الكائنات الدقيقة في الزراعة

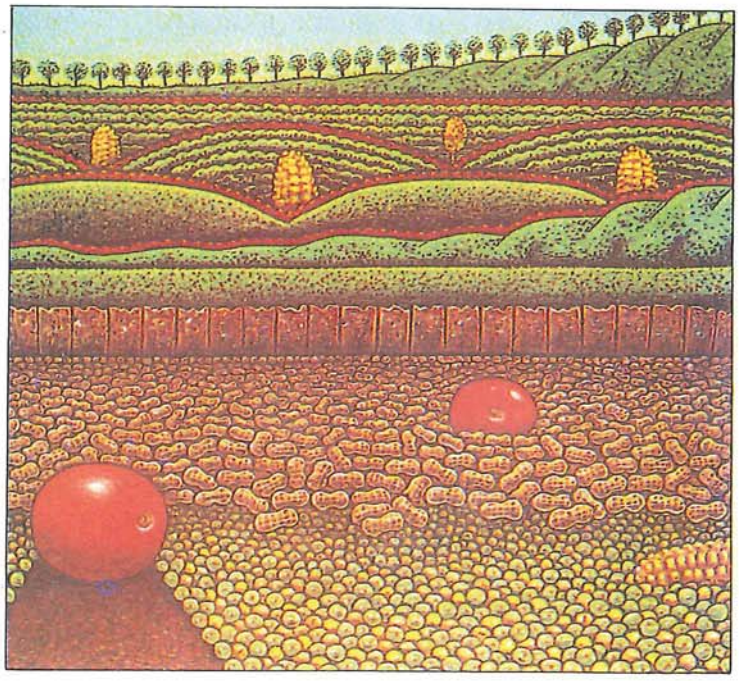
إعداد / د. عبد الله الصالح الخليل
د. يوسف حسن يوسف

إن الطلب المتزايد على المحاصيل الزراعية في عالم اليوم ومواكبة ذلك بالبحث عن الحلول الناجحة يواجه العلماء بتحد كبير . ويمكن أن تلعب الكائنات الدقيقة دوراً كبيراً في الإسهام في سد ذلك الطلب وذلك بزيادة خصوبة التربة وتحسين خواصها الطبعية ومقاومة آفاتها . ويعلم الكثيرون أن هناك أنواعا من البكتيريا تقوم بتثبيت النتروجين الجوي كمصدر رخيص لايكاد ينضب ، وهناك أنواع أخرى من الكائنات الحية الدقيقة يمكنها توفير أو المساعدة في توفير عناصر غذائية أخرى، مثل الفوسفور والكبريت والحديد والخارصين (الزنك) والموليبدونم وغيرها للنبات . لذلك فإن الكائنات الحية الدقيقة تسهم مساهمة فعالة في زيادة الإنتاج الزراعي موفرة مبالغ طائلة وجهداً كبيراً، وعلى سبيل المثال تنفق الولايات المتحدة الأمريكية حوالي بليون دولار سنوياً لتوفير سماد النيتروجين لمحصول الذرة الشامية ، إضافة إلى ذلك فإن عمليات تصنيع هذا السماد تكلف طاقة هائلة .

مما سبق تتضح أهمية وضرورة الاهتمام بالبحوث المتعلقة بالكائنات الدقيقة في البيئة الزراعية في سبيل رفع قدرة الإنتاج بتكلفة أقل .

دور الكائنات الدقيقة

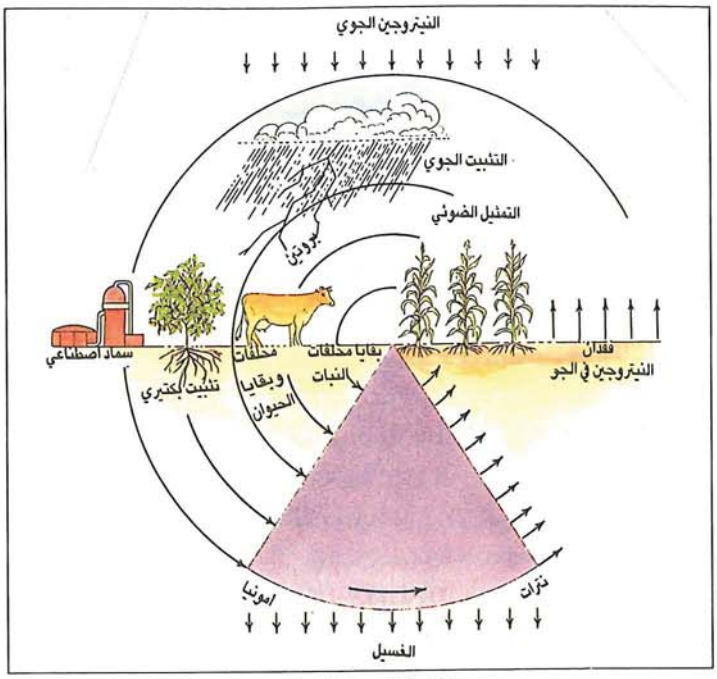
لم يكن اكتشاف دور الكائنات الدقيقة في الزراعة وليد اليوم ، فقد عرف قدماء الرومان أن محاصيل البقول مثل اللوبيا والبرسيم والفول السوداني وفول الصويا وغيرها تزيد من خصوبة التربة ، وقد اتبع الرومان طريقة إضافة جزء من التربة التي تمت زراعتها من قبل بالبقوليات إلى الأراضي التي ستزرع بتلك المحاصيل لزيادة غلتها. ولم يدر الرومان آنذاك إنهم بعملهم هذا أضافوا بكتيريا الرايزوبيوم (Rhizobium) التي تهاجم جذور النباتات البقولية في علاقة تكافلية (Symbiosis) ينجم عنها تثبيت النيتروجين الجوي وامتصاصه بوساطة النبات. وقد لاحظ الرومان أن هذه العملية نجم عنها ظهور عُقَد على جذور النبات أدت إلى زيادة إنتاجه ،كما لاحظوا أيضا زيادة إنتاج المحاصيل غير البقولية التي تمت زراعتها في نفس الأرض التي زرعت بالمحاصيل البقولية ، وبذلك أدخلوا نظاماً جديداً للدورة الزراعية بحيث تلي زراعة البقول زراعة محاصيل غير بقولية ، ونتيجة لذلك عرف الرومان الدورة الكاملة للنيتروجين في الطبيعة، شكل (١) .



عزل واستخدام الكائنات الدقيقة

قام العالم الألماني **هيرمان هيلجرل** (Herman Hellriegel) عام ١٨٨٨م ولأول مرة بعزل بكتيريا الرايزبيوم (Rhizobium) ، وتبع ذلك بعد خمسة عشر عاماً إكتشاف طريقة إضافة تلك البكتيريا للتربة الزراعية لتصبح منذ ذلك الوقت الطريقة المتبعة لتثبيت النيتروجين في التربة . هذا وتوجد عدة سلالات من هذه البكتيريا معبأة في عبوات مختلفة مع بيئة نموها المناسبة .

تطورت بعد ذلك الأبحاث فعرف العلماء أنواعاً أخرى من الكائنات الدقيقة وطريقة عملها في التربة وقاموا بعزل أنواعها واستنبطوا منها سلالات عدة لأغراض مختلفة . وفي مجال إدخال تقنية الكائنات الدقيقة في الزراعة ، اتبع العلماء عدة طرق لتحسين الإنتاج النباتي تختلف فيما بينها حسب الغرض الذي تستخدم من أجله ، ويمكن إبراز بعضاً من تلك الطرق فيما يلي :-



● شكل (١) دورة النيتروجين .

١ـ إستزراع كائنات دقيقة ذات أهمية خاصة لنبات معين في أحواض تخمير ليتم نقلها بعد ذلك إلى التربة .

٢ـ عزل خلايا معينة من النبات وزراعتها في وسط غذائي وذلك لإنتاج سلالات محسنة لايمكن إنتاجها بطرق التهجين والتربية العادية في سبيل رفع قدرتها للإستفادة من الكائنات الدقيقة .

٣ـ إضافة مورث جديد لخلايا النبات سواء من نبات آخر أو بكتيريا وذلك باستخدام الهندسة الوراثية ، ويمكن أيضا إضافة مورث من خلايا النبات إلى بكتيريا ثم استزراعها لإكثارها في أحواض تخمير .

العلاقة التكافلية

تتم العلاقة التكافلية التي تجمع بين بكتيريا من جنس رايزوبيوم المثبتة للنيتروجين ونبات من العائلة البقولية (البرسيم مثلاً) وفقاً لمرحلتين رئيستين هما : ـ

أولا: الإصابة بالبكتيريا

تتم الإصابة بالبكتيريا وفقا للخطوات التالية :ـ

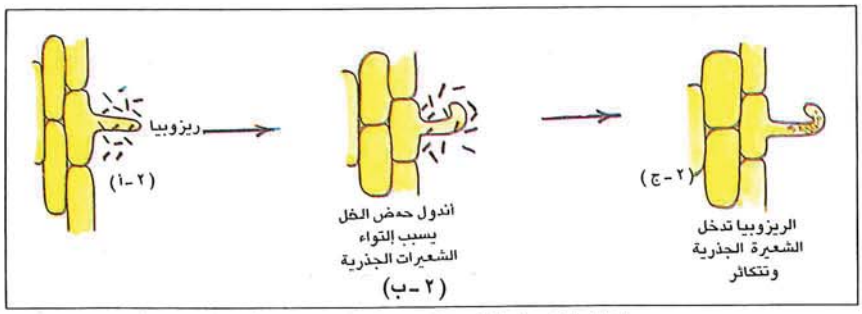
١ـ يحدث إنجذاب بين الرايزوبيوم وجذور النبات البقولي (شكل ٢ـ أ) وهذا الإنجذاب هو في حقيقة الأمر إنجذاب كيميائي ، حيث تفرز جذور النبات البقولي مادة عضوية تعرف بالكتين (بروتين)، فإذا حدث توافق بين هذه المادة ونوعية السكر الموجود على سطح جدار الخلية البكتيرية فإن الإلتصاق يتم بين البكتيريا والشعيرات الجذرية للنبات البقولي .

٢ـ يحدث التواء للشعيرات الجذرية نتيجة فعل هرمون IAA (إندول حمض الخل) (شكل ٢ ـ ب) . ويتكون ثقب في الجدار الخلوي للشعيرة الجذرية فتدخل البكتيريا من هذا الثقب مكونة ما يعرف بخيط الإصابة (العدوى) وتتكاثر داخل القشرة دون الولوج إلى سيتوبلازم خلايا الجذر (شكل ٢ ـ ج) .

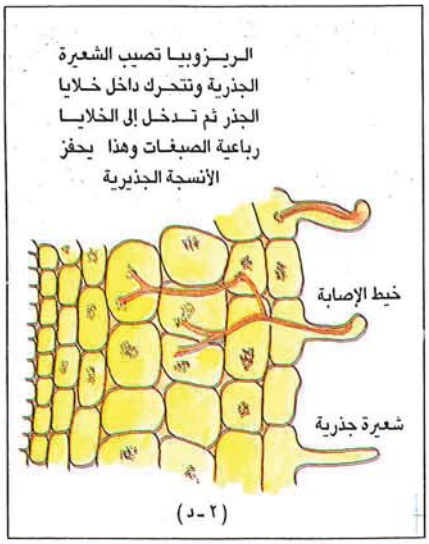
٣ ـ تنشط خلايا الجذر المصاب وتنقسم حاملة خلايا البكتيريا الجديده (شكل٢ـ د). تتكون العقد من الانقسام الغزير لخلايا النبات ومن تضخم الخلايا، كما أن الخلايا المجاورة تكبر في الحجم وتنشط في الإنقسام، ويعلل إنقسام الخلايا المجاورة توفر هرمون الهتروأوكسين (Heteroauxin) حيث يساهم في زيادة نشاط خلايا العائل . وقد لوحظ أن عدد الكروموسومات في الخلايا الموجودة في وسط العقدة تحتوي على ضعف عدد الكروموسومات الموجودة أصلاً في خلايا النبات العادي . وقد يعزى هذا الازدياد في عدد الكروموسومات إلى تحفيز البكتيريا لهذه الخلايا نتيجة ملامستها لها أو اقترابها منها ، ويلاحظ في هذه الخطوه أن نصف العقد خالية من البكتيريا وتسمى بالنصف العقيم بينما يمثل النصف الآخر بعقد ناضجة توجد فيها بكتيريا على هيئة حروف مثل [T, L, Y, X, V] ، ويسمى هذا الطور بالبكتروويد (Bacteroid) حيث تتم فيه عملية تثبيت النتروجين الجوي نظراً لأن البكتيريا في هذا الطور تنتج إنزيم النيتروجينيز الذي له القدرة على اختزال النيتروجين إلى أمونيا .

● **فاعلية إنزيم النيتروجينيز**

يفقد أنزيم النيتروجينيز فاعليته عند تعرضه للأكسجين ولذا فإن كثيراً من



● شكل (٢) مراحل الإصابة وتطور العقد البكتيرية .



الأحياء الدقيقة الهوائية لها نظام تتفادى فيه تأثير الأكسجين على الإنزيم ، حيث تقوم بزيادة معدل تنفسها لتخفيض كمية الأكسجين ، بينما يلجأ البعض الآخر إلى تركيبة خاصة ذات جدار سميك يقلل من نفاذية الأكسجين ، وتتم في هذه التركيبة عملية تثبيت النتروجين كما هو الحال بالنسبة للحويصلات في الطحالب الخضراء المزرقة، أما بالنسبة لبكتيريا الرايزوبيوم التي تكوِّن عقد بكتيرية مع بعض النباتات البقوليَة فإنها تتبع آليتين للتكيف مع تأثير الأكسجين على إنزيم النتروجينيز . ففي الآلية الأولى يتم وضع حواجز طبعية داخل العقد نفسها ، ونظراً لحاجة هذه العقد لتيار عالٍ من الأكسجين حتى تنمو نمواً طبعياً فإنها تهيء لنفسها بروتيناً يشبه الهيموجلوبين في دم الإنسان يسمى ليجهيموجلوبين (leghemoglobin) نسبة إلى النباتات البقولية . ويسهل هذا المركب عملية نفاذية الأكسجين عند مستوى التركيز المنخفض . وهذه الطريقة تشبه إلى حد بعيد عملية نقل الأكسجين بوساطة الهيموجلوبين إلى العضلات في الحيوانات الثديية. وتساهم هذه الآلية في تقليل مستوى تركيز الأكسجين لكي يتعادل تركيزه بما هو موجود فعلاً في بقية التربة .

وفي الآلية الثانية تقوم بعض أنواع البكتيريا التي تعيش حرة بتثبيت النيتروجين في الظروف اللاهوائية فقط وذلك لأنه ليس لديها طريقة لحماية إنزيم النتروجينيز من الأكسجين .

ثانياً : تبادل المنفعة

تظهر في هذه المرحله المعيشة التكافلية أو معيشة تبادل المنفعة (Symbiosis)حيث تمد البكتيريا النبات بالمواد النتروجينية المثبتة ويمدها النبات بالمواد الكربوهيدراتية. ويمكن أن تتحول البكتيريا النافعة للنبات إلى بكتيريا ضارة بعد حوالي سبعة أسابيع من تكوُّن العقد البكتيرية إذا إنخفضت عملية البناء الضوئي حيث تفرز البكتيريا إنزيما يحلل جدر خلايا النبات وتتحرر البكتيريا إلى التربة .

إنتاج السماد الحيوي

تم تطبيق بعض التقنيات الحيوية على الأحياء الدقيقة للإستفادة منها في إنتاج سماد حيوي يستخدم في الزراعة ، ويمكن إبراز ما تم القيام به في هذا المجال فيما يلي :-

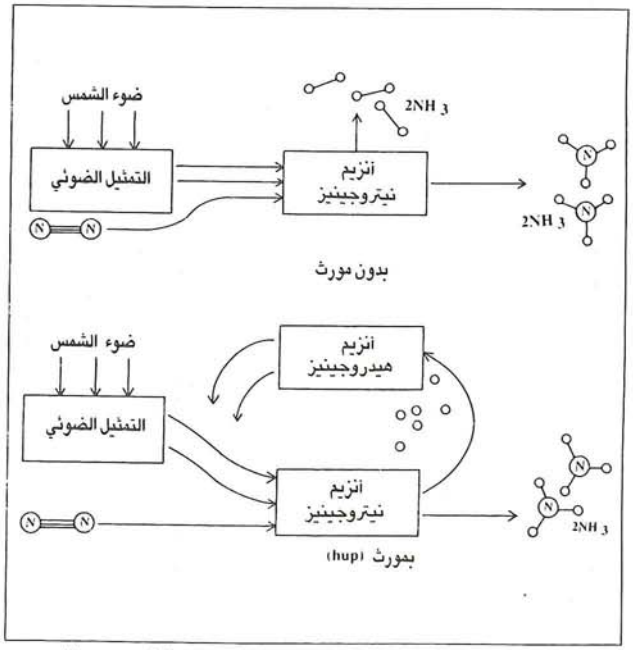
١ـ إستنباط سلالات نباتية جديدة محسنة عن طريق التربية والإنتخاب يمكنها مضاعفة معدلات تمثيلها الضوئي وتمكين البكتيريا من زيادة قدرتها في تثبيت مزيد من النيتروجين الجوي . كذلك تتجه الجهود إلى استنباط سلالات من البكتيريا تناسب نوع المحصول المعين الذي تمت عملية تطوير كفاءته الإنتاجية عن طريق التمثيل الضوئي .

٢ـ إستخدام طرق الإشعاع إما لتغيير الصفات الوراثية للبكتيريا لاستنباط سلالات من بكتيريا ذات كفاءة عالية في تثبيت النيتروجين الجوي ، وإما لتغيير الصفات الوراثية للنبات لاستنباط سلالات نبات يمكنها أن تكون أكثر كفاءة في تثبيت النيتروجين الجوي .

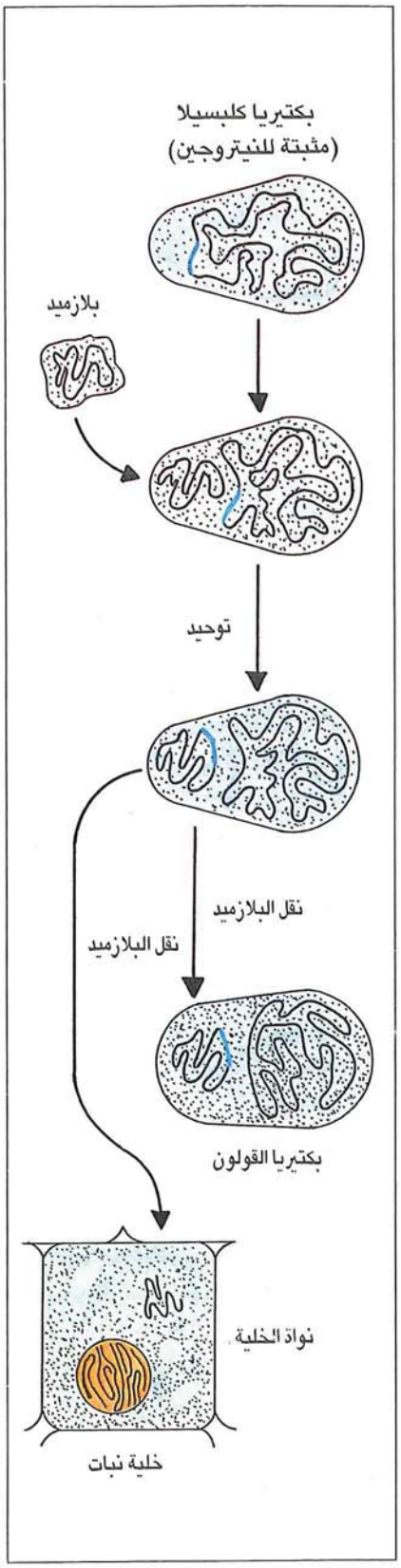
٣ـ إستخدام الهندسة الوراثية لزيادة كفاءة تحويل النيتروجين الجوي إلى أمونيا ثم امتصاص النبات لها بالطرق المختلفة، ويحدث ذلك عند إضافة المورث المسؤول عن تصنيع أنزيم الهيدروجنيز (Hydrogenase) الذي يضاعف الطاقة المنتجة للإلكترونات المسؤولة عن تحويل النيتروجين الجوي إلى أمونيا وذلك في وجود إنزيم النتروجينيز (Nitrogenase) ، ويوضح الشكل (٣)، أن المورث (hup) قد ساعد في تحويل كميات أكبر من النيتروجين الجوي إلى غاز الأمونيا بإنتاجه إنزيم الهيدروجنيز مما جعل التفاعل يتجه لإنتاج مزيد من غاز الأمونيا .

٤ـ عزل المورثات وتنظيمها في بلازميدات ونقل هذه البلازميدات الى كائنات دقيقة أخرى ،فقد تم في جامعة ساسيكس بإنجلترا عزل سبعة عشر مورثاً من المورثات المسؤولة عن تثبيت النيتروجين الجوي من بكتيريا الكلبسيلا (Klebsiella pneumoniae) ومن ثم تنظيمها جميعاً في بلازميد واحد . وقد قام العلماء بعد ذلك بنقل هذا البلازميد إلى بكتيريا القولون مما جعلها تتجه لتثبيت النيتروجين الجوي للمحاصيل النجيلية ، شكل (٤) .

٥ـ تشير الدرسات بجامعة كورنيل بالولايات المتحدة الأمريكية ومعهد باستير بفرنسا إلى نجاح نقل مورثات بكتيريا الكلبسيلا السبعة عشر المسؤولة عن تثبيت النيتروجين إلى الخميرة ، شكل (٥) ، إلا أن تلك الدراسات قد فشلت في جعل خلايا الخميرة تحمل صفات تثبيت النيتروجين المعروفة وذلك لأسباب تتعلق بالهندسة الوراثية ، إذ لابد من نقل المورث كاملاً إلى مكانه المخصص في البلازميد الجديد ، كما يجب أن تعمل الأجزاء البروتينية للسبعة عشر مورثاً سوياً في البلازميد الجديد ، ويحاول العلماء تذليل تلك الصعوبات



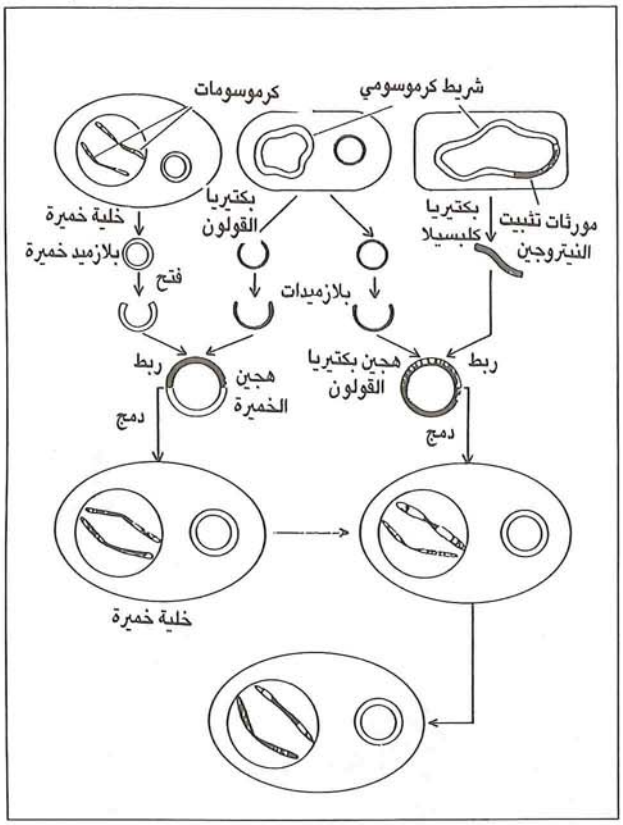
● شكل (٣) أثر إنزيم هيدروجينيز على كفاءة تثبيت النيتروجين الجوي.



● شكل (٤) عملية نقل بلازميد البكتيريا المثبتة للنيتروجين إلى النباتات النجيلية بوساطة بكتيريا القولون .

لإنتاج خميرة يمكن أن تكون مصدراً هاماً للسماد النيتروجيني .

٦ــ القيام بمحاولات جَعْل المحاصيل غير البقولية تتجه لتكوين علاقة تكافلية مع بعض أنواع البكتيريا المثبتة للنيتروجين الجوي ، وقد أظهرت بعض الدراسات باستراليا إمكان تكوين بكتيريا الفرانكيا (Frankia alni) عقداً جذرية (نتيجة تثبيت النيتروجين الجوي)مع نباتات غير بقولية مثل الأولدر (Alder) الذي ينمو في المناطق الرطبة ونباتات أخرى .



● شكل (٥) كيفية نقل مورث تثبيت النيتروجين الجوي إلى خلايا الخميرة .

٧ــ توجد أنواع من البكتيريا يمكنها تثبيت النيتروجين الجوي دون تكوين عقد جذرية مع النبات. وعلى سبيل المثال فإن بكتيريا الازوتوباكتر (Azotobacter vinelandic) يمكنها تحويل النيتروجين الجوي إلى أمونيا ، وبما أن هذه البكتيريا يمكنها إنتاج كمية من الأمونيا فإن الجهود تتجه نحو عزل سلالة أو سلالات من هذه البكتيريا يمكنها إنتاج كمية من الأمونيا أكثر من حاجتها للإستفادة منها في تسميد الذرة الشامية بسماد النيتروجين . كذلك هناك أبحاث لفصل أحد مورثات هذه البكتيريا لإنتاج سلالة يمكنها الإلتصاق بجذور الذرة الشامية وبالتالي تثبيت النيتروجين الجوي حولها . ومن جانب آخر فإن البحوث تتجه أيضاً إلى استنباط سلالات من الذرة الشامية يمكنها أن تلبي إحتياجات البكتيريا من الطاقة اللازمة لتحويل النيتروجين الجوي إلى أمونيا ، وقد تم بالفعل استنباط سلالة من الذرة الشامية أمكنها أخذ ١٪ من احتياجها من النيتروجين من علاقتها التكافلية مع البكتيريا .

٨ ـ لاتقتصر فائدة الكائنات الدقيقة على مد النبات بالنيتروجين ، فقد أشارت بعض الأبحاث إلى دور بكتيريا السودوموناس(Pseudomonas putida) في زيادة إنتاج الشمندر السكري والبطاطس عن طريق إذابتها لعنصر الحديد وتمكين تلك النباتات من إمتصاصه، كما أن فطر الجذر (الميكورايزا) يمكنه تكوين علاقة تكافلية مع جذور بعض النباتات يوفر فيها للنبات بعض العناصر الغذائية (الفسفور مثلاً) والماء .

خلاصة القول أن هناك مجالا واسعا لاستخدام الكائنات الدقيقة في زيادة الإنتاج النباتي كماً وكيفاً ، وأن جهود العلماء متصلة لتذليل كافة المعوقات التي تقف حجر عثرة في سبيل ذلك .

المصدر :

1- WINSTON J. BRILL 1980 SCIENTIFIC AMERICAN P. 199 - 215 .

2- HARDLY W.F 1979 Year Book of Science & Future P225 - 247 .