

### منشأ الحويصلات المغايرة وملئمتها لعملية تثبيت النيتروجين.

أنزيم النيتروجينيز حساس جداً لوجود الأكسجين الحر ويعمل فقط في الظروف اللاهوائية وتعرض الإنزيم للهواء المباشر ينتج عنه فقد نشاطه، وتوقف لعمله وأحياناً تحطيم البروتينات المكونة له. تحتوي الطحالب الخضراء المزرقمة المثبتة للنيتروجين علي أنظمة لحماية الأنزيم من الأكسجين الناتج من عملية البناء الضوئي، وذلك بتكوين خلايا عالية التخصص تسمى الحويصلات المغايرة والتي تستطيع تثبيت النيتروجين في الظروف الهوائية المحيطة. وتتكون الحويصلات أصلاً من إحدي الخلايا الخضرية التي يتوقف إنقسامها في ظروف معينة وفي غياب صور النيتروجين المرتبط ويزيد حجمها وتصبح باهتة اللون ولها عقد قطبية واضحة في الطرفين المتقابلين والمجاورين للخلايا الخضرية ولها جدار سميك يساهم في عزل الخلية عن الأكسجين الخارجي ، بالإضافة لذلك فإنها أيضاً تتحور من أجل القيام بعنلية التثبيت كآلاتي:

1. وجود غلاف سميك يقلل من أنتشار الغازات الجوية خلال سطح الحويصلة إلي المستوي المناسب ليמד النيتروجينيز بالمطلوب من النيتروجين ، وإذا تسرب بعض الأكسجين فإنه يستخدم في التنفس.
2. غياب الأكسجين المتصاعد من عملية البناء الضوئي وذلك نيجة هدم أو تعطيل النظام الضوئي الثاني (Photosystem II) الذي يسبب تصاعد الأكسجين.
3. فقد الصبغات المساعدة مما يؤدي إلي ظهور الحويصلات باهتة اللون وهذا أيضاً مرتبط بالنظام الضوئي الثاني.
4. يساعد تصاعد الهيدروجين كناتج ثانوي يعمل الأنزيم في الحماية من خطر الأكسجين ويساعد في طردة من موقع العمل للأنزيم . أي أن عملية أكسدة الهيدروجين تساعد علي التخلص من الأكسجين الحر من الحويصلات.

5. وتمتلك الحويصلات توفير الاحتياجات اللازمة لعملية تثبيت النيتروجين من :

أ. طاقة عن طريق توفير جزيء ATP اللازم للعملية من خلال دورة الفسفرة الضوئية في النظام الضوئي الأول (Photosystem I).

ب. العامل المختزل من الكربون المختزل الناشئ من تحلل جزيئات السكريات (غالباً المالتوز) الذي تنتقل إلى الحويصلة من الخلايا الخضرية المجاورة.

6. لا تمتلك الحويصلات القدرة علي تثبيت  $CO_2$  في البناء الضوئي وذلك بهدم الأنزيم المسئول عن تثبيت  $CO_2$  وهو ريبولوز 1 ، 5 ثنائي فوسفات كربوكسيليز

(Ribulose, 1-5 biphosphate Carboxylose)

ولأنها أيضاً كما ذكرنا تعتمد علي الخلايا الخضرية كمصدر للكربون والعامل المختزل. وبصفة عامة تحدث عملية تثبيت النيتروجين داخل الحويصلات المغايرة عندما تكون متصلة بالخلايا الخضرية ، والخلايا الخضرية العادية ليس لها القدرة علي تثبيت النيتروجين. وقد أثبتت التجارب أن 90 % من النيتروجين المثبت داخل الحويصلات المغايرة ينتقل بسرعة إلي الخلايا الخضرية وبالتالي فإن غالبية الطحالب المثبتة للنيتروجين يمكنها أن تعيش ذاتية التغذية. ويعتبر تراكم عديد الببتيدات السيانوفيسية في الحويصلات هام وله دور فعال عن غيرها من الخلايا الخضرية في تنظيم محتوى النيتروجين المثبت ، ثم تصديره إلي الخلايا الخضرية المجاورة. وعموماً فإن الإنزيمات اللازمة لتخليق أو تكسير السيانوفيسين تكون أكثر فعالية بخلايا الحويصلات عن غيرها من الخلايا الخضرية.

وكما ذكر سالفاً ، أن بعض الطحالب الخضراء المزرقمة الخيطية والفقيرة لتكوين الحويصلات المغايرة تستطيع أن تقوم بعملية تثبيت نيتروجين الهواء الجوي ، وذلك بإنتاج خلايا

باهتة اللون تفتقر إلي القدرة علي عملية التمثيل الضوئي ، وبالتالي ليست لديها القدرة علي إنتاج الأكسجين أصلاً وعلي هذا تعتبر هذه الخلايا مركز تثبيت النيتروجين في هذه الطحالب ، فهي تقوم بتخليق الأنزيم وبعملية التثبيت في ظروف لا هوائية أو في وجود تركيزات قليلة من الأكسجين الخارجي.

أما بالنسبة للطحالب الخضراء المزرقة وحيدة الخلية ، فوجود الغلاف الجيلاتيني السميك حول هذه الخلايا يساعد علي حماية الأنزيم من الأكسجين الخارجي بالإضافة إلي وجود بعض المركبات المحتوية علي مجموعة (SH-) حيث تساعد في التخلص من O<sub>2</sub> الناتج من عملية البناء الضوئي في هذه الخلايا ، هذا بالإضافة إلي إحتمالية الفصل المؤقت بين البناء الضوئي وتثبيت النيتروجين في هذه الخلايا ومن أمثلتها طحلب جليوكابسا Gloeocapsa (وحدات فردية أو مستعمرات).

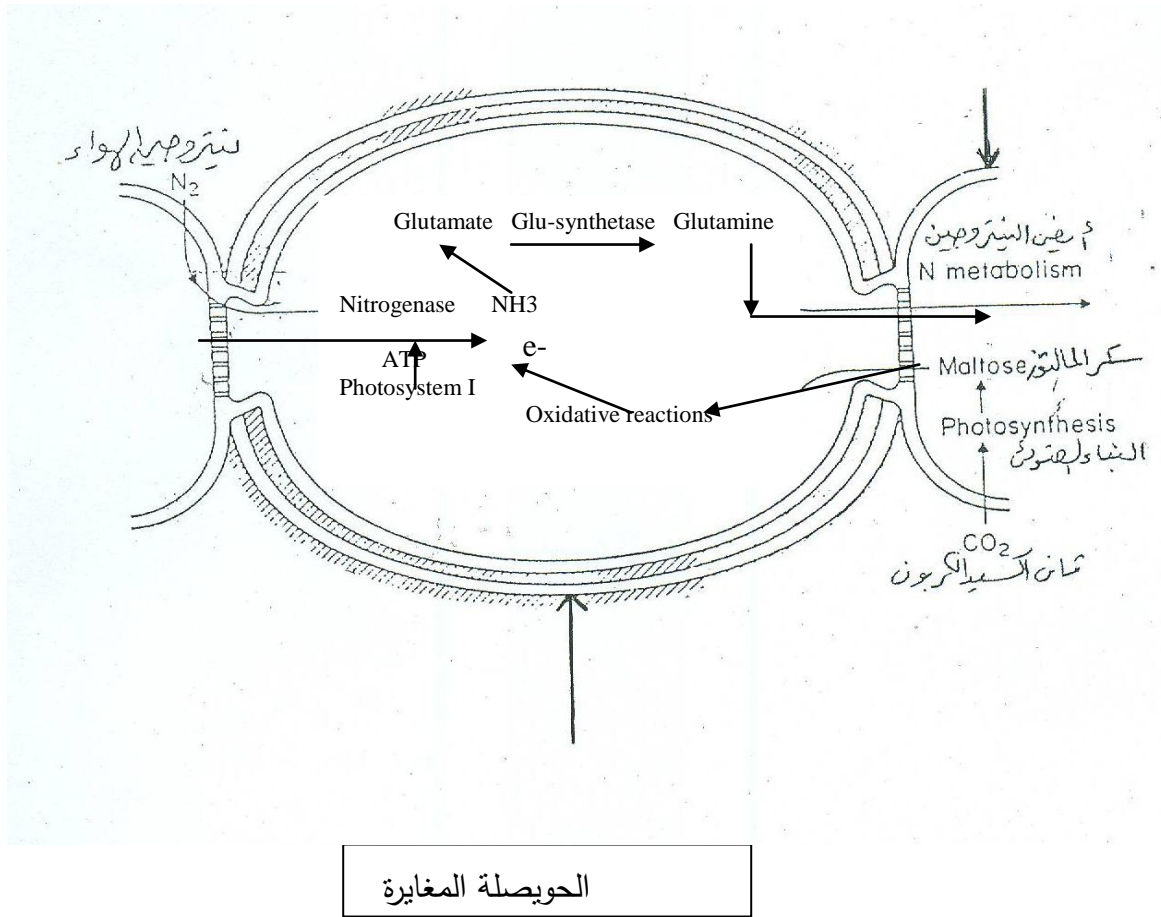
### خطوات عملية تثبيت النيتروجين:

1. ينتقل نيتروجين الهواء الجوي إلي الحويصلات المغايرة عبر القنوات الدقيقة الفاصلة بينها وبين الخلايا الخضرية المجاورة .
2. يتكون جزيئ الأمونيا بواسطة أنزيم النيتروجينيز كما في المعادلة التالية :



وتحتاج هذه العملية إلي مصدر الطاقة المتمثل في ATP كم ذكرنا ، وكذلك العامل المختزل الذي تعتمد فيه الحويصلات علي الخلايا الخضرية لإمدادها بمصدر الكربون المناسب (غالباً السكر الثنائي) الذي يتسلل في عدد من الخطوات التي تنتج كمية من مركبات الأختزال اللازمة لتنشيط الأنزيم.

3. يدخل جزيئ الأمونيا المتكون في سلسلة تفاعلات في وجود عدد من الأنزيمات ليكون الحمض الأميني جلوتامين الذي ينتقل بعد ذلك إلى الخلايا الخضرية لإستكمال عمليات الأيض النيتروجيني. أي أن النيتروجين المثبت ينتقل من الحويصلات إلى الخلايا الخضرية المجاورة عبر نفس الطريق الذ دخل منه النيتروجين إلى خلية الحويصلة ولكن في الاتجاه العكسي.
- ويوضح الشكل التخطيطي التالي مسار النيتروجين والكربون المصاحبين لعملية تثبيت النيتروجين في الحويصلات المغايرة للطحالب الخضراء المزرقّة:



ومن المعروف أن الأمونيا الناتجة من عملية التثبيت إذا تراكمت فإنها تؤدي إلى تقليل نشاط أنزيم النيتروجينيز ولذلك لابد من سرعة استخدامها في عمليات الأيض الخلوي حتي لا تثبط الأنزيم ولذلك لابد من وجود آلية لإزالة الأمونيا سريعاً من مناطق التثبيت ، إما باستخدامها في الأيض الخلوي أو تخزينها في صورة مركبات نيتروجينية غير سامة. ومن الأنزيمات المسؤولة عن أيض الأمونيا في الطحالب الخضراء المزرقه ديهيدروجينيز الألائين والجلوتامين ، وكذلك الإنزيم الخاص بتكوين حمض الجلوتامين (Glu-synthetase) Glutamine synthetase. ويلاحظ دائماً ارتباط البكتيريا بخلايا الحويصلات في طحالب التثبيت بالذات في الكتل الطحلبية ، وتكون معها علاقة خاصة حيث تمد الطحالب البكتيريا بالمواد العضوية ، بينما تقلل البكتيريا من وجود الأكسجين باستخدامه، ويبدو ذلك واضحاً في المسطحات المائية كثيرة الأكسجين.

#### العلاقة بين عمليتي التمثيل الضوئي وتثبيت النيتروجين

تعتبر عمليتي التمثيل الضوئي وتثبيت النيتروجين عمليتان منفصلتان تماماً إلا في حالة الطحالب الخضراء المزرقه وذلك لأن عملية تثبيت النيتروجين تعتمد بصورة مباشرة علي عملية التمثيل الضوئي التي تمدها بالطاقة (ATP) وكذلك بالعامل المختزل (H) ، وكذلك تمدها بالهيكل الكربوني اللازم لبناء المواد العضوية والتي تنتج من عملية تثبيت النيتروجين ، ويعتبر حمض الجلوتاميك هو أول المواد العضوية المتكونة نتيجة عملية تثبيت نيتروجين الهواء الجوي والذي يتجه للخلايا الخضرية بعد تكوينه.

وقد وجد أن معدل تثبيت النيتروجين في بعض الطحالب النامية في وسط خالي من النيتروجين يزداد مع زيادة شدة الإضاءة . وقد ثبت أن نواتج عملية التمثيل الضوئي التي تحدث في الخلايا الخضرية

فسيولوجيا الطحالب (484 نبت )

أ. د إبراهيم برعي إبراهيم

تنتقل إلى الحويصلات في الظلام ، ويعتمد هذا الانتقال على التنفس ، مما يفسر تأثير عملية تثبيت النيتروجين بمثبطات التنفس.