

## بررسی تاثیر جذب آلومینیوم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی جلبک سبز *Chlorella vulgaris* از شالیزارهای استان گلستان

نوشین شیخ الاسلامی<sup>۱\*</sup>، آریین ساطعی<sup>۲</sup>، شادمان شکروی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان، گرگان

<sup>۲</sup> استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان، گرگان

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان، گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۲۳

### چکیده

یکی از مهمترین مسائل دنیای امروز، آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین سمی و خطرناک می‌باشد. در سال‌های اخیر تحقیقات در زمینه جذب فیزیکیوشیمیایی فلزات سنگین توسط ریز جلبک‌ها مورد توجه قرار گرفته است. لذا در این تحقیق قابلیت جذب بیولوژیکی، رشد، وضعیت رنگیزه‌ای و برون ریزش آمونیوم در جلبک سبز *Chlorella vulgaris* که از شالیزارهای استان گلستان جمع‌آوری گردیده، تحت تأثیر آلومینیوم ۳۰۰ میکرومولار و در محیط‌های مختلف نیتروژن معدنی (نترات و آمونیوم) با غلظت ۱۷ میلی‌مولار مورد بررسی قرار گرفت. در هر تیمار شرایط نوری ۲ میکرومول کوانتا بر مترمربع بر ثانیه به صورت مستمر و  $\text{pH}$  ۷/۲ اعمال گردید. نتایج نشان داد که بر اساس اثر نوع تغذیه نیتروژنه، تیمار نترات‌ی موجب افزایش جذب آلومینیوم و همچنین افزایش سنتز رنگدانه‌ها گشت. همچنین با توجه به تأثیر آلومینیوم در محیط‌های نیتروژن معدنی، آلومینیوم به کار رفته در محیط آمونیوم و نترات سبب افزایش معنی‌دار رشد، برون ریزش آمونیوم و  $\text{pH}$  محیط کشت در مقایسه با محیط‌های فاقد آن شد. بنابراین به نظر می‌رسد که *Chlorella vulgaris* حتی در محیط‌های آلوده به آلومینیوم، قابلیت استفاده به‌عنوان یک حاصلخیزکننده خاک و کود بیولوژیک را داشته باشد.

**واژگان کلیدی:** آلومینیوم، آمونیوم، جذب بیولوژیکی، جلبک سبز، محیط زیست، نترات.

### مقدمه

(Anton, 2002). آلومینیوم فلزی است که میزان آن به ۷ درصد کل عناصر در قشر زمین می‌رسد. افزایش حلالیت ترکیبات آلومینیوم بر اساس میزان اسیدیفیکاسیون خاک می‌باشد که با شستشوی یون‌های فلزی قلیایی از قبیل: سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم از خاک و کاهش  $\text{pH}$  محلول‌های خاکی صورت می‌گیرد و در نهایت یون‌های آلومینیوم به بخش‌های بالاتری از گیاه جابجا می‌شوند (Ma et al., 1997). در چند دهه اخیر تحقیقات دامنه داری روی اتصالات فلزات توسط باکتری‌ها، مخمرها،

هرچند آلومینیوم به لحاظ دانسیته، فلز سنگین به شمار نمی‌رود ولی همانند فلزات سنگین از آلاینده‌های مهم محیط زیست است. این فلزات عمدتاً از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی بشر منشأ می‌گیرند. حضور آنها در اتمسفر، آب و خاک حتی در غلظت‌های بسیار پایین و انباشته شدن این آلاینده‌ها در زنجیره غذایی می‌تواند زندگی بشر را به مخاطره بیندازد (Mathe-Gaspar and

\*نویسنده مسئول: sheikholeslami\_n@yahoo.com

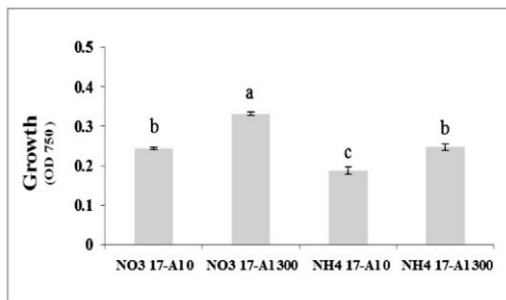
قارچ‌ها و جلبک‌ها صورت گرفته است. مطالعات متعدد نشان داده که جلبک‌ها در جذب فلزات سنگین و ضایعات رادیواکتیو نقش عمده‌ای دارند. et al., 2003 (Davis, جلبک سبز تک سلولی و یوکاریوتی *Chlorella vulgaris* از شاخه Chlorophyta راسته Chlorellales و تیره Chlorellaceae است که همواره به عنوان یک سیستم مدل جهت مطالعات پاسخ موجود به تنش‌های محیطی مورد توجه محققان می‌باشد. مشخصه خاص این گونه رشد در خاک‌های مرطوب و نمناک نظیر شالیزارها، فاضلاب‌ها، آب‌های شیرین می‌باشد. این نمونه در تمام دنیا مشاهده شده است. کلرلا ولگاریس می‌تواند در طیف بسیار وسیعی از ترکیبات آلی و غیرآلی نیتروژن رشد کند. منابع اصلی نیتروژن برای رشد گونه‌های کلرلا آمونیوم، نمک‌های نترات و تا اندازه‌ای اوره می‌باشد (Oh-Hama and Miyachi, 1988). در مطالعاتی که توسط سروش نسب و همکاران (۱۳۸۷) صورت گرفت مشاهده شد که میزان رشد جلبک کلرلا ولگاریس در غلظت‌های ۱۰۰ تا ۴۰۰ میکرومولار آلومینیوم در محیط کشت N8 در پایان فاز لگاریتمی و ابتدای فاز ثابت افزایش معنی داری نسبت به شاهد داشت. از این رو برخی پارامترهای فیزیولوژیکی انتخاب شدند تا بدین وسیله توان بالقوه آنها در مواجهه با تنش‌های محیطی گوناگون به‌عنوان یک پالایشگر زیستی و نیز مدلی مناسب برای حذف بیولوژیکی که هم اقتصادی بوده و هم سازگار با محیط زیست است مورد توجه قرار گیرد.

#### مواد و روش‌ها

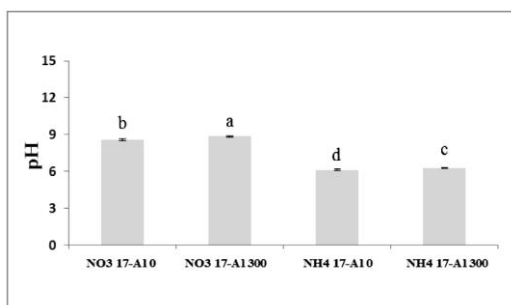
در پژوهش حاضر، نمونه برداری از شالیزارهای استان گلستان در طول یک دوره سه ماهه انجام شد. کشت نمونه‌های خاک مطابق روش کشت ریزجلبک‌های خاکزی انجام گرفت (Richmond et al., 1982). نمونه‌های انتخاب شده از نظر

مورفولوژیک و تاکسونومیک مورد بررسی قرار گرفتند و شناسایی با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر ریزجلبک‌ها Prescott (۱۹۶۹) و John و همکاران، (۲۰۰۳) انجام شد. پس از حصول اطمینان از عاری بودن نمونه‌های کلرلا ولگاریس نسبت به هر گونه آلودگی باکتریایی، تلقیح جلبک‌ها به منظور تکثیر و گسترش آنها در اتاقک کشت به محیط کشت مایع (Kuhl and Lorenzen, 1964) صورت گرفت. در مرحله بعد پس از طی یک یا دو چرخه زندگی، جهت اجراء آزمایش، تلقیح سوسپانسیون‌های جلبکی در اواسط فاز رشد لگاریتمی در شرایط کاملاً استریل به ارلن‌های حاوی محیط کشت تیمارها انجام شد. سلول‌های جلبکی در محیط‌های مختلف نیتروژن معدنی (نترات و آمونیوم با غلظت ۱۷ میلی‌مولار) طی بیست و پنج روز در چهار تکرار پرورش داده شدند. محیط کشت مایع مورد استفاده N8 تعدیل شد. آلومینیوم به صورت  $\text{AlCl}_3$  با غلظت ۳۰۰ میکرومولار مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها در pH ۷/۲، تحت شدت نور مداوم سفید ۲ میکرومول کوانتا بر متر مربع برثانیه در دمای  $28 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد در اتاقک کشت رشد داده شدند (Kaushik, 1987). بررسی روند رشد جلبک‌ها از طریق کدورت‌سنجی<sup>۱</sup> توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۷۵۰ نانومتر انجام گردید (Ernest et al., 2005). به منظور مطالعه میزان جذب یون‌های آلومینیوم توسط سلول‌ها، از دستگاه جذب اتمی مدل (VARIAN AA240) استفاده گردید. سنجش کلروفیلز (Arnon, 1948) و بتاکاروتن (1997) Eijkelhoff and Dekker, پس از استخراج با استن ۸۰ درصد انجام شد. به منظور مطالعه توان تغییر اسیدیته در نمونه مورد نظر، سنجش اسیدیته محیط کشت سوسپانسیون‌های جلبکی در طی بیست و پنج

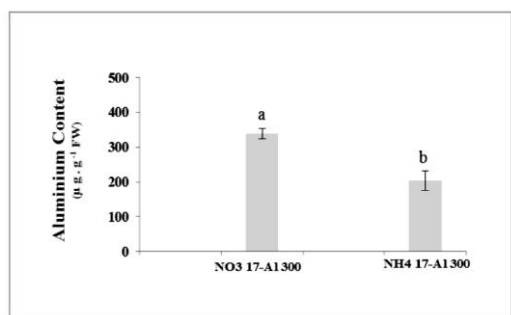
1- Turbidometry



شکل ۱: میزان رشد *Chlorella vulgaris* در محیط‌های نیترات و آمونیوم (بر حسب میلی‌مولار) توأم با آلومینیوم (بر حسب میکرومولار) در ۲۵ روز پس از تلقیح. در هر گروه حروف غیریکسان نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.



شکل ۲: مقایسه pH محیط کشت *Chlorella vulgaris* در محیط‌های نیترات و آمونیوم (بر حسب میلی‌مولار) توأم با آلومینیوم (بر حسب میکرومولار) در ۲۵ روز پس از تلقیح. در هر گروه حروف غیریکسان نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.



شکل ۳: میزان جذب آلومینیوم *Chlorella vulgaris* در محیط‌های نیترات و آمونیوم (بر حسب میلی‌مولار) توأم با آلومینیوم (بر حسب میکرومولار). در هر گروه حروف غیریکسان نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

روز مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری میزان برون ریزش آلومینیوم بر اساس روش (Solorzano, 1969) در طول موج ۶۳۰ نانومتر انجام گردید.

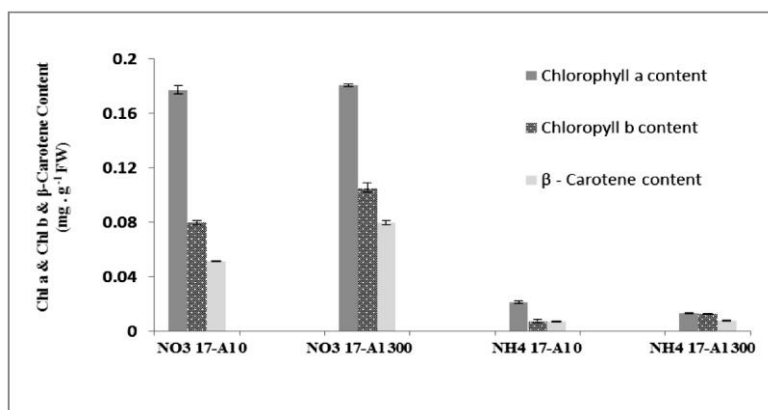
نتایج به دست آمده در این پژوهش بر اساس آزمون Tukey و Tamhanes T2 در سطح ۰/۰۵ با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

## نتایج

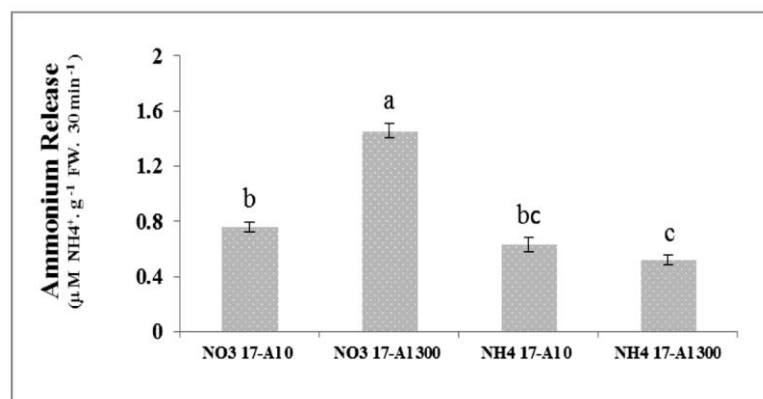
مقایسه میانگین‌های رشد نمونه در تیمارهای مختلف نشان داد که میزان رشد جلبک کلرلا ولگاریس در تیمار نیترات توأم با آلومینیوم ۳۰۰ میکرومولار (NO3 17-A1 300) در طی مدت ۲۵ روز پس از تلقیح به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر بود (شکل ۱). دقت در مقایسه pH محیط کشت *Chlorella vulgaris* در محیط‌های متفاوت نیتروژن معدنی و آلومینیوم در ۷/۲ pH در ۲۵ روز پس از تلقیح نشان داده است که pH محیط کشت نمونه در تیمار نیترات توأم با آلومینیوم ۳۰۰ میکرومولار (NO3 17-A1 300) به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر می‌باشد. تغییرات pH محیط کشت نمونه در تیمارهای نیترات (NO3 17-A1 0, NO3 17-A1 300)، میل به قلیایی شدن و سیر صعودی و در تیمارهای آمونیوم (NH4 17-A1 0, NH4 17-A1 300)، میل به اسیدی شدن و سیر نزولی دارد (شکل ۲). همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد با توجه به این که جمعیت سلول‌ها هموزن بوده و همه سلول‌ها تحت شرایط یکسانی برای جذب آلومینیوم قرار داشتند، در عین حال در تیمار با آلومینیوم، میزان جذب آلومینیوم در تیمار نیتراتی (NO3 17-A1 300) بیشتر بوده است.

تیمارهای آمونیوم بوده که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. در مقایسه میانگین‌های میزان بتا کاروتن، مقدار این رنگیزه در تیمار نیترات توأم با آلومینیوم ۳۰۰ میکرومولار (NO<sub>3</sub> 17-AI 300) افزایش یافت و این امر در حالی است که کمترین میزان این رنگیزه مربوط به تیمارهای آمونیوم بود که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. همانطور که در شکل ۵ مشخص است میزان برون ریزش آمونیوم در تیمار نیترات توأم با آلومینیوم ۳۰۰ میکرومولار (NO<sub>3</sub> 17-AI 300) به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر بود.

در شکل ۴ نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a در تیمارهای مختلف مربوط به محیط‌های نیترات بوده و با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند. همچنین در مقایسه میزان این رنگیزه در تیمارهای آمونیوم، کمترین مقدار را تیمار آمونیوم توأم با آلومینیوم ۳۰۰ میکرومولار (NH<sub>4</sub> 17-) به خود اختصاص داد. همانطور که در مقایسه هیستوگرام کلروفیل مشخص است، بیشترین میزان کلروفیل b مربوط به تیمار نیترات توأم با آلومینیوم ۳۰۰ میکرومولار (NO<sub>3</sub> 17-AI 300) می‌باشد. همچنین کمترین میزان این رنگیزه مربوط به



شکل ۴: میزان کلروفیل a، کلروفیل b و بتا کاروتن *Chlorella vulgaris* در محیط‌های نیترات و آمونیوم (بر حسب میلی‌مولار) توأم با آلومینیوم (بر حسب میکرومولار). در هر گروه حروف غیریکسان نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.



شکل ۵: میزان برون ریزش آمونیوم *Chlorella vulgaris* در محیط‌های نیترات و آمونیوم (بر حسب میلی‌مولار) توأم با آلومینیوم (بر حسب میکرومولار). در هر گروه حروف غیریکسان نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

## بحث

بررسی‌ها نشان می‌دهد که نمونه *Chlorella vulgaris* دارای دامنه وسیعی از بردباری و سازگاری به تغییرات pH می‌باشد. به نظر می‌رسد قابلیت بقاء موجود در شرایط اسیدیته (در محدوده ۶-۳) ناشی از مکانیسم‌های تراکمی چندگانه (آنزیم کربونیک آنهیدراز و پمپ متابولیسمی که با مصرف ATP عمل می‌کند) در فضای پری پلاسمیک، غشاء پلاسمایی و پوشش کلروپلاستی بوده است که موجود را به راحتی در شرایطی که میزان دی اکسید کربن به حدود صفر می‌رسد، زنده و کارا نگاه می‌دارد (شکری و همکاران، ۱۳۸۷). دقت در شکل ۳ نشان می‌دهد که میزان جذب آلومینیوم در محیط نیترا به طور معنی داری از محیط آمونیوم بیشتر می‌باشد. در پژوهش حاضر مشاهده شد که جذب نیترا به عنوان تنها منبع نیتروژن منجر به افزایش pH محیط کشت می‌گردد و هنگامی که آمونیوم به عنوان تنها منبع نیتروژن مورد استفاده قرار گیرد، با کاهش pH محیط کشت نیز همراه است. با توجه به این یافته‌ها به نظر می‌رسد pH یکی از عوامل مهم در جذب عناصر سنگین است. در pH‌های پایین به علت رقابت بین یون‌های  $H^+$  و کاتیون فلزی، یون  $H^+$  بر روی سایت‌های جذب، غلبه کرده و دسترسی کاتیون‌ها به این سایت‌ها در نتیجه نیروی دافعه، محدود و سبب کاهش درصد جذب می‌شود. اما در pH‌های بالاتر، لیگاندهای موجود در جلبک‌ها مانند  $COO^-$ ، دانسیته بار منفی را روی سطح لیگاندها افزایش داده، در نتیجه ی جاذبه الکترواستاتیکی، یون‌های فلزی با بار مثبت روی سطح لیگاندها افزایش یافته و درصد جذب بیشتر خواهد شد (Matheickal et al., 1991; Sag and Aktay, 2002). بررسی وضعیت رنگیزه‌ای و تغییرات آن در محیط‌های مختلف آمونیوم در شکل ۴ نشان داد که در واقع مقادیر بالای آمونیوم سیستم‌های جمع کننده نور را تحریک نمی‌کند، بلکه سبب کاهش کمیّت آنها

از بررسی نتایج بدست آمده در نمودار رشد *Chlorella vulgaris* در تیمارهای مختلف (شکل ۱) می‌توان پی برد که به‌طور کلی این گونه در حضور منابع نیتروژن معدنی می‌تواند بقای خود را حفظ کند و در شرایط محدودیت دی اکسید کربن و نور مداوم از آهنگ رشد مطلوب برخوردار باشد. با توجه به این امر ملاحظه می‌شود که آلومینیوم (۳۰۰ میکرومولار) به کار رفته در محیط آمونیوم و نیترا سبب افزایش رشد نمونه در مقایسه با محیط‌های فاقد آن می‌گردد. به نظر می‌رسد نرخ رشد بالا در این گونه نشان از نقش تحریک کنندگی آلومینیوم در غلظت ۳۰۰ میکرومولار بر روند رشد است. با توجه به نتایج بدست آمده توسط میر بهبهانی و همکاران (۱۳۸۵) ریز جلبک *Scenedesmus obliquus* در غلظت ۱۰ میلی مولار آمونیوم به رشد عادی خویش ادامه می‌دهد. همچنین در بررسی‌های Soltani و همکاران (۲۰۰۳) سیانوباکتری استیگونماتال *Fischerella* sp. در غلظت ۲ میلی مولار آمونیوم قابلیت بقای خود را از دست می‌دهد. بر خلاف سیانوباکتری استیگونماتال، *Hapalosiphon* sp. نسبت به آمونیوم در این غلظت از خود مقاومت و سازگاری نشان می‌دهد (کوهساری و همکاران، ۱۳۸۹). دقت در شکل ۲ اطلاعات قابل توجهی در مورد توان تغییر pH محیط کشت نمونه در اختیار می‌گذارد. به نظر می‌رسد گونه مذکور قادر است در شرایط متفاوتی از اسیدیته زندگی نموده و دامنه انتشار آن را در شرایط اسیدی (pH ۶) در تیمارهای آمونیوم تا شرایط قلیایی (pH ۸) در تیمارهای نیترا تغییر دهد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که حضور آلومینیوم منجر به تشدید اثرات نیترا در قلیایی کردن و کاهش اثرات آمونیوم در اسیدی کردن محیط کشت می‌شود. در واقع حضور آلومینیوم به قلیایی شدن محیط کشت کمک می‌کند.

فتوستتزی و از جمله تغییرات در رنگیزه‌ها منعکس می‌شود (Olvera-Ramirez et al., 2000). کاهش فعالیت فتوستتزی نمونه مذکور در تیمارهای آمونیوم را با این نگرش نیز می‌توان بررسی کرد که جذب آمونیوم با کاهش pH همراه است و این کاهش منجر به عوارض جانبی نامناسب می‌گردد. تغییرات اسیدیته بر محتوای رنگیزه ای تاثیر می‌گذارد. این امر با یافته‌های Anand و همکاران (۱۹۹۰) و Stal (۱۹۹۵) نیز سازگار است. بنابراین به نظر می‌رسد که تغییر اسیدیته نقش عمده در تغییر فعالیت‌های فتوستتزی دارد. در شکل ۵ نتایج بررسی‌های میزان برون ریزش آمونیوم نشان داد که در محیط نیترا توام با آلومینیوم میزان برون ریزش آمونیوم نسبت به سایر تیمارها بیشتر می‌باشد. در این زمینه به نظر می‌رسد، مازاد نیتروژن همگون شده در طی اسیمیلایون آمونیوم در تیمار نیترا توام با آلومینیوم به محیط آزاد می‌شود. از سوی دیگر احتمالاً انباشتگی آمونیوم مربوط به افزایش تولید این ماده بوده و در نتیجه کمتر مصرف شدن آن نمی‌باشد. ولی ظاهراً متابولیسم نیتروژن در سایر تیمارها در وضعیت طبیعی می‌باشد. از آنجایی که یون‌های آمونیوم در غلظت‌های بالا برای سلول‌ها ایجاد سمیت می‌کند، لذا به سرعت در ساختمان ترکیبات آلی وارد و به طور محسوسی سبب کاهش برون ریزش آمونیوم می‌گردد.

#### نتیجه‌گیری نهایی

به‌طور کلی آنچه از نتایج حاصل از این پژوهش به عنوان یک اصل کلی قابل برداشت می‌باشد این است که با توجه به همگن بودن محیط کشت، هم ارزی سنی سلول‌ها، شرایط یکسان برای جذب آلومینیوم توسط سلول‌ها، انباشتگی آلومینیوم در محیط نیترا توام نسبت به آمونیوم بیشتر بود که در عین حال سبب افزایش در برون ریزش آمونیوم و سنتز رنگیزه‌های

می‌شود. در تیمارهای آمونیوم علاوه بر کلروفیل a و کلروفیل b، میزان بتاکاروتن نیز کاهش یافته است. کاروتنوئیدها نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو القاء شده دارند. این رنگیزه‌ها در سمیت زدایی کلروفیل نقش دارند و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (Sanita di Toppi and Gabbrielli, 1999). به همین دلیل کاهش میزان کاروتنوئیدها، تنش اکسیداتیو را در تیمارهای آمونیوم بیشتر کرده است. به نظر می‌رسد عوامل ایجاد کننده تنش اکسیداتیو، مانند تنش فلزات سنگین ممکن است محتوای کلروفیل را به وسیله برهم زدن تعادل در بازگشت پروتئین‌های کمپلکس فتوسیستم II کاهش دهند (Laspina et al., 2005). تاثیر آمونیوم بر شدت فتوستتزی از چند بعد قابل بحث است، نخست اینکه طبق نظر Marschner (۱۹۹۵) زمانی که تنها منبع نیتروژن کاربردی به شکل آمونیوم باشد، مواد فتوستتزی ساخته شده در قسمت هوایی صرف ساختن اسیدهای آمینه با وزن مولکولی کم می‌شود و تجمع این مواد بازدارندگی بر شدت فتوستتزی ایجاد می‌کند. از سوی دیگر Kotsiras و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که وجود غلظت بالای آمونیوم در محیط باعث کاهش غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم در گیاه می‌شود که در این میان پتاسیم و منیزیم نقش مهمی در فتوستتزی دارند و کاهش آن‌ها باعث کاهش کارایی میتوکندری و کلروپلاست می‌شود، در نتیجه فتوستتزی خالص کاهش می‌یابد. با این حال گونه مذکور محتوای رنگیزه‌های فتوستتزی خود را در تمامی موارد حفظ کرده است و این نشان از انعطاف پذیری بالای آن و قابلیت خوگیری به شرایط اعمال شده می‌باشد. جلبک‌های سبز خاکری تحت تاثیر محیط‌های مختلف نیتروژن انعطاف پذیری مورفولوژیک و فیزیولوژیک جهت کسب سازگاری از خود نشان می‌دهند. تغییرات فیزیولوژیک در سیستم

کوهساری، م.، شکروی، ش.، دزفولیان، م. (۱۳۸۹). نشان ویژه‌سازی مورفولوژیک جلبک سبز-آبی خاگری (*Hapalosiphon* sp.) در محیط‌های مختلف نیتروژن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سیستماتیک گیاهی، دانشگاه آزاد گرگان، دانشکده علوم پایه.

میربهبهانی، س.ج.، ساطعی، آ.، شکروی، ش. (۱۳۸۵). نشان ویژه‌سازی اکوفیزیولوژیک جلبک سبز خاگری سندسموس ابلیکوس در محیط‌های مختلف نیتروژن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه آزاد گرگان، دانشکده علوم پایه.

Anand, N., Radah Shanthakumar, L., Hopper, R.S., Revathi G. and Subrahmanian, T.D. (1990). Blue-green algae as biofertilizers: Certain view points on the choice of the isolates. pp. 117-135 in V.N. Raja Rao (ed.), Perspectives in phycology. Today & Tomorrow's Printers & Publishers. New Delhi.

Arnon, D.I. (1948). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24(1):1-15.

Davis, T.A., Volesky, B. and Mucci, A. (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. Water Research. 37(18):4311-4330.

Eijkelhoff, C. and Dekker, J.P. (1997). A routine method to determine the chlorophyll alpha, pheophytin alpha and beta- carotene contents of isolated photosystem II reaction center complexes. Photosynthesis Research. 52:69-73.

Ernest, A., Deicher, M., Herman, P.M.J. and Wollenzien, U.I.A. (2005). Nitrate and phosphate affect cultivability of cyanobacteria from environments with low nutrient levels. Applied and Environmental Microbiology. 71(6): 3379-3383.

John, D.M., Whitton, B.W. and Brook, A.J. (2003). The freshwater algal flora of the british isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algae. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 117-122.

Kaushik, B.D. (1987). Laboratory methods for blue-green algae. Associated Publishing Company. New Delhi. pp. 17-63.

Kotsiras, A., Olympios, C.M., Drosopoulos, J. and Pasma, H.C. (2002). Effect of nitrogen form and concentration on the distribution of

کلروفیلی و در نهایت افزایش رشد گردید. این گونه با برون ریزش آمونیم در شرایط حضور آلومینیوم در محیط‌های نیتراته می‌تواند منبع غنی نیتروژن برای شالیزارها و زمین‌های کشاورزی محسوب شود. نکته مهم در این پژوهش استمرار رشد نمونه در شرایط کشت با مقادیر بالای آمونیم (۱۷ میلی‌مولار) و آلومینیوم (۳۰۰ میکرومولار) است که به ویژه با کاهش فعالیت فتوسنتزی حاصل می‌شود و نمونه را در چنین شرایطی از نظر تکنولوژی بیوجذب توانمند نشان می‌دهد. فرآیند بیوجذب، روشی مناسب برای حذف فلزات سنگین از محیط زیست می‌باشد. بدین ترتیب با رواج این تکنولوژی ارزان قیمت، گام مهمی در جهت بهبود کیفیت محیط زیست برداشته خواهد شد.

#### سپاسگزاری

نگارندگان وظیفه خود می‌دانند از کلیه افرادی که در طول انجام این پژوهش، کمال همکاری را داشته‌اند، صمیمانه سپاسگزاری نمایند. همچنین تشکر و سپاسگزاری خاص از جناب آقای دکتر احمدی گلسفیدی به ویژه ضروری است.

#### منابع

سروش نسب، ل.، قربانلی، م.، ساطعی آ. (۱۳۸۷). بررسی برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی جلبک کلرلاولگاریس به اضافه کردن آلومینیوم در محیط کشت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه آزاد گرگان، دانشکده علوم پایه.  
شکروی ش.، سلطانی ن.، بافته‌چی ل. (۱۳۸۷). سیانوباکتریولوژی، چاپ اول، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان.

- bioproducts characterization of *Calothrix* sp. *Bioresource Technology*. 72(2):121-124.
- Prescott, G.W. (1969).** The Algae: A Review. Thomson Nelson and Sons, London. pp. 436.
- Richmond, A., Karg, S. and Boussiba, S. (1982).** Effects of bicarbonate and carbon dioxide on the competition between *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis*. *Plant and Cell Physiology*. 23(8):1411-1417.
- Sag, Y. and Aktay, Y. (2002).** Kinetic studies on sorption of Cr(VI) and Cu(II) ions by chitin, chitosan and *Rhizopus arrhizus*. *Biochemical Engineering Journal*. 12(2):143-153.
- Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R. (1999).** Response to Cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*. 41(2):105-130.
- Solorzano, L. (1969).** Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. *Limnology and Oceanography*. 14(5):799-801.
- Soltani, N., Khavarynejad, R.A., Tabatabai, M., Shokravi, Sh. and Valiente, E.F. (2003).** The effect of light intensities and durations on antibacterial production abilities, morphological variation and ammonium liberation of *Fischerella* sp. PTCC 1636 collected from paddy-fields of Iran. 11th International Symposium on phototrophic Prokaryotes, Japan.
- Stal, L.J. (1995).** Physiological ecology of cyanobacteria in microbial mats and other communities. *New Phytology*. 131:1-32.
- ions within cucumber fruit. *Scientia Horticulture*. 95(3):175-183.
- Kuhl, A. and Lorenzen, H. (1964).** Handling and culturing of *Chlorella*. In: D.M. Prescott ed., *Methods in Cell Physiology*. Academic Press, New York and London. 1:52-187.
- Laspina, N.V., Groppa, M.D. and Benavides, M.P. (2005).** Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stress. *Plant Science*. 169(2): 323-330.
- Ma, J.F., Zheng, S.J., Matsumoto, H. and Hiradate, S. (1997).** Detoxifying aluminum with buckwheat. *Nature*. 390: 569-570.
- Marschner, H. (1995).** Mineral Nutrition of Higher Plants. pp. 889. 2<sup>nd</sup> Ed. Academic Press, San Diego, CA.
- Mathe-Gaspar, G. and Anton, A. (2002).** Heavy metal uptake by two radish varieties. *Acta Biologica Szegediensis*. 46(3-4):113-114.
- Matheickal, J.T., Iyengar, L. and Venkobachar, C. (1991).** Sorption and desorption of Cu (II) by *Ganoderma lucidum*. *Water Quality Research Journal of Canada*. 26 (2):187-200.
- Oh-Hama, T. and Miyachi, S. (1988).** *Chlorella* In: *Micro-algal Biotechnology* (Borowitzka, M.A., Borowitzka, L.J., Eds.). pp. 3-26. Cambridge University Press. Cambridge.
- Olvera-Ramirez, R., Coria-Cedillo, M., Canizares-Villanueva, R.O., Martinez-Jeronimo, F., Ponce-Noyola, T. and Rios-leal, E. (2000).** Growth evaluation and