

## بررسی بیولوژی و پرورش تجاری ریز جلبک دونالیلا سالینا *Dunaliella salina*

زهرا امینی خوئی<sup>۱\*</sup>، اشکان اژدری<sup>۱</sup>

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

\*نویسنده مسوول: zamini.41@gmail.com

### چکیده

ریزجلبک دونالیلا سالینا (*Dunaliella salina*)، که به عنوان مهم‌ترین منبع تولید بتاکاروتن در طبیعت شناخته شده است، یک ریزجاندار یوکاریوتی منحصر بفرد است که دامنه تحمل بالایی در برابر نوسانات شرایط محیطی مانند شوری (۵-۰، ۵-۰ مولار)، دما (۲۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد) و نور (۵۰ تا ۱۵۰۰ میکرومول بر ثانیه) دارد. این جلبک به دلیل داشتن ترکیبات فراسودمند مانند رنگدانه کارتنوئید، گلیسرول و اسیدهای چرب غیراشباع فعالیت زیستی آنتی‌اکسیدانی، ضد سرطانی و ضد میکربی از خود نشان داده و به همین دلیل کاندید مناسبی برای استفاده در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی می‌باشد. شرکت های مختلف در دنیا به تولید تجاری آن علاقمند شده و سیستم‌های متعددی را برای کشت انبوه آن طراحی و به کار گرفته اند که از جمله آن کشت در استخرهای روباز بیرونی و یا فتوبیوراکتورهای بسته می‌باشد. با وجود مزیت‌های زیستی متعدد این ریزجلبک و تلاش‌های زیاد برای تولید انبوه آن در بسیاری از نقاط دنیا، همچنان موانعی بر سر راه تولید تجاری و مقرون به صرفه آن وجود دارد که بیشتر مربوط به فرآیندهای پایین دستی تولید شامل عملیات جمع آوری، خشک کردن و استخراج چربی و رنگدانه های تجاری آن می‌باشد.

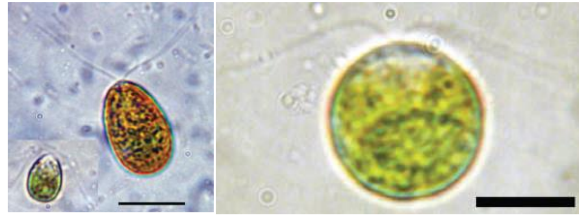
**کلمات کلیدی:** ریزجلبک *Dunaliella salina*، سیستم تولید، بتاکاروتن، مزایا و موانع تولید

مقدمه

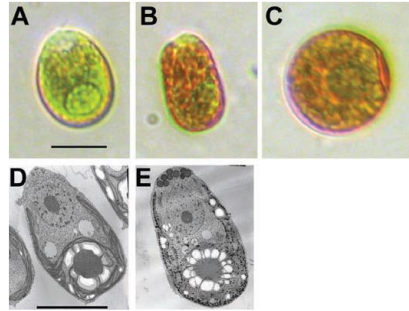
## خصوصیات زیستی ریز جلبک دونالیا سالینا

بیش از صد سال از شناخت ریز جلبک دونالیا سالینا *Dunaliella salina* می‌گذرد. اولین گزارش از این ریز جلبک تک سلولی در سال ۱۸۳۸ توسط Dunal در استخرهای تولید نمک فرانسه ثبت شده است (Ben-Amotz et al., 1991). زیستگاه طبیعی این جلبک، اقیانوس‌ها، دریاچه‌های بسیار شور و تالاب‌های فوق اشباع نمکی است. از نظر ظاهری، به اشکال مختلف بیضوی، تخم مرغی شکل تا تقریباً کروی، گلابی شکل یا مخروطی قابل مشاهده است. متحرک و دوتاژکی بوده و اندازه سلول در سویه‌ها و چرخه‌های مختلف زندگی از ۵ تا ۲۸ میکرون متغییر است (Ahmed et al., 2017). دیواره سلولی واقعی و سخت نداشته و تنها یک پوشش سلولی موسیلاژی از جنس گلیکوپروتئین در دیواره سلول قابل مشاهده است (Ben-Amotz, 1995). یک کلروپلاست بزرگ به شکل فنجان قسمت عمده‌ای از سلول را اشغال می‌کند و رنگدانه کاروتنوئیدی در تیلاکوئید تجمع یافته‌اند (Abu-Rezq et al., 2010). تقسیم سلولی رویشی با تقسیم هسته‌ای رخ می‌دهد. در مقابله با شرایط تنش‌های محیطی کاهش یا گاهی افزایش شوری یا شدت نور

بالای محیط مرحله‌ای بنام پالملا در سلول‌ها شکل می‌گیرد (Ben-Amotz, 1999). بسیاری از محققان ساز-وکارهای سازگاری به شوری بالا در این ریز جلبک را به حضور مولکول‌هایی با وزن مولکولی کم و پایداری بالا مانند مایکوسپورین و گلیسرول در آن مرتبط دانسته‌اند شکوفایی‌های وسیع این جلبک در دریاچه‌های نمکی (بیش از ۱۵٪ نمک) در الجزایر، لوراین، فرانسه و رومانی، دریای مرده در اسرائیل و دریاچه صورتی در استرالیا گزارش شده است (Oren, 2005) در ایران، شکوفایی این گونه در تالاب‌های کوچک فوق شور به وفور قابل رویت است، شکوفایی‌های وسیع در دریاچه ارومیه، دریاچه مهارلو و یا تالاب حوض سلطان در قم و همچنین در تالاب لیپار در سواحل دریای عمان در چابهار به ثبت رسیده است (Attaran et al., 2017). حجازی و همکاران (۱۳۷۸)، تنوع ژنتیکی سویه‌های بومی ریز جلبک *D. salina* از نقاط مختلف آب‌های شور ایران شامل دریاچه‌های ارومیه، قم، گاوخونی و مهارلو را بر اساس ژن ۱۸S rDNA و نشانگرهای AFLPs مورد بررسی قرار داده‌اند (Hejazi et al., 2018, Gharajeh et al., 2018).



شکل ۱: سلول‌های دونالیلا سالینا (قرمز) دونالیلا ویریدیس (سبز) سلول‌های سبز با بزرگنمایی  $\times 360$



شکل ۲: سلول سبز دونالیلا سالینا با بزرگنمایی  $\times 360$  - نوار نشان دهنده  $10 \mu\text{m}$  میکرون است. (A) رویشی، متحرک، سلول‌های سبز در  $1/5 \text{ M}$   $\text{NaCl}$  رشد یافته است. (B) رویشی، متحرک، سلول نارنجی در  $4/5 \text{ M}$   $\text{NaCl}$  رشد یافته است. (C) سلول نارنجی، غیرمتحرک در  $4/5 \text{ M}$   $\text{NaCl}$  رشد یافته است. (D) میکروگراف الکترونی از *D. salina* و *D. bardawil* طبق توضیحات گونه (Teodoresco, 1905) در حالت زیگوت یا آپلانسپور. (E) میکروگراف الکترونی یک سلول نارنجی (عکس از دکتر Ben-Amotz).

(Oren, 2005, Ben-Amotz et al., 1982, Celekli and Dönmez, 2006)

این ریزجلبک دیواره سلولی واقعی و خشن نداشته و مقاومت زیادی در برابر تغییرات شوری (۳۷ تا ۳۰۰ قسمت در هزار)، شدت نور (۵۰ تا ۱۵۰۰ میکرومول بر ثانیه) و دمای (۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) از خود نشان می‌دهد (Cifuentes et al., 1996). مناسب‌ترین شوری برای رشد این ریزجلبک ۹۰-۱۲۰ قسمت در هزار است (Celekli and Dönmez, 2006). این ریزجلبک در محیط‌های کشت استاندارد مانند  $\text{F}/2$ ،  $\text{ES}$ ،  $\text{PES}$  رشد مناسبی دارد اما اغلب محققان محیط کشت جانسون Johnson اصلاح شده ( $J/1$ ) را برای کشت این ریزجلبک پیشنهاد داده‌اند (Hejazi et al., 2003, Fazeli et al., 2006)

## شرایط رشد و پرورش بهینه ریزجلبک دونالیلا سالینا

رشد ریزجلبک دونالیلا سالینا مانند سایر ریزجاندار-های فتوسنتز کننده تحت تاثیر عوامل زیستی و غیرزیستی است. عوامل غیرزیستی مانند نور دریافتی، دما، pH محیط، شوری، اکسیژن، دی اکسیدکربن و فاکتور-های زیستی مانند پاتوژن‌ها (باکتری، ویروس و قارچ) تاثیر قابل توجهی بر تولید زی‌توده ریزجلبک دارند (Rao, 1981, Baroli and Melis, 1996). سویه‌ها و استرین‌های مختلف این ریزجلبک در سرتاسر دنیا در شرایط آزمایشگاهی کشت داده شده‌اند و شرایط مطلوب رشد و تولید انبوه آن مورد بررسی قرار گرفته است

## یافته قابل ترویج

سیستم‌های تولید تجاری ریز جلبک دونالیلا سالینا تولید تجاری دونالیلا سالینا در دهه ۱۹۸۰ توسط شرکت-های مختلف در کشور استرالیا، ایالات متحده و ژاپن آغاز شده و در حال حاضر تولید انبوه و تجاری این ریز جلبک در سیستم‌های مختلف شامل «استخرهای رو باز»<sup>۱</sup> و سیستم‌های «فوتوبیوراکتورهای بسته»<sup>۲</sup> صورت می‌گیرد. کشت ممکن است به روش «دسته‌ای»<sup>۳</sup> یا «پیوسته»<sup>۴</sup> در سیستم چرخشی جریان‌دار انجام شود (Narala et al., 2016). پرورش در فضای بیرون در حوضچه‌های رو باز طبیعی با استفاده از آب‌های دریاچه‌ها، تالاب‌ها و یا حوضچه‌های دست ساخت مصنوعی قابل انجام است (Singh and Sharma, 2012).

ساده‌ترین مدل پرورش تجاری دونالیلا سالینا در سیستم کشت گسترده در حوضچه‌های بزرگ بدون چرخش و اختلاط آب در زمین‌های کم ارزش با مساحت زیاد با هزینه‌های بسیار کم قابل انجام بوده و توجیه اقتصادی دارد. بزرگترین استخرهای روباز تولید دونالیلا سالینا در استرالیا استخرهای بسیار بزرگ (گسترده)، کم عمق و بدون اختلاط ساحلی تا ۷۰۰ هکتار صورت می‌گیرد (Ben-Amotz, 1999). اما مشکلات حوضچه گسترده پایین بودن بهره‌وری (تولید بتاکاروتن ۰/۱ گرم در متر مکعب) و کنترل سخت و پیچیده عوامل محیطی تاثیرگذار بر محیط کشت است. با این وجود، قسمت اعظم

تولید زی‌توده ریز جلبک دونالیلا سالینا در مقیاس تجاری در محیط رو باز با نور طبیعی صورت گرفته است (Borowitzka, 2013). در سایر نقاط دنیا که هزینه‌های زمین و آب زیاد است و شرایط آب و هوایی در تمام فصول سال ایده‌آل نیست اغلب استخرهای دراز «آبراهه-ای» برای پرورش دونالیلا استفاده می‌شود (Singh et al., 2015). در استخرهای آبراهه‌ای سرعت جریان در امتداد کانال‌ها متغیر است و اختلاط عمودی عمدتاً در مجاورت چرخ پره‌دار اتفاق می‌افتد (Chojnacka et al., 2018). عدم ایجاد اختلاط مناسب در استخرها باعث می‌شود سلول‌های پائین ستون آب (به خصوص وقتی تراکم سلول بالاست) برای مدت طولانی نور کمتری را دریافت کنند، در حالی که سلول‌های سطح استخر در معرض تابش‌های زیاد قرار دارند. بنابراین در طراحی حوضچه باید به ابعاد دیواره‌های منحنی و یا حفره‌های خارج از مرکز در انتهای حوضچه و دور از چرخ پره‌دار دقت کافی شود (Singh and Gu, 2010). برای استخرهای آبراهه‌ای سرعت جریان ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در ثانیه در نظر گرفته می‌شود (Prussi et al., 2014). در حین برداشت محصول، باید از کاستن بیش از حد تراکم سلول ممانعت شود زیرا این امر می‌تواند سلول‌ها را در معرض تابش‌های زیاد قرار دهد که می‌تواند منجر به مهار نور و در نتیجه کاهش بهره‌وری شود. یک راهکار عملی برداشت محصول در اواخر بعد از ظهر است (Wan et al., 2015, Del Campo et al., 2007).

<sup>1</sup> Open cultures

<sup>2</sup> Close cultures

<sup>3</sup> Batch

<sup>4</sup> Continuous

## سیستم‌های تولید تجاری در فوتوبیوراکتورهای

بسته

در سیستم‌های بسته محیط کشت در داخل محفظه‌های پلاستیکی یا شیشه‌ای قرار گرفته و بدین شکل از ورود آلودگی‌ها محافظت می‌شوند. از طرفی فاکتورهای آب و محیط کشت ریز جلبک نیز به شکل کنترل شده مدیریت می‌شود. این سیستم با وجود مزایایی که در کنترل شرایط پرورش دارد، محدودیت‌هایی نیز دارد برای مثال در راکتور-های بزرگ در طول لوله مستقیم جریان لامینار یا آرام رخ می‌دهد و در تراکم سلول زیاد نور بسیار کمی به مرکز لوله‌ها نفوذ می‌کند (Brennan and Owende, 2010). افزایش سرعت جریان باعث افزایش بهره‌وری می‌شود اما میزان مصرف انرژی را به شکل قابل توجهی افزایش می‌دهد که قابل توجیه نیست. برای فوتوبیوراکتور-های لوله‌ای با قطر ۳-۵ سانتی‌متر، حداقل میزان جریان در محدوده ۰/۶-۱ متر بر ثانیه توصیه شده است (Gharajeh et al., 2018). یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده در طراحی فوتوبیوراکتورها وجود اکسیژن مازاد است که باعث شده طول لوله فوتوبیوراکتور حداکثر از ۵۰ متر تجاوز نکند. بنابراین طول و قطر لوله بسته به نوع گونه، تراکم سلولی، میزان تکامل اکسیژن فتوسنتزی بایستی تنظیم گردد (Brennan and Owende, 2010). در حالی که هزینه اصلی تولید زیست توده ریزجلبک‌ها در سیستم‌های استخرهای آبراهه‌ای در محدوده ۰/۶ - ۰/۲۳ دلار به ازای هر کیلوگرم است، در

فوتوبیوراکتورها به طور متوسط هزینه‌های پیش بینی شده در محدوده ۳/۲-۹/۵ دلار آمریکا در هر کیلوگرم وزن خشک است (Del Campo et al., 2007).

## موفقیت در بالا بردن حجم تولید تا مقیاس تجاری

تاکنون بیشتر مطالعات منتشر شده در مورد تولید زیست توده جلبک‌ها در مقیاس آزمایشگاهی بوده است و در مورد افزایش مقیاس تا تولید تجاری کارهای محدودی صورت گرفته است. از طرفی شرکت‌های تولید کننده بزرگ اطلاعات مربوط به تولید را به صورت محرمانه و اختصاصی نزد خود نگه می‌دارند و معمولاً آن را منتشر نمی‌کنند. علاوه بر این، بسیاری از مقالات به فرآیندهای پایین دست تولید زیست‌توده جلبک پرداخته‌اند در حالی که در مرحله اول نحوه تولید زیست‌توده کافی اهمیت بیشتری دارد (Lee et al., 2015).

به طور کلی تنها زمانی می‌توان گفت یک محصول در مقیاس انبوه و تجاری تولید شده است که حجم تولید آن بیش از یک تن باشد. در واقع گیاهان تجاری باید بتوانند بیش از ۱۰ تن محصول در سال برای محصولات با ارزش بالا و بیش از ۱۰۰۰ تن برای کالاهای معمولی تولید داشته باشند. این در حالی است که واحدهای تولیدی فعلی از حجم ۱۰۰۰ لیتری در سیستم‌های کیسه بزرگ ریزجلبک‌ها با هدف تولید خوراک آبزیان در حوضچه‌های -آبراهه به ترتیب در حدود  $3 \times 10^4$  تا  $1 \times 10^8$  لیتر برای تولید زیست توده جلبک و تصفیه فاضلاب طراحی شده‌اند.

بنابراین دستیابی به فناوری مناسب برداشت برای این گونه به صورت اختصاصی نیاز ضروری تولید تجاری آن می‌باشد (Show et al., 2013, Milledge and Heaven, 2013).

بر اساس تحقیقات انجام شده در ایران و سایر نقاط دنیا برای موفقیت در تولید انبوه ریزجلبک دونالیلا سالینا چند عامل مهم و ضروری می‌باشند که عبارتند از: دسترسی به آب شور، روزهای ابری و بارانی کم در طول سال، نور مناسب و دوره روشنایی طولانی که در بسیاری از تالاب‌های مرکزی و نقاط ساحلی به ویژه سواحل جنوبی کشورمان قابل دسترسی و اجرا است. با توجه به اختصاصات بومی و همچنین تجارب شرکت‌های بزرگ تولید کننده دونالیلا در استرالیا و آمریکا سیستم کانال‌های آبراه‌ای از نظر عملیاتی و هزینه‌های تولید برای این ریزجلبک مناسب تشخیص داده شد و قابل ترویج است. مهم‌ترین محصول تجاری این ریزجلبک رنگدانه بتاکاروتن است که در صورت تولید اقتصادی به عنوان رنگ دهنده طبیعی قابل استفاده در صنایع غذایی و آرایشی و بهداشتی در کشور ما می‌باشد.

#### نتیجه‌گیری

تحقیقات متعدد نشان داده است که سویه‌های مختلف جدا شده از مناطق مختلف دنیا و همچنین سویه‌های غربال شده از تالاب‌های فوق شور مختلف در ایران روند رشد متفاوت داشته و از نظر نوع ترکیبات نیز با هم اختلاف معنی‌دار دارند بنابراین برای موفقیت در تولید انبوه بایستی در گام نخست غربال‌گیری کاملی از گونه‌های

حجم مورد نظر در فوتوبیواکتورهای لوله ای  $10^4 \times 1$  لیتر در نظر گرفته شده است. در استرالیا «استخرهای وسیع»<sup>۱</sup> با حجم  $10^9 \times 1$  برای کشت جلبک *D. salina* مورد استفاده قرار گرفته است. این حجم‌ها برای واحدهای منفرد است. برای سیستم‌های مختلف تولید به هر صورت که باشد چه در کیسه‌های بزرگ، استخر و یا فوتوبیواکتور به تعدادی زیادی از این واحدها نیاز است تا مقدار مناسبی از زیست توده جلبک را تولید کنند- (Moheimani, 2013, Narala et al., 2016).

#### برداشت زی توده ریزجلبک

چند ویژگی زیستی اختصاصی ریزجلبک دونالیلا باعث شده تا فرآیند جمع‌آوری زی توده و تغلیظ آن با چالش جدی‌تری مواجه شده و هزینه و انرژی بیشتری را نسبت به سایر گونه طلب کند. اولین آن که جلبک دونالیلا به دلیل دیواره سلولی ظریف و شکننده در فرآیند برداشت اغلب آسیب جدی دیده و ترکیبات داخل سلولی آن تخریب می‌گردند (Horiuchi et al., 2003). بنابراین پیشنهاد شده است از روش‌های برداشت که تاثیر فیزیکی قوی بر سلول ندارند استفاده گردد. مسئله دیگر اندازه کوچک این سلول است. واضح است که هر چه اندازه سلول کوچک‌تر باشد جمع‌آوری آن نیاز به صرف انرژی بیشتری دارد و بنابراین هزینه تولید نهایی را افزایش خواهد داد (Hosseini Tafreshi and Shariati, 2009). هزینه‌های برداشت به طور کلی ۳۰-۴۰ درصد کل هزینه‌های تولید تجاری را به خود اختصاص می‌دهد.

<sup>1</sup> extensive ponds

همچنین محصول نهایی می‌توان چند تکنیک آبدایی و برداشت را به صورت ترکیبی استفاده کرد. با توجه به ارزش اقتصادی بالا رنگدانه بتاکاروتن در بازارهای جهانی در صورت استفاده از روش‌های بروز و مناسب استخراج، این محصول از ریزجلبک در بسیاری از صنایع غذایی دارویی و آرایشی و بهداشتی قابل استفاده است.

بومی دارای پتانسیل بالا صورت گیرد. در گام‌های بعدی بایستی سیستم پرورش مناسب با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و هدف تولید بایستی مشخص گردد برای مثال تالاب‌های ساحلی مناطق جنوبی ایران مکان مناسبی برای احداث مزارع روباز گسترده و یا متراکم پرورش این ریزجلبک می‌باشد. در حال حاضر چالش زیادی برای انتخاب روش برداشت کارآمد و اقتصادی برای این ریزجلبک وجود دارد اما با در نظر گرفتن مقیاس تولید و

## منابع

- ABU-REZQ, T. S., AL-HOOTI, S. & JACOB, D. A. 2010. Optimum culture conditions required for the locally isolated *Dunaliella salina*. *J. Algal Biomass Utiln*, 1, 12-19.
- AHMED, R. A., HE, M., AFTAB, R. A., ZHENG, S., NAGI, M., BAKRI, R. & WANG, C. 2017. Bioenergy application of *Dunaliella salina* SA 134 grown at various salinity levels for lipid production. *Scientific reports*, 7, 1-10.
- ATTARAN, G., SADEGHI, P. & SHIRZAI, R. 2017. Isolation and molecular identification of *Dunaliella salina* (Chlorophyceae) cyst from sediments of the Lipar coast (Oman Sea). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 26, 47-55.
- BAROLI, I. & MELIS, A. 1996. Photoinhibition and repair in *Dunaliella salina* acclimated to different growth irradiances. *Planta*, 198, 640-646.
- BEN-AMOTZ, A. 1995. New mode of *Dunaliella* biotechnology: two-phase growth for  $\beta$ -carotene production. *Journal of applied phycology*, 7, 65-68.
- BEN-AMOTZ, A. 1999. *Dunaliella*  $\beta$ -carotene. *Enigmatic microorganisms and life in extreme environments*. Springer.
- BEN-AMOTZ, A., SHAISH, A. & AVRON, M. 1991. The biotechnology of cultivating *Dunaliella* for production of  $\beta$ -carotene rich algae. *Bioresource Technology*, 38, 233-235.
- BEN-AMOTZ, A., KATZ, A. & AVRON, M. 1982. Accumulation of  $\beta$ -carotene in halotolerant alga: purification and characterization of  $\beta$ -carotene-rich globules from *Dunaliella bardawil* (Chlorophyceae) 1. *Journal of Phycology*, 18, 529-537.
- BOROWITZKA, M. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. 1999. Elsevier Science Bv.
- BOROWITZKA, M. A. 2013. High-value products from microalgae—their development and commercialisation. *Journal of Applied Phycology*, 25, 743-756.
- BRENNAN, L. & OWENDE, P. 2010. Biofuels from microalgae—a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14, 557-577.
- CELEKLI, A. & DÖNMEZ, G. 2006. Effect of pH, light intensity, salt and nitrogen concentrations on growth and  $\beta$ -carotene accumulation by a new isolate of *Dunaliella* sp. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22, 183.
- CHOJNACKA, K., WIECZOREK, P. P., SCHROEDER, G. & MICHALAK, I. 2018. *Algae biomass: Characteristics and applications: Towards algae-based products*, Springer.
- CIFUENTES, A., GONZALEZ, M. A. & PARRA, O. O. 1996. The effect of salinity on the growth and carotenogenesis in two Chilean strains of *Dunaliella salina* Teodoresco. *Biological Research*, 29, 227-236.
- DEL CAMPO, J. A., GARCÍA-GONZÁLEZ, M. & GUERRERO, M. G. 2007. Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: current state and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, 74, 1163-1174.
- FAZELI, M. R., TOFIGHI, H., SAMADI, N., JAMALIFAR, H. & FAZELI, A. 2006. Carotenoids accumulation by *Dunaliella tertiolecta* (Lake Urmia isolate) and *Dunaliella salina* (ccap 19/18 & wt) under stress conditions. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14, 146-150.
- GHARAJEH, N. H., HEJAZI, M., NAZERI, S. & BARZEGARI, A. 2018. Characterization of an indigenous isolate, *Dunaliella tertiolecta* ABRIINW-G3, from Gavkhooni salt marsh in Iran based on molecular and some morpho-physiological attributes.
- HEJAZI, M., ANDRYSIEWICZ, E., TRAMPER, J. & WIJFFELS, R. 2003. Effect of mixing rate on  $\beta$ -carotene production and extraction by *Dunaliella salina* in two-phase bioreactors. *Biotechnology and bioengineering*, 84, 591-596.



- HEJAZI, M., KHOSHROUY, R., HOSSEINZADEH GHARAJEH, N., ETEMADI, M., MADAYEN, L. & JAVANMARD, A. 2018. Conservation and Biodiversity Analysis of the Micro alga *Dunaliella* in Shrinking Highly Saline Urmia Lake Based on Intron-sizing Method.
- HORIUCHI, J.-I., OHBA, I., TADA, K., KOBAYASHI, M., KANNO, T. & KISHIMOTO, M. 2003. Effective cell harvesting of the halotolerant microalga *Dunaliella tertiolecta* with pH control. *Journal of bioscience and bioengineering*, 95, 412-415.
- HOSSEINI TAFRESHI, A. & SHARIATI, M. 2009. *Dunaliella* biotechnology: methods and applications. *Journal of applied microbiology*, 107, 14-35.
- LEE, Y.-C., LEE, K. & OH, Y.-K. 2015. Recent nanoparticle engineering advances in microalgal cultivation and harvesting processes of biodiesel production: a review. *Bioresource technology*, 184, 63-72.
- MILLEDGE, J. J. & HEAVEN, S. 2013. A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 12, 165-178.
- MOHEIMANI, N. R. 2013. Long-term outdoor growth and lipid productivity of *Tetraselmis suecica*, *Dunaliella tertiolecta* and *Chlorella* sp (Chlorophyta) in bag photobioreactors. *Journal of applied phycology*, 25, 167-176.
- NARALA, R. R., GARG, S., SHARMA, K. K., THOMAS-HALL, S. R., DEME, M., LI, Y. & SCHENK, P. M. 2016. Comparison of microalgae cultivation in photobioreactor, open raceway pond, and a two-stage hybrid system. *Frontiers in Energy Research*, 4, 29.
- OREN, A. 2005. A hundred years of *Dunaliella* research: 1905–2005. *Saline systems*, 1, 2.
- PRUSSI, M., BUFFI, M., CASINI, D., CHIARAMONTI, D., MARTELLI, F., CARNEVALE, M., TREDICI, M. R. & RODOLFI, L. 2014. Experimental and numerical investigations of mixing in raceway ponds for algae cultivation. *Biomass and bioenergy*, 67, 390-400.
- RAO, D. S. 1981. Growth response of marine phytoplankters to selected concentrations of trace metals. *Botanica marina*, 24, 369-380.
- SHOW, K.-Y., LEE, D.-J. & CHANG, J.-S. 2013. Algal biomass dehydration. *Bioresource technology*, 135, 720-729.
- SINGH, B., BAUDDH, K. & BUX, F. 2015. *Algae and environmental sustainability*, Springer.
- SINGH, J. & GU, S. 2010. Commercialization potential of microalgae for biofuels production. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14, 2596-2610.
- SINGH, R. & SHARMA, S. 2012. Development of suitable photobioreactor for algae production—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2347-2353.
- SPOLAORE, P., JOANNIS-CASSAN, C., DURAN, E. & ISAMBERT, A. 2006. Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*, 101, 87-96.
- TAFRESHI, A. H. & SHARIATI, M. 2006. Pilot culture of three strains of *Dunaliella salina* for  $\beta$ -carotene production in open ponds in the central region of Iran. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22, 1003-1006.
- VORST, P. 1995. Production of carotene with chemostat cultures of *Dunaliella*. Tesis de Doctorado. Swammerdam Institute for Life Sciences, The Netherlands ....
- WAN, C., ALAM, M. A., ZHAO, X.-Q., ZHANG, X.-Y., GUO, S.-L., HO, S.-H., CHANG, J.-S. & BAI, F.-W. 2015. Current progress and future prospect of microalgal biomass harvest using various flocculation technologies. *Bioresource technology*, 184, 251-257.

---

## Investigation of biology and commercial production of microalgae, *Dunaliella salina*

Zahra Aminikhoei\*<sup>1</sup> and Ashkan Ajdari<sup>1</sup>

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

\*Corresponding author: zamini.41@gmail.com

### Abstract

Microalgae *Dunaliella salina*, known as the most important source of beta-carotene production in nature, is a eukaryotic microorganism that has a high tolerance range for fluctuations in environmental conditions such as salinity (0.5-5 M), temperature (20-40 C°) and light (50 to 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). This alga has shown antioxidant, anti-cancer, and antimicrobial activity due to their beneficial compounds such as carotenoid pigment, glycerol, and unsaturated fatty acids, and are therefore a good candidate for use in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. Various companies around the world have become interested in its commercial production and designed and used several systems for its mass cultivation, including cultivation in outdoor ponds or indoor photobioreactors. There are still barriers to commercial and cost-effective production of microalgae even though their many biological benefits and the efforts to mass-production. These challenge are mostly related to downstream production processes including harvesting, drying and oil and commercial pigments extraction.

**Keywords:** Microalgae *Dunaliella salina*, Production system, Beta-carotene, Benefits and challenge of production