



ORIGINAL RESEARCH PAPER (Marine Science)

The Effects of UVB on Growth and Anti-UV Compounds Contents in Cyanobacteria *Nostoc linckia*Mansouri, H.^{1,*}, Talebizadeh, R.²¹ Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran² M.Sc. of Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

ARTICLE INFO

Code: A-10-1255-3

Article History:

Received: 22/04/2020

Revised: 19/08/2021

Accepted: 31/04/2021

Keywords:

UVB radiation

Scytonemin

OS-MAAs

Phycobiliproteins

Protein

Sugar

ABSTRACT

Background and Objectives: Nostoc species have gained much interest as a natural source of many secondary metabolites that have exhibited pharmacological properties. They synthesize UV-protective substances such as mycosporine-like amino acids (MAAs) or scytonemin to minimize the deleterious effects caused by UV radiation. In this research the effects of UVB radiation on increasing amount of UV-protective substances (scytonemin, OS-MAAs), and growth parameters such as photosynthetic pigments, protein and sugar content were studied in cyanobacteria *Nostoc linckia*.

Methods: For this purpose, 14-day algal cultures were treated with UVB rays for 1, 2 and 3 hours per day for 5 days. After treatment, the growth rate according to fresh weight measurement and other biochemical parameters according to colorimetric methods were assayed. Data were analyzed by one-way analysis of variance, and the significance of the differences was estimated by Duncan's multiple comparison tests.

Findings: UVB treatment resulted in lower fresh weight of Nostoc algae. Algae exposure to 3 hours UVB, showed an increase in OS-MAAS content. The amount of scytonemin increased up to 3 times in 3 hours UVB treatment. The algae treated with UVB had more chlorophyll a and total carotenoid content but phycobiliproteins content reduced in this treatment. Total protein and total sugars were not affected by UVB treatment.

Conclusion: The results showed that this UV treatment method, in addition to significantly enhancing the anti UV compounds of the algae, would not reduce the biomass.

*Corresponding author:

✉ h_mansori@uk.ac.irdoi [10.52547/joc.....](https://doi.org/10.52547/joc.....)

©2022 JOC. All rights reserved



NUMBER OF TABLES

0



NUMBER OF FIGURES

5



NUMBER OF REFERENCES

37

اثرات UVB بر رشد و مقدار ترکیبات ضد UV در سیانوباکتری *Nostoc linckia*حکیمه منصوری^{۱*}، راحیل طالبی زاده^۱^۱گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۳

تاریخ بازبینی: ۱۴۰۰/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۳۱

چکیده

پیشینه و اهداف: گونه‌های نوستوک به عنوان منبع طبیعی بسیاری از متابولیت‌های ثانویه که دارای خواص دارویی هستند، مورد توجه بسیاری قرار گرفته‌اند. آنها مواد محافظ اشعه ماوراء بنفش مانند اسیدهای آمینه‌های شبیه مایکوسپورین (MAAs) یا سیتونمین را سنتز می‌کنند تا اثرات زیان‌بار ناشی از تابش UV را به حداقل برسانند. در این تحقیق اثرات تشعشع UVB بر افزایش میزان مواد محافظ در برابر اشعه ماوراء بنفش (سیتونمین و اسید آمینه‌های شبیه مایکوسپورین) و پارامترهای رشد مانند رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای پروتئین و قند در سیانوباکتری‌های *Nostoc linckia* مورد مطالعه قرار گرفت.

روش‌ها: به این منظور کشت‌های ۱۴ روزه جلبکی به مدت ۱، ۲ و ۳ ساعت در روز به مدت ۵ روز با اشعه UVB تیمار شدند. بعد از تیمار، میزان رشد بر اساس اندازه‌گیری وزن تر و دیگر پارامترهای بیوشیمیایی بر اساس روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شدند. داده‌ها به وسیله آنالیز واریانس یک‌طرفه آنالیز شدند و معنی‌دار بودن اختلافات به وسیله آزمون دانکن تخمین زده شد.

یافته‌ها: تیمار UVB باعث کاهش وزن تر جلبک نوستوک شد. جلبک‌هایی که در معرض ۳ ساعت تابش UVB قرار داشتند یک افزایش در محتوای OS-MAAs نشان دادند. محتوای سیتونمین در تیمار ۳ ساعته UVB تا ۳ برابر افزایش یافت. جلبک‌های تیمار شده با UVB مقدار بیشتری کلروفیل a و کاروتنوئید کل داشتند، اما میزان فیکوبیلی پروتئین‌ها در این تیمار کاهش نشان داد. محتوای پروتئین کل و قند کل تحت تأثیر اشعه UVB قرار نگرفت.

نتیجه‌گیری: این نتایج نشان داد این روش تیماردهی UV علاوه بر این که باعث افزایش قابل توجه ترکیبات ضد UV در این جلبک می‌شود، کاهش چندانی در بیومس ایجاد نمی‌کند.

واژگان کلیدی:

اشعه UVB

سیتونمین

OS-MAAs

فیکوبیلی پروتئین‌ها

پروتئین

قند

*نویسنده مسئول

✉ h_mansori@uk.ac.ir

مقدمه

پارامترهای فتوسنتزی معینی مثل جذب CO₂ و تصاعد اکسیژن و فعالیت روبیسکو در سیانوباکتری‌ها توسط اشعه UV مهار می‌شود [۷]. اشعه UV همچنین باعث پراکسیداسیون لیپیدها و سنتز اسیدهای چرب غیر اشباع از طریق آسیب اکسیداتیو می‌شود [۱۴]. از جمله اثرات مهم اشعه UV، مهار تثبیت ازت است که در چندین سیانوباکتری گزارش شده است [۱۵]. اثرات تابش اشعه UV در چندین جلبک از جمله *Nostoc Lyngbya*، *Phormidium tenue*، *flagelliform*، مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۶-۱۸].

در اکثر مطالعات انجام شده برای بررسی اثر اشعه UV مدت زمان تیماردهی طولانی بوده است (بیش از ۱۲ ساعت) که این موضوع باعث کاهش شدید رشد جلبک می‌شود. اما در مطالعه حاضر زمان تیماردهی کاهش و دفعات تابش افزایش یافت تا با کمترین کاهش در رشد، بیشترین مقدار ترکیبات ضد UV حاصل شود. همچنین اثرات تابش UV روی سایر ترکیبات مؤثر در رشد جلبک مورد بررسی قرار گرفت.

روش پژوهش

۱. مواد و روش‌ها

۱-۱ تهیه و انتخاب جلبک مورد پژوهش

جلبک مورد مطالعه در این پژوهش *Nostoc linckia* می‌باشد که متعلق به خانواده نوستوکاسه است. این گونه از رودخانه‌ای با آب شیرین در روستای شصت فیچ از توابع شهرستان بافت استان کرمان جمع‌آوری شد. نمونه جمع‌آوری شده با استفاده از منابع موجود شناسایی شد [۱۹، ۲۰]. به منظور خالص سازی نمونه‌ها ابتدا محیط کشت جامد BG-11 تهیه شد و نمونه‌ها جهت تشکیل کلنی به این محیط منتقل شدند. بعد از اینکه نمونه‌ها در این محیط کشت، تشکیل کلنی دادند به محیط کشت مایع BG11 جهت رشد کافی منتقل شدند (حدود یک ماه).

۱-۲ کشت جلبک مورد مطالعه

محیط کشت مورد استفاده در این تحقیق محیط BG-11 فاقد نیترات بود [۲۱]. (به منظور تولید هتروسوسیست در نمونه‌ها ترکیب NaNO₃ از محیط کشت حذف شد). محیط کشت تهیه شده به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰°C و فشار ۲ اتمسفر اتوکلاو شد. بعد از سرد شدن، pH روی ۷/۴ تنظیم شد. برای کشت جلبک‌ها از ارلن‌های ۲۵۰ میلی لیتر و از ۲۰ میلی لیتر محیط کشت پایه حاوی جلبک (OD=۰/۵) برای واکشت‌ها استفاده شد. جلبک‌ها در شرایط نوری ۳۰۰۰ لوکس، دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و دمای ۲۲±۲ درجه سانتی‌گراد کشت داده شدند. ابتدا جلبک‌ها به مدت ۱۴ روز تحت شرایط ذکر شده، کشت داده شدند و پس از این

افزایش فعالیت‌های صنعتی منجر به افزایش آلاینده‌های اتمسفر شده است که باعث کاهش لایه اوزون استراتسفری شده است [۱]. این روند موجب افزایش اشعه UV رسیده به سطح زمین می‌شود [۲]. اشعه UV بر اساس طول موج به سه نوع تقسیم می‌شود: UVA:315-400، UVB:280-315، UVC:200-280 [۳]. UVB مخرب‌ترین نوع UV است زیرا انرژی کافی برای آسیب رسانی به نوکلئیک اسیدها و پروتئین‌های سلول را دارد و تنها تا حدودی توسط لایه اوزون جذب می‌شود [۲].

سیانوباکتری‌ها مکانیسم‌های حفاظتی مؤثری برای مقابله با اشعه UV دارند [۴]. یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های دفاعی در برابر اثرات ناشی از اشعه UV، در سیانوباکتری‌ها، تولید ترکیبات ثانویه است که عملکردی به عنوان ضدآفتاب دارند. از جمله این ترکیبات سیتونمین (Scytonemine) و آمینو اسیدهای شبیه مایکوسپورین (Mycosporine like amino acids, MAAs) هستند. سیتونمین اولین بار در برخی از سیانوباکتری‌های خشکی‌زی گزارش شده است این رنگدانه محلول در چربی، زرد متمایل به قهوه‌ای است [۵] و در غلاف پلی ساکاریدی خارج سلولی برخی سیانوباکتری‌ها وجود دارد [۶]. این ترکیب در بیش از ۳۰۰ گونه از سیانوباکتری‌ها شناخته شده است از جمله *Nostoc*، *Lyngbia*، *Calothrix*، *Scytonema* [۷]. این رنگدانه به طور انحصاری در سیانوباکتری‌ها است [۶]. علاوه بر توانایی غربالگری UV، دارای فعالیت ضدالتهابی و ضد تکثیر سلولی هم هست که موجب کاربرد آن در زیست پزشکی می‌شود [۸]. MAAs ترکیباتی با وزن مولکولی کم، محلول در آب و بی رنگ هستند که به میزان زیاد در سیانوباکتری‌ها تجمع پیدا می‌کنند [۱]. این ترکیبات با داشتن حداکثر جذب در محدوده ۳۱۰ تا ۳۶۰ نانومتر از کارآمدترین ترکیبات جاذب UV هستند [۹]. MAAs به طور معمول ترکیبات درون سلولی هستند که احتمالاً در اطراف اندامک‌های حساس به UV متمرکز می‌شوند. این ترکیبات انرژی جذب شده به وسیله اشعه UV را بدون تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن، به صورت گرما پراکنده می‌کنند [۱۰]. عصاره حاوی مایکوسپورین‌ها توسط چندین شرکت تجاری به عنوان مواد پایه در محصولات آرایشی و بهداشتی برای حفاظت از پوست در برابر UV استفاده می‌شوند و یک جایگزین مناسب برای ضدآفتاب‌های مصنوعی هستند [۱۱].

نوستوک یک جنس از سیانوباکتری‌های رشته‌ای غیر منشعب است که دارای هتروسوسیست (سلول تثبیت کننده ازت) است. رشته‌ها معمولاً توسط یک غلاف پلی ساکاریدی پوشیده شده‌اند [۱۲]. این جلبک قادر به سنتز ترکیبات جاذب UV (مثل سیتونمین) در پاسخ به اشعه UV می‌باشد که تجمع این ترکیبات نمایانگر سازگاری در برابر اشعه UV است [۱۳].

موج‌های ۶۲۰، ۶۵۲، ۵۶۲ نانومتر خوانده شد. غلظت فیکوبیلی-پروتئین‌ها با استفاده از رابطه‌های ۴، ۵ و ۶ بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر محاسبه شد و در نهایت بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ارائه گردید.

$$\text{Phycocyanin (mg mL}^{-1}\text{)} = [A_{620} - 0.474 (A_{652})] / 5.34 \quad (۴)$$

$$\text{Allophycocyanin (mg mL}^{-1}\text{)} = [A_{652} - 0.208 (A_{620})] / 5.09 \quad (۵)$$

$$\text{Phycoerythrin (mg mL}^{-1}\text{)} = [A_{562} - 2.41 (PC) - 0.849 (APC)] / 9.62 \quad (۶)$$

۷-۱ سنجش مقدار پروتئین کل و قند محلول

جهت سنجش محتوی پروتئین از روش Bradford (۱۹۷۶) و برای سنجش قند کل از روش فنل سولفوریک اسید استفاده شد [۲۴].

۲. عملیات آماری

در این تحقیق برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری پارامترها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (۱۸:۰۰) آنالیز شد. میانگین‌ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel (۲۰۱۰) استفاده شد.

نتایج و بحث

۱. تأثیر تیمار UVB بر وزن تر

شکل (۱) نتایج حاصل از اندازه‌گیری وزن تر در تیمار UVB را نشان می‌دهد. داده‌ها نشان دادند که اشعه UVB به طور معنی‌داری روی وزن تر اثر گذاشته و باعث کاهش آن شده است. اما رابطه معنی‌داری بین مدت زمان قرار گرفتن در معرض UVB و کاهش وزن تر وجود نداشت. در این پژوهش وزن تر تحت تیمار UVB کاهش یافته ولی این کاهش چندان قابل توجه نبود. اثرات UVB به شدت و مدت زمان تیماردهی و همچنین گونه مورد نظر بررسی بستگی دارد. به طور کلی رابطه‌ای بین مدت زمان تیمار UVB و کاهش وزن مشاهده نشده است. این نتایج می‌تواند نشان دهنده مقاومت بالای این جلبک و کارآمد بودن مکانیسم‌های مقابله با UVB باشد. گزارش شده UVB نرخ رشد تعدادی از دیاتومه‌ها مانند *Lauderia annulata* را کاهش داده است. اثرات UVB روی جلبک سبز *Scenedesmus quadricauda* کاهش تعداد سلول‌ها را با افزایش شدت UVB نشان می‌دهد [۲۵].

مدت به ظروف شیشه‌ای با دهانه باز (جهت نفوذ اشعه UVB) منتقل شدند و تحت تیمار اشعه UVB قرار گرفتند. تیماردهی با استفاده از لامپ UVB (مدل If-215 ساخت شرکت unite Cambrig) به مدت ۵ روز، و هر روز ۱،۲ و ۳ ساعت انجام شد و برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. پس از این مدت نمونه‌های جلبکی برداشت شد و در نیتروژن مایع منجمد گردیدند و از این نمونه‌ها برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر استفاده شد.

۳-۱ اندازه‌گیری وزن تر

به منظور اندازه‌گیری وزن تر حجم مشخصی از محیط کشت از طریق یک کاغذ صافی واتمن GF/C از قبل وزن شده و با محیط کشت مرطوب شده بود فیلتر شد. بعد از فیلتر کردن همه محتویات محیط کشت بوسیله پمپ خلاء کاغذ صافی مرطوب شده به همراه وزن تر جلبک مجدداً وزن شد. تفاوت وزن نشان دهنده وزن تر جلبک بود [۲۲].

۴-۱ سنجش مقدار سیتونمین، کلروفیل a و کاروتنوئید

عصاره‌گیری جهت تعیین مقدار سیتونمین، کلروفیل a و کاروتنوئید کل نمونه‌ها با استفاده از روش Mushir و همکاران (۲۰۱۴) انجام شد. با استفاده از رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ زیر و ضریب خاموشی محتوای رنگی‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ارائه گردید [۶].

$$A_{384}(\text{Scyt}) = 1.04(A_{384}) - 0.79(A_{663}) - 0.27(A_{490}) \quad (۱)$$

$$A_{663}(\text{Chla}) = 1.02(A_{663}) - 0.027(A_{384}) + 0.01(A_{490}) \quad (۲)$$

$$A_{490}(\text{Car}) = 1.02(A_{490}) - 0.08(A_{384}) - 0.026(A_{663}) \quad (۳)$$

۵-۱ سنجش مقدار OS-MAAS

برای سنجش میزان OS-MAAS به ۰/۱ گرم از نمونه جلبک ۵ میلی-لیتر متانول ۳۰٪ اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 50°C قرار گرفت. سپس جذب نمونه در طول موج ۳۱۲ نانومتر خوانده شد. در نهایت با استفاده از ضریب خاموشی ۱۷ لیتر بر گرم بر سانتیمتر محتوی مایکوسپورین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر به دست آمد [۲۳].

۶-۱ سنجش مقدار فیکوبیلی پروتئین

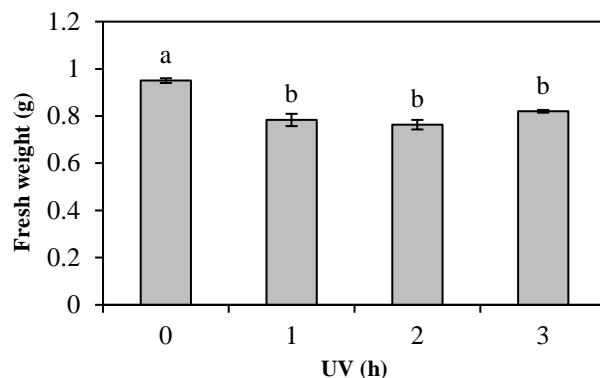
برای سنجش میزان فیکوبیلی پروتئین‌ها از روش Bennett و Bogorad (۱۹۷۳) استفاده شد. ۰/۱ گرم نمونه تازه جلبک در ۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۰/۱ مولار ($\text{PH}=7.2$) سائیده شد. سپس نمونه‌ها به فریزر منتقل شدند و پس از انجماد کامل محلول‌ها، نمونه‌ها به یخچال 4°C منتقل شدند. عمل انجماد و ذوب شدن نمونه‌ها مجدداً تکرار شد. پس از صاف کردن، جذب نمونه‌ها در طول

افزایش یافته است، که بیشترین میزان افزایش با UVB بوده است [۷]. جذب UV MAAAs بدلیل ویژگی‌های ساختاری کاملاً منحصر بفرد است.

۳. تغییرات محتوی سیتونمین، کلروفیل و کاروتنوئید در تیمار UVB

اشعه UVB مقدار سیتونمین را افزایش داده است (شکل ۳-A). بیشترین مقدار سیتونمین در تیمار ۳ ساعت و کمترین مقدار آن در نمونه شاهد مشاهده شد. تیمار ۳ ساعت مقدار سیتونمین را تا ۳ برابر افزایش داد ولی بین تیمار ۱ و ۲ ساعت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. سیتونمین یک رنگدانه غربالگر UV کارآمد است. بیوسنتز آن در طول قرار گرفتن در معرض UVA و UVB فعال می‌شود [۲۶]. علاوه بر این تجمع سیتونمین در لایه‌های بیرونی احتمالاً به افزایش حفاظت از سیانوباکتری‌ها در برابر UV کمک می‌کند [۲۷]. افزایش مقدار سیتونمین در پاسخ به اشعه UV در تعدادی از سیانوباکتری‌ها مثل *Nostoc commune*, *Chlorogloeopsis*, *Collema*, مثل *Gonahymenia*, *Petulla* گزارش شده است [۲۸].

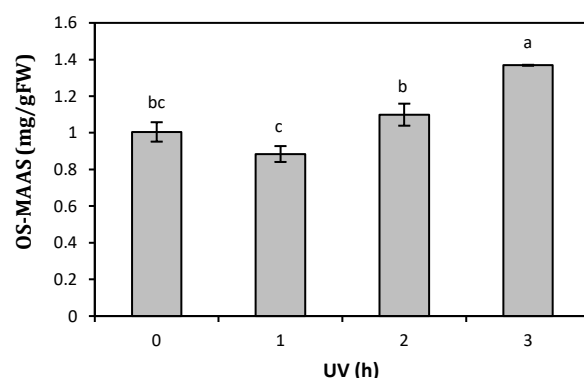
تابش اشعه UVB در مدت زمان ۲ و ۳ ساعت باعث افزایش محتوی کاروتنوئید کل شده است ولی تابش ۱ ساعت UVB تأثیر معنی‌داری روی مقدار کاروتنوئید نداشت (شکل ۳-B). اشعه UVB در مدت زمان ۲ و ۳ ساعت مقدار کلروفیل a را افزایش داده است (شکل ۳-C). کاروتنوئیدها از اجزای مهم دستگاه فتوسنتزی هستند و عملکرد اصلی آنها حفاظت از دستگاه فتوسنتزی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو است. آنها توانایی‌هایی از جمله از بین بردن اکسیژن یکتایی و بقیه گونه‌های فعال اکسیژن و همچنین آزاد کردن انرژی نوری بیش از حد از طریق چرخه گزانتوفیل را دارند. نقش کاروتنوئید به عنوان ترکیبات محافظ نوری در تعدادی از جلبک‌ها بررسی شده است [۲۹]. در این تحقیق نتایج حاصل از سنجش کاروتنوئیدها در تیمار با اشعه UVB نشان می‌دهد که میزان کاروتنوئیدها در این تیمار افزایش یافته است. در سیانوباکتری *Nostoc commune* پس از قرار گرفتن در معرض اشعه UVB افزایش قابل توجهی در میزان کاروتنوئیدها مخصوصاً Echinenone و Myxoxanthophyl مشاهده شده است [۳۰]. همچنین میزان کاروتنوئیدها در سیانوباکتری *Synechococcus* پس از قرار گرفتن در معرض اشعه UVB افزایش یافته است [۳۱]. در سیانوباکتری *Oscillatoria* پس از تابش اشعه UVA افزایش کمی در میزان کاروتنوئیدها مشاهده شده است [۳۲].



شکل ۱: اثر تیمار UVB بر وزن تر جلبک *Nostoc linkia* مقادیر میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است.
Fig. 1: Effect of UVB treatment on fresh weight in *Nostoc linkia*. Values are means of three replications \pm standard error. Different letters show the significant difference with Duncan's tests.

۲. تغییرات محتوی OS-MAAS در تیمار UVB

طبق نتایج حاصل از اندازه‌گیری میکروسپورین‌های الیگوساکاریدی (OS-MAAs) در تیمار UVB مشخص شد که اشعه UVB با مدت زمان ۳ ساعت باعث افزایش معنی‌دار OS-MAAs شد اما مدت زمان ۱ و ۲ ساعت تأثیر معنی‌داری در مقدار این ترکیبات نداشت (شکل ۲).



شکل ۲: اثر تیمار UVB بر محتوی OS-MAAS در جلبک *Nostoc linkia* مقادیر میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Fig. 2: Effect of UVB treatment on os-MAAS in *Nostoc linkia*. Values are means of three replications \pm standard error. Different letters show the significant difference with Duncan's tests.

تجمع ترکیبات غربالگر UV به وضوح یکی از سازگاری‌های سیانوباکتری‌ها در برابر اثرات اشعه UV به ویژه در باند پرنرژی UVB را نشان می‌دهد [۱۴].

مسیر بیوسنتز MAAAs به خوبی شناخته نشده اما مشخص شده بیوسنتز MAAAs با UV تحریک می‌شود. سنتز MAAAs در سیانوباکتری‌ها توسط اشعه فعال فتوسنتزی (PAR)، UVA و UVB

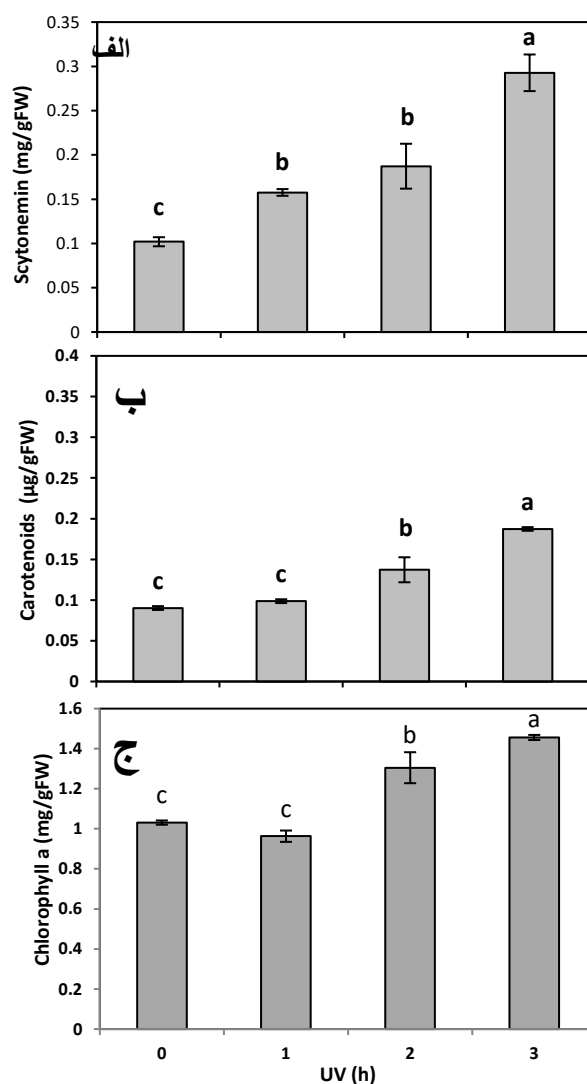
مقاومتی می‌تواند دلیل افزایش مقدار کلروفیل باشد. وقتی مدت زمان تابش بصورت گسسته باشد مقاومت جلبک افزایش پیدا می‌کند و جلبک توانسته کلروفیل را در برابر UV محافظت کند. Haifeny و همکاران (۲۰۱۳) عقیده دارند که افزایش محتوای کلروفیل a یک استراتژی سازشی دیگر در برابر اشعه UVB می‌باشد سلول‌هایی که تحت تابش UVB بوده‌اند، برای مقابله با یک دوره طولانی مواجه شدن با UVB و همچنین به منظور زنده ماندن در این دوره طولانی، در ابتدای تیمار UVB کلروفیل a بیشتری تولید کرده اند [۱۶]. گزارش شده در سیانوباکتری *Lyngbya* تحت تأثیر اشعه UVB میزان کلروفیل a افزایش یافته است [۱۷]. دلیل دیگر افزایش کلروفیل در تحقیق حاضر می‌تواند عدم استفاده از نور مرعی در زمان تیمار با UVB باشد. کاهش نور می‌تواند باعث افزایش سنتز کلروفیل a و در نتیجه جذب نور بیشتر شود.

۴. تغییرات محتوی فیکوبیلی پروتئین‌ها در تیمار UVB

با افزایش مدت زمان قرار گرفتن در معرض UVB مقدار همه فیکوبیلی پروتئین‌ها کاهش یافته است. تابش اشعه UVB به مدت ۳ ساعت باعث کاهش چندین برابری فیکوبیلی پروتئین‌ها نسبت به کشت‌های کنترل شد (شکل ۴). فیکوبیلی پروتئین‌ها جزء اصلی یک کمپلکس ماکرومولکولی به نام فیکوبیلی زوم هستند. سه گروه از آنها در این کمپلکس وجود دارند، فیکواریترین، فیکوسیانین، آلوفیکوسیانین. این رنگدانه‌ها سریع‌تر و شدیدتر از سایر رنگدانه‌ها تحت تأثیر اشعه UVB قرار گرفتند. UVB با فتواکسیداسیون و فتوبیلیچینگ این رنگدانه‌ها موجب کاهش آنها می‌شود [۳۳]. مشابه نتایج ما تیمار با UVB در *Phormidium tenue* کاهش میزان فیکوبیلی پروتئین‌ها را باعث شد [۱۸]. احتمالاً نوع اسیدآمین‌های موجود در فیکوبیلی پروتئین‌ها باعث جذب UVB و کاهش شدید آنها در تیمار با UVB می‌شود.

۴-۱ تغییرات محتوی پروتئین و قند در تیمار UVB

بر اساس نتایج بدست آمده UVB بر محتوی پروتئین و قند تأثیری نداشته و تفاوت معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد ایجاد نکرده است (شکل ۵). نوع تیمار دهی می‌تواند یکی از دلایل عدم تأثیر تیمار UVB بر مقدار پروتئین و قند باشد. دلیل دیگری که می‌توان برای عدم کاهش مقدار پروتئین عنوان کرد این است که با توجه به اینکه سلول‌های جلبکی می‌توانند از فیکوبیلی پروتئین‌ها به عنوان منبع نیتروژن در شرایط تنش استفاده کنند و با توجه به کاهش مقدار فیکوبیلی پروتئین‌ها احتمالاً از تجزیه این ترکیبات برای سنتز مجدد پروتئین‌های آسیب‌دیده در تنش UV استفاده کرده است. برخلاف نتایج بدست آمده در این تحقیق در اکثر موارد کاهش محتوی پروتئین با افزایش مدت زمان مواجه شدن با UV گزارش شده است. در سیانوباکتری *Nostoc flagelliform* سطح پروتئین به طور



شکل ۳: اثر تیمار UVB بر محتوی سیتونمین (A)، کاروتنوئید (B) و کلروفیل a (C) در جلبک *Nostoc linkia*. مقادیر میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Fig. 3: Effect of UVB treatment on scytonemin in *Nostoc linkia*. Values are means of three replications \pm standard error. Different letters show the significant difference with Duncan's tests.

محتوی کلروفیل a در تیمار ۳ ساعت بیشترین مقدار بود. تابش ۱ ساعت UVB تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل a نداشت. نتایج تیمار سیانوباکتری *Nostoc flagelliform* با اشعه UVB این چنین بود که یک دوره کوتاه تابش UVB در مقایسه با شرایط کنترل موجب افزایش میزان کلروفیل a شده و پس از آن با افزایش مدت زمان قرارگرفتن در معرض UVB محتوای کلروفیل a به سرعت کاهش یافته است. در واقع اشعه UVB در مدت کمتر از ۱۲ ساعت میزان کلروفیل را تا ۵۳ درصد افزایش داده و پس از آن روند کاهشی داشته است [۱۶]. در تحقیق حاضر کوتاه بودن مدت زمان قرارگرفتن جلبک در هر روز در معرض UVB و مؤثر بودن مکانیسم‌های

نتیجه‌گیری

تیماردهی UVB با روش انجام شده در این تحقیق نسبت به تحقیقاتی که UVB را در مدت زمان طولانی و به صورت مداوم استفاده می‌کنند در افزایش بیشتر مقدار ترکیبات جاذب UVB مؤثر نبود اما با توجه به کاهش وزن اندکی که در این روش مشاهده شد و عدم تغییر محتوی پروتئین و قند محلول مقاوت جلبک در این روش افزایش یافته است. در نتیجه کاهش کمتر در بیومس می‌تواند منجر به تولید مقادیر بیشتری از ترکیبات ضد UV شود. [۴، ۳۴-۳۶]

مشارکت نویسندگان

حکیمه منصوری طرح آزمایش، انجام آنالیز، راهنمای تحقیق، مشارکت در نگارش و ویراستاری مقاله. راحیل طالبی زاده انجام آزمایش و آنالیزها، مشارکت در نگارش مقاله.

تشکر و قدردانی

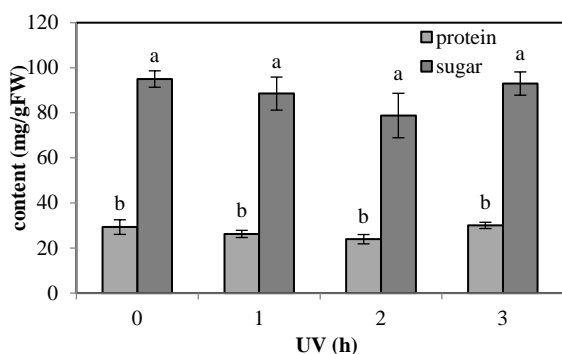
نویسندگان مقاله از دانشگاه شهید باهنر کرمان برای حمایت مالی از این طرح بی نهایت تشکر می‌کنند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

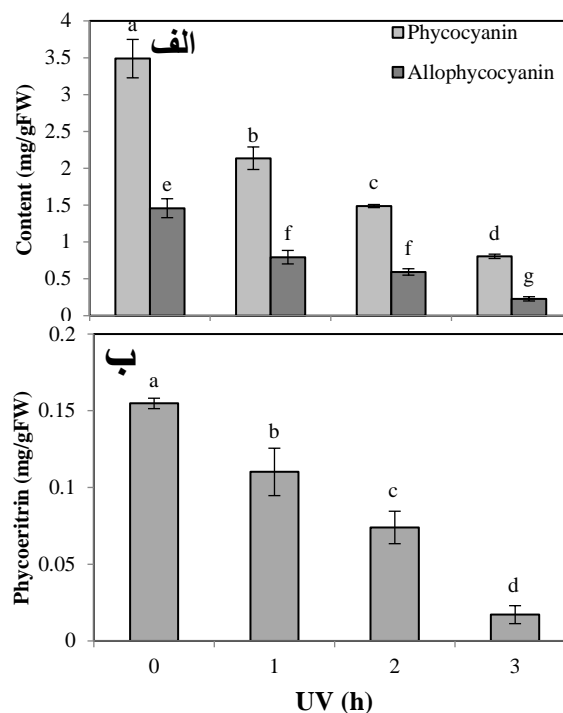
منابع

- [1] Allen, M.M.; Stanier, R.Y., 1968. Growth and division of some unicellular blue-green algae. *Journal of General Microbiology*, (51):199-202
<https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/micro/10.1099/00221287-51-2-199?crawler=true>
- [2] Balskus, E.P.; Walsh, C.T., 2010. The genetic and molecular basis for sunscreen biosynthesis in cyanobacteria. *Journal of Science*, (329):1653-1656
<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1193637>
- [3] -Bohm, G.A.; Pfeleiderer, W.; Boger, P.; Scherer, S., 1995. Structure of a novel oligosaccharide mycosporine amino acid ultraviolet A/B sunscreen pigment from the



(۷)

معنی‌داری پس از ۱۲ و ۴۸ ساعت تابش با UVB به ترتیب به میزان ۲۳٪ و ۴۰٪ کاهش یافته است [۱۶].



شکل ۴: اثر تیمار UVB بر محتوی فیکوسیانین و آلیوفیکوسیانین (الف) و فیکواریترین (ب) در جلبک *Nostoc linkia* مقادیر میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف متفاوت بیانگر عدم اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Fig. 4: Effect of UVB treatment on phycocyanin and allophycocyanin and phycoerythrin content in *Nostoc linkia*. Values are means of three replications \pm standard error. Different letters show the significant difference with Duncan's tests.

ترتیب به میزان ۲۳٪ و ۴۰٪ کاهش یافته است [۱۶]. در جلبک مورد مطالعه تیمار UVB اعمال شده تأثیر معنی‌داری بر کاهش مقدار قند کل نداشته است. عدم کاهش کلروفیل a تحت این شرایط می‌تواند توضیحی برای بی‌تأثیر بودن تیمار UV به قند کل باشد. اشعه UVB در جلبک *Phormidium tenue* موجب کاهش قند کل نسبت به نمونه شاهد شده است [۱۸].

شکل ۵: اثر تیمار UVB بر محتوی قند و پروتئین در جلبک *Nostoc linkia* مقادیر میانگین ۳ تکرار \pm SE است. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است.

Fig. 5: Effect of UVB treatment on sugar and protein content in *Nostoc linkia*. Values are means of three replications \pm standard error. Different letters show the significant difference with Duncan's tests.

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861716304052>
- [11] Edge, R.; Mcgarvey, D.J.; Truscott, T.G., 1997. The carotenoids as antioxidants a review. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, (41):189–200
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1011134497000924>
- [12] Ehling-Schulz, M.; Bilger, W.; Scherer, S., 1997. UV-B induced synthesis of photoprotective pigments and extracellular polysaccharides in the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. *Journal of Bacteriology*, (179):1940–1945
<https://journals.asm.org/doi/abs/10.1128/jb.179.6.1940-1945.1997>
- [13] Ferroni, L.; Klisch, M.; Pancaldi, S.; Häder, D., 2010. Complementary UV-absorption of mycosporine-like amino acids and scytonemin is responsible for UV-insensitivity of photosynthesis in *Nostoc flagelliforme*. *Journal of Marine Drugs*, (8):106–121
<https://www.mdpi.com/1660-3397/8/1/106>
- [14] Garcia-Pichel, F.; Castenholz, R.W., 1991. Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. *Journal of Phycology*, (27):395–409
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.0022-3646.1991.00395.x>
- [15] Garcia-Pichel, F.; Wingard, C.E.; Castenholz, R.W., 1993. Evidence regarding the UV sunscreen role of a mycosporine-like compound in the cyanobacterium *Gloeocapsa* sp. *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, (59):170–176
<https://journals.asm.org/doi/abs/10.1128/aem.59.1.170-176.1993>
- [16] Gotz, T.; Windhovel, U.; Boger, P.; Sandmann, G., 1999. Protection of photosynthesis against UV-B radiation by carotenoids in transformants of the cyanobacterium *Synechococcus* PCC 7942. *Plant Physiology*, (120):599–604
<https://academic.oup.com/plphys/article/120/2/599/6085496?login=true>
- [17] Hader, D.P.; Kumar, H.D.; Smith, R.C.; Worrest, R.C., 2007. Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change, terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. *Journal of Biological Chemistry*, (270):8536–8539
[https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(17\)49608-6/fulltext](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(17)49608-6/fulltext)
- [4] Browne, N.; Donovan, F.; Murray, P.; Saha, S.K., 2014. Cyanobacteria as biofactories for production of UV-screening compounds. *Journal of Medical Biotechnology*, 12;3(1):6
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42459087/Cyanobacteria_as_bio-factories_for_produ20160209-14765
- [5] Budel, B.; Karsten, U.; Garcia-Pichel, F., 1997. Ultraviolet- absorbing scytonemin and mycosporin like amino acids derivatives in exposed, rock inhabiting cyanobacterial lichens. *Journal of Oecologia*, (112):165–172
<https://link.springer.com/article/10.1007/s004420050296>
- [6] Conde, F.R.; Churio, M.S.; Previtali, C.M.; 2000. The photoprotector mechanism of mycosporine-like amino acids. Excited state properties and photostability of porphyrin-334 in aqueous solution. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, (56):139–144
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S101113440000066X>
- [7] Desikachary, T., 1959. *Cyanophyta*. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi
<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IisScript=CAGR.O.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=001690>
- [8] Dillon, J.G.; Tatsumi, C.M.; Tandingum, P.G.; Castenholz, R.W., 2002. Effect of environmental factors on the synthesis of scytonemin, a UV screening pigment, in a cyanobacterium (*Chroococcidiopsis* sp.). *Archives of Microbiology*, (177):322–331.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00203-001-0395-x>
- [9] Dodds, W.K.; Gudder, D.A.; Mollenhauer, D., 1995. The ecology of *Nostoc*. *Journal of Phycology*, (31):2–18
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.0022-3646.1995.00002.x>
- [10] Dubois, M.; Gilles K.A.; Hamilton, J.K.; Rebers, P.A.; Smith, F., 1956. Phenol sulphuric acid method for total carbohydrate. *Journal of Annals of Chemistry*, (26):3506

- Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface, *Journal of Photochemistry and Photobiology Science*, (2): 5–15.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1011134498001821>
- [25] Mushir, S.; Deep, S.; Fatma, T., 2014. Screening of cyanobacterial strains for UV screening compound scytonemin environmental perspectives, *Journal of Engineering and Technology*, (3):9191-9196
<https://www.researchgate.net/profile/Saman-Mushir/publication/269635746>
- [26] Portwich, A.; Garcia-Pichel, F., 2003. Biosynthetic pathway of mycosporines (mycosporinlike amino acids) in the cyanobacterium *Chlorogloeopsis* sp. strain PCC 6912, *Journal of Phycologia*, (42): 384–392
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2216/i0031-8884-42-4-384.1>
- [27] Proteau, P.J.; Gerwick, W.H.; Garcia-Pichel, F.; Castenholz, R., 1993. The structure of scytonemin, an ultraviolet sunscreen pigment from the sheaths of cyanobacteria. *Experientia*, (49): 825–829
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01923559>
- [28] Rath, J.; Adhikary, S., 2007. Response of the estuarine cyanobacterium *Lyngbya aestuarii* to UV-B radiation, *Journal of Applied Phycology*, (19):529–536
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-007-9166-7>
- [29] Rupali, R., 2011. Photosynthetic and biochemical characterization of pigments and uv-absorbing compounds in *Phormidium tenue* due to UV-B radiation, *Journal of Applied Phycology*, (23):283-292.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-010-9621-8>
- [30] Sinha, R.P.; Kumar, H.D.; Kumar, A.; Häder, D.P., 1995. Effects of UV-B irradiation on growth, survival, pigmentation and nitrogen metabolism enzymes in cyanobacteria, *Acta Protozoologica*, (34):187-192
<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net>
- [31] Sinha, R.P.; Hader, D.P., 1997. Impact of uv radiation on rice-field cyanobacteria: role of photoprotective compounds, *The effects of ozone depletion on aquatic ecosystems*, 189-198
<https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020->
- Journal of Photochemistry and Photobiology*, (6):267-285
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2007/pp/b700020k/unauth>
- [18] Häder, D.P.; Kumar, H.D.; Smith, R.C. ; Worrest, R.C., 2007. Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, (6):267-285
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2007/pp/b700020k/unauth>
- [19] Haifeny, Y.u.; Rong, L., 2013. Effect of UV-B radiation on the synthesis of UV-absorbing compounds in a terrestrial cyanobacterium, *Nostoc flagelliforme*, *Journal of Applied Phycology*, (25):1441–1446
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-013-9978-6>
- [20] He, Y.Y.; Klisch, M.; Häder, D.P., 2002. Adaptation of cyanobacteria to UV-B stress correlated with oxidative stress and oxidative damage, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, (76):188–196
[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1562/0031-8655\(2002\)0760188A0CTUB2.0.CO2](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1562/0031-8655(2002)0760188A0CTUB2.0.CO2)
- [21] John, D.M.; Whitton, B.A.; Brook, A.J., 2002. *The freshwater algal flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae*. Cambridge University Press, Cambridge
https://books.google.co.uk/books?hl=en&lr=&id=Sc4897dfM_MC&oi=fnd&pg=PR9&dq=
- [22] Kannaujia, V.K., Richa, P. and Sinha, P.R. (2014) Peroxide scavenging potential of ultraviolet-B-absorbing mycosporine-like amino acids isolated from a marine red alga *Bryocladia* sp, *Frontiers in Environmental Science*, (26):1-8
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2014.00026/full>
- [23] Kumar, A.; Tyagi, M.B.; Jha, P.N.; Srinivas, G.; Singh, A., 2003. Inactivation of cyanobacterial nitrogenase after exposure to ultraviolet-B radiation, *Journal of Microbiology*. (46):380-384
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00284-001-3894-8>
- [24] McKenzie, R.L.; Bjorn, L.O.; Bais, A.; Iiyas, M., 2003.

conditions in the halotolerant cyanobacterium *Aphanothece halophytica*, *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, (5):1763–1769

[https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/AEM.03729-](https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/AEM.03729-13)

13

3697-3_17

- [32] Sinha, R.P.; Singh, S.P.; Häder, D.P., 2007. Database on mycosporines and mycosporine-like amino acids (MAAs) in fungi, cyanobacteria, macroalgae, phytoplankton and animals, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, (89):29–35

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S101113440700108X>

- [33] Sinha, R.P.; Rastogi, R.P.; Ambasht, N.K.; Hader, D.P., 2008. Life of wetland cyanobacteria under enhancing solar UV-B radiation, *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, (78):53-65

<https://www.example.edu/paper.pdf>

- [34] Sinha, R.P.; Häder, D.P., 2008. UV-protectants in cyanobacteria, *Plant Sciences*, (174):278–289

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168945207003202>

- [35] Stevenson, C.S.; Capper, E.A.; Roshak, A.K.; Marquez, B.; Grace, K.; Gerwick, W.G.; Jacobs, R.S.; Marshall, L.A., 2002. Scytonemin, a marine natural product inhibitor of kinases key in hyperproliferative inflammatory diseases, *Journal of Inflammation Research*, (51):112– 114

<https://www.proquest.com/openview/95a3b551b14b8fbf8060edb929474960/1?pqorigsite=gscholar&cbl=2429>

- [36] Toledo-Cervantes, A.; Morales, M.; Novelo, E.; Revah, S., 2013. Carbon dioxide fixation and lipid storage by *Scenedesmus obtusiusculus*. *Bioresource Technology*, 130: 652–658.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852412019396>

- [37] Wachi, Y.; Burgess, J.G.; Iwamoto, K.; Yamada, N.; Nakamura, N.; Matsunaga, T., 1995. Effect of ultraviolet-A (UV-A) light on growth, photosynthetic activity and production of biopterin glucoside by the marine UV-A resistant cyanobacterium *Oscillatoria* sp, *Biochimica et Biophysica Acta*, (1244):165–168

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030441659400219N>

- [38] Waditee-Sirisattha, R.; Kageyama, H.; Sopun, W.; Tanaka, Y.; Takabea, T., 2014. Identification and upregulation of biosynthetic genes required for accumulation of mycosporine-2-glycine under salt stress

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Mansouri, H., Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

✉ h_mansouri@uk.ac.ir



Talebizadeh, R., M.Sc., Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

✉ rahiltalebizadeh93@gmail.com





HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) Mansouri H, Talebizadeh R. The Effects of UVB on Growth and Anti-UV Compounds Contents in Cyanobacteria *Nostoc linckia*. *joc*. 2022; 12 (48) :1-12

 <http://doi.org/10.12345/joc.12.48.???>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1502-fa.html>

 <https://orcid.org/0000-0002-8311-5238>



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

1. Sinha RP, Singh SP, Hader DP. Database on mycosporines and mycosporine-like amino acids (MAAs) in fungi, cyanobacteria, macroalgae, phytoplankton and animals. *J Photochem Photobiol B*. 2007;89(1):29-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2007.07.006> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17826148>
2. Browne N, Donovan F, Murray P, Saha SK. Cyanobacteria as biofactories for production of UV-screening compounds. *J Med Biotechnol*. 2014;3(1):6.
3. McKenzie RL, Bjorn LO, Bais A, Ilyasad M. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Photochem Photobiol Sci*. 2003;2(1):5-15. <http://dx.doi.org/10.1039/b211155c> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12659535>
4. Hader DP, Kumar HD, Smith RC, Worrest RC. Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change. *Photochem Photobiol Sci*. 2007;6(3):267-85. <http://dx.doi.org/10.1039/b700020k> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17344962>
5. Proteau PJ, Gerwick WH, Garcia-Pichel F, Castenholz R. The structure of scytonemin, an ultraviolet sunscreen pigment from the sheaths of cyanobacteria. *Experientia*. 1993;49(9):825-9. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01923559> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8405307>
6. Garcia-Pichel F, Castenholz RW. Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. *J Phycol*. 1991(27):395-409. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-3646.1991.00395.x>
7. Sinha RP, Häder DP. UV-protectants in cyanobacteria. *Plant Sci*. 2008(174):278-89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2007.12.004>

8. Stevenson CS, Capper EA, Roshak AK, Marquez B, Grace K, Gerwick WH, et al. Scytonemin--a marine natural product inhibitor of kinases key in hyperproliferative inflammatory diseases. *Inflamm Res*. 2002;51(2):112-4. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02684014> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11926312>
9. Portwich A, Garcia-Pichel F. Biosynthetic pathway of mycosporines (mycosporinelike amino acids) in the cyanobacterium *Chlorogloeopsis* sp. strain PCC 6912. *J Phycol*. 2003(42):384-92. <http://dx.doi.org/10.2216/i0031-8884-42-4-384.1>
10. Conde FR, Churio MS, Previtali CM. The photoprotector mechanism of mycosporine-like amino acids. Excited state properties and photostability of porphyrin-334 in aqueous solution. *J Photochem Photobiol*. 2000(56):139-44. [http://dx.doi.org/10.1016/S1011-1344\(00\)00066-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1011-1344(00)00066-X)
11. Balskus EP, Walsh CT. The genetic and molecular basis for sunscreen biosynthesis in cyanobacteria. *Science*. 2010;329(5999):1653-6. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1193637> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20813918>
12. Dodds WK, Gudder DA, Mollenhauer D. The ecology of *Nostoc*. *J Phycol*. 1995(31):2-18. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-3646.1995.00002.x>
13. Ferroni L, Klisch M, Pancaldi S, Hader DP. Complementary UV-absorption of mycosporine-like amino acids and scytonemin is responsible for the UV-insensitivity of photosynthesis in *Nostoc flagelliforme*. *Mar Drugs*. 2010;8(1):106-21. <http://dx.doi.org/10.3390/md8010106> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20161974>
14. He YY, Klisch M, Häder DP. Adaptation of cyanobacteria to UV-B stress correlated with oxidative stress and oxidative damage. *J Photochem Photobiol*. 2002(76):188-96. [http://dx.doi.org/10.1562/0031-8655\(2002\)076<0188:AOCTUB>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1562/0031-8655(2002)076<0188:AOCTUB>2.0.CO;2)
15. Kumar A, Tyagi MB, Jha PN, Srinivas G, Singh A. Inactivation of cyanobacterial nitrogenase after exposure to ultraviolet-B radiation. *Curr Microbiol*. 2003;46(5):380-4. <http://dx.doi.org/10.1007/s00284-001-3894-8> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12732967>
16. Haifeny Yu, Rong L. Effect of UV-B radiation on the synthesis of UV-absorbing compounds in a terrestrial cyanobacterium, *Nostoc flagelliforme*. *J Appl Phycol*. 2013(25):1441-6. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-013-9978-6>
17. Rath J, Adhikary S. Response of the estuarine cyanobacterium *Lyngbya aestuarii* to UV-B radiation. *J Appl Phycol*. 2007(19):529-36. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-007-9166-7>
18. Rupali R. Photosynthetic and biochemical characterization of pigments and uv-absorbing compounds in *Phormidium tenue* due to UV-B radiation. *J Appl Phycol*. 2011(23):283-92. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-010-9621-8>
19. Desikachary T. *Cyanophyta*. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi 1959. Available from: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=CAGRO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mnfn=001690>.
20. John DM, Whitton BA, Brook AJ. *The freshwater algal flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae*. Cambridge University Press, Cambridge. 2002.
21. Allen MM, Stanier RY. Growth and division of some unicellular blue-green algae. *J Gen Microbiol*. 1968;51(2):199-202. <http://dx.doi.org/10.1099/00221287-51-2-199> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5652095>
22. Toledo-Cervantes A, Morales M, Novelo E, Revah S. Carbon dioxide fixation and lipid storage by *Scenedesmus obtusiusculus*. *Bioresour Technol*. 2013;130:652-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.081> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23334023>
23. Bohm GA, Pfeleiderer W, Boger P, Scherer S. Structure of a novel oligosaccharide-mycosporine-amino acid ultraviolet A/B sunscreen pigment from the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. *J Biol Chem*. 1995;270(15):8536-9. <http://dx.doi.org/10.1074/jbc.270.15.8536> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7721752>
24. Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. Phenol sulphuric acid method for total carbohydrate. *J Annal Chemist*. 1956(26):3506.
25. Sinha RP, Hader DP. Impact of uv radiation on rice-field cyanobacteria: role of photoprotective compounds, The effects of ozone depletion on aquatic ecosystems. 1997:189-98. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-012312945-1/50014-0>
26. Dillon JG, Tatsumi CM, Tandingan PG, Castenholz RW. Effect of environmental factors on the synthesis of scytonemin, a UV-screening pigment, in a cyanobacterium (*Chroococcidiopsis* sp.). *Arch Microbiol*. 2002;177(4):322-31. <http://dx.doi.org/10.1007/s00203-001-0395-x> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11889486>

27. Garcia-Pichel F, Wingard CE, Castenholz RW. Evidence Regarding the UV Sunscreen Role of a Mycosporine-Like Compound in the Cyanobacterium *Gloeocapsa* sp. *Appl Environ Microbiol.* 1993;59(1):170-6. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.59.1.170-176.1993> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16348840>
28. Budel B, Karsten U, Garcia-Pichel F. Ultraviolet-absorbing scytonemin and mycosporine-like amino acid derivatives in exposed, rock-inhabiting cyanobacterial lichens. *Oecologia.* 1997;112(2):165-72. <http://dx.doi.org/10.1007/s004420050296> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28307566>
29. Edge R, Mcgarvey DJ, Truscott TG. The carotenoids as antioxidants a review. *J Photochem Photobiol.* 1997(41):189-200. [http://dx.doi.org/10.1016/S1011-1344\(97\)00092-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1011-1344(97)00092-4)
30. Ehling-Schulz M, Bilger W, Scherer S. UV-B-induced synthesis of photoprotective pigments and extracellular polysaccharides in the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. *J Bacteriol.* 1997;179(6):1940-5. <http://dx.doi.org/10.1128/jb.179.6.1940-1945.1997> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9068639>
31. Gotz T, Windhovel U, Boger P, Sandmann G. Protection of photosynthesis against ultraviolet-B radiation by carotenoids in transformants of the cyanobacterium *Synechococcus* PCC7942. *Plant Physiol.* 1999;120(2):599-604. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.120.2.599> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10364412>
32. Wachi Y, Burgess JG, Iwamoto K, Yamada N, Nakamura N, Matsunaga T. Effect of ultraviolet-A (UV-A) light on growth, photosynthetic activity and production of biopterin glucoside by the marine UV-A resistant cyanobacterium *Oscillatoria* sp. *Biochim Biophys Acta.* 1995(1244):165-8. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4165\(94\)00219-N](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4165(94)00219-N)
33. Sinha RP, Kumar HD, Kumar A, Häder DP. Effects of UV-B irradiation on growth, survival, pigmentation and nitrogen metabolism enzymes in cyanobacteria. *Acta Protozool.* 1995(34):187-92.
34. Kannaujiya VK, Richa P, Sinha PR. Peroxide scavenging potential of ultraviolet-B-absorbing mycosporine-like amino acids isolated from a marine red alga *Bryocladia* sp. *Frontier Environ Sci.* 2014(26):1-8. <http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2014.00026>
35. Mushir S, Deep S, Fatma T. Screening of cyanobacterial strains for UV screening compound scytonemin environmental perspectives. *J Engineer Technol.* 2014(3):9191-6.
36. Waditee-Sirisattha R, Kageyama H, Sopun W, Tanaka Y, Takabe T. Identification and upregulation of biosynthetic genes required for accumulation of Mycosporine-2-glycine under salt stress conditions in the halotolerant cyanobacterium *Aphanothece halophytica*. *Appl Environ Microbiol.* 2014;80(5):1763-9. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.03729-13> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24375141>