الفصل الرابع عشر

زيادة كفاءة المعيشة التعاونية مع بكتيريا العقد الجذرية والميكوريزا

لما كانت المحاصيل غير البقولية لا يمكنها المعيشة تعاونيًّا مع بكتيريا العقد الجذرية، والمحاصيل البقولية تختلف فى مدى استفادتها من تلك المعيشة، وسلالات بكتيريا العقد الجذرية تتفاوت فى مدى قدرتها على تثبيت آزوت الهواء الجوى؛ لذا .. فإننا نستعرض — فى هذا الفصل — جهود التربية فى تلك المجالات، بالإضافة إلى جهود التربية لزيادة كفاءة المعيشة التعاونية بين مختلف النباتات والميكوريزا.

وغنى عن البيان أن بكتيريا العقد الجذرية توفر للنباتات آزوت الهواء الجوى، بينما تيسر الميكوريزا لها عديدًا من العناصر، وخاصة الفوسفور.

إن تربية النباتات لتحسين قدرتها على المعيشة التعاونية مع كل من بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى والميكوريزا mycorrhizae يفيد كثيرًا فى تحسين المحصول تحت مدى واسع من الظروف البيئية، ويُسهم فى استدامة النظام البيئى الزراعى، الذى يُستفاد فيه بصورة أفضل من التفاعلات بين كائنات التربة الدقيقة والنبات.

زيادة الكفاءة الوراثية للمعيشة التعاونية مع بكتيريا العقد الجذرية

تعيش بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى فى العقد الجذرية للبقوليات، وهى تتبع الجنس ريزوبيم *Rhizobium* الذى يوجد منه نحو ١٨ نوعًا متخصصًا على مختلف البقوليات، وقد يتعايش أكثر من نوع منها على محصول بقولى واحد، ونجد فى هذه الحالة اختلافًا بين تلك الأنواع فى مدى كفاءتها فى تثبيت آزوت الهواء الجوى.

كذلك تعرف سلالات من النوع البكتيرى الواحد تتفاوت فى مدى كفاءتها فى تثبيت آزوت الهواء الجوى.

كما تُعرف عديد من سلالات أنواع بقولية مختلفة غير قادرة على المعيشة تعاونيًّا مع بكتيريا العقد الجذرية. ويحدث ذلك لعدم قدرة البكتيريا على إصابة النبات البقولى؛ فلا تتكون أية عقد جذرية. ويتحكم فى هذه الصفة جينات متنحية. وقد تحدث الإصابة فى بعض السلالات البقولية، ولكنها لا تكتمل و تتكون العقد الجذرية؛ بسبب وجود عائق أمام أى من خطوات تلك العملية. ويتحكم فى هذه الصفة — فى مختلف البقوليات — جينات سائدة أو متنحية، وقد تتأثر بجينات محورة (عن Miller وآخرين ١٩٨٦).

هذا .. وتعرف ستة أجناس قادرة على تكوين عقد جذرية وساقية بالنباتات وتثبيت آزوت الهواء الجوى فى معيشة تعاونية مع النباتات، وهذه الأجناس هى:

Rhizobium	*Bradyrhizobium*	*Sinorhizobium*
Mesorhizobium	*Azorhyzobium*	*Allorhizobium*

وعادة — يستخدم الاسم rhizobium للإشارة إلى كل تلك الأجناس.

وقد استعرض Herridge وآخرون (١٩٩٤) طرق تقييم بقول المواسم الباردة للقدرة على تثبيت آزوت الهواء الجوى.

وراثة القدرة على المعيشة التعاونية مع بكتيريا العقد الجذرية

إن وراثة عملية تكوين العقد الجذرية فى البقوليات بسيطة نسبيًّا؛ فالجينات التى تتحكم فى عملية تكوين العقد بسيطة ومحدودة العدد. وأوضحت دراسات أجريت على طفرات من الفول كانت أقل قدرة أو عديمة القدرة على تكوين العقد الجذرية، وأخرى أكثر قدرة، أن الطفرات بنوعيها يتحكم فى كل منها جينات مفردة متنحية، إلا أن دراسات التطعيم أوضحت أن التركيب الوراثى للنمو الخضرى هو الذى يتحكم فى القدرة الفائقة على تكوين العقد، بينما يتحكم التركيب الوراثى للمجموع الجذرى فى عدم القدرة أو القدرة الضعيفة على تكوين العقد. ولقد وضحت خاصية تحكم التركيب الوراثى للنموات الخضرية فى التكوين الفائق للعقد الجذرية فى محاصيل أخرى، منها: فول

الصويا وفاصوليا المنج (*Vigna radiata*) والياقوتية hyacinth bean (وهى *Lablab purpureus*) (Rengel ٢٠٠٢).

وتناول هذا الموضوع بالدراسة من خلال استعراضنا للتباينات الوراثية لتلك الصفة فى عدد من الأنواع النباتية كما يلى:

١- وجد أن أحد نباتات عشيرة عادية من البرسيم الأحمر Red Clover كانت خالية من العقد الجذرية، وتبين أن تلك الصفة يتحكم فيها عامل وراثى واحد متنحٍ مع عامل سيتوبلازمى، وكان هذا الجين مرتبطًا بجين آخر مسئول عن ضعف نمو النباتات واصفرارها.

٢- اكتشفت سلالة من فول الصويا غير قادرة على تكوين عقد جذرية وتبين أن هذه الصفة يتحكم فيها جين واحد متنح، ولم تكن مقاومة هذه السلالة للبكتيريا تامة؛ ففى بعض الظروف البيئية تمكنت بعض سلالات البكتيريا من تكوين عدد قليل من العقد الجذرية. وبإنتاج عديد من السلالات ذات الأصول الوراثية المتشابهة من أصناف فول الصويا التى تختلف فقط فى هذا الجين .. أمكن دراسة مدى تأثير عملية تثبيت آزوت الهواء الجوى على فول الصويا تحت ظروف الحقل.

٣- وجدت فى بعض أنواع البرسيم تباينات وراثية كثيرة فى موعد ظهور العقد الجذرية، علمًا بأن ظهورها مبكرًا يزيد من فرصة النبات من الاستفادة من الآزوت المثبت. ويستدل من الدراسات الوراثية على أن هذه الصفة كمية.

٤- تبين أن عديدًا من سلالات البسلة — التى تزرع فى الشرق الأوسط ووسط آسيا — تفشل فى تكوين عقد جذرية عند عدواها — فى أوروبا — بسلالات مختلفة من بكتيريا الجنس رايزوبيم. وتتوفر هذه الصفة فى الصنف الأفغانى Afghanstan، ويتحكم فيها جين واحد متنح. وتتمكن بكتيريا العقد الجذرية من إصابة الشعيرات الجذرية لهذا الصنف، ولكنها تكون انتفاخات صغيرة بدلاً من العقد الجذرية.

وفى الصنف الإيرانى Iran لا تتكون عقد جذرية فى حرارة ١٨-٢٠°م — وهو المجال المناسب لنمو البسلة — بينما تتكون لدى تعرض النباتات لحرارة ٢٦°م ولو

لأيام قليلة. ويتحكم فى هذه الخاصية جين آخر متنح غير الجين الموجود فى الصنف أفغانستان.

كذلك عرفت عديد من سلالات البسلة الأخرى، وخاصة من أفغانستان، تقاوم واحدًا أو أكثر من سلالات الرايزوبيم. وكانت صفة المقاومة للبكتيريا — فى جميع الحالات التى درست — يتحكم فيها جين واحد متنح.

وتتوفر اختلافات وراثية أيضًا فى عدد العقد الجذرية التى تتكون بالنبات، وهى صفة يتحكم فيها جين واحد. وبرغم أن محصول البسلة يتناسب طرديًا مع عدد العقد الجذرية، إلاّ أن حجم العقد الكبير يمكن أن يعوض قلة عددها (عن Sneep & Hendriksen ١٩٧٩).

٤- اكتشف Duc & Picard (١٩٨٦) طفرة متنحية فى الفول الرومى، تجعل النبات غير قادر على المعيشة مع بكتيريا العقد الجذرية *R. leguminosarum* المتخصصة على الفول الرومى. تكون جذور هذه النباتات خالية تمامًا من العقد الجذرية التى تعيش فيها البكتيريا، ويمكن تمييزها بكون نباتاتها تبدو صفراء اللون بعد استكمالها لمرحلة نمو الورقة الحقيقية الثالثة.

٥- وجد فى اللوبيا أن التفاعل الجينى الإضافى كان أكثر أهمية من تفاعل السيادة، أو تفاعل التفوق بالنسبة لوراثة كل من صفتى: عدد العقد الجذرية بالنبات، ونشاط إنزيم النيتروجينيز nitrognese، بينما كان العكس صحيحًا بالنسبة لصفة وزن العقد الجذرية بالنبات. وكانت درجات التوريث — المقدرة على النطاق العريض — عالية نسبيًا بالنسبة لصفتى عدد العقد (٠,٥٥) ونشاط إنزيم النيتروجينيز (٠,٦٢)، ومنخفضة بالنسبة لصفة وزن العقد الجذرية (٠,٣٩) (Miller وآخرون ١٩٨٦).

٦- وجد فى إحدى الدراسات على الفاصوليا أن الصنف Canyon كان أقلها قدرة على تثبيت الآزوت، بينما كان الصنف Viva Pink أكثرها قدرة؛ علمًا بأن الصنف الأخير يدخل فى خلفيته الوراثية السلالة المكسيكية P.I. 203958 ذات القدرة العالية

على تثبيت آزوت الهواء الجوى، وكان قد انتخب تحت ظروف استخدمت فيها مستويات منخفضة من الآزوت المضاف (Silberngael ١٩٨٦).

الأساس الفسيولوجى للتباين الوراثى فى القدرة على المعيشة التعاونية مع بكتيريا العقد الجذرية

إن بداية تكوين العقدة الجذرية قد يكون محدودًا بسبب عدم توفر كمية كافية من مستحثات الـ nod-gene (الجين nod المسئول عن تكوين العقدة) التى تنطلق من البذرة. ففى الفاصوليا .. وجد أن التراكيب الوراثية التى تختلف كميًّا ونوعيًّا فيما تطلقه بذورها من مركبات فلافونية تختلف فى قدرتها على تكوين العقد الجذرية، مع وجود علاقة إيجابية بين كمية الفلافونات وتكوين العقد. كذلك وجد الأمر ذاته فى البرسيم الحجازى. ويعنى ذلك إمكان تحسين قدرة البقوليات على تكوين العقد الجذرية بالانتخاب لزيادة إفرازاتها من الفلافونات flavonoids.

ولذا .. يبدو أن التعبير عن جينات nod فى عديد من الأنواع المثبتة لآزوت الهواء الجوى أثناء معيشتها التعاونية مع جذور النباتات قد يمكن زيادته بفعل عدد من المركبات الفلافونية، على الرغم من أن بعضها الآخر قد يثبط من تعبير جين الـ nod. كما تجدر الإشارة إلى أن عوامل Nod — خاصة فى *R. japonicum* — تزيد من إفراز جذور فول الصويا للفلافونات.

ونظرًا لأن الانتخاب لزيادة إفرازات الجذور من المركبات الكربونية يكون على حساب المحصول (الأمر الذى ثبت من حقيقة أن الانتخاب لزيادة المحصول أدى — تلقائيًّا — إلى نقص إفرازات الجذور من المركبات الكربونية)، فإن المركبات المستهدفة لزيادة إفرازاتها يجب أن تقتصر — فقط — على ما لها صلة بالعلاقة التعاونية.

كذلك فإن طفرات الرايزوبيم (مثل طفرات Tn5 ذات الإنتاج المنخفض من الـ acidic exopolysaccharides، وطفرات Tn5 الخاصة بـ *R. fredii* USDA257 ذات القدرة

الأكبر على تكوين العقد الجذرية ... إلخ) تعد هامة فى تعرف آلية العلاقة التعاونية وتحديد المنتجات اللازمة لزيادة كفاءتها (Rengel ٢٠٠٢).

ولقد وجد — فى عديد من الحالات — أن عدم قدرة بكتيريا العقد الجذرية (من جنس رايزوبيم) على تكوين تلك العقد (فى سلالات معينة من النباتات البقولية) يرجع إلى مقاومة العائل لهذه البكتيريا. ولذا .. يفيد انتخاب سلالات أكثر ضراوة من البكتيريا — من مناطق مختلفة من العالم — ليمكنها إصابة جذور البقوليات المقاومة، وخاصة فى المناطق المستصلحة حديثًا.

وأوضحت دراسات التطعيم أن تكوّن العقد الجذرية يتحكم فيه الأصل من خلال قابليته للإصابة ببكتيريا العقد الجذرية. كذلك يتحكم الأصل فى عدد العقد الجذرية المتكونة. أما قوة نمو هذه العقد ووزنها الطازج فقد تأثر بالوزن الجاف والنشاط البنائى للطعم؛ حيث توقفا على كمية الغذاء المتوفرة بالأجزاء الهوائية للنبات (عن Miller وآخرين ١٩٨٧).

طفرات العقد الجذرية فى البقوليات

تُعرف فى البقوليات عديدًا من الطفرات المؤثرة فى القدرة على تكوين العقد الجذرية والقدرة على تثبيت آزوت الهواء الجوى، وتقسم تلك الطفرات إلى ثلاث فئات، كما يلى:

١- غياب العقد الجذرية (Nod^-).

٢- عقد غير قادرة على تثبيت النيتروجين (Fix^- و Nod^+).

٣- تكوين عدد كبير من العقد supernodulation مع تحمل نترات العقد nitrate tolerant nodulation (Nts و Nod^{++}).

وصفت تلك الطفرات فى كل من البسلة والفاصوليا وفول الصويا والحمص. وقد ذكر ما لا يقل عن ٣٢ طفرة مختلفة فى البسلة وحدها (عن Duc ١٩٩٥).

لقد أمكن التعرف على عديد من الطفرات التى لم تكن قادرة على تكوين العقد

الجذرية فى عديد من البقوليات، منها: البرسيم الحجازى، والبرسيم الأحمر، والبرسيم الأبيض، وفول الصويا، والحمص، والبسلة، واللوبيا، والفاصوليا. وقد وجدت أربعة جينات تتحكم فى استجابات تكوين العقد الجذرية فى فول الصويا، هى: Rj1، و Rj2، و Rj3، و Rj4، وأوضحت اختبارات الآليلية بين Rj1، و Rj2، و Rj4 أنها جينات مستقلة تمامًا.

وتتباين أصناف وسلالات مختلف البقوليات فى مدى قدرة جذورها على تكوين العقد الجذرية استجابة لإصابتهابكتيريا الرايزوبيم.

كذلك أمكن التعرف على طفرات فائقة فى تكوين العقد الجذرية فى عديد من البقوليات، منها البسلة، والفاصوليا، والحمص، وفول الصويا. ويتحكم — عادة — فى الصفة جين واحد إلى عدد قليل من الجينات. لكن — على الأقل فى فول الصويا — لم تكن تلك الطفرات الفائقة فى تكوين العقد فائقة — كذلك — فى تثبيت آزوت الهواء الجوى. هذا بالإضافة إلى أن النبات يستنفذ قدرًا كبيرًا من طاقته فى تكوين العقد الكبيرة الحجم؛ مما يؤثر سلبًا فى نموه. وقد ثبت ذلك فى طفرات فائقة فى تكوين العقد من الفاصوليا (Bliss ١٩٩٢).

الفول الرومى

أمكن بالمعاملة بالـ ethyl methanesulfonate فى الفول الرومى إنتاج ثلاث طفرات تكون عقد غير قادرة على تثبيت الآزوت ($Nod^{++}Fix^{-}$)، وطفرة غير قادرة على تكوين العقد (Nod^{-})، وطفرة تكوِّن العقد بمقدار ٣–٥ أضعاف العدد العادى مع تحمل نترات العقد (Nts و Nod^{++})، ووجد أن جميع هذه الأشكال المظهرية يتحكم فيها جينات فردية متنحية مختلفة أعطيت الرموز sym1 إلى sym5. وقد أظهرت دراسات التطعيم أن الشكلين المظهرين ($Nod^{+}Fix^{-}$)، و (Nod^{-}) يتحكم فيهما التركيب الوراثى للجذر، بينما يتحكم فى الشكل المظهرى (Nts و Nod^{++}) التركيب الوراثى للنمو الخضرى (Duc ١٩٩٥).

كما وُجد فى دراسة أجريت على بعض طفرات تكوين العقد الجذرية فى الفول الرومى أن طفرة عدم تكوين العقد فى السلالة I 40 يتحكم فيها جين واحد سائد أعطى الرمز Sym-2، بينما تحكم الجين المتنحى sym3 فى مقاومة تكوين العقد فى السلالة I 25، وكان Sym2 ذا تأثير متفوق على sym3 (Esser-Monning وآخرون ١٩٩٥).

البسلة

حُصل فى البسلة على طفرتين متنحيتين غير آليليتين أعطيتا الرمزين sym8، و sym9 كانتا غير قادرتين على تكوين العقد الجذرية، وذلك بعد معاملة بذور الصنف Sparkle بأشعة جاما. كانت هاتان الطفرتان قادرتين على النمو الطبيعى مثل الصنف الأصلى إذا ما زُوِّدتا بحاجتهما من النيتروجين. وقد أوضحت دراسات التطعيم أن صفة عدم القدرة على تكوين العقد يتحكم فيها التركيب الوراثى للجذور، وليس النموات الخضرية. وعلى الرغم من حث الطفرتين جينات nod فى بكتيريا الرايزوبيم، وتعلق البكتيريا بجذورها بأعداد مماثلة للأعداد بجذور الصنف الأصلى، فإن تهيئة ميرستيم العقد الجذرية للتكوين لم تحدث فيهما (Markwei & LaRue ١٩٩٢).

كما حُصلَ فى البسلة على طفرات (بمعاملة البذور بالـ ethyl methanesulfonate) كانت إما لا تكون عقدًا جذرية، وإما أنها تكونها بقلة. كانت الشعيرات الجذرية فى المجموعة الأولى من الطفرات مقاومة للإصابة ببكتيريا العقد الجذرية (*Rhizobium* spp.)، بينما حدثت الإصابة بالبكتيريا فى المجموعة الثانية، ولكن تكوين العقد أوقف أو كُبحَ فى مرحلة مبكرة من تطورها (Sagan وآخرون ١٩٩٤).

كذلك حُصلَ على طفرات من البسلة كانت قادرة على تكوين عقد جذرية بكثافة عالية (Nod^{++})، وباختبارها فى ظروف عدم توفر النيتروجين أمكن انتخاب طفرات قادرة على تكوين العقد فى غياب النترات (Nod^{++} Nts). ولقد تبين أن جميع طفرات الـ Nod^{++} Nts يتحكم فيها جينات مفردة متنحية نتجت عن حدوث طفرات فى الموقعين الجينيين sym28، و sym29. ومن دراسات التطعيم ظهر أن الشكل المظهرى Nod^{++} Nts يتحكم

فيه التركيب الوراثى للنمو الخضرى فى الطفرات المتحصل عليها من صنف البسلة Frisson، بينما يتحكم التركيب الوراثى للجذور فى الشكل المظهرى ++Nod، وذلك فى الطفرات المتحصل عليها من صنف البسلة Rondo (Sagan & Duc ١٩٩٦).

الفاصوليا

تتباين أصناف وسلالات الفاصوليا فى عدد العقد الجذرية التى تكونها البكتيريا *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* (السلالة Kim 5)، وكانت أكثرها تكوينًا للعقد — من بين تلك التى اختبرت — السلالتان Publa 152، و WBR22-34. وأمكن تحسين صفة عدد العقد الجذرية بالنبات بثلاث دورات من الانتخاب المتكرر. كذلك أمكن زيادة الوزن الكلى للعقد، ولكن رافق ذلك انخفاض فى وزن العقدة الواحدة. وقد استخلص من الدراسة أن زيادة العدد الكلى للعقد كان الأفضل لأجل زيادة القدرة على تثبيت آزوت الهواء الجوى (Pereira وآخرون ١٩٩٣).

كذلك وجدت تباينات كبيرة بين أصناف وسلالات الفاصوليا فى قدرتها على تثبيت آزوت الهواء الجوى، وكان أكثرها الصنف Caballero الذى بلغ محتواه من النيتروجين من الهواء الجوى ٥٦٪ من محتواه الكلى من النيتروجين، وكان قادرًا على تثبيت ٥٩، و ٨١ كجم N من الهواء الجوى للهكتار (٢٥، و ٣٤ كجم للفدان) فى عامى الدراسة، على التوالى (Manrique وآخرون ١٩٩٣).

وتتوفر فى الفاصوليا طفرات العقد الجذرية المتكونة جراء المعاملة بالـ ethyl methamsulfonate فى سلالات، كما يلى:

١- السلالة R32: وهى تكوِّن عقد جذرية بكثرة فائقة supernodulation، ومتحملة للنترات nitrate-tolerant (اختصارًا: NTSN)، ويتحكم فيها الجين nts.

٢- السلالة R69: وهى غير كفؤة فى تكوين العقد الجذرية ineffective nodulation (اختصارًا: IN) (تكون عقدها الجذرية قليلة العدد وصغيرة وبيضاء اللون)، ويتحكم فيها الجين nie.

٣- السلالة R99: وهى لا تكوِّن عقدًا جذرية non-nodulation (اختصارًا: NN)، ويتحكم فيها الجين nnd-2).

٤- السلالة NOD125 (وهى NN) ويتحكم فيها الجين sym-1.

٥- السلالة NOD238 (وهى IN)، ويتحكم فيها الجين sym-2.

وقد حُصِلَ على السلالات الثلاث الأولى من الـ OAC Rico navy bean، بينما حُصِلَ على السلالتين الأخيرتين من سلالات CIAT.

وعندما أجريت تلقيحات بين سلالات المجموعتين الطفرتين تبين ما يلى:

١- كان تكوين العقد الجذرية فى جميع هجن الجيل الأول مماثلاً للطراز البرى (غير المطفر)؛ بما يفيد وجود تكامل وراثى.

٢- استدل من انعزالات الجيل الثانى على أن كلاً من sym-2، و nie، و sym-1، و nnd-2 جميعها متفوقة على nts، وأن sym-1، و nnd-2 متفوقتان على sym-2، و nie.

٣- كان الجين nie من R69 متفوقًا على الجين sym-2 من NOD238.

٤- كان كل من الجينين sym-2، و nie من NN - بين المصدرين - غير آليليين (Park & Buttery ١٩٩٧).

وقد أوضحت دراسات التطعيم أن صفتى عدم القدرة على تكوين العقد الجذرية وعدم كفاءة تكوين العقد يتحكم فيها التركيب الوراثى للجذور، بينما يتحكم فى صفة التكوين الفائق للعقد الجذرية التركيب الوراثى للنموات الخضرية (Buttery & Park ١٩٩٣).

ولقد أمكن إنتاج أصناف من الفاصوليا ذات قدرة محسنة على تثبيت آزوت الهواء الجوى وإنتاج محصول من البذور يصل إلى ١-٢ طن للهكتار (٤٢٠-٨٤٠ كجم للفدان) (Bliss ١٩٩٣).

انتخاب سلالات رايزوبيا أكثر قدرة على تثبيت آزوت الهواء الجوى

إن تحسين تثبيت آزوت الهواء الجوى يمكن أن يتحقق بانتخاب سلالات رايزوبيا

أكثر قدرة على عملية التثبيت، ولكن عملية الانتخاب تلك يجب أن تأخذ فى الحسبان — ليس فقد القدرة على تثبيت آزوت الهواء الجوى — وإنما كذلك قدرتها على منافسة الرايزوبيا المتواجدة طبيعيًا والتى كثيراً ما تكون غير فعالة فى تثبيت الآزوت. ويجب على السلالات المنتخبة الأكثر قدرة على تثبيت الآزوت أن يمكنها احتلال أعلى نسبة من العقد الجذرية والمنافسة عليها.

إن الرايزوبيا المختلفة قد تتخصص على نوع نباتى واحد أو على عدد قليل من الأنواع، كما أن سلالات الرايزوبيا المختلفة من نفس النوع تتباين فى قدرتها على تثبيت آزوت الهواء الجوى فى النوع النباتى الواحد، وكل هذه التباينات صفات وراثية يمكن التأثير فيها بالانتخاب.

كذلك فإن عملية الانتخاب يجب أن تتضمن القدرة العالية على تثبيت آزوت الهواء الجوى فى وجود مستويات منخفضة أو متوسطة من النترات، وإلاّ فإن النترات التى تنتج من معدنة المادة العضوية قد لا تمتصها البقوليات، وقد تؤثر سلبًا على العلاقة التعاونية. هذا مع العلم بأنه توجد تباينات كثيرة بين التراكيب الوراثية للنباتات العائلة للرايزوبيا فى تحمل عملية تثبيت آزوت الهواء الجوى للنترات.

وقد حدث تقدم أيضًا فى انتخاب سلالات عالية الكفاءة من الرايزوبيم فى ظروف الحرارة المنخفضة، والجفاف، والغدق، والملوحة العالية، ونقص الفوسفور، وزيادة حموضة التربة، وسمية الألومنيوم والمنجنيز (Rengel ٢٠٠٢).

استخدامات الهندسة الوراثية فى مجال التربية لزيادة كفاءة المعيشة التعاونية

تأخذ دراسات الهندسة الوراثية فى مجال التربية لزيادة الاستفادة من بكتيريا الجنس رايزوبيم — التى تقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى فى جذور البقوليات — ثلاثة مسارات، كما يلى:

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).