المحاضرات النظرية في المكافحة الميكروبية للآفات الحشرية

بعض المفاهيم المستخدمة في مجال المكافحة الحيوية للآفات

مفهوم المبيدات الميكروبية Microbial pesticides: هي المبيدات التي تكون المادة الفعالة في تركيبها كائنات دقيقة (فيروسات، بكتريا، ميكوبلازما، بروتوزوا، فطريات، نيماتودا) أو أجزاءها التكاثرية أو منتجات نشاطها الحيوي أو كل ما سبق، ومجهزة بطريقة مشابهة لصور تجهيز مبيدات الآفات الكيميائية والمستعملة في مكافحة الآفات المختلفة

مفهوم المبيدات الحيوية Biological pesticides : هي المبيدات التي تكون المادة الفعالة في تركيبها الحشرات الكاملة المفترسة أو المتطفلة أو أحد أطوارها أو أنواع أخرى من الكائنات الحيوانية

مفهوم المبيدات الكيموحيوية: Biochemical pesticides وهي مجموعة المركبات الكيميائية المنتجة والمستخلصة من النباتات والكائنات الدقيقة والحيوان والتي تعمل على قتل الآفات بشكل مباشر أو تؤثر في سلوكها بما يؤدي إلى خفض أعدادها بشكل غير مباشر

مفهوم المبيدات الجينية Genetic pesticides**:** ويقصد بها مجموعة الجينات المسؤولة عن إنتاج السموم والمركبات الدفاعية وآليات مقاومة الكائنات الحية للآفات أو بعبارة أخرى هي الجينات المسؤولة عن مواد وآليات الحماية في الكائنات والتي يتم دمجها في الكائنات المطلوب حمايتها من الإصابة بالآفات والتي يطلق عليها بالكائنات المعدلة وراثياً Genetically modified organisms (GMOS)

مفهوم العدو الطبيعي Natural enemy

هو كل كائن يفترس كائن آخر أو يتطفل عليه مما يسبب موته أو منع تكاثره أو إبعاده عن المضيف أو تخفيض عدده وبالتالي تخفيض ضرره

وتقسم الأعداء الطبيعية للآفات إلى مجموعتين:

1. مجموعة الكائنات الدقيقة (فيروسات، بكتريا، فطور، وحيدات الخلية، ميكوبلازم) التي تتطفل أو تفترس الآفات المختلفة (حشرات، قوارض، نيماتودا، أعشاب، فطور) مسببة أمراضاً لها مختلفة ثم موتها.
2. مجموعة الكائنات الحيوانية (حشرات، عناكب، أكاروسات، نيماتودا، طيور، زواحف، برمائيات، ثديات) التي تتطفل على الآفات أو تفترسها

إضافة إلى مجموعة الكائنات التي أجري عليها تعديل ما بغرض استخدامها في المكافحة (المكافحة الذاتية أو الوراثية مثلاً)

يسعى التطور العلمي في مجال الأعداء الطبيعية إلى استخدامها في برامج المكافحة الحيوية من خلال أسلوب الإنتاج الكمي الواسع حتى استعادة التوازن الطبيعي وذلك ضمن معامل متخصصة يتم فيها تحضير المبيدات الحيوية التي تضم البيوض أو الأطوار الكاملة أو غير الكاملة لأنواع من الأعداء الطبيعية توزع على المزارعين لاستخدامها في مكافحة الآفات أو تحضير المبيدات الميكروبية في أشكال مستحضرات شبيهة بالمبيدات الكيميائية وتستخدم لنشرها في الحقول والبساتين أجهزة و أدوات المكافحة نفسها المستخدمة في المكافحة الكيميائية

مميزات المسببات المرضية الناجحة:

ليس بالإمكان استعمال أي مسبب مرضي كمبيد مايكروبي مالم تتوفر فيه الضمانات الآتية:

1. الفعالية العالية: من الضروري أن يمتلك المسبب المرضي كفاءة عالية في خفض أعداد الآفة الحشرية خلال فترة زمنية قصيرة

2. التخصص: بحيث لا تتعدى إصابته نوع واحد أو أنواعاً قريبة الصلة من النوع المقصود بالمكافحة
3. سهولة الإنتاج: من حيث سهولة تربيته وإكثاره على بيئات صناعية بسيطة ورخيصة الثمن
4. تحمل ظروف الخزن: بحيث يتمتع المسبب المرضي بقدرة عالية على تحمل ظروف الخزن المختلفة ولفترات طويلة (وجد أن البكتريا المكونة للأبواغ أو السبورات يمكنها مقاومة ظروف الطبيعة القاسية لفترة قد تمتد لأكثر من 70 سنة)
5. سهولة تجهيز المستعمرات: نجاح المسبب المرضي كمبيد مايكروبي يتطلب عدم تأثره بأشكال المستحضرات الصناعية سواء كانت مساحيق قابلة للذوبان أم مستحضرات زيتية أو عند خلطه مع بعض المبيدات الكيميائية كما يشترط عدم تأثيره بأجهزة ومعدات الرش المختلفة.

الصفات العامة للمبيدات الميكروبية:

1. ذات تأثير وبائي تستمر لفترة طويلة في البيئة وتنتقل من جيل إلى جيل وتتوقف يرقات الحشرات المستهدفة عن التغذية بعد ساعات من تناول جرعة المبيد الميكروبي وبالتالي نحصل على هدف المكافحة في إيقاف الضرر
2. ذات تأثير معدي ولكن من المهم التغطية الكاملة للنباتات المعاملة والوصول إلى السطح السفلي للورقة حيث توجد الحشرات
3. تتأثر كثيراً بالظروف الجوية من أشعة الشمس المباشرة والحرارة العالية والهطولات المطرية لذا يفضل استخدامها في الصباح الباكر أو مساء بعد الظهر وعند عدم توقع هطولات مطرية بعد الاستخدام حيث تؤدي الهطولات المطرية إلى غسل المبيد عن النباتات المعاملة أما الأشعة فوق البنفسجية تحطم الخلايا البكتيرية والضامات الفيروسية

أما الحرارة المنخفضة فتضعف التغذية النشطة للآفة الحشرية مما يمنع حصولها على جرعة كافية من المبيد

4. ترتبط فعاليتها بتوافق موعد استخدامها مع موعد ظهور الأطوار اليرقية الصغيرة الأكثر حساسية للإصابة لذا لابد من دراسة الآفة في المكان المراد تطبيق المكافحة فيه وتحديد موعد وضع البيض وظهور اليرقات ولابد من تكرار الرش عدة مرات في حال كانت فترة وضع البيض طويلة أو استمر فقس البيض لفترة طويلة
5. يمكن مزجها مع العديد من المبيدات الكيميائية عدا المبيدات التي تملك PH قلوي زائد فقط مما يفيد باستخدامها في برامج المكافحة المتكاملة للآفات
6. جميع المبيدات الميكروبية لا تؤثر في طعم ورائحة النباتات والثمار المعالجة
7. غير سامة للإنسان وذوات الدم الحار وللحشرات النافعة والأعداء الطبيعية
8. فترة الأمان قصيرة وهي يوم واحد بعد المعاملة
9. مدة تخزينها قصيرة نسبياً تمتد بين عدة أشهر حتى سنتين وذلك إذا حفظت في عبواتها الأصلية وفي درجة حرارة منخفضة نسبياً ورطوبة منخفضة نسبياً
10. مأمونة بيئياً حيث لا تطرح مواد كيميائية سامة فهي لا تضيف شيئاً جديداً للبيئة لأننا نستخدم الكائنات الموجودة في البيئة بعد إكثارها وتجهيزها لتناسب الاستخدام الحقلي

الفيروســــــات الممرضـــــة للحشـــــــرات

تعتبر جميع الفيروسات متطفلات إجبارية التطفل مع وجود تخصص تطفلي

تشكل الفيروسات المتطفلة على الحشرات الجزء الأكثر أهمية في مجال المكافحة الحيوية وتوجد في العديد من الفصائل منها : Baculoviridae

فصيلة الفيروسات العصوية Baculoviridae

أهم أنواعها الفيروس متعدد السطوح النووي لديدان الحرير التوتية *Baculovirus bombycis* الذي وجد متطفلاً على يرقات دودة الحرير التوتية *Bombyx mori* كما وجد متطفلاً على يرقات حشرات تسبب أضراراً اقتصادية

يتضاعف الفيروس في أنوية الخلايا الموجودة في الأدمة الباطنة، الأجسام الدهنية، القصبة الهوائية، النسيج الدموي ليرقات الحرير مسبباً موتها خلال 7-12 يوماً

يمر تطور المرض في يرقات دودة الحرير التوتية بثلاث أطوار

الطور التمهيدي:

تبدأ هذه المرحلة بدخول الفيروس إلى داخل الخلية وتثبته على الغشاء النووي للخلايا المصابة ثم تتغلغل الشيفرة الوراثية للفيروس عبر الغشاء النووي لداخل النواة في حين تبقى الكبسولة أو الغلاف البروتيني الخاص بالفيروس (الضامة الفيروسية) ملتصقاً على الغشاء النووي للخلية لتقوم بعدها المادة الوراثية للفيروس باستخدام مكونات نواة الخلية لزيادة أعداد المادة الوراثية الخاصة بالفيروس

تتباين مدة هذا الطور بشكل كبير جداً وذلك حسب العديد من العوامل منها حجم الجرعة، جنس اليرقة، الطور اليرقي، درجة الحرارة، التعرض لأشعة الشمس المباشرة وتكون غالباً علائم المرض الخارجية غير واضحة على الحشرة المصابة خلال هذا الطور

ويستمر عادة الطور التمهيدي من عدة ساعات وحتى عدة أيام في الحشرات القابلة للإصابة

الطور اللوغاريتمي:

يشاهد في نواة الخلية المصابة تحولات بنيوية وتكثيف في محتوياتها وتتشكل أعداد هائلة من الشيفرة الوراثية الخاصة بالفيروس نتيجة التزايد العددي السريع لها

تأخذ النواة شكل الشبكة ويترافق ذلك مع بدء ظهور أعراض المرض الخارجية على الحشرة المصابة ومن ثم موت الحشرة المصابة

يستمر الطور اللوغاريتمي من 10- 48 ساعة

طور الاستقرار:

تكتسي المادة الوراثية للفيروس التي تشكلت ضمن النواة المصابة بغلافها البروتيني من خلال استخدام مكونات الخلية ويتحطم الغلاف النووي والخلوي للخلايا المصابة وحسب الظروف الطبيعية إما أن تنتقل الفيروسات لحشرة ثانية إذا صادف تلامسها معها وبالتالي تتابع دورة حياتها أو تتحطم تحت تأثير الظروف الخارجية المختلفة وتنتهي دورة الحياة

أعراض المرض

تتجلى على اليرقات المصابة بالفيروسات الأعراض المرضية التالية:

1. تتوقف اليرقات المصابة عن التغذية بعد حوالي 12-24 ساعة من وصول الفيروس إلى القناة الهضمية وبالتالي يتوقف ضررها للنبات ولكن يتأخر موتها لعدة أيام بعد الإصابة الفيروسية كما يلاحظ حركة اليرقات البطيئة وردود أفعال بطيئة تجاه العوامل والمؤثرات الخارجية
2. يتوقف نمو اليرقات المصابة ويلاحظ اختلال في تناسب أجزاء الجسم نتيجة لضعف الجسم مع بقاء الرأس بنفس الحجم حيث يظهر الرأس كبيراً والجسم نحيلاً
3. تغيرات لونية: تحدث نتيجة للزيادة العددية للفيروسات في داخل جسم اليرقة وتجمعها بأعداد كبيرة يعكس تغيرات لونية اصفرار أو ابيضاض جسم اليرقة المصابة
4. ليونة جسم اليرقة المصابة نتيجة لتحلل الأنسجة الداخلية تحت تأثير نشاط الفيروس وتحطيم الخلايا

5. تدفق سائل أبيض أو لبني مكتظ بملايين الفيروسات من الفتحات الطبيعية لجسم اليرقة المصابة
6. تتسلق اليرقة أعلى النبات وتتدلى ورأسها إلى الأسفل في محاولة للتخلص من الفيروسات الموجودة داخل جسمها مما يؤدي لنشر الضامات الفيروسية على أجزاء النبات وبالتالي استمرار وجود الفيروس في البيئة ومن هنا الفاعلية الكبيرة لطرق المكافحة الحيوية تتثبت اليرقة في مكانها وتموت بسبب السائل الصمغي الذي يخرج من جسمها أثناء تدليها للأسفل
7. تمر فترة تطور أعراض المرض بثلاث مراحل (مرحلة الحضانة، المرحلة اللوغاريتمية، مرحلة الاستقرار)

شروط استخدام الفيروسات الممرضة للحشرات

تختلف الفيروسات الممرضة للحشرات عن الفيروسات التي تصيب النبات أو الإنسان في أنها تختزن في جسم الحشرة وبكميات كبيرة نسبياً تصل حتى 10-20% من وزنها وهذا يسهل نسبياً استخلاصها من الحشرات المصابة

تعد فصيلة الفيروسات العصوية الأكثر أهمية في المكافحة الحيوية للآفات الحشرية وقد درست هذه الفصيلة بعناية كبيرة وذلك لكونها فيروسات متخصصة وآمنة عند الاستخدام الحقلي الواسع من ناحية التاثير في ذوات الدم الحار بما في الإنسان وكذلك لا تضر النبات

الذي يساعد على إمكانية تحضير مستحضرات تجارية من هذه الفيروسات وجود غلاف بروتيني خارجي سميك لدى فيروسات هذه الفصيلة يؤمن حماية الفريونات من التحطيم السريع تحت تأثير عوامل الوسط الخارجية وبشكل خاص الحرارة المرتفعة وأشعة الشمس المباشرة كما يحافظ على الفريونات عند التخزين في شروط جافة عدة سنوات يمكن أن تصل حتى عشر سنوات

ويجدر الإشارة إلى إمكانية ظهور صفة المقاومة لدى الحشرات الحساسة للمبيدات الحشرية المصنعة على أساس فيروسات تابعة لفصيلة الفيروسات العصوية في التجارب المخبرية بعد أكثر من أربعين جيل تكرار ولكن هذه الصفة بطيئة التشكل

يمكننا تقسيم طرائق عدوى الحشرات ووصول الضامات الفيروسية إلى داخل جسم الحشرة بطريقتين:

الانتقال العمودي للعدوى:

ويعني انتقال الإصابة من الأم المصابة إلى ذريتها وهو نوعان:

انتقال بيضي: تضع إناث الحشرة الحاملة للمرض بيضاً ملوثاً خارجياً بالضامات الفيروسية وعند الفقس تقرض اليرقات جزءاً من غلاف البيضة (ثقب الخروج) فتحصل اليرقة على جرعة من العامل الممرض المحمول على غلاف البيضة

تكون هذه الجرعة كافية لحدوث المرض ومن ثم موت اليرقة خاصة إن الإصابة حدثت في العمر اليرقي الأول ولهذا ينصح في التربية الناجحة لدودة الحرير تعقيم البيض قبل بدء التربية كما ينصح بذلك في التربية الواسعة المخبرية للحشرات لأغراض البحث العلمي مثل أبحاث سمية المبيدات

انتقال مبيضي:

ويحدث عندما تضع إناث الحشرة المصابة بيضاً تحمل الخلايا المولدة به (الجنين) الضامات الفيروسية مما يؤدي لفقس يرقات تحمل الإصابة غالباً تموت سريعاً

يلعب الانتشار العمودي للإصابة بمسببات الأمراض الفيروسية عند الحشرات دوراً هاماً عند أنواع الحشرات عديدة الأجيال في العام لأنه يؤمن انتشار الإصابة في الحقل من جيل إلى أخر حتى ولو استخدم المبيد الفيروسي لمكافحة الحشرات مرة واحدة خلال الموسم الزراعي أو حتى مرة واحدة خلال عدة مواسم زراعية

الانتقال الأفقي للعدوي

تصل الضامات الفيروسية إلى القناة الهضمية لليرقة أو إلى داخل جسمها عبر واحد أو أكثر من الطرائق التالية:

عبر الفم من خلال الغذاء: تتغذى اليرقات على نباتات تحمل الضامات الفيروسية فتصل بالتالي إلى القناة الهضمية ومن ثم إلى النسيج الدموي أو النسيج المناسب لنشاط نوع الفيروسات وبالتالي مرض اليرقة ومن ثم موتها

عن طريق آلة وضع البيض عند إناث الحشرات المتطفلة: من خلال تنقلها أثناء وضع البيض من حشرة مصابة إلى حشرة سليمة وبالتالي تنقل الضامات الفيروسية من الحشرات الحاملة للمرض إلى الحشرات السليمة

يلعب الانتقال الأفقي دوراً هاماً في الحشرات وحيدة الجيل لذا يتطلب تكرار استخدام المبيد ومعاملة كامل المساحة المصابة ووصول المبيد إلى جميع النباتات وإلى أجزاء النبات مع التغطية الجيدة للنباتات باستخدام حجم سائل كبير في وحدة المساحة وذلك للحصول على نتائج جيدة من عملية المكافحة

البكتـــــــريا الممـــــــرضة للحشـــــــرات

تقسم أنواع البكتيريا الممرضة للحشرات إلى ثلاث مجموعات:

1. **الممرضات الكامنة:** تضم أنواع البكتريا التي تتغذى وتعيش بشكل **رمي** في القناة الهضمية للحشرة ولا تسبب للحشرة علائم مرضية واضحة وذلك بسبب:
   a. عدم قدرتها على النشاط والتزايد العددي ضمن القناة الهضمية بسبب بعض مفرزات القناة الهضمية أو درجة PH القناة الهضمية للحشرة
   b. عدم مقدرة هذه الأنواع من البكتريا على الوصول إلى موقع الفعل أو التأثير لوجود أعضاء الحماية المناسبة ضمن القناة الهضمية للحشرة كالنسيج الظهاري والنسيج الكيتيني.
2. **الممرضات الاختيارية**: وتضم مجموعة البكتريا القادرة على العيش والتكاثر أو التزايد العددي في القناة الهضمية للحشرة دون أن تسبب للحشرة علائم مرضية واضحة لأنها غير قادرة على التغلغل عبر جدار القناة الهضمية والوصول إلى النسيج الدموي للحشرة.
3. **الممرضات الإجبارية:** تمتلك هذه المجموعة من أنواع البكتريا أهمية خاصة في المكافحة الحيوية للآفات الحشرية بسبب:
   a. قدرتها على النشاط والتزايد العددي ضمن القناة الهضمية وبالتالي عدم تأثيرها بمفرزات القناة الهضمية أو درجة PH القناة الهضمية للحشرة القابلة للإصابة
   b. مقدرتها على التغلغل عبر جدار القناة الهضمية المتوسطة أو غلاف الجسم الخارجي في بعض الحالات لأن بكتريا هذه المجموعة قادرة على إفراز مواد أو خمائر (أنزيمات) تسبب تهتك أنسجة الحماية لتصل إلى النسيج الدموي والأنسجة المختلفة القابلة للإصابة لدى الحشرة ويؤدي ذلك بالتالي إلى مرض الحشرة ثم موتها

لذا تصنع جميع المبيدات الميكروبية ذات الأساس البكتيري والمستخدمة على نطاق واسع في المكافحة الحيوية للآفات الحشرية من أبواغ أنواع بكتيرية أو مفرزات لأنواع بكتيرية تنتمي لهذه المجموعة من البكتريا ومنها فصيلة Bacillaceae.

الصفات العامة لفصيلة Bacillaceae

أنواعها عصوية الشكل، ولها سوط، هوائية، موجبة الغرام، قادرة على تشكيل الأبواغ الداخلية، كما وتشكل كريستالة التوكسين الداخلي

ولبعضها القدرة على إفراز المواد السامة للحشرات ذات الطبيعة الخمائرية (الأنزيمية) ويلاحظ وجود قطرات من الدهن داخل الخلية البكتيرية تقوم بدور مخزون غذائي

الجنس *Bacillus*

تسبب المرض اللبني للعديد من الحشرات حيث يبدي المضيف القابل للإصابة بهذه الأنواع من البكتريا تأثراً سريعاً بالأبواغ البكتيرية

تتلخص مراحل حدوث المرض اللبني بالمراحل التالية:

- دخول الأبواغ البكتيرية عن طريق الفم حتى تصل إلى القنات الهضمية وتنمو فيها مشكلة خلية خضرية
- تتمكن هذه الخلايا الخضرية من التسرب إلى فراغ جسم الحشرة حيث النسيج الدموي الذي يعتبر المكان المفضل لنشاطها وتكاثرها السريع لتنمو وتتكاثر سريعاً فيه وتحطم الأِنسجة الداخلية في جسم اليرقة وتشغل بذلك حجماً كبيراً من فراغ جسم اليرقة المصابة ويصبح لون اليرقة لبنياً ومن هنا جاءت تسمية المرض ويعقب ذلك موت المضيف
- يشكل بعدها العامل الممرض الأبواغ الخاصة بالحفظ والبقاء ضمن الشروط الخاصة والتي تمتاز بجدار سميك ووجود الغذاء ضمن البوغ

- تخرج هذه الأبواغ مع سائل ذي لون أبيض لبني من فتحات الجسم الطبيعية للحشرة هذا إذا لم يتحطم جسم المضيف وتتحرر الأبواغ وتنتشر في الوسط البيئي

بعض أنواع الجنس قادرة على إفراز ثلاث مواد سامة للحشرات ذات طبيعة خمائرية في وسط تكاثرها وهي ألفا وبيتا وغاما توكسين

ومن أهم أنواع البكتريا القادرة على تشكيل الكريستالات وبعض المواد السامة الأخرى وهي من الممرضات الإجبارية التابعة للجنس *Bacillus* النوع الشائع *B. thuringiensis* الذي يرمز له اختصاراً Bt

بكتريا *B. thuringiensis* مصدرها حشرات التربة والمطاحن والمخازن والبيئات الغنية بالحشرات

مميزات وميكانيكية تأثير بكتيريا Bt (*Bacillus thuringiensis*)

تصنع المبيدات البكتيرية المتداولة تجارياً لمكافحة الآفات الحشرية في أغلب الحالات على أساس بكتريا من مجموعة Bt

وتضم عدة تحت أنواع تكتسب أهميتها في المكافحة الحيوية بسبب امتلاكها:

1. أبواغ داخلية
2. كريستالات التوكسين الداخلي
3. مفرزات التوكسين الخارجي الثلاث ألفا وبيتا وغاما
4. ذات تأثير سام لحشرات من رتب حشرية معينة ذات درجة حموضة محددة PH في القناة الهضمية للحشرة وتتوفر فيها بعض أنواع الخمائر لذلك فهي بكتريا متخصصة في تأثيرها في الحشرات وتعتبر مأمونة الاستخدام بالنسبة للكائنات الحية ذات الدم الحار

الأبواغ الداخلية Endospores

تتشكل الأبواغ الداخلية بالقرب من إحدى نهايتي جسم العصية البكتيرية (الخلية الخضرية البكتيرية) ويمكن للأبواغ أن تحتفظ بحيويتها دون أي تغيير ملموس في درجة الحيوية لتلك الأبواغ لمدة عشر سنوات وهي جافة وفي درجة الحرارة العادية في المختبر ورطوبة نسبية منخفضة أقل من 20% لأن الرطوبة المرتفعة تؤدي لنمو الأبواغ وعند استمرار الحفظ في ظل وجود رطوبة مرتفعة تموت الأبواغ

كما تمتاز الأبواغ بالقدرة جزئياً على مقاومة تأثير بعض المواد الكيميائية بنسب متباينة

كريستال التوكسين الداخلي

مادة سامة ذات طبيعة كريستالية تتشكل في الوقت نفسه مع تشكل الأبواغ الداخلية في الطرف المقابل من الخلية الخضرية البكتيرية

لا تأخذ الكريستالات كياناً حقيقياً مباشرة ولكن مع مرور الوقت تصبح ذات شكل منتظم ثماني السطوح

إن التركيب الكيميائي للكريستالات ثمانية السطوح (دلتا توكسين داخلي) عبارة عن مركب بروتيني يدخل في تركيب البروتين 18 حمضاً أمينياً معروفاً حتى الآن ويحوي البروتين على 17,3% آزوت وكمية محدودة من الفوسفور

تتأثر الكريستالات التوكسين الداخلي بالعوامل التالية:

- الحرارة: تتخرب إذا تجاوزت الحرارة 80 درجة مئوية
- غير قابلة للذوبان بالماء وفي بعض المحلات العضوية
- تفقد قدرتها على إحداث التسمم للحشرات القابلة للإصابة عند معاملتها بالأحماض القوية والكحول والمحاليل القلوية الشديدة
- يختلف التأثير السام للكريستال باختلاف النوع الحشري وبشكل عام يجب أن يكون PH القناة الهضمية للحشرات الحساسة لتأثير كريستالات التوكسين

الداخلي أقل من تلك التي تؤدي لانحلال البروتين عندها تكون هذه الأنواع الحشرية قابلة للإصابة

إن دلتا توكسين الداخلي بحد ذاته مادة غير سامة للحشرات وإنما هو طليعة السم الذي يتحول إلى مادة سامة في القناة الهضمية للحشرات الحساسة تحت تأثير نوع محدد من الأنزيمات ويعلل هذا التفسير سبب عدم حساسية بعض أنواع الحشرات والكائنات الحية الأخرى لكريستالات التوكسين الداخلي بغياب الأنزيم اللازم لتحويله إلى مادة سامة وليس فقط درجة الحموضة للعصارة الهاضمة في القناة الهضمية

معظم الحشرات القابلة للإصابة تتبع رتبة حرشفية الأجنحة

ألفا توكسين خارجي

وهو أنزيم فوسفولیباز س تنتجه الخلية البكتيرية **لتخريب الفوسفوليبيدات** في أنسجة جسم الحشرة ما يؤدي لموت الحشرة المصابة نتيجة تخريب أنسجتها

بيتا توكسين خارجي

هو منتج من منتجات النشاط الاستقلابي للخلايا البكتيرية ضمن خلايا نسيج المضيف الحشري ويمتاز بالصفات التالية:

1. ثابت حرارياً: يحافظ على فعاليته عند التعرض لدرجة حرارة 120 درجة مئوية لمدة 15 دقيقة
2. ذو تأثير تخصصي في الحشرات القابلة للإصابة مثل عملية الانسلاخ، تطور الأعمار اليرقية ، أو في تشكيل الRNA، فعندما تحصل اليرقة على جرعة من التوكسين الخارجي لا تموت ولكن تظهر تشوهات وراثية لدى الحشرة الكاملة عندما تكمل اليرقات تطورها وتصبح هذه التشوهات صفة وراثية مكتسبة ومميتة للحشرة الكاملة

3. ذو طيف تأثير واسع فهو سام للحشرات من رتب حرشفية الأجنحة ومستقيمات الأجنحة وغمدية الأجنحة وثنائية الأجنحة

غاما توكسين خارجي

يعتقد أنها تحرر الأحماض الدهنية من الجزيئات ضمن خلايا أنسجة المضيف

الأعراض النموذجية العامة نتيجة إصابة الحشرات ببكتريا Bt:

1. شلل القناة الهضمية بسبب تغلغل البكتريا عبر الطبقة الظهارية المبطنة لها
2. توقف عن التغذية حيث يمتد شلل القناة الهضمية ليشمل أجزاء الفم (يتوقف ضرر الحشرة على النبات وبذلك نحقق هدف المكافحة حتى لو لم تمت الحشرة)
3. يتطور الشلل ليصبح شللاً عاماً يشمل الأرجل وكل الأجهزة الداخلية وتملأ البكتريا جوف الحشرة
4. تموت الحشرة

طرائق حصول العدوى

1. عن طريق الفم مع الغذاء حيث تقوم التوكسينات بتخريب الطبقة الظهارية المبطنة لجدار القناة الهضمية المتوسطة لتنفذ منها إلى الدم
2. عن طريق الجروح والتشققات والثغور التنفسية والفتحات الطبيعية الأخرى
3. دخول فعال: حيث تمتلك بعض أنواع البكتريا إمكانية اختراق جدار الجسم الخارجي والوصول إلى فراغ الجسم عن طريق إفراز خمائر تحلل أجزاء من غلاف الجسم مما يتيح لها إمكانية الدخول
4. آلة وضع البيض عند الحشرات المتطفلة حيث تتلوث آلة وضع البيض للحشرات المتطفلة عند انتقالها من حشرات مصابة إلى أخرى سليمة

الفطـــــــريات الممرضـــــــة للحشـــــــرات

تموت الحشرة المصابة بالفطور بشكل عام نتيجة:

1. تخريب النسيج الدموي لنمو الميسيليوم مستهلكاً هذا النسيج
2. إفراز مواد سامة وذلك كمفرزات النشاط الحيوي لدى الفطور

لكن يستمر نمو الميسيليوم ضمن جسم الحشرات الميتة التي غالباً تتثبت على المكان الذي توجد به نتيجة لتشكل أعضاء فطرية خاصة لدى بعض أنواع الفطور وأخيراً تتحنط الحشرة الميتة وتتغطى بالكامل بطبقة من النموات الهيفية والحوامل الكونيدية والكونيديا وأعضاء التكاثر الجنسي

تعتبر الأبواغ الساكنة والكونيديا المتشكلة على جسم الحشرات الميتة مصدر عدوى في الطبيعة حيث تنتشر بفضل تيارات الهواء

الأبواغ الساكنة قادرة على تحمل الظروف غير الملائمة لنمو البوغ لفترة زمنية تطول حتى عدة أشهر

من أنواع الفطريات المستخدمة في المكافحة الحيوية للحشرات أنواع الجنس *Beauveria* حيث تتلون ميسيليوم الفطر بلون أبيض وتسبب مرض الموسكاردين الأبيض ومنها النوع *B. bassiana* الذي يتطفل على حشرة فراشة الملفوف حيث يصيب اليرقات والعذارى والحشرات الكاملة وأهم أعراض الإصابة تغطية جسم الحشرة بطبقة من الطحين الأبيض هو عبارة عن ميسيليوم الفطر وحوامل الكونيديا وكونيديا الفطر

تبقى الكونيديا وميسيليوم الفطر على أعضاء جسم الحشرة الميتة وعلى البقايا النباتية القريبة لتؤمن إعادة انتشار الفطر في الطبيعة

صنع على أساس الفطر *B. bassiana* المسبب لمرض الموسكاردين الأبيض مبيد حشري على شكل مستحضر تجاري يستخدم في مكافحة العديد من الآفات الحشرية منها السونة وحفار ساق الذرة والدودة القارضة وخنفساء الكولورادو

كما صنع المبيد *Trichodermin* الذي استورد إلى سوريا والمادة الفعالة فيه فطريات تتبع الجنس *Trichoderma* spp يستخدم لمعاملة التربة في البيوت البلاستيكية لحماية المجموع الجذري لنباتات المحاصيل والخضار من بعض مسببات الأمراض النباتية ويمكن استخدامه لمعاملة البذور مباشرة قبل الزراعة.

طرائق عدوى الحشرات بالفطريات الممرضة

تتم العدوى عن طريق الأبواغ الساكنة أو الكونيديا التي تنتقل للحشرات القابلة للإصابة بإحدى الطرق التالية:

1. النقل المباشر للعدوى: نتيجة إجراء المكافحة باستخدام معلق الأبواغ الفطرية مما يؤدي لسقوطها على الحشرات
2. عن طريق انتقال الحشرة من مكان إلى آخر ووصولها لمكان تنتشر فيه أبواغ الفطر الممرض حيث تنتقل الأبواغ للحشرة بالملامسة
3. عن طريق الرياح حيث تنتقل الأبواغ الساكنة والكونيديا عند انفجار الكيس الكونيدي وبمساعدة الرياح لمسافات بعيدة مما يصادف وجود المضيف وبالتالي تكمل الأبواغ دورة حياتها
4. عن طريق الحشرات المتطفلة والمفترسة التي تحمل أبواغ أو ميسيليوم الفطر لتنقله خلال بحثها عن المضيف والغذاء إلى الحشرات الأخرى المناسبة لنمو الفطر

طرائق الوصول إلى فراغ الجسم

إن المرحلة الهامة الأولى لإحداث المرض هو وصول العامل الممرض الفطري إلى المضيف المناسب في البيئة

أما المرحلة الثانية فهي كيفية وصول المسبب المرضي إلى داخل جسم المضيف mode of entry ويتم هذا الدخول بإحدى الطرق التالية:

1. بعد إنبات البوغ الساكن أو الكونيديا على سطح جسم الحشرة يتشكل النمو الهيفي الذي يمكنه الوصول لداخل جسمها عبر الثغور التنفسية، الأغشية بين الحلقات، الجروح والشقوق الموجودة على جسم الحشرة، الفتحات الطبيعية الأخرى للحشرة ليبدأ الميسيليوم بالنمو داخل جسم الحشرة مستهلكاً أنسجتها الداخلية مؤدياً لموتها
2. تفرز بعض أنواع الفطريات بعد إنبات أبواغها على غلاف جسم الحشرة أنزيمات مثل بروتياز، ليباز، كيتيناز تحلل جزءاً من جدار الجسم مما يتيح المجال لدخول النمو الهيفي لداخل جسم الحشرة ويتابع بالتالي الفطر مراحل نموه وتطوره
3. تستطيع بعض الأنواع تشكيل تراكيب خاصة تسمى تركيباً لاطئاً Appressorial يتشكل بعد إنبات البوغ وهو عبارة عن انتفاخ دبوسي يسمح بحدوث اختراق الهيفا للكيوتيكل وبالتالي وصولها لداخل جسم الحشرة ومتابعة دورة حياتها

الفطريات المفترسة

بعض أنواع الفطريات يمكنها افتراس النيماتودا، الأوليات، والحشرات الصغيرة غير المجنحة الموجودة في التربة وحتى أنواع أخرى من الفطريات الموجودة في التربة كتلك الممرضة للنبات

حيث ينمو ميسيليوم الفطر المفترس في التربة على البقايا النباتية وغيرها من المواد العضوية الموجودة في التربة ثم يشكل أعضاء افتراس على شكل شبكة تحوي مواد لاصقة وبعض أنواع الفطريات المفترسة تفرز مواد جاذبة تجذب النيماتودا إلى ميسيليوم الفطر

بعد التصاق ميسيليوم الفطر المفترس بالمضيف يحدث شلل في حالة المضيف من النيماتودا خلال عدة ساعات من بداية التلامس

هناك دراسات حول إمكانية استخدام الفطر *Arthrobotrys oligospora* في المكافحة الحيوية للنيماتودا من خلال تلقيح التربة بمعلقات أبواغ هذا الفطر.

استخدام المبيدات الفطرية لا يزال محدوداً بسبب:

يمكن تنمية الأنواع الفطرية الممرضة للحشرات على أوساط غذاء صناعية غنية بالبروتين والدهن مثل وسط لحم البقر، صفار بيض الدجاج لكن هناك صعوبة في تحضير مستحضرات تجارية من المبيدات الفطرية للحشرات

بعض الأنواع الفطرية الممرضة للحشرات ذات طيف واسع تصيب ذوات الدم الحار وبعضها الآخر يمتاز بتخصص عائلي وهذه المجموعة هي الأهم في المكافحة الحيوية

لكن المكافحة الحيوية باستخدام الفطريات يستخدم على نطاق واسع في مجال المكافحة الحيوية للأعشاب الضارة أو لمكافحة بعض الإمراض الفطرية النباتية من خلال ما يسمى بالتضاد الفطري

النيماتـــــــــــــودا الممرضـــــــة للحشرات

تتم عدوى الحشرات بالنيماتودا الممرضة للحشرات بطريقتين أساسيتين

1. عندما يبتلع المضيف الحشري بيض النبماتودا أو أطوار انسلاخية وذلك أثناء تناول المضيف الحشري القابل للإصابة للغذاء
2. يمكن لبعض الأطوار الانسلاخية وبخاصة الطور الانسلاخي الثاني الذي يعتبر عادة الطور المعدي من الوصول لداخل جسم الحشرة المضيف عبر الشقوق والجروح أو الدخول باستخدام الرمح الموجود في مقدمة الجسم

العلاقة بين النيماتودا والبكتيريا

حظيت دراسة العلاقة بين أنواع الجنس *Neoaplectana* والبكتريا من أنواع الجنس *Achromobacter* باهتمام خاص نظراً لأهمية ذلك في المكافحة الحيوية للآفات الحشرية حيث ترتبط النيماتودا هذه بعلاقة تعايش مع أنواع البكتريا تتجلى تلك العلاقة على الشكل التالي:

لا تستطيع البكتريا الانتقال والوصول إلى داخل جسم الحشرة في حين تستطيع النيماتودا ذلك، ولكن النيماتودا لا تستطيع التغذية والتكاثر داخل جسم الحشرة بشكل طبيعي عند عدم وجود البكتريا في حين تستطيع البكتريا ذلك

لذا، تقوم النيماتودا بنقل البكتريا داخل جسمها بالقرب من نهاية الرمح من دون أن تتطفل عليها أو تسبب لها أي مشاكل مرضية إلى داخل جسم الحشرة المضيف، مقابل هذا النقل ترد البكتريا الجميل عند وصولها إلى داخل جسم الحشرة بأن تفرز بعض الأنزيمات التي تحفظ جسم الحشرة مناسباً لنمو وتكاثر النيماتودا

حيث تكون النيماتودا في التربة أو الماء أو على النباتات ضمن غلاف مائي وهي بالطور اليرقي الانسلاخي الثالث وعندما تصل اليرقات إلى داخل جسم الحشرات القابلة للإصابة تتخلص يرقات الطور الانسلاخي الثالث ضمن جسم الحشرة من جلد

الانسلاخ (تحتفظ اليرقة في الطبيعة بجلد الانسلاخ حتى تصل لداخل جسم الحشرة كطريقة للحفاظ على البقاء في الطبيعة حتى توفر المضيف المناسب) ثم تقوم النيماتودا بعملية تجشؤ تؤدي لخروج البكتريا الموجودة في نهاية الرمح لتصل بالتالي إلى داخل جسم يرقة الحشرة المضيف

تبدأ البكتريا نشاطها ضمن جسم المضيف مباشرة وبالتالي تموت اليرقات المصابة بعد 1-2 يوم من وصول البكتريا إلى داخل جسم المضيف ولكن تستمر النيماتودا بدورة حياتها لتمتد حتى 4-8 أيام

أما في حالة أن النيماتودا لا تحمل بكتريا فإن دورة حياة النيماتودا تمتد حتى 16-40 يوم ويتأخر موت المضيف ليصبح بعد 20- 30 يوم

كما لوحظ انخفاض في خصوبة إناث النيماتودا بالمقارنة مع خصوبة إناث النيماتودا الناتجة عن نيماتودا حاملة للبكتيريا

تتم النيماتودا وسطياً داخل جسم المضيف ثلاثة أجيال أو أكثر ويتحقق ذلك بسبب عدم تعفن جسم المضيف وعدم انتشار الرميات عليه حيث يحتفظ المضيف بعد موته بلونه الطبيعي كما لو أنه محنط وبالتالي مناسب لاستمرار تكاثر النيماتودا عليه ويعود الفضل في ذلك لمفرزات البكتريا المتعايشة مع النيماتودا

تغادر النيماتودا جسم المضيف بعد نفاذ الغذاء لتبحث عن المضيف المناسب وتعيد دورة الحياة أما عند عدم توفر المضيف المناسب تحتفظ يرقات النيماتودا بقدرتها على الحياة والعدوى لفترة طويلة تمتد حتى عدة سنوات بسبب عدم تخلصها من جلد الانسلاخ الذي يؤمن لها الحماية والغذاء لمحتواه العالي من المدخرات الغذائية

من خلال تجارب حقلية واسعة تم الاستفادة من هذه العلاقة التشاركية في مكافحة حشرات دودة ثمار التفاح، خنفساء الكولورادو، دودة اللوز الأمريكية، دودة ورق القطن

مخبرياً تم إكثار هذه النيماتودا على يرقات فراشة الشمع الكبيرة التي تمتاز بالاستجابة للتربية المخبرية الواسعة على الوسط الغذائي الصناعي الملائم لها وهذا يتطلب جهد مضاعف لتربية كل من اليرقة والنيماتودا لذلك تم تربيته حالياً على وسط غذاء صناعي مكون من كبد الخنزير ودهن بقري وماء وهذا الوسط رخيص نسبياً مما يسهل تحضير المستحضر التجاري من النيماتودا

لكن سرعة جفاف معلق الرش يحد من الانتشار الوبائي لعدوى الحشرات بالنيماتودا الممرضة للحشرات لذلك اقترح إضافة مواد تؤمن حفظ الرطوبة لفترة أطول مثل الغليسيرين والبارافين ومواد لإزالة التوتر السطحي عن أوراق النباتات المعاملة لتؤمن استمرار بقاء سائل الرش على الأوراق والوصول بالتالي لجسم المضيف

مبيـــــــــدات الحشـــــــــرات الجيـــــــنية

هي مجموعة الجينات المسؤولة عن مجموعة الصفات التي تعمل على قتل الحشرات وخفض أعدادها بشكل مباشر أو غير مباشر .

ومن هذه الجينات

1. الجينات المسؤولة عن إنتاج السموم القاتلة للحشرات
2. الجينات المسؤولة عن حالات العوق في الحشرات
3. الجينات المسؤولة عن مقاومة النبات للحشرات
4. وغيرها

الجينات ليست سامة بحد ذاتها وإن عملها يقتصر على توظيف العمليات الحيوية للكائن الحي لترجمة الصفة المسؤولة عنها إلى واقع مادي يتمثل في اكتساب الكائن لتلك الصفة

المبيدات الجينية لا يمكن تجهيزها واستعمالها بنفس الطريقة التي تستعمل في تجهيز واستعمال المبيدات الكيميائية التقليدية وإنما تتوفر تجارياً بشكل كائنات معدلة وراثياً تنضوي تحت أحد المجاميع اللآتية:

1. المحاصيل السامة للحشرات
2. المحاصيل المقاومة للحشرات
3. الحشرات المعاقة
4. الأعداء الحيوية المقاومة للمبيدات
5. الفايروسات معادة التشكيل

بعض الأمثلة عن المبيدات الجينية المستخدمة:

- ❖ استخدم الجين المسؤول عن تركيب سم الفطر *B. bassiana* الذي نقل إلى نبات القطن ليصبح قاتلاً لسوسة جوز القطن *Anthonomous grandis*
- ❖ حالياً يوجد عمل كبير على إنتاج محاصيل سامة للحشرات مشتقة من النبات حيث تمكن العلماء من إدخال جين في نبات البازلاء مسؤول عن إنتاج بروتين يمنع نمو يرقات نوعين من السوس من التغذية على حبوب البازلاء وقد وجد هذا الجين في بعض أصناف البقول المقاومة لهذه الخنافس وسوف يمهد اكتشاف هذا الجين لإدخاله في محاصيل أخرى غنية بالبروتين مثل الفول والفاصولياء، هذه المحاصيل السامة للحشرات المشتقة من النبات لا زالت غير متوفرة على المستوى التجاري مع احتمال توفرها في السنوات القليلة القادمة
- ❖ الجين المثبط للتربسين في اللوبيا: تم عزل هذا الجين من نبات اللوبيا *Vigna unguiculata* بعد ملاحظة الباحثين أن خنفساء اللوبيا *Callosobruchus maculates* فشلت في التغذية على هذا النوع والنمو والتطور مما أدى إلى موتها

يستخدم هذا الجين حالياً لمكافحة العديد من حشرات حرشفية الأجنحة وغمدية الأجنحة على البطاطا والرز والعديد من المحاصيل الأخرى بعد أن يتم نقل الجين إليهم باستخدام بلاسميد البكتريا *Agrobacterium tumefaciens*

وطريقة تأثير هذا الجين في الحشرات يتم من خلال إنتاجه مثبط التربسين في النبات وعندما تهاجم الحشرة النبات يعمل هذا المثبط على إيقاف عملية هضم الغذاء وبالتالي توقف الحشرة عن النمو والتكاثر وذلك لأن التربسين إنزيم هاضم للبروتين

- تم ادخال سم البكتريا *B.t.* في نبات القطن
- الفايروسات معادة التشكيل ويستخدم لهذا الغرض الفيروسات *Baculovirus* لكونها غير ممرضة للفقاريات والنبات ومتخصصة في إصابتها للحشرات
- جين سم الزنبور المتطفل *Bracon hebetor* وهو سم مؤثر جداً في يرقات حرشفية الأجنحة ويتوقع الباحثون إمكانية استعماله كمبيد للحشرات بعد إدخال الجين المسؤول عن هذا السم في الفايروسات العصوية *Baculovirus*
- **في السودان** تم تطبيق برنامج مكافحة متكاملة لسوسة النخيل الحمراء وحفارات الساق والجذور في دول مجلس التعاون الخليجي من خلال مايلي:

تطوير مصيدة أرضية فيرمونية كيرمونية أثبتت تفوقها معنوياً في التقاط عدد أكبر من أفراد سوسة النخيل الحمراء بالمقارنة مع المصائد الهوائية (على ارتفاع 120 سم)، حيث تم إضافة الكيرمونات المستخلصة من ثمار وخشب النخيل إلى المصائد الأرضية الفيرمونية إلى زيادة كفاءتها في التقاط عدد أكبر من أفراد سوسة النخيل الحمراء

تم عزل سلالتين من النيماتودا الممرضة من دولة الإمارات المتحدة وكذلك عزل سلالة من دولة قطر وأخرى من سلطنة عمان، وقد أثبتت هذه السلالات إضافة إلى

سلالة أخرى من تكساس فعالية في مهاجمة سوسة النخيل الحمراء والقضاء عليها والتكاثر بداخلها والخروج منها

ويعمل المشروع على تطوير تقانات لإيصال النيماتودا إلى يرقات سوسة النخيل الحمراء داخل أنفاقها في جذوع الأشجار المصابة

أعطى استخدام الفطر *Beauveria bassiana* المستورد إلى كولومبيا نتائج واعدة جداً في مكافحة سوسة النخيل الحمراء في الحقل عند استخدامه رشاً على الأشجار أو عن طريق نشر الذكور الملوثة بالفطر.