

اثر تنش بی‌کربنات سدیم بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی کاهو، آمارانت و پیچک آبی تحت سیستم آبکشت

حمیدرضا روستا^۱، واحد باقری^۲، میثم منظری توکلی^۳

۱- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان؛

۲- کارشناس ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان؛

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان؛

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۳۱

چکیده

اثر تنش بی‌کربنات سدیم (تنش قلیائیت) بر برخی خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای در سه نوع سبزی برگی (کاهو، آمارانت و پیچک آبی) مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور مطالعه آسیب ناشی از تنش قلیائیت، این آزمایش به صورت فاکتوریل با دو فاکتور شامل گونه گیاهی و بی‌کربنات سدیم (در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار) با سه تکرار انجام پذیرفت. تجزیه داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. نشاءها پس از انتقال به شرایط هیدروپونیک به مدت یک ماه تحت تنش قرار گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده، وزن خشک شاخساره و ریشه با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم کاهش نشان داد. در پاسخ به افزایش بی‌کربنات سدیم میزان رنگیزه‌های گیاهی، حداکثر بازده محصول کوانتومی (F_v/F_m) و شاخص کارایی فتوسنتزی (PI) در تمام گونه‌های گیاهی مورد آزمایش کاهش یافت، که کمترین کاهش در گیاه پیچک آبی مشاهده شد. بیشترین تجمع پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در گیاه پیچک آبی و در تیمار ۱۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم مشاهده شد. به طوری که کربوهیدرات محلول در پیچک آبی در سطح ۱۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد ۲۲۷ درصد افزایش نشان داد. در اثر افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم میزان پتاسیم، آهن در شاخساره و ریشه کاهش و میزان سدیم افزایش یافت. نتایج نشان داد که پیچک آبی در بین گیاهان مورد آزمایش نسبت به تنش بی‌کربنات سدیم مقاوم‌تر می‌باشد.

کلمات کلیدی: پرولین، سبزی، بی‌کربنات سدیم، کلروفیل، کربوهیدرات، آهن

مقدمه

استفاده از گونه یا ارقام مقاوم و غیره از روش‌های وابسته به باغبانی و رشد گیاه هستند که می‌توان برای کاهش اثر نامناسب قلیائیت بر رشد گیاه استفاده کرد (Alonso Valdez Aguilar, 2004). در خاک‌های شور و سدیمی کاتیون‌های اصلی شامل Na^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} و K^+ و آنیون‌ها شامل HCO_3^- ، Cl^- ، CO_3^{2-} و NO_3^- می‌باشند (Lauchi and Lutge, 2002). این یون‌ها شکل‌های نمک‌های خنثی یا قلیائی هستند که باعث تنش شوری و قلیائیت می‌شوند. به طور کلی نمک‌های قلیایی ($NaHCO_3$ و Na_2CO_3) اثرات مخرب‌تری بر گیاه نسبت

آب و خاک از عوامل اصلی برای تولیدات کشاورزی محسوب می‌شوند. به دلیل محدودیت در استفاده از آب و خاک از نظر کیفی، کاشت گیاهانی که بتوانند شرایط نامناسب آب و خاک را تحمل نموده و محصول اقتصادی داشته باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مناطق شمالی کشور در سواحل دریای خزر، بخش مرکزی کشور و سواحل جنوبی دارای آب و خاک شور و سدیمی می‌باشند. قلیائیت آب آبیاری تاثیر زیان‌باری بر تغذیه و رشد گیاهان دارد. افزودن اسید به آب، مدیریت آب‌ها با تغییر میزان آبیاری و قلیائیت، استفاده از سوبسترا با واکنش اسیدی،

ریدوکتاز آهن و کاهش pH محیط کشت بستگی داشت، همچنین در ریشه این رقم بالاترین مقدار فسفو انول پیرووات کربوکسیلاز مشاهده شد. در یک آزمایش نشان داده شد که این آنزیم ممکن است بیوسنتز و تجمع اسید آلی را در شرایط کمبود آهن کنترل کند (Ollat et al., 2003). افزایش غلظت بی‌کربنات همراه با کاهش سطوح آهن، سبب افزایش غلظت فسفر و کلسیم در ریشه زیتون و هلو شد، اما غلظت منگنز، روی و پتاسیم کاهش یافت (Shi et al., 1993). در یک پژوهش کاهش رشد در گیاهان کاهوی تیمار شده با بی‌کربنات سدیم بیشتر به سمیت یون بی‌کربنات و افزایش pH ارتباط داشته است و افزایش سدیم یا تنش اسمزی ناشی از قلیائیت محلول غذایی در اثر میزان بالای بی‌کربنات سدیم اضافه شده کم اثر گزارش شد (Grattan and Grieve, 1999). در پژوهشی که توسط احمد و شارما (Ahmad and Sharma, 2010) صورت گرفت، بی‌کربنات سدیم باعث افزایش غلظت پرولین در برگ‌های ارقام توت فرنگی شد، به طوری که این افزایش در رقم مقاوم بومی "Local" بیشتر از رقم حساس "Sujanpuri" بود. در آزمایش دیگری نشان داده شد در شرایط آبکشت با بستر کشت کوکوپیت و پرلایت تیمارهای بی‌کربنات سدیم با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار نسبت به شاهد، باعث کاهش شاخص‌های رویشی، اکوفیزیولوژیکی و مقدار کلروفیل در چهار پایه مهم پسته شد. همچنین بهترین کاهش غلظت آهن تحت تیمار ۱۰۰ میلی مولار بی‌کربنات سدیم در پایه آتلانتیکا مشاهده گردید (Rajabi et al., 2012).

در پژوهش حاضر میزان مقاومت سه نوع سبزی برگری شامل کاهو، آمارانت و پیچک آبی به تنش بی‌کربنات سدیم بررسی شده است. کاهو گیاهی است یکساله از خانواده مرکبان (Compositae) و روز بلند است که در تابستان به گل می‌نشیند. کاهو دارای وارپته‌های متفاوتی می‌باشد که مهمترین آنها کاهو پیچ معمولی است که اکثر کاهوی مصرفی در ایران از این نوع می‌باشد. آمارانت یا اسفناج چینی (*Amaranthus spp*) گیاهی یکساله و دارای ۶ گونه می‌باشد که تعدادی از گونه‌های آن به عنوان سبزی برگری استفاده می‌شوند. بعضی از گونه‌ها به دلیل تولید بذر زیاد برای مصارف خوراکی مناسب نیستند و یک گونه از آن هم زینتی می‌باشد. یکی از سبزی‌های برگری که اخیراً وارد ایران شده است پیچک آبی با نام علمی *Ipomoea*

به نمک‌های خنثی (NaCl و Na_2SO_4) دارند (Shi and Yin, 1993). اثرات تنش قلیائیت شبیه تنش شوری بوده، اما با اثرات اضافی اسیدیته (pH) بالا همراه است. pH بالای محیط ریشه به طور مستقیم باعث کاهش در غلظت یون‌های ضروری مخصوصاً آهن می‌شود (Shi and Sheng, 2005)، بنابراین کاهش غلظت عناصر سبب کاهش در رشد گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد می‌شود.

در بین عناصر کم مصرف، گیاهان بیشترین نیاز را به آهن دارند. اهمیت آهن به خاطر دو وظیفه حیاتی آن است: (۱) آهن یکی از اساسی‌ترین عناصر تشکیل دهنده سیستم‌های اکسایش و کاهش در گیاهان است و به علت توانایی در تغییر ظرفیت می‌تواند به عنوان یک جزء اساسی در سیستم اکسید و احیاء انتقال الکترون را تسهیل نماید؛ (۲) آهن برای سنتز کلروفیل ضروری می‌باشد (Nikolic and Kastori, 2000). از طرفی آهن از مهمترین ترکیبات آنزیم‌های مرتبط با انتقال الکترون مثل سیتوکروم، پروتئین و سولفور آهن می‌باشد. همچنین آهن جزء اصلی در پروتئین‌های مرتبط در فتوسنتز و تثبیت نیتروژن و تنفس است (Taiz and Zeiger, 1998). عوامل متعددی باعث زردی ناشی از کمبود آهن می‌شوند که از جمله می‌توان به اسیدیته بالای خاک، قابلیت دسترسی کم آهن، کربنات و بی‌کربنات موجود در خاک یا آب آبیاری، کمبود تهویه خاک و غیره اشاره نمود. توانایی ریشه گیاهان مختلف در جذب آهن متفاوت است به گونه‌ای که گیاهان مقاوم به کمبود آهن، ریشه‌های کارآمدتری برای جذب آهن دارند که البته این خصوصیت بیشتر جنبه توارثی دارد (Fernandez and Ebert, 2005).

در یک آزمایش نشان داده شد که وزن خشک برگ و ریشه با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم در چهار وارپته کلم تحت شرایط آبکشت به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین در این آزمایش در پاسخ به افزایش بی‌کربنات سدیم، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، F_v/F_m و PI در تمام وارپته‌ها کاهش نشان داد (Bagheri and Roosta, 2012). در پژوهشی پاسخ ۵ رقم انگور به بی‌کربنات سدیم مورد بررسی قرار گرفت (Ksouri et al., 2007). مقاومت انگور به کمبود آهن بستگی به توانایی گیاه در اسیدی کردن محیط و بهبود فعالیت آنزیم ریدوکتاز آهن دارد. مقاومت بالای رقم "خامری" به بی‌کربنات به فعالیت

ریخته و عمل استخراج دو بار و هر بار با پنج میلی لیتر اتانول ۷۰ درصد تکرار شد. محلول به دست آمده ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. پس از جداسازی فاز مایع از جامد، قسمت مایع برای استخراج پرولین مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین غلظت پرولین، یک میلی لیتر از عصاره‌ی الکلی فوق الذکر را با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر رقیق نموده و پنج میلی لیتر معرف ناین هیدرین به آن اضافه شد و پس از افزودن پنج میلی لیتر اسید استیک گلاسیال به آن و هم زدن دستی به مدت چند ثانیه، محلول به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفت. پس از خارج کردن نمونه‌ها از حمام آب گرم و خنک کردن آن‌ها، ۱۰ میلی لیتر بنزن به آن‌ها اضافه و با همزن مکانیکی مخلوط شدند تا پرولین وارد فاز بنزن شود. نمونه‌ها ۳۰ دقیقه به حال سکون رها و میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80 UV/VIS کشور چین) در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (Paquin and Lechasseur, 1979). منحنی استاندارد پرولین نیز با استفاده از ال-پرولین در غلظت‌های صفر، ۳۱/۲۵، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ میلی گرم در لیتر تهیه و اندازه‌گیری گردید و با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

$$\left[\frac{(\mu\text{g proline} / \text{ml} \times \text{ml Benzene}) / 115.5 \mu\text{g}/\mu\text{mole}}{[(\text{g sample})/5]} \right] = \mu\text{g proline/g of FW} \quad [1]$$

برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول، ۰/۱ میلی لیتر از عصاره‌ی الکلی که قبلاً برای پرولین تهیه شده بود، با سه میلی لیتر آنترون تازه تهیه شده، مخلوط گردید. این محلول ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده شد تا واکنش انجام و رنگی شود. سپس میزان جذب آن با اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت و مقدار قندهای محلول محاسبه گردید (Irigoyen et al., 1992). برای تهیه منحنی استاندارد کربوهیدرات‌های محلول، محلول گلوکز خالص در غلظت‌های صفر، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۱۷۵۰، ۲۰۰۰، ۲۲۵۰ و ۲۵۰۰ میلی گرم در لیتر تهیه و جذب آنها اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل و شاخص کارایی فتوسنتزی^۱ (PI) از دستگاه Chlorophyll Fluorimeter (مدل Pocket PEA، کمپانی Hansatech ساخت کشور انگلستان) استفاده گردید. این دستگاه میزان فلورسانس کلروفیل را بر اساس پارامتر F_v/F_m ثبت نمود. روش کار

aquatica از خانواده Convolvulaceae می‌باشد. این سبزی یک گیاه علفی آبی و نیمه آبی است که در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری مانند کشورهای مالزی، سنگاپور و هند کشت می‌شود. برگ‌ها در این گیاه باریک با عرض ۱ تا ۱/۲۵ سانتی‌متر و طول ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. این گیاه در شرایط روز کوتاه به گل می‌رود. این پژوهش با هدف ارزیابی تحمل سه نوع سبزی برگی مهم و جدید نسبت به تنش بی کربنات سدیم در شرایط هیدروپونیک انجام شد.

مواد و روش‌ها

کاشت بذور و محلول دهی

این پژوهش بر روی سه نوع سبزی برگی شامل کاهو، آمارات و پیچک آبی در گلخانه‌ی هیدروپونیک گروه باغبانی دانشگاه ولی عصر^(عج) رفسنجان انجام شد. بذور گیاهان در بستر هیدروپونیک با محیط کشت پرلیت کشت شد. محلول غذایی مورد استفاده برای تغذیه گیاهان حاوی ۵ میلی مولار $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۲ میلی مولار KH_2PO_4 ، ۰/۲ میلی مولار K_2SO_4 ، ۰/۳ میلی مولار $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ و ۰/۱ میلی مولار NaCl بود. ریزمغذی‌ها عبارت بودند از ۲۰ میکرومولار Fe-EDDHA، ۷ میکرومولار ZnCl_2 ، ۰/۷ میکرومولار $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۸ میکرومولار $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، ۲ میکرومولار H_3BO_3 و ۰/۸ میکرومولار $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Roosta and Schjoerring, 2007). بعد از گذشت سه هفته، از هر نوع سبزی ۴ عدد نشاء به گلدان‌های ۴ لیتری حاوی محلول هوادهی شده انتقال یافتند. محلول گلدان‌ها هر هفته یک‌بار تعویض شد. بعد از انتقال به مدت یک ماه تیمارهای بی کربنات سدیم شامل سه سطح مختلف [صفر (pH=۷)، ۵ (pH=۷/۸) و ۱۰ (pH=۸/۲) میلی مولار] اعمال گردید. در پایان آزمایش، برای اندازه‌گیری وزن خشک، ابتدا گیاه از گلدان بیرون آورده شد و به دو قسمت برگ و ریشه تقسیم شد و پس از شستشوی سیستم ریشه‌ای و خشک شدن، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس وزن خشک نمونه‌ها توزین شدند.

برای اندازه‌گیری پرولین، ابتدا نیم گرم برگ به خوبی رشد یافته را با استفاده از پنج میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی کوبیده و محلول حاصل را در لوله‌ی فآلکون

¹ - Performance Index

طبق نتایج به دست آمده صرف نظر از نوع گیاه، افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم به طور معنی‌داری باعث کاهش وزن خشک شاخساره و ریشه گیاه گردید. در مورد سبزی‌ها، کمترین کاهش وزن خشک شاخساره و ریشه در سبزی پیچک آبی دیده شد (شکل ۱، A و B). رشد پدیده‌ای است که تحت تاثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد. اولین و مهمترین اثرات تنش‌های محیطی بر صفات رویشی و شاخص‌های رشد می‌باشد. توانایی گیاه برای مقابله با تنش قلیائیت نه فقط به توانایی گیاه برای غلبه با تنش آب و سمیت یون بستگی دارد همچنین به مقاومت آن به pH بالا نیز بستگی دارد (Yang et al., 2008). به طور کلی اغلب اثرات قلیائیت بر رشد گیاه از طریق کاهش در قابلیت حل عناصر توسط افزایش pH که به علت یون بی‌کربنات است ایجاد می‌شود (Ahmad and Sharma, 2010). نتایج به دست آمده در این آزمایش با نتایج کسوری و همکاران (Ksouri et al., 2007) مطابقت داشت.

رنگی‌های گیاهی و فلورسانس کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل بی‌کربنات سدیم و نوع گیاه بر رنگی‌های گیاهی شامل کلروفیل a و کلروفیل b در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج به دست آمده، بی‌کربنات سدیم باعث کاهش معنی‌داری در کلروفیل a و کلروفیل b در هر سه نوع سبزی شد، به طوری که بیشترین کاهش مربوط به کاهو بود که در سطح ۱۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم نسبت به شاهد ۶۳ درصد کاهش در کلروفیل a نشان داد (شکل ۲-A). در مجموع کمترین میزان کاهش در پیچک آبی و آمارانت مشاهده شد. نتایج تأثیر بی‌کربنات سدیم بر نسبت فلورسانس کلروفیل متغیر به حداکثر و شاخص کارایی فتوسنتزی در تقابل با نوع سبزی در شکل ۲-D و ۲-C آورده شده است. طبق نتایج به دست آمده اثر بی‌کربنات سدیم، نوع گیاه و اثر متقابل آنها بر فلورسانس کلروفیل و شاخص کارایی فتوسنتزی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در سطح ۵ و ۱۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم بیشترین میزان F_v/F_m در سبزی پیچک آبی مشاهده شد. کاهش رنگی‌های گیاهی از جمله کلروفیل a و b تحت تنش قلیائیت می‌تواند به علت کاهش میزان منیزیم و بازدارندگی سنتز کلروفیل باشد. عنصر آهن نیز در سنتز پروتئین‌های کلروفیل و

بدین صورت بود که از هر گلدان چهار برگ بالغ از گیاه انتخاب و در گیره‌های مخصوص جهت ایجاد شرایط تاریکی به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند و پس از این مدت میزان فلورسانس کلروفیل ثبت گردید. برای اندازه‌گیری کلروفیل a و b و کارتنوئید ابتدا ۰/۲۵ گرم برگ تازه را خرد و آن را در یک هاون چینی سرد با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده تا به صورت توده یکنواختی درآید. سپس مخلوط حاصل را در لوله‌های فالکون ۲۰ میلی‌لیتر ریخته شده و به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۵۰۰ سانتریفوژ گردید. میزان جذب نور محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80 UV/VIS ساخت کشور چین) در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵، ۶۵۲ و ۶۶۳ نانومتر قرائت گردید (Lichtenthaler, 1987).

$$Ca=12.25A_{663.2}-2.79A_{646.8} \quad [۲]$$

$$Cb=21.50A_{646.8}-5.10A_{663.2} \quad [۳]$$

$$Cx+c=1000A_{470}-1.82Ca-85.02Cb \quad [۴]$$

عناصر غذایی که در این آزمایش اندازه‌گیری شدند شامل سدیم، پتاسیم، روی و آهن در برگ و ریشه بود. برای تهیه عصاره ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه خشک شده و آسیاب شده را وزن کرده و سپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شدند و سپس با استفاده از اسید کلریدریک ۲ نرمال ۵ میلی‌لیتر به ازای هر نمونه اضافه گردید و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. این عصاره به طور مستقیم جهت اندازه‌گیری عناصر روی و آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل GBC avanta ساخت کشور استرالیا) و پتاسیم و سدیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مورد استفاده قرار گرفت.

این پژوهش به صورت فاکتوریل با دو فاکتور در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام پذیرفت. داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شدند و با استفاده از برنامه MINITAB تست نرمالیت بر روی داده‌ها انجام شد. مقایسه میانگین صفات بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p<0.05$) انجام گردید.

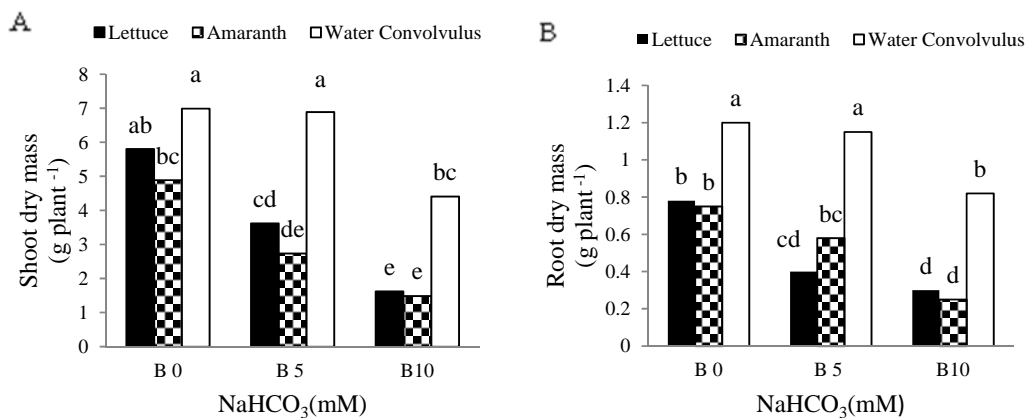
نتایج و بحث

پارامترهای رویشی

نتایج تأثیر بی‌کربنات سدیم بر وزن خشک شاخساره و ریشه سه نوع سبزی برگی در شکل ۱ آورده شده است.

دهنده تمامیت غشا تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم ۲ به فتوسیستم ۱ می‌باشد (Johnson et al., 2002). در این پژوهش مقدار F_v/F_m در تمام گیاهان زیر ۰/۸ گزارش شد که می‌تواند به علت عدم توسعه کامل دستگاه فتوسنتزی در نتیجه کشت در شرایط گلخانه باشد. سرزنده بودن گیاه را می‌توان به وسیله شاخص کارایی فتوسنتزی مورد ارزیابی قرار داد. این شاخص از الحاق سه پارامتر مستقل ایجاد می‌شود: (الف) انبوهی (چگالی) مراکز واکنش کاملاً فعال؛ (ب) بازده انتقال الکترون به زنجیره انتقال الکترون غیر از کینون A (QA)، و (ج) احتمال به دام افتادن یک فوتون جذب شده به وسیله مراکز واکنش. شاخص کارایی فتوسنتزی عملکرد هر دو فتوسیستم I و II را بازتاب نموده و اطلاعاتی کمی راجع به عملکرد گیاه تحت شرایط تنش به پژوهشگر ارائه می‌دهد (Strasser et al., 2004).

تشکیل پیش‌نیازهای کلروفیل نقش دارد (Misilini et al., 2009). برگ گیاهان مبتلا به کمبود آهن ناشی از افزایش غلظت بی‌کربنات حاوی تعداد کمتری گرانا و استروما در کلروپلاست می‌باشد، به طوری که با کاهش در ترکیبات غشاء از جمله ناقل‌های الکترون در زنجیره انتقال الکترون، کلروفیل، کارنوئیدها و غیره همراه است (Bertamini et al., 2001). گزارشات نشان داده‌اند که در اثر تنش شوری غشاء تیلاکوئید آسیب می‌بیند و چون واکنش‌های نوری فتوسنتز در غشاء تیلاکوئید انجام می‌پذیرد، در نتیجه عملکرد کوانتومی فتوسیستم ۲ کاهش می‌یابد و انتقال الکترون از فتوسیستم ۲ به فتوسیستم ۱ تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تحت این شرایط میزان رادیکال‌های آزاد در سلول افزایش می‌یابد و باعث خسارت به پروتئین D1 که در ارتباط با مرکز واکنش فتوسیستم ۲ است، می‌شود (Woodward and Bennett, 2005). ثابت شده است که نسبت فلورسانس کلروفیل متغیر به حداکثر (F_v/F_m) نشان



شکل ۱. اثر بی‌کربنات سدیم بر وزن خشک شاخساره (A) و ریشه (B) سه نوع سبزی برگی کاهو (Lettuce)، آمارانت (Amaranth) و پیچک آبی (Water convolvulus). حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح ۵٪ آزمون دانکن است.

Fig 1. Effect of sodium bicarbonate on dry mass of shoot (A) and root (B) of three leafy vegetables of lettuce, amaranth and water convolvulus. Different letters on the columns show significant difference at 5% level of probability (Duncan test).

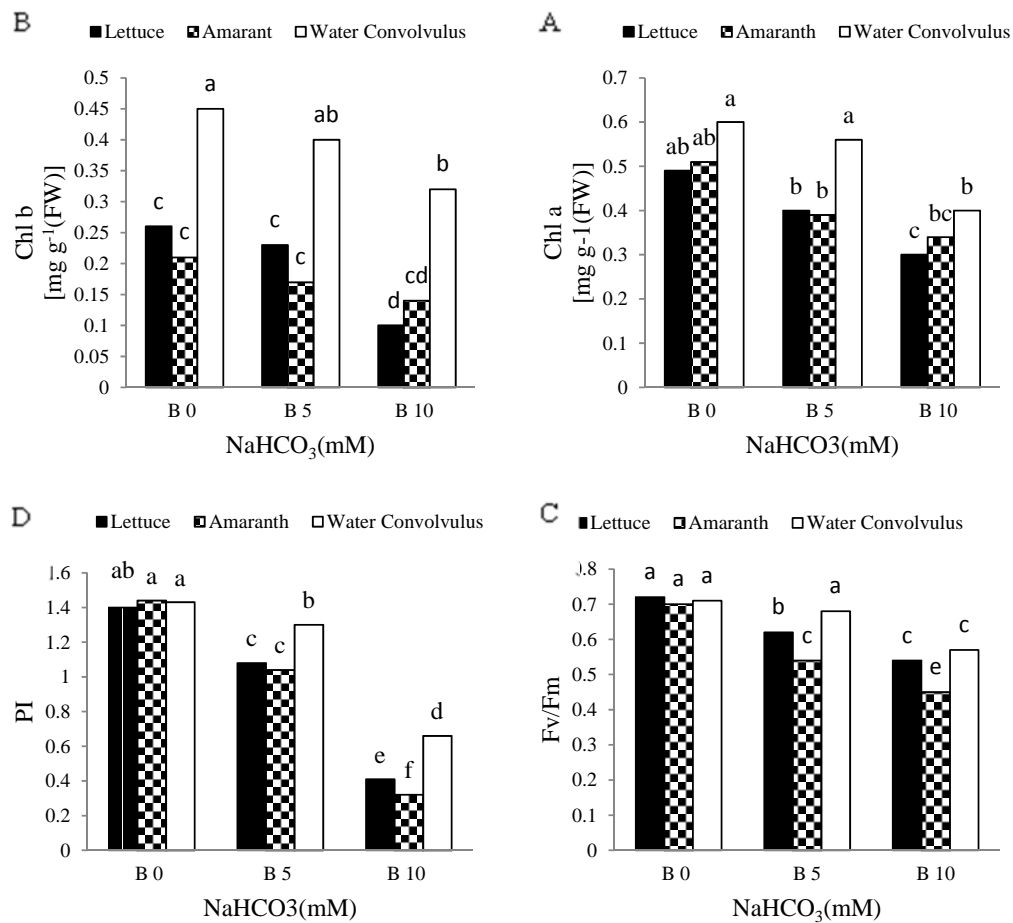
متقابل آنها بر روی کربوهیدرات‌های محلول در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بر اساس نتایج به دست آمده (شکل ۳-A)، با افزایش سطوح بی‌کربنات سدیم در کاهو و آمارانت میزان پرولین افزایش چشمگیری نداشت به طوری

تنظیم کننده‌های اسمزی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که تنها اثر بی‌کربنات سدیم بر غلظت پرولین معنی‌دار شد، این درحالی بود که اثر بی‌کربنات سدیم، نوع سبزی و اثر

آبی و آمارانت شد به طوری که در پیچک آبی در سطح ۱۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد ۲۲۷ درصد افزایش نشان داد، اما در کاهو بین سطوح مختلف تنش اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (شکل ۳-B).

که اختلاف معنی‌داری بین سطوح تنش مشاهده نشد، اما سبزی پیچک آبی در سطح ۱۰ میلی‌مولار تنش با ۱/۶۵ میکرومول در گرم وزن تر، بیشترین میزان پروکلین را داشت. در ارتباط با کربوهیدرات‌های محلول، بی‌کربنات سدیم باعث افزایش کربوهیدرات‌های محلول در دو سبزی پیچک



شکل ۲. اثر بی‌کربنات سدیم بر کلروفیل a (A)، کلروفیل b (B)، F_v/F_m (C) و PI (D) در سه نوع سبزی برگ‌گی کاهو (Lettuce)، آمارانت (Amaranth) و پیچک آبی (Water convolvulus). حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح ۵٪ آزمون دانکن است.

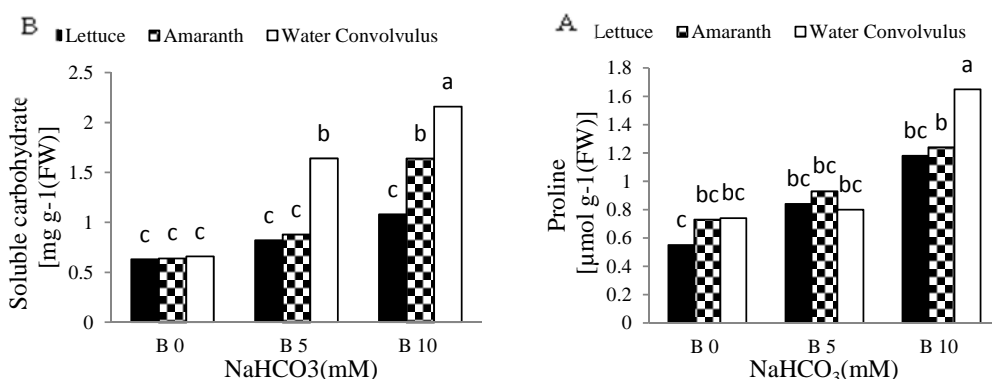
Fig 1. Effect of sodium bicarbonate on chlorophyll a (A), chlorophyll b (B), F_v/F_m (C) and PI (D) of three leafy vegetables of lettuce, amaranth and water convolvulus. Different letters on the columns show significant difference at 5% level of probability (Duncan test).

عمومی گیاهان تحت تنش شوری و قلیائیت است (Yang et al., 2009). پروکلین مانند کربوهیدرات‌ها و اسیدهای آلی در تنظیم پتانسیل اسمزی سلول نقش ایفا می‌کند.

گیاهان با روش‌های گوناگونی در برابر تنش‌های محیطی مقاومت می‌کنند. تحقیقات زیادی نشان می‌دهد که تجمع پروکلین و کربوهیدرات محلول به عنوان یک پاسخ

مواد اسمزی از جمله پرولین و قندهای محلول ایجاد می‌شود (Peng et al., 2007). نتایج این پژوهش با نتایج یانگ و همکاران (Yang et al, 2009) که مقایسه بین تنش شوری و تنش بی کربنات سدیم بر روی گیاه جو و اثرات کاهنده تنش بی کربنات سدیم بر روی رشد، پارامترهای فتوسنتزی و ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و قندهای محلول بود، مطابقت داشت.

یکی از مکانیسم‌های خاص دفاع سلول در برابر از دست دادن آب یا پژمردگی ناشی از تنش تجمع بیشتر املاح و مواد محلول می‌باشد (Levit, 1980). از طرف دیگر سلول قادر است فعالیت‌های آنزیمی خود را در حضور سطح بالای مواد محلول حفظ کند. در طول شرایط تنش، گیاهان نیاز به حفظ پتانسیل آب درون سلول به منظور حفظ تورژسانس و جذب آب برای رشد دارند که این توسط سنتز



شکل ۳. اثر بی‌کربنات سدیم بر پرولین (A) و قندهای محلول (B) در سه نوع سبزی برگی کاهو (Lettuce)، آمارانت (Amaranth) و پیچک آبی (Water convolvulus). حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح ۵٪ آزمون دانکن است.

Fig 1. Effect of sodium bicarbonate on proline (A) and soluble carbohydrates (B) of three leafy vegetables of lettuce, amaranth and water convolvulus. Different letters on the columns show significant difference at 5% level of probability (Duncan test).

سبزی، تیمار بی‌کربنات سدیم به طور قابل توجهی باعث افزایش غلظت سدیم در شاخساره و ریشه شد به طوری که اختلاف بین سطوح معنی‌دار بود. میزان سدیم در شاخساره در پیچک آبی در سطح تنش ۱۰ میلی‌مولار نسبت به بقیه کمتر بود هر چند که با کاهو اختلافی نداشت. نتایج تجزیه واریانس مربوط به عنصر آهن برگ (جدول ۲) نشان داد که اثرات متقابل نوع سبزی و بی‌کربنات سدیم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، اما در ریشه تنها اثر بی‌کربنات سدیم و نوع سبزی معنی‌دار بود. بر همین اساس، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، صرف نظر از نوع سبزی به کار رفته، تنش بی‌کربنات سدیم باعث کاهش معنی‌دار غلظت آهن در شاخساره و ریشه گردید به طوری که در شاخساره کاهو غلظت آهن در سطح ۱۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد نزدیک به ۷۳ درصد کاهش نشان داد.

عناصر غذایی

مقایسه میانگین داده‌ها مربوط برهمکنش بی‌کربنات سدیم و گونه گیاهی در ارتباط با عناصر K و Na، Zn، Fe در جدول ۳ آورده شده است. در ارتباط با عنصر پتاسیم نتایج نشان داد با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم مقدار پتاسیم در شاخساره و ریشه کاهش یافت به طوری که کمترین مقدار پتاسیم در سطح تنش ۱۰ میلی‌مولار مشاهده شد. در بین سه نوع سبزی، پیچک آبی در سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم بیشترین میزان پتاسیم را داشت.

روند تغییرات در شاخساره و ریشه تقریباً یکسان مشاهده شد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر بی‌کربنات سدیم و اثر نوع سبزی بر میزان سدیم شاخساره و ریشه معنی‌دار شد، در حالی که اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نشد. صرف نظر از نوع

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر بی‌کربنات سدیم بر برخی صفات رشدی، رنگیزه‌های گیاهی و تنظیم‌کننده‌های اسمزی در سه نوع سبزی برگی کاهو، آمارانت و پیچک آبی
 Table 1- Analysis of variance of the effect of bicarbonate on plant growth, pigments and osmotic regulators of three leafy vegetables of lettuce, amaranth and water convolvulus

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares								
			وزن خشک شاخساره Leaf dry mass	وزن خشک ریشه Root dry mass	وزن خشک شاخساره و ریشه Root dry mass	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	F _v /F _m	کارآبی فیوستنزی PI	پرولین Proline	کربوهیدرات Carbohydrate
Plant (P)	گیاه	2	23.413**	2.373**	2.373**	0.151**	1.41**	0.067**	0.127**	0.098 ^{ns}	0.965**
Sodium bicarbonate (S)	بی‌کربنات سدیم	2	25.932**	0.971**	0.971**	0.025*	0.051*	0.111**	2.360**	1.130**	2.162**
P × S	گیاه × بی‌کربنات سدیم	4	1.216 ^{ns}	0.104*	0.104*	0.024*	0.022 ^{ns}	0.014**	0.041**	0.075 ^{ns}	0.267**
Error	خطا	18	0.757	0.017	0.017	0.006	0.013	0.0005	0.004	0.055	0.034

ns, * and ** mean non-significant, and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر بی‌کربنات سدیم بر غلظت عناصر پتاسیم، سدیم، آهن و روی در سه نوع سبزی برگی کاهو، آمارانت و پیچک آبی
 Table 2- Analysis of variance of the effect sodium bicarbonate on potassium, sodium, iron and zinc of three leafy vegetables of lettuce, amaranth and water convolvulus

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares						(Zn) روی		
		پتاسیم (K) Shoot	پتاسیم (K) Root	سدیم (Na) Shoot	سدیم (Na) Root	آهن (Fe) Shoot	آهن (Fe) Root	شاخساره Shoot	ریشه Root	
Plant (P)	گیاه	2	0.262**	0.038**	0.118**	0.066*	117.926**	1250.821**	577.458**	54.903 ^{ns}
Sodium bicarbonate (S)	بی‌کربنات سدیم	2	2.124**	0.366**	0.511**	0.358**	137.148**	3715.876**	2111.277**	895.908**
P × S	گیاه × بی‌کربنات سدیم	4	0.011 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.020 ^{ns}	8.595**	94.337 ^{ns}	92.500*	72.772 ^{ns}
Error	خطا	18	0.020	0.003	0.010	0.016	1.815	60.783	21.722	81.920

ns, * and ** mean non-significant, and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

تاثیرگذار بود به طوری که غلظت عناصر به ویژه آهن را در برگ سبزی‌های مورد نظر کاهش داد (جدول ۳). pH آپوپلاست برگ نیز یک فاکتور خیلی مهم در کنترل قابلیت در دسترس بودن عناصری از قبیل فسفر، آهن، منگنز، مس و روی در برگ است. بی کربنات نیز نقش مهمی در تغییر pH آپوپلاست برگ دارد. به طور کلی کاهش در غلظت عناصر غذایی تحت تاثیر بی کربنات می‌تواند به دلایل ذیل باشد: (۱) اثرات بازدارنده بی کربنات بر فعالیت‌های متابولیک (Bialczyk et al., 1994)، (۲) اختلال در فعالیت ریشه و عدم رشد کافی ریشه (Yang et al., 1993)، (۳) کاهش در دسترس بودن عناصر غذایی در خاک‌های با pH بالا (Alcantara et al., 1988)، و (۴) افزایش در خروج یا انتشار مواد غذایی (Alhendawi et al., 1997).

در ارتباط با سبزی‌ها نتایج نشان داد که کمترین کاهش غلظت آهن شاخساره در پیچک آبی مشاهده شد (جدول ۳). در ارتباط با عنصر روی در شاخساره با افزایش غلظت بی کربنات سدیم میزان عنصر روی کاهش یافت اما در ریشه اختلافی بین سطوح تنش و نوع سبزی‌ها مشاهده نشد (جدول ۳). افزایش غلظت بی کربنات سدیم موجب بروز نارسایی‌های تغذیه‌ای در گیاه می‌شود و در نتیجه شرایط نامساعدی برای رشد و نمو گیاه ایجاد می‌گردد. این نارسایی‌ها ممکن است به دلیل اثرات منفی pH بالا در اثر افزایش غلظت بی کربنات سدیم بر قابلیت جذب و انتقال عناصر غذایی در بخش‌های مختلف گیاه باشد و یا مربوط به وجود یون سدیم در رقابت با جذب عناصر در گیاه باشد. pH بهینه برای قابلیت حل عناصر ریزمغذی بین ۶/۴ - ۵/۸ است (Argo and Fisher, 2007). در این پژوهش بی کربنات سدیم بر جذب عناصر پر مصرف و کم مصرف

جدول ۳. اثر بی کربنات سدیم بر غلظت عناصر پتاسیم، سدیم، آهن و روی در شاخساره و ریشه سه نوع سبزی برگی کاهو، آمارانت و پیچک آبی

Table 3. Effect of sodium bicarbonate on potassium, sodium, iron and zinc concentration in the shoot and root of three leafy vegetables of lettuce, amaranth and water convolvulus

بی کربنات سدیم	پتاسیم	سدیم		آهن		روی			
		K (%)	Na (%)	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)				
Sodium bicarbonate (mM)	variety	شاخساره Shoot	ریشه Root	شاخساره Shoot	ریشه Root	شاخساره Shoot	ریشه Root		
0	کاهو Lettuce	2.12b	0.56a	0.42d	0.26c	26.33b	131.9bcd	50.25b	67.43a
	آمارانت Amaranth	2.16b	0.63a	0.45d	0.24c	25.1b	138.3b	50.94b	68.54a
	پیچک آبی Water Convolvulus	2.43a	0.66a	0.35d	0.28c	29.67a	155.2d	66.35a	68.47a
5	کاهو Lettuce	1.73cd	0.33c	0.65cd	0.32bc	19.33c	115.1d	33.92c	87.64a
	آمارانت Amaranth	1.53de	0.27c	0.83ab	0.62ab	20.33c	121.9bcd	26.67cd	43.85a
	پیچک آبی Water Convolvulus	1.91bc	0.44b	0.49d	0.47abc	26.79b	134.6bc	50.91b	57.84a
10	کاهو Lettuce	1.25ef	0.22cd	0.89ab	0.52abc	15.36d	97.99e	27.95cd	47.87a
	آمارانت Amaranth	1.11f	0.13d	1.01a	0.75a	18.45c	87.54e	20.53d	49.88a
	پیچک آبی Water Convolvulus	1.45de	0.31c	0.75bc	0.71a	25.71b	118.1cd	27.83cd	50.14a

*حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار تیمارها در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن است.

* Different letters on the columns show significant different at 5% level of probability .

جلوگیری از بروز پدیده کمبود آهن در گیاهان استفاده از ارقام و پایه های مقاوم نسبت به کمبود آهن می‌باشد. به طور کلی برای شناسایی این گونه ارقام و پایه‌ها از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. روش‌های مزرعه‌ای با استفاده از خاک‌های آهنکی در گلدان و نیز استفاده از روش‌های آبکشت از این جمله می‌باشد. در همین زمینه در مطالعات گوناگونی تفاوت‌هایی در میزان مقاومت ارقام مختلف گیاهان چوبی و علفی نسبت به تنش کمبود آهن به طور مستقیم یا غیر مستقیم تحت اثر بی‌کربنات گزارش شده است (Alcantara et al., 2003).

نتیجه‌گیری

همان‌طور که نتایج در این پژوهش نشان داد، چنین به نظر می‌آید گیاهانی که در شرایط تنش بی‌کربنات سدیم از توانایی بیشتری برای انباشت کربوهیدرات‌های محلول و پرولین و همچنین حفظ کلروفیل برخوردار هستند، شرایط تنش را بهتر تحمل می‌کنند. نتایج همچنین نشان داد، سبزی پیچک آبی نسبت به بقیه گیاهان مورد بررسی این پژوهش در مجموع کمتر تحت تاثیر افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم قرار گرفت. این سبزی از نظر تنظیم اسمزی به واسطه تجمع بیشتر پرولین و کربوهیدرات محلول می‌تواند بهتر از بقیه گونه‌ها (سبزی‌ها) جهت اجتناب از تنش بی‌کربنات سدیم استفاده شود. به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان دهنده این موضوع می‌باشد که پیچک آبی نسبت به سایر سبزی‌های مورد آزمایش به بی‌کربنات سدیم تحمل بیشتری دارد. هر چند که بین سبزی آمارانت و کاهو اختلاف چشمگیری مشاهده نگردید.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه ولی‌عصر^(ع) رفسنجان به خاطر حمایت مالی این پژوهش و گروه علوم باغبانی دانشگاه ولی‌عصر^(ع) به خاطر استفاده از گلخانه‌ی هیدروپونیک برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

پتاسیم یکی دیگر از عناصر پر مصرف در گیاه می‌باشد و به عنوان یک فاکتور ضروری در سنتز پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و فتوسنتز است و در تنظیم پتانسیل اسمزی نقش دارد و با افزایش pH و سدیم در نتیجه تیمار بی‌کربنات سدیم قابلیت دسترسی آن برای گیاهان کاهش می‌یابد. بهترین دامنه pH برای قابل دسترس بودن پتاسیم حدوداً ۵-۹ می‌باشد. در تیمار بی‌کربنات سدیم به علت رقابت بین سدیم و پتاسیم، میزان غلظت پتاسیم در اندام هوایی و ریشه گیاه سپیدار کاهش یافت (Lu et al., 2009) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. نتایج مرتبط با اثرات غلظت‌های مختلف بی‌کربنات سدیم بر روی میزان پتاسیم برگ و ریشه نشان داد که با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم مقدار پتاسیم برگ افزایش یافت که با نتایج میسلینی و همکاران (Misilini et al., 2009) مطابقت داشت.

در بین تمام عناصر کم مصرف، گیاهان بیشترین نیاز را به آهن دارند. آهن در سنتز کلروفیل نقش دارد و کلروفیل نیز برای فتوسنتز ضروری می‌باشد و در میان فرایندهای مختلف فتوسنتز، فتوسیستم ۲ حساسیت بیشتری به کمبود آهن نسبت به فتوسیستم ۱ دارد، زیرا کمبود آهن باعث تخریب و تجزیه پروتئین D1 که در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ قرار دارد و همچنین پروتئین‌هایی که در سطح تیلاکوئید قرار دارند، می‌شود و با توجه به نقش آهن در فعالیت آنزیم روبیسکو (ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز) که به طور مستقیم بر بیان ژن این آنزیم دخیل است و نقش مهمی که این آنزیم در سیکل کربن و فتوسنتز در گیاهان سه کربنه دارد و بخش عمده پروتئین کلروپلاست را این آنزیم تشکیل می‌دهد، کمبود این عنصر با کاهش فتوسنتز همراه است (Bertamini et al., 2001). اثر بی‌کربنات بر آهن شامل (۱) تجمع آهن در آپوپلاست ریشه که به علت جلوگیری از احیاء آهن که ضروری برای جذب آهن توسط سیم‌پلاست ریشه می‌باشد، (۲) کاهش انتقال آهن از ریشه به برگ، و (۳) غیر فعال کردن آهن در برگ می‌باشد. از جمله بهترین راه‌های

منابع

- Ahmad, P., Sharma, S., 2010. Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under NaHCO₃ stress. *Int. J. Plant Prod.* 4, 1735-1743.
- Alcantara, E., Manuel Cordeiro, A., Barranco, D., 2003. Selection of olive varieties for tolerance to iron chlorosis. *Plant Physiol.* 160, 1467-1472.
- Alcantara, E., Romera, F.J., De la Guardia, M.D., 1988. Genotypic differences in bicarbonate-induced iron chlorosis in sunflower. *J. Plant Nutr.* 11, 65-67.
- Alhendawi, R.A., Romheld, V., Kirkby, E.A., Marschner, H., 1997. Influence of increasing bicarbonate concentrations on plant growth, organic acid accumulation in roots and iron uptake by barley, sorghum and maize. *J. Plant Nutr.* 20, 1731-1753.
- Alonso Valdez-Aguilar, L., 2004. Effect of Alkalinity Irrigation Water on Selected Greenhouse Crops. *Hort.* 239p.
- Argo, W., Fisher, P., 2007. pH and Micronutrient Management in Container Grown Crops. Ohio Florists' Association (OFA) Bulletin. No. 905, pp 1.
- Bagheri, V., Roosta, H. R., 2012. Investigation the effect of different concentrations of sodium bicarbonate (alkalinity stress) on some varieties of cool crops in hydroponic system. *Environmental Stresses in Crop Sciences.* 5(1), 67-80. [In Persian With English Summary].
- Bertamini, M., Nedunchezian, N., Borghi, B., 2001. Effect of iron deficiency induced changes in photosynthetic pigments, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase, and photosystem activities in field grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) leaves. *Photosynthetica.* 39, 59-65.
- Bialczyk, J., Lechowski, Z., Libik, A., 1994. Growth of tomato seedlings under different HCO₃⁻ concentration in the medium. *J. Plant Nutr.* 17, 801-816.
- Fernandez, V., Ebert, G., 2005. Folia iron fertilization: A critical review. *J. Plant. Nutr.* 28, 2113-2124.
- Grattan, S.R., Gtieve, C.M., 1999. Salinity-mineral nutrient relation in horticultural crops. *Sci. Hort Crops.* 78, 127-157.
- Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., Sanchez- Diaz, M., 1992. Water stress induced change concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiol. Plantarum.* 84, 67-72.
- Johnson, J.D., Tognetti, R., Paris, P., 2002. Water relations and gas exchange in poplar and willow under water stress and elevated atmospheric CO₂. *Physiol. Plantarum.* 115, 93-100.
- Ksouri, R., Debez, A., Mahmoudi, H., Ouerghi, Z., Gharsalli, M., Lachaal, M., 2007. Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency. *Plant Physiol. Biochem.* 45, 315-322.
- Lauchi, A., Iuttge, U., 2002. Salinity in the Soil Environment. In: Tanji, K.K., (ed), *Salinity: Enviroment-Pant-Molecules.* Kluwer Academic Publ. Boston. pp. 21-23.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. II. Water, radiation, salt, and other stresses. Academic, New York. pp. 3-53.
- Lichtenthaler, H. K., 1987. Chlorophylls and Cartenoids: Pigments and Photosynthetic Biomembranes. *Meth. Enzymol.*, 148, 350-382.
- Lu, S., Zhang, S., Xu, X., Korpelainen, H., Li, C., 2009. Effect of increased alkalinity on Na⁺ and K⁺ contents, lipid peroxidtion and antioxidative enzymes in two populations of *Papulus cathatana*. *Biologia Planta.* 53, 597-600.
- Misilini, N., Attia, H., Bouraoui, N., Mrah, S., Ksouri, R., Lachaal, M., Ouerghi, Z., 2009. Responses of *Arabidopsis thaliana* to bicarbonate induced iron deficiency. *Acta Physiol Plant.* 31, 849-853.

- Nikolic, M., Kastori, R., 2000. Effect of bicarbonate and Fe supply on Fe nutrition of grapevine. *J. Plant Nutr.* 23, 1619-1627.
- Ollat, N., Laborde, B., Neveu, M., Diakou-Verdin, P., Renaud, C., Moing, A., 2003. Organic acid metabolism in roots of various grapevine (*Vitis*) rootstocks submitted to iron deficiency and bicarbonate nutrition. *J. Plant Nutr.* 26, 2165-2176.
- Paquin, R., Lechasseur, P., 1979. Observations sur une methode dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. *Can. J. Bot.* 57, 1851-1854.
- Peng, Y.L., Gao, Z.W., Gao, Y., Liu, G.F., Sheng, L.X., Wang, D.L., 2007. Ecophysiological characteristics of alfalfa seedling in response to various mixed salt-alkaline stresses. *Hortic. Sci.* 58, 240-278.
- Rajabi, M., Roosta H.R., Karimi, H.R., Hokmabadi, H., 2011. Effects of different concentrations of sodium bicarbonate on some pistachio rootstocks in hydroponic system. *J. Hort. Sci. Technol.* 13, 101-114. [In Persian With English Summary].
- Roosta, H.R., Schjoerring, J.K., 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber (*Cucumis sativus* L., cv. Styx) plants. *J. Plant Nutr.* 30, 1933-1951.
- Shi, D.C., Sheng, Y., 2005. Effect of various salt-alkaline mixed stress conditions on sunflower seedling and analysis of their stress factors. *Environ. Exp. Bot.* 54, 8-21.
- Shi, D.C., Yin, L.J., 1993. Different betwin salt (NaCl) and alkaline (Na_2CO_3) stresses on *Puccinellia tenuiflora* (Griseb) Scribn. Et. Mree. *Plants. Acta Bot. Sin.* 35, 144-149.
- Shi, Y., Byrne, D.H., Reed, D.W., Loeppert, R.H., 1993. Iron chlorosis development and growth response of peach rootstocks to bicarbonate. *J. Plant Nutr.* 16, 1039-1046.
- Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., Srivastava, A., 2004. Analysis of the Fluorescence Transient. In: George, C., Papageorgiou, C. G., (eds). *Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration Series.* Springer, Dordrecht, pp. 321-362.
- Taiz L., Zeiger, E., 1998. Assimilation of Mineral Nutrients. In: *Plant Physiology (2nd Edition).* Sinauer Assoc., Inc., Publishers, Sunderland MA. pp. 323-345.
- Woodward, A. J., Bennett I. J., 2005. The effect of salt stress and abscisic acid on proline production, chlorophyll content and growth of in vitro propagated shoots of *Eucalyptus camaldulensis*. *Plant Cell.* 82, 189-200.
- Yang, C.W., Jianna, Li, C.Y., Shi, D.C., Wang, D.L., 2008. Comparison of the effect of salt-stress and alkaline-stress on photosynthesis and energy storage of an alkaline-resistant halophyte *Chloris virgata*. *Photosynthetica.* 46, 273-278.
- Yang, C.W., Xu, H.H., Wang, L.L., Liu, J., Shi, D.C., Wang, D.L., 2009. Comparative effects of salt-stress and alkali-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants. *Photosynthetica.* 47, 79-86.
- Yang, X., Romheld, V., Marschner, H., 1993. Effect of bicarbonate and root zone temperature on uptake of Zn, Fe, Mn and Cu by different rice cultivars (*Oryza sativa* L.) grown in calcareous soil. *Plant and Soil.* 155/156, 441-444.

