



نشر سلول

شکوفایی جلبک‌های مضر در آب آشامیدنی: حذف سلول‌های سیانو باکتری و سموم آنها

مترجمین:

دکتر بهرام کمره‌ئی

استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی لرستان

مهندس ناهید خوشناموند

دانشجوی دکتری بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران

دکتر فرامرز عظیمی

استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی لرستان

SANABOOK.COM



مشاوره و پشتیبانی

جزوه



تقویت رزومه

نمونه زبان MHLE / MSRT



کلاس (گروهی و خصوصی)

آزمون آزمایشی



درباره نویسنده

Harold Walker مدیر و استاد مهندسی عمران در دانشگاه استونی بروکل، پیش از آمدن به استونی بروکل، استاد دانشکده مهندسی عمران، محیط‌زیست و زمین‌شناسی در دانشگاه ایالتی اوهایو بود. Dr. Walker همچنین به‌عنوان مدیر مرکز منابع آب اوهایو، موسسه تحقیقاتی منابع آب و منابع دولتی ایالتی اوهایو و در هیئت مدیره موسسه ملی منابع آب، هیئت مدیره انجمن مدیریت آب از اوهایو فعالیت کرده است. Dr. Walker یک مهندس حرفه‌ای در ایالت اوهایو دارای مدرک کارشناسی مهندسی محیط‌زیست از سن لوییس و مدرک کارشناسی ارشد و PhD در مهندسی عمران و محیط‌زیست از دانشگاه کالیفرنیا ایروین می‌باشد.

زمینه تحقیقاتی Dr. Walker بر روی فرآیندهای شیمیایی در سیستم‌های طبیعی و مهندسی با تأکید بر آب پاک متمرکز می‌باشد. زمینه‌های جاری پژوهش عبارتند از: پیش‌بینی سرنوشت و حمل‌ونقل نانو مواد تولید شده، سیانوتوکسین‌ها و سایر آلودگی‌های «نوظهور» در آب‌های زیرزمینی، دریاچه‌ها، اقیانوس‌ها و تصفیه‌خانه‌های آب؛ ایجاد سیستم‌های جدید تصفیه غشائی و روش‌های تمیز کردن غشاء و تعیین آسیب‌پذیری عمومی نسبت به سیانوتوکسین‌ها در آب آشامیدنی می‌باشد. Dr. Walker منابع مالی خارجی را برای حمایت از تحقیقات خود از منابع مختلف از جمله بنیاد ملی علوم (NSF)، آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA)، سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS)، وزارت انرژی (DOE) اداره ملی اقیانوسی و جوی (از طریق دریافت گرنت تحقیقاتی) و انواع ادارات دولتی، صنایع و سایر منابع تأمین نموده است.

پیشگفتار

شکوفایی مضر جلبک‌های سیانوباکتری، به‌عنوان یک چالش بزرگ برای مدیران تأسیسات آب و تجهیزات مربوطه در سراسر جهان مطرح می‌باشد. به‌طور مثال در سال‌های اخیر، شکوفایی جنس میکروسیستیس باعث ایجاد نگرانی‌هایی در مورد سیانوباکترها شده است که بخشی از آنها سمی به نام میکروسیستین را تولید می‌کنند.

میکروسیستین‌ها به‌عنوان توکسین‌های کبدی و تحریک‌کننده‌های پوستی شناخته شده هستند و در لیست آلاینده‌های نامطلوب آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA) قرار گرفته‌اند. سازمان بهداشت جهانی (WHO) رهنمود مشروط ۱ میکروگرم در لیتر را برای میکروسیستین در آب آشامیدنی تعیین کرده است. سایر سموم سیانوباکتریایی که سلامت آب آشامیدنی را تهدید می‌کنند شامل سیلندرواسپیرومایسس، آنتی توکسین، ساکسی توکسین و غیره می‌باشند.

فرایندهای رایج تصفیه آب، از جمله انعقاد، سختی زدایی، صاف‌سازی و گندزدایی به‌طور کلی در حذف تمام سیانوتوکسین‌های آب آشامیدنی ناکارآمد هستند، یا ممکن است تحت شرایط بهینه بتوانند سلول‌های سالم را حذف کنند. با این حال، نگرانی اصلی ناشی از این است که فرایندهای انعقاد، لخته‌سازی و گندزدایی دیواره سلولی را شکسته و باعث آزادسازی توکسین‌ها در طول فرایند تصفیه شوند. در نتیجه واحدهای تصفیه‌خانه آب آشامیدنی باید هزینه‌ای اضافی برای حذف سیانوتوکسین‌ها در نظر بگیرند. فرایندهای پیشرفته که امکان حذف سیانوتوکسین‌ها را دارند، شامل کربن فعال گرانوله (GAC)، کربن فعال پودری (PAC)، فرایندهای غشایی و فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته می‌باشند.

هدف اصلی از این کتاب، جمع‌بندی نتایج تحقیقات انجام شده و ارائه توصیفی از فاکتورهای مؤثر بر وقوع شکوفایی جلبکی و تصفیه سلول‌های سیانوباکتریایی و توکسین‌های ناشی از آنها در آب آشامیدنی می‌باشد. این کتاب شامل فصل‌هایی می‌باشد که زمینه‌های لازم را برای اپراتورهای تصفیه‌خانه، مهندسان و مدیران فراهم می‌کند تا بتوانند آسیب‌پذیری واحدهای تصفیه‌خانه آب آشامیدنی را برای سیانوتوکسین‌ها درک کنند و همچنین طراحی فرایندها را به‌گونه‌ای انجام دهند که این آلاینده‌ها به حداقل ممکن برسند. این کتاب همچنین برای محققانی که در بررسی وقوع شکوفایی جلبکی، تصفیه سلول‌های سیانوباکتری‌ها و سمیت آنها فعالیت می‌کنند می‌تواند مفید باشد.



مقدمه مترجمین

رشد سریع جمعیت و پیرو آن توسعه صنعتی و کشاورزی در دهه‌های اخیر از یک طرف باعث بهره‌برداری و مصرف هر چه بیشتر بشر از صنایع موجود و از طرف دیگر تولید انواع مختلف زائدات دارای پتانسیل آلودگی را به دنبال داشته است. فاضلاب‌های انسانی، صنعتی و کشاورزی از جمله مواردی هستند که در اثر فعالیت‌های بشری حاوی آلاینده‌ها تولید می‌شوند، عدم توجه به تصفیه و دفع صحیح آنها آلودگی منابع آب طبیعی از جمله رودخانه‌ها و دریاچه‌ها را به دنبال دارد. ترکیبات نیترات و فسفات آلاینده‌هایی هستند که در فاضلاب انسانی و کشاورزی به‌وفور یافت شده و با تصفیه متداول حذف نمی‌شوند. آلودگی منابع آب به این ترکیبات چالش‌های زیست‌محیطی عدیده‌ای را ایجاد کرده است به‌طوری‌که سلامت انسان و جامعه را تحت تأثیر قرار داده است.

از این‌رو برای حفظ محیط‌زیست و سلامت انسان باید توجه زیادی به مدیریت و کنترل این آلاینده‌ها و روش‌های کنترل و دفع اثرات آنها در منابع صورت گیرد.

با توجه به کمبود متون علمی فارسی جامع در زمینه شکوفایی جلبک‌های مضر و کنترل و دفع آنها و از طرفی تعدد رشته‌ها و گرایش‌های دانشگاهی فعال در این زمینه تلاش شد تا با ترجمه این کتاب شناخت نسبتاً کاملی در مورد رشد و شکوفایی جلبک‌های مضر در آب آشامیدنی و کنترل و دفع جلبک‌ها و سموم آنها در اختیار جامعه علمی و مهندسی کشور قرار داده شود.

مطالعه این کتاب برای دانشجویان رشته‌های مهندسی مرتبط، مدیران، مهندسان و سایر مسئولین پروژه‌های منابع آب سودمند بوده و توصیه می‌گردد.

دکتر بهرام کمره‌ئی

بهار ۱۴۰۰

تقديم به

دوستان محیط زیست



SANABOOK.COM



مشاوره و پشتیبانی

جزوه



تقویت رزومه

نمره زبان MHLE / MSRT



کلاس (گروهی و خصوصی)

آزمون آزمایشی



فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱۳
شکوفایی مضر جلبکی و توکسین‌های مضر ناشی از شکوفایی جلبکی	۱۳
علل ایجاد شکوفایی مضر جلبکی	۱۶
شکوفایی مضر جلبکی و آب آشامیدنی	۱۹
مرور کلی	۲۴
فصل دوم: اکولوژی و رخداد پدیده‌ی شکوفایی مضر جلبکی	۲۷
مقدمه	۲۷
انواع شکوفایی جلبکی مضر	۲۸
وقوع شکوفایی مضر جلبکی آب‌های شیرین	۲۸
اکولوژی شکوفایی مضر جلبکی	۳۱
انتشار سموم و نحوه انتشار آنها	۳۶
مدل‌ها و ابزار هشدار اولیه	۳۸
فصل سوم: مشخصات سم، سمیت و اثرات بهداشتی آن	۴۶
مقدمه	۴۶
نودولارین	۴۸
مشخصات نودولارین	۵۰
سمیت حاد و مزمن نودولارین	۵۰
سمیت ژنتیکی و سرطان‌زایی نودولارین	۵۲
تحریکات پوستی و سایر اثرات القایی به‌وسیله نودولارین و نودولارین	۵۲
میکروسیستین‌ها	۵۳
ویژگی میکروسیستین	۵۳
سمیت حاد و مزمن میکروسیستین‌ها	۵۵
سمیت ژنتیکی و سرطان‌زایی میکروسیستین‌ها	۵۶
تحریکات پوستی و سایر اثرات القایی به‌وسیله میکروسیستیس و میکروسیستین	۵۷
آناتوکسین A	۵۷
ویژگی‌های آناتوکسین a	۵۸
سمیت حاد و مزمن آناتوکسین a	۵۸
سمیت ژنی و سرطان‌زایی آناتوکسین a	۵۹



مشاوره و پشتیبانی

جزوه



تقویت رزومه

نمره زبان MHLE / MSRT



کلاس (گروهی و خصوصی)

آزمون آزمایشی



۵۹	تحریکات پوستی تحت شرایط آناتوکسین a
۶۰	سیلیندرواسپر موپسین
۶۱	ویژگی‌های سیلیندرواسپر موپسین
۶۱	سمیت حاد و مزمن سیلیندرواسپر موپسین
۶۳	سمیت ژنتیکی و سرطان‌زایی سیلیندرس پرمپسین
۶۳	تحریکات پوستی ایجاد شده توسط سیلیندرواسپر موپسین و سیلیندرواسپر مپسیس
۶۳	ساکسی توکسین
۶۴	مشخصات ساکسی توکسین
۶۴	سمیت حاد و مزمن ساکسی توکسین
۶۵	سمیت ژنتیکی و سرطان‌زایی STX
۶۵	تحریکات پوستی تحت تأثیر STX
۶۹	فصل چهارم: قوانین مربوط به شکوفایی مضر جلبکی و سموم آن در آب سطحی و آشامیدنی
۶۹	مقدمه
۶۹	سرمایه‌گذاری برای پژوهش و ارزیابی خطرات سموم و سلول‌های شکوفایی مضر جلبکی
۷۰	مانند موارد ذیل:
۷۱	قوانین آب آشامیدنی
۷۴	قوانین مربوط به آب‌های تفریحی
۷۵	مقررات مربوط به مواد مغذی
۸۲	مطالعه موردی: دریاچه بزرگ سنت مریس
۸۷	فصل پنجم: روش‌های کنترل شکوفایی مضر جلبکی و سموم آن در منابع آب
۸۷	مقدمه
۸۹	کاهش طبیعی شکوفایی مضر جلبکی و سموم آنها
۸۹	تجزیه نوری
۹۰	جذب سطحی
۹۲	تجزیه بیولوژیکی
۹۴	کاهش در محل سموم و سلول‌های شکوفایی مضر جلبکی
۹۴	هوادهی مصنوعی و هواهی
۹۸	انعقاد با استفاده از آلوم
۱۰۱	منعقدکننده‌های رسی
۱۰۴	جلبک‌کش‌ها

دیگر رویکردها.....	۱۰۵
فصل ششم: فرایندهای متداول تصفیه برای حذف سلول‌های شکوفایی مضر جلبکی و سم آنها از آب آشامیدنی	۱۱۰
مقدمه	۱۱۰
انعقاد، لخته سازی، ته‌نشینی و شناورسازی هوای محلول	۱۱۱
فیلتراسیون	۱۱۶
جذب سطحی	۱۱۸
مدل‌سازی جذب کربن فعال پودری	۱۲۲
مدل‌سازی جذب کربن فعال گرانولی	۱۲۵
گندزدایی شیمیایی	۱۳۲
سایر فناوری‌های گندزدایی	۱۳۶
فصل هفتم: فرایندهای تصفیه پیشرفته برای حذف سلول‌ها و توکسین‌های ناشی از شکوفایی مضر جلبکی در آب‌های آشامیدنی	۱۴۱
مقدمه	۱۴۱
فرایندهای غشایی	۱۴۲
RO, NF برای حذف سلول و توکسین‌های ناشی از شکوفایی مضر جلبکی	۱۴۳
اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون	۱۵۱
اولترافیلتراسیون-کربن فعال پودری	۱۵۲
فرایند اکسیداسیون پیشرفته (AOPs)	۱۵۴
ازن	۱۵۵
پتاسیم پرمنگنات	۱۵۸
فوتولیز و هیدروژن پراکسید/UV	۱۵۹
UV/TiO2	۱۶۴
رادیکال سولفات	۱۶۶
فراصوت	۱۶۷
واکنش فنتون	۱۶۷
فرات (Ferrate)	۱۶۸
فصل هشتم: خلاصه و نتیجه‌گیری	۱۷۵

فهرست جداول

۱۴	جدول ۱-۱ دسته بندی سموم شکوفایی مضر جلبکی
۵۱	جدول ۱-۳ مشخصات اساسی سم سموم شکوفایی مضر جلبکی
۵۵	جدول ۲-۳ دسته بندی متداول سموم شکوفایی مضر جلبکی و سمیت حاد
۷۴	جدول ۱-۴ رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت برای آب های تفریحی
۸۰	جدول ۲-۴ موارد بحرانی از ورود مواد مغذی به دریاچه ها و مخازن آب ایالات متحده
۸۸	جدول ۱-۵ روش های کاهش شکوفایی مضر جلبکی در دریاچه ها و مخازن آبی فرایندها
۱۲۹	جدول ۱-۶ پارامترهای مدل برای محصولات RSSCT
۱۳۳	جدول ۲-۶ تاثیر pH بر روی درصد کلر آزاد
۱۳۵	جدول ۳-۶ مقدار CT برای میکروسیستین در غلظت ۱ میکروگرم در لیتر
۱۴۳	جدول ۱-۷ جدول ویژگی های فرایندهای غشایی
۱۴۶	جدول ۲-۷ فاکتورهای شیمیایی و فیزیکی توکسین های ناشی از شکوفایی مضر جلبکی
۱۴۹	جدول ۳-۷ غلظت میکروسیستین LR در آب نفوذی از غشا (a)، تانک تغذیه (b) در غشاهای مختلف

SANABOOK.COM

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ تصویر ماهواره ای حوضچه یا آبگیر غربی دریاچه ی اریه ۱۵
- شکل ۱-۲ بارگیری سالانه فسفر به دریاچه اریه توسط منابع اصلی ۲۹
- شکل ۲-۲ ارتباط بین نسبت نیتروژن و فسفر و غالب شدن جلبک‌های سبز-آبی ۳۶
- شکل ۳-۲ مثالی از NOAA HAB برای دریاچه اریه ۴۱
- شکل ۴-۲ مدل اکولوژی-اجتماعی برای دریاچه اریه ۴۲
- شکل ۱-۳ شکوفایی جلبکی در دریاچه الکساندریا در جنوب استرالیا ۴۹
- شکل ۲-۳ ساختار اولیه نودولارین ۴۹
- شکل ۳-۳ ساختار شیمیایی میکروسیستین L-R ۵۴
- شکل ۴-۳ ساختار آناتوکسین a ۵۸
- شکل ۵-۳ ساختار سیلیندرواسپرموپسین ۶۱
- شکل ۶-۳ ساختار شیمیایی ساکسی توکسین ۶۴
- شکل ۱-۴ نقشه مناطق اکولوژیکی تعیین شده در ایالات متحده ۷۸
- شکل ۲-۴ نقشه سطح سوم مناطق اکوسیستمی ایالات متحده ۷۹
- شکل ۱-۵ شکل کلی یک سیستم هوادهی دیفیوزری که شامل دیسک‌های دیفیوزری ۹۵
- شکل ۲-۵ سیستم هوادهی پدالی چرخنده ۹۶
- شکل ۳-۵ سیستم سلول های خورشیدی یک مثال از سیستم گردشی خورشیدی ۹۸
- شکل ۴-۵ اضافه کردن آلوم مایع به دریاچه ماریس ۹۹
- شکل ۵-۵ استفاده از ذرات رس به منظور کاهش شکوفایی مضر جلبکی ۱۰۲

SANABOOK.COM

فصل اول

مقدمه

اتاق گفتگوی
خوانندگان این فصل



ارسال نظر
برای نویسنده و ناشر



شکوفایی مضر جلبکی و توکسین‌های مضر ناشی از شکوفایی جلبکی

شکوفایی مضر جلبکی (HAB^1) که در آب‌های شیرین رخ می‌دهد پدیده‌ای مضر محسوب می‌شود که سموم تولیدی آنها برای حیوانات و انسان‌ها مضر و خطرناک می‌باشند. شکوفایی مضر جلبکی همچنین ارزش کیفی آب‌های سطحی را از جنبه‌ی گردشگری کاهش می‌دهد در نتیجه بر صنعت توریسم و کیفیت زندگی ساکنان و بازدیدکنندگان تأثیر منفی می‌گذارد. از اوایل قرن ۲۱، مطالعات و تحقیقاتی در زمینه وسعت این مسئله در سیستم‌های آب شیرین، فهم و درک و نیازهای آتی ما در مورد تحقیقات و مطالعات انجام شده است. بسیاری از ارگانیسم‌ها و موجودات زنده ممکن است باعث ایجاد شکوفایی مضر جلبکی در آب شیرین شوند که شامل: سیانوباکتری‌ها (که قبلاً به‌عنوان جلبک‌های سبز-آبی شناخته می‌شدند)، هپتومیتها، یوگلینوفیت‌ها که در زیرمجموعه جلبک‌های دارای کلروفیل a و b هستند و چربی‌های پلی ساکارید آزاد می‌کنند، جلبک‌های بزرگ، دینوفلاژلا و سایر عوامل شکوفایی مضر جلبکی می‌باشند. با توجه به شکوفایی مضر جلبکی موجود در سیستم‌های آب شیرین، سیانو باکتری‌ها معمولاً گونه‌های نگران‌کننده‌ای هستند که شامل موجوداتی از قبیل میکروسیستیس، نودولاریا، سیلندرواسپیرومایسس و غیره می‌باشند. البته همه‌ی سیانو باکتری‌ها سمی نیستند. در بعضی موارد گونه‌هایی که متابولیت‌های سمی تولید می‌کنند، عملکرد یکسانی ندارند. با این وجود با توجه به تحقیقات انجام شده، محققان بر این باورند که اکثر شکوفایی جلبکی سیانوباکتری‌های مشاهده شده ذاتاً سمی هستند.

¹- Harmful Algal Blooms



مشاوره و پشتیبانی

جزوه



تقویت رزومه

نمره زبان / MSRT / MHLE



کلاس (گروهی و خصوصی)

آزمون آزمایشی



سیانوباکتری‌ها و دیگر ارگانیسم‌های مولد شکوفایی مضر جلبکی انواع مختلفی از سموم را که شامل سموم اعصاب، سموم کبدی، سموم پوستی و دیگر ترکیبات زیست فعال را تولید می‌کنند. در جدول ۱-۱ گروه‌های شایع سموم شکوفایی مضر جلبکی ذکر گردیده است که شامل میکروسیستین‌ها، ساکسی توکسین‌ها، آناتوکسین‌ها و سیلندرواسپیرموپسین می‌باشد. به‌عنوان مثال میکروسیستین‌ها دسته‌ای از شکوفایی مضر جلبکی هستند که شامل یک ساختار دوازده وجهی مشابه می‌باشد که از لحاظ ساختاری و سمیت تفاوت کمی دارند. ترکیبات مرتبط با ساکسی توکسین‌ها شامل نفوساکسی توکسین، جونیوتوکسین و دی کربومویل ساکسی توکسین می‌باشد. سموم شکوفایی مضر جلبکی دارای اثرات کوتاه و بلندمدت بر روی انسان و حیوانات می‌باشند. در سیستم‌های طبیعی شکوفایی مضر جلبکی باعث مرگ ماهی‌ها و ایجاد اثرات حاد بروی حیوانات و اکوسیستم موجود می‌شود. اثرات کوتاه‌مدت یا اثرات حاد شکوفایی مضر جلبکی شامل ایجاد جوش، التهاب کبد، بی‌حسی، زخم‌های پوستی و مشکلات گوارشی و غیره می‌شوند. اثرات بلندمدت یا مزمن ناشی از مواجهه با غلظت کم سموم شکوفایی مضر جلبکی تا حدودی ناشناخته می‌باشد و می‌تواند خطر ایجاد تومورهای سرطانی، مشکلات قلبی و نقص در عملکرد کلیه‌ها را شامل شود.

جدول ۱-۱ دسته‌بندی سموم شکوفایی مضر جلبکی

سم	مخفف	ترکیبات مشابه یا ترکیبات مرتبط	سمیت	MW
Microcystin	MC	>۸۰	کبدی	۱۰۰۰~
Cylindrospermopsin	CYN		کبدی، کلیوی	۴۱۵
Anatoxin	ANA		عصبی	۱۶۵
Saxitoxin	STX	NSTX, GTX, dcSTX	عصبی	۳۰۰~



با کتابیار
اسکن کن



شکل ۱-۱ تصویر ماهواره‌ای دریاچه‌ی اریه در کرانه‌ی جنوبی در سال ۲۰۱۱ این تصویر یک شکوفایی مضر جلبکی بسیار بزرگ از کرانه‌ی جنوبی به شمالی رسیده است را نمایش می‌دهد.

در سال ۲۰۱۱، همان‌طور که در تصویر ماهواره‌ای در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، یک شکوفایی مضر جلبکی بزرگ از میکروسیستیس در آبگیر غربی دریاچه‌ی اریه رخ داده است. این شکوفایی در اوایل اکتبر شکل گرفته و این باور وجود داشت که تقریباً یک محدوده ۳۰۰۰ کیلومترمربع را پوشانده است.

در بعضی مناطق، غلظت میکروسیستین صد میکروگرم در لیتر اندازه‌گیری شد. تصور می‌شد که شکوفایی مضر جلبکی تا حدودی توسط بارش‌های سنگین و غیرعادی بهار گذشته که بار مواد مغذی دریاچه را افزایش داده، به وجود آمده است. در آگوست ۲۰۱۴، شکوفایی مضر جلبکی میکروسیستیس بر روی دریاچه‌ی اریه، نزدیک آبگیر ورودی به سیستم تأمین آب شهر تولدو اتفاق افتاد و باعث قطع آب آشامیدنی ۴۰۰۰۰ نفر شد.

سیلندرواسپیروموپسین نوع دیگری از سم جلبک سبز آبی (سیانو باکتری) است که از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. اولین فاجعه و شیوع سیلندرواسپیروموپسین در سال ۱۹۷۹ در جزیره‌ی پالم کوینزلند استرالیا رخ داد. علت این فاجعه و شیوع بیماری مرموز به وجود آمده از آن به دنبال استفاده از سولفات مس برای کنترل سیلندرواسپیروموپسین در سد سولمون رخ داد که منجر به بستری شدن بیش از ۱۰۰ کودک شد. این باور وجود دارد که با اضافه کردن سولفات مس که رشد سیلندرواسپیروموپسین مختل خواهد شد و این امر آزادسازی سم را تسهیل می‌نماید. سیلندرواسپیروموپسین یک سم قوی است که بر کبد و کلیه‌ها اثر می‌گذارد.

آناتوکسین-a اولین بار در دهه‌ی ۱۹۶۰ پس از رشد مجموعه‌ای از جلبک‌های سبز-آبی آنابنا در دریاچه‌ی ساسکات چون کانادا کشف شد که این سم منجر به مرگ چندین گله گاو گردید. آناتوکسین-a به علت داشتن خاصیت سمیت قوی که دارد بر سیستم عصبی اثر می‌گذارد و

عامل مرگ بسیار سریع نیز نامیده می‌شود. هم‌چنین آناتوکسین-a باعث تشنج و فلج تنفسی می‌شود. ساکسی توکسین‌ها یکی دیگر از گروه ترکیبات سم اعصاب هستند که توسط شکوفایی مضر جلبکی هم در سیستم‌های آب شیرین و هم دریا تولید می‌شوند. ساکسی توکسین‌ها به عامل مسمومیت و فلج صدف داران مشهور هستند.

علل ایجاد شکوفایی مضر جلبکی

علل و فاکتورهای تشکیل و ایجاد شکوفایی مضر جلبکی پیچیده و گوناگون هستند. همانطور که ذکر گردید، تصور تاریخی بر این بود که بروز شکوفایی مضر جلبکی در دریاچه‌ی اریه در سال ۲۰۱۱، به دلیل تغییر شرایط آب و هوایی در بهار نسبت به سال گذشته بوده است. لذا شرایط هیدرولوژی نقش اساسی را در گسترش و رخ دادن شکوفایی مضر جلبکی ایفا می‌کند. جریان ورودی و خروجی آب سطحی، شرایط هوایی، زمان‌بندی بارندگی (رویدادهای بارشی)، عمق ذخایر آبی، دمای آب و توسعه‌ی لایه‌بندی حرارتی در دریاچه می‌توانند زمان‌بندی توسعه‌ی شکوفایی مضر جلبکی را تحت تأثیر قرار دهند.

دلیل مهم دیگر تشکیل شکوفایی مضر جلبکی ورود مواد مغذی به یک مخزن یا دریاچه می‌باشد. در بیشتر موارد نیتروژن، فسفر و دیگر مواد مغذی به‌عنوان محدودکننده رشد جلبک‌ها در نظر گرفته می‌شوند. به‌طوری‌که با افزایش این مواد مغذی، رشد آنها را تسریع می‌کند و کمبود آنها باعث محدود شدن رشد می‌شود.

به‌طور کلی فسفر ماده مغذی محدودکننده در سیستم‌های آب شیرین می‌باشد. نیتروژن ممکن است رشد جلبک‌ها را در سیستم‌های دریایی یا خلیجی محدود کند. ورودی‌های مواد مغذی از منابع زیادی از جمله: اتمسفر (اکسیدهای نیتروژن)، منابع نقطه‌ای (تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، منابع صنعتی) و منابع غیر نقطه‌ای (سیستم‌های کشاورزی، سیستم‌های تصفیه فاضلاب در محل) نشأت می‌گیرند. یکی از مهم‌ترین منابع غیر نقطه‌ای مواد مغذی استفاده از کودها می‌باشد که برای تولید محصولات کشاورزی در مقیاس وسیع استفاده می‌شوند. سیستم‌های تصفیه فاضلاب در محل مثل چاه‌های فاضلاب و مخزن‌های فاضلاب نیز می‌توانند منابع مهمی از نیتروژن برای آب سطحی باشند، البته مشروط به اینکه انتقال مواد مغذی از طریق آب زیرزمینی به آب سطحی امکان‌پذیر باشد. هم‌چنین منابع داخلی دارای مواد مغذی در دریاچه‌ها نیز می‌توانند در شکل‌گیری و حفظ و بقای سلول‌های شکوفایی مضر جلبکی حائز اهمیت باشند، مخصوصاً وقتی که شرایط برای سوسپانسیون یا تعلیق مجدد مواد مغذی که قبلاً در رسوبات عمق آب قابل دسترس نبودند، مناسب باشد.

همچنین فاکتورها و عوامل اکولوژیکی در کنترل زمان‌بندی، ابعاد و توسعه و گسترش شکوفایی مضر جلبکی نقش دارند. به‌طور مثال ممکن است یک آب سطحی خاص در سال‌های پس از بروز شکوفایی مضر جلبکی بیشتر مستعد ابتلا به شکوفایی مضر جلبکی باشد. در چنین مواردی این امکان وجود دارد که گونه‌های شکوفایی مضر جلبکی در فصل زمستان در رسوبات بستر باشند و زمانی که شرایط هیدرولوژیکی برای شکل‌گیری شکوفایی مساعد گردید دوباره در تابستان به سطح آب برگردند. همچنین ارگانیسم‌های دیگر ممکن است شرایطی را فراهم کنند که رشد جلبک‌ها و شکل‌گیری و ایجاد شکوفایی مضر جلبکی مساعد گردد. به‌طور مثال در دریاچه‌ی اریه در اواخر دهه ۱۹۸۰ وجود صدف‌های مخطط باعث تغییر میزان مواد مغذی فعال در دریاچه شد و در نتیجه رشد شکوفایی مضر جلبکی را که شامل گونه‌های میکروسیستیس بود را تحریک نمود. ظاهراً صدف‌های مخطط در درون رسوبات گیر افتاده و در نهایت به داخل ستون آب نفوذ می‌کنند به شکلی که برای سیانوباکتری‌ها (جلبک‌های سبز-آبی) از جمله میکروسیستیس‌ها قابل دسترس می‌باشد. همچنین از دست رفتن یک‌گونه‌ی خاص حیوانات ممکن است باعث افزایش شکوفایی مضر جلبکی شود، به‌عنوان مثال: تغییرات زنجیره‌ی غذا، از قبیل حذف یا کاهش جمعیت چرندگان ممکن است شکل‌گیری و ایجاد شکوفایی مضر جلبکی را ارتقاء دهد.

درک ما از رخداد و تأثیر شکوفایی مضر جلبکی که به‌طور معناداری در چند دهه‌ی گذشته گسترش یافته‌اند، شاید به شناسایی شکوفایی مضر جلبکی در مخازن و دریاچه‌ها کمک کند. با این وجود برخی از وقایع تاریخی نشان می‌دهند که شکوفایی مضر جلبکی یک پدیده‌ی جدید نمی‌باشد، بلکه نسل‌هاست که رخ می‌دهد. یکی از قدیمی‌ترین مثال‌های موردنظر، از یک شکوفایی مضر جلبکی در سال ۱۹۳۱ در رودخانه‌ی اوهایو رخ داد. چنین برآورد شد که بیش از ۸۰۰۰ نفر به دنبال هضم یا خوردن و جذب آب آلوده به سیانو باکتری از یک سرشاخه رودخانه تا رودخانه‌ی اوهایو بیمار شدند. یک اپیدمی در اختلالات روده‌ای در چارلستون، ویرجینیای غربی، به آلودگی و کاهش کیفیت آب مربوط بود و دلیل آن هم وجود جلبک‌ها بود. با توجه به توسعه و صنعتی‌سازی منطقه در آن زمان، تخلیه‌ی فاضلاب به رودخانه‌ی اوهایو به احتمال زیاد، به‌طور معناداری در سال‌های قبل از بروز شکوفایی افزایش یافت، در نتیجه شرایط مطلوب برای ایجاد شکوفایی ایجاد شده بود.

در سال ۱۹۸۸، در نتیجه شکوفایی جلبک‌های سبز-آبی (سیانوباکتری) در منطقه‌ی پائولو افونس برزیل ۸۸۰ نفر فوت و بیش از ۲۰۰۰ نفر بیمار شدند. یکی از شکوفایی مضر جلبکی مهم و مورد توجه، پدیده شکوفایی ایتاپریکا بود که باعث سرریز شدن مخزن گردید که حدود ۴۲ روز به طول انجامید. نمونه‌های آب، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شدند و سطح سیانوباکتری

(جلبک‌های سبز- آبی) تقریباً معادل ۱۰۰۰۰ واحد بر میلی‌لیتر را نشان دادند. نمونه‌های خون و مدفوع که از بیمارانی با بیماری گوارشی و روده‌ای جمع‌آوری شد، وجود سیانوتوکسین‌ها به‌عنوان محتمل‌ترین دلیل شیوع را نشان می‌داد. منابع نقطه‌ای تخلیه مواد مغذی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان دلیل اصلی شکوفایی مضر جلبکی در دریاچه‌ی اریه در دهه‌ی ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ نام برده‌اند. احتمالاً در طول این دوره، بعضی از گونه‌های مضر جلبکی نیز مسبب شکوفایی در دریاچه‌ی اریه بوده‌اند. به‌طور مثال، گونه‌های میکروسیستیس در طول شکوفایی مضر جلبکی خاص در دریاچه در طول دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ شناسایی شدند. با کنترل بیشتر منابع نقطه‌ای از طریق تصفیه‌ی فاضلاب به‌صورت پیشرفته، به‌طور معناداری بروز شکوفایی مضر جلبکی در دریاچه‌ی اریه تا دهه‌ی ۱۹۸۰ کاهش یافت. با این وجود، در دهه‌ی ۱۹۹۰ دریاچه‌ی اریه مجدداً شکوفایی مضر جلبکی را تجربه کرد، شکوفایی که به‌طور کلی نسبت به مسائل و مشکلات مربوط به شکوفایی مضر جلبکی در دهه‌ی ۱۹۷۰، سمی‌تر بودند. چند عامل شناسایی شده‌اند که ممکن است به ظهور اخیر شکوفایی مضر جلبکی در دریاچه‌ی اریه کمک کنند شامل تغییراتی در منابع غیر نقطه‌ای مواد مغذی، وجود صدف راه راه، تغییر مواد مغذی فعال درونی، تغییرات آب و هوایی و دیگر فاکتورها می‌باشند.

مخازن کوچک به‌طور خاصی نسبت به شکوفایی مضر جلبکی آسیب‌پذیرند و در بسیاری از موارد، منابع غیر نقطه‌ای مواد مغذی، (تولید محصولات کشاورزی در مقیاس بزرگ یا دیگر منابع مواد مغذی موردنیاز) باعث تغذیه و شکوفایی مضر جلبکی می‌شوند. این مخازن اغلب کم‌عمق و سطحی هستند که در دماهای گرم‌تر (بالاتر)، نفوذ کم و معناداری را مقدور و حائز اهمیت می‌سازند. مخازن کوچک معمولاً زمان ماندگاری بالا با بار هیدرولیکی پائین دارند که زمان موردنیاز برای تکثیر جلبک را فراهم می‌آورند. در اغلب دریاچه‌های کوچک شرایط ایده‌آل درون بومی مخازن جهت کمک به رشد جلبک وجود دارند. به‌طور مثال یک حادثه شکوفایی مضر جلبکی مشکوک در سال ۱۹۸۸ در نبراسکا رخ داد. افراد زیادی به علت خوردن آب آلوده به سیانوباکتری‌های مضر، مشکلات معده‌ای و روده‌ای جدی را تجربه کردند. شرایط ایجاد شده، آگاهی روز افزون نسبت به درک علمی بهتر راجع به شکوفایی مضر جلبکی را ممکن می‌سازد و به‌طور گسترده‌ای شناسایی عوامل افزایش‌دهنده رشد گونه‌های شکوفایی مضر جلبکی را افزایش می‌دهند. حقیقت تلخ مسئله این است که بسیاری از این مخازن کوچک درون‌بوم یا دریاچه‌ها به‌عنوان منبع آب آشامیدنی برای جوامع محلی نیز استفاده می‌شدند. در بعضی موارد، سیستم‌های آبی کوچک مجبور شده‌اند که یک منبع آب سطحی را در صورت وجود

شکوفایی مضر جلبکی که وجود متابولیت‌های سمی در آب پس از تصفیه در آنها تأیید شده است را رها کنند.

با درک عمیق و وسیع‌تر عوامل و شرایطی که باعث رشد و گسترش شکوفایی مضر جلبکی می‌شود، جامعه‌ی محققین، مدیران دریاچه و آژانس‌های دولتی تصمیم گرفتند که کار توسعه‌ی سیستم‌های پیش‌بینی شکوفایی مضر جلبکی را قبل از اتفاق راه‌اندازی کنند. در دریاچه بزرگ تلاش‌هایی برای ارائه‌ی پیش‌بینی‌های فصلی و هم‌چنین پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت (چند روزه) آغاز شد (در دست اقدام دارند). هدف این پیش‌بینی‌های کوتاه مدت کمک به هشدار زود هنگام به آژانس‌های دولتی و مسئولین تجهیزات مورد استفاده آب شرب مردمی است که شرایطی برای افزایش و بروز یک شکوفایی مضر جلبکی وجود دارد. دیگر رویکردها موردنظر برای سیستم‌های هشداردهنده‌ی زود هنگام، کنترل و سنجش غلظت سم یا شاخص‌هایی که ممکن است وجود سموم را تأیید کنند تمرکز دارد. همان‌طور که توانایی‌های طرح یا مدل‌سازی و درک ما از دینامیک‌های شکوفایی مضر جلبکی بهبود می‌یابد، مدل‌های بهتر و سیستم‌هایی پیشرفته‌تر برای پیش‌بینی بروز و توسعه و بزرگی شکوفایی مضر جلبکی در آینده، به وجود خواهند آمد.

شکوفایی مضر جلبکی و آب آشامیدنی

سازمان جهانی بهداشت (WHO) و بسیاری از کشورهای جهان محدودیت‌ها یا رهنمودهای توصیه شده‌ای را برای سموم ناشی از شکوفایی مضر جلبکی در آب آشامیدنی تعیین کرده‌اند. به‌طور مثال WHO در یک رهنمود مقدار میکروسیستیس را در آب آشامیدنی $1\mu\text{g/L}$ ، تعیین کرده است. ایالات متحده هنوز پیشینه‌ی سطح آلاینده‌ها را برای سموم شکوفایی مضر جلبکی تعیین نکرده است با این وجود، این گروه از آلاینده‌ها که در لیست کاندیدای آلاینده (CCL) آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا واقع شده‌اند، نیاز به تحقیقات آینده را به‌منظور بررسی و تحقیق منظم در آینده را نشان می‌دهد. اثر شکوفایی مضر جلبکی بر روی کیفیت آب آشامیدنی به عواملی از جمله بزرگی حوزه و وسعت شکوفایی، تلاش‌ها برای کنترل رشد شکوفایی، نزدیکی و مجاورت محل بروز شکوفایی در مسیر ورودی تصفیه‌خانه‌ی آب، فرایندهای متداول استفاده‌شده برای تصفیه و پارامترهای عملیاتی خاص آنها و هم‌چنین در دسترس بودن گزینه‌ها و انتخاب‌های تصفیه پیشرفته در کارهای مربوط به تصفیه بستگی خواهد داشت. در بدترین شکل قضیه، شکوفایی ممکن است در مجاورت ورودی تصفیه‌خانه رخ بدهد. (همان‌طور که در تُولدو، اُهایو در سال ۲۰۱۴ رخ داد) در تصفیه‌خانه ممکن است، انجام تصفیه بهینه و مطلوب برای به حداقل رساندن انتشار سموم و کاهش غلظت سموم خاص که ممکن است وارد تصفیه‌خانه شوند یا ممکن است در طول

عملیات تصفیه‌ی متداول منتشر شوند، خوب آماده نشده باشد. در ایده‌آل‌ترین حالت، فقط کسری یا بخشی از سلول‌های شکوفایی مضر جلبکی یا سموم درون تصفیه‌خانه‌ی آب تولید شده، امکان فرایندهای تصفیه را دارد و بررسی و حل‌وفصل مؤثر مسئله‌ی سلول‌های شکوفایی مضر جلبکی و سموم را تجربه می‌کنند. تغییرات برای عملی کردن کاهش ورودی‌های مواد مغذی به‌منظور اجتناب و پیشگیری از تشکیل شکوفایی مضر جلبکی در دریاچه‌های آب شیرین و مخازن برای رفع و کاهش اثرات روی آب آشامیدنی و آب‌های مناطق تفریحی در طول زمان رخ دادن شکوفایی و پس از آن، ممکن است چند سال یا حتی چند دهه طول بکشد. شناسایی غلظت‌های مواد مغذی برای سنجش کیفیت آب به مطالعه نیاز دارد و اغلب سال‌ها به طول می‌انجامد که تأیید و تثبیت شود. حتی با وجود سطوح مشخص شده از مواد مغذی، عملی و کنترل کردن روی منابع غیر نقطه‌ای و تغییرات درون بومی که از روش‌های موردنظر استفاده می‌کنند، می‌تواند دشوار باشد. همچنین، دریاچه‌ها و مخازنی با تاریخچه‌ای طولانی ممکن است یک مخزن مهم از مواد مغذی در عمق رسوبات باشند که می‌توانند دوباره به ستون آب وارد شوند و شکوفایی مضر جلبکی را تشکیل دهند. دشواری برای کاهش ورودی‌های مواد مغذی به دریاچه‌ها و مخازن، مخصوصاً منابع غیر نقطه‌ای مواد مغذی، منجر به تلاش‌های چشمگیری برای کنترل رخداد و بزرگی و وسعت شکوفایی مضر جلبکی شده است.

در دریاچه بزرگ ماریس که یک مخزن درون بومی کوچک است که یک زمان بخشی از سیستم کانال در مناطق روستایی نشین آهایو بود، شکوفایی مضر جلبکی تأثیر عظیمی روی توریسم محلی و در معرض خطر بودن آب آشامیدنی داشت. دریاچه‌ها همیشه در معرض یک حجم عظیمی از عوامل و فاکتورهایی هستند که منجر به ایجاد شکوفایی‌های مضر جلبکی از جمله شکوفایی مضر جلبکی کم‌عمق، ورودی‌های منابع غیر نقطه‌ای مواد مغذی و کانال‌سازی‌های گسترده‌ی حوزه‌ی آبریز برای حمایت و پشتیبانی از تولید محصولات کشاورزی کمک می‌کند. به‌عنوان یک مؤلفه‌ی اصلی سیستم کانال آهایو، دریاچه بزرگ ماریس یک دریاچه‌ی مصنوعی ساخته‌ی دست بشر است که برای متعادل‌سازی جریان آب برای عملیات‌ها و بهره‌برداری‌های کانالی ساخته شده است. درنتیجه دریاچه با عمق میانگین کمتر از ۱۰ متر کم‌عمق است. بیشتر منطقه در حوزه‌ی آبریز که دریاچه را تغذیه می‌کند به تولید کشاورزی در مقیاس بزرگ ذرت و دانه‌های سویا تعلق دارد که منجر به ورودی‌های غیر نقطه‌ای نیتروژن و فسفر به دریاچه می‌شوند. در نهایت بسیاری از جریان‌ات در حوزه‌ی آبریز برای بهبود و ارتقاء مؤثرتر زهکشی یا شبکه‌ی آبیاری برای محافظت و جلوگیری از سیلاب گرفتگی محصولات در طول باران‌های شدید و سنگین، کانال زنی شده‌اند. درنتیجه، یکی از فرایندهای اکولوژیکی طبیعی که ممکن است ورودی‌های مواد مغذی را برای دریاچه کاهش دهند،

اتصال کوتاه هستند. این اتصال کوتاه به خاطر زمان ماندن کوتاه‌تر مواد مغذی است که فرصت کمتری برای جذب مواد مغذی توسط گیاهان فراهم می‌کند، رخ می‌دهد. همچنین اتصال کوتاه به خاطر از دست دادن نقش و عملکرد اکولوژیکی به وجود آمده توسط کانال زنی رخ می‌دهد و در نهایت، خدمات و سرویس‌های اکوسیستم به وجود آمده توسط رود در این مورد، خدمات پردازش مواد مغذی-کاهش می‌یابد.

در مواجهه با این چالش‌ها مدیران آب مجاب شدند تا دریاچه بزرگ ماریس را با آلومینیوم یا آلوم تصفیه کنند. آلوم یک نمک مغذی است که در زمان‌های بسیار دور برای کوآگولاسیون (انعقاد) و حذف کدورت در تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی متداول استفاده می‌شد. زمانی که آلوم به تصفیه‌خانه‌های آب مرسوم اضافه می‌شود، یون‌های آلومینیوم برای ساختن و شکل دادن به رسوب، هیدروکسید آلومینیوم محلول، در آب با هیدروکسید واکنش می‌دهند. این رسوب جامد مانند چسب برای تسهیل متراکم‌سازی ذرات تصفیه‌شده و افزایش ته‌نشینی و حضورشان در حوضچه‌های رسوب کمک می‌کند. در آب‌های حاوی فسفر، رسوب آلومینیوم فسفات، یون‌های آلومینیوم ممکن است مستقیماً با یون‌های فسفات برای ساختن یک رسوب فسفات آلومینیوم نامحلول واکنش دهند که متعاقباً می‌تواند توسط رسوب‌گذاری حذف شود. یا تحت شرایط pH خاصی، یون‌های فسفات ممکن است رسوب‌های هیدروکسید آلومینیوم را جذب کنند و در طول رسوب‌گذاری به‌عنوان یک کمپلکس جاذب حذف شوند که برای کنترل شکوفایی مضر جلبکی و کاهش سطوح فسفر در دریاچه یا مخزن یا از طریق رسوب‌ها یا جذب سطحی به همان صورت که توصیف از آلوم شد مورد استفاده قرار گیرد. در ارتباط با رسوبات آلومینیوم، جامدات ته‌نشین می‌شوند و فسفر در رسوبات دریاچه محبوس می‌شود. اضافه کردن آلوم در طول شکوفایی مضر جلبکی نیز ممکن است در حذف سلول‌های جلبک از جریان آب مؤثر باشد.

اگرچه کاربرد منعقدکننده‌ها (لخته‌کننده‌ها) ممکن است در کاهش فسفر و توده‌های زیستی (بایومس) مؤثر باشد، اما کاربرد چنین رویکردهایی چالش‌برانگیز است. استفاده از مواد شیمیایی مثل آلوم، حتی برای یک دریاچه نه‌چندان بزرگ (متوسط به لحاظ اندازه) پرهزینه است. برای به حداقل رساندن هزینه، درک درستی از موقعیت شکوفایی مضر جلبکی و توسعه آن ضروری است. حال، شاید این موضوع موفقیت‌آمیز باشد اما هنوز تا حد زیادی این تأثیرات طولانی‌مدت است. در حقیقت اگر از آلوم در سیستم‌های طبیعی استفاده شود ممکن است دارای تأثیرات ناشناخته‌ای مثل این موضوع که آیا فسفر محبوس شده در رسوبات می‌تواند وارد جریان آب شود البته اگر تغییرات شیمیایی رسوبات با تعلیق مجدد ذرات معنادار باشد. تأثیرات اکولوژیکی طولانی مدت مخصوصاً برای گونه‌های موجود در کف دریا به‌خوبی توصیف و مشخص نشده‌اند.