

## مروری بر ترکیبات ضدآفتاب و مرطوب‌کننده‌های مستخرج از سیانوباکتری‌ها

بهاره نوروزی

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

نویسنده مسئول:

بهاره نوروزی

تهران، انتهای اتوبان شهید ستاری، میدان دانشگاه، بلوار شهیدای حصارک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات پست الکترونیک:

bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

تعارض منافع: اعلام نشده است.

یکی از مهم‌ترین وظایف پوست، محافظت در برابر عوامل استرس‌زای مختلف است. محرک‌های محیطی مانند اشعه فرابنفش و آلودگی‌های محیطی، گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهند و موجب چین و چروک و پیری پوست می‌شوند. پیری پوست با کاهش تولید کلاژن و کاهش فعالیت آنزیم‌های دخیل در ساختار کلاژن مرتبط است. مواد شیمیایی مرطوب‌کننده موجب افزایش قدرت پوست در حفظ آب می‌شوند؛ اما استفاده طولانی‌مدت از آن‌ها می‌تواند اثرات نامطلوبی روی پوست انسان مانند حساسیت و حتی اثرات تومورزایی به همراه داشته باشد. در نتیجه، بهره‌برداری از منابع بیولوژیکی، به‌ویژه ارگانوسم‌های فتوسنتزکننده مانند سیانوباکتری‌ها، به‌عنوان جایگزین‌های ایمن رو به افزایش است. مکانیسم سیانوباکتری‌ها برای مقابله با تابش اشعه فرابنفش، سنتز ترکیبات ضدفرابنفش مانند اسیدهای آمینه شبیه مایکوسپورین و سیتونمین است؛ علاوه بر آن آگزوپولی ساکاریدهای تولیدشده توسط برخی گونه‌هایی که در زیست‌گاه‌های بیش از حد خشک زندگی می‌کنند، می‌توانند در محصولات آرایشی و بهداشتی به‌عنوان مرطوب‌کننده استفاده شوند. در این بررسی، پتانسیل متابولیت‌های سیانوباکتری را به‌عنوان منابع جایگزین برای ضدآفتاب‌ها و مرطوب‌کننده‌ها معرفی می‌کنیم.

**کلیدواژه‌ها:** مواد پلیمری خارج سلولی، مرطوب‌کننده، اسید آمینه شبیه مایکوسپورین، سیتونمین، ضدآفتاب

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۰

پوست و زیبایی؛ تابستان ۱۴۰۱، دوره ۱۳ (۲): ۱۳۲-۱۱۹

## مقدمه

پوست یکی از بزرگ‌ترین و یکی از پیچیده‌ترین اندام‌هایی است که یک‌ششم وزن کل بدن را تشکیل می‌دهد. پوست، به‌عنوان یک سد فیزیکی برای محافظت از بدن، در برابر ازدست‌دادن آب و هم‌چنین تخریب‌های محیطی مانند پاتوژن‌ها، مواد شیمیایی، عوامل فیزیکی و خورشیدی است. پیری پوست فرآیندی کند و پیچیده است که منجر به تغییرات بسیاری مانند نازکی، خشکی، سستی، شکنندگی، منافذ باز و خطوط نازک و چین و چروک می‌شود<sup>۱</sup>.

پیری پوست از در معرض بودن با محرک‌های خارجی مانند UVR، آلودگی و عوامل عفونی که باعث ایجاد تغییرات DNA و آسیب پوستی می‌شوند، ایجاد می‌شود. UVR (اشعه فرابنفش UVA و اشعه فرابنفش

UVB)، مضرترین مؤلفه‌های تهدیدکننده پوست است و به همین دلیل این نوع پیری، به‌عنوان پیری نوری نیز شناخته می‌شود. گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر Reactive oxygen species (ROS) ناشی از متابولیسم سلولی اکسیداتیو، باعث آسیب به اجزای سلولی مانند دیواره سلولی، غشا لیپید، میتوکندری‌ها و DNA می‌شوند. ایجاد چین و چروک یکی از ویژگی‌های اولیه پیری پوست است. کلاژن ۷۰ تا ۸۰ درصد وزن خشک پوست را تشکیل می‌دهد و در ثبات و یکپارچگی ساختاری بافت‌ها سهم دارد. علت اصلی چین و چروک، ازدست‌دادن پروتئین ساختاری (کلاژن نوع ۱) در لایه پوستی است. آنزیم‌های الاستاز مسئول تجزیه اجزای مختلف ماتریس خارج سلولی؛ یعنی

کلاژن و الاستین هستند<sup>۲</sup>.

صنعت محصولات آرایشی و بهداشتی و مراقبت از پوست به تجارتی بزرگ و در حال توسعه با سرعت بالا در سراسر جهان تبدیل شده است؛ اما لوازم آرایشی می‌توانند محصولاتی با عواقب نامطلوب باشند. مطالعه‌ای در بریتانیا نشان داد که در یک سال، ۲۳ درصد از زنان و ۱۳/۸ درصد از مردان، دچار التهابات موضعی شدند. لوازم آرایشی می‌تواند عوارض جانبی مانند حساسیت و حتی اثرات تومورزایی روی پوست انسان داشته باشد. هم‌چنین استفاده زیاد از لوازم آرایشی باعث برخی اثرات هورمونی می‌شود<sup>۳</sup>. با در نظر گرفتن پیامدهای منفی احتمالی استفاده از چنین موادی، دانشمندان در حوزه آرایشی و بهداشتی، ترکیبات طبیعی را بررسی کرده‌اند که جایگزین‌های مطمئن‌تری هستند. این امر برای موجودات فتوسنتزی که صرفاً از انرژی نور، دی‌اکسیدکربن و مواد مغذی اساسی استفاده می‌کنند صادق است. در واقع، استفاده از گیاهان برای منبع مواد آرایشی جدید، کار مورد علاقه بسیاری از شرکت‌ها است. مواد طبیعی مختلف به دست آمده از گیاهان آبرزی یا خشکی را می‌توان در کرم‌های ضدآفتاب، به دلیل خاصیت غربالگری اشعه فرابنفش و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، به کار برد. کاروتنوئیدها و فنل‌ها در نهاندانگان، فلوروتانین‌ها در جلبک‌های دریایی قهوه‌ای و اسیدهای آمینه شبه‌مایکوسپورین در جلبک‌های دریایی قرمز و ریزجلبک‌ها، از جمله آنتی‌اکسیدان‌ها و ترکیبات جاذب UV هستند؛ اما مشکلات اقتصادی برای بهره‌برداری تجاری وجود دارد؛ از جمله سرعت رشد آهسته، رشد فصلی، چالش در کشت برخی از گونه‌ها و نیاز به زمین‌های زراعی، همگی بر هزینه تولید اثرگذارند<sup>۴</sup>. روشی دیگر، بهره‌برداری از سیانوباکتری‌های فتوسنتزی برای منبع بیولوژیکی مواد آرایشی است. سیانوباکتری‌ها، پروکاریوت‌های قابل انتقال ژنتیکی

هستند که معمولاً سرعت فتوسنتز و رشد بیشتری نسبت به گیاهان دارند. این میکروارگانیسم‌ها نیازهای تغذیه‌ای اساسی دارند و می‌توانند با استفاده از سیستم‌های کشت بسته نیز رشد کنند. نکته مهم اینکه چندین گونه از سیانوباکتری‌ها در بیابان‌های بسیار خشک زندگی می‌کنند و متابولیت‌هایی ایجاد می‌کنند که توانایی مقابله با اشعه UV بالا و خشکی شدید را دارند بنابراین، این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند منبعی از محصولات آرایشی و بهداشتی برای استفاده در کرم‌های ضدآفتاب و مرطوب‌کننده‌ها با پتانسیل بالا باشند<sup>۵</sup>.

در مقایسه با گیاهان خشکی‌زی، جلبک‌ها از مولکول‌های بیواکتیو؛ مانند اسیدهای چرب غیراشباع، اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌های A، B، C و E و آنتی‌اکسیدان‌ها و ترکیبات مؤثر به لحاظ ایمنولوژیکی غنی هستند که برای پیشرفت‌های محصولات آرایشی ضروری‌اند. در واقع ریزجلبک‌ها از آنجایی که در زیستگاه‌های پیچیده زندگی می‌کنند، به منظور تطبیق با محیط‌های جدید، تنوع گسترده‌ای از متابولیسم‌های ثانویه (از نظر بیولوژیکی فعال) را تولید می‌کنند که در ارگانیسم‌های دیگر یافت نمی‌شود. مثلاً، رنگ‌دانه‌های فیکوبیلی پروتئین در گیاهان خشکی‌زی وجود ندارد<sup>۶</sup>. بسیاری از متابولیت‌ها و رنگ‌دانه‌های جلبک، خواص ضدپیری، آنتی‌اکسیدانی و محافظت‌کننده دارند که برای استفاده در لوازم آرایشی مناسبند<sup>۸</sup>.

بنابراین در بررسی حاضر، انواع ترکیبات بیواکتیو مورد استفاده در لوازم آرایشی مورد بحث قرار گرفته است. علاوه بر آن انواع، کرم‌های ضدآفتاب و کرم‌های مرطوب‌کننده را در نظر می‌گیریم، اثرات نامطلوب احتمالی مربوط به برخی از مواد شیمیایی مورد استفاده در این محصولات را نشان می‌دهیم و درباره پتانسیل سیانوباکتری‌ها، که می‌توانند منبع جایگزین متابولیت‌های جدید برای تولید لوازم آرایشی باشند، بحث می‌کنیم.

جدول ۱: مثال‌هایی از ترکیبات بیواکتیو تولیدشده توسط سیانوباکتری‌ها و ماکرو جلبک‌ها در صنایع آرایشی بهداشتی<sup>۶</sup>.

فعالیت بیولوژیکی	منبع	ترکیبات بیواکتیو
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهاب، ضدپیری، محافظ نور (اشعه فرابنفش را جذب می‌کند)	پورفیرا، کانتلا رپنز، کلامیدوموناس، پادینا کراسا، دسمارستیا	اسیدهای آمینه میکوسپورین مانند آمینوسیکلوهگزان
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهاب، ضدپیری	پورفیریدیوم، کستاریا، اولالاکتک، سایلیندروتکا	پلی‌ساکارید سولفات، فوکویدان‌ها، فوکان‌ها، گالاکتان‌های سولفات
آنتی‌اکسیدان	ایزوکریسیس گالبا	هتروپلی‌ساکاریدها
آنتی‌اکسیدان، سفیدکنندگی	گراسیلاریا گراسیلیس، اسپیرولینا پلتنسیس، پورفیریدیوم	رنگ‌دانه‌های فیکوبیلی پروتئین، فیکوسیانین، آلفو فیکوسیانین
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی، ضدپاتوژنیک	دونالیلا سالیئا، هماتوکوکوس	کاروتینوئیدهای گزانتوفیل (رنگدانه‌های محلول در چربی) و بتاکاروتن
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی، محافظ نوری، ضدپیری	دونالیلا سالیئا، کلرلا	لوتئین
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی	سینکوسیستیس، کلرلا ساکاروفیلا	زآزانتین
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی، محافظ نوری، ضدپیری	پورفیرا	زآزانتین، آلفا و بتا کاروتن، لوتئین، آنترازانتین
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی، محافظ نوری، ضدپیری	دونالیلا سالیئا، اولالاکتاکا	بتاکاروتن، زآزانتین، نئوزانتین، آنترازانتین، ویولازانتین، سیفونئین، سفونازانتین
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی، محافظ نوری، ضدپیری، سفیدکنندگی	هماتوکوکوس پلوویالیس، کلرلا، کلروکوکوم	آستاگزانتین
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی، سفیدکنندگی	سارگاسوم سیلیکوستروم، دیاتوم، چاتوسروس، ادونتلا	فوکوزانتین
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی، ضدپاتوژن	تتراسلمیس، نانوکلروپسس، پورفیریدیوم، اسپیرولینا پلتنسیس	لیپیدها، ایکوزاپنتا‌اونیک، دی‌کوزاهگزانوئیک، ایکوزاتترانوئیک اسید، اسیدهای چرب غیراشباع
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی	استفانودیسکوس	گلیکولیپیدها، مونوگالاکتوزیل دی‌آسیل گلیسرید، دی‌گالاکتوزیل دی‌آسیل گلیسرید، سولفو کوئینوسیل دی‌آسیل گلیسرول
آنتی‌اکسیدان، ضدالتهابی، محافظ نوری، ضدپیری، سفیدکنندگی، آنتی‌هیستامیک	فوکوس و سیکوکوسیس، سیستوسریا نودیکالیس، سیستوسریا تاماریسکیفولیا، اکولینا کاوا	فلوروتانین‌ها، فوکوفلرواتول، فوکودی‌فلرواتول، فوکوتریفلرواتول، فلروفورواکول

### ضدآفتاب‌ها

اشعه فرابنفش (UV:280-400 نانومتر) باعث آفتاب‌سوختگی، پیری زودرس پوست و سرطان پوست در پوست انسان می‌شود. قرارگرفتن مکرر در نور خورشید علت اصلی تومورهای خوش‌خیم و بدخیم

پوست است. UV-B (۲۸۰-۳۲۰ نانومتر)، سیتوتوکسیک‌ترین و جهش‌زاترین ناحیه طیف خورشیدی است. UV-B برای سرکوب واکنش‌های ایمنی و تنظیم مثبت بیان ژن، از طریق مسیره‌های انتقال سیگنال درون سلولی شناخته شده است و باعث

اثرات نامناسبی بر محیط طبیعی داشته باشند مخصوصاً زمانی که وارد سیستم‌های آبی می‌شوند. در کل ترکیبات ضدآفتاب به مواد معدنی (مسدودکننده‌های فیزیکی) و عوامل آلی (جاذب‌های شیمیایی) تقسیم می‌شوند.<sup>۱۱</sup>

### فیلترهای UV غیرآلی

فیلترهای UV غیرآلی، از ذرات معدنی تشکیل شده که نور خورشید را منعکس یا پراکنده می‌کنند و در لوسیون‌های ضدآفتاب به‌عنوان ضدآفتاب‌های با ظرفیت بالا استفاده می‌شوند که هم UV-A و هم UV-B را منعکس می‌کنند. فیلترهای غیرآلی UV که بیشتر در محصولات آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شوند، اکسیدهای فلزی مانند دی‌اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub>) و اکسید روی (ZnO) هستند. فیلترهای UV غیرآلی امن‌تر از فیلترهای آلی هستند؛ اما نگرانی‌هایی در مورد نفوذ عوامل غیرآلی وجود دارد.<sup>۸</sup>

UV می‌تواند منجر به تولید گونه‌های اکسیژن فعال مانند H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و اکسیژن منفرد شود که به‌عنوان سیتوتوکسیک و ژنوتوکسیک شناخته شده‌اند. امروزه ZnO و TiO<sub>2</sub> با نانوذرات TiO<sub>2</sub> و ZnO جایگزین شده‌اند. این امر می‌تواند اثرات نامطلوبی داشته باشد؛ زیرا نانوذرات TiO<sub>2</sub> می‌توانند از غشای سلولی عبور و عملکرد کشت‌های فیروپلاست پوستی انسان را با تکثیر، تحرک و توانایی تشکیل کلاژن مختل کنند. در معرض قراردادن نانوذرات TiO<sub>2</sub> می‌تواند باعث مرگ سلولی در سلول‌های عصبی و فیروپلاست‌های انسان شود.<sup>۱۲</sup>

### فیلترهای مصنوعی آلی UV

فیلترهای آلی UV گروهی از ترکیبات هستند که برای جذب اشعه فرابنفش به‌جای انعکاس آن طراحی شده‌اند. پرکاربردترین فیلترهای آلی UV در ضدآفتاب‌ها، بوتیل متوکسی دی‌بنزوتیل متان (BM-DBM)، اتیل هگزیل متوکسی سینامات (EHMC) و اکتوکریلین (OCR) هستند. اینها مواد شیمیایی مقاوم در برابر نور هستند که از پوست انسان

افزایش تشکیل دایمرهای پیریمیدین سیکلوبوتان شده که باعث جهش در سلول‌های اپیدرمی و درنهایت، منجر به رشد غیرطبیعی سلول و افزایش خطر ابتلا به سرطان پوست می‌شود. اثرات سیتوتوکسیک قوی UV-B در اپیدرم فوقانی می‌باشد؛ زیرا UV-B از درم نفوذ نمی‌کند در عوض، UV-A (۴۰۰-۳۲۰ نانومتر) می‌تواند به درم برسد و موجب تغییراتی مانند چین و چروک، خشکی و اختلال در رنگدانه می‌شود.<sup>۹</sup>

اشعه فرابنفش UV-A، گونه‌های اکسیژن فعال اضافی تولید می‌کند که به DNA غیرمستقیم آسیب می‌زند. اثر فوتوتوکسیک UV-B بیشتر از UV-A است؛ اما قرارگرفتن در معرض UV-B، به‌شدت به فصل، زمان روز، پوشش ابر و عرض جغرافیایی بستگی دارد. در مقابل، UV-A نسبتاً ثابت با شدت بسیار بالاتر است و در تمام طول سال در دوزهای مضر وجود دارد. برخلاف UV-B که نمی‌تواند به شیشه پنجره نفوذ کند، حدود ۴۰ درصد از دوز اشعه UV-A در فضای باز را می‌توان در داخل خانه دریافت کرد بنابراین، مهم‌ترین وظیفه کرم‌های ضدآفتاب، آرایش صورت و محافظت در برابر اشعه UV-A است.<sup>۱۰</sup>

سلول‌های پوست، مکانیسم‌ها و استراتژی‌های متفاوتی برای کم‌کردن آسیب اشعه فرابنفش دارند (مانند آنتی‌اکسیدان‌ها، آنزیم‌های ترمیم‌کننده DNA و سیگنال‌دهی استرس) و قرارگرفتن بیش از حد در معرض اشعه فرابنفش، باعث جهش و بی‌ثباتی ژنتیکی می‌شود. یکی از اصلی‌ترین اقدامات محافظتی در برابر آسیب‌های پوستی، استفاده از فیلترهای UV است که در طیف گسترده‌ای از کرم‌های ضدآفتاب، آرایش صورت و محصولات مراقبت از لب وجود دارد. یک ضدآفتاب باید در برابر گرما، غیرتحریک‌کننده، غیرحساس و غیرسمی باشد. ترکیبات بسیاری از کرم‌های ضدآفتاب می‌توانند در محافظت از پوست انسان در برابر اشعه فرا بنفش موثر باشند؛ اما می‌توانند اثرات نامطلوبی مانند حساسیت تماسی و استروژنی داشته باشند. با این حال، ترکیبات ضدآفتاب می‌توانند

حشرات داشته باشد و با بیش از ۱۰۰ میکروگرم در لیتر، بر سیستم هورمونی بی‌مهرگان تأثیر می‌گذارد. با در نظر گرفتن اثرات نامطلوب احتمالی فیلترهای فرابنفش آلی و معدنی مختلف، که در محصولات آرایشی ضدآفتاب استفاده می‌شوند، نیاز روشنی به فیلترهای UV جدید بدون اثرات نامطلوب وجود دارد.<sup>۱۴</sup>

### مرطوب‌کننده‌ها

خشکی پوست می‌تواند باعث خارش و قرمزی، ظاهر پوسته‌پوسته، ترک‌ها و حتی شقاق شود که خاصیت ارتجاعی پوست را کاهش می‌دهد. میزان آب در لایه بالای پوست باید ۲۵٪-۲۰٪ باشد و میزان آب کمتر از ۱۰٪ باعث پوست‌ظاهری خشن و پوسته‌پوسته می‌شود. مرطوب‌کننده‌ها ترکیب‌های پیچیده‌ای از عوامل شیمیایی هستند که طراحی خاصی دارند تا با جذب آب و کاهش تبخیر، لایه‌های خارجی پوست را هیدراته و انعطاف‌پذیرتر کنند بنابراین، این محصولات آرایشی برای جلوگیری از ازدست‌دادن آب از طریق پوست و حفظ یا افزایش محتوای آب در فرموله شده‌اند.<sup>۱۵</sup> مکانیسم عملکردی این دسته از لوازم آرایشی فعال پیچیده است؛ اما سه ویژگی اساسی دارند که در همه مرطوب‌کننده‌ها یکسان است: رطوبت، نفوذناپذیری / یا نرمی. مرطوب‌کننده‌ها ترکیبات مرطوب‌کننده‌ای هستند که آب را در لایه‌های بیرونی پوست جذب و نگه می‌دارند و در دو جهت عمل می‌کنند:

- ♦ جذب آب از لایه درم به اپیدرم (داخل به بیرون)؛
- ♦ جذب رطوبت از محیط خارجی به پوست (بیرون به داخل).

یکی از مشکلات مهم مرطوب‌کننده‌ها این است که با تشدید جذب آب در لایه‌های بیرونی پوست، ازدست‌دادن آب از طریق اپیدرمی را افزایش می‌دهند که می‌تواند در محیط از بین برود. برای رفع این مشکل، مرطوب‌کننده‌ها همیشه با یک عامل نفوذناپذیر ترکیب می‌شوند؛ موادی مانند وازلین، روغن معدنی و

در برابر آسیب اشعه فرابنفش به‌طور مؤثر محافظت می‌کنند؛ اما در سال‌های اخیر نگرانی‌هایی در مورد عوارض جانبی احتمالی این فیلترهای مصنوعی مطرح شده است.<sup>۱۲</sup>

OCR فیلتر UV تأییدشده در سراسر جهان است که در بسیاری از کرم‌های مرطوب‌کننده استفاده می‌شود که محافظت در برابر باند موج UV-B را ارائه می‌دهد؛ اما این فیلتر UV می‌تواند یک آلرژن قوی باشد و منجر به درماتیت تماسی در کودکان و بزرگسالان شود. متوکسی دی‌بنزویل متان (BM-DBM)، یکی دیگر از فیلترهای آلی UV با جذب در طول موج UV-A است که با درماتیت تماسی فوتوالرژیک مرتبط است. محققان دریافتند که تابش اشعه فرابنفش BM-DBM منجر به افزایش ایزومر کتو و واکنش‌پذیری با بیومولکول‌های کلیدی مانند نوکلئوزیدها، تریپتوفان و تیروزین می‌شود. در واقع گروه کربونیل BM-DBM و فیلترهای UV دیگر تمایل زیادی به تشکیل ترکیبات افزایشی با اسیدهای آمینه یا پپتیدهای آزاد دارند.<sup>۱۳</sup>

اتیل هگزایل متوکسی سینامات (EHMC) یک فیلتر UV چربی‌دوست با طیف جذب در UV-B است که در کرم‌های ضدآفتاب استفاده می‌شود. بررسی‌ها روی موش‌ها در مورد اثرات قرارگرفتن در معرض غلظت‌های بالای EHMC کاهش قابل‌توجهی در سطح هورمون‌های تیروئید نشان داد که می‌تواند بر رشد تولید مثلی و عصبی تأثیر بگذارد. علاوه‌بر اثرات نامطلوب احتمالی EHMC بر سلامت انسان، استفاده گسترده از آن در لوازم آرایشی و بهداشتی باعث آلودگی در محیط‌های آبی شده است. اگرچه سطح‌های EHMC معمولاً در آب تصفیه شده کم است (۰/۱-۰/۱ میکروگرم در لیتر)؛ اما می‌تواند در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های ساحلی بالاتر باشد و حتی به میزان ۱۹ کیلوگرم در لیتر برسد. هم‌چنین، EHMC در غلظت‌های بالاتر می‌تواند تأثیر مضر بر

موم‌های گیاهی که یک لایه روی پوست تشکیل می‌دهند و از ازدست‌دادن آب جلوگیری می‌کنند.<sup>۶</sup>

مرطوب کننده‌ها نسبت به بیشتر داروهای سنتی که متخصصان پوست استفاده می‌کنند، محصولی بی‌خطر هستند؛ اما استفاده طولانی‌مدت از این محصولات، واکنش‌های پوستی نامطلوب ایجاد می‌کند. درمان طولانی‌مدت با مرطوب کننده‌ها بر روی پوست نرمال، حساسیت پوست به محرک‌ها را افزایش می‌دهد و بر عملکرد پوست نرمال تأثیر می‌گذارد. هم‌چنین مرطوب کننده‌ها می‌توانند بیان mRNA ژن‌های اپیدرمی خاص را تغییر دهند.

مرطوب کننده‌های معمول مورد استفاده در مرطوب کننده‌های آرایشی عبارتند از گلیسرین، پروپیلن گلیکول، سدیم پیرولیدون کربوکسیلیک اسید و اوره. این ترکیبات برای استفاده در مرطوب کننده‌ها بی‌خطر هستند، شواهدی مبنی بر این وجود دارد که این ترکیبات در غلظت‌های بالا یا زمانی که توسط افراد مبتلا به درماتیت استفاده می‌شوند، می‌توانند باعث ایجاد واکنش‌های نامطلوب پوستی شوند بنابراین، تقاضا برای مرطوب کننده‌های جدید که از مواد جایگزین و غیر محرک استفاده می‌کنند زیاد است.<sup>۷</sup>

### آلودگی و مکانیسم‌های محافظت از پوست

آلودگی هوا یکی دیگر از عوامل مهم زیست محیطی تولید ROS است. پوست انسان همواره در معرض آلاینده‌های محیطی قرار می‌گیرد. آلاینده‌های معلق در هوا مانند آلاینده‌های ذرات معلق (تنباکودود، دوده و ...)، انواع گردوغبار، آلاینده‌های بیولوژیکی (گرده) و آلاینده‌های گازی (گاز آگزوز خودروها) است. آلاینده‌ها هم‌چنین شامل سولفات‌ها، نیترات‌ها و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای می‌باشند. یکی از مکانیسم‌های مرتبط با اثرات نامطلوب آلاینده‌ها در بیماری‌های پوستی افزایش تولید فشاراکسیداتیو و واکنش‌های پیش‌التهابی ناشی از آلاینده‌ها می‌باشد. یکی از عوامل اصلی آلودگی هوا در فضای باز آوزون

(O<sub>3</sub>) است که از برهم‌کنش نور خورشید با آلودگی هوا ایجاد می‌شود. مخصوصاً اثرات سمی حاصل از آلاینده‌های حاصل از آگزوز خودروها که منجر به اکسیداسیون بیومولکول‌ها و تشکیل متعاقب گونه‌های رادیکال همراه با تولید مولکول‌های سیتوتوکسیک مانند آلدئیدها و پراکسیداسیون می‌شود. محققان نشان دادند که بودن در معرض آزون، باعث ایجاد آبخاری از پاسخ‌های فشار سلولی، در لایه‌های سلولی عمیق‌تر پوست و منجر به تخریب آنتی‌اکسیدان‌ها در پوست موش می‌شود و آنزیم سیتوکروم P450 را در کراتینوسیت‌های اپیدرمی طبیعی انسان افزایش می‌دهد.<sup>۲</sup>

افزایش مقادیر ROS، سلول‌ها را تحریک می‌کند تا سلول‌های مکانیسم‌های دفاعی مختلف را فعال کنند. آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی شامل انواع خاموش کننده‌های رادیکال آزاد مانند اسید اسکوربیک، آلفا توکوفرول، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها و تیول‌ها می‌شوند که شامل گلوتاتیون (GSH)، یوبی‌کینون، اسید اوریک، بیلی‌روبین، فریتین، آلبومین، ترانسفرین، لاکتوفرین و ریزمغذی‌ها هستند و به‌عنوان کوفاکتورهای آنزیمی عمل می‌کنند.<sup>۸</sup>

در چند دهه گذشته سیانوباکتری‌ها، به‌عنوان منبع مهم تولید انواع ثانویه متابولیسم‌هایی شناخته شدند که فعالیت‌های بیولوژیکی متفاوتی دارند. درواقع، جلبک‌های دریایی منبع بسیاری از زیست‌فعال‌ها مانند فلروتانن‌ها، کاروتنوئیدها، پلی‌ساکاریدها و اسیدهای آمینه مایکوسپورین مانند (MAAs) هستند.<sup>۹</sup>

### ترکیبات زیست‌فعال ریزجلبک‌ها و ماکروجلبک‌ها

دنیای سیانوباکتری‌ها، شامل تنوع زیستی نسبتاً زیادی از ترکیبات بیواکتیو از نظر زیست‌شناسی، فیزیولوژی و متابولیسم است. علاوه بر سیانوباکتری‌ها، بسیاری از جلبک‌های دریایی، جلبک‌های سبز، قرمز و قهوه‌ای نیز ترکیبات بیواکتیو عمده‌ای دارند. در کل عصاره‌های ریزجلبک‌ها از پوست از طریق مهار دگرگونی ژن ناشی از UVR، محافظت می‌کنند.

و باکتری‌ها و هم‌چنین برخی از باکتری‌های هتروتروف، برخی قارچ‌ها و برخی بی‌مهرگان، بیوسنتز می‌شوند. آن‌ها رنگدانه‌های محلول در لیپید طبیعی مهمی هستند که محافظت در برابر اکسیداسیون نوری ناشی از نور UV را در پوست، مستقیماً تأمین می‌کنند. ریزجلبک‌های دریایی تا ۰/۲ درصد کاروتنوئید دارند. آن‌ها به دلیل داشتن آنتی‌اکسیدان قوی توانایی خاموش کردن رادیکال‌های اکسیژن را دارند. منابع اصلی کاروتنوئیدها ریزجلبک‌هایی هستند که متعلق به خانواده کلروفیسه هستند. دونالیلا بالاترین محتوای بتاکاروتن را دارد و هماتوکوکوس پلویالیس بالاترین سطوح گزانتوفیل‌ها (آستاگزانترین) را ذخیره می‌کند. ریزجلبک‌ها همه زانتوفیل‌های تولیدشده توسط گیاهان عالی (ویولاکسانتین، آنتراکسانتین، زآگزانترین، نفوگزانترین و لوتئین) را سنتز می‌کند.<sup>۱۷</sup>

بتاکاروتن به‌عنوان تعدیل‌کننده بیان ژن ناشی از UVA در کراتینوسیت‌های انسانی شناخته شده است. فعالیت ضدالتهاب آن‌ها به تعدیل اهداف بیولوژیکی، مانند فاکتور هسته‌ای کاپا B (NF-kappaB) سیکلواکسیژناز ۲ (COX-2) و cyclooxygenase-2 ماتریکس متالوپروتئیناز ۹ (MMP-9) مرتبط است. آستاگزانترین، یک رنگدانه کاروتنوئید قرمز است که خواص آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر از ویتامین E و بتاکاروتن دارد. به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان، رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد و از دولایه لیپیدی در برابر پراکسیداسیون محافظت می‌کند. متعاقباً آستاگزانترین، تولید سیتوکین‌های پیش‌التهابی را بلوک می‌کند. آستاگزانترین مشتق‌شده از هماتوکوکوس پلویالیس (جلبک سبز)، موجب بهبودی در چین و چروک پوست بافت پوست، محافظت مؤثر در برابر آسیب نور اکسیداتیو و اشعه UV می‌شود و تأثیر بسیار قوی‌تری در مقایسه با لوتئین و بتاکاروتن دارد. از سایر

به‌عنوان مثال، به‌نظر می‌رسد ریزجلبک‌هایی مانند کلرلا، دنالیلا و آرتروسپیرا، روی اپیدرم برای از بین بردن نقص عروق و تقویت سنتز کلاژن اثر می‌گذارند و احتمالاً از ایجاد چین و چروک جلوگیری می‌کنند.<sup>۱۶</sup>

علاوه‌بر پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، سیانوباکتری‌ها حاوی مقادیر زیادی از پلی‌ساکاریدها هستند که بسیاری از لوازم آرایشی مفید را ارائه می‌دهد. پلی‌ساکاریدها موجب تقویت سیستم ایمنی می‌شوند و اثرات ضدالتهابی منحصر به فردی دارند. پلی‌ساکاریدها می‌توانند غشای محافظی را برای جلوگیری از تبخیر آب در پوست شکل دهند. به‌عنوان مثال فوکویدان (پلی‌ساکاریدهای سولفات) مستخرج از جلبک‌های قهوه‌ای هستند که موجب تکثیر فیبروبلاست‌ها می‌شوند. علاوه بر آن، پلی‌ساکاریدهای سولفات مستخرج از ریزجلبک قرمز پورفیریوم، یک کاندیدای عالی برای جایگزینی اسید هیالورونیک است که به‌عنوان یک روان‌کننده زیستی و دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی در برابر اکسیداسیون اسید لینولئیک است. هم‌چنین پلی‌ساکاریدهای مستخرج از جلبک‌های دریایی سبز سولفات‌شده، با از بین بردن رادیکال‌های آزاد، یک اثر آنتی‌اکسیدانی را روی رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروکسیل، ۱،۱ - دی فنیل - ۲ - پیکریل هیدرازیل (DPPH) دارند.

لامینارین، آلژینات و فوکوئیدان مشتق‌شده از جلبک‌های قهوه‌ای نیز خواص آنتی‌اکسیدانی دارند و می‌تواند برای جلوگیری از پیری پوست استفاده شوند. پلی‌ساکاریدهای با وزن مولکولی کم (کمتر از ده کیلودالتون) مستخرج از جلبک‌های قرمز با عملکردهای بیولوژیکی متعدد؛ مانند آنتی‌اکسیدان، فعالیت‌های ضدتومور، ضدخستگی و ضدالتهاب هستند. این ترکیب با عملکرد ضدپیری و تأثیر در فیبروبلاست‌های پوست انسان، سنتز کلاژن را افزایش می‌دهد.<sup>۲</sup>

کاروتینوئیدها، رنگدانه‌های طبیعی ایزوپرنوئیدی هستند که توسط تمام گیاهان فتوسنتزی، پروتیست‌ها

جذب UV است. بیوسنتز آن‌ها در سیانوباکتری‌ها با مسیرهای خاصی مانند مسیر شیکیمات و مسیر پنتوز فسفات می‌باشد. ساختار و طیف جذب MAAها به دلیل تغییر در جایگزین‌های نیتروژن و گروه‌های جانبی متصل است.<sup>۲۱</sup>

با توجه به اثرات مثبت MAAها در بازسازی سلولی در فیبروبلاست‌های پوست انسان، به نظر می‌رسد که MAAها عوامل آرایشی بالقوه باشند. آن‌ها مولکول‌های محلول در آب با وزن مولکولی کمی هستند و این خانواده شامل ۳۰ عضو، از جمله مایکوسپورین گلیسین (MGly)، پالیتین، پالیتینول، آسترینا - ۳۳۰، پورفیرا - ۳۳۴ و شینورین هستند. این ترکیب اثرات شیمیایی محافظتی قابل توجهی در برابر پیری پوست ناشی از نور را دارد. آن‌ها موجب ترمیم DNA و خاموش کننده رادیکال‌های آزاد می‌شوند و خواص آنتی‌اکسیدانی دارند و به این ترتیب، موجب کاهش مستقیم و غیرمستقیم اثرات مخرب UVR می‌شوند. M-Gly از سلول‌ها در برابر مرگ سلولی ناشی از اشعه فرابنفش محافظت می‌کند و درمان با M-Gly منجر به خواص ضدالتهابی می‌شود. اخیراً محققان نشان دادند که پورفیرا - ۳۳۴ مستخرج از پورفیرا یزونسیس، تولید ROS و بیان MMPها را به دنبال تابش UVA سرکوب می‌کند.<sup>۱۰</sup>

MAA مستخرج از ریزجلبک‌هایی مانند اسپیرولینا، کلرلا و دونالیلا نیز برای کاهش آسیب‌های ناشی از اشعه فرابنفش شناخته می‌شوند. علاوه بر این، MAAها در تعدیل تکثیر فیبروبلاست‌های پوست نقش و فعالیت ضدفتوتوپیری دارند.<sup>۱۸</sup>

انواع مختلفی از MAA در گونه‌های سیانوباکتری در زیستگاه‌های مختلف مانند محیط‌های دریایی، برکه‌های آب شور، مزارع برنج و بیابان‌ها پیدا شده است. اخیراً، MAAهای گلیکوزیله از بخش سیانوباکتریوم نوستوک خاکزی جدا شده‌اند و نقش‌های چندمنظوره به‌عنوان ضدآفتاب و

رنگ‌دانه‌های زانتوفیل طبیعی می‌توان به ویولاکسانتین جدا شده از کلرلا اشاره کرد که خواص ضدالتهابی منحصربه‌فردی دارد.<sup>۱۸</sup> ریزجلبک‌ها شامل ترکیبات فنولی هستند که فعالیت‌های زیادی مانند آنتی‌اکسیدان، محافظت ضد رادیکال‌های آزاد، ضد حساسیت و ضد التهاب دارند. ترکیب فنولی به نام سارگاچرومانول E که از سارگاسوم هورنری استخراج می‌شود، تشکیل درون سلولی ROS، اکسیداسیون پروتئین‌های غشایی، پراکسیداسیون لیپیدی و بیان کلاژنازها را در معرض UVA سرکوب می‌کند.<sup>۱۹</sup>

### پتانسیل متابولیت‌های سیانوباکتری‌ها برای ضدآفتاب

سیانوباکتری‌ها گروه مختلفی از باکتری‌های فتوسنتزی را نشان می‌دهند و پتانسیل زیادی برای کاربردهای بیوتکنولوژیکی در کشاورزی، دریانوردی، زیست‌پزشکی، غذا و سوخت دارند. یکی از جالب‌ترین ویژگی‌های سیانوباکتری‌ها، مخصوصاً گونه‌های افراطی، توانایی بالایی در غلبه بر اثرات مضر اشعه فرابنفش و مکانیسم جلوگیری، حفاظت و ترمیم است. مکانیسم اصلی، تولید ترکیبات جذب‌کننده اشعه فرابنفش / غربالگری مانند MAAs و سیتونمین است که به‌عنوان محافظ نور طبیعی عمل می‌کنند.<sup>۲۰</sup>

### اسیدهای آمینه شبه‌مایکوسپورین (MAAs)

MAAها گروهی متشکل از بیش از ۲۰ متابولیت جذب‌کننده اشعه فرابنفش محلول در آب هستند که وظیفه محافظت در برابر فوتون‌های بسیار پرانرژی در طول موج‌های UV-A را دارند. MAAs در سیتوپلاسم و غلاف بیرونی سیانوباکتری‌ها و جلبک‌ها مثل داینوفلاژلات‌ها هستند و به‌عنوان فیلتری برای جلوگیری از آسیب ناشی از اشعه فرابنفش عمل می‌کنند. MAAها مولکول‌هایی بی‌رنگ با وزن مولکولی کم با حداکثر جذب معمولاً ۳۶۲-۳۱۰ نانومتر هستند. تمام مولکول‌های MAA حاوی یک حلقه مرکزی سیکلوهگزانون یا سیکلوهگزونمین هستند که مسئول

اکسیژن و هیدروکسیل را قبل از القای ژن‌های پاسخ استرس اکسیداتیو و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خاموش کند. پیری پوست اغلب توسط رادیکال‌های آزاد ایجاد می‌شود که در اثر قرار گرفتن در معرض اشعه فرابنفش تولید می‌شوند. درمان پوست با MAA، فرآیند تولید رادیکال‌های آزاد را خنثی می‌کند؛ استفاده از کرم حاوی ۰/۰۵ درصد پورفیرا - ۳۳۴ محصور شده در لیپوزوم، سفتی و صافی پوست را پس از ۴ هفته به ترتیب ۱۰ و ۱۲ درصد در مقایسه با کرم‌های حاوی فیلترهای UV مصنوعی بهبود می‌بخشد.<sup>۱۲</sup>

تحقیقات زیادی در پی درک شرایط بهینه کشت برای به حداکثر رساندن تولید MAA در سیانوباکتری‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که درمان با نور آبی، اشعه UV-A و UV-B باعث افزایش القای سنتز MAA شد. علاوه بر اشعه فرابنفش، عوامل دیگری مانند دسترسی مواد مغذی، شوری و دما بر تجمع MAAs در سلول تأثیر می‌گذارند. محققان نشان دادند که سنتز MAA در رشد فوتوتوتروف بیشتر از رشد فوتوتوتروف است؛ زیرا در شرایط فوتوتوتروف، نور و CO<sub>2</sub> می‌توانند به‌عنوان عوامل محدودکننده باشند. هم‌چنین نشان داده شد که گوگرد برای سنتز شینورین در آنابنا وربیلیس واجب است، آمونیوم تولید شینورین را افزایش می‌دهد و عدم وجود منیزیم باعث کاهش سنتز MAA می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که بهینه‌سازی شرایط رشد می‌تواند تولید این ترکیبات مهم بیوتکنولوژیکی را در سیانوباکتری‌ها افزایش دهد. با چنین پیشرفت‌هایی و توسعه فناوری‌های کشت در مقیاس صنعتی، این متابولیت‌های طبیعی پتانسیل جایگزینی با ضدآفتاب‌های تجاری موجود را دارند. بیوسنتز MAA از طریق دو مسیر رخ می‌دهد؛ در سیانوباکتری آنابنا وربیلیس، پنج آنزیم در سنتز شینورین MAA، از طریق مسیر شیکمات، دخیل هستند؛ داکسی D آرابینوهپتولوزات، فسفات سنتاز (DAHP سنتاز)، دهیدروکوئیناز سنتاز (DHQS)،

آنتی‌اکسیدان دارند. مایکوسپورین‌های مستخرج از جلبک قرمز پورفیرا امبیلیکالیس در محصولات ضدآفتاب Helioguard 365 Mibelle AG (Biochemistry، سوئیس) و Helionori (Biosil Technologies، فرانسه) استفاده می‌شود. در Helioguard 365، مایکوسپورین‌های کپسوله‌شده در لیپوزوم‌ها، پراکسیداسیون لیپیدی را روی پوست انسان کاهش می‌دهند، قدرت و صافی پوست را بهتر و از توانایی آن برای محافظت در برابر پیری زودرس پوست حمایت می‌کنند. هم‌چنین، ثابت شده که MAA‌های استفاده‌شده در Helionori نور و گرما پایدار است و با توانایی کاهش آفتاب‌سوختگی و حفظ چربی‌های غشایی در غلظت‌های ۱-۴٪ استفاده می‌شوند.<sup>۱۹</sup>

MAA‌ها پتانسیل بیوتکنولوژیکی زیادی در محصولات طبیعی ضدآفتاب UV دارند. محققان اثرات محافظتی MAAs را در برابر آسیب DNA مطالعه کرده و دریافته‌اند که آن‌ها قادرند به‌طور مؤثری تشکیل دایمر تیمین را توسط اشعه UV مسدود کنند. محققان دیگر اثرات محافظتی سه نوع مختلف MAA (شینورین، پورفیرا - ۳۳۴ و مایکوسپورین - گلیسین) را بر روی سلول‌های فیبروبلاست انسانی بررسی کردند و دریافته‌اند که هر سه، از سلول‌ها در برابر مرگ سلولی ناشی از اشعه فرابنفش محافظت می‌کنند؛ اما مایکوسپورین - گلیسین قوی‌ترین اثر را دارد. با این حال MAA‌ها بیشترین تأثیر را بر تکثیر سلول‌های فیبروبلاست پوست انسان دارند به همین دلیل، امروزه از این متابولیت ثانویه در لوازم آرایشی و بهداشتی استفاده می‌کنند.<sup>۱۹</sup>

در سیانوباکتری‌های افراطی، MAA‌ها املاح سازگار دارند و می‌توانند تحمل سلولی را در برابر خشکی و استرس گرمایی افزایش دهند. هم‌چنین، این متابولیت‌ها، مولکول‌های آنتی‌اکسیدانی مؤثری هستند و می‌توانند رادیکال‌های آزاد را در ساختار حلقوی خود تثبیت کنند. مایکوسپورین - گلیسین قادر است رادیکال‌های

O - متیل ترانسفراز (O-MT)، ATP لیگاز و NRPS<sup>۱۸</sup>.

### سیتونمین

سیتونمین حداکثر جذب در ۳۸۰ نانومتر را دارد، در غلاف پلی‌ساکارید خارج سلولی پوسته سیانوباکتری‌ها وجود دارد و به‌عنوان محافظ در برابر اشعه UV خورشیدی با طول موج کوتاه عمل می‌کند. این رنگدانه محلول در چربی، یک مولکول دایمری کوچک ۵۴۴ دالتونی، بین محصولات طبیعی خاص و از زیرواحدهای ایندولیک و فنلی تشکیل شده است. سیتونمین از متابولیت‌های بیوسنتز اسید آمینه آروماتیک (تریپتوفان و تیروزین) سنتز می‌شود.<sup>۱۰</sup>

درمان UV-A به‌طور موثر سنتز سیتونمین را القا می‌کند، درحالی که نور آبی، سبز یا قرمز اثر زیادی ندارند. عوامل استرس‌زا نیز می‌توانند بر سنتز این رنگدانه آلکالوئید در سیانوباکتری‌ها تأثیر بگذارند. محققان اثر گرما، استرس اسمزی و اکسیداتیو را بر سنتز سیتونمین در گونه کروکوکوسیدوپسیس مطالعه کردند و یافتند که افزایش دما و شرایط اکسیداتیو نور در ارتباط با UV-A، باعث افزایش هم‌افزایی در سرعت تولید می‌شود، درحالی که افزایش غلظت شوری باعث مهار سنتز می‌شود. در مقابل، محققان دیگر نشان دادند که شوری باعث تولید سیتونمین در گونه لینگیبا می‌شود. محققان هم‌چنین اثرات منابع نیتروژن را بر روی سنتز سیتونمین در نوستوک پانسیفورمه مطالعه کردند و نشان دادند که این‌گونه سیانوباکتری، زمانی که نیتروژن را تثبیت می‌کند، ۷-۳ برابر سیتونمین بیشتری را سنتز می‌کند. مکانیسم‌های دقیق القای سیتونمین نامشخص است؛ اما سیگنال‌های محیطی متعددی ممکن است برای تعیین سطح این رنگدانه در گونه‌های مختلف سیانوباکتری‌ها عمل کنند.<sup>۱۲</sup>

محققان نشان دادند که سیتونمین تا ۹۰ درصد از ورود اشعه فرابنفش خورشیدی به سلول پیشگیری می‌کند. سیتونمین فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارد و جاذب رادیکال برای جلوگیری از آسیب سلولی ناشی از

گونه‌های اکسیژن فعال تولیدشده در معرض اشعه UV است. با توجه به پتانسیل سیتونمین در غربالگری UV و مهار رادیکال‌های آزاد، همراه با خواص غیرسمی آن، این رنگدانه بسیار پایدار فرصت‌های بیوتکنولوژیکی را برای بهره‌برداری توسط صنایع آرایشی و بهداشتی ارائه می‌کند.<sup>۱۱</sup>

### پتانسیل متابولیت‌های سیانوباکتری برای تولید ترکیبات مرطوب‌کننده

گونه‌های افراطی سیانوباکتری‌ها، مکانیسم‌های محافظتی مختلفی دارند که باعث می‌شود در زیست‌گاه‌های نامناسب مانند بیابان‌های بسیار خشک و محیط‌های نمکی زنده بمانند. یکی از این مکانیسم‌ها تولید لایه‌های پلی‌ساکارید خارجی فراوان، به شکل غلاف محافظ، لجن یا کپسول است.<sup>۵</sup> سیانوباکتری‌هایی مانند گونه‌های کروکوکوسیدوپسیس و نوستوک، می‌توانند با سنتز پلی‌ساکاریدهای داخلی و خارجی با حداقل آب زنده بمانند. محققان نشان دادند که تحمل خشکی در نوستوک به‌شدت با مواد پلیمری خارج سلولی (EPS) مرتبط است. درواقع ویژگی‌های آب‌دوست / آب‌گریز بودن EPS باعث می‌شود تا آب را به‌دام بیندازد و انباشته کند و به این ترتیب، از دست‌دادن آب را در طول دوره‌های خشکی به تعویق بیندازد.<sup>۵</sup>

محققان دیگر نشان دادند که EPS سیانوباکتری نوستوک در مقایسه با کیتوسان (یک عامل رطوبت‌سنج) و اوره (یک مرطوب‌کننده)، ظرفیت جذب و نگهداری رطوبت قوی دارد. آن‌ها دریافتند پس از قرارگرفتن در معرض رطوبت نسبی ۴۳٪ به‌مدت ۲۴ ساعت، میزان جذب رطوبت توسط EPS (۱۰ درصد)، کیتوسان (۶/۳ درصد) و اوره (۵/۸ درصد) بود.<sup>۲۳</sup>

مواد مرطوب‌کننده عادی، مانند اوره، گلیسرین و پروپیلن گلیکول، که در کرم‌های مرطوب‌کننده استفاده می‌شوند، توانایی جذب رطوبت را تا حد نرمال دارند؛ اما ظرفیت نگهداری رطوبت آن‌ها ضعیف است. این امر منجر به افزایش از دست‌دادن آب از اپیدرم

بلا تشکیل شده است. این‌ها از مجموعه‌ای از اسید اورونیک (اسید گلوکورونیک و گالاکترونیک) و قند خنثی (گلوکز، گالاکتوز، مانوز، فروکتوز، ریبوز، زایلوز، آرابینوز، فوکوز و رامنوز) و هم‌چنین باقی‌مانده‌ها و ترکیبات غیرکربوهیدراتی مانند فسفات، لاکتات، استات و گلیسرول تشکیل شده‌اند. علاوه بر این، EPS سیانوباکتری حاوی گروه‌های سولفات است که ویژگی خاصی بین باکتری‌ها دارد. بسیاری از EPS سیانوباکتری‌ها آب‌گریز هستند و آن هم به دلیل وجود برخی گروه‌های آب‌گریز مانند گروه‌های استیل مرتبط با استر، بخش‌های پپتیدیک و دی‌اکسی هگزوزها است. ترکیبات EPS در برخی گونه‌ها حساس است و می‌تواند تحت تأثیر تغییرات محیطی قرار گیرد. به عنوان مثال، محققان گزارش دادند که سلول‌های کرووکسیدیوپسیس، توانایی تغییر ترکیب پوششی خود را در پاسخ به تنش آبی دارند. آن‌ها نشان دادند که این گونه‌ها پوشش پیچیده‌ای دارند که از پلی‌ساکاریدهای اسید سولفات، لیپیدها و پروتئین‌ها تشکیل شده‌اند و به سیانوباکتری اجازه می‌دهد آب را به آرامی و کنترل شده در یک محیط از دست بدهد.<sup>۲۴</sup> عامل‌های محیطی زیادی بر بیان ژن‌های مربوط به تولید EPS تأثیر می‌گذارند. در بسیاری از گونه‌های سیانوباکتری‌ها، کمبود مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) نرخ تولید EPS را در نتیجه افزایش کربن جذب شده افزایش می‌دهد. میزان تولید EPS در گونه‌های سیانوباکتری می‌تواند تحت تأثیر عوامل دیگری مانند تنش نمک، تابش، چرخه نور، دما و سن کشت قرار گیرد. سن کشت هم‌چنین می‌تواند بر ترکیب قند، هم از نظر کیفی و هم از نظر کمی تأثیر بگذارد بنابراین، نرخ تولید EPS در گونه‌های سیانوباکتری را می‌توان از طریق دست‌کاری ژنتیکی یا استفاده انتخابی از شرایط فیزیولوژیکی افزایش داد.<sup>۲۲</sup> تولید ROS و تنش اکسیداتیو در پوست با قرارگرفتن در معرض اشعه UV خورشیدی و آلودگی

می‌شود که ممکن است توسط عوامل انسدادی بسته و موجب بوی نامطلوب، بافت چرب و حساسیت‌زایی شود.<sup>۵</sup> محققان دریافته‌اند که ارزش حفظ رطوبت EPS سیانوباکتری‌ها (۰/۲۸) بسیار بیشتر از اوره (۰/۱۵/۹) و کیتوزان (۰/۷/۳) است و EPS سیانوباکتری‌ها، پتانسیل زیادی برای استفاده به‌عنوان مرطوب‌کننده در مرطوب‌کننده‌های آرایشی بدون نیاز به رطوبت دارند. به‌عنوان مثال ظرفیت حفظ رطوبت ساکران، یک پلی‌ساکارید غول‌پیکر استخراج‌شده از سیانوباکتریوم آفانوتیس ساکروم، ۱۰ برابر بیشتر از اسید هیالورونیک است.<sup>۶</sup> این پلی‌ساکارید آنیونی ژله‌مانند، از ۱۱ نوع مونوساکارید با حدود ۱۱ درصد گروه سولفات و ۱۲ درصد گروه کربوکسیل در هر زنجیره قند تشکیل شده است. ظرفیت نگهداری رطوبت توسط EPS سیانوباکتری به دلیل برهم‌کنش قوی بین مولکول‌های آب و گروه‌های هیدروفیل - OH پلی‌ساکاریدها است. از دیگر ویژگی‌هایی که EPS سیانوباکتری را برای کاربردهای آرایشی مناسب می‌کند، فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن است. EPS هم‌انیون‌های سوپراکسید و هم‌رادیکال‌های هیدروکسیل را در شرایط آزمایشگاهی از بین می‌برد. این ترکیبات هم‌چنین می‌توانند فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی را افزایش، پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب اکسیداتیو ناشی از پاراکوات را کاهش دهند. هم‌چنین، چندین گزارش نشان داده‌اند که پلی‌ساکاریدهای سیانوباکتری می‌توانند فعالیت ضدویروسی داشته باشند. به‌عنوان مثال نشان داده شده است که نوستوفان، یک پلی‌ساکارید اسیدی جداشده از نوستوک فلاجیفورمه، از طریق پیشگیری از بیماری، فعالیت ضدویروسی در برابر ویروس‌های بیماری‌زا مانند دو نوع ویروس هرپس، سیتومگالوویروس انسانی و ویروس آنفولانزا A به سلول‌های میزبان متصل می‌شود.<sup>۹</sup> گونه‌های سیانوباکتری EPS را سنتز و ترشح می‌کنند که از مولکول‌های هیدراته با جرم مولکولی

میکروارگانسیم‌ها، ترکیبات جذب‌کننده/غربالگر UV مانند MAA و سیتونمین تولید می‌کنند که محافظ نور طبیعی هستند و می‌توانند جایگزین مناسبی برای فیلترهای UV مصنوعی فعلی باشند. برخی از گونه‌های افراطی سیانوباکتری‌ها که در محیط‌های بیش از حد خشک زندگی می‌کنند، لایه‌های پلی‌ساکارید خارجی زیادی تولید می‌کنند که به‌عنوان جاذب آب/رطوبت عمل می‌کنند و کاندیدای قوی برای استفاده به‌عنوان مرطوب‌کننده در محصولات پوستی هستند.

به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد و منجر به فعال‌سازی بسیاری از مسیرهای سیگنالینگ سلولی / مولکولی می‌شود. تنش اکسیداتیو منجر به پیری پوست و آسیب به DNA و کاهش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود و در نهایت، منجر به تخریب تولید کلاژن و الاستین می‌شود. در این میان بهره‌برداری بیوتکنولوژیکی از سیانوباکتری‌ها به‌عنوان منبعی مهم از ترکیبات فعال زیستی برای صنعت آرایشی بسیار پرسود خواهد بود. این گروه از

## References

1. Halim AS, Khoo TL, Yusof SJ. Biologic and synthetic skin substitutes: An overview. *Indian J Plast Surg* 2010; 43: 23-8.
2. Kammeyer A, Luiten RM. Oxidation events and skin aging. *Ageing Res Rev* 2015; 21: 16-29.
3. Panico A, Serio F, Bagordo F, et al. Skin safety and health prevention: an overview of chemicals in cosmetic products. *J Prev Med Hyg* 2019; 60: 50-55.
4. Schürch C, Blum P, Züllli F. Potential of plant cells in culture for cosmetic application. *Phytochem Rev* 2008; 7: 599-605.
5. Derikvand P, Llewellyn CA, Purton S. Cyanobacterial metabolites as a source of sunscreens and moisturizers: A comparison with current synthetic compounds. *Eur J Phycol* 2017; 52: 43-56.
6. Dwivedi S, Ahmad IZ. A review of the emerging role of cyanobacteria-based nanoformulations for skin care: Opportunities and challenges. *J appl biol* 2022; 10: 21-31.
7. Anvar SAA, Nowruzi B. A review of phycobiliproteins of cyanobacteria: structure, function and industrial applications in food and pharmaceutical industries. *J Res Innov Food Sci Technol* 2021; 10: 181-98
8. Berthon JY, Nachat-Kappes R, Bey M, et al. Marine algae as attractive source to skin care. *Free Radic Res* 2017; 51: 555-67.
9. Nowruzi B, Sarvari G, Blanco S. The cosmetic application of cyanobacterial secondary metabolites. *Algal Res* 2020; 49: 101-259.
10. Fuentes-Tristan S, Parra-Saldivar R, Iqbal HM, et al. Bioinspired biomolecules: Mycosporine-like amino acids and scytonemin from *Lyngbya* sp. with UV-protection potentialities. *J Photochem Photobiol Biol* 2019; 201: 16-24.
11. Gao X, Jing X, Liu X, et al. Biotechnological production of the sunscreen pigment scytonemin in cyanobacteria: progress and strategy. *Drugs* 2021; 19: 129-39.
12. Mishra A, Tandon R, Kesarwani S, et al. Emerging applications of cyanobacterial ultraviolet protecting compound scytonemin. *J Appl Phycol* 2015; 27: 1045-051.
13. Morone J, Alfeus A, Vasconcelos V, et al. Revealing the potential of cyanobacteria in cosmetics and cosmeceuticals—A new bioactive approach. *Algal Res* 2019; 41: 101-241.
14. Nowruzi B. A review of bioactive compounds of cyanobacteria and microalgae as cosmetically useful supplements. *J Cosmet Dermatol* 2022; 12: 256-69.

15. Safavi M, Nowruzi B, Estalaki S, et al. Biological activity of methanol extract from *Nostoc* sp. N42 and *Fischerella* sp. S29 isolated from aquatic and terrestrial ecosystems. *Int J Algae* 2019; 21: 373-91.
16. Nowruzi B, Haghghat S, Fahimi H, et al. *Nostoc* cyanobacteria species: a new and rich source of novel bioactive compounds with pharmaceutical potential. *J Pharm Health Serv Res* 2018; 9: 5-12.
17. Nowruzi B, Fahimi H, Lorenzi AS. Recovery of pure C-phycoerythrin from a limestone drought tolerant cyanobacterium *Nostoc* sp. and evaluation of its biological activity. In *Anales de Biología* 2020; 42: 115-28.
18. Rastogi RP, Sonani RR, Madamwar D. Cyanobacterial sunscreen scytonemin: role in photoprotection and biomedical research. *Appl. Biochem. Biotechnol* 2015; 176: 1551-563.
19. Sen S, Mallick N. Mycosporine-like amino acids: Algal metabolites shaping the safety and sustainability profiles of commercial sunscreens. *Algal Res* 2021; 58: 102-425.
20. Nowruzi B, Sarvari G, Blanco S. Applications of cyanobacteria in biomedicine. In *Handbook of Algal Science, Technology and Medicine* 2020; 441-53. Academic Press.
21. Richa RR, Kumari S, Singh KL, et al. Biotechnological potential of mycosporine-like amino acids and phycobiliproteins of cyanobacterial origin. *Biotechnol. Bioinf. Bioeng* 2011; 1: 159-171.
22. Rastogi RP, Sinha RP. Biotechnological and industrial significance of cyanobacterial secondary metabolites. *Biotechnol. Adv* 2009; 27: 521-539.
23. Estevinho BN, Mota R, Leite JP, et al. Application of a cyanobacterial extracellular polymeric substance in the microencapsulation of vitamin B12. *Powder Technol* 2019; 343: 644-651.
24. Taylor C, Matzke M, Kroll A, et al. Toxic interactions of different silver forms with freshwater green algae and cyanobacteria and their effects on mechanistic endpoints and the production of extracellular polymeric substances. *Environmental Science: Nano* 2016; 3: 396-408.

---

---

## A review of sunscreens and moisturizers compounds driven from cyanobacteria

Bahareh Nowruzi, PhD

Department of Biology, School of  
Converging Sciences and Technologies,  
Islamic Azad University, Science and  
Research Branch, Tehran, Iran

Received: May 15, 2022

Accepted: Jul 06, 2022

Pages: 119-132

One of the most important functions of the skin is to protect against various stressors. Environmental stimuli such as UV and environmental pollution increase reactive oxygen species and cause wrinkles and skin aging. Skin aging is associated with decreased collagen production and decreased activity of enzymes involved in collagen structure. Moisturizing chemicals increase the skin's ability to retain water, but long-term use can have adverse effects on human skin, such as allergies and even tumorigenic effects. As a result, the use of biological resources, especially photosynthetic organisms such as cyanobacteria, as safe alternatives is increasing. The mechanism by which cyanobacteria respond to ultraviolet radiation is the synthesis of ultraviolet compounds such as mycosporin-like amino acids and scytonemin. In addition, the exopolysaccharides produced by some species that live in extremely dry habitats can be used as moisturizers in cosmetics. In this study, we introduce the potential of cyanobacterial metabolites as alternative sources for sunscreens and moisturizers.

**Keywords:** extracellular polymeric materials, moisturizers, mycosporin-like amino acid, scytonemin, sunscreen

**Corresponding Author:**

Bahareh Nowruzi, PhD

Shohaday-e- Hesarak Blvd., Daneshgah  
Sq., End of Sattari Hiwghway, Islamic  
Azad University, Science and Research  
Branch, Tehran, Iran

Email: bahareh.nowruzi@srbiau.ac.ir

**Conflict of interest:** None to declare

---

Copyright © 2022 Published by Tehran University of Medical Sciences.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

**2022, Volume 13, Number 2**