١- نقل الجينات المسئولة عن تثبيت آزوت الهواء الجوى من البكتيريا إلى النباتات مباشرة.

٢- نقل الجينات المسئولة عن تقبل النباتات البقولية للإصابة بالبكتيريا إلى نباتات أخرى غير بقولية.

٣- زيادة كفاءة البكتيريا فى تثبيت آزوت الهواء الجوى (عن Dodds ١٩٨٥).

ولكن لم يحدث تقدم كبير فى تلك المجالات.

ولمزيد من تفاصيل الدراسات المبكرة عن موضوع التربية لزيادة كفاءة المعيشة التعاونية مع بكتيريا العقد الجذرية .. يراجع كل من: Postgate (١٩٧٥)، و Giles (١٩٨٠).

زيادة الكفاءة الوراثية للمعيشة التعاونية مع الميكوريزا

تكوِّن عديد من الأنواع المحصولية معيشة تعاونية مع فطريات الميكوريزا التى تمدها بالفوسفور، والتى تكون فعالة فى هذا الأمر حينما تكون التربة مثبتة لهذا العنصر (حيث لا تستفيد النباتات من أكثر من ١٠٪-٢٠٪ من السماد الفوسفاتى المضاف فى موسم الزراعة)، وحينما تكون التربة فقيرة أصلاً فى العنصر مع ندرة التسميد الفوسفاتى. وبينما لا تفيد العلاقة التعاونية مع الميكوريزا فى مد النباتات بالفوسفور عند توفره فى التربة، فإن النباتات لا تكون بحاجة لتلك العلاقة فى مثل هذه الظروف. أما الميكوريزا فإن هيفاتها يقل سمكها كثيرًا عن الجذور وتكوِّن قدرًا أكبر من تدرج تركيز الفوسفور بين التربة وسطح الهيفات؛ مما يسمح بحركة كبيرة للفوسفور باتجاه الهيفات؛ ومن ثم امتصاصها له عبر الأغشية البروتوبلازمية.

هذا .. وتتوفر تباينات وراثية فى قدرة الميكوريزا على استعمار جذور مختلف العوائل النباتية. وجد ذلك — على سبيل المثال — فى حالتى الفلفل والطماطم. كذلك توجد اختلافات واسعة بين عشائر الميكوريزا فى كثافة نمو غزلها الفطرى؛ ومن ثم فى قدرتها التنافسية. كذلك فإن للتركيب الوراثى للفطر أهمية بالنسبة لتحديد درجة تخصصه العائلى (Rengel ٢٠٠٢).

ولقد وجدت كثيرًا من الطفرات النباتية المقاومة لاستعمار الميكوريزا لها، كانت جميعها بسيطة ومتنحية (Myc^-). ويبدو أن الآليل الطبيعي السائد (Myc^+) ربما يتحكم فى إنتاج مركب نباتى مسئول عن قابلية النبات للإصابة بالميكوريزا. وبغير عامل القابلية للإصابة هذا، فإن خلايا جذور الطفرات تكون ذات جدر سميكة ومدعمة ومحملة بجزيئات دفاعية؛ مما يمنع استعمال الميكوريزا لها.

ومن الخطورة محاولة تحفيز العلاقة التعاونية مع الميكوريزا بالحد من استجابات النبات الدفاعية، لأن ذلك يؤدى — غالبًا — إلى زيادة قابلية النباتات للإصابة بمسببات الأمراض، على الرغم من أن ذلك لم يلاحظ حتى الآن — ربما لخصوصية العلاقة بين النباتات والميكوريزا.

ولقد وجد — على الأقل فى البسلة — أن طفرات الـ Myc^- هى ذاتها طفرات الـ Nod^-، بما يعنى تشابه آليات المعيشة التعاونية بين البسلة وكل من الميكوريزا وبكتيريا العقد الجذرية، وأن الانتخاب لتحسين إحدى العلاقتين قد يؤدى إلى تحسين الأخرى كذلك.

وفى القمح .. تتباين التراكيب الوراثية فى مدى قدرتها على التجاوب مع استعمار فطريات الميكوريزا لجذورها، مع تباين استجابات كمية المحصول بين الموجب والسالب مرورًا بالصفر. وفى الأقماح الصلدة (durum) والشعير لم يلاحظ وجود علاقة بين كثافة استعمار الجذور بالميكوريزا — فى مختلف التراكيب الوراثية — ومدى استفادة المحصول من ذلك الاستعمار، حيث تتفاوت التراكيب الوراثية فى مدى اعتمادها على الميكوريزا (Rengel ٢٠٠٢).

وحُصل فى البسلة على بعض الطفرات المتنحية غير الآليلية التى اشتركت فى عدم قدرتها على تكوين العقد الجذرية (nod^-) وفى وقفها للإصابة بكل من فطرى الميكوريزا *Glomus intradices*، و *G. mosseae* فى مرحلة مبكرة بعد تكوين المصات appressoria مباشرة (Myc^-)؛ الأمر الذى يوحى بوجود تأثير متعدد لتلك الجينات،

وتتشابه بعض خطوات المعيشة التعاونية بين النبات وكل من بكتيريا العقد الجذرية وفطريات الميكوريزا (Gianinazzi-Pearson وآخرون ١٩٩١).

وأوضحت دراسات التطعيم فى البسلة أن التركيب الوراثى للجذور — وليس النموات الخضرية — هو الذى يتحكم فى تفاعل عدم توافق البسلة مع فطريات الميكوريزا فى الطفرات التى لا يوجد بها توافق والتى لا يمكنها دعم استعمار الميكوريزا لجذورها (Vierheilig & Piché ١٩٩٦).

كما اكتشفت فى الطماطم طفرة يقل فيها استعمار الميكوريزا للجذور reduced VA mycorrhizal colonization (أعطيت الرمز: rmc) وفيها يقل كثيرًا تواجد الميسيليم السطحى لكل من *Glomus mosseae*، و *Gigaspora margarita* على الجذور (وخاصة القطر الأول)، مع انعدام التواجد الداخلى للميسيليم الفطرى بها (Barker وآخرون ١٩٩٨).