مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (28) العدد (2) 2006
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research - Biological Science Series Vol. (28) No (2) 2006

تأثير الأشعة فوق البنفسجية على النمو وأصبغة التركيب الضوئي والمحتوى البروتيني لدى الطحالب الخضراء المزرقة أنابينا *Anabaena sp.*

الدكتور عبد الكريم شريف عياش*

(قبل للنشر في 2006/11/6)

□ الملخّص □

تساهم الطحالب الخضراء المزرقة (البكتيريا الخضراء المزرقة) أنابينا *Anabaena sp.* بتثبيت قسط كبير من النتروجين الجوي الغازي وتحويله إلى الأمونيوم (NH_4) الذي يدخل في تصنيع البروتين ضمن السلسلة الغذائية Food chain. لقد تم عزل هذه الطحالب من بعض المستنقعات الضحلة القريبة من مدينة أبها في السعودية، وجرى دراسة أثر الأشعة فوق البنفسجية من نمط (UV-B: 280 – 315nm) على النمو وأصبغة التركيب الضوئي والمحتوى البروتيني لدى هذه الطحالب. وقد أشارت نتائج قياس معدلات النمو إلى أن الأنابينا شديدة الحساسية تجاه أشعة UV-B حيث لوحظ موت جميع الخلايا بعد التعريض لهذه الأشعة لمدة 150دقيقة، كما تبين تخرب أصبغة التركيب الضوئي وبشكل خاص الفيكوسيانين Phycocyanin لدى الخلايا الطحلبية بفعل تأثير الأشعة. كما لوحظ أن المحتوى البروتيني للخلايا ينخفض بشكل متزامن مع ازدياد فترة التعرض لهذه الأشعة.

كلمات مفتاحية: أشعة فوق بنفسجية، طحالب خضراء مزرقة، أنابينا، أصبغة تركيب ضوئي، فيكوسيانين، محتوى بروتيني، معدل النمو.

* أستاذ مساعد في فيزيولوجيا النبات . قسم علم الحياة النباتية . كلية العلوم . جامعة تشرين . اللاذقية. سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (28) العدد (2) 2006
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research - Biological Science Series Vol. (28) No (2) 2006

The Effect of UV Radiation on Growth, Photosynthesis Pigments, and Protein Contents in Blue Green Algae *Anabaena* sp.

Dr. Abdulkarim S. Ayash *

(Accepted 6/11/2006)

□ ABSTRACT □

The blue green-algae (cyanobacterium) *Anabaena* can fix a considerable amount of atmospheric nitrogen and convert it to ammonium (NH_4) that can be used in protein synthesis and the food chain. This blue green-algae was isolated from a swamp near the city of Abha (Saudi Arabia) and was tested for the effects of ultraviolet radiation (UV-B: 280-315nm) on photosynthetic pigments, growth and protein contents. Growth patterns of the cells treated with UV-B revealed that *Anabaena* sp. was very sensitive to this radiation. Complete killing of all cells occurred after 150 min of UV-B exposure. Pigments content, particularly phycocyanin, severely decreased following UV-B irradiation in all cells tested. The protein contents of the cells treated with UV -B showed a remarkable decrease with increase in UV-B exposure time.

Keywords: Ultraviolet radiation, Blue-green Algae, *Anabaena*, Photosynthesis- Pigments, Phycocyanin, Protein contents, Growth.

* **Associate Professor, Department of Botany, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

1. مقدمة:

تعمل طبقة الأوزون(O_3) الجوي على منع وصول الأشعة فوق البنفسجية من نمط (UV-B: 280-315 nm) ذات التأثير الضار بالكائنات الحية إلى الأرض. إلا أن ازدياد التآكل في طبقة الأوزون في العقدين الأخيرين بسبب انطلاق المزيد من غازات الكلوروفلوروكربون (CFCs) (Lubin and Jensen 1995) أدى إلى وصول المزيد من هذه الأشعة، وظهور تأثيرها المدمر على العديد من الكائنات الحية على سطح الأرض (Klisch and Haeder 2001, Tevini and Teramura 1989). وللأسف فإن معدل التآكل في طبقة الأوزون لايزال مرشحاً للازدياد (Toon and Turco 1991). وتشير التقديرات إلى أنه مع توقف انبعاث جميع أشكال الغازات الملوثة لن يكون بمقدور طبقة الأوزون أن تتعافي وترمم نفسها قبل عام 2065 (Madronich et al 1998).

تقوم بعض المراجع التصنيفية بوضع الطحالب الخضراء المزرقة Blue-green-algae ضمن مملكة بدائيات النوى Monera ويطلقون عليها تسمية البكتيريا الخضراء المزرقة Cyanobacteria، إلا أننا اعتمدنا تسميتها في هذا البحث بالطحالب الخضراء المزرقة لتشابهها مع الطحالب الراقية في عدة أوجه منها: احتوائها على اليخضور Chl.a المميز للطحالب والنباتات الراقية، وقيامها بعملية التركيب الضوئي وتحريرها للأوكسجين (Van den Hoek et al. 1993) .

تعتبر الطحالب الخضراء المزرقة إحدى مجموعات الأحياء الدقيقة في الأراضي الرطبة، وتقوم بالتركيب الضوئي وتحرر الأوكسجين اللازم لتنفس الكائنات الحية (Venkataraman 1981, Stewart 1981) . كما أنها تكتسب أهمية بالغة في دورة النتروجين كونها تستطيع تثبيت غاز النتروجين من الجو مباشرة، حيث تقوم بتثبيت حوالي 35 مليون طن من هذا الغاز سنوياً (Kuhlbusch et al 1991,Haeder et al 1989)، وتحويله إلى أشكال كيمائية قابلة للامتصاص والاستخدام من قبل النباتات الراقية، لذا يُشار إليها في كثير من الأحيان كمخصبات حيوية طبيعية للتربة (Sinha and Haeder 1996). وتعد النترات المصدر الرئيس للنتروجين على سطح الأرض، ويقوم أنزيم النترات ريدوكتيز Nitrate reductase في بداية عمليات الاختزال النتروجيني بتحويل النترات (NO_3^-) إلى نتريت (NO_2^-) داخل الخلايا الحية لدى عدد من الطحالب والفطريات و بعض البكتيريا (Crawford 1995, (Lopes et al 1997)، ثم لابد للنتريت أن يتحول في المرحلة الثانية إلى أمونيوم (NH_4^+) بفعل أنزيم النتريت ريدوكتيز Nitrite reductase. وتقوم الطحالب الخضراء المزرقة بفضل احتوائها على كلا نوعي الأنزيمات نترات ريدوكتيز ونتريت ريدوكتيز بتحويل النتروجين في النهاية إلى أمونيوم (NH_4^+) الذي يعد المركب النتروجيني الجاهز للدخول مباشرة في عمليات الاستقلاب الحيوي وإنتاج البروتينات في الخلايا الحية.

لقد تبين أن ازدياد معدلات الأشعة فوق البنفسجية في العقود الأخيرة أدى –ومايزال– إلى حدوث أضرار جسيمة لدى العديد من الكائنات الحية، على الرغم من أن عدداً من هذه الكائنات (كالطحالب الخضراء المزرقة) تقوم بتصنيع بعض الأصبغة الواقية (كالميكوسبورين شبيه الأحماض الأمينية Mycosporine-like amino acids (MAAs) ، والسيتونيمين Scytonemin) التي تعمل على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية من نمط (UV-B, UV-A) والتقليل من تأثيرها المدمر على الخلايا، حيث لوحظ أن هذه الأصبغة تتركز في الطبقة المخاطية أو خلايا الغمد التي تحيط بخلايا هذه النباتات وأن تعريض الخلايا لهذه الأشعة يعمل على تحريض اصطناع هذه الأصبغة (Sinha et al 2003, Sinha et al 1999).

تتجلى الآثار السلبية للأشعة فوق البنفسجية بأشكال عديدة لدى الكائنات الحية: كتقطيع سلاسل المادة النووية (DNA) وتخريبها (He and Haeder 2002, Reddy et al 1998)، تخريب العديد من البروتينات البنائية أو الأنزيمية ومنها أنزيمات الاستقلاب النتروجيني (Araoz et al 1998)، وانخفاض كمية غاز الأوكسجين المتحرر بفعل عملية التركيب الضوئي (Ayash et al 2003)، وتناقص كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المثبت وبالتالي تناقص إنتاجية النبات (Haeder 1999, Bishof et al 2000)، وتخرب العديد من الأصبغة المساهمة في التركيب الضوئي وبخاصة تلك الموجودة في الفيكوبيليزومات Phycobilisomes لدى الأحياء الدقيقة ذوات التركيب الضوئي (Sinha et al 2002).

2. أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة تأثير الأشعة فوق البنفسجية على النمو وأصبغة التركيب الضوئي والمحتوى البروتيني الكلي عند أحد أنواع الطحالب الخضراء المزرقة (الأنابينا *Anabaena sp.*) التي تنمو طبيعياً على الترب الرطبة وفي المستنقعات الضحلة، حيث تعمل على إغناء التربة بالمركبات النتروجينية مما يساهم في نمو النباتات الراقية بشكل أفضل، ويعمل على ازدهار الغطاء النباتي في تلك الترب أو في محيط تلك المستنقعات.

3 . طريقة البحث ومواده:

3 . 1:عزل الأنابينا وشروط النمو:

تم الحصول على طحالب الأنابينا من بعض المستنقعات الضحلة القريبة من مدينة أبها في السعودية، وذلك في شهر آب (أغسطس) عام 2004م، حيث كانت المستنقعات في أوج تعرضها لضوء الشمس خلال العام. وجرى العزل عن طريق غسل العينات الطحلبية عدة مرات بالماء المقطر، ثم جرى توزيعها على أطباق بتري تحتوي 1.5% من وسط الآجار تحت شروط معقمة، ثم حفظها في غرفة الزرع لمدة 10 أيام في درجة حرارة 20مْ وشدة إضاءة (12واط/ م^2). تم بعد ذلك اختيار بعض المستعمرات المعزولة ونقلها بواسطة إبرة العزل وتحت شروط معقمة إلى أنبوب زجاجي حاو على محلول نمو مغذ للعالمين سافرمان وموريس (Safferman and Morris 1964). جرى حفظ الأنبوب في غرفة الزرع لمدة 7 أيام، ثم جرى بعد ذلك ترسيب العينة (10 min ,1500 x g) ، وحل الراسب بقليل من السائل المغذي. تم بعد ذلك توزيع المزيج الكثيف على أطباق بتري حاوية على الآجار بنفس الطريقة السابقة، وفحص الأطباق مجهرياً، ووضع إشارة على خلايا الأنابينا المعزولة التي نمت بعد 7 أيام من الحفظ معطية مستعمرات. جرى بعدها فحص المستعمرات مجهرياً ونقل بعضها من جديد إلى أطباق بتري حاوية على الآجار، وهكذا تم تكرار العملية عدة مرات لحين الحصول على مستعمرات نقية للأنابينا على الآجار.

تم تحت شروط معقمة نقل المستعمرات النقية قبل إجراء التجارب عليها إلى أوعية أرلنماير حاوية حتى 40% من حجمها على محلول النمو المعقم، حيث كان الوزن الأولي للطحالب في الأوساط السائلة حوالي 0.15 ملغ / مل محلول ، وجرى حفظ الأوعية في غرفة النمو تحت نفس الشروط السابقة. تم إجراء جميع التجارب اللاحقة على العينات الطحلبية بعد 4 أيام من نقلها إلى أوعية الأرلنماير.

3 . 2:التعريض للأشعة فوق البنفسجية:

تم توزيع العينات الطحلبية (2–5 × 10 ^{4} خلية /مل) في أطباق بتري، ووضعت الأطباق على جهاز هزاز منعاً لتراكم الخلايا فوق بعضها، ثم جرى تعريضها للأشعة فوق البنفسجية الصنعية من نمط (UV-B) الصادرة عن لمبة UV خاصة (UV-B Lamp, output at 312 nm, Philips).

3 . 3: تحديد نسب المستعمرات الحية والمحتوى البروتيني:

تم أخذ 0.05 مل من محلول الخلايا المعرضة في أطباق بتري للأشعة فوق البنفسجية وذلك بفواصل زمنية محددة، ثم جرى توزيعها على أطباق بتري الحاوية على الآجار. ثم جرى بعد يومين ملاحظة و تعداد المستعمرات الحية الموجودة على الآجار لأجل تحديد نسبة الخلايا الحية المتبقية بعد التعريض للأشعة فوق البنفسجية.

تم تحديد المحتوى البروتيني الإجمالي للخلايا وفق طريقة العالم برادفورد (Bradford 1976) .

3 . 4: تحديد كمية الأصبغة ومعدلات الامتصاص الضوئي:

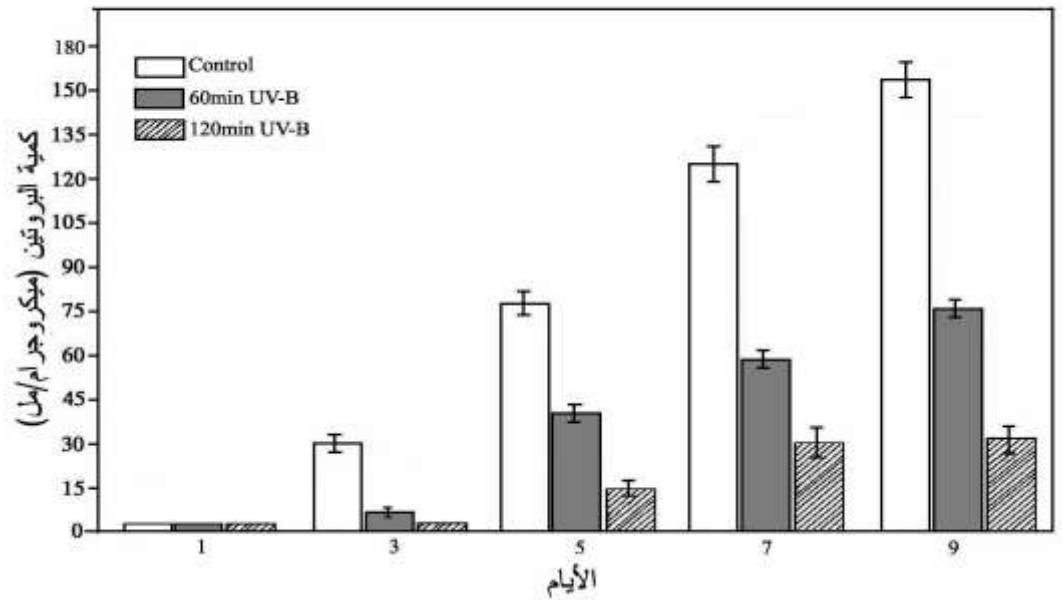
تم تحديد شدة الامتصاص الضوئي وبالتالي كمية الأصبغة باستخدام جهاز مقياس الطيف (Spectrophotometer, Beckman) ، حيث تم ترسيب الخلايا بعد تعريضها لفترات محددة من الأشعة فوق البنفسجية من نمط (UV-B)، ثم جرى حلها بالماء المقطر وتعبئتها في حجر كوارتزية سعة 2 مل. جرى بعد ذلك بواسطة مقياس الطيف تحديد شدة الامتصاص الضوئي للعينة عند أمواج ضوئية مختلفة.

4 . النتائج:

4 . 1: النمو والمحتوى البروتيني:

تم تحديد معدلات النمو عن طريق قياس المحتوى البروتيني الكلي في خلايا الأنابينا، حيث يعد المحتوى البروتيني الكلي للخلايا عاملاً محدداً ومؤشراً رئيساً على النمو وإنتاجية النبات (Parker et al 1978, Garcia-Sanchez et al 1993, Sinha and Haeder 1996) . جرى في البدء تعريض الخلايا الطحلبية للأشعة فوق البنفسجية (UV-B) لمدة 60 دقيقة أو 120 دقيقة متواصلة، ثم تُركت الخلايا تنمو بعد ذلك لمدة تسعة أيام تم خلالها متابعة التبدل في المحتوى البروتيني في الخلايا.

لقد أظهرت النتائج أن النمو كان متماثلاً في اليومين الأولين لدى جميع أنواع خلايا الأنابينا (غير المعرضة للأشعة، 60 دقيقة أشعة، 120 دقيقة أشعة)، واعتباراً من اليوم الثالث ظهر التباين في النمو بين أنماط الخلايا الثلاث، حيث بلغ معدل النمو في اليوم الخامس مثلاً حوالي 50% مقارنة بالشاهد (الخلايا غير المعرضة للأشعة)عند الخلايا التي تم تعريضها للأشعة لمدة 60 دقيقة، وبلغ حوالي 15% عند الخلايا التي تعرضت لمدة 120 دقيقة للأشعة، الشكل (1). وكان معدل النمو في الفترة بين اليومين السابع والتاسع عند الخلايا التي عُرضت للأشعة لمدة 120دقيقة منخفضاً وشبه مستقر عند 20% ، بينما استمرت الخلايا التي عُرضت للأشعة لمدة 60 دقيقة بوتيرة نمو أعلى خلال نفس الفترة.



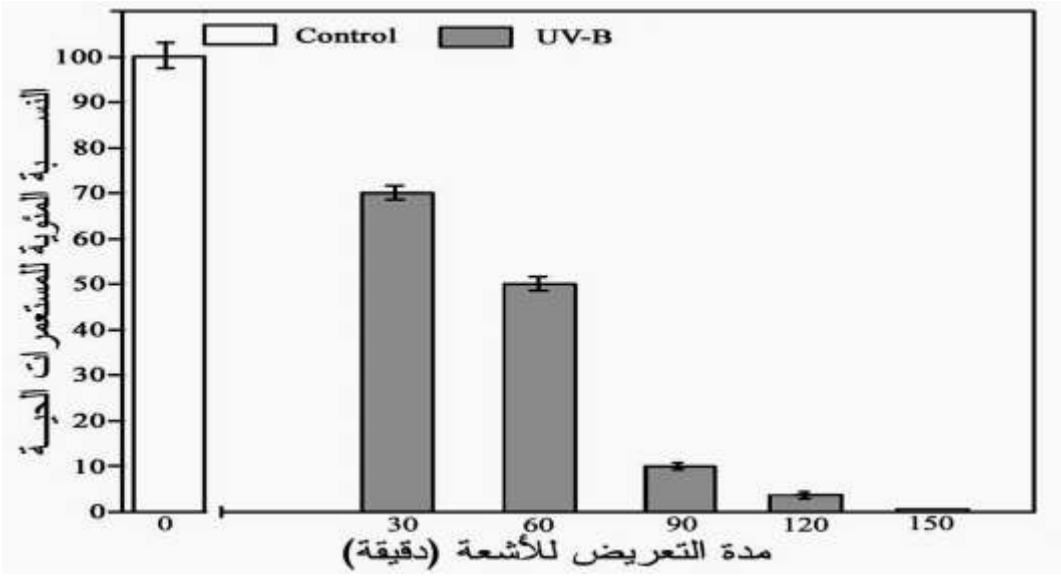
الشكل (1): معدل نمو عينات الطحالب الخضراء المزرقة أنابينا (كمية البروتين الكلي) في الوسط السائل بعد التعريض للأشعة فوق البنفسجية (UV-B) لمدة 60 أو 120 دقيقة.

4 . 2: نسب المستعمرات الحية:

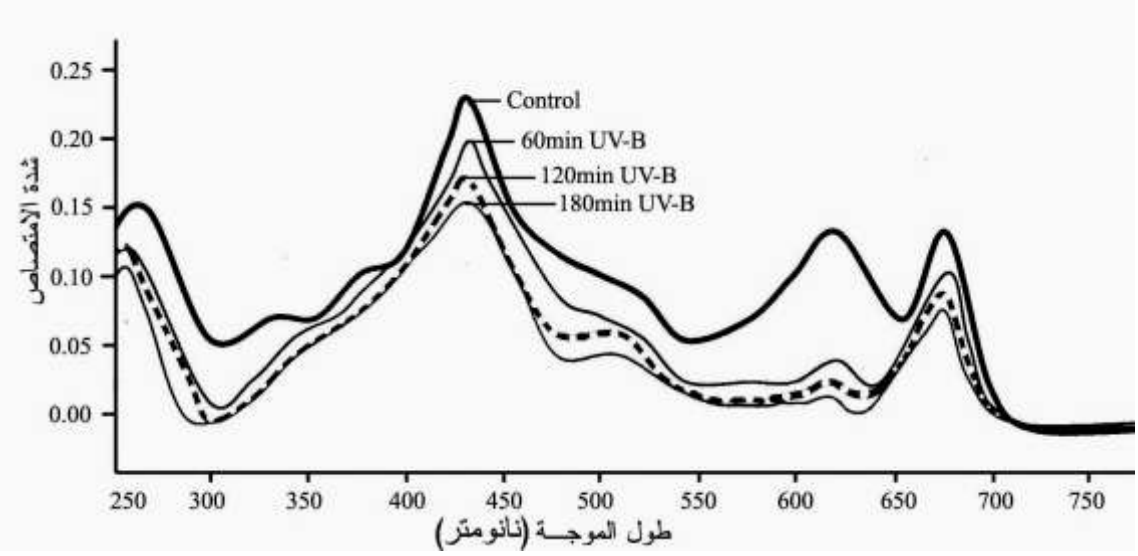
كان يجري تعريض العينات الطحلبية للأشعة فوق البنفسجية من نمط (UV-B) لفترات زمنية متفاوتة، ثم يجري بعدها مباشرة تعداد المستعمرات الحية التي استطاعت تحمل فترة التعريض. يُظهر الشكل (2) أن 70% من المستعمرات التي جرى تعريضها للأشعة لمدة 30 دقيقة استمرت حية واستطاعت تحمل فترة التعريض، و 50 % من المستعمرات استمرت حية بعد التعريض للأشعة لمدة 60 دقيقة، و10 % بعد 90 دقيقة تعريض للأشعة، بينما لم يبق أكثر من 5 % من المستعمرات حية بعد التعريض للأشعة لمدة 120 دقيقة متواصلة. وكانت جميع المستعمرات تموت بعد التعريض للأشعة لمدة 150 دقيقة .

4 . 3: معدلات الامتصاص الضوئي:

لقد أظهرت الخلايا انخفاضاً عاماً في معدلات الامتصاص الضوئي بعد تعريضها للأشعة فوق البنفسجية من نمط (UV-B) ، الشكل (3). تُشير منحنيات الامتصاص إلى وجود أربع قمم امتصاص رئيسة في المجال المرئي عند الأمواج الضوئية 437، 485، 620، 672 نانومتر ، وتبين أنه مع ازدياد فترة تعرض العينات للأشعة ينخفض معدل امتصاصها للضوء بشكل مضطرد، ولكن بالمقارنة بين القمم الامتصاصية الأربع يتبين أنه يحدث انخفاض كبير وملحوظ عند الموجة ذات الطول 620 نانومتر، وهي الموجة التي يكون فيها امتصاص صباغ الفيكوسيانين للضوء أعظمياً، وفي هذا إشارة واضحة إلى تأثر هذا الصباغ وتخربه بفعل الأشعة فوق البنفسجية بشكل أشد بكثير من تأثر بقية أصبغة التركيب الضوئي كاليخضور أ Chlorophyll a (الامتصاص الأعظمي عند 437، 672 نانومتر) والكاروتينويدات Carotenoids (الامتصاص الأعظمي عند 485 نانومتر).



الشكل (2): النسبة المئوية لمستعمرات الأنابينا الحية بعد التعريض للأشعة فوق البنفسجية (UV-B) لفترات زمنية مختلفة.



الشكل (3): معدلات الامتصاص الضوئي لخلايا الأنابينا بعد التعريض للأشعة فوق البنفسجية (UV-B) لفترات زمنية مختلفة.

5 . المناقشة:

تؤكد نتائج دراستنا هذه على أن الطحالب الخضراء المزرقة أنابينا *Anabaena sp.* تعد شديدة الحساسية تجاه الأشعة فوق البنفسجية من نمط (UV-B)، وهي استناداً إلى دراسات أخرى (Garcia-Pichel and Castenholz 1991, Sinha et al 1998) أكثر حساسية تجاه هذه الأشعة من بقية أجناس الطحالب الخضراء المزرقة كالنوستوك *Nostoc sp.* ، وربما يعود ذلك إلى غياب الغمد المخاطي عند الأنابينا الذي يُغلف الخلايا عند النوستوك، حيث تبين

أن هذا الغمد يحتوي على مجموعة من الأصبغة الواقية من الأشعة فوق البنفسجية كالسيتونيمين Scytonemin (Sinha et al 2003).

تحمل الأشعة فوق البنفسجية من نمط (UV-B) طاقة عالية، ويعتقد كثير من الباحثين أن التأثير الأولي لهذه الأشعة على الخلايا يتجلى في تخريب بعض البروتينات البنيوية في الغشاء البلازمي، مما يؤدي إلى إحداث خلل في نفاذية هذا الغشاء (Caldwell 1981, Tevini and Teramura 1989, Sinha et al 2002). وتموت جميع الخلايا عندما تكون فترات التعريض لهذه الأشعة طويلة، ويعزى الموت في هذه الحالة إلى تخرب وتوقف عدد كبير من العمليات الحيوية في الخلايا بشكل متزامن(Caldwell 1981, Haeder and Worrest 1991) .

تؤكد هذه الدراسة على تأثر صبغة الفيكوسيانين وتخربها لدى طحالب الأنابينا بفعل الأشعة فوق البنفسجية من نمط (UV-B) بشكل أشد من بقية أصبغة البناء الضوئي كاليخضور والكاروتينويدات، وهذا يعد متوافقاً مع دراسات على أنواع أخرى من الطحالب الخضراء المزرقة (Donkor and Haeder 1991) أو على بعض الطحالب كطحلب كريبتوموناس *Cryptomonas sp.* (Haeberlein and Haeder 1992). حيث تعمل الجرعات العالية من الأشعة فوق البنفسجية (UV-B) على أكسدة هذه الأصبغة ضوئياً، الأمر الذي يؤدي إلى شحوبها وتخربها، كما يمكن أن تعمل هذه الأشعة على الحيلولة دون اصطناع اليخضور والأصبغة الكاروتينويدية.

تُشير نتائج دراستنا هذه إلى تثبيط عمليات الاصطناع البروتيني في خلايا الأنابينا بفعل الأشعة فوق البنفسجية (UV-B)، حيث لوحظ ازدياد معدلات الانخفاض في المحتوى البروتيني الكلي للخلايا بشكل متزامن ومتواز مع ازدياد فترة التعريض للأشعة. تتفق النتائج التي توصلنا إليها في هذا الصدد مع دراسات أخرى حول تأثير هذه الأشعة على المشطورات البحرية Marine diatoms (Dohler 1985) . يعد تأثير الأشعة فوق البنفسجية (UV-B) على البروتينات الخلوية متعدد الأوجه، حيث تؤثر هذه الأشعة على البروتينات البنيوية في الغشاء مما يؤدي إلى خلل في نفاذية الغشاء الخلوي للأيونات المختلفة، كما تؤثر سلباً على بنية أنزيمات النيتروجينيز Nitrogenase enzymes مما يحول دون تمكن الطحالب الخضراء المزرقة تثبيت النتروجين الجوي وإنتاج البروتين (Haeder and Worrest 1991).

6 . الاستنتاجات والتوصيات:

نعتقد في النهاية أن الاستمرار في تآكل طبقة الأوزون سيؤدي إلى ازدياد معدلات الأشعة فوق البنفسجية الشمسية من نمط (UV-B) الواصلة إلى سطح الأرض، التي ستؤثر سلباً على الطحالب الخضراء المزرقة كالأنابينا بشكل خاص، الأمر الذي سينعكس سلباً على إنتاجية ووجود هذه الطحالب التي تعد شديدة الأهمية في السلسلة الغذائية، ولا يقتصر التأثير السلبي على هذه الطحالب وغيرها من الكائنات الدقيقة بل إنه امتد –ويمتد تدريجياً– إلى المحيط الحيوي من النباتات والحيوانات الذي تعيش فيه هذه الطحالب، الأمر الذي سيؤدي في النهاية إلى تهديد وجود الإنسان ذاته. لذا لابد من العمل عالمياً على منع انبعاث الغازات الملوثة كغازات الكلوروفلوروكربون (CFCs) حتى نفسح المجال أمام طبقة الأوزون لترميم نفسها ولو بعد عدة عقود، بحيث تعود قادرة على حماية الأرض من هذه الأشعة المدمرة، وحتى نؤمن لأطفالنا بيئة يمكنهم فيها الاستمرار بالحياة.

المراجع:

1. ARAOZ, A., LEBERT, M., HAEDER, D. P. *Translation activity under ultraviolet radiation and temperature stress in the cyanobacterium Nostoc sp*. Journal of Photochemistry and Photobiology. Vol.47,1998, 115-120.
2. AYASH, A., RICHTER, P., HAEDER, D. P. *Comparative study of the influence of UV on photosynthesis of Cryptomonas maculata and Cosmarium cucumis* . Trends in Photochemistry & Photobiology. Vol. 10, 2003, 167-173.
3. BISCHOF, K., HANELT, D., WIENCKE, C. *Effects of ultraviolet radiation on photosynthesis and related enzyme reactions of marine macroalgae*. Planta. Vol. 211, 2000, 555-562.
4. BRADFORD, M. *A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of the protein-dye binding*. Analyt. Biochem. Vol.72, 1976, 248-254.
5. CALDWELL, M. *Plant response to solar ultraviolet radiation*. Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. 12A, 1981, 169-197.
6. CRAWFORD, N. M. *Nitrate nutrient and signal for plant growth*. Plant Cell. Vol. 7, 1995, 859-868.
7. DOHLER, G. *Effects of UV-B radiation (290-320 nm) on the nitrogen metabolism of several marine diatoms*. J. Plant. Physiol. Vol.118, 1985, 391-400.
8. DONKOR, V., HAEDER, D. P. *Effects of solar and ultraviolet radiation on motility, photomovement and pigmentation in filamentous, gilding cyanobacteria*. FEMS Microbiol. Ecol. Vol.86, 1991, 159-168.
9. GARCIA-PICHEL, F., CASTENHOLZ, R. W. *Characterisation and biological implication of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment*. J. Phycol. Vol. 27, 1991, 395-409.
10. GARCIA-SANCHEZ, M. J., FERNANDEZ, J.A., NIELL, F.X. *Biochemical and physiological responses of Gracillaria tenuistipitata undr two different nitrogen treatments*. Physiol. Plant. Vol. 88, 1993, 631-637.
11. HAEBERLEIN, A., HAEDER, D. P. *UV effects on photosynthetic oxygen production and chromoprotein composition in a freshwater flagellate Cryptomonas*. Acta Protozool. Vol. 31, 1992, 85-92.
12. HAEDER, D. P. *Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems*. Fundamentals for Assessment of Risks from Environmental Radiation. 1999, 457-461.
13. HAEDER, D. P., WORREST, R. C. *Effects of enhanced solar-ultraviolet radiation on aquatic ecosystems*. Photochem. Photobiol. Vol. 53, 1991, 717-725.
14. HAEDER, D. P., WORREST, R. C., KUMAR, H. D. *Aquatic ecosystems*. UNEP Environmental Effects Pannel Report. 1989, 39-48.
15. HE, Y. Y., HAEDER, D. P. *UV-B induced formation of reactive oxygen species and oxidative damage of the cyanobacterium Anabaena sp.: protective effects of ascorbic acid and N-acetyl-L-cysteine*. Journal of Photochemistry and Photobiology. Vol. 66, 2002, 115-124.
16. KLISCH, M., HAEDER, D. P. *Effects of UV radiation on phytoplankton*. Trends in Photochemistry & Photobiology. Vol.8, 2001, 137-143.
17. KUHLBUSCH, T. A., LOBERT, J. M., CRUTZEN, P. J., WARNECK, P. *Molecular nitrogen emissions from denitrification biomass burning*. Nature. Vol. 351, 1991, 135-137.

18. LOPES, P. F., OLIVEIRA, M. C., COLEPICOLO, P. *Diurnal fluctuation of nitrate reductase activity in the marine red algae Gracillaria tenuistipitata (Rhodophyta).* J. Phycol. Vol. 33, 1997, 225-231.
19. LUBIN, D., JENSEN, E. H. *Effects of clouds and stratospheric ozone depletion on ultraviolet radiation trends*. Nature. Vol. 377, 1995, 710-713.
20. MADRONICH, R. L., McKENIZIE, L. O., BJORN, M., CALDWELL, M. *Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface*. J. Photochem. Photobiol. Vol. 46, 1998, 5-19.
21. VAN DEN HOEK, C., JAHNS, H., MANN, D. *Algen*. Ed. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1993, 411pp.
22. PARKER, B. C., HEISKELL, L. E., THOMPSON, W. J. *Non-biogenic fixed nitrogen in Antractica and some ecological implications*. Nature. Vol. 271, 1987, 651-652.
23. REDDY, V. N., GIBLIN, F. J., LIN, L. R., CHAKRAPANI, B. *The effect of aqueous humor ascorbate on ultraviolet-B-induced DNA damage in lens epithelium*. Invest. Ophthlamol. Vis. Sci. Vol. 39, 1998, 344-350.
24. SAFFERMAN, R. S., MORRIS, M. E. *Growth characteristics of the blue-green algal virus LPP-1*. J. Bacteriol. Vol. 88, 1964, 771-773.
25. SINHA, R. P., HAEDER, D. P. *Photobiology and ecophysiology of rice field cyanobacteria*. Photochem. Photobiol. Vol. 64, 1996, 887-896.
26. SINHA, R. P., KRYWULT, M., HAEDER, D. P. *Effects of ultraviolet, monochromatic and PAR waveband on nitrate reductase activity and pigmentationin a rice field cyanobacterium, Anabaena sp*. Acta. Hydrobiol. Vol. 40, 1998, 105-112.
27. SINHA, R. P., KLISCH, M., VAISHAMPAYAN, A., HAEDER, D. P. *Biochemical and spectroscopic characterization of the cyanobacterium Lyngba sp. Inhabiting mango (Mangifera indica) trees: Presence of an ultraviolet-absorbing pigment, Scytonemin*. Acta. Protozool. Vol. 38, 1999, 291-298.
28. SINHA, R. P., RICHTER, P., FADDOUL, J., BRAUN, M., HAEDER, D. P. *Effects of UV and visible light on cyanobacteria at the cellular level*. Photochem. Photobiol. Sci. Vol. 1, 2002, 553-559.
29. SINHA, R. P., AMBASHT, N. K., SINHA, J., KLISCH, M., HAEDER, D. P. *UV-B-induced synthesis of mycosporine-like amino acids in three strains of Nodularia (cyanobacteria).* J. Photochem. Photobiol. Vol. 71, 2003, 51-58.
30. STEWART, W. D. *Some aspects of structure and function in N2-fixing cyanobacteria.* Annu. Rev. Microbiol. Vol. 34, 1981, 497-536.
31. TEVINI, M., TERAMURA, A. H. *UV-B effects on terrestrial plants.* Photochem. Photobiol. Vol. 50, 1989, 497-487.
32. TOON, O. B., TURCO, R. P. *Polar stratospheric clouds and ozone depletion*. Sci. Am. Vol. 264, 1991, 68-74.
33. VENKATARAMAN, G. S. *Blue-green algae: a possible remedy to nitrogen scarcity*. Curr. Sci. Vol. 50, 1981, 253-256.