المكافحة الحيوية للحشرات والأكاروسات

يكون الغرض من المكافحة الحيوية (أو البيولوجية) Biological Control هو التخلص من الآفة فى كل من بيئة الزراعة والنبات المصاب معًا. ومن أهم مميزاتها ما يلى:

١-لا تؤدى إلى قتل الأعداء الطبيعية للآفات كما يحدث عند استعمال المبيدات.

٢-لا تترك أثرًا ضارًا بالإنسان على الأجزاء النباتية المستعملة فى الغذاء.

٣-لا تؤدى إلى تلوث البيئة كما يحدث عند استعمال المبيدات فى المكافحة.

لكن يعيب المكافحة الحيوية أنها لا يمكن أن تؤدى إلى التخلص نهائيًّا من الآفة المراد مكافحتها؛ نظرًا لأنه يوجد دائمًا توازن بين الآفة والطفيل الذى يتطفل عليها، والذى يستخدم فى مكافحتها.

أنواع الكائنات الحية المستخدمة فى المكافحة الحيوية للحشرات والأكاروسات

يستخدم فى المكافحة الحيوية للحشرات والأكاروسات والنيماتودا نوعيات مختلفة من الكائنات تصنف كما يلى:

١-المفترسات predators: مثل حشرة أبو العيد والعناكب، وهى تفترس الحشرات التى تتغذى عليها بالكامل، وتكون قليلة التخصص غالبًا.

٢-المتطفلات parasitoids: مثل الزنابير والذباب، وهى تضع بيضها على الحشرات التى تتطفل عليها، أو فيها، وعندما يفقس البيض فإن اليرقات تتغذى على الضحية حتى تقتلها، وتكون المتطفلات أكثر تخصصًا.

٣-الممرضات الحشرية entomopathogens: وهى كائنات دقيقة تهاجم الحشرات ومنها بكتيريا، وفطريات، وفيروسات، ونيماتودا.

تعرف عملية الإكثار التجارى للمفترسات والمتطفلات والممرضات الحشرية باسم

augmentation، ولقد أصبح من المألوف طلب تلك الأعداء الطبيعية بالبريد فى عديد من الدول.

كما يدخل ضمن المكافحة البيولوجية وسائل لا تتضمن كائنات حية، وإن كانت تعتمد على خصائص بيولوجية، وتعرف باسم parabiological control agents، وتتضمن ما يلى:

١- إطلاق حشرات معقمة.

٢- استخدام مصائد الفيرومونات pheromones.

٣- المعاملة بمنظمات النمو الحشرية (Hagler ٢٠٠٠).

وقد تناول Hagler (٢٠٠٠) موضوع المكافحة البيولوجية للحشرات بشئ من التفضيل.

متطلبات نجاح المكافحة الحيوية للحشرات

إن من أهم الأمور التى يتعين أخذها فى الحسبان عند تطبيق مبدأ المكافحة البيولوجية ما يلى:

أولا: بالنسبة لاستعمال المفترسات والمتطفلات الحشرية والحيوانية

١- يستلزم اتباع هذه الطريقة – غالبًا – وقتًا أطول عما تستلزمه المكافحة الكيميائية.

٢- لا توجد مكافحة بيولوجية تعطى ١٠٠٪ كفاءة فى مكافحة أى آفة.

٣- نظرًا لأن كثيرًا من الكائنات المستعملة فى المكافحة الحيوية تعمل ببطء؛ لذا.. يتعين استعمالها عندما تكون أعداد الآفة منخفضة.

٤- تعمل معظم المفترسات والمتطفلات فى حرارة ١٨-٢٩°م ورطوبة نسبية ٦٠٪ – ٩٠٪.

٥- تموت كائنات المكافحة الحيوية إذا تعرضت نباتات الصوبة لفترات يتوقف فيها النمو؛ سواء أكان ذلك بسبب سيادة حرارة شديدة الارتفاع، أم شديدة الانخفاض.

٦-إذا كان مستوى الآفة عال جدًّا عند بدء استعمال كائنات المكافحة الحيوية فإنها غالبًا لن تعطى مكافحة جيدة.

٧-تتباين كفاءة الكائن الواحد المستعمل فى المكافحة من محصول لآخر؛ فمثلاً.. تقل كفاءتها على المحاصيل ذات الأوراق الوبرية مثل الطماطم.

٨-تموت الكائنات المستعملة فى المكافحة الحيوية جوعًا إذا ما تم التخلص تمامًا من الآفة.

٩-تفرز بعض النباتات مواد سامة لكائنات المكافحة الحيوية (Integrated Pest Management for Greenhouse Crops – أترا Attra – الإنترنت – ٢٠٠٧).

ثانيًا: بالنسبة لاستعمال الكائنات الدقيقة الممرضة

من الأمور التى تجب مراعاتها عند استعمال الكائنات الدقيقة المستخدمة فى المكافحة الحيوية مراعاة ما يلى:

١-إدخال تلك الكائنات فى الوقت المناسب، وكلما بكرنا فى إدخالها كلما انخفضت الأعداد التى نحتاجها ، وكلما زادت كفاءتها، ويمكن حتى إدخال بعض من الكائنات المستخدمة فى المكافحة الحيوية كإجراء مانع للإصابة.

٢-يُعطَى اهتمام خاص لجودة المنتج المستخدم وأن يكون من مصادر موثوق بها.

٣-يُهتم كذلك بحرارة تخزين المنتج وآخر تاريخ للاستعمال.

٤-التعرف على بيولوجى الكائن المستعمل فى المكافحة.

٥-توفير الظروف التى تحفز وصول الأعداء الطبيعية للحقل وتكاثرها بتوفير النباتات الجاذبة لها.

٦-التأكد من أن عمليات الخدمة الزراعية مثل الحصاد والتقليم وإزالة الأوراق القديمة لا تؤدى إلى خفض أعداد الكائنات المستعملة فى المكافحة الحيوية.

٧-التأكد من عدم تعارض استعمال بدائل المبيدات مع الكائنات المستخدمة فى المكافحة الحيوية (Koppert Biological Systems – الإنترنت – ٢٠٠٧).

المكافحة الحيوية بالاعتماد على الحشرات والأكاروسات

يبين جدول (٨–٧) أهم أنواع المفترسات والمتطفلات المتوفرة تجاريًّا، والتى تستخدم فى مكافحة الحشرات والأكاروسات.

جدول (٨–٧): بعض المفترسات والمتطفلات المتوفرة تجاريًّا لمكافحة الحشرات والأكاروسات (Ohio State University Extension ٢٠٠٥).

الاسم العادى	الاسم العلمى	الآفات التى يهاجمها
متطفل على الذبابة البيضاء	*Encarsia formosa*	الذبابة البيضاء
متطفل على الذبابة البيضاء	*Eretmocerous eremicus*	الذبابة البيضاء
	Eretmocerous mundus	
متطفل على صانعات الأنفاق	*Diglyphus* spp., *Dacnusa* spp.	صانعات الأنفاق
قاتل للخنفساء المغبرة	*Cryptolaemus montrouzieri*	بق الحمضيات الدقيقى
متطفل على الخنفساء المغبرة	*Leptomastix dactylopii*	بق الحمضيات الدقيقى
ذبابة متطفلة على المنّ	*Aphidoletes aphidimyza*	المنّ
متطفل على المنّ	*Aphidius colemani*	منّ الخوخ الأخضر ومنّ القطن
متطفل على المنّ	*Aphidius ervi, Aphelinus abdomalis*	منّ البطاطس
مفترس حشرى أرضى	*Atheta coriaria*	يرقات بعوضة الفطر وعذارى تربس الأزهار الغربى
نيماتودا متطفلة على بعوضة الفطر	*Steinernema feltiae,* plus others	يرقات بعوضة الفطر
أكاروس متطفل على التربس وبعوضة الفطر	*Hypoaspis miles*	يرقات بعوضة الفطر وعذارى التربس
مفترس العنكبوت الأحمر	*Phytoseiulus persimilis,* other phytoseiids	العنكبوت الأحمر
	Amblyseius californicus	
أسد المنّ	*Chrysoperia* sp.	المنّ والذبابة البيضاء والأكاروس وديدان حرشفية الأجنحة
قرصان الخنافس الدقيق	*Orius insidiosus*	التربس وغيره من الحشرات
مفترس التربس	*Neoseiulus cucumeris*	التربس
	Amblyseius degenerans	
	Amblyseius cucumeris	
متطفل الفراشات	*Trichogramma brassicae*	بيض الفراشات

ومن أنواع المفترسات – التى تتوفر فى مصر، وتلعب دورًا هامًّا فى الحد من أعداد الحشرات التى تقع فريسة لها – ما يلى (عن حماد وعبد السلام ١٩٨٥).

الحشرة	أنواعها الهامة	الحشرات التى تفترسها
إبرة العجوز	إبرة العجوز الكبيرة *Labidura riparia*	كثير من يرقات وعذارى حشرات من رتبة حرشفية الأجنحة، وكذلك بعض أنواع المنّ
	إبرة العجوز الصغيرة *Labidura minor*	
الرعاشات	الرعاش الكبير *Henrianax ephippiger*	تفترس حورياتها المائية الحشرات والديدان المائية، وتفترس الحشرات الكاملة عديدًا من الحشرات الطائرة، كالبعوض، والهاموش
	الرعاش الصغير *Lschnura senegalesis*	
أسود المنّ	*Chrysopa vulgaris*	تفترس يرقاته أنواع المنّ، واليرقات الصغيرة من دودة ورق القطن، والحشرات القشرية، والتربس
أسود النمل	*Cueta varieegata*	تفترس يرقاتهما أنواع النمل المختلفة
	Palpares cephalotes	
الخنافس المفترسة	خنافس الكالوسوما *Chalosoma chlorostictum*	تفترسان يرقات دودة ورق القطن وبيضها، ودودتى اللوز الشوكية والقرنفلية،
	الحشرة الرواغة *Paederus alfierii*	والدودة القارضة، وأنواع المنّ
	خنفساء أبو العيد ذات الإحدى عشرة نقطة *Cacinella undecimpunctata*	تتغذى يرقات هذه الحشرة وأطوارها الكاملة على المنّ.
	خنفساء أبو العيد ذات النقط السبع *Coccinella septempunctata*	والحشرات القشرية، والبق الدقيقى، والحلم
	خنفساء أبو العيد الأسود *Cydonia vicina isis*	
	خنفساء أبو العيد السمنى *Cydonia vicina nilotica*	
	خنفساء الكربتوليمس *Chryptolaemus montrauzieri*	استوردت من فرنسا لمقاومة بق القصب الدقيقى وبق الهبسكس الدقيقى.
الزنابير المفترسة	الزنابير الزرقاء؛ مثل: *Strilbum splendidum*	تفترس الزنابير كثيرًا من الحشرات بعد أن تخدرها

الحشرة	أنواعها الهامة	الحشرات التى تفترسها
	زنابير الطين ذات الخصر النحيل؛ مثل:	
	زنبور الأموفيلا الكبير *Ammophila tydei*	
	زنابير الطين البانية؛ مثل: *Eumenes maxillosa*	
	الزنبور الأصفر *Polistes glallica*	

ويُستفاد فى مصر من المفترس الأكاروسى *Phytoseiulus macropilis* فى مكافحة العنكبوت الأحمر *Tetranychus urticae*، حيث يُطلق فى حقول الفراولة، كما أعطى المفترس نتائج جيدة فى حقول كل من الفاصوليا والخيار والكنتالوب.

المكافحة الحيوية بالاعتماد على الفطريات

على خلاف البكتيريا والفيروسات المستعملة فى المكافحة الحيوية للحشرات، فإن الفطريات المستعملة لهذا الغرض يمكن لجراثيمها الكونيدية الإنبات المباشر على السطح الخارجى لجسم الحشرة، وهى يمكن أن تصيب أى طور من الأطوار الحشرية، وقد تتخصص على طور أو أطوار معينة منها.

ويلزم عند المعاملة بالفطريات توفر رطوبة حرة ورطوبة نسبية عالية لكى يمكن أن تنبت الجراثيم الكونيدية، وهى التى تعد حساسة للأشعة فوق البنفسجية التى تفقدها فاعليتها.

إن من أهم سلبيات ومشاكل استعمال الفطريات فى المكافحة الحيوية للحشرات، ما يلى:

١- بطء فاعليتها، حيث تتطلب — عادة — أكثر من ٧ أيام.

٢- ضعف تأثيرها على الطور البالغ (من الذبابة البيضاء)؛ حيث يحتاج الأمر إلى عدة رشات لمكافحة الأجيال المتداخلة (من الذبابة البيضاء).

٣- تعتمد فاعليتها على تواجد ظروف بيئية مناسبة.

٤-تفضيل الذبابة البيضاء للسطح السفلى للأوراق؛ مما يشكل صعوبة فى توصيل الفطر إليها.

٥-التكلفة العالية.

٦-قصر فترة احتفاظها بحيويتها، وخاصة فى حرارة الغرفة.

ومن أهم ما تجب مراعاته للتغلب على سلبيات ومشاكل الفطريات المستعملة فى المكافحة الحيوية للحشرات، ما يلى:

١-يفضل دائمًا استعمالها ضد طور الحوريات الأول، بهدف منع تكاثرها إلى مستويات يصعب التحكم فيها. هذا مع العلم بأن هذه الفطريات لا يمكن الاعتماد عليها فى مكافحة الأعداد الكبيرة جدًّا من طور الحوريات الأول أو الحشرات البالغة. ومن ناحية أخرى فإن *B. bassiana*، و *P. fumosoroseus* متوافقتان مع مدى واسع من المبيدات الحشرية التى تستخدم فى التخلص من الحشرات المهاجرة التى تكون سريعة التكاثر وتنقل إلى النباتات الإصابات الفيروسية.

٢-ضرورة الاستفادة من الظروف البيئية المناسبة متى توفرت.

٣-استعمال رشاشات قادرة على توصيل محلول الرش إلى السطح السفلى للأوراق.

٤-إبطاء سرعة الرش، مع زيادة الضغط وحجم سائل الرش لتحقيق أكبر تغطية ممكنة لكل الأسطح النباتية.

٥-تركيز الرش على خطوط النباتات إن لم تكن تغطيتها للمصاطب كاملة.

٦-تخزين التحضيرات التجارية تحت تبريد أو فى حجرات مكيفة كلما أمكن ذلك (Faria & Wraight ٢٠٠١).

ويعتبر الفطر *Beauveria bassiana* أكثر الفطريات استخدامًا فى المكافحة الحيوية. يتواجد هذا الفطر فى التربة فى شتى أنحاء العالم، وتتفاوت الحشرات فى قابليتها للإصابة بمختلف سلالاته. وقد عزلت عديد من السلالات من حشرات مصابة. وينتشر استعمال

سلالتين على نطاق واسع، هما: GHA، و ATCC74040. هذا وتفصل الجراثيم الكونيدية من مزارع الفطر لأجل استعمالها رشًّا فى التحضيرات التجارية.

يقتل الفطر *B. bassiana* الآفة بعد ملامسة جراثيم الفطر لها حيث تنبت وتخترق جسم الحشرة وينمو الفطر بداخلها، ويستغرق الأمر – عادة – نحو ٣–٥ أيام لحين موت الحشرة. وتشكل الأجسام الحشرية الميتة مصدرًا للانتشار الثانوى للفطر.

ويناسب إنبات جراثيم الفطر الرطوبة النسبية العالية وتواجد الرطوبة الحرة والحرارة المعتدلة أو المائلة للبرودة (٢١–٢٧°م)، ولكنها تتأثر سلبيًّا بالأشعة الشمسية.

ونظرًا لقصر فترة بقاء الجراثيم الكونيدية حية؛ لذا.. يجب الحرص على ملامسة محلول الرش للحشرات المستهدفة، مع توصيل محلول الرش إلى كل الأسطح الورقية بما فى ذلك السطح السفلى للأوراق. وتتأثر فاعلية المقاومة بالفطر إيجابيًّا باستعمال تركيزات عالية من جراثيم الفطر مع الرش خلال المراحل المبكرة للنمو الحشرى قبل ظهور أضرار كبيرة من جراء الإصابة الحشرية.

يفيد الفطر *B. bassiana* فى مكافحة التربس والذبابة البيضاء والمنّ وديدان حرشفية الأجنحة والسوس ونطاطات الأعشاب والخنافس المغبرة وخنفساء كلورادو.

ومما تجب مراعاته بشأن استخدام الفطر فى المكافحة ما يلى:

١–لا تُجرى المعاملة إلا فى وجود الحشرات المستهدفة، فلا يجرى رش وقائى.

٢–قد لا تكفى رشة واحدة، نظرًا لسرعة فقد الفطر لحيويته بفعل الأشعة الشمسية وسهولة غسيله من على الأسطح النباتية بالمطر وماء الرى بالرش.

٣–تزداد فاعلية الفطر على المراحل العمرية المبكرة للحشرات.

٤–عدم خلط الفطر مع مبيدات فطرية وعدم الرش بتلك المبيدات قبل مرور أربعة أيام على المعاملة بالفطر.

٥–محاولة زيادة الرطوبة النسبية قدر الإمكان لزيادة فاعلية الفطر.

ومن بين التحضيرات التجارية للفطر ما يلى:

١- Mycotrol O وهو يحتوى على سلالة الفطر GHA.

٢- Naturalis H & G وهو يحتوى على سلالة الفطر ATCC74040.

٣- Naturalis L وهو يحتوى على سلالة الفطر ATCC74040.

(عن Resource Guide for Organic Insect and Disease Manangement – الإنترنت – ٢٠٠٦).

كذلك يوفر الفطران *Paecilomyces fumosoroseus*، و *Beauveria bassiana* مكافحة جيدة للذبابة البيضاء من خلال تأثيرهما على حوريات الحشرة وليس على الحشرة الكاملة، وذلك عند الرش بأى منهما كل ٤-٥ أيام فى الكنتالوب وكل ٧ أيام فى الكوسة (Wraight وآخرون ٢٠٠٠).

وقد أدت المعاملة بالفطر *P. fumosoroseus* (السلالة Apopka 97) إلى مكافحة ذبابة البيوت المحمية البيضاء *Trialeurodes vaporariorum* بصورة جيدة (Van de Veire & Degheele ١٩٩٦، و Sterk وآخرون ١٩٩٦).

وأظهرت يرقات فراشة درنات البطاطس *Phthoriumaea operculella* قابلية شديدة للإصابة بكل من الفطر *Metarhizium anisopliae* والفيرس granulosis virus، علمًا بأنهما يعطيان تأثيرًا أشد فى مكافحة اليرقات إذا ما استعملا معًا بتركيز عالٍ من الفطر وبتركيز منخفض من الفيرس (Sewify وآخرون ٢٠٠٠).

كما أظهرت الدراسات أن كلاً من الفطرين *Beauveria bassiana*، و *Metarhizium anisopliae* يتطفلان على سوسة البطاطا *Cylas puncticollis*، ويؤديان إلى الحد من تغذيتها وخصوبتها، وضعف حيوية بيضها (Ondiaka وآخرون ٢٠٠٨).

المكافحة الحيوية بالاعتماد على البكتيريا

إن التقدم الهائل الذى حدث فى دراسات حث تطوير المقاومة الجهازية فى النباتات ضد الأمراض عن طريق المعاملة بالكائنات الدقيقة – وخاصة ببكتيريا المحيط الجذرى – لا

يزال فى أولى خطواته بالنسبة لدراسات حث المقاومة الجهازية ضد الحشرات والأكاروسات بالاستعانة بالبكتيريا، إلا أن هذه النوعية من الدراسات قد تفتح آفاقًا واسعة جديدة فى مجال مكافحة الحشرات.

فمثلاً.. أدت معاملة بيئة الزراعة فى مشاتل الفلفل بمخلوط من نوعى البكتيريا *Bacillus subtilis*، و *Bacillus amyloliquefaciens* إلى جعل النباتات – بعد شتلها – أكثر قدرة على تحمل الإصابة بمنّ الخوخ الأخضر *Myzus persicae* (Herman وآخرون ٢٠٠٨).

هذا.. إلا أن الاهتمام الأكبر فى مجال مكافحة الحشرات بالبكتيريا ينصب فى الوقت الحاضر – ومن قبل منتصف القرن العشرين – على الاستعانة بالبكتيريا *Bacillus thuringensis*.

اكتشفت قدرة البكتيريا *Bacillus thurigensis* (اختصارًا: Bt) على قتل الحشرات فى عام ١٩١١، ولكنها لم تتوفر تجاريًّا لهذا الغرض إلاّ فى عام ١٩٥٠.

يتعين لكى تكون البكتيريا مؤثرة أن تتناولها الحشرة فى غذائها، وعندما تصل إلى الخلايا المبطنة للأمعاء فإنها تتلفها؛ مما يفقد الحشرة الرغبة فى التغذية، حيث تموت من الجوع فى خلال يوم واحد إلى أيام قليلة، ولكنها – وحتى تموت – لا تُحدث أضرارًا بالأنسجة النباتية.

ولأن الحشرة يجب أن تحصل على البكتيريا فى غذائها، فإن الرش يجب أن يشمل كل الأسطح النباتية. وعلى الرغم من ذلك فإن بعض الديدان كالناخرات تصل إليها البكتيريا ضمن غذائها.

ليست لهذا البكتيريا تأثيرات سلبية على الأعداء الحشرية الطبيعية من المفترسات والمتطفلات، كما أنها لا تؤثر على الحشرات الملقحة مثل النحل.

إن أكثر سلالات البكتيريا شيوعًا فى الاستعمال هى *kurstai*، وهى المتخصصة على يرقات حرشفية الأجنحة. كذلك تستعمل سلالات *Israelensis* فى مكافحة البعوض

والذباب، وسلالات San diego/*tenebrionis* فى مكافحة بعض أنواع الخنافس (Colorado State University – الإنترنت – ٢٠٠٦).

يتحد سُمَ البكتيريا Bt – فى خلال دقائق من تناول الحشرة له فى غذائها – مع مستقبلات خاصة فى جدار معى الحشرة، وتتوقف بعدها الدودة عن التغذية، وفى خلال ساعات ينهار جدار معى الحشرة بما يسمح لجراثيم الـ Bt والبكتيريا التى تتواجد طبيعيًّا بالدخول فى تجويف جسم الحشرة حيث يذوب سُمَ الـ Bt. وفى خلال يوم إلى يومين تموت اليرقة مع انتشار جراثيم الـ Bt وبكتيريا المعى فى دمها.

تُنتج تلك البكتيريا تجاريًّا فى تانكات تخمر، ومع توفر الظروف المناسبة – فإن كل خلية بكتيرية تُنتج جرثومة وبروتين بللورى سام يُعرفُ باسم endotoxin.

وتعمل منتجات الـ Bt جيدًا على اليرقات الصغيرة عندما تكون نشطة فى التغذية. أما الحشرات الماصة مثل المن والذبابة البيضاء فإنها لا تتأثر بالـ Bt. ويجب أن تتغذى اليرقة لبعض الوقت حتى تلتقط ما يكفى من الـ Bt لموتها. ولا تتبقى الـ Bt على أوراق النبات سوى لأيام قليلة، ويحتاج الأمر إلى المعاملة بها ٢–٣ مرات خلال مدة ثمانية أيام لتحقيق أفضل مكافحة (عن Brust وآخرين ٢٠٠٣).

عند تناول الحشرة لهذا السُمَ فإنه ينشط فى الوسط القاعدى بالمعى وبالنشاط الإنزيمى فيها. ويحدد وجود مستقبلات معينة للسم الحشرى ما إذا كانت البكتيريا ستكون مؤثرة أم غير مؤثرة، أى أن التخصص البكتيرى يتحدد بتلك المستقبلات التى يجب أن تكون متوافقة معه.

هذا.. وليس للبكتيريا التى تتكاثر فى جسم الدودة دورًا تاليًا فى مكافحة أجيال أخرى من الحشرة (Brust وآخرون ٢٠٠٣، و Weinzierl وآخرون ٢٠٠٦).

ونظرًا لضرورة تناول الحشرة للسُمَ فى غذائها لكى يكون فعالاً، فإنه يتعين إجراء المعاملة فى الجزء النباتى الذى تتغذى عليه الحشرة وفى الوقت الذى تحدث فيه التغذية.

وكما هو الحال مع معظم المبيدات الحشرية، فإن اليرقات الصغيرة تكون أكثر تأثرًا بالسُمَ البكتيرى عن اليرقات المتقدمة فى العمر؛ لذا يلزم توقيت المعاملة تبعًا لذلك؛ مما يعنى أهمية الاكتشاف المبكر للإصابة الحشرية.

وتجدر الإشارة إلى أن المادة الفعّالة قد لا تبقى فعّالة لأكثر من أيام قليلة بعد الرش بسبب تحللها بفعل الأشعة الشمسية. لذا.. فإنه يلزم – غالبًا – تكرار المعاملة. كذلك يلزم احتواء محلول الرش على مواد لاصقة (لكى يلتصق السُمَ الحشرى بالأسطح النباتية)، وأخرى مثبطة للأشعة فوق البنفسجية (لأجل حماية السُمَ الحشرى من التحلل بفعل الضوء).

وكما هو الحال مع عديد من المبيدات الحشرية، فإن الحشرات يمكن أن تطور مقاومة ضد السُم البكتيرى؛ الأمر الذى حدث بالفعل مع كل من خنفساء كلورادو والفراشة ذات الظهر الماسى. ولتجنب تكرار ذلك مع حشرات أخرى يجب عدم اللجوء إلى استعمال سُموم الـ Bt إلا عند الضرورة ومع وسائل المكافحة المتكاملة الأخرى. كذلك يفضل استخدام السُم فى جيل واحد من الحشرة واللجوء إلى وسائل أخرى لمكافحة الجيل التالى له.

وتجدر الإشارة إلى أن الأنواع البكتيرية للجنس *Pseudomonas* المحولة وراثيًّا بجين البروتين البللورى لا يُسمح باستخدامها فى الزراعات العضوية.

إن أول ما أنتج من منتجات الـ Bts التجارية – والتى ما زال الكثير منها مستعملاً إلى اليوم – حُصل عليها من بعض الطرز لأنواع برية من البكتيريا، ومن أمثلة تلك المنتجات: DiPel، و Javalin، و XenTari. وقد أمكن التوصل إلى سلالات جديدة من البكتيريا عن طريق عملية الدمج البكتيرى conjugation (أو transconjugation)، وهى عملية تحدث فى الطبيعة وتماثل عملية التهجين فى النباتات الراقية. وبمقتضاها فإن تحت نوعين اثنين أو أكثر تخلط معًا بطريقة تيسر انتخاب سلالات جديدة من خلايا بكتيرية ذات صفات مرغوب فيها تتجمع فيها صفات من الأبوين. وتلك الطريقة يُسمح بها لإنتاج منتجات للزراعة العضوية. ومن أمثلة المنتجات التى حُصل عليها بهذه الطريقة Condor، و Cutlass.

ويتطلب التوصل إلى بعض المنتجات المتحصل عليها من الطرز البرية اللجوء إلى أساليب الهندسة الوراثية، وهى منتجات لا يُسمح بها فى الزراعة العضوية، ومن أمثلتها Mattch، وفيها يحول الطراز البكتيرى البرى ليصبح قادرًا على تكوين سُم الـ Bt داخل كبسولة طبيعية تحميه من التحلل بفعل العوامل البيئية. وبمقتضى هذه الطريقة يتم تحويل أحد أنواع الجنس *Pseudomonas* لإنتاج سُمِّ الـ Bt بأساليب الهندسة الوراثية. وبعد عملية التحول الوراثى يتم قتل البكتيريا الـ *Pseudomonas* المحتوية على سُمِّ الـ Bt — داخل كبسولة — باستعمال الأشعة فوق البنفسجية.

تحضر مزارع البكتيريا *B. thuringensis* تجاريًّا، وتُسوق فى صورة مساحيق قابلة للبلل تحت أسماء عديدة؛ منها: الـ Dipel، والـ Bitroil، والـ Thuricide. وهى شديدة الفاعلية ضد بعض الديدان؛ مثل: الديدان القياسة، وديدان الكرنب cabbage warms، والدودة القارضة، ولا يبقى منها أى أثر ضار بالإنسان، وتعتبر رخيصة نسبيًّا، بالمقارنة بالمبيدات الحشرية. ويرخّص باستعمالها فى مكافحة يرقات رتبة حرشفية الأجنحة (Lepidopterous larvae) فى أكثر من ٢٠ محصولاً من الخضر، وقد أنتجت منها سلالات عالية الضراوة.

من بين الديدان التى نادرًا ما تُكافح أو تنجح مكافحتها ببكتيريا الـ Bt حفار أشجار الخوخ (فى الفواكه ذات النواة الحجرية)، ودودة كيزان الذرة، وحفار ساق الكوسة، والديدان القاطعة cutwors، إلا أن بكتيريا الـ Bt تستعمل فى مكافحة حفار ساق الذرة الأوروبى، ولكن يتعين أن تجرى المعاملة بطريقة تسمح بتسرب المبيد من قمة النباتات.

يتخصص تحت النوع *Israelensis* على يرقات بعض حشرات رتبة *Diptera*، وخاصة يرقات البعوض، والذباب الأسود black flies والـ fungal gnats فى مزارع عيش الغراب، ولكنها لا تكافح يرقات الذبابة المنزلية، أو ذبابة الاصطبلات، أو الذبابة السّروء التى تضع بيضها على اللحم.

يفيد إجراء المعاملة ببكتيريا الـ Bt متأخرًا بعد الظهر أو فى المساء فى زيادة فاعلية المكافحة لأن البكتيريا تبقى على النموات الخضرية طوال الليل قبل أن تضعف فاعليتها

بالتعرض للأشعة الشمسية القوية أثناء النهار التالى. كذلك تُعطى المعاملة فى الأيام التى تسودها الغيوم – بدون أمطار – نتائج مماثلة.

ومما يفيد فى حماية جراثيم البكتيريا من الأشعة فوق البنفسجية اتباع طرق معينة فى إنتاجها يتم بواسطتها كبسلة جراثيم الـ Bt أو سمومها فى غلاف من جل النشا، أو يجعلها داخل خلايا ميتة لبكتيريا أخرى (Weinzierl وآخرون ٢٠٠٦).

تحتوى المنتجات المصرح باستعمالها فى الزراعات العضوية على مشتقات من المزارع البكتيرية تحتوى على البروتين الفعال (الـ endotoxin) وجراثيم بكتيرية ومواد لاصقة. (عن Resource Guide for Organic Insect and Disease Manangement – الإنترنت – ٢٠٠٧).

هذا.. ولا تؤثر منتجات الـ Bt على الأعداء الطبيعية للحشرات إلاّ بصورة غير مباشرة من خلال تقليلها لغذائها (الذى يتكون من الحشرة المستهدفة بالمكافحة) فى البيئة الطبيعية.

وتتوفر المنتجات التجارية التالية من البكتيريا *Bacillus thuringensis*:

١- منتجات تحتوى على *Bt* subsp. *aizawai* لمكافحة يرقات حرشفية الأجنحة:

Agree WG

XenTari DF

XenTari WDG

٢- منتجات تحتوى على *Bt* subsp. *Kurstaki* لمكافحة يرقات حرشفية الأجنحة:

Deliver

Biobit 32

DiPel 2x

DiPel DF

Javelin WG

٣- منتجات تحتوى على *Bt* subsp. *Isralenis* لمكافحة يرقات الذباب والناموس:

Gnatrol WDG

VectoBac WDG

كما توجد منتجات تحتوى على *Bt* subsp. *Tenebrionis* لمكافحة الخنافس (Caldwell وآخرون ٢٠١٣).

المكافحة الحيوية بالاعتماد على الفيروسات

إن الفيروسات المستخدمة فى المكافحة الحيوية للحشرات تعد شديدة التخصص، وعادة يكون تخصصها على جنس حشرى واحد، وأحيانًا على نوع حشرى واحد.

ومعظم تلك الفيروسات هى إما nuclear polythdrosis viruses ، وفيها يتجمع عديد من جزيئات الفيرس داخل غلاف بللورى بنواة خلايا الحشرة، وإما granulosis viruses، وفيها يُحاط جزئ فيرسى واحد أو جزيئين بشبه كبسولة حبيبية بروتينية بنواة خلايا الحشرة.

لا بد أن تتناول الحشرات المستهدفة بالمكافحة الفيرس فى غذائها، حيث ينتهى به المطاف إما فى معى الحشرة، وإما فى أنسجة حشرية أخرى كما فى يرقات حرشفية الأجنحة. ينتهى الأمر بالحشرات المصابة إلى سيولة أعضائها الداخلية وموتها، وتصبح هى ذاتها مصدرًا لاستمرار تواجد الفيرس بالحقل (Weinzierl وآخرون ٢٠٠٦).

المكافحة الحيوية بالاعتماد على النيماتودا

يُكافح عديد من الحشرات والنيماتودا – بيولوجيًّا – بالنيماتودا المتطفلة entomopathogenic nematodes، ومن أمثلة الآفات التى تُكافح بها: سوس

الجذور، والخنفساء البرغوثية، وحفار جذور النعناع، وخنفساء كلورادو، واليرقانة البيضاء White grub، وديدان حرشفيات الأجنحة، ونيماتودا النبات مثل نيماتودا تعقد الجذور.

يمكن إكثار هذه النيماتودا المستخدمة فى المكافحة البيولوجية إما على عوائلها الحشرية (*in vivo*)، وإما على بيئة صلبة أو سائلة (*in vitro*).

وأهم ما يميز هذه الطريقة للمكافحة عدم وجود أى تحفظات عليها، وعدم خضوعها لأى إجراءات لتسجيلها (Sharma وآخرون ٢٠١١).

تنتج تلك النيماتودا تجاريًّا فى تانكات تخمير سعة ٣٠–٨٠ ألف لتر وبكثافة تصل إلى ١٥٠ ألف يرقة من الطور المتطفل/مل؛ مما جعل استخدام تلك النيماتودا فى المكافحة فى وضع تنافسى مع استخدام المبيدات.

تُعد النيماتودا فى العائلتين Steinernematidae، و Heterorhabditae متطفلات إجبارية على الحشرات، ولها علاقة معيشة تعاونية مع البكتيريا *Xenorhabdus* spp. التى تلعب دورًا حاسمًا فى حياة النيماتودا. والطور القادر على إصابة الحشرات هو الطور اليرقى الثالث الذى يعيش حرًّا ويتحرك ولا يتغذى، وهو الطور الوحيد من النيماتودا الذى يمكنه البقاء خارج عائله. وعندما يجد هذا الطور اليرقى عائلاً مناسبًا فإنه يدخُلَه من خلال أى من الفتحات الطبيعية مثل الفم والشرج والفتحات التنفسية.

وما إن تصبح النيماتودا داخل جسم الحشرة حتى تُهاجر إلى الـ hemocoel حيث يوجد دم الحشرة، وحيث تبدأ فى التطور. فى البداية تطلق النيماتودا البكتيريا التى سريعًا ما تتكاثر وتؤدى إلى موت الحشرة فى خلال ٢٤–٤٨ ساعة، ويوفر تكاثر البكتيريا بيئة مثالية لنمو وتكاثر النيماتودا. تتغذى النيماتودا النامية على الخلايا البكتيرية وأنسجة الحشرة. وتمر النيماتودا بعدة أجيال داخل الحشرة الميتة إلى أن تنطلق يرقات الطور الثالث مرة أخرى فى البيئة. وتكمل النيماتودا حياتها — عادة — فى خلال ١٠–٢٠ يومًا على حرارة ١٨–٢٨°م (Martin ١٩٩٧).

تدخل النيماتودا المتطفلة على الحشرات فى داخل تلك الحشرات عن طريق فتحات التنفس، أو الفم، أو فتحة الشرج كما أسلفنا، ولكن بعض أنواعها يمكنها اختراق الأجزاء الرقيقة من كيوتكل الحشرة. ويلى دخولها جسم الحشرة إطلاق النيماتودا لبكتيريا معينة هى: *Xenorhabdus luminescens*. هذه البكتريا لا تتواجد إلا مع الأنواع النيماتودية المستخدمة فى المكافحة الحيوية. وبنشاط تلك البكتيريا فإنها تفرز سُمًّا يقضى على الحشرة فى خلال أيام قليلة. وكما أسلفنا.. فإن البكتيريا تتكاثر داخل جسم الحشرة، وتتغذى النيماتودا على البكتيريا، وتكمل النيماتودا نموها وتتناسل وتتكاثر داخل الحشرات الميتة. وفى نهاية الأمر يصبح جسم الحشرة مملوءًا بالنيماتودا، التى تخرج منها باحثة عن أفراد حشرية أخرى لتعيش عليها. ولم يثبت وجود أى ضرر لهذه البكتيريا على النباتات ولا يمكنها إصابتها.

يتضح مما تقدم أن غذاء النيماتودا التى تستعمل فى المكافحة الحشرية هو البكتيريا، وأن تلك البكتيريا هى المتطفل الحقيقى للحشرة. وعلى الرغم من توفر أنواع نيماتودية تتخذ من بعض الحشرات – كالصراصير – غذاء طبيعيًّا لها، إلا أنها أقل شيوعًا لأن إكثارها يتطلب استعمال حشرات حية (University of Florida – الإنترنت – ٢٠٠٦).

هذا.. وتسمح وكالة حماية البيئة الأمريكية Environmental Protection Agency (اختصارًا: EPA) باستخدام النيماتودا المتطفلة على الحشرات – والتى تعيش تعاونيًّا مع البكتيريا – فى المكافحة دونما حاجة إلى إجراءات التسجيل؛ الأمر الذى يحدث كذلك فى عديد من الدول الأخرى.

يمكن المعاملة بالنيماتودا بجميع أنواع الرشاشات المستخدمة فى المكافحة بالمبيدات. كما يمكن أن تكون إضافتها من خلال شبكات الرى بالتنقيط وبالرش، ولم يكن لضغط حتى ٢٠٦٨ كيلوباسكال تأثيرات ضارة على النيماتودا، ولكنها أضيرت تحت ضغط ١٣٧٩٠ كيلوباسكال. هذا.. ويتراوح قطر النيماتودا بين ٢٠، و ٢٥ ميكروميتر، بما يسمح لها بالمرور بسهولة من فتحات الرشاشات الغربالية التى يصل قطرها إلى ٥٠ ميكروميتر.

ويتعين رى الحقل قبل المعاملة بالنيماتودا وبعدها لتحقيق أكبر كفاءة ممكنة، فالماء الحر ضرورى لحركة النيماتودا، ولنقلها إلى العمق الذى قد تتواجد فيه الحشرات. ويكفى – عادة – ٦ مم من ماء الرى قبل المعاملة بالنيماتودا، و ٦–١٢,٥ مم بعدها مع استمرار ترطيب التربة لعدة أسابيع بعد المعاملة.

وتتأثر النيماتودا سلبًا بالتعرض – ولو لدقائق معدودة – للأشعة فوق البنفسجية ولحرارة تزيد عن ٣٣°م؛ الأمر الذى تجب الاحتياط له عند المعاملة (Martin ١٩٩٧).

ولقد أمكن مكافحة القواقع *Arion ater*، و *Deroceras reticulatum* فى زراعات الخس المحمية – جوهريًّا – بمعاملة التربة – قبل الزراعة – بالنيماتودا المتطفلة *Phasmarhabditis hermaphrodita* (Wilson وآخرون ١٩٩٥).

كما أمكن أيضًا مكافحة اليرقانة (البزاقة العريانة) slug (الاسم العلمى *D. reticulatum*) فى الكرنب الصينى حيويًّا بمعاملة التربة بنفس النيماتودا *P. hermaphrodita* (Wilson وآخرون ١٩٩٦)، ويكفى مجرد رش التربة بمعلق النيماتودا حول النباتات (Hass وآخرون ١٩٩٩).

ولقد أعطت المعاملة بالنيماتودا *X. nematophilus* نتائج مماثلة لمعاملة الرش باللانيت Lannate فيما يتعلق بمكافحة الخنفساء *Tropinota squalida* على القنبيط فى مصر (Abdel-Razek ٢٠١٠).

المنتجات التجارية للمكافحة الحيوية

تبعًا لـ Fravel (٢٠٠٥).. فإن مبيعات منتجات المكافحة الحيوية – على كثرة عددها – لا تُمثل سوى حوالى ١٪ من إجمالى مبيعات المركبات الكيميائية الزراعية.

ومن بين الكائنات الدقيقة المستخدمة فى المكافحة الحيوية، والتحضيرات التجارية لها، ما يلى (Gardner & Fravel ٢٠٠٢).