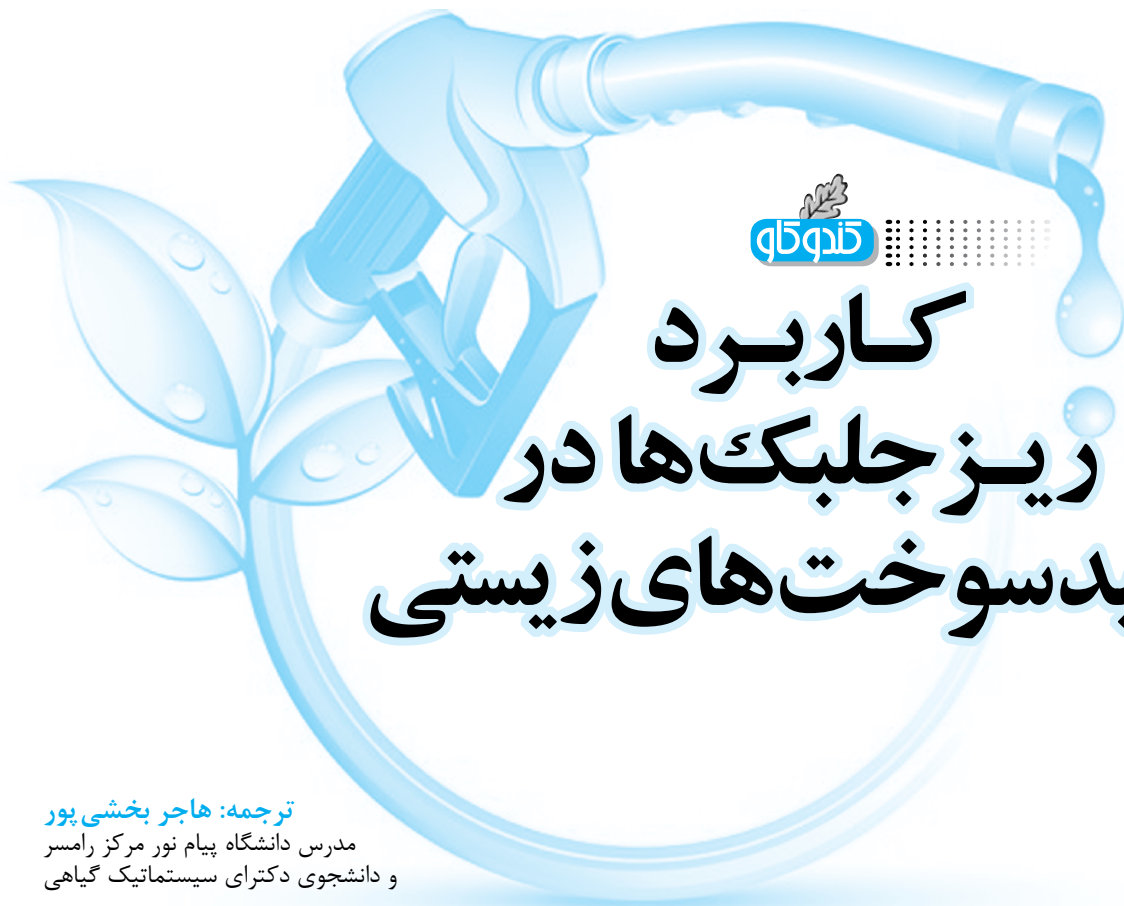




کاربرد ریز جلبک‌ها در تولید سوخت‌های زیستی

ترجمه: هاجر بخشی‌پور

مدرس دانشگاه پیام نور مرکز رامسر
و دانشجوی دکترای سیستماتیک گیاهی

مقدمه

درک استفاده مناسب و مؤثر از انرژی پاک برای آینده یکی از چالش‌های نگران‌کننده جامعه است و ارتباط نزدیکی با ثبات کره زمین، ترقی اقتصادی و کیفیت زندگی دارد. سوخت‌ها حدود ۷۰ درصد کل احتیاجات انرژی کره زمین را به ویژه در حمل و نقل، صنعت و گرمای خانگی شامل می‌شوند. در حال حاضر الکتریسیته، ۳۰ درصد مصرف انرژی دنیا را به خود اختصاص داده است. در اتحادیه اروپا بخش حمل و نقل، مسئول نشر ۲۵ درصدی گازهای گلخانه‌ای است. پس لازم است روش‌های کاهش این خروج را بررسی کنیم. وسایل نقلیه باید تمیزتر باشند و کارایی سوخت‌ها افزایش یابد و باز میزان وابستگی به سوخت‌های فسیلی کاسته شود. سوخت‌های دیزلی باید از منابع تجدیدشدنی، غیرسمی و زیست تجزیه‌پذیر تهیه شوند (۵).

کلیدواژه‌ها: دیزل زیستی، هیدروژن زیستی، متان زیستی.

تعریف سوخت‌های زیستی

سوخت‌های زیستی^۱، نوعی سوخت است که از منابع زی توده به دست می‌آید. یعنی ماهیت سوخت زیستی به گیاهانی برمی‌گردد که فقط چند ماه یا چند سال از برداشت آن‌ها می‌گذرد.

* آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین محدود بودن ذخایر این نوع سوخت‌ها سبب شده است انرژی حاصل از سوخت‌های زیستی، بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد

انواع سوخت‌های تولیدی زیستی

اتانول مایع، متانول، دیزل زیستی^۲ سوخت‌های دیزل گازی مانند بیوهیدروژن و بیومتان از انواع سوخت‌های زیستی هستند. آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف است انرژی حاصل از سوخت‌های زیستی، بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. سوخت دیزلی زیستی و اتانول زیستی از مهم‌ترین سوخت‌های زیستی هستند که می‌توان از آن‌ها در صنعت حمل و نقل استفاده

نیشکر و چغندر قند تولید می‌شود. به‌طور کلی منابع اولیه سوخت‌های زیستی در ضایعات چوبی، تفاله‌های محصولات کشاورزی، نیشکر، غلات، روغن گیاهان و سبزیجات، پسماندهای روغن، روغن گیاهان

تازه و محصولات غیرخوراکی (مانند روغن جلبک‌ها) اشاره کرد(۶).

مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده سوخت‌های زیستی

سوخت‌زیستی اولین‌بار در دهه ۷۰ در برزیل تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. برزیلی‌ها از بقایای نیشکر اتانول تهیه کردند

و در کنار بنزین آن را به عنوان سوخت کمکی به کار بردند. امروزه ۲۰ درصد از سوخت مصرفی برزیل دارای منشأ گیاهی است و این کشور توانسته است وابستگی خود را به سوخت‌های فسیلی کاهش دهد. در اروپا کشت گیاهان

برای تهیه سوخت‌زیستی در دهه ۸۰ به عنوان گزینه‌ای برای استفاده از زمین‌هایی که به علت تولید بیش از حد محصولات کشاورزی بی‌استفاده مانده بود، معمول شد. بعدها نگرانی روزافزون جهانی از تأثیرهای مخرب سوخت‌های فسیلی بر وضعیت محیط زیست باعث شد که سوخت زیستی به عنوان سوخت سبز مورد توجه کشورهای اروپایی قرار گیرد. هدف اتحادیه اروپا برای کاربرد سوخت‌های گیاهی آن است که تا سال ۲۰۲۰ سهم سوخت با منشأ گیاهی ۱۰ درصد کل سوخت مصرفی اتحادیه اروپا باشد (۱).

چرا ریزجلبک‌ها به عنوان منبع سوخت زیستی انتخاب می‌شوند؟

ریزجلبک‌ها^۳ گروهی از میکروارگانیسم‌های فتوسنتزی ساده‌ای یا چندسلولی هستند که رشد سریع دارند و تا مادامی که انرژی نور خورشید را با کارایی ۱۰ تا ۵۰ مرتبه بیشتر از سایر گیاهان خاکی به دام ببندازند، توانایی تثبیت کربن دی اکسید را دارند. البته این ریزجلبک‌ها هم شامل جلبک‌های پروکاریوتی مانند سیانوباکتری‌ها و هم جلبک‌های یوکاریوتی

مانند کلروفیتا و باسیلاریوفیتا هستند. از آنجا که سوخت‌های زیستی از محصولات روغنی مانند دانه کلم، سویا، آفتابگردان و نخل تولید می‌شوند، گروهی از محققان مؤسسه فناوری در کره جنوبی به منظور جلوگیری از مصرف مواد غذایی در تولید سوخت‌های زیستی، از ریزجلبک‌ها به عنوان جانشین مناسب برای تولید سوخت زیستی استفاده

*** سوخت‌زیستی اولین‌بار در دهه ۷۰ در برزیل تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. برزیلی‌ها از بقایای نیشکر اتانول تهیه کردند و در کنار بنزین آن را به عنوان سوخت کمکی به کار بردند**

کردند. زیرا تحت شرایط کشت مناسب، تولید زی‌توده و روغن ریزجلبک‌ها نسبت به گیاهان آوندی بسیار بیشتر است. برخی از گونه‌های ریزجلبکی سرشار از روغن هستند که می‌توان روغن را استخراج کرد و سپس با استفاده از فناوری موجود، فرایند فرآوری و پالایش را طی کرد و به شکل سوخت‌های وسایل نقلیه مورد استفاده قرار داد. به گفته این گروه تحقیقاتی، از جمله فواید ریزجلبک‌ها نسبت به گیاهان عالی عبارتند از:

۱. می‌توان به میزان جذب بالای کربن دی اکسید، رشد سریع و امکان در ۶ دوره طی یک سال و یا حتی برداشت روزانه

*** هر سلول جلبکی از نظر فتوسنتزی فعال است، در حالی که تنها یک مجموعه از سلول‌های گیاهان عالی فتوسنتز انجام می‌دهند**

آن‌ها اشاره کرد.

۲. به علت نداشتن ساختار چوبی در این گیاهان، جلبک‌های دریایی نیازی به آماده‌سازی اولیه برای تبدیل به سوخت زیستی ندارند. ۳. هر سلول جلبکی از نظر فتوسنتزی

فعال است، در حالی که تنها یک مجموعه از سلول‌های گیاهان عالی فتوسنتز انجام می‌دهند.

۴. سلول جلبکی می‌تواند مواد غذایی معدنی را مستقیماً از محیط اطراف جذب کند. بنابراین جلبک به مصرف انرژی، انتقال طولانی مسافت مواد غذایی از طریق ریشه و ساقه تکیه نمی‌کند.

۵. فرایند فتوسنتز علاوه بر نور به CO₂ نیز نیازمند است. در گیاهان بافت فتوسنتزی می‌تواند به کربن دی اکسید فقط از طریق روزنه‌ها دسترسی داشته باشد. این منافذ همیشه باز نیستند و مسیر انتشار CO₂ از سطح

بافت فتوسنتزی در گیاهان عالی نسبت به یک سلول فتوسنتزکننده در ریزجلبک‌ها طولانی‌تر است و با افزایش ضخامت ساختار فتوسنتزی، این مسیر طولانی‌تر می‌شود. بنابراین جلبک‌ها CO₂ را آسان‌تر از گیاهان آوندی در اختیار می‌گیرند و این در رشد نسبتاً سریع جلبک‌ها تأثیر دارد.

۶. از طرفی به عنوان یک منبع اصلی، متوسط کارایی تولید دی‌زلیستی از ریزجلبک‌ها می‌تواند ۱۰ تا ۲۰ مرتبه بیشتر از متوسط تولیدی باشد که از دانه‌های روغنی یا روغن‌های گیاهی حاصل می‌شود.

با استفاده از شیوه ابداعی محققان کره‌ای همه نمونه‌های خزها و جلبک‌های دریایی را می‌توان با استفاده از آنزیمی خاص به قند ساده تبدیل کرد و در انتها با استفاده از مخمر به اتانول زیستی دست یافت. چنین سوخت‌های زیستی از قیمت پایین و سرعت تولید بالاتر برخوردارند و هیچ تأثیر نامطلوبی بر قیمت مواد غذایی نخواهد داشت(۲).

اهمیت جلبک‌ها

جلبک‌های دریایی با ایجاد جایگاه مناسبی برای زیست بچه ماهیان، تغذیه و تولیدمثل انواع آبزیان از نظر اکولوژیک حائز

اهمیت بسیاری دارند، همچنین حدود ۴۰ درصد فتوسنتز دریایی توسط جلبک‌ها صورت می‌گیرد که بدین طریق زنجیره اصلی تولید یا تولید اولیه را تشکیل می‌دهند. جلبک‌ها به لحاظ دارا بودن پروتئین، مواد معدنی، ویتامین و اسیدهای چرب امگا۳ ارزش تغذیه‌ای بسیاری دارند. مواد استخراجی جلبک‌ها نظیر آگار، اسیدالژنیک و کاراگینان اهمیت

آن‌ها را دوچندان کرده، به طوری که در صنایع نساجی، کاغذسازی، رنگ‌سازی، علوم پزشکی و کشاورزی کاربرد فراوانی دارند. جلبک‌ها نقش مؤثری در تصفیه زیستی پساب‌های مزارع پرورش میگو نیز دارند.

تغذیه ریزجلبک‌ها

برای متوسط رشد باید مواد غذایی کافی برای رشد جلبکی فراهم شود. کربن، نیتروژن، فسفر و سولفور مهم‌ترین عناصری هستند که سلول‌های جلبکی را می‌سازند. عناصر ضروری دیگر شامل آهن، منیزیم، عناصر کم‌مصرف و در برخی موارد سیلیکون است.

منابع مختلف دریافت CO₂ توسط ریزجلبک‌ها

ریزجلبک‌ها می‌توانند کربن دی‌اکسید را از منابع مختلفی دریافت و تثبیت کنند. این منابع عبارت‌اند از:

۱. اتمسفر
۲. گازهای خروجی از صنایع
۳. CO₂ تثبیت شده به شکل کربنات محلول (بیکربنات سدیم و کربنات سدیم)

تولید لیپیدها توسط ریزجلبک‌ها در طبیعت

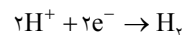
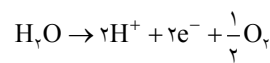
در طبیعت تجمع لیپیدهای ریزجلبکی تحت شرایط معینی، افزایش می‌یابد. ریزجلبک‌ها به فراوانی در آب‌های غنی از مواد غذایی رشد می‌کنند و بارها شکوفایی

جلبکی انجام می‌دهند. یک‌باره جمعیت جلبکی به حدی می‌رسد که به علت محدودیت زیاد (کاهش و به اتمام رسیدن مواد غذایی یا تراکم سلولی بالایی که نفوذ نور را محدود می‌کند) سبب مرگ سلول‌های جلبکی می‌شود. به دنبال این اتفاقات، کاهش دمای آب توسط موجوداتی که از اکسیژن محلول استفاده می‌کنند، حاصل می‌شود.

*** جلبک‌های دریایی با ایجاد جایگاه مناسبی برای زیست بچه ماهیان، تغذیه و تولیدمثل انواع آبزیان از نظر اکولوژیک حائز اهمیت بسیاری دارند و همچنین حدود ۴۰ درصد فتوسنتز دریایی توسط جلبک‌ها صورت می‌گیرد**

مشاهده شده است و اخیراً در بسیاری از گونه‌های فتوسنتزی سیانوباکتری‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است.

مطالعات زیادی در ارتباط با تولید هیدروژن جلبکی از جلبک سبز *Chlamydomonas reinhardtii* انجام گرفته است. فرایند تولید هیدروژن زیستی (bio-H₂) از این لحاظ جالب است که از انرژی نور خورشید برای تبدیل آب به هیدروژن و اکسیژن استفاده می‌شود تا در مرحله دوم هیدروژن به صورت گاز آزاد شود.



نخستین واکنش در همه موجودات فتوسنتزی هوازی انجام می‌گیرد در حالی که واکنش دوم با واسطه آهن خاصی که در آنزیم دهیدروژناز کلروپلاستی بسیاری از گروه‌های انتخابی ریزجلبک‌ها وجود دارد، اتفاق می‌افتد. تحت شرایط هوازی و نور طبیعی، پروتون و الکترون حاصل از تجزیه آب برای سنتز ATP توسط فسفریلاسیون اکسیداتیو و NADPH استفاده می‌شود.

واکنش دوم تحت شرایط بی‌هوازی اتفاق می‌افتد. در غیاب اکسیژن، هم تولید ATP و هم تشکیل NADH/NADPH متوقف می‌شود. تحت این شرایط برخی ریزجلبک‌ها مانند *Chlamydomonas reinhardtii*

سبب آزادسازی انرژی در کربوهیدرات‌هایی مانند نشاسته برای هیدروژناز کلروپلاستی می‌شوند تا تولید ATP از طریق فتوفسفریلاسیون آسان و زنجیره انتقال الکترون از احیای بیش از حد حفظ شود. بنابراین هیدروژناز با فرایندهای تخمیری مختلف

اصلاً به عنوان یک درجه آزادسازی الکترون/پروتون عمل می‌کند. الکترون از فردوکسین احیا شده برای تولید گاز هیدروژنی که از سلول خارج می‌شود، استفاده می‌شود. یک مزیت اصلی تولید هیدروژن این است که

این نتایج منجر به افزایش ناحیه بی‌هوازی می‌شود و می‌تواند در مرحله نهایی همه محیط آبی توسط منطقه بی‌هوازی اشغال شود. در مرحله پایانی شاهد مرگ همه موجودات عالی اعم از جانوران و گیاهان خواهیم بود. هرچند در طول تاریخ چنین وقایعی در مقیاس بزرگ‌تر در اقیانوس‌ها اتفاق افتاده است، علت وقایع کم‌اکسیژنی اقیانوسی را می‌توان به افزایش مقدار CO₂ و دمای کره زمین نسبت داد. هرچند ثابت شده که بخشی از تجمع روغن جهان زمانی صورت گرفته که جلبک‌ها توانسته‌اند به ذخیره کربن در طول وقایع کم‌اکسیژنی اقیانوس‌ها اقدام کنند

*** فرایند تولید هیدروژن زیستی از این لحاظ جالب است که از انرژی نور خورشید برای تبدیل آب به هیدروژن و اکسیژن استفاده می‌شود تا در مرحله دوم هیدروژن به صورت گاز آزاد شود**

تولید هیدروژن زیستی جلبکی

تولید هیدروژن زیستی توسط ریزجلبک‌ها بیش از ۶۵ سال است که شناخته شده است. این فرایند اولین بار در جلبک سبز *Scenedesmus obliquus*

هیدروژن در شرایط کشت تجمع نمی‌یابد، بلکه به شکل گاز آزاد می‌شود و این برخلاف سایر فراورده‌های تخمیری است که تا سطوحی که برای سلول‌ها سمی و خطرناک هستند، ساخته می‌شوند.

پیشرفت‌های اخیر به طرف افزایش کارایی تولید هیدروژن زیستی جلبکی گرایش داشته است. برای مثال، گونه‌های جهش

یافته که به‌طور افزایشی نشاسته

ذخیره می‌کنند و جریان چرخه‌ای

الکترون در اطراف PS_1 متوقف

می‌شود و دریافت گلوکز بیرونی

افزایش می‌یابد و این بهبودی

کامل را نشان می‌دهد. برای توسعه

سیستم‌های کارآمد تولید H_2

جلبکی، جریان متابولیک برای H_2

باید به واسطه مهندسی زیستی

و از طریق مطلوب‌سازی پارامترهای مربوط

به فرایند در سیستم‌های بسته بیوراکتور

مطلوب‌تر شود. مهندسی زیستی شامل

روش‌هایی برای بهبود میزان کارایی تبدیل

فوتون از گستره ۱ درصد به میزان پرسود

اقتصادی ۷ درصد است.

تولید بیهیدروژن جلبکی می‌تواند به

نمک‌زدایی ارتباط داشته باشد (البته در مقادیر

نسبتاً پایین تولید). جلبک‌های هالوفیتیک و

جلبک‌های آب‌های شور می‌توانند هیدروژن

(به صورت پروتون و الکترون) و اکسیژن را از

آب دریا استخراج و با سوزاندن هیدروژن و

اکسیژن، آب شیرین تولید کنند. در نتیجه

با استفاده از سلول‌هایی که

سوخت ثابتی دارند و از اکسیژن

و هیدروژن برای تغذیه الکتریسیته

در شبکه ملی استفاده می‌کنند،

تولید انرژی می‌تواند با نمک‌زدایی

ارتباط داشته باشد، در حالی که

سایر محصولات تبدیلی این گونه

نیستند. محصول آب مستقیماً به

فراورده H_2 تبدیل می‌شود. مطالعه مداوم

نشان می‌دهد که با توسعه موفقیت‌آمیز

فرایند، راکتور نوری زیستی ۱ میلیون لیتری

می‌تواند بیش از $10^3 \times 610$ لیتر آب شیرین

در سال تولید کند (۵).

تولید متان زیستی جلبکی

یک فاکتور محدود کننده مهم و اصلی

برای توسعه تولید متان زیستی از منابع

گیاهی، موجودیت زی‌توده حاصل از فتوسنتز

است. ریزجلبک‌ها بسیار مورد توجه‌اند زیرا

کارایی زی‌توده در هکتار آن‌ها حدود ۵-۳۰

*** یک مزیت اصلی تولید هیدروژن این است که هیدروژن در شرایط کشت تجمع نمی‌یابد، بلکه به شکل گاز آزاد می‌شود و این برخلاف سایر فراورده‌های تخمیری است که تا سطوحی که برای سلول‌ها سمی و خطرناک هستند، ساخته می‌شوند**

مرتبه بیشتر از گیاهان زراعی برآورد می‌شود.

محتوای نسبتاً بالای لیپید، نشاسته و

پروتئین و فقدان چوب که نمی‌تواند به آسانی

تخمیر شود، باعث شده که ریزجلبک‌ها یک

نماینده‌ای آرمانی برای تولید متان زیستی

کارآمد باشند.

همین‌طور برای دیزل زیستی نیز لیپیدها

نقش مهمی ایفا می‌کنند. نظر به این که

ظرفیت تبدیل لیپید به متان زیستی (۱۳۹۰)

لیتر بیوگاز در کیلوگرم ماده خشک آلی =

۷۲ درصد CH_4 و ۲۸ درصد CO_2 بیشتر از

پروتئین‌ها (۸۰۰ لیتر بیوگاز در کیلوگرم ماده

خشک آلی = ۶۰ درصد CH_4 و ۴۰ درصد

*** محتوای نسبتاً بالای لیپید، نشاسته و پروتئین و فقدان چوب که نمی‌تواند به آسانی تخمیر شود، باعث شده که ریزجلبک‌ها یک نماینده‌ای آرمانی برای تولید متان زیستی کارآمد باشند**

CO_2 و کربوهیدرات‌ها (۷۴۶ لیتر بیوگاز در

کیلوگرم ماده خشک آلی = ۵۰ درصد CH_4

و ۵۰ درصد CO_2) است.

یکی از نخستین مطالعات روی عملی

شدن استفاده از ریزجلبک‌ها برای تولید

متان زیستی، از ۵۰ سال قبل انتشار یافته

است و باعث شده که فرایند بتواند عملی

شود و در آینده نیز مطلوب‌تر شود (۵).

دیزل‌های زیستی از ریزجلبک‌ها

ریزجلبک‌ها مقادیر زیادی از ترکیبات

هیدروفوبیک را ذخیره می‌کنند. بهترین

مثال در ریزجلبک‌ها *Botryococcus*

braunii است. این ریزجلبک،

لیپید نمی‌سازد، بلکه ایزوپرن‌های

فاقد اکسیژنی می‌سازد که غالباً

ساختاری مشابه آلکان دارد و تعداد

کربن آن ۳۲-۳۸ کربن است. این

ترکیبات در پالایشگاه‌های روغن

فعلی استفاده می‌شود. غلظت

این ترکیبات می‌تواند ۷۰ درصد

زی‌توده را شامل شود. علاوه بر

این دیواره سلولی *Botryococcus* نازک

است و روغن می‌تواند به آسانی استخراج

شود. سلول‌ها غالباً این روغن‌ها را به‌طور

خود به خود دفع می‌کنند. متأسفانه کشت

Botryococcus مشکل است و بنابراین

در توسعه فرایندهای مربوط به تولید

دیزل زیستی از ریزجلبک‌ها نمی‌تواند به

فراوانی استعمال شود.

تولید لیپیدها از ریزجلبک‌ها، ترجیحاً

تری آسیل گلیسیریدها بیشترین توجه

را به خود جلب کرده است. غلظت آن

بین ۲۰ و ۶۰ درصد تغییر می‌کند. تجمع

مقادیر بالایی از گلوبول‌های لیپیدی عموماً

بعد از استرس اتفاق می‌افتد.

ابتدا جلبک‌ها پرورش می‌یابند

و سپس نیاز به استرس دارند.

به عنوان مثال، محدودیت مواد

غذایی به انباشته شدن لیپیدها

کمک می‌کند. در حال حاضر به

ندرت جلبکی برای تولید لیپیدها

برای ساختن دیزل زیستی کشت

می‌شود. بنابراین تخمین‌ها بسیار مشکل

است. برآورد می‌کنیم که جلبک‌ها ممکن

است حدود ۲۰۰۰۰ - ۸۰۰۰۰ لیتر لیپید در

هکتار در سال تولید کنند. براساس فناوری

