*Peniophora gigantea*

*Candida olephila*

*Sporidesmium sclerotivorum*

*Coniothyrium minitans*

*Ampelomyces quisqualis*

*Chaetomium* spp.

*Cloadosporium* spp.

*Fusarium semitectum*

*Tuberculina* spp.

*Phialophora* spp.

*Catenaria* spp.

*Verticillium* spp.

- البكتيريا

*Pseudomonas* spp.

*Agrobacterium radiobactor*

*Bacillus* spp.

- الأكتينوميسيتات

*Streptomyces griseus*

*S. rimosum*

## آليات المكافحة الحيوية

إن آليات المكافحة الحيوية تتضمن ما يلى:

### ١- التطفل الفوقى hyperparasitism

نجد فى حالة التطفل الفوقى أن المسبب المرضى (المتطفل على النبات) يُهاجَم

مباشرة بواسطة كائن المكافحة الحيوية؛ مما يؤدى إلى قتله أو قتل أعضائه التكاثرية التى يمكن أن تصيب النباتات.

**ويعرف أربعة أقسام من المتطفلات الفوقية، كما يلى:**

أ- متطفلات بكتيرية إجبارية.. مثل البكتيريا *Pasteuria penetrans* التى تُعد متطفلاً إجباريًّا على نيماتودا تعقد الجذور.

ب- الفيروسات الفوقية hypoviruses.. مثل الفيرس الذى يُصيب الفطر *Cryphonectria parasitica* مسبب مرض لفحة الكستناء.

ج- الفطريات فوقية التطفل، مثل الفطر *Coniothyrium minitans* الذى يُهاجم الأجسام الحجرية، والفطر *Pythium oligandrum* الذى يُهاجم الغزل الفطرى الحىّ. كما يمكن للفطريات *Acremonium alternatum*، و *Acrodontium crateriforme*، و *Ampelomyces quisqualis*، و *Cladosporium oxysporum*، و *Gliocladium virens* وغيرها التطفل على فطريات البياض الدقيقى.

د- متطفلات فوقية فطرية أخرى تتطفل على النيماتودا المتطفلة على النبات خلال بعض مراحل دورة حياتها، مثل *Paecilomyces lilacinus*، و *Dactylela oviparasitica*.

## ٢- الافتراس predation

إن الكائنات الدقيقة المفترسة لا تكون متخصصة على مسببات مرضية بعينها، ولا تعطى نتائج فى المكافحة يمكن التنبؤ بها أو الاعتماد عليها؛ فهى تكون نشطة خاصة عند نقص مصادر غذائها وفى ظروف بيئية معينة. ومن أمثلتها بعض أنواع الترايكودرما Trichoderma التى تُنتج عدة إنزيمات تعمل على الجدر الخلوية للفطريات.

## ٣- التضاوية الحيوية Antibiosis

إن مضادات الحيوية هى سموم يمكنها — بتركيزات منخفضة — قتل كائنات دقيقة معينة أو تثبيط نشاطها؛ مما يحد من شدة الأمراض التى تحدثها (جدول ٨-١).

جدول (٨–١): أمثلة لبعض المضادات الحيوية التى تنتجها بعض الكائنات الدقيقة المستخدمة فى المكافحة الحيوية.

| المضاد الحيوى | مصدره | المسبب المرضى الذى يتأثر به | المرض الذى تم مكافحته |
|---|---|---|---|
| 2,4-diacetyl-phloroglucinol | *Pseudomonas fluorescens* F113 | *Pythium spp.* | تساقط البادرات |
| Agrocin 84 | *Agrobacterium radiobacter* | *Agrobacterium tumefaciens* | التثائل التاجى |
| Bacillomycin D | *Bacillus subtilis* AU195 | *Aspergillus flavus* | التلوث بالأفلاتوكسين |
| Bacillomycin, fengycin | *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 | *Fusarium oxysporum* | الذبول |
| Xanthobaccin A | *Lysobacter sp. strain* SB-K88 | *Aphanomyces cochlioides* | تساقط البادرات |
| *Gliotoxin* | *Trichoderma virens* | *Rhizoctonia solani* | أعفان الجذور |
| Herbicolin | *Pantoea agglomerans* C9-1 | *Erwinia amylovora* | اللفحة النارية |
| *Iturin* A | *B. subtilis* QST713 | *Botrytis cinerea* and *R. solani* | تساقط البادرات |
| *Mycosubtilin* | *B. subtilis* BBG100 | *Pythium aphanidermatum* | تساقط البادرات |
| *Phenazines* | *P. fluorescens* 2-79 and 30-84 | *Gaeumannomyces graminis var. tritici* | Take-all |
| Pyoluteorin, pyrrolnitrin | *P. fluorescens* Pf-5 | *Pythium ultimum* and *R. solani* | تساقط البادرات |
| Pyrrolnitrin, pseudane | *Burkholderia cepacia* | *R. solani* and *Pyricularia oryzae* | تساقط البادرات وعصفة الأرز |
| *Zwittermicin* A | *Bacillus cereus* UW85 | *Phytophthora medicaginis* and *P. aphanidermatum* | تساقط البادرات |

## ٤- الإنزيمات المحللة lytic enzymes

تُفرز الكائنات الدقيقة نواتج أيضية يمكنها أن تتعارض مع نمو المسببات المرضية ونشاطها. وكثير من تلك الكائنات الدقيقة تفرز إنزيمات محللة يمكنها تحليل عديد من المركبات البوليمرية، مثل الشيتين، والبروتينات، والسليليلوز، ونصف السيليلوز، والدنا DNA. ويؤدى نشاط الإنزيمات المفرَزة إلى تثبيط أنشطة المسببات المرضية بصورة مباشرة.

**ومن أمثلة ذلك، ما يلى:**

أ- يُكافح الفطر *Sclerotium rolfsii* بالبكتيريا *Serratia marcescens* بواسطة إنزيم الشيتنينيز الذى تفرزه البكتيريا.

ب- يُسهم الإنزيم β-1,3-glucanase جوهريًّا فى نشاط المكافحة الحيوية للسلالة C3 من البكتيريا *Lysobacter enzymogenes*.

كما أن الإنزيمات المحللة يمكن أن تقوم بدور غير مباشر فى الحد من الإصابات المرضية. فمثلاً.. من المعروف أن الـ oligosaccharides التى يُحصل عليها من الجدر الخلوية للفطريات تُعد مستحثات قوية للدفاع النباتى، كما وجد أن السلالة C3 من *Lysobacter enzymogenes* تستحث مقاومة فى النباتات.

## ٥- منتجات ميكروبية أيضية أخرى

من أمثلة المركبات الأيضية الأخرى التى تُفرزها بعض الكائنات الدقيقة، وتلعب دورًا فى المكافحة الحيوية سيانيد الأيدروجين السام لجميع الكائنات الدقيقة الهوائية التنفس، وهو يُفرَز بواسطة بعض أنواع البكتيرية الفلورسينتية من الجنس *Pseudomonas*، والتى تلعب دورًا فى تثبيط مسببات الأمراض الجذرية. ونجد أن السلالة CHAO من البكتيريا *P. fluorescens* تُنتج مضادات حيوية، و siderophores ، وسيانيد الأيدروجين. كما تفرز البكتيريا *Enterobacter cloacae* مركبات متطايرة – مثل الأمونيا – تُسهم فى تثبيط الفطر *Pythum ultimum* مسبب مرض تساقط البادرات.

## ٦- التنافس Competition

تُنافس بعض كائنات المكافحة الحيوية الدقيقة مسببات الأمراض على الغذاء؛ مما يحد من الإصابات المرضية، وخاصة الأمراض التى تُصاب فيها النباتات بمجرد ملامسة الغزل الفطرى لها – كما فى حالة الفطرين *Fusarium*، و *Rhizoctonia* – وليس بعد تكوين appressoria، و infection pegs. وقد تكون المنافسة على العناصر الدقيقة، والتى من أمثلتها الحديد، حيث تُفرز كثير من كائنات المكافحة الحيوية الدقيقة ما

يعرف بالـ siderophores تكون عالية القدرة على خلب الحديد إليها؛ مما يحد من توفر العنصر للكائنات المرضة. ومثال ذلك عديد من سلالات *P. fluorescens* التى تفيد فى مكافحة *Erwinia carotovora*.

## ٧- حث المقاومة فى العائل

تُستحث المقاومة فى النباتات بعديد من العوامل البيئية والكيميائية والبيولوجية. وقد وجد أن مسارات حث المقاومة تتنوع كما يلى:

أ- مقاومة جهازية مكتسبة (SAR).. وهى التى ينظمها حامض السلسيلك، الذى كثيرًا ما يُنتج فى النباتات عقب إصابتها بالمسببات المرضية، ويقود إلى التعبير الجينى لإنتاج البروتينات ذات الصلة بالتطفل المرضى، وهى التى تتضمن مجموعة من الإنزيمات التى قد تعمل مباشرة على تحليل الخلايا المهاجمة، أو تقوية محيط الجدر الخلوية لمقاومة الإصابة، أو تحث موت موضعى للخلايا.

ب- مقاومة جهازية مستحثة (ISR).. وهى التى ينظمها حامض الجاسمونك مع الإثيلين أو أيهما منفردًا. تظهر هذه المقاومة عقب الحقن ببعض بكتيريا المحيط الجذرى غير المرضة. ومن أمثلة هذه البكتيريا: السلالة 6-203 من *Bacillus pumilus* (التى تعمل من خلال إنتاجها لإنزيمات البيروكسيديز والشيتنيز والـ β-1,3-glucanase)، والسلالتان GB03 و IN937a من *B. subtilis* (اللتان تعملان من خلال إنتاجهما للـ 2,3-butanediol) والسلالتان WCS374 و WCS417 من *Pseudomonas fluorescens* والسلالتان WCS358 و BTP1 من *P. putida* (وهى التى تعمل جميعها من خلال إنتاجها للـ lipopolysaccharides)، والسلالة 166-90 من *Serratia marcescens* (من خلال إنتاجها للـ siderophores) (Pal & Gardener ٢٠٠٦).

وإلى جانب ما تقدم بيانه.. قد تشمل آليات المكافحة الحيوية: المنافسة على استعمار الموضع الملائم للاتصال بالنبات (niche)، والتعارض مع عوامل النشاط الممرض فى المسبب المرضى (Punja & Utkhede ٢٠٠٣).

وللتفاصيل المتعلقة بالمكافحة الحيوية لأمراض مختلف المحاصيل الزراعية كلٍ على حدة.. يُراجع Gnanamanickam (٢٠٠٢). وفى ذلك المرجع (الكتاب) يتناول: Gnanamanickam وآخرون (٢٠٠٢) بالشرح الأسس العامة للمكافحة الحيوية، و Jacobsen (٢٠٠٢) المكافحة الحيوية لأمراض البطاطس، و Kokalis-Burelle (٢٠٠٢) المكافحة الحيوية لأمراض الطماطم. كما تناول Navi & Bandyopadhyay (٢٠٠٢) – بالتفصيل – موضوع المكافحة الحيوية للأمراض النباتية.

## نوعيات المقاومة المستحثة بيولوجيًّا

إن المقاومة الجهازية المستحثة فى النباتات يمكن أن تحدث بفعل عوامل حيوية أو غير حيوية، ومن أهم المستحثات الحيوية: المسببات المرضية المحدثة للتحلل necrotizing pathogens؛ والكائنات الدقيقة غير المرضة non-pathogens، وبكتيريا المحيط الجذرى التى تستعمر الجذور.

فعند الإصابة بالفطريات التى تؤدى إلى موت وتحلل الخلايا فى موضع الإصابة (الإصابة بالـ necrotizing pathogens) تطور كثير من النباتات مقاومة ضد مجال واسع من المسببات المرضية فى أجزاء أخرى منها لم تتعرض أصلاً للإصابة. يعتمد هذا النوع من المقاومة على تراكم حامض السلسيلك، ويعرف باسم المقاومة الجهازية المكتسبة systemic acquired resitance.

ويعرف نوع آخر من المقاومة الجهازية المستحثة فى النباتات يحدث عند عدواها بسلالات معينة من بكتيريا المحيط الجذرى غير المرضة والمحفزة للنمو النباتى nonpathogenic rhizobacteria، يعرف باسم المقاومة الجهازية المستحثة induced systemic resistance. وهذا النوع الأخير من المقاومة الجهازية لا يتطلب لحدوثه حامض السلسيلك، ولكنه يعتمد على استجابات لكل من الهرمونين النباتيين: حامض الجاسمونك والإثيلين.

وتختلف المقاومة المستحثة المحلية localized induced resistance عن تلك