١٠

التربية لتحمل زيادة العناصر فى التربة أو نقصها

ترتبط مشكلة زيادة تركيز العناصر المعدنية ارتباطاً مباشراً بانخفاض الرقم الأيدروجينى للتربة فى الأراضى الحامضية. فمع انخفاض pH التربة عن ٥,٠ تتوفر تركيزات عالية من عدد من العناصر، أهمها الألومنيوم، والحديد، والمنجنيز؛ الأمر الذى يحد من قدرة النباتات على النمو فى تلك الأراضى. ويصبح تركيز الألومنيوم والعناصر الأخرى ساماً للنباتات فى pH من٣,٥ إلى ٤,٥.

ومن البديهى أن هذه المشكلة لا توجد فى أراضى المناطق الجافة وشبه الجافة التى يرتفع فيها رقم pH التربة كثيراً عن نقطة التعادل؛ الأمر الذى يؤدى إلى تثبيت؛ ومن ثم.. ظهور مشكلة أخرى هى نقص بعض العناصر المغذية، والتى من أهمها: الحديد، والزنك، والمنجنيز.

وبالإضافة إلى مشكلتى زيادة ونقص العناصر المرتبطتين بالتغير فى pH التربة.. فهناك مشكلة عدم كفاية محتوى جميع أنواع الأراضى - بصورة عامة - من العناصر الأولية الضرورية للنبات؛ وهى: النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم (ويشذ عن ذلك الأراضى العضوية بالنسبة لعنصر النيتروجين الذى يكون عالياً فيها)؛ ولذا.. نولى استجابة النباتات للتسميد وكفاءتها فى الاستفادة من التركيزات الميسرة المنخفضة من العناصر المغذية اهتماما خاصاً فى هذا الفصل.

كذلك يؤثر pH التربة فى نشاط مختلف الكائنات الدقيقة التى تعيش فيها. ويهمنا فى هذا المقام بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى من الجنس رايزوبيم Rhizobium. وقد أوضحت الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن اختلاف سلالات النوع R. japonicum - الذى يعيش تعاونيا مع فول الصويا - باختلاف التربة (عن Devine ١٩٨٢).

ولما كانت الحاصل غير البقولية لا يمكنها المعيشة تعاونيا 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 أيضاً - فى هذا الفصل - جهود التربية فى تلك المجالات؛ لعلاقتها بتحمل النباتات لنقص الآزوت فى التربة.

ومن المصادر الهامة التى يمكن الرجوع إليها - للتعمق فى موضوعات هذا الفصل - كل من Epstein (١٩٧٢)، وWright(١٩٧٦) وDevine(١٩٨٢)، وGabelman وآخرين (١٩٨٦).

تحمل زيادة تركيز العناصر المعدنية فى التربة

ليست كل العناصر التى يزيد تركيزها فى الأراضى الحامضية - إلى درجة السمية - من العناصر الغذائية التى يحتاج إليها النبات. فالألومنيوم - مثلاً - الذى يعد أكثر العناصر سمية للنباتات فى الأراضى الحامضية ليس من العناصر المغذية الضرورية لنموها.

ويتعين تحديد المشكلة جيداً قبل بدء برنامج التربية لنعرف - بدقة - أترجع إلى مجرد انخفاض pH التربة؟ أم إلى زيادة عنصر أو عناصر معينة فيها؟ أم إلى التفاعل بين اثنين أو أكثر من تلك العوامل؟.. ويعد ذلك ضروريا ليمكن توفير الظروف المناسبة التى تجرى فيها اختبارات التقييم.

الألومنيوم

يمكن إجراء التقييم - لتحمل زيادة تركيز الألومنيوم - فى طور البادرة فى الأراضى التى يزيد فيها تركيز هذا العنصر، ولكن يتعين الربط بين استجابة النباتات فى هذا الطور المبكر من النمو واستجابة النباتات البالغة. وقد أجريت - بالفعل - معظم دراسات التقييم لتلك الصفة فى أراض شديدة الحموضة. ولكن نظراً لسهولة الانتخاب لصفة تحمل التركيزات العالية من الألومنيوم فى مزارع الأنسجة.. فقد اعتمد كثير من الباحثين على تقنيات مزارع الأنسجة لتأمين هذه الصفة.

ونستعرض - فيما يلى - الجهود التى بذلت فى عدد من المحاصيل الزراعية لأجل زيادة تحملها لارتفاع تركيز الألومنيوم الميسر لامتصاص النبات فى التربة.

١ - القمح :

تتوفر اختلافات كثيرة - طبيعية - بين أصناف القمح فى مدى حساسيتها، وتحملها لارتفاع تركيز الألومنيوم الذائب فى التربة. وقد أفاد ذلك كثيراً فى منع اندثار زراعة القمح فى دولة مثل البرازيل التى تتميز بتربتها العالية الحموضة، والتى يزيد فيها تركيز الألومنيوم الميسر إلى درجة السمية.

بدأت تربية القمح لتحمل الألومنيوم - فى البرازيل - فى عام ١٩١٩ فى أراض شديدة الحموضة. ومن خلال هذا البرنامج اكتشفت صفة تحمل التركيزات العالية من الألومنيوم فى الصنف Polysso ، وهو الذى نقلت منه هذه الصفة إلى جميع الأصناف التى انتشرت بعد ذلك فى الزراعة فى البرازيل؛ مثل: Frontana، و Rio Nigro، و Bage، و Trintani، و IAS 54، و IAS 55، و Londrina . وتنتج هذه الأصناف من ٤ - ٥ أطنان من القمح /هكتار فى الأراضى العالية الحموضة - التى تبلغ مساحتها ملايين الهكتارات - دونما حاجة إلى إضافة الجير إليها لتعديل الـ pH.

وفي ولاية أوهايو الأمريكية اختبر ٤٣ صنفا وسلالة من القمح في أرض ينخفض فيها الرقم الأيدروجيني إلى ٤,٣، ويرتفع فيها كثيراً تركيز الألومنيوم الذائب، ووجد أن الصنفين Fulton، و Thorne كانا أكثرها تحملا؛ حيث أنتجا من ٦٠ ـ ٨٠٪ من محصولهما عند هذا المستوى المنخفض من الـ pH مقارنه بما أنتجاه عندما أضيف ٢,٢ طناً من الجير/هكتار؛ لتعديل رقم pH التربة ليصبح ٥,٢، بينما لم تنتج الأصناف الأخرى سوى ٢٠ ـ ٣٠٪ من محصولها تحت ظروف انخفاض الـ pH.

وقد تم التوصل إلى طرق لاختبار تحمل الألومنيوم في طور البادرة تحت ظروف البيوت المحمية، حيث تُنمَّى النباتات في محاليل مغذية يضاف إليها تركيزات معلومة من الألومنيوم.

وأوضحت الدراسات الوراثية أن تحمل القمح للتركيزات العالية من الألومنيوم يتحكم فيها جين واحد سائد، ولكن يبدو أن تلك الصفة يتحكم فيها جينات مختلفة في كل من الأصناف: Atlas 66، و Blueboy، و Pennoll.

وتتميز الأصناف التي تتحمل التركيزات العالية من الألومنيوم الميسر في التربة بقدرة جذورها على إفراز مواد ترفع الـ pH في التربة المحيطة بالجنور مباشرة (حيث يتم امتصاص العناصر)؛ الأمر الذي يؤدي إلى ترسيب الألومنيوم فيها. ويلاحظ أن ارتفاع pH التربة يحدث عند زراعة هذه الأصناف في كل أجزاء التربة التي يصل إليها نمو الجنور، بينما يكون تعديل الـ pH في الطبقة السطحية فقط من التربة (طبقة الحرث) عند إضافة الجير. وتعرف تلك الخاصية النباتية المؤثرة في pH التربة ـ كذلك ـ في كل من: الذرة، والسورجم، وفول الصويا، والعِكرِش fescue، وعشب weeping lovegrass (عن Frey ١٩٨١، و Lewis & Christiansen ١٩٨١).

ومن جهة أخرى.. وجد أن اختلاف أصناف القمح في تحملها لزيادة الألومنيوم كان مرده إلى اختلافها في تركيب الغشاء البلازمي الخارجي Plasmalemma لخلايا القمة النامية

للجذور، الذى يتحكم فى دخول الأيونات إلى خلايا الجذر. فمثلاً.. وجد أن تركيز الألومنيوم ـ الذى ينفذ معه العنصر من خلال الغشاء البلازمى ـ يبلغ فى الصنف المتحمل Atlas 66 من ١٠٠ ـ ٢٠٠ مثل التركيز الذى ينفذ معه العنصر من خلال الغشاء البلازمى للصنف الحساس Brevor. وبمجرد نفاذ الألومنيوم إلى داخل الخلايا فإنه يضرها بدرجة متساوية فى كل من أكثر الأصناف تحملاً وأكثرها حساسية (عن Devine ١٩٨٢).

٢ ـ الذرة :

تتوفر الاختلافات الوراثية فى القدرة على تحمل التركيزات العالية من الألومنيوم فى الذرة. وقد أوضحت الدراسات الوراثية أن هذه الصفة بسيطة وسائدة. ولكن نظراً لوجود اختلافات كبيرة فى مستويات تحمل الألومنيوم بين سلالات الذرة وفى العشائر الانعزالية.. لذا يعتقد وجود عدة أليلات لتحمل الألومنيوم فى موقع جينى واحد. ولم يمكن أثبات وجود أى تأثير أمى (سيتوبلازمى) فى الصفة.

٣ ـ الشعير :

أمكن فى الشعير ـ كذلك ـ التعرف على جين واحد سائد يتحكم فى صفة تحمل التركيزات العالية من الألومنيوم. ويوجد هذا الجين ـ الذى أعطى الرمز Alp ـ فى الصنفين Dayton، و86 Smooth Awn (عن Devine ١٩٨٢).

٤ ـ الطماطم :

وجد Foy وآخرون (١٩٧٣) اختلافات جوهرية بين أصناف الطماطم فى قدرتها على النمو فى أراض ذات pH ٤,٢. وكانت أكثر الأصناف حساسية هى Tuckers Favorite ، و Analu، وأكثرها تحملاً Ace، وOwyhee .

وقد احتوت جذور الأصناف المقاومة على كميات أقل من الألومنيوم مما فى جذور الأصناف الحساسة.

كذلك أمكن انتخاب عدة سلالات خلايا Cell lines من صنف الطماطم مارجلوب Marglobe بعد زراعتها فى بيئة مغذية، تحتوى على ألومنيوم فى صورة Al-EDTA بتركيز ٢٠٠ ميكرومول، واحتفظت هذه السلالات بصفة تحمل الألومنيوم حتى مع استمرار نموها فى مزارع ينقصها العنصر، لكن لم يمكن إنتاج نباتات من هذه السلالات؛ لأن الكالس كان مسناً.

٥ ـ الجزر :

أمكن انتخاب سلالات خلايا من الجزر متحملة للتركيزات المرتفعة من الألومنيوم، وهو على صورة كلوريد الألومنيوم، وأمكن إنتاج نباتات كاملة منها. وقد لقحت هذه النباتات ذاتياً، واختبرت بادراتها فى محلول مغذ، يحتوى على تركيز مرتفع من كلوريد الألومنيوم، ووجد أنها كانت على درجة عالية من القدرة على التحمل.

وقد تبين أن سلالات الخلايا التى تتحمل الألومنيوم تفرز فى بيئتها المغذية كميات من حامض الستريك أكثر مما تفرزه السلالات الحساسة، كما أمكن التغلب على سمية التركيزات العالية من الألومنيوم بإضافة حامض الستريك أو الماليك إلى البيئة المغذية. ويبدو أن حامض الستريك الذى تفرزه السلالات ـ التى تتحمل الألومنيوم ـ يتحد مع العنصر ويجعله فى صورة مخلبية؛ مما يعنى تعرض الخلايا لتركيزات منخفضة من الألومنيوم تكون أقل ضرراً عليها (عن Starvek & Rains ١٩٨٤).

المنجنيز

تتوفر اختلافات بين أصناف وسلالات البرسيم الحجازى فى القدرة على تحمل زيادة تركيز الألومنيوم فى التربة. وقد تبين أن هذه الصفة كمية ويتحكم فيها نظام وراثى إضافى.

وقد لوحظ وجود اختلافات بين الهجن العكسية، ولكن تبين أن مردها إلى اختلاف سلالات

الأمهات فى حجم البذور؛ الأمر الذى أثر فى الصفات التى اتخذت كمقياس لصفة التحمل.

كما وجدت ـ فى فول الصويا ـ اختلافات بين الهجن العكسية فى تحملها لزيادة تركيز عنصر المنجنيز، واقترح أن هذه الصفة يتحكم فيها عوامل سيتوبلازمية وأخرى كروموسومية.

كذلك وجدت اختلافات بين أصناف وسلالات جنس الخس Lactuca فى تحملها للتركيزات العالية من المنجنيز فى الأراضى المعقمة بالبخار (يؤدى التعقيم بالبخار إلى تيسر كميات كبيرة من المنجنيز ـ بتركيزات سامة للنبات ـ فى التربة). وتبين من التلقيحات التى أجريت بين صنف الخس الحساس للمنجنيز وثلاثة أصناف خس غير حساسة (هى: Plenos، و Celtuce، و Troppo) وسلالة غير حساسة من النوع البرى L. serriola.. تبين وجود أعداد مختلفة من الجينات المسئولة عن عدم الحساسية للمنجنيز فى مختلف الأصناف والسلالات كما يلى: جين واحد فى كل من Plenos، و Troppo، وجينان فى سلالة L. serriola، وربما أربعة جينات فى Celtuce، وتبين وجود ثلاثة من هذه الجينات فى مجموعة ارتباطية واحدة (عن Devine ١٩٨٢).

تحمل نقص العناصر المغذية

إن الاختلافات الوراثية بين النباتات يمكن أن تحدد مدى كفاءة النبات فى امتصاص العناصر الغذائية من التربة (Brown ١٩٦٧). وقد أوضح Vose أن دراسة مثل هذه الاختلافات يمكن أن تساعد المربى فى انتخاب وتربية أصناف تصلح للإنتاج تحت ظروف نقص بعض العناصر، أو بغرض زيادة نسبة عنصر معين فى النبات؛ بهدف تحسين قيمته الغذائية.

ومن أمثله المحاصيل التى حدث فيها تقدم فى التربية فى هذا المجال ما يلى :

١ ـ الذرة :

وجدت اختلافات فى صفة القدرة على امتصاص أيون الكبريتات بين ثلاث سلالات مرباة داخليا من الذرة، كما ظهرت قوة هجين لتلك الصفة فى الهجن.

وتبين أن تراكم عنصر الكالسيوم فى الذرة يتحكم فيه عدة جينات ذات تأثير إضافى. كما أظهرت الدراسات الوراثية تحكم نظام وراثى إضافى فى تركيز كل من الفوسفور، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم، والنحاس، والبورون، والزنك، والمنجنيز، والألومنيوم، والحديد فى كيزان الذرة. ووجدت كذلك اختلافات وراثية فى امتصاص وتراكم الفوسفور - فى النبات - فى كل من المحاليل المغذية والحقل. وتوضح الدراسات إمكان إنتاج هجن من الذرة أكثر قدرة على امتصاص الزنك من الأراضى التى تؤدى فيها زيادة التسميد الفوسفاتى إلى ظهور أعراض نقص الزنك.

٢ - فول الصويا :

أنتج صنف فول الصويا Weber الذى يتميز بتحمله لنقص الحديد الذى يحدث فى الأراضى الجيرية التى أجرى فيها برنامج التربية.

٣ - الأرز :

قيمت عدة آلاف من أصناف وسلالات الأرز لتحمل النمو فى الأراضى القلوية، وأمكن التعرف على أفضلها؛ حيث استخدمت فى برنامج تربية لإنتاج سلالات عالية المحصول ذات قدرة كبيرة على تحمل قلوية التربة؛ مثل: IR 4427 - 28 - 3 - 2، و- IR 4227 - 10 - 4 - 1 - 3 .

كذلك أمكن التعرف على نحو ١٠٠ سلالة من الأرز قادرة على تحمل نقص الزنك، وعلى اختلافات وراثية كثيرة بين السلالات فى تحمل نقص كل من الفوسفور والزنك.

٤ - الفاصوليا :

أمكن التوصل إلى سلالات من الفاصوليا أكثر قدرة على تحمل نقص الفوسفور؛ بل إنها قد تغل محصولاً أعلى عند نقص الفوسفور؛ مقارنة بما تغله عن زيادة التسميد بالعنصر (عن Devine ١٩٨٢).

٥ ـ الشوفان :

تتوفر اختلافات وراثية بين أصناف الشوفان فى مدى كفاءتها فى الاستفادة من المنجنيز الميسر لها فى التربة، وتبين أن الأصناف العالية الكفاءة تتميز بارتفاع محتوى نمواتها القمية من عنصر الكالسيوم. وفسر ذلك على أساس أن الكالسيوم يقوم ـ فى الأصناف العالية الكفاءة فى الاستفادة من المنجنيز ـ بجزء من الدور الذى يقوم به المنجنيز؛ الأمر الذى يوفر هذا العنصر للتفاعلات الحيوية التى لا غنى عنه فيها.

كذلك يتميز صنف الشوفان Cooker 227 بكفاءة أعلى فى الاستفادة من الحديد الميسر فى التربة عن الصنف TAM 0 - 312، وتبين أن الصنف الأول (الكفء) كان قادرا على اختزال أيون الحديديك إلى حديدوز على سطح الجنور، وأن محتواه من الكالسيوم كان أقل من محتوى الصنف الثانى (القليل الكفاءة). وقد اقترح أن الكالسيوم ينافس الحديد أو يثبط فعله فى الصنف TAM 0 - 312 .

٦ ـ الطماطم :

أ ـ النيتروجين :

قيم O'sullivan وآخرون (١٩٧٤) ١٤٦ سلالة من الطماطم للقدرة على النمو فى محلول مغذ، يحتوى على مستوى منخفض من الآزوت؛ بتوفير العنصر بمعدل ٣٥ ملليجراماً فقط لكل نبات، ووجدوا اختلافات وراثية بين السلالات من حيث كفاءتها فى الاستفادة من الكميات المتاحة من العنصر، معبراً عن ذلك بالملليجرام من المادة الجافة التى يُصنِّعها النبات مقابل كل ملليجرام من الآزوت الممتص. وتحت هذه الظروف.. كان الوزن الجاف للسلالات ذات الكفاءة أعلى بمقدار ٤٥٪ من السلالات القليلة الكفاءة.

وقد تبين من الدراسات الوراثية ـ التى أجريت على أكثر وأقل الأصناف كفاءة فى الاستفادة من الكميات القليلة المتاحة لها من الآزوت ـ أن هذه الصفة يتحكم فيها عدد قليل من الجينات، وأن الكفاءة العالية صفة سائدة، مع ظهور تفاعلات أليلية من النوع الإضافى × الإضافى.

ب ـ الفوسفور :

وجد Coltmann وآخرون (١٩٨٥) اختلافا فى معدل النمو بين سبع سلالات من الطماطم عند نقص الفوسفور فى بيئة الزراعة، علماً بأن هذه السلالات تتماثل فى معدل نموها فى ظروف التغذية الطبيعية. وقد وصلت هذه الاختلافات إلى ٧٣٪. وأوضحت الدراسة أن معدل امتصاص الفوسفور لكل وحدة من وزن ـ أو طول ـ الجذر كان عاملاً أولياً فى تحديد قدرة السلالة على امتصاص العنصر. كذلك كان لمدى قدرة السلالات على الاستفادة من الفوسفور الممتص دور هام فى إبراز فروق النمو بينهما تحت ظروف نقص العنصر.

ونظراً لأن الفوسفور لا ينتقل فى التربة.. فإن كفاءة النباتات فى الاستفادة من الكميات المتاحة منه تتحدد بمدى تغلغل المجموع الجذرى فى التربة (عن Bliss ١٩٨١). وقد أوضحت دراسات Coltman (١٩٨٧) أن سلالات الطماطم القادرة على تحمل نقص الفوسفور كانت أكثر كفاءة فى امتصاص العنصر، كما كانت شعيراتها الجذرية ـ تحت ظروف نقص العنصر ـ أطول، وغطّت الجذور لمسافة أطول مما فى السلالات الحساسة.

وقد وجد أثناء تقييم عدد من سلالات الطماطم للكفاءة فى امتصاص الفوسفور من محلول مغذ يحتوى على العنصر ـ بتركيز منخفض قدره ٩٧ ميكرومولاً ـ أن السلالة P.I. 121665 كانت على درجة عالية من الكفاءة. وقد تميزت هذه السلالة ـ دون غيرها ـ بكثافة شعيراتها الجذرية؛ لذا أطلق على هذا الشكل المظهرى اسم الجذر القطنى Cottony root. وبرغم أن سلالة أخرى ـ هى P.I. 1102716 ـ كانت على نفس القدر من الكفاءة فى امتصاص الفوسفور.. إلا أن جذورها كانت عادية. وقد وجد Hochmuth وآخرون (١٩٨٥) أن صفة الجذر القطنى متنحية، ويتحكم فيها جين واحد أعطى الرمز crt.

جـ ـ البوتاسيوم :

قيم Makmur وآخرون (١٩٧٨) ١٥٦ سلالة من الطماطم للقدرة على النمو فى محلول مغذ يحتوى على مستوى منخفض من البوتاسيوم قدره ٥ ملليجرامات لكل نبات، ووجدوا

اختلافات كبيرة بينها فى كفاءتها فى استغلال الكميات القليلة المتاحة من العنصر؛ معبراً عن ذلك بعدد ملليجرامات المادة الجافة التى ينتجها النبات مقابل كل ملليجرام من البوتاسيوم الممتص. وكان الوزن الجاف لأعلى السلالات كفاءة فى الاستفادة من البوتاسيوم - تحت هذه الظروف - يزيد بمقدار ٧٩٪ عن أقل السلالات كفاءة. وقد احتوت السلالات العالية الكفاءة على بوتاسيوم يقل بنسبة ٣٩٪، وصوديوم يزيد بنسبة ٢٩٪ فى أنسجتها؛ مقارنة بالسلالات المنخفضة الكفاءة. وأوضحت الدراسات الوراثية على هاتين السلالتين أن الجينات التى تتحكم فى الكفاءة العالية ذات تأثير إضافى أساساً، بينما كان تأثير السيادة والتفوق أقل.

وبرغم أن عنصر الصوديوم ليس ضرورياً لنمو الطماطم، إلا أنه يمكن أن يحل محل البوتاسيوم فى أمور عامة؛ مثل تنظيم الضغط الآسموزى؛ لذا.. فإن فصل تأثيرات كفاءة استفادة النبات من عنصر البوتاسيوم - فى الأمور التى ليس للصوديوم علاقة بها - عن التأثيرات فى الأمور التى يكون للصوديوم علاقة بها.. يعد ضرورياً لتحديد كفاءة السلالات فى الاستفادة من البوتاسيوم بصورة أفضل؛ وبناء على ذلك.. قام Figdore وآخرون (١٩٨٩) بتقييم ١٠٠ سلالة من الطماطم فى محلول مغذ يحتوى على مستوى منخفض من البوتاسيوم قدره ٠,٠٧١ ملل مول فى غياب - أو وجود - الصوديوم (المضاف)؛ للتعرف على الاختلافات بين السلالات فى كفاءة استعمال البوتاسيوم، وفى كفاءة إحلال الصوديوم محل البوتاسيوم، وفى تراكم الصوديوم بالأوراق العليا.

واعتماداً على النتائج المتحصل عليها.. اختيرت خمس سلالات تمثل أقصى الاختلافات فى الصفات السابقة، وأجريت بينها كل التلقيحات لدراسة وراثة تلك الصفات. وقد توصل الباحثون إلى أن درجة توريث صفة كفاءة استعمال البوتاسيوم - فى غياب الصوديوم - منخفضة، وتتأثر.. جوهرياً جداً - بكل من فعل الإضافة والسيادة والإضافة × الإضافة. وكانت درجة توريث صفة كفاءة إحلال الصوديوم محل البوتاسيوم عالية، وتأثرت جوهرياً جداً بفعل الإضافة والسيادة. كذلك كانت درجة توريث صفة تراكم الصوديوم بالأوراق

العليا عالية، وتأثرت - جوهرياً جداً - بفعل الإضافة. هذا.. وكان Makmur وآخرون قد وجدوا أن إحدى السلالات ذات الكفاءة العالية فى الاستفادة من البوتاسيوم تستجيب لإضافة الصوديوم حتى مع توفر البوتاسيوم بدرجة متوسطة.

د - الكالسيوم :

قام English & Maynard (١٩٨١) بتقييم ٢٤ صنفاً وسلالة من الطماطم من حيث القدرة على النمو فى محلول مغذ يحتوى على تركيز منخفض من الكالسيوم قدره ١٦,٥ ملليجراماً كالسيوم لكل نبات، ووجدا اختلافات وراثية بينها فى الاستفادة من الكميات المتاحة من العنصر، معبراً عن ذلك بعدد ملليجرامات المادة الجافة التى ينتجها النبات مقابل كل ملليجرام من الكالسيوم الممتص. كانت أكثر السلالات كفاءة هى سلالة الطماطم P.I. 205040، والسلالة P.I. 129021 من الهجين النوعى L. esculentum x L. pimpinellifolium اللتان احتفظتا بكفاءتهما العالية حتى فى المستويات المرتفعة من الكالسيوم.

كذلك قام Giordano وآخرون (١٩٨٢) بدراسة مماثلة على ١٣٨ سلالة من الطماطم، ووجدوا اختلافات وراثية بينها فى كفاءة الاستفادة من الكالسيوم المتاح لها؛ حيث أعطت السلالات العالية الكفاءة وزناً جافاً يزيد بمقدار ٨١٪ على السلالات القليلة الكفاءة، بينما كان الوزن الجاف لجميع السلالات متقارباً حينما كان الكالسيوم متوافرا بتركيز كاف قدره ٤٠٠ ملليجرام لكل نبات. وقد أظهرت الدراسة أن السلالات العالية الكفاءة كانت أكثر قدرة على امتصاص الكالسيوم من المحاليل المغذية الفقيرة بالعنصر، وأكثر كفاءة فى الاستفادة مما تمتصه منه.

كما تبين من دراسة وراثية - أجريت على أكثر وأقل السلالات كفاءة - أن هذه الصفة تتأثر أساساً بالفعل الإضافى للجينات. وفى دراسة وراثية أخرى - أجريت على أربع سلالات تمثل أقصى الاختلافات فى الاستفادة من الكالسيوم المتوفر بكميات قليلة قدرها ١٠ ملليجرامات من العنصر لكل نبات (Li & Gabelman ١٩٩٠) - وجد أن الكفاءة (معبراً عنها بالوزن الجاف للنبات) تتأثر بفعل الإضافة والسيادة للجينات المتحكمة فى الصفة، التى

تراوحت درجة توريثها - على النطاق العريض - من ٦٣٪ إلى ٧٩٪، وعلى النطاق الضيق.. من ٤٧٪ إلى ٤٩٪، ومن ٦٨٪ إلى ٧٥٪ فى عائلتين مختلفين.

٧ - الفاصوليا :

أ - الفوسفو :

درس Fawole وآخرون (١٩٨٢) وراثة كفاءة استفادة نبات الفاصوليا من الكميات المتاحة من عنصر الفوسفور - تحت ظروف نقص العنصر - واستخدمت لذلك ست عائلات من الفاصوليا، ناتجة من تلقيحات بين سلالات منتخبة ذات كفاءة عالية، أو متوسطة، أو منخفضة فى الاستفادة من العنصر. واتخذ الباحثون الوزن الكلى للنبات - تحت ظروف نقص العنصر - دليلاً على كفاءة النبات فى الاستفادة منه. وقد أوضحت الدراسة أن التفوق Epistasis كان له دور كبير فى وراثة تلك الصفة، خاصة تأثيرات الإضافة × الإضافة، والسيادة × السيادة، والإضافة × السيادة. وقد كانت تقديرات درجة توريث الصفة على النطاقين (العريض والضيق) عالية.

ب - البوتاسيوم :

لم يتمكن Shea وآخرون (١٩٦٧) من التعرف على اختلافات وراثية بين أصناف وسلالات الفاصوليا؛ من حيث قدرتها على امتصاص عنصر البوتاسيوم، إلا أنهم وجدوا اختلافات بينها فى مدى كفاءتها فى تمثيل البوتاسيوم الممتص، علما بأن تلك الاختلافات لم يكن مردها إلى اختلاف السلالات فى حجم البذور. وقد تبين أن صفة الكفاءة العالية فى تمثيل البوتاسيوم يتحكم فيها جين واحد متنح، أعطى الرمز Ke.

جـ - الحديد :

درس Coyne وآخرون (١٩٨٢) وراثة القدرة على تحمل نقص عنصر الحديد فى الفاصوليا فى النسل الناتج من التلقيح بين السلالة الشديدة الحساسية P.I. 165078، والأصناف المقاومة GN Valley، و GN Emerson، و GN UI 59. وقد أوضحت نتائج الجيل

الثانى أن المقاومة كمية وسائدة سيادة تامة، بينما تبين من نتائج الجيل الثالث أن المقاومة يتحكم فيها زوجان من الجينات.

هذا.. وتتحكم الجنور فى امتصاص الحديد فى الطماطم، وفول الصويا، والحمص؛ وهو ما تحقق بدراسات التطعيم التى استخدمت فيها طعوم حساسة لنقص الحديد، وأصول مقاومة؛ حيث لم تظهر أعراض الاصفرار الناشىء من نقص الحديد فى الطعوم.كما تأكدت هذه الحقيقة بعمل التطعيم العكسى (باستخدام طعوم مقاومة لنقص الحديد، وأصول حساسة)؛ حيث ظهرت أعراض الاصفرار الناشىء من نقص الحديد على الطعوم.

وحينما أجرى Zaiter وآخرون (١٩٨٧) دراسة تطعيم مماثلة على الفاصوليا - استخدموا فيها الصنفين المقاومين لنقص الحديد GN Emerson، و Neb - WMI - 83 - 10 والصنفين الحساسين P.I. 165078، و Steuben Yellow Eye - تبين أن الأصول هى التى تتحكم فى المقاومة لنقص العنصر، ربما بسبب قدرتها على امتصاص العنصر أو نقله إلى السيقان. وقد كان نقص الحديد أكثر وضوحاً فى الحرارة المنخفضة (٢٤م نهاراً، و١٣م ليلاً) منه فى الحرارة المرتفعة (٢٩,٥م نهاراً، و١٨,٥م ليلاً).

وفى دراسة موسعة عن وراثة القدرة على تحمل نقص عنصر الحديد استخدمت فيها ثلاثة تراكيب وراثية حساسة، وسبع مقاومة (هى: GN Valley، و GN 1140، و UI 59، و GN Emerson، و Pinto Ep-1، و Pinto Olathe، و Black Neb - WMI - 83 - 10)، ودرست الصفة فى الآباء والجيل الثانى، وبعض سلالات الجيل الثالث - وجد Zaiter وآخرون (١٩٨٧ أ) أن صفة المقاومة يتحكم فيها زوجان من العوامل الوراثية السائدة المكملة لبعضها.

وتجدر الإشارة إلى أن مستوى الحديد المنخفض فى أوراق الفاصوليا ليس دليلاً على نقص العنصر فى النبات؛ إذ إن تركيز العنصر فى الأوراق التى تظهر عليها أعراض الاصفرار غالباً ما يكون مساويا - أو أعلى من - تركيز العنصر فى الأوراق الخضراء العادية؛ ويرجع ذلك إلى أن أقل من ١٪ من كمية الحديد التى توجد فى النبات هى التى

تدخل فى التفاعلات الحيوية، بينما يتواجد معظم الحديد فى الفيتوفرّين Phytoferrin الذى لا يكون ميسراً بسرعة عند الحاجة إليه فى التفاعلات الحيوية.

٨ ـ القنبيط :

اختبر Hochmuth (١٩٨٤) كفاءة ٤٠ سلالة من القنبيط فى الاستفادة من الكالسيوم الذى وفره لها فى محلول مغذ بمعدل ٣٧٥ ميكرومولاً/ نبات، ووجد أن أكثر السلالات كفاءة أنتجت ١٤ مثل الوزن الجاف لأقل السلالات كفاءة. كما زادت نسبة كفاءة الكالسيوم (مجم مادة جافة/ مجم كالسيوم بالنسيج النباتى) فى أعلى السلالات كفاءة بمقدار ثلاثة أمثال عما فى أقل السلالات كفاءة.

حالات عدم القدرة الوراثية على تحمل نقص العناصر الغذائية

ليس من بين أهداف المربى إنتاج أصناف غير قادرة على تحمل النقص فى العناصر الغذائية فى التربة، ولكن تلك الحالات توجد كطفرات طبيعية، وقد تفيد دراستها فى إنتاج أصناف أكثر تحملاً لتلك الظروف، ومن أمثلة تلك الحالات ما يلى :

١ ـ يوجد فى إحدى سلالات فول الصويا جين متنحٍ ـ أعطى الرمز fe ـ يتحكم فى ضعف كفاءة النبات فى الاستفادة من الحديد الميسر له، ويرجع ذلك إلى ضعف قدرة النباتات المتنحية الأصيلة fe fe على اختزال الحديديك Fe^{3+} إلى حديدوز Fe^{2+} على سطح الجذور. ولا يظهر تأثير هذا الجين إلاّ فى الجنور.

٢ ـ وجد أن سلالة الطماطم T 3820 غير قادرة على امتصاص ونقل الحديد بكميات تفى بحاجة النبات من هذا العنصر؛ حيث بلغ تركيز الحديد بها ربع التركيز الطبيعى، بالرغم من توفر العنصر للنبات. وقد تبين أن هذه الصفة يتحكم فيها جين واحد متنح أعطى الرمز fer (Brown وآخرون ١٩٧٢)، كما تبين من دراسات التطعيم أن التركيب الوراثى للأصل هو الذى يتحكم فى امتصاص الحديد.

وقد تميزت الطماطم العادية التي تحمل الجين السائد Fer بقدرة جذورها - تحت ظروف نقص الحديد - على إفراز أيون الأيدروجين، الذي يزيد اختزال أيون الحديديك إلى حديدوز على سطح الجذور، كما تميزت كذلك بزيادة محتوى جذورها من حامض الستريك (عن Devine ١٩٨٢).

٣ - أوضح Brown & Jones (١٩٧١) أن نباتات نفس السلالة السابقة (T 3820) كانت - كذلك - غير قادرة على امتصاص ونقل البورون بكميات تفي بحاجة النبات من هذا العنصر؛ حيث كانت نباتات الطماطم صنف Rutgers أكفأ ١٥ مرة منها في امتصاص العنصر.

كما اكتشف Wall & Andrus (١٩٦٢) طفرة أخرى شبه مميتة في سلالة الطماطم T 3238 - أطلق عليها اسم الساق القابلة للكسر Brittle Stem - لا يمكنها نقل البورون داخل النبات. وقد تبين أن هذه الصفة يتحكم فيها جين واحد متنح أعطى الرمز btl.

٤ - وجدت في السورجم صفة عدم القدرة على تحمل نقص عنصر الحديد، وتبين أنها صفة كمية (عن Zaiter وآخرين ١٩٨٧).

٥ - وجد من دراسة وراثية على أكثر وأقل أصناف البنجر حساسية لنقص البورون (بزراعة نباتات الآباء والجيلين الأول والثاني، والهجن الرجعية في محلول مغذ يحتوى على بورون بتركيز ٠,٠٠١ جزءاً في المليون) أن الحساسية لنقص البورون صفة بسيطة سائدة (Tehrani وآخرون ١٩٧١).

٦ - وجدت صفة عدم القدرة عيل تحمل نقص عنصر المغنيسيوم في صنف الكرفس Utah 10B (وغيره من الأصناف)، وتبين أنه يتحكم فيها جين واحد متنح أعطى الرمز mg. ويؤثر هذا الجين سلبيا على امتصاص العنصر وانتقاله إلى النموات الخضرية (Pope & Munger ١٩٥٣ أ).

٧- وجدت كذلك صفة عدم القدرة على تحمل نقص البورون في سلالة الكرفس S 48 - 54 - 1، وتبين أنه يتحكم فيها جين متنح (Pope & Munger ١٩٥٣ ب).

٨ ـ وجدت أيضاً صفة عدم القدرة على تحمل نقص الحديد فى بعض سلالات الذرة، ويتحكم فى ذلك الجين المتنحى ys الذى يؤثر فى امتصاص الجذور للعنصر.

٩ ـ يتحكم الجين np فى صفة عدم القدرة على تحمل نقص الفوسفور فى فول الصويا، وهو ذو سيادة غير تامة (عن Tal ١٩٨٤).

زيادة الكفاءة الوراثية فى الاستفادة من الأسمدة

يعد التسميد من أهم عمليات الخدمة الزراعية التى تعطى للمحاصيل الزراعية، كما أنه يشكل أحد بنود الإنفاق الرئيسية فى العملية الإنتاجية. ولا يمكن جنى الثمار الكاملة لتلك العملية ما لم تكن النباتات على درجة عالية من الكفاءة فى الاستفادة من الأسمدة المضافة؛ من حيث القدرة على امتصاص الجزء الأكبر منها من التربة، ونقلها إلى حيث تحتاج إليها، وتمثيلها، وتجنب الأضرار التى قد تنشأ عن زيادتها فى التربة أو فى أنسجتها.

ومع ارتفاع تكلفة حصاد المحاصيل البستانية قام المربون بإنتاج أصناف تحصد آلياً. وتتميز أصناف تلك المحاصيل ـ كما فى الطماطم مثلاً ـ بأنها تعطى نموا خضرياً مندمجاً، وإزهاراً وإثماراً كثيفين ومركزين، ومحصولاً عاليا ومبكراً، فضلاً على أنها تزرع كثيفة؛ الأمر الذى يترتب عليه شدة حاجتها إلى العناصر الغذائية خلال فترة زمنية قصيرة؛ ولذا.. فإن أية زيادة فى كفاءة امتصاص واستخدام العناصر المغذية ـ وخاصة البوتاسيوم ـ فى هذه الأصناف يعد أمرا مرغوبا فيه.

كذلك تنمو نباتات الغابات ـ فى الظروف الطبيعية ـ ببطء شديد؛ الأمر الذى يجعلها تحصل على حاجتها من العناصر المغذية من التربة، بالرغم من فقر التربة فى تلك العناصر. ولكن.. مع الاتجاه إلى إدارة تلك الغابات لتعطى عائداً أفضل.. فإن على المربى أن ينتخب سلالات من الأشجار تكون أقوى نموا وأكثر كفاءة فى الاستفادة من الأسمدة التى يمكن إضافتها فى ظل إدارة الإنسان لتلك الغابات (عن Epstein ١٩٧٢).

ومن أمثله المحاصيل التى حدث فيها تقدم فى التربية فى مجال الاستجابة للتسميد المرتفع ما يلى :

١ ـ القمح :

أمكن ـ بالتربية ـ إنتاج أصناف محسنة من القمح تستجيب للتسميد الآزوتي بدرجة عالية، مثل الصنف Sonora 64 الذي ازداد محصوله من ١٥٦٠ كجم / هكتار بدون تسميد آزوتي إلى ٦٤٧٠ كجم / هكتار عند التسميد بمعدل ١٦٠ كجم نيتروجيناً / هكتار؛ أي إن محصول القمح ازداد بمعدل ٣٠,٧كجم / كجم من الآزوت المضاف بالتسميد.

كذلك استجاب صنف آخر محسن ـ هو Lerma Rojo 64 ـ بنفس الطريقة، ولكن على مستوى أقل قليلاً من الصنف السابق.

أما الأصناف التي كانت منتشرة في الزراعة المحلية (بالمكسيك) ـ مثل C-306 ـ فلم تستجب لزيادة التسميد الآزوتي لأكثر من ٤٠كجم من النيتروجين للهكتار؛ حيث أنتجت حوالي ٣٧٥٠ كجم للهكتار عند هذا المستوى من التسميد، ثم نقص محصولها بزيادة معدل التسميد عن ذلك.

٢ ـ الأرز :

أنتجت في معهد بحوث الأرز الدولي بالفلبين أصناف من الأرز أكثر استجابة للتسميد الآزوتي، مثل الصنف IR8؛ الذي ارتفع محصوله إلى ٩٤٧٧كجم/ هكتار عندما سُمِّد بمعدل ١٢٠كجم نيتروجيناً للهكتار. وبالمقارنة.. فإن الصنف المحلي الفلبيني Peta أعطى أعلى محصول له ـ وهو حوالي ٥٢٠٠كجم/ هكتار) عندما سُمِّد بنحو ٣٠كجم آزوت للهكتار، ثم انخفض محصوله بزيادة التسميد الآزوتي عن ذلك إلى أن وصل المحصول ٢٥٠٠كجم/ هكتار عند مستوى آزوت ١٢٠كجم/ هكتار.

٣ ـ السورجم :

أمكن كذلك ـ بالتربية ـ إنتاج أصناف محسنة من السورجم ـ تستجيب للتسميد الآزوتي ـ من أمثلتها الصنف الذي بلغ محصوله نحو ٣٧٠٠كجم / هكتار عندما سُمِّد بمعدل ١٦٠كجم نيتروجيناً/ هكتار. وبالمقارنة.. ارتفع محصول الصنف الهندي المحلي من ٨٠٠

إلى ١٤٠٠ كجم فقط للهكتار عند زيادة مستوى التسميد الآزوتى من صفر إلى ١٦٠ كجم/ هكتار (عن The Rockefeller Foundation ١٩٦٦).

٤ ـ القطن :

تتوفر اختلافات بين أصناف القطن فى قدرتها على الاستجابة للتسميد البوتاسى والاستفادة منه؛ فمثلاً.. وجد ـ عندما كان طلب الأزهار والثمار على البوتاسيوم عالياً ـ أن امتصاص العنصر كان بمعدل ١٨٥كجم / هكتار فى صنف القطن Acala 4 - 42، مقارنة بنحو ١٦٤كجم /هكتار فى الصنف Acala 1517 - C، بالرغم من أن محصول بذور وشعر القطن كانا أعلى فى الصنف الأخير (عن Devine ١٩٨٢).

هذا.. وليس من بين أهداف المربى إنتاج أصناف غير قادرة على الاستفادة من الأسمدة التى تضاف إلى التربة، ولكن دراسة تلك الحالات قد تفيد المربى فى إنتاج أصناف أكثر استجابة للتسميد. وعلى سبيل المثال.. وجد فى فول الصويا جين ذو سيادة غير تامة ـ أعطى الرمز Np ـ يتحكم فى الحساسية لزيادة التسميد الفوسفاتى؛ حيث كانت الأشكال المظهرية ـ لمختلف التراكيب الوراثية تحت ظروف التسميد الفوسفاتى الغزير ـ كما يلى :

Np Np: بدون أية أعراض، أو تلطخ بنى خفيف على النموات الخضرية.

Np np: يظهر تلطخ بنى خفيف إلى متوسط.

np np: يظهر تلطخ بنى شديد.

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 نوعاً متخصصاً على مختلف البقوليات، وقد يتعايش أكثر من نوع منها على محصول بقولى واحد، ونجد فى هذه الحالة اختلافا 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 تعرف عديد من سلالات أنواع بقولية مختلفة غير قادرة على المعيشة تعاونيا 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، ولا تتكون العقد الجذرية؛ بسبب وجود عوائق 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).

وراثة القدرة على المعيشة التعاونية مع بكتيريا العقد الجذرية

نتناول 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 متنح مع عامل سيتوبلازمى، وكان هذا الجين مرتبطاً 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، علماً بأن ظهورها مبكراً يزيد من فرصة النبات من الاستفادة من الآزوت المثبت. ويستدل من الدراسات الوراثية على أن هذه الصفة كمية.

٤ ـ تبين أن عديدا من سلالات البسلة ـ التى تزرع فى الشرق الأوسط ووسط آسيا ـ تفشل فى تكوين عقد جذرية عند عدواها ـ فى أوروبا ـ 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 ـ ٢٠م ـ وهو المجال المناسب لنمو البسلة ـ بينما تتكون لدى تعرض النباتات لحرارة ٢٦م 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 واحداً أو أكثر من سلالات الرايزوبيم. وكانت صفة المقاومة للبكتيريا ـ فى جميع الحالات التى درست ـ يتحكم فيها جين واحد متنح.

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

٤ ـ 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 تماما من العقد الجذرية التى تعيش فيها البكتيريا، ويمكن تمييزها بكون نباتاتها تبدو صفراء اللون بعد استكمالها لمرحلة نمو الورقة الحقيقية الثالثة.

٥ ـ وجد فى اللوبيا أن التفاعل الجينى الإضافى كان أكثر أهمية من تفاعل السيادة، أو

تفاعل التفوق بالنسبة لوراثة كل من صفتي: عدد العقد الجذرية بالنبات، ونشاط إنزيم النيتروجينيز nitrognese، بينما كان العكس صحيحاً بالنسبة لصفة وزن العقد الجذرية بالنبات. وكانت درجات التوريث ـ المقدرة على النطاق العريض ـ عالية نسبياً بالنسبة لصفتي عدد العقد (٠,٥٥) ونشاط إنزيم النيتروجينيز (٠,٦٢)، ومنخفضة بالنسبة لصفة وزن العقد الجذرية (٠,٣٩) (Miller وآخرون ١٩٨٦).

٦ ـ وجد في إحدى الدراسات على الفاصوليا أن الصنف Canyon كان أقلها قدرة على تثبيت الآزوت، بينما كان الصنف Viva Pink أكثرها قدرة؛ علماً بأن الصنف الأخير يدخل في خلفيته الوراثية السلالة المكسيكية P.I. 203958 ذات القدرة العالية على تثبيت آزوت الهواء الجوي، وكان قد انتخب تحت ظروف استخدمت فيها مستويات منخفضة من الآزوت المضاف (عن Silberngael ١٩٨٦).

التباين في مدى كفاءة بكتيريا العقد الجذرية على المعيشة التعاونية

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

طبيعة القدرة على المعيشة تعاونيا مع بكتريا العقد الجذرية

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

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 إلى الآن.

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