شکوفایی سیانوباکتریایی دراکوسیستم مانگرو: چالش‌ها و راهبردها

محسن گذری[1*]، سعید تمدنی جهرمی[1]، سجاد پور مظفر[2]،احمدرضا جبله[3]، رامین کریم زاده[1]

۱. پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات،آموزش وترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران
۲. ایستگاه تحقیقات نرمتنان خلیج فارس، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور،سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرلنگه، ایران
۳. گروه تولید و بهره برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاوزی و منابع طبیعی گرگان

m_gozari@yahoo.com

چکیده

جنگل‌های مانگرو اکوسیستمی ساحلی بوده و درمناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری انتشاردارند. این اکوسیستم‌ها در سواحل خلیج فارس و دریای عمان نیز توسعه یافته‌اند. در سالیان اخیر به‌دلیل تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی موارد وقوع شکوفایی سیانوباکتریایی مضر در زیستگاه‌های حساس و در معرض انقراض مانند مانگروها افزایش یافته و به‌عنوان یک تهدید اکولوژیک بالقوه معرفی شده‌اند. شکوفایی سیانوباکتری‌های مضر در اکوسیستم مانگرو می‌تواند چالش‌هایی را در زمینه‌های اقتصادی، زیست محیطی و انسانی به‌دنبال داشته باشد. با توجه به نقش مهم این اکوسیستم در میزبانی از تنوع گسترده‌ای از جانوران و گیاهان منحصر به فرد آسیب دیدن این زیستگاه لطمه‌ای‌جبران‌ناپذیر به تنوع زیستی منطقه وارد خواهد نمود. از جنبه دیگر با توجه به اهمیت اقتصادی و غذایی برخی از گونه‌های ساکن در اکوسیستم مانگرو مانند جمعیت‌های میگو و صدف حفاظت از این اکوسیستم از جنبه‌های اقتصادی و انسانی نیز اهمیت می‌یابد. هدف از مقاله حاضر تبیین اهمیت اکوسیستم مانگرو و عملکرد سیانوباکتریها در این اکوسیستم و همچنین پیش-بینی چالش‌های احتمالی و ارائه راهبردهایی مناسب برای حل آنها می‌باشد. در این مطالعه استراتژی مدیریت تلفیقی شکوفایی سیانوباکتریایی مضر به-عنوان راهبردی جامع و کلیدی پیشنهاد شده و مورد بحث قرار گرفته شده‌است. با بکارگیری این راهبردها چشم‌اندازی مناسب برای حفاظت از اکوسیستم مانگرو و به‌دنبال آن تامین امنیت غذایی فراهم خواهد شد.

واژه های کلیدی: شکوفایی سیانوباکتریایی مضر، اکوسیستم مانگرو، سیانوباکتریهای دریایی، سیانوتوکسین‌ها، خلیج فارس.

مقدمه

سیانوباکتری‌ها حدود ۳/۸ میلیارد سال روی سیاره زمین قدمت داشته و از نخستین ارگانیسم‌های تولیدکننده اکسیژن می-باشند(Paerl and Paul, 2012). از نظر اکولوژیکی سیانوباکتری‌ها در طیف گسترده‌ای از شرایط محیطی قادر به رشد بوده و سازش‌پذیری بالایی دارند. از این‌رو تقریباً در همه محیط‌ها از جمله اقیانوس‌ها، حوضه‌های آب‌شیرین و همچنین خشکی حضور دارند. از نظر تحمل دمایی، سیانوباکتری‌ها در اکوسیستم‌ها موجود در قطب جنوب تا چشمه‌های آب گرم (تا$70^{\circ}C$) در جنوب

Algalmag

ژاپن، نیوزلند و ایتالیا جداسازی شده‌اند(Jungblut *et al.*, 2005). سیانوباکتری‌ها از گروه‌های اصلی جامعه فیتوپلانکتون‌ها هستند و حدود ۲۰٪ از کل تولید اولیه را در محیط دریایی تشکیل می‌دهند (Sharma *et al.*, 2011). علیرغم اینکه در گذشته جزء جلبک‌های سبز-آبی مورد دسته‌بندی قرار می‌گرفتند اما هیچ ارتباطی با جلبک‌ها نداشته و از نظر طبقه‌بندی در دسته باکتری‌های گرم منفی فتواتوتروف‌اکسیژن‌زا قرار دارند. مورفولوژی آنها متنوع و شامل سلول‌های انفرادی و یا به‌صورت کلنی و رشته‌ای‌شکل مشاهده می‌شوند(Catherine *et al.*, 2013). پیامد این پدیده به‌خطر افتادن تنوع زیستی در اکوسیستم می‌باشد. سیانوباکتری‌ها پروکاریوت‌های فتوسنتزی بوده در اکوسیستم‌های مانگرو نیتروژن ملکولی را تثبیت می‌کنند. برخی از گونه‌های سیانوباکتری نقش مفید خود را از طریق برقراری روابط همزیستی با سایر موجودات زنده از قبیل گیاهان مانگرو برقرار می‌نمایند. این گونه‌ها با تولید متابولیت‌های ثانویه متنوع و پیچیده می‌توانند در دفاع شیمیایی ارگانیسم‌های همزیست مشارکت داشته‌باشند. سیانوباکتری‌ها از طریق تقسیم دوتایی بوسیله تقسیم چندگانه سلول‌های بائوسیت و هورموگونیوم تولید مثل می‌کنند. در سلول‌های چسبیده به سطوح، تولید مثل از طریق تشکیل اگزوسیست‌ها انجام می‌شود(Mishra *et al.*, 2019). با توجه به ویژگی‌های زیستی ارائه شده از سیانوباکتری‌ها و عملکردهای آنها در اکوسیستم دریایی هدف از ارائه این مقاله مروری بر نقش سیانوباکتری‌ها در اکوسیستم‌های مانگرو و تبیین چالش‌های احتمالی آنها و ارائه راهبردهایی جهت پیشگیری و کنترل اثرات نامطلوب شکوفایی آنها در اکوسیستم‌های مانگرو می‌باشد.

اهمیت اکوسیستم‌های مانگرو

جنگل‌های مانگرو جزء اکوسیستم‌های ساحلی طبقه‌بندی‌شده و از نظر جغرافیایی درمناطق گرمسیری ونیمه‌گرمسیری سراسردنیا گسترش یافته‌است(Kathiresan and Qasim, 2005).در مقایسه با جنگل‌های مناطق استوایی، مانگروها تنوع اندکی ازگونه‌های‌درختی و درختچه‌ای را شامل می‌شوند. گیاهان اصلی تشکیل دهنده این اکوسیستم ویژگی‌های خاصی یافته و نسبت به‌شرایطی چون کمبود اکسیژن و غلظت بالای نمک سازگار شده‌اند. علیرغم تنوع گیاهی اندک این جنگل‌ها تنوع بالای گونه‌های جانوری را در خود جای داده‌اند. گونه‌های متنوعی از بندپایان، نرمتنان، دوزیستان، انواع ماهیان، پرندگان و پستانداران در این زیستگاه حضور داشته و یا بخشی از چرخه زندگی خود را در این اکوسیستم می‌گذراند. به عنوان مثال، محلی برای نوزادگاه بسیاری از ماهیان و سخت‌پوستان از قبیل میگو می‌باشد. از سوی دیگر برخی از جانوران با ورود به این زیستگاه منابع غذایی خود را تامین می‌نمایند. اکوسیستم‌های مانگرو محلی برای تجمع کربن و مواد غذایی بوده و نقش مهمی در نوسازی بیومس دریایی ایفا می‌نماید. این پوشش گیاهی همچنین به عنوان سدی در مقابل امواج و سونامی‌ها از اکوسیستم ساحلی محافظت می‌نماید(Alongi, 2018).گیاهان مانگرو نقش مهمی در زنجیره‌های غذایی موجودات زنده ایفا می‌نمایند و به‌عنوان منابع مهم طبیعی شناخته شده‌اند(Duarte *et al.*, 2013). میان کنش‌های موجود در زیستگاه‌های مانگرو میان گیاهان، جانوران و میکروارگانیسم‌ها نقش مهمی در برقراری تعادل اکولوژیک و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی در این زیستگاه ایفا نماید(Jensen and Leister, 2014). مجموعه شرایط توصیف شده در مورد این اکوسیستم‌های ساحلی منحصر به‌فرد آنها را به‌عنوان یک موضوع مطالعاتی جذاب در معرض توجه پژوهشگران به‌ویژه در زمینه‌هایی مانند ارزیابی تاثیر فاکتورهای محیطی بر تنوع میکروبی و آنالیزهای تکاملی قرارداده‌است (Mariani *et al.*, 2015). از این‌رو در اکثر مناطق دنیا از جمله در ایران این اکوسیستم در زمره زیستگاه‌های طبیعی حفاظت شده دسته‌بندی شده و تغییرات آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

عملکردسیانوباکتری‌ها در اکوسیستم های‌مانگرو

سیانوباکتری‌ها در طی روند تکامل با تغییرات ژئوشیمیایی از قبیل دما، شوری، نور و هوازدگی در اکوسیستم‌های مانگرو سازگار شده‌اند(Paerl and Paul, 2012). از این‌رو عملکردهای متنوعی در این اکوسیستم غنی ایفا می‌نمایند. در یک اکوسیستم مانگرو متعادل از لحاظ اکولوژیک سیانوباکتری‌ها تاثیرات مطلوب و سازنده‌ای ایفا می‌نمایند.

عملکرد سیانوباکتری‌ها در چرخه‌های بیوژئوشیمیایی در اکوسیستم‌های مانگرو

تنوع قابل توجهی از جمعیت‌های سیانوباکتری‌ها در اکوسیستم مانگرو کلونیزه شده‌اند. این جمعیت‌های متنوع با گیاهان و خاک مرتبط بوده و در چرخه‌های بیوژئوشیمیایی و مواد مغذی نقشی مهم ایفا می‌نمایند(Singh and Bhadury, 2019). سیانوباکتری‌ها به‌عنوان باکتری‌های اکسیژن‌زای فتواتوتروف عملکردهای بیوشیمیایی مهمی در راستای نگهداری از ساختار جنگل‌های مانگرو اعمال می‌نمایند. مطالعات نشان داده‌است سیانوباکتری‌ها در تثبیت ازت ملکولی سهم قابل توجهی دارند(Zehr, 2011). سیانوباکتری‌ها نه تنها به‌عنوان تثبیت‌کننده نیتروژن اتمسفر شناخته شده بلکه ترکیباتی مانند اسیدهای آمینه را تولید و ترشح می‌کنند. همچنین انتقال نیتروژن تثبیت‌شده توسط سیانوباکتری‌ها روی برگ‌ها و ریشه‌های زیرزمینی و هوایی به‌خوبی شناخته شده‌است. مانند بسیاری از محیط‌های دیگر ترکیبات نیتروژنه عناصری محدود در جنگل-های مانگرو بوده و تا ۷۴درصد نیتروژن مورد نیاز درختان مانگرو از طریق جذب از طریق اتمسفر، تبادل آب، رسوب و تثبیت نیتروژن زیستی تامین می‌شود(Alvarenga *et al.*, 2015). در این زمینه‌برخی از اعضای جمعیت ریزوسفرمانگرو می‌توانند موجب تحریک تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط دیگر جمعیت‌ها گردند. بسیاری از سیانوباکتری‌ها قادر به تثبیت نیتروژن جوی در ساختارهای قابل جذب در اکوسیستم‌های دریایی هستند. حضور این دسته برای تعادل اکولوژیک اقیانوس‌ها و اکوسیستم-های ساحلی ضروری می‌باشد (Sarma and Prakash, 2020). سلول‌های سیانوباکتریایی می‌توانند حتی در محیط‌های با فسفر کم گرانول‌های پلی‌فسفات تولید کنند. این مشارکت در چرخه فسفر هم در واکنش‌های داخل سلولی و هم در خارج از سلول و تغذیه چندین گونه گیاهی نقش‌های حفاظتی ایفا می‌نماید (Bohunicka *et al.*, 2015). توده‌های زیستی سیانوباکتری‌ها تشکیل شده در زیستگاه‌های مانگرو حاوی غلظت‌های بالایی از کلسیم، کربن، منیزیم، نیتروژن، فسفر و گوگرد می‌باشند. نقش مستقیم سیانوباکتری‌های غیر سمی در بازیابی اکوسیستم مانگرو به‌خوبی ثابت شده‌است. برای نمونه مناسب-ترین روش برای مدیریت آلاینده‌های مانگرو مانند روغن‌ها در زیستگاه‌های مانگرو استفاده از سیانوباکتری‌های غیر سمی در زیست‌پالایی این ترکیبات معرفی شده‌است (Santos *et al.*, 2011; Sen and Karn, 2019). سیانوباکتری‌ها می‌توانند در تشکیل واحدهای مشتمل بر ترکیبی از میکروارگانیسم‌های دارای میان‌کنش‌های همسو یا در اصطلاح کنسرسیوم میکروبی مفید باشند. برای نمونه افزودن جدایه‌های سیانوباکتریایی به یک کنسرسیوم باکتریایی طراحی شده توانست بازده آن را در زیست‌پالایی روغن آلوده در خاک و آب را افزایش دهد(Zhubanova *et al.*, 2013). علاوه‌بر این، برخی از سیانوباکتری‌ها قادر هستند به‌طور مستقیم با فرآیند روش جذب مستقیم بر روی فلزات سنگین، روغن، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای و سایر ترکیبات گزنوبیوتیک را تجزیه کنند.(Dubey *et al.*, 2011)

عملکرد سیانوباکتری‌ها در میان کنش با گیاهان و جانوران در اکوسیستم‌های مانگرو

مطالعات مختلفی در زمینه میان‌کنش‌های سیانوباکتری‌ها با گیاهان و جانوران موجود در اکوسیستم‌های مانگرو انجام شده‌است. سیانوباکتری‌های اپی‌فیتیک بر سطح ریشه‌های زیرزمینی و هوایی، تنه‌ها و برگ‌های چندین گونه از گیاهان مانگرو مشاهده

شده‌اند. با توجه به تولید ترکیبات شیمیایی بسیاری توسط سیانوباکتری‌ها امکان سمیت این ترکیبات برای بی‌مهرگان و مهره-داران ساکن در اکوسیستم مانگرو وجود دارد. سموم سیانوباکتریایی می‌توانند در زنجیره‌های غذایی در اکوسیستم مانگرو بویژه در زمان شکوفایی تجمع یابند (Mohamed *et al.*, 2020). پتانسیل سیانوباکتری‌ها در کاهش غنای گونه‌ای و توده زنده علف‌های دریایی مانگرو، سخت‌پوستان و ماهی به‌خوبی شناسایی شده‌است (Pittman and Pittman, 2005). از سوی دیگر سیانوباکتری‌ها با تولید چندین کربوهیدرات خارج سلولی محلول مواد مغذی معدنی و آلی لازم را برای تقویت رشد گیاهان مانگروها رافراهم می‌نمایند. همچنین این ترکیبات خارج سلولی موجب کلونیزه شدن و ایجاد اتصالات محکم جمعیت‌های باکتری‌های هتروتروف به برخی از سیانوباکتری‌ها شده و یک واحد عملکردی دارای تعاملات مشترک یا در اصطلاح کنسرسیوم میکروبی را تسهیل می‌نمایند. ایجاد میان‌کنش‌هایی نظیر همیاری و همزیستی میان گیاهان مانگرو با میکروارگانیسم‌های اپی-فیتیک تاثیرات مفیدی بر عملکرد گیاهان دارد (Naidoo *et al.*, 2008). بیوفیلم‌های برخی گونه‌های سیانوباکتریایی با تولید مواد دفع‌کننده حشرات از گیاهان مانگرو حفاظت می‌نمایند (Becher and Jüttner, 2005). گونه‌های متعددی از سیانوباکتری‌ها طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی مانند اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها را تولید می‌کنند که رشد گیاهان مانگرو را تقویت می‌نمایند (Tsavkelova *et al.*, 2006). عملکردهای متنوع برخی سیانوباکتری‌ها نظیر تبدیل مواد مغذی، تثبیت نیتروژن جوی و تحریک رشد درختان مانگرو این اکوسیستم را ترمیم می‌کند(Bashan and Holguin, 2002). همچنین عملکرد سیانوباکتری‌ها در تجزیه ترکیبات زنوبیوتیکی فرایند زیست‌پالایی موجب حفاظت محیط‌زیست جانوری و گیاهی ساکن در اکوسیستم مانگرو می‌گردد.

تنوع‌زیستی و پراکندگی سیانوباکتری‌ها در اکوسیستم‌های مانگرو

گرمایش جهانی تأثیری عمیق بر تنوع زیستی سیانوباکتری‌ها گذاشته‌است. این تاثیرات می‌تواند موجب غالب شدن آنها نسبت به سایر فیتوپلانکتون‌ها گردد(Ibelings and Chorus, 2007). عامل دیگر موثر بر ساختار جوامع سیانوباکتریایی به‌ویژه در اکوسیستم مانگرو شیب شوری آب می‌باشد(Rigonato *et al.*, 2013). همچنین دما و نور نیز بر تنوع سیانوباکتری‌های ساکن در اکوسیستم مانگرو تاثیرگذار می‌باشند(Singh and Bhadury, 2019). پیچیدگی تنوع سیانوباکتری‌ها در زیستگاه-های مانگرو موجب گردیده مطالعات کمتری در زمینه سیانوباکتری‌ها متمرکز شود. براورد می‌شود احتمالا تنها کمتر از ۵درصد از تنوع میکروبی موجود در مانگروها بررسی شده‌است و نقش اکولوژیکی بسیاری از گونه‌های میکروبی در این محیط هنوز مشخص نشده‌است(Thatoi *et al.*, 2013). تاکنون ۱۰۰۰ گونه و ۱۵۰ جنس از سیانوباکتری‌ها شناسایی شده‌است و گونه-های زیادی شناسایی نشده‌اند(Ibelings and Chorus, 2007; Nabout *et al.*, 2013). با توجه به تعداد مطالعات اندک و محدودیت روش‌های سنتی احتمالا تنوع جهانی سیانوباکتری‌ها کمتر از میزان واقعی ارزیابی شده‌است(Engene *et al.*, 2010).

مطالعات جغرافیای زیستی پراکندگی سیانوباکتری‌ها را در سرتاسر کره زمین اثبات نموده‌اند. انتشار غیرفعال معمول‌ترین نوع انتشار در سیانوباکتری‌ها است ناقلین انتشار غیرفعال برای سیانوباکتری‌ها گونه‌های ماهی، پرندگان، باد، هواپیماها، انسان‌ها و فعالیت‌های علمی است(Ramette and Tiedje, 2007). در یک مطالعه حضور غالب سیانوباکتری‌هایی مانند *Phormidiumautumnale*در مناطق قطبی و همچنین حضورگونه‌های *Synechococcus*در دریای آتلانتیک و آب‌های اقیانوس آرام نشان داه شده‌است (Strunecký *et al.*, 2012). تعداد قابل توجهی از گونه‌های سیانوباکتریایی در مانگروها شناسایی شده و توانایی آنها در تثبیت نیتروژن در مناطقی از جمله در اکوسیستم‌های مانگرو موجود در برزیل، مصر، هند،

مکزیک، موزامبیک، عربستان سعودی، آفریقای جنوبی و تانزانیا گزارش شده‌است. در یک بررسی در اکوسیستم مانگرو در سواحل شمال‌شرقی برزیل ۱۷ گونه سیانوباکتری که غالبا متعلق به جنس *Oscillatoria*شناسایی شدند(Genuario *et al.*, 2017). در مطالعه دیگری *Nostocales* به عنوان گونه‌های غالب در اکوسیستم‌های مانگرو جنوب‌شرقی برزیل شناسایی شد(Alvarenga *et al.*, 2015). اتخاذ رویکرد پلی فازیک در تاکسونومی میکروبی در یافتن تفاوت‌های قابل توجه میان سیانوباکتری‌ها و ایجاد درک بهتری از سیستماتیک و بیوژئوگرافی سیانوباکتری‌ها بسیار موثر بوده‌است.

یکی از چالش‌های اصلی حیات سیانوباکتری‌های موجود در اکوسیستم مانگرو از بین رفتن زیستگاه آنهاست(Alvarenga *et al.*, 2015). بیش از ۴۰ درصد از گونه‌های درخت مانگرو در حال‌حاضر در معرض تهدید انقراض قرار دارند و ۱۶ درصد آنها نیز تحت تهدید انقراض قبل از دهه آینده می‌باشند (Polidoro *et al.*, 2010). تغییرات آب‌وهوایی از جمله تهدیدات اصلی جنگل‌های مانگرو می‌باشد و می‌تواند تلفاتی بین ۱۰ تا ۱۵درصد ایجاد نماید. براساس الگوی بیوژئوگرافی میکروبی و اندمیسم این تهدیدها می‌تواند تعداد قابل توجهی از گونه‌های میکروبی را حذف نماید. در این وضعیت حفاظت از اکوسیستم‌های مانگرو به‌عنوان اکوسیستم‌های در معرض خطر نه تنها برای حفاظت از گیاهان و جانوران بلکه برای میکروارگانیسم‌ها از جمله سیانوباکتری‌ها اولویت می‌یابند(Ribeiro *et al.*, 2018).

چالش‌های احتمالی ناشی از شکوفایی سیانوباکتری‌ها در اکوسیستم‌های مانگرو

شکوفایی سیانوباکتریایی مضر

شکوفایی سیانوباکتریایی زیرمجموعه‌ای از شکوفایی جلبکی مضر[1](HABs) می‌باشد. این پدیده فصلی پیامد رشد سریع و تجمع فیتوپلانکتون‌های میکروسکوپی و سیانوباکتری‌ها در زمان کوتاه و در شرایط مساعد ایجاد می‌گردد. به‌دنبال وقوع این پدیده سطح آب عموما به رنگ قرمز تغییر رنگ می‌دهد(Watson and Molot, 2013). در طی شیوع شکوفایی جلبکی، میزان تکثیر سلول‌های جلبکی سریع‌تر از میزان مرگ آنها بوده و تجمع آنها در نزدیک سطح آب موجب تغییر رنگ آب به رنگ رنگدانه‌های جلبکی می‌گردد. مطالعات اخیر گسترش فزاینده فراوانی و انتشار جغرافیایی پدیده HABs را در سرتاسر دنیا نشان داده‌است. اثرات مضر بیشتر شکوفایی‌ها به‌دلیل حذف اکسیژن آب در شب و در حین متلاشی شدن پلانکتون‌ها و همچنین به‌دلیل بوی نامطبوع آنها می‌باشند(Anderson *et al.*, 2012). گونه‌های HABs بخش کوچکی از گونه‌های جلبکی دارای اثرات منفی بر انسان یا محیط می‌باشند. بر اساس آنالیزهای کمیسیون اقیانوس‌شناسی بین دولتی[2](IOC) تعداد گونه‌های جلبکی دریایی حدودا بالغ بر ۵۰۰۰ گونه می‌باشد. که از این تعداد ۳۰۰ گونه رنگ آب را تغییر داده و ۷۵ گونه غلظت بالایی از سموم بالقوه را تولید می‌کنند. گونه‌های مضر در میان همه گروه‌های تاکسونومیک اصلی داینوفلاژله‌ها، دیاتومه‌ها، هاپتوفیت‌ها، سیانوباکتری‌ها و برخی سیلیکوفلاژله‌ها یافت می‌شوند. داینوفلاژله‌ها ارگانیسم‌های یوکاریوتی، تک-سلولی و قدیمی هستند که در شکل‌های بنتیک، انگلی، همزیست و آزادزی حضور دارند و به‌وسیله جریان‌های اقیانوسی جابه-جا می‌شوند. این جلبک‌ها در چرخه زندگی‌شان حداقل یک‌بار به شکل خفته یا سیست حضور دارند. این سیست‌ها می‌توانند به‌صورت جوانه‌هایی برای کشندهای بعدی عمل نموده و در شرایط مساعد به فرم متحرک ایجادکننده شکوفایی تغییر یابند (Kirkpatrick *et al.*, 2004). فرم سیست انتشار کشند به مناطق جدید را از طریق جریان‌های اقیانوسی، ماهی ها و آب تعادل تسهیل می‌نماید. شکوفایی به‌وسیله طیفی از گونه‌ها رخ داده و شناسایی آنها به‌وسیله مشاهدات بصری ممکن نیست.

[1] Harmful Algal blooms
[2] Intergovernmental Oceanographic Commission

تفاوت HABs با سایر شکوفایی‌های جلبکی اثرات اجتماعی-اقتصادی و اکولوژیک نامطلوب آن می‌باشد و از این لحاظ به سه دسته اصلی تقسیم می‌شود. ۱- تغییرات زیستی و فیزیکوشیمیایی مضر ۲- خطرات مزمن یا متناوب آن بر سلامت انسان‌ها و دیگر ارگانیسم‌ها ۳- از بین بردن زیبایی و ارزش تفریحی سواحل. این اثرات مضر می‌تواند نامحسوس و تدریجی بوده و قابل سنجش نباشد. بیماریزایی HABs و حساسیت ارگانیسم‌های هدف به‌صورت اختصاصی گونه بوده و اغلب به‌وسیله شرایط محیطی تنظیم می‌شود(Ibelings and Havens, 2008). این پدیده به‌شدت پیچیده و در اصطلاح مانند هدفی متحرک است که کنترل آن مستلزم توسعه و اعتبارسنجی روش‌های کارا، واقعی و عملی برای ردیابی، شناسایی و نظارت بر اثرات اکوتوکسیولوژیک آن می‌باشد.

سیانوتوکسین‌ها و چالش‌های آنها در اکوسیستم‌های مانگرو

سیانوتوکسین‌ها ترکیباتی دارای ساختارهای شیمیایی متنوع بوده و توسط سیانوباکتری‌ها تولید می‌شوند. این ترکیبات محصول متابولیسم ثانویه سیانوباکتری‌ها می‌باشند. جنس‌های مختلفی از سیانوباکتری‌ها مولد سیانوتوکسین‌ها بوده و به‌دلیل سمیت‌شان پتانسیل تاثیر بر اکوسیستم‌های آبزی را دارا می‌باشند. سیانوکسین‌ها بر اساس ویژگی‌های سمی و مکانیزم عمل به‌گروه‌های هیاتوتوکسین‌ها(مانند میکروسیتین، نودولارین، سیلیندروسپرموپسین)، نوروتوکسین‌ها (آناتوکسین-a ، ساکسی‌توکسین) و درماتوتوکسین(مانند لینگبیاتوکسین و آپلسی‌توکسین) دسته‌بندی می‌شوند(Sanseverino *et al.*, 2017). سم سیلیندروسپرمویسین در ۴ قاره از ۵ قاره موجود به جز آفریقا گزارش شده‌است و ۹ گونه مختلف سیانوباکتری این سم را تولید می‌کنند. سیانوتوکسین‌ها تا حدودی در بسیاری از موجودات آبزی به‌ویژه در ماهی، سخت‌پوستان، صدف و غذاهای دریایی تجمع می‌یابند(Alves *et al.*, 2018; Pham and Utsumi, 2018). تجمع زیستی این ترکیبات می‌تواند به‌شدت بر سلامت حیوانات اهلی، انسان و حیات‌وحش موجود در اکوسیستم مانگرو تأثیر بگذارد و از این طریق باعث ایجاد چندین اثر سمی مانند سمیت درون سلول(سمیت سلولی)، پوست(پوستی پوستی)، سمیت کبدی و سمیت عصبی شود(Buratti *et al.*, 2017). همچنین مواردی از سمیت گیاهی سیانوتوکسین‌ها در مقابل گیاهان گزارش شده‌است(Máthé and Vasas, 2013). مجموعه پیامدهای سیانوتوکسین‌ها بر اکوسیستم‌های مانگرو آنها را به‌عنوان یک تهدید محتمل در این اکوسیستم در معرض خطر مطرح می‌سازد.

راهبردهای مدیریت پدیده شکوفایی سیانوباکتری‌های مضر در اکوسیستم‌های مانگرو

راهبردهای مطرح برای مدیریت این پدیده در یک چارچوب یک استراتژی ترکیبی به نام مدیریت تلفیقی شکوفایی سیانوباکتریایی مضر قابل بحث می‌باشد. این استراتژی بر ترکیبی از روش‌های پیشگیری، کاهش اثرات و کنترل استوار می‌باشد. هدف از به‌کارگیری این استراتژی حفظ سلامت عمومی، منابع شیلاتی و حفاظت از اکوسیستم مانگرو می‌باشد.

روش‌های پیشگیری از وقوع پدیده شکوفایی سیانوباکتریایی مضر در اکوسیستم‌های مانگرو

پیشگیری موثر از وقوع این پدیده مستلزم درک جامعی از عوامل متعدد موثر بر تنظیم دینامیک شکوفایی سیانوباکتریایی و پیش‌بینی آسیب‌های محتمل می‌باشد. علیرغم اینکه درک مفهومی این پدیده حفاظت ایجاد نمی‌کند اما زمینه توسعه استراتژی‌های مدیریت و کاهش این پدیده را فراهم می‌نمایند. روش‌های پیشگیرانه باعث کاهش اثرات این پدیده از طریق

پیشگیری از شکوفایی (Mitigation) یا به حداقل رساندن کاهش اثرات (Impact prevention) آن می‌گردند و یا به‌طور مستقیم جمعیت‌های سیانوباکتریایی شکوفا شده را هدف قرار می‌دهند(Barrington *et al.*, 2015). استراتژی‌های کاهش اثرات متنوع بوده و هدف آن تاثیر غیرمستقیم بر اندازه جمعیت‌های شکوفا شده از سیانوباکتری‌های مضر می‌باشد. این روش‌ها شامل برنامه‌های نظارتی، کاهش مواد مغذی، بررسی آب توازن کشتی‌ها، معرفی گونه‌های موجود در پرورش آبزی و برنامه‌های پیش‌بینی(مدل‌سازی و سنجش از دور) می‌باشند. برای مثال قراردادن موانع فیزیکی در دهانه خورهای معین، کاهش کمیت ورود ترکیبات آلی به اکوسیستم از قبیل پساب‌های مزارع پرورش آبزی و یا نظارت بر خروجی‌های پساب‌های شهری و صنعتی نمونه‌هایی از استراتژی پیشگیری می‌باشند.

روش‌های پایش سیانوتوکسین‌ها در آب و رسوبات اکوسیستم‌های مانگرو

ردیابی، شناسایی و کمیت‌سنجی حضور سیانوباکتری‌های توکسیژنیک از روش‌های متداول و سنتی پایش سیانوباکتری‌ها می‌باشند. ردیابی حضور سیانوتوکسین‌ها با روش‌های شیمیایی مانند کروماتوگرافی با کارایی بالا [۳]و روش‌های سرولوژیک از قبیل ELISAاز راهبردهای جدید پایش می‌باشد(Meriluoto *et al.*, 2017). با توجه به لزوم استفاده از ابزارهای سریع‌تر، روش‌های مولکولی نیز در این زمینه رواج گسترده‌ای یافته‌اند. این روش‌ها نسبت به روش‌های سنتی دارای مزایای می‌باشند که می‌توان به اختصاصیت بالا ، حساسیت و سرعت بالاتر آنها اشاره نمود. روش‌های ملکولی در تحقیقات سیانوباکتری‌ها و سیانوتوکسین‌ها به دو گروه روش‌های مبتنی برPCR و روش‌های مستقل از PCR تقسیم می‌شوند. این روش‌ها شامل PCR, multiplex-PCR, Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP), Amplified Fragment LengthPolymorphism (AFLP), Multilocus Sequence Typing (MLST), Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD), Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE), Fluorescence *in situ* Hybridization (FISH), Real-time PCR (qPCR) و DNA microarrays می‌باشند(Moreira *et al.*, 2013). کاربرد اصلی این روش‌ها در مطالعات میدانی برای تشخیص، ارزیابی و شمارش سیانوباکتری‌ها می‌باشد. همچنین مطالعه تنوع ژنتیکی جمعیت‌های سیانوباکتری‌ها از طریق دریافت اطلاعات ژنتیکی آنها به‌وسیله روش‌های تعیین توالی و به دنبال آن مطالعات فیلوژنتیک انجام می‌شود. این مطالعات با تعیین ساختار جمعیت، تکامل جغرافیایی و الگوی جغرافیای زیستی تکمیل می‌گردد. در کنار این مطالعات، توالی‌های ژنتیکی در دیتابیس‌های ژنتیک به‌صورت توالی کامل یا ناقص ثبت می‌شوند. این پیشرفت به دلیل توسعه استفاده از روش‌های مولکولی در تحقیقات سیانوباکتری‌ها و سیانوتوکسین‌ها می‌باشد. متداول‌ترین تکنیک مورد استفاده تکثیر چندین مارکر ژنتیکی و تعیین توالی آنها است. امروزه چندین پرایمر برای این منظور طراحی شده‌اند(Mareš, 2018). در این زمینه ارزیابی‌های سم‌شناسی با استفاده از روش‌های مولکولی نیز انجام می‌شود. در این روش خوشه‌های دخیل در تولید ترکیبات سمی تشخیص داده می‌شوند. تشخیص سیانوتوکسین‌هایی مانند مایکروسیستین، نودولارین، ساکسی‌توکسین، سیلیندوسپرموپسین و آناتوکسین با روش‌های مولکولی امکان‌پذیر شده‌است. تمام این خوشه‌های ژن قبلا به‌طور کامل تعیین توالی شده‌اند و برای تشخیص آنها از طریق آزمون‌های PCR معمول کیت‌های اختصاصی طراحی شده‌است(Saker *et al.*, 2009). بیشترین جنس‌های سیانوباکتری‌ها که در مطالعات پایش مورد بررسی قرارگرفته‌اند شامل *Microcystis*، *Anabaena*، *Nodularia*، *Planktothrix*، *Aphanizomenon*، *Cylindrospermopsin*و*Lyngbya* می‌باشند(Otten and Paerl, 2016). با توجه به اینکه سیانوتوکسین‌ها می‌توانند

[3]HPLC

برای حیات گیاهان، آبزیان، احشام و حتی انسان‌ها در اکوسیستم مانگرو مخاطره‌آمیز باشد پایش آنها امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

روش‌های کنترل شکوفایی سیانوباکتری‌ها در اکوسیستم‌های مانگرو

به‌منظور کنترل مستقیم شکوفایی سیانوباکتری‌های مضر روش‌های مختلفی استفاده و پیشنهاد شده‌است.

کنترل شیمیایی

افزودن مواد شیمیایی مختلف به ستون آب برای حذف جلبک به‌عنوان یکی از روش‌های کنترل محسوب می‌شود. بسیاری از ترکیبات شیمیایی قابلیت نابود کردن سلول‌های جلبکی را دارند اما فقط تعداد اندکی از آنها دارای درجه‌ای از اختصاصیت در مقابل شکوفایی جلبکی مضر هستند. از جمله این ترکیبات می‌توان به مس، آپونین و دیگر ترکیبات شیمیایی جلبکی، اوزون و فلوکولانت‌ها می‌توان اشاره نمود. یکی از فلوکولانت‌های با پتانسیل قابل ملاحظه‌ای خاک رس می‌باشد. ذرات رس موادآلی و غیرآلی را جذب نموده و جلبک‌ها و دیگر ذرات را انباشته نموده و به شکل توده در می‌آورد. این توده بزرگ شده و سرانجام رسوب می‌نماید. دیواره سلولی جلبک با توجه به‌حضور پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و دیگر مواد و امکان هیدراته و یونیزه‌شدن آنها باردار می‌باشد. بنابراین در صورت مواجهه ذرات رس با سلول‌های جلبک توزیع بار در سطح سلولی تغیر نموده و سلول به ذره رس متصل می‌شود. البته امکان و میزان فلوکولاسیون به فیزیولوژی جلبک و ساختار و بار آن وابسته‌است. بنابراین نتایج استفاده از رس علیه یک گونه جلبک به سایر گونه‌ها قابل تعمیم نمی‌باشد(Sengco and Anderson, 2004).

کنترل فیزیکی

حذف فیزیکی سلول‌های جلبکی از طریق کف‌کشی یا سایر روش‌های مکانیکی و یا افزودن فلوکولانت‌ها جهت تجمیع سلول‌ها و انتقال آنها به رسوبات بستر دیگر روش پیشنهاد شده می‌باشد. استراتژی‌های مختلفی جهت کنترل شکوفایی جلبک‌های مضر اعم از تجزیه یا جمع‌آوری با روش‌های فیزیکی وجود دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به جمع‌آوری آب در سطح منطقه درگیر با پدیده شکوفایی با استفاده از کف‌کش و نابودی سلول‌های جلبکی با امواج مافوق صوت اشاره نمود برای اولین بار در ژاپن از روش جمع‌آوری جلبک‌ها از سطح آب استفاده شد. بدین منظور با استفاده از کشتی و ابزاری که در تصفیه پساب حاصل از خمیر ماهی سوریمی کاربرد دارد با تولید حباب‌های ریز جلبک‌های مضر جمع‌آوری شدند. در روش تخریب توسط امواج مافوق صوت سلول‌های جلبکی با امواجی با فرکانس ۱۶۰۰ تا ۴۰۰ کیلوهرتز مواجه می‌شوند بدین‌وسیله بیشتر جلبک‌ها در کمتر از ۲ دقیقه از بین می‌روند(Park *et al.*, 2017). با این حال این امواج تا عمق ۵۰ سانتی‌متری موثر بوده و در تراکم کم، تاثیری ندارند. با توجه به ناکافی بودن داده‌های میدانی در مورد این روش به‌نظر می‌رسد این روش جنبه کاربردی قوی نداشته باشد.

کنترل زیستی

کنترل زیستی از طریق افزودن گونه‌های شکارچی یا عوامل پاتوژن به‌منظور تجزیه سلول‌های سیانوباکتریایی و جلبکی مضر سومین روش کنترل مستقیم می‌باشد(Anderson, 2009). ارگانیسم‌های متنوعی بدین منظور مطرح شده‌اند. اما در عمل رعایت ملاحظات اکولوژیک مختلف پیش از به‌کارگیری آنها استفاده آنها را محدود می‌نماید. استفاده از زئوپلانکتون‌ها، بنتوزها،

ویروس‌ها، انگل‌ها و سایر جلبک‌ها پیشنهاد شده‌است. در این میان نقش باکتری‌های دریایی به‌عنوان یک راهکار عملی جهت کنترل زیستی پیشنهاد گردیده و مطالعات بسیاری روی آنها انجام شده‌است. عملکردهای اکولوژیک باکتری‌های هتروتروف دریایی به‌خوبی مطالعه شده و نقش‌های متنوع آنها تبیین گردیده‌است. جریان انرژی و مواد مغذی بین جلبک‌ها و باکتری‌ها میان‌کنش‌های اکولوژیک پویایی را ایجاد نموده‌است. تنوع این میان‌کنش‌ها می‌تواند در قالب روابط همیاری و همسفرگی ایجاد شده و در شرایط استرس غذایی به رقابت و رابطه انگلی و سرانجام تجزیه و از بین بردن سلول سیانوباکتری‌ها و جلبک-های مضر توسط باکتری منجر گردد. درک جامع میان‌کنش‌های اکولوژیک جوامع باکتریایی و جلبکی در شرایط آزمایشگاهی و شرایط محیطی پیش نیاز بهره‌برداری موفق از باکتری‌ها در چارچوب کنترل زیستی می‌باشد(Sun *et al.*, 2017). در این زمینه گذری و همکاران از میان بیش از ۸۰۰ باکتری جداشده از خلیج فارس۶ سویه باکتری بومی دارای توانمندی از بین بردن داینوفلاژله*C. Polykrikoides* را معرفی نمودند. این داینوفلاژله به عنوان عامل اصلی کشند سرخ در سواحل خلیج فارس طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۸ شناخته شده‌بود. این ۶ سویه باکتری جدا شده به دلیل ارائه فعالیت جلبک‌کشی انتخابی و نداشتن اثر بازدارندگی علیه میکروجلبک‌های مفید، سلول‌های انسانی، لارو میگو و آرتمیا به عنوان عوامل بالقوه کنترل زیستی معرفی شدند. سویه‌های مذکور با تولید ترکیبات فنولی یا ترپنوئیدیمکانیسم جلبک‌کشی خود را اعمال نمودند. بر اساس منحنی کینتیک رشد و فعالیت ضد جلبکی این سویه‌ها در مقابل*C. Polykrikoides* قابلیت کنترل‌کنندگی آنها تایید گردید(گذری و همکاران ۱۳۹۶).

بحث و نتیجه گیری

همان‌طور که در بخش‌های پیشین به‌طور مبسوط اشاره شد مطالعات در زمینه سیانوباکتری‌های موجود در اکوسیستم مانگرو حتی در کشورهای دارای زیستگاه‌های گسترده مانگرو به‌طور جدی مورد توجه قرار نگرفته‌است. با این حال در دهه اخیر به دلیل افزایش روند گرمایش جهانی و شیوع پدیده‌هایی مانند شکوفایی سیانوباکتریایی مضر پایش اکوسیستم‌های مانگرو در اولویت مطالعاتی قرار گرفته‌است. از این‌رو به‌منظور ایجاد درک کاملی از دینامیک جمعیت‌های سیانوباکتری‌ها در زیستگاه‌های مانگرو موجود در کشور پایش و شناسایی گونه‌های سیانوباکتریایی و سیانوتوکسین‌ها یک ضرورت تحقیقاتی می‌باشد. از جمله اکوسیستم‌های مهم مانگرو در کشور اکوسیستم مانگرو خور خوران است که نقش مهم آن در میزبانی از تنوع گسترده‌ای از حیات جانوران و گیاهان مشخص شده‌است. به‌ویژه نقش بی‌بدیل آن به‌عنوان نوزادگاه آبزیان تجاری از قبیل میگو مطرح می-باشد. عدم توجه به تهدیدات زیست‌محیطی این قبیل اکوسیستم حساس می‌تواند امنیت غذایی و بازار آبزیان تجاری مانند میگو را در کشور دچار اختلال نماید. زیرا بخش قابل توجهی از میگوهای موجود در ذخایر اصلی صید میگو در منطقه شمال خلیج فارس در مرحله نوزادگاهی در این اکوسیستم و جنگل‌های مانگرو لافت که در مجاور آن قرار گرفته‌اند دوران نوزادگاهی خود را گذرانده و پس از طی مراحل لاروی اقدام به مهاجرت می‌نمایند. گزارش‌های میدانی حاکی از شکوفایی جلبکی و سیانوباکتریایی در سواحل خلیج فارس می‌باشد. تجزیه سلول‌های سیانوباکتری‌های توکسیژنیک در اکوسیستم‌های مانگرو می-تواند آسیب‌هایی را به این اکوسیستم وارد نماید. در مجموع تهدیدات و فرصت‌های سیانوباکتری‌ها در این اکوسیستم باید با جدیت مورد بررسی قرار گرفته و برنامه‌ریزی بدین منظور تدوین گردد. پیشنهاد می‌شود استراتژی مدیریت تلفیقی شکوفایی سیانوباکتریایی مضر برای مقابله با این پدیده اعمال گردد. در این زمینه برنامه‌های پیش‌بینی و پایش مبتنی بر سنجش از دور، مدل‌سازی و سنجش‌های میدانی دوره‌ای توسط مراکز تحقیقاتی مانند موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور قابل اجرا می‌باشد.

همچنین ضروری به‌نظر می رسد برنامه‌های دوره‌ای برای سنجش تجمع زیستی سیانوتوکسین‌ها در آبزیان دخیل در زنجیره غذایی اکوسیستم مانند صدف‌های خوراکی ساکن در زیستگاه‌های مانگرو انجام گیرد.

منابع:

گذری، م.، ۱۳۹۶. مطالعه کنترل زیستی شکوفایی جلبکی مضر با استفاده از باکتریهای دریایی بومی خلیج فارس در شرایط آزمایشگاهی، تهران: موسسه تحقیقاتی علوم شیلاتی کشور، مدیریت اطلاعات علمی. ۲۰۵ ص

Alongi, D.M. 2018. Mangrove Forests. Blue Carbon. Springer. pp. 23-36.

Alvarenga, D.O., Rigonato, J., Branco, L.H.Z., Fiore, M.F. 2015. Cyanobacteria in mangrove ecosystems. Biodiversity and Conservation. 24(4): 799-817.

Alves, T., Schramm, M., Proença, L ,.Pinto, T., Mafra, L. 2018. Interannual variability in Dinophysis spp. abundance and toxin accumulation in farmed mussels (Perna perna) in a subtropical estuary. Environmental monitoring and assessment. 190(6): 329.

Anderson, D.M. 2009. Approaches to monitoring, control and management of harmful algal blooms (HABs). Ocean & Coastal Management. 52(7): 342-347.

Anderson, D.M., Cembella, A.D., Hallegraeff, G.M. 2012. Progress in understanding harmful algal blooms: paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management. Annual review of marine science. 4: 143-176.

Barrington, D.J., Xiao, X., Coggins, L.X., Ghadouani, A. 2015. 10 Control and management of Harmful Algal Blooms.

Bashan, Y., Holguin, G. 2002. Plant growth-promoting bacteria: a potential tool for arid mangrove reforestation. Trees. 16(2-3): 159-166.

Becher, P.G., Jüttner, F. 2005. Insecticidal compounds of the biofilm-forming cyanobacterium Fischerella sp.(ATCC 43239). Environmental Toxicology: An International Journal. 20.۳۷۲-۳٦۳ :(۳)

Bohunicka, M., Pietrasiak, N., Johansen, J.R., Gómez, E.B., Hauer, T., Gaysina, L.A., Lukešová, A. 2015. Roholtiella, gen. nov.(Nostocales, Cyanobacteria)—a tapering and branching cyanobacteria of the family Nostocaceae. Phytotaxa. 197(2): 8.۱۰۳-٤

Buratti, F.M., Manganelli, M., Vichi, S., Stefanelli, M., Scardala, S., Testai, E., Funari, E. 2017. Cyanotoxins: producing organisms, occurrence, toxicity, mechanism of action and human health toxicological risk evaluation. Archives of toxicology.۱۱۳۰-۱۰٤۹ :(۳)۹۱ .

Catherine, Q., Susanna, W., Isidora, E.-S., Mark, H., Aurelie, V., Jean-François, H. 2013. A review of current knowledge on toxic benthic freshwater cyanobacteria–ecology, toxin production and risk management. Water research. 47(15): 54-58

Duarte, C.M., Losada, I.J., Hendriks, I.E., Mazarrasa, I., Marbà, N. 2013. The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. Nature Climate Change. 3(11): 961-968.

Dubey, S.K., Dubey, J., Mehra, S., Tiwari, P., Bishwas, A. 2011. Potential use of cyanobacterial species in bioremediation of industrial effluents. African journal of Biotechnology. 10(7): 1125-1132.

Engene, N., Cameron Coates, R., Gerwick, W.H. 2010. 16S rRNA GENE HETEROGENEITY IN THE FILAMENTOUS MARINE CYANOBACTERIAL GENUS LYNGBYA 1. Journal of Phycology. 46(3): 591-601.

Genuario, D.B., Andreote, A.P.D., Vaz, M.G.M.V., Fiore, M.F. 2017. Heterocyte-forming cyanobacteria from Brazilian saline-alkaline lakes. Molecular phylogenetics and evolution. 10: 105-112

Ibelings, B.W., Chorus, I. 2007. Accumulation of cyanobacterial toxins in freshwater “seafood” and its consequences for public health: a review. Environmental pollution. 150(1): 177-192.

Ibelings, B.W., Havens, K.E. 2008. Cyanobacterial toxins: aqualitative meta–analysis of concentrations, dosage and effects in freshwater, estuarine and marine biota. Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs. Springer. pp. 675-732.

Jensen, P.E., Leister, D. 2014. Cyanobacteriaas an experimental platform for modifying bacterial and plant photosynthesis. Frontiers in bioengineering and biotechnology. 2: 7.

Jungblut, A.D., Hawes, I., Mountfort, D., Hitzfeld, B., Dietrich, D.R., Burns, B.P., Neilan, B.A. 2005. Diversity within cyanobacterial mat communities in variable salinity meltwater ponds of McMurdo Ice Shelf, Antarctica. Environmental microbiology. 7(4): 519-529.

Kathiresan, K., Qasim, S.Z. 2005. Biodiversity of mangrove ecosystems. Hindustan Publishing, New Delhi(India). 25.

Kirkpatrick, B., Fleming, L.E., Squicciarini, D., Backer, L.C., Clark, R., Abraham, W., Benson, J., Cheng, Y.S., Johnson, D., Pierce, R. 2004. Literature review of Florida red tide: implications for human health effects. Harmful Algae. 3(2): 99-1.

Mareš, J. 2018. Multilocus and SSU rRNA gene phylogenetic analyses of available cyanobacterial genomes, and their relation to the current taxonomic system. Hydrobiologia. 811(1): 19-34.

Mariani, M.A., Padedda, B.M., Kaštovský, J., Buscarinu, P., Sechi ,N., Virdis, T., Lugliè, A. 2015. Effects of trophic status on microcystin production and the dominance of cyanobacteria in the phytoplankton assemblage of Mediterranean reservoirs. Scientific reports. 5: 17964.

Máthé, C., Vasas, G. 2013. Microcystin-LRand cylindrospermopsin induced alterations in chromatin organization of plant cells. Marine drugs. 11(10): 3689-3717.

Meriluoto, J., Spoof, L., Codd, G.A. 2017. Handbook of cyanobacterial monitoring and cyanotoxin analysis. John Wiley & Sons.

Mishra, A.K ,.Kaushik, M.S., Tiwari, D. 2019. Nitrogenase and Hydrogenase: Enzymes for Nitrogen Fixation and Hydrogen Production in Cyanobacteria. Cyanobacteria. Elsevier. pp. 173-191.

Mohamed, Z.A., Hashem, M., Alamri, S., Mostafa, Y. 2020. Cyanotoxins and their environmental health risk in marine and freshwaters of Saudi Arabia. Arabian Journal of Geosciences. 13(7): 1-11.

Moreira, C., Vasconcelos, V., Antunes, A. 2013. Phylogeny and biogeography of cyanobacteria and their produced toxins. Marine drugs. 11(11): 435-436.

Nabout, J.C., da Silva Rocha, B., Carneiro, F.M., Sant'Anna, C.L. 2013. How many species of Cyanobacteria are there? Using a discovery curve to predict the species number. Biodiversity and Conservation. 22(12): 2907-2918.

Naidoo, Y., Steinke, T ,.Mann, F., Bhatt, A., Gairola, S. 2008. Epiphytic organisms on the pneumatophores of the mangrove Avicennia marina: occurrence and possible function. African Journal of Plant Science. 2(2): 012-015.

Otten, T.G., Paerl, H.W. 2016. Best practices for cyanobacterial harmful algal bloom monitoring. Manual of Environmental Microbiology: 3.1. 2-1-3.1. 2-12.

Paerl, H.W., Paul, V.J. 2012. Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria. Water research. 46(5): 1349-1363.

Park, J., Church, J., Son ,Y., Kim, K.-T., Lee, W.H. 2017. Recent advances in ultrasonic treatment: challenges and field applications for controlling harmful algal blooms (HABs). Ultrasonics Sonochemistry.

Pham, T.-L., Utsumi, M. 2018. An overview of the accumulation of microcystins in aquatic ecosystems. Journal of environmental management. 213: 520-529.

Pittman, S., Pittman, K. 2005. Short-term consequences of a benthic cyanobacterial bloom (Lyngbya majuscula Gomont) for fish and penaeid prawns in Moreton Bay (Queensland, Australia). Estuarine, Coastal and Shelf Science. 63(4): 619-632.

Polidoro, B.A., Carpenter, K.E., Collins, L., Duke, N.C., Ellison, A.M., Ellison, J.C., Farnsworth, E.J., Fernando, E.S., Kathiresan, K., Koedam, N.E. 2010. The loss of species: mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. PLoS ONE. 5(4.(

Ramette, A., Tiedje, J.M. 2007. Biogeography: an emerging cornerstone for understanding prokaryotic diversity, ecology, and evolution. Microbial ecology. 53(2): 197-207.

Ribeiro, K.F., Duarte, L., Crossetti, L.O. 2018. Everything is not everywhere: a tale on the biogeography of cyanobacteria. Hydrobiologia. 820(1): 23-48.

Rigonato, J., Kent, A.D., Alvarenga, D.O., Andreote, F.D., Beirigo, R.M., Vidal-Torrado, P., Fiore, M.F. 2013. Drivers ofcyanobacterial diversity and community composition in mangrove soils in south-east Brazil. Environmental microbiology. 15(4): 1103-1114.

Saker, M., Moreira, C., Martins, J., Neilan, B., Vasconcelos, V.M. 2009. DNA profiling of complex bacterial populations: toxic cyanobacterial blooms. Applied microbiology and biotechnology. 85(2): 237-252.

Sanseverino, I., António, D.C., Loos, R., Lettieri, T. 2017. Cyanotoxins: methods and approaches for their analysis and detection. Centre, JR, Ed.

Santos, H.F., Carmo ,F.L., Paes, J.E., Rosado, A.S., Peixoto, R.S. 2011. Bioremediation of mangroves impacted by petroleum. Water, Air, & Soil Pollution. 216(1-4): 329-350.
Sarma, R.S., Prakash, P. 2020. Physiological aspects of cyanobacterial nitrogen fixation and its applications in modern sciences. Advances in Cyanobacterial Biology. Elsevier. pp. 205-217.
Sen, S., Karn, S.K. 2019. Cyanobacteria: The Eco-friendly Tool for the Treatment of Industrial Wastewater. Environmental Contaminants: Ecological Implications and Management. Springer. pp. 163-183.
SENGCO, M.R., ANDERSON, D.M. 2004. Controlling harmful algal blooms through clay flocculation. Journal of Eukaryotic Microbiology. 51(2): 169-172.
Sharma, N.K., Tiwari, S.P., Tripathi, K., Rai, A.K. 2011. Sustainability andcyanobacteria (blue-green algae): facts and challenges. Journal of applied phycology. 23(6): 1059-1081.
Singh, T., Bhadury, P. 2019. Exploring the Diversity of Marine Planktonic Cyanobacterial Assemblages in a Mangrove Ecosystem: Integration of Unculturedand Cultured Approaches. The Role of Microalgae in Wastewater Treatment. Springer. pp. 199-209.
Strunecký, O., Elster, J., Komárek, J. 2012. Molecular clock evidence for survival of Antarctic cyanobacteria (Oscillatoriales, Phormidium autumnale) from Paleozoic times. FEMS microbiology ecology. 82(2): 482-490.
Sun, R., Sun, P., Zhang, J., Esquivel-Elizondo, S., Wu, Y. 2017. Microorganisms-based methods for harmful algal blooms control: a review. Bioresource Technology.
Thatoi, H., Behera, B.C., Mishra, R.R., Dutta, S.K. 2013. Biodiversity and biotechnological potential of microorganisms from mangrove ecosystems: a review. Annals of Microbiology. 63(1): 1-19.
Tsavkelova, E., Klimova, S.Y., Cherdyntseva, T., Netrusov, A. 2006. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: a review. Applied biochemistry and microbiology. 42(2): 117-126.
Watson, S.B., Molot, L. 2013. Harmful algal blooms. Encyclopedia of Aquatic Ecotoxicology. Springer. pp. 575-596.
Zehr, J.P. 2011. Nitrogen fixation by marine cyanobacteria. Trends in microbiology. 19(4): 162-173.
Zhubanova, A., Ernazarova, A., Kaiyrmanova, G., Zayadan, B., Savitskaya, I., Abdieva, G.Z., Kistaubaeva, A., Akimbekov, N.S. 2013. Construction of cyanobacterial-bacterial consortium on the basis of axenic cyanobacterial cultures and heterotrophic bacteria cultures for bioremediation of oil-contaminated soils and water ponds. Russian journal of plant physiology. 60(4): 555-562.

Algalnag

Cyanobacterial Bloom in Mangrove Ecosystem: Challenges and Strategies

Mohsen Gozari[1*], SaeidTamadoni Jahromi[1], Sajjad Pourmozaffar[2], Ahmad Reza Jabaleh[3], Ramin Karimzadeh[1]

1. Persian Gulf and Oman Sea Ecological Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Tehran, Iran.
2. Persian Gulf Mollusks Research Station, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Bandar-e-Lengeh, Iran.
3. Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran

M_gozari@yahoo.com

Abstract

Mangrove forests are coastal ecosystems and distributed in tropical and subtropical regions. This ecosystem also developed in the Persian Gulf and Oman Sea coastal regions. In recent years, due to climate changes and human intervention, the incidence of harmful cyanobacterial blooms in sensitive and endangered habitats such as mangroves has increased and has been identified as a potential ecological threat. The harmful cyanobacterial blooms in the mangrove ecosystem can pose challenges in the economic, environmental and human fields. Due to the important role of this ecosystem in hosting a wide variety of unique animals and plants, damage to this habitat will cause irreparable damage to the biodiversity of the region. On the other hand, due to the economic and food importance of some species living in the mangrove ecosystem, such as shrimp and oyster populations, the protection of this ecosystem from economic and human aspects is also important. The purpose of this paper is to explain the importance of the mangrove ecosystem and the performance of cyanobacteria in this ecosystem, as well as to anticipate potential challenges and provide appropriate strategies. In this study, the strategy of integrated management of harmful cyanobacterial bloom has been proposed and discussed as a comprehensive and key strategy. Using these strategies will provide a good perspective for protecting the mangrove ecosystem and ensuring food security.

Keywords: Harmful cyanobacterial blooms, Mangrove ecosystem, Marine cyanobacteria, Cyanotoxins, Persian Gulf

Algamag