مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (19) العدد (6) 1997
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Basic Science Series Vol. (19) No (6) 1997

أثر الأشعة فوق البنفسجية (UV-A, UV-B) على عملية التركيب الضوئي عند الطحلب البحري Cryptomonas maculata وعند طحلب المياه العذبة Cosmertum cucumls

الدكتور عبد الكريم شريف عيّاش*

الملخّص

تؤثر الأشعة فوق البنفسجية سلباً على عملية التركيب الضوئي وإنتاجية الطحالب الدقيقة (العوالق النباتية) ويمكن إظهار ذلك من خلال فلورة اليخضور (a) وانطلاق الأوكسجين من قبل نظام التركيب الضوئي الثاني. تمّ إجراء التجارب على اثنين من الطحالب أحدهما بحري Cryptomonas maculata، والآخر يعيش في المياه العذبة Cosmarium cucumis وتبين أن قيم الفلورة العظمى (Fm) ترفع عند التعريض للأشعة فوق البنفسجية من نمط UV-B ويتناقص إنتاج الأوكسجين عند كلا الطحلبين، إنما عند الطحلب البحري بشكل أكبر وأسرع منه عند طحلب المياه العذبة، أما الأشعة فوق البنفسجية من نمط UV-A فكانت ذات تأثير منخفض على الطحلب البحري وشبه معدوم على طحلب المياه العذبة. كما تبين أن الطحالب تستطيع بعد تعريضها للأمواج فوق البنفسجية الطويلة ترميم العطب الحاصل في جهاز التركيب الضوئي، بينما تفشل في ذلك إذا عرضت للأمواج القصيرة ولو لفترة وجيزة.

تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن زياد نسبة الأشعة فوق البنفسجية (بشكل خاص UV-B) نتيجة التخرب المتزايد في طبقة الأوزون بفعل الملوثات البيئية – تؤثر بشكل سلبي واضح على مجموعات العوالق النباتية (الفيتوبلانكتون) وتعمل على تدمير النظم الحيوية المائية.

* مدرس في قسم العلوم الطبيعية – كلية العلوم – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (19) العدد (6) 1997
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Basic Science Series Vol. (19) No (6) 1997

Effects of Ultraviolet Radiation on Photosynthesis in the Marine Flagellate Cryptomonoas maculata and in the Water Desmid Cosmarium cucumis

Dr. Abed Al-Karim Sharif AIASH*

❐ ABSTRACT ❐

The UV radiation (especially UV-B) effects on the photosynthesis of algae: increase chlorophyll fluorescence and decrease oxygen production. The experiments done on two algae: the marine Cryptomonas maculata and the fresh water Cosmarium cucumis showed that the marine algae was more sensitive towards UV radiations than the fresh water algae.

The UV-A radiation did not show any significant effect on photosynthesis in both algae. The experiments pointed out that a short exposure time of algae at high influence rates of UV had a more pronounced effect than a long exposure time at low influence rates, suggesting the presence of repair mechanism.

The results of the present study indicate that increased UV-B radiation as a result of ozone depletion may have significant effects on phytoplankton populations.

* Lecturer at the Department of Natural Science, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- مقدمة:

تعتبر الأشعة الشمسية ضرورية جدا لاستمرار الحياة على سطح الأرض، فهي توفر الطاقة اللازمة للتركيب الضوئي وبالتالي المصدر الرئيس لغذاء جميع الكائنات الحية. لكن الأشعة الشمسية تحتوي أيضاً على مجموعة من الأمواج فوق البنفسجية (UV) Ultraviolet الضارة، ولقد تم تقسيم هذه الأمواج حسب طاقتها أو طول موجتها [Lawtor, 1987] إلى:

- UV-C وهي الجزء من الأشعة فوق البنفسجية الأغنى بالطاقة وتتراوح أطوال أمواجها ما بين (100-280 نانومتر) ويتم امتصاصها كلية في طبقات الجو العليا.
- UV-B: ذات الأمواج الغنية بالطاقة والتي تتراوح أطوالها ما بين (280-320 نانومتر). يجري امتصاص 90% من هذه الأمواج من قبل الأوزون (O_3) في طبقة الستراتوسفير من الغلاف الجوي (ما بين 10-50 كم عن سطح البحر)، ويجري امتصاص الـ10% المتبقية عادة في طبقة التربوسفير من الغلاف الجوي (ما بين 0-12 كم عن سطح البحر)، [Acevedo & Nolan, 1993].
- UV-A: وهي الأفقر بالطاقة وتتراوح أطوال أمواجها ما بين (320-400 نانومتر) وهي تصل إلى الأرض بشكل طبيعي وتنتشر مع الضوء المرئي [Caldwell et al, 1983].

ينتشر الأوزون في الستراتوسفير الجوي ضمن طبقة قليلة الكثافة تتراوح سماكتها ما بين 10-40 كم، لكن كميته تعتبر قليلة، حيث لو جُمع هذا الغاز وضُغط لشكل طبقة لا تزيد سماكتها عن 40 ملم.يتحطم هذا الغاز ويتشكل باستمرار في الغلاف الجوي عبر عملية ديناميكية متوازنة منذ الأزل، فهو يتشكل بفعل الأشعة فوق البنفسجية القصيرة (أقل من 250 نانومتر) ويتحطم ثانية بفعل الطويلة منها منتجا الأوكسجين الجزيئي (O_2) والأوكسجين الذري (O)، وفق المعادلات التالية:

$$2O + 2O_2 \rightarrow 2O_3 \quad ; \quad 1O_2 \text{ ـــــ أمواج (UV) قصيرة} \rightarrow 2O$$

$$2O + 2O_3 \rightarrow 4O_2 \; ; \; 2O_3 \text{ ـــــ أمواج (UV) قصيرة} \rightarrow 2O + 2O_2$$

بدأ الأوزون يتحطم في العقود الأخيرة بشكل كبير بفعل ملوثات غازية صناعية مجموعة غازات الكلورفلوركربون Chlorinated fluorocarbons (CFC)، حيث تتحرر من هذه المركبات ذرات الكلور بفعل الأشعة فوق البنفسجية وتهاجم الملايين من جزيئات الأوزون مخربة إياها:

$$CHCl_3 \xrightarrow{UV-radiation} CFCl_2 + Cl$$

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2 \; , \; ClO \rightarrow Cl + \frac{1}{2}O2 \; (repeated)$$

لقد لوحظ ناتج فعل هذه الغازات والتآكل الشديد في طبقة الأوزون لأول مرة فوق منطقة القطب الجنوبي خلال الثمانينات من القرن السابق [Farman et al, 1985]، لكنه من المعروف الآن أن التآكل منتشر أيضاً فوق أجزاء أخرى من الكرة الأرضية إنما بدرجات متفاوتة. كما تظهر نتائج الرصد بوساطة الأقمار الصناعية بأن نسبة الأشعة فوق البنفسجية التي تصل الأرض وبخاصة في الأشهر الباردة قد ازدادت بنتيجة التآكل الأوزوني بنسبة 10% خلال العقود الأخير. يعتبر الأوزون فيلتراً فعالاً يحول دون وصول الأشعة فوق البنفسجية من نمط UV-B إلى الأرض، ومع تآكل طبقة هذا الغاز تبدأ الآثار الضارة لهذه الأشعة الغنية بالطاقة بالظهور عند امتصاص الجزيئات الحيوية لها: تحطم سلاسل الـDNA، تخرب البروتينات، كما يتفاعل الأوكسجين الجزيئي مع الماء ضمن الأوساط المائية بفعل هذه الأشعة معطياً الماء الأوكسيجيني (H_2O_2)، ذو الأثر المؤكسد الضار للخلايا الحية.

تنمو العوالق النباتية –التي تقع في بداية السلسلة الغذائية للكائنات الحية– في الأوساط المائية، حيث تستطيع الأشعة فوق البنفسجية من نمط UV-B اختراق طبقات مياه البحار والبحيرات والوصول إلى منطقة نموها، وبما أن هذه الكائنات بسيطة التكوين وصغيرة الحجم ولا تحتوي على طبقات حماية كالبشرة عند النباتات الراقية، لذلك تكون حساسة جداً تجاه هذه الأشعة التي تثبط عملية التركيب الضوئي لديها [Haeder & Worrest, 1991]. كما تؤثر هذه الأشعة سلباً على مجموعة أخرى من الأفعال الاستقلابية لدى هذه الكائنات، نذكر منها:

اختلال النمو والانقسام الخلوي [Calkins & Thordattir, 1980]، اختلال الحركية والانجذابات [Haeder & Haeder, 1988]، اختلال الاستقلاب الآزوتي بسبب تخرب بنية بعض انزيمات اصطناع الأحماض الأمينية [Doehler, 1985].

يتجسد الأثر السلبي للأشعة فوق البنفسجية من نمط UV-B على عملية التركيب الضوئي في أشكال عدة، فهي تعمل على تخريب الأصبغة المساهمة في هذه العملية وبالتالي شحوب النبات وتناقص الامتصاص الضوئي [Haeder & Haeder, 1991] وتؤدي إلى تخرب بنية البروتين D1 الذي يشكل قلب المركز التفاعل للنظام الضوئي الثاني Photosystem II (PSII) [Anderson et al, 1992] الأمر الذي ينجم عنه تناقص في تحرير الأوكسجين والنقل الإلكتروني الضوئي، بالإضافة إلى أنها تثبط أنزيمات حلقة كالفن مما يؤدي إلى الحد من اصطناع الكربوهيدرات.

يهدف بحثنا هذا إلى تبيان أثر الأشعة فوق البنفسجية من نمطي UV-A, UV-B على عملية التركيب الضوئي عند اثنين من الطحالب، أحدهما ينتشر في المياه المالحة: Cryptomonas maculata، والآخر يعيش في المياه العذبة: Cosmarium cucumis حيث يشكل هذان الطحلبان –إضافة إلى بقية أنواع العوالق النباتية– منتجاً رئيسياً للأوكسجين والمادة العضوية ومصدراً اقتصادياً هاماً لغذاء الأسماك وتنامي الثروة السمكية.

2- المواد والطرائق:

2-1: الطحالب وشروط النمو:

تمت تنمية الطحالب باستمرار ودراسة الشروط المثلى للنمو في مختبرات العلوم الطبيعية بجامعة تشرين، بينما جرى دراسة الأثر المباشر للأشعة فوق البنفسجية على إنتاجية هذه الطحالب في مختبرات الفيزيولوجيا النباتية بجامعة ارلانجن – تورمبرغ، ألمانيا، بالاستفادة من المنحة المقدمة من قبل هيئة (DAAD) الألمانية خلال صيف العام 1995م.

تم التوصل على الطحلب البحري C.maculata بشكله المعزول النقي من مخبر البيولوجيا في بلايموث، إنكلترا Marine Biology Laboratory-Plymouth وعلى الطحلب C.cucumis من مخبر زراعة الطحالب في غوتينجن، ألمانيا Goettingen Culture Collection Germany، وجرت تنميتها من أجل الحفاظ والاستمرارية في درجة حرارة 18–21°م وتحت شروط تناوب بين 12 ساعة ظلام/12 ساعة ضوء أبيض صنعي (1.2 واط/م^2) على أوساط هلامية حاوية على الآغار آغار بنسبة 2% لمحلول معدني مغذي معدّل [Provasioli et al, 1957] بالنسبة للطحلب C.maculata ولمحلول معدني مغذي [Warris, 1953] بالنسبة لطحلب ك، ضمن أنابيب اختبار زجاجية وتحت شروط معقمة.

قبل إجراء تجارب الفلورة وانطلاق الأوكسجين كان يجري نقل 0.5 غ من الطحالب إلى 150 مل من المحلول السائل المغذي المناسب (بدون آغار آغار) ضمن أرلنماير زجاجية سعة 300 مل وتترك للنمو لفترة 4-6 أسابيع تحت شروط إضاءة مستمرة (لمبات نيون: 1.28 واط/م^2) ودرجة حرارة 18°م، ثم تؤخذ منها الكمية المناسبة للاختبار ويتم يجري تثفيلها (10000 دورة/دقيقة) وحلها في وسط سائل جديد، حيث يضبط عددها (مليون خلية/مل) بوساطة مجهر مرتبط مع كاميرات فيديو وكمبيوتر لتحاليل الصورة [Haeder & Vogel, 1991].

2-2: التعريض للأشعة فوق البنفسجية:

جرى في البداية تثفيل الطحالب من محلولها السائل المغذي ومن ثم ترحيلها إلى محلول جديد من نفس السائل بعد ضبط عددها (مليون خلية/مل). تم بعد ذلك توزيع محلول الطحالب في أطباق بتري (نصف قطر = 8.5سم) بمعدل 20 مل لكل طبق. عُرضت الأطباق إلى الأشعة فوق البنفسجية الاصطناعية الصادرة عن منبع خاص (Transilluminator: IL312, Bachofer, germany). يُصدر المنبع إشعاعات فوق بنفسجية ضمن المجال [280-400 نانومتر] ويبلغ الإصدار شدته العظمى عند الموجة 312 نانومتر. وضعت الأطباق على مسافة 12سم من المنبع وعُرض بعضها للأشعة لفترات زمنية مختلفة، بينما ترك بعضها الآخر كشاهد دون تعريض. كما جرى استخدام مرشحات زجاجية شفافة للأشعة فوق البنفسجية (White glass UV-cut off- Filter, Schott & Gen., Mainz, Germany) لتحديد أثر كل نمط من هذه الأشعة على حدة، حيث كان يُعمد إلى تغطية بعض الأطباق بأنماط مختلفة من هذه الشرائح (تسمح كل شريحة بمرور الأشعة فوق البنفسجية ذات الموجة الأطول من الرقم على الشريحة، بينما تحول دون مرور الأشعة ذات الموجة الأقصر).

2-3: تحديد شدة الفلورة اليخضورية:

جرى تحديد شدة الفلورة الصادرة عن اليخضور (a) ضمن الخلايا السليمة بوساطة جهاز قياس الفلورة (PAM-Fluorometer, Gamma Scientific, San Diego, USA) الذي يعطي بوساطة ذراعه الدقيق المسلط على الطحالب وميضا ضوئيا لمدة 0.8 ثانية، مما يؤدي إلى تهييج اليخضور، ويقيس الجهاز المرتبط مع كمبيوتر وبعد التضخيم الكبير كلا من الفلورة القاعدية (Fo) والفلورة العظمى (Fm) الصادرتين عن اليخضور.

كان يُعمد تجريبياً إلى أخذ 4مل من محلول الطحالب التي عُرضت للأشعة أو من الشاهد وتصب في أنابيب اختبار لتترك بعدها لمدة نصف ساعة في الظلام من أجل ضمان أكسدة النواقل الإلكترونية ضمن نظامي التركيب الضوئي (PSI, PSII) حيث يجري بعدها قياس الفلورة.

2-4: تحديد كمية الأوكسجين المنطلقة من التركيب الضوئي:

جرى تحديد شدة انطلاق الأوكسجين باستخدام اسطوانة قياس صغيرة (قطر = 120ملم، حجم = 10مل) مصنّعة من مادة الفيبر الزجاجي الشفاف، حيث يُعمد إلى صب محلول الطحالب (تركيز = مليون خلية/مل)، الذي يجرب تحريكه باستمرار داخل الاسطوانة بوساطة خلاط مغناطيسي طيلة فترة القياس. يجري بعد ذلك تغطيس مسرى كلارك (Clark-Electrode: Yellow Spring Instruments, Ohio,

(USA بشكل محكم، مع عدم الإبقاء على فقاعات هوائية داخل المحلول. يرتبط مسرى كلارك مع جهاز استقطاب وإظهار الناقلية، الذي يرتبط بدوره مع كمبيوتر مزود ببرنامج خاص (Oxym55: Haeder & Schaefer, Uni-Erlangen, Germany) لحساب التبدلات في كمية الأوكسجين داخل أسطوانة القياس.

تعرض الأسطوانة الحاوية على محلول الطحالب إلى منبع ضوئي هالوجيني باستطاعة 250 واط، حيث تبلغ الشدة الضوئية داخل المحلول حوالي: 60 واط/م^2 أو ما يعادل 18 كيلولوكس. جرى تحديد الشدة الضوئية بوساطة خلية ضوئية صغيرة الحجم عالية الحساسية مرتبطة مع جهاز خاص لهذا الغرض (Microvoltmeter: Keithley, Type 155). قبل البدء بالقياس كان يجري حفظ الطحالب في الظلام لمدة عشر دقائق، يجري خلالها أيضا تعيير وضبط جهاز القياس عن طريق إضافة القليل من مادة ثنائي كبريت الصوديوم (10mM: $Na_2S_2O_3$) إلى المحلول بدون طحالب للحصول على التركيز الأدنى للأوكسجين ضمن المحلول، ومن ثم عن طريق ضخ الهواء في المحلول لمدة ساعة للوصول إلى حد الإشباع بالأوكسجين.

توجد أسطوانة القياس وجميع الأجهزة الأخرى داخل غرفة صغيرة مزودة بجهاز تكييف أتوماتيكي للحفاظ على درجة حرارة ثابتة طوال فترة القياس.

3- النتائج والمناقشة:

3-1: الفلورة اليخضورية:

تعتبر الفلورة اليخضورية معياراً يحدد مدى الهدر الطاقي خلال حداثة التركيب الضوئي، ويمكن من أجل تقديرها أن نستخدم مقياساً نسبياً لها (Y)، حيث:

Yield (Y) = Fv/Fm – Fm-Fo/Fm

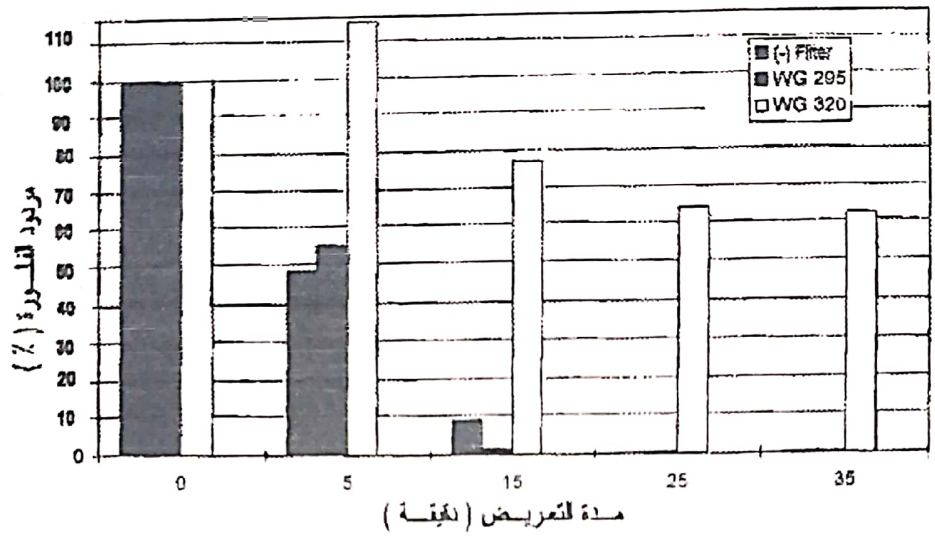
Fv: الفلورة المتغيرة.

Fm: الفلورة العظمى، التي تصدر عن جزيئات اليخضور (a) ضمن المراكز التفاعلية Raction-Centers (RC) لنظامي التركيب الضوئي، وهي ترتفع بشكل كبير متوازٍ مع الخلل الذي يطرأ على جهاز التركيب الضوئي.

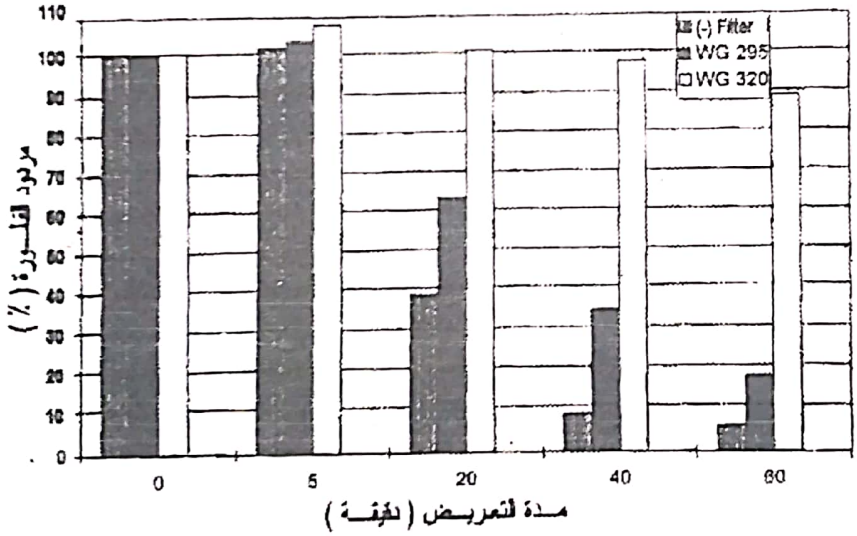
Fo: الفلورة القاعدية: التي تصدر عن جزيئات اليخضور (a) ضمن معقدات اقتناص الضوء Light Harvesting Complexes (LHC)، وهي تزداد أيضاً مع تثبيط التركيب الضوئي إنما بدرجة أقل من (Fm). وهكذا فإن التناسب (Y = Fv/Fm) يتناقص مع تثبيط عملية التركيب الضوئي.

لقد تبين لنا عند تعريض الطحالب موضوع دراستنا إلى الأنماط المختلفة من الأشعة فوق البنفسجية لفترات زمنية مختلفة أن هناك انخفاضاً في مردود الفلورة (Y) بفعل هذه الأشعة إنما تختلف شدته بحسب نمط الأشعة ومدة التعريض ونوع الطحلب كما يتبين فيما يلي:

- لدى التعريض للأشعة بدون فيلتر (UV-A+UV-B) يبدأ التناقص في قيم Fv/Fm بالظهور بعد خمس دقائق بالنسبة لطحلب C.maculata (50% مقارنة بالشاهد) وبعد 20 دقيقة من التعريض بالنسبة لطحلب C.cucumis (38% مقارنة بالشاهد)، وانعدم المردود بالنسبة للطحلب البحري بعد 25 دقيقة، بينما كان لا يزال يشكل حوالي (6% مقارنة بالشاهد) بالنسبة لطحلب المياه العذبة، الشكلان (1،2).



الشكل (1): أثر الأمواج المختلفة من الأشعة فوق البنفسجية (باستخدام أنماط مختلفة من الفيلتر الزجاجي WG) على مردود الفلورة اليخضورية عند الطحلب البحري C.maculata بعد التعريض لفترات زمنية مختلفة.



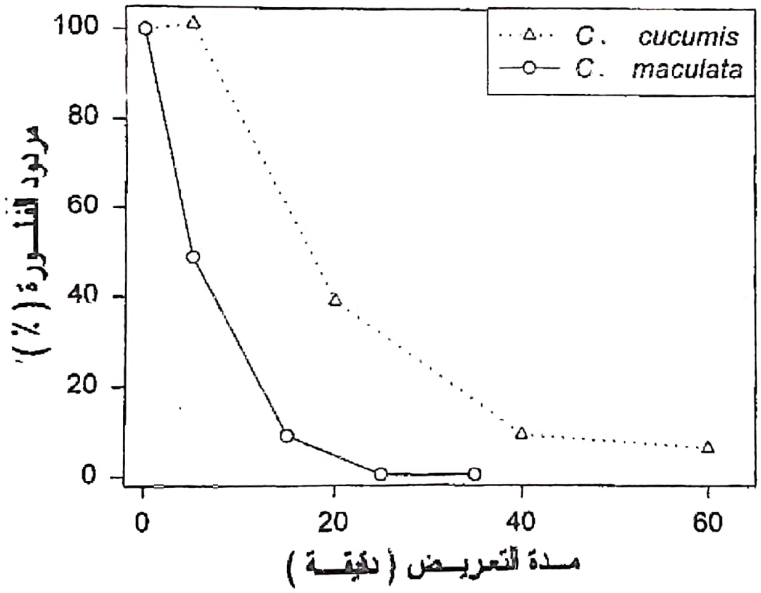
الشكل (2): أثر الأمواج المختلفة من الأشعة فوق البنفسجية (باستخدام أنماط مختلفة من الفيلتر الزجاجي WG) على مردود الفلورة اليخضورية عند الطحلب البحري C.cucumis بعد التعريض لفترات زمنية مختلفة.

– بعد التعريض للأشعة بوجود الفيلتر WG295 (يحجب جزءاً من UV-B ويُبقي جزءاً من UV-A+UV-B) كان التناقص في قيم مردود الفلورة (Y) أقل وضوحاً عند C.cucumis (62% بعد 20 دقيقة) منه عند C.maculata (1% بعد 15 دقيقة)، الذي كان التناقص لديه مشابهاً لحالة عدم وجود الفيلتر، الشكلان (1،2).

- بعد التعريض للأشعة بوجود الفيلتر WG320 (يحجب UV-B ولا يقي سوى UV-A) كان تأثر طحلب المياه العذبة شبه معدوم، بينما أبدى الطحلب البحري تأثيرا واضحاً بها (62% بعد 35 دقيقة من التعريض) الشكل (1).

- لاحظنا من مجمل ما تقدم انخفاضاً في التناسب Fv/Fm مع التعرض للأشعة فوق البنفسجية مما يعني ارتفاعا في قيم كل من الفلورة القاعدية (Fo) والفلورة العظمى (Fm). يعكس ارتفاع قيم الفلورة الأثر السلبي لهذه الأشعة على كل من معقدات اقتناص الضوء (LHC) وعلى النقل الإلكتروني ضمن النظام الضوئي الثاني (PSII) تحديداً، حيث أن النظام الضوئي الأول (PSI) يطلق فوتونات الفلورة حتى في الحالة الطبيعية.

لقد لاحظنا أيضاً ارتفاعاً طفيفاً في قيم هذا التناسب (مردود الفلورة Yield) بعد التعريض لفترات قصيرة (5 دقائق) بوجود الفيلتر (WG320) عند كلا الطحلبين، الشكلان (1،2)، الأمر الذي يمكن أن يعزى إلى توزع طاقة التهييج ضمن معقدات اقتناص الضوء بسبب تثبيط النقل الإلكتروني في النظام الثاني. ومن الجدير بالذكر أنه لا يمكن لهذه الطاقة المتوزعة أن تساهم في حلقة الكزانتوفيلات لأن انزيم Violaxanthin deepoxidase المساهم في هذه الحلقة يكون قد تضرر وتثبط بفعل الأشعة فوق البنفسجية، [Pfundel et al, 1992].



الشكل (3): مقارنة مردود الفلورة عند كلا الطحلبين C.cucumis وC.maculata بعد تعريضهما لأشعة UV المباشرة لفترات زمنية مختلفة، بدون استخدام الفيلتر الزجاجي.

يتبين لنا من خلال إجراء مقارنة بين كل من الطحلبين لدرجة تحمل الأشعة فوق البنفسجية أن طحلب المياه العذبة C.cucumis يبدي تحملاً أشد تجاه هذه الأشعة مقارنة بالطحلب C.maculata، الشكل (3)، وهذا يمكن تفسيره في أن طحلب المياه العذبة تصله دوماً في بيئته كميات أكبر من أشعة UV مما أدى

إلى تأقلمه إلى حد ما مع هذه الأشعة، أما الطحلب البحري الذي يعيش في الأعماق حيث لا تصل كمية كبيرة من هذه الأشعة فكان تأقلمه أقل.

على الرغم من شروط الإضاءة المنخفضة في بيئة الطحلب البحري فإنه يعتبر فعالاً في عملية التركيب الضوئي بفعل احتوائه على كميات كبيرة من صباغ الفيكواريترين Phycoerytherin، الذي يعتبر صباغاً مساعداً لليخضور في أداء وظيفة الامتصاص الضوئي. ومن الجدير بالذكر في هذا السياق أن نشير إلى أن الأشعة فوق البنفسجية تعمل على تخريب أصبغة التركيب الضوئي حيث يتخرب الفيكواريترين أولاً بشكل أسرع من اليخضور (a)، ويعود السبب في ذلك إلى أن اليخضور يتوضع إلى جهة سردة الثايلاكويد loculus.

لكن اليخضور يتخرب أيضاً مع استمرار التعرض لأشعة UV بوجود الأوكسجين في الوسط، حيث تطرأ عليه عملية أكسدة ضوئية فيتخرب اليخضور (c) في المرحلة الأولى ومن ثم اليخضور (a) [Haeberlein & Haeder, 1992].

3-2: انطلاق الأوكسجين:

يتناقص إنتاج الأوكسجين عند كلا الطحلبين بشكل متفاوت بعد تعريضهما إلى الأشعة فوق البنفسجية. ويعزى هذا التناقص في المرحلة الأولى إلى تغيرات بنيوية داخل معقدات اقتناص الضوء (LHC)، الأمر الذي يقود إلى تناقص في فعالية النقل الطاقي ضمنها، حيث لا تصل الطاقة إلى المراكز التفاعلية (RC) لنظامي التركيب الضوئي، بل تنطلق على شكل فلورة وبالتالي لا يجري شطر لجزيئات الماء ولا يتحرر الأوكسجين. يطرأ في المراحل اللاحقة حسب شدة أشعة UV (حسب طاقتها التي تتناسب عكسا مع طول موجتها) شحوب في الأصبغة وتخرب بروتيني متدرج.

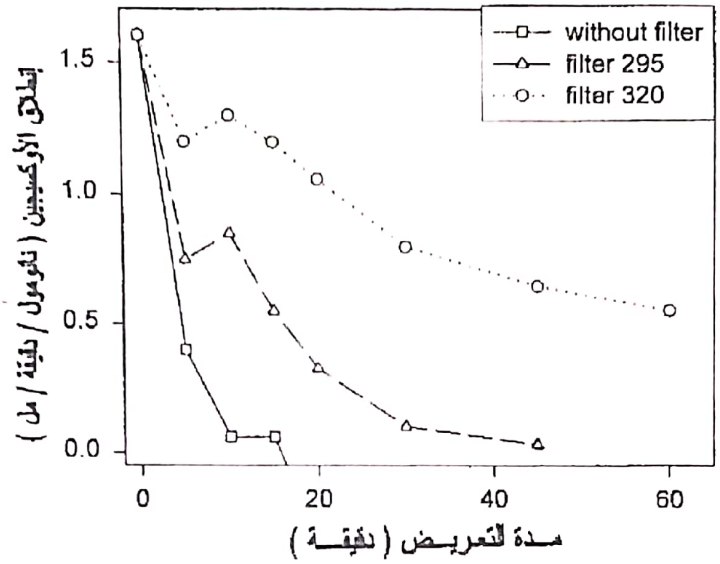
- بعد تعريض الطحالب للأشعة فوق البنفسجية بدون فيلتر، لوحظ تناقص سريع في إنتاج الأوكسجين عند كلا الطحلبين (عند C.maculata أسرع منه عند C.cucumis) خلال فترة وجيزة من الزمن، الشكلان (4،5).

- بعد التعريض للأمواج الطويلة من أشعة UV-B (بوجود الفيلتر WG295) وجد أن تناقص إنتاج الأوكسجين كان بدرجة أقل. كما أبدى الطحلبان بعد تعريضهما لمدة 10-15 دقيقة ازدياداً ملحوظاً في إنتاج الأوكسجين (أكثر منه بعد خمس دقائق وأقل بكثير من الشاهد)، الأمر الذي يمكن أن يعزى إلى أن التثبيط الذي أصاب بعضاً من بروتينات جهاز التركيب الضوئي تم ترميمه وإصلاحه بسرعة، لكن كمية الأوكسجين المنطلق تعود للانخفاض لدى الطحالب التي عرضت لفترات زمنية أطول، الشكلان (4،5).

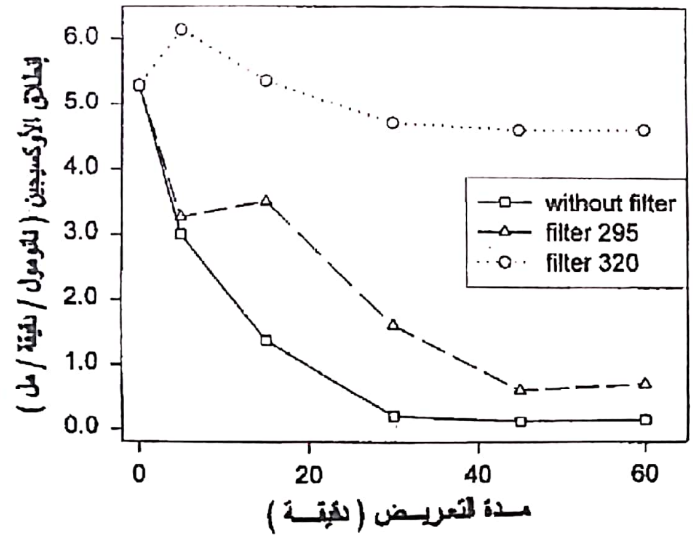
لقد وجد أيضاً أن الطحالب التي عُرضت لهذا النمط من أمواج UV – الطويلة ولو لفترة زمنية طويلة قادرة على استعادة مقدرتها في إطلاق الأوكسجين بعد حفظها في الظلام بضع ساعات، بينما لم يكن ذلك ممكناً عند الطحالب التي عُرضت للأمواج القصيرة من UV-B (ذات الطاقة العالية) ولو لفترة قصيرة. تتفق هذه النتيجة تماماً مع ما تم التوصل إليه عند المشطورة Thalassiosira pseudonane [Cullen & Lesser, 1991] بعد تعريضها لأمواج قصيرة وطويلة من أشعة UV-B. تعمل الأمواج القصيرة من أشعة UV-B على شحوب أصبغة التركيب الضوئي وتخريب بنية البروتين D1، الذي يتوضع ضمن المركز التفاعلي (RCII) للنظام الضوئي الثاني بشكل جسيم وغير قابل للترميم (تخريب ضوئي Photo-damage)،

بينما تعمل الأمواج الطويلة من أشعة UV-B (ذات الطاقة المنخفضة) على تخريب طفيف وتثبيط جزئي لعملية التركيب الضوئي من الممكن ترميمه (تثبيط ضوئي Photo-inhibition).

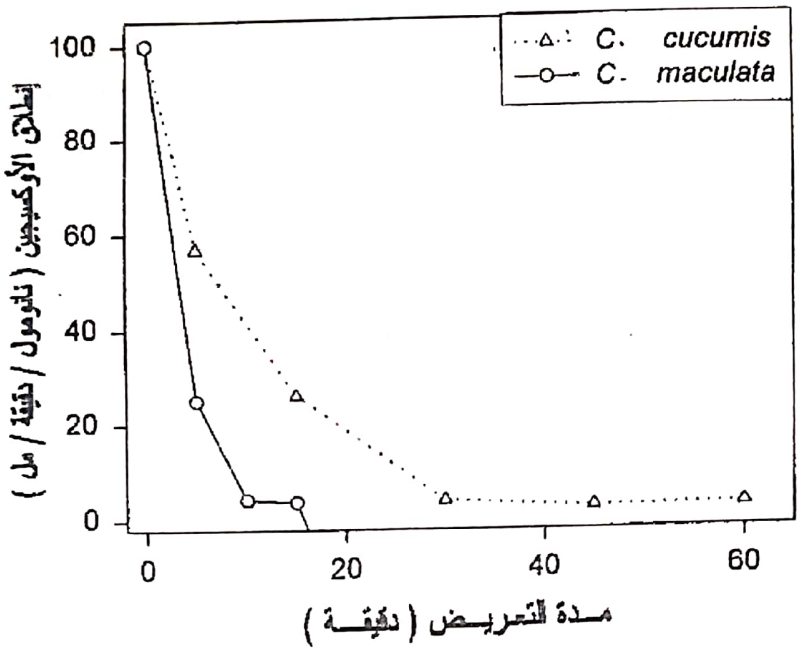
– يظهر لنا باستخدام الفيلتر (WG320) التأثير المنخفض للأشعة فوق البنفسجية من نمط UV-A (القصيرة بالطاقة، التي تنتشر الأمواج الطويلة منها مع الضوء المرئي) على إنتاجية الطحالب وانطلاق الأوكسجين، فبينما تناقص إنتاج الأوكسجين عند الطحلب البحري بشكل قليل، لوحظ أن تأثيرها على طحالب المياه العذبة كان شبه معدوم، الشكلان (4،5).



الشكل (4): أثر الأمواج المختلفة من الأشعة فوق البنفسجية (باستخدام أنماط مختلفة من الفيلتر الزجاجي WG) على انطلاق الأوكسجين عند الطحلب البحري C.maculata بعد التعريض لفترات زمنية مختلفة.



الشكل (5): أثر الأمواج المختلفة من الأشعة فوق البنفسجية (باستخدام أنماط مختلفة من الفيلتر الزجاجي WG) على انطلاق الأوكسجين عند الطحلب البحري C.cucumis بعد التعريض لفترات زمنية مختلفة.



الشكل (6): مقارنة انطلاق الأوكسجين عند كل الطحلبين C.cucumis وC.maculata بعد تعريضهما لأشعة UV – المباشرة لفترات زمنية مختلفة، بدون استخدام الفيلتر الزجاجي.

تظهر مقارنة انطلاق الأوكسجين عند كلا الطحلبين بعد تعريضهما المباشر لأشعة UV-B بدون فيلتر أن طحلب المياه العذبة C.cucumis أكثر تحملاً للأثر الضار لهذه الأشعة من الطحلب البحري C.maculata، فبعد تعريض كل نمطي الطحالب لهذه الأشعة لمدة 15 دقيقة مثلاً لوحظ أن طحلب C.cucumis لا يزال يطلق حوالي 30% من الأوكسجين مقارنة بالشاهد، بينما ينعدم انطلاق الأوكسجين تماماً عند طحلب C.maculata خلال الفترة الزمنية نفسها، الشكل (6). يعزى هذا الاختلاف في درجة تحمل الأشعة فوق البنفسجية إلى اختلاف البيئة التي يعيش فيها كل من الطحلبين ومدى عمقهما ضمن المياه كما أوردنا أعلاه.

تشير هذه الدراسة إلى أن زيادة نسبة الأشعة فوق البنفسجية وبخاصة من نمط UV-B (التي تظهر بفعل إنتاج وانطلاق غازات الفلوركلوروكاربون المسببة لتخرب طبقة الأوزون) تؤدي إلى تناقص في عملية التركيب الضوئي وإنتاجية تجمعات العوالق النباتية، مؤثرة بذلك سلباً على النظام الحيوي المائي، حيث وجد أن تثبيت غاز CO_2 يتراجع بمقدار 25% بعد التعريض لهذه الأشعة ضمن العشرين متراً الأولى من عمود الماء [Holm-Hansen, 1990]. هذا ويعتبر التراجع الهائل في شدة التركيب الضوئي عند طحالب الشواطئ النيوزيلندية –كما وجد حديثاً– نتيجة مباشرة للتخرب الكبير والتدريجي في طبقة الأوزون اعتباراً من منطقة القطب الجنوبي، حيث يعتقد أيضاً لو أن الأشعة الشمسية كانت عمودية مباشرة (بما تحتويه من أشعة فوق بنفسجية) فوق منطقة القطب الجنوبي ذاتها لزال كل أثر للحياة هناك.

REFERENCES المراجع

[1]- ACEVEDO J. & NOLAN C. (1993): Environmental UV-Radiation, Service of the European Commission. Directorate XII for Science, Research and Development, Brussel.

[2]- ANDERSON B., SALTER A.H., VIRIGINI., VASSI,. STYRING S. (1992): Photo-damage to photo-system II primary and secondary events. J. Photochem. Photobiol. 15, 15-31.

[3]- CALDWELL M.M., ROBBERECHT R., FLINT S. (1983): Internal filters: Prospects for UV-acclimation in higher plants. Physiol. Plant 28, 445-450.

[4]- CALKINS J. & THORDATTIR T. (1980): The ecological significance of solar UV-radiation on aquatic organisms. Nature 283, 563-566.

[5]- CULLEN J.J. & LESSER M.P. (1991): Inhibition of photosynthesis by ultraviolet radiation as a function of dose and dosage rate: results for a marine diatom. Mar. Biol. 111, 183-190.

[6]- DOELER G. (1985): Effect of UV-B radiation on the nitrogen metabolism of several marine diatoms. J. Plant Pysiol. 118. 391-400.

[7]- FARMAN J.C., GARDINER B.G., SHANKLIN J.D. (1985): Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/Nox interaction, Nature 315, 207-210.

[8]- HAEBERLEIN A. & HAEDER D.P. (1992): UV-effects on photosynthetic oxygen production and chromoprotein composition in the freshwater flagellate Cryptomonas S_2. Arch. Protoz. 31, 85-92.

[9]- HAEDER D.P. & HAEDER M.A. (1988): Inhibition of motility and phototaxis in the green flagellate Eugiena gacilis by UV-B radiation. Arch. Microbiol. 150, 10-25.

[10]- HAEDER D.P. & HAEDER M.A. (1991): Effects of solar and artificial UV-radiation on motility and pigmentation in the marine Cryptomonas maculata. Env. Exp. Bot. 31, 33-41.

[11]- HAEDER D.P. & VOGEL K. (1991): Real time tracking of microorganisms. Inage Analysis in Biology (Haeder D.P., Ed) CRC Press., Boca Raton, pp.289-313.

[12]- HAEDER D.P. & WORREST R.C. (1991): Effects of enhanced solar ultraviolet radiation on aquatic ecosystems. Photochem. Photobiol. 53, 717-725.

[13]- HOLM-HANSEN O. (1990): UV-radiation in Antarctic waters: effect on rates of primary production. In Proc. Work-Shop on "Response of Marine Phytoplancton to Natural Variations in UV-B Flux". Scripps Institution of Oceanography.

[14]- LAWLOR D.W. (1987): Photosynthesis: Metabolism, control and physiology, Longman Group UK limited.

[15]- PFUNDEL E.E., PAN R.S., DILLEY R.A. (1992): Inhibition of violaxanthin deepoxidation by ultraviolet-B radiation in isolated chloroplasts and intact leaves. Plant. Physiol 98, 1372-1380.

[16]- PROVASIOLIL., McLAUGHLIN J.J., DROOP M.R. (1957): The development of artificial media for marine algae. Arch. Microbiol. 25, 392-428.

[17]- WARRIS H. (1953) The significans for algae of chelating substances in the nutrient solutions. Physiol. Plant. 3:538-543.