الطحالب الخضراء المزرقة المثبتة للآزوت الجوّى ودورها فى نموّ وإنتاج محصول الأرز

للدكتور أمين الحسينى النواوى

يعتبر محصول الأرز أحد المحاصيل الزراعية الرئيسية فى الجمهورية العربية المتحدة ، خاصة وأنه من المحاصيل الصالحة للتصدير إلى الخارج بعد تدبير الكميات اللازمة منه للاستهلاك المحلى . وسوف تتزايد المساحة المزروعة منه على مياه السد العالى بحيث تصل إلى أكثر من مليون فدان سنوياً . ويحتاج نبات الأرز إلى التسميد بكميات كبيرة من الأسمدة الآزوتية تصل إلى ٣٠ كجم آزوت للفدان فى صورة سلفات أمونيوم ، أى أن كمية الأسمدة الآزوتية اللازمة لمساحة مليون فدان أرز تصل قيمتها إلى أكثر من ٤,٥ مليون جنيه سنوياً . ومن هنا فإن أية محاولة جدية لتوفير جزء من السماد الآزوتى مع الحصول على إنتاج عال من الأرز تعنى توفير مبالغ كبيرة فى تكاليف الإنتاج الزراعى قد تصل إلى أكثر من مليون جنيه سنوياً .

وبناء على ذلك اهتمت مراقبة بحوث الميكروبيولوجيا الزراعية بوزارة الزراعة منذ أكثر من عشر سنوات بالبدء فى عمل برنامج لدراسة بحوث ترتبط بالاستفادة من بعض الطحالب الخضراء المزرقة التى يمكن أن تنمو فى حقول الأرز والتى يكون لها القدرة على تثبيت الآزوت الجوى . وكان المستهدف من هذا هو الوصول إلى المساهمة جزئيا فى تخفيض تكاليف تسميد الأرز بالأسمدة الكيماوية ، وقد سبقنا إلى ذلك بعض الدول التى تهتم بزراعة الأرز ، ومنها أندونيسيا واليابان .

ومن المعروف أن تحويل النيتروجين الموجود فى الجو إلى صورة عضوية بواسطة الكائنات التى تقوم بعملية التمثيل الضوئى ، يعتبر أفضل وسيلة مباشرة للاستفادة من الطاقة الشمسية لزيادة الكمية المستفادة من النيتروجين فى سبيل

● الدكتور أمين الحسينى النواوى : مدير قسم بحوث ميكروبيولوجيا المتخلفات الزراعية ، بوزارة الزراعة .

تكوين الغذاء . وقد ظهر حديثا أن هناك مجموعة من كائنات التربة ، وهي مجموعة الطحالب الخضراء المزرقة ، التي إذا أتيح لها النمو تحت الظروف المناسبة تكون لها القدرة الكبيرة على تثبيت آزوت الهواء الجوى فى خلاياها ، وبالتالى إفادة التربة والنبات بعد انحلالها .

ولم تدرس الأهمية النسبية لمجموعات الطحالب فى الأراضى المختلفة بتوسع حتى الآن ، وقد ذكر Fenton (١٩٤٣) أن الطحالب الخضراء والدياتومات تكون أكثر انتشارا من الطحالب الخضراء المزرقة فى أراضى المناطق المعتدلة، وربما تقل الأخيرة بدرجة كبيرة فى الأراضى الفقيرة ، أما فى أراضى المناطق الحارة فيظهر أن الطحالب الخضراء المزرقة هى السائدة ، وقد أثبت Lund (١٩٤٦) أن الطحالب عموما يكثر انتشارها بالأراضى الخصبة الغنية بالفوسفات والآزوتات ، بينما يقل انتشارها بالأراضى الخصبة وغير الخصبة .

ويجدر الإشارة هنا إلى أن أهمية الطحالب عموما فى التربة تعود إلى مايلى :

(١) كونها مصدرا للمادة العضوية فى التربة . (٢) مساهمتها فى ربط حبيبات الطبقات السطحية للتربة . (٣) العمل على تحسين التهوية الأرضية . (٤) قدرة بعضها على تثبيت آزوت الهواء الجوى .

وتوجد الطحالب الخضراء المزرقة ، وكذا الطحالب الخضراء والدياتومات وغيرها من ميكروبات التربة فى صورة خليط متوازن ، حيث يكون كل منها مع الكائنات الأخرى علاقة تعاونية أو مضادة فى سبيل الحصول على الغذاء الصالح، ويستمر الخليط على حالته مادامت الظروف البيئية ثابتة تقريباً ، غير أنه يتغير بتغير هذه الظروف، كإضافة متخلفات نباتية أو أسمدة عضوية مثلا إلى التربة . وفى هذا المجال وجد Stokes (١٩٤٠) فى تجارب أجريت بالصوبة والحقل أن المعاملات التى سمدت بسماد الإسطبل والمواد المعدنية حوت طحالب أقل فى العدد مما احتوته المعاملات التى تركت بدون تسميد، أو التى نالت مواد معدنية وآزوت فى صورة سلفات نشادر، ولم تكن هناك اختلافات واضحة من المعاملتين الأخيرتين. كما وجد — فى حالة وجود الضوء — أن إضافة المواد العضوية تؤدى إلى توقف

نمو الطحالب كليا أو جزئيا، وعلى الأخص خلال فترة نشاط ميكروبات الانحلال من بكتريا وأكتينوميسيتس . ويتوقف مدى هذا التأثير بالطبع على نوع المواد العضوية المضافة ، ويظهر أن ذلك يرجع إلى التنافس بين الميكروبات على العناصر الغذائية الأساسية ، وفى الأغلب عنصر الآزوت ، وربما باقى العناصر التى تستخدمها البكتريا والأكتينوميسيتس بصورة أسرع من الطحالب ، كما يظهر أن ذلك يرجع أيضا إلى عوامل أخرى كعدم ملاءمة بعض أنواع معينة من المركبات العضوية ، ونقص الأوكسجين ، وتواجد المضادات . هذا ، ويبدأ نمو الطحالب سريعا عقب انتهاء فترة النشاط الميكروبى وموت البكتريا والأكتينوميسيتس ، أما فى حالة غياب الضوء فإن نمو الطحالب — وهى فى قدرتها المعيشية هيتروتروفيا حتى فى وجود أنواع مختلفة من المركبات العضوية — يقف بتأثير عاملين محددين : الأول : هو التنافس بين الميكروبات المختلفة على المواد الغذائية الأساسية ، والثانى : هو عدم توفر الغذاء الصالح مادامت الطحالب تعجز جزئيا أو كليا عن الاستفادة بالمواد العضوية أو نواتج انحلالها . وقد تفشل الطحالب فى التكاثر بعد هبوط أعداد البكتريا والأكتينوميسيتس وذلك بسبب استمرار عدم توفر الغذاء الصالح.

بعض ما تتميز به الطحالب الخضراء المزرقة :

تقع الطحالب الخضراء المزرقة فى رتبة Myxophyceae التابع لقسم Cyanophyta وتعتبر صورة فريدة من صور الحياة ، حيث يختلف تركيبها الخلوى من نواحى كثيرة عن مثيله فى غيرها من الكائنات .

ويوجد منها أنواع وحيدة الخلية ، وأخرى خيطية ذات غلاف Sheath وأخرى خيطية غير مغلفة . ويتركب الخيط (Filament) من مجموعة من الخلايا المتجاورة تسمى شعيرة (Trichome) تحاط من الخارج بجدار تختلف درجة سمكه ودرجة اتصاله بالشعيرة من جنس لآخر . وكل خيط قد يحتوى شعيرة واحدة أو أكثر . وعادة ماتكون الشعيرة غير متفرعة أو مستقيمة أو منحنية بانتظام، وقليلا ماتكون متفرعة كما هو الحال فى جنس Nostochopsis . وعندما يكون هناك أكثر من شعيرة وأحدة داخل الغلاف يظهر تفرع كاذب False branching كما هو الحال فى Tolypothrix .

جدار الخلية : يتكون جدار الخلية فى الأنواع الخيطية من طبقتين : الأولى داخلية، وهى رقيقة تحيط البلازما، وتتكون من السيليلوز وبعض المواد الأخرى، أما الخارجية فأسمك وذات مظهر جيلاتينى ، وهى أساس تكوين الغلاف الذى يعتبر من الجدر الحرة ، أى غير المتصلة بجدرا ، خلايا مجاورة ، وهو يتركب من البكتين .

ويتركب بروتوبلاست الخلية من جزأين :

(ا) الخارجى الملون (Chromoplasm) Pigmented outer portion.

(ب) الداخلى غير الملون ، وهو الجسم الأوسط Central body.

وتتميز الطحالب الخضراء المزرقة عن غيرها فى عدم وجود فاصل محدد بين الكروموبلازم وباقى البروتوبلازم . ويحتوى الكروموبلازم فى الخلية عادة على خليط من بعض المواد الملونة ، فالكروموبلازم ذو تركيب رقيق ينغمس فيه بعض حبيبات سطحية أو بأشكال غير منتظمة وموزعة بغير انتظام فى بعض الأنواع أو بانتظام دقيق فى البعض الآخر مما يمكن الاستفادة على أساسه فى التقسيم، وأغلب هذه المواد مواد غذائية مخزنة بدليل اختفائها كلها أو جزء كبير منها فى أثناء مراحل النمو السريع أو عند الحفظ بعيدا عن الضوء ، والبعض يعتقد أنها حبيبات جيليكوجين، ولكن الشواهد تدل على أنها ترتبط كثيرا بالنشا ، ويطلق عليها Cyanophycean starch ، كما توجد بعض أجسام بروتينية التركيب أيضا .

ويختلف توزيع وتركيز أنواع هذه الصبغات فى الأنواع المختلفة ، كما قد يتدخل فى لون الطحلب خلاف ذلك الألوان الموجودة فى الغلاف الجيلاتينى لمجموعة الخلايا ، أما الجزء الوسطى غير الملون فيمكن اعتباره Central body كنواة بدون غشاء نووى محدد وبدون نوية داخلية . وهناك نظريات مختلفة فى طبيعة هذا الجزء وبعضها يقول بأنه ماهو إلا مواد نووية من حيث التركيب .

خلايا Heterocysts : من بين مجموعة الطحالب الخضراء المزرقة أنواع يتكون بها بعض الخلايا التى تتميز بمحتوياتها الشفافة التى توجد بحالة وسطية أو طرفية ، وتسمى Heterocysts وهى ، وإن كان لم يعرف بعد الحكمة فى

تواجدها ، فإنها تتكون من تحول Metamorphosis بعض الخلايا الخضرية الحديثة التكوين ، حيث يبدأ تكوينها بنشوء جدار داخلي إضافي يحيط بالخلية ، وبه ثقب أو أكثر ، ثم يصبح البروتوبلاست شفافا ، وذلك لايرجع إلى خلوه من مكوناته بل إلى تحوله إلى مواد متجانسة غروية ، وهذه الصفة الخلوية تتميز بها الأنواع المثبتة الآزوت الجوى فى Myxophyceae ، وعلى أساس موقع هذه الخلية داخل Trichome يتحدد تقسيم الأجناس .

الفراغات الغازية Pseudovacuoles : هذه الفراغات الغازية الكاذبة تظهر تحت الميكروسكوب كأجسام معتمة كبيرة . ومن الصعب فى بعض الأنواع الفصل بينها وبين الجسم الأوسط أو الكروموبلازم . وقد يظهر لون مائل للاحمرار لمجرد انعكاس الضوء Refraction phenomenon ، ودلت التجارب على أن التفريغ أو الضغط يسبب اختفاء هذه الفراغات ، مما يشير إلى أنها ممتلئة بالغازات ، فى حين أنها تزداد وضوحاً بتعريض الطحلب لنقص فى الهواء ، كما هو الحال عند تواجده فى قاع البحيرة مثلا ، وهو مايعمل على خفة وزنه وصعوده إلى سطح الماء .

التكاثر الخضرى : فى الأنواع الخيطية يلاحظ أن الشعيرة يمكن من الناحية النظرية أن تستمر فى الاستطالة إلى مالا نهاية نتيجة لتجدد الخلايا ، ولكن تحت الظروف العادية ينكسر الخيط ، إما نتيجة لفعل ميكانيكى أو نتيجة لموت بعض الخلايا داخل الخيط أو لوجود ضعف فى الجدر المرابطة للخلايا ، وهذه الحالة تحدث على وجه الخصوص فى الأجناس التى تتكون بها الـ Heterocysts فيحدث الانفصال فى المنطقة بين الخلية الخضرية وخلية الـ Heterocyst . ونتيجة لهذا الانفصال تتكون خيوط صغيرة منفصلة مكونة من خليتين أو أكثر تسمى Hormogonium وهذه تبدأ فى النمو مكونة خلايا جديدة وخيطا جديدا ، وهكذا .

تكوين الجراثيم : يحدث أحيانا أثناء المراحل الأخيرة لنمو الطحلب زيادة فى حجم بعض خلاياه مع تخزين بعض المواد الغذائية وازدياد جدر الخلايا سمكا مكونة ما يطلق عليه الجراثيم الساكنة أو Akinetes . وغالبا ما تكون منفردة أو فى ازدواج ، وتقع بجوار الخلايا الـ Heterocysts أو أقرب ما يكون منها .

الحركة : تتحرك خيوط الطحلب ، إما حركة أمامية أو خلفية مستقيمة أو حلزونية فى شكل حلزونى ، ويؤثر فى هذه الحركة عدة عوامل ، فشدة الضوء تساعد على سرعتها ، وارتفاع الحرارة من صفر إلى ٣٠°م يسبب عادة مضاعفة السرعة لكل عشر درجات مئوية ، هذا وتبدأ الحركة عادة من الخلايا الطرفية وإن كان من الممكن أن تبدأ من وسط الشعيرة .

وبعد هذا العرض السريع يمكن القول بأن طائفة الـ Myxophyceae تنفرد ببعض الصفات التى تتلخص فيما يلى :

(١) المواد الملونة ليست مركزة فى الـ Chromatophores .

(٢) المواد الملونة الموجودة بها هى :

Chlorophyll a — Carotene B — Xanthophylls : Myxoxanthin & Myxoxanthophyl — Phycobilins : Phycoerythrine (red pigment) & Phycocyanin (blue)

(٣) الخلايا ليس بها أى نواة محددة . بل يوجد ما يسمى بالجسم الوسطى .

(٤) المادة الغذائية المخزنة الرئيسية هى مادة كربوئيدراتية تسمى Cyanophycean starch .

(٥) لا يعرف لها تكاثر جنسى .

(٦) لا توجد بها فلاجلات على الإطلاق .

أجناس الطحلب المثبتة الآزوت الهواء الجوى :

يشمل قسم (Division) **Cyanophyta** : طائفة (Class) **Myxophyceae** : ثلاث رتب من حيث التقسيم الذى اتبعه Smith (١٩٥٠) وهى

رتبة **Chrocoales** ورتبة **Chamaesiphonales** ورتبة **Oscillatoriales** .

ولا تعرف أجناس تثبيت الآزوت الجوى تتبع الرتبتين الأولى والثانية .

أما الرتبة الثالثة فيقع تحتها تحت رتبتين (Sub-Orders) هما :

تحت رتبة Oscillatoriaceae ، وتحت رتبة Nostochineae .

وتقع تحت الأخيرة ثلاث عائلات تتبعها أجناس مختلفة لتثبيت الآزوت الجوى ، وهذه العائلات وما يدخل تحتها من الأجناس والأنواع مبينة فيما يلى :

١ — عائلة Family Nostocaceae ، ويقع تحتها الأجناس الآتية :

(ا) الجنس Genus Anabaena ، ويقع تحته الأنواع الآتية :

Anabaena ambigua, A. Gylindrica, A. fertilissima, A. gelatinosa, A. humicola, A. naviceloides, A. spiroides

(ب) الجنس Genus Aulosira ويقع تحته النوع A. fertilissima

(ج) الجنس Genus Anabaenopsis ويقع تحته النوع A. circularis

(د) الجنس Genus Cylindrospermum ويقع تحته الأنواع الآتية :

C. gorakporense, C. licheniforme, C. mains, C. sphoerica

(هـ) الجنس الجنس Genus Nostoc ، ويقع تحته الأنواع الآتية :

N. paludosum, N. punctiforme, N. muscorum, N. spongioforme, N. commune.

٢ — عائلة Family Rivulariaceae ويقع تحتها الأجناس الآتية :

(ا) الجنس Genus Calothrix ويقع تحته النوعان C. brevissema, C. parietina

(ب) الجنس Genus Gloeotrichia ويقع تحته النوع G. ectinulata

٣ — عائلة Family Stigonemataceae ويقع تحتها الأجناس الآتية :

(ا) الجنس Genus Tolypothrix ويقع تحته الأنواع T. tenuis T. polymorpha, T. rivularis,

ب) الجنس Genus Hapalosiphon ويقع تحته النوع H. fontinalis

وسائل الحصول على مزارع نقية من الطحالب الخيطية :

تختلف وسائل الحصول على الطحالب الخيطية عن غيرها من الكائنات وحيدة الخلية ، وذلك فى صورة نقية ، حيث لا تصلح طريقة التخفيف والصب

فى الأطباق لعزلها من مجموعة أحياء خليطة . فمن المؤكد أن يشاركها فى النمو الكثير من الميكروبات . ولذلك فهناك وسائل مختلفة يستعملها الباحثون للحصول على أحد أنواع الطحالب الخيطية فى صورة نقية ، ومن أهمها ما يلى :

(١) النقل المتكرر لمزارع الطحالب على بيئة مغذية خالية من أى مصدر كربونى — وخالية أيضاً من عنصر الآزوت فى حالة الرغبة فى عزل الطحالب المثبتة لآزوت الهواء الجوى — مع محاولة أخذ النمو الطرفى لمزرعة الطحلب فى كل مرة ، ثم الفحص الميكروسكوبى باستمرار لحين النجاح فى الحصول على خيط من الطحلب الواحد بدون تلوث .

(٢) تعريض المزارع المختلطة لأشعة الضوء فوق البنفسجية لمدد وتركيزات مختلفة ، بحيث تقتل خلايا البكتريا والفطر ولا تؤثر فى خيوط الطحلب .

(٣) استخدام المضادات الحيوية أو مركبات السلفا أو الكلور النشط ، وذلك بتركيزات مختلفة حتى يمكن الحصول على تركيزات محددة قاتلة للبكتريا والفطر فقط .

(٤) استخدام مبيدات فطرية أو بكتيرية ذات تأثير متخصص ، وقليلة التأثير نسبيا على أنواع الطحالب .

(٥) معاملة المزارع السائلة الخليطة بالحرارة بحيث تصل درجة الحرارة إلى ٨٠°م لمدة عشر دقائق أو ٤٨°م لمدة ٣٠ دقيقة فى حالة وجود ميكروبات متجرثمة ملوثة .

أهم ما تتميز به الطحالب فى احتياجاتها الغذائية والبيئية :

(١) تحتاج إلى عنصر الكالسيوم كأحد العناصر الأساسية وليست النادرة ، ولا يمكن أن يحل الاسترنشيوم محل الكالسيوم كمصدر غذائى .

(٢) عنصر الموليبدينم عنصر هام ولازم لعملية تثبيت الآزوت الجوى ، ولا يمكن استبداله وتحتاج منه أضعاف الكمية اللازمة للطحالب الخضراء ، فعلى سبيل المثال فإن الطحلب الأخضر المزرق Anabaena يحتاج إلى ١٠ ميكروجرام / لتر بيئة ، بينما لا يحتاج الطحلب الأخضر Scendsmus إلى أكثر من ٠,١ ميكروجرام / لتر بيئة .

ويقل احتياج الطحلب الأخضر Scendsmus المزرق إلى المولبيدينم إذا سمح له بالنمو فى بيئة تحتوى أمونيا أو يوريا كمصدر للآزوت .

(٣) عنصر الكوبلت عنصر هام لأهميته فى تكوين اللون بجسم الطحالب ، وكذلك عنصر البورون .

(٤) ضرورة توافر عنصر الصوديوم بصرف النظر عن وجود البوتاسيوم فى البيئه .

(٥) وجود النيتروجين فى البيئة على صورة نترات لا يؤثر على عملية التثبيت بعكس الحالة مع الآزوتوباكتر ، ولكن وجوده على صورة أمونيا أو يوريا يضعف من التثبيت لدرجة كبيرة أو يوقفها . وعلى العكس فإن بعض الطحالب الخضراء مثل Scendsmus المعروفة بشراهتها للآزوت يمكنها امتصاص ما يعادل ٧٨٠ رطل للفدان فى الشهر ، أى ما يعادل ٣٧٠٠ رطل سلفات أمونيوم .

(٦) نظراً لأن الطحالب هوائية فيمكن تنميتها فى مزارع سطحية ذات طبقة رقيقة من حجم البيئة ، أو فى مزارع مغمورة مع الرج وإمرار تيار من الهواء بمعدل معين .

(٧) تفضل الطحالب درجات حرارة عالية وإن كانت تقاوم التقلبات الجوية لدرجة كبيرة ، وأغلبها يفضل النمو على درجة ٣٥°م — ٤٠°م . وهناك بعض أنواع تنمو على درجات أعلى من ذلك .

(٨) تفضل الطحالب النمو على درجة pH تميل إلى القلوية الخفيفة (ما بين ٧ — ٩) ، ويبدأ النمو فى التأثر إذا انخفض عن أقل من ٦,٥ ، ويعتبر pH ٤ هو الحد الأدنى للنمو .

(٩) تتحمل الطحالب المثبتة للآزوت الجوى درجة كبيرة نسبيا من الملوحة (رغم أنه لم يعزل حتى الآن أى منها من مياه البحر) ، فبعضها يتحمل وجود كلوريد الصوديوم بنسبة ١,٥٪ ويتأثر قليلا إذا ارتفع التركيز إلى ٢٪ .

وأخيرا فيمكن القول بأن أهم الظروف التى تشجع الطحالب فى عملية تثبيت

الآزوت هى ما يأتى : (١) أن تكون خلايا الطحالب فى طور نمو نشط لأنه لا يحدث تثبيت للآزوت فى الأطوار الكامنة . (٢) قلة وجود نيتروجين متحد . (٣) وجود المولبيدنم . (٤) توافر وسط قلوى خفيف .

مدى انتشار الطحالب الخضراء المزرقة والمثبتة للآزوت الجوى فى التربة:

رغم انتشار الطحالب الخضراء المزرقة فى التربة بكميات كبيرة إلا أنه يبدو أن الأنواع المثبتة للآزوت الجوى ليست كثيرة ، فقد جمع Watanabe (١٩٦٢) ٨٥١ عينة من أراضى الأرز من جهات مختلفة فى جنوب وشرقى آسيا بحثا عن أنواع الطحالب المثبتة للآزوت الجوى ، ولم يجد من بينها سوى ٣٣ عينة تشمل ١٦ نوعا من الطحالب لها هذه المقدرة . وهذه الأنواع تتبع الأجناس :

Shizothrix, Nostoc, Tolypothrix, Plectonema, Anabaenopsis, Calothrix, Anabaena

ومن المعروف عنها أنها تنمو بكثرة فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية ، وعلى الأخص فى جاوة وسومطرة وبورنيو وجزر الفليبين وماليزيا وسيام وفورموزا وجنوب الصين ، غير أنها توجد بقلة فى اليابان وشمال الصين ومنشوريا وكوريا . وكانت الطحالب المعزولة Tolypothrix tenuis من بورنيو و C. brevissema من جزائر بالو ، و Anabaenopsis sp. من سومطرة ، و Nostoc sp. من جاوة . وقد وجد أن المزارع النقية لكل من هذه الأنواع يمكنها أن تثبت من الآزوت فى البيئة على مدى شهرين ٩,٦ ، ٥,٢ ، ٣,٤ ، ٣,١ مجم/١٠٠ سم٣ ، أى أن الطحلب T. tenuis أكثرها تثبيتا للآزوت . وهذا النوع يبدو أنه قليل الانتشار فى العالم ولم يثبت وجوده فى مصر حتى الآن .

وقد ذكر المرحوم مأمون عبد السلام أن ما يوجد محليا فى حقول الأرز من طحالب ينسب غالبا إلى الطحالب الخضراء المزرقة Cyanophyceae والخضراء المصفرة Xanthophyceae والدياتومات Bacillariaceae والطحالب الخضراء Chlorophyta .

وقد أشار Watanabe (١٩٥٩) عن حصر للطحالب المثبتة للآزوت الجوى

فى بعض بلدان أفريقيا وآسيا والبرازيل وأوروبا ، أن مصر يوجد بها النوعان Calothrix sp. ، Nostoc sp. .

كما قام النواوى وزملاؤه (١٩٦٢) بجمع عينات من الطحالب من بعض مناطق زراعة الأرز فى الجيزة والفيوم وسخا وأبيس ، وكانت تحوى كثيراً من الطحالب الخضراء المزرقة والخضراء المصفرة والدياتومات . ولم يكن من بينها من الأنواع المعروفة بمقدرتها على تثبيتها للآزوت الجوى إلا أنواع تتبع الجنسين : Calothrix, Anabaena

كما عزل عز الدين طه والرفاعى (١٩٦٢) من التربة المصرية سلالة من Nostoc commune وذكرا أنها يمكنها تثبيت ٥٤ مجم أزوت/جرام طحلب . وكذلك عزل سامح طه (١٩٦٣) من التربة المصرية ثلاث سلالات من الأنواع المثبتة للآزوت الجوى ، وهى Hapalosiphon fontinalis (٦٥ مجم آزوت / لتر) و Anabaena variabilis (٩٥ جم أزوت/لتر) و Calothrix elenkinii (١٢٠ مجم آزوت /لتر) .

مقدار ما يثبته الطحلب من آزوت الهواء الجوى وأثر ذلك على نمو محصول الأرز :

قرر Russel (١٩٥٠) أن كمية الآزوت التى تثبت بطريقة غير تعاونية Non-symbiotically لازالت غير معروفة على وجه التحديد فى كثير من الأراضى نظرا لضآلتها ، حيث يتغير مقدار الآزوت الكلى بالتربة ، حتى بفرض بقائه فى مستوى ثابت ، وذلك بتغير السنين والمعاملات الزراعية وغيرها مسجلا نقصا أو زيادة . كما قرر أن الطحالب الخضراء المزرقة ، بالرغم من انتشارها الواسع فى الطبيعة ، فهى لا تضيف إلى التربة قدراً مناسبا من الآزوت إلا فى حالة نموها بغزارة فى الأراضى الرطبة الواقعة بالمناطق الاستوائية أو شبه الاستوائية مثل أراضى الأرز أو الأراضى غير المزروعة بعد سقوط الأمطار الكثيفة .

وقد لاحظ Sulaiman and De (١٩٥٠) أن درجة نمو الطحالب وقدرتها على تثبيت الآزوت فى أراضى الأرز تزيد زيادة ملحوظة فى وجود المحصول ، وعلى الأخص فى حالة معاملة التربة بمواد معدنية غير آزوتية ، وكذا فى حالة جودة

نمو النباتات . وكان يظن أن زيادة التثبيت فى وجود المحصول ترجع إما إلى : (١) انحلال الجذور الميتة واستخدامها فيما بعد كمصدر للطاقة اللازمة للميكروبات المثبتة للآزوت الجوى . (٢) امتصاص النباتات لنواتج عمليات التحول الغذائى فى الطحالب بحيث تصبح الظروف ملائمة باستمرار لنموها . (٣) احتمال قيام النباتات بإفراز مواد نشطة لها أثرها الحسن فى نمو الطحالب . (٤) تشجيع عملية التمثيل الضوئى فى الطحالب عن طريق تزويده بغاز ك ا٢ الناشىء عن عملية تنفس الجذور . وقد وضع الباحثان هذه الافتراضات موضع التجارب ولم يجدا من بينها أثر إيجابى على عملية التثبت إلا الفرض الأخير ، حيث وجدا أن تثبيت الآزوت فى غياب المحصول يزداد بإمرار تيار من الهواء يحتوى على ٢٪ ك ا٢ فوق سطح الماء ، وفى هذا ما يؤكد أن التأثير الحسن للمحصول يرجع إلى توافر ثانى أكسيد الكربون اللازم لعملية التمثيل الضوئى وذلك بكميات مناسبة نتيجة لتنفس الجذور وانحلال ما يموت منها . وقد سبق أن حصل Morris and Allison (١٩٣٢) على نتائج مشابهة عندما قام بتمرير تيار هواء يحتوى على ١٪ ك ا٢ فى مزرعة نقية من الطحلب Anabaena .

وقد بينت Allen (١٩٥٦) فى تجارب معملية أن الطحلب **Anabaena cylindrica** يمكنه أن يثبت كمية من الآزوت الجوى فى خلال شهر واحد فى صورة عضوية بما يعادل ٤٨٠ رطل للإيكر . وتقرر Allen بناء على ذلك أنه وإن كانت النتائج المعملية يجب أن تؤخذ بحذر بمقابلتها بالتطبيق الحقلى فإنه لو كانت الزيادة الفعلية من الآزوت تحت ظروف الحقل تعادل جزءاً من الرقم السابق فقط فإن هذا يمثل مكسبا كبيرا من الآزوت المثبت بمقابلته بالبكتريا المثبتة للآزوت الجوى ، حيث من المعروف أن الآزوتوبا كتر يمكنها تثبيت ما يعادل ٤٠ رطل آزوت فى الإيكر خلال عام واحد فى التربة الخصبة ، أما بكتريا العقد الجذرية فنتيجة لمعيشتها التعاونية مع البقوليات يمكنها تثبيت ما يعادل ٢٠٠ رطل للإيكر فى المحصول الواحد .

أما فى اليابان فقد وجد Watanabe وزملاؤه (١٩٥١) أن الطحلب **Tolypothrix tenuis** أمكنه أن يثبت تحت ظروف الحقل (وغير المناسبة من

رقم pH) ما يوازى ٢٠ رطل آزوت فى الإيكر ، وقد امتصت النباتات من هذه الكمية ما يوازى ٧٫٥ رطل فى الإيكر زيادة عن معاملات المقابلة . كما لاحظوا أن التلقيح بالطحلب نتج عنه زيادة فى طول النبات تعادل ١٧ ٪ وفى عدد الأفرع ما يوازى ٣٠ ٪ .

ثم عاد Watanabe (١٩٦٢) وذكر أن الآزوت المستفاد به نتيجة التلقيح بهذا الطحلب يعادل استعمال ٦٤ رطل سلفات أمونيوم لكل إيكر ، وقد أوضح Watanabe أن التأثير المفيد للطحلب الملقح يزداد سنة بعد أخرى نتيجة للتراكم فى أراضى الأرز (والتى تزرع سنويا هناك بنفس المحصول) ، فقد وجد أن الزيادة فى محصول الأرز بتأثير التلقيح بلغت ٢ ٪ فى السنة الأولى ، ٨ ٪ فى السنة الثانية ، ١٥٫١ ٪ فى السنة الثالثة ، ١٩٫٥ ٪ فى السنة الرابعة ، ثم ١٠٫٦ ٪ فى السنة الخامسة ، وذلك بأراض فقيرة نسبيا فى الآزوت . وقد فسر ذلك الارتفاع المتوالى فى الزيادة من سنة لأخرى بتراكم خلايا الطحلب فى التربة ، حيث يتحلل بعضها ويبقى البعض الآخر ليتكاثر فيزيد من الرصيد الآزوتى لأراضى الأرز .

وهناك علماء آخرون فى اليابان والهند كانت لأبحاثهم فضل إلقاء الضوء على تأثير الطحالب المثبتة للآزوت الجوى . فقد ذكر Konishi (١٩٥١) فى تجاربه الحقلية أن التلقيح بالطحلب بعد إضافة كربونات الكالسيوم لمعادلة الحموضة أعطى زيادة كبيرة فى محصول الأرز ، بينما ذكر Fakata and Hosoda (١٩٥٥) أن التلقيح بالطحلب فى تجارب الحقل تسبب فى زيادة المحصول بنسبة تتراوح بين ١٠٫٢ و ١٢٫٩ ٪ ، وفى زيادة وزن القش بنسبة تبلغ نحو ٦٫٢ ٪ . كما وجد Singh (١٩٤٢) أن التلقيح بالطحلب **Aulosira fertilissema** أدى إلى زيادة محصول الأرز الشعير بنسبة ٣٦٨ ٪ فى تجارب الأصص وبنسبة ١١٤ ٪ فى التجارب الحقلية .

وكذلك ذكر Tchan and Beadle (١٩٥٥) أثناء دراستهما على تثبيت آزوت الهواء الجوى فى المناطق الجافة ونصف الجافة فى استراليا أن كل جرام تربة يحتوى على ألف خلية طحلب ، فإذا سمح لها بالنمو وتثبيت الآزوت لمدة ٤٠ يوما فقط فى السنة يمكنها أن تضيف إلى التربة رطلا واحدا من الآزوت للفدان . ومن جهة أخرى فقد قرر Mandel and De (١٩٥٦) أن مقدار

الآزوت المثبت بواسطة الطحالب يتراوح بين ١٣,٨ — ٤٤,٤ رطل آزوت فى الإيكر الواحد ، كما قررا بأن هذا المقدار يرتبط أساساً بنوع التربة ، ولو أنه يرتبط أيضا بمستوى الفسفور والموليدينم فى التربة ، وكذلك يرتبط بوجود أو غياب المحصول ، حيث وجدا أن التسميد الفوسفاتى يزيد مقدار الآزوت المثبت فى الأراضى الفقيرة فى الفسفور وأن وجود المحصول يؤدى إلى زيادة أكبر ، كما وجدا أن إضافة الموليدينم لها تأثير ملحوظ ببعض الأراضى . هذا وقد قررا أن عملية تثبيت الآزوت تحدث بنسبة تزيد على ٨٠٪ فى الأسابيع الأربعة الأولى التى تعقب شتل الأرز . كما ذكر Hernandez (١٩٥٦) أنه تبين أن الطحالب الخضراء المزرقة تثبت من الآزوت فى أراضى الأرز المنخفضة Lowland بالهند بكمية تتراوح بين ١٤ و ٦٣ رطل / إيكر ، وتزداد فى حالة وجود المحصول ، ويرتفع معدلها عند إضافة ٦٠ رطل فوسفور / إيكر مع إضافة الجير .

فائدة التلقيح بالطحالب للمحاصيل التالية للأرز أو بمعنى آخر الأثر الباقى :

لاشك أن الطحالب بعد أن تنمو نمواً كافياً فى ظروف الأرض المغمورة طول مدة موسم الأرز ستتحول إلى مادة عضوية وآزوتية تتحلل فى التربة حتى أن بعض العلماء يرى ضرورة استغلال نبات الأرز فى إتاحة الفرصة لتنمية هذه الطحالب ، وبالتالى رفع قيمة وإنتاجية التربة فى المحاصيل التالية .

معدل التلقيح بالطحالب المثبتة للآزوت الجوى فى التربة :

لا يوجد حتى الآن معدل ثابت لكمية الطحالب المثبتة الآزوت الجوى الواجب استخدامها فى تلقيح التربة لارتباط ذلك بالظروف الملائمة لنمو الطحالب . ففى عام ١٩٥١ وجد Konishi من تجاربه الحقلية أنه يكفى استخدام ٦٧ جراما من الطحلب لكل Tan أو (مايوازى ¼ فدان) وذلك مع إضافة كربونات كالسيوم لمعادلة حموضة التربة .

أما Watanabe (١٩٦٢) فقد استعمل كميات أكبر من ذلك وصلت إلى ٥,٣ كجم للإيكر الواحد وكان ذلك فى تجارب أجريت فى اسطوانات أشبه بالليسيمتر . وبعد ١٥ يوما من الزراعة وقبل تلقيح الطحلب بيومين أضاف جيرا مطفأ بمعدل ٧٥ كجم/إيكر وذلك لمعادلة حموضة المياه حيث تكون

حوالى ٤,٥ — ٤ pH لرفعها صناعيا إلى ٨ pH وهو الرقم المناسب لمعيشة ونمو T. tenuis .

أما فى التجارب التى أجريت فى مصر فقد استعمل النواوى وزملاؤه (١٩٥٨) فى تجارب أجريت بأحواض أسمنتية ٢ × ١٠ م. داخل صوب سلكية معدل جرام واحد للحوض (أى ما يعادل ٢٠٠ جرام للفدان) من T. tenuis بعد تنميته فى المعمل لمدة شهرين فى مزارع سطحية . وفى عام ١٩٦٥ استعمل أبو الفضل وزملاؤه الطحلب T. tenuis بمعدلين هما ١٠٠ ، ٢٠٠ جرام للفدان فى تجارب حقلية بالجيزة . وفى عام ١٩٦٧ أعيدت التجارب فى سخا واستعمل معدلان هما ١٠٠ ، ٢٥٠ جرام للفدان . والذى ظهر حتى الآن من التجارب التى أجريت فى وزارة الزراعة بمصر أن المعدل ١٠٠ جرام كان كافيا للحصول على نتائج مبشرة، كما سنوضح فيما بعد، ولم يكن هناك داع لاستعمال ٢٠٠ أو ٢٥٠ جرام بالمرة .

عرض للبحوث التى أجريت بوزارة الزراعة فى هذا المجال :

اهتمت مراقبة بحوث الميكروبيولوجيا الزراعية منذ عام ١٩٥٥ بعمل برنامج دراسى لبحوث ترتبط بالاستفادة من بعض الطحالب الخضراء المزرقة التى يمكنها أن تنمو فى حقول الأرز والتى لها القدرة على تثبيت الآزوت الجوى ، وذلك بهدف الوصول إلى تقييم استعمالها كمصدر جزئى لعنصر الآزوت اللازم لنبات الأرز ، وبالتالى تخفيض تكاليف تسميد الأرز بالأسمدة الكيماوية . وقد بدأت هذه البحوث عام ١٩٥٥ حين وصلت إلى قسم « بحوث الميكروبيولوجيا » فى ذلك الوقت مزرعتان من مزارع الطحالب الخضراء المزرقة ، وهى الـ Calothrix brevissema والـ Tolypothrix tenuis جاء بهما الدكتور محمد طه عيد، مراقب عام مراقبة فسيولوجيا المحاصيل وتغذية النبات عقب حضوره أحد المؤتمرات الدولية فى اليابان . وقد تطورت تلك البحوث من بحوث معملية إلى تجارب أصص ، إلى تجارب فى صوب زجاجية ، إلى تجارب صوب سلكية يزرع الأرز داخلها فى أحواض تجارب ، ثم إلى تجارب تحت الظروف الطبيعية تماما . وقد انتهى منها حتى الآن ستة بحوث ، حيث تعاونت فى إجرائها بعض وحدات البحوث الأخرى ومنها قسم بحوث تغذية النبات والتسميد بوزارة الزراعة، وقسم النبات بكلية العلوم جامعة الإسكندرية ، وقسم كيمياء المبيدات بكلية الزراعة جامعة الإسكندرية . وفيما يلى موجز بها وما أسفرت عنه من نتائج :

البحث الأول : دراسة مقدرة بعض الطحالب الخضراء المزرقة على تثبيت الآزوت الجوى وتأثير ذلك فى محصول الأرز (أمين النواوى وآخرون ١٩٥٨) :

فى هذا البحث تم اختبار بيئة مناسبة لتنمية الطحالب الخضراء المزرقة فى المعمل نموا مناسبا، وهى تعديل للبيئة التى استعملها Watanabe وآخرون (١٩٥١). وقد تبين أن سلالة الـ **Tolypothrix tenuis** تتفوق على السلالة الأخرى **Calothrix brevissema** فى النمو وتثبيت الآزوت الجوى ، فقد ثبتت كمية من الآزوت الجوى تعادل ٧,٣ ٪ من وزنها بينما ثبتت الأخرى ٤,٢ ٪ من وزنها فقط . وفى تجارب الصوب السلكية التى أجريت فى أحواض أسمنتية (٢ × ١٠ متر) تبين أن التلقيح بالطحلب المذكور لم يصاحبه أى مظهر من مظاهر نقص عنصر الآزوت على النبات بعكس معاملة المقابلة . كما أن التلقيح بمعدل ١ جرام وزن جاف لكل ٢٠ متر مربع أى مايعادل ٢٠٠ جرام وزن جاف للنبات ، بالإضافة إلى أن التسميد الفوسفاتى كان كافيا للحصول على محصول يقارب المحصول المسمد بالتسميد الآزوتى والفوسفاتى المعتاد (١٠٠ كجم سلفات نشادر + ١٥٠ كجم سوبرفوسفات للفدان) .

البحث الثانى: تأثير مشتقات جديدة من الأيزوثيورونيم أريل ميركابتوخلات فى مجموعات الطحالب بأراضى الأرز المصرية (أحمد النواوى وآخرون ١٩٦٢) :

وقد أجرى هذا البحث لدراسة فاعلية هذه المركبات كمبيدات طحلبية وكذلك محاولة الاستناد على ظاهرة تخصصها فى التأثير على بعض أنواع من الطحالب دون البعض الآخر فى عزل المزارع النقية من الطحالب الخضراء المزرقة . وظهر نتيجة لهذا البحث أن أغلب الأملاح المستخدمة لها تأثير متخصص فى المجموعات المختلفة من الطحالب . فقد ظهر أن الطحالب الخضراء وحيدة الخلية أكثر مقاومة من الطحالب الخيطية ، وقد أجرى فى هذا البحث تعريف مبدئى لأنواع الطحالب المنتشرة فى المزارع التى أخذت منها العينات (سخا — الجيزة — أبيس — الفيوم) ، وظهر أنها من أنواع الطحالب الخضراء والخضراء المزرقة والبنية والبنية الخضراء . كما أمكن باستعمال هذه المركبات عزل عدة سلالات نقية من الطحالب الخضراء المزرقة من مزارع الأرز فى الجمهورية وكانت تتبع أجناس **Calothrix, Anabaena** .

البحث الثالث : أثر التسميد بسلفات النشادر والسماد البلدى الصناعى والقش وسوبرفوسفات الكالسيوم فى تثبيت آزوت الهواء الجوى بواسطة الطحلب الأخضر المزرق T. tenuis (أبو الفضل وآخرون ١٩٦٤) :

أجرى هذا البحث لتقدير الفائدة التى تعود من تلقيح أراضى الأرز بسلالة فعالة من الطحالب المثبتة للآزوت الجوى فى حالة استعمال الأسمدة المذكورة . وأجريت التجارب فى أصص لتوفير ظروف مشابهة لظروف الحقل . وقد بينت النتائج أن التلقيح يزيد بصفة عامة المحتوى الأرضى من الآزوت ، غير أن مقدار الزيادة يختلف باختلاف نوع التسميد فباستثناء سلفات النشادر التى ظهر أنها تضعف عملية تثبيت الآزوت ، فإن السماد البلدى الصناعى أو القش يشجع نمو الطحلب وتثبيته للآزوت نتيجة لانطلاق غاز ك ا أثناء تحللها . أما السوبرفوسفات فإنه يقلل من مقدار الآزوت المثبت فى وجود سلفات النشادر أو السماد العضوى .

البحث الرابع : تأثير الطحلب الأخضر المزرق T. tenuis فى محصول الأرز (أبو الفضل وآخرون ١٩٦٥) :

شمل هذا البحث إجراء تجربتين حقليتين بمزارع وزارة الزراعة فى الجيزة خلال سنتين متتاليتين (١٩٦٢ ، ١٩٦٣) وكان الأرز فى السنة الأولى عقب محصول فول ، وفى السنة الثانية عقب محصول قمح . وقورن فى هذا البحث تأثير التسميد بالطحلب مع التسميد بسلفات نشادر كل على حدة ، سواء مع إضافة سوبرفوسفات أو عدم إضافته ، واستعمل معدلان فى التسميد الآزوتى هما ١٠ و ٢٠ كجم آزوت للفدان ، وكذلك الطحلب بمعدل ١٠٠ أو ٢٠٠ جم للفدان . وأعطى هذا البحث نتائج تطبيقية متعددة وذات أهمية فى القاء الضوء على أهمية الطحالب فى محصول الأرز والظروف المناسبة لها ، وتلخص أهم النتائج فيما يلى :

(١) محصول الأرز عقب بقول (فول) أعلى من المحصول عقب حبوب (قمح).

(٢) أن إضافة الطحلب أو الآزوت على أى معدل تعطى على وجه التقريب نتائج واحدة وذلك فى حالة عدم إضافة الفوسفور ، فقد كانت النسبة المئوية لمتوسط الزيادات فى المحصول والناشئة عن إضافة ١٠ كجم آزوت، أو ١٠٠ جم

طحلب، أو ٢٠ جم آزوت، أو ٢٠٠ جم طحلب هى على التوالى ١٦,٥٦، ١٩,٥٦، ١٦,٦٨، ١٦,٦٢ . ومن ذلك يستنتج أن التلقيح بالطحلب يمكن أن يكون مصدر ملائما لمد الأرز باحتياجاته من الآزوت .

(٣) أن تأثير ١٠٠ جم طحلب فى وجود الفوسفور كان على وجه العموم أقل من تأثير ١٠ كجم أزوت ، غير أن الفرق لم يكن معنويا فى تجربة ١٩٦٢ (عقب بقول) بينما كان معنويا على مستوى ٥٪ فى تجربة ١٩٦٣ .

(٤) ولتتبع تأثير الفوسفات أخذت عينات ممثلة من التربة خلال منتصف العمر لنباتات الأرز من حقل تجربة عام ١٩٦٣ (عقب قمح) ووضعت فى دوارق تحتوى بيئة مناسبة للطحالب وتحتوى معدلات من فوم ١ تتراوح بين صفر ، ١٨٠ جزءا فى المليون (فى صورة ملح فوسفات ثنائى البوتاسيوم)، وتركت الدوارق لمدة ٨ أسابيع وبعدها تم فحصها من ناحية حالة النمو لمختلف مجموعات الطحالب ثم سجلت الملاحظات ، وهى تشير بوضوح إلى أن درجة التركيز العالية فى الفوسفور فى المزارع الخليطة تشجع نمو الطحالب الخضراء على حساب نمو الطحالب الخضراء المزرقة التى لم تنم بالمرة فى تركيز ١٨٠ جزءا فى المليون ، بينما كان نمو الطحالب الخضراء غزيراً جداً . وكان نمو الطحالب الخضراء المزرقة غزيرا بين تركيزى ١٨، ٥٤ جزءا فى المليون ، بينما لم يظهر نمو للطحالب الخضراء عند ١٨٠ جزءا فى المليون ، وبدأ نمو متوسط عند ٥٤ جزءا فى المليون وزاد معدله عند ٩٠ ، ١٨٠ .

البحث الخامس : تأثير تركيز الفوسفات فى البيئة على نمو وتثبيت الآزوت الجوى بواسطة الطحلب T. tenuis (أمين النواوى وآخرون ١٩٦٨) :

وقد أجرى هذا البحث خصيصا لدراسة تأثير الفوسفات على الطحلب فى مزرعة نقية ، وقد تبين من نتائج البحث بعد نمو الطحلب لمدة ٨ أسابيع متصلة ما يأتى :

(١) التركيزات ١٥ — ٣٩ جزءاً فى المليون من فوم ١ تناسب نمو الطحلب وتثبيته للآزوت الجوى ، حيث ارتفع مقدار ما ثبته الطحلب إلى ١٤٣، ١٤٤,٤ جزء فى المليون على الترتيب ، بينما كان فى معاملة المقابلة (٣ أجزاء فى المليون من فوم ١) ١,٥٩ جزء فى المليون نيتروجين فقط ، ثم انخفض هذا المعدل قليلا

عند تركيز ٦٣ جزءا فى المليون من فو ٢ ا٥ حيث وصل إلى ١٣٥,٤ جزء فى المليون نيتروجين .

(٢) تأثر الطحلب عندما بلغ تركيز الفوسفات إلى ١٢٣ جزءاً فى المليون وانخفض النمو بمعدل ٢٥٪ ، كما انخفضت كمية الآزوت المثبتة بنفس المعدل ، أى أن الانخفاض فى الآزوت المثبت كان مرجعه رئيسيا للانخفاض فى نمو الطحلب .

(٣) يمتص الطحلب كميات متزايدة من الفوسفات لو وجدت فى البيئة ، فقد ارتفعت نسبة الفوسفات فى جسم الطحلب من ٠,٠٩٨٪ فى معاملة المقابلة إلى ٠,٥٩٦٪ عند استعمال تركيز ١٢٣ جزءا فى المليون فو ٢ ا٥ . ويؤيد هذا ما وصل إليه سامح طه فى تجاربه التى أجراها فى روسيا على السلالات المعزولة من التربة المصرية (١٩٦٣) حيث وجد أن أنسب تركيز فى البيئة ٨ أجزاء فى المليون ، وعند رفع هذا التركيز إلى ٧٩,٢ جزء فى المليون وما فوقها بدأ انخفاض كبير فى نمو الطحلب . أما Mitra (١٩٥٦) فقد أكد أن الطحالب الخضراء بعكس الطحالب الخضراء المزرقة تحتاج إلى معدل كبير من الفوسفات . وهذا قد يعنى أن زيادة تركيز الفوسفات فى التربة فى وقت نمو الطحلب يكون عاملا معطلا لنموها ومعطيا الفرصة للكائنات الحية الدقيقة الأخرى للنمو على حساب الطحالب الخضراء المزرقة . وهذه الحقيقة توجه النظر إلى دراسة مدى إجراء تعديل بسيط فى وقت إضافة السوبر فوسفات إلى الأرز بتأخيره لمدة ٤ أسابيع بعد الشتل حيث تكون الطحالب المثبتة للآزوت الجوى قد نمت وثبتت أكبر كمية ممكنة من الآزوت .

البحث السادس : تثبيت الآزوت الجوى بواسطة الطحلب Calothrix sp. المعزول من التربة المصرية كما يتأثر بعض الأملاح الصوديومية والمركبات الآزوتية (أمين النواوى وآخرون ١٩٦٧) :

وهذه السلالة أمكن الحصول عليها نقية فى البحث الثانى نتيجة لاستخدام بعض المبيدات الطحلبية ذات التأثير المتخصص وكان الدافع إلى هذا البحث شيئان :

(١) ما هو معروف من أن الأرز يقضى معظم حياته تحت ظروف غمر الأرض بالمياه ، وهو ماقد يسمح فى حالات خاصة بتكوين كبريتور الأيدروجين وأملاح الكبريتورات بفعل بكتريا اختزال الكبريتات فى غياب أكسجين الهواء

الجوى (Sturgis ١٩٥٧) لدرجة قد تصل إلى ٧٨٠ جزء فى المليون من كبريتور الصوديوم (عبد الملك ورزق ١٩٦٣) . كما أن بعض الأراضى فى شمال الدلتا يصل فيها تركيز كلوريد الصوديوم إلى ١٨٠٠ — ٢٤٠٠ جزء فى المليون .

(٢) دراسة مقدرة الطحلب على التثبيت فى وجود آزوت نتراتى أو آزوت نشادرى أو آزوت عضوى .

وقد تبين من البحث أن قدرة الطحلب على التثبيت لا تتأثر كثيراً مالم تصل درجة تركيز كلوريد الصوديوم إلى أكثر من ١٧٤٧٫٥ جزء فى المليون، كما تبين أن تركيز كبريتور الصوديوم إذا وصل إلى ٧٩٥ جزء فى المليون يبدأ تأثيره السيء على النمو والقدرة على التثبيت، وكل من التركيزين قليلا ما يوجد فى التربة المصرية تحت الظروف العادية . كما ظهر أن مقدرة الطحلب على تثبيت الآزوت تتأثر بنحو ٥٠ ٪ فى حالة إضافة ٢١ مجم آزوت نشادرى فى اللتر من البيئة ، بينما تتأثر إلى حد عدم التثبيت فى وجود خمسة أضعاف الكمية السابقة . وخرج هذا البحث بالتوصية بدراسة إمكان تأجيل إضافة سلفات النشادر إلى الأرز لمدة ٤ أسابيع بعد الشتل وعلى دفعة واحدة أو أكثر حتى يمكن للطحلب عند إضافته للأرز وقت الشتل أن يقوم بعملية التثبيت .

إلا أنه قد ظهر أن هذه السلالة تحت أحسن الظروف كانت أقل كفاية فى التثبيت من الطحلب T. tenuis ، إذ لم تزد كمية الآزوت المثبت فى لتر بيئة بعد شهرين عن ١١١ مجم / لتر .

نظرة إلى المستقبل

والآن وبعد هذه السلسلة من التجارب والتى يجب أن تستمر لدراسة مشاكل التطبيق هل نستطيع أن نقول رأيا فى مدى ضرورة التلقيح ؟ أم هل التربة المصرية غنية بأنواع الطحالب المثبتة للآزوت الجوى ؟

إن الحصر المبدئى الذى أجرى حتى الآن يدل على عدم توافر الأنواع ذات القدرة العالية على تثبيت الآزوت الجوى فى التربة المصرية ، غير أنها لابد من إجراء حصر شامل للأنواع المثبتة للآزوت الجوى ، وهو ما نخطط له من الآن بالتعاون مع جميع الميكروبيولوجيين عندنا وبعض الجهات العلمية الدولية . غير

أن هذا لا يحول دون استكمال الدراسات العلمية والتطبيقية عن إمكان التلقيح بالطحالب ذات الكفاية العالية فى التثبيت مثل T. tenuis . وهذا يقودنا إلى نقط عديدة جديرة بالعناية ، وهى منبثقة من نتائج التجارب والأبحاث السابق ذكرها ، وهى :

(١) إمكان إنتاج الطحلب تحت ظروف معقمة على نطاق تجارى : وقد سبق إلى ذلك العالم Watanabe الذى تمكن من عمل نظام منذ عام ١٩٥٩ لإنتاج الطحلب على نطاق كبير فى أحواض تسع ٢٥٠ لتر من البيئة ومسطحها ٥ م٢ مما أمكنه إنتاج ما يعادل ٦,٤ جم وزن جاف لكل متر مربع فى اليوم الواحد . وقد تمكن بذلك من الحصول على إنتاج يعادل ٧ أطنان طحلب فى العام . كما نشرت بحوث أخرى كثيرة لإنتاج الطحالب ، سواء الخضراء (لإنتاج بروتين)، أو الخضراء المزرقة تحت شروط معقمة من بينها بحوث Fogg (١٩٥٩) و Tamatzu Kanzami وزملائه (١٩٥٨) .

(٢) الموعد المناسب للتلقيح بالطحلب : يجب أن يستخدم الطحلب فى موعد يسمح بنموه وتكاثره وتثبيت أكبر كمية ممكنة من الآزوت لتوفيره للنبات فى الوقت الذى يحتاج فيه إلى هذا العنصر . هذا والموعد المقترح حتى الآن هو إضافته أثناء شتل الأرز .

(٣) إمكان تلقيح الطحلب وتأخير التسميد الآزوتى إلى ٤ أسابيع بعد الشتل والتلقيح حيث يكون الطحلب قد قام بتثبيت ٨٠ ٪ مما يثبته فى الآزوت ، ثم إضافة السماد الآزوتى بكمية توازى نصف المعدل المعتاد فقط .

(٤) عدم إضافة السماد الفوسفاتى إلا بعد ٤ أسابيع أيضاً حتى لا يشجع الكائنات الدقيقة والطحالب الأخرى على حساب الطحالب المثبتة للآزوت الجوى ، ومدى إمكان تنفيذ ذلك من ناحية احتياجات نبات الأرز نفسه .

(٥) الكمية المناسبة للتلقيح : ثبت من التجارب حتى الآن أن المعدل المناسب هو ١٠٠ جرام وزن جاف من الطحلب لكل فدان أرز . ويجرى حاليا دراسة تعديلها ومدى الفائدة التى تعود من ذلك التعديل . وخاصة أنه فى اليابان

تستخدم كميات تعادل أضعاف الكمية السابقة ، ولكن قد يرجع ذلك إلى أن التربة باليابان رقمها الأيدروجينى فى الجانب الحامضى (pH ٤) ، وهو غير مناسب لتكاثر الطحلب بعكس الحال فى الجمهورية العربية المتحدة حيث يصل pH التربة إلى ٨ أو أكثر ، وهو الملائم لنمو وتكاثر الطحلب بسرعة .

(٦) العلاقة بين هذه الطحالب النافعة وغيرها من الطحالب الضارة : وهذه ليست مشكلة كبيرة كما يبدو لأول وهلة لأنه إذا تمكنا من تنمية الطحالب النافعة بكمية تصلح لتكون مصدرا للآزوت فلا يهم بعد ذلك قتلها مع الطحالب الأخرى الضارة التى يعرفها المزارعون باسم (الريم) ويتخلصون منها باستعمال كبريتات النحاس مع ماء الرى بعد تجفيف الأرز .

(٧) العلاقة بين الطحالب النافعة وميكروبات التربة الأخرى التى يمكنها تحليلها حيث إن الأرض غنية بالميكروبات الأخرى التى لها دور فى تحليل الطحالب أو منافستها فى النمو .

(٨) مقدار ما يثبته الطحلب من آزوت لنبات الأرز تحت الظروف الحقلية ، وبالتالى مقدار الأسمدة الآزوتية الكيماوية التى يمكن توفيرها للبلاد ، أو مدى إمكان التلقيح بالطحلب مع تعديل فى نظام التسميد الكيماوى فى رفع محصول الأرز . وهذا هو الهدف الرئيسى للبحوث والتجارب المختلفة والتى يجب أن تتم — كما يجرى حاليا — بالتعاون مع رجال بحوث تغذية النبات والتسميد المسئولين عن السياسة السمادية للأراضى والمحاصيل الزراعية المصرية المختلفة .

والله ولى التوفيق .

المراجع

(1) Abd-el-Malek, Y., and S. G. Rizk (1963) Bacterial sulphate reduction and the development of alkalinity. 2, Laboratory experiments with soils. J. Appl. Bact., 26 : 140.

(2) Abou El-Fadl, M., M. T. Eid, M. R. Hamaissa, Amin S. El-Nawawy, and A. Shoukry (1965) The effect of nitrogen-fixing blue-green algae, **Tolypothrix tenuis,** on the

yield of paddy. 1st Confr. of microbiology, Cairo, April 1965.

(3) Abou El-Fadl, M., Amin S. El-Nawawy, M. Kh. El-Mofty, M. El-Nadi, and F. A. Farag (1964) Nitrogen fixation by the blue-green algae, **Tolypothrix tenuis,** as influenced by ammonium sulphate, compost, straw and superphate with special reference to its effect on rice yield. J. Soil Sci., U.A.R., 4 : 91-104.

(4) Allen, M. B. (1956) Photosynthetic nitrogen fixation by blue-green algae. Scientific Month., 83 : 100-106.

(5) Allison, F. E., and H. G. Morris (1952) Proc. 2nd. Internat. Cong. Soil Sci. Comm., 3, 24 (Cited by P. K. De, and M. Sulaimun 1950).

(6) De, P. K., and L. N. Mandal (1956) Fixation of nitrogen by algae in rice soils. Soil Sci. 81 : 453-458.

(7) De, P. K., and M. Sulaiman (1950) Fixation of nitrogen in rice soils by algae as influenced by crop, carbon dioxide and inorganic substances. Soil Sci., 70 : 137.

(8) El-Nawawy Ahmed S., Amin S. El-Nawawy, M. Abou-El Fadl, and M. Nada (1962) Effect of new isothiouronium derivatives of arylmercaptoalkane carboxylic acids on the paddy soil flora of algae in Egypt. J. Soil Sci., U.A.R., 2 : 3-14.

(9) El-Nawawy Amin S., A. N. Ibrahim, and M. Abou El-Fadl (1968) Nitrogen fixation by **Calothrix sp.** as influenced by certain sodium salts and nitrogenous compounds. Acta Agronomica, 17: 323-327.

(10) El-Nawawy Amin S., R. Kamal, and M. Abou El-Fadl (1968) Growth of blue-green algae, **Tolypothrix tenuis** and its nitrogen fixation as affected by phosphorus concentration. (Under publication).

(11) El-Nawawy Amin S., M. Loutfi, and M. Fahmy (1958) Studies on the ability of some blue-green algae to fix atmospheric nitrogen and their effect on growth and yield of paddy. Agric. Res. Rev., Min. of Agric., Cairo, 36 : 308.

(12) Fenton, E. W. (1943) Trans. Bot. Soc. Edinburgh, 33: 407 (Cited by E. J. Russell, 1950).

(13) Fogg, G. E. (1956) The comparative physiology and biochemistry of the blue-green algae. Bacteriol. Rev., 20 : 148-165.

(14) Hernandez, S. C. (1956) Studies on soil fertility in Hyderabad. Ind. J. Soil Sci. Soc. Philipp., 8: 19-22.

(15) Konishi, C. and Seino K. (1951) Maintainance of paddy soil fertility in nature. Hokuriku Nogyo Shikerjo, 1951, No. 2, 41-136.

(16) Krauss, R. W. and Thomas, W. H. (1954) The growth and inorganic nutrition of **Scendesmus obliqus** in mass culture. Plant Physiol., 29, No. 3, 205-214.

(17) Lund, J. W. G. (1945 and 1946) New Phytol., 44 : 196, 45 : 56. (Cited by E. J. Russell, 1950).

(18) Mitra, A. K. (1956) Phosphates in relation to the growth of algae. Proc. Nat. Acad. Sci. Ind., 25 A., Pt. 6, 502-4.

(19) Russell, E. J. (1950) Soil Conditions and Plant Growth. 8th ed. Longmans, Green and Co., London.

(20) Singh, R. M. (1942) Ind. J. Agric. Sci., 12 : 743. (Cited by E. J. Russell, 1950).

(21) Smith, G. M. (1950) The Fresh water algae in U.S.A.

(22) Stokes, J. L. (1940) The influence of environmental factors upon algae and other microorganisms in soil. Soil Sci., 49 : 171.

(23) Sturgis, M. B. (1957) Manuring soils for rice. U.S. Dept. of Agric. Yearbook of Agriculture.

(24) Taha, M. S. (1963a) Isolation of some nitrogen-fixing blue-green algae from the field of Egypt, in pure cultures. (In Russian) Microbiology, 32 : 492-497.

(25) Taha, M. S. (1963b) The effect of concentration of different components of the medium on growth and nitrogen fixation by blue-green algae. (In Russian) Microbiology, 32 : 582-589.

(26) Taha, E. E. M. and A. E. H. El Refai (1962a) Physiological and biochemical studies on nitrogen fixing blue-green algae. 1. On the nature of cellular and extracellular nitrogenous substances formed by **Nostoc commune.** Arch. Mikrobiol., 41 : 307-312.

(27) Taha, E. E. M. and El Refai, A. E. H. (1962b) Physiological and biochemical studies on nitrogen fixing blue-green algae. 2. The role of calcium, strontium, cobalt and molybdenum in the nitrogen fixation of **Nostoc commune.** Arch. Mikrobiol., 43 : 67-75.

(28) Tamiya, H. (1957) Mass culture of algae. Ann. Rev. Plant Physiol., 8 : 309-334.

(29) Tamotsu Kanazawa, Chuzo Fujita, Tsutuomu Yuhara, and Tsutomu Sasa (1958) Mass culture of unicellular algae

using the open circulation method. J. Gen. Appl. Microciol., 4, 135-152.

(30) Tchan, Y. T., and N. C. W. Beadle (1955) Nitrogen economy in semi arid plant communities, Part 2. The non-symbiotic nitrogen fixing organisms. Proc. Lin. Soc. New South Wales, 80 : 97-104.

(31) Watanabe, A. (1962) Effect of nitrogen fixing blue-green algae, **Tolypothrix tenuis,** on the nitrogenous fertility of paddy soil and on the crop yield of rice plant. J. Gen. Appl. Microbiol., 8 : 85-91.

(32) Watanabe, A., A. Kattori, Y. Fujita, and T. Kiyohara (1959) Large scale culture of a blue-green algae, **Tolypothrix tenuis,** utilizing hot spring and natural gas as heat and CO_2 source. J. Gen. Appl. Microbiol, 5 : 51-57.

(33) Watanabe, A., S. Nishigaki, and C. Konishi (1951) Effect of nitrogen-fixing blue-green algae on the growth of rice plants. Nature, 168 : 748.

المناقشات

الدكتور صلاح الدين طه : نشكر الدكتور أمين على عرض تلك الدراسات الهامة عن الطحالب الخضراء المزرقة المثبتة للآزوت الجوى، والتى أجريت بمراقبة بحوث الميكروبيولوجيا الزراعية، حيث تمس موضوعا هاما جدا ونأمل الاستمرار فيها ، وإنى أعتقد ان الطحالب المثبتة الآزوت الجوى موجودة بكثرة فى أراضى الأرز بالجمهورية لأن ظروف التربة والجو مناسبة لها ، ولذلك يجب الاهتمام بعمل حصر شامل لجميع الطحالب المثبتة للآزوت الجوى فى أراضينا ، وإنى أتساءل هل الطحالب التى تبين أنها تثبت الآزوت تحتوى على Heterocysts ؟

الدكتور أمين النواوى : لا شك أن إجراء حصر شامل سيعطينا الصورة الحقيقية لدرجة انتشار الطحالب الخضراء المزرقة فى أراضى الأرز عندنا ، وإن كانت الظروف فى أراضينا مناسبة لنموها فإنها مناسبة فى الوقت نفسه لنمو غيرها من الكائنات الدقيقة التى قد تتنافس معها وتقلل من فائدتها ، وعلى أية حال فإن الحصر الذى قمنا به يعطى صورة عامة ، فقد ظهر حتى الآن أن مايوجد من الطحالب فى الأراضى المصرية أقل كفاية من الطحلب T. tenuis على تثبيت الآزوت ، وهو الطحلب الذى لم يثبت وجوده عندنا حتى الآن وإلى ماقبل إجراء التجارب والتطبيقات الحقلية . أما بالنسبة للـ Heterocysts فجميع الأنواع التى عزلت توجد بها هذه الخلايا .

الدكتور سامح طه : بالنسبة للـ Heterocysts فقد لوحظ أن جميع الأنواع المثبتة للآزوت الجوى تحتوى على هذا النوع من الخلايا ، وكل الأنواع التى لا يوجد بها Heterocysts لا تثبت الآزوت الجوى .

الدكتور صلاح الدين طه : هناك رأى بأن Heterocysts هى التى تقوم بعملية التثبيت .

الدكتور سامح طه : فى الواقع هناك رأى بأن هذه الخلايا لها دخل فى عملية التثبيت ، بينما هناك رأى آخر بأن وجودها فى خيوط الطحلب هو دليل فقط على أن هذا الطحلب يثبت الآزوت الجوى .

الدكتور يوسف عبد الملك : أعتقد أن وجود الـ Heterocysts دليل فقط على التثبيت .

الدكتور سامح طه : فى الواقع أن هذا هو الرأى الأرجح فليست الـ Heterocysts هى مركز التثبيت ، فعند تغيير رقم الـ pH فى البيئة بحيث يصل إلى رقم ٥ نجد أن عدد الخلايا الـ Heterocysts تصل إلى ٢ ٪ ، أما عند رفع الـ pH إلى رقم ٧ فإن العدد بالتالى يرتفع إلى ٨ ٪ ، وهذه الزيادة لا تقابلها زيادة فى تركيز الآزوت ، ومعنى ذلك أنه ليس لهذه الخلايا علاقة بالتثبيت .

الدكتور فؤاد الغزازى : ما المقصود بالنيتروجينيز ؟

الدكتور سامح طه : هو نظام أنزيمى يتدخل فى تثبيت الآزوت ويختص بأكسدة الروابط المزدوجة ولم يعزل حتى الآن الأنزيم المسئول ، ولكن أقترح له تركيب معين يمتص النتروجين على سطحه حيث يتم تكسير تلك الروابط . أما بالنسبة لأثر إضافة المواد العضوية فى وجود الضوء على نمو الطحالب الخضراء المزرقة فإنه ضار ، وقد يرجع ذلك إلى نشاط البكتريا والطحالب الخضراء .

الدكتور يوسف عبد الملك : لو أضفنا للبيئة بعض أملاح الأمونيوم لكان معنى ذلك زيادة كبيرة فى نمو الطحالب الخضراء .

الدكتور سامح طه : أنا أتكلم عن المواد العضوية حتى ولو كانت خالية من النتروجين .

الدكتور أمين النواوى : إن إضافه الجلوكوز فى البيئة تشجع عملية التثبيت ، أما ما قلته فى المحاضرة من الإشارة إلى أن نشاط البكتريا والاكتينوميسيتس فى التربة المحتوية على مواد عضوية يكون أسرع بطبيعة الحال من نشاط الطحالب

الخضراء المزرقة بصفة مؤقتة ، أى إلى أن تصل المواد العضوية إلى درجة مستقرة بالانحلال .

الدكتور سامح طه : نقطة أخرى، وهى خاصة بوجود النيترات، وأنها لاتؤثر فى تثبيت الآزوت بواسطة الطحلب ، فحتى الآن لاتوجد إلا حالة شاذة واحدة ، وهى عدم استخدام الطحلب C. elenkii للنترات ، وبالتالى فإنها لاتضعف من قدرته على تثبيت الآزوت .

الدكتور أمين النواوى : سبق أن ذكرت Allen عام ١٩٥٦ أن سلالة من Anabaena أمكنها تثبيت الآزوت الجوى حتى فى وجود نترات البوتاسيوم .

الدكتور سامح طه : الذى أريد توضيحه أن Allen وجدت أن الـ Anabaena تستخدم النيترات وتقوم بالتثبيت ، غير أننى وجدت أن الـ Callothrix لاتستخدم النترات بالمرة عند وجودها فى البيئة وذلك لأنه لايوجد أنزيم Nitrate reductase وبالتالى لايحدث أى تثبيط لعملية تثبيت النتروجين. ومن ذلك تبين أنه ليست جميع الطحالب الخضراء المزرقة من المستخدمة للنترات ، ومن هنا تبدو فائدة تطبيقية وهى إمكان تلقيح أراضى الأرز بطحلب لايستخدم النترات إذا كانت هى أساس تسميد نباتات الأرز .

الدكتور أمين النواوى : ولكن من المعروف أن نترات البوتاسيوم لاتصلح لتسميد الأرز ولا تستخدم بالمرة ، بل المستخدم عادة هو سلفات الأمونيوم ، وأظن أن هذا هو رأى رجال تغذية النبات والتسميد .

الدكتور رياض همبسه : بالنسبة لما ورد فى المحاضرة عن مدى إمكان تأخير تسميد الأرز بالأسمدة الآزوتية المعدنية ، أود أن أشير إلى بحوث علماء اليابان فى هذا المجال، فقد أثبتوا أن هناك فترتين نشيطتين للامتصاص، الأولى تبدأ فى الفترة بين ٣٠ و ٣٥ يوما من الزراعة ، والثانية قبل بدء تكوين السنابل ، أى بعد ٩٠ يوما من زراعة البذرة . إذن من الممكن وضع جرعة سمادية فى الفترة الأولى وجرعة فى الفترة الثانية . وقد أجرينا فى وزارة الزراعة (قسم بحوث تغذية النبات والتسميد) بحثا بالاشتراك مع وكالة الطاقة الذرية ، وقد ثبت منه أن إضافة السماد الآزوتى فى هاتين الفترتين تكون أكثر فاعلية من وضعه دفعة واحدة، وهذا يتمشى مع تساؤل مراقبة الميكروبيولوجيا عن إمكان عدم إضافة السماد

كله دفعة واحدة . وفى تجربة الجميزة المشتركة بين تغذية النبات والميكروبيولوجيا بالوزارة ثبت أن التأثير المفيد للطحلب هو باستخدام معدل ١٠٠ جرام وزن جاف للفدان ، ويقل التأثير باستخدام معدل ٢٠٠ جرام ، وفى تجربة سخا هذا العام تأكد ذلك حيث إن نتائج التلقيح بمعدل ١٠٠ جرام أفضل من التلقيح بمعدل ٢٠٠ جرام للفدان .

الدكتور أمين النواوى : إذن هذا معناه إمكان استخدام الطحالب وقت شتل الأرز ، ثم تأخير التسميد الآزوتى بسلفات النشادر نحو ٤ أسابيع لتوفير أفضل الظروف للطحلب للقيام بعملية تثبيت الآزوت الجوى .

الدكتور مراد أبو سبع : فيما يختص باستخدام نترات البوتاسيوم ، فأعتقد أنه إذا كان الكائن الحى قادرا على تثبيت الآزوت الجوى فوجود النترات سيجعله يستخدم النترات استخداما أسهل فى حالة وجود نظام أنزيمى يسمح باختزاله . فإذا لم تكن النترات صالحة كمصدر آزوتى للأرز فلا داعى لإضافتها إطلاقا .

الدكتور أمين النواوى : سبق أن أوضحنا أنه لا ينصح باستخدام نترات البوتاسيوم فى تسميد الأرز بالمرة .

الدكتور يوسف عبد الملك : هناك تساؤلان : الأول : وهو ما هى كمية النيتروجين التى تخرج من جسم الطحلب ، وبالتالى مدى الاستفادة من الطحلب أثناء حياته ؟ والثانى : وهو هل هناك معلومات عن كمية الطحالب فى الأراضى الأخرى ؟

الدكتور أمين النواوى : كمية النيتروجين التى تتواجد فى البيئة تتراوح بين ١٠ و ١٥ ٪ من النتروجين الذى تثبته الطحالب ، ولكن فى الظروف الطبيعية تتغير هذه النسبة نظراً لأن الطحالب فى حالة نمو وتحلل مستمر ، ويساعد على ذلك وجود الميكروبات الأخرى المحللة للطحالب . أما عن الطحالب فى الأراضى غير المزروعة أرزاً فى مصر فليس لدينا معلومات عنها .

الدكتور يوسف عبد الملك : هل يتم نمو الطحالب وتحلله خلال فترة نمو الأرز ؟

الدكتور أمين النواوى : يحدث هذا بدليل زيادة المحصول ، كما أن بعض الباحثين

وجدوا أن الطحلب يقوم بالنمو وتثبيت نحو ٨٠٪ من الآزوت خلال الأسابيع الأربعة الأولى ، كما أن الميكروبات المصاحبة للطحلب تقوم بعملية تحليله بسرعة .

الدكتور يوسف عبد الملك : بالنسبة للأمونيوم وتثبيطه لعملية التثبيت قد يكون ذلك فى البيئة السائلة ولكن قد يختلف الوضع فى التربة وتكون درجة تثبيطه أقل ، وإنى أتساءل هل من الممكن تحديد عدد الطحالب فى الأعماق المختلفة للتربة؟

الدكتور سامح طه : الطحالب لا تتعدى عمق ٢ سم من سطح التربة ، ومعرفة عدد خلايا الطحلب عملية صعبة وتكتنفها عدة مشاكل .

الدكتور يوسف عبد الملك : أذكر أن « ستيوارت » ذكر أن الطحالب موجودة على عمق يتراوح بين ٥ و ١٠ سم من السطح .

* * *