

دور الفطور الممرضة للحشرات في مكافحة الآفات الزراعية

عبد الناصر تريسي¹، بسام بياعة¹ ومصطفى البوحسيني²

(1) قسم وقاية النبات، كلية الزراعة، جامعة حلب، حلب، سورية، البريد الإلكتروني: bbayaa@gmail.com

(2) المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا)، الرباط، المغرب

المخلص

تريسي، عبد الناصر، بسام بياعة ومصطفى البوحسيني. 2018. دور الفطور الممرضة في مكافحة الآفات الزراعية. مجلة وقاية النبات العربية، 36(3): 176-191.

تعد الفطور الممرضة للحشرات من الأعداء الحيوية المهمة التي تسهم في الحد من انتشار الآفات بأقل تأثيرات سلبية ممكنة في البيئة. تؤدي الإصابة بالفطور الممرضة إلى تدني قدرة العائل الحشري على التغذية، وإلى انخفاض خصوبته ونفوقه. تخترق أبواغ الفطر سطح العائل من خلال الضغط الميكانيكي والإنزيمي، وتجدر الإشارة إلى أن سمية العزلات المختلفة للفطر وقدرتها الإيمراضية تختلف باختلاف العوائل. تسهم الظروف البيئية وبخاصة الحرارة والرطوبة والإشعاع الشمسي بدور مهم في قدرة الفطور الممرضة على العدوى وإنتاج الأبواغ. ويمكن استخدام الفطور الممرضة بعدة طرائق في مكافحة الآفات، كإدخالها في برامج مكافحة طويلة الأمد، أو غمر النباتات بالمرضات الحيوية. كما يمكن أن تعزز سرعة انتشار الفطر ومقدرته على تخفيض مجتمع الآفة من خلال إجراءات الصيانة. وفي الأونة الأخيرة، زاد الاهتمام في العالم العربي بالفطور الممرضة للحشرات، حيث دُرست فاعليتها إزاء عديد من الآفات، وأظهرت فاعلية في مكافحتها في المختبر والحقل، ويات استخدامها ضمن برامج الإدارة المتكاملة من الإجراءات الواعدة.

كلمات مفتاحية: مكافحة حيوية، فطور ممرضة للحشرات، الإدارة المتكاملة للآفات

المقدمة

والتطوري لهذه الفطور (Vega et al., 2009). فندرة المعلومات الأساسية عن الفطور الممرضة للآفات ظاهرة بشكل واضح بالرغم من سيطرتها بشكل كبير على قطاع مكافحة الميكروبية (Lord, 2005).

تصنيف الفطور الممرضة

سجل أكثر من 700 نوع من الفطور الممرضة ضمن مملكة الفطور، وتتبع معظم هذه الأنواع تصنيفياً إلى قسم الفطور الزقية Ascomycota، الزيجية Zygomycota والناقصة Deuteromycota (Roy et al., 2006). وأظهرت الدراسات الخلية والمزرعية مؤخراً أن بعض الأنواع التابعة لقسم الفطور الناقصة في طورها اللاجنسي تنضوي في طورها الجنسي تحت رتبة Hypocreales ضمن الفطور الزقية/الأسكية Ascomycota (Hodge, 2003). أما الفطور الممرضة للآفات التابعة للفطور الزيجية Zygomycota فجلاًها يندرج تحت الرتبة Entomophthorales (جدول 1).

المظهر الخارجي ودورة الحياة

قد يتكون الفطر من خلايا أحادية (الخمائر، الأجسام الهيفية)، وبشكل أعم يتشكل الفطر من الخيوط الفطرية hyphae التي تجتمع لتشكل

شكلت مكافحة الآفات الزراعية باستخدام المرشحات الفطرية خلال الخمسين عاماً الماضية أرضية خصبة للأبحاث العلمية، فقد تم تعريف أكثر من 700 نوع من الفطور الممرضة للآفات تتبع لأكثر من 90 جنساً (Roy et al., 2006). وقد شكلت هذه الأنواع النواة لأكثر من 170 منتج لمكافحة الآفات، تعتمد بشكل أساس على أكثر من 12 نوعاً من الفطور الممرضة (de Faria & Wraight, 2007). وتعد الفطور الممرضة للآفات، بلا ريب، من الأعداء الحيوية المهمة التي تسهم في الحد من انتشار الآفات بأقل تأثيرات سلبية ممكنة في البيئة (Vestergaard et al., 2003). وبالرغم من النجاحات المحدودة التي حققتها تلك المجموعة الصغيرة من الفطور، التي تم تطويرها كعوامل مكافحة أحيائية، إلا أن مقدرتها على توصيف هذه الأعداء بفاعلية يُعتمد عليها في مكافحة الآفات في الحقول لم تصل بعد حد التوقعات المرجوة. ويعود ذلك بشكل جزئي لتغير فاعلية الفطور الممرضة بشكل غير متوقع مقارنة مع المبيدات الكيميائية، وإلى نقص الفهم البيئي

للفطور الناقصة تكون أبواغاً لزجة كما في الفطر (Petch) Zare & *Lecanicillium muscarium* W. Gams (= *Verticillium lecanii*). في حين يحدّد وجود المواد الكارهة للماء في الأبواغ أو سطح العائل، عند معظم الفطور الممرضة التي تشكل أبواغاً جافة، كما في بعض الفطور التابعة لصف الفطور الناقصة، كالفطر *Beauveria bassiana*، مدى قدرتها على الالتصاق. وهنا يمكن الإشارة إلى أن التصاق أبواغ الفطور الممرضة بالعائل ظاهرة غير متخصصة عند بعض الممرضات، ومتخصصة عند بعضها الآخر، وقد يتم التعرف على العائل المناسب من خلال بعض الإشارات الكيميائية أو الشكلية (Hajek & St. Leger, 1994).

كما يمكن أن تثبط قدرة الأبواغ على الإنبات واختراق قشيرة/كيوتيكال العائل عند نقص الرطوبة اللازمة لإنتاش الأبواغ، والإخفاق في استخدام العناصر الغذائية المتاحة على سطح العائل، أو غياب بعض العوامل اللازمة للتعرف على العائل المناسب أو مواقع الاختراق المحتملة (St. Leger et al., 1992). وفي بعض الحالات، تعود عدم قدرة الأبواغ على الإنتاش واختراق كيوتيكال العائل إلى وجود بعض المواد الصادة، كالفينولات أو الكينونات (Hajek & St. Leger, 1994)، أو بعض الأحماض الدهنية (Bogus et al., 2010).

يعتمد اختراق الأبواغ لسطح العائل بشكل أساس على صفات قشيرة/كيوتيكال العائل، ووجود المواد السامة للفطور ووجود المواد المغذية (Charnley, 1989)، وكذلك بعض الدهون (Bogus et al., 2010). وغالباً ما يتم هذا الاختراق من خلال الضغط الميكانيكي والأنزيمي، إذ يمكن ملاحظة الضغط الميكانيكي عند قمة الهيف الغازية حيث يتشوه كيوتيكال العائل نتيجة الضغط. ومن الأنزيمات المكتشفة في أنبوبة اختراق الفطر أنزيم البروتياز، الأنزيم الحال للدهن (ليباز)، الأنزيم الحال للأحماض الأمينية (أمينوبيبتيداز)، الإستيراز وكذلك أنزيم الكيتيناز (Tanada & Kaya, 1993). فأنزيم البروتياز الذي يفرزه الفطر *Metarhizium anisopliae* يفك البروتينات الموجودة في قشيرة/كيوتيكال الحشرة ليساعد الفطر في عملية الاختراق، وكذلك يؤمن المواد الغذائية اللازمة للنمو الفطري اللاحق (Goettel et al., 1989). يموت العائل، بمجرد دخول الفطر الممرض تجويف جسم العائل، نتيجة التخريب الميكانيكي الناتج عن اجتياح الهيف لقشيرة/كيوتيكال العائل، أو عن طريق استنزاف المواد الغذائية وتسخيرها للفطر الممرض، أو من خلال السموم التي تفرزها بعض الفطور الممرضة، أو من خلال العوامل السابقة مجتمعة (Gillespie & Claydon, 1989).

الغزل الفطري mycelium. تتكون جدران الخيوط الفطرية من الكيتين والسيليلوز والسكريات. وقد تحتوي هذه الهيفات على عدة نوى أو قد تكون خالية منها. وبشكل عام تشكل الفطور الممرضة الأبواغ الكونيدية التي تصل إلى العائل ثم تنتشر وتخرق جسمه بالاعتماد على مخزونها الغذائي. في حين تنمو هذه الأبواغ ضمن العائل بشكل متوالي على شكل خلايا أحادية أو عديدة الخلايا (أجسام هيفية، أبواغ برعمية، بروتوبلاست)، مستفيدة من المصادر الغذائية للعائل الذي ينهك في نهاية تطور الفطر الممرض ويموت، في حين ينتج عن الفطر عدد كبير من الأبواغ التي تشكل مصدراً للعدوى يؤمن انتشار الفطر الممرض، أو أن يلجأ الفطر لإنتاج بنية فطرية مقاومة تسمح بإطالة فترة بقائه دون عائل (Roy et al., 2006).

العوائل

تختلف الفطور الممرضة في مجالها العوائلي، فالفطور الممرضة التابعة للفطور الزقية/الأسكية Ascomycota تنتمي بشكل أساسي للرتبتين Hypocreales و Laboulbeniales (Enkerli & Widmer, 2010). ورغم أن الفطور التابعة للرتبة Hypocreales تعرف بطوريتها الجنسي واللاجنسي، إلا أن معظم الأبحاث تركز على الطور اللاجنسي، حيث تعد الفطور الممرضة التابعة لهذه الرتبة ممرضات عامة، ذات مجال عوائلي واسع، وقادرة على الانتقال بين طوريتها الممرض والمترمم (Blackwell, 2009). أما الممرضات التابعة للرتبة Laboulbeniales فتعد ممرضات خارجية إجبارية للتطفل، تصيب الحشرات وبعض مفصليات الأرجل، ولا تسبب الموت للعائل غالباً (Roy & Cottrell, 2008). أما الفطور الممرضة التابعة لرتبة Entomophthorales والتي تتدرج ضمن الفطور الزيجية Zygomycota فتعد فطوراً ممرضة إجبارية للتطفل على مفصليات الأرجل، إما ذات مجال عوائلي واسع، أو أن تكون متخصصة على عائل واحد أو بعض الأنواع القريبة تصنيفياً (Tanada & Kaya, 1993).

العدوى وتطور المرض

يمكن تقسيم تطوّر الفُطار (Mycoses) إلى ثلاث مراحل: "1" إلتصاق الأبواغ وإنباتها على سطح العائل، "2" اختراق سطح العائل والوصول إلى تجويف الجسم، "3" تطور الفطر ضمن العائل والذي يؤدي غالباً إلى موت العائل. قد يتم التصاق الأبواغ بقشيرة/كيوتيكال العائل بطريقة سلبية من خلال وجود مواد لاصقة، أو من خلال التركيب الخاص لسطح الأبواغ (McCoy et al., 1988). فأبواغ بعض الممرضات الفطرية التابعة لرتبة Entomophthorales كالفطر *Entomophthora muscae* محاطة بمادة مخاطية غير منتظمة. وبعض الأنواع التابعة

Table 1. Classification of entomopathogenic fungi (Roy et al., 2006).

جنس Genus	فصيلة Family	رتبة Order	صف Class	قسم Division
<i>Entomophaga</i>	Entomophthoraceae	Entomophthorales	Zygomycetes	Zygomycota
<i>Entomophthora</i>				
<i>Erynia</i>				
<i>Eryniopsis</i>				
<i>Furia</i>				
<i>Massospora</i>				
<i>Strongwellsea</i>				
<i>Pandora</i>				
<i>Tarichium</i>				
<i>Zoophthora</i>				
<i>Neozygites</i>	Neozygitaceae	Hypocreales	Sordariomycetes	Ascomycota
<i>Beauveria</i> ¹				
<i>Cordyceps</i>	Clavicipitaceae			
<i>Cordycepioideus</i>				
<i>Lecanicillium</i> ²				
<i>Metarhizium</i> ¹				
<i>Nomuraea</i>				

¹ *Metarhizium* و *Beauveria* الطور اللاجنسي الذي يدرج طورهما الجنسي ضمن الفصيلة Clavicipitaceae والجنس *Cordyceps*

² *Lecanicillium* الطور اللاجنسي الذي يدرج طوره الجنسي ضمن الفصيلة Clavicipitaceae والجنس *Torrubiella*

¹ Asexual stage of *Beauveria* and *Metarhizium* are placed in their sexual stage under *Cordyceps* within Clavicipitaceae

² Asexual stage of *Lecanicillium* is placed in its sexual stage under *Torrubiella* within Clavicipitaceae

س، في حين كانت درجة الحرارة المثلى لكافة العزلات 20-30°
(Tefera & Pringle, 2003) أو 25-30° (Ekesi et al., 1999).
كما ازدهرت العزلات المجموعة من المناطق الباردة، عند درجة حرارة
5° (Roddam & Rath, 1997). وماتت الأبواغ عند تعريضها
لدرجة حرارة 50° لمدة 10 دقائق (Walstad et al., 1970).

الرطوبة- يتطلب تبوغ الفطور الممرضة خارج العائل وإنتاش الأبواغ
توافر رطوبة مرتفعة، الأمر الذي يقود للاعتقاد بأن الرطوبة عامل
محدد في مدى نجاح استخدام الفطور الممرضة في المكافحة الحيوية
(Wraight et al., 2007). وبالرغم من أن هذا الاعتقاد صحيح عند
عديد من الفطور الممرضة للآفات إلا أنه لا ينطبق على أنواع عديدة
أخرى، فعلى سبيل المثال الفطر *M. acridum* (عُرف سابقاً باسم
M. anisopliae var. *acridum*)، قادر على إصابة حشرات الجراد
الصحراوي *Schistocerca gregaria* بالرغم من انخفاض الرطوبة إلى
ما دون 13% (Fargues et al., 1997)، حيث تكيف هذا الفطر مع
البيئة الجافة من خلال إنتاج الأبواغ داخل جسم العائل. وتعزى مقدرة
بعض الفطور على إحداث المرض في حال انخفاض الرطوبة إلى
وجود غشاء رقيق من الرطوبة المدمصه على قشيرة/كيوتيكال الحشرة
وهو المكان الذي تنشط فيه أبواغ الفطور الممرضة (Wraight et al.,
2007). تؤثر الرطوبة أيضاً في مثابرة الفطور الممرضة، فأبواغ الفطور

الظروف البيئية المؤثرة

تُسهّم الظروف البيئية وبخاصة الحرارة والرطوبة والإشعاع الشمسي
بدورٍ مهمٍ في قدرة الفطور الممرضة على العدوى وإنتاج الأبواغ كما
يلي:

الحرارة- تؤثر الحرارة في الفطور الممرضة بعدة طرائق، كتأثيرها في
نسبة إنبات الأبواغ، ونمو الفطر وحيويته داخل العائل الحشري وخارجه
وكذلك في البيئة. قد تثبط الحرارة المرتفعة الفطر الممرض قبل حدوث
العدوى، وقد تبطئ أو تسرع نمو الفطر داخل العائل الحشري تبعاً
للمتطلبات الحرارية للفطر الممرض وكذلك العائل. فالحرارة المثلى
لديمومة الفطور الممرضة وتطورها تقع بين 20 إلى 30° س، بالرغم
من أن معظم الأجزاء التكاثرية لهذه الفطور يمكن أن تثابر عند درجات
حرارة أقل من الصفر، ويمكن حفظها لفترات طويلة عند درجة
20- حتى 80° س. ويمكن لمعظم الأنواع أن تتحمل درجات حرارة
عليا دون 40° س لفترات طويلة (Yan et al., 2015). تختلف
المتطلبات الحرارية تبعاً لنوع الفطر الممرض، فبعض الفطور الممرضة
التابعة للفطور الناقصة Deuteromycotina نمت في البيئات
الاستوائية وتحت الاستوائية، وأظهرت ميلاً للنمو عند درجات حرارة
أعلى من 25° س. في حين أبدت الفطور الممرضة التابعة للرتبة
Entomophthorales ميلاً للنمو عند درجات حرارة أقل من 15-35°

تتأثر في الطبيعة لفترات أطول عند الظروف الجافة ودرجات الحرارة المنخفضة، بالرغم من أن بعض الفطور قد تتأثر لفترات طويلة عند درجات حرارة معتدلة ورطوبة مرتفعة كما هو الحال عند الفطر *M. anisopliae* (Daoust & Roberts, 1983).

الإشعاع الشمسي - تعد الأشعة الشمسية وبخاصة فوق البنفسجية عند طول موجة 280-320 نانومتر، وكذلك فوق البنفسجية أ عند طول موجة 320-400 نانومتر من أهم العوامل البيئية المحددة لبقاء أبواغ الفطور الممرضة واستمراريتها (Braga et al., 2001). فمن الملاحظ أن الفطور الممرضة تصبح غير فاعلة عند تعرضها لأشعة الشمس لساعات أو أيام (Gardner et al., 1977). وقد أظهر Ignoffo & Garcin (1992) أن نصف عمر الأبواغ الكونيدية للفطر *B. bassiana* بلغ ساعتين بعد تعريض هذه الأبواغ في المختبر لأشعة مشابهة لأشعة الشمس. وبالتالي فإن نسبة أبواغ الفطر الفعالة تتخفف بزيادة طول فترة التعرض لأشعة الشمس (Enkerli & Widmer, 2010)، وعليه فإن حماية أبواغ الفطور الممرضة المستخدمة في مكافحة الحيوية من الأشعة الشمسية يسهم دور مهم في تحديد فاعلية هذه الأبواغ وطول فترة مثابرتها في الطبيعة (Leland & Behle, 2005).

رد فعل الحشرة تجاه الفطور الممرضة

من الظواهر المألوفة في الحشرات عند إصابتها بالأبواغ اليرمية للفطور الممرضة ظهور نشاط لعديد من خلايا دمها للإحاطة بهذه الأبواغ وقطع الهيغا الغازية، وهو ما يعرف بالبلعمة Phagocytosis. حيث تتجذب خلايا الدم البلازمية إلى الفطر وتقوم بالتهامه أو تغليفه وتكوين الأجسام الحبيبية التي قد تحلل ضمنها خلايا الفطر الغازية (Hajek & Delalibera, 2010). تؤمن هذه الطريقة في مقاومة العائل للمرض الوقاية من الممرضات ذات القدرة الإراضية المنخفضة فقط، لأنه في السلالات ذات القدرة الإراضية العالية تكون العوائل إما غير قادرة على تغليف خلايا الفطر وتشكيل الحبيبات، أو أن الفطر يتمكن من التغلب على هذه الحبيبات المتشكلة ومتابعة النمو (Hung et al., 1993). إذ يعتمد التطور الناجح للفطر *B. bassiana* ضمن العوائل بشكل أساس، مثلاً، على التغلب على استجابات خلايا دم العائل، حيث يخفض الفطر عدد الخلايا الحبيبية بشكل سريع بعد ثلاثة أيام من العدوى (Hajek & St. Leger, 1994). وقد بين Hung et al. (1993) أن استجابات الدفاع الخلوي للعائل تعتبر الهدف الرئيس لنواتج الانقلاب المنتجة من قبل الفطر *B. bassiana*، والتي تمنع تجمع خلايا الدم اللازم لتشكيل العقد. ومن بين ردود الأفعال التي تبديها خلايا العائل إزاء الإصابة بالفطور الممرضة إفراز عدد من

السموم الفطرية التي تثبط فعل أنزيم البروتيناز المفرز من قبل الفطر الممرض (Boucias & Pendland, 1998).

وعلى مستوى العائل ككل، قد تسلك بعض الحشرات سلوكيات خاصة تدافع فيها عن نفسها ضد الفطر الممرض (Hajek & St. Leger, 1994)، حيث يمكن للحشرة *Camnula pellucida* التخلص من الإصابة بالفطر الممرض *grylli*، من خلال تعريض جسمها لأشعة الشمس أثناء فترة حضانة المرض مما يرفع درجات حرارة الجسم الداخلية أعلى من المثالية ويوقف نمو الممرض.

يمكن أن يتأثر تطور الممرض الفطري ضمن العوائل ليس فقط بردود الفعل المناعية للعوائل، لكن أيضاً وبشكل غير مباشر بغذاء العائل، فقد لوحظ أن حوريات ذبابة البيوت البلاستيكية البيضاء *Trialeurodes vaporariorum* كانت حساسة بشكل كبير للإصابة بالفطر *B. bassiana* عند تربيتها على نبات الخيار، في حين أن حوريات النوع ذاته المرباة على نبات البندورة/الطماطم كانت أقل قابلية للإصابة بالفطر، وقد يعود السبب لعزل مادة Tomatine من الحوريات المرباة على نبات البندورة/الطماطم التي أظهرت تأثيراً ضاراً في الفطر *B. bassiana* في المختبر (Poprawski & Walker, 2000).

علامات إصابة العائل بالمرض وأعراضه

في مرحلة مبكرة من الإصابة الفطرية، تظهر الحشرة القليل من الأعراض أو لا تظهر أي علامات أو أعراض باستثناء بعض نقاط الموت الموضعي (نكرزة) التي قد تتطور في منطقة الإصابة. في مرحلة متأخرة من الإصابة، تصبح الحشرات عموماً أرقّة، حيث يقل نشاطها، وتخفض شهيتها للطعام، وتفترق للتناسق (McCoy et al., 1988). ويعد نقص التغذية أحد أهم التغيرات الواضحة في العائل المصاب، حيث تعطي هذه الاستجابة فائدة ملحوظة غالباً للممرضات الفطرية التي تصيب الآفات الحشرية (Moore et al., 1992). من التغيرات السلوكية المسجلة خلال فترة الإصابة بالفطور الممرضة انتقال الحشرات المصابة غالباً إلى أماكن مرتفعة أو إذا كانت تعيش في التربة فإنها ترتفع إلى سطح التربة (McCoy et al., 1988). فمثلاً يتسلق النمل الأرضي الشجيرات بشكل متتالي ليموت في مناطق مرتفعة وبذلك يغير سلوكه المعتاد ويقال من التلامس مع أفراد النوع ذاته. كما أن حشرات المنّ، الجنادب، نطاطات النبات، والذباب المصاب بالفطور الممرضة تتحرك إلى مواقع مرتفعة قبل الموت مباشرة (Samson et al., 1988). وقد عرف عن العديد من العوائل موتها بأوضاع مختلفة جراء إصابتها بالفطور الممرضة، حيث

تموت هذه العوائل وأجنحتها مفتوحة أو بأجنحة غمدية بعيدة عن جسم العائل أو بأجزاء من الجسم مفصولة عن بقية الجسم. يحسن موت العائل في مواقع مرتفعة أو في أوضاع مكشوفة بشكل واضح انتشار الأبواغ (Hajek & St. Leger, 1994).

القدرة الإمراضية للفطر

يسبب الفطر موت الحشرات المصابة بوحدة أو أكثر من الطرائق التالية: نقص المواد الغذائية المتاحة لأنسجة الحشرة، اجتياح أنسجة الحشرة وتدميرها من قبل الفطر الممرض أو من خلال إفراز السموم الفطرية داخل أنسجة الحشرة (Butt *et al.*, 1992). ومن الجدير ذكره أن العزلات المختلفة للفطر تختلف في سميتها وقدرتها الإمراضية للعوائل المختلفة. وبشكل عام فإن عزلات الفطر المتحصل عليها من العائل نفسه تبدي قدرة إمراضية أكبر لحشرات هذا العائل من تلك العزلات المتحصل عليها من عوائل مختلفة (Tanada & Kaya, 1993). ومن ناحية أخرى، فإن تعاقب انتقال عزلات الفطر ضمن العائل تزيد من قدرة الفطر الإمراضية، وتساعد على انعزال العزلات الأشد شراسة للعائل. في حين أن استمرار تربية الفطر مختبرياً على أوساط غذائية يخفض من قدرته الإمراضية، ويمكن للفطر استعادة هذه المقدرة من خلال إعادة تمريره على العائل الحشري. كما أن لإفراز الأئزيمات المختلفة، وكذلك السموم الفطرية دور كبير في القدرة الإمراضية للفطور. إذ ترتبط القدرة الإمراضية للعزلات المختلفة من الفطر *B. bassiana*، على سبيل المثال، بشكل وثيق مع قدرة هذه العزلات على إنتاج الأئزيمات المختلفة لتحليل قشيرة/كيوتيكول العائل، وكذلك قدرتها على إنتاج السموم الفطرية داخل جسم العائل (McCoy *et al.*, 1988).

تعايش الفطور الممرضة للحشرات مع النباتات العائلة

أظهرت العديد من الدراسات مؤخراً، أن بعض الفطور تمتلك خاصية استعمار أنسجة النباتات كمتعايشات داخلية (Castillo Lopez *et al.*, 2014؛ Sasan & Bidochka, 2012). تعرّف الفطور الممرضة للحشرات المتعايشة داخلياً على أنها تلك الفطور التي تعيش داخل النبات وتقضي جزءاً من دورة حياتها ضمنه دون أن تحدث أية أعراض مرضية عليه (Hyde & Soyong, 2008). يفيد هذا التعايش كلاً من النبات والفطر الممرض للحشرات، حيث يحدد الفطر المتعايش شكل مجتمعات الأحياء الدقيقة المرافقة للنبات (Berg & Smalla, 2009)، ويمنح النبات القدرة على الحد من الأضرار الناتجة عن الحشرات المتغذية على النبات أو ممرضات النبات (Elliot *et al.*, 2000)، بينما يحصل الفطر الممرض على الحماية من الإجهادات البيئية والغذاء بالحد الأدنى من التعايش الداخلي مع النبات. كما أن تعايش الفطر مع

النباتات أحادييات أو ثنائيات الفلقة لا يسبب أي أضرار على النمو (Powell *et al.*, 2009). يستعمر النبات من قبل الفطور الممرضة للحشرات جهازياً (Gurulingappa *et al.*, 2010)، أو موضعياً في أجزاء نباتية محددة (Behie *et al.*, 2015؛ Yan *et al.*, 2015).

يؤثر تعايش الفطور الممرضة للحشرات ضمن النباتات في مجتمعات الآفات من خلال تغير التعبير المورثي في النبات نتيجة التعايش الداخلي مع الفطور الممرضة وبخاصة في المراحل الأولى لتطور النبات؛ حيث تسمح هذه التغييرات لتلك الأنواع من الفطور بالتعايش والتأقلم مع النبات وتحرض المقاومة من خلال التحريض على إفراز حمض الجاسمونيك (JA) والإيثيلين اللذين يزيدا من استجابات النباتات الدفاعية، والتي تمنح النبات مقدرة على مقاومة طيف واسع من الممرضات والحشرات (Van Wees *et al.*, 2008). قد يتم تعزيز دفاع النبات العائل ضد العاشبات من خلال تعديل الاستجابات الدفاعية للنبات المرافقة لعملية الاستعمار (Pieterse *et al.*, 2013)، أو من خلال التغير في جودة المواد المغذية (Thakur *et al.*, 2013)، أو بشكل غير مباشر من خلال التغير في صورة المركبات المتطايرة، درجة الحرارة، محتوى الأوراق من الكلوروفيل أو النمو النباتي مما يعكس على مدى قبول العائل من قبل الحشرات. كما تؤثر في انبعاث المركبات النباتية المتطايرة فوق سطح التربة وضمنها (Clavijo McCormick *et al.*, 2012؛ Pineda *et al.*, 2010)، حيث تسهم بعض المركبات المتطايرة كمؤشر كيميائي لبعض الأنواع الحشرية المرافقة للعائل. كذلك قد تخفض الفطور المتعايشة تعداد الحشرات التي تتغذى على النباتات عبر آلية التضاد الحيوي Antibiosis أو التنفير الغذائي Feeding deterrence بحيث يصبح طعم النبات بوجود الفطر غير مستساغ للحشرة (Sarr *et al.*, 2002؛ Vega, 2008). فعلى سبيل المثال انخفضت أعداد الأنفاق التي تحدثها يرقات حفار ساق الذرة الأوروبي *Ostrinia nubilalis* (Hübner) نتيجة تعايش الفطر *B. bassiana* ضمن نباتات الذرة (Cherry *et al.*, 2004). كذلك انخفضت الأضرار الناتجة عن حفار جذور الموز *Cosmopolites sordidus* (Germar)، نتيجة تعايش الفطر السابق الذكر مع نباتات الموز (Akello *et al.*, 2008)، وقد عُزي ذلك لإفراز السموم الفطرية ضمن أنسجة النبات العائل. إضافة لما سبق، تمتلك بعض عزلات الفطر *B. bassiana* قدرة تضادية لمسببات الأمراض النباتية (Vega *et al.*, 2010)، حيث استخدم هذا الفطر لحماية نباتات البندورة/الطماطم من مسببات مرض سقوط البادرات *Pythium myriotylum* Drechsler و *Rhizoctonia solani* (Kühn) (Clark *et al.*, 2004؛ Ownley *et al.*, 2006)، كما طُبّق على نباتي القطن والبندورة للحد من مسببات المرضية لسقوط البادرات

العجر *Lymantria dispar* (Hajek & Delalibera, 2010). ومن الأمثلة الواضحة على استخدام الممرضات الفطرية في الحد من انتشار بعض الآفات الوافدة استخدام الفطر *Neozygites floridana* على الأكاروس الأحمر *Tetranychus evansi* الذي يصيب البندورة، والذي سبب خسائر كبيرة وصلت إلى 90% بعد دخوله لبعض مناطق زراعة البندورة/الطماطم في أفريقيا (Sarr et al., 2002)، ولدى البحث عن هذه الآفة في موطنها الأصلي في جنوب أمريكا، تبين وجود الفطر *Neozygites floridana* الذي يُبقي هذه الآفة دون مستوى الضرر الاقتصادي في موطنها الأصلي (Humber et al., 1981)، وبعد دراسة مطولة لهذا الفطر، لم يلحظ له أي أثر جانبي في الكائنات غير المستهدفة وخصوصاً الأكاروس *Phytoseiulus longipes* المفترس للعائل ذاته المراد مكافحته، وقد نقل هذا المفترس أيضاً إلى أفريقيا للحد من انتشار هذه الآفة (Furtado et al., 2007)، ويُخطط حالياً لإدخال هذا الفطر إلى كينيا لاستخدامه في مكافحة الحيوية التقليدية للأكاروس *T. evansi* (Hajek & Delalibera, 2010).

إن النجاحات التي حققتها الفطور الممرضة للآفات في الحد من انتشار بعض الآفات الوافدة دون التأثير في البيئة أو الكائنات غير المستهدفة يؤهلها للاستخدام المكثف في برامج مكافحة الحيوية التقليدية، ويرجع عدم الاستخدام الواسع لهذا النوع من المكافحة في الوقت الحاضر للاعتبارات الأمنية على البيئة والكائنات الأخرى غير المستهدفة، بالرغم من عدم وجود تقارير تشير إلى أية آثار جانبية في البيئة أو الكائنات الأخرى غير المستهدفة في كل الأماكن التي استعملت فيها الفطور الممرضة في مكافحة الحيوية التقليدية (Hajek et al., 2007).

الإغراق باستخدام الفطور الممرضة

يطلق على استخدام الكائنات الحية للحد من انتشار الآفات، متى تحققت إمكانية السيطرة على الآفة من خلال تربية الكائنات الحية وإطلاقها، الإغراق الإغراقي (Eilenberg et al., 2001). وتستخدم هذه الطريقة للسيطرة على الآفات المتوقع انتشارها بشكل سريع. وفي كل الأحوال لا يتوقع من العدو الحيوي إعادة تكاثره في الحقل، لأن المكافحة تتم بنشر العدو الحيوي عند كل زيادة في أعداد الآفة. بمعنى أن عملية الإطلاق الإغراقي تتكرر إذا زاد مجتمع الآفة من جديد بعد نشر العدو الحيوي (Hajek, 2004). يمكن استخدام الفطور وكذلك ممرضات الآفات الأخرى بعدة طرائق في مكافحة الحيوية (Eilenberg et al., 2001). ومن بين هذه الطرائق غمر النباتات بالممرضات الحيوية، تماماً كما هو الحال عند استخدام المواد الكيميائية، وبالتالي تتم السيطرة على الآفات ومنعها من الانتشار

استخدام الفطور الممرضة في مكافحة الحيوية التقليدية

زاد التوسع في تبادل السلع بين الدول من مخاطر انتشار الآفات إلى الأماكن الخالية منها، وتعد المكافحة الحيوية التقليدية وسيلة فعالة للحد من انتشار الآفة على المدى الطويل. وقد عرفت المكافحة الحيوية التقليدية (Classical Biological control) على أنها إنتاج عوامل المكافحة الحيوية المدخلة لتأسيس مجتمعات دائمة واستخدامها بشكل طويل الأمد في مكافحة الآفات (Eilenberg et al., 2001). ويتمثل الهدف الرئيس لهذا النوع من المكافحة في الحد من انتشار الآفات الوافدة من خلال إدخال الأعداء الحيوية المنتشرة في الموطن الأصلي للآفة، وتأسيس مجتمعات لها في المناطق الجديدة المصابة. وبالرغم من اعتماد معظم برامج مكافحة الحيوية على المتطفلات والمفترسات، فقد حققت الفطور الممرضة والنيماطودا نجاحات مهمة عند إدخالها في برامج مكافحة طويلة الأمد للآفات (Hajek et al., 2007). فالعديد من الفطور الممرضة التي تم استخدامها في مجال المكافحة الحيوية التقليدية كانت مناسبة لهذا الاستخدام من خلال بعض صفاتها التي حولتها القيام بهذا الدور، كقدرة بعض الفطور على إحداث الوياء في مجتمع الآفة، إضافة إلى إمكانية إطلاق مجموعات قليلة ويتوقع زيادتها طبيعياً من خلال تطفلها على مجتمعات الآفة كما حدث عندما أطلق الفطر *Entomophaga maimaiga* للحد من انتشار فراشة العجر *Lymantria dispar* (Hajek et al., 1996).

تم استخدام أكثر من 20 نوعاً من الفطور الممرضة للآفات في مكافحة الحيوية التقليدية، كان معظمها ينتمي للرتبة Hypocreales (Ascomycota). وقد كان الفطر *M. anisopliae* الأكثر استخداماً من بين الأنواع التابعة لهذه الرتبة (Bischoff et al., 2009)، تلاه الفطر *Fusarium coccophilum* المتطفل على الحشرات القشرية التابعة للفصيلة Diaspididae. كما استخدمت في هذا النوع من المكافحة الحيوية بعض الفطور الممرضة التابعة للرتبة Entomophthorales كالنوع *E. maimaiga* للحد من انتشار فراشة

تسهم الفطور الممرضة للآفات بدور مهم في الحد من انتشار عديد من الحشرات ومفصليات الأرجل في الطبيعة، حيث بات من المعروف إمكانية تطورها على العائل كوباء يؤدي لانحدار كبير في مجتمع الآفة. وتحت هذه الظروف، فإن سرعة انتشار الفطر ومقدرته على تخفيض مجتمع الآفة يمكن أن يعزّز من خلال المحافظة على الفطور الممرضة (Pell et al., 2010). حتى في المناطق التي يكون فيها تأثير الفطور الممرضة في مجتمع الآفات المنتشرة محدوداً، نظراً للإجراءات الخاطئة في مكافحة، فإن تحسين مقدرة هذه الفطور الممرضة في هكذا مجتمعات أمر وارد من خلال تطبيق إجراءات صون لهذه الأعداء. إن فهم بيئة الفطور الممرضة للآفات وعلاقتها مع العائل تعتبر الخطوة الأساس لتعزيز قدرة هذه الفطور في الحد من مجتمع العائل (Bruck, 2009). فمثلاً الفطر *Beauveria bassiana* واسع الانتشار في التربة، ولكن تم تسجيل هذا الفطر مؤخراً على الأجزاء الهوائية للنباتات، كما لوحظ أن له أثر تضادي في بعض ممرضات النبات الفطرية، أضف إلى ذلك فقد سجل هذا الفطر داخل بعض النباتات بشكل جهازى (Vega et al., 2010). ويحسن استغلال هذه الجوانب الفرص المتاحة في مجال حفظ الفطور الممرضة للآفات ويزيد من فرص استخدامها في برامج متعددة (Roy et al., 2010). تعتمد استراتيجية الحفاظ على الفطور الممرضة كطريقة مكافحة حيوية للآفات المختلفة، بشكل رئيس، على تحويل الظروف البيئية بشكل يتناسب معها. إذ تعتبر الرطوبة، على سبيل المثال، معياراً أساسياً لنشاط عديد من الفطور الممرضة، وعليه فإن زيادة الرطوبة، من خلال الري مثلاً، تزيد من نشاط الفطور الممرضة بشكل واضح، حيث أن نسبة تطفل الفطر *Pandora neoaphidis* على مجتمعات المن زادت بشكل واضح جراء ري محاصيل السبانخ، والبرسيم والفاصولياء (Pell et al., 2010). تقضي معظم الفطور الممرضة جزءاً من دورة حياتها خارج العائل على هيئة أبواغ كونيديه أو أبواغ كلاميديه أو خيوط هيفية على سطح النبات أو في التربة، وبالتالي فإن زيادة الكثافة النباتية تحمي هذه الفطور من الأشعة فوق البنفسجية وتزيد الرطوبة المحيطة، فقد لاحظ Sprenkel وآخرون (Sprenkel et al., 1979) زيادة انتشار الفطر *N. rileyi* على يرقات الفراشات في حقول فول الصويا في القطاعات ذات الكثافة العالية. إن استخدام مبيدات الحشرات، ومبيدات الفطور، وكذلك مبيدات الأعشاب قد تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر في الفطور الممرضة للآفات، فقد أظهرت الدراسات أن استخدام مبيدات الفطور في حقول البطاطا/البطاطس أدت لارتفاع كثافة مجتمعات من الدراق الأخضر *Myzus persicae* حيث أخلت هذه المبيدات بنظام المكافحة الحيوية الناتج عن الفطور *Entomophthora planchoniana*، *Pandora. neoaphidis*

الوبائي من خلال الكائنات الحية التي تم نشرها على النبات (Jaronski, 2010). وقد تم، حتى عام 2006، تسجيل ما يقارب 129 مبيداً فطرياً حيوياً عالمياً للاستعمال التجاري ضد الحشرات، معظمها من فطور تنتمي لصف الفطور Ascomycetes، منها الفطور التالية: *B. brongniartii* (Sacc.) و *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill و *Petch Isaria* والفطر *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin. والفطر *M. anisopliae* var. *acridum* (= *M. acridum* Wize (= *Paecilomyces fumosoroseus*) والفطر *Lecanicillium longisporum* و *L. muscarium* والذي صنف سابقاً على أنه *Verticillium lecanii* وكذلك الفطر *Hirsutella thompsoni* F.E. Fisher إضافة للفطر *Lagenidium giganteum* Couch الذي ينتمي للصف Oomycete (Jaronski, 2007).

إن السبب الرئيس وراء تطبيق الممرضات الفطرية على النباتات بطريقة الغمر، يرجع إلى أن العديد من المحاصيل الزراعية تزرع لموسم واحد وفي بعض الحالات لعدة أسابيع فقط، أضف إلى ذلك الانتشار الواسع للدورات الزراعية، الذي خلق بيئة متقلبة لا تلائم معظم الممرضات الفطرية من خلال إزالة العائل الحشري للممرضات، وفي كثير من الحالات من خلال التأثير المباشر في هذه الممرضات، مما جعل من غمر النباتات بالمبيدات الحيوية وتكرار إطلاقها في بعض الحالات أمراً ضرورياً. كما أن الغمر بالفطور الممرضة يمكن من التغلب على عدد من العوامل التي تبقى هذه الأعداء الحيوية في حالة توازن مع الآفة من خلال زيادة أعدادها بشكل كبير في موطن الآفة مباشرة. أضف إلى ذلك سهولة تطبيق هذا الإجراء من قبل المزارعين، حيث يستخدم المزارع الفطور الممرضة كما يستخدم المبيدات الكيميائية مع فارق السرعة في القتل والسمية العالية (Jaronski, 2010). يؤمل من استخدام الفطور الممرضة في مكافحة بعض الآفات بطريقة الغمر تجاوز العديد من محاذير الكيماويات، ويؤمل التغلب على عدد من الظروف التي تخفف تأثيرها في مجتمعات الآفة في الطبيعة.

المحافظة على الفطور الممرضة للآفات كإحدى طرائق مكافحة الحيوية

على نقيض طرائق مكافحة الحيوية الأخرى، لا يتطلب صون الأعداء الحيوية إنتاج الأعداء الحيوية أو إدخالها، ولكن تعتمد بشكل أساس على تحويل البيئة المحيطة أو تغيير نظم إدارة الآفة لحماية الأعداء الحيوية الموجودة أصلاً في البيئة وتشجيعها، وهو ما يحسن مقدرتها في السيطرة على مجتمع الآفة. ولا يتم ذلك إلا من خلال الفهم العميق لحياتيات الآفة وسلوكها وبيئتها وأعدائها الطبيعية (Hajek, 2004).

وبالرغم من الاستخدام الواسع لهذه المنتجات في عديد من النظم الزراعية حول العالم إلا أن استخدامها أيضا في الوطن العربي للحد من انتشار بعض الآفات لم يصل حد التوقعات. إن نجاح استخدام الفطور الممرضة للآفات كعوامل مكافحة حيوية يعتمد بشكل أساسي على عديد من العوامل الحيوية واللا حيوية إضافة لسلوك الآفة المستهدفة (Baverstock et al., 2010). هذا وتسهم دراسة الفطور الممرضة للآفات وتحديد متطلباتها البيئية في نجاح استخدامها كعوامل مكافحة حيوية للآفات المنتشرة في مناطق محددة. وقد ظهرت العديد من الدراسات في هذه المجالات في وطننا العربي وأسهمت في توجيه أنظار بعض صناعات القرار لأهمية هذا النوع من المكافحة الأحيائية وإدخاله ضمن برامج الإدارة المتكاملة للآفات. وسنلقي الضوء في هذه العجالة على بعض من هذه الأبحاث، ففي الجزائر مثلاً درس تأثير الفطر *M. anisopliae* في الأطوار اليرقية للودودة البيضاء *Geotrogus deserticola* مختبرياً حيث وصلت نسبة الموت للأطوار اليرقية إلى 93.3% عند التركيز 40×10^4 بوغة/مل (بلعيد وآخرون، 2000). درس أيضاً تأثير الفطور الممرضة للحشرات في الجراد الصحراوي *Schistocerca gregaria*، فقد أثر الفطر *B. bassiana* في حياتية الجراد الصحراوي *S. gregaria* وكذلك البنية النسيجية للأنبوب الهضمي، وأدى إلى موت كافة الأفراد المعاملة بعد تسعة أيام على الأكثر، وبلغ التركيز القاتل النصفى $LC_{50} = 1.64 \times 10^6$ بوغة/مل، وأظهر التشريح المجهرى للأنبوب الهضمي وجود تغيرات في البنية النسيجية للمعي الأمامي والخلفي تمثلت بتقرحات وانفصال بين ظهار المعى والخلايا العضلية أدت لموت الحشرات المعاملة نتيجة الحرمان الغذائي (بساعد ودومانجي ميتش، 2003). لوحظت النتيجة السابقة أيضاً عند تغذية حوريات الجراد بجرات مختلفة من الفطر الممرض *M. anisopliae* var. *acridium* (صنف حديثاً على أنه *M. acridium*)، وكانت أعلى نسبة للموت عند التركيز 4×10^6 بوغة/مل، حيث لوحظ اختلاف في البنية النسيجية للأنبوب الهضمية لحشرات الجراد الصحراوي المعاملة بالفطر الممرض (دومانجي ميتش وبساعد، 2007)، وقد أحدث كلا الفطرين السابقين اضطرابات فيزيولوجية للجراد الصحراوي تمثلت في انخفاض معدل انفتاح الثغور التنفسية لتصل إلى 38-44 فتحة/دقيقة، وانخفضت كذلك عدد ضربات القلب لتصل إلى 36-37 ضربة/دقيقة. كما انخفض عدد الخلايا اللمفاوية بشكل كبير، فبلغ عدد الخلايا بعد المعاملة بكل الفطرين 20 خلية تقريباً/5 ميكروليتر من السائل اللمفاوي، مقارنة مع 113 خلية في الشاهد، وانخفضت الخلايا البلازمية إلى 23 خلية/5 ميكروليتر من السائل اللمفاوي، مقارنة مع 151 خلية في الشاهد (دومانجي ميتش وآخرون، 2007).

Conidiobolus obscures. ويعد تخفيض استخدام المبيدات أو ترشيد استخدامها من أسهل الطرائق لتخفيض أضرارها المحتملة على الأعداء الحيوية بما فيها الفطور الممرضة للآفات، ويمكن أن يتحقق ذلك من خلال رصد نشاط الفطور الممرضة في حقول المحاصيل المختلفة، والنصح بعدم استخدام المبيدات عند التنبؤ بقدرة الفطور الممرضة للآفات في الحد من مجتمع الآفة المنتشرة. فمثلاً الفطر الممرض *Neozygites fresenii* من الأعداء الحيوية المهمة لحشرات من القطن *Aphis gossypii* في حقول القطن في بعض مناطق الولايات المتحدة، حيث ينشط بشكل طبيعي خلال شهري حزيران/يونيو وتموز/يوليو، ويمكن التنبؤ بانتشار هذا الفطر من خلال أخذ عينات حشرات المن، فعند وصول نسبة التطفل على هذه الحشرات 15% فإن اندثار مجتمع المن يمكن أن يتم خلال أسبوع نتيجة شراسة هذا الفطر الممرض وسرعة انتشاره، وبالتالي ينصح المزارعون في هذه الحالة بعدم رش المبيدات الكيميائية الأمر الذي يؤدي للحفاظ على الأعداء الحيوية وخفض التكاليف الاقتصادية (Pell et al., 2010).

الفطور الممرضة للآفات في العالم العربي، واقع وآفاق

رغم الدراسات العديدة حول الفطور الممرضة للآفات في الوطن العربي إلا أن تطبيق استخدام الفطور الممرضة في الحقول للحد من انتشار الآفات المختلفة ما يزال بعيد المنال، بالرغم من بعض النجاحات في هذا المضمار من قبل بعض البرامج الوطنية والهيئات الدولية. فالفطور الممرضة من الأعداء الحيوية المهمة التي تحد من انتشار الحشرات والعناكب في الطبيعة، وتحقق التوازن الحيوي بأقل التأثيرات الجانبية الملاحظة في البيئة المحيطة، وهي تنتشر بشكل طبيعي في بيئاتنا العربية التي تتميز بالتنوع الحيوي الكبير، وقد باتت محط أنظار الباحثين في الآونة الأخيرة لاستخدامها في برامج الإدارة المتكاملة للآفات والحد من استخدام المبيدات الكيميائية. فمن المعروف أن العديد من المبيدات الحيوية التي تعتمد بشكل أساسي على الفطور الممرضة أصبحت تنتج تجارياً في بعض الدول المتقدمة للاستخدام ضد بعض الآفات المنتشرة والتي نذكر من أهمها *Vertalec® (Lecanicillium longisporum)* (Petch) Zare & Gams Zimmerman)، *BotaniGard® (Beauveria)* (Ascomycota: Hypocreales)، *Vuillemin (Balsamo)* (Ascomycota: Hypocreales)، *Green Muscle® (Metarhizium anisopliae var. Green Muscle)* (Hypocreales)، إضافة للفطر الممرض للحشرات الذي استخدم للتطعيم كأحد إجراءات المكافحة المتكاملة *Pandora neoaphidis* (Remaudiere & Humber) (Zygomycota: Entomophthorales)، (Hennebert) Humber (Zygomycota: Entomophthorales) (Shah & Pell, 2003).

كما أشار خليوي وآخرون (2006) إلى وجود إصابات طبيعية بالفطر *B. bassiana* على ديدان ثمار التفاح *Cydia pomonella* شمال مدينة بغداد، وقد أمكن الحصول على عزلتين من هذا الفطر، حيث أظهرت التجارب أن أفضل درجات حرارة لنموها تراوحت ما بين 24-28 °س، وقد بلغت النسبة المئوية ليرقات العمر الثالث والرابع لدودة ثمار التفاح *C. pomonella* بعد عشرة أيام من المعاملة في المختبر ما بين 93.3 و 96.6% من اليرقات المعاملة بالفطر، كما تأثرت اليرقات المشتية لهذه الآفة بالفطر الممرض وقد وصلت نسبة نفوق اليرقات بعد 10 أيام إلى 90% تقريباً. وبالرغم من أن الباحث أوصى برش جذوع الأشجار بعزلات الفطر الممرض للحد من انتشار هذه الآفة أسوة بما يطبق في بعض المراكز الأوروبية إلا أن هذا الاستخدام ما يزال بعيد التطبيق. كما توصل الباحث تويج (2002) إلى إنتاج مبيد حيوي مكون من الفطر *B. bassiana* محمل على وسط مكون من مستخلص البطاطا/البطاطس والرز إضافة للكأولين كمادة حاملة بنسبة 1:1، حيث أعطى تركيز 5 غرام مبيد حيوي/لتر ماء نسبة نفوق وصلت إلى 58.4% من حشرات من الدراق الأخضر *Myzus persicae* المعاملة في الحقل، وقد كان الطور الحوري الأول أكثر الأطوار تأثراً بالمبيد الحيوي. كما حافظ المبيد المنتج على حيويته لمدة 6 أشهر في علب زجاجية معقمة وتحت ظروف المختبر. وفي الظروف الحقلية، خفض الفطر *B. bassiana* أعداد يرقات الديدان القارضة جراء معاملة إحدى الحقول المزروعة بنباتات السلق في سورية، حيث ازدادت نسبة نفوق اليرقات اعتباراً من اليوم الحادي عشر للمعاملة لتصل في نهاية الموسم إلى 80% مقارنة مع الشاهد (حافظ، 2007). وفي تجربة حقلية أخرى، استخدم الفطر *B. bassiana* بتركيز 10⁷ بوغوة/مل لمكافحة خنفساء الشوندر السلحفائية في حقول شمال الدلتا في مصر، وقد خفض الفطر مجتمع الآفة بعد أسبوع من الرش في الأولى ليصل إلى 50 فرد/20 نبات مقارنة مع 171 فرد/20 نبات في معاملة الشاهد، وبعد ثلاث رشات في الموسم سجل 29 فرد/20 نبات مقارنة مع 237 فرد/20 نبات في الشاهد الأمر الذي يدل على فاعلية استخدام هذا الفطر في الحقل للحد من انتشار هذه الآفة (الزعيبي وإبراهيم، 2009). كما أظهر كلا من الفطرين *B. bassiana* و *Lecanicillium lecanii* فاعلية عالية ضد يرقات فراشة الحبوب *Sitotroga cerealella* عند معاملة أكياس الحبوب بعزلات الفطرين بتركيز 10⁶ بوغوة/مل، حيث وفرت المعاملة حماية جيدة من الإصابة بالحصرة لمدة 11 شهراً بالمقارنة مع أكياس تخزين غير معاملة بعزلات الفطر (جاسم، 2009). وفي تجربة حقلية على خنفساء قلف أشجار الفستق الحلبي *Hylesinus vestitus* في سورية، أحدثت الفطور الممرضة للحشرات *B. bassiana* و *B. brongniartii* نسب نفوق

مرتفعة عند استخدام تراكيز عالية من الفطور سابقة الذكر مقارنة مع الفطر *B. tenella* (لبايبدي، 2009). كما أن استعمال عذلة من الفطر *B. bassiana* بتركيز 10⁷ بوغوة/مل ضمن الدفيئات لمكافحة يرقات دودة الملفوف *Pteris brassicae* خفضت مجتمع الآفة بنسبة 80%، وازدادت هذه النسبة لتصل إلى 96% عند استخدام زيت الذرة كمادة حاملة (بارودي وآخرون، 2009). وقد أظهرت العذلة S1 من الفطر أنف الذكر قدرة على قتل يرقات جادوب أعشاش الصنوبر *Thaumetopoea pityocampa* Schiff وصلت إلى 95% تقريباً عند نشرها بشكل حبيبي على أصص وزعت في غابة الصنوبر في منطقة الكماري في سورية، ثم وضع عليها يرقات الحشرة الكاملة النمو لتتغذى ضمنها، كما وصلت نسبة الحشرات التي تبوغ عليها الفطر بعد عملية التطهير السطحي إلى 77% تقريباً، مما يدل على إمكانية استخدام الفطر الممرض للحشرات *B. bassiana* ضمن برنامج إدارة متكاملة لحشرة جادوب أعشاش الصنوبر (عبد الحي وآخرون، 2010).

من المعروف أن استخدام الفطور الممرضة للحشرات ليس جديداً، إلا أن عدم وجود طريقة فعالة للتربية الكمية للفطور الممرضة للحشرات وعدم وجود الصيغة التطبيقية الملائمة لاستخدامها في الحقل حدًا من التطور السريع للممرضات الفطرية للحشرات، وقد تم التغلب مؤخراً على عديد من هذه العقبات (Parker et al., 2000). يرتكز تطوير الفطور الممرضة للحشرات للاستخدام في برامج الإدارة المتكاملة للآفات على عدة عوامل: الاستكشاف الأولي للفطور الممرضة المنتشرة، إجراء تجارب السمية والتوصيف، ثم التربية الكمية وتنفيذ الاختبارات الإرشادية. وقد تم الذهاب بعيداً في هذا المجال لتطوير منتج حيوي من الفطور الممرضة للحشرات لاستخدامه في الإدارة المتكاملة لحشرة السونة في مناطق انتشارها من خلال التعاون المشترك ما بين البرنامج الوطني السوري والمركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (إيكاردا) وجامعة فيرمونت (الولايات المتحدة). ففي عام 1998 تم جمع 1000 حشرة سونة مصابة من مناطق بيئاتها في سورية وتركيا، وقد تم الحصول على 104 عزلات فطرية ممرضة معظمها يعود للجنس *Beauveria* وبدرجة أقل الجنس *Paecilomyces* (*Isaria*)، والجنس *Fusarium*. وخلال الفترة بين عامي 1998-2001، تم الحصول على 221 عذلة من الفطور الممرضة لحشرة السونة من مناطق بيئات الحشرة في وسط وغرب آسيا، وقد تبين أن أكثر من 50% من هذه العزلات تعود للفطر الممرض للحشرات *B. bassiana*، 25% تعود للفطر *P. farinosus* (*Isaria farinosus*)، كما سجل كل من الفطور الممرضة *Paecilomyces lilacinus* والفطر *Fusarium sp.* وكذلك *Hirsutella sp.* (Parker et al., 2000). تم اختيار عدة عزلات واعدة لاختبارها ضد حشرات

السونة في مواقع البساتين الشتوي في شمال سورية وشمال ووسط إيران خلال الفترة مابين 2002-2003. وقد أظهرت نتائج هذه الاختبارات إمكانية استخدام الفطور الممرضة للحشرات لمكافحة حشرة السونة في مناطق البساتين. بينت نتائج الاختبارات الحقلية إمكانية ماثرة الفطور الممرضة المحملة على الحبوب في مناطق البساتين لعدة شهور بعد عملية الرش بالرغم من الظروف البيئية السائدة في هذه المناطق. وقد تبينت العزلات المستخدمة في قدرتها الامراضية لحشرة السونة، وتصدرت عزلات الفطر *B. bassiana* (22، 566، 493) قائمة العزلات الواعدة في مجال مكافحة هذه الحشرة لإدخالها في برامج الإدارة المتكاملة (Skinner et al., 2007). وقد أظهرت الدراسات الخلوية للعزلات المتحصل عليها من مناطق بساتين حشرة السونة في الشرق الأوسط وإيران وتركيا وكازاخستان وروسيا باستخدام الواسمات الجزيئية أن الاختلافات الوراثية بين هذه العزلات مرتبطة بالمسافة الجغرافية وليس بنوع العائل (De Muro et al., 2005). أظهر استخدام المستحضر الزيتي لأبواغ الفطر *B. bassiana* عند تطبيقه في الحقل على حشرات السونة ونباتات القمح نسبة موت بلغت 86.4 % عند جمع الحشرات من الحقل بعد المعاملة ووضعها في المختبر، في حين تعزى نسبة الموت المنخفضة لحشرات السونة في الحقل لارتفاع متوسط درجات الحرارة خلال عامي 2004-2005 لأكثر من 35 °س، الأمر الذي أثر سلباً في بقاء واستمرارية الفطر الممرض للحشرات، وكذلك في قدرة الفطر على إحداث العدوى (Edgington et al., 2007). وفي عامي 2006-2007، تم الحصول على عدد من عزلات الفطر *B. bassiana* من حشرات السونة المجموعة من حقول القمح والشعير في سورية، وقد أظهرت هذه العزلات قدرة عالية على قتل حشرات السونة في المختبر مقارنة مع العزلات المتحصل عليها من حشرات السونة المشتبة. وعند التحري عن الاختلافات الوراثية بين العزلات المتحصل عليها من حشرات السونة المشتية وتلك العزلات المتحصل عليها من حشرات السونة المجموعة من حقول القمح باستخدام تحليل PCA (Principal Co-ordinate Analyses)، تبين وجود اختلافات وراثية بين هاتين المجموعتين الأمر الذي يدل على الدور المحتمل للظروف البيئية السائدة في إحداث الاختلافات الوراثية بين العزلات المختلفة (تريسي وآخرون، 2010). وقد كان ذلك واضحاً من خلال تجارب التوصيف لعدد من عزلات الفطر الممرض حيث تم الحصول على أعلى نسبة تبوغ عند 25 °س لعزلات الفطر SPSR-1، SPSQ و SPSS وهي عزلات تم الحصول عليها من حشرات السونة من الحقل. في حين أنتجت العزلة S1 أعلى نسبة أبواغ عند درجتي الحرارة 15 و 20 °س، وهي عزلة تم الحصول عليها من حشرات السونة من مناطق البساتين. وقد سببت العزلتان SPSR1 و SPSH1 أعلى نسبة

نفوق لحشرات السونة المعاملة بعد 12 يوماً من المعاملة وهي أيضاً عزلات صيفية، وقد كان من الملاحظ أن كافة العزلات لم تنم أو تتبوغ عند 35 °س، حيث ماتت كافة العزلات بعد 20 يوماً عند هذه الدرجة (Abdulhai et al., 2010)، الأمر الذي يؤكد أن استخدام عزلات الفطر *B. bassiana* آمن على ذوات الدم الحار. كما أشار خطيب وآخرون (خطيب وآخرون، 2016)، أن أربعة بادئات أعطت تعداداً شكلياً وتم توزيع العزلات ضمن عنقودين رئيسيين تبعاً لنوع الفطر؛ ضم العنقود الأول جميع عزلات الفطر *Isaria*، بينما ضم العنقود الثاني تحت عنقودين يحتوي الأول عزلات الفطر *Beauveria*، وتحت العنقود الثاني عزلات الفطر *Lecanicillium*. أظهر المؤشر الجزيئي P793 كفاءة في التمييز بين الفطور التي تمت دراستها بالمقارنة مع باقي المؤشرات. هذا ويرتبط استخدام الممرضات في مكافحة بقدرة الممرض على قتل الآفة دون إلحاق الأذى بالأعداء الحيوية المنتشرة في الأماكن التي تستخدم فيها هذه الممرضات، لذلك درس تأثير بعض عزلات الفطر *B. bassiana* في حياتية حشرة السونة وخصوبة متطفل البيض *Trissolcus grandis* Thomson حيث أعديت حشرات السونة وكذلك متطفلات البيض بالتركيزين 10×2^5 و 10×2^7 بوغة/مل من عزلتين (SPSR2 و SPT22) من معلق الفطر. أظهرت النتائج أن عزلة الفطر SPSR2 (وهي عزلة متحصل عليها من حشرات السونة المجموعة من الحقل)، كانت شديدة الشراسة على بالغات السونة، حيث بلغت نسبة الموت المصححة بعد عشرة أيام من المعاملة 63 و 100% عند التركيزين 10×2^5 و 10×2^7 بوغة/مل على التوالي. في حين لم تؤثر هذه العزلة في خصوبة وطول فترة بقاء أنثى المتطفل *T. grandis* عند التراكيز المستخدمة ذاتها. وهو ما يدل على إمكانية استخدام الفطر *B. bassiana* وفق النسب السابقة الذكر لمكافحة الآفة دون أي تأثير معنوي في المتطفل *T. grandis* (تريسي وآخرون، 2010). وتجدر الإشارة إلى أن معاملة حشرات السونة ببعض عزلات الفطر الممرض للحشرات *B. bassiana* وبجرعات قاتلة دنيا (10×2^3 و 10×2^4 بوغة/مل) في الدفيئة والحقل أظهرت انخفاضاً واضحاً في خصوبة الحشرة الكلية، كما خفضت المعاملة بالجرعتين السابقتين نسبة أوراق القمح المصابة، فبعد معاملة حشرات السونة في الحقل بعزلات مختلفة من الفطر قد تموت الحشرات أو تتخفف قدرتها على التغذية ووضع البيض (Trissi et al., 2012). أسهمت نتائج الدراسات السابقة بالتوجه نحو إنتاج الفطر الممرض *B. bassiana* بشكل كمي لاستخدامه في برنامج الإدارة المتكاملة لحشرة السونة وذلك من خلال معاملة حشرات السونة في مناطق بساتينها ببعض عزلات هذا الفطر، وقد تركزت الدراسة في الفترة السابقة على تحديد المادة المناسبة لتحميل الفطر الممرض عليها. ويتم حالياً تقويم النتائج لتحديد المادة المناسبة من بين المواد

B. bassiana مع نباتات البندورة/الطماطم وقد حقق ذلك انخفاضاً واضحاً في نسب إصابة الأوراق والثمار بحافرة أوراق البندورة/الطماطم (*Tuta absoluta* (Meyrick) في المختبر والحقل. أمكن أيضاً لبعض العزلات التعايش مع نبات الباذنجان وسبب هذا التعايش خفصاً واضحاً في حوريات ذبابة القطن البيضاء (*Bemisia tabaci* (Gennadius). كما أشار *Khudhair et al.*, (2016) لفاعلية بعض عزلات الفطر الممرض *B. bassiana* المتعايشة مع أشجار نخيل التمر، في الحد من حشرة دوياس النخيل *Ommatissus lybicus* حقلياً من خلال حقن أشجار النخيل بكمية 50-75 مل من المعلق البوغي للعزلات المدروسة بتركيز 10×10^9 بوغة/مل، حيث تراوحت نسب نفوق الحشرة بعد 15 يوماً من المعاملة بين 92-100%.

يعد استخدام الفطور الممرضة للحشرات للحد من انتشارها على المزرعات ضمن برامج الإدارة المتكاملة بديلاً مهماً عن المبيدات الكيميائية التي تسببت في كثير من المناطق بالإخلال بالتوازن الحيوي، وأدت إلى ظهور الآفات الثانوية كأفات رئيسية على عديد من المحاصيل وبساتين الفاكهة نتيجة الإضرار بأعدادها الحيوية التي كانت سائدة في هذه المناطق. وبخاصة أن العديد من هذه الفطور الممرضة موجود بشكل طبيعي في كثير من بيئاتنا العربية ويمكننا من خلال التطعيم أو الحفظ أن نعيد إليها دورها الرائد في الحد من انتشار كثير من الآفات التي باتت تهدد محاصيلنا المختلفة على امتداد وطننا الحبيب.

المدروسة (وهي القمح، الدخن، السميد، الطحين والبرغل)، لينتج عليها الفطر المرض ثم تنتشر المواد المحملة بالفطر في مناطق بيئات الحشرة للقضاء عليها قبل هجرتها للحقول المزروعة. وفي دراسة مرجعية نشرت مؤخراً عن تطور استخدام الفطور الممرضة للحشرات في العراق، أشار Alrubeai (2018) أن طلائع الأبحاث في هذا الخصوص نشرت عام 1982، حيث درست فاعلية بعض عزلات الفطر *B. bassiana* في حياتية حفار عزوق النخيل ذو القرون الطويلة *Pseudophilus testaceus* (Gahan). تلا ذلك نشر ما يقارب 95 بحثاً منذ عام 2000 وحتى الآن حيث تُدرس تأثير الفطرين *B. bassiana* و *M. anisopliae* في ما يقارب 40 نوع حشري مختلف، كذبابة الفاكهة (*Ceratitis capitata* (Wiedemann)، خنفساء اللوبياء والحمص (*Callosobruchus maculatus* (Fabricius)، حشرة السونة *Eurygaster integriceps*، من الدراق *Myzus persicae*، حفار ساق الذرة *Sesamia cretica* Led.، دوياس النخيل *Ommatissus lybicus* (Deberg) والأكاروس ذو البقعتين *Tetranychus urticae* Koch.

مؤخراً أظهرت العديد من الدراسات قدرة بعض عزلات الفطور الممرضة على التعايش مع النباتات العائلة دون إحداث أية أضرار عليها، وعلى العكس حفزت النمو النباتي وعززت مقاومتها للآفات الغازية. فعلى سبيل المثال تم الحصول على عدد من العزلات المتعايشة مع أشجار نخيل التمر (القدور وآخرون، 2014). كما أشار العيسى وآخرون (2017)، لإمكانية تعايش بعض عزلات الفطر

Abstract

Trissi, A. N., B. Bayaa and M. El Bouhssini. 2018. Role of entomopathogenic fungi in controlling agricultural pests. Arab Journal of Plant Protection, 36(3): 176-191.

Entomopathogenic fungi are considered important natural enemies that contribute to limit pest spread with minimal negative effects to the environment. Infection with entomopathogenic fungi reduces the potential of insect host for nutrition, reduce its fertility and ultimately causing its death. Fungus spores penetrate the host surface by both mechanical pressure and enzymatic action. It is worth noting that virulence of different isolates and their pathogenicity differ with different hosts. Environmental conditions, especially temperature, humidity and solar radiation play an important role in the ability of pathogenic fungi to cause infection and sporulation. Entomopathogenic fungi can be used in biological control in different ways, as to introduce it in long term control programs, or by submerging plants into biocontrol pathogens. The rate of fungus spread and its ability to reduce pest population can be strengthened by conservation procedures. Interest in entomopathogenic fungi in the Arab world has increased recently. Many fungi were studied and tested against numerous pests and showed efficacy in their control under both lab and field conditions, therefore their use in integrated management programs has become a promising approach.

Keywords: Biological control, entomopathogenic fungi, integrated pest management.

Corresponding author: Bassam Bayaa, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Aleppo University, Syria, email: bbayaa@gmail.com

References

بسّاعد، فاطمة الزهراء وبهية دومانجي متيش. 2003. دراسة تأثير الفطر *Beauveria bassiana* Bals. في حياتية الجراد الصحراوي والبنية النسيجية للأنبوب الهضمي لدى الجراد الصحراوي (*Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Orthoptera: Acrididae). مجلة وقاية النبات العربية، 21 (2): 158 (ملخص).

بارودي، فرح، لوسيا حنا، يوسف أبو جودة ونبيل نمر. 2009. تعريف عزلة من فطر *Beauveria* بواسطة البيولوجيا الجزيئية ودراسة كفاءتها في مكافحة الذبابة البيضاء ودودة الملفوف في لبنان. مجلة وقاية النبات العربية، 27 (عدد خاص): A147 (ملخص).

- بلعبيد، لخضر، محمد حفصي والزهران فرطاس. 2000. تأثير الفطر *Beauveria bassiana* (Metsch.) Sorokin اليرقية للدودة البيضاء *Geotrogus deserticola* Blanch. (Coleoptera: Scarabaeidae). مجلة وقاية النبات العربية، 18: 68-72.
- تريسي، عبد الناصر، مصطفى البوحسيني، محمد نايف السلتي وأميرة مصري. 2010. فاعلية بعض عزلات الفطر *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin في حياتية حشرة السونة *Eurygaster integriceps* Put. (Hem.: Scutelleridae) وأثرها الجانبي في متطفل البيض *Trissolcus grandis* Thomson (Coleoptera: Scutelleridae). مجلة وقاية النبات العربية، 28: 163-168.
- تويج، نبيل سليم. 2002. إنتاج مبيد حيوي من لقاح الفطر *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin لمكافحة حشرة من الخوخ الأخضر *Myzus persicae* (Sulzer) رسالة ماجستير في كلية العلوم، جامعة الكوفة، العراق.
- جاسم، هناء كاظم. 2009. تأثير الفطر *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuill و *Lacanicillium (= Verticillium) lecanii* (Zimm) Zaro في يرقات حشرة عثة الحبوب *Sitotroga cerealella* (Oliver) على بذور الرز عنبر-33. مجلة وقاية النبات العربية، 27 (عدد خاص): A144.
- حافظ، عبد الحميد. 2007. مكافحة الدودة القارضة في حقل نبات السلق باستخدام الفطر *Beauveria bassiana*. مجلة وقاية النبات العربية، 25(1): 102 (ملخص).
- خطيب، فاتح، أحمد كركوكلي، عبد الناصر تريسي ومصطفى البوحسيني. 2016. التنوع الوراثي بين عزلات لبيض الفطور الممرضة للحشرات المعزولة من مناطق مختلفة. مجلة وقاية النبات العربية، 34: 52-61.
- خليوي، سميرة عودة، حسين فاضل الربيعي، إبراهيم جدوع الجبوري وشيماء عبد الكريم الطائي. 2006. التقييم المختبري لفاعلية عزلتين من الفطر *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuil. التطفل على يرقات دودة ثمار التفاح *Cydia pomonella* (L.). مجلة وقاية النبات العربية، 24: 102-106.
- دومانجي متيش، بهية وفاطمة الزهران بساعد. 2007. دراسة تأثير الفطر المضاد الحشري *Metarhizium anisopliae* var. *acridium* في الجراد الصحراوي *Schistocerca gregaria*. مجلة وقاية النبات العربية، 25(1): 47-48 (ملخص).
- دومانجي متيش، بهية، صلاح الدين دومانجي، قايد نيريمان وحمور سامية إيمان. 2007. تأثير نوعين من الفطريات مضادة للحشرات (*Beauveria bassiana* و *Metarhizium anisopliae*)، في بعض الظواهر الفيزيولوجية للجراد الصحراوي *Schistocerca gregaria*. مجلة وقاية النبات العربية، 25(1): 47 (ملخص).
- الزغبى، أمال أحمد وعبد الحميد إبراهيم. 2009. اختبار حساسية بعض افات الشوندر السكري/ البنجر للفطور الممرضة *Beauveria bassiana* و *Metarhizium anisopliae*. مجلة وقاية النبات العربية، 27 (عدد خاص): A144-A143 (ملخص).
- عبد الحي، محمد، حمد فائز مزيك ووجيه دواليبي. 2010. تقويم فاعلية أربع عزلات من الفطر *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin على يرقات جادوب أعشاش الصنوبر *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. المؤتمر العلمي الثامن للهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق، سورية.
- العيسى، زياد، عبد الناصر تريسي، فاتح خطيب ومصطفى البوحسيني. 2017. فاعلية الفطر *Beauveria bassiana* Vuillemin (Balsamo) الممرض للحشرات إزاء حشرة حافرة أوراق البندورة/الطماطم *Tuta absoluta* (Meyrick). مجلة وقاية النبات العربية، 35: 103-109.
- القدور، ظلال، مصطفى البوحسيني، عبد الناصر تريسي، محمد قوجة نحال وأميرة مصري. 2014. فاعلية بعض عزلات الفطر *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin في حياتية حشرة سوسة النخيل الحمراء *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier في الساحل السوري. مجلة وقاية النبات العربية، 32: 78-72.
- لبابيدي، محمود صبري. 2009. فاعلية وتأثير أنواع مختلفة من الفطر الحيوي *Beauveria bassiana* في حشرة خنفساء قلف أشجار الفستق الحلبي *Hylesinus vestitus* M. and R. في سورية. مجلة وقاية النبات العربية، 27 (عدد خاص): A146-A145 (ملخص).
- Abdulhai, M., M. El-Bouhssini, M. Jamal, A.N. Trissi, Z. Sayyadi, M. Skinner and B.P. Barker. 2010. *Beauveria bassiana* characterization and efficacy vs. Sunn pest, *Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: Scutelleridae). Pakistan Journal of Biological Science, 13: 1052-1056. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2010.1052.1056>
- Akello, J., T. Dubois, D. Coyne and S. Kyamanywa. 2008. Endophytic *Beauveria bassiana* in banana (*Musa* spp.) reduces banana weevil (*Cosmopolites sordidus*) fitness and damage. Crop Protection, 27: 1437-1441. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.07.003>
- Alrubeai, H.F. 2018. Biological Control of Insect Pests in Iraq: 2) an Overview of Microbial Control Research Development. Academic Journal of Entomology, 11: 1-10.
- Baverstock, J., H.E. Roy and J.K. Pell. 2010. Entomopathogenic fungi and insect behaviour: from unsuspecting hosts to targeted vectors. BioControl, 55: 89-102. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3966-8_7
- Behie, S.W., S.J. Jones and M.J. Bidochka. 2015. Plant tissue localization of the endophytic insect pathogenic fungi *Metarhizium* and *Beauveria*. Fungal Ecology, 13: 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2014.08.001>
- Berg, G. and K. Smalla. 2009. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. FEMS Microbiol Ecology, 68: 1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2009.00654.x>
- Bischoff, J.F., S.A. Rehner and R.A. Humber. 2009. A multilocus phylogeny of the *Metarhizium anisopliae* lineage. Mycologia, 101: 508-528. <https://doi.org/10.3852/07-202>
- Blackwell, M. 2009. Fungal evolution and taxonomy. BioControl, 55: 7-16. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9243-8>

- Copping, L.G. and J.J. Menn.** 2000. Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. *Pest Management Science*, 56: 651–676.
[https://doi.org/10.1002/1526-4998\(200008\)56:8%3C651::AID-PS201%3E3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1526-4998(200008)56:8%3C651::AID-PS201%3E3.0.CO;2-U)
- Daoust, R.A. and D.W. Roberts.** 1983. Studies on the prolonged storage of *Metarhizium anisopliae* conidia: Effect of temperature and relative humidity on conidial viability and virulence against mosquitoes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 41: 143–150.
[https://doi.org/10.1016/0022-2011\(83\)90213-6](https://doi.org/10.1016/0022-2011(83)90213-6)
- de Faria, M.R. and S.P. Wraight.** 2007. Myco-insecticides and myco-acaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological Control*, 43: 237–256.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.001>
- De Muro, M.A., S. Elliott, D. Moore, B.L. Parker, M. Skinner, W. Reid and M. El Bouhssini.** 2005. Molecular characterisation of *Beauveria bassiana* isolates obtained from overwintering sites of Sunn Pests (*Eurygaster* and *Aelia* species). *Mycological Research*, 109: 294–306.
<https://doi.org/10.1017/S0953756204001832>
- Edgington, S., D. Moore, M. El Bouhssini and Z. Sayyadi.** 2007. *Beauveria bassiana* for the control of Sunn pest (*Eurygaster integriceps*) (Hemiptera: Scutelleridae) and aspects of the insect's daily activity relevant to a mycoinsecticide. *Biocontrol Science and Technology*, 17: 63–79.
<https://doi.org/10.1080/09583150600936990>
- Eilenberg, J., A. Hajek and C. Lomer.** 2001. Suggestions for unifying the terminology of biological control. *BioControl*, 46: 387–400.
<https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>
- Ekesi, S., N.K. Maniania and K. Ampong-Nyarko.** 1999. Effect of temperature on germination, radial growth and virulence of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on *Megalurothrips sjostedti*. *Biocontrol Science and Technology*, 9: 177–185.
<https://doi.org/10.1080/09583159929767>
- Elliot, S.L., M.W. Sabelis, A. Janssen, L.P.S. Van Der Geest, E.A.M. Beerling and J. Franssen.** 2000. Can plants use entomopathogens as bodyguards? *Ecology Letters*, 3: 228–235.
<https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00137.x>
- Enkerli, J. and F. Widmer.** 2010. Molecular ecology of fungal entomopathogens: molecular genetic tools and their applications in population and fate studies. *BioControl*, 55: 17–37.
<https://doi.org/10.1007/s10526-009-9251-8>
- Enkerli, J. and F. Widmer.** 2010. Molecular ecology of fungal entomopathogens: molecular genetic tools and their applications in population and fate studies. *BioControl*, 55: 17–37
<https://doi.org/10.1007/s10526-009-9251-8>
- Bogus, I.M., M. Czygier, M. Golebiowski, E. Kedra, J. Kucinska, J. Mazgajska, J. Samborski, W. Wieloch and E. Wloka.** 2010. Effects of insect cuticular fatty acids on *in vitro* growth and pathogenicity of the entomopathogenic fungus *Conidiobolus coronatus*. *Experimental Parasitology*, 125: 400–408.
<https://doi.org/10.1016/j.exppara.2010.04.001>
- Boucias, D.G. and J.C. Pendland.** 1998. Principles of insect pathology. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers. 568 pp.
<https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00735.x>
- Braga, G.U.L., S.D. Flint, C.D. Miller, A.J. Anderson and D.W. Roberts.** 2007. Both solar UVA and UVB radiation impair conidial curability and delay germination in the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Photochemistry Photobiology*, 74: 734–739.
[https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2001\)0740734BSUAUR2.0.CO2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2001)0740734BSUAUR2.0.CO2)
- Bruck D.** 2009. Fungal entomopathogens in the rhizosphere. *BioControl*, 55: 103–112.
<https://doi.org/10.1007/s10526-009-9236-7>
- Butt, T. M., M. Barrisever, J. Drummond, T.H. Schuler, F.T. Tillemans and N. Wilding.** 1992. Pathogenicity of the entomopathogenic Hyphomycetes fungus *Metarhizium anisopliae* against the chrysomelid beetles *Psylliodes chrysocephata* and *Phaedon cochleariae*. *Biocontrol Science and Technology*, 2: 327–334.
<https://doi.org/10.1080/09583159209355248>
- Castillo Lopez, D., K. Zhu-Salzman, M. Julissa, Ek-Ramos and G.A. Sword.** 2014. The entomopathogenic fungal endophytes *Purpureocillium lilacinum* (formerly *Paecilomyces lilacinus*) and *Beauveria bassiana* negatively affect cotton aphid reproduction under both greenhouse and field conditions. *PLoS ONE* 9, e103891.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103891>
- Charnley, A.K.** 1989. Mechanisms of fungal pathogenesis in insects. Pages 85–125. In: *Biotechnology of fungi for improving plant growth*. J.M. Whipps and R.D. Lumsden (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Cherry, A., A. Banito, D. Djegui and C. Lomer.** 2004. Suppression of the stem-borer *Sesamia calamistis* (Lepidoptera; Noctuidae) in maize following seed dressing, topical application and stem injection with African isolates of *Beauveria bassiana*. *International Journal of Pest Management*, 50: 67–73.
<https://doi.org/10.1080/09670870310001637426>
- Clark, M.M., K.D. Gwinn and B.H. Ownley.** 2006. Biological control of *Pythium myriotylum*. *Phytopathology*, 96: S25.
- Clavijo McCormick, A., S.B. Unsicker and J. Gershenson.** 2012. The specificity of herbivore-induced plant volatiles in attracting herbivore enemies. *Trends in Plant Science*, 17: 303–310.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.03.012>

- Hodge, K.T.** 2003. Clavicipitaceous anamorphs. Pages 75-123. In: Clavicipitalean fungi: Evolutionary biology, chemistry, biocontrol and cultural impacts. J.F. White, C.W. Bacon, N.L. Hywel-Jones and J.W. Spatafora (eds.). Marcel Dekker, New York.
- Humber, R.A., G.J. de Moraes and J.M. dos Santos.** 1981. Natural infection of *Tetranychus evansi* (Acarina: Tetranychidae) by a *Triplosporium* sp. (Zygomycetes: Entomophthorales) in Northeastern Brazil. *Entomophaga*, 26: 421-425. <https://doi.org/10.1007/BF02374716>
- Hung, S.Y., D.G. Bouccias and A. Vey.** 1993. Effect of *Beauveria bassiana* on the cellular defense response of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 60: 152-158. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(92\)90089-M](https://doi.org/10.1016/0022-2011(92)90089-M)
- Hyde, K.D. and K. Soyong.** 2008. The fungal endophyte dilemma. *Fungal Diversity*, 33: 163-173.
- Ignoffo, C.M and C. Garcia.** 1992. Influence of conidial color on inactivation of several entomogenous fungi (Hyphomycetes) by simulated sunlight. *Environmental Entomology*, 21: 913-917. <https://doi.org/10.1093/ee/21.4.913>
- Jaronski, S.T.** 2010. Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. *BioControl*, 55: 159-185. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9248-3>
- Khudhair, M.W., H.F. Alrubeai and M.Z. Khalaf.** 2016. Innovative method to control dubas bug, *Ommatissus lybicus* (Deberg) (Homoptera: Tropiduchidae) in date palm orchards using endophytic *Beauveria bassiana* isolates. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 6: 394-402. <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2016.06.004>
- Leland, J.E. and R.W. Behle.** 2005. Coating *Beauveria bassiana* with lignin for protection from solar radiation and effects on pathogenicity to *Lygus lineolaris* (Heteroptera: Miridae). *Biocontrol Science and Technology*, 15: 309-320.
- Lord, J.** 2005. From Metchnikoff to Monsanto and beyond: the path of microbial control. *Journal of Invertebrate Pathology*, 89: 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2005.04.006>
- McCoy, C.W., R.A. Samson and D.G. Boucias.** 1988. Entomogenous fungi. *Microbial Insecticides*, 5: 151-236. Boca Raton: CRC.
- Moore, D., M. Reed, G. Le Patourel, Y.J. Abraham and C. Prior.** 1992. Reduction of feeding by the desert locust, *Schistocerca gregaria*, after infection with *Metarhizium flavoviride*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 60: 304-307.
- Ownley, B.H., K. Gwinn and F. Vega.** 2010. Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens. *Ecology and evolution*. *BioControl*, 55: 113-128.
- Ownley, B.H., R.M. Pereira, W.E. Klingeman, N.B. Quigley and B.M. Leckie.** 2004. *Beauveria bassiana*, a dual purpose biocontrol organism, with activity against insect pest and plant pathogens. Pages 256-269. In: *Emerging Concepts in Plant Health Management*. R.T. Lartey and A.J. Caesar (eds.). Research Signpost, Kerala, India.
- Fargues, J., A. Ouedraogo, M.S. Goettel and C.J. Lomer.** 1997. Effects of temperature, humidity and inoculation method on susceptibility of *Schistocerca gregaria* to *Metarhizium flavoviride*. *Biocontrol Science and Technology*, 7: 345-356. <https://doi.org/10.1080/09583159730758>
- Furtado, I.P., G.J. Moraes, S. Kreiter, M.S. Tixier and M. Knapp.** 2007. Potential of a Brazilian population of the predatory mite *Phytoseiulus longipes* as a biological control agent of *Tetranychus evansi* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Biological Control*, 42: 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.04.016>
- Gardner, W.A., R.M. Sutton and R. Noblet.** 1977. Persistence of *Beauveria bassiana*, *Nomuraea rileyi*, and *Nosema necatrix* on soybean foliage. *Environmental Entomology*, 6: 616-618. <https://doi.org/10.1093/ee/6.5.616>
- Gillespie, A.T. and N. Claydon.** 1989. The use of entomopathogenic fungi for pest control and the role of toxins in pathogenesis. *Pesticides Science*, 27: 203-15. <https://doi.org/10.1002/ps.2780270210>
- Goettel, M.S. R.J. St. Leger, N.W. Rizzo, R.C Staples and D.W. Robert.** 1989. Ultrastructural localization of cuticle degrading protease produced by the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* during penetration of host (*Manduca sexta*) cuticle. *Journal of General Microbiology*, 135: 2233-2239.
- Griffin, M.R.** 2007. *Beauveria bassiana*, a cotton endophyte with biocontrol activity against seedling disease. PhD Dissertation, the University of Tennessee, Knoxville, TN, USA.
- Gurulingappa, P., G.A. Sword, G. Murdoch and P.A. Mcgee.** 2010. Colonization of crop plants by fungal entomopathogens and their effects on two insect pests when in planta. *Biological Control*, 55: 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.06.011>
- Hajek, A.N.** 2004. Natural enemies; An introduction to biological control. Cambridge University Press, 378 pp. <https://doi.org/10.1002/ps.1020>
- Hajek, A.E. and I.J. Delalibera.** 2010. Fungal pathogens as classical biological control agents against arthropods. *BioControl*, 55: 147-158. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9253-6>
- Hajek, A.E. and R.J. St. Leger.** 1994. Interaction between fungal pathogens and insect host. *Annual Review of Entomology*, 39: 293-322. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.39.010194.001453>
- Hajek, A.E., J.S. Elkinton and J.J. Witcosky.** 1996. Introduction and spread of the fungal pathogen *Entomophaga maimaiga* along the leading edge of gypsy moth spread. *Environmental Entomology*, 25: 1235-1247. <https://doi.org/10.1093/ee/25.5.1235>
- Hajek, A.E., M.L. McManus and I.J. Delalibera.** 2007. A review of introductions of pathogens and nematodes for classical biological control of insects and mites. *Biological Control*, 41: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.11.003>

- Sarr, I., M. Knapp, C.K.P. Ogol and J. Baumgartner.** 2002. Impact of predators on *Tetranychus evansi* Baker and Pritchard populations and damage on tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in Kenya. International Congress of Acarology, 11 Merida, Mexico. Abstract book, 271 pp.
- Sasan, R.K. and M.J. Bidochka.** 2012. The insect-pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* (Clavicipitaceae) is also an endophyte that stimulates plant root development. American Journal of Botany, 99: 101–107. <https://doi.org/10.3732/ajb.1100136>
- Shah, P.A. and J.K. Pell.** 2003. Entomopathogenic fungi as biological control agents. Applied Microbiology and Biotechnology, 61: 413–423. <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1240-8>
- Skinner, M., P.L. Parker, S. Gouli, W. Reid, M. El Bouhssini, M. Amir-Maafi and Z. Sayyadi.** 2007. Entomopathogenic fungi for Sunn pest management: Efficacy trials in overwintering sites. In: Sunn Pest Management: A Decade of Progress 1994–2004. B.L. Parker, M. Skinner, M. El-Bouhssini and S.G. Kumari (eds.). Published by the Arab Society for Plant Protection, Beirut, Lebanon, 432 pp.
- Sprenkel, R.K., W.M. Brooks, J.W. Van Duyn and L.L. Deitz.** 1979. The effects of three cultural variables on the incidence of *Nomuraea rileyi*, phytophagous Lepidoptera, and their predators on soybeans. Environmental Entomology, 8: 334–339. <https://doi.org/10.1093/ee/8.2.334>
- St. Leger, R.J., L.L. Allee, B. May, R.C. Staples and D.W. Roberts.** 1992. World-wide distribution of genetic variation among isolates of *Beauveria* spp. Mycological Research, 96: 1007–1015. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80108-1](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80108-1)
- Tanada, Y. and H.K. Kaya.** 1993. Insect pathology. Academic Press. New York, 665pp.
- Tefera, T. and K.L. Pringle.** 2003. Germination, radial growth, and sporulation of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates and their virulence to *Chilo partellus* (Lepidoptera: Pyralidae) at different temperatures. Biocontrol Science and Technology, 13: 699–704. <https://doi.org/10.1080/0958315031000151756>
- Thakur, A., S. Kaur, A. Kaur and V. Singh.** 2013. Enhanced resistance to *Spodoptera litura* in endophyte infected cauliflower plants. Environmental Entomology, 42: 240–246. <https://doi.org/10.1603/EN12001>
- Trissi, A.N., M. El Bouhssini, M.N. Al Salti, M. Abdulhai, M. Skinner and P.L. Parker.** 2012. Virulence of *Beauveria bassiana* against Sunn pest, *Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: Scutelleridae) at different time periods of application. Journal of Entomology and Nematology, 4: 49–53.
- Van Wees, S.C.M., S. Van Der Ent and C.M.J. Pieterse.** 2008. Plant immune responses triggered by beneficial microbes. Current Opinions in Plant Biology, 11: 443–448. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.05.005>
- Vega, F.E.** 2008. Insect pathology and fungal endophytes. Journal of Invertebrate Pathology, 98: 277–279. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.01.008>
- Parker, B.L., M. Skinner, M. Brownbridge and M. El Bouhssini.** 2000. Control of insect pests with Entomopathogenic fungi. Arab Journal of Plant Protection, 18: 133–138.
- Pell, J.K., J.J. Hannam and D.C. Steinkraus.** 2010. Conservation biological control using fungal entomopathogens. BioControl, 55: 187–198.
- Pieterse, C.M.J., E.H. Poelman, S.C.M. Van Wees and M. Dicke.** 2013. Induced plant responses to microbes and insects. Frontiers of Plant Science, 4: 475. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00475>
- Pineda, A., S.-J. Zheng, J.J.A. van Loon, C.M.J. Pieterse and M. Dicke.** 2010. Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. Trends in Plant Science, 15: 507–514. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.05.007>
- Poprawski, T.J. and J.J. Walker.** 2000. Host plant effects on activity of the mitosporic fungi *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus* against two populations of *Bemisia* whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae). Mycopathologia, 151: 11–20.
- Powell, W.A., W.E. Klingeman, B.H. Ownley and K.D. Gwinn.** 2009. Evidence of endophytic *Beauveria bassiana* in seed-treated tomato plants acting as a systemic entomopathogen to larval *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Entomological Sciences, 44: 391–396. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-44.4.391>
- Reineke, A. and Y. Rondot.** 2014. Potential of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as an endophyte in grapevine *Vitis vinifera*. Hochschule Geisenheim University, Institute of Phytomedicine. IOBC Bulletin, 105: 35–43.
- Roddam, L.F. and A.C. Rath.** 1997. Isolation and characterization of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* from subantarctic Macquarie Island. Journal of Invertebrate Pathology, 69: 285–288.
- Roy, H.E. and T.E. Cottrell.** 2008. Forgotten natural enemies: Interactions between coccinellids and insect-parasitic fungi. European Journal of Entomology, 105: 391–398. <https://doi.org/10.14411/eje.2008.049>
- Roy, H.E., E.L. Brodie, D. Chandler, M.S. Goettel, J.K. Pell, E. Wajnberg and F.E. Vega.** 2010. Deep space and hidden depths: understanding the evolution and ecology of fungal entomopathogens. BioControl, 55: 1–6. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9244-7>
- Roy, H.E., D. Steinkraus, E. Eilenberg, J.K. Pell and A. Hajek.** 2006. Bizarre interactions and endgames: entomopathogenic fungi and their arthropod hosts. Annual Review of Entomology, 51: 331–357. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.150941>
- Samson, R.A., H.C. Evans and J.P. Latge.** 1988. Atlas of entomopathogenic fungi. Springer-Verlag, Berlin. 187 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05890-9>

- Walstad, J.D., R.F. Anderson and W.J. Stambaugh.** 1970. Effects of environmental conditions on two species of muscardine fungi (*Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*). *Journal of Invertebrate Pathology*, 16: 221-226.
[https://doi.org/10.1016/0022-2011\(70\)90063-7](https://doi.org/10.1016/0022-2011(70)90063-7)
- Wraight, S.P., G.D. Inglis and M.S. Goettel.** 2007. Fungi. Pages 223-248. In: *Field manual of techniques in invertebrate pathology*. L.A. Lacey and H.K. Kaya (eds.) Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Yan, J.F., S.J. Broughton, S.L. Yang and A.C. Gange.** 2015. Do endophytic fungi grow through their hosts systemically? *Fungal Ecology*, 13: 53–59.
<https://doi.org/10.1016/j.funeco.2014.07.005>
- Vega, F.E., M.S. Goettel, M. Blackwell, D. Chandler, M.A. Jackson, S. Keller, M. Koike, N.K. Maniania, A. Monzon, B.H. Ownley, J.K. Pell, D.E.N. Rangel, and H.E. Roy.** 2009. Fungal entomopathogens: new insights on their ecology. *Fungal Ecology*, 2: 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2009.05.001>
- Vega, F.E., A. Simpkins, M.C. Aime, F. Posada, S.W. Peterson, S.A. Rehner, F. Infante, A. Castillo and A.E. Arnold.** 2010. Fungal endophyte diversity in coffee plants from Colombia, Hawaii, Mexico and Puerto Rico. *Fungal Ecology*, 3: 122–138.
<https://doi.org/10.1016/j.funeco.2009.07.002>
- Vestergaard, S., A. Cherry, S. Keller and M. Goettel.** 2003. Safety of hyphomycete fungi as microbial control agents. Pages 35-62. In: *Environmental impacts of microbial insecticides*. H.M.T. Hokkanen and A.E. Hajek (eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Received: May 17, 2018; Accepted: July 26, 2018

تاريخ الاستلام: 2018/5/17؛ تاريخ الموافقة على النشر: 2018/7/26