, 25 and 30°C) under laboratory conditions. The results obtained showed the sensitivity of PTM for the eight isolates at the three temperatures, with different mortality rates. EPN isolates at all concentrations and at the three temperature levels achieved an average mortality rate higher than 50%. This indicates that the fourth instar of potato tuber moth larvae was highly affected by the local isolates. The average mortality rate of potato tuber moth larvae ranged between 63% at 30°C at the concentration of 50 IJ/ml to 100% at temperatures 20, 25 and 30°C and the concentration of 200 IJ/ml. The interaction between isolates and concentrations was significant at all temperature levels. It was shown that that the optimum temperature for most isolates was 25°C, where the average mortality rate reached 97.80, 96.70, 96.70, 95.60, 93.00 and 91.00 for the isolates of genus *Steinernema* RMD, RMF, RMN, RMJ, RMM and RMZ, respectively, at 25°C, whereas the isolates RMA and RMG belonging to the genus *Heterorhabditis* were sensitive at a temperature of 20°C, where the average mortality rate reached 86.70% and 83.30%, respectively, and at 30°C the mortality rate reached 100%. It can be concluded that the isolates belonging to the genus *Steinernema* preferred cold and moderate temperatures, whereas isolates belonging to the genus *Heterorhabditis* preferred high temperatures.

Keywords: Potato tuber moth, entomopathogenic nematodes, temperature, average mortality rate.

Affiliation of authors: *N. Alsatouf*, M. Abdulhai and S. Mousa, Plant Protection Department, Faculty of Agricultural Engineering, Edlib University, Syria. *Email address of the corresponding author: noura_ahmad_alsattouf@idlib-university.com*

المراجع

النسر، حازم عبد الحميد. 2009. دراسة ديناميكية تطور مجتمع حشرة فراشة درنات البطاطا/البطاطس *Phthorimaea operculella* (Zeller, 1873) (Lepidoptera: Gelechiidae) وحصر أعدائها الحيوية في محافظة إدلب. أطروحة دكتوراه، جامعة حلب، سورية. 121 صفحة.

*[**Al-Nasr, H.A.** 2009. Study of the dynamics of the development of the potato tuber moth Phthorimaea operculella (Zeller, 1873) (Lepidoptera: Gelechiidae) community and the identification of its natural enemies in Idlib Governorate. PhD thesis, University of Aleppo, 121 pp. (In Arabic)].*

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

Abdulhai, M., Z. Sayyadi, W. Reid and M. El Bouhssini. 2007. Survey of Syrian soils for entomopathogenic nematodes and initial studies for efficacy against Sunn Pest. Pp. 251-257. *In*: Sunn Pest Management: A Decade of Progress 1994-2004. B.L. Parker, M. Skinner, M. El Bouhssini and S.G. Kumari (eds.). Arab Society for Plant Protection, Beirut, Lebanon. 432 pp.

Alvarez, J.M., E. Dotseth and P. Nolte. 2005. Potato Tuberworm: A Threat for Idaho Potatoes. Current Information Series No. 1125. University of Idaho Extension and Idaho Agricultural Experiment Station, Moscow, ID, USA. 4 pp.

Bale, J.S., J.C. van Lenteren and F. Bigler. 2008. Biological control and sustainable food production. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 363(1492):761-776. https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2182

Bütüner, A.K., M. İlktan and A. Susurluk. 2023. Effects of storage temperature on viability and virulence of entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, 1976 (Rhabditida: Heterorhabditidae), *Steinernema carpocapsae* Weiser, 1955 and *Steinernema feltiae* Filipjev, 1934 (Rhabditida: Steinernematidae). Turkish Journal of Entomology, 47(3):247-257. https://doi.org/10.16970/entoted.1279074

References

Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind. H. Campos and O. Ortiz (eds.). Springer International Publishing, Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_8

Kung, S.P., R. Gaugler and H.K. Kaya. 1991. Effects of soil temperature, moisture and relative humidity on entomopathogenic nematode persistence. Journal of Invertebrate Pathology, 57(2):242-249. https://doi.org/10.1016/0022-2011(91)90123-8

Moawad, S.S., M.M.E. Salah, H.M. Metwally, I.M. Ebadah and Y.A. Mahmoud. 2018. Protective and curative treatments of entomopathogenic nematodes against the potato tuber moth, Phthorimaea operculella (Zell.). Bioscience Research, 15(3):2602-2610.

Molyneux, A.S. 1985. Survival of infective juveniles of Heterorhabditis spp. and Steinernema spp. (Nematoda: Rhabditida) at various temperatures and their subsequent infectivity for insects. Revue de Nématologie, 8(2):165-170.

Radhakrishnan, S., S. Shanmugam and R. Ramasamy. 2017. Bio-control efficacy of entomopathogenic nematodes against black cutworms, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Noctuidae: Lepidoptera), in potato. Chemical Science Review and Letters, 6(21):219-224.

Rondon, S.I. and Y. Gao. 2018. The journey of the potato tuberworm around the world. Pp. 17-52. *In*: Moths: Pests of Potato, Maize and Sugar Beet. F.K. Perveen (ed.). IntechOpen, London, UK. https://doi.org/10.5772/intechopen.81934

Sharaby, A.M. and S.B. Fallatah. 2019. Protection of stored potatoes from infestation with the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), using plant powders. Bulletin of the National Research Centre, 43:79. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0119-5

White, G.F. 1927. A method for obtaining infective nematode larvae from cultures. Science, 66(1709):302-303. https://doi.org/10.1126/science.66.1709.302.b

Chen, S., J. Li, X. Han and M. Moens. 2003. Effect of temperature on the pathogenicity of entomopathogenic nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis* spp.) to *Delia radicum*. BioControl, 48(6):713-724. https://doi.org/10.1023/A:1026341325264

Ebrahimi, L., A. Sheikhigarjan and M. Ghazavi. 2022. Entomopathogenic nematodes for control of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), in infested tubers. International Journal of Pest Management, 1-8. https://doi.org/10.1080/09670874.2022.2058709

El Khoury, Y., M. Oreste, E. Noujeim, N.M. Nemer and E. Tarasco. 2018. Effect of temperature on the pathogenicity of Mediterranean native entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) from natural ecosystems. Redia, 101:123-127. https://doi.org/10.19263/REDIA-101.18.16

Hassani-Kakhki, M., J. Karimi and M. Hosseini. 2013. Efficacy of entomopathogenic nematodes against potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae), under laboratory conditions. Biocontrol Science and Technology, 23(2):146–159. https://doi.org/10.1080/09583157.2012.745481

Kaya, H.K. and S.P. Stock. 1997. Techniques in insect nematology. Pp. 281-324. *In*: Manual of Techniques in Insect Pathology. L.A. Lacey (ed.). Academic Press, San Diego, CA, USA. https://doi.org/10.1016/B978-012432555-5/50016-6

Kepenekci, İ., A. Tülek, M. Alkan and S. Hazır. 2013. Biological control potential of native entomopathogenic nematodes against the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Turkey. Pakistan Journal of Zoology, 45(5):1415-1422.

Kroschel, J., N. Mujica, J. Okonya and A. Alyokhin. 2020. Insect pests affecting potatoes in tropical, subtropical and temperate regions. Pp. 251-306. In: The

Received: October 17, 2024; Accepted: March 6, 2025

تاريخ الاستلام: 2024/10/17؛ تاريخ الموافقة على النشر: 2025/3/6