

بررسی پاسخ‌های اکوفیزیولوژیکی جلبک *Anabaena sp. FS76* جمع‌آوری شده از شالیزارهای استان گلستان به اثرات توام غلظت دی‌اکسید کربن معدنی محلول و pH در محدودیت افراطی شدت نور

حمیده سادات امیرلطیفی^{۱*}، شادمان شکروی^۲

^۱دانشجوی دکتری، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان

^۲دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۱۶

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اکوفیزیولوژیکی جلبک *Anabaena sp. FS76* که از تراکم قابل توجهی در شالیزارهای استان گلستان برخوردار بوده و در عین حال از نظر اکوفیزیولوژیکی ناشناخته می‌باشد، انجام گردید. نمونه خالص در محیط کشت مایع BG110 وارد شد. بقا، رشد، وضعیت رنگیزه‌ای، فعالیت نیتروژنازی و شدت فتوسنتز در شرایط توام محدودیت افراطی نور ($2 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)، pHهای متفاوت (۷، ۹ و ۱۱) و غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن (عدم هوادهی، هوادهی و تلقیح دی‌اکسید کربن به میزان یک درصد) مورد بررسی قرار گرفت. جلبک تحت شرایط عدم تلقیح دی‌اکسیدکربن، فعالیت نیتروژنازی قابل توجهی از خود نشان داد که بخصوص در pH 11 قابل توجه بود. تلقیح دی‌اکسیدکربن در شرایط محدودیت نور، در pH 9 سبب کاهش رشد و نیز کاهش میزان آلفیکوسیانین در سیستم فیکوبیلی‌زومی گشت. همچنین محتوای آلفیکوسیانین در شرایط pH 11 افزایش یافت. در شرایط قلیایی افراطی (pH 11)، اختلاف شدت فتوسنتزی، با شرایط قلیایی (pH 9)، معنی‌دار نبود و توان دستگاه فتوسنتزی در هر دو حالت بالا بود.

واژه‌های کلیدی: آنابنا، دی‌اکسیدکربن، سیانوباکتری، شالیزار، نورمحدود، pH

مقدمه

فعالیت‌های آزمایشگاهی ترکیب واقع بینانه‌تری را به معرض قضاوت می‌گذارند که هم از جنبه محض و هم کاربردی می‌تواند نتایج مفیدی داشته باشد. نور نقش عمده‌ای در اجتماعات سیانوباکتری خاک‌ها و شالیزارها دارد (Boussiba, 1988). تغییرات نور در هنگامی که برنج رشد می‌کند محسوس است و در برخی بررسی‌ها نشان داده شده است که میزان نوری که شالیزار پس از رشد کامل برنج دریافت می‌کند در حدود یک درصد میزان دریافتی قبل از رشد برنج می‌باشد (Valiente and Leganes, 1989). نقش نور

بررسی وضعیت سیانوباکتری‌های دی‌ازوتروف با تکیه بر تنش‌های ترکیبی، از بحث‌های جدید در سیانوباکتریولوژی است. تاکنون تنش‌ها به صورت منفرد و حداکثر در حد تنش‌های دوتایی اعمال شده است. حرکت جدید به سمت تنش‌های بیش از دو عامل است. البته نمی‌توان ادعا کرد که این ترکیب‌های مصنوعی در شرایط آزمایشگاهی، ویژگی‌های طبیعی نمونه را به طور کامل منعکس می‌کنند اما در حوزه

*نویسنده مسئول: mitra_amirlatifi@yahoo.com

نکنه مهم دیگر در این رابطه، مسئله خاص زمین‌های کشاورزی ایران و از جمله استان گلستان است. بکارگیری بی‌رویه مواد شیمیایی سبب انواع تخریب در میکروفلور می‌شود. عوارض این تخریب به صورت بوجود آمدن نمونه‌هایی با مکانیسم تراکمی ناقص و یا عدم توان تراکم دی اکسید کربن نمودار می‌شود. اینکه سیانوباکتری خاصی در زمین‌های کشاورزی استان باشد که بتواند در مقابله با این بمباران شیمیایی، ویژگی‌های زیستی و از جمله توان مقابله با تنش‌های دی اکسید کربن را حفظ نماید، نشان از توانایی بالای نمونه و البته مقاومت در برابر ایجاد اشکال نوترکیب و یا ایجاد نوترکیب‌هایی با قابلیت بالای پایداری است. بهر حال وجود چنین گونه‌هایی در شرایط فعلی از نعمت‌های خداداد استان است که متأسفانه بدلیل عدم اطلاعات و عدم شناخت، مورد بی‌عنایتی قرار گرفته است. مشخص نیست که تا چه زمان نمونه بتواند به این پایداری ادامه دهد ولی در حال حاضر معرفی توانمندی‌های آن و ارائه پیشنهاد برای بکارگیری آن در بیوتکنولوژی حائز اهمیت است.

سیانوباکتری‌های نوستوکال در شالیزارهای استان گلستان وجود دارند (سیاه بالایی و همکاران، ۱۳۸۶). سویه جدیدی از این گروه با نام *Anabaena sp. FS76* در سال ۱۳۸۹ در بررسی‌های شکروری و همکاران (۱۳۸۷) از شالیزارهای استان جدا گردیده که تاکنون از نظر فیزیولوژیک و اکوفیزیولوژیک بررسی نشده است. با توجه به اهمیت این گروه در شالیزارها نشان-ویژه‌سازی سیانوباکتری‌های نوستوکال و بخصوص سویه‌های بررسی نشده می‌تواند راهگشای برنامه‌های کاربردی آینده باشد. طبق بررسی‌های انجام گرفته از پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران، در رابطه با سه عامل نور، اسیدیته و قلیابیت و دی‌اکسیدکربن، تا کنون بر روی اعضای نوستوکال استان گلستان بررسی

در سیالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی و سیستم‌های نوری در سیانوباکتری‌ها از مهم‌ترین مسائل در حوزه فیزیولوژی این موجودات است (Tandeau and Houmard, 2003).

سیانوباکتری خاکزی، عموماً سایه پسند هستند (Stal, 1995). این بدان معنی نیست که این موجودات قابلیت بقا و رشد در شرایط نوری بالا را از دست داده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شالیزارها بدلیل قرار داشتن در شرایط غرقابی، به صورت فصلی و ماهیانه و حتی روزانه در معرض نوسانات اسیدیته و قلیابیت قرار دارند. اگر نمونه‌ای بتواند خود را از نظر رشد و بقا با این نوسان‌ها سازگار نماید، نمونه‌ای به صورت ذاتی پرازش و توانمند، از نقطه نظر بررسی‌های کاربردی آینده نشان خواهد داد. بررسی‌های Valiente و Leganes (۱۹۸۹)، Shokravi و Soltani (۲۰۱۱) و Soltani و همکاران (۲۰۱۰) نشان می‌دهد که در شالیزارها، در دو مرحله با اثر ترکیبی تنش‌های pH و دی‌اکسیدکربن در شرایط محدودیت افراطی شدت نور مواجه هستیم: نخست در شرایطی که برنج رشد می‌کند و در این حال تا ۹۹٪ نوری که به سطح شالیزارها برخورد می‌کند، سقوط می‌کند (شکروری، ۱۳۷۸). علاوه بر این، در شالیزارها، بخصوص در هنگام شب و در محیط غرقابی که با توجه به پوشیده شدن سطح خاک از آب با تغییرات توام pH و محدودیت شدیدی از نظر دی-اکسیدکربن مواجه هستیم که با عامل نور محدود، شرایط افراطی Extreme بوجود می‌آورند و این همه می‌طلبد که سیانوباکتری‌های شالیزار از سیالیت مورفولوژیکی برخوردار باشد و از طریق انعطاف‌پذیری فیزیولوژیک به‌ویژه در دستگاه فتوسنتزی خود با وضعیت خاص پیش آمده مقابله نمایند (شکروری، ۱۳۷۸).

فیزیولوژیکی انجام نگرفته است
(www.Irandoc.ac.ir).

خاوری نژاد و همکاران (۱۳۸۰) تأثیر دی‌اکسید کربن، شوری و اسیدیته را بر رشد، فرکانس هتروسیست و وضعیت رنگیزه‌های *Nostoc* sp. بررسی کردند. در شکروی و همکاران (۱۳۸۱)، نمونه‌هایی از سیانوباکتریای استان‌های شمالی کشور از نقطه نظر قابلیت بقا در اسیدیته قلیایی، در شرایط آزمایشگاهی بررسی شدند. در شکروی و ساطعی (۱۳۸۲)، نمونه‌هایی از سیانوباکتریای استیگنوماتال استان گلستان در رابطه با نشان‌ویژه‌سازی فیزیولوژیکی در شالیزارهای استان گلستان، در شرایط اسیدیته قلیایی و خنثی بررسی گردید. در امیر لطفی (۱۳۸۵)، نیز به بررسی قابلیت بقا و رشد سیانوباکتریوم خاکزی *Nostoc* sp. در شرایط تنش‌های اسیدیته و عدم تلقیح دی‌اکسید کربن پرداخته شد. در Soltani و همکاران (۲۰۰۵) فعالیت نیتروژن‌سازی نمونه‌هایی از سیانوباکتریای استیگنوماتال در رابطه با شرایط اسیدی، خنثی و قلیایی در بعد آزمایشگاهی بررسی شد. Shokravi و همکاران (۲۰۰۶) و نیز منادی (۱۳۸۸)، به بررسی مورفولوژیکی سیانوباکتری‌های *Lyngbya* sp. و *Oscillatoria* sp. جمع‌آوری شده از شالیزارهای استان گلستان پرداختند. شاکری (۱۳۸۸) و ساسانی (۱۳۸۸) همین دو نمونه را از نظر اسیدیته و قلیاییت و محتوای دی-اکسیدکربن مورد بررسی قرار دادند.

در این بررسی هدف آن است که با توجه به اینکه سیانوباکتریوم خاکزی *Anabaena* sp. FS76 جمع‌آوری شده از شالیزارهای استان گلستان در سال ۱۳۸۹ هنوز از نظر فیزیولوژیکی و اکوفیزیولوژیکی بررسی نگردیده است (مکاتبه با موزه جلبکی پژوهشکده علوم پایه کاربردی دانشگاه شهید بهشتی) و نیز با توجه به سیالیت مورفولوژیکی و

اکوفیزیولوژیکی ریزجلبک‌های خاکزی، آیا می‌توان به عنوان گام نخست، با تمرکز روی یک نمونه، ویژگی‌های خوگیری این نمونه را با اثرات توام pH و دی‌اکسید کربن در شرایط محدودیت افراطی نور(که در شالیزارها متداول است) به صورت چند وجهی بررسی کرد و توصیف اکوفیزیولوژیکی نسبتاً دقیق تری از نمونه ارائه کرد؟

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک در طول سال ۱۳۸۹ در یک دوره یک ساله و به صورت فصلی از استان گلستان جمع‌آوری شدند. اطلاعات مربوط به موقعیت محل و ایستگاه‌های نمونه برداری قبلاً گزارش شده است (سیاه بالایی و همکاران، ۱۳۸۶). کشت نمونه‌های خاک مطابق روش کشت سیانوباکتری‌های خاکزی انجام گرفت (Kaushik, 1987). پس از تشکیل کلنی، جداسازی و کشت‌های بعدی، سیانوباکتری *Anabaena* sp. به صورت خالص تهیه گردید.

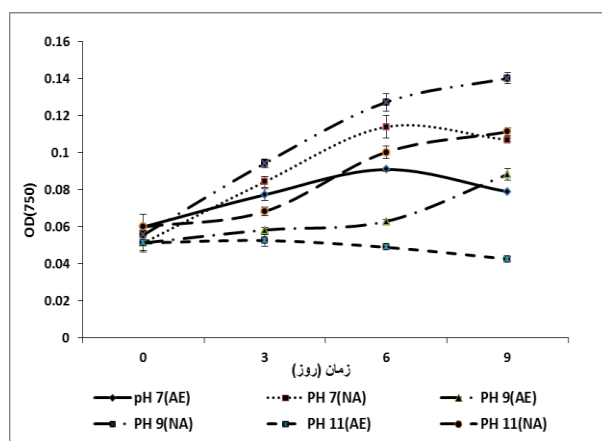
شناسایی مقدماتی و شناسایی در حد جنس با استفاده از John و همکاران (۲۰۰۳)، *Anagnostidis* و Komarek (۱۹۹۰)، Prescott (۱۹۶۲)، Geitler (۱۹۳۲)، Desikachary (۱۹۵۹) انجام گرفت. نمونه پس از شناسایی با عنوان *Anabaena* sp. FS76 کدگذاری گردید و در موزه جلبکی پژوهشکده علوم پایه کاربردی دانشگاه شهید بهشتی ثبت گردید. کشت در محیط مایع BG-110 و در شرایط نوری ۲ میکرومول کوانتا بر متر مربع بر ثانیه (که توسط لامپ فلورسانت تأمین می‌گشت)، دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و pH ۷/۲ انجام گرفت (Soltani et al., 2006^a). برای توازن اسیدیته از ۲۵ میلی‌مولار Mess و ۲/۵ میلی‌مولار Heps استفاده گردید (Soltani et al., 2006^b). بررسی‌های تغییرات فیزیولوژیکی در رابطه با تنش‌های اکوفیزیولوژیکی، در ارلن‌های با حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر محتوی ۷۵ میلی‌لیتر سوسپانسیون انجام شد.

سلطانی و همکاران، ۱۳۸۴) و فتوستنز با استفاده از اکسی گراف مدل کلارک اندازه‌گیری شد (Soltani et al., 2006^b). آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS Ver. 16 و Excel انجام شد.

نتایج

نتایج بررسی‌های مقدماتی نشان داد که *Anabaena sp. FS76* در شرایط قلیایی افراطی قابلیت بقای خود را حفظ می‌کند (شکل ۱). هر چند در شرایط قلیایی افراطی (pH 11) در شرایط هوادهی، در روزهای میانی دوره رشد شاهد نوعی سقوط هستیم. باقی ماندن نمونه در شرایط قلیایی افراطی (pH 11) نشان از گستره وسیع تحمل موجود و نیز وجود مکانیسم‌های سازگار کننده دارد. رشد قابل توجه سیانوباکتری در شرایط قلیایی (pH 9) و حالتی که محدودیت دی‌اکسیدکربن وجود داشته باشد، قابل توجه است. این رشد در شرایطی که غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش یابد به طور معنی دار کاهش می‌یابد ($P < 0.05$). همین حالت در مورد شرایط خنثی (pH 7) صدق می‌کند. سیانوباکتری در شرایط خنثی، در صورتی که از نظر دی‌اکسیدکربن محدودیت نداشته باشد، رشد قابل توجهی نشان می‌دهد که با ورود به فاز تصاعدی از روز نخست پس از تلقیح همراه است (شکل ۱).

کشت‌ها به مدت ۱ ساعت هم زده شده و سپس به محفظه روشنائی منتقل گردیدند. پیش از تلقیح نمونه به مدت ۴۸ ساعت جهت ایجاد سازگاری وارد محیط کشت مایع شد. بررسی اولیه تیمارهای اسیدیته در شرایط خنثی و قلیایی انجام گرفت (۹،۷ pHs). مرحله دوم سنجش اسیدیته بر مبنای نتایج مرحله اول در محدوده اسیدیته کاملاً قلیایی (۱۱ pH) تنظیم گردید. تیمارهای دی‌اکسیدکربن و بررسی مکانیسم تراکمی در شرایط محدودیت دی‌اکسیدکربن (بدون هوادهی)، محدودیت نسبی (هوادهی) و عدم محدودیت (تلقیح دی‌اکسید کربن به میزان ۱٪) انجام گرفت (Poza et al., 2001). رشد بر اساس کدورت‌سنجی، با استفاده از اسپکتروفوتومتر مدل (UV-Ray Leigh OD₇₅₀) 9200 سنجش گردید و طیف جذبی نسبی در زیوه (Relative Absorption Spectrum) بعد از ترسیم طیف جذبی، با کسر جذب پروتئین و استانداردسازی با جذب پروتئین بدست آمد (کاوایی، ۱۳۸۹). سنجش کلروفیل پس از استخراج با متانول با روش Marker (۱۹۷۲) انجام گرفت. فیکوبیلی - پروتئین‌ها بر اساس سلطانی و همکاران (۱۳۸۴)، و کاروتنوئیدها بر اساس Jensen (۱۹۷۸) به صورت در شیشه سنجش گردید. فعالیت نیتروژنازی با استفاده از تست احیای استیلن و گاز کروماتوگراف

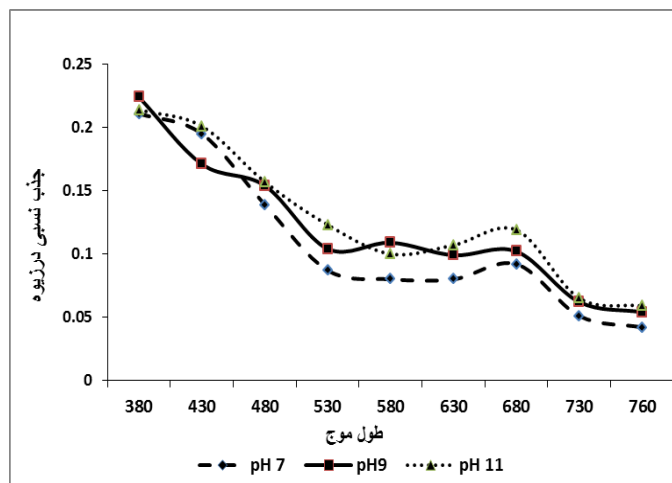


شکل ۱: مقایسه رشد در سیانوباکتری *Anabaena sp. FS76* در شرایط متفاوت pH و دی‌اکسیدکربن

AE: هوادهی، NA: عدم هوادهی

فیکواریترین به‌طور کامل بر هم منطبق هستند که نشان از همسان بودن فعالیت دستگاه فتوسنتزی دارد (شکل ۲). اختلاف در طول موج‌های دیگر از نظر آماری معنی‌دار نیست ($P < 0.05$).

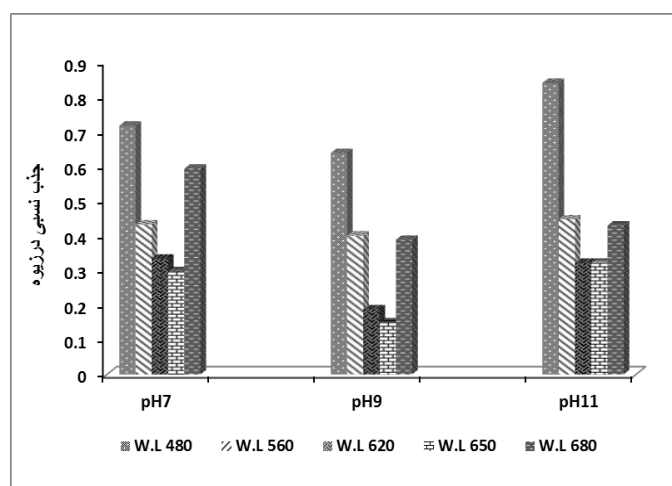
مقایسه طیف‌های جذبی در زیوه در شرایط خنثی، قلیایی و افراطی در شکل ۲ آمده است. در شرایط قلیایی و افراطی، طیف‌های جذبی در طول موج‌های مربوط به کاروتن‌ها و فیکوسیانین و



شکل ۲: مقایسه منحنی طیف جذبی در زیوه سیانوباکتریوم *Anabaena sp. FS76* در شرایط pH 7, 9, 11

نسبت به سایر رنگیزه‌ها گشت. این امر در شرایط قلیایی افراطی (pH 9 و pH 11) قابل توجه می‌باشد. روی هم رفته به نظر می‌رسد که این سیانوباکتری از نظر محتوای کاروتنوئیدی قابل توجه می‌باشد (شکل ۳).

نتایج مربوط به طیف‌های جذبی در زیوه برای شرایطی از اسیدیته و قلیائیت که در آن دستگاه فیکوبیلی‌زومی قابلیت بیان و استقرار دارد، در شکل ۳ آورده شده است. جالب توجه است که تلقیح دی‌اکسید کربن باعث افزایش محتوای کاروتنوئیدی

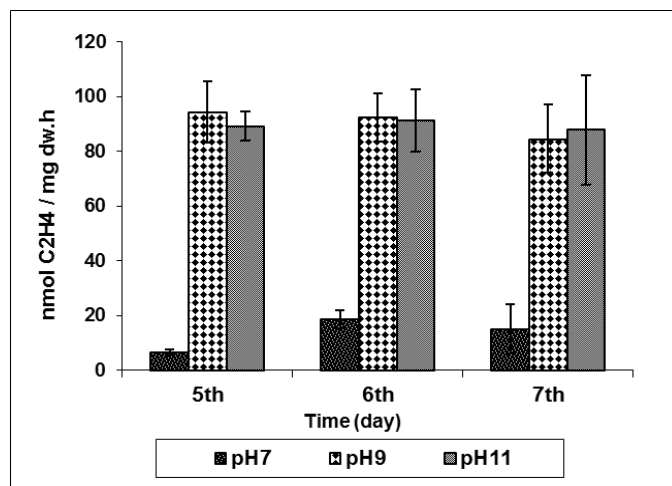


شکل ۳: هیستوگرام مقایسه در زیوه رنگیزه‌ها در سیانوباکتریوم *Anabaena sp. FS76* در

شرایط pH 7, 9, 11 و تلقیح CO₂ (طول موج) W.L = Wavelength

مقایسه pH 11 و pH 9، بویژه در شرایط محدودیت افراطی دی‌اکسیدکربن (عدم هوادهی و عدم تلقیح) و عدم محدودیت (تلقیح دی‌اکسیدکربن) جالب توجه می‌باشد (شکل ۴).

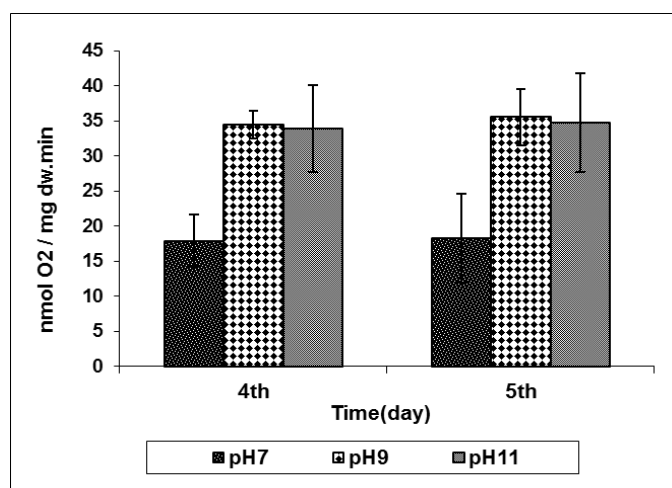
سیانوباکتری مذکور تحت شرایط عدم تلقیح دی‌اکسیدکربن، فعالیت نیتروژنازی قابل توجهی از خود نشان داد که بخصوص در pH 11 قابل توجه است. عدم اختلاف معنی‌دار در فعالیت نیتروژنازی در



شکل ۴: هیستوگرام مقایسه فعالیت نیتروژنازی در سیانوباکتری *Anabaena sp. FS76* در pH 7, 9, 11

شرایط قلیایی (pH 9)، معنی‌دار نبود و توان دستگاه فتوسنتزی در هر دو حالت بالا می‌باشد (شکل ۵).

در شرایط قلیایی افراطی، اختلاف شدت فتوسنتزی (میکرومول اکسیژن آزاد شده در زمان)، با



شکل ۵: هیستوگرام مقایسه فعالیت فتوسنتزی در سیانوباکتری *Anabaena sp. FS76* در pH 7, 9, 11

بحث

بررسی‌های انجام شده در استان گلستان در مورد گروه نوستوک و آنابنا، به نسبت سیانوباکتری‌های اسیلاتوریال و استیگونماتال به مراتب محدودتر می‌باشد. در خصوص جنس آنابنا، تاکنون در استان گلستان پژوهشی انجام نگرفته است. به همین ترتیب بررسی مقایسه‌ای که به تاثیر توام نور محدود، اسیدیته و دی‌اکسیدکربن پردازد در کشور انجام نگرفته است. بهر حال به نظر می‌رسد که در مقایسه با سیانوباکتری‌های استیگونماتال و اسیلاتوریال بررسی شده در استان گلستان، الگوهای رفتاری سیانوباکتری *Anabaena sp. FS76*، متفاوت و تا حدی پیچیده می‌باشد.

ویژگی قابل توجه این سیانوباکتری، رفتارهای متناقض آن در رابطه با تلقیح دی‌اکسیدکربن است. مشخص نیست که این رفتارهای پیچیده ناشی از تلقیح دی‌اکسیدکربن هستند و یا از اثر توام دی‌اکسیدکربن، pH و محدودیت نور افراطی ناشی می‌شوند. در *Fischerella sp. FS-18* و *Hapalosiphon sp. FS-56*، تلقیح دی‌اکسیدکربن در شرایط محدودیت نور، در pH 9، سبب کاهش رشد و نیز کاهش بیان آلفیکوسیانین در سیستم فیکوبیلی زومی می‌گردد. در *Anabaena sp. FS76*، این شرایط مانع از بیان آلفیکوسیانین نمی‌شود و بر عکس محتوای آلفیکوسیانین در شرایط pH 11 افزایش می‌یابد. بر خلاف سویه‌های فیشرلای بررسی شده در استان گلستان و مازندران، در *Anabaena sp. FS76*، بخش میله‌ای فیکوبیلی زوم، واجد فیکواریترین می‌باشد. ضمن اینکه محتوای فیکواریترین در شرایط درزیوه و در شیشه در pH 9 و pH 11، فاقد تفاوت معنی دار می‌باشد. نتایج بررسی حاضر در pH 9 با دستاوردهای Poza-Carion و همکاران (۲۰۰۱) و Goyal و همکاران (۱۹۹۰) سازگار می‌باشد.

مسئله کاروتنوئید در سیانوباکتری‌ها به طور نسبی کمتر مورد توجه قرار گرفته است (شکروی و همکاران، ۱۳۸۷). اینکه کاروتنوئیدها در شدت نوری محدود افراطی، افزایش قابل توجهی نشان داده اند، می‌تواند به ترکیبی از عوامل سه‌گانه یعنی اسیدیته و قلیابیت، دی‌اکسیدکربن و نور ارتباط داشته باشد. در رابطه با نور به طور منفرد، افزایش محتوای کاروتنوئیدی، در شدت‌های بالای نور خود را نشان می‌دهد. در بررسی‌هایی که بر روی برخی از سیانوباکتری‌های اسیلاتوریال انجام شده (شکروی و ساطعی، ۱۳۸۲)، افزایش کاروتنوئید تحت تاثیر شدت‌های نوری تا ۵۰۰۰ لوکس گزارش شده است. در برخی سویه‌های استیگونماتال، افزایش کاروتنوئید در شدت‌های بسیار پایین تحت تاثیر تغییرات محتوای دی‌اکسیدکربن گزارش شده است (ساسانی، ۱۳۸۸؛ شاکری، ۱۳۸۸) اما تا کنون بررسی ترکیبی بر روی سیانوباکتری‌های نوستوکال انجام نشده است. در امیرلطیفی (۱۳۸۵) نشان داده شده که محتوای درزیوه کاروتنوئیدها تحت تاثیر تغییرات اسیدیته و قلیابیت در شرایط تلقیح دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد. پژوهش حاضر با این یافته‌ها مغایرت دارد. به هر حال تنها قرینه‌ای که به ذهن می‌رسد، زندگی ذاتی سیانوباکتری است که شاید تمایل به زندگی در شرایط نوری بسیار پایین و محدودیت دی‌اکسیدکربن را در حافظه تاریخی خود ثبت کرده و لذا با ورود به این شرایط، دیگر بار به گذشته خود رجعت کرده است (شکروی، ۱۳۷۸). بررسی این فرضیه نیاز به اندازه‌گیری دیگر پارامترهای فیزیولوژیک دارد که می‌بایست در آینده انجام گیرد.

از نقطه نظر کاربردی، بقای نمونه در شرایط افراطی قلیابی، و رشد بالا در شرایط قلیابی (pH 9) می‌تواند نمونه را به عنوان فلور بومی استان از نظر استفاده در بیوتکنولوژی کشاورزی ارزشمند نشان

دهد. علاوه بر این، مکانیسم تراکمی نیرومند نمونه که در شرایط محدودیت کامل و محدودیت نسبی می‌تواند منابع کربنی لازم را برای فرایندهای مختلف و از جمله فرایندهای مربوط به فتوسنتز فراهم کند، ویژگی دیگری است که به نمونه ارزش کاربردی می‌بخشد. بقای نمونه در شرایط نور بسیار پایین (۲ میکرومول کوانتا بر مترمربع بر ثانی) که تقریباً معادل شدت نوری است که در شالیزارها، پس از رشد برنج، بر روی میکروفلور زیر سطح برنج اعمال می‌شود، به اضافه سیستم فیکواریترینی و آلفوکوسیانین در شرایط خثی و قلیایی که نشان از کارایی دستگاه فیکوبیلی‌زومی دارد، توانمندی دیگر بالقوه نمونه جهت استفاده‌های کاربردی در بیوتکنولوژی کشاورزی و از جمله استفاده به عنوان کود زیستی است (شکروی و همکاران، ۱۳۸۱).

نتیجه‌گیری نهایی

سیانوباکتری *Anabaena* sp. FS76 واجد ویژگی‌هایی است که هم در بعد علمی و هم کاربردی آن را نمونه‌ای جالب توجه نشان می‌دهد. این نخستین نمونه‌ای از گروه آنابنا است که در استان گلستان، از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیک مورد بررسی قرار می‌گیرد. روی هم رفته این سیانوباکتری می‌تواند در شرایط افراطی نور پایین، بدان حد که برای میکروفلور شالیزارها و زمین‌های کشاورزی گزارش شده، بقای خود را حفظ نماید، ضمن اینکه از فتوسنتز و فعالیت نیتروژنازی قابل توجهی برخوردار است. رشد نمونه در شرایط قلیایی مطلوب است هرچند محتوای دی‌اکسیدکربن بر این امر تاثیر می‌گذارند. نکته جالب در این نمونه رفتارهای متناقض آن در رابطه با تلقیح دی‌اکسیدکربن است که مواردی با یافته‌های گذشته در مورد سایر گروه‌های سیانوباکتری نمی‌خواند. بهر حال تردیدی نیست که این نمونه با داشتن مکانیسم

تراکمی نیرومند دی‌اکسیدکربن و قابلیت رشد در شدت‌های پایین نور و قلیابیت افراطی، می‌تواند از نظر بیوتکنولوژی کشاورزی نمونه‌ای توانمند محسوب شود و به‌عنوان یکی از کاندیداهای بررسی‌های کاربردی بویژه با دیدگاه انتخاب نمونه‌های کارا برای تلقیح در زمین‌های کشاورزی، مورد عنایت قرار گیرد.

منابع

- امیرلطیفی، ف. (۱۳۸۵). بررسی قابلیت بقا و رشد سیانوباکتریوم خاکزی در شرایط تنش‌های اسیدیته و عدم تلقیح دی‌اکسید کربن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان.
- خاوری نژاد، ر.، ریاحی، ح.، شکروی، ش. (۱۳۸۰). بررسی تأثیر دی‌اکسید کربن، شوری و اسیدیته بر رشد، فرکانس هتروسپیست و وضعیت رنگیزه‌های *Nostoc* sp. نشریه علوم پایه. جلد ۴۱.
- ساسانی، ز. (۱۳۸۸). امکان خوگیری ریز جلبک‌ها به‌عنوان سپرهای زیستی در کشاورزی به شرایط افراطی دی‌اکسیدکربن ایجاد شده در اثر حملات احتمالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان.
- سلطانی، ن.، خاوری نژاد، ر.، طباطبایی یزدی، م.، شکروی، ش.، و فرناندز والتینه، ا. (۱۳۸۴). بررسی خواص آنتی‌میکروبیال و فیزیولوژی سیانوباکتری‌ها در محیط‌های افراطی. پایان‌نامه دکترای تخصصی "فیزیولوژی گیاهی". دانشگاه تربیت معلم تهران. دانشکده علوم. گروه زیست‌شناسی.
- سیاه‌بالایی، ر.، افشارزاده، س.، شکروی، ش. (۱۳۸۶). بررسی جلبک‌های رشته‌ای استان گلستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان.

- Anagnostidis, K., and Komarek, J. (1990).** Modern approaches to the classification system of cyanobacteria. 5-Stigonematales. *Algalogical Studies*. 59:1-73.
- Boussiba, S. (1988).** *Anabaena azollae* as biofertilizer. In: *Algal biotechnology*, eds. T.J. Stadler, M.C. Millon, Y. Verdus, H. M. Karamanos and D. Christiaen, Elsevier applied science.
- Desikachary, T.V. (1959).** Cyanophyta. Indian council of agricultural research, monographs on Algae New Delhi, India.
- Geitler, L. (1932).** Cyanophyceae von europa kryptogamen flora akademische verlagsgesellschaft. leipzig.
- Goyal, A. and Tolbert, N (1990).** Salicylhydroamic acid (SHMA) in hibition of the dissolved inorganic carbon concentrating. process in unicellular green algae. *Plant Physiology*. 92: 630-636.
- Jensen, A. (1978).** Chlorophylls and carotenoides. In: *Handbook of phycological methods, physiological and biochemical methods*, eds. J.A. Hellebust & J.S. Craigie, Cambridge University Press.
- John, D.M., Whitton, B.W. and Brook, A.J. (2003).** The freshwater algal flora of the british isles. Cambridge University Press.
- Kaushik, B.D. (1987).** Laboratory methods for blue-green algae. Associated Publishing Company, New Delhi, India.
- Marker, A. (1972).** The use of acetone and metanol in estimation of chlorophyll in the presence of phaeophitin. *Freshwater Biology*. 2: 361-385.
- Poza-Carrión, C., Fernández-Valiente, E., Piñas, F.F. and Leganés, F. (2001).** Acclimation to photosynthetic pigments and photosynthesis of the cyanobacterium *Nostoc sp.* strain UAM206 to combined fluctuations of irradiance, pH, and inorganic carbon availability. *Journal of Plant Physiology*. 158:1455-1461.
- Prescott, G.W. (1962).** Algae of the western great lake area. W.M.C. Brown Company Pub.
- Shokravi, S.h., Amirlatif, F., Safaie, M., Ghasemi, Y. and Soltani, N. (2006).** Some physiological responses of *Nostoc sp.* JAH 109 to the combination effects of limited irradiance, pH and DIC availability. *Quarterly Journal on Plant Science Researches*. 1(3): 55-63.
- Shokravi, Sh. and Soltani, N. (2011).** Acclimation of the *Hapalosiphon sp.* (Cyanoprokaryota) to combination effects of dissolved inorganic carbon and pH at شاکری، ز. (۱۳۸۸). بررسی تحمل شرایط افراطی اسیدی و قلیایی ناشی از بمباران‌های شیمیایی در ریز جلبک‌های محافظ زمین‌های کشاورزی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان.
- شکروی، ش. (۱۳۷۸).** بررسی پتانسیل سیانوباکتری *Nostoc sp.* به عنوان کاندیدای کود زیستی در شالیزارها. پایان‌نامه دوه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- شکروی، ش.، سلطانی، ن.، و بافته چی، ل. (۱۳۸۱).** تدوین تکنولوژی استفاده از سیانوباکتری‌ها به عنوان کود بیولوژیک در شالیزارها، شورای عالی تحقیقات نهاد ریاست جمهوری (طرح ملی). مجری پژوهشکده علوم پایه کاربردی، جهاد دانشگاهی، دانشگاه شهید بهشتی.
- شکروی، ش.، و ساطعی، آ. (۱۳۸۲).** بررسی پتانسیل سیانوباکتری به‌منظور تلقیح در شالیزار. گزارش طرح پژوهشی، معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان.
- شکروی، ش. سلطانی، ن. بافته چی، ل. (۱۳۸۷).** سیانوباکتریولوژی. چاپ اول، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان.
- کاویانی، ع. (۱۳۸۹).** بررسی خوگیری سیانوباکتریوم خاکزی به شرایط تنش‌های تناوب نوری محدود pH و شرایط متفاوت دی‌اکسید کربن. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان.
- منادی، ن. (۱۳۸۸).** ریز جلبک‌ها به عنوان سپر زیستی در کشاورزی-بررسی خوگیری ریز جلبک‌های زمین‌های کشاورزی به شرایط افراطی محیطی ایجاد شده در اثر حملات احتمالی با استراتژی ایجاد تنوع پذیری مورفولوژیک. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان.

- Soltani, N., Siahbalaie, R. and Shokravi, Sh. (2010).** Taxonomical characterization of cyanobacterium *Fischerella* sp. FS 18- Amultidis ciplinary. Approach International Journal on Algae. 1(9): 48-55.
- Stal, J.S. (1995).** Physiological ecology of cyanobacteria in microbial mats and other communities. New Phytology. 131:1-32.
- Tandeau, de., Marsac, N. and Houmard, J. (2003).** Adaptation of cyanobacteria to environmental stimuli: new steps towards molecular mechanisms. FMS Microbiology Reviews. 104:119-190.
- Valiente, E.F. and Leganes, L. (1989).** Regulatory effect of pH and incident irradiance on the levels of nitrogenase activity in the cyanobacterium *Nostoc* sp.UAM205. Journal of Plant Physiology. 135:623 627.
- extremely limited irradiance. International Journal on Algae. 13(4): 379-391.
- Soltani, N., Khavari-Nejad, R., Tabatabaie, M., Shokravi, S.H. and Valiente, E.F. (2006)^a.** Variation of Nitrogenase Activity, photosynthesis and pigmentation of cyanobacterium *Fischerella ambigua* strain FS18 under different irradiance and pH. World Microbiology and .Biotechnology. 22 (6): 571-576.
- Soltani N., Khavari-Nejad R., Tabatabaie M., Shokravi Sh. and Valiente E.F. (2005).** Screening of soil cyanobacteria for antimicrobial activity. Pharmaceutical Biology. 43(5): 455-459.
- Soltani, N., Khavarinejad, R.A., and Shokravi, Sh. (2006)^b.** The effect of ammonium on growth and metabolism of soil cyanobacterium *Fischerella* sp. FS18 .Quarterly Journal on Plant Science Researches. 11: 48-53.