للمستعمرات CFU بكل ملليلتر، من الكائنات الدقيقة التالية:

Lactobacillus plantarum

L. casei

L. fermentus

L. bulgaricus

Saccharomyces cerevisiae

Rhodopseudomonas palustris

الميكوريزا

تعريف الميكوريزا

يطلق اسم ميكوريزا Mycorrhizae (وليس ميكورهيزا، ولا ميكورهيزا) — مجازًا- 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 — مجازًا — 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

تمثل الميكوريزا mycorrhizas أكثر العلاقات انتشارًا بين الكائنات الدقيقة والنباتات الراقبة. وعلى المستوى العالمى.. تُعرف تلك العلاقة فى ٨٣٪ من ذوات الفلقتين، و٧٩٪ من ذوات الفلقة الواحدة، كما تُعرف فى جميع معراة البذور. ولا تتوفر تلك العلاقة فى البيئات التى تكون فيها التربة إما شديدة الجفاف، أو شديدة الملوحة، أو غدقة بشدة، أو مبعثرة بشدة جراء تعرضها لأنشطة معينة مثل التعدين، أو عالية الخصوبة بشدة، أو قليلة الخصوبة بشدة. كذلك لا تُعرف تلك العلاقة فى جميع نباتات العائلتين: الصليبية والرمرامية، وكثير من نباتات العائلة Proteaceae.

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

وكقاعدة.. فإن فطر الميكوريزا يعتمد بقوة أو كليًّا على النبات فى غذائه، بينما قد يستفيد النبات من الفطر أو لا يستفيد. ولا تكون تلك العلاقة أساسية وحتمية إلاّ فى حالات السحلبيات (الـ orchids). وبذا.. فإن علاقات الميكوريزا تكون إما بتبادل المنفعة mutualistic، وإما محايدة neutral، وإما طفيلية parastic تبعًا للحالة. هذا إلا أن علاقة تبادل المنفعة هى التى تسود؛ ولذا.. يُشار إلى العلاقة باسم mycorrhizal symbiosis. وفى تلك العلاقات لا يكون للعائل النباتى دورًا يذكر فى تنظيم استعمار الميكوريزا للجذور وما تحصل عليه الميكوريزا من غذاء من النبات (Marschner ١٩٩٥).

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

وبالرغم من توفر الميكوريزا فى جميع أنواع الأراضى، إلا أنها تتفاوت كثيرًا 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٪، و ٣٧٪ فى اليوم الحادى والعشرين — فى الفطرين — على التوالى.

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

ولا يمكن للميكوريزا (الـ VAM) أن تشكل علاقة مع جذور بعض النباتات، مثل أنواع العائلتين الرمرامية والصيليبية، ربما بسبب محتوى إفرازات جذورها، وما قد يوجد بها من سموم للميكوريزا، وربما بسبب زيادة تفاعلاتها الدفاعية ضد استعمار الميكوريزا لجذورها.

تقسيم الميكوريزا

توجد الميكوريزا فى الطبيعة فى ثلاثة طرز؛ كما يلى:

١- ميكوريزا داخلية Endomycorrhizae

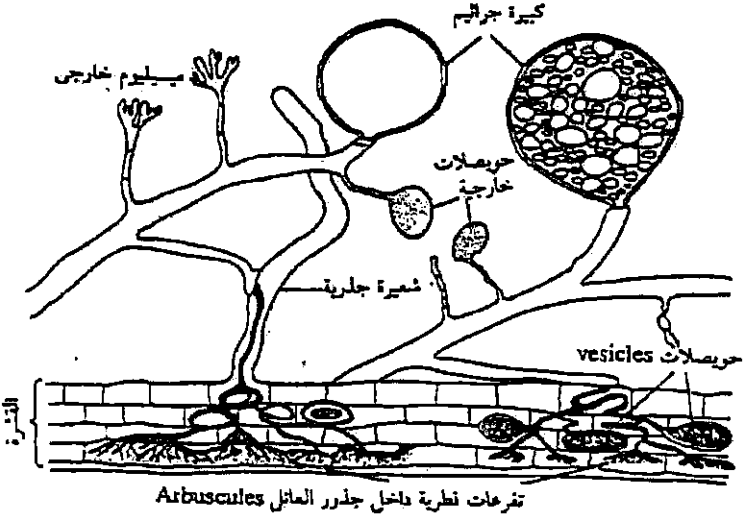
تعد الميكوريزا الداخلية أكثر طرز الميكوريزا شيوعًا فى الطبيعة، وفيها تمتد الهيفات الفطرية من التربة إلى خلايا القشرة بجذور النباتات منتجة تراكيب داخلية تعرف باسم vesicles — وهى حويصلات تخزين — وتراكيب أخرى تعرف باسم arbuscles — وهى تراكيب شديدة التفرع توجد داخل الجذور النباتية — وهى التى تقوم بمهمة تبادل

العناصر الغذائية بين الفطر والنبات؛ وذلك هو الطراز الذى يعرف باسم Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae (شكل ١٣-٢).

إن الـ Arbusules عبارة عن تراكيب تتكون داخل الخلايا النباتية — تشبه الممصات — وتنشأ بتكرار الانقسام الثنائى الشعبة لهيفات الفطر. وهى تراكيب يمكن مشاهدتها بالميكروسكوب الضوئى، ولا تُعمِّر طويلاً، حيث تبقى لفترة تتراوح بين أسبوع واحد وثلاثة أسابيع.

٢- ميكوريزا خارجية Ectomycorrhizae

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



شكل (١٣-٢): نمو الـ Vesicular-Arbuscular Mycirrhizae خارج وداخل خلايا العائل (عن White ١٩٨٧).

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

٣- ميكوريزا خارجية وداخلية Ectendomychorrhizae

وفيها يُظهر الفطر جانبًا من صفات كلّ 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-Arbuscilar Mycorrhizae

Ectomycorrhizae

Ectendomycorrhizae

Arbutoid Mycorrhizae

Ericoid Mycorrhizae

Monotropid 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 – كما أسلفنا – "العلاقات الميكوريزية التى تنشأ بين فطريات

طحلبية Phycomycestes من عائلة Endogonaceae والنباتات".

وتنتمى فطريات الـ VAM إلى خمسة أجناس، هى: *Acaulospora*، و*Entrophospora*، و*Gigaspora*، و*Glomus*، و*Sclerocystis* (عن Miller وآخرين ١٩٨٦).

أهمية الميكوريزا

لوحظت علاقة تبادل المنفعة بين فطريات الميكوريزا ومعظم النباتات الراقية (وحتى بعض النباتات الدنيئة)، بما فى ذلك معظم الخضر — ما عدا الصليبيات والرمراميات — 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 كثير من الشعيرات الجذرية)، والطماطم، والبطاطس، واللوبيا، والذرة السكرية، وفول الصويا.

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

١- زيادة معدل امتصاص العناصر من التربة — سواء أكانت فى صورة ميسرة، أم غير ميسرة لامتصاص النبات — ثم نقلها إلى النبات، وخاصة عناصر: النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والكبريت، والزنك، والنحاس، والموليبدنم.

٢- زيادة مقاومة النباتات للأمراض؛ فقد وجد — مثلاً — 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 وآخرين 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.

إن فطريات الميكوريزا (VAM) تُحسِّن النمو النباتى من خلال زيادة امتصاص النباتات للفوسفور، وخفض الأمراض التى تعيش مسبباتها فى التربة، وزيادة قدرة النمو النباتى والبقاء، وتقليل أضرار الشتلات. ويوجد حد أدنى لعدد جراثيم الميكوريزا التى تجب إضافتها لكل نبات، وقد قدر هذا العدد فى الفراولة بنحو ٧٥٠ جرثومة من الفطر *Glomus intraradices* (De Silva وآخرون ١٩٩٦).

أهمية الميكوريزا فى توفير العناصر الضرورية للنبات وتحسين النمو والمحصول

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 بالميكوريزا تعيش لفترة أطول، وتستمر فى امتصاص الفوسفور لفترة أطول إذا قورنت بالجذور التى ليست على اتصال بالميكوريزا.

إن من أهم فوائد الميكوريزا تحفيزها حصول النباتات التى تتعايش معها على العناصر قليلة التحرك فى التربة، وخاصة الفوسفور، وعديد من العناصر الدقيقة. تمتص الميكوريزا الفوسفور غير العضوى إما من ذلك المتوفر بها، وإما من الصور غير الذائبة مثل تلك التى توجد فى صخر الفوسفات، وكذلك من الصور العضوية غير الذائبة. ولقد أوضحت الدراسات الحديثة نسبيًا أن فطريات الميكوريزا تحصل على الفوسفور من صخر الفوسفات

من خلال إحداثها لتغيرات موضعية فى الـ pH، أو من خلال إنتاجها لأنيونات أحماض عضوية يمكن أن تعمل كعوامل مخلبية.

كذلك تؤثر الميكوريزا إيجابيًا فى حصول النبات على النيتروجين، ويكون تأثيرها أوضح عندما يتوفر النيتروجين فى صورة أمونيوم NH_4^+، عما يكون عليه الحال عندما يكون توفر النيتروجين فى صورة نترات NO_3^-. ولكن تزداد أهمية الميكوريزا فى الحالة الأخيرة — أيضًا — تحت ظروف الجفاف، حيث تكون حركة النترات فى التربة ضعيفة (Javaid ٢٠٠٩).

تفيد المعاملة بالميكوريزا (عدة أنواع من الجنس *Glomus*، مثل *G. masseae*) فى توفير عنصرى الفوسفور والزنك للنباتات فى الأراضى الفقيرة فى العنصرين (Ortas وآخرون ٢٠١١).

ويمكن لفطريات الميكوريزا الحصول على الفوسفور من مصادر عضوية غير ميسرة لامتصاص النبات؛ فمثلاً.. استجابت نباتات الطماطم — المتصلة بفطر الميكوريزا — جيدًا للتسميد بكميات ضئيلة من مسحوق العظام غير الذائب نسبيًا. ولم تحدث استجابات مماثلة لنباتات الطماطم — غير المتصلة بفطر الميكوريزا — إلا بعد إضافة كميات من مسحوق العظام بلغت ١٦ ضعف الكمية السابقة.

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

ويتفق العلماء المشتغلون بالميكوريزا Mycorrhizasts على أن الزيادة فى النمو النباتى التى تلاحظ على النباتات التى تعيش تعاونيًا 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 molecules تكوِّن 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 — مثل الصنوبريات — النمو فى غياب الميكوريزا. وعند زراعة هذه الأشجار فى أرضٍ جديدة — لم تكن مزروعة بالصنوبريات من قبل — يتعين تلقيحها بميكوريزا من أرضٍ تنمو فيها صنوبريات.

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

فمثلاً.. وجد Waterer & Coltman (١٩٨٨) أن زيادة مستوى الفوسفور الميسر لبادرات الطماطم والبصل — إما بزيادة توفير الفوسفور، وإما بتقليص الفترة بين إضافات الفوسفور — أدت إلى زيادة الوزن الطازج للنباتات، وتركيز الفوسفور بالنمو الخضرى، ولكنها أثرت — سلبًا — فى إصابة الجذور بفطر الميكوريزا *Glomus aggregatum*. كما أن العدوى بالفطر أنقصت الوزن الطازج للنمو الخضرى للطماطم عندما كان مستوى توفر الفوسفور عاليًا.

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

وقد أجرى Khasa وآخرون (١٩٩٢) دراسة على ١٩ نوعًا نباتيًّا من الأنواع المزروعة فى زائير، تبين منها استجابة جميع الأنواع — ما عدا القطيفة amaranth — للتلقيح

بالميكوريزا الداخلية Endomycorrhizal fungi تحت ظروف الحقل. واعتمد النمو الطبيعى لثمانية أنواع منها – بشدة – على تواجد الميكوريزا، وقد تضمنت القائمة – من محاصيل الخضر – فاصوليا اليام الأفريقية *Sphenostylis stenocarpa*، وفاصوليا المنج *Vigna vexillata*، والبصل، والبطاطا، والطماطم، والكاسافا.

وتؤكد دراسات Azcon-Aguilar وآخرون (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 الفوسفاتى. 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 تيسرًا للنباتات.

كما أكدت دراسات Tobar وآخرون (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 Martensson & 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).

كذلك فإن تسميد البادرات جيدًا بالفوسفور يؤدى إلى زيادة مستوى العنصر فى جذور النباتات؛ الأمر الذى يؤثر سلبيًّا على قابليتها للإصابة بهذه الفطريات (عن Waterer & Coltman ١٩٨٨)، كما يزداد الفوسفور فى إفرازات الجذور؛ الأمر الذى يؤثر بدوره سلبيًّا على نمو هيفات الفطر فى التربة (Tawaraya وآخرون ١٩٩٦).

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

كما أدت المعاملة بالميكوريزا *Glomus intraradices* إلى إحداث تحسن واضح فى النمو النباتى للمحاصيل التى عوملت بها، والتى شملت الخس ، والفراولة، والهندباء (Di Bonito وآخرون ١٩٩٥).

كذلك حققت المعاملة بقطريات الميكوريزا (VAM) زيادة فى المحصول قدرت بنحو ٧٠٪ فى البصل، و٤٨٪ فى البطاطس، و٣٠٪ فى الثوم، علمًا بأن استعمار الميكوريزا للجذور بلغ فى تلك الدراسة ٨٥٪ فى البصل، و٦٥٪ فى كل من البطاطس والثوم (Gaur & Adholeya ٢٠٠٠).

وفى المقابل.. لم تكن لمعاملة جذور شتلات الطماطم بغمسها فى مُنتج الميكوريزا التجارى Mycoroot قبل شتلها فى مزرعة مائية أى تأثير على معدل النمو النباتى أو محصول الثمار أو تركيز العناصر بالثمار (Maboko وآخرون ٢٠١٣).

وقد أدى التلقيح بأى من نوعى الميكوريزا *Glomus etunicatum*، أو *Glomus intraradices* إلى تحسين نمو بادرات كل من بصل ويلز والأسبرجس والبسلة والكرفس والخيار، مع تفاوت مقدار التحسين فى النمو على كل من نوع الميكوريزا والنوع المحصولى. وقد أدت الميكوريزا إلى زيادة سمك قواعد وأنصال أوراق بصل ويلز، وإلى تحسين نمو التيجان والنموات الهوائية فى الأسبرجس، كذلك ازداد الوزن الطازج لكل من النمو الجذرى والخضرى مع التلقيح بالميكوريزا. وفى معظم الخضر المعاملة كانت الزيادة فى الوزن الطازج للجذور بسبب حدوث زيادة فى أعدادها، لكنها كانت فى بصل ويلز والأسبرجس بسبب الزيادة فى سمك الجذور الرئيسية إضافة إلى الزيادة فى أعداد الجذور (Matsubara وآخرون ١٩٩٤).

الفلفل

أثبتت دراسات Babu وآخرون (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٪ – ٧٥٪ من الأسمدة الفوسفاتية الموصى بها.

وقد وجد أن معاملة بادرات الفلفل فى المشتل بفطر الميكوريزا *Glomus aggregatum* أدت – عند شتل النباتات فى أرض فقيرة فى محتواها من الفوسفور – إلى زيادة محتوى النباتات من الفوسفور، وإلى زيادة طول النبات، والنمو الخضرى، ومحصول الثمار، مقارنة بنباتات الكنترول التى لم تعامل بالفطر، كما جعلت تأثر المحصول سلبيًّا بنقص الرطوبة الأرضية أقل مما فى نباتات الكنترول، وكانت تلك التأثيرات أقوى عند الحقن بفطر الميكوريزا فى المشتل عما كان عليه الحال عندما حقنت النباتات بالفطر أثناء الشتل (Waterer & Coltman ١٩٨٩).

كما وجد أنه يمكن خفض معدل التسميد الفوسفاتى (بالسوبر فوسفات) إلى النصف عند عدوى (تلقيح) شتلات الفلفل بالميكوريزا *Glomus fasciculatum*، و *G. macrocarpum*، كما أدت المعاملة إلى زيادة المحصول، وتركيز الفوسفور فى النموات الخضرية، وزيادة امتصاص الزنك، والنحاس، والمنجنيز، والحديد مقارنة بالكنترول. وقد كان فطر الميكوريزا *G. macrocarpum* أكثر تأثيرًا من *G. fasciculatum* (Sreenivasa وآخرون ١٩٩٣). وقد ازداد مفعول تأثير فطر الميكوريزا *G. macrocarpum* عندما أضيفت الأسمدة العضوية للتربة، وخاصة تلك التى تنخفض فيها نسبة الكربون إلى النيتروجين (Sreenivasa ١٩٩٤).

كذلك وُجد أن زراعة الفلفل فى تربة محقونة بأى من فطريات الميكوريزا *Glomus epigalum*، أو *G. mosseae* أدت إلى زيادة النمو النباتى (طول النبات، وعدد الأوراق بالنبات، وقطر الساق، والوزن الجاف للنبات)، وإلى زيادة تحمل الحرارة المنخفضة، والتبكير

فى الإزهار، وزيادة فترة النمو النباتى، ومحتوى النباتات من الفوسفور والنيتروجين (Zhao & Li ١٩٩٤).

وقد تبين أن العدوى بفطرى الميكوريزا *Glomus mosseae*، و *G. etunicatum* ليس لها تأثيرات إيجابية على الوزن الجاف لنبات الفلفل، أو على محتوى أوراقه من الفوسفور إلا فى حالة عدم التسميد بالفوسفور (فى تربة كانت فقيرة أصلاً فى العنصر)، حيث لم تُستَعْمر جذور الفلفل جيدًا بأى من فطرى الميكوريزا عندما سمدت النباتات بالفوسفور؛ فكانت نسبة الجذور المستعمرة بالميكوريزا عند التسميد الجيد بالفوسفور (٢٧٨ مجم/كجم من التربة فى أصص الزراعة) ٦,٨٪ فقط من نسبة استعمار الجذور عندما لم يتم التسميد بالفوسفور فى تربة تحتوى على ٥ مجم فقط من العنصر (المستخلص بالـ $NaHCO_3$)/ كجم من التربة. وتأكدت تلك النتائج عندما زرع الفلفل فى حقل يحتوى على فطريات الميكوريزا *Acaulospora mellea*، و *Gigaspora margarita*، و *Glomus clarum*، و *Glomus etunicatum*، و *Scutellaspora pellucida* فى قطع تجريبية لم تعقم وتحتوى على تلك الفطريات، مقارنة بزراعته فى قطع تجريبية عقمت ولا تحتوى على تلك الفطريات، وذلك عندما لم يُسَمَّد الحقل بالفوسفور (١٤ مجم أو أقل من الفوسفور كمستوى طبيعى/كجم فى تربة فقيرة فى العنصر)، أو عندما سمد بمستوى منخفض من العنصر (٥ أو ١٥كجم P/هكتار). وحتى عندما تم التسميد بمستويات عالية من العنصر (٤٥ أو ١٣٥ كجم P/هكتار)،فإن استعمار فطريات الميكوريزا للجذور فى التربة غير المعقمة لم يتأثر بهذه المستويات العالية من الفوسفور (حيث كان تواجد الفطر عاليًا فى التربة، وبكثافة قدرها ١٠٦١ وحدة فطرية قادرة على إصابة الجذور/جم من التربة الجافة)، كما لم يتأثر المحصول سلبيًّا، ويبدو أن الجذور لم تُستعمر فى الشريط الضيق الذى أضيف فيه الفوسفور، بينما استُعمرت الجذور فى بقية الحيز الأكبر من التربة الذى لم يصل إليه السماد الفوسفاتى المضاف (Olsen وآخرون ١٩٩٥ب، و١٩٩٦، و١٩٩٩).

وفى مقابل النتائج التى أسلفنا بيانها عن تأثيرات الميكوريزا على نمو محصول الفلفل.. أظهرت دراسة أخرى (Marschner وآخرون ١٩٩٧) عدم وجود أى تأثير للعدوى بأى من فطرى الميكوريزا: *Glomus deserticola*، أو *G. intraradices*، على نمو نباتات الفلفل، ولكن بدا أن الميكوريزا ثبطت إفرازات الجذور، ومن ثم أثرت سلبيًّا على أعداد أنواع بكتيرية معينة تتواجد فى منطقة نمو الجذور، وكانت البكتيريا التى استخدمت فى هذه الدراسة، وتأثرت أعدادها سلبيًّا بالعدوى بالميكوريزا، هى السلالة *Pseudomonas fluorescens*.

وتحت ظروف نقص الفوسفور والزنك تفيد معاملة التربة فى مرحلة نمو البادرة بأى من فطريات الميكوريزا *Glomus mosseae*، أو *G. clarum*، أو *G. caledonium*، أو *G. intraradices*، أو *G. etunicatum*، أو مخلوط منها فى تحسين نمو نباتات الفلفل وتعويض نقص العنصرين بالتربة (Ortas وآخرون ٢٠١١).

الخيار

قام Trimble & Knowles (١٩٩٥ أ) بدراسة استجابة نباتات الخيار – حتى عمر ٣٨ يومًا – للحقن بثلاثة أنواع من الميكوريزا (هى: *Glomus mosseae*، و *G. dimorphicum*، و *G. intraradices*) فى وجود ثلاثة مستويات من الفوسفور فى المحلول المغذى (هى: ٤، و ١٢، و ٢٠ ملليجرامًا من الفوسفور P/لتر). وقد أوضحت الدراسة أن النباتات استجابت بشدة لاستعمار أنواع الميكوريزا الثلاثة لجذورها، ولكن ضعفت صلتها بالجذور مع زيادة التسميد بالفوسفور. ومع ذلك فقد ازدادت جميع دلائل النمو (الوزن الجاف للسيقان والأوراق، والمساحة الورقية) فى النباتات المستعمرة بفطريات الميكوريزا فى جميع مستويات التسميد الفوسفاتى، مقارنة بالنباتات التى لم تحقن بالميكوريزا، وكانت الزيادة فى النمو مماثلة للزيادة التى تحدث عند زيادة التسميد الفوسفاتى. وقد احتوت النباتات التى استعمرتها الميكوريزا على تركيزات من النيتروجين

الذائب أقل مما احتوت عليه نباتات الكنترول فى بداية مراحل النمو، ولكن تساوى محتواهما من النيتروجين الذائب بعد ٣٨ يومًا من الزراعة. وبينما احتوت أوراق النباتات التى لم تحقن بالميكوريزا على تركيزات أعلى من المواد الكربوهيدراتية الذائبة عن النباتات التى استعمرتها الميكوريزا (ربما بسبب قلة تصدير المواد الكربوهيدراتية منها، وتعرضها لنقص الفوسفور، مقارنة بالنباتات المحقونة بالميكوريزا)، فإن جذور النباتات التى استعمرتها الميكوريزا احتوت على تركيزات من المواد الكربوهيدراتية الذائبة أعلى مما احتوته جذور النباتات التى لم تحقن بالميكوريزا؛ الأمر الذى يعنى زيادة الطلب على المواد الكربوهيدراتية فى النباتات المحقونة بالميكوريزا لتوفير احتياجات النموات الفطرية.

وعندما قارن Trimble & Knowles (١٩٩٥ب) استجابة النباتات البالغة للحقن بفطر الميكوريزا *Glomus intraradices* فى ظل توفير الفوسفور للنباتات بكميات تراوحت بين ٩٠، و٧٢٠ ملليجرامًا من الفوسفور P/نبات/أسبوع، استمرت العلاقة وثيقة بين نباتات الخيار والفطر حتى المراحل المتأخرة من نموها، وذلك فى ظل وجود مستويات منخفضة أو متوسطة من التسميد الفوسفاتى. وبينما أدت زيادة التسميد الفوسفاتى إلى تحسين النمو بصورة عامة، فإن الحقن بفطر الميكوريزا أدى إلى تبكير الإزهار والإثمار، إلا أنه أحدث كذلك نقصًا بسيطًا فى النمو الخضرى للنباتات، مع زيادة فى فترة فشل العقد (التنفيل)؛ الأمر الذى ترتب عليه عدم زيادة المحصول الكلى وقد أُرجع ذلك إلى الطلب على المواد الكربوهيدراتية لمواجهة احتياجات النمو الفطرى الذى يعيش فى علاقة تبادل منفعة مع جذور النباتات.

وأدت معاملة بذور الخيار بأى من فطر الميكوريزا *Gliocladium virens* سلالة G872B، أو البكتيريا *Pseudomonas putida* سلالة Pf_3، أو مخلوط منهما قبل زراعتها فى الصوبة.. أدت إلى زيادة سرعة إنباتها، وزيادة النموين الخضرى والجذرى، وزيادة محصول الثمار، وأعطت معاملة الـ G872B والمخلوط منها مع Pf_3 أفضل النتائج.

وبينما كان المحصول المبكر والمتوسط أعلى فى معاملة الـ G872B، فإن المحصول الكلى كان أعلى فى معاملة المخلوط منها مع Pf_3 (Bae وآخرون ١٩٩٥).

وقد أدت معاملة جذور الخيار بالميكوريزا إلى زيادة معدل البناء الضوئى للأوراق، وارتبطت تلك الزيادة بزيادة محتوى الأوراق من عنصر الفوسفور، وليس لأن الميكوريزا أصبحت مستودعًا للغذاء المجهز (Black وآخرون ٢٠٠٠).

وأدت معاملة بيئة إنتاج شتلات الخيار والفلفل بفطر الميكوريزا *Trichoderma harzianum* إلى إحداث زيادة كبيرة معنوية فى نمو الشتلات، تمثلت — عندما كانت الشتلات جاهزة للشتل وهى بعمر ١٨، و ٣٠ يومًا من الزراعة لكل من الخيار والفلفل — على التوالى — فى ٢٣,٨٪، و ١٧,٢٪ فى ارتفاع الشتلات، و ٩٦,١٪، و٥٠٪ زيادة فى المساحة الورقية للشتلات، و٢٤,٧٪، و٢٨,٦٪ فى الوزن الجاف للشتلات. وقد نمت تلك الشتلات بقوة أكبر، وكان محتواها من الكلوروفيل أعلى مما فى شتلات الكنترول. وعندما شُتلت بادرات الخيار فى صوبة تجارية كانت النباتات أكثر مقاومة للذبول الطرى الذى تسببه فطريات الـ *Pythium* spp.، و *Rhizoctonia solani* (Inbar وآخرون ١٩٩٤).

وأدى تلقيح نباتات الخيار بالميكوريزا arbuscular mycroohizae إلى زيادة المحصول، وزيادة الفوسفور فى النبات والفوسفور الميسر فى التربة بنحو ٣٠٪. وقد تأثرت شدة استعمار الميكوريزا لجذور الخيار سلبًا بالتسميد الكيميائى للنباتات (Xu وآخرون ٢٠٠٠).

وأحدثت إضافة السلالة T203 من الميكوريزا *Trichoderma harzianum* إلى تربة نمو الخيار الزيادات التالية:

٣٠٪ فى سرعة بزوغ البادرات حتى ٨ أيام من زراعة البذور.

٩٥٪ فى المساحة الجذرية.

٧٥٪ فى الطول الكلى للجذور.

٨٠٪ فى الوزن الجاف.

٤٥٪ فى طول النمو الخضرى.

٨٠٪ فى المساحة الورقية.

٩٠٪ فى محتوى الفوسفور.

٣٠٪ فى محتوى الحديد (Yedidia وآخرون ٢٠٠١).

وأعطت معاملة زراعة نباتات الخيار فى بيئة ذات مستوى منخفض من الفوسفور، مع تركيزات عالية من العناصر الأخرى أعلى مستوى لاستعمار الجذور بفطر الميكوريزا *Glomus mosseae*، وأعطت أكبر قدر من الكتلة البيولوجية؛ لزيادة معدل البناء الضوئى فيها. أما عند زيادة مستوى الفوسفور فى بيئة الزراعة مع تركيزات عالية — كذلك — من العناصر الأخرى، فإن النمو النباتى تأثر سلبيًّا فى النباتات التى لُقحت بالميكوريزا على الرغم من أن ذلك لم يكن مرده إلى أى انخفاض فى معدل البناء الضوئى، ولكنه كان مترافقًا مع انخفاض فى كفاءة استخدام النيتروجين فى عملية البناء الضوئى (Valentine وآخرون ٢٠٠١).

تُفيد معاملة البذور بالميكوريزا *Trichoderma harzianum* (السلالة T22) فى تحسين الإنبات فى الظروف البيئية القاسية، مثل الشدِّ الملحى والحرارة المنخفضة، كما تؤدى المعاملة إلى زيادة قوة نمو البادرات (Mastouri وآخرون ٢٠١٠).

البصل والخضر النرجسية الأخرى

وجد Waterer & Coltman (١٩٨٨) أن زيادة مستوى الفوسفور الميسر لشتلات البصل بزيادة تركيز العنصر فى المحلول المغذى من ٤ إلى ٥٦ مجم P/لتر، أو بالتسميد بالعنصر كل ٤ أيام بدلاً من كل ٨ أيام أضعف إصابة نباتات البصل بفطر الميكوريزا *Glomus aggregatum*، وكان ذلك مصاحبًا بزيادة فى الوزن الطازج للنباتات وزيادة محتواها من

الفوسفور. ولم تكن العدوى بالميكوريزا مؤثرة فى زيادة الوزن الطازج للنباتات ومحتواها من الفوسفور إلا عندما كان مستوى الفوسفور الميسر لاستعمال النبات منخفضًا. وتحت هذه الظروف — التى واكبت التسميد بمعدلات منخفضة من الفوسفور وعلى فترات متباعدة — كانت الإصابة بفطر الميكوريزا جيدة، والنمو النباتى جيدًا.

وقد عامل Vosátka (١٩٩٥) نباتات البصل بعدة أنواع من فطريات الميكوريزا من الجنس *Glomus*، هى:

G. caledonium	*G. fasciculatum*
G. intraradices	*G. aggregatum*
G. versiforme	*G. vesiculiferum*
G. etunicatum	*G. mosseae*

وحصل الباحث على نتائج إيجابية من المعاملة بغالبية هذه الأنواع. وعلى الرغم من أن بعض الاختبارات أعطت نتائج أفضل فى حالة عدم تسميد البصل، إلا أن حالات أكثر كانت نتائجها إيجابية حتى مع النباتات المسمدة والمروية جيدًا.

وحصل Tawaraya وآخرون (١٩٩٦) على أفضل النتائج (أفضل إصابة بالميكوريزا، وأعلى تركيز للفوسفور فى النموات الخضرية للبصل، وأعلى وزن جاف للنموات الخضرية) عند تلقيح (عدوى) جذور البصل بفطر الميكوريزا *Glomus fasciculatum*، مقارنة بالعدوى بالفطرين *G. masseae*، و*G. caledonium*، وذلك عند جميع مستويات التسميد الفوسفاتى، وهى صفر، و٢١٨، و٤٣٠ مجم فوسفورًا/أصيص، ولكن حدثت أعلى إصابة بالميكوريزا عند عدم التسميد بالفوسفور وانخفضت الإصابة تدريجيًّا بزيادة مستوى التسميد الفوسفاتى.

ولمزيد من التفاصيل عن موضوع الميكوريزا فى البصل الجاف .. يراجع Stribley (١٩٩٠).

وأحدث تلقيح البصل الأخضر بالميكوريزا *Glomus intraradices* فى ظل وجود مستوى عالٍ من تيسر الكبريت ومستوى منخفض من تيسر الفوسفور فى التربة .. أحدث تأثيرات عالية على محصول البصل الأخضر وحرافته؛ هذا.. فضلاً عن أن استعمار الميكوريزا للجذور أحدث زيادة فى كلٍ من الوزن الجاف للنمو الخضرى، ونسبة النمو الخضرى إلى الجذرى، وطول النمو الخضرى، وسمك الساق الكاذبة، ومحتوى الأوراق من الفوسفور (Guo وآخرون ٢٠٠٦أ). وقد تأكد التأثير الكبير للتلقيح بكل *G. intaradices*، و *G. versiforme* على النمو النباتى لبادرات البصل فى دراسة أخرى (Guo وآخرون ٢٠٠٦ب).

وأسهم تلقيح نباتات البصل الأخضر بأى من فطريات الميكوريزا: *Glomus etunicatum*، أو *G. intaradices*، أو *G. mossease* كثيرًا فى محتوى النباتات من الكبريت؛ الأمر الذى يمكن أن يؤثر فى خصائص طعمها. وعلى الرغم من أن تركيز الكبريت بالنبات وحامض البيروفيك المنتج إنزيميًّا ازدادا بزيادة التسميد بالكبريتات، فإنهما كانا — عادة — أعلى فى النباتات الملقحة بالميكوريزا أيًّا كان مستوى التسميد بالكبريت (Guo وآخرون ٢٠٠٧).

وقد اختلفت أنواع الميكوريزا فى مدى تأثرها بالتسميد الفوسفاتى، لكن وجد — بصورة عامة — أن التسميد الفوسفاتى الجيد أضعف كلاً من النمو الفطرى للميكوريزا واستعمارها لجذور الكرات، وخاصة عندما كان التسميد الفوسفاتى بعد ٧ أيام من الزراعة. وعلى الرغم من غزارة النمو الفطرى للميكوريزا *Scutellospora heterogama* عن نظيره فى *Glomus entunicatum*، فإنه كان اكثر حساسية لمستوى الفوسفور الميسر فى التربة (de Miranda & Harris ١٩٩٤).

وقد حُصل على نتائج مماثلة لما تقدم بيانه فى الثوم، حيث اعتمد الثوم على الميكوريزا (*Glomus fasciculatum*) فى نموه فى الأراضى التى تحتوى على مستويات متوسطة من الفوسفور؛ وبذا.. يمكن خفض معدلات التسميد الفوسفاتى مع تأمين محصول جيد من الأبصال (Al-Karaki ٢٠٠٢).

ووجد لدى اختبار ٢٧ صنفًا من بصل ويلز Welsh onion (وهو: *Allium fistulosum*) أنها جميعًا كونت علاقة وثيقة بين جذورها وفطر الميكوريزا *Glomus fasciculatum*، وإن تباينت الأصناف فى هذا الشأن، حيث تراوح اعتماد النمو الخضرى على استعمار الميكوريزا للجذور بين ٧٣٪، و٩٥٪، وتباين استعمار الفطر للجذور ذاتها بين ٤٨٪، و٨١٪ فى مختلف الأصناف. وبصورة عامة ازداد امتصاص الفوسفور والكتلة الجافة للنباتات بزيادة استعمار الميكوريزا للجذور (Tawaraya وآخرون ٢٠٠١).

البسلة

قام Reinhard وآخرون (١٩٩٤) بدراسة تأثير الميكوريزا *Glomus mosseae* على نباتات البسلة الملقحة بالبكتيريا *Rhizobium leguminosarum* فى وجود مستويات منخفضة أو عالية من الفوسفور (٥٠ أو ١٠٠مجم/كجم من التربة)، والنيتروجين (١٦ أو ١٠٠مجم/كجم من التربة)، مع توفير إضاءة ضعيفة أو عالية (العالية ٩٠٠ ميكرومول/م^{٢}/ثانية) للنمو النباتى، وتوصلوا من دراستهم إلى ما يلى:

١- عندما كان مستوى الفوسفور منخفضًا أدى التلقيح بالميكوريزا إلى زيادة محتوى الفوسفور فى النموات الخضرية، وزيادة تثبيت النيتروجين.

٢- أدى ضعف الإضاءة إلى نقص جوهرى فى استعمار الميكوريزا للجذور وفى نمو العقد الجذرية.

٣- عندما كان مستوى الفوسفور عاليًا انخفضت قدرة الميكوريزا على استعمار الجذور.

٤- ازداد تمثيل المواد الكربوهيدراتية فى النباتات تحت ظروف الإضاءة العالية مع توفر الفوسفور والنيتروجين، ولكن تأخر تكوين العقد الجذرية.

٥- ازداد تكوين العقد الجذرية مع اقتراب مرحلة الإزهار، ولكن حدث ذلك بدرجة أقل فى النباتات الملقحة بالميكوريزا.

٦- وبعد ٢٨ يومًا من الزراعة كانت النباتات الملقحة بالميكوريزا أقل من نظيراتها غير الملقحة فى كل من الوزن الجاف للنموات الخضرية، والوزن الجاف للعقد الجذرية، وفى نشاط إنزيم النيتروجينيز nitrogenase.

هذا.. وتختلف سلالات وأصناف البسلة فى تقبلها لاستعمار الميكوريزا لها، وتلك خاصية وراثية. وقد أوضحت دراسات التطعيم أن تلك الصفة – أى خاصية القدرة على التوافق بين البسلة والميكوريزا من عدمه – تتحدد فى الجذور فقط (Vierheilig & Piche ١٩٩٦). وقد أمكن تحويل سلالات البسلة غير المتوافقة مع الميكوريزا إلى سلالات متوافقة، وجعلها قابلة للإصابة بالميكوريزا، وذلك بمعاملة جذورها بالمركب تراى أيودوبنزوك أسد triiodobenzoic acid (اختصارًا: TIBA)، وهو مثبط لانتقال الأوكسجين فى النبات (Muller ١٩٩٩).

الفاصوليا

أدت المعاملة بفطريات الميكوريزا *Glomus clarum*، و*G. etunicatum*، و *G. manihotis*، و*Gigaspora margarita* إلى زيادة الوزن الجاف لنباتات الفاصوليا بنسب تراوحت بين ٨٪، و٢٣٪، ومحتوى النباتات من الفوسفور بنسب تراوحت بين ١٦٠٪، و٣٣٥٪. وقد توقفت تلك الزيادات على مدى استعمار الميكوريزا لجذور النباتات؛ الأمر الذى توقف – بدوره – على كل من نوع الميكوريزا المستعمل وصنف الفاصوليا. وقد وجدت علاقة إيجابية قوية بين نسبة استعمار الميكوريزا للجذور ومحتوى النباتات من عنصر الفوسفور؛ بما يعنى أن الاستجابات الإيجابية للتلقيح بالميكوريزا كان مردها إلى دورها فى زيادة امتصاص الجذور لعنصر الفوسفور (Ibijbijen وآخرون ١٩٩٦).

هذا إلا أن زيادة نشاط الميكوريزا التى تعيش تعاونيًّا مع جذور الفاصوليا فى الأراضى الفقيرة فى الفوسفور – وما يصاحب ذلك النشاط من زيادة فى امتصاص الفوسفور – يكون مصاحبًا بزيادة فى استهلاك الجذور من الكربون بسبب زيادة تنفس الجذور، ويكون ذلك على حساب الغذاء الذى يمكن أن يخزن فى الجزء الثمرى من النبات (Nielsen وآخرون ١٩٩٨).

هذا.. ويفيد تغليف بذور الفاصوليا بمثيل السيليلوز methyl cellulose بمعدل جرام واحد لكل كيلو جرام من البذور فى تحسين نسبة إنبات البذور وزيادة الوزن الطازج للبادرات جوهريًا. وقد أمكن تحميل عدد من المنشطات الحيوية فى مادة التغليف مع احتفاظها بحيويتها لمدة زادت عن ١٠ أسابيع بعد المعاملة وقبل زراعتها. وعلى الرغم من أن مختلف المنشطات الحيوية فقدت جزءًا من حيويتها أثناء فترة التخزين إلا أن أقلها تأثرًا كانا فطرا الميكوريزا *Gliocladium virens*، و*Trichoderma viride* وتلاهما فى التأثر البكتيريا *Bacillus subtilis*. أما البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* فقد كانت أسرع المنشطات الحيوية فقدًا لحيويتها (Tu & Zheng ١٩٩٧).

الفراولة

أدى تلقيح جذور شتلات الفراولة بفطريات الميكوريزا *Glomus macrocarpum*، و *G. versiforme* إلى زيادة المحصول عما فى النباتات التى لم تلقح، وذلك فى الجزء الأخير من موسم الحصاد، ولكن اختلفت كثيرًا أصناف الفراولة فى استجابتها لمختلف أنواع وسلالات الميكوريزا (Chávez & Ferrara-Cerrato ١٩٩٠).

كذلك أدت معاملة نباتات الفراولة بفطر الميكوريزا *Glomus intraradices* إلى إحداث زيادة جوهرية فى كل من: ارتفاع النبات، والمساحة الورقية، وعدد الأوراق تناسبت طرديًا مع الزيادة فى عدد جراثيم الفطر التى لقحت بها النباتات من ٧٥٠ إلى ١٢٠٠٠ جرثومة/نبات، وكان الحد الأدنى المستعمل كافيًا لإحداث تأثير إيجابى على النمو النباتى (Silva وآخرون ١٩٩٦).

الخس

أدى تلقيح نباتات الخس بأى من فطرى الميكوريزا *G. mosseae*، أو *G. fasciculatum* إلى ارتفاع محتواها من الفوسفور أيًا ما كانت درجة ملوحة التربة، وكذلك أدت إلى زيادة تحمل النباتات لملوحة التربة. ويبدو أن زيادة تحمل النباتات للملوحة التى اكتسبها الخس بعد المعاملة بهذين الفطرين كان مردها إلى ما أحدثته

المعاملة من زيادة فى كل من معدل تبادل النباتات لغاز ثانى أكسيد الكربون، ودرجة توصيل الثغور، وكفاءة استخدام المياه، وليس إلى زيادة امتصاص النباتات لأى من عنصرى النيتروجين أو الفوسفور (Ruiz-Lozano وآخرون ١٩٩٦).

كذلك أدى التلقيح بأى من الفطريات *G. deserticola*، أو *G. fasciculatum*، أو *G. mosseae* إلى زيادة قدرة نباتات الخس على تحمل ظروف الجفاف من خلال خفضها لمدى النقص الذى تحدثه ظروف الجفاف فى نشاط الإنزيم nitrate reductase (Ruiz-Lozano & Azcón ١٩٩٦).

وفى دراسة أجريت على صنف الخس Romaine– المتوسط التحمل للملوحة — لم تؤثر العدوى بالميكوريزا جوهريًا فى تحسين النمو النباتى فى ظروف الشدّ الملحى. هذا إلاّ أن العدوى بالميكوريزا *Glomus intraradices* أدت إلى زيادة تركيز الفوسفور والبوتاسيوم بأوراق الخس (Garmendia & Mangas ٢٠١٤).

الأسبرجس

تستفيد نباتات الأسبرجس من فطريات الميكوريزا التى تعيش تعاونيًا مع جذورها. فمثلاً.. أدى تلقيح بادرات الأسبرجس بالميكوريزا *Glomus etunicatum* أو *G. margarita* إلى تحفيز تكوين الجذور والسيقان واستطالتها، وخاصة بعد موسم النمو الثانى. وأدت المعاملة بالميكوريزا إلى زيادة الوزن الجاف للنباتات وزيادة محتواها من العناصر، وخاصة الفوسفور، ولكن اختلف القطران فى الحرارة المناسبة لنشاطهما بين ٢٥°م فى *G. etunicatum*، و٢٥ أو ٣٠°م فى *G. margarita* (Matsubara & Harada ١٩٩٦أ، و١٩٩٦ب). وقد كان فطر الميكوريزا *G. margarita* أكثر كفاءة فى استعمار جذور الأسبرجس عن الفطر *G. etunicatum*، حيث أدى التلقيح بمائة جرثومة من الفطر الأول إلى استعمار ٥٢,٣٪ من المجموع الجذرى للنبات، بينما لزمت ١٠٠٠ جرثومة من الفطر الثانى لاستعمار ٥٥,٢٪ من الجذور (Matsubara & Harada ١٩٩٧).

كذلك أظهرت الدراسات أن بادرات الأسبرجس الملقحة بأى من فطرى الميكوريزا *G. margarita*، أو *Glomus* sp. تكون أكثر تحملاً للانحرافات الحادة فى درجة الحرارة سواء أكان ذلك بالارتفاع إلى ٣٠ °م، أم بالانخفاض إلى ١٥ °م؛ حيث كانت النباتات الملقحة أطول من غير الملقحة فى كلتا الحالتين، إلاّ أن الميكوريزا *G. margarita* كانت أكثر كفاءة، وأكثر قدرة على استعمار جذور الأسبرجس، حيث بلغ متوسط استعمارها للجذور ٦٦,٣٪ بعد ١١ أسبوعًا من تلقيح الجذور بها، مقارنة بنسبة استعمار للجذور بلغت ٣٦,٧٪ للفطر *Glomus* sp. (Matsubara وآخرون ٢٠٠٠).

وأدى تلقيح جذور الأسبرجس بالسلالة R10 من الميكوريزا *Glomus* sp. إلى تحفيز النمو الخضرى والجذرى للنباتات، وزيادة تحملها لعفن الجذور الفيوزارى الذى يسببه الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagi*؛ الأمر الذى واكبه زيادة فى النشاط المضاد للأكسدة بالنبات، والذى تمثل فى حدوث زيادة فى نشاط كلاً من: الـ superoxide dismutase، والـ ascorbate peroxidase، والـ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity، مع زيادة فى محتوى الفينولات الكلى وحامض الأسكوربيك (Nahiyan & Matsubara ٢٠١٢).

أهمية الميكوريزا فى تحمل النباتات للملوحة والجفاف

درس Rosendahl & Rosendahl (١٩٩١) تأثير سلالات من الفطر *Glomus* spp. فى قدرة نباتات الخيار على تحمل الملوحة (٠,١ ملى 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.

وأدت الميكوريزا المتحصل عليها من الأراضى غير الملحية إلى تحسين نمو نباتات الطماطم، بينما أدت تلك المتحصل عليها من الأراضى الملحية إلى إضعاف النمو النباتى الجذرى والخضرى على الرغم من خفضها لمستوى الكلورين فى الأوراق فى المستويات المتوسطة من الملوحة؛ مما يعنى احتمال أن يكون لها دور فى تحمل النباتات للملوحة تحت تلك الظروف (Copeman وآخرون ١٩٩٦).

وتبين من دراسات أجريت على تلقيح جذور شتلات الخس والبصل بفطريات ميكوريزا قبل شتلها فى أرض ملحية تباينت شدة ملوحتها بين ٢ ديسى سيمنز/م (الكنترول) إلى ١٢ ديسى سيمنز/م أن ذلك التلقيح أحدث زيادة جوهرية فى نمو المحصولين مع زيادة فى محتوى الأوراق من الكلوروفيل فى كل مستويات الملوحة، بينما تقزمت نباتات البصل غير الملقحة بالميكوريزا بسبب تعرضها لنقص الفوسفور. ولم تكن عزلات الميكوريزا المتحصل عليها من أرض ملحية أكثر كفاءة فى تقليل أضرار الملوحة عن تلك التى حُصِلَ عليها من أرض غير ملحية. هذا.. إلا أن درجة استعمار الميكوريزا لجذور الخس والبصل انخفضت بزيادة ملوحة التربة (Cantrell & Linderman ٢٠٠١).

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 Plati ١٩٨١، وWhite ١٩٨٧).

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 الثآليل ويزداد المحصول
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 فيزيائيًا 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 (لجننة) من الجذور غير المتصلة بها، وربما يكون لذلك صلة مباشرة بتقليل حدوث الإصابات المرضية.

وتحتوى النباتات على إنزيمات شيتينية Chitionlytic Enzymes تقوم بتحلل 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؛ فمثلاً.. 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 وآخرين ١٩٨٦).

تتوقف فاعلية المعاملة بفطريات الميكوريزا على مدى نجاح الفطريات فى إصابة الجذور لكى تتعايش معها؛ الأمر الذى يتوقف على عديد من العوامل، مثل: العدوى بالفطريات فى المكان المناسب، وفى الوقت المناسب، وعمر جذور النبات عند إجراء العدوى (حيث يوجد تناسب عكسى بين عمر الجذور وقابليتها للإصابة)، ومدى قابلية المحصول للإصابة بهذه الفطريات.

وقد وجد Akef وآخرون (١٩٩٠) أن إصابة جذور البصل بفطر الميكوريزا *Glomus deserticola* بدأت بعد العدوى بالفطر بمدة ثلاثة أيام، ووصلت إلى ٥٠٪ من الطول

الكلى للجذور بعد ٢١ يومًا. وبالمقارنة.. بدأت الإصابة بالفطرين *G. mosseae*، و *G. intraradices* بعد ١٢ يومًا، وبلغت ١٥٪، و٣٧٪ – على التوالى — بعد ٢١ يومًا. وفى تجربة أخرى حدثت إصابة سريعة لجذور البصل بالفطر *G. deserticola* عند عمر ثلاثة أيام، ثم ازدادت إلى ٥١٪ بعد ثلاثة أيام من العدوى، بينما كانت النباتات التى بعمر ١٠ أيام أو ١٧ يومًا أقل كثيرًا فى استجابتها لفطريات الميكوريزا، ولكنها أصيبت بشدة عند عمر ٣٠ يومًا عندما تكونت بها جذور جديدة. وكانت أفضل طريقة للعدوى هى وضع الفطريات تحت البذور — عند الزراعة — بعمق ٣ سم. وقد أدت هذه المعاملة إلى تحسين نمو البصل فى الأرض المعقمة، ولكنها لم تكن مؤثرة على نموه فى تربة غير معقمة.

كما وجد Sukarno وآخرون (١٩٩٣) أن معاملة التربة بأى من المبيدات الفطرية: بنليت Benlate (benomyl)، أو أليت Aliette (fosetyl-Al)، أو ردوميل Ridomil (metalaxyl) كان لها تأثيرًا سلبيًّا كبيرًا على فطريات الميكوريزا سواء أكانت تلك التى تعيش حرة فى التربة، أم التى تتعايش مع جذور البصل، ولكن تباينت الفطريات فى تأثيراتها على كل من فطريات الميكوريزا ونمو نباتات البصل.

وأدى تلقيح التربة بفطرى الميكوريزا *Trichoderma harzianum*، و *T. viride* إلى تحسين نمو البصل ووزنه الطازج جوهريًّا، ولكن التلقيح لم يكن مؤثرًا بصورة جوهرية فى مكافحة الفطر *Sclerotium cepivorum* المسبب للعفن الأبيض (Payhami وآخرون ٢٠٠١).

طرق التلقيح بفطريات الميكوريزا

تتوفر حاليًا 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 أولاً 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 — فى التربة المحيطة بالجذور rhizosohere — 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، ولكن ذلك قد يقلل كثيرًا من قدرتها على تكوين علاقة بيولوجية مع النبات.

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

ومقارنة بالنباتات المعمرة.. فإن محاصيل الخضر — وهى محاصيل قصيرة العمر- قد لا يناسبها العدوى بفطريات الـ VAM — لأسباب اقتصادية — باستثناء الحالات التى تستجيب فيها الخضر كثيرًا للعدوى بالـ VAM (عن Miller وآخرين ١٩٦٨).

هذا.. وتُصاب الجذور النباتية بالميكوريزا من الجراثيم وبقايا الجذور التى توجد فى التربة أو من الجذور المجاورة لنفس النبات أو لنباتات أو أنواع نباتية أخرى مجاورة. ومما يحفز الإصابة تواجد شبكة من الميكوريزا بالتربة لم تُهدم بالحراثة أو بقلب التربة (Marschner ١٩٩٥).

العوامل المؤثرة فى قدرة فطريات الميكوريزا على الاتصال بيولوجياً بالنباتات

تتأثر قدرة فطريات الميكوريزا على الاتصال بيولوجيًّا بالنباتات بالعوامل التالية:

١-النوع النباتى.. حيث تفشل بعض الخضر — مثل الصليبيات والرمراميات — فى تكوين علاقة بيولوجية مع فطريات الـ VAM. ويبدو أن النباتات ذات الجذور القليلة السميكة غير المتفرعة — كما فى البصل والموالح — 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 preference 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 — سواء أكان ذلك عن طريق التربة، أم عن طريق النموات الخضرية — إلى إضعاف العلاقة البيولوجية بينها وبين فطريات الميكوريزا.

كما يؤدى التسميد الآزوتى الجيد — كذلك — 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 - مع النباتات — مع ارتفاع درجة الحرارة إلى ٣٠°م.

٦- شدة الإضاءة:

تزداد صلة تبادل المنفعة (بين فطريات الـ VAM والنباتات) قوة 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 — مقارنة بالتعايش مع بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى فقط — أدى إلى زيادة فى كل 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 مائلة لتلك النتائج فى اللوبيا.

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

وفى دراسة أجريت على الميكوريزا (VAM) فى الخس وجد ما يلى:

١–انخفض استعمار فطريات الميكوريزا مع زيادة استعمال المبيدات والأسمدة الكيميائية الفوسفاتية والنيتروجينية.

٢–ارتبط استعمار فطريات الميكوريزا لجذور الخس إيجابيًّا مع إضافة المواد العضوية للتربة، وتواجد عوائل أخرى للميكوريزا فى الدورة، ومع زيادة نسب الكربون إلى الفوسفور، والكربون إلى النيتروجين فى التربة.

٣–ارتبطت أعداد جراثيم الـ VAM فى التربة بقوة مع عدد العوائل الأخرى فى الدورة، ومع تواجد العوائل من الحشائش، بينما ارتبطت أعداد الجراثيم سلبيًّا بزيادة محتوى التربة الكلى من النيتروجين والكربون والفوسفور، وكذلك مع زيادة السعة التبادلية الكاتيونية (Miller & Jackson ١٩٩٨).

ومن المعروف أن نمو الميكوريزا يُثبَّط فى مخاليط الزراعة التى تحتوى على نسب مختلفة من البيت موس. وكان يعتقد بأن مرد ذلك هو احتواء تلك المخاليط على تركيزات عالية من الفوسفور، الذى يثبط المعيشة التعاونية بين الميكوريزا وأنسجة الجذور، ولكن اقتُرح — كذلك — أن البيت ربما يُسهم فى هذا التثبيط. وفى دراسة استخدم فيها نوعًا الميكوريزا *Glomus deserticola*، و *Gigaspora rosea*، وجد أن استخدام مصادر

مختلفة للبيت يمكن أن يثبط أو يحفز نمو الميكوريزا بدرجات مختلفة للنوعين المختبرين (Linderman & Davis ٢٠٠٤).

وكما أسلفنا.. فإن العناصر الغذائية المتوفرة فى التربة تلعب دورًا هامًّا فى نشاط الميكوريزا واستعمارها لجذور النباتات، ونلقى – فيما يلى – مزيدًا من الضوء على هذا الموضوع:

• إن مستوى توفر العناصر المغذية للنبات قد يثبط استعمار الميكوريزا للجذور أو يحفزه؛ فمثلاً.. ينخفض استعمار الميكوريزا للجذور عندما يكون مستوى الفوسفور شديد الانخفاض، حيث قد يؤدى النقص الشديد للفوسفور إلى الحد من نمو الفطر ذاته، ومع زيادة مستوى الفوسفور، يزداد كل من النمو الجذرى، ونسبة الجذور التى يستعمرها الفطر إلى أن يصل مستوى الفوسفور إلى الحد الأمثل، حيث ينخفض بعدها معدل استعمار الميكوريزا للجذور بدرجات متفاوتة تختلف باختلاف نوع الميكوريزا، والنوع المحصول.

• كذلك تؤدى زيادة توفر النيتروجين إلى خفض معدل الإصابة بالميكوريزا، وخاصة إذا ما اقترن ذلك بزيادة فى مستوى الفوسفور، وعندما يكون توفر النيتروجين على صورة أمونيوم. ويعتقد أن النقص فى نسبة الجذور التى تستعمرها الميكوريزا تحت هذه الظروف يكون مرده إلى زيادة معدل نمو الجذور عما يمكن لنمو الميكوريزا أن يواكبه (Marschner ١٩٩٥).

• وقد استعمرت الميكوريزا *Glomus intraradices* جذور الخيار فى مستويات مختلفة من التسميد الآزوتى، ولكن العلاقة بين الفطر والجذور كانت أقوى ما يمكن فى المستوى المنخفض من النيتروجين، وأوضحت الدراسة أن مرد ذلك كان زيادة امتصاص النيتروجين عن طريق الغزل الفطرى الخارجى (Johansen وآخرون ١٩٩٤).

• ويعد توفر الكالسيوم – وعدم تنافس المغنيسيوم معه على الامتصاص – ضروريًّا لاستعمار الميكوريزا للجذور بصورة جيدة (Jastefer وآخرون ١٩٩٨).

• ويعتقد بأن الميكوريزا (الـ VAM) ربما تُحور أيض الفينولات فى الجذور؛ مما يعوق إنتاج الإيثيلين وقدرة الجذور على إنفاذ استجابة دفاعية ضد الميكوريزا. وربما يؤدى توفير الفوسفور من مصادر غير حيوية إلى تجديد قدرة الجذور جزئيًّا على إنتاج الإيثيلين؛ الأمر الذى قد يُزيد من مقاومتها للميكوريزا (McArthur & Knowles ١٩٩٢).