



مقاله علمی - پژوهشی:

ارزیابی زیستوده، رشد، زندگانی و ترکیبات بیوشیمیایی جلبک *Tetraselmis* با استفاده از پساب‌های لبنیات و مخمر

امیدوار فرهادیان^{*}^۱، شیرین سلطانی سامانی^۱، فاطمه رستمی^۱، امید بیرقدار کشکولی^۱

*omfarhad@iut.ac.ir

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: آذر ۱۴۰۰

چکیده

جلبک تکسلولی *Tetraselmis tetrathelle* یکی از گونه‌های آب شور است که به علت ارزش غذایی زیاد و ترکیبات زیستفعال و سهولت در کشت، استفاده گسترده‌ای در صنعت و آبزیپروری دارد. در این مطالعه کشت انبوه جلبک *T. tetrathelle* با استفاده از پساب کارخانه‌های شیر و مخمر با هدف ارزیابی رشد، زندگانی و ترکیبات بیوشیمیایی (پروتئین، چربی، کربوهیدرات) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت یک طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار شامل؛ کانوی، پساب‌های خام شیر و مخمر به عنوان محیط کشت هر کدام در دو حالت رقیق (۵ میلی‌لیتر به ازاء هر لیتر از محیط کشت) و غلیظ (۱۰ میلی‌لیتر به ازاء هر لیتر از محیط کشت)، طی یک دوره ۱۱ روزه انجام شد. نتایج نشان داد که این گونه از توانایی رشد در پساب خام شیر و مخمر برخوردار است، اما بیشترین تراکم‌سolloi در تیمار کانوی رقیق (تراکم 12×10^6 سلول در هر میلی‌لیتر و رشد ویژه $87/0$ در روز) و بیشترین میزان رشد ویژه جلبک در تیمار مخمر رقیق (تراکم 6.8×10^6 سلول در هر میلی‌لیتر و رشد ویژه $28/2$ در روز)، مشاهده شد. این در حالی است که تیمار پساب خام شیر رقیق زندگانی بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشت. بیشترین میزان پروتئین و چربی در تیمار پساب خام شیر غلیظ (به ترتیب $44/6$ درصد از وزن خشک) و بیشترین مقدار کربوهیدرات نیز در تیمار مخمر غلیظ ($31/49$ درصد از وزن خشک) به دست آمد. براساس میزان رشد ویژه، زندگانی و ترکیبات بیوشیمیایی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که پساب‌های شیر و مخمر می‌توانند به عنوان محیط کشت مناسب نیمه‌صنعتی در پرورش انبوه این جلبک به کار بروند و برای تولید ترکیبات زیستفعال و سوخت‌های زیستی از زیستوده حاصله توصیه می‌گردد.

لغات کلیدی: پساب، ترکیب بیوشیمیایی، شیر و مخمر، رشد، *Tetraselmis tetrathelle*

*نویسنده مسئول

مقدمه

موجود در پساب‌ها مانند نیترات و فسفات با استفاده از جلبک‌ها، به علت وجود مزایایی چون تولید زیستوده ارزشمند، عدم تولید آلودگی، باز چرخ مواد غذایی، فناوری ساده، کارآیی زیاد و هزینه کم، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Velichkova *et al.*, 2014). از سوی دیگر، امروزه تاکید زیادی بر جمع‌آوری و رفع آلودگی از انواع پساب‌ها می‌گردد، زیرا پساب‌ها توانایی بالقوه‌ای در آلوده‌سازی منابع غذایی و آبهای دارند و محیط بسیار مساعدی برای رشد انواع مختلف میکرووارگانیسم‌های بیماری‌زا به شمار می‌روند (Campbell, 1999). برای نمونه، پساب تولیدی خمیر مایه یا مخمر، مخلوطی پیچیده و دارای COD، نیتروژن و سولفات‌های زیاد، رنگ تیره و آلاینده‌های غیرقابل تجزیه بیولوژیک است. پساب رهاسده از این صنعت به علت وجود ترکیبات رنگی مقاوم به تجزیه و محلول به نام Melanoidins منبع اصلی آلودگی آب و خاک است. همچنین ملاس، محصول جانبی تولید شکر، به طور اصلی به عنوان مواد اولیه اصلی در تولید مخمر استفاده می‌شود (Kobya and Delipinar, 2008).

ملاس دارای ۴۵-۵۰ درصد قند، ۱۵-۲۰ درصد مواد آلی غیر آروماتیک، ۱۰-۱۵ درصد خاکستر (مواد معدنی) و حدود ۲۰ درصد آب است (Kalyuzhnyi and Murray, 2005). قسمت اصلی مواد غیر قندی ملاس که در تولید خمیر مایه استفاده نشده بدون تغییر به پساب تخلیه می‌شود که جزو مواد زائد اصلی پساب خمیر مایه یا مخمر است. این پساب همچنین شامل مواد شیمیایی مثل نمک‌های مختلف، کف زداها، اسید پروپیونیک، آب و متابولیت‌های تخمیری است (Blonskaja and Zub, 2009).

ملاس به علت هزینه کم، یکی از مهم‌ترین مواد خام مورد استفاده در صنایع تخمیر است. یکی دیگر از منابع مهم و عمده پساب‌ها، مربوط به صنایع لبنی بهویژه شیر است. این صنعت لبنی به طور متوسط ۳/۷-۱۱/۲ میلیون مترمکعب پساب در سال تولید می‌کند (Wang *et al.*, 2006).

برخی از مواد آلی موجود در پساب‌های لبنی، قابل تجزیه به وسیله باکتری‌ها نیستند و باید با استفاده از

جلبک‌ها، تولید کنندگان اولیه غالب در اکثر محیط‌های آبی هستند و قسمت اعظم انرژی را برای بسیاری از شبکه‌های غذایی آبی فراهم می‌کنند (فرهادیان و جعفری، ۱۳۹۴). ریزجلبک‌ها نه تنها در تغذیه انسان نقش مهمی دارند بلکه منابع غذایی بسیار مناسبی برای صنایع آبزی‌پروری و تغذیه آبزیان پرورشی هستند (Amini *et al.*, 2012). استفاده از ریزجلبک‌ها به عنوان یک منبع غذایی برای پرورش آبزیان دارای این فایده است که بدون تأثیرپذیری از تغییرات اقلیمی و آلودگی محیط‌زیست، در مخزن‌های بسته به صورت کاملاً بهداشتی کشته می‌شوند و در صنایع گوناگون بهویژه آبزی‌پروری مورد استفاده قرار می‌گیرند. ریزجلبک دریابی Tetratelmis tetratethle متعلق به رده کلروفیسسه‌های است که حاوی ۳۱ درصد پروتئین، ۱/۱۲ درصد کربوهیدرات و ۱۷ درصد چربی است (Helena *et al.*, 2018). این ریزجلبک دامنه ۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کند و از توانایی رشد در پساب‌ها و در آبهای شور با شوری ۷۵ گرم در لیتر برخوردار است. تمامی این خصوصیات نشان می‌دهند که این گونه می‌تواند به طور موفقیت‌آمیزی در مقیاس صنعتی رشد یابد (Schüller *et al.*, 2020).

ریزجلبک‌ها می‌توانند به صورت چشمگیری دارای ارزش غذایی متفاوت باشند (Brown *et al.*, 1997). محتوای پروتئین و اسیدهای چرب غیراشباع عامل اصلی تعیین‌کننده ارزش غذایی ریزجلبک‌ها و داشتن خواص آنتی اکسیدانی مناسب و قابل ملاحظه از دیگر مزایای استفاده از آنهاست (Knuckey *et al.*, 2002).

همچنانی ۱۴۰۱ عوامل متعددی از جمله؛ اندازه و شکل جلبک، هضم‌پذیری مربوط به ساختار دیواره سلولی، ترکیب بیوشیمیایی (ترکیبات انباسته، آنزیم‌ها و سموم) و نیازهای خاص موجودات زنده هدف، در ارزش تغذیه‌ای یک ریزجلبک تاثیرگذارند.

ریزجلبک‌ها دارای پتانسیل زیادی برای تصفیه پساب‌هایی هستند که نتیجه فعالیت‌های انسان در عرصه‌های مختلف شهری، کشاورزی یا صنعتی است (Abdel-Raouf *et al.*, 2012)، حذف عناصر غذایی، حیدری و همکاران، ۱۳۹۰).

نمونه محاسبه گردید. اندازه گیری کل جامدات محلول (TDS) با استفاده از کاغذ صافی و با توجه به وزن اولیه کاغذ صافی (واتمن ۴۲) و وزن نهایی پس از خشک شدن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد به دست آمد. اندازه گیری فسفات با استفاده از اسید سولفوریک، پتاسیم آنتیمونی تارترات، آمونیوم مولبیدات و آسکوربیک اسید و قرائت نمونه ها در طول موج ۸۸۰ نانومتر تعیین شد. اندازه گیری نیتروزن کل نیز بر اساس روش کلدال با استفاده از جیوه و اسید سولفوریک غلیظ انجام شد.

T. tetrathele تهیه ذخیره اولیه ریزجلبک

نمونه خالص ریزجلبک *T. tetrathele* از ایستگاه تحقیقاتی نرم تنان بندر لنگه واقع در جنوب کشور تهیه و در آزمایشگاه فایکولب دانشگاه صنعتی اصفهان مورد استفاده قرار گرفت. جهت اطمینان از خالص بودن استوک، مشاهده آن با میکروسکوپ اینورت (مدل CETA Sاخت بلژیک) انجام شد و کلیدهای شناسایی برای اطمینان مورد استفاده قرار گرفت.

محیط کشت کانوی در پرورش ریزجلبک *T. tetrathele*

ریزجلبک *T. tetrathele* در ارلن مایرهای پنج لیتری با استفاده از محیط کشت کانوی (تیمار ۱) در آب دریا با شوری ۲۵ گرم در لیتر کشت گردید. آب دریا از پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان با شوی ۳۵ گرم در لیتر تهیه شد که با افزودن آب شیرین به شوری ۲۵ گرم در لیتر رسانده شد. ترکیبات مورد استفاده جهت نهیه محیط کشت کانوی در جدول ۱ ارائه شده است.

روش های شیمیایی تجزیه شوند (Carvalho *et al.*, 2011). حجم و قدرت جریان پساب به علت تفاوت در تولید و نیز میزان و غلظت پساب در واحد تولیدی روزبه روز تغییر می کند (Wang *et al.*, 2016).

با توجه به حجم پساب های تولیدی کارخانه های لبニアت و مخمر در ایران و با توجه به وجود منابع آب شور در سواحل جنوب کشور می توان تولید جلبک های آب شور را با استفاده از پساب های لبニアت و مخمر انجام داد و تولید زی توده جلبکی با ارزشی نمود که کاربردهای گوناگون دارد. در این مطالعه هدف اصلی تولید جلبک *T. tetrathele* با استفاده از دو نوع پساب کارخانه لبニアت و مخمر در دو غلظت متفاوت با تاکید بر رشد و تراکم و ترکیب بیوشیمیایی جلبک در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی بود.

مواد و روش کار

اندازه گیری ویژگی های پساب مورد استفاده برای پرورش ریزجلبک *T. tetrathele*

پساب های خام شیر از شهرک صنعتی شهر سامان و پساب مخمر از کارخانه خمیر مایه نانوایی در نزدیکی شهر ناغان در استان چهارمحال و بختیاری جمع آوری گردید. میزان TSS، COD، BOD، COD، FSS و نیترات نمونه ها بر اساس روش های استاندارد اندازه گیری شد (Rice *et al.*, 2017). میزان COD با استفاده از دی کرومات پتاسیم و سولفات نقره و راکتور COD با قرائت مقدار جذب نمونه ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر تعیین شد. مقدار BOD پنج روزه با اندازه گیری مقدار اکسیژن محلول در ابتدا و انتهای (روز پنج) برآورد شد. مقدار کل جامدات معلق (TSS) با استفاده از کاغذ واتمن ۴۲ و قرار گرفتن به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد و سپس توزین

جدول ۱: محیط کشت کانوی مورد استفاده (میلی گرم در لیتر) برای کشت ریزجلبک *T. tetrathele*Table 1: Conway medium used for cultivation of *T. tetrathele*

نام ماده شیمیایی	غلظت مورد استفاده در هر لیتر آب دریا (گرم)	غلظت مورد استفاده در هر ۱۰۰/۰
NaNO ₃		۱۰۰/۰
Disodium EDTA (C ₁₀ H ₁₆ N ₂ O ₈)	۴۵/۰	
H ₃ BO ₃	۳۳/۶	
NaH ₂ PO ₄ .4H ₂ O	۲۰/۰	
FeCl ₃ .6H ₂ O	۱/۳	
MnCl ₂ .4H ₂ O	۰/۳۶	
Trace metal solution	۱ میلی لیتر	
ZnCl ₂	۲/۱	
CoCl ₃ .6H ₂ O	۲/۰	
(NH ₄) ₂ 6MO ₇ O ₂ .4H ₂ O	۰/۹	
thiamine	۰/۲	
Cynocobalamin B ₁₂	۰/۰۱	
Potassium nitrate (KNO ₃)	۲۰/۰	

$$SGR = (\ln N_2 - \ln N_1) / t$$

N₂: تعداد سلول‌های جلبک در انتهای آزمایش، N₁: تعداد سلول‌های جلبک در ابتدای آزمایش و t: مدت زمان انجام آزمایش

برای محاسبه زنده‌مانی از روش رنگ‌آمیزی با رنگ ایوانس آبی (C₃₄H₂₄N₆Na₄O₁₄S₄)، دارای وزن مولکولی ۹۶۰/۸ گرم) استفاده گردید. میزان یک گرم رنگ در ۲۰۰ میلی لیتر آب م قطر حل شد تا استوک تهیه گردد. از هر تیمار ۵ میلی لیتر نمونه جلبک گرفته شد و به لوله‌های آزمایش انتقال یافت. سپس به هر لوله چند قطره رنگ برای تثبیت کردن نمونه‌ها اضافه گردید و پس از تثبیت شدن جهت انجام عملیات شمارش سلولی مورد استفاده قرار گرفت. در این حالت سلول‌های مرده آبی رنگ و سلول‌های زنده بی‌رنگ مشاهده شد. درصد زنده‌مانی ریزجلبک‌ها بر اساس رابطه ذیل محاسبه گردید:

$$\times ۱۰۰ = \frac{\text{کل سلول‌های جلبکی}}{\text{سلول‌های زنده}} = \text{زنده‌مانی} \quad (\text{درصد})$$

در پایان آزمایش جلبک‌ها با استفاده از دستگاه سانتریفوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه برداشت گردید و

روش انجام آزمایش

جهت انجام آزمایش، کشت جلبک با استفاده از محیط‌های کشت کانوی، پساب شیر و مخمر در دو حالت رقیق (۵ میلی لیتر در لیتر) و غلیظ (۱۰ میلی لیتر در لیتر)، هر کدام در سه تکرار انجام شد. محیط کشت در غلظت‌های کم (رقیق) مقدار ۵ میلی لیتر در لیتر (۰/۵ درصد) و در غلظت‌های زیاد (غلیظ) مقدار ۱۰ میلی لیتر در لیتر (۱ درصد) به ازای هر لیتر از کشت جلبک *T. tetrathele* استفاده گردید. آزمایش در ارلن مایرهای شبشهای پنج لیتری در شرایط آزمایشگاهی در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد، شوری ۲۵ گرم بر لیتر و pH تقریباً ۸ انجام شد. استوک جلبکی به میزان ۵ درصد حجمی اضافه شد. هوادهی و نور مناسب نیز با استفاده از پمپ هواده مرکزی و لامپ‌های فلورسنت فراهم گردید. جهت شمارش تعداد سلول‌های ریزجلبک هر روز و با استفاده از لام‌هوسیتومتر و با روش پیشنهاد شده‌ی Martinez و همکاران (۲۰۰۰) انجام شد. میزان رشد ویژه (SGR) با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شد (Omori and Ikeda, 1984):

لوله آزمایش ریخته و سپس ۱/۷ میلی لیتر سولفوریک اسید به آن اضافه گردید و به مدت ۲۰ دقیقه درون آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. پس از سرد شدن نمونه، به خوبی تکان داده شد. ۰/۳ میلی لیتر از محلول تهیه شده به لوله آزمایش دیگری انتقال داده شد و ۳/۴۵ میلی لیتر محلول وانیلا به آن اضافه گردید و به محلول به مدت ۳۰ دقیقه فرستاده شد. در نهایت میزان جذب نور نمونه ها در طول موج ۵۴۶ نانومتر در دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد (Meyer and Walther, 1988).

روش تجزیه و تحلیل آماری داده ها

آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. جهت آنالیز داده ها از تجزیه واریانس یک طرفه ANOVA و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح خطای ۵ درصد انجام شد. از نرم افزار آماری SPSS 24 برای انجام آزمون های آماری استفاده گردید. نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel 2010 رسم گردید.

نتایج

به منظور استفاده از پساب خام کارخانه شیر و مخمر در کشت انبوه جلبک *T. tetrathele* *T. tetrathele* پساب های خام جمع آوری شده از کارخانه شیر و مخمر استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفت. برخی ویژگی های پساب های مورد آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که میزان ذرات محلول در پساب خام شیر ۳۵/۸ میلی گرم در لیتر و در پساب مخمر ۳۰/۱۵ میلی گرم در لیتر بود. میزان COD و BOD در پساب شیر به ترتیب ۳۴۹/۷ و ۱۹۰/۴ میلی گرم در لیتر در حالی که در مخمر ۱۲۱/۵ و ۱۵۶/۳ میلی گرم در لیتر بود (جدول ۲).

سپس با استفاده از دستگاه خشک کن انجامدادی، خشک گردید و زی توده برای اندازه گیری های بیوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفت.

اندازه گیری ترکیبات بیوشیمیایی

برای اندازه گیری ترکیبات بیوشیمیایی ابتدا ۵ میلی گرم از زی توده خشک شده درون لوله آزمایش پودر شده و سپس ۰/۵ میلی لیتر آب مقطرا به آن اضافه می شود و آنقدر تکان داده تا حل شود. آنگاه محلول را درون لوله آزمایش ۲۰ میلی لیتری ریخته و به حجم ۱۰ میلی لیتر رسانده می شود و در یخچال جهت اندازه گیری پروتئین، چربی و کربوهیدرات استفاده می شود. برای اندازه گیری محتوای پروتئین، ابتدا مقدار ۱/۵ میلی لیتر از عصاره تهیه شده ریز جلبک درون لوله های آزمایش ریخته شد و سپس مقدار ۳ میلی لیتر از محلول NaOH به آن اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. نمونه ها با دور ۵۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. در مرحله بعد، ۲ میلی لیتر از محلول در لوله آزمایش ریخته و به آن ۵۰۰ یک میلی لیتر محلول رنگ (۱۵ گرم NaOH را در ۱۱۰ میلی لیتر آب مقطرا حل کرده و به آن میلی گرم CuSO₄ اضافه می گردد) اضافه شد و پس از ۵ دقیقه میزان جذب نور نمونه ها در طول موج ۳۱۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل 6400 JENWAY) قرائت شد. برای اندازه گیری کربوهیدرات، زی توده خشک جلبک *Tetraselmis* ابتدا ۰/۵ میلی لیتر از عصاره تهیه شده درون لوله آزمایش ریخته شد و ۰/۵ میلی لیتر فنول به آن اضافه گردید. سپس ۲/۵ میلی لیتر سولفوریک اسید به آن اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شد. در نهایت، میزان جذب نور نمونه ها در طول موج ۴۹۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. به منظور اندازه گیری محتوای چربی، مقدار ۰/۳ میلی لیتر از عصاره تهیه شده را درون

جدول ۲: برخی ویژگی‌های پساب خام کارخانه شیر و مخمر مورد استفاده (میلی گرم در لیتر) برای کشت جلبک *T. tetrathele*Table 2: Some characteristics of dairy and yeast wastewater (mg/l) used for cultivation of *T. tetrathele*

پارامترهای اندازه گیری شده	پساب خام	پساب خام	پساب خام
	مخمر	شیر	شیر
کل جامدات محلول (TDS)	۳۰/۲	۳۵/۸	
(COD) اکسیژن خواهی شیمیایی	۱۲۱/۵	۳۴۹/۷	
(BOD) اکسیژن خواهی بیولوژیک	۱۵۶/۳	۱۹۰/۴	
فسفات	۱/۷	۲۶/۳	
نیترات	۹۳۶	۱۵۰	
pH	۵/۶	۷/۳	

است. در تیمارهای مختلف از نظر زنده‌مانی سلولی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0.05$) اما تیمار کانوی رقیق زنده‌مانی بیشتری (۱۰۰ درصد) نسبت به سایر تیمارها نشان داد.

ترکیبات بیوشیمیایی

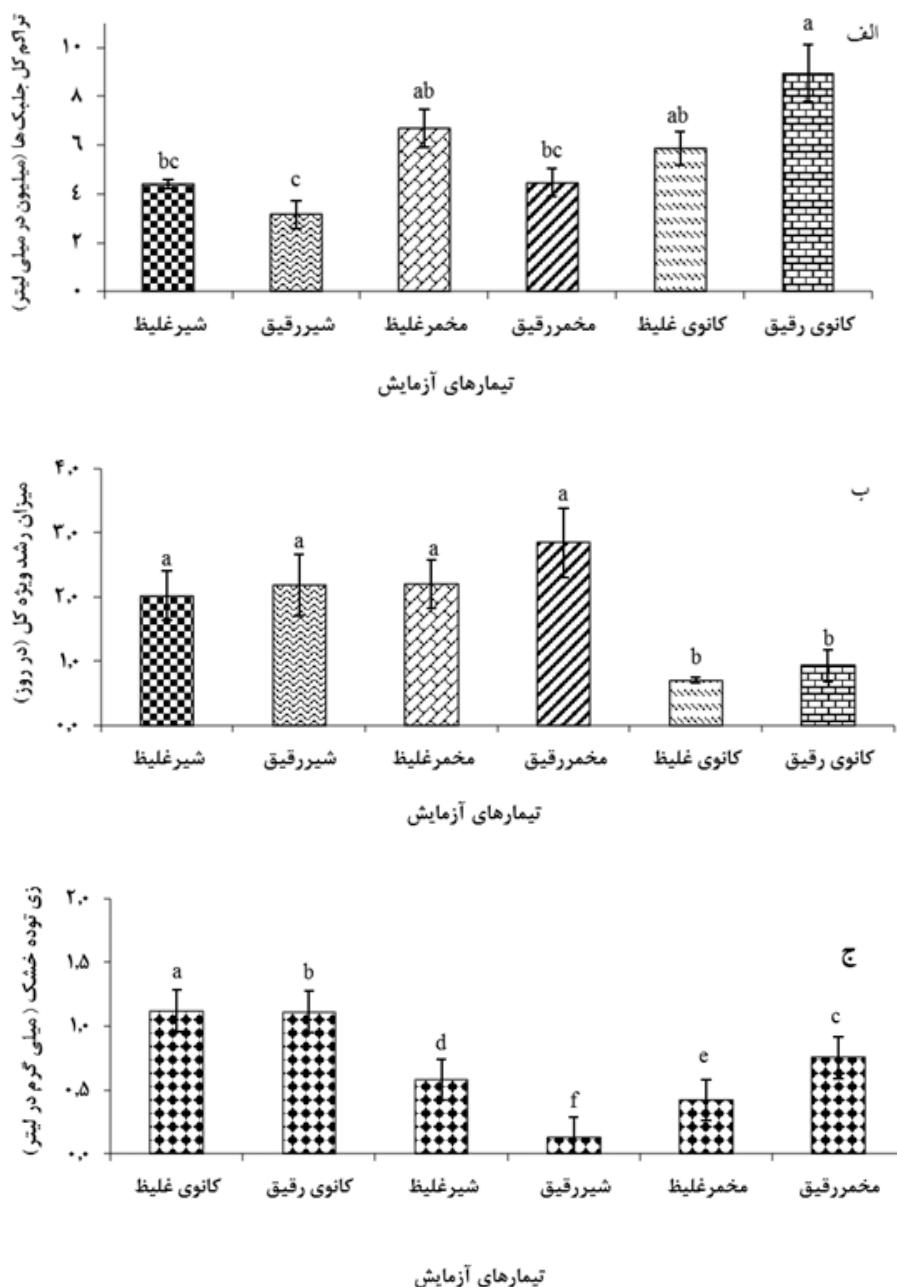
در این تحقیق ترکیبات بیوشیمیایی اندازه گیری شده در جلبک *T. tetrathele* مربوط به زی توده به دست آمده در روز ۱۱ از دوره پرورش (در آغاز ورود به دوره ثابت رشد) در هر تیمار است. میزان پروتئین، چربی و کربوهیدرات جلبک *T. tetrathele* رشد یافته در تیمارهای مختلف آزمایشی برحسب درصد از وزن خشک در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین میزان چربی و پروتئین در تیمار شیر غلیظ (به ترتیب $44/6$ و $9/7$ درصد) به دست آمد. همچنین تیمار مخمر غلیظ دارای بیشترین میزان کربوهیدرات ($31/5$ درصد) بود. به طور کلی، میزان پروتئین، چربی و کربوهیدرات جلبک *T. tetrathele* به ترتیب دامنه‌های $44/5$ – $44/7$ ، $10/7$ – $10/9$ و $5/9$ – $31/4$ درصد را نشان داد.

میزان تراکم، رشد ویژه و زی توده و زنده‌مانی جلبک *T. tetrathele*

میانگین تراکم سلولی و میزان رشد ویژه پس از ۱۱ روز پرورش جلبک سبز *T. tetrathele* در آغاز ورود به مرحله فاز ثابت رشد^۱ در تیمارهای مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه در طول آزمایش نشان داد که تیمارهای مختلف آزمایشی بر مشخصه‌های مختلف اندازه گیری شده تاثیر معنی‌داری دارند ($p < 0.05$). بر اساس نتایج بدست آمده در انتهای آزمایش، بیشترین تراکم سلولی در تیمار کانوی رقیق و بیشترین میزان رشد ویژه جلبک $2/84$ (در روز) در تیمار مخمر رقیق مشاهده شد. کمترین میزان تراکم سلولی مربوط به تیمار شیر رقیق بود و کمترین میزان رشد ویژه در تیمار کانوی غلیظ مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان زی توده خشک جلبک سبز *T. tetrathele* در تیمار کانوی (غلیظ و رقیق) و کمترین میزان آن در تیمار شیر رقیق در پایان دوره پرورش (روز ۱۱ پرورش) به دست آمد.

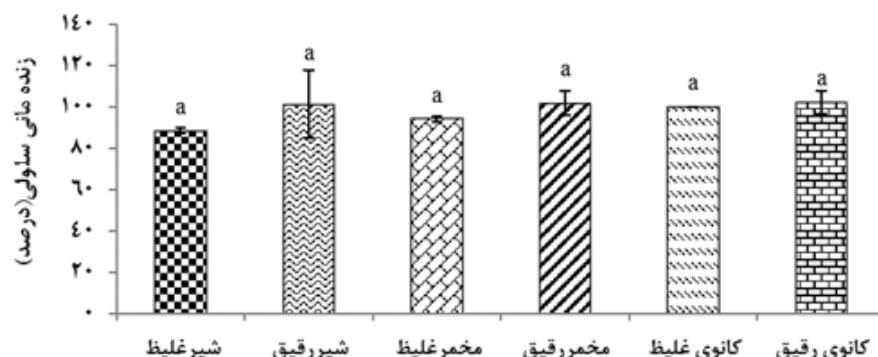
میانگین زنده‌مانی سلولی تیمارها پس از ۱۱ روز پرورش جلبک سبز *T. tetrathele* در شکل ۲ نشان داده شده

¹ Stationary phase



شکل ۱: میانگین (\pm SE) تراکم (الف)، رشد ویژه (ب) و میزان زی توده خشک (ج) جلبک *T. tetrathele* در تیمارهای مختلف. تیمارهای رقیق و غلیظ به ترتیب دارای ۵ و ۱۰ میلی لیتر در لیتر از محیط کشت بودند. میانگین های دارای حداقل یک حروف مشابه از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند ($p>0.05$)

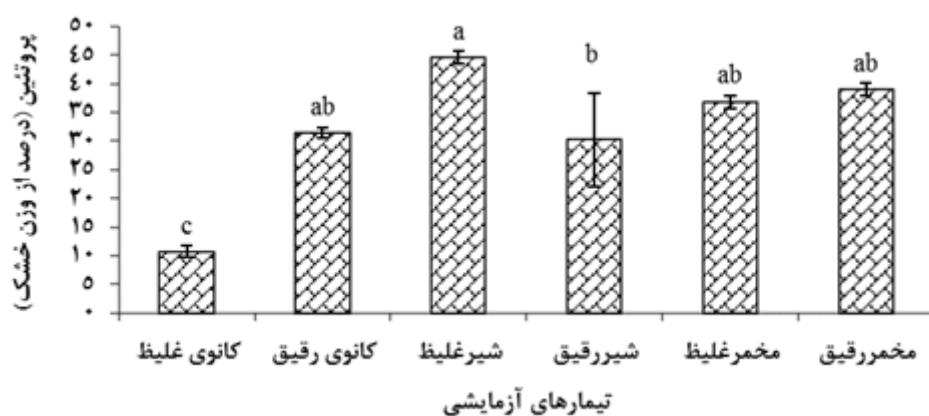
Figure 1: Mean (\pm SE) of density (a), specific growth rate (b) and amount of dry biomass (c) of *T. tetrathele* in different treatments. Dilute and concentrated treatments have 5 and 10 ml/l of culture medium, respectively. Means with at least one similar letter were not statistically significant at the 5% level ($p>0.05$)



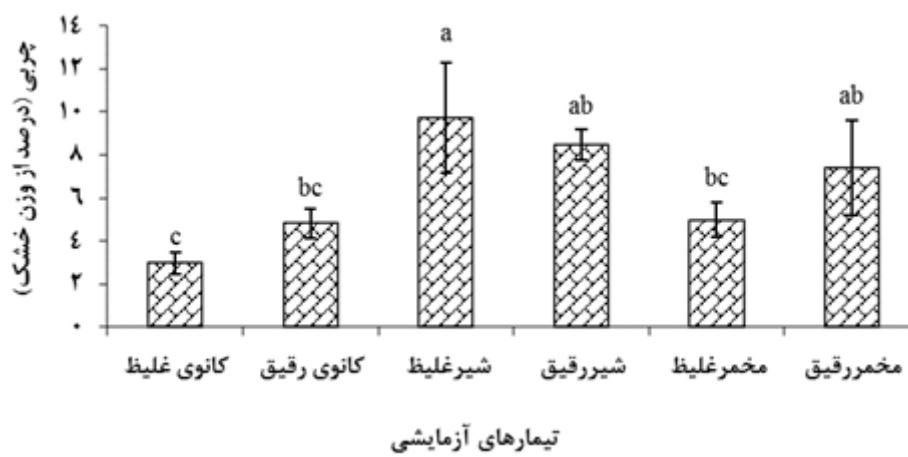
تیمارهای آزمایشی

شکل ۲: میانگین زنده‌مانی سلولی پس از ۱۱ روز پرورش جلبک سبز *T. tetrathele* در تیمارهای مختلف. تیمارهای رقیق و غلیظ به ترتیب دارای ۵ و ۱۰ میلی لیتر در لیتر از محیط کشت بودند. میانگین‌های دارای حداقل یک حروف مشابه از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار نداشتند ($p>0.05$)

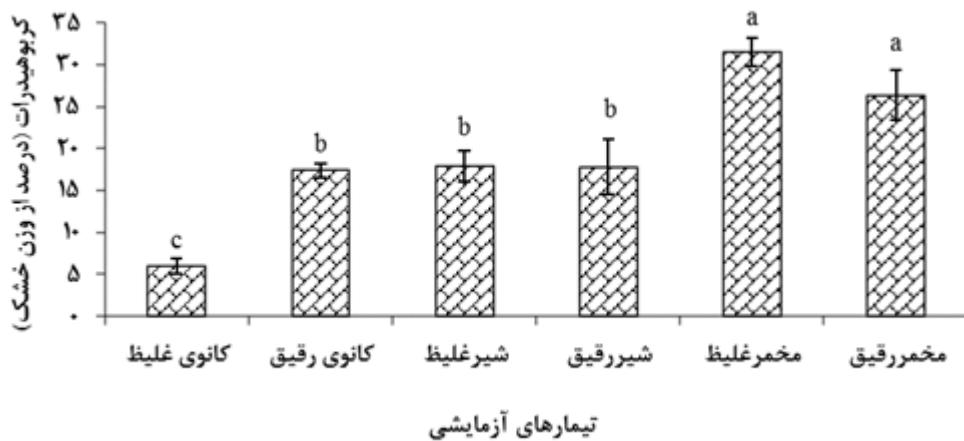
Figure 2: Mean of cell viability after 11 days of *T. tetrathele* cultivation in different treatments. Dilute and concentrated treatments have 5 and 10 ml/l of culture medium, respectively. Means with at least one similar letter were not statistically significant at the 5% level ($p>0.05$)



تیمارهای آزمایشی



تیمارهای آزمایشی



شکل ۳: میانگین (\pm خطای استاندارد) پروتئین، چربی و کربوهیدرات جلبک سبز *T. tetrahele* پرورش یافته در تیمارهای مختلف. تیمارهای رقیق و غلیظ به ترتیب دارای ۵ و ۱۰ میلی لیتر در پساب فراورده‌های لبنی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که پس از دوره اول در کشت میگزوتروف (۱۲ روز) وزن خشک *S. suecica* ۰/۴۳ گرم در لیتر و در گونه *T. quadricauda* ۰/۵۸ گرم در لیتر پس از دوره دوم (۲۴ روز) وزن خشک به ترتیب به ۰/۳۶ و ۰/۶۵ گرم در لیتر رسید.

Figure 3: Mean (\pm SE) of protein, fat and carbohydrate of green algae *T. tetrahele* grown in different treatments. Dilute and concentrated treatments have 5 and 10 ml/l of culture medium, respectively. Means with at least one similar letter were not statistically significant at the 5% level ($p>0.05$)

دوره پرورش میگزوتروف و یک دوره پرورش هتروتروف گونه *Scenedesmus quadricauda* آب شیرین و گونه *Tetraselmi suecica* آب شور در پساب فراورده‌های لبنی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که پس از دوره اول در کشت میگزوتروف (۱۲ روز) وزن خشک *S. suecica* ۰/۴۳ گرم در لیتر و در گونه *T. quadricauda* ۰/۵۸ گرم در لیتر پس از دوره دوم (۲۴ روز) وزن خشک به ترتیب به ۰/۳۶ و ۰/۶۵ گرم در لیتر رسید. در مطالعه حاضر، از نظر زنده‌مانی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. شاید علت بهبود زنده‌مانی سلول‌های جلبکی این باشد که پساب‌ها اثر سوء و سمی بر سلول‌های جلبکی نداشته‌اند. همچنین جلبک *Tetraselmis* گونه‌ای است که از توانایی سازگاری و زنده‌مانی در شرایط سخت و پیچیده برخوردار است.

نتایج آنالیز ترکیبات بیوشیمیایی نیز در این مطالعه نشان داد که بیشترین میزان پروتئین و چربی (به ترتیب ۴۴/۶ و ۹/۷ درصد) در تیمار شیر غلیظ و بیشترین میزان کربوهیدرات (۳۱/۵ درصد) در تیمار مخمر غلیظ به دست آمد. با توجه به این که ترکیب بیوشیمیایی بسیاری از جلبک‌ها می‌تواند متأثر از عوامل غیر زنده باشد، لذا در این

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از دو نوع پساب لبنیات و مخمر با تولید مناسبی از جلبک تتراسلمیس همراه بود. بیشترین میزان تراکم سلول‌های جلبکی و زی‌توده خشک طی دوره یازده روزه کشت جلبک در پساب کانوی رقیق به دست آمد، اما بیشترین میزان رشد ویژه مربوط به تیمار مخمر رقیق بود. Mercado-Blanco و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعات خود بیان کردند که پساب غنی از نیتروژن و فسفر به همراه CO_2 و انرژی خورشیدی فراهم کننده شرایط مناسب برای کشت ریزجلبک‌ها هستند که سرانجام منتهی به تولید زی‌توده مفید جلبکی و کاهش نیتروژن و فسفر خروجی پساب می‌شود. Almomani و Örmeci (۲۰۱۶) عنوان داشتند که افزایش وزن خشک و کاهش سرعت رشد در طول پیشرفت هر آزمایش می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله نفوذ نور به محیط کشت، چگالی یا محدودیت کربن غیرآلی و تراکم جلبکی نسبت داده شود. با افزایش مواد معدنی رشد بیشتر ریزجلبک‌ها مورد انتظار است و این امر چگونگی اثر گذاری غلظت محیط کشت بر میزان رشد ویژه و وزن خشک را توجیه می‌کند. در مطالعه Daneshvar و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی دو

شود، می‌تواند بیشترین رشد (۰/۴۴-۰/۴۲ گرم در لیتر)، حذف مواد مغذی ۲۱-۲۲ میلی‌گرم نیترون کل در لیتر) و تولید چربی (۱۰-۱۱ میلی‌گرم در لیتر در روز) را پس از ۶ روز از پرورش به ارمنان آورد. بنابراین، در این بررسی محققان بیان کردند که کشت ریزجلبک‌ها در پساب مواد غذایی تحت شرایط میکروتروف می‌تواند به عنوان روشی مناسب و مقرون به صرفه جهت تولید زیستوده‌ای با تراکم زیاد از ریزجلبک‌ها به کار گرفته شود.

به طور کلی، براساس میزان رشد ویژه، زنده‌مانی و ترکیبات بیوشیمیایی مشاهده شده در این آزمایش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که پساب شیر با غلظت ۱۰ میلی‌لیتر در لیتر (شیر غلیظ) و مخمر با غلظت ۵ میلی‌لیتر در لیتر (مخمر رقیق) می‌تواند به عنوان مناسب‌ترین محیط کشت T. tetrathele مناسب نیمه‌صنعتی در پرورش انبوه جلبک به کار رود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و تحصیلات تكمیلی دانشگاه صنعتی اصفهان برای فراهم نمودن شرایط و امکانات لازم برای انجام این تحقیق و آقایان دکتر سعید اسدالهی و دکتر ابراهیم متقدی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- حیدری، ص.، فرهادیان، ا. و صوفیانی، ن.، ۱۳۹۰. تولید زیست توده و حذف آمونیاک و نیتریت از پساب کارگاه پرورش ماهی به‌وسیله کشت جلبک سبز سندسموس کوادریکوادا. مجله محیط شناسی، ۵۹: ۱۵-۲۸.
- صفری، ر.، میربخش، م.، غفاری، ه.، ریحانی پول، س. و رحمتی، ر.، ابراهیم زاده، مجید. ۱۴۰۱. اثر فاکتورهای دما، pH و زمان بر پایداری و فعالیت آنتی اکسیدانی آستاگزانتین استخراج شده از میکروجلبک هماتوکوکوس Haematococcus pluvialis. مجله علمی شیلات ایران، ۱۰۹-۱۲۰. ۳۱(۱).
- فرهادیان، ا. و جعفری، ا.، ۱۳۹۴. تاثیر سختی محیط کشت بر خالص سازی و تشکیل کلونی در جلبک سبز

تحقیق با توجه به ثابت بودن همه شرایط به جز محیط کشت این گونه می‌توان استنباط نمود که تفاوت اصلی بین تیمارهای آزمایشی به طور اصلی به ترکیبات محیط کشت بدویژه عناصر غذایی رشد مرتبط باشند. برای مثال، Liu و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که کمیت و کیفیت چربی‌های سلولی تحت شرایط مختلف رشد مانند دما، شدت نور، مواد مغذی، تراکم نیتروژن، فسفر و آهن تغییر می‌کند. Fabregas و همکاران (۱۹۹۸) عنوان کردند که ترکیبات بیوشیمیایی جلبک‌ها از جمله چربی‌ها به‌وسیله مواد مغذی در دسترس، تاثیر می‌پذیرند. همچنین Chisholm و Shifrin (۱۹۸۱) نشان دادند که در برخی گونه‌های جلبکی تجمع چربی‌ها تحت شرایط کمبود نیتروژن افزایش می‌باشد. هنگامی که کشت در فاز رشد ثابت قرار می‌گیرد، ترکیب تقریبی ریزجلبک‌ها به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. برای نمونه، اگر مقدار نیترات و کربوهیدرات کم باشد، باعث می‌شود که پروتئین بیشتری مصرف شود (Harrison and Stein, 1990). در مطالعه Acutodesmus Chokshi و همکاران (۲۰۱۶) ریزجلبک dimorphus در پساب خالص صنایع لبنی بدون هیچ‌گونه رقیق‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. وزن زیستوده خشک در روزهای ۴ و ۸ پرورش به ترتیب به ۷۹۰ و ۸۴۰ میلی‌گرم در لیتر رسید که این میزان ۵-۶ برابر بیشتر از زمانی بود که این ریزجلبک در محیط کشت تجاری-BG-11 پرورش داده شد. همچنین درشت مغذی‌هایی چون چربی و کربوهیدرات زیستوده حاصل از کشت این ریزجلبک در پساب لبنی به ترتیب شامل ۲۵ درصد و ۳۰ درصد بود که تفاوت معنی‌داری با گروه کنترل نداشت، اما با توجه به این که تولید زیستوده بسیار بیشتر از گروه کنترل بود، پیشنهاد شد که چربی و کربوهیدرات زیستوده‌ی حاصله در پساب لبنی می‌تواند به عنوان منبع بیوبیزل و بیوآتانول، مورد استفاده قرار گیرند. در مطالعه Ji و همکاران (۲۰۱۵) نیز مشخص شد که استفاده از پساب Scenedesmus obliquus به منظور کشت ریزجلبک مواد غذایی می‌تواند در افزایش رشد، تولید چربی و حذف مواد آلی از پساب موثر واقع گردد به‌طوری که وقتی S. obliquus تحت شرایط میکروتروف (وجود کربن آلی و کربن معدنی به صورت توأم) با نسبت‌های مختلف ۰/۵-۲ درصد) از پساب شهری با پساب مواد غذایی ترکیب شده و از گاز CO₂ به میزان ۱۰-۱۴ درصد در این کشت استفاده

- physiology. *Annual Review of Plant Biology*, 50(1):277-303. Doi: 10.1146/annurev.arplant.50.1.277
- Carvalho, A.P., Silva, S.O., Baptista, J.M. and Malcata, F.X., 2011.** Light requirements in microalgal photobioreactors: an overview of biophotonic aspects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89: 1275-1288. Doi: 10.1007/s00253-010-3047-8
- Chokshi, K., Pancha, I., Ghosh, A. and Mishra, S., 2016.** Microalgal biomass generation by phycoremediation of dairy industry wastewater: An integrated approach towards sustainable biofuel production. *Bioresource Technology*, 221: 455–460. Doi: 10.1016/j.biortech.2016.09.070
- Daneshvar, E., Zarrinmehr, M. J., Koutra, E., Kornaros, M., Farhadian, O. and Bhatnagar, A., 2019.** Sequential cultivation of microalgae in raw and recycled dairy wastewater: Microalgal growth, wastewater treatment and biochemical composition. *Bioresource Technology*, 273: 556-564. Doi: 10.1016/j.biortech.2018.11.059
- Fábregas, J., Otero, A., Morales, E.D., Arredondo-Vega, B.O. and Patiño, M., 1998.** Modification of the nutritive value of *Phaeodactylum tricornutum* for *Artemia* sp. in semicontinuous cultures. *Aquaculture*, 169:167–176. Doi: 10.1016/s0044-8486(98)00376-7
- Harrison, R.K. and Stein, R.L., 1990.** Substrate specificities of the peptidyl prolyl
- محله علمی پژوهش‌های *Scenedesmus quadricauda* گیاهی (محله زیست‌شناسی ایران)، ۲۸(۵): ۷۶-۱۰۶۶.
- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. and Ibraheem, I., 2012.** Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3): 257-75. Doi: 10.1016/j.sjbs.2012.04.005
- Almomani, F.A. and Örmeci, B., 2016.** Performance of *Chlorella Vulgaris*, *Neochloris oleoabundans*, and mixed indigenous microalgae for treatment of primary effluent, secondary effluent and centrate. *Ecology Engineering*, 95: 280-289. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.06.038
- Amini Khoeyi, Z., Seyfabadi, J. and Ramezanpour, Z., 2012.** Effect of light intensity and photoperiod on biomass and fatty acid composition of the microalgae, *Chlorella vulgaris*. *Aquaculture International*, 20: 41-49. Doi: 10.1007/s10499-011-9440-1
- Blonskaja, V. and Zub, S., 2009.** Possible ways for post treatment of biologically treated wastewater from yeast factory. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17: 189-197. Doi: 10.3846/1648-6897.2009.17.189-197
- Brown, M.R., Jeffrey, S.W., Volkman, J.K. and Dunstan, G.A., 1997.** Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture*, 151: 315-331. DOI: 10.1016/S0044-8486(96)01501-3
- Campbell, W.H., 1999.** Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and

- cis-trans isomerase activities of cyclophilin and FK-506 binding protein: evidence for the existence of a family of distinct enzymes. *Biochemistry*, 29: 3813-3816. Doi: 10.1021/bi00468a001
- Helena, K., Haris, H., Abdu, R.N. and Mimi, Z., 2018.** Growth, Proximate Composition and Pigment Production of *Tetraselmis chuii* Cultured with Aquaculture Wastewater. *Journal of Ocean University of China*. 17: 641–646. Doi: 10.1007/s11802-018-3428-7
- Ji, M.K., Yun, H.S., Park, Y.T., Kabra, A.N., Oh, I.H. and Choi, J., 2015.** Mixotrophic cultivation of a microalga *Scenedesmus obliquus* in municipal wastewater supplemented with food wastewater and flue gas CO₂ for biomass production. *Journal of Environmental Management*. 159: 115–120. Doi: 10.1016/j.jenvman.2015.05.037
- Kalyuzhnyi, G. and Murray, R.W., 2005.** Ligand effects on optical properties of CdSe nanocrystals. *The Journal of Physical Chemistry B*, 109: 7012-7021. Doi: 10.1021/jp045352x
- Knuckey, R.M., Brown, M.R., Barrett, S.M. and Hallegraeff, G.M., 2002.** Isolation of new nanoplanktonic diatom strains and their evaluation as diets for juvenile Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 211: 253-274. Doi: 10.1016/S0044-8486(02)00010-8
- Koby, M. and Delipinar, S., 2008.** Treatment of the baker's yeast wastewater by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 154:1133-1140. Doi: 10.1016/j.hazmat.2007.11.019.
- Liu, Z.Y., Wang, G.C. and Zhou, B.C., 2008.** Effect of iron on growth & lipid accumulation in *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*, 99: 4717- 4722. Doi: 10.1016/j.biortech.2007.09.073
- Martinez, M.E., Sanches, S., Jimenes, J.M., Yousfi, F.E. and Munoz, L., 2000.** Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalgae *Scenedesmus obliquus*. *Bioresource Technology*, 73: 263-272. Doi: 10.1016/S0960-8524(99)00121-2
- Mercado-Blanco, J., Rodriguez-Jurado, D., Hervás, A. and Jiménez-Díaz, R.M., 2004.** Suppression of *Verticillium* wilt in olive planting stocks by root-associated fluorescent *Pseudomonas* spp. *Biological Control*, 30: 474-486. Doi: 10.1016/j.biocontrol.2004.02.002
- Meyer, E. and Walther, A., 1988.** Methods for the estimation of protein, lipid, carbohydrates and chitin levels in freshwater invertebrates. *Arch Hydrobiol*, 113: 161-177.
- Omori, M. and Ikeda, T., 1984.** Methods in Marine Zooplankton Ecology. John Wiley, New York. 332 P.
- Rice, E.W., Bird, R.B. and Eaton, A.D., 2017.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 724 P.

- Schüler, L.M., Santos, T., Pereira, H., Duarte, P. and Gangadhar, K.N., 2020.** Improved production of lutein and β -carotene by thermal and light intensity upshifts in the marine microalga *Tetraselmis* sp. CTP4. *Algal Research*, 45: 101732. Doi: 10.1016/j.algal.2019.101732
- Shifrin, N.S. and Chisholm, S.W., 1981.** Phytoplankton lipids: interspecific differences and effects of nitrate, silicate and light-dark cycles. *Phycology*, 17: 372-384. Doi: 10.1111/j.1529-8817.1981.tb00865.x
- Velichkova, K., Sirakov, I. and Stoyanova, S., 2014.** Biomass production and

wastewater treatment from aquaculture with *Chlorella vulgaris* under different carbon sources. *Scientific Bulletin: Series F, Biotechnologies*, 18: 83-88.

Wang, L.K., Hung, Y-T., Lo, H.H. and Yapijakis, C., 2006. Waste Treatment in the Food Processing Industry. Boca Raton: CRC Press, Florida, USA, 344 P.

Wang, Z., Zhao, Y., Ge, Z., Zhang, H. and Sun, S., 2016. Selection of microalgae for simultaneous biogas upgrading and biogas slurry nutrient reduction under various photoperiods. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91(7):1982-89. Doi: 10.1002/jctb.4788

Evaluation of biomass, growth, viability, and biochemical composition of *Tetraselmis tetrathele* using dairy and yeast wastewaters

Farhadian O.^{1*}; Soltani Samani Sh.¹; Rostami F.¹; Beyraghdar Kashkooli O.¹

*omfarhad@iut.ac.ir

1- Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract

Tetraselmis tetrathele is a species of saltwater that is widely used in industry and aquaculture due to its high nutritional value, bioactive compounds, and ease of cultivation. In this study, mass cultivation of this species was evaluated using effluent from dairy and yeast factories to evaluate growth, viability, and biochemical compounds (protein, fat, carbohydrate). The experiment was performed in a completely randomized design with six treatments; Conway, raw milk and yeast effluents as culture media, each in two modes, diluted (5 ml per liter of culture medium) and concentrated (10 ml per liter of culture medium) for 11 days. The results showed that this species was able to grow on dairy and yeast wastewaters, but the highest cell density in diluted Conway (9.12×10^6 cells per ml and 0.87 per day) and the highest specific growth rate in diluted yeast (6.68×10^6 cells per ml and 2.84 per day) were measured. However, the diluted raw dairy treatment had more survival than other treatments. The highest amount of protein and fat was obtained in the concentrated dairy treatment (44.6% and 9.71% of dry weight, respectively) and the highest amount of carbohydrates was obtained in the concentrated yeast treatment (31.49% of dry weight). Based on the specific growth rate, viability, and biochemical compositions it can be concluded that dairy and yeast wastewaters can be used as a suitable semi-industrial culture medium for mass cultivation of this species and it is recommended for the production of bioactive compounds and biofuels from the obtained biomass.

Keywords: Wastewater, Biochemical composition, Dairy and yeast, Growth, *Tetraselmis tetrathele*

*Corresponding author