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) — 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

وصفت أول علاقة ميكوريزية micorrhizal relationship منذ نحو ١٤٠ سنة، ولكن لم يبدأ علماء البساتين فى تفهم وتقدير أهميتها — وخاصة بالنسبة — للخضر إلا منذ نحو ٥٠ 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 جذرًا لأحد العوائل المناسبة فإنه يموت. ولكن ما أن يتصل الفطر بيولوجيًّا بجذر عائله إلا ويكوّن نموًّا كثيفًا خارج الجذر (عن White ١٩٨٧).

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.

تقسيم الميكوريزا

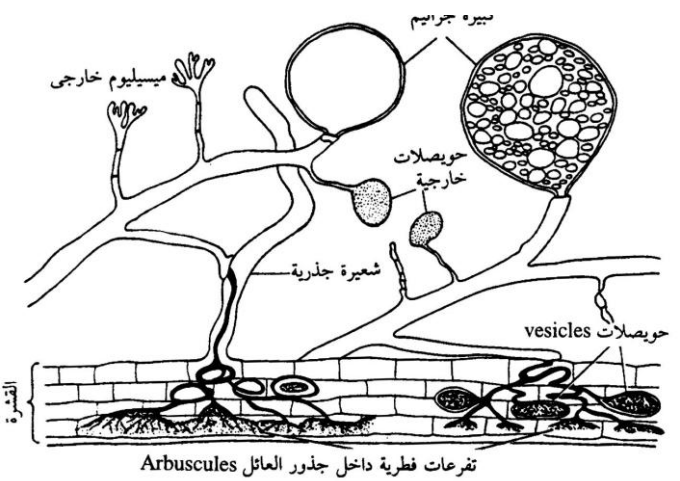
توجد الميكوريزا فى الطبيعة فى ثلاثة طرز (شكل ١٩–٨؛ يوجد فى آخر الكتاب)؛ كما يلى:

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 ١٩–٩).

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



شكل (١٩–٩): نمو الـ Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae خارج وداخل خلايا العائل (عن White ١٩٨٧).

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

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

٢- ميكوريزا خارجية Ectomycorrhizae

تكوّن فطريات الميكوريزا الخارجية نموًّا 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 وارتباطهابالعائل 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 دورًا كبيرًا فى امتصاص العناصر الغذائية من التربة وتوفيرها للنبات.

٣- ميكوريزا خارجية داخلية Ectendomychorrhizae:

وفيها يُظهر الفطر جانبًا من صفات كل 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 – كما أسلفنا – "العلاقات الميكوريزية التى تنشأ بين فطريات طحلبية Phycomycetes من عائلة Endogonaceae والنباتات".

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

أهمية الميكوريزا

لوحظت علاقة تبادل المنفعة بين فطريات الميكـوريزا ومعظـم النباتـات الراقيـة (وحتـى بعض النباتات الدنيئة)، بما فى ذلك معظم الخضر — ما عـدا الصـليبيات والرمراميـات — إلى درجة أن بعض الخضر لا يمكنها النمو بصورة طبيعية فى غياب الميكـوريزا. ومـن أكثـر الخضر اعتمادًا على الميكوريزا فى نموها: البصل (الذى لا تحتوى جـذوره علـى كـثير مـن الشعيرات الجذرية)، والطماطم، والبطاطس، واللوبيا، والذرة السكرية، وفول الصويا.

يقوم النبات بتوفير المواد الكربوهيدراتية — وربمـا الفيتامينـات — للفطريـات، بينمـا يستفيد النبات — بدوره — من هذه الفطريات؛ إذ إنها تعمل على:

١- زيادة معدل امتصاص العناصر من التربة — سـواء أكانـت فـى صـورة ميسـرة، أم غير ميسرة لامتصاص النبات — ثـم نقلـها إلى النبـات، وخاصـة عناصـر: النـيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والكبريت، والزنك، والنحاس، والموليبدنم.

٢- زيادة مقاومة النباتات للأمراض؛ فقد وجد — مثلاً — أن فطر الميكوريزا *Glomus fasciculatum* أحْدَثَ تراكمًا للفيتوألاكسينات Phytoalexins (وهـى مركبـات توقـف أو تثبط نمو مسببات الأمـراض فـى الأنسـجة المصـابة)، فـى جـذور البسـلة؛ ممـا أدى إلى مقاومتها للفطر *Fusarium oxysporum* مسبب مرض الذبول الفيوزارى.

٣- زيادة تحمل النباتات لظروف الملوحة والجفاف.

٤- زيادة قدرة البقوليات علـى تثبيـت آزوت الهـواء الجـوى (عـن Miller وآخـرين ١٩٨٦، و Sundaresan & Gunasekaran ١٩٩٣).

٥- إفراز بعض منظمات النمو التى تحفز النمو النباتى.

٦- تـوفير حمايـة للنباتـات مـن التسـمم بـالتركيزات العاليـة مـن العناصـر المغذيـة الضرورية بما تفرزه من مركبات قد تكوّن تراكيب معقدة مع تلك العناصـر وتجعلـها غـير ميسرة للنبات.

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

طرق التلقيح بفطريات الميكوريزا

تتوفر حاليًّا 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 rhizosphere soil – 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 كثيرًا من قدرتها على تكوين علاقة بيولوجية مع النباتات.

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 ١٩٨٦).

العوامل المؤثرة فى قدرة فطريات الميكوريزا على الاتصال بيولوجيًّا 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 كل من الـ leghemoglobin، والفوسفور، والبروتين الكلى. كما حُصلَ على نائج مماثلة 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).

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* – الذى أصابها – 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 كانت قادرة على التأثير فى استجابة النباتات للميكوريزا.