

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستحثة بيولوجياً ضد الأمراض

تعد مكافحة الحيوية للفطريات والبكتيريا المسببة للأمراض النباتية من أكثر الطرق التي تُلَقَى إقبالاً متزايداً من قبل الباحثين - فى الوقت الحاضر - بعد أن ازدادت القيود على استعمال المبيدات الفطرية؛ بسبب الوعي المتزايد بأضرارها على صحة الإنسان والبيئة. وبالرغم من أن معظم محاولات مكافحة الحيوية مازالت فى مراحلها البحثية، إلا أن التطور الهائل والاكتشافات الكثيرة فى هذا المجال أسفرت - بالفعل - وتؤذن بظهور عديد من التحضيرات التجارية التى يمكن استخدامها على النطاق التجارى.

ولقد حدث التقدم فى دراسة هذا الموضوع، وما أثمرته الدراسات من اكتشافات هامة بصورة تدريجية؛ ففى البداية كان اكتشاف الأراضى المثبطة للأمراض؛ ثم كان اكتشاف دور الأسمدة العضوية بمختلف أنواعها فى الحد من الإصابات المرضية، وأعقب ذلك اكتشاف دور الميكوريزا وبكتيريا المحيط الجذرى فى مكافحة الحيوية، ثم فى حث النباتات على تطوير المقاومة الجهازية فيها. ولقد كانت محصلة ذلك كله اكتشاف عدة مئات من الكائنات الدقيقة التى تفيد فى مكافحة الحيوية لمسببات الأمراض. وتطوير تحضيرات تجارية منها تستعمل لهذا الغرض.

الزراعة فى الأراضى المثبطة للإصابة بالأمراض

يؤدى تكرار زراعة محصول واحد فى نفس الأرض لفترة طويلة monoculture إلى تدهور الإنتاج بسبب شدة الإصابة بأمراض معينة (جدول ٦-١)، ومع استمرار الزراعة لسنوات إضافية تبدأ الإصابة المرضية فى التناقص مرة أخرى، ولقد تأكد ذلك فى عدة حالات مرضية، وتبين وجود كائنات دقيقة فى التربة من الـ pseudomonads والـ actinomycetes كانت المسئولة عن تناقص شدة الإصابة المرضية (Wipps ١٩٩٧)، وتعرف التربة فى مثل تلك الحالات بأنها مثبطة للأمراض.

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستمثلة بيولوجيا ضد الأمراض

جدول (٦-١): أمثلة لحالات مرضية سادت بعد زراعة محصول واحد في نفس الأرض لفترة طويلة.

المسبب المرضي الذي سادت الإصابة به	المحصول الذي تكررت زراعته دوماً
<i>Fusarium oxysporum</i>	الكتالوب ومحاصيل أخرى عديدة
<i>Gaeumannomyces graminis</i>	القمح
<i>Phymatorichum omnivorum</i>	القطن
<i>Rhizoctonia solani</i>	البطاطس والفجل وبنجر السكر والقمح ومحاصيل أخرى عديدة
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	الحس ودوار الشمس ومحاصيل أخرى عديدة
<i>Streptomyces spp.</i>	البطاطس
<i>Verticillium dahliae</i>	البطاطس

لقد عُرِفَتْ كثير من الحالات للتربة المثبطة Suppressive لبقاء بعض الفطريات فيها، ونموها الرمي، ونشاطها المرض (الباثولوجي). وتنتشر تلك الحالات في أراضي تكون - غالباً - دقيقة القوام، ورسوبية، ويكثر فيها معدن المونتموريللونيت Montmorillonite.

وأكثر أنواع الفطريات التي يثبُط نموها في تلك الأراضي الفطر *Fusarium oxysporum* المسبب لمرض الذبول الفيوزاري، الذي عُرِفَ تثبيط ١١ طرازاً نوعياً *Forma specialis* - على الأقل - منه في أراضٍ مختلفة، علماً بأن التربة التي تثبُط نمو أحد الطرز النوعية تثبُط كذلك - بوجه عام - الطرز النوعية الأخرى.

منهى فرما احتشمت أراضٍ - تحتوي على طين الموند موريللونيت - حادثة مثبطة لفطر الذبول الفيوزاري، وتبين من الدراسات التي أجريتها عليهما ما يلي،
١- أدى تعقيم التربة بأى من البخار أو بروميد الميثايل إلى فقدانها لخاصيتها المثبطة.

٢- أمكن نقل العامل المسئول عن تثبيط فطر الفيوزاريم من التربة المثبطة إلى أراضٍ أخرى غير مثبطة للفطر - شريطة أن تكون من نفس القوام والتركيب - بنقل أجزاء من التربة المثبطة إلى التربة غير المثبطة وخلطها بها.

- ٣- تبين أن خاصية التثبيط - التي تَحْدُثُ في التربة المثْبُطة - ترجع إلى تواجد سلالات غير ممرضة من الفطرين *F. oxysporum*، و *F. solani*.
- ٤- لا تفقد التربة المثْبُطة للفطر - بصورة طبيعية - خاصية التثبيط، حتى في غياب النباتات، ولكن التربة التي تُنقل إليها خاصية التثبيط تفقد تلك الخاصية خلال عام واحد إن لم تستخدم في الزراعة.

ومن أمثلة محاصيل الخضار التي له تُسبب ببعض المصبات المرضية - عندما زرعته في أراضٍ مثْبُطة لتلك المصبات - ما يلي (من Palti ١٩٨١):

المسبب المثبُط في التربة	المحصول
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	الخيار
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i>	القاوون
<i>Phomopsis sclerotides</i>	القرعيات
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	الطماطم
<i>Streptomyces scabies</i>	البطاطس
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i>	البسلة
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>phaseoli</i>	الفاصوليا
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>batatas</i>	الفجل
<i>Olpidium brassicae</i>	الخس
<i>Pythium ultimum</i>	خضروات مختلفة
<i>Pythium</i> spp.	

كما عرفت حالات تُبْطُ فيها فطر *Rhizoctonia solani* في القمح، وفطر *Verticillium albo-atrum* في النعناع، وفطريات الذبول الفيوزارى في كل من الكتان، والموز، والقرنفل، وبخور مريم *Cyclamen*.

ويبين جدول (٦-٢) مزيداً من الأمثلة لأراضٍ وجد أنها كانت مثبُطة لأمراض معينة، ومواقع تلك الأراضى في خريطة العالم.

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستنحقة ببيولوجيا ضد الأمراض

جدول (٦-٢): أمثلة لأراضٍ مثبطة للأمراض (عن Whipps ١٩٩٧).

الموقع	المرض	المسبب المرضي المثبط
إسرائيل - فرنسا - أمريكا الوسطى - اليابان - الولايات المتحدة	الذبول الفيوزارى فى عديد من النباتات	<i>Fusarium oxysporum</i>
اليابان - الولايات المتحدة	عفن الجنور فى الفاصوليا	<i>Fusarium solani</i>
فرنسا	العفن الجاف فى البطاطس	
أستراليا - هولندا - الولايات المتحدة	مرض take-all فى الحبوب	<i>Gaeumannomyces graminis</i>
فرنسا - تايوان - الولايات المتحدة	عفن الجنور فى عديد من النباتات	<i>Phytophthora spp.</i>
تايوان	الجنف الصولجانى فى الصليبيات	<i>Plasmodiophora brassicae</i>
الولايات المتحدة	الذبول الفيوزارى	<i>Pseudomonas solanacearum</i>
المكسيك	عفن الجنور فى الفجل	<i>Pythium aphanidermatum</i>
فنلندا - الولايات المتحدة	الذبول الطرى فى عديد من النباتات	<i>Pythium spp.</i>
كولومبيا	عفن الجنور فى الفجل	<i>Rhizoctonia solani</i>
اليابان	جرب البطاطس	<i>Streptomyces scabies</i>
سويسرا - الولايات المتحدة	العفن الأسود فى التبغ	<i>Thielaviopsis basicola</i>

ويستدل من دراسات Larkin وآخرين (١٩٩٣، ١٩٩٣ب) فى أراضٍ مثبطة وأخرى غير مثبطة للفطرين *F. oxysporum* f. sp. *niveum*، و *F. solani* - اللذين يصيبان البطيخ - أن إصابة أى من الفطرين لجذور البطيخ كانت متماثلة فى نوعى الأراضى؛ مما يدل على أن مجرد الإصابة الأولية لا ترتبط بنوع التربة من حيث كونها مثبطة، أم غير مثبطة، ولكن وُجِدَتْ أعداد أكبر من الأكتينومييسيتات Actinomycetes، وبكتيريا الـ Pseudomonads الفلورية Fluroescent، ومختلف الأنواع البكتيرية غير المعروضة - بصورة عامة - فى الأراضى المثبطة.

ووجدت أعداد من هذه الكائنات الدقيقة فى الأراضى التى تكررت زراعتها بصنف البطيخ كرمسون سويت Crimson Sweet - المتوسط المقاومة لفطر الذبول الفيوزارى - وكانت هذه الأعداد أكبر من تلك التى وجدت فى الأراضى المتروكة دون زراعة، أو التى

تكررت زراعتها بالصفة فلوريدا جاينت Florida Giant القابل للإصابة بالفطر؛ مما يدل على تأثير خاصية التثبيط بالأصناف المزروعة. كما أن تعقيم التربة بالميكرويف أفقدها خاصية التثبيط. كذلك استدل من تلك الدراسات على عدم اختلاف إنبات الجراثيم الكلاميذية للفطر فى مختلف أنواع الأراضى، وأن سلالات منافسة معينة - وليست جموع الكائنات الدقيقة فى التربة - هى المسئولة عن تثبيط فطر الذبول الفيوزارى فى الأراضى المثبطة.

وتأكيداً لما تقدم .. لم يجد Toyota وآخرون (١٩٩٤) أى اختلاف بين الأراضى المثبطة للفطر *F. oxysporum* f. sp. *raphani* - مسبب مرض الذبول الفيوزارى فى الفجل - وغير المثبطة له فى بقاء الفطر فى تربة المحيط الجذرى، ولكن نمو الفطر فى جذور الفجل تُبطئ فى الأراضى المثبطة عما فى الأراضى غير المثبطة. وقد أدى تعقيم جذور الفجل سطحياً إلى فقد خاصية التثبيط؛ مما يدل على أن تلك الخاصية ترجع إلى استعمار سطح الجذور - فى الأراضى المثبطة - بكائنات دقيقة منافسة.

وفى محاولة للتوصل إلى الكائن أو الكائنات الدقيقة المنافسة لفطر الذبول الفيوزارى قام Toyota وآخرون (١٩٩٤ب) بعزل نحو ٦٠٠ سلالة من مختلف أنواع البكتيريا والأكتينومييسيتات من الأراضى المثبطة، وباختبارها فى البيئات الصناعية توصلوا إلى سلالة واحدة من البكتيريا *Pseudomonas cepacia*؛ أعطيت الرمز MRT11 أدت - عند معاملة جذور الفجل المعقمة سطحياً بها - إلى تثبيط إصابة النبات بفطر الذبول الفيوزارى بنفس درجة التثبيط التى تحدث - بصورة طبيعية - فى الأراضى المثبطة للفطر.

وتعرف أراضٍ مثبطة يمكن أن تزرع فيها البسلة لخمس سنوات متتالية دون أن يتأثر محصولها كثيراً أو تزيد فيها شدة الإصابة بعفن أفانوميس الذى يسببه الفطر *Aphanomyces euteches*، بينما تعرف أراضٍ أخرى تساعد على حدوث المرض *conducive soil* بسرعة فيها، وقد تبين أن الاختلافات بينها أساسها بيولوجى، حيث اختلفت القدرة على تثبيط المرض فى الأراضى المثبطة لدى معاملتها بالحرارة، أو بالإشعاع، أو بعد تخزين عينات منها (Persson ١٩٩٨، و Persson وآخرون ١٩٩٩).

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستنحثة بيولوجيا ضد الأمراض

إن التربة المثبطة للأمراض disease suppressive soil تثبط الأمراض حتى في وجود المسبب المرضى وتوفر الظروف البيئية المناسبة لحدوث الإصابة وتطور المرض.

وكما أسلفنا بيانه فإنه في كثير من حالات الأراضى المثبطة للأمراض يؤدي تعقيم التربة بأى وسيلة إلى فقد تلك الأراضى لخاصيتها فتصبح عادية ويمكن أن تحدث فيها الإصابة المرضية كغيرها من الأراضى. كذلك فإن نقل ولو ١-١٠٪ من تربة مثبطة إلى تربة فقدت خاصية التثبيط بالتعقيم وخلطها بها يؤدي إلى إكسابها خاصية التثبيط من جديد؛ بما يعنى أن خاصية التثبيط ترجع أساساً إلى نشاط ميكروبي معين يتوفر فى التربة المثبطة بالتعقيم؛ الأمر الذى تأكد فى حالات كثيرة (جدول ٦-٣).

جدول (٦-٣): أمثلة لكائنات دقيقة وجد أنها تلعب دوراً فى الحد من إصابات مرضية معينة فى أراضٍ مثبطة للأمراض (عن Whipps ١٩٩٧).

الممرض أو المسبب المرضى المثبط	الكائن المثبط
--------------------------------	---------------

بكتيريا

الذبول الفيوزارى فى نخيل البلح *Actinomycete spp.*

الذبول الفيوزارى فى القرنفل *Acaligenes sp.*

الذبول الفيوزارى فى القرنفل *Arthrobacter sp.*

الذبول الفيوزارى فى القرنفل *Bacillus sp.*

الذبول الفيوزارى فى القرنفل *Hafnia sp.*

الذبول الفيوزارى بصورة عامة *Pseudomonas spp.*

Take-all فى القمح

Take-all فى القمح

Thielaviopsis basicola فى التنغ

الذبول الفيوزارى فى القرنفل *Serratia sp.*

Streptomycetes sp. عديد من أمراض التربة

فطريات

اسكليروتينيا نوار الشمس ولفت الزيت *Coniothyrium minitans*

عدد من مسببات الذبول الفيوزارى *Fusarium spp. (non-pathogenic)*

عفن التاج الفيوزارى فى الطماطم *Penicillium spp.*

Fusarium avenaceum

المرض أو المسبب المرضي المثبط الكائن المثبط

Take-all *Phialophora graminicola*

ذبول بثيم الطرى *Pythium nunn*

ذبول بثيم الطرى *Phthium oligandrum*

اسكليروتينيا فى الخس ومحاصيل أخرى *Sporidesmium sclerotivorum*

Fusarium avenaceum *Trichoderma* spp.

عفن التاج الفيوزارى فى الطماطم

Rhizoctonia solani

القشف الأسود فى البطاطس *Verticillium biguttatum*

Phytophthora cinnamoni Mycorrhizal fungi

P. parasitica

ذبول فيرتسيليم فى القطن

Thielaviopsis basicola

وتحتوى الأراضى المثبطة للفيوزاريم على بكتيريا الـ pseudomonads الفلورية بأعداد كبيرة. تعيش هذه البكتيريا فى المحيط الجذرى للنباتات، وتؤدى إلى خفض الإصابة بالذبول الفيوزارى حتى فى وجود الفطر المسبب للمرض وسيادة الظروف البيئية المناسبة لها. ويرجع تأثير تلك البكتيريا على المسببات المرضية إلى عوامل متنوعة، منها منافسة الـ sidrophores البكتيرية للمسببات المرضية على الحديد، ومنافسة البكتيريا لها، وكذلك إفرازها لكـ chitinases والـ glucanases التى تحلل الخلايا الميكروبية (Van Loon وآخرون ١٩٩٨).

إن أكثر ما عُزل من الأراضى المثبطة للأمراض كانت سلالات من الفيوزاريم غير المرض فى حالة الأراضى المثبطة للذبول الفيوزارى، وبكتيريا الـ pseudomonads الفلورية التى عُزلت من أرض كانت مثبطة لمدى واسع من الأمراض.

وتجدر الإشارة إلى أن عديداً من الكائنات الدقيقة المستخدمة فى مكافحة الحيوية للأمراض كانت قد عزلت أصلاً من أراضٍ مثبطة للأمراض مختلفة.

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستنحقة بيولوجيا ضد الأمراض

ومن أمثلة التخصيراته التجارية التي تحتوي على حباتها دقيقة ثم عزلها من أراضٍ مثبطة، ما يلي،

١- Mycostop .. وهو يحتوى على عزلة من *Streptomyces griseoviridis* حصل عليها من اسفاجنم بيت فنلندى مثبت لعديد من المسببات المرضية.

٢- Fusaclean .. وهو يحتوى على سلالة غير ممرضة من *Fusarium oxysporum* حصل عليها من تربة مثبطة للفيوزاريم.

٣- Biofox C .. وهو يحتوى - كذلك - على سلالة غير ممرضة من *F. oxysporum* حصل عليها من تربة مثبطة للفيوزاريم.

وبالرغم من أن الدراسات الحديثة تشير إلى أن خاصية التثبيط - فى الأراضى المثبطة - يدخل فيها عنصر المكافحة الحيوية، إلا أن استمرار ارتباط تلك الخاصية بأراضٍ معينة يجعل لعنصر التربة دوراً هاماً فى فاعلية خاصية التثبيط واستمرارها فى التربة المثبطة.

لقد وجد - على سبيل المثال - أن خاصية التثبيط المرضى فى بعض الأراضى لا تُفقد بالتعقيم (كما فى حالة خاصية تثبيط الفطر *Thielaviopsis basicola* مسبب مرض العفن الأسود فى التبغ فى نورث كارولينا)؛ مما يدل على أن خاصية التثبيط فى تلك الحالات لا تعود إلى أسباب حيوية. هذا .. إلا أنه يلزم - فى معظم الحالات - توفر عوامل حيوية وأخرى غير حيوية فى تربة ما لكى تكون مثبطة، ولكى تحتفظ بتلك الخاصية.

وعلى الرغم من حصر عديد من العوامل الفيزيائية والكيميائية التى ينبغى توفرها فى حالات مختلفة من تثبيط الأراضى للأمراض، فإن حالات قليلة فقط هى التى حُدِّدت فيها تلك العوامل بدقة، ومن أمثلة ذلك ضرورة توفر pH منخفض، ونسبة عالية من المادة العضوية، ومن عناصر الكالسيوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم فى أرض معينة بالمكسيك لتظهر فيها خاصية تثبيط الفطر *Pythium aphanidermatum*، بينما كان المحتوى العالى من الكالسيوم هو أهم عامل يرتبط بتثبيط التربة للفطر *Pythium splendens* فى هاواى.

ومن بين العوامل التي ترتبط بتثبيت التربة للأمراض نوع معدن الطين (وخاصة معدن الـ montmorillonite) وقوام التربة، والألومنيوم المتبادل، ومدى عدم توفر الحديد، والـ pH المنخفض وأحياناً المرتفع. كذلك وجد أن أيون الكلور يلعب دوراً في خاصية تثبيت التربة لبعض الأمراض التي تسببها فطريات مثل *Pythium ultimum*، و *Fusarium oxysporum f. proliferatum* مسبب مرض عفن التاج والجذر في الأسبرجس (*Whipps*) (١٩٩٧).

أمثلة على حالات مكافحة الحيوية لمسببات الأمراض

إن الحالات التي نجحت فيها المكافحة البيولوجية في مكافحة الأمراض كثيرة جداً إلى درجة يصعب معها حصرها، إلا أن ذلك لا يمنع من عرض عديد من الأمثلة التي تمثل مدى واسعاً من المسببات المرضية التي أمكن مكافحتها حيويّاً في محاصيل كثيرة ومتنوعة باستخدام أنواع ميكروبية مختلفة.

بداية .. نستعرض في جدول (٦-٤) بعض الأمثلة لأمراض الخضر الفطرية التي نجحت معها المكافحة الحيوية مقسمة حسب المحصول.

يبين جدول (٦-٤) أمثلة لعدد من أمراض الخضر الفطرية التي نجحت معها المكافحة الحيوية.

جدول (٦-٤): أمثلة لأمراض الفطرية التي نجحت معها المكافحة الحيوية.

المستعمل في	الكافحة الحيوية	طريقة المعاملة	ملاحظات	المرجع
المحصول	المرض	السبب	الطعام	
عفن الجذور والتاج	الفيوزاري	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	عفن الجذور والتاج	Phae et al (١٩٩٢)
الذبول الفيوزاري	الذبول الفيوزاري	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	الذبول الفيوزاري	Sivan & Chet (١٩٩٣)
ذبول فيرتيليم الندوة البكرة	الذبول الفيوزاري	<i>Verticillium albo-atrum</i> <i>Alternaria solani</i>	أعلى نفس النتيجة مثل استعمال ٧٥٠ كجم بروتيد ميثايل الهكسار	El-Ahdyad وآخرون (١٩٩٣)
الذبول الفيوزاري	الذبول الفيوزاري	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>oxysporum lycopersici</i>	أعلى نفس النتيجة مثل استعمال ٧٥٠ كجم بروتيد ميثايل الهكسار	Alabouvette وآخرون (١٩٩٣)
عفن الجذور	عفن الجذور	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	أعلى نفس النتيجة مثل استعمال ٧٥٠ كجم بروتيد ميثايل الهكسار	Rankin & Paulitz (١٩٩٤)
تساقط البادرات وعفن الجذور	تساقط البادرات وعفن الجذور	<i>Pseudomonas corrugata</i> <i>P. fluorescens</i>	أعلى نفس النتيجة مثل استعمال ٧٥٠ كجم بروتيد ميثايل الهكسار	Askew & Laing (١٩٩٤)
العفن الرمادي	العفن الرمادي	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Botrytis cinerea</i>	أعلى نفس النتيجة مثل استعمال ٧٥٠ كجم بروتيد ميثايل الهكسار	Elad وآخرون (١٩٩٣)، و (١٩٩٥)
		<i>Trichoderma harzianum</i>	أعلى نفس النتيجة مثل استعمال ٧٥٠ كجم بروتيد ميثايل الهكسار	

معاملة المكافحة الحيوية مع
البيدات، لكن كان الأفضل تيسال
معاملة المكافحة الحيوية مع
البيدات الفطرية

الكائن المستعمل في

المراجع	ملاحظات	طريقة المعاملة	المكافئة الحيوية	المسبب	المرض	المحصول
Liu وآخرون (١٩٩٥ج)	كلتاها من البكتيريا التي تعيش بالقرب من الجذور، وتفرز منشطات للنمو النباتي، وقد اكتسبت النبات مقاومة جهازية للفطر	عن طريق التربة	<i>Pseudomonas putida</i> <i>Serratia macescens</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	الذبول الفيوزاري	
Meera (١٩٩٥) و	أصبحت المعاملة للنباتات مقاومة	معاملة البذور بهيفات الفطريات، أو إضافة جهازية ضد الفطر مع الشعير - إلى الجذور	<i>Colletotrichum orbiculare</i>			
Inbar وآخرون (١٩٩٤)	أدت المعاملة إلى زيادة نمو النباتات في الشتل	معاملة تربة الشتل	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	تساقط البادرات	الخيار والقطفل
Harris وآخرون (١٩٩٤)	كانت المعاملة بنفس تأثير المبيدات الفطرية	معاملة التربة	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pythium spp.</i> <i>Pythium ultimum</i> var.	تساقط البادرات	القطفل ونباتات تساقط البادرات المائل
Harris وآخرون (١٩٩٤)		معاملة التربة	عزلتان بكتيريتان منتخبان من عزلة ٥٠٠ من عزلة <i>subtilis</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>		
Sreenivasa (١٩٩٤)		معاملة التربة	<i>Trichoderma harzianum</i> <i>Glomus macrocarpum</i> <i>Gliocladium roseum</i>	<i>Sclerotium rolfsii</i> <i>Rhizoctonia solani</i>		القطفل القحف الأسود
Schmiedeknecht (١٩٩٣)			<i>Streptomyces sp.</i> <i>Bacillus subtilis</i>			

الكائن المستعمل في

المراجع	ملاحظات	طريقة المعاملة	المكافحة الحيوية	المسبب	المرض	المحصول
Stanley وآخرون (١٩٩٤)	كانت للمعاملة نفس فاعلية المبيدات	بعد الحصاد	<i>Pseudomonas fluorescens</i>		أفغان ما بعد الحصاد	الكرنب
Flori & Roberti (١٩٩٣)	كانت في فاعلية البيونوميل Benomyi	معاملة الأبقار	<i>Serratia polymythis</i> <i>S. liquefaciens</i> <i>Trichoderma harzianum</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cepae</i>	الذبول الفيوزاري	البصل
Avila de Moreno (١٩٩٢)		رشا على الأوراق وحول النباتات	<i>Trichoderma harzianum</i>		العفن القطني	الخنس
Berg وآخرون (١٩٩٤)		معاملة التربة	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	ذبول فيرتيليم	لفت الزيت
McQuilken & Whipps (١٩٩٥).	مع تقضى المعاملة على الأجسام	مخلفات عضوية نباتية الحجرية للفطر	<i>Coniothyrium minitans</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	العفن القطني	

ونقدم - فيما يلي - مزيداً من الأمثلة لأمراض الخضر التي أمكن مكافحتها حيويًا بنوعيات مختلفة من الكائنات الدقيقة، مع بعض الشرح لظروف كل معاملة.

بكتيريا المحيط الجذرى أمثلة متنوعة

إن الأنواع البكتيرية التي تتواجد فى المحيط الجذرى كثيرة ومتنوعة، ومن بين المعاملات التي نجحت فيها المكافحة الحيوية باستخدام أنواع مختلفة من بكتيريا المحيط الجذرى، ما يلي:

● أفادت معاملة بذور البسلة بالبكتيريا *Pseudomonas fluorescens* (السلالة PRA25) فى مكافحة الفطر *A. euteiches* f. sp. *pisi* مسبب مرض عفن جذور أفانوميسس (Parke 1991، و Bowers & Parke 1993).

● وجد Phae وآخرون (1992) أن إحدى سلالات البكتيريا *Bacillus subtilis* (سلالة NB22) ثبتت نمو ثمانية أنواع بكتيرية أخرى فى البيئات الصناعية، كما ثبتت - بشدة - البكتيريا *Ralstonia solanacearum* - التى تسبب مرض الذبول البكتيرى فى الطماطم وغيرها من المحاصيل - عندما أضيف معلقها إلى تربة ملوثة ببكتيريا الذبول، وترتب على ذلك حدوث نقص كبير فى نسبة النباتات التى أصيبت بالذبول.

● تُنتج بعض العزلات البكتيرية - مثل B206 من *Bacillus* sp.، و AP401 من *Bacillus subtilis* - مركبات مضادة للفطر المسبب لصدأ الفاصوليا *Uromyces phaseoli*، تؤدى لدى المعاملة بها (بالبكتيريا) إلى خفض أعداد البثرات المرضية للفطر بنسبة تزيد عن 95% فى الفاصوليا (DeCenturion وآخرون 1994).

● أدت معاملة بذور الفاصوليا بالسلالة UP5C من البكتيريا *Pseudomonas cepacia* إلى حماية النباتات من كل من مسببات أمراض الجذور *Macrophomina phaseolina*، و *Corticium rolfsii*، و *Rhizoctonia solani*، و *Pythium aphanidermatum*، وبدرجة أقل *Fusarium solani* (Sánchez وآخرون 1994). وقد تبين أن البكتيريا "تهاجر" على امتداد الجذر النامي لتستعمر كل السطح الجذرى (Sánchez وآخرون 1994 ب).

- أحدثت معاملة بذور الخيار أو أوراقه الفلقية - بأى من نوعى البكتيريا المنتجة لنشطات النمو النباتية *Pseudomonas putida*؛ أو *Serratia marcescens* - مقاومة جهازية ضد الإصابة بالبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*؛ مسببة مرض تبقع الأوراق الزاوى (Liu وآخرون ١٩٩٥ ب).
- أدى سقى مرقد بذور الطماطم بمعلق للبكتيريا *Pseudomonas aeruginosa* قبل زراعة البذور بخمسة أيام، مع معاملة البذور - كذلك - بالبكتيريا إلى حماية النباتات من الإصابة ببكتيريا الذبول *Ralstonia solanacearum* مع إحداث تنشيط كبير فى نمو البادرات (Peixoto وآخرون ١٩٩٥).
- تؤدى معاملة بذور الطماطم بالسلالة 7NSK2 من البكتيريا *Pseudomonas aeruginosa* أو معاملة المحلول المغذى بها إلى حماية نباتات الطماطم فى مزارع تقنية الغشاء المغذى من الإصابة بالفطر *Pythium* مسبب مرض الذبول الطرى (Buysens وآخرون ١٩٩٥).
- أظهرت معاملة التربة بالبكتيريا *Bacillus subtilis* فاعلية كبيرة فى مكافحة الفطر *Rhizoctonia solani* (Bochow & Gantcheva ١٩٩٥).
- أمكن مكافحة الذبول الفيوزارى للفجل الذى يسببه الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* بمعاملة البذور بالسلالة WCS374 من البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* (Leeman وآخرون ١٩٩٥).
- أدى غمس بذور اللوبيا فى معلق للبكتيريا *Bacillus subtilis* قبل زراعتها فى تربة ملوثة بالفطر *Rhizoctonia solani* إلى حماية بادرات اللوبيا من الإصابة بالفطر (Noronha وآخرون ١٩٩٥).
- أعطت بعض عزلات البكتيريا *Pseudomonas putida* - وخاصة رقم TR-38 - مكافحة جيدة للفطر *R. solani* لدى معاملة بذور الفاصوليا بها (Gomes وآخرون ١٩٩٦).
- أدى نقع جذور شتلات الطماطم فى معلق للسلالة PfG32 من البكتيريا

Pseudomonas fluorescens — وهى التى كانت قد عُرِزَت من المحيط الجذرى للبصل — إلى حمايتها من الإصابة بالذبول البكتيرى، ويُعتقد أن تأثيرها الأساسى كان مرده إلى إنتاج البكتيريا لمضادات حيوية، و siderophores، وهى مواد تخلب عليها الحديد وتجعله غير ميسر لاستعمال البكتيريا الممرضة وإن كانت لا تؤثر على تيسر العنصر للنبات (Mulya وآخرون ١٩٩٦).

● تنتج السلالة F113 من *Pseudomonas fluorescens* المركب 2,4-diacetylphloroglucinol (اختصاراً: DAPG) الذى أمكن إنتاجه — كذلك — صناعياً، وتبين أنه يثبط نمو البكتيريا *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica* فى البيئات الصناعية، كما تبين أن البكتيريا *P. fluorescens* ذاتها تفيد فى مكافحة الحيوية لمرض العفن الطرى البكتيرى الذى تسببه البكتيريا *E. carotovora* subsp. *atroseptica* فى درنات البطاطس (Cronin وآخرون ١٩٩٧).

● أدى غمس جذور شتلات الطماطم فى معلق للسلالة ATCC7700 من البكتيريا *Pseudomonas aeruginosa* إلى خفض إصابة النباتات ببكتيريا الذبول *Ralstonia solanacearum* (Furuya وآخرون ١٩٩٧).

● أمكن خفض شدة الإصابة بالبكتيريا *Ralstonia solanacearum* فى الباذنجان بمعاملة جذور البادرات قبل شتلها ببكتيريا الـ Pseudomonads الفلورية (Chao & Chen ١٩٩٧).

تفيد معاملة البطاطس بالسلالة BS107 من البكتيريا *Bacillus subtilis* فى حمايتها من الإصابة بكل من *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*، و *E. carotovora* subsp. *carotovora* مسبباً مرضاً الجذع الأسود والعفن الطرى البكتيرى، على التوالى (Sharga & Lyon ١٩٩٨).

● وجد أن السلالة F-1-1 من البكتيريا *Serratia macescens* تفرز صبغات حمراء مضادة بشدة للفطر *Phytophthora capsici* — مسبب مرض الذبول الطرى فى الخيار — بما قد يعنى احتمال الاستفادة منها فى مكافحة الحيوية للفطر (Okamoto وآخرون ١٩٩٨). وفى دراسة أخرى (Okamoto ١٩٩٨ ب) أظهرت تلك السلالة البكتيرية

تضادية حيوية لكل من المسببات المرضية التالية:

Cochliobolus miyabeanus

Pythium spinosum

P. ultimum

Clavibacter michiganensis subsp. *michiganensis*

Erwinia carotovora subsp. *carotovora*.

● أمكن مكافحة لفحة فيتوفثورا بشكل جيد فى الفلفل بالمعاملة بأى من بكتيريا المحيط الجذرى *Burkholderia cepacia* (السلالة N9523)، أو *Pseudomonas aeruginosa* (السلالة 950923-29)، أو بالركب الحاث للمقاومة DL-β-amino-n-butyric acid (اختصاراً: BABA)، ولكن المقاومة كانت أفضل بالمعاملة المشتركة بأى من النوعين البكتيريين - وخاصة *P. aeruginosa* - مع BABA (Lee وآخرون ١٩٩٩).

● يمكن توفير حماية لبذور الطماطم من الإصابة بالفطر *Pythium ultimum* بمعاملتها بالبكتيريا *Pseudomonas chloroaphis* (سابقاً: *P. aureofacines*) إما مباشرة كطلاء (bacterial coating) وإما من خلال معاملة bio-osmopriming، وهى التى تنفع فيها البذور فى محلول نترات صوديوم بتركيز ٨-٠،٠ ميجا باسكال لمدة أربعة أيام يضاف إليه خلالها بيئة مغذية (nutrient broth) و polyalkylene glycol والبكتيريا، ثم تنقع البذرة فى الماء لمدة ثلاثة أيام أخرى. تحتوى البذور المعاملة بتلك الطريقة على ١٠^٦ خلية بكتيرية/بذرة مقارنة بنحو ١٠^٤ خلية/بذرة من تلك المعاملة بالطريقة الأولى. وبينما تعطى طريقة الطلاء مكافحة للفطر توازى المعاملة بالمبيد metalaxyl، فإن معاملة النقع تعطى مكافحة أيضاً ولكن بدرجة أقل (Warren & Bennett ١٩٩٩).

● أدت معاملة الطماطم بالبكتيريا *Pseudomonas fluorescens* قبل تعريضها للإصابة بالبكتيريا *Ralstonia solanacearum* - مسبب مرض الذبول البكتيرى - بأربعة عشر يوماً إلى خفض إصابتها بالمرض بشدة (Das & Bora ٢٠٠٠).

● تؤدى معاملة تيجان الأسبرجس قبل زراعتها بالسلالة PA147-2 من البكتيريا

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستحثة بيولوجيا ضد الأمراض

Pseudomonas aureofaciens إلى خفض إصابته جوهرياً بالفطر *Phytophthora megasperma* var. *sojae* مسبب مرض عفن فيتوفثورا (Goodfrey وآخرون ٢٠٠٠).

● تفيد بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى فى وقاية الطماطم من الإصابة بفيرس موزايك الخيار (Zehnder وآخرون ٢٠٠٠).

● وفرت معاملة بادرات الطماطم ببكتيريا المحيط الجذرى *Pseudomonas fluorescens* حماية لها من الفطر *Pythium ultimum* المسبب للذبول الطرى (Hultberg وآخرون ٢٠٠٠).

● وجد لدى اختبار سلالات فردية ومختلطة من بكتيريا المحيط الجذرى *Bacillus pumilus* (السلالة INR7)، و *Curtobacterium flaccumfaciens* (السلالة ME1)، و *Bacillus subtilis* (السلالة GB03) أن معاملة الخيار بها - تحت ظروف الحقل - أدت إلى خفض شدة إصابته بمرضى النموات الخضرية: تبقع الأوراق الزاوى الذى تسببه البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*، والأنتراكنوز الذى يسببه الفطر *Colletotrichum orbiculare*، وكان خلط العزلات البكتيرية المعامل بها معاً أفضل من استعمال العزلات الفردية (Raupach & Kloepper ٢٠٠٠).

● أدت معاملة بذور الطماطم، أو تربة المشاتل بأى من عدد من بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى، والتى تضمنت السلالة 937a من *Bacillus amyloliquefaciens*، والسلالة 937b من *B. subtilis*، والسلالة SE34 من *B. pumilus* إلى حماية نباتات الطماطم حتى ٤٠ يوماً بعد الشتل من الإصابة بفيرس تبرقش الطماطم tomato mottle virus (Murphy وآخرون ٢٠٠٠).

● أدى رش نباتات الطماطم بمعلق للبكتيريا *Pseudomonas fluorescens* بعد ٤٨ ساعة من عدواها بالفطر *Alternaria solani* إلى خفض الإصابة باللفحة الورقية بنسبة ١٥٪-٣٨٪ مقارنة بنباتات الكنترول (Babu وآخرون ٢٠٠٠).

● أمكن التخلص التام من الذبول الطرى الذى يسببه الفطر *Rhizoctonia solani* فى الخيار وذلك بمعاملة بيئة الزراعة بكل من السلالة RB14-C من البكتيريا *Bacillus*

subtilis مع رُبُع التركيز المستعمل - عادة - من المبيد الفطري flutolanil، علمًا بأن المبيد لم يكن له تأثير على البكتيريا (Hondoh وآخرون ٢٠٠١).

● أدت إضافة البكتيريا *Pseudomonas fluorescens*، و *Bacillus cereus* إلى التربة قبل بسترها بالإشعاع الشمسي solarization إلى حدوث زيادة كبيرة في أعداد تلك البكتيريا بنهاية فترة البسترة مع نقص في أعداد بكتيريا الذبول البكتيري *Ralstonia solanacearum* ونقص موازٍ في نسبة إصابة الطماطم بالمرض (Kumar & Sood ٢٠٠١).

● أدت المعاملة ببكتيريا المحيط الجذري *Pseudomonas aeruginosa* إلى توفير حماية جيدة للطماطم من الإصابة بكل من نيماتودا تعقد الجذور *M. javanica* والفطريات *F. solani*، *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*، و *Rhizoctonia solani*. وقد كان أعلى مستوى مكافحة لتلك المسببات المرضية حينما كانت المعاملة بكل من *P. aeruginosa*، و *Bacillus subtilis* مجتمعتين. هذا .. وتزداد فاعلية المعاملة بزيادة تركيز البكتيريا المنشطة للنمو، وبالمحافظة على رطوبة التربة بين ٥٠٪، و ٧٥٪ من الرطوبة عند السعة الحقلية وليس أقل من ذلك (Siddiqui & Ehteshamul-Haque ٢٠٠١).

● وجد أن غمس جذور شتلات الفراولة في معلق من بكتيريا المحيط الجذري *Serratia plymuthica* (السلالة HRO-C48) قبل شتلها أدى إلى تحسين جوهرى كبير في النمو النباتى ومحصول الثمار مع انخفاض واضح فى الإصابة بكل من الفطرين *Verticillium dahliae*، و *Phytophthora cactorum* قدرت بمتوسط قدره ٢٤,٢٪، و ٩,٦٪ للمرضين على التوالي (Kurze وآخرون ٢٠٠١).

● أدت معاملة بذور الطماطم وشتلاتها عند الشتل بأى من السلالة IN937a من بكتيريا المحيط الجذري المنشطة للنمو النباتى *Bacillus amyloliquefaciens*، أو السلالة IN937b من البكتيريا *Bacillus subtilis* مع حقنها بفيرس موزايك الخيار إلى خفض إصابتها بالفيروس إلى نحو ثلث إصابة نباتات الكنترول، كما أدت المعاملة بأى من السلالتين وكذلك المعاملة بالسلالة SE34 من البكتيريا *Bacillus pumilus* إلى زيادة محصول نباتات الطماطم المحقونة بالفيروس - جوهرياً - عن نباتات الكنترول المحقونة بالفيروس فقط (Zehnder وآخرون ٢٠٠١).

● أدت معاملة بذور الكرنب الصينى بالبكتيريا *Bacillus subtilis* L-form إلى منع إنبات الجراثيم الكونيدية للفطر *Botrytis cinerea* عندما تعرضت لها الأوراق بعد ذلك (Walker وآخرون ٢٠٠٢).

● أفادت معاملة الكرنب والقنبيط والبروكولى بالسلالة BB من *Bacillus subtilis* فى حمايتها من الإصابة بالبكتيريا *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* مسبب مرض العفن الأسود (Wulff وآخرون ٢٠٠٢).

● أدت معاملة جذور الفاصوليا بالبكتيريا *Pseudomonas putida* (السلالة BTP1) إلى حماية النوات الهوائية من الإصابة بالفطر *Botrytis cinerea* (Ongena وآخرون ٢٠٠٢).

● يفيد رش الخيار بأى من السلالة B8Fr من *Enterobacter agglomerans* أو السلالة AGS-4 من *Bacillus subtilis* فى حماية النباتات من الإصابة بالفطر *Didymella bryoniae* مسبب مرض لفحة الساق الصمغية (Utkhede & Koch ٢٠٠٢).

● تؤدى المعاملة بسلالات مختلفة من *Pseudomonas putida* — تختلف فى آليات فعلها — إلى زيادة كفاءة المكافحة الحيوية؛ ثبت ذلك عند الجمع بين السلالتين RE8 و WCS358 من هذه البكتيريا، وما أحدثه ذلك من أثر إيجابى فى زيادة كفاءة مكافحة الذبول الفيوزارى فى الفجل (De Boer وآخرون ٢٠٠٣).

● أدت معاملة جذور الطماطم بالبكتيريا *Bacillus subtilis* مع أى من البكتيريا *B. pumilus*، أو *B. amyloliquefaciens* إلى تحفيز النمو النباتى وحمايته من الإصابة بفيرس موزايك الخيار (Murphy وآخرون ٢٠٠٣).

● أحدثت كل من المعاملات التالية خفضاً معنوياً فى إصابة الطماطم بالبكتيريا *Ralstonia solanacearum* مسبب مرض الذبول البكتيرى:

١- معاملة المشتل عند الزراعة بالسلالة 89B61 من البكتيريا *Pseudomonas putida*.

٢- المعاملة بالمنتج التجارى BioYield الذى يحتوى على سلالتين من *Bacillus*.

٣- المعاملة بالنشط Actigard الذى يحتوى على المركب *acibenzolar-S-methyl* عندما كانت العدوى بالبكتيريا المرضة بجرعة منخفضة.

٤- المعاملة المزدوجة بكل من السلالة 89B61 من البكتيريا *P. putida* مع ال- Actigard أو مع BioYield (Anith وآخرون ٢٠٠٤).

● أدت معاملة البذور أو الجذور بالسلالة RB14-C من *Bacillus subtilis* - وهي سلالة تنتج الببتيد peptide المضاد للفطريات: iturin - إلى مكافحة الذبول الطرى للطمطم الذى يسببه الفطر *Rhizoctonia solani* وعفن جذور فوموبسيس *Phomopsis root rot* فى الخيار (Kita وآخرون ٢٠٠٥).

● أظهرت معاملة الطماطم بأى من البكتيريا *Bacillus megaterium*، و *Burkholderia cepacia* قدرة على مكافحة الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* مسبب مرض عفن التاج والجذر الفيوزارى بنسبة وصلت إلى ٧٥٪، و ٨٨٪ للتوعين البكتيريين على التوالي (Omar وآخرون ٢٠٠٦).

● أمكن زيادة قوة النمو النباتى وخفض شدة الإصابة بعفن الساق الفحمى فى الكنتالوب الذى يسببه الفطر *Macrophomina phaseolina* بنقع البذور فى معلق لبعض سلالات البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* أو *P. putida* (Etebarian وآخرون ٢٠٠٧).

● أفادت المعاملة ببعض السلالات من أى من البكتيريا *Bacillus subtilis*، أو *B. licheniformis* إلى تنشيط نمو نباتات الطماطم والقلفل وحمائتها من الإصابة بفطر الذبول الطرى *Alternaria tenuis* (Mateescu وآخرون ٢٠٠٧).

● أعطت المعاملة ببكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو *Paenibacillus alvei* (السلالة 165) تأثيراً مثبطاً لكل من الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* على الكنتالوب، والفطر *Verticillium dahliae* على الباذنجان (Markakis وآخرون ٢٠٠٨).

هذا .. ولا يقتصر دور بكتيريا المحيط الجذرى على حماية النباتات من الإصابة ببعض مسببات الأمراض الفطرية والبكتيرية فقط، وإنما يتعداه إلى حمايتها - كذلك - من الإصابة ببعض الفيروسات وبعض الأنواع النيماتودية والحشرية، وذلك كما يتبن من جدول (٦-٥).

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستحثة بيولوجيا ضد الأمراض

جدول (٦-٥): أمثلة على المكافحة الحيوية لمسببات الأمراض والحشرات في عدد من المحاصيل الزراعية باستعمال بكتيريا المحيط الجذري النشطة للنمو (عن Zahir وآخرين ٢٠٠٤).

الحصول	المرض أو الآفة	بكتيريا المحيط الجذري
الشعير	البياض الدقيقي	<i>B. subtilis</i>
الفاصوليا	اللفحة الهالية	<i>Ps. fluorescens</i> strain 97
		<i>Ps. cepacia</i>
القرنفل	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Pseudomonas</i> sp (WCS417r)
القطن	الذبول الطرى	<i>Ps. fluorescens</i>
		<i>B. subtilis</i>
	<i>Meloidogyne incognita</i>	
	<i>M. arenaria</i>	
	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Ps. cepacia</i>
	<i>Helicoverpa armigera</i>	<i>Ps. gladioli</i>
الخيار	الأثراكنوز	<i>Ps. putida</i> (89B-27), <i>Serratia marcescens</i> (90-166)
		<i>Ps. cepacia</i>
	<i>Pythium ultimum</i>	<i>Ps. putida</i> (89B-27), <i>S. marcescens</i> (90-166)
	ذبول البكتيري	<i>Ps. putida</i> (89B-27), <i>Flavomonas oryzihabitans</i> INR-5, <i>S. marcescens</i> (90-166), <i>Bacillus pumilus</i> INR-7)
	ذبول الفيوزارى	<i>Ps. putida</i> (89B-27), <i>S. marcescens</i> (90-166)
	فيروس موزايك الخيار	<i>Ps. putida</i> (89B-27), <i>S. marcescens</i> (90-166)
	خنقساء الخيار المخططة	<i>Ps. putida</i> (89B-27), <i>Flavomonas oryzihanitans</i> INR-5
	خنقساء الخيار المبقعة	<i>S. marcescens</i> (90-166), <i>B. pumilus</i> (INR-7)
	الذبول الفيوزارى	Mixture of <i>Paenibacillus</i> sp. 300, <i>Streptomyces</i> sp. 385
Green gram	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Pseudomonas</i> sp.
	<i>Curvularia</i> sp.,	
	<i>Fusarium oxysporum</i> ,	
	<i>Rhizoctonia solani</i>	

المحصول	المرض أو الآفة	بكتيريا المحيط الجذري
الذرة	بودة كيزان الذرة	<i>Ps. maltophilia</i>
	<i>Fusarium moniliformae</i>	<i>Ps. cepacia</i> strains 526 and 406, <i>Enterobacter agglomerans</i> strain 621
فاصوليا المنج	عفن الجنور ونيماتودا تعقد الجنور	<i>Ps. aeruginosa</i> , <i>B. subtilis</i>
الأرز	لفحة أغماد الأرز	<i>Streptomyces</i> spp. and <i>Bacillus cereus</i> in combination with <i>Ps. fluorescens</i> and <i>Burkholderia</i>
	مسبب لفحة أغماد الأرز	Combination of <i>Ps. fluorescens</i> strains Pfl and Fp7
	نيماتودا جنور الأرز	PGPR
بنجر السكر	نيماتودا التحوص	<i>Ps. fluorescens</i>
	<i>Pythium ultimum</i> , <i>Phoma betae</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i> , <i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. strain F113
قصب السكر	الجنر الأحمر	PGPR
التبغ	فيروس تحلل التبغ	<i>Ps. fluorescens</i> strain
	اللفحة الفارية	PGPR
	العفن الأزرق	<i>S. marcescens</i> 90-116, <i>B. pumilus</i> SE 34, <i>Ps. fluorescens</i> 89B-61, <i>B. pumilus</i> T4, <i>B. pasteurii</i> C-9
	بودة التبغ القرنية	Transgenic <i>Ps. cepacia</i> strain 526
الطماطم	نيماتودا تعقد الجنور	<i>Ps. chitinolytica</i>
	فيروس موزايك الخيار	<i>B. pumilus</i> , <i>Kluyvera cryocrescens</i> , <i>B. amyloliquifaciens</i> strain 1N 937a, <i>B. subtilis</i> strain 1N 937b
	فيروس تبرقش الطماطم	<i>B. amyloliquifaciens</i> strain 1N 937a, <i>B. subtilis</i> strain 1N 937b
القمح	Take all disease	<i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Beauveria Rhodococcus</i>
	<i>Septoria tritici</i>	Mixture of <i>Pseudomonas</i> sp. <i>Ps. aeruginosa</i> strain Leci <i>Ps. putida</i> strain BK8661

(النوع البكتيري) *Bacillus subtilis*

تنتشر البكتيريا *Bacillus subtilis* في مختلف أنواع الأراضي وفي البقايا النباتية المتحللة، ولكنها تتواجد غالباً في صورة جراثيم ولا تكون نشطة بيولوجياً. ويتوفر من سلالات هذه البكتيريا طرازين يستعمل أحدهما رشاً على النموات الخضرية (مثل: QST713)، بينما يُضاف الآخر إلى التربة أو تعامل به البذور (مثل: GB03) كما في التحضير التجاري (Kodiak).

تُنتج البكتيريا طرازاً من المضادات الحيوية (ببتيدات دهنية lipopeptides) يتضمن الـ iturins؛ مما يجعلها منافساً قوياً للكائنات الدقيقة الأخرى بقتلها أو خفض معدلات نموها.

عند معاملة البذور بالبكتيريا فإنها تقوم - مباشرة - باستعمار المجموع الجذري النامي وتكون منافساً قوياً لما قد تتعرض له الجذور من كائنات أخرى ممرضة.

كذلك تثبط البكتيريا إنبات جراثيم المسببات المرضية وتعطل نمو أنابيبها الجرثومية، وتقف حائلاً أمام تعلق المسبب المرضي بالنبات، كذلك فإنها تستحث تطوير مقاومة جهازية مكتسبة.

ومن بين أهم ملامحه هذه البكتيريا ما يلي،

- ١- السلالة QST713: تستخدم رشاً لمكافحة البياض الدقيقي.
- ٢- السلالة GB03: تستخدم في معاملة البذور لمكافحة الفطريات التي تصيب الجذور.
- ٣- السلالة MBI600: تستخدم في معاملة البذور أو التربة.
- ٤- السلالة FZB24 من *B. subtilis* var. *amyloliquefaciens* تعامل بها التربة.

ومن التحضيرات التجارية المعروفة للبكتيريا: Serenade، و Kodiak (Resource Guide for Organic Insect and Disease Management - كورنل - الإنترنت - ٢٠٠٦).

(أنواع الاستربتوميسيتات)

تنتج الاستربتوميسيتات streptomycetes مضادات حيوية تفيد في مكافحة بعض

المسببات المرضية، كما يتبين من الأمثلة التالية:

● في مصر .. وجد El Abyad وآخرون (١٩٩٣) أن تركيز ٨٠٪ لراشح مزارع أى من *Streptomyces pulcher*، أو *S. citreofluorescens* (علمًا بأن الجنس *Streptomyces* قد يعد من البكتيريا الراقية، أو من الفطريات الدنيا) كان مثبطاً لنمو كل من بكتيريا الذبول البكتيرى *P. solanacearum*، وبكتيريا التقرح البكتيرى *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* فى البيئات الصناعية. كما أدى تغليف بذور الطماطم بجراثيم أى من نوعى الـ *Streptomyces* قبل الزراعة إلى مكافحة كل من الذبول البكتيرى والتقرح البكتيرى فى الطماطم عند عمر ٤٢ يوماً، و ٦٣ يوماً بعد الزراعة.

● أمكن حماية البطاطس من الإصابة بالجرب الذى تسببه *Streptomyces scabies* بمعاملة التربة بأى من سلالتين من *Streptomyces* مثبطين لـ *S. scabies*. هما: السلالة PonSSII من *S. diastatochromogenes* والسلالة PonR من *S. scabies* Liu وآخرون (١٩٩٥).

● أدت معاملة جذور الطماطم بالاستربتومييسيت *Streptomyces plicatus* - الذى ينتج إنزيم الشيتينيز chitinase - بوفرة إلى حماية النباتات من الإصابة بكل من الفطريات *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* مسبب مرض الذبول الفيوزارى، و *Alternaria alternata* مسبب مرض تقرح الساق، و *Verticillium albo-atrum* مسبب مرض ذبول فيرتسيليم (Abd-Allah ٢٠٠١).

● أمكن عزل مضاد حيوى من أحد عزلات الـ *Streptomyces* sp. عُرِف بأنه 2-methylheptyl isonicotinate، كان شديد الفاعلية ضد عديد من فطريات التربة، منها: *Fusarium oxysporum*، و *Gibberella fujikuroi* (سابقاً: *F. moniliforme*)، و *F. pallidoroseum* (سابقاً: *F. semitectum*)، و *F. solani*، و *Rhizoctonia solani*، وذلك لدى معاملة البذور به (Bordoloi وآخرون ٢٠٠٢).

آلية نعل بكتيريا المحيط الجذرى (المنشطة للنمو فى الكائنات الحيوية)

تتضاد بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى Plant Growth Promoting

Rhizobacteria (اختصاراً: PGPR) مع المسببات المرضية التي تعيش فى التربة بمنافستها على الحديد، أو بإنتاجها مضادات حيوية أو لإنزيمات محللة.

ولقد أدخلت السلالة A-13 من *Bacillus subtilis* للاستخدام التجارى فى عام ١٩٨٥ تحت الاسم التجارى Quantum، وأدخلت معها - كذلك - السلالتين GB03، و GB07 من ذات البكتيريا تحت الأسمين التجاريين Kodiak، و Epic على التوالي. كانت تلك السلالات هى أول ما استعمل تجارياً من الـ PGPR، واستعملت تلك المنتجات فى معاملة البذور - ضمن المعاملات بالمطهرات الفطرية - لحميتها من الإصابة بفطريات التربة.

لا تقتصر المعاملة بالـ PGPR على البذور، ولكنها يمكن - كذلك - أن تضاف مباشرة إلى التربة قبل الزراعة أو عند الشتل.

وتاريخياً .. لم يثبت - تجريبياً - دور الـ PGPR فى حث المقاومة الجهازية إلا فى عام ١٩٩١، وذلك بثلاث دراسات مستقلة أجريت على كل من: الأثراكنوز فى الخيار، والذبول الفيوزارى فى القرنفل، واللفحة الهالية فى الفاصوليا (Zehnder وآخرون ٢٠٠١).

أنواع بكتيرية متنوعة

يفيد استعمال عديد من الأنواع البكتيرية فى مكافحة الحيوية لأمراض الخضر، كما يتضح من الأمثلة التالية:

● أمكن مكافحة الفطر *Uromyces appendiculatus var. appendiculatus* مسبب مرض الصدأ فى الفاصوليا بالمعاملة بالمعلق البكتيرى لأى من *Bacillus subtilis*، و *Bacillus sp.*، و *Arthobacter sp.* (Centurion & Kimati ١٩٩٤).

● تعرف Burkhead وآخرون (١٩٩٥) على نحو ٢٠ عزلةً بكتيريةً كانت كل منها قادرة على إنتاج نوع واحد على الأقل من مضادات الحيوية التى تفيد فى مكافحة الفطر *F. sambucinum*.

● أدت معاملة التربة بالبكتيريا الشيتينوليتية *Serratia marcescens* إلى حماية

نباتات الخيار من الإصابة بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* بنسبة تزيد على ٥٠٪ (Tiuterev وآخرون ١٩٩٥).

● أدت معاملة مخاليط الزراعة غير المعقمة بأى من سلالاتي البكتيريا الشيتينولية chitinolytic: السلالة 300 من *Paenibacillus* sp.، أو السلالة 385 من *Streptomyces* sp. إلى تثبيط الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* مسبب مرض الذبول الفيوزارى وكان استعمال مخلوط متساوٍ من السلالتين أفضل من استعمال أى منهما منفردة (Singh وآخرون ١٩٩٩).

● أفادت معاملة بذور القنبيط بسلالة من البكتيريا *Paenibacillus polymyxa* (سابقاً: *Bacillus polymyxa*) فى مكافحة كلا من البكتيريا *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (مسبب مرض العفن الأسود) والفطر *Alternaria brassicola* مسبب مرض الذبول الطرى، ويُعتقد أن المكافحة كان مردها إلى إنتاج البكتيريا *P. polymyxa* لمضادات حيوية (Pichard & Thouvenot ١٩٩٩).

● تؤدى معاملة لنموات الخضرية لنباتات الخيار بالبكتيريا *Serratia plymuthica* (السلالة R1GC4) إلى جعلها مقاومة للإصابة بالفطر *Pythium ultimum*؛ الأمر الذى يكون مصاحباً بتهيئة نباتات الخيار للتفاعل بسرعة أكبر وبكفاءة أكبر ضد فطر البثيم من خلال تكوين عوائق فيزيائية وكيميائية عند المواقع التى يمكن أن يهاجمها الفطر منها (Benhamou وآخرون ٢٠٠٠).

● يؤدى غمس جذور شتلات الفراولة فى معلق للسلالة HRO-C48 من البكتيريا *Serratia plymuthica* إلى توفير حماية جزئية للنباتات من الإصابة بكل من الفطرين *Verticillium dahliae*، و *Phytophthora cactorum* (Kurze وآخرون ٢٠٠١).

● أعطى رش نباتات الفاصوليا بأى من السلالة B1 من البكتيريا *Pantoea agglomerans*، أو السلالة الشيتينوليتك C3 من البكتيريا *Stenotrophomonas maltophilia* مكافحة جيدة لفطر الصدأ (*Uromyces appendiculatus* Yuen) وآخرون (٢٠٠١).

● أدت المعاملة بالسلالة C3 من البكتيريا *Stenotrophomonas maltophilia* إلى حماية نباتات الفاصوليا من الإصابة بالفطر *Uromyces appendiculates* المسبب للصدأ، وكانت المعاملة بمزارع البكتيريا بالشيتين chitin broth cultures مماثلة في فاعليتها للمكافحة بالرش المتكرر بالبيد thiophanate methyl منفردًا أو مع manganese ethylenebisidithiocarbamate (المانيب maneb) (Yuen وآخرون ٢٠٠١).

البكتيريا المتطفلة على المسببات المرضية

تتطفل بعض الأنواع البكتيرية على بعض مسببات الأمراض الفطرية التي تعيش في التربة، كما يتبين من جدول (٦-٦).

جدول (٦-٦): أمثلة لبكتيريا تتطفل على بعض مسببات الأمراض الفطرية التي تعيش في التربة (عن Whipps ١٩٩٧).

المسبب المرضي	البكتيريا
<i>Phytophthora mesasperma</i>	<i>Actinoplanes</i> spp.
<i>Pythium</i> spp.	
<i>Pythium debaryanum</i>	<i>Arthrobacter</i> spp.
<i>Sclerotium cepivorum</i>	<i>Bacillus</i> spp.
<i>Sclerotium cepivorum</i>	Coryneforms
<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Enterobacter agglomerans</i>
<i>Pythium ultimum</i>	<i>Pseudomonas cepacia</i>
<i>Rhizoctonia solani</i>	
<i>Sclerotium rolfsii</i>	
<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Serratia marcescens</i>
<i>Sclerotium rolfsii</i>	
<i>Alternaria brassicola</i>	<i>Streptomyces griseoviridis</i>
<i>Botrytis cinerea</i>	
<i>Phomopsis sclerotioides</i>	
<i>Mycocentrospora acerina</i>	
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	

البكتيريا المثبتة لآزوت الهواء الجوى

تلعب البكتيريا المثبتة لآزوت الهواء الجوى دوراً فى الحد من بعض المسببات المرضية كما يتبين من الأمثلة التالية:

● يؤدى تلقيح جذور الطماطم بالبكتيريا النشطة للنمو النباتى *Azospirillum brasilense* إلى حماية البادرات من الإصابة بالبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* مسبب مرض النقط البكتيرية (Bashan & de Bashan ٢٠٠٢).

● تفيد البكتيريا المثبتة لآزوت الهواء الجوى *Alcaligenes faecalis* فى الحد — جوهرياً — من إصابة الطماطم بالذبول الطرى الذى يسببه الفطر *Rhizoctonia solani*، ويعتقد أن مرد ذلك التأثير إلى ما تنتجه البكتيريا من الهيدروكسيل أمين hydroxylamine، علماً بأن هذه البكتيريا تثبط نمو ١٣ نوعاً من الفطريات فى البيئات الصناعية (Honda وآخرون ١٩٩٩).

● أفادت معاملة بذور الفاصوليا بأى من البكتيريا *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* (السلالتان R12، و R21) أو *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* (السلالة BR)، أو *Pantoea agglomerans* (السلالة PA) إلى مكافحة الذبول البكتيرى الذى تسببه البكتيريا *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* بصورة جوهريّة، سواء أكانت البذور مصابة طبيعياً بالبكتيريا الممرضة، أم تم عدواها بها (Huang وآخرون ٢٠٠٧).

الميكوريزا

عرفت فائدة بعض فطريات الميكوريزا mycorrhizae التابعة للجنس *Trichoderma* فى مجال مكافحة الحيوية لمسببات الأمراض النباتية منذ عشرينيات القرن العشرين. ولقد كان الاعتقاد السائد — حتى وقت قريب — أنها تعمل — أساساً — من خلال قدرتها على التطفل على الفطريات mycoparasitism، والتضادية الحيوية antibiosis، وقدرتها التنافسية competition على مصادر الغذاء والحيز المكانى؛ إلا أن التقدمات الحديثة أظهرت — كذلك — أهمية الترايكودرما فى حث تطوير كلا من المقاومة الجهازية والموضعية.

تستعمل فطريات الميكوريزا خلايا البشرة والطبقات الخارجية من القشرة في الجذور، وتفرز جزيئات كيميائية تتسبب في إحاطة ميسيليوم الترايكودرما المتقدم بجدر عازلة. وإلى جانب إرسال الميكوديرما لإشارة البدء في حث تطوير المقاومة الجهازية فإنها تسهم — بشدة — في زيادة معدل النمو وامتصاص العناصر.

وتفرز فطريات الترايكودرما خليطاً من الإنزيمات المضادة للفطريات تتضمن: β -1,3-glucanases، ولهذه الإنزيمات خاصية تداؤبية synergistic مع بعضها البعض، ومع مواد أخرى (Harman ٢٠٠٦).

وتفيد المعاملة بالـ arbuscular mycorrhizal fungi (فطريات الميكوريزا) في الوقاية من العديد من المسببات المرضية، كتلك التي تتبع الأجناس.

Phytophthora

Gauemannomyces

Fusarium

Chalara (Thielaviopsis)

Pythium

Rhizoctonia

Sclerotium

Verticillium

Aphanomyces

هذا .. إلا أن تلك الحماية لا تكون ضد جميع المسببات المرضية الفطرية. كما أن مستوى الحماية التي توفرها الميكوريزا تختلف باختلاف كل من نوع الميكوريزا المستعمل والنوع النباتي المُعامل بها.

ولا تقتصر الحماية التي توفرها الميكوريزا على الأمراض التي تعيش مسبباتها في التربة وتحدث الإصابة بها عن طريق الجذور، بل تتعداها — أحياناً — إلى تلك التي تصيب النموات الخضرية كذلك.

كما أن الميكوريزا يمكن أن تغير من شدة قابلية النباتات للإصابات الحشرية، حيث تؤثر في قدرتها على التغذية والتكاثر على النبات العائل وخاصة الحشرات القارضة (Harrier & Watson ٢٠٠٣).

تعد السلالة T-22 من *Trichoderma harzianum* من أكثر سلالات الترايكودرما استعمالاً في مكافحة الحيوية، وكانت قد أنتجت بطريقة دمج البروتوبلاست؛ بهدف

الحصول على سلالة على درجة عالية من القدرة على المنافسة فى المحيط الجذرى rhizosphere النباتى، مع قدرة عالية - أيضاً - على المنافسة مع البكتيريا التى تعرف باسم spermosphere bacteria. وكانت السلالتان اللتان أدمجتا من *T. harzianum* هما السلالة T-95، وهى طفرة ذات قدرة عالية على المنافسة فى المحيط الجذرى كانت قد أنتجت فى كولومبيا من سلالة عزلت من تربة مثبطة للرايزكتونيا، والسلالة T-12، وهى التى كانت بدورها أكثر قدرة على المنافسة مع الـ spermosphere bacteria عن T-95 تحت ظروف نقص الحديد، وكانت كلتاهما قويتين فى مكافحة الحيوية.

وعلى الرغم من ظهور سلالات كانت أكثر قدرة على التنافس فى المحيط الجذرى أو أكثر قدرة على التنافس مع الـ spermosphere bacteria، فإن السلالة T-22 كانت أكثرها فاعلية وجمعت الخاصيتين معاً (Harman 2000).

إن الميكوريزا تلعب دوراً هاماً فى المكافحة الحيوية لحديد من الأمراض، ومن أمثلة ذلك ما يلى،

● أمكن مكافحة الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* - بيولوجياً - من عزلات الميكوريزا *Trichoderma* spp. ومن بين العزلات التى أعطت أفضل النتائج كانت إحداها - وهى العزلة TN-63 - تتبع الفطر *T. viride*، بينما كانت عزلة أخرى - وهى TN-31 - تنتمى إلى الفطر *T. aureoviride* (Reis وآخرون 1995).

● أفاد استعمال فطر الميكوريزا *Trichoderma etunicatum* فى توفير قدر عال من الحماية ضد الفطر *V. dahliae* فى الباذنجان وزيادة المحصول، وقللة تشوهات الثمار (Matsubara وآخرون 1995).

● أمكن مكافحة الذبول الطرى الذى تحدثه فطريات: *Fusarium* spp. و *Pythium* spp. و *Rhizoctonia solani* فى الفاصوليا بالمعاملة - عند الزراعة - بفطر الميكوريزا *Gliocladium virens* مخلوطاً بنخالة القمح فى صورة حبوب (wheat bran alginate pellet formulation) (Smith 1996).

● أفادت معاملة الفاصوليا ببعض عزلات فطر الميكوريزا *Trichoderma harzianum*

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستنحثة بيولوجيا ضد الأمراض

في مكافحة الفطر *Rhizoctonia solani* (Noronha وآخرون ١٩٩٦). وحُصل على نتائج جيدة - كذلك - بمعاملة بذور الفاصوليا أو التربة بالفطر *T. viride* (El-Farnawany & Shama ١٩٩٦، و Aziz وآخرون ١٩٩٧).

● أفادت المعاملة بفطر الميكوريزا *Glomus mosseae* في مكافحة الإصابة بالفطر *F. solani* في الفاصوليا، كما أدى تواجد عقد الرايزوبيم الجذرية (التي تحدثها البكتيريا *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* - مع فطر الميكوريزا - إلى زيادة قدرة نباتات الفاصوليا على تحمل الإصابة بعفن الجذور الجاف (Dar وآخرون ١٩٩٧).

● أدت معاملة التربة بأى من فطر الميكوريزا *Trichoderma harzianum* (عزلة T39)، أو البكتيريا *Pseudomonas aeruginosa* (عزلة KMPCH) إلى إكساب نباتات الفاصوليا مقاومة جهازية ضد الفطر *Colletotrichum lindemuthianum* (Bigirimana وآخرون ١٩٩٧).

● أدت معاملة بذور الفاصوليا بالفطر *Trichoderma viride* إلى تقليل كثافة تواجد الفطر *Rhizoctonia solani* في المحيط الجذري لنباتات الفاصوليا (Aziz وآخرون ١٩٩٧).

● أدى رش الخيار بأى من الفطرين *Trichoderma harzianum* (السلالة T39) أو *Ampelomyces quisqualis* (السلالة AQ10) إلى مكافحة الفطر *Sphaerotheca fusca* المسبب للبياض الدقيقى بصورة جيدة، وكان *A. quisqualis* هو الأكثر كفاءة في المكافحة في الأوراق المسنة. وبينما لم يكن للجمع بين المعاملتين تأثيراً على مكافحة فطر البياض الدقيقى، فإن ذلك أدى إلى تحسين مكافحة الفطر *Botrytis cinerea*. وجدير بالذكر أن المعاملة الأرضية بفطر الميكوريزا أحدثت - كذلك - نقصاً كبيراً في إصابة نباتات الخيار بالبياض الدقيقى (Elad وآخرون ١٩٩٨).

● كما أمكن مكافحة أعفان الجذور التي تسببها الفطريات *R. solani*، و *F. solani*، و *S. rolfsii* في الفاصوليا بمعاملة التربة بأى من فطرى الميكوريزا *T. harzianum*، أو *T. viride* (Ellil وآخرون ١٩٩٨).

● أظهرت عزلة محلية مصرية من *Trichoderma hamatum* تضادية قوية للفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* مسبب مرض الذبول الفيوزارى فى الطماطم (Sarhan وآخرون ١٩٩٩).

● تفيد فى مكافحة الفطر *Rhizoctonia solani* مسبب مرض القشف الأسود فى البطاطس المعاملة بأى من: *Trichoderma harzianum*، أو *Coniothyrium minitans*، أو *Gliocladium virens* (Haggag & Nofal ٢٠٠٠).

● أفادت معاملة نباتات الأسبرجس بأى من فطريات الميكوريزا *Glomus fasciculatum*، أو *Glomus* sp. R10، أو *Gigaspora margarita* إلى خفض معدل إصابتها بعفن الجذور الفيوزارى إلى أقل من نصف معدل إصابة نباتات الكنترول (Matsubara وآخرون ٢٠٠١)، ولقد أعطت المعاملة بأى من *Trichoderma harzianum*، أو *Glomus intraradices*، أو بهما معاً نتائج مماثلة (Arriola وآخرون ٢٠٠٠).

● أفاد الرش بأى من المنتج التجارى ترايكودكس *Trichodex* (الذى يحتوى على العزلة T39 من *Trichoderma harzianum*، أو بالعزلة DAR74209 من *T. virens* منفردتين أو مجتمعتين فى حماية كل من البطاطس ضد مرض العفن الوردى pink rot والطماطم ضد مرض عفن الجذر والساق اللذان يسببهما - فى المحصولين - الفطر *Phytophthora erythroseptica*، هذا فضلاً عن زيادة محصول درنات البطاطس المعاملة بالعزلة DRA74209 سواء فى وجود الفطر المسبب للمرض أم فى غيابه، وزيادة نسبة بقاء بادرات الطماطم المعاملة بالعزلة ذاتها فى وجود الفطر (Etebarian وآخرون ٢٠٠٠).

● يزداد نمو نباتات الطماطم لدى حقنها بالميكوريزا *Glomus etunicatum*، كما يوفر لها بعض الحماية من الإصابة بالذبول الفيوزارى (Ozgonen وآخرون ٢٠٠١).

● أظهرت العزلة T39 من الفطر *Trichoderma harzianum* (كما توجد فى التحضير التجارى *Trichodex*) فاعلية كبيرة فى مكافحة كل من الفطرين *Botrytis cinerea*، و *Fulva fulva*، و *Sclerotinia sclerotiorum* (Elad ٢٠٠٠).

● أدت معاملة بادرات الأسبرجس بالسلاطة T22 من *Trichoderma harzianum* إلى زيادة وزن الجذور ونقص إصابتها بكل من الفطرين *Fusarium oxysporum* f. sp.

asparagi، و *F. proliferatum* عندما كان تواجدهما قليلاً، ولكن ليس عندما كان تواجدهما كبيراً. وبالمقارنة .. أحدثت المعاملة بالمبيد fludioxonil خفضاً في شدة الإصابة بالفيوزاريوم عند كل مستويات تواجده (Reid وآخرون ٢٠٠٢).

● تفيد معاملة بذور الطماطم بفطر الميكوريزا *Trichoderma koningii* في حماية البادرات من الإصابة بالفطر *Corticium rolfsii* مسبب مرض الذبول الطرى (Tsahouridou & Thanassoulopoulos ٢٠٠٢).

● أظهرت عزلتان من الميكوريزا *Trichoderma viride* (هما: LA، و S17A) قدرة على تحليل أكثر من ٦٠٪ من الأجسام الحجرية للفطر *Sclerotium cepivorum* مسبب مرض العفن الأبيض في البصل، وخفض الإصابة بالمرض جوهرياً (Clarkson وآخرون ٢٠٠٢).

● تفيد المعاملة بفطريات الميكوريزا، مثل *Trichoderma viride*، و *T. pseudokoningii* في تخليص التربة من نحو ٦٠٪-٨٠٪ مما قد يتواجد فيها من أجسام حجرية للفطر *Sclerotium cepivorum* مسبب مرض العفن الأبيض في البصل والثوم (Clarkson وآخرون ٢٠٠٤).

● أدت إضافة السلالة Tr5 من *Trichoderma koningii* إلى تربة ملوثة بالأجسام الحجرية للفطر *Sclerotium cepivorum* - مسبب مرض العفن الأبيض في البصل - بأعداد تراوحت بين ١٠، و ١٠٠ جسم حجرى لكل كيلوجرام واحد من التربة - إلى مكافحة المرض بنسبة تراوحت بين ٦٣٪، و ٧٩٪ (Metcalf وآخرون ٢٠٠٤).

● أوضحت الدراسات أن الفطرين *Trichoderma harzianum*، و *T. longibrachiatum* يتطفلان بضاوة على الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*؛ مما يؤدي إلى القضاء عليه بصورة تامة خلال فترة وجيزة (Younis ٢٠٠٥).

● أدت المعاملة بالميكوريزا *Trichoderma viride* مع أى من كمبوست مخلفات البصل أو المبيد الفطرى tebuconazole إلى الحد - بشدة - من إصابة البصل بالفطر *Sclerotium cepivorum* مسبب مرض العفن الأبيض، علماً بأن المعاملة بالميكوريزا منفردة كانت فعالة - في مكافحة المرض ولكن بدرجة أقل (Clarkson وآخرون ٢٠٠٦).

● أدى تلقيح شتلات الفلفل بأى من فطريات الميكوريزا *Glomus mosseae*، أو *G. etunicatum*، أو *G. fasciculatum*، أو *Gigaspora margarita* إلى تحفيز النمو النباتى وخفض معدل الإصابة بالفطر *Phytophthora capsici* مسبب مرض لفحة فيتوفثورا، وبخاصة عند استعمال الميكوريزا *G. mosseae* (Ozgonen & Erkilic) (٢٠٠٧).

● أدى نقل الجين *chit36* - المسئول عن إنتاج إنزيم الإندوشيتينيز *CHIT36* - من *Trichoderma harzianum* إلى الجزر إلى الحد من إصابة الأخير بكل من الفطرين *Botrytis cinerea* و *Alternaria radicina* بنحو ٥٠٪ (Baranski وآخرون ٢٠٠٨).

الخمائر

نجحت المعاملة ببعض أنواع الخمائر فى مكافحة بعض أمراض الخضر، كما يتبين من الأمثلة التالية:

● أمكن الحصول على نتائج جيدة عند محاولة مكافحة اثنين من الفطريات المسببة لمرض العفن الجاف الفيوزارى فى البطاطس - هما: *F. sambucinum* (*Gibberella pulicaris*)، و *F. solani var. coruleum* - باستعمال عدة سلالات من الخميرة، ولكن البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* أعطت نتائج إيجابية (Schisler وآخرون ١٩٩٥). كذلك أمكن مكافحة الفطر *F. sambucinum* بواسطة البكتيريا *P. cepacia* (سلالة B37w) فى بيئة صناعية (Burkhead وآخرون ١٩٩٤).

● أحدثت المعاملة ببعض العزلات من الخمائر *Rhodotorula glutinis* و *Cryptococcus albidus* إلى مكافحة الفطر *Botrytis cinerea* فى الفاصوليا (Elad وآخرون ١٩٩٤).

● أدى رش نباتات الخيار ثلاث مرات على فترات أسبوعية بمعلق لبعض طفرات الخميرة *Tilletiopsis washingtonensis* إلى حمايتها من الإصابة بالفطر *Sphaerotheca fuliginea* مسبب مرض البياض الدقيقى، وقد ظهرت هيفات *S. fuliginea* وهى منكمشة ومنهارة فى النباتات المعاملة بالخميرة (Abd El-Hafiz ١٩٩٩).

فطريات أخرى متنوعة

تفيد عديد من الفطريات فى مكافحة الحيوية للأمراض، كما يتبين من الأمثلة التالية:

● يستعمل الفطر *Aureobasidium pullulans* فى مكافحة الحيوية لمرض اللطعة الأرجوانية فى البصل، وهو من الفطريات المترمة على الأوراق، ولا يعرف دوره فى مكافحة الحيوية لفطر اللفحة الأرجوانية على وجه التحديد (Maude 1990).

● أدت معاملة جذور الباذنجان بالفطر *Talaromyces flavus* إلى خفض كثافة تواجد الفطر *Verticillium dahliae* - مسبب مرض ذبول فيرتسيليم - بها بنسبة تراوحت بين ٥١٪، و ٦٩٪ (Fahima & Henis 1995).

● أدت معاملة الفاصوليا بالفطر *Verticillium lecanii* إلى حمايتها من الفطر المسبب للصدأ *Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus* (Romero & Carrion 1995).

● أظهرت الدراسات فاعلية الفطرين *Coriolus versicolor*، و *Pleurotus eryngii* فى مكافحة الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* مسبب مرض الذبول الفيوزارى فى الطماطم، ويعتقد بأن مرد تأثيرهما هو إلى ما يلازمهما من زيادة كبيرة فى نشاط الإنزيم β -D-glucanase (1,3) باعتبار أن المكون الرئيسى بجدر خلايا الفطر *F. oxysporum* هو الجلوكانات glucans. ونظراً لعدم وجود أى نشاط لإنزيمات الـ cellulases والـ xylanases (التي تعمل على عديدات التسكر بجدر الخلايا النباتية) فى *C. versicolor*، فإنه يعد البديل الأفضل لمكافحة الأمراض التى تسببها فطريات الفيوزاريم (Ruiz-Duenas & Martinez 1996).

● أعطت معاملة سيقان الطماطم المجروحة بالفطر *Cladosporium cladosporioides* مكافحة جيدة للفطر *Botrytis cinerea* (Eden وآخرون 1996).

● يعطى الفطر *Gliocladium roseum* مكافحة شبه تامة للفطر *Botrytis cinerea*، وفى اختبارات له على الفراولة كان مستوى المكافحة التى أحرزها ضد الفطر *B. cinerea*

مماثلة للمكافحة التي تحرزها كائنات المكافحة الحيوية الرئيسية مثل *Trichoderma viride*، و *Myrothecium verrucaria*، و *Penicillium spp.*، والمبيدان الفطريان القياسيان كابتان captan، وكلووروثالونيل chlorothlonil، أو أفضل منها. وتفضل المعاملة الأسبوعية بالفطر (Sutton وآخرون ١٩٩٧).

● بوضع الفطر *G. roseum* على صورة مسحوق في وعاء يسمح بإسقاط الفطر على خلايا النحل .. فإن شغالات النحل التي تتلوث بالفطر تقوم بنقله إلى الأزهار لدى زيارتها لها؛ علماً بأن إصابة الثمار بالفطر *B. cinerea* - الذى يكافحه الفطر *G. roseum* - تبدأ من الأزهار (Sutton وآخرون ١٩٩٧).

● أدت معاملة نباتات الطماطم بالفطر *Penicillium oxalicum* إلى حث تطوير الدفاع النباتى بها ضد الإصابة بفطر الذبول *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (De Cal وآخرون ١٩٩٧).

● يؤدى غمس جذور شتلات الطماطم فى معلق لكونيديات الفطر *Penicillium oxalicum* أو معاملة المشتل ذاته قبل الشتل إلى حماية النباتات من الإصابة بالذبول الفيوزارى؛ وذلك بحث المقاومة فى النباتات ضد الفطر *F. oxysporum f. sp. lycopersici* (Garcia-Lepe وآخرون ١٩٩٨).

● أوضحت الدراسات أن البيئة السائلة لزراع الفطر *Phoma glomerata* تؤدى - عند إضافتها للتربة - إلى مكافحة الفطر *Plasmodiophora brassicae* مسبب مرض تتألل جذور الصليبيات. وقد تبين أن مرد ذلك التأثير إلى الميكوتوكسين epoxydon، وهو: 5-hydroxy-3-(hydroxymethyl)-7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-en-2-one. تتميز هذه المادة بأنها مضادة للسرطانات ولنشاط الأوكسين، ولا تعد مضاداً ميكروبياً قوياً؛ كما أنها تستحث المقاومة فى النباتات، ولكنها أدت إلى مكافحة تتألل الجذور عندما أضيفت إلى التربة بتركيز ٢٥٠ ميكروجرام/مل. وقد اختبرت عدة مضادات أكسينات من حيث قدرتها على مكافحة المرض، ووجد أن إحداها، وهو: 2,3,5-triiodobenzoic acid كان فعالاً بتركيز ١٠ ميكروجرام/مل (Arie وآخرون ١٩٩٨).

● أفادت معاملة مشاتل الطماطم بالفطر *Penicillium oxalicum* فى الحد من إصابة

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستحثة ببيولوجيا ضد الأمراض

النباتات بعد الشتل بالذبول الفيوزارى على الرغم من أن المعاملة لم تؤثر فى عشيرة الفطر المرض فى المحيط الجذرى للطماطم (De Cal وآخرون ١٩٩٩).

● يفيد الفطران *Pythium periplocum*، و *P. oligandrum* فى مكافحة الحيوية للفطر *P. ultimum* مسبب مرض الذبول الطرى فى الخيار. وقد أفاد استعمال الفطرين سواء أتمت المعاملة بهما بالإضافة إلى مخاليط الزراعة، أم بتغليف البذور (Ali-Shtayeh & Saleh ١٩٩٩).

● أفادت المعاملة بالفطر *Verticillium lecanii* فى مكافحة الفطر *Uromyces appendiculatus* فى الفاصوليا بصورة أفضل من استخدام الأساليب الزراعية المتكاملة المتضمنة الرش بالمناكوزب (Carrion وآخرون ١٩٩٩).

● يفيد رش المحاصيل المصابة بالفطر *Sclerotinia sclerotiorum* - مسبب مرض العفن الأبيض - بالفطر *Coniothyrium minitans* فى بقاء أعداد الأجسام الحجرية للفطر المرض فى التربة منخفضاً؛ الأمر الذى يفيد فى مكافحة المرض عند زراعة محاصيل قابلة للإصابة بالفطر فى الدورة (Gerlagh وآخرون ١٩٩٩).

● توفر المعاملة بالفطر *Penicillium oxalicum* مقاومة لنباتات الطماطم ضد الإصابة بالذبول الفيوزارى من خلال تحفيز النبات على استمرار نشاط نسيج الكامبيوم؛ مما يؤدي إلى تكوين مزيد من الخشب الثانوى، الذى قد يكون أحد الأسباب التى تؤدي إلى الحد من شدة الإصابة بالمرض (De Cal وآخرون ٢٠٠٠).

● أدت معاملة بادرات الكرنب الصينى بالفطر *Heteroconium chaetospora* إلى حماية النباتات - بدرجة عالية - من الإصابة بكل من الفطرين *Plasmiodiophora brassicae* مسبب مرض تتألل الجذور، و *Verticillium dahliae* مسبب مرض الإصفرار (Narisawa وآخرون ٢٠٠٠).

● وجد أن راسح مزارع الفطر *Verticillium albo-atrum* يؤدي عند رشه على أوراق الخيار إلى حماية الجذور من الإصابة بذات الفطر (Hammerschmidt وآخرون ٢٠٠١).

● أدت معاملة جذور الخيار بأحد العزلات من الفطر *Phoma* spp إلى حماية

النباتات جهازياً من الإصابة بكل من بكتيريا تبقع الأوراق الزاوى والذبول الفيوزارى (Koike وآخرون ٢٠٠١).

● أدت المعاملة أربع مرات بالفطر *Penicillium oxalicum* إلى مكافحة إصابة الطماطم بالذبول الفيوزارى دون أن تؤثر المعاملة على كثافة تواجد فطر الذبول فى محيط الجذور (De Cal & Melgarejo ٢٠٠١).

● أدى رش النموات الخضرية للطماطم بالفطر *Phytophthora cryptogea* إلى حماية النباتات من الإصابة بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Attitallah وآخرون ٢٠٠١).

● أمكن مكافحة فطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* مسبب مرض عفن التاج والجذر الفيوزارى فى الطماطم بيولوجياً باستعمال السلالة GF191 من الفطر *Fusarium equiseti* فى أوعية الشتلات قبل الشتل مع استعمال أوعية قابلة للتحلل فى التربة (Horinouchi وآخرون ٢٠٠٨).

● إن عدوى بادرات الطماطم بالفطر *Pythium oligandrum* تقيها من الإصابة بالذبول البكتيرى الذى تسببه البكتيريا *Ralstonia solanacearum*، علماً بأن الحماية التى يوفرها الفطر ليس مردها إلى مجرد منافسة الفطر للبكتيريا على استعمار سطح جذور النبات أو منافسته لها على الغذاء فى المحيط الجذرى (Takenaba وآخرون ٢٠٠٨).

● درست كفاءة خمسة فطريات فى مكافحة الحيوية للأجسام الحجرية للفطر *Sclerotinia sclerotiorum*، وتبين ما يلى:

١- كان أكثرها كفاءة فى خفض حيوية الأجسام الحجرية - فى مدى حرارى واسع من ١٥ إلى ٢٥ م° وفى كل من التربة المعقمة والطبيعية - الفطر *Coniothyrium minitans*.

٢- احتل فطر الميكوديروما *Trichoderma virens* المرتبة الثانية فى مكافحته الفطر المرض.

٣- كانت الفطريات *Epicoccum purpurascens*، و *Talaromyces flavus*،

و *Trichothecium roseum* فعالة كذلك في مكافحة الفطر المرض، ولكن بدرجة تقل عن كل من *C. minitans*، و *T. virens*.

٤- كانت الأجسام الحجرية المهيئة للنمو الميسيليومي أكثر عرضة للإصابة بفطريات مكافحة الحيوية الخمسة عن الأجسام الحجرية الساكنة (Huang & Erickson ٢٠٠٨).

● يستخدم الفطر *Coniothyrium minitans* في مكافحة البيولوجية لفطريات مثل *Sclerotinia sclerotiorum*، و *Sclerotinia minor*. ويتواجد هذا الفطر في التربة في مختلف أنحاء العالم. وتتكون التحضيرات التجارية المستخدمة في مكافحة الحيوية (مثل Contans) من الجراثيم الكونيدية للفطر مجففة ومخلوطة بالجلوكوز. وعند الاستعمال يضاف الماء على هذا المخلوط ويرش على سطح التربة.

ويعمل *C. minitans* بمهاجمة الأجسام الحجرية لكل من الفطرين *S. sclerotiorum*، و *S. minor*، وهي التي تعطى عند إنباتها عديداً من الجراثيم التي تصيب النباتات المزروعة. يحدث هذين الفطرين أمراضاً خطيرة في مئات الأنواع النباتية، مثل العفن الأبيض في الفاصوليا والطماطم والفلفل والصلبيبات، وسقوط الأوراق في الخس، والعفن الأبيض في الجزر أثناء التخزين.

من الأهمية بمكان أن يكون رش الـ Contans شاملاً لكل سطح التربة؛ وأن يخلط بالـ ٢,٥ سم السطحية منها إما بالرى وإما بالخرشة، وألا تثار التربة بعد ذلك لكي لا تنتقل أجساماً حجرية من الأعماق - التي لم يصلها *C. minitans* إلى سطح التربة.

على الرغم من حساسية الفطر للضوء فإنه يعد متحملاً للحرارة (Resource Guide for Organic Insect and Disease Management - كورنل - الإنترنت - ٢٠٠٦).

● يفيد فطر المحيط الجذرى غير المرض *Pythium oligandrum* في حماية نباتات الطماطم من الإصابة ببكتيريا الذبول *Ralstonia solanacearum* (Takenaka وآخرون ٢٠٠٨).

السلالات غير الممرضة من فطريات ممرضة

أسلفنا الإشارة في مواضع أخرى من هذا الفصل عن الدور الذى تلعبه السلالات

غير الممرضة من بعض الفطريات فى حماية النباتات من الإصابة بالسلالات الممرضة من الفطريات ذاتها أو غيرها. ونلقى - فيما يلى - مزيداً من الضوء على تلك الظاهرة:

● أدت المعاملة بالسلالة غير الممرضة Fo47 من *F. oxysporum* إلى حماية نباتات الطماطم من الإصابة بالذبول الفيوزارى، وذلك فى كل من المزارع المائية والأرضية. وقد أدت المعاملة إلى زيادة نشاط إنزيمات الـ chitinase و β -1,3-glucanase، والـ β -1,4-glucosidase فى النباتات المعاملة بالسلالة غير الممرضة (Fuchs وآخرون ١٩٩٧).

● أمكن بإضافة أى من ١٣ سلالة غير ممرضة من *Fusarium oxysporum* (سبق عزلها من التربة أو من المحيط الجذرى لنباتات أسبرجس) إلى تربة لوثت - كذلك - بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *aspargi* إلى خفض إصابة نباتات الأسبرجس بعفن الجذور الذى يسببه هذا الفطر بأكثر من ٥٠٪ (Blok وآخرون ١٩٩٧).

● وجد أن بعض عزلات الفيوزاريم غير الممرضة كانت عالية الفاعلية فى الحماية من الإصابة بالذبول الفيوزارى فى عديد من النباتات، منها: الطماطم، والبطيخ، والكنتالوب. وذلك من خلال إكساب النباتات مقاومة جهازية مستحثة.

ومن بين الكائنات الدقيقة الأخرى التى وفرت حماية ضد الذبول الفيوزارى كلا من *Gliocladium virens*، و *Trichoderma hamatum*.

كذلك وجد أن الفطر *Talaromyces flavus* يوفر مكافحة حيوية ضد ذبول فيرتسيليم (Larkin & Fravel ١٩٩٨).

● أمكن الحصول على مجموعة كبيرة من عزلات الفطر *Rhizoctonia* sp. لم تكن قادرة على إصابة الخيار، ولكن المعاملة ببعضها أكسبت الخيار مقاومة جيدة لكل من المسببات المرضية التالية:

١- الفطر *Rhizoctonia solani* مسبب مرض الذبول الطرى.

٢- الفطر *Pythium aphanidermatum* مسبب مرض الذبول الطرى.

٣- البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* مسبب مرض تبقع الأوراق البكتيري (Sneh & Ichielevich-Auster ١٩٩٨).

● أظهرت عزلتان (هما: BNR1 و BNR2) من فطر الرايزكتونيا *Rhizoctonia binucleate* فاعلية عالية في مكافحة فطريات الذبول الطرى *Rhizoctonia solani*، و *Pythium ultimum* var. *sporangiiferum*، و *P. irregulare* (Harris & Adkins ١٩٩٩).

● أظهرت ثلاث عزلات من *Fusarium* spp. غير ممرضة قدرة على الحد من إصابة الطماطم والبطيخ بالذبول الفيوزاري، وكانت أعلاهم كفاءة السلالة CS-20، وذلك مقارنة بالسلالتين الأخرتين، وهما: CS-1، و Fo47 (Larkin & Fravel ١٩٩٩).

● يُستفاد من دراسات أجريت على الكنتالوب أن حقن النباتات بسلالة ضعيفة التطفل من الفطر *Monosporus cannonballus* مسبب مرض الذبول الفجائي والتدهور يمكن أن يحميها من العزلات عالية الضراوة من الفطر ذاته. هذا .. وقد كانت السلالات الضعيفة التطفل ذات double-stranded RNA (اختصاراً: dsRNA)؛ علمًا بأن هذه النوعية من العزلات الفطرية تتوفر في عديد من الفطريات، وقد تكون أشد ضراوة من الفطر الأصلي كما في بعض عزلات *Phytophthora infestans*، و *Rhizoctonia solani*، أو سريعة التدهور كما في أحد عزلات *Agaricus bisporus*، أو ضعيفة الضراوة عن الفطر الأصلي كما في هذه العزلة وكذلك أحد عزلات الفطر *Cryphonectria parasitica* التي تستخدم في مكافحة لفحة الكستناء التي يسببها هذا الفطر (Batten وآخرون ٢٠٠٠).

● أدى حقن الخيار بعزلات غير ممرضة من أى من الفطرين *Alternaria cucumarina* أو *Cladosporium fulvum* إلى حث تكوين مقاومة جهازية بالنبات وفرت له حماية من الإصابة بالفطر *Sphaerotheca fuliginea* مسبب مرض البياض الدقيقي (Reuveni & Reuveni ٢٠٠٠).

● أدت معاملة البسلة بسلالة غير ممرضة من *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*

إلى حمايتها من الإصابة بالفطر *Mycosphaerella pinodes* (Dann & Deverall) (٢٠٠٠).

● أمكن عزل سلالة غير ممرضة من الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* كانت قادرة على استعمار جذور عدد من أصناف الكنتالوب والبطيخ دون أن تظهر عليها أى أعراض مرضية. ويعدوى النباتات بتلك السلالة - التى أعطيت الرمز 4/4 - فإنها أكسبت الكنتالوب مقاومة ضد السلالة 1.2 من الفطر ذاته، كما أكسبت البطيخ مقاومة ضد السلالة رقم ٢ من الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (Freeman) وآخرون (٢٠٠٢).

● تفيد كثيراً العزلات غير الممرضة من *Fusarium oxysporum* - مثل CS-20، و CS-24 - فى مكافحة الذبول الفيوزارى فى الطماطم فى مختلف الظروف البيئية. كما تعطى العزلات غير الممرضة من *F. solani* - مثل CS-1 - نتائج مماثلة، ولكن بدرجة أقل (Larkin & Fravel ٢٠٠٢).

● تؤدى المعاملة بسلالات ضعيفة الضراوة hypovirulent من فطر الرايزكتونيا المزدوج النوواة *Rhizoctonia binucleate* إلى حماية الطماطم من الإصابة بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* مسبب مرض عفن التاج والجذور الفيوزارى. مع زيادة فى محصول الثمار الكلى والصالح للتسويق. وقد صاحب الحماية نقص فى التلون بالحزم الوعائية (Muslim) وآخرون (٢٠٠٣).

● أمكن عن طريق المعاملة المتكررة بالحرارة المنخفضة على ١٢,٥-١٥ م° مع خمسين دورات من نقل الفيروس من نباتات فردية الحصول على سلالة ضعيفة من فيروس موزايك الزوكينى الأصفر أعطيت الرمز ZYMV-2002. لم تكن لهذه السلالة أى تأثيرات سلبية على نمو محصول الخيار، فضلاً عن أنها وفرت له حماية ضد الإصابة بالفيروس (Kosaka) وآخرون (٢٠٠٦).

البكتيروفاجات

من أمثلة حالات استخدام البكتيروفاجات bacteriophages فى مكافحة الحيوية

للأمراض البكتيرية، ما يلى:

● تستخدم البكتيروفاجات لأجل مكافحة البكتيريا *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* مسبب مرض البقع البكتيرية فى الطماطم، إلا أن كفاءة الفاجات لا تستمر لفترة طويلة، فهى لا تدوم لأكثر من يومين تحت ظروف الحقل أو أربعة أيام تحت ظروف البيوت المحمية، ويحدث معظم الانخفاض فى أعداد الفاج أثناء ساعات النهار، كما يقلل الري بالرش - بشدة - من أعداد الفاج التى تبقى على الأسطح الورقية، مقارنة بالرى بالتنقيط (Balogh وآخرون ٢٠٠٥).

● أمكن مكافحة البكتيريا *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* مسبب مرض البقع البكتيرية فى الطماطم برش النباتات مرتان أسبوعياً بالبكتيروفاجات bacteriophages، أو أربع مرات خلال الموسم بمنشط الدفاع النباتى S-acibenzolar-methyl، وذلك مقارنة بالرش بأيدروكسيد النحاس مع المانكوزيب المستخدمان - عادة - فى مكافحة المرض (Obradovic وآخرون ٢٠٠٤).

● أفادت معاملة الطماطم بالبكتيروفاج المتخصص على السلالتين ١، و ٣ من البكتيريا *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* مسبب مرض البقع البكتيرية .. أفاد فى مكافحة هذه البكتيريا فى الطماطم بصورة أفضل من المكافحة بالنحاس والمانكوزيب (Flaherty وآخرون ٢٠٠٠).

● أمكن مكافحة بكتيريا العفن الطرى البكتيرى *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* باستعمال بكتيروفاجات bacteriophages متخصصة عليها (Ravensdale وآخرون ٢٠٠٧).

كائنات دقيقة متنوعة

نجحت مقاومة عديد من مسببات المرضية حيويًا باستعمال أى من عدد من الكائنات الدقيقة، أو باستعمال خليط منها، وذلك كما فى الأمثلة التالية:

● أمكن تحت ظروف الحقل خفض شدة إصابة البطاطس بالفطر *R. solani* - مسبب مرض القشرة السوداء بمعاملة التربة بالكائنات الدقيقة المضادة للفطر، كما يلى (Schmiedeknecht ١٩٩٣).

متوسط الانخفاض فى شدة الإصابة (%)	الكائن المستعمل فى مكافحة الحويبة	
٢١,١	<i>Bacillus subtilis</i>	البكتيريا
٤٩,٤	<i>Streptomyces spp.</i>	البكتيريا
٤١,٤	<i>Gliocladium roseum</i>	الفطر
٧٤,٥	<i>Trichoderma spp.</i>	الفطر

● تعامل بذور الذرة السكرية لمكافحة أمراض البادرات بكل من: *Pseudomonas aureofacines* AB254 لمكافحة الفطر *Pythium ultimum*، وبـ *Pseudomonas sp.* AB842 لمكافحة *Penicillium oxalicum*، هذا مع العلم بأن المكافحة الكيميائية تتضمن معاملة البذور بالـ metalaxyl بالنسبة لفطر البثيم، وبالـ imazalil بالنسبة لفطر البنسليم، وأن إجراء المعاملتين الكيميائية والبيولوجية معاً لم يؤثر فى كفاءة المكافحة (Mathre وآخرون ١٩٩٥).

● أدت معاملة التربة بالعزلة رقم T39 من فطر الميكوريزا *Trichoderm harzianum* إلى إكساب نباتات الفاصوليا مقاومة ضد الفطر *B. cinerea*. كذلك أحدثت معاملة النباتات بالعزلة KMPCH من البكتيريا *Pseudomonas aeruginosa* درجة مماثلة من المقاومة (Bigirimana وآخرون ١٩٩٧).

● تمت مكافحة الأنثراكنوز الذى يسببه الفطر *Colletotrichum capsici* على ثمار ونباتات الفلفل — بشكل جيد — بمعاملة النباتات عند عمر ١٠٥ أيام من زراعة البذور بالخميرة *Saccharomyces cerevisiae*، ثم عند عمر ١٢٠ يوماً بالبكتيريا *Bacillus subtilis*. كذلك كان لكل من الفطر *Trichoderma viride*، والبكتيريا *Pseudomonas fluorescens* تأثيرات مثبتة على الفطر المسبب للمرض (Jeyalakshmi وآخرون ١٩٩٨).

● أمكن باستخدام خليط من كل من سلالتى البكتيريا 300 *Paenibacillus sp.* و 385 *Streptomyces sp.* تثبيط إصابة الخيار بالذبول الفيوزارى، وكان ذلك مرتبطاً بنشاط بعض الإنزيمات الشيتينوليتية chitinolytic enzymes التى تفرزها تلك البكتيريا، مثل الـ Chitinase، و β -1,3-glucanase (Singh وآخرون ١٩٩٩).

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستحثّة بيولوجيا ضد الأمراض

● أثبتت كائنات مكافحة الحيوية الترايكوديرما *Trichoderma harzianum* T39، والخمائر *Aureobasidium pullulans*، و *Cryptococcus albidus* كفاءة عالية في مقاومة إصابات ساق الخيار والطماطم بالفطر *Botrytis cinerea* في مدى حرارى واسع تراوح بين ١٨، و ٣٠م، إلا أن كفاءتها انخفضت بشدة عندما ارتفعت الرطوبة النسبية إلى ٨٠٪-٩٠٪، مع حرارة ٢٤م (Dik وآخرون ١٩٩٩).

● أدت المعاملة ببعض عزلات الترايكوديرما *Trichoderma* (العزلات TC32، TC45 و TC63) وإحدى عزلات الاستربتومييسس *Streptomyces* (العزلة S99) إلى مكافحة الفطر *Plasmodiophora brassicae* بصورة جوهرية في القنبيط (Cheah وآخرون ٢٠٠٠).

● وفي محاولة لمكافحة الفطر *Sclerotinia sclerotiorum* مسبب مرض العفن الأبيض في الفاصوليا عوملت النباتات بعدد من الفطريات المستخدمة في مكافحة الحيوية وهى:

Coniothyrium minitans

Talaromyces flavus

Trichothecium roseum

Trichoderma virens

Epicoccum nigrum

كانت جميع الفطريات فعالة في مكافحة مرض العفن الأبيض، وكانت أكثرها فاعلية *C. minitans*، و *E. nigrum* (Huang وآخرون ٢٠٠٠).

● أدت معاملة بذور الفاصوليا بأى من السلالة GBO3 من *Bacillus subtilis* أو السلالة T-22 من *Trichoderma harzianum* إلى زيادة النمو النباتى للفاصوليا وخفض شدة إصابتها بكل من *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*، و *Rhizoctonia solani* المسببان لأعفان الجذور، كذلك فإن المعاملة المشتركة بكل من *B. subtilis*، و *Rhizobium tropici* وفرت حماية لنباتات الفاصوليا من الإصابة بالفطرين المرضيين (Estevez de Jensen وآخرون ٢٠٠٢).

● أدت معاملة تقاوى البطاطس أو التربة بأى من كائنات المقاومة الحيوية *Trichoderma viride*، أو *T. harzianum*، أو *T. koninji*، أو *Bacillus subtilis*، أو *Pseudomonas fluorescens* إلى خفض إصابة درنات البطاطس بالفطر *Rhizoctonia solani* مسبب مرض القشرة السوداء. وقد كانت أكثر كائنات المقاومة الحيوية تأثيراً *T. harzianum* يليها *P. fluorescens*، ثم *T. viride* (Hazarika وآخرون ٢٠٠٢).

● أمكن مقاومة الفطر *Phytophthora capsici* - مسبب مرض عفن الجذور الفيتوفثورى فى نباتات الفلفل - جيداً - بالمعاملة بكل من الفطر *Trichoderma harzianum* والبكتيريا *Streptomyces rochei* - معاً - باستعمال جرعة من الكائنين المضادين للفطر المرض تقدر بنحو $3,5 \times 10^8$ جرثومة/مل من *T. harzianum*، و 1.0×10^8 CFU/مل من *S. rochei*. هذا مع العلم بأن هيفات *T. harzianum* تحيط إحاطة تامة بهيفات *P. capsici* إلى أن يتوقف نموه، بينما تُفَرِّز البكتيريا *S. rochei* مركباً يبدو أنه أحد المركبات الرئيسية المثبطة لنمو الفطر المرض، وقد أمكن تعريف هذا المركب بأنه 1-propanone, 1-(4-chlorophenyl) (Ezziyani وآخرون ٢٠٠٧).

● أعطت كل من كائنات مكافحة الحيوية *Ampelomyces quisqualis* (المنتج التجارى AQ10)، و *Lecanicillium lecanii* (المنتج التجارى Mycotal)، وثلاث سلالات من *Bacillus subtilis* مكافحة جيدة للفطر *Podosphaera fusca* مسبب مرض البياض الدقيقى فى الكنتالوب، وخاصة فى ظروف الرطوبة النسبية العالية (٩٠٪-٩٥٪)، وكانت كفاءة جميع الكائنات مماثلة لكفاءة المعاملة بالمبيد الفطرى azoxystrobin (Romero وآخرون ٢٠٠٧).

● نُرس تأثير عزلة محلية كويتية من *Trichoderma harzianum*، وعزلتان من *Bacillus amyloliquefaciens* على مكافحة الفطر *Sclerotinia sclerotiorum*، وتبين أن كلا من فطر الترياكودرما والبكتيريا يثبطان نمو الفطر *S. sclerotiorum* ويمنعان إنتاجه للأجسام الحجرية وبدا أن تأثيرهما كان بفعل التطفل بالنسبة للميكوديروما والتضادية الحيوية بالنسبة للبكتيريا، وقد وفرا حماية تزيد عن ٨٠٪ لبادرات كل من الطعاطم والكوسة والبادنجان من الإصابة بالفطر *S. sclerotiorum* (Abdullah وآخرون ٢٠٠٨).

الحيوانات التي تعيش على المسببات المرضية

يُستفاد من بعض الأنواع الحيوانية من الأميبا؛ والنيماتودا، والحشرات، والعناكب، وديدان الأرض في التخلص من بعض المسببات المرضية كما يتضح من جدول (٦-٦).

وقد أمكن مكافحة فطر الرايزكتونيا *Rhizoctonia solani* في الفجل بإطلاق العنكبوت *Schelorbates azumaensis* الذي وجد أنه يتعيش على ميسيليوم الفطر (Enami & Nakamura 1996).

جدول (٦-٦) أمثلة لمسببات مرضية تهاجمها أو تلتها حيوانات تعيش في التربة soil fauna (عن Whipps 1997).

المسببات المرضية التي تهاجم أو تلتهم	حيوانات التربة soil fauna
<i>Cochliobolus sativus</i>	أميبا
<i>Fusarium oxysporum</i>	
<i>Fusarium solani</i>	
<i>Gaeumannomyces graminis</i>	
<i>Phytophthora cinammomi</i>	
<i>Thielaviopsis basicola</i>	
<i>Verticillium dahliae</i>	
<i>Fusarium culmorum</i>	نيماتودا
<i>Fusarium oxysporum</i>	
<i>Fusarium solani</i>	
<i>Pythium arrhenomanes</i>	
<i>Rhizoctonia solani</i>	
<i>Botrytis cinerea</i>	حشرات
<i>Fusarium oxysporum</i>	
<i>Gnomonia leptostyla</i>	
<i>Macrophomina phaseolina</i>	
<i>Pythium ultimum</i>	
<i>Rhizoctonia solani</i>	
<i>Verticillium dahliae</i>	
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
<i>Aspergillus spp.</i>	ديدان الأرض
<i>Fusarium oxysporum</i>	

الطرق المستخدمة في معاملات مكافحة الحيوية

معاملات مكافحة الحيوية عن طريق البذور وأعضاء التخزين المستخدمة في التكاثر
إن أكثر الكائنات الدقيقة المستعملة في المعاملة البيولوجية للبذور هي ما يلي:

<i>Pseudomonas</i>	<i>Entrobacter</i>
<i>Erwinia</i>	<i>Bacillus</i>
<i>Trichoderma</i>	<i>Gliocladium</i>
<i>Streptomyces</i>	

وتتأثر فعالية معاملة البذور بالبكتيريا والفطريات المستخدمة في المعالجة
الحيوية بعدد من العوامل، منها:

- ١- pH التربة.
- ٢- تركيز الحديد بالتربة.
- ٣- حرارة ورطوبة التربة.
- ٤ - شدة تواجد المسبب المرضى في التربة.
- ٥- شدة تواجد الكائن المستخدم في مكافحة الحيوية على سطح البذور.
- ٦- المعاملات الأخرى التي تعطاها البذور.

هذا .. مع العلم أنه في كل من الذرة السكرية وبنجر السكر يجب أن يعلق بسطح كل بذرة حوالي ٧,٥ بليون خلية بكتيرية (*Pseudomonas aureofacies* في حالة الذرة السكرية و *P. putida* في حالة بنجر السكر) لكي تكون المعاملة فعالة ضد الفطر *Pythium ultimum* (Callan وآخرون ١٩٩٧).

ويعطى جدول (٦-٧): قائمة بحالات عولمت فيها البذور وأعضاء التخزين من الأبصال والدرنات بكائنات دقيقة بهدف مكافحة الحيوية للكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة.

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستنحثة بيولوجيا ضد الأمراض

جدول (٦-٧): أمثلة لحالات عوملت فيها البذور والأبصال والدرنات بكائنات دقيقة بهدف مكافحة الحيوية للمسيبات المرضية التي تعيش في التربة (Whipps ١٩٩٧).

المائل	المسبب المرضي أو المرض	الكائن المستخدم في مكافحة الحيوية
		بكتيريا
البرسيم الحجازي	<i>Phytophthora megasperma</i> f. sp. <i>Bacillus cereus</i> UW85 <i>medicaginis</i>	
الفاصوليا	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>B. subtilis</i> AP183
القطن	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>B. subtilis</i> GB03 <i>vasinfectum</i> <i>Rhizoctonia solani</i>	
لفت الزيت	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>B. subtilis</i> 205
الباميا	<i>Fusarium</i> spp.	} Root rot Complex present in soil
فاصوليا المنج	<i>Macrophomina</i>	
فول الصويا	<i>phaseoli</i>	
دوار الشمس	<i>Rhizoctonia solani</i>	
الخيار	<i>Pythium</i> spp.	<i>Enterobacter cloacae</i>
القمح	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>Pseudomonas</i> spp.
Douglas fir	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Pseudomonas</i> spp.
القطن	<i>Pythium ultimum</i> <i>Rhizoctonia solani</i>	
فاصوليا أذوكى	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>P. aeruginosa</i> S-7 <i>adzukicola</i>	
الطماطم	<i>Pythium</i> sp.	<i>P. aeruginosa</i> TNSK2
القمح	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>P. aureofaciens</i> 30-84 (= <i>P. chlororaphis</i> 30-84)	
النرة	<i>Pythium ultimum</i>	<i>P. aureofaciens</i> AB254 (= <i>P. fluorescens</i> AB254)
البسلة	<i>Aphanomyces euteiches</i> f. sp. <i>P. cepacia</i> AMMD	
البسلة	<i>Pythium</i> spp.	
فاصوليا أذوكى	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>adzukicola</i>	<i>P. cepacia</i> B-17

العائل	المسبب المرضي أو المرض	الكائن المستخدم في مكافحة الحيوية
نوار الشمس	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>P. cepacia</i> J82rif
نوار الشمس	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>P. cepacia</i> N24
الفاصوليا	<i>Macrophomina phaseolina</i>	<i>P. cepacia</i> UPR5C (= <i>Burkholderia cepacia</i> UPR5C)
القمح	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>P. chlororaphis</i> 30-84
البنجر	<i>Pythium debaryanum</i> <i>P. ultimum</i>	<i>P. fluorescens</i> (+ <i>Penicillium</i> spp.)
الخيار	<i>P. ultimum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i>	<i>P. fluorescens</i>
لفت الزيت	<i>R. solani</i>	
نوار الشمس	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
الذرة	<i>P. ultimum</i>	<i>P. fluorescens</i> AB254
الخيار	<i>P. ultimum</i>	<i>P. fluorescens</i> Pf-5
البصلة	<i>Aphanomyces euteiches</i> f. sp. <i>pisi</i>	<i>P. fluorescens</i> PRA25
القمح	<i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>P. fluorescens</i> Q2-87
الحمص	<i>Pythium</i> spp.	<i>P. fluorescens</i> Q292-80
فاصوليا أنزوكي	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>adzukicola</i>	<i>P. fluorescens</i> S-2
القمح	<i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>P. fluorescens</i> 2-79
القمح	<i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>P. fluorescens</i> 13-79
نوار الشمس	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>P. putida</i>
الخيار	<i>Pythium ultimum</i>	<i>P. putida</i> NIR
البصلة		
فول الصويا		
القمح	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>P. putida</i> R104
البامية	<i>Fusarium</i> spp.	} Root rot complex present in soil
فاصوليا المنج	<i>Macrophomina</i>	
فول الصويا	<i>phaseolina</i>	
نوار الشمس	<i>Rhizoctonia solani</i>	
فاصوليا المنج	<i>Macrophomina phaseolina</i>	<i>Streptomyces</i> sp.
نوار الشمس		

المقاومة العيوية للأمراض والمقاومة المستمثلة بيولوجيا ضد الأمراض

تابع جدول (٦-٧).

العائل	المسبب المرضي أو المرض	الكائن المستخدم في مكافحة الحويبة
	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> الطماطم	<i>Streptomyces</i> sp.
	<i>Verticillium albo-atrum</i>	
	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>phaseoli</i> الفاصوليا	
	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>adzukicola</i> فاصوليا أدزوكي	<i>Streptomyces flavus</i> Y-1
	<i>Alternaria brassicicola</i> القتبيط	<i>Streptomyces griseoviridis</i>
	Damping-off القلقل	
	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>narcissi</i> الفرجس	
	<i>Aspergillus flavus</i> الفول السوداني	Unidentified bacteria
	<i>Bipolaris sorokiniana</i> الشعير	<i>Gliocladium roseum</i>
	<i>Fusarium culmorum</i> القمح	
	<i>Fusarium moniliforme</i> الذرة	
	<i>Macrophomina phaseolina</i> فاصوليا المنج	<i>G. virens</i>
	دوار الشمس	
	<i>Pythium ultimum</i> القطن	
	<i>Fusarium culmorum</i> القمح	<i>Idriella bolleyi</i>
	<i>Rhizoctonia solani</i> البطاطس	<i>Laetisaria arvalis</i>
	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>narcissi</i> الفرجس	<i>Minimedusa polyspora</i>
	<i>Macrophomina phaseolina</i> فاصوليا المنج	<i>Paecilomyces lilacinus</i>
	دوار الشمس	
	<i>Pythium debaryanum</i> البنجر	<i>Penicillium</i> spp. (+ <i>P. fluorescens</i>)
	<i>P. ultimum</i>	
	<i>Pythium</i> spp. الحمص	<i>Penicillium oxalicum</i>
	<i>Aphanomyces cochlioides</i> بنجر السكر	<i>Pythium oligandrum</i>
	<i>Pythium</i> spp. الحمص	
	<i>Rhizoctonia solani</i> الخيار	<i>Rhizoctonia (binucleate)</i>
	البطاطس	
	<i>Macrophomina phaseolina</i> فاصوليا المنج	<i>Trichoderma harzianum</i>
	دوار الشمس	
	<i>Pythium</i> spp. الخيار	
	<i>Pythium ultimum</i> الخيار	<i>T. harzianum</i> 1295-22

فطريات

العائل	المسبب المرضى أو المرض	الكائن المستخدم فى مكافحة الحيوية
	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>sesami</i>	<i>T. viride</i>
	<i>Rhizoctonia solani</i>	

معاملات مكافحة الحيوية عن طريق العقل والجذور

إن من بين الطرق الناجحة المستخدمة فى مكافحة الحيوية معاملة العقل cuttings (المستخدمة فى التكاثر) والجذور بالكائنات الدقيقة، كما يتضح من الأمثلة المبينة فى جدول (٦-٨).

جدول (٦-٨): أمثلة لحالات عوملت فيها العقل cuttings (المستخدمة فى التكاثر) والجذور بكائنات دقيقة بهدف مكافحة الحيوية للمسببات المرضية التى تعيش فى التربة (عن Whipps ١٩٩٧).

العائل	المسبب المرضى أو المرض	الكائن المستخدم فى مكافحة الحيوية
		البكتيريا
الخوخ	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>Agrobacterium radiobacter</i> K84, K1026
القطن	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Bacillus</i> spp.
التفاح	Replant disease	<i>Bacillus subtilis</i> EBW4
القرنفل	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. WCS417r
البونسيطة	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Pseudomonas</i> spp.
الطماطم	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	
القطن	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>vasinfectum</i>	
الفاصوليا	<i>Sclerotium rolfsii</i>	
البروطية protea	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	<i>P. cepacia</i>
البونسيطة	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>P. cepacia</i> 5.5B
القرنفل	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	<i>P. putida</i> WCS 358r
الخيار	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	<i>P. putida</i> 89B-27

تابع جدول (٦-٨).

العائل	المسبب المرضى أو المرض	الكائن المستخدم فى مكافحة الحيوية
الخيار	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	<i>Serratia marcescens</i> 90-166
القرنفل	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	<i>Streptomyces griseoviridis</i>
فطريات		
بخور مريم	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Fusarium</i> spp.	
<i>cyclamen cyclaminis</i>		
الطماطم	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	<i>Fusarium</i> spp. (non-pathogenic)
القرنفل	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	<i>F. oxysporum</i> (non-pathogenic)
الطماطم	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>
البونسية	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Paecilomyces lilacinus</i> 6.2F
القلقل	<i>Phytophthora capsici</i>	<i>Verticillium chlamydosporium</i>

معاملات مكافحة الحيوية عن طريق التربة أو وسط الزراعة

إن من أكثر طرق المعاملة الحيوية استخداماً معاملة التربة ذاتها أو وسط الزراعة بالكائنات الدقيقة، كما يتضح فى جدول (٦-٩).

جدول (٦-٩): أمثلة لحالات عوملت فيها التربة أو وسط الزراعة بكائنات دقيقة بهدف مكافحة الحيوية للمسيبات المرضية التى تعيش فى التربة (عن Whipps ١٩٩٧).

العائل	المسبب المرضى أو المرض	الكائن المستخدم فى مكافحة الحيوية
البرسيم الحجازى	<i>Phytophthora medicaginis</i>	<i>Bacillus cereus</i> UW85
فول الصويا	<i>Phytophthora sojae</i>	
الفاصوليا	<i>Fusarium solani</i>	Root rot complex present in soil
	f. sp. <i>phaseolina</i>	
	<i>Pythium ultimum</i>	
	<i>Rhizoctonia solani</i>	
التفاح	<i>Phytophthora cactorum</i>	<i>B. subtilis</i> spp.

العائل	المسبب المرضي أو المرض	الكائن المستخدم في مكافحة الحبيوية
التفاح	Apple replant disease	<i>B. subtilis</i> EBW4
فاصوليا المنج	<i>Fusarium</i> spp.	Root rot complex present in soil
الباميا	<i>Macrophomina</i>	
فول الصويا	<i>phaseolina</i>	
دوار الشمس	<i>Rhizoctonia solani</i>	
القطن	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Enterobacter agglomerans</i>
التفاح	<i>Phytophthora cactorum</i>	<i>Enterobacter aerogenes</i> B8
الخنس	<i>Pythium ultimum</i>	<i>E. cloacae</i>
Creeping bentgrass, annual blue grass	<i>Sclerotinia homoeocarpa</i>	<i>E. cloacae</i>
الخيار	<i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>Pseudomonas</i> spp.
القطن	<i>Pythium ultimum</i>	
القطن	<i>Rhizoctonia solani</i>	
الأسبرجس	<i>Phytophthora megasperma</i>	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> PA147-2
البرؤطية	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	<i>Pseudomonas cepacia</i>
الخيار	<i>Pythium ultimum</i>	
القطن	<i>Rhizoctonia solani</i>	
الفاصوليا	<i>Sclerotium rolfsii</i>	
القطن	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>P. cepacia</i> 89 G-120
الخيار	<i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>Pseudomonas corrugate</i>
القمح	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>P. corrugate</i> 2140
الخيار	<i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
الخيار	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	<i>P. fluorescens</i> CHA0
القمح	<i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i>	
الخيار	<i>Phomopsis sclerotioides</i>	

العائل	المسبب المرضي أو المرض	الكائن المستخدم في مكافحة الحيوية
الكرسون الخيار الذرة القمح	<i>Pythium ultimum</i>	
الذرة	<i>Rhizoctonia solani</i>	
التبغ	<i>Thielaviopsis basicola</i>	
الخيار	<i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>P. fluorescens</i> CH33
الجكراندا	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	<i>P. fluorescens</i> M24
القرنفل	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	<i>P. fluorescens</i> WCS417r
الفجل	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>raphani</i>	
القرنفل	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	<i>Pseudomonas putida</i> WCS358
فاصوليا النج الباميا فول الصويا نوار الشمس	<i>Fusarium</i> spp. <i>Macrophomina</i> <i>phaseolina</i> <i>Rhizoctonia solani</i>	Root rot complex present in soil
الفلفل	Damping-off	<i>Streptomyces griseoviridis</i> الفطريات
البصل	<i>Sclerotium cepivorum</i>	<i>Chaetomium globosum</i>
بنجر السكر	<i>Pythium ultimum</i>	<i>Chaetomium flobosum</i> Cg-13
الباذنجان	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Cladorrhinum foecundissimum</i>
الفلفل بنجر السكر الجزر الخنس	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Coniothyrium minitans</i>
نوار الشمس	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Coniothyrium minitans</i> (± <i>Talaromyces flavus</i>)
Creeping bentgrass	<i>Sclerotinia homoeocarpa</i>	<i>Fusarium heterosporum</i>

العائل	المسبب المرضي أو المرض	الكائن المستخدم في مكافحة الحيوية
الخيار	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> (non-pathogenic)
القرنفل	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	
الطماطم	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	<i>F. oxysporum</i> Fo47 (non-pathogenic)
البصلة	<i>F. solani</i>	
الكتان	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lini</i>	(± <i>Pseudomonas</i> spp.)
الطماطم	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	(± <i>Pseudomonas</i> CT)
القرنفل	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	(± <i>Pseudomonas</i> WCS358)
الطماطم	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	<i>F. oxysporum</i> MT0062 (non-pathogenic)
الباذنجان	<i>Verticillium dahliae</i>	
القرنفل	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	<i>F. oxysporum</i> 618-12 (non-pathogenic)
البصلة	<i>F. solani</i>	
البطيخ	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> (non-pathogenic)
القمح	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>graminis</i>
القمح	<i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>G. graminis</i> var. <i>graminis</i> (± <i>Pseudomonas</i> spp.)
	<i>Verticillium dahliae</i>	<i>Gliocladium roseum</i>
الفاصوليا	<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i>	Root rot complex present in soil
	<i>Pythium ultimum</i>	
	<i>Rhizoctonia solani</i>	
التفاح	<i>Phytophthora cactorum</i>	<i>G. virens</i>
التفاح	<i>Rhizoctonia solani</i>	
الجزر		
الفاصوليا	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>G. virens</i> GL-3

العائل	المسبب المرضي أو المرض	الكائن المستخدم في مكافحة الحيوية
الزينية الجزر	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>G. virens</i> GL-21
الخيار	<i>Pythium ultimum</i>	<i>G. virens</i> G2
القطن	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>G. virens</i> G-6
الخس الزينية	<i>Pythium ultimum</i>	<i>G. virens</i> G20 (= GL21)
الأناناس	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	<i>Glomus</i> sp.
الهيل (الخبهان)	<i>Fusarium moniliforme</i>	<i>Glomus fasciculatum</i>
القطيفة	<i>Pythium ultimum</i>	<i>G. intraradices</i>
القطيفة	<i>Pythium ultimum</i>	<i>G. mosseae</i>
تتوب بوجلاس	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Laccaria bicolor</i>
القطن	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Laetisaria arvalis</i>
الخس الفجل بنجر السكر	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>	<i>Limonomyces roseipellis</i>
<i>Pinus</i>	<i>Fusarium moniliforme</i>	<i>Paxillus involutus</i>
<i>resinosa</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	
الآزلية	<i>Phytophthora</i> spp.	<i>Penicillium funiculosum</i>
البرتقال الحلو		
الطماطم	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	<i>Penicillium oxalicum</i>
القمح	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>Phialophora</i> sp.
<i>Catharanthus roseus</i>	<i>Phytophthora parasitica</i>	<i>Phytophthora parasitica</i> var. <i>nicotianae</i>
الجزر	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Pythium acanthicum</i>
الآزلية	<i>Phytophthora</i> spp.	<i>Pythium nunn</i>
البرتقال الحلو		
الخيار	<i>Pythium ultimum</i>	<i>Pythium nunn</i> (\pm <i>Trichoderma harzianum</i> T-95)

العائل	المسبب المرضي أو المرض	الكائن المستخدم في مكافحة الحويبة
الكروون	<i>Pythium ultimum</i>	<i>Pythium oligandrum</i>
الفلفل	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Rhizoctonia (binucleate)</i>
الخيار		
البطاطس		
الخس	<i>Sclerotinia minor</i>	<i>Sporidesmium sclerotivorum</i>
القمح	<i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i>	Sterile red fungus
البانجان	<i>Verticillium dahliae</i>	<i>Talaromyces flavus</i>
نوار الشمس	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Talaromyces flavus</i> (± <i>Coniothyrium minitans</i>)
البانجان	<i>Verticillium dahliae</i>	<i>Talaromyces flavus</i> Tf-1
البصل	<i>Sclerotium cepivorum</i>	<i>Trichoderma</i> sp. C62
القمح	<i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>Trichoderma</i> spp.
التفاح	<i>Phytophthora cactorum</i>	
الجريارة	<i>Phytophthora cryptogea</i>	
الخيار	<i>Pythium ultimum</i>	
الخس	<i>Rhizoctonia solani</i>	
الفجل	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Trichoderma hamatum</i>
	<i>Fusarium graminearum</i>	<i>Trichoderma hazianum</i>
	<i>Glomerella glycines</i>	
	<i>Macrophomina phaseolina</i>	
الخس	<i>Pythium ultimum</i>	<i>Trichoderma hazianum</i>
الطماطم	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	<i>T. harzianum</i> MTR 35
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>T. harzianum</i> ThzID1
الخيار	<i>Pythium ultimum</i>	<i>T. harzianum</i> T-95 (± <i>Pythium nunn</i>)
الطماطم	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Trichoderma koningii</i>
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
	<i>Typhula</i>	} Both pathogens present
	<i>ishikariensis</i>	
	<i>Typhula incarnata</i>	
البطاطس	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Verticillium biguttatum</i>

صلاحيه مختلف كائنات المكافحه الحيويه لمختلف طرق المعامله

يتبين من جداول (٦-٧)، و (٦-٨)، و (٦-٩) عددًا من الأمور، كما يلي:

١- تعد البكتيريا *Pseudomonas spp.* أكثر الأنواع البكتيرية انتشارًا أيًا كانت طريقة استعمالها.

٢- يتكرر كذلك ذكر عزلات من كل من *Bacillus spp.* و *Entrobacter spp.* و *Streptomyces spp.* ولكن بدرجة أقل، كما لم تنجح المعاملة بـ *Entrobacter spp.* - مباشرة - للجذور أو العقل.

٣- ذكر عدد آخر كبير من الأنواع البكتيرية، ولكن بصورة غير متكررة.

٤- تُعدُّ معاملة البذور أفضل طريقة للمعاملة بالبكتيريا، بينما تعد معاملة التربة، وبيئة الزراعة، والجذور، والعقل أفضل طريقة للمعاملة بالفطريات.

٥- تُعدُّ أكثر الفطريات نجاحًا: *Gliocladium spp.* و *Trichoderma spp.* وهما اللذان تعامل بهما البذور والتربة وبيئات الزراعة.

٦- كثيرًا ما استعملت عزلات الفيوزارييم غير المرضية في معاملة التربة وبيئات الزراعة والجذور والعقل، ولكن لا تعامل بها البذور.

٧- كذلك ينجح استعمال أنواع من جنس الميكوريزا *Glomus* حيث تُعامل به التربة أو بيئات الزراعة (Whipp ١٩٩٧).

التحضيرات المستخدمة فى المكافحه الحيويه للأمراض

إن التحضيرات التجارية المستخدمة فى المكافحه الحيويه للأمراض كثيرة ومتنوعة، ولقد أسلفنا الإشارة إلى عديد من تلك التحضيرات خلال استعراضنا للكائنات المستخدمة فى المكافحه الحيويه فى هذا الفصل. ونقدم فى جدول (٦-١٠) عرضًا لنوعيات المنتجات التجارية المتداولة، وما تحتويه من كائنات دقيقة، وفى أى المحاصيل والأمراض تستخدم.

Whipps جدول (٦-١٠): أمثلة لكائنات دقيقة استخدمت في محضرات تجارية لأجل مكافحة الجيرة للمبيبات المرضية التي تعيش في التربة (عس) ١٩٩٧.

الكائن المستخدم في مكافحة الجيرة المسبب المرض المستهدف المرض والعائل المنج التجاري والشركة المنتجة له

الكائن المستخدم في مكافحة الجيرة	المسبب المرض المستهدف	المرض والعائل	المنج التجاري والشركة المنتجة له
بكتيريا <i>Agrobacterium radiobacter</i>			
Diegall (Fruit Growers Chemical Co., NZ); Galltrol (AgBio Chem, Inc., CA, USA); NoGall (Root Nodule Pty Ltd, Bio-Care Technology Pty Ltd, Australia); Norbac 84-C (New BioProducts Inc., CA, USA) (Chinese Government)	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	الثآليل التاجي في الصليبيات الأرز ومحاصيل أخرى	
Kodiak (A-13) and Epic (MBI600) (Gustafson, Inc., TX, USA)	<i>Pythium ultimum</i> ; <i>Bacillus subtilis solani</i> ; <i>Rhizoctonia solani</i> ; <i>Fusarium</i> spp.; growth promotion	الذبول الطرى وعفن الجذور في القطن والبقوليات	
Bactophyt (NPO Vector, Novosibirsk, Russia)	Various fungi	الذبول الطرى	
System 3 (GB03) (Helena Chemical Co., TN, USA)	Seedling pathogens	المحاصيل الخضرية	
Intercept (Soil Technologies, Fairfield, IA, USA)	<i>Fusarium</i> spp., <i>Pythium Pseudomonas</i> (Burkholderia) spp.; <i>Rhizoctonia solani</i> cepacia	القطن والذرة والخضر	
Blue Circle and Deny (CTT Corporation, Carlsbad, CA, USA)	<i>Fusarium</i> spp.; <i>Pythium</i> spp.; <i>Rhizoctonia solani</i>	بذور الخضر	
BioCoat (S&G Seeds, BV, the Netherlands)	<i>Fusarium oxysporum</i> f. <i>Pseudomonas fluorescens</i> sp. <i>raphani</i>	الذبول الطرى في الفجل	

الكائن المستخدم في مكافحة الطفوية السبب المرضي المستهدف المرض والمعالج المنع التجاري والشركة المنتجة له

PSSOL (Natural Plant Protection, Nogueres, France)	الخضر <i>Pseudomonas solanacearum</i>	<i>Pseudomonas solanacearum</i> (non-pathogenic)
Mycostop (K61) and Stimagrow (Kemira Agro Oy, Helsinki, Finland)	نباتات الربية والخضر <i>Fusarium</i> spp; <i>Pythium Streptomyces griseoviridis</i> spp. and others	
Comiohyrin (Russian Government)	دوار الخمس <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Coniothyrium minitans</i>
Contans (Prophyta Biologischer Pflanzenschutz GmbH, Germany)	الخضر والمحاصيل الحقلية <i>Sclerotinia minor</i> ; <i>S. sclerotiorum</i>	
-(Japanese Government)	الذبول الفيوزاري في البطاطا <i>Fusarium oxysporum</i> f. <i>Fusarium oxysporum</i> (non-pathogenic)	<i>sp. batatas</i>
Fusacleen (F047) (Natural Plant Protection, Nogueres, France)	الذبول الفيوزاري في الطماطم والقرنفل <i>Fusarium oxysporum</i>	
Biofox-C (S.I.A.P.A., Bologna, Italy)	الذبول الفيوزاري في الريحان والقرنفل والطماطم	
-(Bio-Care Technology, Pty Ltd, Australia)	مرض take-all في القمح <i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>graminis</i>
Primastop (Kemira Agro Oy, Helsinki, Finland)	الخضر <i>Pythium</i> spp.	<i>Gliocladium catenulatum</i>
GlioGard and SoilGard (GL-21) (Grace-Sierra Co., MD, USA)	الذبول الطري في نباتات الحدائق <i>Pythium Rhizoctonia solani</i>	<i>ulimum</i> ; <i>Gliocladium virens</i>
Pg suspension (Ecological) Laboratory Ltd, UK), Rotstop (Kemira Agro Oy, Helsinki, Finland)	عفن الساق والجذر في الصنوبر <i>Heterobasidium annosum</i>	<i>Peniophora (Phlebia) gigantea</i>

المتج التجاري والشركة المنتجة له المرض والعاقل السبب المرضي المستهدف الكائن المستخدم في مكافحة الجيوية

(Bio-Care Technology, Pty Ltd, Australia)	مرض take-all في القمح	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>Phialophora</i> sp.
Polygandron (Vyzkumny ustov rastlinnej, Slovak Republic)	الذبول الطرى فى بنجر السكر	<i>Pythium ultimum</i>	<i>Pythium oligandrum</i>
Trichodermin (Bulgarian and Soviet Governments)	الخضر والفاكهة	<i>Botrytis</i> , <i>Pythium</i> , <i>Trichoderma</i> spp.	<i>Trichoderma</i> spp.
Promot (J. H. Biotech, Inc, Ventura CA, USA); Solsain, Hors-solsain, Plantsain (Prestabiol, Montpeller, France)	الخضر والفاكهة	<i>Sclerotinia</i> and <i>Verticillium</i> spp.	<i>Trichoderma</i> spp.
ANTI-FUNGUS (Grondontsmettingen De Ceuster, Belgium)	نباتات الشاتل	Various fungi	
TY (Mycontrol, Israel)	المحاصيل الحقلية والخضر	<i>Pythium</i> spp.; <i>Rhizoctonia solani</i>	
F-Stop (TGT, INC., NY, USA)	الذبول الطرى وعفن الجذور فى الخضز	<i>Pythium</i> spp.; <i>Rhizoctonia solani</i> ; <i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Trichoderma harzianum</i>
T-22G and T-22HB (TGT, Inc., NY, USA)	محاصيل حقلية ونباتات زينة وبسطات خضراء	<i>Fusarium</i> spp.; <i>Pythium ultimum</i> ; <i>Rhizoctonia solani</i> ; <i>Sclerotinia homeocarpa</i>	
		Various fungi	

المتح الجارني والشركة المنتجة له	المرض والمائل	السبب المرضي المستهدف	الكائن المستخدم في الكفافحة الطبيعية
Supraavit (Bonegaard and Reitzel, Denmark)	المحاصيل الحقلية والخضر	<i>Fusarium</i> spp.;	
T-35 (Makhleshim, Israel)		<i>Rhizoctonia solani</i>	
Harzian 20 (Natural Plant Protection, Noguerres, France)	فطر العسل بالأخضر	<i>Armillaria mellea</i>	
Harzian 10 (Natural Plant Protection, Noguerres, France)	الخضمر والفاكهة	<i>Pythium</i> spp.; <i>Sclerotinia</i> spp.	
BINAB-T and W (Bio-Innovation AB, Toreboda Sweden)	فطر العسل بالأخضر	<i>Armillaria mellea</i>	<i>T. harzianum</i> + <i>T. polysporum</i>
	عفن المساق والجذور في الصنوبر	<i>Heterobasidium annosum</i>	
Trichodowels, Trichoject and Trichoseal (Agrimm Technologies Ltd, New Zealand)	مرض الورقة الغضبية في الفاكهة ذات النواة الحجرية	<i>Chondrostereum purpureum</i>	<i>T. harzianum</i> + <i>T. viride</i>
Trichopel (Agrimm Technologies Ltd, New Zealand)	عدة عوائل	Various fungi	
Bip T (Poland)	نباتات الزينة	<i>Phytophthora</i> spp.	<i>Trichoderma viride</i>
Vaminoc (AGC Microbio, Cambridge, UK)	الخيار	<i>Pythium</i> spp.;	Vesicular-arbuscular mycorrhizas
	promotion	growth	

كذلك نقدم فى جدول (٦-١١) بياناً بالمنتجات التجارية المستخدمة فى مكافحة الحيوية والتي تحتوى بكتيريا من الجنس *Bacillus*، وخاصة *B. subtilis*. وجدير بالذكر أن المنتج التجارى كوديالك Kodiak الذى يحتوى على البكتيريا *B. subtilis* يستخدم فى نحو ٦٠-٧٥٪ من مساحة القطن فى الولايات المتحدة (إحصائيات ١٩٩٧)، للوقاية من الإصابة بكل من الفيوزاريوم والرايزكتونيا (Zehnder وآخرون ٢٠٠١).

ومن بين المنتجات التجارية الأخرى المستخدمة فى مكافحة الحيوية ما يلى (عن Ristaino & Thomas ١٩٩٧):

الكائن الدقيق والمنج التجارى

المحصول والمسبب المرضى المستهدف

التلال التاجى الذى تسببه البكتيريا <i>A. tumefaciens</i> بأشجار الفاكهة والفجل وبشتلات نباتات الزينة	<i>Agrobacterium radiobacter</i> : GallTrol-A
معاملة بنور الذرة والقطن والخضر البقولية والبقول السودانى وفول الصويا والقمح والشعير لأجل مكافحة كل من الفطريات <i>Rhizoctonia solani</i> ، و <i>Fusarium</i> spp.، و <i>Alternaria</i> spp.، و <i>Aspergillus</i> spp.	<i>Bacillus subtilis</i> MBI600: Epic-Gus 376 Concentrate Biological Fungicide
مكافحة كلا من <i>Botrytis</i> spp.، و <i>Penicillium</i> spp. بثمار الحمضيات والتفاحيات	<i>Candida oleophila</i> I-182: Aspire
مكافحة الـ <i>Pythium</i> ، و <i>Rhizoctonia</i> فى مخاليط الزراعات المحمية للأرضية، كما يقيد كذلك فى مكافحة <i>Sclerotium rolfsii</i> تحت ظروف الحقل.	<i>Gilocladium virens</i> GL-21: Soil Gard
مكافحة الـ <i>Meloidogyne</i> ، و <i>Heterodera</i> ، و <i>Globodera</i> ، و <i>Pratylenchus</i> ، و <i>Xiphinema</i> ، و <i>Tylenchulus semipenetrans</i> وغيرها فى جميع المحاصيل الحقلية والبستانية	<i>Myrothecium verrucaria</i> : DiTerra
مكافحة البثيم والرايزكتونيا فى القطن	<i>Pseudomonas fluorescens</i> EG-1053 Dagger
مكافحة التلطح البكتيرى فى عيش الغراب الذى تسببه البكتيريا <i>Pseudomonas tolaasii</i> ، وذلك بمعاملة الكومبوست بمراقد الزراعة	<i>Pseudomonas fluorescens</i> NCIB 12089 Victus

المحصول والمسبب المرضي المستهدف

الكائن الدقيق والمنتج التجارى

مكافحة الرايزكتونيا والبثيم والفيوزارييم ونيماتودا التقرح والحلزونية spiral، واللاسعة sting، والرمحية lance فى اليرسيم الحجازى والفاصوليا ولقت الزيت والجزر والثوم والصليبيات والذرة والقطن والحبوب والخس والكتنالوب والبطاطس والكوسة وبنجر السكر ودوار الشمس والذرة الرفيعة وفول الصويا والظماطم.

مكافحة *P. italicum*، و *Pencillium expansum*، و *Mucor*، *Botrytis cinerea*، و *P. digitatum* و *pyriformis* و *Geotrichum candidum* بالتفاح والليمون الحلو والجريب فروت والكمثرى والبرتقال أثناء التخزين.

مكافحة الفطريات *Fusarium*، و *Alternaria*، و *Botrytis*، و *Phomopsis*، و *Pythium*، و *Phytophthora* فى المحاصيل الحقلية والخضر ونباتات الزينة تحت ظروف الحقل والزراعات المحمية.

لمكافحة الفطريات *Pythium*، و *Rhizoctonia solani*، و *Fusarium* و *Sclerotinia homoeocarpa* فى الفاصوليا والكرنب والذرة والقطن والخيار ونباتات الزينة فى الزراعات المحمية، والفاصول السوداني والبطاطس والذرة الرفيعة وفول الصويا وبنجر السكر والظماطم والمسطحات الخضراء.

Burkholderi (Pseudomonas) cepaci type

Wisconsin: Deny (Blue Circle: سابقاً)

SM PcpWi

Pseudomonas syringae: ECC-10, ESC-

11

Bio-Save 10

Bio-Save 11

Streptomyces griseoviridis K61:

Mycostap

Trichoderma harzianum T-22 (KRL-

AG2):

Rootshield

Biotrek (F-Stop: سابقاً)

ويتوفر الفطر *Trichoderma harzianum* فى المنتج التجارى Tricodex على صورة

مسحوق قابل للبلل، ويستخدم فى مكافحة الفطر *Botrytis cinerea* فى الفراولة.

المفهوم الخاطئ لبعض جوانب مكافحة الحيوية

يرفض Harman (٢٠٠٠) رفضاً قاطعاً ما يشاع على نطاق واسع بشأن الكائنات

الحية المستخدمة فى مكافحة الحيوية، والتي من بين ما يُقال عنها ما يلى:

جدول (٦-١): أمثلة لبعض المنتجات التجارية المستخدمة في مكافحة الحورية وتحتوى على البكتيريا *Bacillus spp.* (عن Schisler وآخرين ٢٠٠٤).

المستهدف بالكافحة	الصورة التي يتوفر عليها	محتواه من <i>Bacillus</i>	الشركة المنتجة	المنتج التجارى
من فطريات وبكتيريا على عديد من الخضر والفاكهة	مسحوق قابل للبلل ومعلق مائى	<i>B. subtilis</i> QST 713	AgraQuest, Davis, CA	Serenade
<i>Sclerotinia</i>	معلق مركز	<i>B. licheniformis</i> SB3086	Novozymes, Salem, VA	EcoGuard
<i>homoeocarpa</i>				
المسطحات الخضراء	مسحوق قابل للبلل	<i>B. subtilis</i> GB03	Gustafson, Plano, TX	Kodiak
فطريات على القطن والبقول ذات البذور الكبيرة وفول الصويا	مركز، ومعلق مركز			
فطريات على فول الصويا	مسحوق قابل للبلل مركز	<i>B. pumillius</i> GB34	Gustafson	Yield Shield
فطريات على النباتات الكثرة خضرياً بالمثل فى المشاتل	قشور جافة	<i>B. amyloliquifaciens</i>	Gustafson	Bio Yield
فطريات على القطن والبقول	مسحوق قابل للبلل مركز	GB99 + <i>B. subtilis</i> GB122		
ذات البذور الكبيرة وفول الصويا	مسحوق قابل للبلل مركز	<i>B. subtilis</i> MB1600	Beker Ames, IA	Underwood, Subtilex
فطريات على فول الصويا	معلق مركز	<i>B. subtilis</i> MB1600	+ Beker Underwood	Hi Stick L + Subtilex
والفول السوداني	<i>rhizobium</i>			

- ١- تُعد الكائنات المستخدمة في مكافحة الحيوية أقل كفاءة من استخدام المبيدات، ولا يمكن الاعتماد عليها بنفس درجة الاعتماد على المبيدات.
- ٢- لا تؤثر الكائنات المفردة المستخدمة في مكافحة الحيوية - والتي تعامل بها الجذور أو التربة - في الكائنات الدقيقة، أو تسهم في مكافحة مسببات الأمراض التي تصيب الجذور لفترة طويلة من الوقت. ومن هذا المنطلق فإن مكافحة الحيوية غالبًا ما تكون مؤثرة في أمراض البذور والبادرات، وليس ضد أمراض النباتات البالغة.
- ٣- لا يمكن أن تكون الكائنات المفردة المستخدمة في مكافحة الحيوية فعالة في مختلف البيئات، أو مع مختلف الأنواع النباتية، أو ضد مدى واسع من مسببات الأمراض النباتية. ومن هذا المنطلق فإن الأمر يتطلب استعمال خليطاً من تلك الكائنات للحصول على مكافحة ناجحة لفترة طويلة؛ نظراً لأن الكائنات المختلفة تستعمر محاصيل مختلفة، وتتأقلم على بيئات مختلفة، وتؤثر بطرق مختلفة.
- ٤- تعمل الكائنات المستخدمة في مكافحة الحيوية من خلال آليات بسيطة يتحكم فيها جين واحد أو عدد قليل من الجينات ومنتجات تلك الجينات.
- ٥- من السهل تسجيل الكائنات المستخدمة في مكافحة البيولوجية، حيث يتم ذلك بسرعة، وبسر، وتكلفة قليلة.

وقد قدم Hartman (٢٠٠٠) من القرائن والأدلة ما يُفند كل تلك الأمور ورفض قبولها أو التسليم بها.

آليات فعل الكائنات المستخدمة في مكافحة الحيوية

الميكوديما

إن سلالات *Trichoderma harzianum* - وحدها - يمكن أن تؤدي فعلها في مكافحة الحيوية بأى من الآليات التالية:

١- التطفل على الفطريات Mycoparasitism:

تتضمن عملية التطفل نمو الميكوديما نحو الفطر المستهدف، ثم الالتفاف حوله، ثم

مهاجمته وتحليل جدر الفطر المستهدف إنزيمياً، مع اختراق فيزيائي لخلاياه. ولقد اقترح إسهام عدة جينات ومنتجات جينية فى تلك العملية.

٢- التضادية الحيوية Antibiosis:

تفرز فطريات الميكوريزا ما لا يقل عن ٤٣ مركباً ذات نشاط مضاد حيويًا ليس منها الإنزيمات، وهى تتضمن:

alyl pyrones	isonitriles
polyketides	peptaibols
diketopiperazines	sesquiterpenes
steroids	

هذا .. إلا أن مختلف سلالات الميكوريزا تختلف فى إنتاجها لمختلف مضادات الحيوية؛ فمثلاً .. يعد الـ gliotoxin ضرورياً لنشاط وفعل *T. virens* (الذى يُحضر منه المنتج التجارى SoilGard، ولكنه لا ينتج بواسطة *T. harzianum* Harman وآخرون ٢٠٠٠).

إن آليات التضادية ومستوى المكافحة الحيوية الذى توفره الميكوريزا *Trichoderma* spp. يعتمد على نوع الترايكودرما والعزلة المستخدمة، والمسبب المرضى المطلوب مكافحته والنوع المحصولى، وبما إذا كان المرض فى الحقل أو فى الزراعات المحمية أو المخازن.

وتعتبر الإنزيمات المحللة التى يفرزها فطر الترايكودرما خارجياً من العوامل الهامة المحددة لقدرة التضادية فى تلك الفطريات. ومن أمثلة ذلك الإنزيمان Endo-1,3-β-glucanase و cellulose اللذان يلعبان دوراً بارزاً فى تضادية الفطر *Pythium* (عن Thrane وآخريين ٢٠٠٠).

إن فطر الميكوريزا *Trichoderma harzianum* يلعب دوره فى المكافحة الحيوية عن طريق ما يفرزه من مضادات حيوية وإنزيمات محللة للجدر الخلوية، مثل الـ chitinases، والـ 1,3-β-glucanases، والـ proteases، والـ mannanases وغيرهم. ولقد أمكن تحويل سلالة الفطر CECT 2413 وراثياً بالجين Cit33 فأصبحت قادرة على

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستنخثة بيولوجيا ضد الأمراض

زيادة التعبير عن الـ 33-kDa chitinase بمقدار ٢٠٠ مرة عن السلالة العادية عند نموها على الجلوكوز، وكانت السلالة المحولة وراثياً أكثر كفاءة في تثبيط الفطر *Rhizoctonia solani* عن السلالة العادية (Limón وآخرون ١٩٩٩).

كما أمكن تحسين المقاومة في النباتات بتحويلها وراثياً بجينات من فطر الميكوريزا *Trichoderma harzianum*؛ حيث نقل منه جين يشفر لتمثيل مضاد قوى للـ endochitinase الفطرى إلى كل من التبغ والبطاطس، وكانت مستويات التعبير للجين المنقول عالية في مختلف الأنسجة النباتية، ولم يكن للتحويل الوراثى أى تأثيرات منطوية على نمو وتطور النباتات المحولة وراثياً. ولذا أمكن انتخاب سلالات محولة وراثياً كانت مقاومة كلية لكل من *Alternaria alternata*، و *A. solani*، و *Botrytis cinerea*، و *Rhizoctonia solani* (Lorito وآخرون ١٩٩٨).

٣- التنافس Competition مع الكائنات الممرضة:

على الرغم من شيوع الاعتقاد بأهمية التنافس كآلية من آليات فعل كائنات المكافحة الحيوية، إلا أنه يصعب إثبات ذلك.

٤- زيادة قدرة النباتات على تحمل عوامل الشد البيئى والبيولوجى من خلال تحفيز النمو الجذرى.

٥- تيسير وخلق العناصر المغذية غير العضوية وتوفيرها للنباتات.

نجد - على سبيل المثال - أن بكتيريا الزيدوموناس *Pseudomonas* spp تُنتج مركبات (تعرف باسم siderophores) ذات قدرة عالية على خلب الحديد إليها؛ مما يجعله غير ميسر لمسببات الأمراض النباتية؛ فيقل نشاطها، ولكن الجذور النباتية يمكنها امتصاص الحديد على تلك الصورة مباشرة أو بعد اختزاله من الصورة Fe^{3+} إلى Fe^{2+} .

٦- حث المقاومة الجهازية:

لكثير من الكائنات المستخدمة في المكافحة الحيوية قدرة عالية على حث آلية المقاومة الجهازية في النبات. فمثلاً تؤدي المعاملة بالسلالة T39 من *T. harzianum* (وهى التى يتكون منها المنتج التجارى Trichodex) إلى إكساب النباتات مقاومة ضد *B. cinerea* فى أوراق بعيدة عن موقع المعاملة بالترايكودرما.

٧- تثبيط فعل إنزيمات المسببات المرضية:

نجد - على سبيل المثال - أن *B. cinerea* يعتمد فى تطفله على ما يفرزه من إنزيمات pectolytic، و cutinolytic، و cellulolytic، إلا أن كونيديات بعض سلالات *T. harzianum* - مثل T39 - تنتج لدى معاملة الأوراق بها إنزيم serine protease يكون قادراً على تحليل إنزيمات *B. cinerea* التى تحلل الجدر الخلوية للنبات العائل؛ ومن ثم تقلل من قدرته على إصابة النبات (Harman وآخرون ٢٠٠٠).

وإجمالاً .. يمكن القول بأن الميكوحدوماً تفيد فى حماية النباتات من بعض الإصابات المرضية من خلال محدة ألبانت، كما يلى:

- ١- تحسين التغذية المعدنية للنباتات.
- ٢- تعويض الأضرار التى تحدث للجذور.
- ٣- منافسة المسببات المرضية على استعمار الجذور ومواقع الإصابة فيها.
- ٤- إحداث تغيرات تشريحية ومورفولوجية فى المجموع الجذرى.
- ٥- إحداث تغيرات فى العشائر الميكروبية بالمحيط الجذرى.
- ٦- تنشيط آليات الدفاع النباتية (عن Harrier & Watson ٢٠٠٣).

المضادات الحيوية

تنتج البكتيريا *Streptomyces griseus* كلا من المضادين الحيويين: السيكلوهكيساميد cycloheximide والاستربتومايسين streptomycin، ويستخدم الأول فى تحضيرات تجارية لأجل مكافحة الحيوية للفطريات (Sharvelle ١٩٧٩).

ومن أمثلة المضادات الحيوية ومضادات الأيض الفطرية (بخلاف خالبات العناصر والإنزيمات التى تفرزها أنواع بكتيرية متنوعة قد تلعب دوراً فى مكافحة الحيوية تلك المبيئة فى جدول (٦-١٢).

ومن الأمثلة الأخرى فى هذا الشأن، ما يلى:

أظهرت الدراسات أن السلالة RB14 من *Bacillus subtilis* تنتج مضادين حيويين،

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستحقة بيولوجيا ضد الأمراض

هما: inturin A، و surfactin، وأنهما يلعبان دوراً أساسياً في تثبيط الإصابة بالذبول الطرى الذى يسببه الفطر *Rhizoctonia solani* (Asaka & Shoda 1996).

جدول (٦-١٢): أمثلة لمضادات حيوية أو مضادات فطرية أيضا (بجلاف خالجات العناصر والإنزيمات) تفرزها بكتيريا ربما يكون لها دور في مكافحة الأمراض بالتربة (عن Whipps 1997).

المسبب المرضى والعائل	البكتيريا المفترزة له	المضاد الحيوى
<i>A. tumefaciens</i> on several woody species	<i>Agrobacterium radiobacter</i> K 84	Agrocin 84
<i>A. tumefaciens</i> (biovar 2)	<i>A. radiobacter</i> K434	Agrocin 434
<i>A. tumefaciens</i>	<i>A. radiobacter</i> K84 and K1026	ALS 84
<i>Phytophthora cactorum</i>	<i>Bacillus cereus</i> UW85	Ammonia
<i>Pythium ultimum</i> on several plant species	<i>Enterobacter cloacae</i>	
<i>Pythium ultimum</i> on sugar beet	<i>Pseudomonas</i> sp. F113	2,4-diacetyl phoroglucinol
<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i> on wheat	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> Q2-87	
<i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i> on wheat	<i>Pseudomonas fluorescens</i> GHA0	
<i>Thielaviopsis basicola</i> on tobacco		
<i>Thielaviopsis basicola</i> on tobacco	<i>Pseudomonas fluorescens</i> CHA0	HCN
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> on sunflower	<i>Pseudomonas cepacia</i> J82	Monochloroaminopyrrolinitrin
<i>Pythium ultimum</i> on cotton	<i>Pseudomonas fluorescens</i> HV37a	Oomycin A
<i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i> on wheat	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 2-79	Phenazine-1-carboxylic acid
<i>G. graminis</i> var. <i>tritici</i> on wheat	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 30-84	
<i>Pythium ultimum</i> on cotton	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Pyoluteorin
<i>Pythium ultimum</i> on cress	<i>Pseudomonas fluorescens</i> CHA0	

المسبب المرضي والعائل	البكتيريا المفترزة له	المضاد الحيوي
<i>Pythium ultimum</i> on cress	<i>Pseudomonas fluorescens</i> Pf-5	
<i>Fusarium sambucinum</i> dry rot of potato	<i>Pseudomonas cepacia</i> B37W	Pyrrolnitrin
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> on sunflower	<i>Pseudomonas cepacia</i> J82	
<i>Rhizoctonia solani</i> on radish	<i>Pseudomonas cepacia</i> RB425	
<i>Rhizoctonia solani</i> on cotton	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	
<i>Phytophthora medicaginis</i> seedling disease of alfalfa	<i>Bacillus cereus</i> UW85	Zwittermycin A
<i>P. medicaginis</i> seedling disease of alfalfa	<i>Bacillus cereus</i> UW85	Unknown antibiotic B
<i>Phytophthora megasperma</i> root rot of asparagus	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> PA147-2	Unknown antibiotic

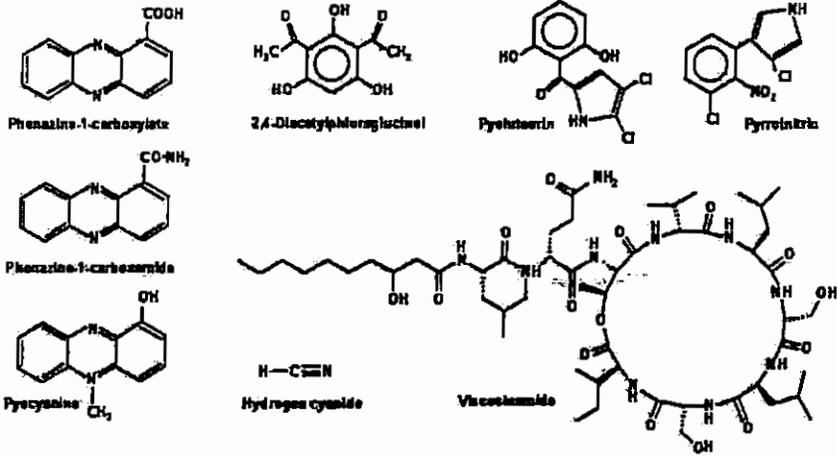
● تعد بعض سلالات الـ pseudomonads الفلورية من المكونات البيولوجية الهامة في الأراضي الزراعية المثبطة للأمراض التي تسببها الفطريات الممرضة للمحاصيل الزراعية. وتعتمد خاصية المكافحة الحيوية لتلك السلالات على قدرتها على استعمار جذور النباتات بقوة، وحثها تكوين مقاومة جهازية بالنباتات، وإنتاجها لمركبات متطايرة مضادة للفطريات.

ومن بين المضادات الحيوية المعروفة التي لها خصائص المضادة الحيوية

خلا من (٦-١)،

phenazines	2,4-diacetylphloroglucinol
pyoluteorin	pyrrolnitrin
lipopeptides	hydrogen cyanide

(عن Haas & Keel ٢٠٠٣).



شكل (٦-١): المضادات الحيوية التي تنتجها الـ *pseudomonads* الفلوية والتي ثبت تجريبياً مساهمتها في مكافحة الحويبة للمسببات المرضية التي تعيش في التربة.

● تلعب البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* التي تنتج المضاد الحيوى 2,4-diacetylphloroglucinol (اختصاراً: 2,4-DAPG) دوراً هاماً في مكافحة الحويبة لبعض الكائنات المرضية التي تعيش في التربة، ويلعب النوع النباتى المزروع دوراً أساسياً فى ضمان استعمار تلك البكتيريا للمحيط الجذرى من عدمه (De la Fuente وآخرون ٢٠٠٦).

إنزيمات الجلوكانيز

تبين أهمية المعاملة بخليط من أكتينومييسيتات المحيط الجذرى المنافسة للفطريات فى مكافحة الفطر *Pythium aphanidermatum* مسبب مرض الذبول الطرى، وكانت أكثر الفطريات فاعلية ما يلى:

Actinoplanes philippinensis

Microbispora rosea

Micromonospora chalicea

Streptomyces griseoalbus

وقد أنتجت تلك الفطريات الإنزيمات β -1, 3-, β -1,4-, & β ,1-6-glucanases وهى التى تحلل الفطر *P. aphanidermatum* (El-Tarabily ٢٠٠٦).

المواد الناشرة المنتجة بيولوجياً

بالصدفة .. وجد أن أحد الأنواع البكتيرية - وهو *Pseudomonas aeruginosa* - ينتج مادة أو مواد ناشرة بيولوجية تُسهم في مكافحة مسببات المرضية المنتجة للجراثيم السابحة، وقد عُرِفَت تلك المركبات بأنها رامنوليبيدات rhamnolipids، وتبين أنها تُنتج بواسطة بكتيريا الـ *Pseudomonas spp.* التي تعيش في كل من المحيط الجذرى وعلى سطح الأوراق، ومن أمثلتها *P. aeruginosa*، و *P. corrugate* (عن Stanghellini & Miller 1997).

كذلك وجد أن البكتيريا *Bacillus brevis* ومستخلص نبات *Reynoutria sachalinensis* يفيدان في مكافحة الفطرين *Botrytis cinerea*، و *Sphaerotheca fuliginea* على التوالي. وللبكتيريا *B. brevis* آليتين لتأثيرها وذلك من خلال إنتاجها للـ *gramicidin S* وهو مضاد فطرى، ولادة بيولوجية ناشرة biosurfactant تعمل ضد إنبات الجراثيم الكونيدية للفطر *Botrytis cinerea* بصورة مباشرة وإلى حد ما ضد النمو الميسيليومى لكلا الفطرين. أما مستخلص نبات الـ *R. sachalinensis* فإنه يعمل بصورة غير مباشرة من خلال حث تطوير مقاومة دفاعية فى النبات (Seddon & Schmitt 1999).

التعقيم الحيوى

يوجد اتجاه نحو الاستفادة من تعقيم التربة حيويًا باستعمال بعض الكائنات الدقيقة كمبخرات. ومن أمثلة ذلك محاولة استعمال الفطر *Muscodor albus* لأجل التخلص من الفطر *Phytophthora capsici* مسبب مرض عفن الجذر والساق. أعطت المحاولة نتائج جيدة مع بعض أصناف الفلفل، وإن لم تكن فعالة مع أصناف أخرى شديدة القابلية للإصابة بالفطر، أو مع الكوسة الـ (Camp) butternut (وآخرون 2008).

التحسين الوراثى لاستجابة النباتات لأساليب مكافحة الحيوية

لقد وجدت تباينات فى كفاءة المكافحة الحيوية بين الأصناف؛ مما يدل على وجود

اختلافات وراثية فى هذا الشأن؛ الأمر الذى يمكن تحسينه من خلال برامج التربية (Smith وآخرون ١٩٩٧).

تعريف بالمقاومة المستحثة بيولوجياً

نبذة تاريخية

أجريت معظم الدراسات الأساسية على المقاومة المستحثة فى النباتات فى أوائل ستينيات القرن الماضى بواسطة A. F. Ross فى جامعة كورنل. ففى ذلك الوقت كان قد عرف أن نباتات التبغ ذات التركيب الوراثى NN تستجيب للحقن بفيروس موزايك التبغ بتفاعل فرط الحساسية، وبدلاً من أن ينتشر الفيروس جهازياً فى النبات فإنه يبقى محدوداً فى جوار الخلايا المحقونة، وهى التى تمر بأحداث متحكم فيها وراثياً تؤدى إلى موتها. وقد وجد Ross أن تلك النباتات تستجيب لحقن ثان بالفيروس ذاته بتكوين بقع أصغر مساحة وأقل عدداً بما يعنى أن الحقن الأول يكسب النباتات قدرة على إبطاء تكاثر الفيروس أو الحد منه وكذلك الحد من انتشاره فى النبات قبل اكتمال موت الخلايا. ولقد وضع Ross لظاهرة المقاومة القريبة من موقع الحقن الأول اسم "المقاومة المحلية المكتسبة" local acquired resistance، وللمقاومة البعيدة عنه اسم "المقاومة الجهازية المكتسبة" systemic acquired resistance (Murphy وآخرون ٢٠٠١).

نوعيات المقاومة المستحثة بيولوجياً

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 المرضية non-pathogens، وبكتيريا المحيط الجذرى التى تستعمر الجذور.

فبعد الإصابة بالفطريات التى تؤدى إلى موت وتحلل الخلايا فى موضع الإصابة (الإصابة بالنecrotizing pathogens) تطور كثيراً 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 resistance.

ويعرف نوع آخر من المقاومة الجهازية المستحثة فى النباتات يحدث عند عدواها بسلاسل معينة من بكتيريا المحيط الجذرى غير المرضية 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.

وإلى جانب المقاومة الجهازية المستحثة فإن أنواع أخرى من التفاعلات بين النباتات والكائنات الدقيقة المفيدة يمكن أن تقود - كذلك - إلى تطوير مقاومة جهازية واسعة المدى ضد المسببات المرضية. وعلى سبيل المثال .. يؤدي استعمار الفطر *Piniformospora indica* لجذور الأرز إلى حث النباتات على تطوير مقاومة جهازية ضد مسببات الأمراض الفطرية، وزيادة تحمل النباتات للملوحة. ويحدث الأمر ذاته فى النباتات التى تُستعمَر جذورها بالميكوريزا (Beckers & Conrath 2007).

وتختلف المقاومة المستحثة المحلية localized induced resistance عن تلك المستحثة الجهازية systemic induced resistance فى أن الأولى تبقى فيها المقاومة المستحثة محدودة فى موقع الإصابة كما فى حالة فرط الحساسية ضد فيروس موزايك التبغ فى التبغ، حيث يُعبّر عن المقاومة المحلية المكتسبة فى حلقة من الخلايا تحيط بالبقعة التى يحدث فيها تفاعل فرط الحساسية. ويعد حامض السلسيلك ضرورياً لحث المقاومة المحلية، كما هو ضرورى لحث المقاومة الجهازية (Hammerschmidt وآخرون 2001).

وتستحث بعض سلالات بكتيريا المحيط الجذرى تطوير مقاومة جهازية فى النباتات تعرف باسم rhizobacteria-mediated induced systemic resistance (اختصاراً: ISR) مماثلة لتلك التى تستحثها المسببات المرضية والتى تعرف باسم pathogen-induced systemic acquired resistance (اختصاراً: SAR).

تُنشَط بعض بكتيريا المحيط الجذرى مسار الـ SAR المعتمد على حامض السلسليك بإنتاجها لحامض السلسليك عند سطح الجذور، وفي حالات أخرى تُنشَط البكتيريا مساراً آخر لا يحتاج إلى حامض السلسليك. فمثلاً تستحث السلالة WCS417r من بكتيريا المحيط الجذرى *Pseudomonas fluorescens* الـ ISR من خلال مسارى حامض الجاسمونك والإثيلين.

وقد وجد أن كلا من الـ ISR والـ SAR يعملان مستقلين عن بعضهما البعض؛ الأمر الذى يمكن الاستفادة منه فى زيادة مستوى المقاومة النباتية ومداهما (Pieterse وآخرون ٢٠٠١).

إن المقاومة الجهازية المستحثة لا تُخلق من العدم؛ فالنباتات تكون لديها القدرة على تطوير تلك المقاومة، ولكنها لا تظهر إلا عندما تُستحث على ذلك بمركب كيميائى، أو بكائن دقيق غير ممرض، أو بسلالة غير ممرضة من مسبب مرضى، أو حتى بسلالة ممرضة من مسبب مرضى ولكن فى وجود تفاعل غير متوافق مع العائل، أو عند توفر ظروف بيئية غير مناسبة لتطور المرض.

فكل الظروف التى تحد من سرعة تطور الإصابة تجعل بالإمكان للمقاومة الجهازية المستحثة أن تستكمل وتوقف الإصابة تماماً، ويعد تكوين البقع الموضعية الصغيرة المتحللة - كما يحدث فى حالات فرط الحساسية - عاملاً مساعداً قوياً لحدوث تطوير المقاومة الجهازية.

لكن لا يشترط أن تكون المقاومة المستحثة جهازية، فهى قد تكون كذلك موضعية، والفرق بينهما أن الأخيرة تنقصها إشارة نقل المقاومة فى صورة جهازية (Van Loon وآخرون ١٩٩٨).

الكائنات المحدثة للمقاومة الجهازية المستحثة بيولوجياً

إن مستحاثات المقاومة الجهازية فى النباتات تتباين كثيراً من الفيروسات إلى آكلات الأعشاب، مروراً بعدديد من الأنواع الفطرية البكتيرية، وخاصة بكتيريا المحيط الجذرى. ولقد

أسلفنا في هذا الفصل الإشارة إلى عشرات الأنواع من الكائنات الدقيقة الفطرية والبكتيرية المستخدمة في مكافحة الحيوية، وجلها يستحث تطوير مقاومة جهازية في النباتات. ويعطى جدول (٧-١٣) قائمة بأمثلة لكائنات دقيقة أحدثت المعاملة بها حماية أو مقاومة جهازية مستحثة ضد مسببات مرضية معينة تعيش في التربة.

بكتيريا المحيط الجذرى

تشكل بكتيريا المحيط الجذرى أحد أهم فئات الكائنات الدقيقة الحائثة لتطوير تكوين المقاومة الجهازية في النباتات، ويعطى جدول (٦-١٤) عديداً من الأمثلة على ذلك.

ومن الأمثلة الأخرى على بحث بكتيريا المحيط الجذرى للمقاومة الجهازية نوردها على،

● يستحث بروتين البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* (المعروف باسم 61HrpZ_{ps} protein) تفاعل فرط حساسية في الخيار؛ يترتب عليه تطوير مقاومة جهازية مكتسبة ضد مسببات مرضية مختلفة، مثل: الفطر *Colletotrichum orbiculare* مسبب مرض الأنثراكنوز، وفيرس تحلل التبغ *tobacco necrosis virus*، والبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* مسبب مرض تبقع الأوراق الزاوى (Strobel وآخرون ١٩٩٦).

● أحدثت معاملة الفاصوليا بأى من *Trichoderma hzrzianum* T39 (المنتج التجارى Trichodex) أو *Pseudomonas aeruginosa* (السلالة KMPCH) مقاومة جهازية وفرت حماية للنباتات ضد الإصابة بالأنثراكنوز (Bigirimana وآخرون ١٩٩٧).

● أدت معاملة بذور الخيار ببكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى إلى حث تطوير مقاومة جهازية بالنباتات وفرت لها حماية من بعض الإصابات المرضية. وقد استخدم فى هذه الدراسة السلالة INR7 من *Bacillus pumilus*، والسلالة ME1 من *Curtobacterium flaccumfaciens*، والسلالة GB03 من *Bacillus subtilis*، وكان من بين الأمراض التى اختبر تأثير المعاملات عليها تبقع الأوراق الزاوى الذى تسببه البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*، والأنثراكنوز الذى يسببه الفطر *Colletotrichum orbiculare* (Raupach & Kloepper ٢٠٠٠).

جدول (٦-١٣): أمثلة لكائنات دقيقة أحدثت المصابة بها حياية أو مقاومة جهازية مستحثة ضد مسببات مرضية معينة تعيش في التربة (رض Whipps 1997)

البيات الميكروب العامل به المسبب المرض القائم الحالات التي ذكرت فيها المقاومة الجارية المستحثة

✓	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	Non-or-less-pathogenic <i>Fusarium oxysporum</i>	التزيف
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. WCS417r	الحمص
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>ciceris</i>	Non-pathogenic <i>Fusarium oxysporum</i>	الخيار
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	<i>Colletotrichum orbiculare</i>	
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	Non-pathogenic <i>Fusarium oxysporum</i>	
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i>	
✓	<i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>Pseudomonas</i> spp.	
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	<i>Pseudomonas putida</i> 89B-27	
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	Tabacco necrosis virus	
-	<i>Verticillium dahliae</i>	Non-pathogenic <i>Fusarium oxysporum</i> MT0062	البانزجان
-	<i>V. dahliae</i>	<i>Verticillium nigrescens</i>	المناع
-	<i>Fusarium solani</i>	Non-pathogenic <i>Fusarium oxysporum</i>	النبلة
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>raphani</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. WCS374	الرجل
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>raphani</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. WCS417r	
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>bataias</i>	Non-pathogenic <i>F. oxysporum</i>	البطاطا
-	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	Avirulent <i>Fusarium</i> spp.	الطماطم
-	<i>Verticillium dahliae</i>	Avirulent <i>Verticillium albo-atrum</i>	
✓	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	
-	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	Non-pathogenic <i>F. oxysporum</i> MT0062	
-	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i>	Avirulent <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	البطبخ
-	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i>	Avirulent <i>f. oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i>	
-	<i>F. oxysporum</i>	<i>Helminthosporium carbonum</i>	

المرض المقاوم	المسبب المرضي أو الآفة المقاومة	السلالة والوع البكتيري	النوع المحصولي
Vascular wilt	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>raphani</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> WCS417	<i>Arabidopsis</i>
Bacterial speck	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>		
Downy mildew	<i>Peronospora parasitica</i>		
Vascular wilt	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>raphani</i>	<i>Pseudomonas putida</i> WCS358	
Bacterial speck	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>		
Gray mold	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> TNSK2	الفاصوليا
Anthracnose	<i>Colletotrichum lindemithianum</i>		
Halo blight	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>phaseolicola</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> S97	القرنفل
Vascular wilt	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>dianthi</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> WCS417	الخيار
Anthracnose	<i>Colletotrichum orbiculare</i>	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> 25-33	
Anthracnose	<i>Colletotrichum orbiculare</i>	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> 28-9	
Anthracnose	<i>Colletotrichum orbiculare</i>	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> 36-5	
Crown rot	<i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>Pseudomonas corrugata</i> 13	
Crown rot	<i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> C15	
Anthracnose	<i>Colletotrichum orbiculare</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> G8-4	
Anthracnose	<i>Colletotrichum orbiculare</i>	<i>Pseudomonas putida</i> 34-13	
Herbivory	<i>Acalymna vittatum</i>	<i>Pseudomonas putida</i> 89B-27	
Anthracnose	<i>Colletotrichum orbiculare</i>	<i>Pseudomonas putida</i> 89B-27	
Systemic mosaic	Cucumber mosaic virus	<i>Pseudomonas putida</i> 89B-27	
Herbivory	<i>Diabrotica undecimpunctata</i>	<i>Pseudomonas putida</i> 89B-27	
Bacterial wilt	<i>Erwinia tracheiphila</i>	<i>Pseudomonas putida</i> 89B-27	

المرض المقام	السبب المرضي أو الآلة القارئة	السلالة والبيوع الكبرى	البيوع المحصول
Angular leaf spot	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lachrymans</i>	<i>Pseudomonas putida</i> 89B-27	
Vascular wilt	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cucumerinum</i>	<i>Pseudomonas putida</i> 89B-27	
Herbivory	<i>Acalymna vitatum</i>	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	
Anthracnose	<i>Colletotricum orbiculare</i>	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	
Systemic mosaic	Cucumber mosaic virus	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	
Herbivory	<i>Diabrotica undecimpunctata</i>	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	
Bacterial wilt	<i>Erwinia tracheiphila</i>	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	
Angular leaf spot	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lachrymans</i>	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	
Vascular wilt	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cucumerinum</i>	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	
Anthracnose	<i>Colletotricum orbiculare</i>	<i>Serratia plymuthica</i> 2-67	
Vascular wilt	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>raphani</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> WCS374	الذجل
Necrotic lesions	<i>Alternaria brassicicola</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> WCS417	
Necrotic lesions	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> WCS417	
Necrotic lesions	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>raphani</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> WCS417	
Vascular wilt	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> WCS417	
Necrotic lesions	Tobacco mosaic virus	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 7NSK2	التبغ
Black root rot	<i>Thielaviopsis basicola</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> CHAO	
Necrotic lesions	Tobacco necrosis virus	<i>Pseudomonas fluorescens</i> CHAO	
Wildfire	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tabaci</i>	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	
Vascular wilt	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> WCS417	الطماطم
Systemic mosaic	Cucumber mosaic virus	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 89B-27	
Systemic mosaic	Cucumber mosaic virus	<i>Serratia marcescens</i> 90-166	

● أفادت معاملة الطماطم ببعض سلالات بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى *plant growth promoting rhizobacteria* فى تنشيط النظام الدفاعى بها ضد الإصابة بفيروس موزايك الخيار (Zehnder وآخرون ٢٠٠٠).

● استحثت معاملة الفاصوليا بالسلالة KMPCH من *Pseudomonas aeruginosa* مقاومة جهازية ضد الفطر *C. lindemuthianum* - فقط - فى الأصناف المتوسطة المقاومة - أصلاً - للفطر. أما السلالة WCS417 من البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* فكانت قادرة على حث المقاومة الجهازية للفطر فى كل من الأصناف القابلة للإصابة والمتوسطة المقاومة على حد سواء (Bigirimana & Hofte ٢٠٠٢).

● تُكسب السلالة BTP1 من بكتيريا المحيط الجذرى *Pseudomonas putida* - وكذلك راسح المزارع البكتيرية الخالى من خلاياها - تُكسب نباتات الفاصوليا مقاومة جهازية ضد الإصابة بالفطر *Botrytis cinerea* (Ongena وآخرون ٢٠٠٢).

● تستحث السلالة 89B-27 من *Pseudomonas putida* والسلالة 90-166 من *Streptomyces marescens* تكوين مقاومة جهازية فى الخيار ضد كل من: الأنتراكنوز، وتبقع الأوراق الزاوى الذى تسببه البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*، والذبول الفيوزارى الذى يسببه الفطر *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*، والذبول البكتيرى التى تسببه البكتيريا *Erwinia tracheiphila* (عن Zahir وآخريين ٢٠٠٤).

● تشترك سلالات معينة من عدة أنواع من الجنس *Bacillus* فى قدرتها على تطوير مقاومة جهازية مستحثة *induced systemic resistance* فى النباتات.

ومن بين الأنواع التى تتميز بتلك الخاصية، ما يلى:

<i>B. amyloliquefaciens</i>	<i>B. subtilis</i>
<i>B. pasteurii</i>	<i>B. cereus</i>
<i>B. pumilus</i>	<i>B. mycoides</i>
<i>B. sphaericus</i>	

ولقد أحدثت المعاملة بتلك السلالات مقاومة جهازية مستحثة تحت ظروف البيوت المحمية وظروف الحقل فى عدد كبير من المحاصيل، منها: الفلفل الحلو والحار،

والكتالوب، والبطيخ، وبنجر السكر، والتبغ، والخيار والـ *Arabidopsis*، كما أنها كانت منشطة للنمو النباتي.

ومن بين الأمراض والمسببات المرضية التي أُكسبت تلك السلالات البكتيرية النباتات مقاومة جهازية مستحثة ضدها: فطريات تبغعات الأوراق، وبكتيريا تبغعات الأوراق، والفيروسات الجهازية، وفطريات أعفان التاج، ونيماطودا تعقد الجذور، وأحد فطريات لفحة الأوراق، والذبول الطرى، والعفن الأزرق، والندوة المتأخرة، وكذلك الآفات الحشرية: خنفساء الخيار المخططة والمبقعة اللتان تنقلان البكتيريا المسببة لذبول القرعيات، والذبابة البيضاء *Bemisia argentifolii* التي تنقل فيروس تبرقش الطماطم (Klopper) tomato mottle virus وآخرون ٢٠٠٤).

البكتيريا غير الممرضة التي تعيش داخلياً فى جذور النباتات

أظهرت البكتيريا غير الممرضة التي تعيش داخلياً فى جذور النباتات endophytic bacteria قدرة على الحد من الإصابة بكل من نيماتودا الحوصلات *Globodera pallida*، ونيماطودا تعقد الجذور *Meloidogyne incognita*، حدث ذلك من خلال تطوير النباتات لمقاومة جهازية مستحثة لدى استعمال السلالة G12 من البكتيريا *Rhizobium etli*.

هذه البكتيريا لا تعيش فى المحيط الجذرى، وإنما تصل إلى داخل الجذور من خلال الفتحات الطبيعية والجروح، وربما بإفرازها لإنزيمات محللة، وتعيش فى الجذور داخل الخلايا وبينها، حيث تحصل على غذائها من النبات؛ ولذا .. فإنها تكون فى وضع أفضل كعامل مكافحة حيوية عن بكتيريا المحيط الجذرى (Hallmann وآخريين ٢٠٠١).

السلالات غير الممرضة من المسببات المرضية

أدى حقن (عدوى) بادرات الطماطم بالسلالة غير القادرة على إحداث الإصابة (avirulent) من البكتيريا *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (مسببة مرض التقرح البكتيرى) أو متعددات التسكر الخارج خلوية extracellular

polysaccharides الخاصة بالبكتيريا قبل شتل البادرات بأيام قليلة إلى حثها على تطوير مقاومة قصوى جهازية ودائمة ضد سلالات شديدة الضراوة من ذات البكتيريا في اختبارات على مدى أربع سنوات. وبينما لم تتأثر تلك التفاعلات الدفاعية بصنف الطماطم المستعمل في الدراسة، فإنها تأثرت بطريقة العدوى بالسلالة غير الممرضة وبالفتره التي مرت بين العدوى بها والتعرض للعدوى بالسلالة الممرضة (Griesbach & Sotirova 2002).

وقد عُزِلَ من جذور نباتات طماطم كانت نامية في كمبوست مثبط لكل من أمراض التربة والنموات الخضرية .. عُزِلَ منها سلالة من الفطر *Fusarium solani* أعطيت الرمز Fs-K. أدت عدوى نباتات الطماطم بهذه السلالة إلى حمايتها من الإصابة بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*، وإلى حثها على تطوير مقاومة جهازية ضد الفطر *Septoria lycopersici*، وكذلك إلى تنشيط الجينين PR5، و PR7 (Kavroulakis وآخرون 2007).

الفيروسات

أوضحت الدراسات أن نباتات الفلفل التي تُحقن بفيروس موزايك التبغ يتطور فيها حالة من المقاومة الجهازية ويتكون فيها بروتينات الحماية من الإصابات المرضية تقى تلك النباتات من الإصابة بلفحة فيتوفثورا (Lee وآخرون 1998)، لكن لا يمكن - بطبيعة الحال - الاعتماد على تلك الطريقة كوسيلة لمكافحة الفطر.

أهمية ومعوقات الاعتماد على المقاومة الجهازية المستحثة بيولوجياً في المقاومة
إن من أهم العوامل التي تحدد الاعتماد على المقاومة الجازية المستحثة، ما يلي،

١- مشاكل المقاومة للمبيدات بين مسببات الأمراض.

٢- الازدياد المطرد في عدد المبيدات التي يوقف استعمالها، وازدياد تكلفة

الاختبارات المطلوبة للسماح باستعمال مبيدات جديدة، فضلاً عن عدم توفر بدائل - أصلاً - للمبيدات التي يوقف استعمالها.

٣- المشاكل الصحية والبيئية لاستخدام المبيدات، وازدياد الإقبال على الإنتاج العضوى والزراعة المستدامة.

٤- عدم قدرة المبيدات على مكافحة بعض مسببات الأمراض بكفاءة، مثل الفيروسات والمسببات المرضية التي تعيش فى التربة.

٥- قد لا تتوفر المبيدات للمزارعين فى بعض الدول النامية، مع توفر الوعى الكافى بالاستخدام الآمن لها.

٦- مقاومة عامة الناس لاستخدام المحاصيل المحولة وراثياً، بينما تعتمد المقاومة الجهازية المستحثة على الجينات التي تتواجد طبيعياً فى النبات.

٧- تتميز المقاومة الجهازية المستحثة بمداها الواسع وبفاعليتها لفترة طويلة.

٨- ضعف احتمال تطوير المسببات المرضية للمقاومة الجهازية المستحثة نظراً لأنه ينشط خلالها عدة دفاعات نباتية فى آن واحد (Kuć ٢٠٠١).

هذا .. إلا أنه لا يجب الاعتماد على المقاومة المستحثة منفردة فى مكافحة الأمراض وإنما - يكون ذلك ضمن برنامجاً للمكافحة المتكاملة (Jacobsen وآخرون).

وإن من أهم العوامل التي تقف عائقاً أمام الاعتماد على المقاومة الجهازية المستحثة تجارياً، ما يلى،

١- عدم الوعى أو الإلمام بفاعليتها، وعدم اعتقاد البعض بجدواها، والخوف غير المبرر من جانب العامة والمزارعين من تطبيق التقنيات الجديدة.

٢- عدم الجدوى المادية للاستثمار فى تطوير مركبات حائة للمقاومة لا تخضع لحقوق الملكية الفكرية.

٣- تعتمد الظاهرة على الجينات الطبيعية فى النبات، وبذا .. فإن فاعليتها تتأثر بالحالة الفسيولوجية للنبات والتغيرات فى الظروف البيئية المحيطة به (Kuć ٢٠٠١).

طبيعة المقاومة الجهازية المستحثة بيولوجياً

مقدمة

إن المقاومة الجهازية المستحثة induced systemic resistance (اختصاراً: ISR) هي

الظاهرة التي تُستحث فيها المقاومة للأمراض جهازياً من إصابة موضعية، أو من موضع تمت معاملة النبات فيه بمكونات أو منتجات ميكروبية أو بأى من مجموعة متنوعة من مركبات عضوية وغير عضوية لا رابط بينها. ولا يرجع نشاط العامل الحاث للمقاومة إلى أى نشاط مضاد للميكروبات أو إلى أى قابلية له للتحويل إلى عامل أو عوامل مضادة ميكروبياً. وعلى الرغم من ذلك فإن العوامل المضادة ميكروبياً يمكن أن تستحث المقاومة. وتوفر الحماية للنبات من وقت المعاملة حتى إكتمال التعبير عن المقاومة الجهازية المستحثة.

وتتميز العملية التي يصبح النبات بمقتضاها مقاوماً بأنها نشطة؛ حيث ما أن تبدأ أحداثها حتى تستمر حتى النهاية، مع تمثيل وتراكم مركبات يمكن أن تُسهم فى المقاومة.

ومن بين أهم المركبات الدفاعية أو الأنظمة الدفاعية التي يمكن أن تصمم فى الوصول إلى حالة المقاومة الجهازية المستحثة، ما يلي (عن Kuć ٢٠٠١).

١- سلبية أو استجابة للتجريح

Waxes, cutin, phenolic glycosides, phenols, quinones, steroid glycoalkaloids, suberin, terpenoids and proteins (thionins).

٢- تزداد بعد الإصابة

Phytoalexins, reactive oxygen species/free radicals, calcium, silicon/silicates, polyphenoloxidases, peroxidases, phenolic cross-linked cell wall polymers, hydroxyproline and glycine-rich glycoproteins, thionins, antimicrobial proteins and peptides, chitinases, β -1,3-glucanases, ribonucleases, proteases, callose, lignin, lipoxygenases and phospholipases.

ونظراً لأن العوامل العديدة التي يمكنها إعطاء إشارة البدء فى حث المقاومة الجهازية فى النباتات لا رابط بينها، فإنه يبدو واضحاً أن أى عامل منها يكون نشطاً فى مهمته بسبب ما يحدثه من تأثير وليس بسبب ماهيته. ومع التباين الشديد فى طبيعة تلك العوامل وتركيبها الكيميائى لم يمكن أبداً التوصل إلى سمة تركيبية معينة تكون مفتاحاً لنشاطها.

كذلك لم يمكن التوصل إلى مسببٍ لظاهرة عدم خصوصية المقاومة الجهازية المستحثة سواء فيما يتعلق بالعوامل الحاثّة أو بتنوع فاعليتها ضد مسببات مرضية متنوعة.

وعلى الرغم من عمومية فاعلية المقاومة الجهازية المستحثة ضد مختلف المسببات المرضية، فإن فاعليتها تكون أكثر ما يمكن ضد الفطريات، وبدرجة أقل ضد البكتيريا، وبأقل درجة ضد الفيروسات. كذلك تكون بعض العوامل الحاثّة للمقاومة الجهازية أكثر تأثيراً على أمراض معينة دون غيرها. ويمكن تفسير ذلك من خلال تأثيرها المتباين على المكونات المختلفة التي تُسهم في المقاومة النباتية الجهازية المستحثة. ولا تكون كل المركبات الدفاعية متساوية الفاعلية ضد كل المسببات المرضية. فمثلاً .. يكون من الصعب تصور دوراً يمكن أن يلعبه الشيتينيز chitinase ضد فطر يفتقر إلى الشيتين chitin في جدره الخلوية، على الرغم من أن هذا الفطر قد يعطى إشارة البدء لمقاومة جهازية مستحثة بتراكم فيها الشيتينيز. كذلك فإن بعض الفيروسات تُعطى إشارة البدء في مقاومة جهازية مستحثة يتراكم فيها مركبات مثل الفيتوالاكسينات phytoalexins، والشيتينيز، وال β -1,3-glucanase على الرغم من عدم وجود دور لتلك المركبات في المقاومة للفيروسات.

ومما يضيف إلى تعقيد ظاهرة المقاومة الجهازية المستحثة أنها يمكن أن تُستحث — كذلك — بواسطة آكلات الأعشاب herbivores، وأن مركبات مختلفة ومسارات بنائية مختلفة قد تتحقق من خلالها الظاهرة. ومن بين تلك المركبات والمسارات تلك الخاصة بحامض السليلك، وحامض الجاسمونك، وحامض الأبسيسك، والإثيلين، وأكسيد النيتريك. وقد يؤدي بدء النشاط في أحد المسارات إلى تثبيطها في مسار آخر، كما يحدث بين مساري حامض السليلك وحامض الجاسمونك (Kuć 2001).

آليات فعل بكتيريا المحيط الجذري

تقوم بعض أنواع وسلالات البكتيريا التي تعيش في المحيط الجذري للنباتات بحثها على تطوير مقاومة جهازية بها ضد الفطريات، والبكتيريا، والفيروسات، الأمر الذي تأكد في عديد من النباتات منها الخيار، والفجل، والتبغ، والطماطم. وبينما تتباين

السلالات البكتيرية في قدرتها على حث المقاومة الجهازية، فإن الأنواع النباتية تتباين - كذلك - في استجابتها لتلك البكتيريا.

ومن بين آليات (ميكانيزمات أو محددات) المقاومة الجهازية المستحثة لبكتيريا المحيط الجذري: الـ lipopolysaccharides، والـ siderophores، والـ salicylic acid (جدول ٦-١٥) Van Loon وآخرون (١٩٩٨).

جدول (٦-١٥): بعض السلالات والأنواع البكتيرية وآليات إحداثها للمقاومة الجهازية المستحثة في أنواع نباتية متباينة.

النبات وآلية المقاومة	السلالات والأنواع البكتيرية
Salicylic acid	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> strain 7NSK2 التبغ:
Salicylic acid	الفاصوليا:
Siderophore	<i>Pseudomonas fluorescens</i> CHAO التبغ:
Lipopolysaccharide siderophore	WCS374 الفجل:
Iron-regulated factor	
Lipopolysaccharide	WCS417 القرنفل:
Lipopolysaccharide	الفجل:
Iron-regulated factor	
<i>Arabidopsis</i> : Lipopolysaccharide	<i>Pseudomonas putida</i> WCS358
<i>Arabidopsis</i> : Lipopolysaccharide & siderophore	

وتمتعرض - فيما يلي - جانباً من الدراسات التي أجريتها على طبيعة المقاومة الجهازية التي تمتدتها بكتيريا المحيط الجذري في النباتات:

● أحدثت معاملة الفجل بالبكتيريا *Pseudomonas fluorescens* (السلالة WCS47) مقاومة جهازية في النباتات ضد مدى واسع من مسببات المرضية شمل كلاً من *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*، و *Alternaria brassicicola*. وقد بدا واضحاً أن التحلل necrosis بالأنسجة النباتية لم يكن ضرورياً لحث المقاومة الجهازية بالنبات

نظراً لأن البكتيريا *P. fluorescens* - التي تستحث إنتاج البروتينات الخاصة بالتطفل المرضى (PRPs) - لا تحدث تحللات كتلك التي تحدثها البكتيريا *P. syringae* pv. *tomato*، وهي التي تُحدث - كذلك - مقاومة جهازية بالنبات (Hoffland وآخرون 1996).

● تفيد بكتيريا المحيط الجذري *Pseudomonas corrugata* (السلالة 13)، و *P. aureofaciens* (السلالة 28-63) في مكافحة الفطر *Pythium aphanidermatum* بجذور الخيار، وذلك من خلال إحداثهما لمقاومة جهازية في النبات وكذلك بخاصية التضادية أو المقاومة المحلية المستحثة (Chen وآخرون 1998).

● أحدثت معاملة جذور الفاصوليا بالسلالة 7NSK2 من *Pseudomonas aeruginosa* مقاومة جهازية بالنباتات، وذلك من خلال إنتاجها لحمض السلسيليك بما يُعادل المعاملة بنانومول واحد من الحمض (De Meyer وآخرون 1999).

● أدت معاملة جذور الخيار بأى من البكتيريا *Pseudomonas corrugata* (السلالة 13)، أو *P. chlororaphis* (السلالة 63-28) إلى حث النبات على تطوير مقاومة جهازية ضد الفطر *Pythium aphanidermatum*. وعلى الرغم من أن المعاملة بالبكتيريا أحدثت زيادة كبيرة في محتوى النبات من حمض السلسيليك فإن الحمض لم يكن مؤثراً على نمو الفطر في البيئات الصناعية عندما استخدم بتركيز 100-200 ميكروجرام/مل، كما لم تؤد المعاملة به إلى إكساب نباتات الخيار أية مقاومة ضد الفطر (Chen وآخرون 1999).

● أظهرت الدراسات أن المعاملة بالسلالة FZB-G من البكتيريا *Bacillus subtilis* تُكسب الطماطم مقاومة جهازية ضد الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*، وتبين أن راسح مزارع البكتيريا وهي - أى المزارع - بعمر 10-20 ساعة تُحدث نفس هذا التأثير (المقاومة الجهازية ضد الفطر وتحفيز نمو الطماطم)، بينما كان راسح المزارع التي بعمر ثلاثة أيام شديد السمية للفطر لكنه لم يحث الطماطم على تطوير مقاومة جهازية ضد الفطر. وقد تبين - كذلك - أن أحد مكونات راسح المزارع التي بعمر 10-20 ساعة يحفز النمو الجذري للطماطم ويحث تطوير المقاومة الجهازية وأنه يعمل

كبدائى للأوكسين indole-3-pyruvic acid. أعطى هذا المكون الرمز Tr-C، ويعتقد بأنه يعمل كهرمون نباتى، وأنه يعطى إشارة البدء فى التفاعلات التى تقود إلى تطوير المقاومة الجهازية (Gupta وآخرون ٢٠٠٠).

● أدت معاملة جذور الخيار بأى من السلالة ١٣ من البكتيريا *Pseudomonas corrugate* أو السلالة 28-63 من البكتيريا *P. aureofaciens* إلى تحفيز نشاط الإنزيم phenylalanine ammonia-lyase فى أنسجة الجذور بعد يومين من المعاملة واستمر التأثير على نشاط الإنزيم لمدة ١٦ يوماً. كذلك ازداد نشاط كلا من البيروكسيديز peroxidase والبولى فينول أوكسيديز polyphenol oxidase بعد ٢-٥ أيام من معاملة الجذور بالسلالة ١٣ من البكتيريا *P. corrugate*. وبعد تعريض النباتات التى عوملت بالبكتيريا للعدوى بالفطر *Pythium aphanidermatum* .. فإن نشاط الإنزيمات الثلاثة ازداد عما كان عليه إلى أن وصلت الزيادة إلى أقصى مدى لها بعد ٤-٦ أيام من العدوى بالفطر. وقد تبين أن سلالتى البكتيريا وفطر البثيم يحفزان نشاط الإنزيمات الثلاثة موضعياً وجهازياً. كذلك تبين أن صورة isomer إنزيم البيروكسيديز الذى يُستَحث إنتاجه بواسطة الريزوبكتيريا يختلف عن صورته التى تنتج فى الجذور المصابة بالفطر *P. aphanidermatum* (Chen وآخرون ٢٠٠٠).

● أدت المعاملة المزدوجة بالسلالة Pfl من البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* بطريقتى رش الأوراق والإضافة للتربة إلى خفض إصابة الفلفل بالفطر *Colletotrichum capsici* - مسبب مرض الأنثراكنوز - بكفاءة عالية عن طريق حث تطوير مقاومة جهازية، كانت مصاحبة بزيادة فى نشاط مختلف الإنزيمات ذات العلاقة بالدفاع النباتى، وكذلك زيادة فى تمثيل المركبات ذات العلاقة (Ramamoorthy & Samiyappan ٢٠٠١).

● تنتج بكتيريا المحيط الجذرى *Pseudomonas chlororaphis* (السلالة PCL 1391) المركب phenazine-1-carboxamide الذى يكافح الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. ويلاعب استعمار البكتيريا لجذور الطماطم دوراً أساسياً فى مكافحة الحيوية من خلال كون

المقاومة الحيوية للأمراض والمقاومة المستحثة بيولوجيا ضد الأمراض

الجذر وسيلة لتوصيل المركب المضاد للفطر إلى باقى أجزاء النبات (Chin-A-Woeng وآخرون ٢٠٠١).

● دُرس تأثير المعاملة ببكتيريا المحيط الجذرى التالية على إصابة الخيار بالذبول البكتيرى:

١- السلالة 89B-61 من *Pseudomonas putida*.

٢- السلالة 90-166 من *Serratia marcesens*.

٣- السلالة INR-7 من *Bacillus pumilis*.

٤- السلالة INR-S من *Flavomonas oryzihabitans*.

وتبين أن المعاملة بالبكتيريا قللت جوهرياً من أعداد خنفسى الناقلتين للبكتيريا *Erwinia tracheiphila* المسببة للمرض، وهما خنفساء الخيار المخططة *Acalymma vittata*، وخنفساء الخيار المبقعة *Diabrotica undecimpunctata*، كما انخفضت الإصابة بالمرض جوهرياً ليس فقط مقارنة بالكنترول، وإنما كذلك مقارنة بالمكافحة بالمبيدات. ولقد كانت المقاومة مصاحبة بانخفاض شديد فى تركيز Cucurbitacin C، وهو الكيوكاربتسين الرئيسى فى الخيار، علماً بأن الكيوكاربتسينات تُعد جاذبة قوية لتغذية الخنافس (كما ثبت من تجارب قورنت فيها تغذية الخنافس على نباتات خيار مرة ذات تركيب وراثى BiBi وتنتج تركيزاً عالياً من الكيوكاربتسين، بتغذيتها على نباتات خيار خالية من الكيوكاربتسين وذات تركيب وراثى bibi).

ولكن حتى فى غياب الخنافس الناقلة للبكتيريا، فإن المعاملة ببكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو استحثت مقاومة فى الخيار ضد بكتيريا الذبول التى حققت بها سواء أكانت النباتات مرة BiBi، أم غير مرة bibi (Zehnder وآخرون ٢٠٠١).

● أظهرت الدراسات أن معاملة جذور نباتات الخيار ببكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى plant growth promoting rhizobacteria (اختصاراً: PGPR) استحثت المقاومة ضد مرض الذبول البكتيرى الذى تسببه البكتيريا *Erwinia tracheiphila*، وارتبط ذلك بنقص فى تغذية خنفساء الخيار المخططة وخنفساء الخيار المبقعة الناقلتين للبكتيريا، مع نقص فى تركيز الكيوكاربتسين cucurbitacin المحفز القوى لتغذية الخنافس.

وفى تجارب أخرى وجد أن الـ PGPR تستحث المقاومة الجهازية ضد الذبول فى غياب الخنفساء الناقلة للبكتيريا، مع عدوى نباتات الخيار صناعياً بالبكتيريا الممرضة؛ مما يعنى أن الـ PGPR تستحث المقاومة ضد كل من الإصابة المنقولة بالخنفساء وضد البكتيريا ذاتها إذا ما حقنت بها النباتات بوسائل أخرى.

ولقد انتخبت سلالات أخرى من الـ PGPR قادرة على حث المقاومة الجهازية ضد كل من فيروس موزايك الخيار وفيروس تبرقش الطماطم فى الطماطم (Zehnder وآخرون ٢٠٠١).

وأوضحت الدراسات أن معاملة الخيار ببكتيريا المحيط الجذرى تكسب النباتات مقاومة جهازية ضد الإصابة بكل من خنفساء الخيار والبكتيريا *Erwinia tracheiphila* مسبب مرض الذبول البكتيرى والتي تنقلها الخنفساء، وأن ذلك يكون مصاحباً بنقص فى تركيز الكيوكاربتسين cucurbitacin، وهو من مركبات الأيض الثانوية التى تحفز - بشدة - تغذية الخنفساء. هذا .. إلا أن المعاملة ببكتيريا المحيط الجذرى - فى غياب خنفساء الخيار - تؤدى كذلك إلى ذات المقاومة الجهازية ضد الإصابة بالبكتيريا؛ مما يدل على أن المقاومة التى تستحثها بكتيريا المحيط الجذرى تكون من خلال آلية أخرى إضافية غير آلية تخفيضها لتركيز الكيوكاربتسين (Zehnder وآخرون ٢٠٠١).

● تُحدثُ المعاملة بالبكتيريا *Pseudomonas fluorescens* - سواء أكانت عن طريق البذور، أم غمس الجذور، أم التربة، أم رش الأوراق - خفضاً معنوياً فى شدة إصابة الطماطم بفيرس ذبول الطماطم المتبع. ولقد ازداد فى النباتات المعاملة بالبكتيريا نشاط كلا من البيروكسيداز peroxidase، والـ phenylalanine ammonia-lyase، وازداد تراكم اللجنين والمركبات الفينولية (Kandan وآخرون ٢٠٠٢).

● أظهرت الدراسات أن معاملة الطماطم بالعزلة Pfl من البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* تحميها من الإصابة بالفطر *F. oxysporum* f. sp. *lycopersci*، وأن تلك الحماية مردها إلى حث البكتيريا النباتات على إنتاج إنزيمات دفاعية، مع تراكم الفينولات والبروتينات التى تحد من اجتياح الفطر لجذور الطماطم (Ramamoorthy وآخرون ٢٠٠٢).

● وجد أن السلالة Pfl من *Pseudomonas fluorescens* تؤدي عند معاملة الفلفل والطماطم بها إلى حمايتهما من الإصابة بالفطر *Pythium aphanidermatum* مسبب مرض الذبول الطرى، وزيادة معدل النمو النباتي، كما أوضحت الدراسات أن تلك السلالة تستحث النباتات لتمثيل الإنزيمات والمركبات الكيميائية ذات العلاقة بالدفاع ضد مسببات الأمراض؛ حيث أدت المعاملة بها إلى زيادة نشاط كلا من الـ: phenylalanine ammonia-lyase، والـ peroxidase، والـ catechol oxidase (سابقاً polyphenoloxidase، أو PPO)، وذلك بعد تعرض النباتات المعاملة بالبكتيريا للفطر *P. aphanidermatum*، كما ازداد فيها تراكم الفينولات (Ramamoorthy وآخرون ٢٠٠٢).

● أدت المعاملة بأى من بكتيريا المحيط الجذرى *Bacillus pumilus* SE34، أو *Pseudomonas fluorescens* 89B61 إلى حث تكون مقاومة جهازية ضد الندوة المتأخرة فى الطماطم، وخفض شدة المرض إلى درجة مماثلة لتلك التى أحدثتها المعاملة بالمركب الحاث للمقاومة المحلية (غير الجهازية) β -amino butyric acid (اختصاراً: BABA). ويستدل من الدراسة أن الحماية التى حثت تكوينها لكلا السلالتين من بكتيريا المحيط الجذرى مستقلة عن حامض السلسيلك، ولكنها تعتمد على كل من الإثيلين وحامض الجاسمونك، بينما اعتمدت المقاومة المحلية التى أحدثها الـ BABA على حامض السلسيلك (Yan وآخرون ٢٠٠٢).

● إن المكافحة الحيوية باستعمال بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتي plant growth promoting rhizobacteria تتم من خلال إفراز تلك البكتيريا لنواتج أيضية بكتيرية تقلل أعداد المسببات المرضية - التى قد تتواجد فى المحيط الجذرى - أو تقلل من نشاطها. وقد تتضمن تلك النواتج الأيضية siderophores ترتبط بالحديد وتجعله أقل تيسراً للكائنات المرضية التى تتواجد بالقرب منها، وينطبق ذلك - على بعض الـ pseudomonads، مثل *Pseudomonas fluorescens*، و *P. putida* (عن Zahir وآخرون ٢٠٠٤).

● ترتبط المقاومة الجهازية المستنحقة بالـ *Bacillus* spp. بتغيرات تركيبية فى

النباتات أثناء تعرضها للإصابة بالمسببات المرضية فضلاً عن حدوث تحورات سيتولوجية وكيميائية لها.

ويبدو أن *Bacillus* spp. تنشط بعض المسارات الأيضية التي تنشطها الـ *Pseudomonas* spp. بالإضافة إلى تنشيطها لمسارات أخرى. فمثلاً .. تعتمد المسارات التي تستحثها عديد من سلالات الـ *Bacillus* spp. على حامض الجاسمونك jasmonic acid، والإثيلين، والجين المنظم NPR1 – كما يحدد في حالة المقاومة الجهازية المستحثة للـ *Pseudomonas* spp. – إلا أنه في حالات أخرى وجد أن المقاومة الجهازية المستحثة بواسطة *Bacillus* spp. تعتمد على حامض السلسليك وليس على حامض الجاسمونك أو الإثيلين أو الجين المنظم NPR1. كذلك فإنه بينما لا تؤدي المقاومة الجهازية المستحثة بواسطة *Pseudomonas* spp. إلى تراكم الـ PR1 في النباتات في بعض الحالات، فإن المقاومة الجهازية المستحثة بواسطة *Bacillus* spp. تقوم بذلك (Kloepper وآخرون ٢٠٠٤).

آليات فعل الميكوريزا

أدت معاملة بذور الفلفل قبل زراعتها بفطر الميكوريزا *Trichoderma harzianum* إلى حث تكوين مقاومة جهازية في النبات وفرت له حماية جزئية من الإصابة بالفطر *Phytophthora capsici*، وكان ذلك مصاحباً – في الوقت ذاته – بزيادة في تركيز الفيتوألأكسين كابسيديول Capsidiol بلغت – بعد ستة أيام من العدوى بفطر الفيتوفثورا – سبعة أضعاف تركيزه في النباتات غير المعاملة بالميكوريزا ومحقونة بالفيتوفثورا (Ahmed وآخرون ٢٠٠٠).

وتستحث الميكوريزا المقاومة الجهازية في النباتات .. من خلال مسارات تتضمن حامض الجاسمونك والإثيلين. ولقد وجد أن السلالة T23 من *Trichoderma asperellum* تنظم تعبير الجينات الخاصة بمسارى حامض الجاسمونك والإثيلين أثناء حث المقاومة الجهازية المكتسبة في نباتات الخيار. كذلك فإن نباتات الخيار التي حقنت بالميكوريزا ثم البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* أظهرت

تعبيراً أكبر للجينات التي تشفر لكل من الـ β -1,3-glucanase، والـ peroxidase مقارنة بالكنترول (Shoresh وآخرون ٢٠٠٥).

آليات فعل بعض الفطريات الأخرى

يتطفل الفطر *Pythium oligandrum* على مدى واسع من الفطريات ويثبط الأمراض التي تسببها الفطريات الممرضة عندما يتمكن من استعمار المحيط الجذرى. كذلك فإن للفطر *P. oligandrum* وبروتينات جدره الخلوية القدرة على تنبيه تطوير استجابة دفاعية فى النباتات.

وقد دُرِس تأثير ميسيليوم الفطر *P. oligandrum* المجنس (mycelium homogenate) على تثبيط إصابة الطماطم ببكتيريا الذبول *Ralstonia solanacearum*، ووجد أن المعاملة تقلل شدة أعراض الذبول. كذلك وجد أن معاملة الجذور بمجنس ميسيليوم الفطر أو ببيروتينات جدره الخلوية أحدثت زيادة فى مستوى الإثيلين قدرت بنحو ٦-١١ ضعف المستوى فى نباتات الكنترول بعد المعاملة بأربع ساعات، واستمرت الزيادة حتى ثمانى ساعات بعد المعاملة، وأعقب ذلك زيادة كبيرة فى تعبير ثلاثة جينات ذات علاقة بإنتاج الإثيلين المرتبط بالدفاع النباتى، وهى جينات: PR-2b، و PR-3b، و PR-5b (Hase وآخرون ٢٠٠٦).

وكان قد أمكن عزل بروتين ذات وزن جزيئى منخفض من راشح مزارع الفطر *Pythium oligandrum* أطلق عليه الإسم oligandrin، وأدت معاملة نباتات الطماطم بهذا البروتين إلى حث تفاعلات دفاعية بالنبات لدى حقنه بالفطر *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* (Picard وآخرون ٢٠٠٠).

آليات فعل السلالات غير المتوافقة من المسببات المرضية

أدت معاملة الطماطم الحاملة للجين Cf5 بالسلالة ٤ - غير المتوافقة مع هذا الجين - من الفطر *Fulvia fulva* إلى حماية الأوراق التالية للأوراق المحقونة من الإصابة بالسلالة 5 - المتوافقة مع جين المقاومة - من ذات الفطر، وذلك فى خلال خمسة أيام

من الحقن بالسلالة غير المتوافقة، وكان ذلك مصاحباً بزيادة بلغت الضعف فى محتوى كل من الأوراق المحقونة بالفطر غير المتوافق والأوراق التالية لها فى حامض السلسليك (Cai وآخرون ١٩٩٩).

آليات فعل السلالات غير الممرضة من المسببات المرضية

أدت معاملة الطماطم بالسلالة غير الممرضة Fo47 من *Fusarium oxysporum* إلى حماية النباتات من الإصابة بالذبول الفيوزارى. ولقد أدت المعاملة إلى زيادة نشاط إنزيمات الـ β -1,3-glucanase، و β -1,4-glucosidase فى النباتات؛ مما يعنى حث السلالة غير الممرضة النباتات على تطوير مقاومة بها. وكان قد سبق عزل تلك السلالة من تربة مثبطة للإصابة بالذبول الفيوزارى بأحد الحقول فى فرنسا (Fuchs وآخرون ١٩٩٧).

وأظهرت الدراسات أنه بينما تثبط السلالة WCS417r من البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* الذبول الفيوزارى فى الطماطم من خلال حث البكتيريا تطوير مقاومة جهازية فى النبات ضد فطر الذبول، فإن السلالة Fo47 - غير الممرضة من الفطر *Fusarium oxysporum* - تثبط - هى الأخرى - إصابة الطماطم بالذبول الفيوزارى. إلا أن تأثيرها يحدث من خلال التضادية antagonism - وبدرجة أقل - من خلال حث النبات على تطوير مقاومة جهازية. وقد أمكن إرجاع المقاومة الجهازية فى حالة سلالة الفيوزاريم غير الممرضة إلى البروتينات ذات العلاقة PR-1 وإنزيمات الشيتينييز. بينما لم يمكن إثبات ذلك فى حالة المقاومة الجهازية التى أحدثتها البكتيريا *P. fluorescens* (Duijff وآخرون ١٩٩٨).

كذلك تحدث الحماية التى توفرها السلالة Fo47 من الفطر *Fusarium oxysporum* - غير الممرضة للبسلة - ضد الفطر الممرض لها *Fusarium oxysporum* f. sp. *psii* من خلال قيام السلالة الأولى (غير الممرضة) - وهى التى تتطفل على بعض خلايا بشرة الجذر وبعض خلايا القشرة الخارجية - بحث جذور البسلة لتكوين تراكيب دفاعية تؤدى إلى إعاقة تقدم الفطر الممرض (Benhamou & Garand ٢٠٠١).

ويؤدى حقن (عدوى) أوراق الفراولة بسلالة غير ممرضة من الفطر *Alternaria alternata* إلى حث تطوير مقاومة بالنبات ضد الإصابة بسلالة ممرضة من الفطر ذاته، وأمكن عزل مركب مثبط للإصابة من تلك الأوراق عُرف باسم (+)-catechin (Yamamoto وآخرون ٢٠٠٠).

دور البروتينات ذات العلاقة بالتطفل المرضى

تنتمى البروتينات ذات العلاقة بالتطفل المرضى pathogenesis-related proteins (اختصاراً: PRs) - التى تتكون استجابة للإصابات المرضية والحشرية ولدى التعرض لآكلات الأعشاب، وكذلك عند المعاملة ببعض المركبات الكيميائية أو التعرض لبعض الظروف القاسية - إلى نحو ١١ عائلة، من أبرزها ما يلي:

PR-1

β -1,3-gluconases (PR-2)

Chitinases (PR-3)

PR-4

Osmotin (PR-5)-

وجميع الـ PRs المبيئة أعلاه تُظهر نشاطاً مضاداً للكائنات الدقيقة فى البيئات الصناعية، كما أن الـ chitinases، والـ β -1,3-gluconases لها تأثير تداؤبى synergistic مضاد للفطريات (Sticher وآخرون ١٩٩٧).

دور اللجننة

تعد اللجننة lignification إحدى آليات الدفاع النباتية الهامة، وهى لا تقتصر - على حالات التفاعلات غير المتوافقة من العوائل والمسببات المرضية، وإنما تتعداها - كذلك - إلى حالات المقاومة الجهازية المستحثة (جدول ٦-١٦) وهى تقف حائلاً أمام عديد من المسببات المرضية وتمنعها من اختراق العائل أو عدم تمكينها من مواصلة تقدمها فى أنسجته أو تطفلها عليها؛ مما يؤدى إلى موتها (عن Sticher وآخريين ١٩٩٧).

جدول (٦-١٦): أمثلة لنباتات حدثت فيها مقاومة جهازية مستحثة بواسطة كائنات دقيقة معينة ضد مسببات مرضية معينة، والجينات التي نشطت ولعبت دوراً في ظهور المقاومة (عن Sticher وآخرين ١٩٩٧).

الجينات المنشطة	المسببات المرضية التي ظهرت مقاومة ضدها	الكائنات الحاث للمقاومة	النبات
	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	البرسيم الحجازي
PR-1. PR-2	<i>Pseudomonas syringae</i> Turnip crinkle virus <i>Pseudomonas syringae</i> <i>Peronospora parasitica</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>raphani</i> <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	Turnip crinkle virus <i>Pseudomonas syringae</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> WCS417	Arabidopsis
	Tobacco necrosis virus	Tobacco necrosis virus	اللوبيا الهليونية
	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>hordei</i>	Tabacco rattle virus <i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>hordei</i>	الشعير
	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i> TNV	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i> <i>Colletotrichum lagenarium</i> <i>Uromyces phaseoli</i>	الفاصوليا
	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>Phaseolicola</i> <i>Fusarium</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	
Acidic chitinase	<i>Colletotrichum lagenarium</i> <i>Cladosporium cucumerinum</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. <i>Colletotrichum lagenarium</i> <i>Pseudoperonospora cubensis</i>	القرنفل الخيار

الجيئات المُشَطَّة	المسببات المرضية التي ظهرت مقاومة ضدها	الكائن الحاث للمقاومة	النبات
PR-1-like,	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Pseudomonas lachrymans</i>	
Peroxidase	<i>Pseudomonas lachrymans</i> <i>Sphaerotheca fuliginea</i> Tabacco necrosis virus <i>Colletotrichum orbiculare</i>	Tabacco necrosis virus <i>Pseudomonas putida</i> <i>Serratia marcescens</i>	الكتنلوب
	<i>Colletotrichum lagenarium</i> <i>Leptosphaeria maculans</i> <i>Sclerospora graminicola</i>	<i>Colletotrichum lagenarium</i> <i>Leptosphaeria maculans</i> <i>Sclerospora graminicola</i>	لقت الزيت الدُّخْن اللؤلؤى
β -1,3-glucanase	<i>Phytophthora infestans</i> <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>raphani</i> <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> <i>Alternaria brassicola</i> <i>Erysiphe polygoni</i>	<i>Phytophthora infestans</i> <i>Phytophthora cryptogea</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i>	البطاطس الفجل
Lioxygenase	<i>Magnaporthe grisea</i> <i>Alternaria crassiae</i> <i>Colletotrichum truncatum</i>	<i>Pseudomonas syringae</i> <i>Alternaria crassiae</i> <i>Colletotrichum lagenarium</i> <i>Colletotrichum truncatum</i>	البرسيم الأحمر الأرز Sickdepod فول الصويا
Acidic chitinase	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	<i>Stylosanthes guianensis</i>

الجينات المُنشطة	المسببات المرضية التي ظهرت مقاومة ضدها	الكائن الحاث للمقاومة	النبات
PR-1, PR-2,	<i>Thielaviopsis basicola</i>	Tobacco mosaic virus	التبغ
PR-3, PR-4,	<i>Phytophthora parasitica</i>	Tobacco necrosis virus	
PR-5, PR-1g,	<i>Peronospora tabacina</i>	<i>Thielaviopsis basicola</i>	
PR-8, SAR 8.2	<i>Pseudomonas syringae</i>	<i>Peronospora tabacina</i>	
	<i>Phytophthora parasitica</i>	<i>Pseudomonas syringae</i>	
	<i>Pseudomonas tabaci</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	
	Tobacco mosaic virus	CHAO	
	Tobacco necrosis virus		
Chitinase, P14 (PR-1), P70	<i>Phytophthora infestans</i>	<i>Phytophthora infestans</i>	الطماطم
Chitinase	<i>Colletotrichum lagenarium</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	البطيخ

دور حامض السلسيليك

كانت بداية اكتشاف وجود تأثير للمعاملة بحامض السلسيليك - في الحماية من الإصابات المرضية - في دراسة أجريت على فيروس التبغ في التبغ عام ١٩٧٩. وأعقب ذلك تأييد ذلك الاكتشاف في عديد من الحالات المرضية الأخرى لنباتات عديدة. وكان أول اقتراح بوجود علاقة ما بين حامض السلسيليك والمقاومة الجهازية المستحثة في عام ١٩٨٣، ولكن ذلك لم يتأكد إلا في عام ١٩٩٠ (عن Sticher وآخرين ٢٠٠١).

لقد أدى حقن أوراق الخيار بالبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* إلى بدء إشارة متحركة لتطوير مقاومة جهازية مستحثة في خلال ٣ إلى ٦ ساعات من الحقن،

وتوافق ذلك مع تراكم لحمض السلسيلك والمركب 4-hydroxybenzoic acid فى لحاء النباتات؛ الأمر الذى كان قد سبقه حدوث زيادة مؤقتة فى نشاط إنزيم phenylalanine ammonia-lyase فى أعناق الأوراق والسيقان (Smith-Becker وآخرون ١٩٩٨).

وجد أن المعاملة بحامض السلسيلك تستحث نباتات التبغ على تكوين pathogenesis related proteins، وأن ذلك يوفر حماية للنباتات من الإصابة بفيروس موزايك التبغ. وقد تبين أن حامض السلسيلك يُنتج بواسطة النباتات موضعياً فى موقع الإصابة، وكذلك فى نسيج اللحاء، وأيضاً فى الأوراق البعيدة عن موقع الإصابة؛ مما حدى إلى الاعتقاد بأن هذا الحامض هو الذى يُعطى إشارة البدء فى المقاومة الجهازية المكتسبة systemic acquired resistance (Métraux ٢٠٠١).

ويتبين لدى البحث عن نظير لحامض السلسيلك أن كلا من 2,6-dichloroisonicotinic acid (اختصاراً: INA)، و benzothiadiazole-S-methyl ester (اختصاراً: BTH) يستحثان تمثيل نفس الجينات ذات الصلة بالتطفل المرضى PR genes (Delaney وآخرون ١٩٩٤).

تقوم النباتات بتمثيل حامض السلسيلك استجابة لدى واسع من المسببات المرضية، وهو ضرورى لكل من المقاومة المستحثة الموضعية والجهازية. وتؤدى المعاملة بحامض السلسيلك إلى تراكم البروتينات ذات العلاقة بالإصابات المرضية pathogenesis related proteins. وتؤدى الطفرات النباتية التى تقلل إنتاج النباتات من حامض السلسيلك أو إلى إنتاجها لحامض سلسيلك غير مطابق للحامض الطبيعى إلى تحفيز القابلية للإصابة بكل من السلالات غير المرصدة والمرصدة من مسببات الأمراض على حد سواء (Loake & Grant ٢٠٠٠).

إن المقاومة الجهازية المكتسبة systemic acquired resistance - التى هى آلية للدفاع المستحث يترتب عليها حماية طويلة الأمد ضد الإصابة بمدى واسع من الكائنات الدقيقة - تتطلب إشارة من جزئى حامض السلسيلك، ويصاحبها تراكم للبروتينات ذات الصلة بالتطفل المرضى pathogenesis-related، التى يعتقد بإسهامها فى المقاومة.

وقد أوضحت الدراسات التي أجريت على نبات الـ *Arabidopsis* أن مسار أيض الـ isochorismate هو المصدر الرئيسي لحمض السلسليك أثناء تطور تكوين المقاومة الجهازية المكتسبة. واستجابة لحمض السلسليك .. يتحرك البروتين المنظم NPR1 إلى النواة حيث يتفاعل مع عوامل الاستنساخ للـ TGA لحث التعبير عن جينات الدفاع؛ ومن ثم تنشيط المقاومة الجهازية المكتسبة (Durrant & Dong 2004).

لقد تأكدت الحاجة لحمض السلسليك لإعطاء الإشارة لبدء المقاومة الجهازية المستحثة عندما أمكن تحويل التبغ والـ *Arabidopsis* وراثياً بالجين البكتيري nahG الذي يُشفر لتمثيل salicylate hydroxylase، وهو الذي يُزيل حامض السلسليك بتحويله إلى catechol؛ ومن ثم فإن النباتات المحولة وراثياً بهذا الجين لا يتراكم فيها سوى القليل جداً من حامض السلسليك، ولا يُعبرٌ فيها عن PR genes ولا تُستحث فيها المقاومة الجهازية المكتسبة (Delaney وآخرون 1994، و Durrant & Dong 2004).

يعد حامض السلسليك جزءاً من مسار إشارة البدء بمسار أيضي يستحث المقاومة في النباتات ضد الفيروسات، والبكتيريا، والفطريات. ونجد في التبغ والـ *Arabidopsis* أن المسار الأيضي يتفرع، وأحد تلك التفرعات يستحث تمثيل بروتينات معينة (PR-1 protein) لها علاقة بالمقاومة للبكتيريا والفطريات، بينما يستحث فرع آخر المقاومة لفيروسات الرنا والدنا. وهذا المسار الأيضي الثاني يمكن تنشيطه بالمعاملة بالـ antimycin A، والسيانيد cyanide، كما يمكن تثبيطه بالمعاملة بالـ salicylhydroxamic acid؛ بما يعنى وجود دور لإنزيم الميتوكوندرية: alternative oxidase في المقاومة للفيروسات.

وهذا المسار الخاص بالدفاع ضد الفيروسات ينشط عدة آليات للمقاومة. ففي التبغ .. نجد أن حامض السلسليك يحث مقاومة ضد الحركة الجهازية لفيروس موزايك الخيار، ولكنه عديم التأثير على انقسام الفيروس أو حركته من خلية لأخرى. هذا .. بينما يبدو في حالة فيروس موزايك التبغ في التبغ أن حامض السلسليك يستحث إعاقه لتمثيل رنا الفيروس (Murphy وآخرون 2001).

لقد نُرست المركبات المسئولة عن إعطاء إشارة المقاومة الجهازية فى النباتات والتي تنتقل فى اللحاء - منذ تسعينيات القرن الماضى، وأمكن الاقتراب من معرفة طبيعة تلك المركبات منذ عام ٢٠٠٦، حيث اقترحَ عدداً منها، كان من بينها الـ methyl salicylate (اختصاراً: MeSA)، وهرمون الدفاع النباتى حامض الجاسمونك (jasmonic acid) ومركب غير معروف - بعد - مشتق من glycerolipid، وعدداً من البيبتيدات ذات العلاقة بتوصيل إشارات الدفاع من خلية لأخرى (Volt وآخرون ٢٠٠٨).

وفى معهد بويس طومسون Boyce Thompson Institute .. توصل الباحثون إلى اكتشاف مؤداه أن مركب الـ MeSA - وهو مركب شبيه بالأسبرين - يستحث النظام الدفاعى النباتى للعمل بقوة كبيرة.

لقد كان معروفاً أن النبات يُنتج - لدى تعرضه للإصابة بأحد مسببات الأمراض - هرمون الدفاع النباتى حامض السلسليك salicylic acid (اختصاراً: SA) فى موقع الإصابة. يُنشّط جانب من هذا الحامض الجهازى موضعياً كما يتحول بعضه الآخر إلى MeSA الذى لا يعد نشطاً بيولوجياً لأنه لا يستحث الاستجابات الدفاعية.

ولقد أظهرت الدراسات أن الـ MeSA المنتج عند موقع الإصابة يلعب دوراً حرجاً فى تطوير النبات للمقاومة الجهازية المستحثة؛ فقد وجد أنه ينتقل من موقع الإصابة خلال اللحاء إلى الأنسجة غير المصابة، وبمجرد أن يصل إليها يقوم إنزيم يعرف باسم salicylic acid-binding protein 2 (اختصاراً: SABP2) بتحويل MeSA مرة ثانية إلى SA. وبهذه الكيفية يتوزع الـ SA فى كل أجزاء النبات مستحثاً دفاعاً جهازياً (الإنترنت ٢٠٠٧).

دور الإثيلين

بينما يُستدل من عديد من الدراسات أن الإثيلين لا يمكن أن يكون حائلاً للمقاومة الجهازية المستحثة فى النباتات، ولكن تراكمه فى النباتات التى تحدث فيها تلك الظاهرة ربما يكون مجرد عرض لها وليس سبباً فيها، فإن آخرين يعتقدون أن الإثيلين يُسهم فى تطوير تلك المقاومة (عن Sticher وآخرون ٢٠٠١).

ولقد أوضحت الدراسات التي أجريت على طفرات طماطم لا تُنتج الإثيلين بمعدله الطبيعي (الطفرتان never ripe، و epinastic)، أو لا تنتج حامض الجاسمونك بمعدله الطبيعي (الطفرة defl) أن السلالة Fs-K غير الممرضة للطماطم من الفطر *Fusarium solani* (وهي التي تُثبِّط - عند عدوى نباتات الطماطم بها - الإصابة بكل من الفطرين *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*، و *Septoria lycopersici* من خلال حثها لتكوين مناعة جهازية بالنبات) هذه السلالة لم تكن مجديه في حث النظام الدفاعي الجهازى في الطفرتين غير المنتجتين للإثيلين، بينما كانت فعالة في حث النظام الدفاعي الجهازى في الطفرة غير المنتجة لحامض الجاسمونك؛ الأمر الذى يعنى أن الإثيلين ضرورى بينما حامض الجاسمونك غير ضرورى لأن تستحث العزلة Fs-K النظام الدفاعى (Kavroulakis وآخرون ٢٠٠٧).

دور حامض الجاسمونك

يؤثر حامض الجاسمونك jasmonic acid على عديد من العمليات الفسيولوجية فى النباتات، منها: نمو الجذور، وتكوين الدرناات، والتفاف المحاليق، وشيخوخة الأوراق، وتفتح الثغور، كما وجد أنه يلعب دوراً فى حماية النباتات من مسببات المرضية وآكلات الأعشاب.

وتؤدى المعاملة بتركيزات منخفضة من حامض الجاسمونك إلى حث تكوين مثبطات البروتينيز والـ thionin، والـ osmotin، وبروتين الجدر الخلوية الغنى فى البرولين، وعديد من الإنزيمات ذات العلاقة بتفاعلات الدفاع مثل: الـ chalcone synthase، و PAL، و LOX (Sticher وآخرون ١٩٩٧).

ولقد أوضحت الدراسات التي أجريت باستعمال فطر المكافحة الحيوية *Pythium oligandrum* أن المقاومة التي توفرها المعاملة بالفطر ضد إصابة الطماطم ببكتيريا الذبول البكتيرى *Ralstonia solanacearum* تكون بفعل إشارة تعتمد على حامض الجاسمونك (Hase وآخرون ٢٠٠٨).

يتم تمثيل حامض الجاسمونك jasmonic acid فى النباتات من حامض اللينولينك

linolenic acid عن طريق الـ octadecanoic pathway. ويلعب حامض الجاسمونك دوراً أساسياً في تنشيط إشارات البدء في مسارات أيضية استجابة للتجريح بآكلات الأعشاب أو للإصابة بمسببات الأمراض. ويترتب على ذلك تمثيل عديد من البروتينات كمكونات الجدر الخلوية والبروتينات التي تحمي من حالات الشد، وكذلك تلك التي تلعب دوراً في تمثيل الفيتوألوكسينات (Wasternack & Parthier 1997).

تستجيب النباتات للتجريح من قبل آكلات الأعشاب بتطوير استجابات دفاعية جهازية تبدأ إشارات وتنتشر خارج الجزء المجروح في خلال خمس دقائق من التجريح، ويلعب تحلل الليبيدات الفوسفورية وتراكم النواتج الأيضية الدهنية دوراً رئيسياً في الأحداث الأولى التي تكون مسئولة عن إشارة البدء في حث المقاومة الجهازية. ومن بين تلك المركبات: الـ phosphatidic acid الذي يزداد تركيزه إلى نحو أربعة أضعاف في خلال خمس دقائق، وكلا من الـ lysophosphatidylcholine، والـ lysophosphatidylethanolamine اللذان يزداد تركيزهما إلى أكثر من الضعف في خلال ١٥ دقيقة من التجريح (Lee وآخرون 1997).

ولقد تبين من دراسات أجريت على الطماطم أن رش النباتات بحامض الجاسمونك jasmonic acid يحفز إنتاج عديد من البروتينات الدفاعية بطريقة مماثلة لما يحدث عند تعرض النباتات لأضرار آكلات الأعشاب herbivores، وكان هذا الحث الكيميائي مرتبطاً كذلك بمقاومة لدى عريض من آكلات أعشاب الطماطم، وكذلك زيادة في مستوى تطفل ديدان حرشفية الأجنحة. هذا .. إلا أن هذا التأثير لحامض الجاسمونك حُفِّض من قدرة النباتات على تحفيز القدرة الدفاعية ضد المسببات المرضية التي تحدث فيها استجابة للمعاملة بحامض السلسيلك. كذلك فإن حث المقاومة الجهازية ضد المسببات المرضية بالمعاملة بالـ BHT قللت من قدرة النباتات على الاستجابة للمعاملة بحامض الجاسمونك لإنتاج البروتينات الدفاعية ضد آكلات الأعشاب (Thaler 1999).

دور حامض الأبسيسك

تُعد طفرة الطماطم sitiens التي يقل محتواها من حامض الأبسيسك - كثيراً - عن الطماطم العادية أكثر مقاومة للفطر *Botrytis cinerea* من النباتات غير المطفرة، وأدت

معاملة نباتات تلك الطفرة بحامض الأبسيسك إلى زيادة قابليتها للإصابة بالفطر؛ مما يدل على أن حامض الأبسيسك يلعب دوراً رئيسياً في قابلية الطماطم للإصابة بالفطر. ويبدو أن ذلك يتم من خلال حدوث زيادة في نشاط الإنزيم phenylalanine ammonia lyase في الطفرة؛ الأمر الذي لا يحدث في النباتات العادية التي تحقن بالفطر؛ مما يعنى أن المستوى العالى لحامض الأبسيسك في النباتات العادية يثبط نشاط الإنزيم، ويبدو أن ذلك يتم من خلال تأثير الحامض سلبياً على النظام الدفاعى النباتى المعتمد على حامض السلسيك (Audenaert وآخرون ٢٠٠٢).

وراثه المقاومة الجهازية المستحثة بيولوجياً

وجد فى *Arabidopsis thaliana* أن قدرة السلالة WCS417r من بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو *Pseudomonas fluorescens* على حث تكوين المقاومة الجهازية ضد الإصابة بالبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (السلالة DC3000) هى صفة بسيطة وسائدة ومستقلة عن صفة المقاومة الأساسية basal resistance التى وجد أنها كانت - كذلك - بسيطة وسائدة (Ton وآخرون ٢٠٠١).

مصادر إضافية

الموضوع	المرجع
المقاومة المكتسبة للأمراض فى النباتات	Hammerschmidt & Becker (١٩٩٧)
دور الكائنات الدقيقة للمحيط الجذرى فى النمو النباتى والمكافحة	Bowen & Rovira (١٩٩٩)
مرجع فى المقاومة الجهازية المكتسبة	Metraux وآخرون (٢٠٠٢)
الببتيدات النباتية النشطة فى حث المقاومة	Germain وآخرون (٢٠٠٦)
مسار إشارة حامض الجاسمونك فى الـ <i>Arabidopsis</i>	Shan وآخرون (٢٠٠٧)
شرح لدور المركبات المتطايرة - المحمولة بالهواء - فى نقل إشارات المقاومة الجهازية المستحثة مقارنة بدور المركبات التى تنتقل فى الجهاز الوعائى واحتمالات التفاعل التناوبى بينهما	Heil & Ton (٢٠٠٨)