استفاده از ضایعات صنایع غذایی و کشاورزی جهت کشت انواع جلبک

یاسمین فیاض [a]، مسعود هنرور [*b]

[a] دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[b] دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۹
https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080123.1401.19.3.4.9 DOI: 10.30495/JFTN.2022.62411.11144

چکیده

مقدمه: در سال‌های اخیر جلبک‌ها به عنوان منبع گسترده‌ای از عناصر تغذیه‌ای ارزشمند و ترکیبات زیست فعال شناخته شده و مورد توجه محققین قرار گرفته‌اند. تأمین منبع کربنی مناسب جهت کشت جلبک‌ها موجب گران قیمت شدن فرآیند تولید آن‌ها جهت استفاده برای مصارف تغذیه‌ای و دارویی شده است. لذا هدف از تحقیق حاضر استفاده از ضایعات کشاورزی و بقایای مواد غذایی به عنوان بستری مناسب و ارزان برای کشت جلبک می‌باشد.

مواد و روش‌ها: اخیرا تحقیقات مختلفی در خصوص تکنیک‌های کشت و تولید انواع مختلف جلبک‌ها، بر پایه استفاده از منابع جدید و ارزان قیمت کربن صورت گرفته است. ضایعات کشاورزی و صنایع غذایی از جمله منابع غنی ترکیبات کربنی محسوب می‌شوند. سالانه حدود ۱/۳ از حجم کل مواد غذایی در سطح جهان تبدیل به ضایعات می‌شود. لذا در سال‌های اخیر طی مطالعاتی به بررسی کاربرد ضایعات و باقیمانده‌های مواد غذایی و کشاورزی به عنوان بستری برای کشت جلبک‌ها پرداخته شده است. در این مقاله به چند نمونه از تحقیقات انجام شده در این زمینه اشاره شده است.

یافته‌ها: با توجه به وجود مقادیر قابل توجه ترکیبات قندی و کربن در ضایعات کشاورزی و صنایع غذایی، این ترکیبات میتوانند بستر مناسب جهت کشت انواع مختلف جلبک ها با هدف استفاده از آن‌ها جهت کاربردهای مختلف غذایی، دارویی و آرایشی- بهداشتی محسوب گردند. عدم وابستگی به نور در کشت میکسوتروف و هتروتروف به طور قابل توجهی هزینه‌ها و فضا را در مقایسه با کشت اوتوتروف کاهش داده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج بدست آمده در تحقیقات مختلف انجام شده در این زمینه می‌توان امیدوار بود که روش کشت هتروتروف جلبک با استفاده از ضایعات مواد غذایی برای تأمین نیازهای غذایی در آینده نقش اساسی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: *جلبک، ضایعات کشاورزی و صنایع غذایی، کشت هتروتروف*

[*] نویسنده مسئول مکاتبات email: m-honarvar@hotmail.com

مقدمه

استفاده از ترکیبات طبیعی گیاهی از قدیم الایام دارای کاربردهای مختلف تغذیه‌ای، پزشکی، آرایشی–بهداشتی و غیره بوده است. مطالعات مختلف نشان داده که مواد غذایی با افزودن ترکیبات گیاهی مانند ترکیبات فنولی، دارای آثار محافظت کنندگی در برابر بسیاری از بیماری‌ها می‌شوند. همچنین در سال‌های اخیر نیاز به پروتئین در سراسر جهان به شدت افزایش یافته است. بخش وسیعی از این افزایش تقاضا به صنعت آبزی‌پروری مرتبط است. سلول‌های خشک شده میکروارگانیسم‌ها، که تحت عنوان پروتئین‌های تک یاخته نیز شناخته می‌شوند به عنوان منابع پروتئینی در نظر گرفته می‌شوند (Zepka *et al*., 2010). برخلاف گیاهان خشکی زی، تولید میکروارگانیسم ها از جمله ریز جلبک ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها و مخمرها نیاز به زمین کشاورزی ندارد. ریز جلبک‌ها منبعی مناسب جهت تأمین پروتئین تک یاخته محسوب می‌شوند (Ende & Noke, 2018).

امروزه با توجه به کاهش حجم جنگل‌ها و پوشش گیاهی سطح کره زمین که با گذشت زمان، تغییرات آب و هوایی و گرم شدن کره زمین و افزایش جمعیت رخ داده است و نیز محدودیت تنوع گیاهان خشکی‌زی در مقایسه با محدوده گسترده گیاهان آبزی، گیاهان آبزی توجه زیادی را در صنایع مختلف و بررسی‌های علمی، به خود جلب نموده‌اند. گیاهان آبزی انواع مختلفی دارند برخی فقط در نزدیک و سطح آب و برخی در اعماق دریاها و اقیانوس‌ها رشد و نمو دارند، برخی تنها قادر به رشد در آب شیرین و برخی در آب شور نیز یافت می شوند. در این میان جلبک‌ها به عنوان ترکیبی غنی از متابولیت‌های زیست فعال بسیار مورد اهمیت می‌باشند.

جلبک‌ها به عنوان تولیدکننده اصلی در اکوسیستم‌های آبی از اهمیت زیست محیطی بالایی برخوردار هستند. حجم بالایی از اکسیژن جو توسط جلبک‌ها تولید می‌شود. سواحل جنوبی ایران به دلیل داشتن مرزهای گسترده با آب‌های خلیج فارس و دریای عمان از ظرفیت زیستی ارزشمندی برخوردار بوده و جلبک‌های این منطقه از منابع ارزشمند کشور محسوب می شوند. مطابق تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر بیش از ۳۴۷ نوع گونه جلبکی در آب‌های جنوب کشور شناسایی شدند که شامل ۱۶۷ گونه جلبک قرمز، ۷۹ گونه جلبک سبز، ۸۰ گونه جلبک قهوه‌ای، ۱۵ گونه جلبک سبز- آبی و ۶ گونه دیاتومه می‌باشد (Sohrabipour & Rabiee, 2017). برخی از انواع جلبک‌ها ظرفیت تولید بالایی داشته و می‌توانند مورد بهره‌برداری‌های اقتصادی و تجاری قرار گیرند. بیش از ۹۷٪ آب کره زمین شامل اقیانوس‌ها و دریاها بوده که بیشتر از ۹۷ درصد آن‌ها، آب‌های شور هستند. ۳ درصد باقیمانده، کل آب‌های شیرین روی زمین را تشکیل می‌دهند که بیش از ۲ درصد آن شامل آب‌های مناطق قطبی و کمتر از یک درصد هم دریاچه های آب شیرین، رودخانه‌ها، چشمه‌ها و منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Sohrabipour & Rabiee, 2017).

- خواص و کاربرد جلبک ها

جلبک‌ها از زمان‌های قدیم دارای کاربردهای خوراکی و دارویی بوده‌اند و خواص سلامتی بخش آن‌ها همواره مورد توجه بوده است، اگرچه خواص دارویی و شیمیایی ترکیبات موجود در عصاره آن در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات مختلف انجام شده برروی جلبک‌ها نشان‌دهنده وجود خواص آنتی‌اکسیدانی، آنتی‌بیوتیکی، ضد قارچی، ضد ویروسی و ضد سرطانی در آن‌ها بوده است (Farahani *et al*., 2014). امروزه محصولات حاصل از جلبک ها به شکل قرص، کپسول، عصاره‌های مایع و گاهی به صورت ترکیب شده در محصولات غذایی، آرایشی و غیره مشاهده می‌شوند (Spolaore *et al*., 2006).

زیست توده جلبک حاوی ترکیبات مختلف با خواص ساختاری و عملکردی گوناگون می‌باشد که در پاسخ به شرایط و استرس‌های محیطی مثل سرما، گرما، خشکی، شوری، فشار اسمزی، کمبود نیتروژن، شرایط بی‌هوازی و غیره سنتز می‌شوند (Shanab *et al*., 2012). از جمله مکانیسم‌های مختلف که برای سازگاری با نوسانات محیط‌های ساحلی همچون پرتوی فرابنفش و نور مرئی در جلبک‌ها وجود دارد می توان به تشکیل ترکیبات جاذب نور فرابنفش خورشید مانند فلاونوئیدها اشاره نمود (Karsten *et al*., 2007).

از کاربردهای جلبک‌ها می توان به تهیه انواع لوازم بهداشتی و آرایشی و تولید انواع قرص، کپسول، نخ های جراحی، مواد قالب‌گیری دندان و مواد عکسبرداری رادیولوژیک اشاره کرد. ۹۰٪ تولید جلبک‌های دریایی در

کشورهای آسیایی خصوصا جنوب شرقی آسیا دارای مصرف خوراکی می‌باشد (Sohrabipour & Rabiee, 2017). علاوه بر مصرف خوراکی انسان در کشورهایی مثل انگلیس، اسکاتلند، ایرلند و فرانسه جلبک‌ها برای تغذیه دام‌هایی همچون اسب، گاو و خوک استفاده می‌شوند. از پلیمرهای زیستی موجود در جلبک‌ها در صنایع غذایی برای تهیه انواع کنسروها، محصولات لبنی و شیرینی جات، مارمالادها و ژله‌ها، آبمیوه‌ها و فرآوری انواع محصولات گوشتی نظیر سوسیس، کالباس و ژامبون استفاده می‌شود (McHugh, 1987).

از میکروجلبک‌ها در بیوتکنولوژی به منظور دستیابی به کاروتنوئیدها، اسیدهای چرب، لیپیدها، پلی‌ساکاریدها و همچنین در داروسازی و تهیه مواد آرایشی، مواد خوراکی و مکمل های غذایی استفاده می‌شود (Pulz & Gross, 2004). از ماکروجلبک‌ها نیز در بیوتکنولوژی جهت دستیابی به ترکیبات دارویی، غذایی و آرایش استفاده می‌شود. همچنین این ارگانیسم‌ها به عنوان سوخت‌های زیستی، محرک‌های رشد گیاهی و حفاظت از محیط‌زیست و غیره می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. منشاء زیستی جلبک‌ها سبب شده که با اطمینان بیشتری در محصولات مختلف استفاده شوند و میزان مصرف آن‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است. بسیاری از گونه‌های جلبکی دارای قابلیت تولید بالا بوده لذا امکان ایجاد صنعت کشت و پرورش جلبک‌های دریایی برای تولید کودهای ارگانیک، مکمل‌های خوراکی دام و طیور و تولید پلیمرهای زیستی ارزشمند وجود خواهد داشت.

- ترکیب شیمیایی جلبک ها

ترکیبات اصلی موجود در عصاره جلبک‌ها شامل موارد زیر می‌باشد: پلی ساکاریدها که در دیواره سلولی جلبک‌ها وجود دارند و سبب حفظ تعادل یونی، استحکام و انعطاف می‌شوند. ترکیبات فنولی که به عنوان گیرنده الکترون عمل کرده و بدین ترتیب از تشکیل رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کنند. ترکیبات فنولی دارای کاربردهای ضد میکروبی، ضد ویروسی و آنتی‌اکسیدانی بوده و جلبک را از آسیب‌های زیستی و غیرزیستی حفظ می‌کنند. اسیدآمینه‌های ضروری و پروتئین‌ها که نقش‌های مختلفی داشته و استخراج آن‌ها فرآیندی دشوار می‌باشد. لیپیدها از جمله اسیدهای چرب غیراشباع که دارای کاربردهای مختلفی از جمله حفظ ساختار غشای سلولی می‌باشند. ویتامین‌های مختلف مانند ویتامین A, B1, B2, B6, B12, C, E فولیک اسید, بیوتین و غیره که مقدار آن‌ها در جلبک وابسته به فصل می‌باشد. مواد معدنی مثل سلنیوم، روی، مس و منگنز که در ساختار آنزیم‌ها یافت می‌شوند. استروئیدها و ترپنوئیدها که دارای نقش آنتی‌اکسیدانی، ضد ویروسی، ضد التهابی و حفاظت‌کنندگی در برابر اشعه UV هستند (Kim & Chojnacka, 2015). توکوفرول ها و کاروتنوئیدهای موجود در جلبک‌ها توانایی دادن هیدروژن به رادیکال آزاد را داشته و می‌توانند سبب افزایش خاصیت آنتی اکسیدانی جلبک شوند (Airanthi *et al*., 2011).

از زیست توده جلبک به عنوان ماده خام در شاخه‌های مختلف صنعت استفاده می‌شود (Stolz & Obermayer, 2005). پلی‌ساکارید اصلی‌ترین ترکیب تشکیل دهنده بیومس جلبک محسوب می‌شود. آگار، کاراگینان و آلژنیک اسید از جمله پلی‌ساکاریدهای ژله‌ای جلبک یا به عبارتی فیکوکلوئید هستند که دارای کاربرد گسترده در صنایع غذایی، آرایشی و دارویی می‌باشند (Dominguez, 2013). این ترکیبات سبب ایجاد خاصیت ژله‌ای و تغلیظ کنندگی در جلبک می‌شوند.

پلی‌ساکاریدهای حاصل از جلبک‌ها دارای کاربرد گسترده در صنایع مختلف می‌باشد. به عنوان مثال از پلی‌ساکاریدهای آلژینات و کاراگینان جلبک در صنایع غذایی برای ساخت مواد بسته‌بندی خوراکی استفاده می‌شود (Gupta & Abu-Ghannam, 2011). میزان پلی‌ساکارید در زیست توده حاصل از جلبک‌ها به شکل قابل ملاحظه‌ای بیشتر از گیاهان خشکی‌زی است، همچنین در بسیاری از خصوصیات نیز با پلی‌ساکارید گیاهان خشکی‌زی متفاوت است (Alves *et al*., 2013). به طورکلی ترکیب شیمیایی جلبک‌ها با توجه به سن، گونه، فصل رویش و سایر پارامترهای مربوط به خود جلبک و محیط متفاوت می‌باشد.

- طبقه بندی جلبک‌ها

جلبک‌ها دارای گونه های متنوع، پراکندگی گسترده و خصوصیات زیستی و فیزیولوژی اختصاصی می‌باشند. در

سال‌های اخیر طبقه‌بندی جلبک‌ها مورد بازنگری و پیشرفت قرار گرفته و خصوصیات ژنتیکی و مولکولی نیز در این طبق‌بندی‌ها مد نظر قرار گرفته شده است. طبقه بندی معمول و متداول جلبک‌ها آن‌ها را به دو دسته پرسلولی (شامل جلبک دریایی یا Sea weed و ماکروفیت‌ها یا گیاه آبزی) و تک سلولی یا کلنی‌های متشکل از میکرو آلگا تقسیم می کند. ماکروجلبک ها از زیستگاه‌های طبیعی برداشت می‌شوند درحالی که میکروجلبک‌ها باید در سیستم‌های مصنوعی کشت داده شوند (Pulz & Gross, 2004). جلبک‌ها به سه دسته جلبک‌های سبز (Chlorophyceae)، قرمز (Rhodophyceae) و قهوه‌ای (Phaeophyceae) تقسیم می‌شوند (Dominguez, 2013). جلبک‌های قرمز پرسلولی بوده و در آب‌های گرم اقیانوس یافت می‌شوند. جلبک‌های سبز به دو شکل تک سلولی و پرسلولی در طبیعت وجود دارند، انواع پرسلولی در آب‌های شور و انواع تک سلولی می‌توانند درآب‌های شیرین، درون خاک‌های مرطوب و حتی در بدن سایر ارگانیسم‌ها وجود داشته باشند. جلبک‌های قهوه‌ای نیز به شکل پرسلولی بوده و در آب‌های دریایی وجود دارند. جلبک‌ها علاوه بر رنگدانه، در نوع مواد ذخیره‌ای و ترکیب پلی‌ساکاریدهای موجود در دیواره سلولی نیز با هم تفاوت دارند. برای مثال ترکیب جلبک‌های سبز به طور میانگین شامل ۱۰ درصد پروتئین، ۳۵ درصد کربوهیدرات و ۵۰ درصد خاکستر (Ca,Fe,P,Cl) می‌باشد (Alves *et al.*, 2013).

- کشت جلبک

اوتوتروف: امروزه رایج‌ترین روش کشت جلبک خصوصا میکروجلبک‌ها، کشت اوتوتروف است. توانایی فتوسنتز در جلبک‌ها و امکان استفاده مؤثر از انرژی خورشید در آن‌ها، امکان کشت میکروجلبک‌ها را در محیط‌هایی با حضور نور طبیعی یا مصنوعی فراهم کرده است. قرار دادن نور طبیعی یا مصنوعی کافی در اختیار سلول جهت رشد توده و افزایش جمعیت، هدف و محدودیت اصلی در این کشت است (Mandalam & Palsson, 1998). اتوتروف‌ها از نظر اینکه از دی اکسیدکربن به عنوان منبع کربن استفاده می‌نمایند و در زنجیره رقابتی با مواد غذایی قرار نمی‌گیرد مورد توجه هستند (Sadeghin & Sarrafzadeh, 2013).

هتروتروف: کشت هتروتروف جایگزینی مناسب برای کشت فوتوتروف جلبک ها در فوتوبیوراکتورها می‌باشد. عدم وابستگی کشت هتروتروف به نور سبب کاهش هزینه‌ها و سهولت کنترل فرآیند شده است (Sadeghin & Sarrafzadeh, 2013).

جلبک‌های هتروتروف معمولاً در شرایط خارج از محیط طبیعی رشد که در آن رقابتی برای مواد مغذی وجود ندارد رشد می کنند. از آنجا که تولید هتروتروف در یک سیستم بسته انجام می‌شود، آلودگی ناشی از سایر میکروارگانیسم‌ها را در آن قابل کنترل می‌باشد. همچنین بهینه‌سازی شرایط کشت جلبک در این سیستم به منظور به حداکثر رساندن بازده زیست توده امکان‌پذیر است. در کشت هتروتروف جلبک قادر به تولید حجم زیادی از بیومس بوده و بازده محیط‌های کشت بالا می باشد که این مسأله به نوبه خود هزینه کلی تولید را کاهش داده و منجر به صرفه اقتصادی می‌شود. البته لازم به ذکر است که گونه های محدودی از جلبک‌ها قادر به رشد هتروتروف‌اند و همچنین هزینه تهیه سوبسترای آلی و انرژی در این روش بالا است (Sadeghin & Sarrafzadeh, 2013).

میکسوتروف: در کشت میکسوتروف که تلفیقی از دو روش قبل بوده نیز مقدار زیادی بیومس بدست خواهد آمد و علاوه بر نرخ رشد بالا، متابولیت‌های فتوسنتزی نیز تولید خواهند شد.

ریز جلبک‌های تک سلولی آب‌های شیرین از تیره *Chlorella* برای کشت هتروتروف مناسب بوده و قابلیت کشت در مقیاس بالا دارند (Ende & Noke, 2018). علاوه بر این، *Chlorella* دارای محتوای پروتئینی بالایی بوده و از معدود ریز جلبک‌های هتروتروف است که می‌تواند برای خوراک حیوانات خشکی و آبزیان مورد استفاده قرار گیرد (Harel & Clayton, 2004; Kotrbáček *et al.*, 2015).

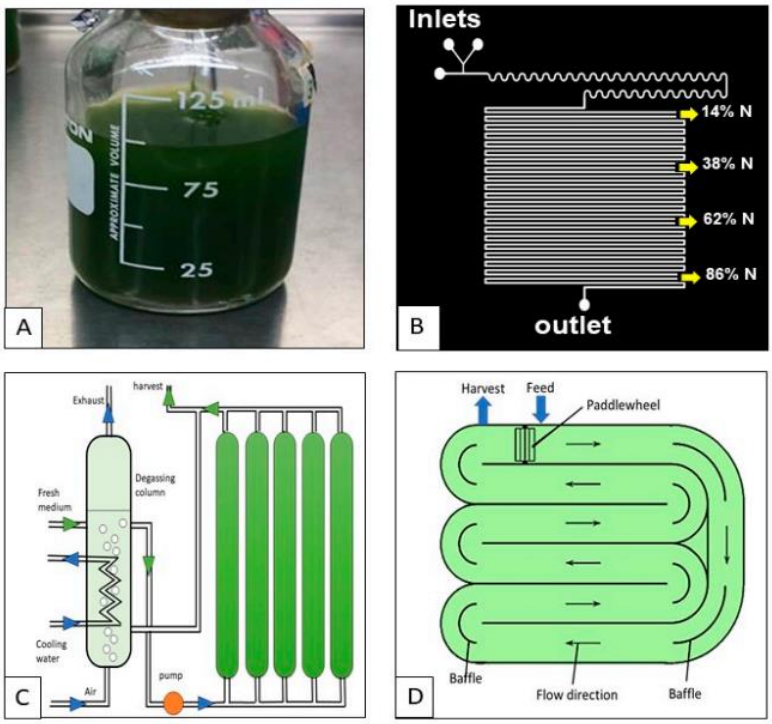
در شکل ۱، چهار روش کشت جلبک قابل مشاهده‌اند. روش A تکنیک معمول آزمایشگاهی می‌باشد که بدلیل زمان بر بودن آن از روش پیشرفته‌تری تحت عنوان LOC(Lab on-a-chip) (B) استفاده می‌شود. در این شیوه امکان تلقیح همزمان ۱۰۰ ها قطره از عصاره جلبک بر سطح یک تراشه امکان پذیر است.

روش (C) کشت در فوتوبیوراکتور است که تکنیکی مناسب بوده ولی هزینه آن بالاست و روش (D) نیز کشت در برکه‌ها و استخرهای سرباز را نشان می‌دهد که از بیوراکتور ارزان‌تر هستند ولی امکان آلودگی در آن وجود داشته، همچنین کنترل دما در آن مشکل می‌باشد (Saad *et al.*, 2019).

پرهزینه‌ترین بخش فرآیند کشت هتروتروف تأمین یک منبع کربنی است به طوری که تأمین کربن تا حدود ۶۰٪ از کل هزینه‌های تولید را تشکیل می‌دهد (Sharma *et al*,. 2011). لذا کشف و بهره‌برداری از منابع کربنی ارزان قیمت مانند ضایعات کشاورزی و زباله‌های صنایع غذایی به عنوان سوبسترای محیط کشت، در جهت تأمین نیاز غذایی آینده اهمیت و کارکرد بالایی خواهد داشت. چالش دیگر در این رابطه، ترکیب شیمیایی خود جلبک است. هنگامی که جلبک برای مصارف خوراکی در نظر گرفته شود، کمیت و کیفیت پروتئین مهمترین پارامتر محسوب خواهد شد.

به‌طور کلی مشاهده شده که محتوای پروتئین در جلبک‌هایی که به صورت هتروتروف رشد می‌کنند کمتر از محتوای پروتئین موجود در جلبک‌های تولید شده با سیستم اوتوتروف یا میکسوتروف است (El-Sheekh *et al.*, 2014; Gami *et al*., 2014).

به عنوان مثال، در تحقیقی مشاهده شد که محتوای پروتئین جلبک *Chlorella vulgaris* کشت داده شده در شرایط میکسوتروف حدود ۶۰۰ میلی‌گرم در گرم ماده خشک بوده در حالی که در صورت کشت آن در شرایط هتروتروف محتوای پروتئین به ۴۰۰ میلی‌گرم کاهش یافت (Ende & Noke, 2018). لازم به ذکر است میزان تولید زیست توده جلبک و غلظت آن با استفاده از روش اسپکتروفتومتری قابل اندازه‌گیری می‌باشد (Mirzaie *et al.*, 2015).



شکل ۱- انواع تکنیک های کشت جلبک (G. Saad *et al.*, 2019)

(A) روش معمول آزمایشگاهی، (B) روش آزمایشگاهی کشت روی تراشه
(C) فوتوبیوراکتور، (D) برکه های سرباز

Figure 1- Types of algae cultivation techniques (Saad *et al.*, 2019)
(A) Conventional method (in vitro), (B) Lab on-a-chip method (in vitro),
(C) Photobioreactor (in vivo), (D) Open pond (in vivo)

- ضایعات صنایع غذایی و کشاورزی

محصولات کشاورزی و ضایعات آن‌ها ترکیباتی غنی از قند، نشاسته و سایر مواد مغذی بوده و شرایط مناسبی را برای تخمیر جامد توسط باکتری‌ها و قارچ‌ها فراهم می‌کنند. با توجه به تولید حجم بالای ضایعات میوه و سبزیجات در مناطق مختلف کره زمین، تحقیقات زیادی در زمینه کاهش اثرات منفی این دست از آلاینده‌ها بر محیط زیست در حال انجام است. به دلیل وجود مقادیر قابل توجه ترکیبات قندی و کربن در ضایعات کشاورزی و صنایع غذایی، یکی از کاربردهای مهم این دست از ضایعات، استفاده از آن‌ها به عنوان بستری جهت کشت جلبک‌ها و استفاده از آن‌ها جهت کاربردهای مختلف غذایی، دارویی و آرایشی-بهداشتی می‌باشد. در مطالعه حاضر به مروری بر تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در رابطه با امکان استفاده از ضایعات کشاورزی و صنایع غذایی جهت پرورش جلبک‌های هتروتروف پرداخته شده است.

- مروری بر مطالعات انجام شده در این زمینه

- کشت جلبک *Chlorella* با استفاده از ضایعات موز

ضایعات موز و میزان تولیدات اضافی استفاده نشده، سوبسترایی مناسب جهت کشت ریز جلبک‌ها محسوب می‌باشند. البته ممکن است استفاده از آن برای کشت جلبک رقابتی با تولید مواد غذایی محسوب شود، مگر اینکه مازاد موجود باشد. در سال ۲۰۱۳، ۱۰۶/۷ میلیون تن موز در سراسر جهان تولید شد که نسبت میزان محصول موز با میزان ضایعات ۱ به ۲ بود (Guerrero *et al.*, 2016). ضایعات موز عمدتا به دلیل برداشت محصول با درجات مختلف رسیدگی تولید می شوند. بخش‌های مختلف میوه موز دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و جذب کنندگی رنگ بوده و سوبسترایی مناسب جهت تهیه گازهای زیستی، الکل، خوراک دام و غیره محسوب می‌شوند (Mohapatra *et al.*, 2010).

طی بررسی‌ای مشاهده شد که رشد *Chlorella* با استفاده از عصاره موز افزایش می‌یابد. طی این بررسی با افزودن ۱۰ گرم تفاله میوه موز رسیده در ۱۰۰ میلی لیتر آب در حال جوش به محلول کشت پایه بعد از ۵ روز، ۲۰ گرم ماده خشک جلبک در هر ۲۰ لیتر بدست آمد. در سال‌های اخیر نیز نتایج مطالعاتی حاکی از افزایش میزان رشد *Chlorella* در محیط‌های حاوی تفاله و پوست موز در مقایسه با نرخ رشد آن بر روی گلوکز و یا حتی کشت‌های اوتوتروف بوده است. بعد از هفت روز زیست توده نمونه جلبک که در محیط حاوی تفاله موز بصورت هتروتروف رشد کرده بود در حدود ۵ گرم بر لیتر مشاهده شد (Wai, 1955). عملکرد خوب جلبک در محیط‌های حاوی تفاله موز به ترکیب شیمیایی مناسب سوبسترا مرتبط می‌باشد، موز کاملاً رسیده حاوی ۴۸٪ گلوکز و ۴۰٪ فروکتوز می‌باشد (USDA, 2016).

- کشت جلبک *Chlorella* با استفاده از ملاس

ملاس محصول جانبی فرآوری قند است که طی فرآیند تبلور مکرر ایجاد می‌شود. بیش‌ترین حجم ملاس در جهان به ترتیب در کشورهای برزیل (۱۴۸۰۰۰۰۰ تن)، هند (۱۰۸۸۲۰۰۰ تن)، تایلند(۴۲۹۳۰۰۰ تن)، چین (۳۶۰۰۰۰۰ تن)، و پاکستان (۲۳۵۰۰۰۰ تن) تولید می‌شود. کاربرد ملاس به عنوان بستر تخمیر برای تولید بیواتانول و سایر محصولات بیوتکنولوژی منجر به رقابت برای این ترکیب در بازار می‌شود. در تحقیقی طی رشد هتروتروف جلبک *Chlorella zofingiensis* در بستر کشت حاوی ملاس نیشکر زیست توده ای با حجم تقریبی ۱/۷۹ گرم بر لیتر در روز بدست آمد (Liu *et al.*, 2013). به همین ترتیب در مطالعه دیگری طی رشد *Chlorella sp.* در بستر کشت حاوی ملاس نیز زیست توده‌ای با حجم تقریب ۱/۷۹۶ گرم بر لیتر در روز بدست آمد (Leesing & Kookkhunthod, 2011). این درحالی است که طی تحقیقی، رشد برروی بستر ملاس هیدرولیز شده و گلوکز منجر به زیست توده‌ای با حجم مشابه شد (۳/۵ گرم پس از ۷۲ ساعت (Vidotti *et al.*, 2014). تأثیر ملاس بر رشد به غلظت ملاس بستگی دارد. بالاترین نرخ رشد برای *Chlorella* در غلظت ملاس ۰/۴۵٪ حجم بدست آمد (El-Sheekh *et al.*, 2014).

- کشت جلبک *Chlorella* با استفاده از پروتئین آب‌پنیر (پروتئین وی)

پروتئین آب پنیر محصول جانبی صنایع لبنی است که توسط اولترافیلتراسیون و حذف پروتئین از آب پنیر در طی فرآیند تولید پنیر حاصل می‌شود. ترکیب کلی این ماده متشکل از لاکتوز به همراه مقداری نمک و نیتروژن غیر

پروتئینی است. جهت استفاده از این ماده پیش تیمارهایی از جمله حذف مواد معدنی و حذف رطوبت از آن الزامی است. در حال حاضر بخش عمده ای از آب پنیر تولید شده در جهان به عنوان پساب لبنی دور ریخته می‌شود. برترین کشورهای تولید کننده لبنیات به ترتیب شامل ایالات متحده آمریکا با ۹۱/۳ ×$۱۰^{۱۲}$ (میلیارد کیلوگرم)، هند با ۶۰/۶ ×$۱۰^{۱۲}$ (میلیارد کیلوگرم)، چین با ۳۵/۷× $۱۰^{۱۲}$ (میلیارد کیلوگرم)، برزیل با ۴۳/۳ × $۱۰^{۱۲}$ (میلیارد کیلوگرم) و آلمان با ۳۱/۱ × $۱۰^{۱۲}$ (میلیارد کیلوگرم) می‌باشد. با توجه به حجم بالای آب پنیر در جهان، می‌توان آنرا منبع مناسبی از کربن مورد نیاز جهت تولید ریز جلبک‌های هتروتروف در نظر گرفت (Ende & Noke, 2018). پیش از آغاز کشت جلبک لازم است لاکتوز به گلوکز و گالاکتوز هیدرولیز شود. در تحقیقی کشت جلبک *Chlorella* در محیط‌های حاوی گلوکز و گالاکتوز انجام شد و به ترتیب حجم برابر با ۰,۱ ± ۱/۵ و ۰/۴± ۱/۷ گرم بر لیتر از زیست توده در هریک از محیط ها بدست آمد (Espinosa-Gonzalez *et al.*, 2014).

- استفاده از ضایعات مواد غذایی رستورانی جهت کشت جلبک *Galdieria sulphuraria*

در مطالعه‌ای جلبک *Galdieria sulphuraria* 074G (*Rhodophyta*) به صورت هتروتروفیک در محیط‌کشت حاوی ترکیبات آمیلولیتیکی و پروتئولیتیکی ضایعات هیدرولیز شده مواد غذایی تعدادی رستوران و نانوایی کشت داده شد. این ضایعات متشکل از انواع سبزیجات و میوه جات، نودل، گوشت و انواع مختلف سس بوده است. سپس نرخ رشد سلولی و مقدار فایکوسیانین تولید شده بررسی شد. وجود کربوهیدرات و آمینواسیدهای موجود در ضایعات برای مصرف جلبک ضروری است. سایر مواد مغذی غیر آلی برای تحریک فایکوسیانین مورد نیاز اند. بالاترین محتوای فایکوسیانین (۲۰ الی۲۲ میلی گرم در گرم) در سلول‌های رشد یافته، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد یا ۳۴ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. نتایج کلی حاکی از آن بوده که با استفاده از ضایعات مواد غذایی بعنوان سوبسترا، جلبک *Galdieria sulphuraria* رشد مناسب و تولید کافی از فایکوسیانین را از خود نشان داده است (Sloth *et al.*, 2017).

- کشت دو ریز جلبک *Schizochytrium mangrovei* و *Chlorella pyrenoidosa* با استفاده از ضایعات مواد غذایی

در تحقیقی از انواعی مختلفی از ضایعات مواد غذایی به عنوان محیط کشت و منبع غذایی جهت کشت دو ریز جلبک هتروتروف *Schizochytrium mangrovei* و *Chlorella pyrenoidosa* استفاده شد. طی این بررسی ترکیبات گلوکز ، نیتروژن آمینه آزاد (FAN) و فسفات از ضایعات مواد غذایی با استفاده از فرآیند هیدرولیز توسط قارچ‌های *Aspergillus awamori* و *Aspergillus oryzae* بازیابی شدند. در این فرآیند از ۱۰۰ گرم ضایعات غذایی (وزن خشک)، ۳۱/۹ گرم گلوکز، ۰/۲۸ گرم نیتروژن آمینه آزاد و ۰/۳۸ گرم فسفات پس از ۲۴ ساعت هیدرولیز بدست آمد. سپس این ترکیباتی که در نتیجه هیدرولیز ضایعات مواد غذایی بدست آمدند به عنوان محیط کشت و منبع غذایی برای کشت دو ریز جلبک هتروتروف *Schizochytrium mangrovei* و *Chlorella pyrenoidosa* مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که هر دو جلبک به خوبی در این ترکیب مغذی پیچیده رشد کردند. بدین ترتیب که در پایان فرآیند تخمیر ۱۰ الی۲۰ گرم زیست توده غنی از کربوهیدرات، لیپید، پروتئین و اسیدهای چرب اشباع و چند غیر اشباع تولید شد. نتایج این مطالعه نشان داد که ضایعات غذایی هیدرولیز شده پتانسیل بالایی به عنوان محیط کشت و منبع غذایی در کشت میکروجلبک‌ها دارد. ضایعات مورد استفاده در این پژوهش شامل زباله‌های غذایی حاوی برنج، نودل، گوشت و سبزیجات بوده که از تعدادی از رستوران‌های سنتی هنگ کنگ جمع‌آوری شده بودند. این مواد بعد از جمع‌آوری بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و به قارچ‌های *A. awamori* و *A. oryzae* اضافه و با هم مخلوط شدند. تلقیح در یک ظرف پتری توسط افزودن ۱ میلی لیتر محلول اسپور *A. awamori* و *A. oryzae* و ۷/۵ گرم وزن خشک زباله‌های نانوایی صورت گرفته و به مدت ۵ روز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد انکوباتور شد. هیدرولیز قارچی در یک بیوراکتور ۲/۵ لیتری در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد، pH 4.0-4.5 و ۳۰۰ دور در دقیقه، بدون هوادهی اضافی انجام شد. کشت دو جلبک *Schizochytrium mangrovei* و *Chlorella pyrenoidosa* در یک

بیوراکتور ۲ لیتری، به ترتیب در دمای ۲۵ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد، pH 6.5 و همراه با هوادهی انجام شد (Pleissner *et al*., 2013).

مراحل کلی این پژوهش به شرح زیر بوده است (Pleissner *et al*., 2013):

۱) خرید کشت‌های میکروبی به صورت آماده
۲) هیدرولیز ضایعات مواد غذایی شامل زباله‌های غذایی حاوی برنج، نودل، گوشت و سبزیجات
۳) کشت بچ‌های میکروبی
۴) بررسی مواد مغذی: بعد از انجام هیدرولیز مواد غذایی، مواد در دور ۶۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه تحت سانتیفیوژ قرار گرفتند. سپس غلظت ترکیبات مغذی شامل گلوکز، نیتروژن آمینه آزاد (FAN) و فسفات و نیترات در سوپرناتانت حاصل از سانتریفیوژ با استفاده از کروماتوگرافی بررسی شدند.
۵) تعیین غلظت بیومس: غلظت زیست توده به عنوان وزن خشک سلول بعد از سانتریفیوژ حجم مشخصی از محیط کشت کالچر براس بررسی شد. به این ترتیب که پس از سانترفیوژ در دور ۶۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه و لیوفیلیزاسیون، مقدار رسوب حاصل محاسبه شد. آزمایشات انجام شده شامل محاسبه میزان لیپید و اسیدچرب، پروتئین، کربوهیدرات، نیتروژن و فسفات بوده اند.

- کشت جلبک *Spirulina* با استفاده از فاضلاب کارخانه هضم نشاسته ساگو

در مطالعه‌ای به کشت جلبک اسپیرولینا با استفاده از فاضلاب کارخانه هضم نشاسته ساگو پرداخته شد. اسپیرولینا به دلیل مزایایی همچون سهولت برداشت، رشد در شرایط قلیایی که سبب حذف گونه های رقابتی میشود و همچنین ارزش تغذیه‌ای بالا، ارگانیسم مناسبی جهت کشت انبوه محسوب می‌شود. فاضلاب ناشی از تولید نشاسته ساگو دارای نسبت کربن به نیتروژن بالایی است. این نسبت طی تخمیر بی هوازی در بسترهای هضم کننده بسته، بهبود میابد. طی این تحقیق متوسط رشد جلبک اسپیرولینا در پساب هضم شده حاوی نسبت C : N : P برابر با 1 : 0.14 : 24، بررسی شد. پس از کشت جلبک بیشترین میزان پروتئین خام، کربوهیدرات و چربی موجود در زیست توده به ترتیب برابر با ۶۸٪، ۲۳٪ و ۱۱٪ بوده است. همچنین درصد کاهش میزان اکسیژن شیمیایی مورد نیاز، مقدار آمونیاک، ازت و فسفات هضم شده پساب به ترتیب به ۹۸، ۹۹/۹ و ۹۹/۴ درصد رسید. به طور کلی مشاهده شد که فرآیند کشت جلبک با نرخ بالا (high rate algal pond) سیستم خوبی را برای تصفیه فاضلاب و همچنین تولید زیست توده جلبکی ارائه می‌دهد (Phang *et al*., 2000).

- کشت جلبک *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* با استفاده از ضایعات قنادی و شیرینی پزی

در مطالعه‌ای با استفاده از ضایعات قنادی و شیرینی پزی به کشت جلبک *Arthrospira (Spirulina) platensis* با هدف تغذیه آبزیان و آبزی پروری پرداخته شد. از زیست توده جلبکی تولید شده برای تغذیه روتیفر *Brachionus plicatilis* استفاده شد و منجر به اصلاح ویژگی‌هایی همچون میزان باروری و محتوای اسیدهای چرب در *B. plicatilis* شد. روتیفر *B. plicatilis*، یک ارگانیسم غذایی مهم جهت تغذیه لاروهای دریایی در سراسر دنیا محسوب می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که تولید زیست توده میکروجلبکی با استفاده از پساب قنادی راه‌حلی مناسب جهت برطرف نمودن نیاز فوری به منبعی غذایی در پرورش آبزیان است (El-Kassas *et al*., 2015).

- جریان‌های ضایعات به عنوان منابع کربن برای کشت ریز جلبک هتروتروف

طبق برآوردهای انجام شده حدود یک سوم مواد غذایی تولید شده برای مصارف انسانی در سطح جهان هدر رفته و تبدیل به ضایعات می‌شود. ژاپن، چین و جمهوری کره سالانه ۳۵۷ میلیون تن ضایعات مواد غذایی تولید می‌کنند. پس از آن سایر کشورهای آسیایی خصوصا مناطق جنوبی (۲۷۵) قرار دارند. در رتبه بعدی اروپا (۲۰۵ میلیون تن) قرار داشته و سپس آفریقای جنوبی، آمریکای لاتین، آمریکای شمالی و اقیانوسیه، شمال آفریقا و غرب و آسیای مرکزی بوده که سالانه حدود ۱۰۰ الی ۱۳۰ میلیون تن غذا هدر می‌دهند (Pleissner & Ki Lin, 2013).

به طورکلی بقایای بیوژنیک حاصل از صنایع غذایی

سالانه حدود ۱/۳ میلیارد تن تخمین زده شده است (FAO, 2017). این مقدار شامل انواع مواد غذایی مانند غلات، ریشه و غده، دانه روغنی و حبوبا، میوه‌ها و سبزیجات، گوشت غذاهای دریایی و محصولات لبنی می‌شود. حجم بیشتر این باقی مانده‌ها حاوی مقدار زیادی کربوهیدرات هستند که می‌توانند از طریق کشت ریزجلبک‌های هتروتروف به پروتئین‌هایی با کیفیت بالا برای مصرف خوراک دام تبدیل شوند. برخی از گونه‌های ریزجلبک‌ها مانند *Chlorella* و *Nitzschia* هتروتروف می‌باشند. این گونه‌ها می توانند برخی از مواد آلی مانند گلوکز، گلیسرول یا استیک اسید را در شرایط هوازی متابولیسم کنند (Perez-Garcia *et al*., 2011).

- نیاز غذایی جلبک و بازیابی مواد مغذی از ضایعات مواد غذایی

ضایعات غذایی به صورت ترکیبی از ۳۰-۶۰٪ نشاسته، ۵-۱۰٪ پروتئین و ۱۰ تا ۴۰ لیپید، ماده خام مناسب جهت تامین نیازهای غذایی جلبک و کشت آن محسوب می‌شوند. در حقیقت این ترکیبات جزو مواد اساسی جهت تغذیه و کشت انواع جلبک‌ها محسوب می‌شوند. لازم به ذکر است این اعداد بسته به نوع ماده غذایی اولیه و شرایط فرآوری که منجر به تولید آن بخش از ضایعات شده متغیر است ولی عموما کربوهیدرات سهم بیشتری را در اکثر ضایعات خوراکی اشغال می‌کند. مواد مغذی اصلی موجود در ضایعات غذایی و کشاورزی که جهت کشت جلبک مورد نیاز هستند شامل کربن، نیتروژن و فسفر می باشد. بازیابی این عناصر با استفاده از مواد شیمیایی و روش‌های آنزیمی و بیولوژیکی قابل انجام است (Pleissner & Ki Lin, 2013).

- پیش تیمارهای مورد نیاز جهت استریلیزاسیون محیط کشت و افزایش پتانسیل تولید زیست توده

سوبستراهای جامد آلی، همچون ضایعات آلی مواد غذایی عمدتا متشکل از کربوهیدرات‌هایی مانند نشاسته، سلولز و پکتین و ترکیبات پروتئینی و لیپیدها می‌باشند. هیدرولیز این سوبستراهای آلی پیش از آغاز کشت جلبک فرآیندی الزامی است، که می‌تواند از طریق هیدرولیز اسیدی و یا آنزیمی صورت پذیرد (Pleissner & Rumpold, 2018).

فرآیند هیدرولیز خصوصا در سوبستراهای لیگنوسلولزی اهمیت بالایی داشته، به این ترتیب که این نوع ترکیبات می‌بایست تحت پیش تیمارهای قوی با اسید غلیظ یا باز در دمای بالا قرار گیرند تا ترکیبات قندی از سلولز و همی سلولز آزاد شود (Pleissner & Venus, 2014).

به منظور افزایش سطح بستر سوبسترا و تسهیل فعالیت آنزیم می‌بایست قبل از فرآیند هیدرولیز آنزیمی، ذرات درشت توسط هموژنایزر یا مخلوط کن تحت پیش تیمارهای مکانیکی قرار بگیرند. این عملیات می‌تواند از طریق اوتولیز در دمای ۳۰ الی۶۰ درجه سانتی‌گراد (Zhao & Fleet, 2005) و یا اضافه نمودن آنزیم‌های هیدرولیتیک مانند سلولاز، آمیلاز و پروتئازها و یا از طریق تخمیر همزمان با قارچ‌های هیدرولیتیک انجام پذیرد. بسته به ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم، ضایعات آلی می‌توانند به صورت کامل و یا نسبی هیدرولیز شده و مورد استفاده جلبک ها قرار گیرند (Pleissner & Venus, 2014).

هیدرولیز مواد آلی جامد را به مایع تبدیل می‌کند. این مایع می‌بایست پیش از فرآیند کشت هتروتروف جلبک ها، رقیق و استریل شود. فرآیند استریلیزاسیون می‌تواند با استفاده از گرما انجام شود (به عنوان مثال، اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد در فضای بخار اشباع شده به مدت ۲۰ دقیقه). البته استفاده از حرارت می‌تواند در سوبستراهایی که حاوی ترکیبات پروتئینی هستند منجر به واکنش میلارد شود. در اثر این واکنش مقدار اسیدهای آمینه و قندها کاهش میابد (Ende & Noke, 2018).

جهت انجام استریلیزاسیون علاوه بر حرارت میتوان از فیلترهای استریل و یا فرآیند جداسازی غشایی نیز استفاده کرد. مشکلی که در این روش وجود دارد، مسدود شدن فیلترها و تشکیل رسوب برروی غشاها می‌باشد. لذا پیش از جداسازی غشایی و یا فیلتراسیون، مواد توسط سانتریفیوژ حذف می‌شود. همچنین می‌توان از روش Tyndallization نیز استفاده نمود. در این شیوه از اعمال حرارت پی در پی طی ۳ روز در زیر دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و نگه‌داری دما به مدت ۱۵ دقیقه استفاده می‌شود (Heritage *et al*., 1997). در این روش از زنده ماندن اسپورها و آلودگی مجدد جلوگیری می‌شود. این تکنیک به ویژه در کشورهایی که دسترسی محدودی به تجهیزات فنی مانند مخازن مقاوم در برابر فشار (جهت اتوکلاو) دارند بسیار مفید است.

از آنجا که ترکیب ضایعات آلی متفاوت است، محتوای مواد مغذی خصوصا مقدار نیتروژن و فسفات و سایر عناصر می‌بایست قبل از فرآیند کشت بررسی شده و در صورت کمبود جبران شوند.

در بررسی ایی ضایعات نانوایی و رستورانی با استفاده از قارچ‌های *Aspergillus awamori* و *Aspergillus oryzae* هیدرولیز شده و سوبسترایی متشکل از ۱۷/۹ گرم بر لیتر گلوکز، ۰/۱ گرم بر لیتر آمینو نیتروژن آزاد، ۰/۳ گرم بر لیتر فسفات و ۴/۸ میلی گرم بر لیتر نیترات حاصل شد که این سوبسترا می‌تواند به تنهایی و بدون نیاز به سایر افزودنی‌ها برای رشد زیست توده جلبک *C. vulgaris* مورد استفاده قرار گیرد (Ende & Noke, 2018).

- **محیط کشت غیر استریل**

تا به امروز، کشت ریز جلبک‌های هتروتروف عمدتا تحت شرایط کاملاً استریل انجام گرفته است. در شرایط غیراستریل با توجه به اینکه سرعت رشد باکتری‌ها نسبت به ریزجلبک‌ها بالاتر بوده، محیط کشت توسط باکتری‌ها اشغال می‌شود. تخمین زده شده در شرایط غیر استریل ۲۰ الی ۳۰ درصد از هزینه تولید، صرف کنترل و حذف آلودگی خواهد شد (Hayes, 2014). البته برخی گونه‌های ریزجلبک‌ها از نوع اکستریموفیل بوده بدین معنی که قادر هستند در شرایط خشن و شدید از نظر pH، دما و شوری رشد کرده و بدین ترتیب از رشد رقابتی میکروب‌ها ممانعت به عمل خواهند آورد.

جلبک قرمز(formerly) *Galdieria sulphuraria* *Cyanidium caldarium* قادر به مقاومت در pH بین ۰/۵ الی ۴ و تا دمای ۵۶ درجه سانتی‌گراد و همچنین غلظت بالای نمک در محیط می‌باشد. این شرایط از شدیدترین شرایط رشد برای یوکاریوت ها محسوب میشود. این جلبک همچنین قادر به رشد اوتوتروفیک، هتروتروفیک و میکسوتروفیک بوده و می‌تواند از بیش از ۵۰ نوع منبع کربنی مختلف از جمله قندها، اسیدهای آمینه و الکل‌های قندی همچون گلیسرول استفاده نماید.

این انعطاف‌پذیری متابولیکی در موجودات یوکاریوتی بندرت اتفاق می‌افتد. همین مساله این نوع از جلبک‌ها را گزینه مناسبی جهت کشت هتروتروف با استفاده از ضایعات آلی هیدرولیز شده بعنوان سوبسترا تبدیل نموده است. جلبک *Galdieria sulphuraria* فسفولیپیدها را با لیپیدهای بتائین جایگزین نموده و بدین ترتیب با pH پایین و دمای بالا سازگاری پیدا می‌کند (Ende & Noke, 2018).

نتیجه‌گیری

طبق پژوهش‌های مختلف انجام گرفته در سال‌های اخیر، انواع مختلفی از جلبک‌ها پتانسیل رشد به صورت هتروتروف را دارا هستند. نرخ رشد و تولید زیست توده در شرایط هتروتروف بیشتر از شرایط فوتوتوتروف می‌باشد. تولید هتروتروف در سیستم بسته انجام می‌شود و به همین خاطر آلودگی ناشی از سایر میکروارگانیسم‌ها در آن قابل کنترل است. همچنین بهینه سازی شرایط کشت جلبک در این سیستم به منظور به حداکثر رساندن بازده زیست توده امکان‌پذیر می‌باشد. بخش عظیمی از هزینه‌های فرآیند کشت هتروتروف مربوط به تأمین منبع کربنی مناسب جهت رشد جلبک می‌باشد. به همین دلیل در سال‌های اخیر توجه بسیاری از تحقیقات به سمت یافتن و بهره برداری از منابع جدید و ارزان قیمت کربن به عنوان بستر محیط کشت جلبک‌ها جلب شده است. امروزه جوامع مختلف به دنبال راهکارهایی در جهت استفاده از ضایعات مختلف مواد غذایی و کشاورزی با هدف بهبود شرایط زیست محیطی هستند. با توجه به حجم بالای این دست از ضایعات و در دسترس بودن آن‌ها در اکثر نقاط کره زمین بهره برداری و استفاده از آن‌ها ارزش بالایی دارد. ضایعات کشاورزی و صنایع غذایی منابعی غنی از کربن و سایر عناصر مغذی بوده و شرایط مناسبی را برای تخمیر جامد توسط باکتری‌ها و قارچ‌ها فراهم می‌کنند. در پروژه‌های مختلفی از انواع ضایعات مواد غذایی جهت کشت انواع مختلف جلبک‌ها استفاده شده است که در این تحقیق به چند نمونه از آن‌ها اشاره شد. این روش تولید و کشت جلبک، جهت تأمین نیازهای غذایی در آینده نقشی اساسی دارد و به همین دلیل انجام بررسی‌های بیشتر در این زمینه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

منابع

Airanthi, M. K., Hosokawa, M. & Miyashita, K. (2011). Comparative Antioxidant Activity of Edible

Japanese Brown Seaweeds. Journal of Food Science, 76 (1), 104-111.

Alves, A., Sousa, R. A. & Reis, R. L. (2013). A practical perspective on *ulvan* extracted from green algae. Journal of Applied Phycology, 25, 407–424.

Dominguez, H. (2013). Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, pp. 1-86.

Ende, S. & Noke, A. (2018). Heterotrophic microalgae production on food waste and by-products. Journal of Applied Phycology, 31, 1565–1571.

El-Sheekh, M. M., Bedaiwy, M. Y., Osman, M. E. & Ismail, M. M. (2014). Influence of molasses on growth, biochemical composition and ethanol production of the green algae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus*. Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology, 2, 20–28.

El-Kassas, H. Y., Heneash, A. & R. Hussein, N. (2015). Cultivation of *Arthrospira (Spirulina)* platensis using confectionary wastes for aquaculture feeding. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 145-155.

Espinosa-Gonzalez, I., Parashar, A. & Bressler, D. C. (2014). Heterotrophic growth and lipid accumulation of *Chlorella* protothecoides in whey permeate, a dairy by-product stream, for biofuel production. Bioresource Technology, 155, 170–176.

Farahani, F., Permeh, P., Mokhlesi, A., Nasiri, S., Gohari Kakhki, A., Qaranchik, B. & Sohrabipour, J. (2014). Investigation of biological properties of brown algae *Colpomenia sinousa* and *Iyengaria stellata* on the northern shores of the Persian Gulf. Zanko Journal of Medical Sciences, pp. 65-59 [In Persian].

Saad, M., Dosoky, N., Zoromba, N. & Shafik, H. (2019). Algal Biofuels: Current Status and Key Challenges. Energies, 1-22.

Gami, B., Patel, J. P. & Kothari, I. L. (2014). Cultivation of *Chlorella protothecoides* (ISIBES - 101) under autotrophic and heterotrophic conditions for biofuel production. Journal of Algal Biomass Utilization, 5, 20–29.

Guerrero, A. B., Aguado, P. L., Sánchez, J. & Curt, M. D. (2016). GIS-based assessment of banana residual biomass potential for ethanol production and power generation: a case study. Waste Biomass Valori, 7, 405–415.

Gupta, S. & Abu-Ghannam, N. (2011). Recent developments in the application of seaweeds or seaweed extracts as a means for enhancing the safety and quality attributes of foods. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 12 (4), 600-609.

Harel, M. & Clayton, D. (2004). Feed formulation for terrestrial and aquatic animals. WO patent application WO/2004/080196 (23/09/2004).

Hayes, R. J. (2014). Cost of quality (CoQ) - an analysis of the cost of maintaining a state of compliance. International Pharmaceutical Industry, 6, 74–76.

Heritage, J., Evans, E. G. V. & Killington, R. A. (1997). Introductory microbiology. Cambridge University Press, Cambridge.

Karsten, U., Karsten, U., Lembcke, S. & Schumann, R. (2007). The effects of ultraviolet radiation on photosynthetic performance growth and sunscreen compounds in aeroterrestrial biofilm algae isolated from building facades. Planta, 225, 991-1000.

Kim, S. & Chojnacka, K. (2015). Marine Algae Extracts Processes Products and Applications. Wiley-VCH, pp. 1.

Kotrbáček, V., Doubek, J. & Doucha, J. (2015). The chlorococcalean alga *Chlorella* in animal nutrition: a review. Journal of Applied Phycology, 27, 2173– 2180.

Kumar Panda, S. C., Ray, R., Sakambari Mishra, S. & Kayitesi, E. (2017). Microbial processing of fruit and vegetable wastes into potential biocommodities: a review. Critical Reviews in Biotechnology, 1– 16.

Leesing, R. & Kookkhunthod, S. (2011). Heterotrophic growth of *Chlorella sp*. KKU-S2 for lipid production using molasses as a carbon substrate. In: Proceedings of the International Conference on Food Engineering and Biotechnology, IACSIT Press, Singapore, pp 87–91.

Liu, J., Sun, Z., Zhong, Y., Gerken, H., Huang, J. & Chen, F. (2013). Utilization of cane molasses towards cost-saving astaxanthin production by a *Chlorella zofingiensis* mutant. Journal of Applied Phycology, 25, 1447–1456.

Mandalam, R. K. & Palsson, B.Ø. (1998). Elemental balancing of biomass and medium composition enhances growth capacity in high-density Chlorella vulgaris cultures. Biotechnology and Bioengineering, 5, 605-611.

McHugh, D.(1987). Production and utilization of product from commercial seaweeds. FAO fish. Tech. Pub. 189 pp.

Mirzaie, M. A., Kalbasi, M., Mousavi, S. M. & Ghobadian, B. (2015), Statistical Evaluation and Modeling of Cheap Substrate-Based Cultivation Medium of *Chlorella vulgaris* to Enhance Microalgae Lipid as New Potential Feedstock for Biolubricant. Preparative Biochemistry and Biotechnology, 1–35.

Mohapatra, D., Mishra, S. & Sutar, N. (2010), Banana and its by-product utilization: An overview. Journal of Scientific and Industrial Research, 69, 323–329.

Perez-Garcia, O., Escalante, FM., de-Bashan, L. E. & Bashan, Y. (2011). Heterotrophic cultures of microalgae: metabolism and potential products. Water Res, 45, 11–36.

Phang, S. M., Miah, M. S., Yeoh, B. G. & Hashim, M. A. (2000). *Spirulina* cultivation in digested sago starch factory wastewater. Journal of Applied Phycology, 12, 395-400.

Pleissner, D. & Ki Lin, C. (2013). Valorisation of food waste in biotechnological processes. Sustainable Chemical Processes, 1 (21), 1-6.

Pleissner, D., Lam, W. C., Sun, Z. & Ki Lin, C. (2013). Food waste as nutrient source in heterotrophic microalgae cultivation. Bioresource Technology, 139-146.

Pleissner, D. & Rumpold, B. A. (2018) Utilization of organic residues using heterotrophic microalgae and insects. International Journal of Integrated Waste Management, 72, 227–239.

Pleissner, D. & Venus, J. (2014) Agricultural residues as feedstocks for lactic acid fermentation. In: Green technologies for the environment. American Chemical Society, 1186, 247–263

Pulz, O. & Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae Mini-Review. Applied Microbiology and Biotechnology, 65 (6), 635–648.

Ende, S. & Noke, A. (2018). Heterotrophic microalgae production on food waste and by-products. Journal of Applied Phycology, 31, 1565–1571.

Sadeghin, B. & Sarrafzadeh, M. (2013). Comparison between autotrophic and heterotrophic cultivation of microalgae in biofuel production, 4th National Bioenergy Conference of Iran [In Persian].

Sharma, Y. C., Singh, B. & Korstad, J. (2011). A critical review on recent methods used for economically viable and eco-friendly development of microalgae as a potential feedstock for synthesis of biodiesel. Green Chemistry, 13, 2993–3006.

Shanab, S. M. M., Mostafa, S. S. M., Shalaby, E. A. & Mahmoud, G. I. (2012). Aqueous extracts of microalgae exhibit antioxidant and anticancer activities. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2 (8), 608–615.

Sloth, J. K., Jensen, H. C., Pleissner, D. & Eriksen, N. T. (2017). Growth and phycocyanin synthesis in the heterotrophic microalga *Galdieria sulphuraria* on substrates made of food waste from restaurants and bakeries. Bioresource Technology, 139-146.

Sohrabipour, J. & Rabiee, R. (1396). Algal coastal habitats in southern Iran. Nature in Iran, 2 (1), 62-68 [In Persian].

Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E. & Isambert, A. (2006). Commercial Applications of microalgae. Journal of Bioscience and Bioengineering, 101 (2), 87-96.

Stolz, P. & Obermayer, B. (2005). Manufacturing microalgae for skin care. Cosmetics & Toiletries, 120 (3), 99-106.

USDA. (2016). Statistics report 09040, bananas, raw. National Nutrient Database for Standard Reference, USDA Food Composition Databases.

Vidotti, D. S. A., Coelho, R., Franco, M. L. & Franco, T. (2014). Miniaturized culture for heterotrophic microalgae using low cost carbon sources as a tool to isolate fast and economical strains. Chemical Engineering Journal, 38, 325–330.

Wai, N. (1955). Effects of some antiseptics on the growth of Chlorella. Physiol Plant, 8, 71–73.

Wen, Z. Y. & Chen, F. (2003). Heterotrophic production of eicosapentaenoic acid by microalgae. Biotechnology Advances, 21, 273–294.

Zepka, L. Q., Jacob-Lopes, E., Goldbeck, R., Souza-Soares, L. A. & Queiroz, M. I. (2010). Nutritional evaluation of single-cell protein produced by Aphanothece microscopica Nägeli. Bioresource Technology, 101, 7107–7111.

Zhao, J. & Fleet, G. H. (2005.) Degradation of RNA during the autolysis of *Saccharomyces cerevisiae* produces predominantly ribonucleotides. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 32, 415–423.

The Application of Agricultural Wastes and Food Residues for Algae Cultivation

Y. Fayaz [a], M. Honarvar [b]*

[a] M.Sc. Graduated of the Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[b] Associate Professor of the Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 6 August 2021 Accepted: 1 October 2021

Abstract

Introduction: In recent years, algae have been considered as a rich source of valuable nutrients and bioactive compounds by many researchers and scientists. Provision of a suitable carbon source for algae cultivation with the aim of nutritional and medicinal applications, has made the production process expensive. Therefore the aim of the present research is to use agricultural wastes and food residues as means to provide a suitable and inexpensive substrate for algae cultivation.

Materials and Methods: Recently, various studies have been carried out on cultivation techniques of different types of algae based on the use of new and inexpensive carbon sources. Agricultural and food waste are rich sources of carbon. Annually, 1.3 percent of the total volume of food in the world is turned into waste. Therefore, many studies have investigated the use of food and agricultural waste as a substrate for algae cultivation. This article discusses some of the research conducted in this field.

Results: Due to the significant sugar and carbon contents in agricultural and food waste, they can be regarded as a good substrate for algae cultivation that might be employed in various food, pharmaceutical and cosmetic applications. Independence of light in mixotrophic and heterotrophic cultivation has significantly reduced costs and space as compared to autotrophic culture.

Conclusion: According to the results of various studies, it can be expected that the heterotrophic method for cultivating algae by use of agricultural wastes and food residues might play important roles in meeting future nutritional needs.

Keywords: *Agricultural and Food Waste, Algae, Heterotrophic culture.*

* Corresponding Author: m-honarvar@hotmail.com