Archive of SID

محیط‌شناسی، دورهٔ ٤١، شمارهٔ ٤، زمستان ١٣٩٤، صفحهٔ ٨٨٦-٨٧٩

بررسی توانایی ترسیب کربن ریزجلبک *Chlorella vulgaris* در آب‌های با شوری متفاوت

مهری شعبانی[1]*، محمدحسین صیادی[2]، محمدرضا رضایی[3]

۱. دانشجوی گروه محیط‌زیست دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند، بیرجند

۲. دانشیار گروه محیط‌زیست دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند، بیرجند mh_sayadi@birjand.ac.ir

۳. دانشیار گروه محیط‌زیست دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند، بیرجند، mrrezaei@birjand.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹٤/۰۷/۱۱

چکیده

امروزه استفاده از کشت ریزجلبک‌ها برای کاهش دی اکسید کربن توجه ویژه‌ای را در سراسر دنیا به خود جلب کرده است. این آزمایش با استفاده از پرورش استوک خالص ریزجلبک کلرلا وولگاریس در ۳ تیمار و ۳ تکرار در محیط آب مقطر، آب دریای شبیه‌سازی‌شده و آب طبیعی به مدت ۸ روز انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که این ریزجلبک بیشترین تولید زیست‌توده و به دنبال آن بیشترین میزان ترسیب کربن پس از طی ۸ روز در آب طبیعی با مقادیر (g/L/d) ۰/۰۶۸ و (g/L/d) ۰/۱۱۱ داشته و نرخ رشد آن (day^{-1}) ۰/۱۳۱ است. مقدار پارامترهای مذکور در آب مقطر به ترتیب برابر (g/L/d) ۰/۰۵۷، (day^{-1}) ۰/۱۵ و (g/L/d) ۰/۰۹۳ است. این نتایج بیان می‌کند که با پرورش این ریزجلبک در آب شهری به‌رغم شوربودن، می‌توان گام بزرگی در ترسیب کربن برداشت. نتایج آماری آزمون توکی نشان داد که بین نرخ تولید زیست‌توده، رشد ویژه و تثبیت کربن اتمسفری، همچنین تعداد سلول‌ها در تیمارهای مختلف شوری آب اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. بنابراین، شوری آب در میزان رشد و ترسیب کربن ریزجلبک کلرلا وولگاریس تأثیر متفاوتی داشته است.

کلیدواژه

آب شور، بیرجند، ترسیب کربن، کلرلا وولگاریس، گازهای گلخانه‌ای.

۱. سرآغاز

گرم‌شدن کرهٔ زمین به دلیل افزایش سطح دی اکسید کربن در جو به‌منزلهٔ یکی از چالش‌های اصلی در قرن حاضر شناخته می‌شود به طوری که CO_2 مسئول ۵۸/۸ درصد از تولید گازهای گلخانه‌ای در جهان است (Bacon and Bhattacharya, 2007). پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۱۰۰، مقدار CO_2 جو ممکن است به ۵۷۰ppm برسد و سبب افزایش درجهٔ حرارت جهانی در حدود ۱/۹ درجهٔ سیلسیوس و افزایش میانگین سطح دریا به میزان ۳/۸ متر شود (Stewart and Hessami, 2005). در سال‌های اخیر، آثار گرم‌شدن کرهٔ زمین به خسارات شدیدی در اکوسیستم انسان و محیط‌زیست منجر شده است، از آن جمله می‌توان به ذوب یخ‌های قطبی، مرگ گستردهٔ مرجان‌های دریا به دلیل بالارفتن دمای آب، امواج گرمای شدید که

* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۵۵۱۷۲۸۶۷ Email: Shabani.mehri@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

فعالیت‌های کشاورزی را مختل کرده است و در سلامت انسان و وقوع مکرر خشکسالی و بیابان‌زایی تأثیر می‌گذارد اشاره کرد (Sayadi, et al., 2011; Yang, et al., 2012). عواقب تمام این پدیده‌ها همراه افزایش قیمت روزافزون انرژی سبب بالابردن آگاهی عمومی برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه کاهش سهم شخصی هر فرد در انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است (Yang, et al., 2012).

ریزجلبک‌ها در اکوسیستم‌های مختلف وجود دارند. تاکنون بیش از ۵۰ هزار گونه ریزجلبک شناخته و حدود ۳۰ هزار گونه از آن‌ها مطالعه شده است (Mata, et al., 2010). ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌های پروکاریوتی یا یوکاریوتی فتوسنتزکننده‌ای هستند که به سرعت رشد می‌کنند و با توجه به ساختار تک‌سلولی یا چندسلولی ساده‌ای که دارند در محیط‌های مختلف رشد می‌کنند. سیانو باکتری‌ها نمونه‌هایی از ریزجلبک‌های پروکاریوتی و جلبک سبز و دیاتوم‌ها نمونه‌هایی از یوکاریوت‌ها هستند (Mata, et al., 2010). ریزجلبک‌ها میکروارگانیسم‌هایی با سرعت رشد بالا هستند که ۱۰۰ بار سریع‌تر از گیاهان رشد می‌کنند و می‌توانند زیست‌تودهٔ خود را در کمتر از یک روز به دو برابر مقدار اولیه افزایش دهند. با توجه به ساختار سلولی ساده و نرخ رشد بالا، انتظار می‌رود ریزجلبک‌ها دارای بازده تثبیت زیستی ۱۰-۵۰ برابر بیشتر از گیاهان باشند (Khan, et al., 2009). علاوه بر این، گزارش شده است که سلول‌های ریزجلبک‌ها حاوی حدود ۵۰ درصد کربن‌اند، که در آن ۱/۸ کیلوگرم CO_2 با تولید ۱ کیلوگرم زیست‌تودهٔ ریزجلبکی تثبیت می‌شود (Yusuf, 2007). از این رو ریزجلبک‌ها قادرند با توانایی بالا کربن را تثبیت زیستی کنند و از سوی دیگر، برای تولید سوخت زیستی تجدیدپذیر نیز استفاده می‌شوند (Sayadi, et al., 2011).

بیشتر تحقیقات در زیست‌پالایی CO_2 در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده و آزمایش‌هایی در مقیاس پایلوت برای ارزیابی زیست‌پالایی خالص CO_2 به طور مستمر و طی مدت طولانی لازم است. بدین دلیل چن و همکاران (۲۰۱۲) تحقیقی روی اسپیرولینا کشت‌داده‌شده در بیوراکتور نوری (۳۰ متر مکعب) با استفاده از CO_2 ناشی از نیروگاه انجام دادند و نشان داده شد که این بیوراکتور با حجم ۳۰ متر مکعب قادر به جذب ۲۲۳۴ کیلوگرم CO_2 در هر سال بود (Chen, et al., 2012). فرانسیسکو و همکاران پیشرفت‌های شایان توجهی از نرخ تثبیت CO_2 خالص اعم از ۱۶/۸۵g/l/day برای جلبک *Spirulina obliquus* تا ۴۰/۳۲g/l/d برای سیانو باکتر میکروسکوپی *Aphanothece* به دست آوردند (Francisco, et al., 2010). در تحقیقات فن و همکاران با استفاده از بیوراکتور نوری به منظور افزایش نرخ تثبیت CO_2 از طریق کلرلا وولگاریس، نرخ تثبیت ۶/۶/l/day به دست آمد (Fan, et al., 2007). هیراتا و همکاران (۱۹۹۶) کلرلا وولگاریس را در غلظت ۳ درصد CO_2 به مدت ۸ روز کشت داده‌اند و به تثبیت دی اکسید کربن به میزان $۸۶۵mg_{CO2}\ L^{-1}\ d^{-1}$ رسیده‌اند (Hirata, et al., 1996). در مطالعه‌ای دیگر کلرلا وولگاریس، یک ریزجلبک سبز، تحت غلظت‌های ۰/۰۳۶ درصد (کربن اتمسفری) تا ۲۰ درصد CO_2 رشد داده شده است (Chinnasamy, et al., 2009).

چالش بزرگ جهان امروز به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گرم‌شدن و تغییر اقلیم، ناشی از اثر گازهای گلخانه‌ای است. یکی از راهکارهای شناخته‌شده که به کاهش کربن اتمسفری و بهسازی وضع موجود کمک می‌کند، ترسیب کربن از طریق پوشش گیاهی است، اما در مناطق خشک و نیمه‌خشک که منابع آب شیرین و شرایط کشت گیاهان به دلیل کمبود منابع آب و اقلیم خشک این منطقه محدود است، باید راهکارهای دیگری برای استفادهٔ بهینه از آب‌های شور و منابع آبی در دسترس این مناطق ارائه شود. یکی از بهترین گزینه‌های پیشنهادی پرورش جلبک‌ها در این منابع آبی و استفاده از آن‌ها در زمینه‌های کاربردی است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر میزان شوری‌های متفاوت آب (آب مقطر به‌منزلهٔ نمونهٔ عاری از

www.SID.ir

Archive of SID

نمک (شاهد)، آب شهری و در دسترس منطقه و آب دریای شبیه‌سازی‌شده) در توانایی رشد ریزجلبک کلرلا وولگاریس و به دنبال آن توانایی این ریزجلبک در ترسیب کربن اتمسفری (۰/۰۳ درصد) است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. شرایط و محیط کشت ریزجلبک

نمونهٔ خالصی از ریزجلبک کلرلا وولگاریس از پژوهشکدهٔ آبزی‌پروری آب‌های داخلی تهیه و در محیط کشت BBM[1] پرورش داده شد (Ramanan, et al., 2009). سپس با حجم مشخص ۱ لیتر به داخل هر راکتور انتقال داده شد.

جلبک کلرلا وولگاریس در سه راکتور صفحه تخت در محیط آب مقطر، آب دریای شبیه‌سازی‌شده و آب طبیعی (بیرجند) با مقادیر متفاوت هدایت الکتریکی (اندازه‌گیری‌شده از طریق EC متر مدل Istek Model 915 PDC) به ترتیب ۳µs/cm، ۱۵۰۰µs/cm، ۳۴۰۰۰µs/cm به مدت ۸ روز پرورش داده شد. آب بیرجند با میانگین pH ۷/۸۳، سختی آب ۱۰۰۰mg/l، میزان کربنات و بی‌کربنات آن به ترتیب ۴/۳۹mg/l و ۳۳۹/۷ و هدایت الکتریکی آن ۱۵۰۰µs/cm است. مقدار CO_2 محلول پس از هوادهی لازم برای کاهش آن، ۸ppm در محیط‌های کشت به میزان یکسان اندازه‌گیری و ثبت شد. آب مقطر استفاده‌شده دارای pH ۶/۸ بوده است. حجم محیط کشت پرورش‌داده‌شده در هر بیوراکتور ۱۰ لیتر بوده است. شرایط نوری فراهم‌شده در این پژوهش به صورت دوره‌های ۱۲ ساعت تاریکی/روشنایی با نور ۳۵۰۰ لوکس بوده است. تمامی آزمایش‌ها در شرایط آزمایشگاهی و دمای محیط انجام شد که مقدار دمای محیط بین حداقل ۲۵ و حداکثر ۳۱ درجهٔ سیلسیوس با میانگین دمایی ۲۸ درجهٔ سیلسیوس بوده است. pH ابتدایی بیوراکتورها پس از افزودن محیط کشت مایع و حجم مشخص ریزجلبک‌ها در ۶/۸ تنظیم شد. هوادهی با استفاده از پمپ هوا (RESUN AC-9603) با مشخصات فشار هوای ۰/۱۲MPa طی دوره به صورت مداوم انجام شد.

۲.۲. آماده‌سازی محیط کشت آب دریای شبیه‌سازی‌شده

در مطالعهٔ حاضر، محیط کشت حاوی آب دریای شبیه‌سازی‌شده با استفاده از ترکیبات و مقادیر ارائه‌شده از سوی کالکین (۱۹۶۵) فراهم شده که شرح آن در جدول ۱ آورده شده است (Culkin, 1965). در برخی از مطالعات آب دریای شبیه‌سازی‌شده جایگزین آب دریای طبیعی است و دلیل این امر کاهش تأثیرات بیولوژیکی و فراهم‌آوردن امکان ایجاد مایع قابل تکرار با مواد و ترکیب شناخته شده است.

جدول ۱. ترکیبات به‌کار برده‌شده در محیط کشت حاوی آب دریای شبیه‌سازی‌شده (Culkin, 1965)

یون	مقادیر موجود (g/Kg)
Cl^-	۱۹/۳۵۳
Na^+	۱۰/۷۶
SO_4^{2-}	۲/۷۱۲
Mg^{2+}	۱/۲۹۴
Ca^{2+}	۰/۴۱۳
K^+	۰/۳۸۷
HCO_3^-	۰/۱۴۲
Br^-	۰/۰۶۷
SR^{2+}	۰/۰۰۸
H_3BO_3	۰/۰۲۶
F^-	۰/۰۰۱

www.SID.ir

Archive of SID

۳.۲. بیوراکتورهای نوری صفحه تخت

ریزجلبک‌ها در راکتورهای شیشه‌ای تخت به ابعاد ۴۰×۴۰×۴۰ سانتی‌متر با سیستم هوادهی عمقی به منظور بررسی توانایی کلرلا وولگاریس در ترسیب کربن اتمسفری پرورش داده شدند. بیوراکتورهای نوری صفحه مسطح نوعی از راکتورهای بسته‌اند که معمولاً در یک زاویه با افق مماس‌اند و در برخی موارد نیز به شکل عمود نسبت به زمین دیده شده‌اند (Hu, et al., 1996).

۴.۲. شمارش سلولی و اندازه‌گیری وزن خشک

در این مطالعه شمارش سلولی به صورت مستقیم با استفاده از لام توما[۲] در زیر میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ۴۰X انجام شد. تعداد سلول‌ها در روزهای اول، چهارم، ششم و هشتم شمارش شد. وزن خشک سلولی (g/L) از طریق سانتریفیوژکردن ۱۰ میلی‌لیتر از هر نمونه در دور ۴۵۰۰RPM به مدت ۳۰ دقیقه انجام و پس از آن در آون در دمای ۱۰۵ درجهٔ سیلسیوس به مدت ۴۰ دقیقه خشک شد. شایان یادآوری است که هر یک در ۳ تکرار بررسی شد.

۵.۲. محاسبهٔ تولید زیست‌توده

تولید زیست‌توده در این مطالعه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد که در آن پارامترهای P نشان‌دهندهٔ زیست‌تودهٔ تولیدشده (g/L/d)، X_0 (g/L) زیست‌تودهٔ ابتدایی و X_t (g/L) مقدار زیست‌توده در زمان t (روز) است (Tang, et al., 2011).

$$P_{overall}\ (g/L/d) = (x_t - x_0)/(t_t - t_0) \qquad (۱)$$

۶.۲. محاسبهٔ نرخ رشد

نرخ رشد ویژه براساس وزن خشک سلولی از رابطهٔ زیر به دست می‌آید (Tang, et al., 2011):

$$\mu\ (day^{-1}) = (\ln (x_t/x_0))/(t_t - t_0) \qquad (۲)$$

۷.۲. نرخ تثبیت کربن

نرخ تثبیت کربن (R) برای کلرلا وولگاریس با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد (Tang, et al., 2011):

$$R_{co2}\ (g_{CO2}\ L^{-1}\ d^{-1}) = C_c\ P\ (m_{CO2}\ m_C^{-1}) \qquad (۳)$$

که در این رابطه:

R_{CO2}: نرخ تثبیت CO_2 ($g_{CO2}\ L^{-1}\ d^{-1}$)، P: بهره‌وری زیست‌توده ($g\ L^{-1}\ d^{-1}$)، C_c: کسری از کربن در زیست‌توده (g/g)، m_{CO2}: جرم مولی کربن دی اکسید (g/mol) و m_C: جرم مولی کربن (g/mol) است. کربن موجود در وزن خشک سلولی ریزجلبک ۵۰ درصد در نظر گرفته شد (W/W) که مرتبط با نیاز ۱/۸۳ گرم CO_2 برای تولید ۱ گرم وزن خشک سلولی ریزجلبک‌هاست (Kumar and Das, 2012).

۸.۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا داده‌های خام در نرم‌افزار اکسل ذخیره شد. همچنین، با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۷ رابطهٔ بین نرخ تولید زیست‌توده، رشد ویژه و تثبیت کربن اتمسفری، همچنین تعداد سلول‌ها با تیمارهای مختلف شوری به کمک آزمون توکی و ضریب اطمینان ۹۹ درصد سنجیده شد.

۳. نتایج و بحث

در این مطالعه ریزجلبک کلرلا وولگاریس در ۳ نمونهٔ آب مقطر، آب دریا و آب طبیعی به حجم ۱۰ لیتر و به مدت ۸ روز کشت داده و میانگین نتایج ۳ تکرار مرتبط با تولید زیست‌توده، نرخ رشد ویژه و نرخ تثبیت کربن اتمسفری برای محیط‌های کشت تحت ECهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود در محیط کشت حاوی آب مقطر، آب دریا و آب طبیعی تولید و بهره‌وری زیست‌تودهٔ جلبک کلرلا وولگاریس پس از پایان ۸ روز به ترتیب (g/L/d) ۰/۰۵۷، ۰/۰۲۵، ۰/۰۶۸ است که نشان می‌دهد آب طبیعی (EC=۱۵۰۰) تولید بیشتری از زیست‌توده داشته است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. مقادیر میانگین تولید زیست‌توده، نرخ رشد ویژه و نرخ تثبیت کربن ریزجلبک کلرلا وولگاریس در ۸ روز

محیط کشت	تولید زیست‌توده (P) ($g\ L^{-1}\ d^{-1}$)				نرخ رشد ویژه (μ) (d^{-1})				نرخ تثبیت کربن (R) ($g_{CO2}\ L^{-1}\ d^{-1}$)			
	روز ۴-۱	۶-۴	۸-۶	۸-۱	روز ۴-۱	۶-۴	۸-۶	۸-۱	روز ۴-۱	۶-۴	۸-۶	۸-۱
آب مقطر (EC=۳μs/cm)	۰/۰۹۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۸	۰/۰۵۷	۰/۲۶۶	۰/۰۳۵	۰/۰۴۵	۰/۱۵	۰/۱۴۸	۰/۰۳۳	۰/۰۴۵	۰/۰۹۳
آب دریای شبیه‌سازی‌شده (EC=۳۴۰۰۰μs/cm)	۰/۰۳۳	۰/۰۱۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۰۷	۰/۰۱۸	۰/۰۱۹	۰/۰۵۳	۰/۰۱۶	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱
آب طبیعی (EC=۱۵۰۰μs/cm)	۰/۰۷۸	۰/۰۵۰	۰/۰۶۵	۰/۰۶۸	۰/۱۸۲	۰/۰۷۷	۰/۰۸۵	۰/۱۳۱	۰/۱۲۷	۰/۰۸۲	۰/۱۰۷	۰/۱۱۱

ماکزیمم تولید زیست‌توده طی دوره در روز چهارم کشت با مقدار ۰/۰۹ تولید در آب مقطر مشاهده شد. در مطالعهٔ اولیازولا و همکارانش (۲۰۰۰) روی ریزجلبک *Haematococcus pluvialis* تولید زیست‌توده ۰/۰۵۲ (g/L/day) بوده است (Olaizola, 2000). نرخ رشد ویژه برای این ریزجلبک در ۳ محیط کشت پس از طی دورهٔ ۸ روزه به ترتیب مساوی (d^{-1}) ۰/۱۵، ۰/۰۱۹ و ۰/۱۳ است. پایین‌ترین نرخ رشد مربوط به کشت ریزجلبک کلرلا وولگاریس در آب دریا (EC =۳۴۰۰۰) است. در مطالعهٔ کومار و همکاران (۲۰۱۴) روی *Chlorella sorokiniana* در محیط کشت بدون تزریق کربن نرخ رشد این ریزجلبک (day^{-1}) ۰/۴۲ بوده است (Kumar, et al., 2014). نرخ تثبیت کربن از طریق ریزجلبک کلرلا وولگاریس در ۳ محیط کشت آب مقطر، آب دریا و آب طبیعی به ترتیب برابر (g/L/d) ۰/۰۹۳، ۰/۰۴۱، ۰/۱۱۱ است که بیشترین نرخ تثبیت کربن اتمسفری در آب طبیعی است. در مطالعهٔ تنگ و همکاران (۲۰۱۱) روی دو ریزجلبک *Chlorella pyrenoidosa* و *Scendesmus obliquus* نرخ تثبیت کربن اتمسفری به ترتیب (g/L/d) ۰/۱۳ و ۰/۱۵ بوده است (Tang, et al., 2011) که مشابه نرخ تثبیت کربن در محیط کشت آب طبیعی در این مطالعه است.

جدول ۳ میانگین شمارش سلولی را که به روش مستقیم شمارش از طریق لام توما و میکروسکوپ انجام شده است نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود از روز اول تا هشتم روند رشد سلولی در کلرلا وولگاریس در دو محیط کشت آب مقطر و آب طبیعی رو به افزایش بوده، اما در محیط آب دریای شبیه‌سازی‌شده به دلیل شوری بالای آب این تعداد روند افزایشی نداشته و در واقع می‌توان گفت که به دلیل اینکه ریزجلبک کلرلا وولگاریس نوعی ریزجلبک آب شیرین است (صلواتیان، ۱۳۸۲)، آب دریای شبیه‌سازی‌شده با شوری بالا مانع رشد این جلبک پس از روز ۴ام شده است.

با توجه به جدول ۳ بیشترین رشد سلولی در آب طبیعی در پایان روز هشتم مشاهده شده است. در آب دریای شبیه‌سازی‌شده روند رشد و تکثیر سلولی به دلیل شوری بسیار بالا و نامساعدبودن محیط برای این ریزجلبک

www.SID.ir

Archive of SID

آب شیرین بسیار آهسته انجام شده و از روز چهارم بـه بعـد رشد کندی داشته، به طوری که توانایی ترسـیب کـربن ایـن ریزجلبک در محیط کشت‌هایی با شوری بـالا پـایین اسـت. مطالعـهٔ صـلواتیان و فلاحـی (۱۳۸۴) نشـان داد کـه هرچـه غلظت عناصر (هدایت الکتریکی EC) از جمله کلسیم بعد از میزان مؤثر آن‌ها در رشد جلبک‌ها در محلـول آبـی افـزایش یابد رشد جلبک‌ها از جمله جلبک کلرا وولگاریس و تعـداد آن‌ها کـاهش خواهـد یافـت (صـلواتیان و فلاحـی، ۱۳۸۴).

جدول ۳. میانگین تعداد سلول‌های شمارش‌شده طی دورهٔ ۸ روزهٔ کشت ریزجلبک وولگاریس (Cell/L/day)

شمارش سلولی (در هر لیتر) / محیط کشت	روز اول	روز چهارم	روز ششم	روز هشتم
آب مقطر	۳×۱۰^{۷}	۷×۱۰^{۷}	۸×۱۰^{۷}	۱۰×۱۰^{۷}
آب دریای شبیه‌سازی‌شده	۳×۱۰^{۷}	۵×۱۰^{۷}	۵×۱۰^{۷}	۶×۱۰^{۷}
آب طبیعی	۳×۱۰^{۷}	۶×۱۰^{۷}	۹×۱۰^{۷}	۱۲×۱۰^{۷}

جدول ۴. مقایسهٔ بین پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در این مطالعه و مطالعات پیشین

ریزجلبک		درصد کربن	پارامترهای اندازه‌گیری‌شده: نرخ تثبیت کربن (g/L/day)	نرخ رشد ویژه (day^{-1})	بهره‌وری و تولید زیست‌توده (g/L/day)	منابع
Chlorella vulgaris		۰/۰۳[a]	۰/۰۶۳	۰/۱۵۶	۰/۰۳۱	Lam and Lee, 2013
Chlorella sp (محیط کشت: آب دریای شبیه‌سازی‌شده)		۰/۰۳	–	۰/۲۳۰	۰/۵۳۷	Chiu, et al., 2008
Chlorella sorokiniana		۰/۰۳	۱/۷۴	۰/۴۲	۰/۱۳	Kumar, et al., 2014
مطالعهٔ حاضر *Chlorella vulgaris*	آب مقطر	۰/۰۳	۰/۰۹۳	۰/۱۵	۰/۰۵۷	
	آب شور دریا		۰/۰۴۱	۰/۰۱۹	۰/۰۲۵	
	آب طبیعی		۰/۱۱۱	۰/۱۳	۰/۰۶۸	

[a] غلظت CO_2 در هوا حدود ۰/۰۳ است.

در مطالعهٔ حاضر بیشترین نرخ رشد و تولید مربوط بـه راکتوری است که حاوی آب طبیعی بوده است. در مطالعـهٔ چیو و همکارانش (۲۰۰۸) از آب دریای شـبیه‌سـازی‌شـده برای پرورش ریزجلبک *Chlorella sp* استفاده شده و نـرخ رشد ویژه و تولید زیست‌تودهٔ این جلبـک در بسـتر بـدون تزریق CO_2، به ترتیـب (day^{-1}) ۰/۲۳ و ۰/۵۳ بـوده اسـت

www.SID.ir

Archive of SID

(Chiu, et al., 2008). این در حالی که در مطالعهٔ حاضر در محیط کشت آب دریای شبیه‌سازی‌شده (با شوری بسیار بالاتر) این نرخ‌ها به (day^{-1}) ۰/۰۱۹ و ۰/۰۲۵ کاهش یافته است. نتایج تحقیق لم و لی (Lam and Lee, 2013) انطباق زیادی با نتایج این مطالعه در محیط کشت آب مقطر دارد (جدول ۳)، با این تفاوت که تولید زیست‌توده و نرخ تثبیت کربن در مطالعهٔ حاضر بالاتر است، اما نرخ ویژهٔ رشد در هر دو مطالعه در محیط شامل آب مقطر (با هدایت الکتریکی پایین) (g/L/d) ۰/۱۵ است.

نتایج آماری طبق آزمون توکی نشان داد که بین نرخ تولید زیست‌توده، رشد ویژه و تثبیت کربن اتمسفری، همچنین تعداد سلول‌ها در تیمارهای مختلف شوری آب اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. بنابراین، شوری آب در میزان رشد و ترسیب کربن ریزجلبک کلرا وولگاریس تأثیر متفاوتی داشته است.

۴. نتیجه‌گیری

در مناطق خشک و نیمه‌خشک که منابع آب شیرین در آن و شرایط کشت گیاهان به دلیل کمبود منابع آب و اقلیم خشک این مناطق نیز محدود است، یکی از بهترین راهکارهای پیشنهادی پرورش جلبک‌ها در این منابع آبی است که ضمن تثبیت گازهای گلخانه‌ای (دی اکسید کربن) کاربردهای دیگری از جمله تولید سوخت تجدیدپذیر و مصارف خوارکی و دارویی نیز دارد. با توجه به نتایج این تحقیق بیشترین رشد زیست‌توده و سلولی در آب طبیعی مشاهده شد و در آب دریای شبیه‌سازی‌شده روند رشد و تکثیر سلولی به دلیل شوری بالا و نامساعدبودن محیط برای این ریزجلبک آب شیرین کند انجام شده است، به طوری که توانایی ترسیب کربن این ریزجلبک در محیط کشت‌هایی با شوری بالا پایین است. بنابراین، جلبک کلرا وولگاریس در هدایت الکتریکی ۱۵۰۰µs/cm (آب طبیعی) رشد خوبی داشته است و توان ترسیب کربن بالایی را از خود نشان داد. بنابراین، می‌توان این جلبک را به‌رغم اینکه مختص آب‌های شیرین است در منطقهٔ مورد مطالعه (بیرجند و خراسان جنوبی) نیز پرورش داد.

۵. تشکر و قدردانی

از همکاری‌های ارزشمند مسئولان محترم دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند به منظور فراهم‌کردن امکانات و تجهیزات لازم برای انجام این تحقیق و سرکار خانم دکتر مریم فلاحی به جهت راهنمایی‌های لازم در کلیهٔ مراحل تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

یادداشت‌ها

1. Bold's Basal Medium
2. Thoma haemocytometer .

منابع

صلواتیان، م. ۱۳۸۲. «بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف عناصر کلسیم و منیزیم بر میزان رشد و بیوماس جلبک سبز کلرلا ولگاریس»، پایان‌نامهٔ کارشناسی، مرکز آموزش علمی- کاربردی میرزا کوچک خان رشت، صص ۸۱.

صلواتیان، م.، فلاحی، م. ۱۳۸۴. «بررسی اثر غلظت‌های مختلف کلسیم بر میزان رشد و بیوماس جلبک سبز کلرا وولگاریس»، مجلهٔ شیلات ایران، شمارهٔ ۱۴ (۱): صص ۷۹- ۸۶.

Bacon, RW., Bhattacharya, S. 2007. Growth and CO_2 emissions: how do different countries fare. Climate change series, paper no. 113. Washington DC: World Bank, Environment Department.

Chen, H.W., Yang, T.S., Chen, M.J., Chang, Y.C., Lin, C.Y. 2012. Application of power plant flue gas in a photobioreactor to grow Spirulina algae, and a bioactivity analysis of the algal water-soluble polysaccharides, Bioresource Technology. 120: pp. 256–263.

Chinnasamy, S., Ramakrishnan, B., Bhatnagar, A., Das, K.C. 2009. Biomass production potential of a wastewater Alga

www.SID.ir

Archive of SID

Chlorella vulgaris ARC 1 under elevated levels of CO_2 and temperature. International Journal of Molecular Sciences. 10: pp. 518–32.

Chiu, S-Y., Kao, C-Y., Chen, C-H., Kuan, T-C., Ong, S-C., Lin, C-S. 2008. Reduction of CO_2 by a high-density culture of Chlorella sp. in a semicontinuous photobioreactor. Bioresource Technology. 99(9): pp. 3389–96.

Culkin, F. 1965. The major constituents of seawater. In: (J.P. Riley and G. Skirrow, eds) Chemical Oceanography, 1st Ed., pp. 121-161. Academic Press

Fan, L.H., Zhang, Y.T., Cheng, L.H., Zhang, L., Tang, D.S., Chen, H.L. 2007. Optimization of carbon dioxide fixation by Chlorella vulgaris cultivated in a membrane-photobioreactor. Chemical Engineering and Technology. 30: pp. 1094–1099.

Francisco, É.C., Neves, D.B., Jacob-Lopes, E., Franco, T.T. 2010. Microalgae as feedstock for biodiesel production: carbon dioxide sequestration, lipid production and biofuel quality. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 85: pp. 395–403.

Hirata, S., Hayashitani, M., Taya, M., Tone, S. 1996. Carbon dioxide fixation in batch culture of Chlorella sp. using a photobioreactor with a sunlight-collection device. Journal of Fermentation and Bioengineering. 81(5): pp 470-472.

Hu, Q., Richmond, A. 1996. Productivity and photosynthetic efficiency of Spirulina platensis as affected by light intensity, cell density and rate of mixing in a flat plate photobioreactor. Journal of Applied Phycology. 8: pp. 139–145.

Khan, S.A., Rashmi Hussain, M.Z., Prasad, S., Banerjee, U.C. 2009. Prospects of biodiesel production from microalgae in India. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 13: pp. 2361–2372.

Kumar, K., Banerjee, D., Das, D. 2014. Carbon dioxide sequestration from industrial flue gas by Chlorella sorokiniana. Bioresource Technology. 152: pp. 225–33.

Kumar, K., Das, D. 2012. Growth characteristics of Chlorella sorokiniana in airlift and bubble column photobioreactors. Bioresource Technology. 116: pp. 307–313.

Lam, M.K., and Lee, K.T. 2013. Effect of carbon source towards the growth of Chlorella vulgaris for CO_2 bio-mitigation and biodiesel production. International Journal of Greenhouse Gas Control. 14: pp. 169–176.

Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. Renewable & Sustainable Energy Reviews. 14: pp. 217–232.

Olaizola, M. 2000. Commercial production of astaxanthin from Haematococcus pluvialis using 25,000 liter outdoor photobioreactors. Journal of applied Phycology. 12: pp. 499-506.

Ramanan, R., Kannan, K., Deshkar, A., Yadav, R., Chakrabarti, T. 2010. Enhanced algal CO_2 sequestration through calcite deposition by Chlorella sp. and Spirulina platensis in a mini-raceway pond. Bioresource Technology. 101: pp. 2616–22.

Sayadi, M.H., Ghatnekar, S. D., Kavian, M. F. 2011. Algae a promising alternative for biofuel Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences. 1(2): pp.112-124.

Stewart, C., and Hessami, M-A. 2005. A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration—the sustainability of a photosynthetic bioreactor approach. Energy Conversion and Management. 46: pp.403–20.

Tang, D., Han, W., Li, P., Miao, X., Zhong, J. 2011. CO_2 biofixation and fatty acid composition of Scenedesmus obliquus and Chlorella pyrenoidosa in response to different CO_2 levels. Bioresource Technology. 102: pp. 3071–3076.

Yang, C.-Y., Fang, Z., Li, B., Long, Y.-F. 2012. Review and prospects of Jatropha biodiesel industry in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16: pp. 2178–2190.

Yusuf, C. 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25: pp. 294–306.

www.SID.ir