# آلاینده های بیولوژیکی در کشت ریزجلبک‌ها

رودابه روفچائی[1]*،سید فخرالدین میرهاشمی نسب[1]، امید ایمنی تملی[1]
[1]پژوهشکده آبزی پروری آبهای داخلی ، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،بندرانزلی، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۳

**چکیده**

ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌های تک‌سلولی یا چندسلولی ساده‌ای هستند که فتوسنتز می‌کنند. اندازه آن‌ها عموماً کمتر از ٤٠٠ میکرون است و پایه کل زنجیره غذایی آبزیان را تشکیل می‌دهند. این میکروارگانیسم‌ها به سبب قدرت بالای سازگاری با شرایط مختلف اکولوژیک، از تنوع بالایی برخوردار هستند. در چند دهه اخیر، محققان به بررسی ریزجلبک‌ها جهت امکان بهره‌برداری از آن‌ها به‌عنوان منبع تولید انرژی و کنترل پایدار آلاینده‌های زیست‌محیطی متمرکز شده‌اند. از طرف دیگر، این گروه از آبزیان به دلیل غلظت بالای پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، اسیدهای چرب، مولکول‌های آنتی‌اکسیدان و رنگ‌دانه‌ها به‌عنوان ماده غذایی مناسب در آبزی‌پروری ارزیابی شده‌اند. ورود به عرصه بهره‌برداری از این میکروارگانیسم‌ها در حوزه بیوتکنولوژی و آبزی‌پروری، پرورش حجم بسیار زیادی از این ریزجلبک‌ها را می‌طلبد. تولید مقادیر قابل‌توجهی زیست‌توده جلبکی در کنار محیط کشت مورداستفاده، احتمال آلودگی را افزایش می‌دهد. وجود آلاینده‌های بیولوژیک اغلب می‌تواند باعث کاهش زیست‌توده و گاهی اوقات مرگ گسترده ریزجلبک‌ها شود. در کشت تجاری، عوامل اصلی آلاینده‌های بیولوژیک عبارت‌اند از: باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها و گروهی از پروتوزوئرها. این بررسی مروری به موارد شایع آلودگی در کشت آزمایشگاهی و توصیه‌های ترویجی جهت کنترل آن پرداخته است.

**کلمات کلیدی:** آلاینده های بیولوژیکی، ریزجلبک‌ها، بیوتکنولوژی، کشت

* نویسنده مسئول: Roofchaie @gmail.com

## مقدمه

ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌های تک‌سلولی هستند که هم در محیط‌های آب‌شور و هم در محیط‌های آب شیرین رشد می‌کنند. علی‌رغم عدم وجود ساختار و اندام‌های پیچیده در مقایسه با همتایان گیاهی خود، ریزجلبک‌ها به دلیل وجود رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی مانند سبزینه‌ها در سلول‌های خود قادر به انجام فتوسنتز با استفاده از نور خورشید، دی‌اکسیدکربن و آب هستند. گونه‌های ریزجلبک فرصتی بی‌پایان برای استفاده در بخش‌های مختلف به نفع بشر فراهم کرده‌اند. علاوه بر این، ریزجلبک‌ها حاوی ترکیبات فعال زیستی ارزشمندی هستند که می‌توانند از سلول‌های آن‌ها استخراج شوند، از جمله چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، کاروتنوئیدها و ویتامین‌ها. این ترکیبات زیست فعال ارزشمند را می‌توان به طور گسترده در کاربردهای تجاری مورداستفاده قرارداد. راندمان بالای فتوسنتز آن‌ها همراه با توانایی انباشت مقادیر زیادی از محصولات زیستی در سلول‌هایشان، آن‌ها را به کاندیدای مناسبی برای استفاده به‌عنوان ماده خام صنعتی تبدیل می‌کند. کشت انبوه میکروجلبک از نظر اقتصادی با غلبه بر چالش‌های متعددی همراه است. چالش‌های عمومی شامل هزینه آب و محدودیت‌های بازیافت، هزینه‌ها و بازیافت مواد مغذی، استفاده از $CO_2$، هزینه‌های انرژی مرتبط با برداشت و ازدست‌دادن زیست‌توده به دلیل آلودگی زیستی است. در این مقاله مروری بر آلاینده‌های بیولوژیک ریزجلبک‌ها انجام شده است (Zhu *et al.*, 2022).

## بیان مسئله، ضرورت و اهمیت

فرایندهای کشت ریزجلبک به طور فزاینده‌ای در سیستم‌های مختلف بسته و باز انجام می‌شود. در سیستم‌های پرورش باز، اشباع نور و تأثیرات فصلی بر رشد زیست‌توده جلبکی تأثیرگذار بوده و کنترل کشت را دشوار می‌سازد، اما به جهت پایین‌بودن هزینه کشت، جهت بهره‌برداری‌های بدون نیاز به استریل، کاربرد دارد. کشت ریزجلبک‌ها در سیستم‌های بسته، هزینه تجهیزات مورداستفاده برای حفظ عامل‌های کشت و نگهداری استریل بالا است، اما در تولید موارد دارویی، بهداشتی و خوراکی استفاده از این سیستم ضروری است. با وجود معایب و مزایای هرکدام از سیستم‌های اشاره شده، هر دو در چالش حیاتی مواجه با آلودگی مشترک هستند (Yu *et al.*, 2022). گرچه این درگیری بین ریزجلبک‌ها و سایر میکروارگانیسم‌های ناخواسته در پرورش ریزجلبک در سیستم‌های باز بسیار شایع‌تر هستند و در سیستم‌های بسته به میزان کمتر، به چشم می‌خورند. بخش بزرگ و متداول از این آلاینده‌های بیولوژیکی شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها، پروتوزوآ و سایر فتوسنتزکننده‌های غیر هدف هستند. چنین آلاینده‌هایی می‌توانند به طور قابل‌توجهی بر رشد ریزجلبک‌ها به سبب هم‌زیستی‌های مختلف چون رابطه‌های رقابت، انگلی، شکار و متقابل تأثیر بگذارند. تعیین کمیت دقیق و انتخابی آلاینده‌ها و ریزجلبک‌ها از نظر غلظت سلولی و زیست‌توده و ترکیب عنصری برای درک اینکه چگونه و تا چه اندازه چنین فعل و انفعالاتی بر رشد ریزجلبک‌ها و کیفیت زیست‌توده تولید شده تأثیر می‌گذارد، جهت رسیدن به افزایش کیفیت کشت اساسی است. گروه‌هایی از میکروارگانیسم‌ها که به‌عنوان آلاینده‌های رایج در سیستم‌های کشت ریزجلبک مشاهده می‌شوند عبارت‌اند از پروتوزوآ، باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها. روابط بین این دسته از اندامگان‌ها و ریزجلبک‌ها ممکن است (۱) متقابل یا همزیست (Symbiotic) (۲) همسفر (Commensalistic) (۳) انگلی (Parasitic) باشد (Molina-Grima *et al.*, 2022).

**قارچها**

کشت‌های ریزجلبک ممکن است تحت‌تأثیر چندین گونه قارچ قرار گیرند قارچ‌ها از بیماری‌زاترین آلاینده‌های بیولوژیکی هستند که هم کشت آزمایشگاهی و هم کشت در فضای باز همان‌طور که (جدول شماره ۱) نشان می‌دهد را درگیر می‌کنند. نگرانی اصلی درمورد حضور قارچ‌ها در محیط کشت جلبکی آن است که قارچ‌ها می‌توانند بدون میزبان خود زنده بمانند، اگر ترکیبات آلی کافی برای زندگی داشته باشند. به‌واسطه حضور نوترینوها محیط کشت این امر تقریباً برای حضورشان فراهم است. حضور گونه‌های مختلف قارچی در کشت‌های اتوتروف در دستگاه‌های بسته و احتمال بیشتر شیوع قارچ در کشت اهمیت بررسی آن را در کشته‌ای ریزجلبک‌ها بیان می‌کند (Longcore *et al.*, 1995, Bueno *et al.*, 2016). قارچ‌ها می‌توانند هم به‌عنوان رقیب و هم هم‌زیست با کشت‌های ریزجلبک‌های آب شیرین و دریایی باشند. بسیاری از موارد آلودگی قارچی در کشت‌های ریزجلبک دیده شده است. حذف کامل انگل‌های بیولوژیکی نامطلوب در مقیاس صنعتی نه مقرون‌به‌صرفه است و نه امکان‌پذیر. Chytridiomycota شایع‌ترین انگل‌های قارچی مرتبط با ریزجلبک‌ها هستند و طیف میزبان آن‌ها متفاوت است. این قارچ‌ها به جمعیت ریزجلبک‌ها آسیب می‌زنند و در برابر روش‌های ضدعفونی مقاوم هستند. Aphelids انگل‌های درون‌سلولی هستند که به ریزجلبک‌ها حمله می‌کنند و به Chytrids نزدیک هستند. Labyrinthulyds شامل انگل‌های مهم ریزجلبک‌های دریایی است، اما هنوز در دستگاه‌های تجاری زیاد مشکل‌ساز نشده‌اند ( Laezza *et al.*, 2022). قارچ‌های زئوسپوریک بر تولید زیست‌توده دیاتومه‌ها تأثیر منفی دارند (Allen *et al.*, 2017).

در محیط‌های کشت ریزجلبک‌ها، رشد و برهم‌کنش قارچ‌ها با سایر موجودات تحت‌تأثیر عواملی چون مواد مغذی، نور، دما و pH است. نور مرئی انرژی مهمی برای اتوتروف‌ها فراهم می‌کند و گسترش قارچ‌ها نیز تحت‌تأثیر آن قرار دارد( Longcore *et al.*, 1995). عفونت‌های قارچی به‌سرعت رخ‌داده و به دیواره سلولی ریزجلبک‌ها آسیب می‌زنند. قارچ‌ها درون میزبان جوانه‌زده و باعث تغییر رنگ ریزجلبک‌ها می‌شوند. ریزجلبک‌های جوان در فاز لگاریتمی آلوده نمی‌شوند؛ اما در فاز سکون و بلوغ، آسیب‌پذیر هستند (Baudy *et al.*, 2021). مواد مغذی مانند نمک‌های معدنی و پتاسیم، رشد قارچ‌ها را تسهیل می‌کنند. درحالی‌که سوبستراهای آلی مانند گلوکز، آلودگی را افزایش می‌دهند، بی‌کربنات و گالاکتوز آلودگی را کاهش می‌دهند (Salbitani *et al.*, 2020).

**جدول۱: نمونه هائی از قارچهای انگلی در کشت ریز جلبک ( Laezza *et al.*, 2022 )**

| گونه قارچ انگل | ریز جلبک میزبان | سیستم پرورش ریز جلبک |
|---|---|---|
| *Paraphysoderma sedebokerensis (Chytrid* | *Haematococcus pluvialis* | کشت آزمایشگاهی |
| *Aspergillus niger* | *Chlorella vulgaris* | |
| *Mucor sp.* | *Chlorella vulgaris* | |
| *(Chytrid) Zygorhizidium sp. Chytriomyces sp. And* | *Various diatoms* | |
| *Amoeboaphelidium protococcarum (Aphelid)* | *Scenedesmus sp.* | |
| *Phlyctidium scenedesmi* | *Scenedesmus sp.* | |
| *Rhizophydium planktonicum (Chytrid)* | *Asterionella Formosa* | |
| *Mortierella elongata* | *Nannochloropsis oceanica* | |
| *Aspergillus sydowii* | *Nannochloropsis oceanica* | |
| *Rhizophydium algavorum (Chytrid)* | *Chlorococcorum minutum* | |
| *Rhodotorula glutinis* | *Spirulina platensis* | |
| *Leptophyrs vorax (Amoebae/Endomyxa)* | *Closterium sp.* | |
| *Phlyctidium scenedesmi (Chytrid)* | *Scenedesmus sp.* | کشت در فضای باز |
| *Amoeboaphelidium protococcarum (Aphelid)* | *Scenedesmus sp.* | |
| *Rhizophidium sp.* | *Scenedesmus sp.* | |
| *Amoeboaphelidium protococcarum* | *Scenedesmus dimorphus* | |
| *protococcarum (Aphelid) Amoeboaphelidium scenedesmi (Chytrid) and Rhizophydium* | *Grasiella sp.* | |

## باکتریها

در راستای کشت مشترک ریزجلبک‌ها با باکتری‌های سودمند می‌توان به تولید چربی با کشت مشترک *Characium sp* با باکتری هتروتروف، سودوموناس کمپوستی *Pseudomonas composti* ، یا کشت مشترک کلرلا ولگاریس *Chlorella vulgaris* و استنوتروفومونا اسمالتوفیلیا *Stenotrophomona smaltophilia* نام برد (Scognamiglio *et al.*, 2021). از هم‌زیستی‌های شایع بین باکتری‌ها و ریزجلبک‌ها می‌توان به هم‌زیستی ریزجلبک *Dunaliella salina* با *Marinobacter sp.*، *Porphyridium purpureum* با *Halomonas sp* و *Chlamydomonas nivali* با *Mesorhizobiums sp* نام برد که هم‌زیستی آنها منتج به هم‌افزایی در پرورش خواهد شد

و برای اهداف مختلفی مورداستفاده قرار می‌گیرند (Yao *et al.*, 2019).

ارتباط هم‌زیستی ریزجلبک‌ها با باکتری‌ها زمانی به رابطه انگلی تغییر می‌کند که جهت بهره‌بردار از شرایط محیطی رقابت بین آنها ایجاد شده باشد. همان‌طور که در (جدول ۲) ملاحظه می‌کنید گروهی از باکتری‌هایی که آلاینده محیط کشت ریزجلبک‌ها هستند مشاهده می‌شود. به‌عنوان‌مثال باکتری‌های متعلق به جنس‌هایی مانند Alteromona، Bacillus، Pseudomonas می‌توانند ریزجلبک‌ها را از طریق تماس سلول به سلول یا با آزادکردن ترکیباتی خارج سلولی، شکسته و یکپارچگی دیواره سلولی ریزجلبک‌ها را با ورود به سلول ازبین‌بردن DNA آن مورد حمله قرار دهند (Sakai *et al.*, 2007, Caprio *et al.*, 2022).

**جدول ۲: نمونه هائی از باکتریهای انگلی در کشت ریز جلبک (Zhang *et al.*, 2021 )**

| گونه باکتری | گونه جلبک | نحوه ایجاد آلودگی | سرعت الودگی |
|---|---|---|---|
| *Alteromonas sp.* | *Alexandrium tamarense* | *Indirect attack* | *89.9% (5d)* |
| *Bacillus cereus* | *Microcystis* | *Indirect attack* | |
| *Bacillus fusiformis* | *Chlorella* | *Secreting metabolites* | *45.6% (1d)* |
| *Micrococcus luteus* | *Cochlodinium polykrikoides* | | *بیش از ۹۰ درصد* |
| *Pseudoalteromona sp.* | *Skeletonema costatum* | | |
| *Pseudomonas aeruginosa* | *Scrippsiella trochoidea* | | *69.5% (5d)* |
| *Pseudomonas sp.* | *Chaetoceros ceratosporum* | *Secreting 2,3-indolinedione* | |
| *Sphingomonas sp.* | *Microcystis viridis* | *Secreting argimicin A* | |
| *Vibrio sp.* | *Oscillatoria amphibian* | *Secreting b-Cyanoalanine* | |

## ویروسها

ویروس‌ها در محیط‌های آبی و ارتباط آنها در همه‌جا وجود دارند با هر دو جلبک یوکاریوتی و سیانوباکترها به‌خوبی شناخته شده است. عفونت ویروسی همچنین می‌تواند به طور قابل‌توجهی جمعیت جلبک حوضچه را در عرض چند روز کاهش دهد و تغییراتی را در ساختار سلولی جلبک، تنوع و جانشینی ایجاد کند. چرخه تکثیر کوتاه و ویژگی بالای عفونت در میزبان به این معنی است که ویروس ریزجلبکی می‌تواند به‌سرعت میزان جلبک را در کشت کاهش دهد. ویروس‌ها می‌توانند هم سیانوباکتری‌های پروکاریوتی (سیانوفاژ) و هم جلبک‌های یوکاریوتی را آلوده کنند. گروه ویروسی LPP-1 ریزجلبک هدفش سیانوباکتری‌ام بوده و ریزجلبک‌های همچون *Lynbya sp.*، *Phormidium sp*. و *Plectonema* sp میزبان ویروس *Chondrus crispus virus* (CcV) می باشند. CcV بطور خاص ریز جلبک *Chara coralline* را آلوده می کند. در(جدول ۳) سایر ویروسهای شایع ریز جلبکها معرفی شده اند (*et al.*, Coy 2018).

**جدول۳: نمونه هائی از ویروس های انگلی در کشت ریز جلبک**

| کد | سایز (kbp) | نوع ویروس | ریز جلبک میزبان |
|---|---|---|---|
| PBCV-1 | 287–369 | dsDNA | *Chlorella variabilis* |
| CcV | 6 | dsRNA | *Chondrus crispus* |
| Cten DNAV-I | 5.6 | ssDNA | *Chaetoceros tenuissimus* |
| Rset RNAV | 11.2 | ssRNA | *Rhizosolina stigera* |

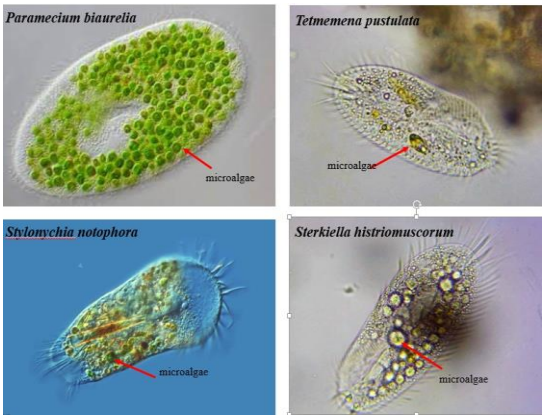
(dsDNA : Double stranded DNA دورشته ایDNA) / ssDNA: : Single stranded DNA ( DNA ) تک رشته ای( DNA

(Double stranded RNA :dsRNA دورشته ای ( kbp: Kilo base pear / RNA ) دورشته ایDNA اندازه گیری (/

**پروتوزوئرها، زئو پلانکتون‌ها:**

کشت در مقیاس بزرگ مستعد چرای زئوپلانکتون‌ها است. از متداول‌ترین زئوپلانکتونهای آلوده‌کننده کشت مژه‌داران (شکل ۱)، روتیفرها (Brachionus calyciflorus و Brachionus plicatilis)، کلادوسراها (Eurytemora affinis ، Centropages hamatus ، Acartia sp., Gladioferens imparipes ) که می‌توانند غلظت جلبک‌ها را کاهش دهند و تولید را در عرض چند روز به سطوح پایین برسانند. در میان این زئوپلانکتون‌ها، مژک‌داران، روتیفرها و کلادوسرهای شکارچی رایج هستند. فعالیت‌های چرای زئوپلانکتون‌ها نیز تحت‌تأثیر عوامل دیگری مانند دما و روشنایی قرار دارد. ریزجلبک‌های مضر احتمالاً سخت‌ترین نوع آلودگی برای کنترل هستند، زیرا خصوصیات بیولوژیکی و فیزیکی آلاینده‌ها بسیار شبیه به گونه‌های موردنظر است (Mooij et al., 2015).

آلودگی متقابل توسط سایر ریزجلبک‌ها اجتناب‌ناپذیر است و به طور گسترده‌ای گزارش شده است. اگر کشت اولیه خالص نباشد و سایر ریزجلبک‌ها قادر به رشد سریع‌تر نسبت به سویه «تولید» باشند، احتمال رشد بیش از حد توسط سایر ریزجلبک‌ها در عمل بالاست. سه‌راه اصلی آلودگی محیط کشت با سایر ریزجلبک‌ها عبارت‌اند از: تماس مستقیم سلولی، رقابت و آللوپاتی. همان‌طور که تراکم سلول‌های ریزجلبک به غلظت معینی می‌رسد، پس از کشت طولانی‌مدت، باعث رقابت فضایی می‌شود و این تماس‌ها منجر به برخوردهای متقابل بین آن‌ها می‌شود، به‌طوری‌که گونه‌های ریزجلبک غالب در طول زمان جایگزین می‌شوند.




**شکل ۱: مژه دران شایع آلوده کننده کشت ریز جلبکها**

## توصیه ترویجی

ازآنجائی‌که شناسایی مولکولی آلودگیها زمان بر و پرهزینه است، امروزه راهبُردهایی که بیشتر مورد توجه و تحقیق است رویکرد بیولوژیکی دارد. از جمله، استفاده بیولوژی از ویروس‌هایی که به قارچ‌ها و همچنین باکتری‌ها حمله می‌کنند تا کشت ریزجلبک‌ها در شرایط هم‌زیست با باکتری‌ها بوده و رابطه انگلی پیدا نکنند. استفاده از روشهای شیمیائی از جمله تریتیکونازول و سایر قارچ‌کش‌ها نیز در زمان ناگزیر متداول است. بااین‌حال باید در نظر داشت، این قارچ‌کش‌ها برای برخی از گونه‌های ریزجلبک سمی گزارش شده است (Bueno *et al.*, 2016).

همان‌طور که اشاره شده جهت حفظ محیط‌های کشت، حفظ تراکم متوسط و برداشت بموقع جهت کنترل رقابت و آللوپتی و بروز سایر زئو پلانکتون‌ها ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اینکه آلودگی می‌تواند ناشی از استریل‌سازی ناکافی تأسیسات، تلقیح، محیط کشت، تأمین آب و گازهای هوادهی باشد. از اینرو مدیریت صحیح مراحل تمیزکردن و ضدعفونی‌کردن، برای جلوگیری از سایر آلودگیها به‌ویژه در سیستمهای پرورش بسته، اهمیت اساسی دارد (Molina-Grima *et al.*,2022). مطالعه فعل‌وانفعالات و روابط آلاینده‌ها و ریزجلبکها برای بهینه‌سازی عملکرد و بهره‌وری از کشت جلبک‌ها باید مدنظر قرار گرفته شود. ازاین‌رو حسب شرایط سیستم پرورش و امکانات موجود طبق (جدول ٤) درمان یا پیشگیری مدنظر قرار گرفته می‌شود.

**جدول ٤: سیستم‌های کنترل آلودگی‌های زیستی ریز جلبک‌ها**

| ماده درمانی | روش درمان |
|---|---|
| نمکهای مس<br>تریتیکونازول<br>تریکلروفون | کنترل شیمیائی |
| پاتوژن مخصوص<br>(۱:۹) توسندانین/سلانگولین | کنترل زیستی |
| فیلتر کردن<br>پالس الکتریکی<br>سونیکیشن با استفاده ا زدستگاه سونیکاتور | کنترل فیزیکی |
| تغییر pH<br>تغییر شوری<br>شوک نوری<br>شوک حرارتی | کنترل شرایط محیطی |

به دلیل تعداد زیاد آلاینده‌های احتمالی و محدودیت‌های تشخیص و کنترل آنها توسط پرورش‌دهنده، پیشگیری و کنترل موفق‌ترین و کم‌هزینه‌ترین راهکار است. هر سیستم باید با توجه به : (۱) راه‌هایی که آلاینده می‌تواند وارد شود (۲) مقدار (نرخ) ورود مواد مغذی در سیستم (۳) زمان رسیدن به تراکم حداکثری کشت؛ راهبُردها پیشگیرانه (جلوگیری از ورود آلاینده‌ها) یا اصلاحی (تلاش برای کنترل یا حذف یک آلودگی ایجاد شده) (جدول ٤) را مد نظر قرار دهد. بررسی روزانه محیط کشت و تشخیص زودهنگام برای جلوگیری از تلفات عمده با نظارت دقیق در طول پرورش ضروری است (Molina *et al*., 2019).

## منابع


Allen, J.; Leflaive, J.; Bringuier, C.; Ten-Hage, L.; Chauvet, E.; Cornut, J.; Danger, M. Allelopathic inhibition of primary producer growth and photosynthesis by aquatic fungi. Fungal Ecol. 2017, 29, 133–138.

Baudy, P.; Zubrod, J.C.; Konschak, M.; Kolbenshlag, S.; Pollit, A.; Baschien, C.; Schulz, R.; Bundschuh, M. Fungal-Fungal and fungal-bacterial interactions in acquatic decomposer communities: Bacteria promote fungal diversity. Ecology 2021, 102, 03471.

Bueno, D.J.; Silva, J.O. Fungi: The Fungal Hypha. In Encyclopedia of Food Microbiology; Batt, C.A., Tortorello, M.L., Eds.; Elsevier:Amsterdam, The Netherlands, 2014; Volume 2, pp. 11–19.

Coy,S., Gann,E., Pound,H., Short, S and Wilhelm,S . Viruses of Eukaryotic Algae: Diversity, Methods for Detection, and Future Directions. Viruses 2018, 10, 487.

Caprio, DI., F.; Proietti Tocca, G.; Stoller, M.; Pagnanelli, F.; Altimaria, P. Control of bacterial contamination in microalgae cultures integrated with wastewater treatment by applying feast and famine conditions. J. Environ. Chem. Eng. 2022, 10, 108262.

Laezza,C., Salbitani,G.,and Simona Carfagna. Fungal Contamination in Microalgal Cultivation: Biological and Biotechnological Aspects of Fungi-Microalgae Interaction. Journal of fungi, Fungi 2022, 8, 1099.

Longcore, J.E. Morphology and zoospore ultrastructure of Entophlyctis luteolus sp. nov. (Chytridiales): Implications for chytrid taxonomy. 1995. Mycologia, 87, 25–33.

Molina,D., Carvalho, JC., Júnior, AIM., Faulds, C., Bertrand,E., Soccol,CR. 2019.Biological contamination and its chemical control in microalgal mass culture. Applied microbiology and biotechnology ,103: 9345-9358.

Molina-Grima, E.; García-Camacho, F.; Acién-Fernández, F.G.; Sánchez-Mirón, A.; Plouviez, M.; Shene, C.; Chisti, Y. Pathogens and predators impacting commercial production of microalgae and cyanobacteria. Biotechnol. Adv. 2022, 55, 107884.

Mooij, P.R.; Stouten, G.R.; Van Loosdrecht, M.C.; Kleerebezem, R. Ecology-based selective environments as solution to contamination in microalgal cultivation. Curr. Opin. Biotechnol. 2015, 33, 46–51.

Sakai, H.; Oguma, K.; Katayama, H.; Ohgaki, S. Effects of low- or medium- pressure ultraviolet lamp irradiation on Microcystis aeruginosa and Anabaena variablili. Water Reserch. 2007, 41, 11–18.

Salbitani, G.; Bolinesi, F.; Affuso, M.; Carraturo, F.; Mangoni, O.; Carfagna, S.2020. Rapid and positive effect of bicarbonate addition on growth and photosynthetic efficiency of the green microalgae Chlorella sorokiniana (Chlorophyta, Trebouxiophyceae). Appl. Sci. 10, 4515.

Santiago-Díaz, P.; Rico, M.; Rivero, A.; Santana-Casiano, M. Bioactive metabolites of microalgae from Canary Islands for functional food and feed uses. Chem. Biodivers. 2022, 19, e202200230.

Scognamiglio, V.; Giardi, M.T.; Zappi, D.; Touloupakis, E.; Antonacci, A. Photoautotrophs-Bacteria Co-Cultures: Advances,Challenges and Applications. Materials 2021, 14, 3027.

Yao, S.; Lyu, S.A.Y.; Lu, J.; Gjermansen, C.; Schramm, A. Microalgae-bacteria symbiosis in microalgal growth and biofuel production: A review. J. Appl. Microbiol. 2019, 126, 359–368.

Yu, B.S.; Lee, S.Y.; Sim, S.J. Effective contamination control strategies facilitating

axenic cultivation of Haematococcus pluvialis:Risks and challenges. Bioresour. Technol. 2022, 344, 126289.

Zhang, C.; Ho, S.-H.; Li, A.; Fu, L.; Zhou, D. Co-culture of Chlorella and Scenedesmus could enhance total lipid production under bacteria quorum sensing molecule stress. J. Water Proc. Eng. 2021, 39, 101739.

Zhu,Z., Jiang,J., and yun Fa. Overcoming the biolobical Contamination in Microalgae and cyanobacteria Mass cultivations for photosynthetic biofuel production. Molecules,2022. Nov;25(22):522.

Zuccaro, G.; Yousuf, A.; Pollio, A.; Steyer, J.P.2019. Microalgae Cultivation for Biofuels Production; Academic Press: Cambridge, MA, USA,; pp. 11–29.