تأثیر شدت نور بر تولید آستاگزانتین در دو سویه جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس*(Haematococcus pluvialis F.)*

صادق فرهي آشتياني[1] - مجید مهدیه[2]

۱- استاد گروه علوم گیاهي ، دانشگاه تربیت مدرس، گروه علوم گیاهي، تهران، صندوق پستي ۱۷۵-۱٤۱۱۵
تلفن داخلي: ۳٤۱۹-٦۳۹٤۹٦ تلفن منزل ۸۸۰۲٦۹۵
۲- عضو هیأت علمي گروه زیست شناسي، دانشگاه اراک ، اراک

چکیده

سلولهای جلبک سبز هماتوکوکوس پلوویالیس در مرحله تولید سلولهای رویشی دو تاژکه و سلولهای غیرمتحرک، سبز رنگ می باشند. این سلولها به محض قرار گرفتن در معرض شدت نوربالا، به کیستهای قرمز رنگ که حاوی مقدار زیادی کتوکاروتنوئید قرمز رنگ، به نام آستاگزانتین است، تبدیل می شوند. به منظور معرفی مناسب ترین شدت نور، برای تولید آستاگزانتین در دو سویه جدا شده در ایران(TMU) و آلمان (SAG)، سلولهای کیست قرمز رنگ دو سویه جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس که بر روی محیط کشت آگار نگهداری می شدند، در محلول غذایی و شرایط اتاقک کشت کنترل شده، کشت داده شد. نتایج نشان داد که تغییر شکل سه تیپ سلول این جلبک به یکدیگر (زئوسپورهای تخم مرغی شکل دو تاژکه، سلولهای سبز غیر متحرک و سلولهای کیست قرمز رنگ) در دو سویه مورد مطالعه متفاوت بوده و تابع زمان انکوباسیون و شدت نور است. در ضمن، افزایش میزان آستاگزانتین تولید شده، در سویه ایرانی در مقایسه با سویه آلمانی حدود ۳– ۲/۵برابر می‌باشد. که شاید به سازش یافتن سویه ایرانی به محیطهایی با تشعشع زیاد و متناسب با افزایش تعداد سلول مربوطه باشد.

واژه‌هاي كليدي: هماتوکوکوس پلوویالیس، شدت نور، سلولهای رویشی، کیست زائی،آستاگزانتین.

۱- مقدمه

در سلولهای گیاهان سبز، کاروتنوئیدها بعنوان گیرندهٔ نور عمل کرده و موجب استفاده سلول از طول موجهای مختلف آن می‌شوند[۱]. همچنین کاروتنوئیدها موجب می گردند که رنگیزهٔ کلروفیل محتوی سلول از صدمات اکسیداسیون نوری در برابر تشعشعات بالا حفاظت شوند [۲ و۳]. سلولهای جلبک هماتوکوکوس در مرحله رشد رویشی سبز رنگ می‌باشند. به محض اینکه در معرض شدت نور بالا، دمای بالا و فقر عناصر غذائی ازت و فسفر قرار گیرند، سلولهای رویشی آنها به کیستهای قرمز رنگ تبدیل می شوند. در ضمن درکیستهای قرمز رنگ، مقداری کاروتنوئید آستاگزانتین انباشته می گردد [٤، ۵، ٦]. نقش فیزیولوژیکی آستاگزانتین درسلولهای گیاهی، هنوز بطور کامل مطالعه نشده است. برخی از گزارشها نشان می دهد که آستاگزانیتن در فرایند نورآرائی (فتوتاکسی) نقش دارد [۷، ۸، ۹]. همچنین گزارش شده است، چنانچه سلولها از آستاگزانتین غنی شوند، می توانند از طریق جذب نور آبی، در مقابل تشعشعات با شدت نور بالا سازش یابند [۱۰، ۱۱]. وظایف بیولوژیکی متنوعی برای آستاگزانتین در سلولهای جانوری نیز ذکر شده است. از جمله می توان از این ماده بعنوان خاموش کننده رادیکالهای آزاد و اکسیژن فعال [۱۲]، عامل ضد سرطان [۱٤،۱۳]، افزایش دهنده پاسخ ایمنی بدن و ویتامین A [۱۵] نام برد. در

Archive of SID
www.SID.ir

ضمن از آستاگزانتین بعنوان یک ضد اکسید کننده[۱۲] در تغذیه طیور، ماهیان پرورشی و صنایع داروئی استفاده می شود[۱٦]. علیرغم دسترسی به آستاگزانتین مصنوعی، امروزه سعی شده از جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس که می تواند حاوی بیش از ۲٪ آستاگزانتین باشد، برای تولید آن استفاده شود. معهذا تولید این رنگیزه بعلت رشد ضعیف جلبک ذکر شده با مشکلات زیادی مواجه است که احتمالا بعلت ناکافی بودن اطلاعات از نیاز غذائی و تأثیر عوامل محیطی بر رشد آن می باشد. از آنجا که یکی از راههای افزایش محصول آستاگزانتین افزایش بیوماس جلبکهای هماتوکوکوس از طریق افزایش سرعت رشد سلولهای آن است، لذا در این بررسی تأثیر شدت مختلف نوردر مرحله تولید سلولهای سبز غیرمتحرک و مرحله کاروتن زائی برتغییر فرم سلولهای رویشی، رشد سلولهای سبز غیر متحرک، تولید بیوماس و تولید آستاگزانتین در دو سویه مختلف جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش کار

در این بررسی، ضمن انجام چند آزمایش مجزا، میزان رشد و تولید آستاگزانتین در دو سویه مختلف جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس با یکدیگر مقایسه شد. یکی از سویه ها دارای کد TUM بوده و از یک استخر سیمانی شناسائی و جداسازی شده است و دیگری دارای کد SAG است، که به وسیله همکار این طرح، از مرکز مطالعات جلبک شناسی دانشگاه کوتینگن آلمان تهیه شده است. برای انجام هر آزمایش، ابتدا مقداری کیست قرمز هر دو سویه که در محیط کشت آگار نگهداری می شدند، بطور همزمان از محیط آگار به محیط کشت اصلاح شدهٔ بولد [۱۷] منتقل شدند و سلولهای رویشی دو تاژکه تحت شرایط یکسان در داخل اتاقک رشد، در شدت نور ۱۲٤۰لوکس، نور دایم و دمای ۲۰°C تکثیر شدند. حجم معینی از سوسپانسیون سلولی هر یک از دو سویه که به یک اندازه محتوی بیوماس (۱۱ میلی گرم) بود، به ۱۵۰ میلی لیتر محیط کشت تازه بولد، در ارلن ۲۵۰ میلی لیتری منتقل شد. سپس ارلن ها در اتاقک رشد در شدت نورهای متفاوت در ٦-٤ تکرار انکوبه شدند. شدت نور در ۱۲ روز پایان آزمایش ۵۰۰ (۱٦٦۰) لوکس بود.

در دوران انکوباسیون و پس از پایان هر آزمایش، تعداد سلول، وزن خشک هر نمونه و میزان آستاگزانتین محتوی نمونه ها اندازه گیری شده و مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد به روش آزمون دانکن انجام شد.

۳- نتایج و بحث

در چرخه زندگی جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس، سلولهای رویشی (سلولهای میکروزوئید و ماکروزوئید تاژکدار)، سلولهای سبز غیر متحرک (کیست نارس) و کیست قرمز(کیست بالغ) بطور وضوح تشخیص داده شدند. در طی چرخه زندگی این جلبک، سلولهای رویشی حاوی مقدار زیادی کلروفیل بود، در حالیکه در مرحله تولید سلولهای سبز غیر متحرک، از میزان کلروفیل آن کاسته شد. در مرحله تولید سلولهای کیست قرمز (مرحله کاروتن زائی)، میزان آستاگزانتین محتوی سلولها سریعا افزایش یافت. ارقام مندرج در (جدول ۱) نشان می دهد که، شدت نور در میزان رشد دو سویه مختلف جلبک هماتوکوکوس اثر متفاوتی دارد. حداکثر تعداد سلول رویشی در سویه جلبک TUM (ایرانی) در مقایسه با سویه جلبک SAG (آلمانی) همسن آن، قبل از شروع آزمایش، به ترتیب $۳/۷۵\times۱۰^{٤}$ و $۳/۲۵\times۱۰^{٤}$ سلول دو تاژکه در هر میلی لیتر محیط کشت بوده است.

همچنین طی آزمایشی که تأثیر شدت نور، در مرحله تولید سلولهای سبز غیرمتحرک بر تغییر فرم سلولهای رویشی، میزان بیوماس و تولید آستاگزانتین در دو سویه مختلف جلبک هماتوکوکوس ایرانی و آلمانی مورد بررسی قرار گرفت، مشخص شد که ۷۰ روز پس از شروع آزمایش،

Archive of SID
www.SID.ir

سلولهای رویشی سویه ایرانی در شدت نور ۵۰۰ لوکس تا حد صفر کاهش می یابد، در حالیکه در سویه آلمانی هنوز تعدادی سلول رویشی مشاهده می شود (جدول۱). ۸۲ روز پس ازشروع آزمایش، در سویه آلمانی همچنان سلولهای رویشی در شدت نور ۲۹۰ لوکس مشاهده شد(جدول ۱)، در حالیکه در سویه ایرانی در این مدت، کلیه سلولها به سلول سبز غیر متحرک تبدیل شده بودند.

اختلاف در تولید سلولهای سبز غیر متحرک و کیست قرمز بین دو سویه ایرانی و آلمانی در شدت نورهای ۲۹۰، ۵۰۰ و ۱٦٦۰ لوکس از نظر آماری معنی دار بود.

نتایج نشان می‌دهند که در شدت نور ۵۰۰ و ۱٦٦۰ لوکس تعداد سلولهای سبز غیر متحرک و کیست قرمز ۸۲ روزه نسبت به سلولهای ۷۰ روزه کاهش یافته است (جدول۱). شاید علت این باشد که در مرحله تولید سلولهای سبز غیر متحرک، سلولهای ماکروزوئید دو تاژکه دو به دو با یکدیگر تلفیق و به یک سلول غیر متحرک سبز رنگ تبدیل می شوند که در نتیجه تعداد آنها کاهش می یابد.

همچنین، شدت نور بر کیست زائی جلبکهای ۷۰ و ۸۲ روزه دو سویه ایرانی و آلمانی نیز تأثیر متفاوتی دارد. با افزایش شدت نور از ۲۹۰ به ۵۰۰ لوکس د ر مرحله تولید سلول سبز غیر متحرک، ضریب افزایش تعداد سلولها در سویه ۷۰ و ۸۲ روزه جلبک ایرانی به ترتیب ۳/۳ و ۲/۸ می باشد در حالیکه این ضرایب برای سویه جلبک های همسن آلمانی آن به ترتیب ۱/٦ و ۱/۵ می باشد (جدول ۱). علت کاهش تعداد سلولهای جلبک ۸۲ روزه نسبت به جلبک ۷۰ روزه، در مدت ۱۲ روز شاید این باشد که گامتهای مشابه و متحرک با یکدیگر ترکیب شده و به سلولهای پالملا تبدیل می شوند که متعاقبا با تشکیل هماتوکیست های مقاوم کاروتنوئید آستاگزانتین در آنها تجمع می یابد [۱۷]. این کاهش تعداد سلول در سویه ایرانی ۲۳٪ و در سویه آلمانی ٤٦٪ بود. (جدول ۲).

اختلاف تولید بیوماس بین دو سویه ایرانی و آلمانی نیز از نظر آماری معنی دار بود. بیوماس تولید شده توسط سویه ایرانی در مقایسه با سویه آلمانی بیشتر بوده و تابع شدت نور در مرحله تولید سلولهای سبز غیرمتحرک و کیست قرمز می‌باشد. میانگین افزایش بیوماس در جلبکهای ۷۲ و ۸٤ روزه سویه ایرانی و سویه آلمانی در مدت ۱۲ روز حدود ۳۰٪ در شدت نور ۵۰۰ لوکس و ٤۱٪ در شدت نور ۱٦٦۰ لوکس بود (جداول ۳ و٤).

بعلاوه، شدت نور در مرحله تولید سلول سبز غیر متحرک و هم در مرحله تولید سلولهای کیست قرمز(مرحله کاروتن زائی) بر تولید آستاگزانتین اثر متفاوتی بر جای می گذارد. میانگین افزایش تولید آستاگزانتین بوسیله جلبک ایرانی در مقایسه با جلبک آلمانی، در یک فاصله زمانی یکسان بوده و حدود ۲/۵ تا ۳ برابر می باشد که تابع افزایش شدت نوردر مرحله تولید سلولهای سبز غیرمتحرک و کاروتن زائی است (جداول ۵ و ٦). ارقام مندرج در (جدول ۵) نشان می دهد. که میانگین افزایش تولید آستاگزانتین در مدت ۱۲ روز در جلبک سویه ایرانی ۷۲ و ۸٤ روزه در مقایسه با جلبک سویه آلمانی همسن آن به ترتیب ٦۱٪ و ٦۹٪ بود. علت این افزایش احتمالا پائین بودن قدرت تکثیر سلول و فتوسنتز در سویه آلمانی نسبت به سویه ایرانی است که شاید به طبیعی بودن سویه ایرانی در محیطهائی با تشعشع بیشتر برای به دام انداختن رادیکالهای آزاد مربوط باشد. از آنجا که تشکیل کاروتنوئید در بسیاری از ارگانیسم ها تابع نور است [۱۹]، لذا به نظر می رسد، افزایش تولید آستاگزانتین توسط نور، درجلبک هماتوکوکوس پلوویالیس، این جلبک را بعنوان یک سیستم وابسته به نور برای مطالعه و تنظیم فرایندهای کاروتن زائی در جلبکها معرفی نماید.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱ تأثیر شدت نور بر تغییر فرم سلولهای رویشی و تبدیل آنها به سلولهای سبز غیر متحرک و کیست قرمز، در دو سویه جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس. شدت نور در مرحله کاروتن زائی (۱۲ روز پایان آزمایش) ۵۰۰ لوکس بوده است.

سویه جلبک	شدت نوردر مرحله تولید سلولهاي سبز غیرمتحرك(لوکس)	سلولهاي رویشي * (%)			مجموع سلولهاي سبز غیر متحرك و کیست قرمز.** (×۱۰^{٤})					
		شروع آزمایش	۷۰روز پس از شروع آزمایش	۸۲روز پس از شروع آزمایش	۷۰روز پس ازشروع آزمایش	ضریب افزایش	۸۲ روز پس ازشروع آزمایش	ضریب افزایش	درصد افزایش (+) و یا کاهش(−) درمدت ۱۲روز	میانگین ضریب افزایش در جلبک ۷۰روزه	میانگین ضریب افزایش در جلبک ۸۲روزه
TMU	۲۹۰	۱۰۰	۵	۰/۰۰	٦/۲ d	۱/۸	۷/۳ b	۲/۱	+۱٦	۳/۳ (۱۰۰)	۲/۸ (۱۰۰)
	۵۰۰	۱۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۳/۰ b	۳/۷	۱۱/۲ a	۳/۲	−۱۵		
	۱٦٦۰	۱۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۵/۲ a	٤/۳	۱۱ a	۳/۱	−۲۸		
SAG	۲۹۰	۱۰۰	۸٦	۳۳	۲/۸ e	۰/۸	٤/۰ c	۱/۱	+۳۸	۱/٦ (۵۰)	۱/۵ (۵٤)
	۵۰۰	۱۰۰	۱٤	۰/۰۰	٦/۳ d	۱/۸	٦/۲ bc	۱/۷	−۱٦		
	۱٦٦۰	۱۰۰	۹	۰/۰۰	۸/۰ d	۲/۳	۵/۸ bc	۱/۷	−۱٦		

جدول۲ تاثیر شدت نور بر تغییر فرم سلولهای رویشی و تبدیل آنها به سلولهای سبز غیرمتحرک و کیست قرمز، در دو سویه جلبک هماتوکوکوس پلووبالبیس. شدت نور در مرحله کاروتن زائی (۱۲ روز پایان آزمایش) ۱٦٦۰ لوکس بوده است.

سویه جلبك	شدت نور در مرحله تولید سلولهاي سبزغیرمتحرك (لوکس)	تعداد سلولهاي رویشي در هر میلي‌لیتر محیط کشت (×۱۰^{٤})				مجموع تعداد سلولهاي سبز غیرمتحرك و کیست قرمز** (×۱۰^{٤})			
		۷۰ روز پس از شروع آزمایش	درصد تبدیل	۸۲ روز پس از شروع آزمایش	درصد تبدیل	۷۰ روز پس از شروع آزمایش	۸۲ روز پس ازشروع آزمایش	درصد افزایش (+) و یا کاهش (−) در مدت ۱۲ روز
TMU	۲۹۰	۰/٦۷	۸۱	۰/۰۰	۱۰۰	۵/۸۳ superscribe	۹/٤۸ b	+٦۳
	۵۰۰	۰/۰۰	۱۰۰	۰/۰۰	۱۰۰	۱۵/۲۰ a	۱۳/۱۸ a	−۲۳
SAG	۲۹۰	۳/۳۳	۵	۰/۱۷	۸۲	۲/۳۳ d	۲/۳۵ d	+۱
	۵۰۰	۰/۳۳	۸٦	۰/۰۰	۱۰۰	۸/۰۰ b	٤/٤٤ c	−٤٦

* در هنگام شروع آزمایش، میانگین تعداد سلولهای رویشی، در دو سویه جلبک TMU و SAG به ترتیب ۱۰^{٤} ×۳/۷۵ و ۱۰^{٤} ×۳/۲۵ سلول رویشی دو تاژکه در هرمیلی لیتر محیط کشت بوده است ، که برای هر سویه مساوی ۱۰^{٤} × ۳/۵ سلول رویشی در نظر گرفته شد

** مقایسهٔ میانگین‌ها در سطح ۵٪ انجام شده است و در هر ستون تیمارهایی که دارای حروف مشترک نیستند از نظر آماری معنی دار هستند (آزمون دانکن) اعداد داخل پرانتز اعداد نسبی است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳ تأثیر شدت نور بر تولید بیوماس ،در دو سویه جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس. شدت نور در مرحله کاروتن زائی (۱۲ روز پایان آزمایش) ۵۰۰ لوکس بوده است.

سویه جلبك	شدت نور درمرحله تولید سلولهاي سبزغیرمتحرك(لوکس)	تولید بیوماس (گرم درلیتر)*			
		درجلبک ۷۲ روزه	میانگین تولید بیوماس	در جلبک ۸٤ روزه	میانکین تولید بیوماس
TMU	۲۹۰ ۵۰۰ ۱٦٦۰	۰/٤٤d ۰/۷۹b ۰/۹۰a	۰/۷۲ (۱۰۰)	۰/٦۳c ۱/۱۳b ۱/۳۸a	۱/۰۵ (۱۰۰)
SAG	۲۹۰ ۵۰۰ ۱٦٦۰	۰/۳۳d ۰/٤۸c ۰/۷۳b	۰/۵۱ (۷۲)	۰/۳۷d ۰/۸۳c ۰/۹۳bc	۰/۷۱ (۷۰)

* مقایسه میانگین ها در سطح ۵٪ انجام شده است و در هر ستون تیمارهایی که دارای حروف مشترک نیستند از نظر آماری معنی دار هستند (آزمون دانکن). اعداد داخل پرانتز، اعداد نسبی است.

جدول ٤ تأثیر شدت نور بر تولید بیوماس، در دو سویه جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس. شدت نور در مرحله کاروتن زائی (۱۲ روز پایان آزمایش) ۱٦٦۰ لوکس بوده است.

سویه جلبك	شدت نور در مرحله تولید سلولهاي سبز غیرمتحرك(لوکس)	تولید بیوماس (گرم در لیتر)*			
		درجلبک ۷۲روزه	میانگین تولید بیوماس	در جلبک ۸٤روزه	میانگین تولید بیوماس
TMU	۲۹۰ ۵۰۰	٪٦۵b ۰/۹۰a	۰/۷۸ (۱۰۰)	۱/۱۰ab ۱/۳۸a	۱/۲٤ (۱۰۰)
SAG	۲۹۰ ۵۰۰	۰/۳۷c ۰/۷۳ab	۰/۵۵ (۷۱)	۰/۵۳c ۰/۹۳b	۰/۷۳ (۵۹)

* مقایسه میانگین ها در سطح ۵٪ انجام شده است و در هر ستون تیمارهایی که دارای حروف مشترک نیستند از نظری آماری معنی دار هستند (آزمون دانکن). اعداد داخل پرانتز، اعداد نسبی است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۵ تأثیر شدت نور بر تولید آستاگزانتین، در دو سویه جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس. شدت نور در مرحله کاروتن زائی (۱۲ روز پایان آزمایش) ۵۰۰ لوکس بوده است.

سویه جلبك	شدت نوردر مرحله توليدسلولهاي سبز غيرمتحرك(لوكس)	تولید آستاگزانتین(ميلي گرم درليتر)*			
		در جلبک ۷۲روزه	میانگین تولید آستاگزانتین	در جلبک ۸٤ روزه	میانگین تولید آستاگزانتین
TMU	۲۹۰ ۵۰۰ ۱٦٦۰	۱/۱٦d ۲/۱۷b ۵/۱۸a	۳/۰۲ (۱۰۰)	۲/۳۲d ٤/٦۸b ۱۳/۱۸a	٦/۷۳ (۱۰۰)
SAG	۲۹۰ ۵۰۰ ۱٦٦۰	۰/٦٤d ۰/۷٤d ۲/۱۷c	۱/۱۸ (۳۹)	۰/۷۵ ۱/۰۷ ٤/٤٤	۲/۰۹ (۳۱)

* مقایسه میانگین ها در سطح ۵٪ انجام شده است و در هر ستون تیمارهایی که دارای حروف مشترک نیستند از نظری آماری معنی دار هستند (آزمون دانکن). اعداد داخل پرانتز اعداد نسبی است.

جدول٦ تأثیر شدت نور، بر تولید آستاگزانتین، در دو سویه جلبک هماتوکوکوس پلوویالیس. شدت نور در مرحله کاروتن زائی (۱۲ روز پایان آزمایش)۱٦٦۰ لوکس بوده است.

سویه جلبك	شدت نور در مرحله تولید سلولهاي سبز غيرمتحرك (لوكس)	تولید آستاگزانتین (ميلي گرم در ليتر)*			
		در جلبک ۷۲ روزه	میانگین تولید آستاگزانتین	در جلبک ۸٤ روزه	میانگین تولید آستاگزانتین
TMU	۲۹۰ ۵۰۰	۳/٤۹b ۵/۱۸a	٤/۳٤ (۱۰۰)	۹/٤۸b ۱۳/۱۸a	۱۱/۳۳ (۱۰۰)
SAG	۲۹۰ ۵۰۰	۱/٦۵d ۲/۱۷c	۱/۹۱ (٤٤)	۳/۳۵c ٤/٤٤c	۳/۹۰ (۳٤)

* مقایسه میانگین ها در سطح ۵٪ انجام شده است و در هر ستون تیمارهایی که دارای حروف مشترک نیستند از نظری آماری معنی دار هستند(آزمون دانکن). اعداد داخل پرانتزاعداد نسبی است.

Archive of SID
www.SID.ir

٤- منابع

[1] Gogdell, R. J., Gillro, T., Anderson, P. O., Liu, R. S. H. and Asa, A. E., 1994. Carotenoids as accessory light harvesting pigments. Pure Appl. Chem. 66. pp. 1041-1046.

[2] Burnett, J. H., 1976. Function of carotenoids other than in photosynthesis, In T. W., Goodwin (ed). Chemistry and biochemistry of plant pigments, Academic Press, London. pp. 655 – 680.

[3] Goodwin, T. W. and Jamikorn, M., 1954. Studies in carotenogenesis, II. Carotenoid synthesis in the alga *Haematococcus pluvialis.* Biochem. J. 57, pp. 376-381.

[4] Boussiba, S., Fan, L. and Vonshak, A., 1992. Enhancement and determination of astaxanthin accumulation in green alga *Haematococcus pluvialis*. Meth. Enzymol. 213, pp. 386-391.

[5] Droop. M.R., 1955. Carotenogenesis in *aematococcus pluvialis.* Nature 175, p.42.

[6] Kobayashi, M., Kakizono, T. and Nagai, S., 1991. Astaxanthin production by a green alga, *Haematococcus pluvialis* accompanied with morphological changes in acetate media. J. Ferment. Bioengin. 71, pp. 335-339.

[7] Angelini, F., Ascoli, C., Frediani, C. and Petrachi, D., 1986. Transient photoresponses of a phototactic microorganism, *Haematococcus pluvialis, reveald by light scattering.* Biophys. J. 50, pp.929-936.

[8] Fan, L., Vonshak, A., Zarka, and Boussiba, S., 1998. Does Astaxanthin protect Haematococcus against light damage?. Z. Naturforsch. 53c, pp. 93-100.

[9] Litvin, F. F., Sineshchekov, O. A. and Sineshchekov, V. A., 1978. Photoreceptor electric potential in the phototaxis of the alga *Haematococcus pluvialis.* Nature 271, pp.476-478.

[10] Hagen. C., Braune, W., Birckner. E. and Nuske, J., 1993a. Functional aspects of secondary carotenoids in *Haematococcus lacustris* [Girod] Rostafinski (Volvocales) the accumulation period as an active metabolic process. New. Phytol. 125, pp. 926-933.

[11] Yong, Y. Y. R. and Lee, Y. K., 1991. Do carotenoids play a photoprotective role in the cytoplasm of *Haematococcus lacustris (Chlorophyta)*. Phycologia 30, pp. 262-264.

[12] Miki, W., 1991. Biological function and activities of animal carotenoids. Pure Appl. Chem. 63, pp. 141-146.

[13] Krinsky, N. I., Mathews – Roth, M. and Taylor, R. F., 1989. Carotenoids chemistry and Biology. Plenum press, New york.

[14] Tanaka, T., Morishita, Y., Suzui, M.kojima, T., Okumura, A. and Mori, H., 1994. Chemoprevention of mouse urinary bladder carcinogenesis by the naturally occurring carotenoid astaxanthin. Carcinogensis 15, pp. 15-19.

[15] Matsuno, T., 1991. Xanthophylls as precursors of retinoids. Pure AppL. Chem. 63, pp. 81-88.

[16] Johnson, E. A. and An, G. H., 1991. Astaxanthin from microbial sources. Crit. Rev. Biotech. 11, pp. 297-326.

[17] Gong, X. and Chen, F., 1997. Optimization of culture medium for growth of Haematococcus pluvialis. J. Appl. Phycol. g, pp. 437-444.

[18] Fritsch, F. E., 1968. A treatise on the british freshwater algae.

[19] Rau, W., 1985. Mechanism of photoregulation of carotenoid biosynthesis in plants. Pure Appl. Chem. 57, pp. 777-784.

Archive of SID

www.SID.ir