

عوامل تاثیرگذار بر فرآیند تجاری سازی تولید ریزجلبک‌ها

زهرا امینی خوئی^{*}، اشکان اژدری^۱

۱- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، مرکز تحقیقات شیلاتی آبهای دورچابهار، چابهار، ایران

zamini.41@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۸

چکیده

ریزجلبک‌ها، نخستین پایه زنجیره غذایی و مهم‌ترین تولید کنندگان اکسیژن در کره زمین هستند. در سال‌های اخیر تولید زیست‌توده انبوه ریزجلبک‌ها به دلیل ارزش بالای زیستی و امکان کشت و پرورش آنها در زمین‌های شور لم یزرع و آب‌های غیر قابل شرب و کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. از دهه ۱۹۴۰ تاکنون، ایده استفاده از جلبک‌ها به عنوان سوخت زیستی و جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی و همچنین برای تولید غذا و یا دارو مطرح شده است. در این مطالعه، علاوه بر مرور تاریخچه تولید انبوه ریزجلبک‌ها در جهان و ایران سعی شده است، تا مهم‌ترین عوامل تاثیر گذار بر فرایند تولید انبوه آنها در سیستم‌های تجاری مورد بررسی قرار گیرد. مهم‌ترین کلیدهای موفقیت در فرآیند تولید انبوه و اقتصادی ریز جلبک‌ها عبارتند از ۱. انتخاب گونه مناسب برای پرورش با دامنه تحمل بالا در برابر تغییرات شرایط محیطی ۲. طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های مناسب پرورش در استخرهای رو باز یا فتوبیوراکتورهای بسته ۳. استفاده از روش برداشت کم هزینه و کارآمد ۴. بازیافت محیط کشت پس از جمع آوری زی‌توده.

واژه های کلیدی: ریزجلبک، انتخاب گونه، تولید انبوه، برداشت زی‌توده

مقدمه

ریزجلبک‌ها، بیش از صدها سال پیش توسط مردم بومی مکزیک، آفریقا و آسیا از زیستگاه‌های طبیعی و جمعیت‌های وحشی برداشت شده و به عنوان غذا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این وجود، اولین فعالیت‌ها برای تولید آزمایشگاهی آنها از حدود ۱۵۰ سال پیش آغاز شده است و تولید انبوه و تجاری آنها تنها در حدود ۶۰ سال در جهان قدمت دارد. این سابقه کم و کوتاه با کشت و کار گیاهان عالی که از هزاران سال پیش در جهان وجود داشته قابل مقایسه نیست (Aasen *et al.*, 1969). اولین تلاش‌ها برای کشت جلبک در مقیاس صنعتی در خلال جنگ جهانی دوم و برای تامین مواد سوختی و انرژی صورت گرفته است. در دهه ۱۹۷۰ اندیشه بهره‌برداری از جلبک‌ها برای تامین مواد غذایی برای جوامع فقیر شکل گرفت. اما به دلیل هزینه‌های بالای تولید ریزجلبک، توان رقابت با سایر گیاهان استراتژیک مانند غلات و سویا را پیدا نکرد (Cysewski and Lorenz, 2004). در اواسط قرن بیستم مجدداً ایده استفاده از جلبک برای تامین انرژی و تولید گازهایی مانند متان و هیدروژن مطرح شد، اما این بار نیز در مقایسه با فناوری‌هایی مانند استفاده از انرژی خورشید استقبال قابل توجهی از این ایده صورت نگرفت (Radakovits *et al.*, 2010). اخیراً اغلب تحقیقات بر تولید جلبک‌ها با هدف کاربرد آنها در ساخت ترکیبات فراسودمند با نام غذا-دارو در صنایع غذایی و دارویی متمرکز شده است (Spolaore *et al.*, 2006).

هدف از این مطالعه، مروری است بر تحقیقات و فعالیت‌های صورت گرفته در زمینه تولید ریز جلبک‌ها در مقیاس انبوه و تجاری و همچنین واکاوی فرصت‌ها و چالش‌های موجود بر سر راه توسعه و گسترش این صنعت نوپا در جهان می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، جستجو در موتور جستجوی گوگل انجام شده و داده‌ها و مقالات مختلف جمع‌آوری شد. عبارات جستجو در این موضوع شامل "Commercial production of microalgae" بوده است و اغلب مقالاتی که دارای ارتباط بیشتری با موضوع بودند از ژورنال‌های معتبر "Journal of Applied Phycology" و "Algal Research" انتخاب شده‌اند.

تاریخچه پرورش ریزجلبک‌ها در جهان

نخستین فعالیت‌ها برای تولید ریزجلبک‌ها با ایده تولید ریزجلبک *Haematococcus pluvialis* آغاز شد و در ادامه تحقیقات در سال ۱۸۹۰ با کشت *Chlorella vulgaris* در محیط فاقد آلودگی ادامه یافت. اغلب مطالعات در آزمایشگاه برای تعیین نیازهای غذایی و فیزیولوژی ریزجلبک‌ها متمرکز شد. در دهه ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰ تولید در جهت جایگزینی به عنوان سوخت‌های تجدید پذیر شکل گرفت. مطالعات متعددی بر روی کشت وسیع ریز جلبک‌ها در مرکز تحقیقاتی استنفورد آمریکا در سالهای ۱۹۴۸-۱۹۵۰ و در آلمان با موضوع امکان استفاده از دی اکسید کربن توسط ریزجلبک‌ها در پساب صنعتی شکل گرفت (and Eakin, 1986 Anderson). در تحقیق Gummert و همکاران در آلمان در سال ۱۹۵۳، کشت

انبوه *Chlorella pyrenoidosa* در تانک‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ لیتری (با عمق ۱۵-۲۱ سانتی‌متری) به شکل گلخانه ای انجام شد. در روسیه کشت جلبک در محیط‌های رو باز از سال ۱۹۵۷ به طور جدی آغاز شد. در ژاپن سیستم‌های کشت "باز" و "بسته" یا بیورآکتورهای نوری از سال ۱۹۵۸ مورد آزمون قرار گرفت. در دورتموند آلمان حوضچه‌های کانالی ۸۰ متر مربعی با چرخ پره دار برای جلبک‌های آب شیرین *Scenedesmus* و *Coelastrum* ساخته شدند (Tredici et al., 2009). در ژاپن تحقیقات بی‌وقفه ادامه داشت و در نهایت منجر به توسعه این صنعت برای تولید غذای سالم و مکمل غذایی شد و این پیشرفت‌ها در سال‌های بعد به چین و تایوان نیز گسترش یافت (Sing et al., 2013).

بزرگترین واحدهای تولید کننده *D. salina* در استرالیا در حوضچه‌های وسیع و کم عمق غیرمخلوط (هر حوضچه تا ۴۰۰ هکتار و مساحت کلی بیش از ۷۰۰ هکتار) احداث شدند. تولید این جلبک برای محصول با ارزش آن یعنی بتاکاروتن توجه زیادی را به خود جلب کرد. و در حال حاضر بتاکاروتن استخراجی با قیمت هر کیلوگرم ۱۰۰۰-۳۰۰۰ دلار آمریکا بسته به خلوص و نوع محصول در حال خرید و فروش است (Borowitzka, 2013a). جلبک سبز آب شیرین، *Haematococcus pluvialis* نیز برای تولید تجاری آستاگزانتین مورد توجه قرار گرفت (Olaizola, 2000).

فعالیت‌های صورت گرفته در ایران

در کشور ما ایران، علیرغم دسترسی به مناطق ساحلی و آب دریا در شمال و جنوب کشور و همچنین وجود روزهای آفتابی کافی و نور مناسب به ویژه در سواحل جنوبی تاکنون هیچ سایت تولید انبوه و تجاری دایر نشده است. بنابراین هیچ گونه اطلاعات و یا گزارش رسمی منتشر شده در مورد فعالیت سایت تولید انبوه ریزجلبک در هیچ نقطه ای از ایران دسترس نیست. به همین دلیل امکان تحلیل و مقایسه اطلاعات تولید تجاری ایران یا سایر نقاط دنیا وجود ندارد. با این حال در مطالعه حاضر سعی خواهد شد به بخشی از اطلاعات در دسترس مربوط به پروژه‌های تحقیقاتی در مقیاس‌های نیمه انبوه در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی اشاره گردد.

به طور کلی، مطالعات در مورد کشت انبوه و دستورات عمل‌های تولید ریزجلبک‌های تجاری در ایران از اواخر دهه ۶۰ در دانشگاه شهید بهشتی توسط آقای دکتر ریاحی و در ادامه خانم دکتر سلطانی با طرح پژوهشی کشت، داشت و برداشت جلبک اسپیرولینا در مقیاس آزمایشگاهی آغاز شد و در ادامه این مسیر در سال‌های بعد کار بر روی سایر گونه‌ها به ویژه سیانوباکترهای آب‌های شیرین و سایر ریزجلبک‌های اکوسیستم‌های آبی داخلی ایران توسط این محققین و همکاران و دانشجویان ایشان در این دانشگاه همچنان ادامه یافت (Hokmollahi et al., 2017; Heydari et al., 2020). در مورد پرورش گونه‌های آب شور نیز تحقیقاتی توسط سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و به ویژه موسسه علوم شیلاتی کشور انجام شده است. برای مثال دستورات عمل کشت انبوه ریزجلبک، *Nannochloropsis oculata* در ایستگاه ماهیان دریایی بندر امام خمینی

(ره) توسط پقه و همکاران (۱۳۸۹)، منتشر شد. یک دستورالعمل یا شیوه نامه تولید ریزجلبکها نیز توسط دفتر امور میگو و آبزیان آب شور، سازمان شیلات ایران در سال ۱۳۹۳ منتشر شد (ناجی، ۱۳۹۳). در زمینه بررسی امکان سنجی کشت و تولید گسترده ریزجلبک در کشور، لباب پور در سال ۱۳۹۶، مطالعه ای در مورد مکان یابی کشت صنعتی جلبک در سواحل خلیج فارس و دریای عمان انجام داد. داده های مکانی این تحقیق نشان داد که امکان گسترش صنعت ریزجلبک در سواحل خلیج فارس و دریای عمان در ۵۷ نقطه مناسب وجود دارد. علاوه بر آن حداقل ۳۸ نقطه تولید گاز دی اکسیدکربن عمدتاً در استان-های خوزستان و بوشهر شناسایی شد و امکان تولید بیش از ۵۴۰۰۰۰ تن زی توده ریزجلبک در هر دوره کشت در سواحل خلیج فارس و دریای عمان پیش بینی شد. سایر مطالعات در مقیاس آزمایشگاهی در دانشگاههای مختلف کشور صورت گرفته است که در اغلب آنها سویه های بومی اکوسیستم های آب های داخلی و مناطق ساحلی جداسازی و تاثیر عوامل محیطی و مواد مغذی بر روند رشد آنها بررسی شده است. با این حال هنوز در کشور نیاز به مطالعات پایلوت تحقیقاتی-تجاری وجود دارد تا گام محکم تری در جهت تولید انبوه و راه اندازی صنعت جدید تولید ریزجلبک برداشته شود.

عوامل موثر بر تولید تجاری ریزجلبکها

انتخاب گونه

اولین قدم مطمئن در فرآیند تجاری سازی تولید ریزجلبک، انتخاب گونه و سویه های مناسب برای کشت است. سویه های انتخابی بایستی قادر به تحمل دامنه وسیعی از شرایط محیطی دما، شوری، نور و pH باشند (Abou-Shanab *et al.*, 2011). برای مثال، سویه های که از نواحی با تابش آفتاب زیاد جدا شده اند بهره وری مناسب تری دارند. زیرا می توانند دماهای بالا (۳۵-۴۰ درجه) را تحمل کنند (Kobiyama *et al.*, 2010). از نظر شوری و شدت نور نیز جلبک هایی با قدرت تحمل بالای نور و شوری مناسب ترند. زیرا در محیط های بسیار شور امکان آلودگی توسط میکروارگانیسم های مزاحم کاهش یافته و کشت ها مدت طولانی تری دوام دارند (Key *et al.*, 2010 ; Kromkamp *et al.*, 2009). عامل کلیدی دیگر در انتخاب گونه، قدرت تحمل تغییرات pH و سازگاری با منابع مختلف کربن است. در حال حاضر در دنیا چند گونه در مقیاس تجاری تولید می شوند که در محیط های انتخابی رشد می کنند. برای مثال *D. salina* در درجه های شوری بالا رشد می کند، *Chlorella* در غلظت های بالای مواد غذایی و *Arthrospira (Spirulina)* در شرایط بی کربنات زیاد و pH بالا رشد می کند (Borowitzka, 2013b).

در ایران بیشتر گونه‌های مورد استفاده در آبی پروری مانند *Isochrysis* ، *Nannochloropsis oculata* ، *Nannochloropsis Spirulina platensis* ، *Thalassiosira weissflogii* ، *Chaetoceros* ، *Tetraselmis* ، *Skeletonema costatum* ، *gaditana* اغلب برای تولید انبوه در کارگاه‌های تکثیر انتخاب شده اند.

انتخاب سیستم‌های پرورشی

در حال حاضر چندین تکنولوژی اصلی برای تولید ریز جلبک‌ها پیشنهاد شده است. ۱- حوضچه‌های وسیع روباز (استخرهای بدون اختلاط) ۲- حوضچه‌های دراز آبراهه ای روباز ۳- بیورآکتور نوری بسته ۴- راکتورهای تخمیری بسته. رایج ترین سیستم تجاری مورد استفاده حوضچه‌های دراز آبراهه ای کم عمق هستند که در آن سوسپانسیون با یک هواده پارویی یا چرخ پره دار مخلوط می‌شود (Ahrens et al., 2009). ابتدایی ترین سیستم تولید، استخرهای وسیع، کم عمق و بدون اختلاط هستند که هزینه نسبتاً ارزان دارند ولی در مقابل کنترل دما و سایر عوامل محیطی در این سیستم‌ها قابل کنترل نیست و امکان ایجاد آلودگی توسط جلبک‌های دیگر، باکتری‌ها و پرتوزوا نیز وجود دارد. این سیستم‌ها در حال حاضر اغلب برای تولید تجاری ریز جلبک دونالیلا سالینا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Borowitzka and Moheimani, 2013). موفقیت در این سیستم تنها با انتخاب سوبه مناسب و مکان مطلوب برای ایجاد سایت‌های کشت و پرورش امکان پذیر است. یکی دیگر از سیستم‌هایی که در محیط روباز مورد استفاده قرار می‌گیرد حوضچه‌های دراز آبراهه ای یا (Raceway pond) هستند. در این سیستم نیز به دلیل استفاده از دی اکسید کربن جو مزایای زیست محیطی همراه با اهداف اقتصادی حاصل می‌شود. با این حال، بهره وری زیست توده نسبتاً پایین است که منجر به هزینه‌های بالاتر در فرآیندهای پایین دست (به عنوان مثال، برداشت و خشک کردن) می‌شود (Grobbelaar and Soeder, 1985; Hase et al., 2000).

در ایران سیستم کشت رو باز در تانک‌ها دایره ای یا مستطیلی بیشتر مورد استفاده قرار گرفته اند. با توجه به معایب سیستم رو باز که عدم کنترل شرایط محیطی و امکان آلودگی بالا می‌باشد، تلاش‌ها در جهت طراحی سیستم‌های فتوبیوراکتورهای بسته گسترش یافت. در این سیستم‌ها شاخص‌های رشد مانند دما بهتر کنترل می‌شوند و نسبت به آلودگی کمتر مستعدند اما به‌طور کامل مصون نیستند. نسبت سطح به حجم بالا دارند که بازدهی سیستم را بالا می‌برد. تبخیر کم دارند بنابراین هدر رفت آب محدودی دارند. طرح‌های متعددی برای تولید در این سیستم طراحی و ساخته شده‌اند که بر اساس شکل (لوله ای و تخت)، شیب آنها نسبت به زمین (افقی، عمودی، زاویه دار و مارپیچی)، نحوه اختلاط و جابجایی مواد توسط پمپ یا هوا، تک فاز یا دو فاز بودن و جنس (شیشه ای و پلاستیکی) طبقه‌بندی می‌شوند (Rodolfi et al., 2009). مهم‌ترین فاکتور در طراحی این سیستم ضخامت راکتور و میزان نور عبوری و در دسترس سلول‌ها است. پارامترهای مهم مانند اختلاط کارآمد، گرم / سرد کردن، تأمین دی اکسید کربن و حذف اکسیژن بر عملکرد راکتور به طور دقیق در مقیاس حقیقی مورد آزمون قرار

نگرفته است (Babcock *et al.*, 2002). از نقاط ضعف این سیستمها هزینههای زیاد و مقیاسپذیری پایین آنها است. بسیاری محققین معتقدند که سیستمهای تلفیقی می‌توانند در مقیاسهای تجاری استفاده شوند، بدین صورت که از بیوراکتورها برای تولید در مراحل اولیه و استوک‌های عاری از آلودگی استفاده کنند و سپس با انتقال آنها به استخرهای رو باز در جهت افزایش مقیاس پیش روند (Carlozzi, 2003). Hejazi و همکاران (۲۰۰۴) نیز فتوبیوراکتور مخصوص کشت جلبک دونالیلا را طراحی و برای کشت انبوه پیشنهاد دادند. اختصاصات، مزایا، معایب، میزان تولید زی توده و هزینههای تولید و سرمایه‌گذاری هر یک از سیستمهای تولید تجاری ریزجلبک در جدول شماره ۱ به اختصار آورده شده است (Ugwu *et al.*, 2008; Ozkan *et al.*, 2012).

جدول ۱- مزایا و معایب سیستمهای تجاری پرورش ریزجلبکها

سیستم تولید	مزایای	معایب	تولید زی توده	هزینه تولید	هزینه سرمایه
استخرهای آبرا هی ای Raceway pond	سرمایه گذاری کم، هزینه های عملیاتی کم، امکان نظافت آسان، امکان استفاده از زمین های لم یزرع، نگهداری آسان و استرس هیدرودینامیکی کم روی جلبک ها	بهره وری زی توده ضعیف، مساحت زیاد زمین مورد نیاز، محدود به چند گونه جلبک، اختلاط ضعیف، نور و راندمان استفاده از CO ₂ ، امکان آلودگی کشت، کنترل دما دشوار	۴-۲۱ (گرم بر متر مربع در روز)	۸-۱۵\$ دلار آمریکا	۲۰\$ در متر مربع
فتوبیوراکتورهای بسته راکتورهای لوله مانند Tubular	سطح روشنایی بزرگ مناسب برای کشت های فضای باز (outdoor cultures) ، نسبتاً ارزان بهره وری زیست توده مناسب	رشد روی دیواره رسوب، نیاز به فضای بزرگ، اختلاف pH، اکسیژن و CO ₂ محلول در امتداد لوله ها	۱۳-۴۷٫۷ (گرم بر متر مربع در روز)	۵۰\$ دلار آمریکا	۲۰-۴۰\$ در متر مربع
فتوبیوراکتورهای بسته صفحه تخت Flat plate	تولید بالای زیست توده، امکان نظافت آسان، مسیر نور خوب، سطح روشنایی بزرگ، مناسب برای کشت های فضای باز	مقیاس پذیری دشوار ، کنترل دما دشوار ، استرس هیدرودینامیکی کم، امکان رشد بر روی دیوار	۲-۱۰،۲-۲۲٫۸ (گرم بر متر مربع در روز)		
فتوبیوراکتورهای بسته ستونی Column	فشرده، مصرف فضای کم، انتقال جرم زیاد، مصرف کم انرژی، اختلاط خوب با استرس برشی کم، تمیز سازی آسان، مهار نوری و فوتوکسیداسیون کم	منطقه روشنایی کوچک، در مقایسه با استخرهای باز گران قیمت، استرس برشی، ساخت و ساز پیچیده، سرمایه‌گذاری بالا و هزینه-های عملیاتی بالا			

انتخاب سیستم برداشت زی توده ریز جلبک

برای تولید محصولات مختلف از ریزجلبک ضروری است که زی توده به دست آمده در مرحله پرورش از محیط کشت آبی آنها جمع آوری و برداشت گردد. طی این فرآیند محیط کشت رقیق جلبک که معمولاً غلظت ۰/۰۲ و ۰/۰۵ درصد مواد جامد معلق دارد تا ۵-۲۵ درصد غلیظ ترمی گردد. برداشت کارآمد، یکی از مولفه‌های اصلی موفقیت در تولید انبوه است و هزینه‌های این عملیات تقریباً ۲۰-۳۰ درصد کل هزینه‌های تولید را شامل می‌شود (Jacobi and Posten, 2013). بنابراین محققان معتقدند مهم‌ترین چالش جدی در تجاری‌سازی تولید ریزجلبک‌ها عملیات برداشت و بازیافت آنها است. چند عامل مختلف سبب شده که فرآیند برداشت دشوار و همرا با مصرف انرژی بالا باشد که عبارتند از ۱- اندازه کوچک سلول‌های ریزجلبک و بار منفی سطح سلول‌ها. از نظر مورفولوژی گونه‌های بزرگ‌تر، رشته ای یا کلنی‌زی *Arthrospira*, *Skeletonema*, *Chaetoceros* یا *Botryococcus* با فیلتراسیون برداشت می‌شوند. پوشش سلولی سیلیکایی دیاتومه‌ها یا *coccolith* های جلبک‌های *coccolithophorid*، سلول‌ها را سنگین تر می‌کند و امکان پیش انباشت سلول‌ها را با نشست احتمالی‌شان فراهم کرده و بنابراین برداشت این جلبک‌ها را تسهیل می‌کند. ۲- تراکم پایین زی توده در سیستم‌های کشت. ۳- هزینه‌های تجهیزات بالا (مخصوصاً در سیستم‌های کشت آب شور). با این وجود فن‌آوری‌های مختلف برای جداسازی فاز مایع-جامد مورد استفاده قرار گرفته‌اند که به سه گروه شیمیایی، مکانیکی و الکتریکی تقسیم می‌شوند که روش شیمیایی شامل لخته‌سازی و تغلیظ، روش‌های مکانیکی از طریق سانتریفیوژ و روش الکتریکی با انعقاد الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Vanhoutte and Vanhoutte, 2010). مزایا و معایب روش‌های مختلف جمع‌آوری و برداشت در جدول شماره ۲ بررسی و مقایسه گردیده‌است (Show et al., 2013; Barros et al., 2015).

جدول ۲- روش‌های مختلف برداشت زی توده ریزجلبک‌ها

روش‌های برداشت	مزایا	معایب
لخته سازی	به کارگیری آسان	بسیار حساس به pH محیط، نیاز به منعقد کننده های شیمیایی اضافی در آب شور، مقرون به صرفه نبودن از نظر اقتصادی
سانتریفیوژ	بازدهی بالا، مناسب برای ریزجلبک یا سلول های ریز و درشت	صدمات حاصل از تنش برشی در سرعت بالا، مصرف بالای انرژی، مقرون به صرفه نبودن از نظر اقتصادی
فیلتراسیون	عدم نیاز به اضافه کردن مواد شیمیایی، بکارگیری آن برای مقیاس های بزرگ	قابلیت محدود تکنیکی و اقتصادی
تغلیظ یا شناوری	عدم نیاز به اضافه کردن مواد شیمیایی، بکارگیری آن برای مقیاس های بزرگ	قابلیت محدود تکنیکی و اقتصادی

رسوب و ته نشینی	مقرون به صرفه از نظر اقتصادی	به دلیل سرعت پایین مناسب برای ریزجلبک های بزرگ
انعقاد الکتریکی و الکتروفورز	عدم نیاز به افزودن مواد شیمیایی، بازدهی بالا	نیاز به انرژی الکتریکی زیاد، قیمت بالای الکترودها در مقیاس صنعتی

پس از عملیات برداشت، مرحله بازیافت و استفاده مجدد از محیط کشت که دارای مقادیر قابل توجهی از مواد مغذی است، منجر به کاهش هزینه های مربوط به مواد مغذی ضروری خواهد شد. از طرفی دور ریختن این محیط و تخلیه حجم های زیادی از آب غنی از مواد مغذی منجر به یک معضل زیست محیطی خواهد شد (Jacobi and Posten, 2013) بنابراین بازیافت پس از برداشت مسئله بسیار مهمی در فرآیند تولید است. اما یک چالش جدی در این بخش نیز وجود دارد و آن هم امکان آلودگی محیط کشت بازیافت شده با آلاینده ها و/یا انواع سلول با ویژگیهای نامطلوب بسته به فرایند برداشت مورد استفاده است (Wiley et al., 2009).

نتیجه گیری نهایی

بیشتر اطلاعات مربوط به تولید انبوه و تجاری در مقالات علمی یافت نمی شوند و این اطلاعات تنها در گزارشات پیمانکاران و متخصصان بخش خصوصی وجود داشته که به راحتی در دسترس عموم قرار نگرفته است. در حال حاضر در برخی کشورهای اروپایی همچنان هدف از تولید ریزجلبک تولید سوخت است اما یک محاسبه ساده نشان می دهد که با وجود پیشرفت های صورت گرفته تولید سوخت از ریز جلبک ها حداقل ۲,۶۶ دلار در هر کیلوگرم هزینه دارد که همچنان قابل رقابت با سوخت های فسیلی با قیمت ۱,۰۵ دلار در هر کیلوگرم نیست. بنابراین به نظر می رسد، هنوز هم بایستی مطالعات و ملاحظات بیشتری در راستای بهینه سازی سیستم های تولید صورت گیرد تا توان رقابت با سایر منابع انرژی فراهم آید.

یافته ترویجی

ریزجلبک های دریایی به عنوان غذای انسان و در بخش کشاورزی به عنوان مکمل غذایی دام و طیور و آبزیان و کود کشاورزی مورد توجه قرار دارند. همچنین در بخش های صنعت نیز در تولید محصولات آرایشی، دارویی و یا به عنوان منابع سوختی زیستی و در تصفیه فاضلاب ها نیز کاربرد دارند. با توجه به موارد مصرف گسترده آنها کشت انبوه و تولید تجاری زی توده آنها از اهمیت ویژه برخوردار است. در کشور ما به ویژه در مناطق ساحلی جنوب ایران زمین های وسیع لم یزرع و آب و هوای گرم و روزهای آفتابی زیاد در طول سال وجود دارد، لذا شرایط پرورش تا حدود زیادی مهیای تولید انبوه این میکروارگانیسم های

گیاهی می‌باشد. بنابراین می‌توان طرح‌های تولید ریز جلبک در سیستم‌های انبوه و تجاری را با جدیت بیشتری طراحی و راه-اندازی کرد.

منابع

- بقعه، ا.، رنجبر، ا.، کاهکش، ش. و ذبایح نجف آبادی، م.، ۱۳۸۹. نمودار رشد ریز جلبک *نانوکلروپسیس اوکولاتا* (*Nannochloropsis oculata*) در کشت‌های استوک و کشت‌های بیرون (Outdoor). علوم آبریان، ۱ (۲): ۱۱-۲۱.
- ناجی، م.، ۱۳۹۳. دستورالعمل یا شیوه نامه تولید ریزجلبک‌ها. سازمان شیلات ایران. دفتر امور میگو و آبریان آب شور.
- لباب پور، ع.، ۱۳۹۶. مکان بابی کشت گسترده صنعتی جلبک: مطالعه موردی درسواحل خلیج فارس و دریای عمان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۷(۴۷): ۲۲۷-۲۳۹.
- Aasen, A., Eimhjellen, K. and Liaaen-jensen, S., 1969. An extreme source of beta-carotene. *Acta chemica scandinavica*, 23 : 2544.
- Abou-shanab, R. A., Hwang, J.-H., Cho, Y., Min, B. and Jeon, B.-H., 2011. Characterization of microalgal species isolated from fresh water bodies as a potential source for biodiesel production. *Applied energy*, 88: 3300-3306.
- Ahrens, T., Fowler, B., Gay, M., Heifetz, P., Lewnard, J., Lockwood, K., Prapas, J., Pulz, O., Walker, M. and Wilson, C., 2009. Photobioreactor systems and methods incorporating cultivation matrices. PCT Patent Application WO2009/129396 (22 October 2009).
- Anderson, D. and Eakin, D. A., 1986. process for the production of polysaccharides from microalgae. *Biotechnology and bioengineering symposium*, 533-547.
- Babcock, R. W., Malda, J. and Radway, J. C., 2002. Hydrodynamics and mass transfer in a tubular airlift photobioreactor. *Journal of applied phycology*, 14: 169-184.
- Barros, A.I., Gonçalves, A.L., Simões, M. and Pires, J.C., 2015. Harvesting techniques applied to microalgae: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 41: 1489-1500.
- Borowitzka, M. A., 2013a. High-value products from microalgae—their development and commercialisation. *Journal of Applied Phycology*, 25: 743-756.
- Borowitzka, M. A., 2013b. Energy from microalgae: a short history. *Algae for biofuels and energy*. Springer.
- Borowitzka, M. A. and Moheimani, N. R., 2013. Sustainable biofuels from algae. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18: 13-25.
- Carlozzi, P., 2003. Dilution of solar radiation through “culture” lamination in photobioreactor rows facing south–north: a way to improve the efficiency of light utilization by cyanobacteria (*Arthrospira platensis*). *Biotechnology and bioengineering*, 81: 305-315.

- Cysewski, G. and Lorenz, R. T., 2004. Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products—species of high potential. *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*, 281.
- Gummert, F., Meffert, ME., Stratmann, H., 1953. Nonsterile large-scale culture of *Chlorella* in greenhouse and open air. In: Burlew JS (ed) *Algal culture: from laboratory to pilot plant*. Carnegie Institution of Washington, Washington, DC, pp 166–176
- Grobbelaar, J. U. and Soeder, C. J., 1985. Respiration losses in planktonic green algae cultivated in raceway ponds. *Journal of plankton research*, 7, 497-506.
- Hase, R., Oikawa, H., Sasao, C., Morita, M. and Watanabe, Y., 2000. Photosynthetic production of microalgal biomass in a raceway system under greenhouse conditions in Sendai city. *Journal of bioscience and bioengineering*, 89, 157-163.
- Heydari, F., Agha shariatmadari, Z. and Riahi, H., 2020. Screening of Extremophile Microalgae Isolated from High Background Radiation Areas as Source of Bioactive Materials. *Current Bioactive Compounds*, 16:407-414.
- Hejazi, M.A., Holwerda, E. and Wijffels, R.H., 2004. Milking microalga *Dunaliella salina* for β -carotene production in two-phase bioreactors. *Biotechnology and bioengineering*, 85(5), pp.475-481.
- Hokmollahi, F., Riahi, H., Soltani, N., Shariatmadari, Z. and Hakimi Meybodi, M.H., 2017. A taxonomic study on non-heterocystous filamentous cyanoprokaryotes from soil of Yazd Province, Iran. *Iranian Journal of Botany*, 23(1): 61-71.
- Jacobi, A. and Posten, C., 2013. *Energy considerations of photobioreactors. Algae for biofuels and energy*. Springer.
- Key, T., Mccarthy, A., Campbell, D. A., Six, C., Roy, S. and Finkel, Z. V., 2010. Cell size trade-offs govern light exploitation strategies in marine phytoplankton. *Environmental microbiology*, 12, 95-104.
- Kobiyama, A., Tanaka, S., Kaneko, Y., Lim, P.-T. and Ogata, T., 2010. Temperature tolerance and expression of heat shock protein 70 in the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* (Dinophyceae). *Harmful Algae*, 9, 180-185.
- Kromkamp, J. C., Beardall, J., Sukenik, A., Kopecký, J., Masojídek, J., Vanbergeijk, S., Gabai, S., Shaham, E. and Yamshon, A., 2009. Short-term variations in photosynthetic parameters of *Nannochloropsis* cultures grown in two types of outdoor mass cultivation systems. *Aquatic Microbial Ecology*, 56, 309-322.

- Olaizola, M., 2000. Commercial production of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* using 25,000-liter outdoor photobioreactors. *Journal of Applied Phycology*, 12, 499-506.
- Ozkan, A., Kinney, K., Katz, L., and Berberoglu, H., 2012. Reduction of water and energy requirement of algae cultivation using an algae biofilm photobioreactor. *Bioresour. Technol.*, 114, 542-548.
- Radakovits, R., Jinkerson, R. E., Darzins, A. and Posewitz, M. C., 2010. Genetic engineering of algae for enhanced biofuel production. *Eukaryotic cell*, 9, 486-501.
- Rodolfi, L., Chinizittelli, G., Bassi, N., Padovani, G., Biondi, N., Bonini, G. and Tredici, M. R., 2009. Microalgae for oil: Strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnology and bioengineering*, 102, 100-112.
- Show, K.Y., Lee, D.J. and Chang, J.S., 2013. Algal biomass dehydration. *Bioresource technology*, 135, pp.720-729.
- Sing, S. F., Isdepsky, A., Borowitzka, M. A. and Moheimani, N. R., 2013. Production of biofuels from microalgae. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18, 47-72.
- Spolaore, P., Joannis-cassan, C., Duran, E. and Isambert, A., 2006. Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*, 101, 87-96.
- Tredici, M., Biondi, N., Ponis, E., Rodolfi, L. and Zittelli, G. C., 2009. Advances in microalgal culture for aquaculture feed and other uses. *New technologies in aquaculture*. Elsevier.
- Ugwu, C.U., Aoyagi, H., and Uchiyama, H., 2008. Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresour. Technol.*, 99, 4021-4028.
- Vanhoutte, K. and Vanhoutte, J., 2010. Method for harvesting algae or plants and device used thereby. Google Patents.
- Wiley, P. E., Brenneman, K. J. and Jacobson, A. E., 2009. Improved algal harvesting using suspended air flotation. *Water Environment Research*, 81, 702-708.

Factors affecting the commercialization process of microalgae production

Zahra Aminikhoei¹, Ashkan Ajdari¹

1- Agricultural Research Educations and Extension Organization, Iranian Fisheries Science Research Institute, Offshore fisheries Research Center, Chabahar, Iran.

zamini.41@gmail.com

Abstract

Microalgae are the first base of the food chain and the most important producers of oxygen on earth. In recent years, mass production of microalgae has been considered due to its high biological value and the possibility of their cultivation in saline and non-potable water and agriculture fields. Since the 1940s, the idea of using algae as a biofuel and replacing it with fossil fuels, as well as for food or medicine, has been proposed. In this study, in addition to reviewing the history of mass production of microalgae in the world and Iran, an attempt has been made to examine the most important factors affecting their mass production process in commercial systems. The most important keys to success in the process of mass production and economics of microalgae are 1. Selection of suitable species for production with high tolerance range against changes in environmental conditions 2. Design and operation of suitable production systems in open ponds or closed photobioreactors 3. Use of low cost and efficient harvesting method 4. Recycling of culture medium after biomass collection.

Keywords: Microalgae, Species selection, Mass production, Biomass harvesting