تابع جدول (٨-٣).

النوع المحصولى	السلالة والنوع البكتيرى	المسبب المرضى أو الآفة المقاومة	المرض المقاوم
الفجل	*Pseudomonas fluorescens* WCS 374	*Fusarium oxysoirum* f. sp. *raphani*	Vascular wilt
	Pseudomonas fluorescens WCS 417	*Alternaria brassicicola*	Necrotic lesions
	Pseudomonas fluorescens WCS 417	*Fusarium oxysporum*	Necrotic lesions
	Pseudomonas fluorescens WCS 417	*Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*	Vascular wilt
	Pseudomonas fluorescens WCS 417	*Fusarium oxysporum* pv. *tomato*	Necrotic lesions
الطماطم	*Pseudomonas fluorescens* WCS 417	*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*	Vascular wilt
	Pseudomonas putida 89 B-27	*Cucumber mosaic virus*	Systemic mosaic
	Serratia marcescens 90-166	*Cucumber mosaic virus*	Systemic mosaic

بكتيريا المحيط الجذرى

إن الأنواع البكتيرية التى تتواجد فى المحيط الجذرى كثيرة ومتنوعة، 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 يتبين من جدول (٨–٤).

جدول (٨–٤): أمثلة على المكافحة الحيوية لمسببات الأمراض والحشرات فى عدد من محاصيل الخضر باستعمال بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو (عن Zahir وآخرين ٢٠٠٤).

المحصول	المرض أو الآفة	بكتيريا المحيط الجذرى
الفاصوليا	اللفحة الهالية	*Ps. fuorescens* strain 97
	Sclerotium rolfsii	*Ps. cpacia*
الخيار	الأنثراكنوز	*Ps. Putida* 89B-27

يتبع

تابع جدول (٨-٤).

بكتيريا المحيط الجذرى	المرض أو الآفة	المحصول
Serratia marcescens (90-166)		
Ps. cepacia	*Pythium ultimum*	
Ps. putida (89B-27)	الذبول البكتيرى	
S. marcescens (90-166)		
Ps. Putida (89B-27)	تبقع الأوراق الزاوى البكتيرى	
Flavomonas oryzihabitans INR-5		
S. marcescens (90-166)		
Bacillus pumilus (NR 7)		
Ps. putida (89B-27)	الذبول الفيوزارى	
S. marcescens (90-166)		
Ps. putida (89B-27)	فيرس موزايك الخيار	
S. marcescens (90-166)		
Ps. putida 89B-27	خنفساء الخيار المخططة	
Flavomonas oryzihabitans INR-5		
S. marcescens (90-166)	خنفساء الخيار المبقعة	
B. pumilus (INR-7)		
Mixture of *Paenibacillus* sp. 300	الذبول الفيوزارى	
and *Streptomyces* sp. 385		
Ps. chitinolytica	نيماتودا تعقد الجذور	الطماطم
B. pumilus, Kluyvera cryocrescens	فيرس موزايك الخيار	
B. amyloliquifacians strain IN 937a,		
B. subtilits strain IN 937b		
B. amyloliquifacians strain IN 937a,	فيرس تبرقش الطماطم	
B. subtilis strain IN 937b		

ولقد وجد أن المعاملة بمخاليط من عزلات مختلفة لبعض الأنواع البكتيرية التى تعيش فى محيط الجذور والتى تنشط النمو النباتى plant growth promoting rhizobacteria (اختصارًا: PGPR) تفيد أفضل من المعاملة بالعزلات المفردة فى حث المقاومة ضد بعض الأمراض، مثل: الذبول البكتيرى فى الطماطم (الذى تسببه البكتيريا *Ralstonia solanacearum*)، وفيروس موزايك الخيار فى الخيار، والأنثراكنوز فى الفلفل (الذى يسببه الفطر *Colletotrichum gloeosporioides*)، والذبول الطرى (الذى يسببه الفطر *Rhizoctonia*)؛ هذا علمًا بأن جميع العزلات لم تكن مؤثرة على أى من المسببات المرضية المذكورة أعلاه فى البيئات الصناعية (Jetiyanon & Kloepper ٢٠٠٢).

ومن الأمثلة الأخرى على حث بكتيريا المحيط الجذرى للمقاومة الجهازية نورد ما يلى:

• يستحث بروتين البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* (المعروف باسم 61HrpZ$_{pss}$ protein) تفاعل فرط حساسية فى الخيار؛ يترتب عليه تطوير مقاومة جهازية مكتسبة ضد مسببات مرضية مختلفة، مثل: الفطر *Colletotrichum orbiculare* مسبب مرض الأنثراكنوز، وفيروس 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).

• 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 راشح 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 166-90 من *Streptomyces marescens* تكوين مقاومة جهازية فى الخيار ضد كل من: الأنثراكنوز 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 وآخرين 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:

B. amyloliquefaciens	*B. subtilis*
B. pasteurii	*B. cereus*
B. pumilus	*B. mycoides*
B. sphaericus	

ولقد أحدثت المعاملة بتلك السلالات مقاومة جهازية مستحثة تحت ظروف البيوت المحمية وظروف الحقل فى عدد كبير من المحاصيل، منها: الفلفل الحلو والحار، والكنتالوب، والبطيخ، وبنجر السكر، والتبغ، والخيار والـ *Arabidopsis*، كما أنها كانت منشطة للنمو النباتى.

ومن بين الأمراض والمسببات المرضية التى أكسبت تلك السلالات البكتيرية النباتات مقاومة جهازية مستحثة ضدها: فطريات تبقعات الأوراق، وبكتيريا تبقعات الأوراق، والفيروسات الجهازية، وفطريات أعفان التاج، ونيماتودا 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* التى تنقل فيرس تبرقش الطماطم tomato mottle virus (Kloepper وآخرون ٢٠٠٤).

ونستعرض – فيما يلى – جانبًا من الدراسات التى أجريت على طبيعة المقاومة الجهازية التى تستحثها بكتيريا المحيط الجذرى فى النباتات:

• أحدثت معاملة الفجل بالبكتيريا *Psedomonas fluorescens* (السلالة WCS47) مقاومة جهازية فى النباتات ضد مدى واسع من المسببات المرضية شمل كلاً من *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*، و *Alternaria brassicicola*. وقد بدا واضحًا أن التحلل necrosis بالأنسجة النباتية لم يكن ضروريًّا لحث المقاومة الجهازية بالنبات نظرًا لأن البكتيريا *P. fluorescens* – التى تستحث إنتاج البروتينات الخاصة بالتطفل المرضى (PRPs) لا تحدث تحللات كتلك التى تحدثها البكتيريا *P. syringae*

pv. *tomato*، وهى التى تُحدث – كذلك – مقاومة جهازية بالنبات (Hoffland وآخرون ١٩٩٦).

• تفيد بكتيريا المحيط الجذرى *Pseudomonas corrugata* (السلالة 13)، و *P. aureofacines* (السلالة 28-63) فى مكافحة الفطر *Pythium aphanidermatum* بجذور الخيار، وذلك من خلال إحداثهما لمقاومة جهازية فى النبات وكذلك بخاصية التضادية أو المقاومة المحلية المستحثة (Chen وآخرون ١٩٩٨).

• أحدثت معاملة جذور الفاصوليا بالسلالة 7NSK2 من *Pseudomonas aeruginosa* مقاومة جهازية بالنباتات، وذلك من خلال إنتاجها لحامض السلسيلك بما يُعادل المعاملة بنانومول واحد من الحامض (DeMeyer وآخرون ١٩٩٩).

• أدت معاملة جذور الخيار بأى من البكتيريا *Pseudomonas corrugata* (السلالة ١٣)، أو *P. chlororaphis* (السلالة ٦٣–٢٨) إلى حث النبات على تطوير مقاومة جهازية ضد الفطر *Pythium aphindermatum*. وعلى الرغم من أن المعاملة بالبكتيريا أحدثت زيادة كبيرة فى محتوى النبات من حامض السلسيلك فإن الحامض لم يكن مؤثرًا على نمو الفطر فى البيئات الصناعية عندما استخدم بتركيز ١٠٠–٢٠٠ ميكروجرام/مل، كما لم تؤد المعاملة به إلى إكساب نباتات الخيار أية مقاومة ضد الفطر (Chen وآخرون ١٩٩٩).

• أظهرت الدراسات أن المعاملة بالسلالة FZB-G من البكتيريا *Bacillus subtilis* تُكسب الطماطم مقاومة جهازية ضد الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*، وتبين أن راشح مزارع البكتيريا وهى – أى المزارع – بعمر ١٠–٢٠ ساعة تُحدث نفس هذا التأثير (المقاومة الجهازية ضد الفطر وتحفيز نمو الطماطم)، بينما كان راشح المزارع التى بعمر ثلاثة أيام شديد السمية للفطر لكنه لم يحث الطماطم على تطوير مقاومة جهازية ضد الفطر. وقد تبين – كذلك – أن أحد مكونات راشح المزارع التى بعمر ١٠–٢٠ ساعة يحفز النمو الجذرى للطماطم ويحث تطوير المقاومة الجهازية،

وأنه يعمل كبادئ للأوكسين indole-3-pyruvic acid. أُعطى 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 corrugata* 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 يومًا. كذلك ازداد نشاط كلاً من البيروكسيديز peroxidase والبولى فينول أوكسيديز polyphenol oxidase بعد ٢–٥ أيام من معاملة الجذور بالسلالة ١٣ من البكتيريا *P. corrugata*. 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 موضعيًا وجهازيًا. كذلك تبين أن صورة isomer إنزيم البيروكسيديز الذى يُستحث إنتاجه بواسطة الريزوبكتيريا يختلف عن صورته التى تنتج فى الجذور المصابة بالفطر *P. aphanidermatum* (Chen وآخرون ٢٠٠٠).

• أدت المعاملة المزدوجة بالسلالة Pf1 من البكتيريا *Pseudomonas fluroscens* 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 PCL1391) المركب phenazine-1-carboxamide الذى يكافح الفطر *Fusarium*

oxysporum f. sp. *radicis-lycopersici* مسبب مرض عفن الجذع والجذر فى الطماطم. ويلعب استعمار البكتيريا لجذور الطماطم دورًا أساسيًّا فى المكافحة الحيوية من خلال كون 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 جوهريًّا من أعداد خنفستى الخيار الناقلتين للبكتيريا *Erwinia tracheiphila* المسببة للمرض، وهما خنفساء الخيار المخططة *Acalymma vittata*، وخنفساء الخيار المبقعة *Diabrotica undecimpunctata*، كما انخفضت الإصابة بالمرض جوهريًّا ليس فقط مقارنة بالكنترول، وإنما كذلك مقارنة بالمكافحة بالمبيدات. ولقد كانت المقاومة مصاحبة بانخفاض شديد فى تركيز Cucurbitacin C، وهو الكيوكربتسين الرئيسى فى الخيار، علمًا بأن الكيوكربتسينات تُعد جاذبة قوية لتغذية الخنافس (كما ثبت من تجارب قورنت فيها تغذية الخنافس على نباتات خيار مُرة ذات تركيب وراثى BiBi وتنتج تركيزًا عاليًا من الكيوكربتسين، بتغذيتها على نباتات خيار خالية من الكيوكربتسين 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 حقنت بها سواء أكانت النباتات مرة BiBi، أم غير مرة bibi.

• أظهرت الدراسات أن معاملة جذور نباتات الخيار ببكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى plant growth promoting rhizobacteria (اختصارًا: 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 الخنفساء.

وفى تجارب أخرى وجد أن الـ PGPR تستحث المقاومة الجهازية ضد الذبول فى غياب الخنفساء الناقلة للبكتيريا، مع عدوى نباتات الخيار صناعيًّا بالبكتيريا المرضة؛ 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 فيرس موزايك الخيار وفيرس تبرقش الطماطم فى الطماطم.

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 والتى تنقلها الخنفساء،وأن ذلك يكون مصاحبًا بنقص فى تركيز الكيوكربتسين cucurbitacin، وهو من مركبات الأيض الثانوية التى تحفز — بشدة — تغذية الخنفساء. هذا.. إلاّ 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 الكيوكربتسين (Zehnder وآخرون ٢٠٠١).

• تُحدِثُ المعاملة بالبكتيريا *Pseudomonas fluorescens* — سواء أكانت عن طريق البذور، أم غمس الجذور، أم التربة، أم رش الأوراق — خفضًا معنويًّا فى شدة إصابة الطماطم بفيرس ذبول الطماطم المتبقع. ولقد ازداد فى النباتات المعاملة بالبكتيريا

نشاط كلاً من البيروكسيديز peroxidase، والـ phenylalanine ammonia-lyase، وازداد تراكم اللجنين والمركبات الفينولية (Kandan وآخرون ٢٠٠٢).

• أظهرت الدراسات أن معاملة الطماطم بالعزلة Pf1 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 Pf1 من *Pseudomonas fluorescens* تؤدى عند معاملة الفلفل والطماطم بها إلى حمايتهما من الإصابة بالفطر *Pythium aphanidermatum* مسبب مرض الذبول الطرى، وزيادة معدل النمو النباتى، 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 (سابقًا polyphenoloxidase، أو PPO)، وذلك بعد تعرض النباتات المعاملة بالبكتيريا للفطر *P. aphnidermatum*، كما ازداد فيها تراكم الفينولات (Ramamaoorthy 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 (اختصارًا: BABA). ويستدل من الدراسة أن الحماية التى حثت تكوينها كلتا 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 النباتى 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 تيسرًا للكائنات المرضة التى تتواجد بالقرب منها، وينطبق ذلك – على بعض الـ Pseudomonads، مثل *Pseudomonas fluorescens*، و *P. putida* (عن Zahir وآخرين ٢٠٠٤).

• ترتبط المقاومة الجهازية المستحثة 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 التى تنشطها الـ *Pseudomonas* spp. بالإضافة إلى تنشيطها لمسارات أخرى. فمثلاً.. تعتمد المسارات التى تستحثها عديد من سلالات الـ *Bacillius* spp. على حامض الجاسمونك jasmonic acid، والإثيلين، والجين المنظم NPR1 – كما يحدث فى حالة المقاومة الجهازية المستحثة للـ *Pseudomonas* spp. – إلا أنه فى حالات أخرى وجد أن المقاومة الجهازية المستحثة بواسطة *Bacillius* spp. تعتمد على حامض السلسيلك وليس على حامض الجاسمونك أو الإثيلين أو الجين المنظم NPR1. كذلك فإنه بينما لا تؤدى المقاومة الجهازية المستحثة بواسطة *Pseudomonas* spp. إلى تراكم الـ PR1 فى النباتات فى بعض الحالات، فإن المقاومة الجهازية المستحثة بواسطة *Bacillius* spp. تقوم بذلك (Kloepper وآخرون ٢٠٠٤).

هذا.. ويستعرض Compant وآخرون (٢٠٠٥) أساسيات وآليات فعل البكتيريا المحفزة للنمو النباتى plant growth-promoting bacteria فى المكافحة الحيوية للأمراض النباتية.

النوع البكتيرى *Bacillus subtilis*

تنتشر البكتيريا *Bacillus subtilis* فى مختلف أنواع الأراضى وفى البقايا النباتية المتحللة، ولكنها تتواجد غالبًا فى صورة جراثيم ولا تكون نشطة بيولوجيًّا. ويتوفر فى سلالات هذه البكتيريا طرازان يستعمل أحدهما رشًّا على النموات الخضرية (مثل: QST713)، بينما يُضاف الآخر إلى التربة أو تعامل به البذور (مثل: BG03 كما فى التحضير التجارى Kodiak).

تُنتج البكتيريا طرازًا من المضادات الحيوية (ببتيدات دهنية lipopeptides يتضمن الـ inurins؛ مما يجعلها منافسًا قويًّا للكائنات الدقيقة الأخرى بقتلها أو خفض معدلات نموها.

عند معاملة البذور بالبكتيريا فإنها تقوم – مباشرة – باستعمار المجموع الجذرى النامى وتكون منافسًا قويًّا لما قد تتعرض له الجذور من كائنات أخرى ممرضة.

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

ومن بين أهم سلالات هذه البكتيريا ما يلى:

١- السلالة QST713: تستخدم رشًّا لمكافحة البياض الدقيقى، ومن أهم منتجاتها التجارية: Serenade، و Rhapsody.

٢- السلالة GB03: تستخدم فى معاملة البذور لمكافحة الفطريات التى تصيب الجذور.

٣- السلالة MB1600: تستخدم فى معاملة البذور أو التربة.

٤- السلالة FZB24: من *B. subtilis* var. *amyloliquefaciens* تعامل بها التربة.

ومن التحضيرات التجارية المعروفة للبكتيريا: Seranade، و Kodiak (Resource Guide for Organc Insect and Disease Manangement – كورنل – الإنترنت – ٢٠٠٦).

تتوفر البكتيريا *Bacillus subtilis* تجاريًّا – محليًّا – فى مركبين، هما: ريزو إن، وكلين روت، وهما يستعملان إما بمعاملة البذرة بمعدل ١٠ جم/كجم بذرة إن لم تكن البذور قابلة للنقع، مثل الفاصوليا، وإما بنقع البذور – التى يمكن نقعها كالقرعيات فى معلق يحتوى على ٥جم من المركب/ لتر ماء، ويحتاج كل كيلوجرام من البذور لنحو لترين من المعلق، ويستمر النقع لمدة ١٢ ساعة قبل الزراعة. كذلك يمكن رى صوانى الشتلات بمعلق للمركب (كلين روت مثلاً) يحتوى على ١٠ جم من المركب/ لتر ماء، وذلك قبل نقل الشتلات إلى الحقل بنحو ١٢ ساعة. ويمكن كذلك غمر بعض الشتلات كالفراولة والطماطم، وكذلك درنات البطاطس المستعملة كتقاو لمدة ثلاث دقائق فى معلق من كلين روت يحتوى على كيلوجرام واحد منه لكل ١٠٠ لتر ماء.

وتفيد هذه البكتيريا فى الحماية من الإصابة بسقوط البادرات وأمراض أعفان الجذور.

وقد أوضحت الدراسات فاعلية معاملة البذور أو سقى التربة بمعلق لثلاثة أنواع من الجنس *Bacillus* (هى: *B. subtilis*، و *B. thuringiensis*، و *B. cereus*) فى مكافحة مسببات الأمراض الفطرية *Macrophomina phaseolina*، و *Rhizoctonia solani*، و *Fusarium* spp. فى اللوبيا (Dawar وآخرون ٢٠١٠).

ووجد أن معاملة بذور البطيخ ببعض الكائنات الدقيقة المستخدمة فى المقاومة الحيوية حفّزت زيادة فى نشاط إنزيمات الـ phenylalanine ammonia lyase، والـ peroxidase، والـpolyphenol oxidase ،والـ β-1-3glucanase، كما حفزت تراكم الفينولات، وذلك بعد عدوى النباتات بالفطر *Alternaria alternata* مسبب مرض لفحة ألترناريا، وبلغت قمة نشاط الإنزيمات – التى تعبر عن المقاومة الجهازية

المستحثة – بعد ستة أيام من العدوى بالفطر. وقد كانت السلالة BsW1 من البكتيريا *Bacillus subtilis* أعلى كائنات المكافحة الحيوية تأثيرًا فى النشاط الإنزيمى وتراكم الفينولات (Umamaheswari وآخرون ٢٠٠٩).

وتبين أن أربع عزلات من البكتيريا .*Bacillus* spp – من بين ١٥ عزلة – حُصل عليها من تربة مثبطة لنيماتودا تعقد الجذور *M. incognita* – كانت مثبطة لفقس بيض النيماتودا، وأكثر قدرة عن غيرها فى استعمار جذور الطماطم، وفى تحفيز أو زيادة النمو النباتى، وتقليل تثألل الجذور وتكاثر النيماتودا، كما كانت تلك العزلات (B1، وB4، وB5، و B11) أكثر العزلات إنتاجًا لإندول حامض الخليك (Singh & Siddiqui ٢٠١٠).

كذلك أظهرت السلالة YMF3.25 من البكتيريا *Bacillus megaterium* كفاءة عالية فى مكافحة نيماتودا تعقد الجذور *M. incognita*، وتبين أن تلك البكتيريا تُطلق مركبات متطايرة هى التى تؤثر على النيماتودا، منها: 2-nonanone، و decanal، و 2-undecanone، و dimethyl disulphide، وقد أظهرت جميعها فاعلية ضد كل من اليرقات والبيض عند تركيز ٠,٥ مللى مول، هذا بالإضافة إلى إنتاج البكتيريا لمركبات متطايرة أخرى كانت أقل تأثيرًا (Huang وآخرون ٢٠١٠).

هذا.. وتفرز مختلف سلالات البكتيريا *Bacillus subtilis* المركب فِنجيسين fengycin، وهو مادة ببتيدية دهنية حلقية cyclic lipopeptide مضادة للميكروبات، تؤثر فى تكوين الثقوب بالأغشية البلازمية، وفى تدفق ونفاد محتويات الخلايا؛ مما يؤدى إلى موت الكائنات الدقيقة الحساسة له. وقد وجد أن مدى حساسية الكائنات الدقيقة للفينجسين الذى تفرزه السلالة CU12 من البكتيريا يتوقف على المكونات الدهنية للأغشية البلازمية لتلك الكائنات (Wise وآخرون ٢٠١٤).

الزيدوموناداز الفلورية

تلعب عديد من الزيدوموناداز الفلورية fluorescent pseudomonads البكتيرية –

وهى بكتيريا تعيش فى المحيط الجذرى للنباتات – دورًا فى مكافحة عديد من مسببات الأمراض فى عديد من المحاصيل الحقلية والخضر والفاكهة.

ويبين جدول (٨–٥) أهم الزيدوموناذز Pseudomonads الفلورية المستخدمة فى مكافحة أمراض الخضر.

جدول (٨–٥): أهم أنواع الجنس *Pseudomonas* المستخدمة فى مكافحة أمراض الخضر (Anjaiah ٢٠٠٤).

النوع البكتيرى	المرض (والمسبب المرضى)	المحصول	آلية المكافحة
P. putida	الذبول الطرى (*Pythium ultimum*)	البسلة	المنافسة
	الذبول الفيوزارى (*F. oxysporum*)	الفجل	تكوين الـ siderophores
		الخيار	تكوين الـ siderophores
Pseudomonas spp.	عفن الجذور الفيوزارى (*F. solani*)	الخيار	المنافسة
	الذبول الفيوزارى (*F. oxysporum*)	الخيار	المنافسة
	الذبول الطرى (*P. aphanidermatum*)	الخيار	المنافسة
P. aeruginosa	الذبول الطرى (*Pythium* sp.)	الطماطم	تكوين الـ siderophores
P. fluorescens	الذبول الطرى (*P. ultimum*)	الخيار	تضادية حيوية
		الفراولة	تضادية حيوية
	العفن الطرى *Erwinia carotovora*	البطاطس	تضادية حيوية
	اللفحة الهالية *P. syringae*	الفاصوليا	مقاومة مستحثة
	الذبول الفيوزارى	الفجل	مقاومة مستحثة
		الطماطم	مقاومة مستحثة
	عفن الجذر والتاج *F. o.* f.sp. *radicis-lycopersici*	الطماطم	مقاومة مستحثة
P. chlororaphis	القلب الأحمر *P. fragariae*	الفراولة	تضادية حيوية
P. aeruginosa	الذبول الطرى *P. splendens*	الفاصوليا	تضادية حيوية
	الذبول الفيوزارى	الطماطم	تضادية حيوية
	بوتريتس الأوراق *B. cinerea*	الفاصوليا	تضادية حيوية

ويتناول المرجع (Anjaiah ٢٠٠٤) هذا الموضوع بالتفصيل.

ولقد أدت معاملة بيئة نمو جذور الفاصوليا بأى من السلالات WM35 من البكتيريا *Pseudomonas fluorescens*، أو MW09 من البكتيريا *P. aureofaciens*، أو WM06 من البكتيريا *P. putida* إلى حث مقاومة جوهرية ضد الفطر *Uromyces appendiculatus* مسبب مرض الصدأ لمدة ٣٠ يومًا من زراعة البذور، إلاّ أن السلالتين WM35، و WM06 – فقط – هما اللتان وفرتا حماية للنباتات من الإصابة بالصدأ طوال مدة الدراسة (Abeysinghe ٢٠٠٩).

كما وجد لدى اختبار تأثير عدد من السلالات البكتيرية من كل من *Pseudomonas*، و*Bacillus* على نمو البسلة وإصابتها بنيماتودا تعقد الجذور *Meloidogyne incognita* أن سلالات الـ *Pseudomonas* – وخاصة السلالة Pf1 كانت أقواها تأثيرًا فى تثبيط فقس بيض النيماتودا واختراقها للجذور، وكذلك فى تحفيز نمو بادرات البسلة. وقد تبين أن تلك السلالة (Pf1) كانت أكثر السلالات إنتاجًا للـ siderophores وأكثرها إنتاجًا لإندول حامض الخليك (Siddiqui وآخرون ٢٠٠٩).

كما وجد أن المعاملة ببكتيريا المحيط الجذرى (السلالة: SE34 من *Bacillus pumilus*، والسلالتان: SE34r، و 89B6fr من *Pseudomonas fluorescens*) بإضافتها إلى البيئات اللاأرضية لإنتاج الشتلات يُسهم فى تحفيز نمو الشتلات بصورة أفضل من معاملة البذور بها (Yan وآخرون ٢٠٠٣).

أنواع بكتيرية أخرى تستخدم فى المكافحة الحيوية للأمراض

البكتيريا المتطفلة على المسببات المرضية

تتطفل بعض الأنواع البكتيرية على بعض مسببات الأمراض الفطرية التى تعيش فى التربة، كما يتبين من جدول (٨–٦).