الفصل الثامن

المنشطات الحيوية

تعريف المنشطات الحيوية

إن المنشطات الحيوية Biostimulants عبارة عن مستحضرات تحتوى على منظمات نمو معينة أو كائنات دقيقة ، وتؤدى ـ عند معاملة النباتات بها ـ إلى تحفيز النمو النباتى ، وزيادة المحصول ، كما يؤدى بعضها إلى زيادة قدرة النباتات على تحمل الظروف البيئية القاسية .

وقد تحتوى المنشطات الحيوية على بعض العناصر المغذية الضرورية للنبات ، وقد لا تحتوى عليها ، ولكن وجود هذه العناصر ضمن بعض تحضيرات المنشطات الحيوية لا يعدو أن يكون عاملا مساعدا لعمل تلك المنشطات ؛ وبذا . . فإن جميع أنواع الأسمدة لا تعد من المنشطات الحيوية .

وتعمل بعض المنشطات الحيوية ـ من خلال نشاطها الحيوى ـ 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 على واحد أو أكثر من مجموعات محفزات النمو التالية :

١ - الكائنات الدقيقة :

من أمثلة هذه الكائنات ما يلى :

أ ـ بكتيريا تثبيت أزوت الهواء الجوى فى التربة ، أو فى جذور البقوليات .

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

جـ ـ أنواع بكتيرية تعمل ـ من خلال نشاطها الحيوى ـ على توفير توازن هرمونى معين محفز للنمو النباتى .

د ـ أنواع فطرية (فطريات «الميكوريزا» Mycorhizae) تعيش تعاونيا مع جذور النباتات .

٢ ـ هرمونات نباتية ، وخاصة السيتوكينينات .

٣ - مركبات كيميائية أخرى ـ غير سمادية ـ محفزة للنمو ؛ مثل : حامض الهيوميك humic acid ، وحامض الفلفيك fulvic acid ، وحامض الفوليك folic acid ، وبوليمرات حامض اللاكتيك ، ومجموعة فيتامينات B ، وحامض الأسكوربيك (فيتامين C) .

وكما أسلفنا . . فإن معظم المنشطات الحيوية تحتوى ـ كذلك ـ على عناصر مغذية نباتية ، للمساعدة على تحفيز عمل تلك المنشطات .

هذا . . وليست جميع مستحضرات المنشطات الحيوية معلنة الهوية ، لا من حيث التركيب ، ولا من حيث المصادر الأولية التى تستعمل فى تحضيرها .

الأحماض الأمينية والدبالية والفيتامينات

يعتبر الحامض الأمينى L-Tryptophan (وهو β-3-indolylalanine) من المنشطات الحيوية . وهو من الأحماض الأمينية الضرورية لكل من الإنسان ، والحيوان ، وبعض أنواع البكتيريا ، مثل :

Lactobacillus arabinosus

L. casei

Strepococcus faecalis

Leuconostoc mesenteroids

ويمكن للنباتات تمثيل هذا الحامض الأمينى من 3-phosphoshikimic acid ، ثم من chorismic acid ، و anthranilic acid .

ويقوم عديد من الكائنات الدقيقة بإفراز مركبات أيضية ثانوية بعد استعمالها لحامض L-Tryptophan ، ومن هذه المركبات الأوكسينات ؛ فمثلا . . تقوم بكتيريا الـ Pseudomonads الفلورية التى تعيش فى التربة بتحويل التربتوفان إلى إندول حامض الخليك . ويحدث نفس الشئ بواسطة فطر الميكوريزا الخارجى التطفل Pisolithus tinctorius .

كذلك يدخل التربتوفان الذى تُعامل به النباتات خارجيا فى العمليات الأيضية التى تقود إلى تمثيل إندول حامض الخليك .

وفى دراسة على القاوون والبطيخ . . وجد Frankenberger & Arshad (١٩٩١) أن معاملة تربة المشاتل بالتربتوفان بتركيز ٦ × ١٠$^{-٥}$ إلى ٦٠ مجم / كجم من التربة أدت إلى زيادة محصول القاوون بنسبة ٤٢٪ ، والبطيخ بنسبة ٤٢٪ - ٨٠٪ ، وإلى زيادة متوسط وزن الثمرة بنسبة ٣٦٪ ، و٤٣٪ فى كل من القاوون والبطيخ على التوالى .

ويحتوى المحفز الحيوى التجارى إرجوستيم Ergostim (إنتاج شركة Montedison فى نيويورك) على الحامض الأمينى L-cysteine وحامض الفوليك folic acid . وقد أدى استعماله عن طريق التربة إلى زيادة محصول الأرز ، والذرة ، والتفاح ، بينما أدى استعماله رشا على النمو الخضرى للفراولة إلى زيادة قوة النمو والمحصول .

ويؤدى استعمال تحضير حامض الهيوميك humate الجاف Agro-Lig ، وحامض الهيوميك السائل Enersol (إنتاج شركة American Colloid Co. فى إلينوى) إلى

تحفيز النمو النباتى من خلال تكوينها لمعقدات عضوية مع عنصر الحديد ، يقوم النبات بامتصاصها .

وقد وجد Sanders وآخرون (١٩٩٠) أن كلا من Agro-Lig ، و Enersol (وهما من الأحماض الدبالية humic acids) ، و Ergostim (وهو حامض فوليك folic acid) أدت ـ عند إضافتها بتركيز ١,٥٪ (وزن / حجم) ـ إلى جلى اللابونيت ٥٠٨ Laponite 508 (كبريتات المغنيسيوم) عند الزراعة بطريقة السوائل Fluid Drilling ـ أدت إلى مضاعفة إنبات بذور الجزر أكثر من مرتين مقارنة بمعاملة الشاهد . وعندما أضيفت المحفزات الحيوية إلى البذور المزروعة بالطريقة العادية ازداد حجم الجذور إلى أكثر من الضعف مقارنة بالكنترول .

وتضم هذه القائمة من المنشطات الحيوية ـ كذلك ـ التحضير التجارى روتس Roots (إنتاج شركة Lisa Products Corp فى New Haven بولاية كونتكت الأمريكية) ، وهو مخلوط من أحماض الهيومك ، ومستخلصات الطحالب البحرية (طحلب Ascophyllum nodosum) ، والثيامين ، وحامض الأسكوربيك . وقد أحدث استعمال هذا المُنتج زيادة جوهرية فى محصول الفاصوليا من القرون الخضراء (Russo & Berlyn ١٩٩٢) ، كما أحدث زيادة غير معنوية فى نمو الكرنب (Heckman ١٩٩٤) .

ومن المنشطات الحيوية الأخرى ـ التى تتوفر محليا ـ والتى يمكن اعتبارها من هذه المجموعة ـ كل من : البيوستيم Biostim ، وما نفرت ب Manfert B .

يحتوى البيوستيم هرمونات نباتية (أوكسينات وسيتوكينين) مخلوطة بأحماض أمينية وفيتامينات ومركب البيتين . أما مانفرت ب فهو يحتوى على عناصر كبرى وصغرى مخلوطة بأحماض أمينية ، وفيتامينات ، ومركب البيتين ، ومنشطات بيولوجية لتحفيز أوكسينات النمو الطبيعية . ويفيد مركب البيتين فى الحماية من أضرار الجفاف .

الميثانول

اكتشف أحد المزارعين بولاية أريزونا الأمريكية أن رش النباتات بمحلول مخفف (٢٠٪) من الميثانول methanol (كحول الخشب wood alchol) يحفز نموها .

وقد أخضع A. Nonomura هذه الملاحظة للدراسة العلمية ؛ حيث وجد أن نباتات القطن تذبل فى منتصف النهار بسبب عجز النبات عن امتصاص كل احتياجاته من الرطوبة الأرضية فى تلك الفترة . ويؤدى الذبول إلى إغلاق الثغور ؛ وبذا يقل معدل البناء الضوئى ، ويزيد ـ فى الوقت نفسه ـ معدل التنفس الظلامى بسبب انخفاض مستوى ثانى أكسيد الكربون داخل الورقة .

وعندما قام Nonomura برش نباتات القطن الذابلة (فى وسط النهار) بمحلول مخفف من الميثانول اختفى الذبول ، وانفتحت الثغور ، واستعاد النبات نشاطه فى البناء الضوئى بالمعدلات السابقة ، كما انخفض معدل التنفس الظلامى . وترتب على ذلك حدوث زيادة جوهرية فى معدل النمو ، وتبكير تكوين اللوز بمقدار أسبوعين .

كذلك أدى الرش بمحاليل مخففة من الميثانول إلى زيادة حجم رؤوس الكرنب ، وزيادة محصول البطيخ بمقدار ٣٦٪ ، وزيادة النمو فى كل من القمح والشعير ، وزيادة النمو الخضرى للطماطم بمقدار ٥٠٪ خلال ٣٠ يومًا من المعاملة .

وبالمقارنة . . فإن الذرة ـ وهو محصول C_4 ـ لا تختل فيه عملية البناء الضوئى فى منتصف النهار ، ولا يحدث فيه تنفس ظلامى ؛ ولذا . . فإنه لا ينتظر استجابته لمعاملة الميثانول ، كما لا ينتظر استجابة أى من نباتات الـ C_4 ـ كذلك ـ لتلك المعاملة ، وهو ما أمكن إثباته تجريبيا فى كل من الذرة وحشيشة برمودا .

ويبدو أن دور الميثانول فى النبات يكون من خلال عملية يؤثر فيها الضوء . ولا يعتقد أن النبات يستعمل الميثانول كمصدر للكربون (بالرغم من أن هذا يحدث فى الطحالب) ؛ نظرًا لأن الكميات التى تستخدم أقل ـ بكثير ـ من أن تفسر الزيادات المشاهدة فى النمو والمحصول . ويعتقد ـ على الأرجح ـ أن الميثانول ينظم إحدى العمليات الأساسية فى النبات (عن Chrispeels & Sadava ١٩٩٤) .

هذا إلا أن نتائج تلك الدراسات ما زالت غير مؤكدة ؛ نظرًا لأن هذه المعاملات أُخضعت للدراسة فى مناطق أخرى ولم تكن مجدية . ففى كاليفورنيا . . تبين أن المعاملة بالميثانول ٣ ـ ٦ مرات (بتركيز ١٦٪ ـ ٣٥٪ بالحجم) لم يكن لها أية تأثيرات

إيجابية على النمو الخضرى ، أو المحصول ، أو صفات الثمار (متوسط وزن الثمرة ، ومحتواها من المواد الصلبة الذائبة) ، أو التبكير فى النضج فى أى من المحاصيل التى استخدمت فى الدراسة ، وهى : الطماطم ، والقاوون ، والبطيخ (Hartz ، وآخرون ١٩٩٤) .

وفى دراسة لاحقة أجريت ـ كذلك ـ فى كاليفورنيا (McGiffen وآخرون ١٩٩٥) ، وتضمنت ثمانية محاصيل حقلية وبستانية ، زرعت فى ظروف بيئية متباينة ، وسمدت أو لم تُسَمَّدْ . . لم تكن للمعاملة بالميثانول أية تأثيرات إيجابية على النمو النباتى أو المحصول فى أى منها .

وفى أوريجون . . لم تكن لمعاملة الميثانول بتركيز ٢٠٪ ، أو ٤٠٪ ، أو ٦٠٪ أية تأثيرات على محصول البطاطس ونوعية درناتها ، أو على كفاءة النباتات فى الاستفادة من الرطوبة الأرضية (Feibert وآخرون ١٩٩٥) .

المنشطات الحيوية الهرمونية

يعرف عديد من التحضيرات التجارية لمنشطات النمو الهرمونية ؛ مثل بيوزيم وترجر وغيرهما .

يستخلص البيوزيم Biozyme من مصادر نباتية ، وهو يحتوى على منظمات النمو والعناصر التالية (بالجزء فى المليون) : إندول حامض الخليك ٣٢,٢ ، وحامض الجبريلليك ٣٢,٢ ، والزياتين Zeatin ٨٣,٢ ، والحديد ٤٩٠٠ ، والمنجنيز ١٢٠٠ ، والبورون ٣٠٠٠ ، والزنك ٣٧٠٠ ، والمغنيسيوم ١٤٠٠ ، والكبريت ٤٤٠٠ . وقد وجد El-Sayed (١٩٩٥) أن رش نباتات الفلفل ثلاث مرات (عند بداية الإزهار ثم كل ثلاثة أسابيع) بالبيوزيم (بتركيز ٠,١٪) أحدث زيادة جوهرية فى المحصول المبكر مقارنة بمعاملة الشاهد .

ويحتوى المنشط الحيوى ترجر Triggrr على كينتين وعناصر كبرى وعناصر صغرى . وهو يستعمل رشا ، أو عن طريق التربة . وقد أدى استعماله مع الطماطم

إلى زيادة المحصول المبكر من الثمار المتوسطة الحجم ، ولكنه لم يؤثر معنويا على المحصول المبكر أو الكلى من الثمار الأكبر حجمًا . كما لم يؤثر استعماله فى المحصول المبكر أو حجم الثمار فى الفلفل ، ولكنه أدى إلى زيادة المحصول الكلى الصالح للتسويق (Csizinsky وآخرون ١٩٩١) .

وقد استخدمت المنشطات الحيوية الورقيـة : Culbac ، و Flori-Green Booster ، و KeyPlex 350 ، والمنشطات التى تستعمل عن طريـق التربـة : Triggrr المبرغل ، و Triggrr السائل لتقييم تأثيرها على نمو محصول الفلفل . أدى استعمال Triggrr المبرغل إلى زيادة المحصول إلى ٦,٠٢ طنا للهكتار مقارنة بـ ٢,٠٤ طنا للهكتار فى معاملة الشاهد . وفيما عدا ذلك . . لم يكن لأى من المنشطات الحيوية تأثيرات مرغوب فيها فى كل من محصول ثمار الدرجتين الأولى والثانية ، أو المحصـول المبكر ، أو المحصول الصالح للتسويق ، أو على محتوى الثمار من العناصر الكبرى أو الصغرى باستثناء عنصر الحديد (Csizinsky ١٩٩٠) .

مستخلصات الطحالب البحرية

تبعًا لتعريفنا للمنشطات الحيوية . . فإنه لا يمكن اعتبار المركبات المستخلصة من الأعشاب البحرية منشطات حيوية ؛ لأنها تعد ـ فى واقع الأمر ـ نوعًا من الأسمدة العضوية المركزة التى تستخدم إما رشا على النباتات ـ كسماد ورقى ـ وإما بإضافتها إلى التربة لتحسين خواصها وزيادة خصوبتها . وبالرغم من ذلك فإن تلك التحضيرات تسوق ـ عادة ـ على أنها منشطات حيوية باعتبار أنها تحتوى على بعض منظمات النمو ـ وخاصة السيتوكينينات ـ وعديد من الأحماض الأمينية المحفزة للنمو النباتى .

ونذكر ـ فيما يلى ـ أمثلة لبعض التحضيرات التجارية المستخلصة من الطحالب البحرية :

١ - جويمار ١٤ Goemar 14 :

سماد ورقى سائل كريمى ، يذوب فى الماء ، ويتم تحضيرة من الأعشاب البحرية .

ويحتوى السماد على عديد من الأحماض الأمينية ، كما يحتوى على سيتوكينينات جليكوسيلية glycosyl cytokinins بتركيز ٢٠٠ ميكرو جرام / لتر ، وعلى البيتانينات Betaines بتركيزات عالية . وينسب إلى البيتانينات زيادة قدرة النباتات على تحمل الملوحة ، والجفاف ، والصقيع .

كما ينسب إلى هذا التحضير التجارى زيادة قدرة النباتات على امتصاص وتمثيل العناصر ، وتحسين الإزهار والعقد ، والتبكير فى النضج .

٢ - الجينيور Alginure :

مستخلص من الأعشاب البحرية فى صورة غروية قوية يحفز نمو البكتيريا والميكوريزا فى التربة ، ويقلل من فقد العناصر الغذائية بالرشح .

ويحتوى الجينيور على العناصر المغذية بالتركيزات التالية (جم / لتر) :

الكالسيوم ١٩,٤	البوتاسيوم ١٩,٨
النيتروجين ١٤,٧	كلوريد الصوديوم ٢٧,٠
الفوسفور ٢,٦	الكبريت ٤,٦
المغنيسيوم ٢,٢	الحديد ٠,٢
المنجنيز ٠,٠٣٨	الزنك ٠,٠٤٢
النحاس ٠,٠٠٤	البورون ٠,٠٠١
الموليبدنم ٠,٠٠١	

٣ - ماكسى كروب Maxicrop:

سماد ورقى يتوفر فى صورة مسحوق قابل للذوبان ، أو سائل مركز . ويستعمل السماد بمعدل ٢,٧٥ ـ ٥,٥ كجم من المسحوق (أو ١١ ـ ١٢ لترًا من السائل المركز) للهكتار تبعًا للنوع المحصولى ، مع تقسيم هذه الكمية على عدة دفعات .

يحتوى سماد ماكسى كروب على نحو ٦٠ عنصرًا ، نذكر منها ما يلى (علما بأن التركيزات المبينة للعناصر هى فى مسحوق السماد) :

البورون ١٩٤ جزءا فى المليون	الكالسيوم ١,٩٪
الكلور ٣,٦٨٪	الكوبلت ١٢ جزءا فى المليون
النحاس ٦ أجزاء فى المليون	الفلور ٣٢٦ جزءا فى المليون
الحديد ٨٩٥ جزءا فى المليون	اليود ٦٢٤ جزءا فى المليون
البوتاسيوم ١,٢٨٪	المغنيسيوم ٠,٢١٣٪
المنجنيز ٠,١٢٤٪	الموليبدنم ١٦ جزءا فى المليون
النيتروجين ١,٥٪	الصوديوم ٤,١٨٪
النيكل ٣٥ جزءا فى المليون	الفوسفور ٠,٢١١٪
الكبريت ١,٦٥٪	السيلينيوم ٠,٤٣ جزءا فى المليون
السليكون ٠,١٦٤٪	الزنك ٣٥ جزءا فى المليون

٤ - رسبونس ٩ ـ ٩ ـ ٧ :

أوضحت دراسات Igdokwe وآخرين (١٩٩٠) أن رش نباتات الطماطم بالتحضير التجارى Response 9 - 9 - 7 المستخلص من الأعشاب البحرية ـ بتركيزات تراوحت بين ١ : ٥٠٠ و١ : ١٢٥ كل أسبوع إلى كل أربعة أسابيع ـ لم يؤثر فى النمو الخضرى أو متوسط وزن الثمرة ، ولكن أدى الرش بتركيز ١ : ٥٠٠ إلى زيادة عدد الثمار الصالحة للتسويق .

المنشطات الحيوية البكتيرية

يتوفر عديد من التحضيرات التجارية لمنشطات النمو البكتيرية . وقد تحتوى هذه التحضيرات ـ كذلك ـ على منظمات نمو وعناصر مغذية صغرى وكبرى ، وقد لا تحتوى عليها . ومن أهم شروط استخدام هذه التحضيرات التسميد العضوى الجيد قبل الزراعة ؛ لكون السماد العضوى بيئة أساسية لنشاط هذه البكتيريا وتكاثرها .

ويمكن تقسيم المنشطات الحيوية البكتيرية إلى المجموعات التالية :

١ - منشطات تحتوى على أنواع بكتيرية تقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى :

من أمثلة هذه التحضيرات التجارية ما يلى :

أ ـ ريزوباكتيرين :

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 الرايزوباكتيرين يخلط مع كمية مناسبة من الرمل ، ويضاف إلى جانب النباتات فى خط الزراعة .

ب ـ ميكروبين :

يحتوى على مجموعة كبيرة من الكائنات الدقيقة التى تقوم بتثبيت أزوت الهواء الجوى، وتحول الفوسفور والعناصر الصغرى إلى صورة صالحة لامتصاص النبات .

جـ ـ سيريالين :

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

د ـ نتروبين :

يحتوى النتروبين ـ كذلك ـ على بكتيريا تقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى .

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

٢ - منشطات 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 صور غير ميسرة لاستعمال النبات ؛ مثل عناصر الفوسفور ، والحديد ، والزنك ، والنحاس ، والمنجنيز .

ومن التحضيرات التجارية لهذه المنشطات ما يلى :

أ ـ ميكروبين . . وقد سبقت الإشارة إليه .

ب ـ فوسفورين :

يحتوى الفوسفورين على بكتيريا نشطة فى تحويل فوسفات ثلاثى الكالسيوم ـ غير الميسرة لاستعمال النبات ـ إلى فوسفات أحادى الكالسيوم الميسرة للنبات ، علما 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 .

٣ - منشطات حيوية تحتوى على أنواع بكتيرية تستفيد النباتات من نشاطها البيولوجى :

لا تُعرف ـ على وجه الدقة ـ 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 عددا كبيرا 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 هرمونيا 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 ـ بسبب نشاطها البيولوجى ـ امتصاص النبات للعناصر المغذية من التربة .

وكلما تنوعت الأنواع البكتيرية الموجودة فى المنشط الحيوى ازداد تنوع إفرازاتها ، وازدادت ـ بالتالى ـ 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 ـ وليس التنافس ـ بين هذه الأنواع ضرورى لكى تتحقق للنباتات الفائدة المرجوة منها .

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 . وتتم المعاملة بها ـ غالبًا ـ 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 ، ١٩٩٥ ب) :

المحصول	الأمراض التى كوفحت جهازيا (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 البكتيريا Bacillus cereus من المنشطات الحيوية التى تستعمل عن طريق التربة ، أو بمعاملة البذور قبل الزراعة ، أو رشا 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) .

وينسب إلى التحضير التجارى أجرسبون ـ الذى يستعمل بمعدل ٤٠٠ مل للفدان ـ قدرته على تحسين التمثيل الحيوى فى النبات والتربة .

ومن بين التحضيرات التجارية المحلية لمنشطات النمو البكتيرية التحضير بيوماجك Biomagic . يتوفر هذا المنشط فى صورة عجينة سريعة الذوبان فى الماء ، ويمكن حفظه فى حرارة الغرفة ـ دون تعريضه لأشعة الشمس المباشرة ـ لمدة تصل إلى سنتين . يحتوى التحضير على سلالات نشطة من عدد من الأجناس البكتيرية ، بالإضافة إلى العناصر الكبرى والصغرى الضرورية للنمو النباتى ، والمركبات المستخدمة فى تحضير بيئات النمو الخاصة بالأنواع البكتيرية المرغوب فيها .

يستخدم البيوماجك رشا على جميع النباتات المزروعة ، ويبدأ الرش ـ عادة ـ بعد فترة زمنية تتراوح بين ١٥ و٣٠ يومًا من الزراعة ، ثم يكرر ثلاث مرات أخرى كل ١٥ يومًا ، ثم شهريا بعد ذلك حتى قرب النضج . وينسب إليه مزايا عديدة تنصبّ كلها حول زيادة واستمرار النمو الخضرى ، وزيادة الإزهار ونسبة العقد والمحصول ، وزيادة حجم الثمار وتحسين نوعيتها ، وإكساب النباتات مقاومة عامة لمختلف العيوب الفسيولوجية والأمراض .

الميكوريزا

تعريف الميكوريزا

يطلق اسم ميكوريزا Mycorrhizae (وليس ميكورهيزا) ـ مجازًا ـ على مجموعة من الفطريات التى تعرف باسم "Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae" (اختصارًا : VAM) ، وهى من الفطريات الطحلبية Phycomycetes ، وتنتمى إلى عائلة Endogonaceae ، وتعيش معيشة تعاونية مع جذور النباتات . وتعد هذه الفطريات من المتطفلات الإجبارية Obligate Parasites التى لا يمكن زراعتها على بيئات صناعية ؛ فهى لا تنمو إلا مع عوائلها .

وقد ذكرنا أن كلمة «ميكوريزا» تطلق ـ مجازًا ـ على هذه الفطريات ؛ ذلك لأنها مصطلح يصف العلاقة بين هذه الفطريات وجذور النباتات الراقية .

وقد جاء المصطلح من علاقة تبادل المنفعة بين الفطريات (الاسم اليونانى mukes) ، والجذور الحية (الاسم اليونانى rhiza) ؛ ومن ثم المصطلح "Mycorrhizae" .

انتشار الميكوريزا وتطفلها

وصفت أول علاقة ميكوريزية micorrhizal relationship منذ نحو ١١٠ سنوات ، ولكن لم يبدأ علماء البساتين فى تفهم وتقدير أهميتها ـ وخاصة بالنسبة ـ للخضر إلا منذ نحو ٣٠ عامًا خلت ؛ فلم يبدأ البحث الجاد على الميكوريزا إلا منذ الستينيات .

توجد جراثيم الميكوريزا فى معظم الأراضى ، ولكنها لا تنبت إلا عند تواجدها بالقرب من جذور عائل مناسب لها . وإذا لم يخترق الميسيليوم الحديث التكوين جذرا لأحد العوائل المناسبة فإنه يموت . ولكن ما إن يتصل الفطر بيولوجيا بجذر عائله إلا ويكوّن نموا كثيفًا خارج الجذر (عن White ١٩٨٧) .

هذا . . ولا يوجد تخصص يذكر من جانب الفطر للمعيشة تعاونيا مع عوائل معينة ، بعكس الحال بين بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى ـ من جنس Rhizobium ـ والبقوليات .

وبالرغم من توفر الميكوريزا فى جميع أنواع الأراضى ، إلا أنها تتفاوت كثيرا فى كفاءة أجناسها ، وأنواعها ، وسلالاتها ؛ لذا . . يتعين تلقيح التربة أو النباتات بالأنواع والسلالات العالية الكفاءة منها .

ولقد لوحظ أن فطر الميكوريزا Glomus deserticola يبدأ فى تكوين علاقة تبادل المنفعة مع جذور البصل بعد ثلاثة أيام من تلقيح النباتات بالفطر ، ويستكمل الفطر توطيد علاقته مع نحو ٥٠٪ من النمو الجذرى بعد ٢١ يومًا . وبالمقارنة . . فإن بداية تكوين الفطرين G. mosseae ، و G. intraradices لعلاقتهما بجذور البصل تتأخر إلى اليوم الثانى عشر من التلقيح بالفطر ، وتصل إلى ١٥٪ ، و٣٧٪ فى اليوم الحادى والعشرين ـ فى الفطرين ـ على التوالى .

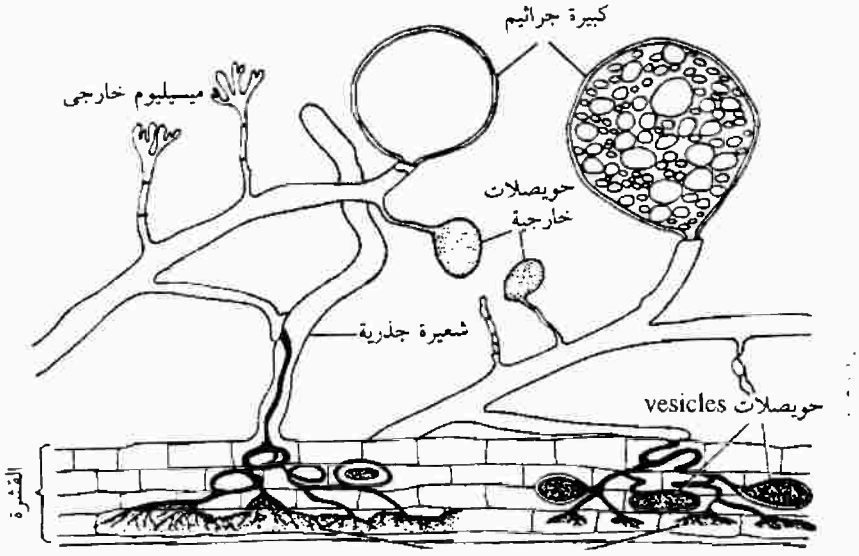
وبينما حسّنت فطريات الميكوريزا نمو البصل فى التربة المعقمة ـ عندما كان تلقيح التربة بالفطر تحت البذور ـ فإنها لم تحفز النمو النباتى فى التربة غير المعمقة .

تقسيم الميكوريزا

توجد الميكوريزا فى الطبيعة فى ثلاثة طرز ؛ كما يلى :

١ - ميكوريزا داخلية Endomycorrhizae :

تعد الميكوريزا الداخلية أكثر طرز الميكوريزا شيوعًا فى الطبيعة ، وفيها تمتد الهيفات الفطرية من التربة إلى خلايا القشرة بجذور النباتات منتجة تراكيب داخلية تعرف باسم vesicles ـ وهى حويصلات تخزين ـ وتراكيب أخرى تعرف باسم arbuscles ـ وهى تراكيب شديدة التفرع توجد داخل الجذور النباتية ـ وهى التى تقوم بمهمة تبادل العناصر الغذائية بين الفطر والنبات ؛ وذلك هو الطراز الذى يعرف باسم - Vesicular Arbuscular Mycorrhizae .



شكل (٨ ـ ١) : نمو الـ Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae خارج وداخل خلايا العائل (عن White ١٩٨٧) .

إن الـ Arbuscules عبارة عن تراكيب تتكون داخل الخلايا النباتية ـ تشبه الممصات ـ وتنشأ بتكرار الانقسام الثنائى الشعبة لهيفات الفطر . وهى تراكيب يمكن مشاهدتها بالميكرسكوب الضوئى ، ولا تُعمّر طويلا ؛ حيث تبقى لفترة تتراوح بين أسبوع واحد وثلاثة أسابيع .

أما الـ Vesicles فهى تشبه الحويصلات ، وتتكون ـ عادة ـ كانتفاخات فى أطراف الهيفات . وهى أعضاء التخزين الخاصة بالفطر ، وتحتوى على بعض الدهون . تتكون الـ Vesicles ـ عادة ـ بعد الـ Arbuscules ، وتزيد أعدادها كثيرا مع النضج .

كذلك تنتج فطريات الـ VAM جراثيم كلاميدية تبقى ساكنة بالتربة (عن Miller وآخرين ١٩٨٦) .

٢ - ميكوريزا خارجية Ectomycorrhizae :

تكوّن فطريات الميكوريزا الخارجية نموا كثيفًا يغطى جذور النباتات بسمك ٠,٠٥ مم ، وتغزو المسافات بين خلايا القشرة ، مكونة شبكة تعرف باسم Hartig Net ، ولكنها لا تخترق خلايا النبات العائل . وعند تواجد هذه الفطريات وارتباطها بالعائل تختفى الشعيرات الجذرية تمامًا ؛ حيث تقوم بعملها الهيفات الفطرية (عن Nadakavukaren & McCracken ١٩٨٥) .

تتعايش هذه الفطريات بكثرة مع جذور الأشجار ؛ مثل الصنوبريات ، والكافور ، والحور وغيرها ، وتلعب دورا كبيرا فى امتصاص العناصر الغذائية من التربة وتوفيرها للنبات .

٣ - ميكوريزا خارجية داخلية Ectendomychorrhizae :

وفيها يُظهر الفطر جانبًا من صفات كلٍّ من الميكوريزا الداخلية والخارجية معًا .

وقد بنى التقسيم السابق للميكوريزا على أساس قدرة الفطر على اختراق خلايا العائل ، وتكوين مختلف التراكيب .

وبناء على تقسيم أحدث من التقسيم المتقدم ، فإن الميكوريزا تُقسم إلى سبعة طرز ؛ هى :

Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae

Ectomycorrhizae

Ectendomycorrhizae

Arbutoid Mycorrhizae

Eriicoid Mycorrhizae

Monotropoid Mycorrhizae

Orchid Mycorrhizae

وتعد الـ Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae (اختصارًا : VAM) الطراز الوحيد المعروف فى محاصيل الخضر ؛ وهى تتميز بجميع صفات الميكوريزا الداخلية التى سبق بيانها فى التقسيم السابق .

ويعنى بالـ VAM ـ كما أسلفنا ـ «العلاقات الميكوريزية التى تنشأ بين فطريات طحلبية Phycomycestes من عائلة Endogonaceae والنباتات » .

وتنتمى فطريات الـ VAM إلى خمس أجناس ، هى : Acaulospora ، و Entro-phospora ، و Gigaspora ، و Glomus ، و Sclerocystis (عن Miller ١٩٨٦).

اهمية الميكوريزا

لوحظت علاقة تبادل المنفعة بين فطريات الميكوريزا ومعظم النباتات الراقية (وحتى بعض النباتات الدنيئة) ، بما فى ذلك معظم الخضر ـ ما عدا الصليبيات والرمراميات ـ إلى درجة أن بعض الخضر لا يمكنها النمو بصورة طبيعية فى غياب الميكوريزا . ومن أكثر الخضر اعتمادًا على الميكوريزا فى نموها : البصل (الذى لا تحتوى جذوره على كثيرٍ من الشعيرات الجذرية) ، والطماطم ، والبطاطس ، واللوبيا ، والذرة السكرية ، وفول الصويا .

يقوم النبات بتوفير المواد الكربوهيدراتية ـ وربما الفيتامينات ـ للفطريات ، بينما يستفيد النبات ـ بدوره ـ من هذه الفطريات ؛ إذ إنها تعمل على :

١ - زيادة معدل امتصاص العناصر من التربة ـ سواء أكانت فى صورة ميسرة ، أم

غير ميسرة لامتصاص النبات ـ ثم نقلها إلى النبات ، وخاصة عناصر : النيتروجين ، والفوسفور ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم ، والكبريت ، والزنك ، والنحاس ، والموليبدنم .

٢ - زيادة مقاومة النباتات للأمراض ؛ فقد وجد ـ مثلا ـ أن فطر الميكوريزا Glomus fasciculatum أحْدَثَ تراكمًا للفيتوألاكسينات Phytoalexins (وهى مركبات توقف أو تثبط نمو مسببات الأمراض فى الأنسجة المصابة) ، فى جذور البسلة ؛ مما أدى إلى مقاومتها للفطر Fusarium oxysporum مسبب مرض الذبول الفيوزارى .

٣ - زيادة تحمل النباتات لظروف الملوحة والجفاف .

٤ - زيادة قدرة البقوليات على تثبيت آزوت الهواء الجوى (عن Miller وآخرين ١٩٨٦ ، و Sundaresan & Gunasekaran ١٩٩٣) .

٥ - إفراز بعض منظمات النمو التى تحفز النمو النباتى .

٦ - توفير حماية للنباتات من التسمم بالتركيزات العالية من العناصر المغذية الضرورية بما تفرزه من مركبات قد تكوّن تراكيب معقدة مع تلك العناصر وتجعلها غير ميسرة للنبات .

وتزداد أهمية الميكوريزا للنباتات فى الأراضى الفقيرة عنها فى الأراضى الخصبة ، وخاصة فى المناطق الاستوائية .

أهمية الميكوريزا فى توفير العناصر الضرورية للنبات

إن الهيفات الخارجية التى تغطى الجذور توفر زيادة فى حيز التربة الذى تُمتص منه العناصر . كما أن ميسيلوم الفطر يقوم بتخزين الفوسفور فى أنسجته إلى أن يحصل عليه النبات عند نقص العنصر . هذا بالإضافة إلى أن الجذور التى تكون على اتصال بالمكيوريزا تعيش لفترة أطول ، وتستمر فى امتصاص الفوسفور لفترة أطول إذا قورنت بالجذور التى ليست على اتصال بالميكوريزا .

ويمكن لفطريات الميكوريزا الحصول على الفوسفور من مصادر عضوية غير ميسرة لامتصاص النبات ؛ فمثلا . . استجابت نباتات الطماطم ـ المتصلة بفطر الميكوريزا ـ

جيدًا للتسميد بكميات ضئيلة من مسحوق العظام غير الذائب نسبيا . ولم تحدث استجابات مماثلة لنباتات الطماطم ـ غير المتصلة بفطر الميكوريزا ـ إلا بعد إضافة كميات من مسحوق العظام بلغت ١٦ ضعف الكمية السابقة .

ويبدو أن هيفات الفطر تلعب دورا نشطًا ـ يعتمد على بذل الطاقة ـ فى امتصاص الفوسفور من التربة (عن Miller ١٩٨٦) .

ويتفق العلماء المشتغلون بالميكوريزا Mycorrhizasts على أن الزيادة فى النمو النباتى التى تلاحظ على النباتات التى تعيش تعاونيا مع فطريات الميكوريزا مردها إلى توفر الفوسفور للنباتات .

وتفرز الكائنات الدقيقة التى تعيش فى التربة إنزيمات تساعد على تحلل المواد العضوية وتيسر ما يوجد فيها من عناصر ؛ مثل عنصر الفوسفور الذى يتيسر منها بفعل إنزيم Phosphatase . كما أن الميكوريزا تفرز كذلك « جزيئات حاملة carrier mole-cules » تكوّن معقدات مع مختلف الذرات أو الجزيئات ؛ فيكون من السهل على النباتات امتصاصها (عن Chrispeels & Sadava ١٩٩٤) .

وللميكوريزا أهمية خاصة بالنسبة لأشجار الغابات ؛ حيث توفر لها معظم احتياجاتها من العناصر المغذية من صور تلك العناصر غير الميسرة لامتصاص النبات التى توجد فى التربة . ولا يمكن لبعض الأنواع النباتية ـ مثل الصنوبريات ـ النمو فى غياب الميكوريزا . وعند زراعة هذه الأشجار فى أرضٍ جديدة ـ لم تكن مزروعة بالصنوبريات من قبل ـ يتعين تلقيحها بميكوريزا من أرضٍ تنمو فيها صنوبريات .

وقد أثبتت دراسات Babu وآخرين (١٩٨٨) على الفلفل أن عدوى النباتات فى المشتل بأى من فطريات الميكوريزا Gigaspora calospora ، أو Gigaspora margarita ، أو Glomus fasciculatum يمكن أن تؤدى إلى الاستغناء عن ٥٠ ـ ٧٥٪ من الأسمدة الفوسفاتية الموصى بها .

وتوجد علاقة سالبة بين كمية الفوسفور الميسرة لاستعمال النبات فى التربة ومدى قدرة فطريات الميكوريزا على توطيد علاقتها البيولوجية بالنبات (White ١٩٨٧) .

فمثلا . . وجد Waterer & Coltman (١٩٨٨) أن زيادة كمية الفوسفور الميسرة لبادرات الطماطم والبصل ـ إما بزيادة تركيز الفوسفور المضاف ، وإما بتقليص الفترة بين إضافات الفوسفور ـ أدت إلى زيادة الوزن الطازج للنباتات ، وتركيز الفوسفور بالنمو الخضرى ، ولكنها أثّرت ـ سلبًا ـ فى إصابة الجذور بفطر الميكوريزا Glomus aggregatum . كما أن العدوى بالفطر أنقصت الوزن الطازج للنمو الخضرى للطماطم عندما كان مستوى التسميد بالفوسفور عاليًا .

وقد أدى تكرار التسميد بمحاليل منخفضة فى مستواها من الفوسفور إلى إنتاج شتلات أكبر حجمًا ذات مستوى عالٍ من الإصابة بفطر الميكوريزا ، مقارنة بالنباتات التى حصلت على كمية كلية مماثلة من الفوسفور ، ولكن أضيفت بتركيزات عالية على فترات متباعدة .

كما وجد McArthur & Knowles (١٩٩٢) أن إصابة جذور البطاطس بفطر الميكوريزا Glomus fasciculatum كان شديدًا فى المستويات المنخفضة من السماد الفوسفاتى ، وأدى الفطر إلى تحفيز النمو الخضرى للنباتات تحت تلك الظروف .

وربما يُفسّر هذا المسلك لفطريات الميكوريزا تعرض النباتات المسمدة جيدًا بالفوسفور ـ فى الأراضى القلوية ـ لنقص عنصر الزنك والنحاس ؛ حيث لا تتوفر حينئذ ـ مع التسميد الفوسفاتى الجيد ـ الميكوريزا التى يمكنها توفير الزنك والنحاس للنباتات (عن White ١٩٨٧) .

وقد أجرى Khasa وآخرون (١٩٩٢) دراسة على ١٩ نوعًا نباتيا من الأنواع المزروعة فى زائير ، تبين منها استجابة جميع الأنواع ـ ما عدا القطيفة amaranth ـ للتقليح بالميكوريزا الداخلية Endomycorrhizal fungi تحت ظروف الحقل . واعتمد النمو الطبيعى لثمانية أنواع منها ـ بشدة ـ على تواجد الميكوريزا ، وقد تضمنت القائمة ـ من محاصيل الخضر ـ فاصوليا اليام الأفريقية Sphenostylis stenocarpa ، وفاصوليا المنج Vinga vexillata ، والبصل ، والبطاطا ، والطماطم ، والكاسافا .

وتؤكد دراسات Azcón-Aguilar وآخرين (١٩٩٣) تساوى محصول نباتات البصل الملقحة بفطر الميكوريزا Glomus fasciculatum وغير المسمدة بالفوسفور مع

تلك التى لم تلقح بالفطر ، ولكنها حصلت على مستوى معين من السماد والفوسفاتى . وإلى جانب ذلك . . كان تركيز النيتروجين ومحتواه فى النموات الخضرية للنباتات الملقحة بالميكوريزا أكثر مما فى النباتات غير الملقحة والمسمدة بالفوسفور . وقد استنتج الباحثون أن فطريات الميكوريزا قادرة على الاستفادة من النيتروجين المتوفر فى مصادر أقل تيسرا للنباتات .

كما أكدت دراسات Tobar وآخرين (١٩٩٤) على الخس أن فطرى الميكوريزا Glomus mosseae ، و G. fasciculatum يعملان على زيادة قدرة النبات على امتصاص النيتروجين والفوسفور فى ظروف الجفاف .

كذلك وجد Mårtensson & Rydberg (١٩٩٤) اختلافًا بين أصناف البسلة فى استجابتها للفطرين Glomus fasiculatum ، و G. caledonium ؛ حيث وجدت علاقة سالبة بين معدل الإصابة بأى من الفطرين وطول الجذور .

وكان الارتباط واضحًا بين الإصابة وكلٍّ من امتصاص النباتات للنيتروجين فى المراحل المبكرة للنمو (وليس فى المراحل المتأخرة) ، وامتصاصها للفوسفور فى المراحل المتأخرة للنمو (وليس فى المراحل المبكرة) .

أهمية الميكوريزا فى مقاومة النباتات للإصابات المرضية

يفيد عديد من الدراسات أن إصابة النباتات بفطريات الميكوريزا الداخلية التطفل تجعلها أكثر مقاومة لأمراض الجذور ، ويتضح ذلك من الأمثلة التالية (عن Palti ١٩٨١ ، و White ١٩٨٦) .

المحصول	المسبب المرضى	تأثير الميكوريزا
الفراولة	Cylindrocarpon destructans	تقليل الإصابة كثيرًا
فول الصويا	Pythium ultimum	ليس لها تأثير
	Phytophthora megasperma	يقل عدد النباتات الميتة
	Meloidogyne incognita	تقل أعداد النآليل ويزداد المحصول

(يتبع)

المحصول	المسبب المرضى	تأثير الميكوريزا
القطن	Thielaviopsis basicola	يقل التقزم النباتى
	Meloidogyne incognita	يقل التقزم
	Pratylenchus brachyurus	تقل أعداد النيماتودا
الطماطم	Fusarium oxysporum	يقل التقزم وتقل الإصابة
	Meloidogyne incognita	تقل أعداد النيماتودا
الخيار	Fusarium oxysporum	يقل التقزم وتقل الإصابة
	Meloidogyne incognita	تقل أعداد النيماتودا ويزداد النمو النباتى
الموالح	Phytophthora parasitica	يقل الضرر
البصل	Pyrenochaeta terrestris	تقل الإصابة
الجزر	Meloidogyne hapla	تقل الإصابة

هذا . . وربما تحدث الحماية لجذور النباتات من الإصابة بالمسببات المرضية ؛ بسبب وجود الغطاء الكثيف لفطريات الميكوريزا التى تحيط بالجذور وتشكل عائقًا فيزيائيا أمام الإصابات المرضية . ولا تتوفر هذه الحماية إلا فى أجزاء الجذور التى تكون على صلة بفطر الميكوريزا .

ومن المعروف أن فطريات الميكوريزا تغير من فسيولوجيا النبات ؛ فالجذور التى تتصل بها تكون أكثر (لجنة) من الجذور غير المتصلة بها ، وربما يكون لذلك صلة مباشرة بتقليل حدوث الإصابات المرضية .

وتحتوى النباتات على إنزيمات شيتينية Chitionlytic Enzymes تقوم بتحليل الـ Arbuscules المسنة . ويمكن أن تكون هذه الإنزيمات مؤثرة على الفطريات الممرضة كذلك .

ويكون للتغيرات فى فسيولوجيا الجذور المتصلة بفطريات الميكوريزا تأثيرات أخرى على الكائنات الممرضة ؛ فمثلا . . يزداد الأرجنين الذى يقلل من تجرثم الفطر Thielaviopsis basicola ، كما يزداد تركيز السكريات المختزلة التى قد تثبط نمو الفطر Pyrenochaeta terrestris .

كما أن تواجد فطريات الميكوريزا يؤدى إلى زيادة قوة النمو النباتى ؛ الأمر الذى يزيد من مقاومة النباتات للإصابات المرضية (عن Miller ١٩٨٦) .

أهمية الميكوريزا فى تحمل النباتات للملوحة

درس Rosendahl & Rosendahl (١٩٩١) تأثير سلالات من الفطر Glomus spp. فى قدرة نباتات الخيار على تحمل الملوحة (٠,١ مللى مول من كلوريد الصوديوم) ، ووجدا أن سلالتين منها كانتا قادرتين على حماية النباتات من أضرار الملوحة ، ولكن ذلك التأثير لم يكن مرتبطًا بالتأثير المحفز لتلك السلالات على النمو الخضرى لنباتات الخيار .

طرق التلقيح بفطريات الميكوريزا

تتوفر حاليا طريقتان للتلقيح بفطريات الميكوريزا ؛ هما : استعمال الجذور المصابة بالفطر ، واستعمال التربة التى توجد بها الجراثيم الكلاميدوسبورية للفطر بمعدل نحو ١٠ جم منها لكل نبات . وتعد الطريقة الأولى أكثر كفاءة فى إحداث الإصابة بالفطر .

ويمكن إضافة الملقّح بعدة طرق ؛ فالخضر التى تزرع فى المشتل أولا يمكن تلقيحها بسهولة قبل نقلها إلى الحقل الدائم . أما الخضر التى تزرع مباشرة فى الحقل الدائم فإنها تلقح عن طريق البذور ، أو بإضافة الملقح إلى التربة عند زراعة البذور ، وقد ينثر الملقح على سطح التربة بعد خلطه بالحبوب الصغيرة ، ولكنها طريقة قليلة الكفاءة وغير عملية .

وقد يمكن إضافة الملقّح عند زراعة البذور وهى محمولة فى سوائل ، ولكن هذه الطريقة لم تُطور بعد .

ويتطلب نجاح التلقيح عدم وجود أية منافسة من الكائنات الدقيقة الأخرى على جذور النباتات ـ فى التربة المحيطة بالجذور rhizosphere soil ـ بعد التلقيح بالفطر ، مع عدم وجود آثار متبقية للمبيدات التى سبق استخدامها فى التربة .

إن فطريات الـ VAM لا تعيش إلا لفترات قصيرة عند تخزينها أو نقلها من مكان إلى آخر . ويمكن زيادة قدرتها التخزينية بالتجفيد ، ولكن ذلك قد يقلل كثيرا من قدرتها على تكوين علاقة بيولوجية مع النباتات .

كما أنه من الضرورى إعادة زراعة فطريات الـ VAM ـ مع النباتات ـ فى أصص لتجديد المزارع .

ومقارنة بالنباتات المعمرة . . فإن محاصيل الخضر ـ وهى محاصيل قصيرة العمر ـ قد لا يناسبها العدوى بفطريات الـ VAM ـ لأسباب اقتصادية ـ باستثناء الحالات التى تسجيب فيها الخضر كثيرا للعدوى بالـ VAM (عن Miller ١٩٦٨) .

العوامل المؤثرة فى قدرة فطريات الميكوريزا على الاتصال بيولوجيا بالنباتات

تتأثر قدرة فطريات الميكوريزا على الاتصال بيولوجيا بالنباتات بالعوامل التالية :

١ - النوع النباتى . . حيث تفشل بعض الخضر ـ مثل الصليبيات والرمراميات ـ فى تكوين علاقة بيولوجية مع فطريات الـ VAM . ويبدو أن النباتات ذات الجذور القليلة السميكة غير المتفرعة ـ كما فى البصل والموالح ـ تكون أكثر اعتمادًا على فطريات الميكوريزا من النباتات ذات الجذور الكثيرة الدقيقة والشعيرات الجذرية الطويلة .

٢ - الصنف . . حيث يدل عديد من الدراسات على وجود تباينات كثيرة بين أصناف النوع الواحد فى قدرتها على تكوين علاقات وثيقة مع فطريات الميكوريزا . ويعد ذلك نوعًا من التفضيل preferance بين العوائل والفطر ، وليس تخصصًا specialization لفطريات معينة على عوائل معينة .

٣ - التباينات بين أنواع وسلالات فطريات الميكوريزا من حيث كفاءتها فى تكوين علاقة تبادل منفعة قوية مع النباتات .

٤ - خصوبة التربة والتسميد :

يؤدى توفير الفوسفور للنباتات ـ سواء أكان ذلك عن طريق التربة ، أم عن طريق النموات الخضرية ـ إلى إضعاف العلاقة البيولوجية بينها وبين فطريات الميكوريزا .

كما يؤدى التسميد الأزوتى الجيد ـ كذلك ـ إلى إضعاف نمو وتجرثم فطريات الميكوريزا .

وتقل كفاءة فطريات الـ VAM فى تكوين علاقة تبادل منفعة مع النباتات فى الأراضى الخصبة بصورة عامة ، كما فى معظم الأراضى الزراعية .

٥ - درجة الحرارة :

تزداد قدرة فطريات الـ VAM على تكوين علاقة تبادل المنفعة ـ مع النباتات ـ مع ارتفاع درجة الحرارة إلى ٣٠°م .

٦ - شدة الإضاءة :

تزداد صلة تبادل المنفعة (بين فطريات الـ VAM والنباتات) قوةً مع زيادة شدة الإضاءة ؛ حيث يزداد معدل البناء الضوئى اللازم لمواجهة احتياجات الفطر من الغذاء المجهز .

وقد وجد أن تكوين الفاصوليا لعلاقات تبادل المنفعة مع كل من فطريات الميكوريزا وبكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى معًا ـ مقارنة بالتعايش مع بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى فقط ـ أدى إلى زيادة فى كلٍّ من النمو ، وتكوين العقد الجذرية ، ومعدل تثبيت آزوت الهواء الجوى ، ومحتوى العقد والنباتات من كلٍّ من الـ leghemoglobin ، والفوسفور ، والبروتين الكلى . كما حُصِلَ على نتائج مماثلة لتلك النتائج فى اللوبيا .

هذا . . إلا أنه لم تتحقق تلك الاستفادة من تواجد فطريات الميكوريزا وبكتيريا الرايزوبيم ـ معًا ـ إلا عندما كانت الإضاءة قوية ؛ حيث تمكنت النباتات البقولية من الارتفاع بمعدلات البناء الضوئى لمواجهة احتياجات كلا الكائنين المتعايشين معا تعاونيا (عن Miller وآخرين ١٩٨٦) .

٧ - النشاط البكتيرى فى محيط الجذور :

قام Schreiner & Koide (١٩٩٣) بدراسة العلاقة بين البكتيريا التى تعيش فى محيط الجذور واستجابة النباتات للميكوريزا ؛ وذلك بمعاملة نباتات الخس بالاستربتومايسين . وقد أدت المعاملة إلى تقليل استجابة النباتات للفطر Glomus etunicatum ـ الذى أصابها ـ والتى ظهرت فى صورة انخفاض فى الوزن الجاف

للنباتات ، ولكن هذا التأثير لمعاملة الاستربتومايسين لم يكن له علاقة بقدرة فطر الميكوريزا على إصابة جذور النباتات أو تركيز الفوسفور أو النيتروجين بها .

ويستفاد مما تقدم أن معاملة الاستربتومايسين قللت استفادة النباتات من الإصابة بالميكوريزا دون أن تؤثر فى امتصاصها للفوسفور ؛ مما يعنى أن البكتيريا التى تعيش فى محيط الجذور قادرة على التأثير فى استجابة النباتات للميكوريزا .