CC BY

مقاله مروری:

مایکوسپورین‌ها و اسیدهای آمینه شبه‌مایکوسپورین (MAAs): کاربردها، فرصت‌ها و چشم‌اندازهای آینده در پرورش و سلامت آبزیان زینتی

رویا بدلی*[۱]، فرح فرخی[۱]، رامین مناف‌فر[۲]، رضا روشندل[۲]

*royabadali79@gmail.com

۱- گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱٤۰٤ تاریخ پذیرش: بهمن ۱٤۰٤

چکیده

مایکوسپورین‌ها[۱] و اسیدهای آمینه شبه‌مایکوسپورین (MAAs)[۲] گروهی از متابولیت‌های ثانویه طبیعی هستند که در بسیاری از سیانوباکتری‌ها، جلبک‌ها، قارچ‌ها و سایر موجودات آبزی یافت می‌شوند و به دلیل توانایی بالای جذب پرتوهای فرابنفش UV-A و(UV-B، نقش مهمی در محافظت نوری ایفاء می‌کنند. این ترکیبات در کنار سایر متابولیت‌های زیست‌فعال سیانوباکتریایی (اسکیتونمین و فیکوبیلی‌پروتئین‌ها)، به عنوان مولکول‌هایی با ارزش زیستی بالا شناخته می‌شوند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که MAAs علاوه بر عملکرد محافظت در برابر تابش فرابنفش، دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، محافظت‌کننده سلولی و تعدیل‌کننده پاسخ به استرس‌های محیطی هستند. این ویژگی‌ها موجب شده است که MAAs به عنوان افزودنی‌های زیستی نوین در آبزی‌پروری مورد توجه قرار گیرند. در صنعت آبزیان زینتی، افزایش تراکم نگهداری، جابه‌جایی، تغییرات کیفیت آب، استرس‌های محیطی و شیوع بیماری‌ها از مهم‌ترین عوامل محدودکننده سلامت و رفاه آبزیان محسوب می‌شوند. شواهد موجود نشان می‌دهد که MAAs می‌توانند با کاهش استرس اکسیداتیو، تقویت سامانه‌های دفاعی و افزایش مقاومت در برابر شرایط نامساعد محیطی، در بهبود سلامت و پایداری تولید آبزیان زینتی نقش مؤثری ایفاء کنند. در این مقاله مروری، ساختار شیمیایی، مسیرهای زیست‌ساخت، منابع تولید، روش‌های استخراج و ویژگی‌های زیستی MAAs بررسی شد و کاربردهای بالقوه آنها در تغذیه، سلامت، افزایش مقاومت به استرس و توسعه محصولات نوین برای صنعت آبزیان زینتی مورد بحث قرار گرفت. همچنین چالش‌ها، محدودیت‌ها و چشم‌اندازهای آینده پژوهش و تجاری‌سازی این ترکیبات در آبزی‌پروری زینتی مرور گردید.

کلمات کلیدی: اسیدهای آمینه شبه‌مایکوسپورین (MAAs)، مایکوسپورین‌ها، آبزی‌پروری زینتی، ماهیان زینتی، سلامت آبزیان، استرس اکسیداتیو، سیانوباکتری‌ها

1- Mycosporines
2- Mycosporine-Like Amino Acids (MAAs)[1]
2

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

مقدمه

در سال‌های اخیر، صنعت آبزیان زینتی به یکی از بخش‌های مهم آبزی‌پروری جهان تبدیل شده است. ماهیان زینتی، بی‌مهرگان دریایی و سایر موجودات مورد استفاده در آکواریوم‌ها به دلیل شرایط خاص نگهداری (تراکم بالا، حمل‌ونقل مکرر، تغییرات کیفیت آب، نوردهی مصنوعی و مواجهه با عوامل بیماری‌زا)، در معرض انواع استرس‌های فیزیولوژیک قرار دارند. این تنش‌ها معمولاً با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، تضعیف سیستم ایمنی و کاهش سلامت عمومی آبزیان همراه هستند. در چنین شرایطی، استفاده از ترکیبات زیست‌فعال طبیعی به عنوان افزودنی‌های خوراکی یا مکمل‌های سلامت‌محور مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. با توجه به ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، محافظت‌کننده سلولی و نقش MAAs در سازگاری موجودات آبزی با شرایط تنش‌زا، این ترکیبات به عنوان گزینه‌هایی امیدبخش برای توسعه راهکارهای نوین در تغذیه و مدیریت سلامت آبزیان زینتی مطرح شده‌اند (Carreto and Carignan, 2011; Rastogi *et al*., 2023; Peng *et al*., 2023).

به‌علاوه، اشعه های فرابنفش (UVA،UVB، UVC) بخشی از طیف الکترومغناطیسی خورشید هستند که اثرات متفاوتی بر موجودات زنده و محیط زیست دارند (Caetano *et al*., 2024). افزایش شدت تابش این پروتوها در سال‌های اخیر به دلیل تخریب لایه ازن، چالش‌های زیست‌محیطی و سلامتی متعددی را برای موجودات زنده ایجاد کرده است (Carreto and Carignan, 2011). UVA دارای بیشترین سهم پرتوهای فرابنفش رسیده به زمین است و می‌تواند به لایه‌های عمیق پوست نفوذ کند و باعث پیری زودرس و آسیب غیرمستقیم DNA شود (Caetano *et al*., 2024). UVB بر لایه سطحی پوست اثر می‌گذارد و عامل اصلی آفتاب سوختگی و سرطان پوست است (Wei *et al*., 2024). همچنین نور UVC به‌وسیله لایه ازن جذب می‌شود و به سطح زمین نمی‌رسد. در این میان، استفاده از ترکیبات طبیعی با قابلیت جذب UV به عنوان جایگزین فیلترهای شیمیایی سنتزی مورد توجه قرار گرفته است. ورود پرتوهای فرابنفش به سطح زمین و آبها منجر به بروز بیماری‌های گوناگون می‌شود. در این بین، موجودات دریایی بین جزر و مدی در بالاترین سطوح تابش فرابنفش قرار می‌گیرند. همین موضوع، اهمیت جست‌وجو برای ترکیبات محافظت‌کننده طبیعی در برابر نور در موجودات مختلف را برجسته می‌کند تا بتوان آسیب‌های ناشی از UVR را کاهش داد (Hansson and Hylander, 2009; Neale *et al*., 2023).

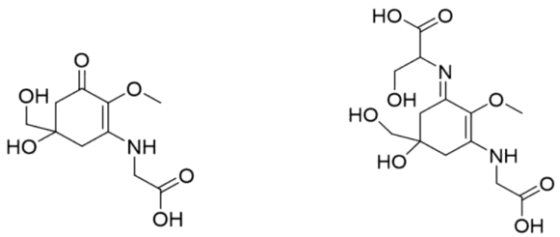
ماکروجلبک‌های دریایی که از آغاز پیدایش حیات روی زمین در معرض پرتوهای UV-B (280–315 nm) و UV-A (315–400 nm) بودند، سامانه‌های دفاعی گوناگونی را تکامل دادند (اجتناب از نور، ترمیم DNA و حفاظت سلولی در برابر UVR از طریق تولید کاروتنوئیدها و MAAs) (Singh *et al*., 2021). MAAs به دلیل خواص جذب اشعه ماوراء بنفش (UV) خود که در آن این ترکیبات می‌توانند رادیکال‌های آزاد خود را در ساختار حلقوی هسته خود جای دهند، به خوبی شناخته شده‌اند (Punchakara *et al*., 2023). از این‌رو، MAAs به عنوان جاذب رادیکال‌های شماره آزاد در نظر گرفته می‌شوند که می‌توانند ROS (گونه‌های فعال اکسیژن) را جذب کنند تا آسیب سلولی تولیدی در طول استرس اکسیداتیو را کاهش دهند (Kageyama and Waditee-Sirisattha, 2019). این ترکیبات به عنوان ترکیباتی زیست‌سازگار، غیرسمی و پایدار، نقش مهمی در استراتژی‌های دفاعی طبیعی جانداران آبزی ایفاء می‌کنند و پتانسیل بالایی برای کاربردهای صنعتی دارند (Rastogi *et al*., 2023).

معرفی مایکوسپورین‌ها

مایکوسپورین‌ها و MAAs ترکیبات کم‌وزن مولکولی (معمولاً کمتر از ۴۰۰ دالتون) بی‌رنگ، محلول در آب و متشکل از یک کروموفور سیکلوهگزنون یا سیکلوهگزنیمین هستند (ساختار آنها شامل یکی از دو حلقه آمینوسیکلوهگزنون یا آمینوسیکلوهگزن‌ایمین است) که با جانشین نیتروژنی یک آمینواسید یا الکل ایمینی آن پیوند خورده‌اند (Singh *et al*., 2023; Görünmek *et al.,* 2024) (شکل ۱). مشتقات آمینوسیکلوهگزنون شامل یک حلقه سیکلوهگزنون هستند که با یک آمینواسید کونژوگه شده‌اند (مایکوسپورین–گلیسین و مایکوسپورین–تورین). در مقابل، آمینوسیکلوهگزن‌ایمین دارای یک حلقه سیکلوهگزن‌ایمین است که در کربن سوم آن یک گلیسین یا متیل‌آمین متصل شده است و در کربن اول، یک آمینواسید، آمینوالکل یا کروموفور انامینون قرار دارد (Geraldes *et al*., 2020). در برخی از این ترکیبات، پیوندهای گلیکوزیدی یا استرهای سولفاته ممکن است در موقعیت‌های نیتروژنی

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

مشاهده شوند (Ishihara *et al*., 2017). این گروه شامل ترکیباتی مانند پالیتین، شینورین، پورفیرا-۳۳۴، کاتنلین و پورفیرا-۳۳۴ متصل به هگزوز است. تاکنون بیش از ۲۰ نوع MAA از موجودات مختلف شناسایی شده است (Geraldes and Pinto, 2021; Singh *et al*., 2023).



شکل ۱: نمونه‌هایی از ساختار آمینواسیدهای شبه مایکوسپورین (MAAs): (Geraldes and Pinto, 2021)
(a) مایکوسپورین–گلیسین (اکسو–مایکوسپورین) ، b) شینورین (آمینو–مایکوسپورین)

MAAs دارای محدوده جذب حداکثری ۳۶۲-۲۶۸ نانومتر هستند که عمدتاً در بازه ۳۶۰-۳۱۰ نانومتر متمرکز است (Lawrence *et al*., 2018). این محدوده جذب به دلیل وجود پیوندهای دوگانه مزدوج در ساختارمولکولی آنهاست که باعث ایجاد قله جذب می‌شود به‌طوری‌که ساختار سیکلوهگزنون در حدود ۳۱۰ نانومتر و ساختار سیکلوهگزیل‌آمین در حدود ۳۶۰ نانومتر قله جذب دارد (Llewellyn and Airs, 2010). این ترکیبات بر اساس ساختار شیمیایی به دو گروه اصلی مایکوسپورین‌های ساده و مایکوسپورین (آمینواسیدها) تقسیم می‌شوند (Carreto and Carignan, 2011) .

مطالعات مولکولی نشان داده‌اند که مسیر بیوسنتز MAAs از متابولیسم shikimate منشأ می‌گیرد و آنزیم‌هایی نظیر O-methyltransferase و ATP-grasp ligase در این فرایند نقش کلیدی دارند(Bandaranayake *et al*., 2023). MAAs از نظر فیزیکوشیمیایی دارای پایداری نوری بالا هستند و انرژی UVجذب‌شده را بدون تولید رادیکال آزاد به گرما تبدیل می‌کنند (Rastogi *et al*., 2023). این ترکیبات دارای ضریب جذب مولی بسیار بالا هستند (ε = 12,400–58,800 $M^{-1}\cdot cm^{-1}$). به دلیل این ویژگی‌ها، MAAsقوی‌ترین ترکیبات جاذب UVA در طبیعت محسوب می‌شوند و در برابر پرتوهای UVBنیز مؤثرند، امری که نقش بالقوه‌ی آنها را در محافظت نوری توضیح می‌دهد. علاوه بر نقش MAAs در توسعه تجاری محصولات ضدآفتاب برای محافظت از پوست، این ترکیبات می‌توانند به عنوان افزودنی‌های تثبیت‌کننده نوری در محافظت از مواد غیرزیستی (پلاستیک، رنگ و لاک) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chen *et al*., 2023; Urrea-victoria *et al*., 2025).

منابع قابل استخراج

MAAs در سیانوباکتری‌ها (Singh *et al*., 2023)، فیتوپلانکتون‌ها (Llewellyn and Airs, 2010)، گلسنگ‌ها (Bonin *et al*., 2024)، مرجان‌ها (van Oppen, 2024) و در بسیاری دیگر از موجودات دریایی مانند سایر نیداریان‌ها (Arbeloa *et al*., 2010)، اسفنج‌ها (van Oppen, 2024)، میگوی آب‌شور (Görünmek *et al*., 2024)، خارپشت‌های دریایی (Bonin *et al*., 2024)، ستاره‌های دریایی (Nakamura *et al*., 1981)، صدف‌ها (Goto-Inoue *et al*., 2020)، آسیدیاها (Sensui and Hirose, 2018) و ماهی‌ها (Braun *et al*., 2016) نیز یافت شده‌اند.

سیانوباکترها نیز به عنوان نخستین تولیدکنندگان این ترکیبات در محیط‌های پرتابش شناخته می‌شوند (Singh *et al*., 2020). جلبک‌های دریایی به‌ویژه جلبک‌های قرمز[1] یکی از غنی‌ترین منابع طبیعی MAAs محسوب می‌شوند (Chrapusta *et al*., 2017). جلبک *Limnospira platensis* که در سالهای نه چندان دور با نام *Arthrospira platensis* شناخته می‌شد، غنی از ترکیبات زیستی فعالی مانند MAAs است که از قابلیت فعال‌سازی مسیر Keap1 Nrf2 pathway دفاعی در برابر استرس اکسیداتیو برخوردارند (Bandaranayake *et al*., 2023).

Spirulina یک سیانوباکتری (جلبک سبز–آبی) میکروسکوپی، رشته‌ای، مارپیچی‌شکل و فاقد تمایز سلولی است که از توانایی رشد طبیعی در محیط‌های قلیایی و شور برخوردار است و می‌تواند هر ۲-۵ روز زیست‌توده خود را دو برابر کند (شکل ۲).

[1] *Rhodophyta*

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

شکل ۲: موفولوژی جلبک *Limnospira platensis*

اصطلاح *Spirulina* در سالهای پیش عمدتاً برای توصیف دو گونه از سیانوباکتری‌ها به‌کار می رفت (*Arthrospira platensis* و *A. maxima*) (Sinha *et al*., 2018). *Spirulina* که در بسیاری از کشورها به عنوان تغذیه انسان و حیوانات به صورت تجاری کشت داده می‌شود، منبعی غنی از پروتئین و ویتامین‌ها است (Hooti and Manaffar, 2022). *Spirulina* منبع غنی PCB [1] است، ترکیبی که به عنوان مهارکننده آنزیم NADPH اکسیداز شناخته می‌شود، آنزیمی که نقش مهمی در ایجاد استرس اکسیداتیو در بسیاری از بیماری‌های عصبی و NDs مثل آلزایمر دارد (Kim *et al*., 2018).

کاربردهای مختلف مایکوسپورین‌ها

MAAs در سلامت عصبی و کاربردهای پژوهشی در زبرافیش

بیماری‌های NDs[2] به عنوان یکی از چالش‌های مهم در جامعه شناخته می‌شوند. بر همین اساس اخیراً پژوهشگران بسیاری بر توسعه ترکیبات زیست‌فعال طبیعی (*Spirulina*)، برای درمان بیماری‌های NDs تمرکز کرده‌اند (Kim *et al*., 2018). تحقیقات نشان داده است در میان ترکیبات زیست‌فعال *Spirulina*، MAAs به دلیل ساختارهای حلقوی پایدار، توانایی جذب اشعه فرابنفش، و مهار رادیکال‌های آزاد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Sara *et al*., 2022).

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که استرس اکسیداتیو یکی از مهم‌ترین عوامل آسیب سلولی در بافت عصبی است و ترکیبات دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌توانند در کاهش این آسیب‌ها نقش داشته باشند (Kageyama and Waditee-Sirisattha, 2019; Rastogi *et al*., 2023). از آن‌جایی‌که MAAs دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محافظت‌کننده سلولی هستند، این احتمال وجود دارد که بتوانند در کاهش پیامدهای عصبی ناشی از استرس‌های محیطی در آبزیان نیز نقش ایفاء کنند. هرچند تاکنون مطالعات مستقیمی در خصوص اثر MAAs بر عملکرد عصبی ماهیان زینتی انجام نشده است، اما نتایج حاصل از مدل‌های آزمایشگاهی نظیر زبرافیش می‌تواند مبنایی برای طراحی پژوهش‌های آینده در زمینه سلامت عصبی، بهبود سازگاری با شرایط پرورشی و افزایش رفاه آبزیان زینتی باشد. در سال‌های اخیر توجه به مفهوم رفاه آبزیان[3] در صنعت ماهیان زینتی افزایش یافته است. در این چارچوب، شناسایی ترکیبات طبیعی که بتوانند پاسخ آبزیان به استرس‌های محیطی را تعدیل کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، بررسی نقش احتمالی MAAs در حفاظت از سیستم عصبی و کاهش اثرات تنش‌های مزمن می‌تواند یکی از حوزه‌های پژوهشی نوظهور در آبزی‌پروری زینتی محسوب شود.

با توجه به یافته‌های پیشین درباره اثرات محافظتی *Spirulina* (Kumar *et al*., 2024; Tamtaji *et al*., 2023; Tavares *et al*., 2024) و فعالیت‌های زیستی و ترمییم ترکیبات MAA (Sara *et al*., 2022)، هنوز یک شکاف دانشی مهم وجود دارد. در این میان اغلب مطالعات انجام‌شده اثرات *Spirulina* را به صورت کلی بررسی کرده‌اند و تاکنون تأثیر اختصاصی MAAs استخراجی از *Spirulina* بر مدل آلزایمر در زبرافیش تاکنون بررسی نشده است. روشن‌سازی این موضوع می‌تواند دیدگاه تازه‌ای نسبت به کاربرد ترکیبات طبیعی در پیشگیری یا درمان بیماری‌های نورودژنراتیو ارائه دهد.

کاربرد مایکوسپورین‌ها در شیلات و آبزی‌پروری

اشعه فرابنفش فعال‌ترین بخش فوتوشیمیایی از تابش خورشیدی است. با وجود جذب بالای آن در محیط‌های آبی، UVR اثرات بیوشیمیایی، ژنتیکی و سیتوتوکسیک متعددی بر موجودات آبزی ایجاد می‌کند. برای مقابله با استرس ناشی از UVR، بسیاری از گونه‌ها قادرند ترکیبات ضدآفتاب طبیعی را سنتز، تجمع یا از طریق رژیم غذایی خود کسب کنند تا از خود در برابر نور محافظت کنند (Sara *et al*., 2022).

[1] Phycocyanobilin (PCB)
[2] Neurodegenerative Diseases (NDs)
[3] Aquatic Animal Welfare

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

بسیاری از گروه های موجودات زنده مانند ماکروجلبک‌ها، ریز جلبک‌ها، باکتری‌های هتروتروف دریایی و سایر موجودات دریایی مختلف اسیدهای آمینه شبه مایکوسپورین تولید می‌کنند که در برخی از فرایندهای بقاء و مکانیسم های دفاعی آنها در برابر استرس نقش دارند. آنها در برخی گونه‌ها به عنوان مخزن نیتروژن درون سلولی نیز عمل می‌کنند. در موجودات آبزی مانند جلبک‌ها و سایر موجودات دریایی، این مولکول‌های زیستی در محافظت در برابر تشعشعات مضر خورشیدی نقش دارند (Bhatia *et al*., 2011). اسیدهای آمینه شبه مایکوسپورین نه‌تنها به دلیل فعالیت‌های محافظت نوری در ریزجلبک‌ها شناخته شده‌اند بلکه با تنظیم تعادل اسمزی در محافظت از آنها در برابر تنش شوری نیز نقش دارند (Peng *et al*., 2023).

افزودن MAAs به جیره غذایی آبزیان می‌تواند موجب افزایش تجمع این ترکیبات در بافت‌های سطحی و ایجاد یک سپر زیستی در برابر تابش فرابنفش و افزایش مقاومت آنها در برابر استرس نوری می‌شود که در نهایت به کاهش آسیب‌های DNA و بهبود یکپارچگی بافتی منجر می‌گردد (Carreto and Carignan, 2011). همچنین گزارش شده است که غنی‌سازی خوراک با منابع حاوی MAAs می‌تواند با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، شاخص‌های رشد و کارایی تغذیه‌ای را در شرایط تنش محیطی بهبود بخشد. همچنین این ترکیبات با کاهش استرس اکسیداتیو، باعث بهبود بقاء و رشد لاروها در سیستم‌های پرورش متراکم می‌شوند (Rastogi *et al*., 2023).

پتانسیل کاربرد MAAs در صنعت آبزیان زینتی

صنعت آبزیان زینتی با چالش‌های متعددی از جمله تراکم بالای نگهداری، حمل‌ونقل طولانی‌مدت، تغییرات کیفیت آب، استرس ناشی از نور مصنوعی، جابه‌جایی مکرر و شیوع بیماری‌های فرصت‌طلب مواجه است. این عوامل معمولاً با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، آسیب‌های اکسیداتیو و تضعیف سیستم ایمنی همراه هستند که در نهایت موجب کاهش بقا، افت کیفیت ظاهری و افزایش تلفات اقتصادی می‌شوند (Neale *et al*., 2023; Peng *et al*., 2023).

با توجه به خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و محافظت‌کننده سلولی MAAs، این ترکیبات می‌توانند به عنوان نسل جدیدی از افزودنی‌های عملکردی در جیره آبزیان زینتی مورد استفاده قرار گیرند. مطالعات نشان داده‌اند که MAAs قادر به مهار گونه‌های فعال اکسیژن، کاهش آسیب‌های اکسیداتیو و محافظت از سلول‌ها در برابر تنش‌های محیطی هستند (Kageyama and Waditee-Sirisattha, 2019; Rastogi *et al*., 2023). از این‌رو، انتظار می‌رود استفاده از این ترکیبات در جیره غذایی آبزیان زینتی بتواند موجب بهبود وضعیت فیزیولوژیک، افزایش مقاومت در برابر تنش و ارتقاء سلامت عمومی آبزیان شود (Carreto and Carignan, 2011; Peng *et al*., 2023). یکی دیگر از زمینه‌های مهم کاربرد MAAs، استفاده از آنها در دوره‌های قبل از حمل‌ونقل است. حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد استرس در ماهیان زینتی محسوب می‌شود و معمولاً با افزایش استرس اکسیداتیو، کاهش پاسخ ایمنی و افت کیفیت ظاهری همراه است. به دلیل توانایی MAAs در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و محافظت سلولی، استفاده از آنها در خوراک‌های آماده‌سازی پیش از حمل‌ونقل می‌تواند به کاهش اثرات منفی این فرایند کمک کند (Kageyama and Waditee-Sirisattha, 2019; Rastogi *et al*., 2023).

علاوه‌براین، MAAs به عنوان فیلترهای زیستی طبیعی فرابنفش شناخته می‌شوند و در بسیاری از جانداران دریایی نقش محافظتی در برابر آسیب‌های ناشی از تابش UV ایفاء می‌کنند (Singh *et al*., 2020; Singh *et al*., 2023). مطالعات انجام‌شده بر ماهیان دریایی نشان داده است که ترکیبات جذب‌کننده UV می‌توانند در مدت کوتاهی در بافت‌ها تجمع یافته و به افزایش مقاومت در برابر تنش‌های نوری کمک کنند (Braun *et al*., 2016). بنابراین، استفاده از منابع غنی از MAAsدر جیره غذایی آبزیان زینتی می‌تواند به تقویت مکانیسم‌های طبیعی دفاعی در برابر تنش‌های نوری منجر شود.

یکی دیگر از جنبه‌های بالقوه کاربرد MAAs در صنعت آبزیان زینتی، حفظ کیفیت رنگ‌آمیزی و سلامت پوست است. رنگ‌آمیزی مناسب یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزش اقتصادی ماهیان زینتی محسوب می‌شود و استرس اکسیداتیو می‌تواند موجب تخریب رنگدانه‌ها و کاهش کیفیت ظاهری گردد. اگرچه تاکنون نقش مستقیم MAAs در رنگدانه‌سازی به طور کامل مشخص نشده است، اما خواص آنتی‌اکسیدانی و محافظت سلولی آنها می‌تواند در حفظ سلامت کروماتوفورها و پایداری رنگ بدن مؤثر باشد (Kageyama and Waditee-Sirisattha, 2019; Rastogi *et al*., 2023). علاوه بر ماهیان زینتی، بسیاری از

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

بی‌مهرگان مورد استفاده در آکواریوم‌های آب شور (مرجان‌ها، شقایق‌های دریایی و سایر نیداریان‌ها) نیز به طور طبیعی حاوی MAAsهستند یا این ترکیبات را از همزیستان فتوسنتزکننده خود دریافت می‌کنند (Arbeloa *et al*., 2010; van Oppen, 2024). بنابراین، غنی‌سازی خوراک یا توسعه مکمل‌های حاوی MAAsمی‌تواند راهکاری نوین برای افزایش مقاومت این موجودات در برابر تنش‌های محیطی و شرایط مصنوعی آکواریومی باشد.

در مجموع، MAAs را می‌توان از امیدبخش‌ترین ترکیبات زیست‌فعال برای توسعه خوراک‌های عملکردی، مکمل‌های ضد استرس و راهکارهای نوین مدیریت سلامت در صنعت آبزیان زینتی دانست. با این‌حال، تعیین دوز بهینه، قابلیت هضم، فراهمی زیستی و اثرات بلندمدت این ترکیبات در گونه‌های مختلف آبزیان زینتی نیازمند انجام مطالعات تجربی بیشتر است (Carreto and Carignan, 2011; Peng *et al*., 2023; Görünmek *et al*., 2024).

کاربرد به عنوان مکمل غذایی

MAAs با توانایی جذب قوی اشعه فرابنفش، به عنوان افزودنی‌های طبیعی برای افزایش پایداری نوری مواد غذایی حساس به نور مورد توجه قرار گرفته‌اند و باعث کاهش تخریب ترکیبات زیست‌فعال می‌شوند (Rastogi *et al*., 2023; Yamamoto *et al*., 2024). این ترکیبات با داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی قادرند از اکسیداسیون چربی‌ها، رنگدانه‌ها و ویتامین‌ها در فرآورده‌های غذایی جلوگیری کنند و ماندگاری محصول را افزایش دهند (Torres *et al*., 2018). همچنین استفاده از MAAs به عنوان نگهدارنده طبیعی می‌تواند جایگزین مناسبی برای آنتی‌اکسیدان‌ها و پایدارکننده‌های سنتزی در غذاهای فراسودمند و نوشیدنی‌ها باشد (Carreto and Carignan, 2011). علاوه براین، به‌کارگیری این ترکیبات در بسته‌بندی‌های فعال و پوشش‌های خوراکی به منظور محافظت از مواد غذایی در برابر تخریب ناشی از نور، به عنوان رویکردی نوین در صنایع غذایی مطرح شده است (Torres *et al*., 2018). این ترکیبات به دلیل پایداری حرارتی و شیمیایی بالا می‌توانند در فرایندهای مختلف صنایع غذایی بدون کاهش معنی‌دار فعالیت زیستی مورد استفاده قرار گیرند (Carreto and Carignan, 2011). مطالعات نشان داده است که افزودن عصاره‌های غنی از MAAs به فرآورده‌های دریایی و محصولات بر پایه جلبک می‌تواند پایداری رنگ و کیفیت حسی را در طول نگهداری افزایش دهد (Torres *et al*., 2018). به‌علاوه، به دلیل منشا طبیعی و زیست سازگاری بالا، این ترکیبات گزینه‌ای ایمن برای توسعه افزودنی‌های غذایی نوین با رویکرد برچسب پاک محسوب می‌شوند (Carreto and Carignan, 2011).

کاربرد در محصولات بهداشتی

قرارگرفتن مزمن در معرض اشعه ماوراءبنفش، باعث ایجاد تغییراتی در ساختار پوست انسان می‌شود که با آن پیری ناشی از نور می‌گویند و شامل نازک شدن لایه اپیدرم، افزایش تعداد ملانوسیت‌ها، تجمع شدید الیاف الاستیک تخریب شده و کوتاه شده در درم، کاهش تعداد رشته‌های کلاژن و حضور سلول‌های التهابی در درم می‌شود. این فرایندها در نهایت منجر به تغییرات قابل‌توجهی در سطح بیان ژن‌های مرتبط با پیری ناشی از نور می‌شود. برای مثال، قرار گرفتن در معرض اشعه UV به طور چشمگیری روند پیری پوست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بدین صورت که باعث تخریب کلاژن (یکی از عوامل اصلی حفظ نرمی و انعطاف‌پذیری پوست)، می‌شود و میزان الاستین موجود در ماتریکس خارج‌سلولی (مولکولی متصل‌شونده به کلاژن) را کاهش می‌دهد (Siiskonen *et al*., 2018).

در سال‌های اخیر، MAAs به دلیل ویژگی‌های طبیعی محافظت نوری و آنتی‌اکسیدانی، توجه زیادی را در محصولات مراقبت از پوست به‌خود جلب کرده‌اند (Urrea-Victoria *et al*., 2025). یکی از مهم‌ترین کاربردهای تجاری MAAs استفاده از آنها به عنوان عامل محافظت نوری در برابر UVدر محصولات ضد آفتاب است (Suh *et al*., 2017). این ترکیبات علاوه بر محافظت نوری، دارای خواص ضدالتهابی و ضدپیری هستند که آنها را برای فرمولاسیون کرم‌های مراقبت از پوست مناسب می‌سازد (Rastogi *et al*., 2023). MAAs قوی‌ترین ترکیبات جاذب UVAدر طبیعت محسوب می‌شوند و در برابر پرتوهای UVB نیز مؤثرند، امری که نقش بالقوه‌ی آنها را در محافظت نوری توضیح می‌دهد. علاوه بر نقش MAAs در توسعه تجاری محصولات ضدآفتاب برای محافظت از پوست، این ترکیبات می‌توانند به عنوان افزودنی‌های تثبیت‌کننده نوری در محافظت از مواد غیرزیستی (پلاستیک، رنگ و لاک) نیز مورد استفاده قرار گیرند (Chen *et al*., 2023; Urrea-victoria *et al*., 2025). بررسی اختراعهای ثبت شده اخیر نشان می‌دهد که استفاده از

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

MAAs در محصولات آرایشی در حال افزایش است (Suh *et al*., 2017).

تحقیقات در علوم زیستی

تحقیق بر MAAs می‌تواند بسیاری از بیماری‌های قرن اخیر را رفع نماید. در این میان مدل‌هایی مانند زبرا فیش (*Danio rerio*)، ارزش بالایی در تحقیقات مولکولی و عصب شناسی دارند که می‌توانند پاسخ‌های جالبی به MAAs را در سطح بیوشیمیایی و مولکولی از خود نشان دهند که قابل تعمیم به انسان‌ها نیز هست (Meşeli *et al*., 2025) یک گونه ماهی کوچک از سرده *Danio* در خانواده Cyprinidae و راسته Cypriniformes است و به عنوان یکی از مهم‌ترین جانوران مدل در تحقیقات ژنتیکی و زیست‌شناسی توسعه شناخته می‌شود (McCluskey and Postlethwait, 2015) و به دلیل گران بودن مدل‌های حیوانی پستانداران، سیستم زبرافیش برای فراهم آوردن ارزیابی آزمایشگاهی و مدل‌سازی بدن پستانداران، شانس بالاتر و بیش‌تری نسبت به سایر مدل‌ها دارد (Bazrafshan *et al*., 2015). در سال‌های اخیر استفاده از زبرافیش به عنوان یک مدل مورد علاقه برای بیماری‌های DNs در حال ظهور است، زیرا سیستم عصبی ساده، ژنوم بسیار محافظت‌شده و از مدت زمان کوتاه لازم برای مدل‌سازی شرایط بیماری برخوردار است (Dhiman *et al*., 2025). زبرافیش دارای ژن‌هایی است که همولوگ ژن‌هایی هستند که در آلزایمر خانوادگی دچار جهش می‌شوند و تحقیقات با استفاده از زبرافیش ویژگی‌های منحصربه‌فرد این ژن‌ها را نشان داده است که در مدل‌های جوندگان به سختی قابل مشاهده بودند. زبرافیش به طور فزاینده‌ای به عنوان مدل تحقیقاتی بیماری آلزایمر محبوبیت پیدا می‌کند و مطالعات انجام شده با آن می‌تواند مطالعات انجام شده با سایر مدل‌ها را تکمیل کرده و به درک کامل‌تر ما از این بیماری کمک کند (Newman *et al*., 2014).

پلاک‌های نوریتی حاوی پروتئین Aβ[1] و NFT [2] حاوی Tau فسفریله‌شده بیش از حد، دو ویژگی ثابت بیماری آلزایمر (AD) هستند. استفاده از زبرافیش به عنوان یک مدل برای تحقیقات آلزایمر به‌خصوص زمانی‌که با MAAs تیمار شده باشند، موجب گسترش دانش درباره پروتئین‌های Aβ و Tau شده است (Xia., 2010).

چالش‌ها و چشم‌انداز آینده

چالش اصلی در کاربرد صنعتی MAAs در صنایع شیلات، غذایی و آرایشی بهداشتی، محدودیت در تولید انبوه و وابستگی میزان سنتز این ترکیبات به شرایط محیطی (شدت نور، فصل و گونه‌های تولید کننده)، است (Carreto and Carignan, 2011). همچنین فقدان مطالعات کافی درباره ایمنی بلندمدت و پایداری این ترکیبات در فرمولاسیون‌های صنعتی از دیگر چالش‌های مهم تجاری‌سازی MAAs محسوب می‌شود (Yamamto *et al*., 2024). غلظت طبیعی پایین MAAs در منابع زیستی یکی از محدودیت‌های اصلی تولید صنعتی آنها محسوب می‌شود (Bandaranayake *et al*., 2023). در نتیجه، توسعه روش‌های زیست‌فناوری (بیان هترولوگ ژن‌های بیوسنتزی در میکروارگانیسم‌ها)، به عنوان راهکاری نوین پیشنهاد شده است (Rastogi *et al*., 2023).

نتیجه‌گیری

MAAs ترکیبات طبیعی با خاصیت جذب UV و آنتی‌اکسیدانی هستند که نقش حفاظتی مهمی در موجودات دریایی دارند و به همین دلیل توجه زیادی در پژوهش‌های کاربردی پیدا کرده‌اند. این ترکیبات درصنایع شیلات می‌توانند در افزایش مقاومت استرس نوری و بهبود سلامت آبزیان موثر باشند و به ارتقاء کیفیت پرورش کمک کنند. همچنین در صنایع غذایی به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، پتانسیل استفاده به عنوان جایگزین افزودنی‌های سنتزی افزایش ماندگاری محصولات مطرح هستند و در صنایع آرایشی و بهداشتی، MAAs به دلیل ایمنی بالا و توانایی محافظت در برابر UV، گزینه‌ای ارزشمند برای توسعه ضدآفتاب‌های زیست‌سازگار محسوب می‌شوند. به طور کلی، MAAs از پتانسیل بالایی برای استفاده در محصولات پایدار و طبیعی به‌خصوص در مکمل‌های غذایی آبزیان زینتی که نسب به شرایط پرورش و حمل و نقل حساس‌تر هستند، برخوردارند.

[1] Amyloid beta (Aβ)
[2] Neurofibrillary Tangles (NFT)

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

منابع

Arbeloa, E.M., Carignan, M.O., Acuña, F.H., Churio, M.S. and Carreto, J.I., 2010. Mycosporine-like amino acid content in the sea anemones Aulactinia marplatensis, Oulactis muscosa and Anthothoe chilensis. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 156:216–221. https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2010.04.002

Bandaranayake, W.M., Des Rocher, A. and Shick, J.M., 2023. Unraveling the molecular basis of mycosporine biosynthesis in fungi. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7):6421. https://doi.org/10.3390/ijms24076421

Bazrafshan, B., Sadeghi, H., Khalili, M. and Hosseini-Far, H., 2015. Application of Zebrafish (Danio rerio) as a research model. *Journal of Ornamental Aquatics*, 2(3):9-13. (in Persian). http://ornamentalaquatics.ir/article-1-55-en.pdf

Bhatia, S., Sharma, K., Sharma, A., Garg, A., Kumar, S. and Purohit, A., 2011. Mycosporine and mycosporine-like amino acids: A paramount tool against ultraviolet irradiation. *Pharmacognosy Reviews*, 5:138–146. https://doi.org/10.4103/0973-7847.91107

Bonin, J., Hammerle, F. J., Ganzera, M., Krumme, U. and Karsten, U., 2024. UV-absorbing mycosporine-like amino acids in the eyes of temperate marine and freshwater fish species. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1426861. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1426861

Braun, C., Reef, R. and Siebeck, U.E., 2016. Ultraviolet absorbing compounds provide a rapid response mechanism for UV protection in some reef fish. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 160, 400-407.

Caetano, M., Gregório, J. and Paulo, M.S., 2024. Analyzing the Reliability and Cost of the Most Commonly Used Dosimeters for Personal Ultraviolet Radiation Monitoring—A Rapid Review. *Atmosphere*, 15(12), 1531. https://doi.org/10.3390/atmos15121531

Carreto, J.I. and Carignan, M.O., 2011. Mycosporine-like amino acids: relevant secondary metabolites. Chemical and ecological aspects. *Marine Drugs*, 9(3):387–446. https://doi.org/10.3390/md9030387

Chen, M., Jiang, Y. and Ding, Y., 2023. Recent progress in unraveling the biosynthesis of natural sunscreens mycosporine-like amino acids. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 50(1), kuad038. https://doi.org/10.1093/jimb/kuad038

Chrapusta, E., Kaminski, A., Duchnik, K., Bober, B. and Adamski, M., 2017. Mycosporine-like amino acids: Potential health and beauty ingredients. *Marine Drugs,* 15(10), 326. https://doi.org/10.3390/md15100326

Dhiman, N., Deshwal, S., Rishi, V., Singhal, N.K. and Sandhir, R., 2025. Zebrafish as a model organism to study sporadic Alzheimer's disease: Behavioural, biochemical and histological validation. *Experimental Neurology*, 383:115034. https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2025.115034

Geraldes, V., Medeiros, L.S.D., Lima, S.T., Alvarenga, D.O., Gacesa, R., Long, P.F., Fiore, M.F., Pinto, E., Stella, T.L. and Paul, F., 2020. Genetic and biochemical evidence for redundant pathways leading to mycosporine-like amino acid biosynthesis in the cyanobacterium Sphaerospermopsis torques-reginae ITEP-024. *Algae*, 35(2), pp. 177-187. https://doi.org/10.4490/algae.2020.35.5.19

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

Geraldes, V. and Pinto, E., 2021. Mycosporine-like amino acids (MAAs): Biology, chemistry and identification features. *Pharmaceuticals*, 14(1):63. https://doi.org/10.3390/ph14010063

Görünmek, M., Ballık, B., Cakmak, Z. E. and Cakmak, T., 2024. Mycosporine-like amino acids in microalgae and cyanobacteria: Biosynthesis, diversity, and applications in biotechnology. *Algal Research*, 80, 103507. https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103507

Goto-Inoue, N., Sato, T., Morisasa, M., Yamashita, H., Maruyama, T., Ikeda, H. and Sakai, R., 2020. Mass spectrometry imaging reveals differential localization of natural sunscreens in the mantle of the giant clam Tridacna crocea. *Scientific reports*, 10(1), 656. https://doi.org/10.1038/s41598-020-57629-7

Hansson, L.A. and Hylander, S., 2009. Effects of ultraviolet radiation on pigmentation, photoenzymatic repair, behavior, and community ecology of zooplankton. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 8(9): 1266-1275. https://doi.org/10.1039/B901491C

Hooti, V. and Manaffar, R., 2022. *Spirulina*: The Food of the Future. Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. *Journal of Ornamental Aquatics*, 10, 2., pp.1-13. https://doi.org/ 20.1001.1.24234575.1402.10.2.1.1 (in Persian).

Ishihara, K., Watanabe, R., Uchida, H., Suzuki, T., Yamashita, M., Takenaka, H., Nazifi, E., Matsugo, S., Yamaba, M. and Sakamoto, T., 2017. Novel glycosylated mycosporine-like amino acid, 13-O-(β-galactosyl)-porphyra-334, from the edible cyanobacterium Nostoc sphaericum-protective activity on human keratinocytes from UV light. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 172, 102-108. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.05.016

Kageyama, H. and Waditee-Sirisattha, R., 2019. Antioxidative, anti-inflammatory, and anti-aging properties of mycosporine-like amino acids: molecular and cellular mechanisms in the protection of skin-aging. *Marine Drugs*, 17:222. https://doi.org/10.3390/md17040222

Kim, K.M., Lee, J. Y., Im, A.R. and Chae, S., 2018. Phycocyanin protects against UVB-induced apoptosis through the PKC α/βII-Nrf-2/HO-1 dependent pathway in human primary skin cells. *Molecules*, 23(2), 478. https://doi.org/10.3390/molecules23020478

Kumar, H., Kaur, K. and Kaur, R., 2024. Stress-resilient effect of *Spirulina platensis* on zebrafish chronic unpredictable stress model. *Physiology and Behavior*, 287, 114691. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2024.114691

Lawrence, K.P., Long, P.F. and Young, A.R., 2018. Mycosporine-like amino acids for skin photoprotection. *Current Medicinal Chemistry*, 25(40), 5512-5527. https://doi.org/10.2174/0929867324666171116112947

Llewellyn, C.A. and Airs, R.L., 2010. Distribution and abundance of MAAs in 33 species of microalgae across 13 classes. *Marine Drugs*, 8: 1273-1291. https://doi.org/10.3390/md8041273

McCluskey, B.M. and Postlethwait, J.H., 2015. Phylogeny of zebrafish, a "model species," within Danio, a "model genus". *Molecular Biology and Evolution*, 32(3): 635-652. https://doi.org/10.1093/molbev/msu323

Meşeli, S., Tağtekin, D. and Emekli Alturfan, E. 2025. Zebrafish, A Model Organism For

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

Research in Dentistry. *Selcuk Dental Journal,* 12(1), 144-148. https://doi.org/10.15311/selcukdentj.1446275

Nakamura, H., Kobayashi, J. I. and Hirata, Y., 1981. Isolation and structure of a 330 nm UV-absorbing substance, asterina-330 from the starfish Asterina pectinifera. *Chemistry Letters,* 10(10), 1413-1414. https://doi.org/10.1246/cl.1981.1413

Neale, P.J., Williamson, C.E., Banaszak, A.T., Häder, D.P., Hylander, S., Ossola, R., Rose, K.C., Wangberg, S.A. and Zepp, R., 2023. The response of aquatic ecosystems to the interactive effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and climate change. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 22(5), 1093-1127. https://doi.org/10.1007/s43630-023-00370-z

Newman, M., Ebrahimie, E. and Lardelli, M., 2014. Using the zebrafish model for Alzheimer's disease research. *Frontiers in Genetics*, 5:189. https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00189

Peng, J., Guo, F., Liu, S., Fang, H., Xu, Z. and Wang, T., 2023. Recent advances and future prospects of mycosporine-like amino acids. *Molecules*, 28(14), 5588. https://doi.org/10.3390/molecules28145588

Punchakara, A., Prajapat, G., Bairwa, H. K., Jain, S. and Agrawal, A., 2023. Applications of mycosporine-like amino acids beyond photoprotection. *Applied and Environmental Microbiology*, 89(11), e00740-23. https://doi.org/10.1128/aem.00740-23

Rastogi, R.P., Sonani, R.R. and Madamwar, D., 2023. Biology, chemistry and applications of mycosporine-like amino acids. *Critical Reviews in Biotechnology*, 43(6):768-790. https://doi.org/10.1080/07388551.2022.2079204

Sara, L., Thanmayee, R., Satyakavya, P.V., Avulapati, T. and Swathi, K., 2022. Screening of *Spirulina* Components for Anti-Parkinson's and Anti-Alzheimer's Activity by in Silico Methods and Docking Studies. In Worldwide Congress on "Genetics, Geriatrics and Neurodegenerative Diseases Research" (pp. 161-174). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-31978-5_13

Sensui, N. and Hirose, E., 2018. Cytoplasmic UV-R absorption in an integumentary matrix (Tunic) of photosymbiotic ascidian colonies. *Zoological studies*, 57, e33. https://doi.org/10.6620/ZS.2018.57-33

Siiskonen, H., Smorodchenko, A., Krause, K. and Maurer, M., 2018. Ultraviolet radiation and skin mast cells: Effects, mechanisms and relevance for skin diseases. *Experimental Dermatology*, 27(1), 3-8. https://doi.org/10.1111/exd.13402

Singh, A., Čížková, M., Bišová, K. and Vitova, M., 2021. Exploring mycosporine-like amino acids (MAAs) as safe and natural protective agents against UV-induced skin damage. *Antioxidants*, 10(5), 683.https://doi.org/10.3390/antiox10050683

Singh, S.P., Häder, D.P. and Sinha, R.P., 2020. Mycosporine-like amino acids and photoprotection in cyanobacteria. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 19(6):795-812. https://doi.org/10.1039/C9PP00493A

Singh, V.K., Jha, S., Rana, P., Mishra, S., Kumari, N., Singh, S.C., Anand, S., Upadhye, V. and Sinha, R.P., 2023. Resilience and mitigation strategies of cyanobacteria under ultraviolet radiation stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(15), 12381. https://doi.org/10.3390/ijms241512381

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

Sinha, S., Patro, N. and Patro, I.K., 2018. Maternal protein malnutrition: current and future perspectives of *spirulina* supplementation in neuroprotection. *Frontiers in Neuroscience*, 12:966. https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00966

Suh, S.S., Hwang, J., Park, M., Seo, H.H., Kim, H.S., Lee, J.H. and Moh, S.H., 2017. Mycosporine-like amino acids: Potential health and beauty ingredients. Marine Drugs, 15(10), 326. DOI: 10.3390/md15100326.

Tamtaji, O.R., Heidari-soureshjani, R., Asemi, Z. and Kouchaki, E., 2023. The effects of *spirulina* intake on clinical and metabolic parameters in Alzheimer's disease: A randomized, double-blind, controlled trial. *Phytotherapy Research*, 37(7), 2957-2964. https://doi.org/10.1002/ptr.xxxxx

Tavares, J., Oliveira, A.V., de Souza Nascimento, T., Gomes, J.M.P., Parente, A.C.B., Bezerra, J.R., da Costa, M.D.R., de Aguiar, M.S.S., Sampaio, T.L., Lima, F.A.V. and de Barros Viana, G.S., 2024. Aqueous extract of *Spirulina* exerts neuroprotection in an experimental model of Alzheimer sporadic disease in mice induced by Streptozotocin. *Metabolic Brain Disease*, 40(1), 26. https://doi.org/10.1007/s11011-024-xxxxx-x

Torres, P., Santos, J. P., Chow, F., Ferreira, M.J.P and dos Santos, D.Y., 2018. Comparative analysis of in vitro antioxidant capacities of mycosporine-like amino acids (MAAs). *Algal Research*, 34, 57-67. https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.07.007

Urrea-Victoria, V., Hernández, A.R., Castellanos, L., Alves, I.A. and Novoa, D.M.A., 2025. The role of mycosporine-like amino acids in skin care formulations: a patent review (2014–2024). *Photochemical and Photobiological Sciences*, 24(5), 847-861. https://doi.org/10.1007/s43630-025-00717-8

Van Oppen, M.J.H., 2024. Shining light on the coral photosymbiont family Symbiodiniaceae. *Nature Microbiology*, 9, 1909–1910. https://doi.org/10.1038/s41564-024-01745-3

Wei, M., He, X., Liu, N. and Deng, H., 2024. Role of reactive oxygen species in ultraviolet-induced photodamage of the skin. *Cell Division*, 19(1), 1.

Xia, W., 2010. Exploring Alzheimer's disease in zebrafish. *Journal of Alzheimer's Disease*, 20(4), 981-990. https://doi.org/10.3233/JAD-2010-xxxx

Yamamoto, R., Toriumi, S., Kawagoe, C., Saburi, W., Kishimura, H. and Kumagai, Y., 2024. Extraction and antioxidant capacity of mycosporine-like amino acids from red algae in Japan. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 88(7), 830-838. https://doi.org/10.1093/bbb/zbae053

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]

Mycosporines and mycosporine-like amino acids (MAAs): Applications, opportunities, and future perspectives in ornamental aquaculture and aquatic animal health

Badali R.[1*]; Farokhi F.[1]; Manaffar R.[2]; Roshandel R.[2]

*royabadali79@gmail.com

1-Department of Biology, Faculty of science, Urmia University, Urmia, Iran
2-Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

Mycosporines and Mycosporine-Like Amino Acids (MAAs) are a group of naturally occurring secondary metabolites found in cyanobacteria, algae, fungi, and various aquatic organisms. These compounds are well known for their strong ability to absorb ultraviolet radiation (UV-A and UV-B), thereby providing effective photoprotection. Alongside other valuable cyanobacterial bioactive compounds, such as scytonemin and phycobiliproteins, MAAs have attracted considerable scientific interest because of their diverse biological activities. Recent studies have demonstrated that, in addition to their UV-screening function, MAAs possess antioxidant, anti-inflammatory, cytoprotective, and stress-modulating properties. These characteristics have highlighted their potential as novel functional additives in aquaculture. In ornamental aquaculture systems, high stocking densities, transportation, environmental stressors, water quality fluctuations, and disease outbreaks represent major challenges affecting animal health and welfare. Available evidence suggests that MAAs may contribute to improved resilience and physiological performance by reducing oxidative stress, enhancing defense mechanisms, and increasing tolerance to adverse environmental conditions. This review summarizes the chemical structure, biosynthetic pathways, natural sources, extraction methods, and biological properties of MAAs. Furthermore, their potential applications in nutrition, health management, stress mitigation, and the development of innovative products for the ornamental aquaculture industry are discussed. Finally, current challenges, research gaps, and future prospects for the commercialization and application of MAAs in ornamental aquaculture are highlighted.

Keywords: Mycosporine-like amino acids (MAAs), Mycosporines, Ornamental aquaculture, Ornamental fish; Aquatic animal health, Oxidative stress, Cyanobacteria

[Downloaded from ornamentalaquatics.ir on 2026-06-16]