الفصل الثالث عشر

منشطات النمو الحيوية الميكروبية

تُستخدم منشطات النمو growth promoters فى تنشيط النمو وتحفيزه، وزيادة المحصول، والتغلب على كثير من مشاكل الإنتاج، سواء أكانت الظروف البيئية مناسبة للنمو، أم غير مناسبة له؛ الأمر الذى بيناه بعديد من الأمثلة فى الفصول السابقة من هذا الكتاب. وتلك المنشطات قد تكون منظمات نمو growth regulators — وهى موضوع الفصل الخامس عشر من الكتاب، وقد تكون منشطات حيوية ميكروبية microbial biostimulants — وهى موضوع الفصل الحالى، أو منشطات حيوية طبيعية natural biostimulants، وهى موضوع الفصل التالى (الرابع عشر).

تعمل بعض المنشطات الحيوية الميكروبية — من خلال نشاطها الحيوى — على توفير بعض العناصر الغذائية فى البيئة النباتية، بينما يفيد بعضها الآخر فى إمداد النبات بتلك العناصر، كما يعمل الكثير منها على توفير توازن هرمونى معين؛ إما بصورة مباشرة عن طريق المحفز ذاته، وإما بصورة غير مباشرة من خلال نشاط الكائنات الدقيقة التى يحتويها المحفز.

وتحتوى المنشطات الحيوية الميكروبية على واحد أو أكثر من مجموعات محفزات النمو الميكروبية التالية:

١- بكتيريا تثبيت أزوت الهواء الجوى فى التربة، أو فى جذور البقوليات.

٢- أنواع بكتيرية أخرى تعمل — من خلال نشاطها الحيوى — على توفير عناصر ضرورية أخرى (مثل الفوسفور) فى صورة ميسرة لامتصاص النبات.

٣- أنواع بكتيرية وفطرية تعمل — من خلال نشاطها الحيوى — على توفير توازن هرمونى معين محفز للنمو النباتى.

٤-أنواع فطرية (فطريات "الميكوريزا" Mycorhizae) تعيش تعاونيًا مع جذور النباتات.

وتلعب البكتيريا المحفزة للنمو النباتى دورًا هامًّا فى النمو النباتى من خلال عدة آليات تؤثر بها، ومنها:

١-التثبيت البيولوجى لآزوت الهواء الجوى.

٢-إنتاج الهرمونات المؤثرة فى النمو.

٣-إذابة الفوسفور المثبت وتيسيره للامتصاص.

٤-إنتاج الـ siderophores.

٥-إنتاج الإنزيمات المحللة hydrolytic enzymes.

٦-النشاط المضاد لمسببات الأمراض النباتية (Tailor & Joshi ٢٠١٤).

بكتيريا التسميد الحيوى

يعرف عديد من الأنواع البكتيرية والتحضيرات التجارية البكتيرية التى تستخدم فى التسميد الحيوى. ومن أهم شروط استخدام تلك البكتيريا التسميد العضوى الجيد قبل الزراعة؛ لكون السماد العضوى بيئة أساسية لنشاط هذه البكتيريا وتكاثرها.

ومن بين التحضيرات التجارية المحلية لتلك الأنواع البكتيرية، ما يلى:

أ- تحضيرات تقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى

ومن أمثلة هذه التحضيرات التجارية ما يلى:

أ- ريزوباكتيرين Rhizobacterin:

يحتوى على البكتيريا المثبتة لآزوت الهواء الجوى محملة على بيت موس بتركيز 10^{8} خلية بكتيرية لكل جرام من البيت. تعامل به البذور قبل زراعتها مباشرة، مع

مراعاة عدم معاملة البذور بمطهرات فطرية، وإلا فإن الرايزوباكتيريم يخلط مع كمية مناسبة من الرمل، ويضاف إلى جانب النباتات فى خط الزراعة.

ب- بيوجين Biogene.. وهو يحتوى على بكتيريا تثبيت آزوات الهواء الجوى *Azotobacter* spp.

ج- نيتروبين Nitrobien.. وهو يحتوى على بكتيريا تثبيت آزوات الهواء الجوى *Azospirillum* spp.، و*Azotobacter* spp.

د- ميكروبين Microbien.. وهو يحتوى على الأنواع البكتيرية *Azotobacter* spp.، و*Azospirillum* spp.، و*Pseudomonas* spp.، و*Rhizobium* spp.

هـ- سيريالين :

يستعمل — بصفة خاصة — مع المحاصيل النجيلية، والسكرية والزيتية.

٢- تحضيرات تحتوى على بكتيريا تقوم بتوفير عنصر الفوسفور فى صورة ميسرة لامتصاص النبات

تُحدث هذه البكتيريا تأثيرها من خلال إفرازاتها من الأحماض العضوية التى تعمل على إذابة العناصر التى تتوفر بكثرة فى التربة فى صورة غير ميسرة لاستعمال النبات؛ مثل عناصر الفوسفور، والحديد، والزنك، والنحاس، والمنجنيز، ومن أهم هذه الأسمدة المنتج التجارى فوسفورين Posphorine. وهو يحتوى على البكتيريا المذيبة للفوسفات *Bacillus megaterium*.

يحتوى الفوسفورين على بكتيريا نشطة فى تحويل فوسفات ثلاثى الكالسيوم — غير الميسرة لاستعمال النبات — إلى فوسفات أحادى الكالسيوم الميسرة للنبات، علمًا بأن الصورة غير الميسرة تتواجد بتركيزات عالية فى الأراضى المصرية نتيجة للاستخدام المركز للأسمدة الفوسفاتية.

ويخلط الفوسفورين بالتقاوى قبل الزراعة، كما يمكن إضافته إلى جانب النباتات أثناء نموها.

وجميع التحضيرات التجارية المذكورة أعلاه من إنتاج الهيئة العامة لصندوق الموازنة الزراعية تحت إشراف جهات بحثية، ويؤدى استعمالها إلى توفير نحو ٢٥٪ – ٣٥٪ من احتياجات النباتات السمادية من عنصر الآزوت.

٢- تحضيرات تحتوى على البكتيريا المذيبة للسيليكات والميسرة للبوتاسيوم

تفيد المعاملة بالتحضيرات التى تحتوى على بكتيريا إذابة السيليكات، مثل: *Bacillus mucilaginosus* فى زيادة تيسر كل من البوتاسيوم والفوسفور فى التربة.

لقد عُزلت من التربة وسطح الأحجار ومعى ديدان الأرض بكتيريا مكونة للهلام slime-forming bacteria كانت قادرة على إذابة السيليكات، وبخاصة البكتيريا *Bacillus mucliaginosus* (السلالة) RGBc13، التى كانت قادرة على استعمار تربة المحيط الجذرى، وكذلك التربة التى ليست فى المحيط الجذرى. ولقد تحسنت فى الطماطم حالة التغذية بالبوتاسيوم والفوسفور بوضوح عندما عُوملت التربة بهذه البكتريا، حيث أدت إلى زيادة تيسرهما بدرجة كبيرة (Lin وآخرون ٢٠٠٢).

ومن أمثلة التحضيرات التجارية الحيوية الأخرى المنشطة للنمو النباتى والميسرة للعناصر الغذائية للنبات، ما يلى:

التحضير التجارى	تأثيره
• سمبيون فام Symbion-Vam (يحتوى على عدة أنواع من فطريات الميكوريزا وأنواع بكتيرية تعيش فى التربة، منها *Bacillus megaterium*)	تسهيل امتصاص العناصر، وزيادة المقاومة لإجهاد الجفاف والبرودة، ولبعض الآثار الضارة لأمراض الجذور، فضلاً عن تيسير الفوسفور فى التربة

التحضير التجارى	تأثيره
• سمبيون الآزوت Symbion-N (يحتوى على البكتيريا *Azospirillium* spp.)	مثبت لآزوت الهواء الجوى
• سمبيون الفوسفور Symbion-P (يحتوى على البكتيريا *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*)	مذيب للفوسفور فى التربة
• سمبيون الآزوت أسيتوباكتر Symbion-N (*Acetobacter*) (يحتوى على البكتيريا التكافلية التعايش *Acetobacter* spp.)	مدّ النبات بالآزوت وبعض الهرمونات المحفزة للنمو، علمًا بأن البكتيريا تعيش تكافليًا داخل جذور النبات
• سمبيون الآزوت رايزوبم Symbion-N (*Rhizobium*) (يحتوى على بكتيريا *Rhizobium* spp.)	مدّ النبات ببكتيريا الرايزوبم التى تعيش تكافليًا فى جذوره وتمده بالنيتروجين
• سمبيون البوتاسيوم Symbion-K (يحتوى على البكتيريا *Frateuria aurentia*)	تقوم البكتيريا بتحرير البوتاسيوم من مصادره غير الذائبة كمعادن التربة الأساسية.

وقد أدت معاملة التربة بالبكتيريا المثبتة لآزوت الهواء الجوى من الأنواع *Azotobacter chroococcum*، و*Azospirillium lipoferum*، و*Beijerinckia* sp. إلى زيادة النمو الجذرى والخضرى للفلفل، وزيادة النشاط البكتيرى فى بيئة نمو الجذور (Govedarica وآخرون ١٩٩٧).

وأدى تلقيح بذور الخس بالـ *Azosprillum* قبل زراعتها إلى تحسين نمو النباتات الناتجة منها (الكتلة الحيوية للأوراق والجذور قبل الشتل، والوزن الطازج للأوراق ومحتواها من حامض الأسكوربيك قبل الحصاد) فى كل من الكنترول (صفر كلوريد صوديوم)، و ٤٠ مول كلوريد صوديوم/م^{٣}، مع حدوث زيادة فى كل من الوزن الجاف للأوراق ومحتواها من الكلوروفيل فى الحالة الأخيرة (Fasciglione وآخرون ٢٠١٢).

بكتيريا المحيط الجذرى

تعيش بكتيريا المحيط الجذرى rhizosphere bacteria فى المحيط الجذرى للنباتات، التى تستفيد من نشاطها البيولوجى.

لا تُعرف- على وجه الدقة – الكيفية التى تتحقق من خلالها استفادة النباتات من تلك الأنواع البكتيرية، وإن كانت هناك عدة احتمالات لذلك، منها ما يلى:

١-تفرز البكتيريا أثناء نشاطها البيولوجى عددًا كبيرًا من المركبات التى يمكن أن تستفيد منها النباتات؛ مثل: الفيتامينات، والأحماض الأمينية، والفينولات، ومركبات أخرى عديدة تقدر بالآلاف.

٢-تفرز البكتيريا عديدًا من منشطات النمو الهرمونية التى تحقق للنبات توازنًا هرمونيًا مناسبًا للنمو الجيد.

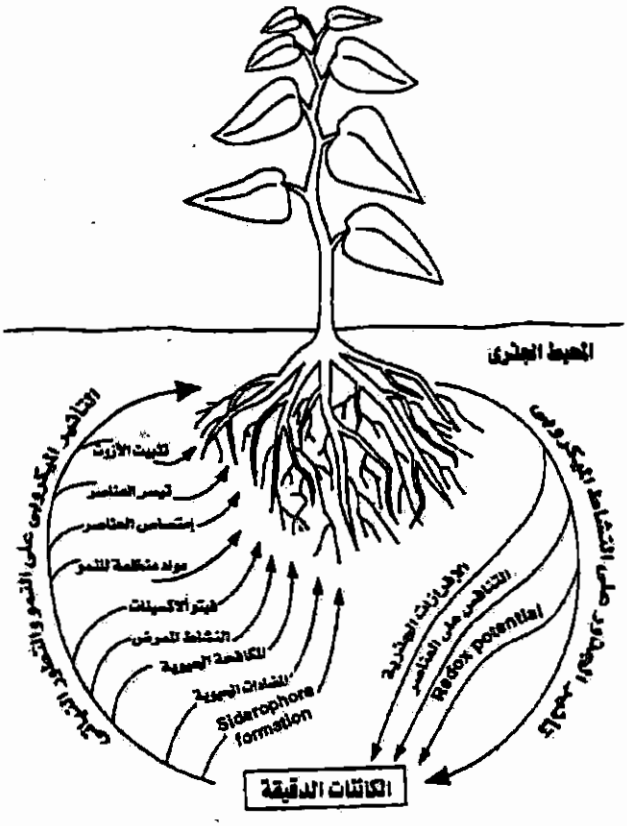
٣-تفرز البكتيريا أثناء نشاطها مضادات حيوية متنوعة تفيد فى وقف نشاط الكائنات الدقيقة الأخرى المسببة للأمراض؛ مثل البكتيريا، والفطريات.

٤-تحفز البكتيريا – بسبب نشاطها البيولوجى – امتصاص النبات للعناصر المغذية من التربة.

وكلما تنوعت الأنواع البكتيرية الموجودة فى المنشط الحيوى ازداد تنوع إفرازاتها، وازدادت – بالتالى – الفائدة التى تعود منها على النباتات.

وغنى عن البيان أن الأنواع البكتيرية التى يمكن أن تستفيد النباتات من نشاطها لا تمثل سوى نسبة ضئيلة من آلاف الأنواع البكتيرية المعروفة، وأن التآلف – وليس التنافس – بين هذه الأنواع ضرورى لكى تتحقق للنباتات الفائدة المرجوة منها.

إن المحيط الجذرى rhizosphere هو ذلك الجزء من التربة الذى يقع تحت التأثير المباشر لجذور النباتات الراقية، وهو يعد أكثر أجزاء التربة كثافة بالكائنات الدقيقة التى تكون فى تلامس مباشر مع الجذور النباتية. وتكون جذور معظم النباتات الراقية فى علاقة بعدد كبير من الأنواع الميكروبية النشطة، وقد تكون تلك العلاقة مفيدة للطرفين mutualistic، أو مضادة لأحدهما antagonistic، أو متباينة التأثير. ويوضح شكل (١٣ -١) عدد من تلك التأثيرات التى يمكن أن تحدثها الكائنات الدقيقة للمحيط الجذرى على النباتات.



شكل (١٣-١): التفاعلات الممكنة بين النباتات والكائنات الدقيقة التى يمكن أن تؤثر فى النمو النباتى.

وتعرف الأنواع البكتيرية تلك المنشطة للنمو باسم Plant Growth-Promoting Rhizobacteria، وهى بكتيريا تتكاثر بالقرب من الجذور، وتنتمى إلى عدة أجناس وأنواع، من أهمها الجنسان: *Pseudomonas*، و*Bacillus*. تتم المعاملة بها — غالبًا — عن طريق البذور.

وقد تبين أن هذه البكتيريا تكسب النباتات مناعة جهازية Induced Systemic Resistance ضد عديد من الأمراض. ومن أمثلة ذلك الحالات التالية (Liu وآخرون ١٩٩٥ أ، و ١٩٩٥ب).

المحصول	الأمراض التي حكوفحت جهازيًا (ومسبباتها)
الخيار	الأنثراكنوز (الفطر *Colletotrichum orbiculare*)
	تبقع الأوراق الزاوى (البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*)
	الذبول الفيوزارى (الفطر *Fusariam oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)
	سقوط البادرات (الفطر *Pythium aphanidermatum*)
الفاصوليا	اللفحة الهالية (البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*)

وقد استعمل فى هذه الدراسات سلالات معينة من عدة أنواع بكتيرية؛ منها:

Pseudomonas putida

Serratia marcescens

Pseudomonas fluorescens

وتعتبر البكتريا *Bacillus cereus* من المنشطات الحيوية التى تستعمل عن طريق التربة، أو بمعاملة البذور قبل الزراعة، أو رشًا على النموات الخضرية.

وقد أدى استعمالها عن طريق التربة إلى زيادة محصول الباذنجان بنسبة ١١٤٪ مقارنة بمعاملة الشاهد، كما كانت معاملة بذور الخيار أكثر فاعلية من معاملة رش النباتات (Li & Mei ١٩٩١).

ومن بين منشطات النمو الهرمونية التى تفرزها بعض الكائنات الدقيقة التى تعيش فى التربة، أو فى المحيط الجذرى، أو التى تكون فى علاقة تعاونية مع جذور النباتات، ما يلى:

١-تُفرز عديد من أنواع الجنس *Azotobacter* إندول حامض الخليك، وحامض الجبريلليك، ومركبات شبيهة بالجبريللينات، ومركبات شبيهة بالسيتوكينين، وثلاثى

إندول حامض البيروفيك.

٢-تفرز عديد من أنواع الجنس *Rhizobium* إندول حامض الخليك، كما يفرز بعضها ثلاثى إندول حامض البيروفيك، وحامض الجبريلليك، وجبريللينات أخرى، ومركبات شبيهة بالسيتوكينين، والأيزوبنتيل أدينين.

٣-تفرز عديد من أنواع الميكوريزا إندول حامض الخليك، وثلاثى إندول حامض الكربوكسيلك، ومركبات شبيهة بالسيتوكينين، والزياتين (Arshed & Frankenberger ١٩٩٨).

ومن أنواع البكتيريا المنشطة للنمو، ما يلى (Vavrina ١٩٩٩):

Bacillus amyloliquefaciens

B. pumilus

B. subtilis

B. cereus

Brevibacillus brevis

Paenibacillus macerans

ونقدم فى جدول (١٣-١) أمثلة لحالات تنشيط للنمو النباتى بعد المعاملة ببعض الأنواع البكتيرية والفطرية (فطريات الميكوريزا) للبذور، أو الجذور، أو بيئات الزراعة.

جدول (١٣-١): أمثلة لحالات تنشيط للنمو النباتى بعد المعاملة ببعض الأنواع البكتيرية والفطرية للبذور، أو الجذور، أو بيئات الزراعة (عن Whipps ١٩٩٧).

الكائن الدقيق المستخدم	النبات المعامل	تنشيط النمو المشاهد
بكتيريا		
Arthrobacter citreus	لفت الزيت	المساحة الورقية المحصول
Azotobacter	الطماطم	الإنبات
		الوزن الجاف
		طول الجذور والنمو الخضرى
Azotobacter chroococcum	الطماطم	الإنبات
		الوزن الجاف
		طول الجذور والنمو الخضرى
Bacillus subtilis A-13	القطن	النمو النباتى
	الفول السودانى	المحصول
B. subtilis GB03	القطن	المحصول
B. subtilis	البصل	الوزن الجاف للجذور والنمو النباتى
		الارتفاع
Pseudomonas spp.	الفاصوليا	وزن الجذور والنمو الخضرى
Pseudomonas putida GR 12-2		الإنبات
		الوزن الجاف
	الخيار	وزن الجذور والنمو الخضرى
		الإنبات
		الوزن الجاف
	الـ guayule	الوزن الجاف
	الخس	الوزن الجاف للجذور والنمو النباتى
		الإنبات
	الكنتالوب	وزن الجذور والنمو الخضرى
		الوزن الجاف
		الإنبات
	الفلفل	وزن الجذور والنمو الخضرى
		الوزن الجاف

يتبع

تابع جدول (١٣-١)

الميكائن الدقيق المستخدم	النبات المعامل	تنشيط النمو المشاهد
	البطاطس	وزن الجذور والنمو الخضرى
		المحصول
	الفجل	الإنبات
		طول الجذور والنمو الخضرى
		الوزن الجاف
		الإنبات
	التبغ	وزن الجذور والنمو الخضرى
		الوزن الجاف
	الطماطم	الإنبات
		طول الجذور والنمو الخضرى
		الوزن الجاف
	القمح	الوزن الجاف للجذور والنمو الخضرى
Pseudomonas sp. Ps JN	البطاطس	الإنبات
		تطور النمو النباتى
		محصول الدرنات
Pseudomonas flourescens	لفت الزيت	المساحة الورقية
		المحصول
	الأرز	الارتفاع
	الطماطم	الإنبات
		الوزن الجاف
		طول الجذور والنمو الخضرى
Pseudomonas fluorescens E6	القرنفل	الوزن الطازج للنمو الخضرى
Pseudomonas putida	لفت الزيت	المساحة الورقية
		المحصول
Pseudomonas putida GR 12-2	لفت الزيت	طول الجذور
Serratia liquefaciens	لفت الزيت	المساحة الورقية
		المحصول
Streptomyces griseoviridis	الكرنبيات	تطور النمو النباتى
	الخس	تطور النمو النباتى

يتبع

تابع جدول (١٣-١)

الكائن الدقيق المستخدم	النبات المعامل	تنشيط النمو المشاهد
فطريات		
Rhizoctonia solani (binucleate)	الفلفل	الوزن الجاف للنمو الخضرى
Rhizoctonia solani (nonpathogenic)	الجزر	الوزن الطازج والجاف
	القطن	وزن الألياف
	البطاطس	الوزن الطازج للنمو الخضرى
	الخس	الوزن الطازج والجاف
	القمح	وزن الحبوب والمحصول
	الفجل	الوزن الطازج والجاف
Trichoderma spp.	الخس	الوزن الطازج والجاف
	البيتونيا	عدد الأزهار
	التبغ	الإنبات
Trichoderma koningii T8	الطماطم	الوزن الجاف للجذور والنمو الخضرى
	الخيار	الإنبات
Trichoderma harzianum BR105	الطماطم	الوزن الجاف للجذور والنمو الخضرى
		عقد الأزهار
Trichoderma harzianum T-12	الفجل	الوزن الجاف
	الطماطم	الإنبات
		الوزن الطازج والجاف
Trichoderma harzianum T-95	الأقحوان	الوزن الطازج والجاف
	البيتونيا	الوزن الطازج والجاف
	الفجل	الوزن الجاف
	الطماطم	الإنبات
		الوزن الجاف للنمو الخضرى
Trichoderma harzianum T-203	الفاصوليا	الإنبات
	الخيار	الإنبات
	الفلفل	الارتفاع
		الوزن الجاف
		المساحة الورقية
Trichoderma viride	الفجل	الإنبات
	الطماطم	الإنبات
	الخس	الوزن الطازج للنمو الخضرى

ونقدم – فيما يلى – أمثلة لأنواع بكيترية مختلفة لعبت دورًا فى تنشيط النمو النباتى لدى المعاملة بها.

الجنس Bacillus

• أحدثت معاملة الطماطم وكرنب أبو ركبة والجزر ببكتيريا المحيط الجذرى *Bacillus subtilis* زيادة فى محصول الطماطم قدرت بنحو ١٠٪، وفى حجم الجزء المأكول من كرنب أبو ركبة قدرت بنحو ٨٪، بالإضافة إلى إسراع إنبات البذور وزيادة المحصول فى الجزر (Kilian & Raupach ١٩٩٩).

• أدت معاملة جذور الطماطم بالسلالة BS13 من البكتيريا *Bacillus subtilis* إلى زيادة المحصول وحجم الثمار (Mena-Violante & Olade-Portugal ٢٠٠٥).

• أدت معاملة التربة بخليط من نوعين بكتيريين يعيشان فى المحيط الجذرى وينشطا النمو النباتى، هما: *Bacillus subtilis*، و *Bacillus amyloliquefaciens* إلى زيادة محصول الفلفل جوهريًا مقارنة بالمحصول فى النباتات التى لم تعط تلك المعاملة (Herman وآخرون ٢٠٠٨).

• أوضحت دراسات Andrade وآخرون (١٩٩٥) على البسلة أن السلالة BH-II من البكتيريا *Bacillus* spp. التى تعيش فى المنطقة المحيطة بالجذور النباتية rhizosphere يمكن أن يكون لها تأثيرات إيجابية وأخرى سلبية على النبات والتربة. فمن ناحية لم تؤثر البكتيريا على الوزن الجاف الكلى لنبات البسلة فى كل من الأراضى الغنية والأراضى الفقيرة فى عنصر الفوسفور فى غياب الميكوريزا، ولكنها أنقصت النمو النباتى بمقدار ٣٠٪ عند تواجد الميكوريزا *Glomus mosseae*. وقد أدت البكتيريا إلى زيادة نسبة الجذور إلى النمو الخضرى، ونسبة البذور إلى الوزن النباتى الكلى سواء فى وجود الميكوريزا، أم فى غيابها. وقد فقد نوعا التربة تجببهما فى غياب الميكوريزا، ولكن قل ذلك الفقد كثيرًا عند تواجد البكتيريا. وبالمقارنة ازداد تحبب التربة بنسبة

٢٧٪ خلال فترة التجربة عند تواجد الميكوريزا، ولكن لم تؤثر البكتيريا كثيرًا على تلك العملية.

• بينما لم يكن للتلقيح بالسلالة CECT 450 من *Bacillus* sp. – منفردة – أى تأثير على نباتات الفاصوليا، فإن الجمع بينها وبين السلالة CIAI 899 من بكتيريا الرايزوبيم *Rhizobium tropici* أدى إلى زيادة تكوين الأخيرة للعقد الجذرية، فى الوقت الذى أدى فيه الجمع بين السلالة USDA 110 من بكتيريا المحيط الجذرى *Bradyrhizobium japonicum* وبكتيريا الرايزوبيم إلى تقليل تكوين العقد الجذرية (Camacho وآخرون ٢٠٠١).

• أدت معاملة مخاليط الزراعة وإنتاج شتلات الطماطم والفلفل ببكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنو إلى تحسين النمو النباتى بصورة جوهرية، وزيادة المحصول جوهريا فى كلا المحصولين، وكذلك زيادة محصول ثمار الطماطم الكبيرة الحجم، وكانت أفضل المخاليط البكتيرية المؤثرة هى LS256 للطماطم (وهو يتكون من السلالة GBO3 من *B. subtilis*، والسلالة INR7 من *B. pumilis*)، وLS255 (الذى يتكون من السلالتين GBO3، و IN937b من *B. subtilis*)، وLS256 للفلفل (Kokalis–Burelle وآخرون ٢٠٠٢).

• دُرس تأثير ١٢ سلالة ونوعًا من بكتيريا المحيط الجذرى – كأسمدة حيوية – على نشاط بعض الإنزيمات الهامة ونمو نباتات السبانخ.

كانت البكتيريا كما يلى:

Bacillus mycoides FD07

B. sphaericus CR12

B. pumilus RC19

B. cereus RC18

Variovorax paradoxus RC21

Paenibacillus polymyxa RC35

Pseudonas putida RC06

B. megaterium RC07

B. megaterium M-3

B. licheniformis RC08

B. subtilis RC11

B. subtilis OSU-142

وكانت الإنزيمات التى قيس نشاطها هى:

Glucose-6-phosphate dehydrogenase

6-phosphogluconate dehydrogenase

Glutathione reductase

Glutathione-S-transferase

أدى التسميد الحيوى إلى تحسين النمو (الوزن الطازج والجاف للنمو الخضرى والجذرى لبادرات السبانخ) بنسب وصلت إلى ٣٠٪ – ٣٨٪، وربما كان مرد ذلك إلى ما أفرزته بكتيريا المحيط الجذرى من إندول حامض الخليك، حيث كانت السلالاتان الأكثر إنتاجًا لهذا الهرمون (IAA) – وهما: RC35، و RC06، أكثرها تحفيزًا للنموين الجذرى والخضرى. كذلك حسنت البكتيريا من امتصاص النيتروجين والفوسفور؛ ومن ثم حسنت النمو النباتى ونشاط الإنزيمات المفتاحية (Cakmakci وآخرون ٢٠٠٩).

• وجد أن معاملة الفراولة بأى من بكتيريا المحيط الجذرى:

Pseudomonas BA-8

Bacillus OSU-142

Bacillus M-3

تؤدى إلى زيادة محصول الفراولة، وتحسُّن نوعيتها بزيادتها لكل من نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية والسكريات الكلية والسكريات المختزلة وخفضها للحموضة المعايرة، دون التأثير على أى من وزن الثمرة أو رقم الحموضة بها (Pirlak & Kose ٢٠٠٩).

• كان لثلاثة تحضيرات من بكتيريا المحيط الجذرى – هى RC19 (*Bacillus simplex*)، وRCO5 (*Paenibacillus polymyxa*)، وRC23 (*Bacillus* spp.) – تأثيرًا فعالاً فى تحسين نمو الفراولة وزيادة محصول الثمار (Erturk وآخرون ٢٠١٢).

الجنس *Pseudomonas*

• أدت معاملة بذور الخيار بالسلالة G872B من *Gliocladium virens*، أو بالسلالة Pf3 من *Pseudomonas putida*، أو بمخلوط منهما إلى زيادة معدل الإنبات، والنموين الخضرى والجذرى والمحصول، وكانت أكثر المعاملات كفاءة هى بالسلالة G872B أو بمخلوط منها مع السلالة Pf3 (Bae وآخرون ١٩٩٥).

• أدت معاملة بذور الخس والطماطم بالسلالة GR12-2 من البكتيريا *Pseudomonas putida* إلى زيادة طول جذور البادرات، ويعتقد أن ذلك التأثير كان مرده لتثبيط تلك البكتيريا لإنتاج البادرات النامية للإيثيلين (Hall وآخرون ١٩٩٦).

• كذلك أدت معاملة بذور الخيار أو التربة بالبكتيريا *Pseudomonas syringae* var. *lachrymans* إلى إحداث مقاومة جهازية فى النباتات ضد الإصابة بكل من تبقع

الأوراق الزاوى والأنثراكنوز، مع تحفيز مبكر للنمو النباتى وزيادة محصول الثمار (Wei وآخرون ١٩٩٦).

• تستجيب الطماطم لتوفير البكتيريا المنشطة للنمو النباتى حول جذور النباتات (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria). فمثلاً.. أدت السلالة 28-63 من البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* إلى زيادة محصول الثمار الصالحة للتسويق بنسبة ١٣,٣٪، ومحصول ثمار الدرجة الأولى بنسبة ١٨,٢٪، ومتوسط وزن الثمرة بنسبة ١١,١٪ – عندما كانت الظروف غير مناسبة للطماطم – وذلك مقارنة بمعاملة الشاهد (Gagné وآخرون ١٩٩٣).

• أحدثت معاملات بكتيريا المحيط الجذرى المحفزة للنمو زيادات جوهرية فى كل من طول وقطر شتلات البطيخ والكنتالوب، كما أدت إلى زيادة وزن المجموع الجذرى لشتلات الكنتالوب. وفى البطيخ خفضت أربع معاملات ببكتيريا المحيط الجذرى المحفزة للنمو إصابة النباتات بكل من البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* مسببة مرض بقع الأوراق الزاوية، والفطر *Didymella bryoniae* مسبب مرض لفحة الساق الصمغية، مقارنة بالنباتات التى لم تُعامل. كذلك قللت إحدى معاملات بكتيريا المحيط الجذرى المحفزة للنمو إصابة الكنتالوب ببقع الأوراق الزاوية. وفى الحقل.. قللت إحدى معاملات بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو إصابة الكنتالوب بنيماتودا تعقد الجذور *Meloidogyne incognita*، مقارنة بما حدث فى نباتات الكنترول (Kokalis – Burelle وآخرون ٢٠٠٣).

• أوضحت دراسة حول تأثير عدد من سلالات الرايزوبيم والسلالة P-93 من *Pseudomonas fluorescens* والسلالة S-21 من *Azospirillum lipoferum* (وكلتاهما من بكتيريا المحيط الجذرى) حدوث تباين معنوى فى نمو نباتات الفاصوليا باختلاف سلالة الرايزوبيم المستعملة. كما أن المعاملة ببكتيريا المحيط الجذرى – مع

بكتيريا الرايزوبيم – أحدثت زيادة جوهرية فى عدد العقد الجذرية ووزنها الجاف، والوزن الجاف للنمو الخضرى وكمية النيتروجين المثبتة من الهواء الجوى والمحصول والمحتوى البروتينى للفاصوليا (Yadegari وآخرون ٢٠١٠).

الجنس *Rhizobium*

• وجد أن تلقيح الخس والذرة بالبكتيريا المذيبة للفوسفات *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* (السلالتان P31، وR1) أحدث زيادة معنوية فى النمو النباتى، كان مردها إلى إذابة تلك البكتيريا – التى لا يمكنها المعيشة تعاونيًّا مع جذور غير البقوليات – لعنصر الفوسفور فى المحيط الجذرى للنباتات (Chabot وآخرون ١٩٩٦).

الجنس *Klebsiella*

• وجد أن السلالة TSKhA-91 من البكتيريا *Klebsiella planticola* – التى عُزلت من المحيط الجذرى لبعض الخضر – تتكاثر باستمرار، وتبقى ملتصقة بثبات بالجذور، وتسود فى المحيط الجذرى للخضر طوال فترة النمو النباتى. ولهذه السلالة قدرة عالية على تثبيت آزوت الهواء الجوى، وتقوم بتمثيل مضادات حيوية ومنشطات نمو، وتكون محاصيل الخضر التى تلقح بها أعلى إنتاجية (Temtsev ١٩٩٤).

الجنس *Entrobacter*

• وجد أن بكتيريا المحيط الجذرى *Entrobacter cloacae* (السلالة CAL3) تؤدى – حين تواجدها فى المحيط الجذرى للطماطم والفلفل – إلى تحفيز النمو، حتى مع التسميد بمحلول مغذٍ. وقد تطلب هذا التأثير المحفز تواجد الخلايا البكتيرية وهى حية (Mayak وآخرون ٢٠٠١).

أجناس بكتيرية أخرى

• وجد أن تلقيح بيئة زراعة الفاصوليا بالسلالة SAOCV2 من البكتيريا *Burkholderia cepacia* التى تقوم بإذابة الفوسفور غير العضوى وتضاد الفطرين *Fusarium oxysporium* f. sp. *phaseoli*، و*F. solani*، أن ذلك أدى إلى زيادة مستوى الفوسفور فى النباتات بنسبة ٤٤٪، وإلى زيادة محتواها من النيتروجين، مع زيادة أعداد العقد الجذرية التى تكونت بجذورها (Peix وآخرون ٢٠٠١).

• أدى تلقيح بيئة نمو شتلات الفلفل بالبكتيريا *Sinorhizobium* sp. إلى زيادة طول الشتلات ووزنها الجاف عما فى معاملة الكنترول (Russo ٢٠٠٦).

• استفادت نباتات الـ *Vigna mungo* (وهى الـ: black gram) من التلقيح بإثنتين من الـ hypersaline cyanobacterium، هما: *Phormidium tenue*، و*Bradyrhizobium* sp.، فى صورة زيادة فى النمو لم تكن أقل من تلك التى صاحبت التسميد العضوى (سبلة الماشية)، أو الكيميائى (اليوريا) (Karthikeyan وآخرون ٢٠٠٨).

• أحدث حقن شتلات الطماطم بالسلالة MT232 من البكتيريا *Agrobacterium rhizogenes* — التى تحفز تفرع النمو الجذرى — أحدث زيادة كبيرة معنوية فى النمو الجذرى للنباتات، حيث بلغت الزيادة فى الوزن الجاف للجذور ٦٤٪، مقارنة بمعاملة الشاهد. وقد اقتصر هذا التأثير على النمو الجذرى فى الثلاثين سنتيمترًا السطحية فقط من التربة، أى أنه ظل قاصرًا فقط على كتلة الجذور الأصلية التى تعرضت للعدوى بالبكتيريا. هذا.. بينما لم يكن للبكتيريا أى تأثيرات غير طبيعية على النمو الخضرى للنباتات المحقونة (Erickson وآخرون ١٩٩٠).

وفى المقابل.. دُرس تأثير ثمانى إضافات ميكروبية تجارية للتربة على نمو بادرات صنفين من الفلفل تحت ظروف البيوت المحمية والحقل، وكانت تلك الإضافات كما يلى:

Actinovate AG	Bio inoculant
Bio S. I.	Compost Tea
Mpact	PMSLA and EO-12
Soil Activator	Super Bio

واستخدم مستحلب السمك التجارى Neptune's Harvest مع كل من تلك الإضافات، ومنفردًا للمقارنة. وقد تبين أن الإضافات لم يكن لها أى تأثير مفيد على النمو النباتى تحت أى من ظروف الصوبة أو البيوت المحمية (Russo & Fish ٢٠١٢).

ولمزيد من التفاصيل المتعلقة ببكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى.. يراجع Zahir وآخرين (٢٠٠٤).

الخمائر

تبين وجود عدة أنواع من الخمائر فى المحيط الجذرى للطماطم والبطاطس والفلفل والخيار تتبع الأجناس:

Candida	*Rhodotorula*	*Torulopsis*
Debaryomyces	*Cryptococcus*	*Saccharomyces*
Lipomyces		

وقد كان أكثرها تواجدًا الجنس *Rhodotorula*.

وأدى تلقيح جذور الطماطم بمخلوط من تلك الخمائر إلى إحداث زيادة جوهرية فى كل من وزن الثمار ومحتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية، والمحصول الكلى (AbdEl-Hafaz & Shehata ٢٠٠١).