

بررسی اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات سدیم (تنش قلیائیت) بر برخی از واریته‌های کلم در سیستم هیدروپونیک

واحد باقری^{۱*}، حمیدرضا روستا^۲

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان؛

۲. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۲۳

چکیده

به منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات سدیم بر عملکرد چهار واریته مهم کلم، یک آزمایش گلخانه‌ای با دو فاکتور شامل واریته در چهار سطح (کلم گل، کلم پیچ، کلم پروکسل و کلم قمری) و بی‌کربنات سدیم در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی مولار) با سه تکرار انجام شد. تجزیه داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. بذور جوانه‌دار شده در مرحله چهار برگی به گلدان‌های چهار لیتری حاوی محلول غذایی هوادهی شده انتقال یافتند. پس از یک ماه رشد، دانه‌ها به مدت دو ماه تحت تاثیر تیمار بی‌کربنات سدیم قرار گرفتند. نتایج نشان داد که وزن خشک برگ و ریشه با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم به طور معنی‌داری کاهش یافت. در پاسخ به افزایش بی‌کربنات سدیم، محتوای کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، F_v/F_m و کارایی فتوسنتزی (PI) در تمام واریته‌ها کاهش نشان داد؛ این در حالی بود که کمترین کاهش کلروفیل *a* و کلروفیل *b* در کلم پیچ و کلم گل مشاهده شد. فرایندهای تنظیم اسمزی در پاسخ به افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم در گیاهان کلم فعال شد به گونه‌ای که در واریته کلم قمری افزایش در میزان پرولین و کربوهیدرات محلول مشاهده شد. در اثر افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم، میزان فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، روی و منگنز گیاهان کاهش و میزان سدیم و کلسیم افزایش یافت. تنش بی‌کربنات سدیم در غلظت ۲۰ میلی مولار باعث کاهش معنی‌دار غلظت آهن در برگ و ریشه گردید به طوری که در برگ غلظت آهن در این سطح نسبت به شاهد نزدیک به ۱۵۰ درصد کاهش نشان داد. در ارتباط با واریته‌ها نتایج نشان داد که بیشترین میزان غلظت آهن در واریته‌های کلم قمری و کلم پیچ مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده‌های اسمزی، فسفر، قلیائیت، کلروفیل

مقدمه

بودن آن برای آبیاری می‌باشند، اما کیفیت آب اغلب مورد بی‌توجهی قرار می‌گیرد. افزایش جمعیت شهری باعث محدودیت در استفاده از آب با کیفیت بالا برای کشت گیاهان شده است. مسئولین بسیاری از کشورها در مناطق خشک و نیمه‌خشک قوانینی جهت کاهش استفاده از آب با کیفیت بالا در صنعت کشاورزی و اجبار در استفاده از آب با کیفیت پایین‌تر وضع کرده‌اند (Marcum, 2006). کیفیت آب می‌تواند عامل تعیین‌کننده‌ی قابل کشت بودن محصول باشد؛ همچنین روش‌های آبیاری و انجام تیمارهایی که با آب در ارتباط می‌باشند نیز تحت تأثیر کیفیت آب قرار می‌گیرند. در بین عوامل اصلی تأثیرگذار بر

کلم‌ها از خانواده چلیپاییان (Brassicaceae) و همگی از جنس *Brasica* و بسیاری از آن‌ها متعلق به گونه *Oleraceae* هستند. امروزه در سبزی‌کاری انواع مختلفی از کلم‌ها کشت می‌شوند که قسمت‌های قابل استفاده آن‌ها نسبت به واریته‌های مختلف متفاوت می‌باشد.

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که استفاده از کشت هیدروپونیک می‌تواند تا بیش از ۵۰٪ سبب صرفه جویی در مصرف آب گردد، بنابراین در مناطقی که خشک بوده و تأمین آب هزینه زیادی برای تولید کننده دارد، این روش بسیار مفید است (Jones, 2005). کمیت و کیفیت آب فاکتورهای مهمی برای در دسترس بودن آب و مناسب

کاهش پارامترهای رشد گیاه انگور (وزن ساقه، سطح برگ، تعداد برگ و میزان زیست توده) شد. همچنین دیده شده است که قطر ریشه و تولید ریشه‌های جانبی در گیاهان چغندر قند بعد از گذشت ۳ روز از شروع کمبود آهن و تیمار بی‌کربنات افزایش یافتند (Campbell and Nishio, 2000). پایه‌های هلو و درختان زیتون وقتی که با هر یک از تنش‌های بی‌کربنات با غلظت ۱۰ میلی مولار یا تنش آهن مواجه شدند، وزن ریشه‌ی خود را ثابت نگه داشته یا افزایش دادند (De la Guardia and Alcantara, 2002). هر دوی ارقام حساس و مقاوم نخودفرنگی همچنین وقتی در معرض محلول‌های شامل بی‌کربنات قرار گرفتند وزن ریشه خود را افزایش دادند (Zribi and Gharsalli, 2002).

پیشنهاد شده بود که کاهش سریع مشاهده شده در رشد شاخساره حتی در غلظت‌های پایین بی‌کربنات، به یک پیام رسیده از ریشه، مانند هورمون وابسته است (Valdez Aguilar and Reed, 2007). دیگر پژوهشگران شواهدی ارائه دادند که پیشنهاد می‌کند اثر بی‌کربنات به دلیل یک فاکتور توقیف کننده قابل انتقال از ریشه نیست این به وسیله یک سیستم ریشه‌ی دوبرخی آزمایش شده بود. در خیار، ریشه اصلی بریده شد و ریشه‌های جانبی را که رشدشان افزایش یافته بود به دو بخش تقسیم کردند. یک بخش تحت تیمار بی‌کربنات قرار گرفت و بخش دیگر را به عنوان شاهد در نظر گرفتند. با وجود اینکه بخشی از ریشه‌ها در محلول با غلظت ۱۰ میلی مولار بی‌کربنات سدیم قرار داشت، بخش دیگر که در محلول بدون بی‌کربنات بودند ظرفیت بالایی در جهت احیا کردن Fe^{2+} نشان داد. با این حال ظرفیت احیاکنندگی Fe^{2+} در ریشه‌های نگهداری شده در غلظت ۱۰ میلی مولار بی‌کربنات سدیم کاهش یافته بود (Romera et al., 1992).

دو فرضیه برای توضیح زردی ناشی از کمبود آهن تحریک شده به وسیله بی‌کربنات وجود دارد. یکی از این فرضیه‌ها بیان می‌کند که بی‌کربنات در ریزوسفر از جذب آهن جلوگیری می‌کند، در حالی که فرضیه دیگر اظهار دارد که آهن جذب می‌شود، اما به وسیله‌ی قلیائیت ناشی از بی‌کربنات در بافت‌های ریشه غیر فعال می‌شود (Romheld, 2000). ایراد اصلی بر فرضیه دوم این است که در برخی گیاهان افزایش معنی‌دار در pH شیره آوند چوبی یا مایع آپوپلاستی برگ وجود ندارد. اصطلاح کلروز

کیفیت آب، درجه قلیائیت آب، به دلیل اثر شدید آن بر روی pH خاک یا محلول محیط رشد از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (Handreck and Black, 2002). عوامل اصلی که باعث قلیائیت می‌شوند شامل بی‌کربنات (HCO_3^-) و کربنات‌ها (CO_3^{2-}) هستند، در حالی که هیدروکسید، بورات، آمونیاک، بازهای آلی، فسفات‌ها و سیلیکات‌ها به عنوان عوامل فرعی پیشنهاد شده‌اند.

pH قلیایی منجر به تشکیل اشکال غیر محلول مواد غذایی، مخصوصاً آهن (Fe)، روی (Zn) و مس (Cu) می‌شود که به موجب آن از حالت قابل جذب برای گیاه خارج می‌شوند. پیامد این امر به صورت زردی در برگ‌های جوان بروز خواهد کرد که ناشی از کاهش یافتن سنتز کلروفیل به خاطر کمبود آهن و روی است (De la Guardia and Alcantara, 2002). همچنین یون‌های بی‌کربنات، جذب عناصر پرمصرف، به ویژه فسفر (P)، پتاسیم (K) و منیزیم (Mg) توسط گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. به عنوان مثال در خاک‌های قلیایی، فسفر به مقدار زیادی به واسطه تشکیل مجموعه‌های فلزی با کلسیم و منیزیم از دسترس گیاه خارج می‌شود (Nikolic and Kastori, 2000). وجود یون بی‌کربنات باعث افزایش pH آپوپلاست برگ گردیده و منجر به تثبیت یون آهن (Fe^{3+}) به صورت یون هیدروکسید و فسفات آهن می‌گردد. این پدیده پیش از عبور آهن از غشای سیتوپلاسمی صورت می‌گیرد (Bienfait and Scheffers, 1992). از آنجایی که یون کربنات درون گیاه تحت تاثیر کربنات سدیم موجود در محیط ریشه می‌باشد، بنابراین ضروری است کربنات سدیم محیط ریشه خنثی گردیده و یا کاهش یابد تا میزان دریافت آهن توسط گیاه و کارایی آن افزایش یابد. گیاهان به غلظت‌های بالای بی‌کربنات از طریق کاهش رشد شاخساره واکنش نشان می‌دهند و این ممانعت در رشد شاخساره دربرگیرنده کاهش در تعداد برگ‌ها، وزن تر و خشک و طول ساقه خواهد بود. رشد کاهش یافته شاخساره، به میزان فتوسنتز کمتر در نتیجه زردی تحریک شده به وسیله بی‌کربنات در برگ‌ها مربوط می‌شود. میزان فتوسنتز کمتر، از تخریب سنتز کلروفیل به دلیل انتقال کم آهن یا قابلیت حل‌پذیری کمتر آهن در خاک یا محلول محیط کشت ناشی می‌شود (Valdez Aguilar, 2004). در آزمایشی که توسط کسوری و همکاران (Ksouri et al., 2007) صورت گرفت، افزایش غلظت بی‌کربنات باعث

تنظیم‌کننده‌های اسمزی

برای اندازه‌گیری پرولین، ابتدا نیم گرم برگ به خوبی رشد یافته را با استفاده از پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی کوبیده و محلول حاصل را در لوله‌ی فالدکون ریخته و عمل استخراج دو بار و هر بار با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد تکرار شد. محلول بدست 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 میلی‌لیتر از عصاره‌ی الکلی فوق‌الذکر را با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق نموده و پنج میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین به آن اضافه شد و پس از افزودن پنج میلی‌لیتر 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 میلی‌لیتر 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 ساخت 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 میلی‌گرم در لیتر تهیه و اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره‌ی الکلی که قبلاً برای پرولین تهیه شده بود، با سه میلی‌لیتر 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 فندهای محلول محاسبه گردید (Irigoyen et al., 1992). برای تهیه منحنی استاندارد کربوهیدرات‌های محلول، از گلوکز خالص در غلظت‌های ۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۱۷۵۰، ۲۰۰۰، ۲۲۵۰ و ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه و جذب آن‌ها اندازه‌گیری شد.

پارامترهای فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه Chlorophyll Fluorometer (مدل Pocket PEA، کمپانی Hansatech ساخت کشور انگلستان) استفاده

پارادوکس^۱ برای توصیف زردی القاء شده در برگ با وجودی که برگ‌ها شامل غلظت بالاتری از آهن نسبت به برگ‌های سبز هستند استفاده می‌شود (Romheld, 2000). این پژوهش با هدف ارزیابی تحمل وارپته‌های مهم کلم به تنش قلیائیت در شرایط هیدروپونیک مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

کاشت بذور و محلول دهی

این پژوهش بر روی چهار وارپته کلم شامل؛ کلم گل (*Brassica oleracea var. botrytis* L.)، کلم پیچ (*B. oleracea var. capitata* L.)، کلم بروکسل (*B. oleracea var. gemmifera* L.) و کلم قمری (*B. oleracea var. gongylodes* L.) در گلخانه‌ی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر^(عج) رفسنجان انجام شد. گیاهان در بستر هیدروپونیک با محیط کشت پرلایت کشت شدند. محلول غذایی مورد استفاده برای تغذیه گیاهان حاوی ۵ میلی‌مولار $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۲ میلی‌مولار KH_2PO_4 ، ۰/۲ میلی‌مولار K_2SO_4 ، ۰/۳ میلی‌مولار $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ و ۰/۱ میلی‌مولار NaCl بود. ریزمغذی‌ها عبارت بودند از ۲۰ میکرومولار Fe-EDDHA ، ۷ میکرومولار $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۷ میکرومولار ZnCl_2 ، ۰/۸ میکرومولار $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، ۲ میکرومولار H_3BO_3 و ۰/۸ میکرومولار $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ بود (Roostka and Schjoerring, 2007). بعد از اینکه گیاهان به مرحله ۴ برگ‌ری رسیدند از هر وارپته ۴ عدد نهال به گلدان‌های ۴ لیتری حاوی محلول هواده‌ی شده انتقال یافتند. محلول گلدان‌ها هر دو هفته یک‌بار تعویض شد. بعد از گذشت یک ماه تیمارهای بی‌کربنات شامل سه سطح مختلف (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم) به مدت دو ماه اعمال گردید.

ویژگی‌های رویشی

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 ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس توزین شدند.

¹ Chlorosis Paradox

روی، منگنز و آهن بعد از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه جذب اتمیک (مدل GBC avanta ساخت کشور استرالیا) و پتاسیم و سدیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد.

این پژوهش به صورت فاکتوریل با دو فاکتور در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام پذیرفت. داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم افزار آماری MSTAT-C تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن ($p < 0.05$) انجام گردید. با استفاده از برنامه MINTAB نسخه ۱۴ تست نرمالیتیه بر روی داده‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

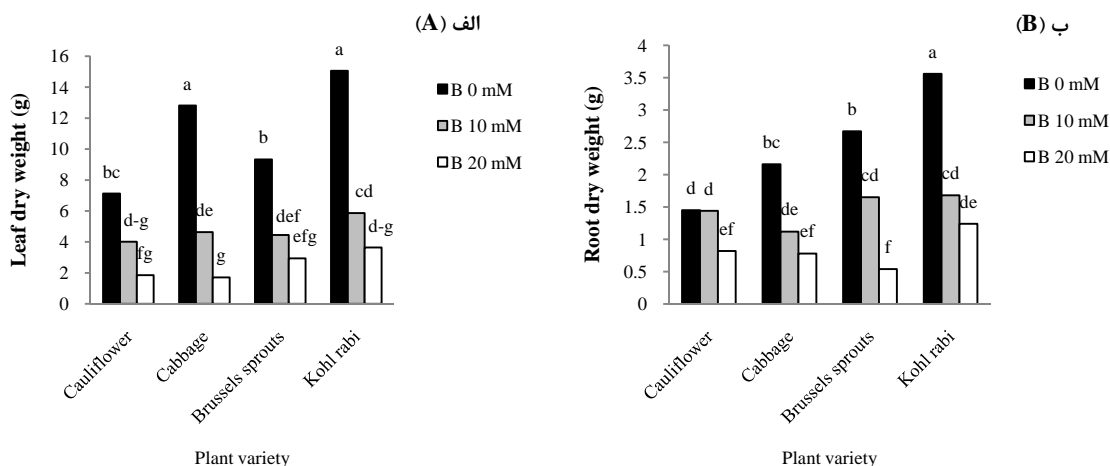
پارامترهای رویشی

نتایج تأثیر بی‌کربنات سدیم بر وزن خشک برگ و ریشه واریته‌های کلم در شکل ۱ آورده شده است. طبق نتایج به دست آمده صرف نظر از نوع واریته به کار رفته، افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم به طور معنی‌داری باعث کاهش وزن خشک برگ و ریشه گیاه گردید. در مورد واریته‌ها، بیشترین وزن خشک برگ و ریشه در رقم کلم قمری دیده شد به طوری که وزن خشک برگ در واریته کلم قمری نسبت به واریته کلم گل ۱۰۰ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱-الف). به طور کلی اغلب اثرات فلیائیت 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). گاهی اوقات کاهش رشد را به سرعت پایین فتوسنتز که تحت غلظت بالای بی‌کربنات اتفاق می‌افتد نسبت می‌دهند که با انتقال کم آهن و یا با غیر قابل حل کردن آهن در محلول محیط کشت که باعث صدمه به سنتز کلروفیل می‌شود همراه است (Bavaresco et al., 1999). نتایج به دست آمده در این آزمایش با نتایج دلاگواردیا و آلکانتارا (De la Guardia and Alcantara, 2002) و بای و همکاران (Bie et al., 2004) مطابقت داشت.

گردید. این دستگاه میزان فلورسانس کلروفیل را بر اساس پارامتر F_v/F_m ثبت نمود. روش کار 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 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).

عناصر غذایی

عناصر غذایی که در این آزمایش اندازه‌گیری شد شامل فسفر، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، روی، منگنز 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 پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم، منگنز، آهن و روی به کار رفت. جهت اندازه‌گیری فسفر که به روش آمونیوم مولیبدات و آمونیوم وانادات (زرد) انجام شد ابتدا ۵ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده در مرحله قبل را با ۱۰ میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات وانادات مخلوط کرده و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد (Champan et al., 1982). فسفر بعد از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. عناصر کلسیم، منیزیم،



شکل ۱. اثر متقابل سطوح بی‌کربنات سدیم و واریته بر (الف) وزن خشک برگ و (ب) وزن خشک ریشه در واریته‌های مختلف کلم. (حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح ۵٪ آزمون دانکن است).

Fig 1. Interaction of bicarbonate and variety on (A) leaf dry weight and (B) root dry weight of different variety of cool crops. (different letters on the columns show significant difference at 5% probability level (Duncan test)).

کلروپلاست و رنگیزه‌ی گیاهی موجود در آن تحت تنش قلیائیت قرار می‌گیرند؛ به عنوان مثال، تنش قلیائیت از طریق افزایش غلظت یون بی‌کربنات و افزایش pH باعث تخریب کلروپلاست و در نتیجه کاهش مقدار کلروفیل a و b می‌شود (Alonso Valdez Aguilar, 2004). میزان کلروفیل گیاهان ذرت تحت تنش شوری-قلیائیت کاهش پیدا کرد، و این کاهش را به آنزیم کلروفیلاز که باعث تجزیه کلروفیل و در نتیجه آسیب به دستگاه فتوسنتزی می‌شود، نسبت دادند (Deng et al., 2010).

فلورسانس کلروفیل یکی از راه‌های مصرف انرژی برانگیختگی در فتوسنتز است که به طور گسترده‌ای در تحقیقات فتوسنتز مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد. همچنین از فلورسانس کلروفیل برای تعیین وضعیت فیزیولوژی گیاه و میزان آسیب وارده به دستگاه فتوسنتزی استفاده شده است. به طور خاص، کاهش عملکرد کوانتومی توسط بازدارندگی نور می‌تواند توسط پارامتر فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m) مورد ارزیابی قرار گیرد. اگر گیاهی نتواند انرژی بیش از حد خورشید را فلورسانس کند انرژی بیش از حد از طریق کلروفیل به اکسیژن منتقل شده و باعث خسارت در پروتئین D1 در فتوسیستم نوری دو ظاهر می‌شود و منجر به تخریب غشاها و اکسیداسیون کلروفیل می‌شود (Johnson et al., 2002). در این پژوهش مقدار F_v/F_m در تمام گیاهان زیر ۰/۸ گزارش شد که می‌تواند به

رنگیزه‌های گیاهی و فلورسانس کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل بی‌کربنات سدیم و واریته بر رنگیزه‌های گیاهی شامل کلروفیل a و کلروفیل b در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس نتایج به دست آمده، بی‌کربنات سدیم باعث کاهش معنی‌داری در کلروفیل a و کلروفیل b در تمام واریته‌ها شد، و بیشترین کاهش مربوط به واریته کلم بروکسل بود که در سطح ۲۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم نسبت به شاهد ۱۰۰ درصد کاهش در کلروفیل a نشان داد (شکل ۲-الف). در مجموع کمترین میزان کاهش در واریته کلم پیچ و کلم گل مشاهده شد. نتایج تأثیر بی‌کربنات سدیم بر نسبت فلورسانس کلروفیل متغیر به حداکثر و شاخص کارایی فتوسنتزی^۱ (PI) در تقابل با واریته در شکل‌های ۲-ج و ۲-د آورده شده است. طبق نتایج به دست آمده، صرف نظر از نوع واریته، تیمار بی‌کربنات سدیم باعث کاهش فلورسانس کلروفیل و شاخص کارایی فتوسنتزی گردید؛ این در حالی بود که در مورد فلورسانس کلروفیل و شاخص کارایی فتوسنتزی بین واریته‌ها اختلاف معنی‌دار نبود. در مورد اثر متقابل تیمار و واریته، بی‌کربنات سدیم در غلظت ۲۰ میلی‌مولار باعث کاهش در فلورسانس کلروفیل واریته‌های کلم گل، کلم پیچ و کلم بروکسل شد، ولی در واریته کلم قمری اثر معنی‌داری وجود نداشت. مشخص شده است که

¹ Performance Index

نتایج به دست آمده (شکل ۳-الف)، غلظت ۲۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم به طور قابل توجهی باعث افزایش پرولین در واریته‌ها شد، به طوری که بیشترین مقدار در کلم قمری با ۱/۳۳ میکرو مول در گرم وزن تر مشاهده شد. در ارتباط با کربوهیدرات‌های محلول، بی‌کربنات سدیم باعث افزایش کربوهیدرات‌های محلول تنها در واریته کلم قمری شد و در بقیه واریته‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. بیشترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول در واریته کلم قمری مشاهده شد که نسبت به شاهد (صفر میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم) ۷۰ درصد افزایش نشان داد (شکل ۳-ب). تحقیقات نشان می‌دهند که تجمع پرولین و کربوهیدرات محلول به عنوان یک پاسخ عمومی گیاهان تحت تنش شوری و قلیائیت است (Yange et al., 2009). وجود اسیدآمینه پرولین در تمام گیاهان عالی شناخته شده و به طور معمول در پاسخ به تنش‌های محیطی در سلول تجمع می‌یابد. به علاوه نقش آن به عنوان تنظیم کننده اسمزی، تثبیت کننده ساختار سلولی (غشاء و پروتئین)، درو کننده ترکیبات آزاد و بافر سلولی شناخته شده است. پرولین ممکن است همچنین در کم کردن اسیدیته و نگهداری و حفظ نسبت $NADP^+/NADPH$ در سلول دخالت داشته باشد. همچنین پرولین بعد از تنش به سرعت شکسته می‌شود که ممکن است عامل‌هایی را فراهم کند که باعث حمایت از چرخه فتوفسفوریلاسیون اکسیداتیو در میتوکندری شود و انرژی لازم (ATP) برای برگشت از حالت تنش را فراهم کند (Sato et al., 2002). به علاوه، پرولین باعث بیان ژن مسئول تنش شوری می‌شود. در پاسخ به تنش شوری و خشکی در گیاهان، پرولین در سیتوسول تجمع می‌یابد که باعث تنظیم اسمزی سیتوپلاسمیک می‌شود. 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 مواد تنظیم کننده اسمزی از جمله پرولین و قندهای محلول ایجاد می‌شود (Peng et al., 2007). نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت ۲۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم فقط در واریته کلم قمری باعث افزایش پرولین و کربوهیدرات شد و در سایر واریته‌ها افزایش چشمگیر نبود. این نتایج با نتایج Ahmad and Sharma (2010) مطابقت دارد.

علت عدم توسعه کامل دستگاه فتوسنتزی در نتیجه کشت در شرایط گلخانه باشد. همچنین در این پژوهش در بعضی از واریته‌ها با کاهش میزان کلروفیل F_v/F_m کمتر کاهش نشان داد که احتمالاً نشان دهنده این موضوع می‌باشد که F_v/F_m معمولاً تحت تاثیر تنش‌های شدیدتری کاهش می‌یابد (Sayed, 2003).

جهت درک بهتر تغییرات فلورسانس کلروفیل تحت شرایط تنش‌های مختلف، تحقیقات پیشرفته تست JIP را که بر اساس تئوری جریان انرژی در غشاهای تیلاکوئید بنا نهاده شده مورد استفاده قرار می‌دهند (Romanowska-Duda et al., 2005). این تست شامل آنالیز چندین گروه از پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط دستگاه و محاسبه شده از طریق نسبت‌های ریاضی بوده که پارامترهای خاص و پدیدار شناختی درباره جریان انرژی می‌باشند. یکی از پارامترهای مورد محاسبه در تست JIP که بیشتر از سایر پارامترها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص کارایی فتوسنتزی می‌باشد (Kalaji and Loboda, 2007). 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 اطلاعات کمی (مقداری) راجع به عملکرد گیاه تحت شرایط تنش به پژوهشگر ارائه می‌دهد (Strasser et al., 2004). در پژوهش حاضر بی‌کربنات سدیم به طور قابل ملاحظه‌ای میزان شاخص کارایی فتوسنتزی را در تمام واریته‌ها در مقایسه با شاهد کاهش داد. تحقیقات نشان می‌دهند که تحت مقادیر زیاد شوری-قلیائیت، کاهش فعالیت فتوشیمیایی و تخریب دستگاه فتوسنتزی رخ می‌دهد (Deng et al., 2010).

تنظیم کننده‌های اسمزی

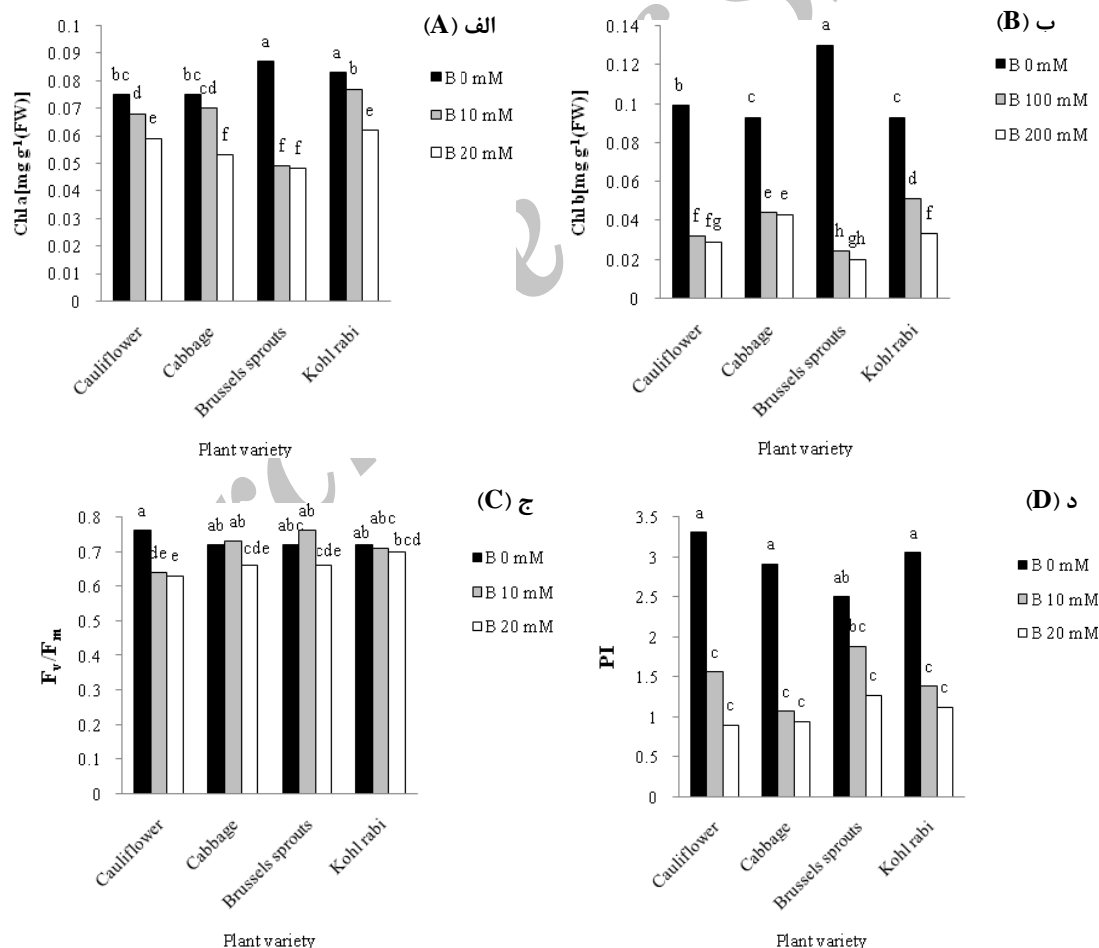
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل بی‌کربنات سدیم و واریته بر روی پرولین معنی‌دار نبود و تنها اثر بی‌کربنات سدیم معنی‌دار شد، این در حالی بود که اثر متقابل بی‌کربنات سدیم و واریته بر روی کربوهیدرات محلول در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بر اساس

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر واریته و بی‌کربنات سدیم بر برخی صفات رشدی، رنگیزه‌های گیاهی و تنظیم‌کننده‌های اسمزی

Table 1. Analysis of variance of the effect of variety and bicarbonate on plant growth, pigments and osmotic regulators

S.O.V	منابع تغییرات	df	Mean Squares					میانگین مربعات		
			وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b	کارایی فتوسنتزی	پرولین	کربوهیدرات	
			Leaf dry weight	Root dry weight	Chl a	Chl b	Performance Index	Proline	Carbohydrate	
Variety (V)	واریته	3	23.521**	1.524**	0.001**	0.001*	0.002 ^{ns}	0.146 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.130**
Sodium bicarbonate (S)	بی‌کربنات سدیم	2	236.227**	7.950**	0.002**	0.025**	0.015**	11.797**	1.588**	0.365**
V × S	واریته × بی‌کربنات سدیم	6	9.111**	0.649**	0.001**	0.001**	0.004*	0.316 ^{ns}	0.053 ^{ns}	0.161**
Error	خطا	24	1.989	0.098	0.001	0.001	0.001	0.263	0.026	0.013

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



شکل ۲. اثر متقابل سطوح بی‌کربنات سدیم و واریته بر (الف) کلروفیل a، (ب) کلروفیل b، (ج) F_v/F_m و (د) کارایی فتوسنتزی (PI) در واریته‌های کلم. (حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح ۵٪ آزمون دانکن است).

Fig 2. Interaction of bicarbonate and variety on (A) chlorophyll a, (B) chlorophyll b, (C) F_v/F_m and (D) performance index (PI) of different variety of cool crops. (Different letters on the columns show significant different at 5% level of probability (Duncan's)).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر واریته و بی کربنات سدیم بر عناصر منیزیم، کلسیم، پتاسیم، فسفر، سدیم، آهن، روی و منگنز.

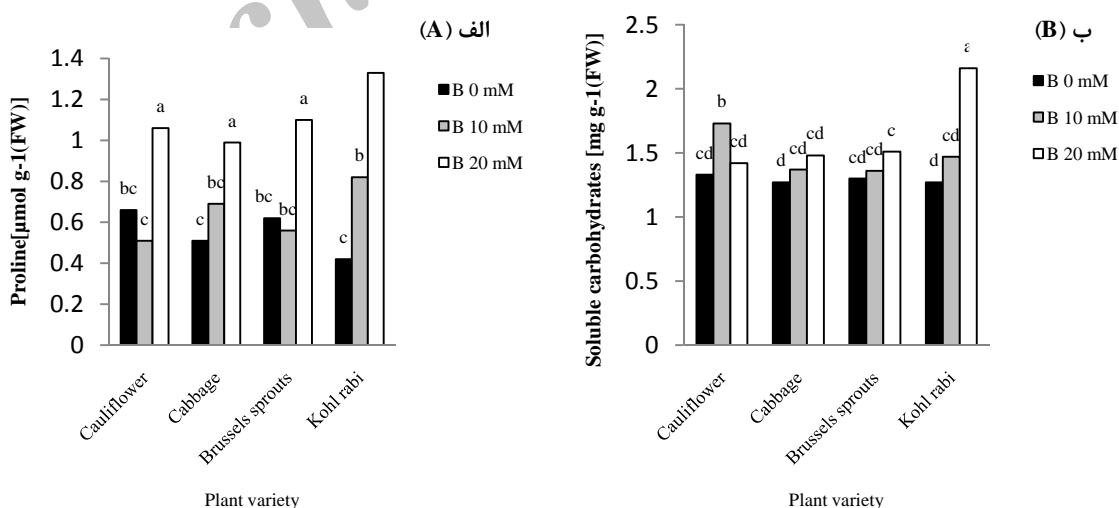
Table 2. Analysis of variance of the effect of variety and bicarbonate on magnesium, calcium, potassium, phosphorous, sodium, iron, zinc and manganese.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean Squares				میانگین مربعات			
			منیزیم (Mg)		کلسیم (Ca)		پتاسیم (K)		فسفر (P)	
			برگ Leaf	ریشه Root	برگ Leaf	ریشه Root	برگ Leaf	ریشه Root	برگ Leaf	ریشه Root
Variety (V)	واریته	3	0.086**	0.946**	6.413*	1.577 ^{ns}	0.091**	1.006**	0.053 ^{ns}	0.148**
Sodium bicarbonate (S)	بی کربنات سدیم	2	1.446**	2.381**	4.386 ^{ns}	10.121**	0.078**	9.014**	0.349 ^{ns}	0.356**
V × S	واریته × بی کربنات سدیم	6	0.288**	0.206 ^{ns}	8.947**	8.711**	0.029**	0.614**	0.219 ^{ns}	0.086*
Error	خطا	24	0.070	0.102	1.404	0.861	0.004	0.050	0.153	0.030

Table 2. Continue

جدول ۲. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean Squares				میانگین مربعات			
			سدیم (Na)		آهن (Fe)		روی (Zn)		منگنز (Mn)	
			برگ Leaf	ریشه Root	برگ Leaf	ریشه Root	برگ Leaf	ریشه Root	برگ Leaf	ریشه Root
Variety (V)	واریته	3	4.195**	2.330**	6721.512 ^{ns}	46.423**	458.561**	162.857**	1894.258**	81.486**
Sodium bicarbonate (S)	بی کربنات سدیم	2	9.902**	2.496**	128721.638**	740.867**	3990.205**	1610.839**	2895.465**	351.763**
V × S	واریته × بی کربنات سدیم	6	3.955**	2.915**	2088.654 ^{ns}	30.847*	143.326 ^{ns}	59.837*	1603.519**	60.508**
Error	خطا	24	0.357	0.042	3865.887	9.381	64.914	23.816	256.557	3.734



شکل ۳. اثر متقابل سطوح بی کربنات سدیم و واریته بر پرولین (A) و قندهای محلول (B) در واریته‌های مختلف کلم. (حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی دار تیمارها در سطح ۵٪ آزمون دانکن است).

Fig 3. Interactive effect of bicarbonate and variety on proline (A) and soluble carbohydrates (B) of different variety of cool crops. (Different letters on the columns show significant different at 5% level of probability (Duncan's)).

عناصر غذایی

مقایسه میانگین داده‌ها مربوط برهمکنش بی‌کربنات سدیم و واریته در ارتباط با عناصر ماکرو (P و K, Ca, Mg) و میکرو (Mn و Zn, Fe, Na) به ترتیب در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر واریته و بی‌کربنات سدیم و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت فسفر برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید؛ این در حالی بود که در ریشه غلظت فسفر تحت تاثیر قرار نگرفت (جدول ۲). با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم صرف نظر از نوع واریته به کار رفته میزان فسفر برگ کاهش یافت. در ارتباط با نوع واریته، بیشترین مقدار فسفر برگ در واریته کلم گل و سپس در کلم قمری و پیچ دیده شد (جدول ۳). برهمکنش واریته و بی‌کربنات سدیم نشان داد که کمترین درصد کاهش فسفر برگ به ترتیب در واریته کلم بروکسل و کلم قمری با ۴ و ۳۴ درصد مشاهده شد.

در ارتباط با عنصر پتاسیم نتایج نشان داد با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم مقدار پتاسیم در برگ و ریشه کاهش یافت. هرچند که بین غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی مولار در تمام واریته‌ها اختلاف معنی‌دار نشد (جدول ۳). کمترین کاهش پتاسیم برگ و ریشه در اثر بی‌کربنات در واریته کلم قمری و کلم پیچ مشاهده گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر بی‌کربنات سدیم و اثر متقابل بی‌کربنات سدیم و واریته بر میزان کلسیم برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). صرف نظر از نوع واریته، تیمار بی‌کربنات سدیم به طور قابل توجهی باعث افزایش غلظت کلسیم در برگ شد، هر چند که در واریته کلم پیچ بین سطوح تیمار بی‌کربنات اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین میزان کلسیم در واریته کلم قمری مشاهده شد، هر چند که بین واریته‌ها اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۳). روند تغییرات میزان عنصر سدیم در برگ و ریشه نشان داد که با افزایش سطوح بی‌کربنات سدیم غلظت این عنصر افزایش یافت به طوری که بیشترین مقدار در سطح ۲۰ میلی مولار و کمترین مقدار در شاهد (صفر میلی مولار) مشاهده شد (جدول ۴). در ارتباط با میزان عنصر سدیم در برگ بین سطوح شاهد و ۱۰ میلی مولار اختلاف معنی‌دار نشد. در واریته کلم پیچ افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم تأثیر معنی‌داری بر میزان سدیم برگ نداشت.

نتایج تجزیه واریانس مربوط به عنصر آهن برگ نشان داد که اثرات متقابل واریته و بی‌کربنات سدیم در سطح ۵

درصد معنی‌دار بود، اما در ریشه تنها اثر بی‌کربنات سدیم معنی‌دار بود (جدول ۲). بر همین اساس، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد صرف نظر از نوع واریته به کار رفته، تنش بی‌کربنات سدیم باعث کاهش معنی‌دار غلظت آهن در برگ و ریشه گردید، به طوری که در برگ غلظت آهن در سطح ۲۰ میلی مولار نسبت به شاهد نزدیک به ۱۵۰ درصد کاهش نشان داد. در ارتباط با واریته‌ها نتایج نشان داد که کمترین کاهش غلظت آهن برگ در واریته کلم بروکسل و کلم پیچ مشاهده شد (جدول ۴). در بقیه عناصر میکرو شامل روی و منگنز روند مشابهی دیده شد (جدول ۴).

افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم (تنش قلیائیت) 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 بی‌کربنات 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 تا ۵/۸ است (Argo and Fisher., 2007). در پژوهش حاضر، بی‌کربنات سدیم بر جذب عناصر پر مصرف و کم مصرف تأثیر گذار بود به طوری که غلظت عناصر به ویژه فسفر را در برگ واریته‌های 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. بی‌کربنات نیز نقش مهمی در تغییر pH آپوپلاست برگ دارد. به طور کلی کاهش در غلظت عناصر غذایی تحت تاثیر بی‌کربنات می‌تواند به علت (۱) اثرات بازدارنده بی‌کربنات 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) باشد.

فسفر یکی از عناصر پر مصرف می‌باشد و نیاز گیاهان به این عنصر بالا گزارش شده است. فسفر جزء اصلی اسیدنوکلئوتید، فسفولیپیدها، فسفوپروتئین‌ها و دی‌نوکلئوتیدها می‌باشد. فسفر همچنین در فرایند ذخیره و انتقال انرژی، فتوسنتز، تنظیم بعضی از آنزیم‌ها و انتقال

افزایش pH و سدیم در نتیجه تیمار بی‌کربنات سدیم قابلیت دسترسی آن برای گیاهان کاهش می‌یابد. بهترین دامنه pH برای قابل دسترس بودن پتاسیم ۶-۷/۵ می‌باشد. در گیاه سپیدار دیده شده است که در تیمار بی‌کربنات سدیم به علت رقابت بین سدیم و پتاسیم، میزان غلظت پتاسیم در اندام هوایی و ریشه کاهش یافت (Lu et al., 2009) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. نتایج مرتبط با اثرات غلظت‌های مختلف بی‌کربنات سدیم بر روی میزان سدیم برگ و ریشه نشان داد که با افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم مقدار سدیم برگ و ریشه افزایش یافت که با نتایج میسلیلینی و همکاران (Misilini et al., 2009) مطابقت داشت.

کربوهیدرات‌ها نقش ایفا می‌کند و از طرفی قابل دسترس بودن این عنصر برای رشد گیاه و تولید محصول نیاز است (Jalali, 2007). رشد گیاهانی که به کمبود فسفر مبتلا می‌شوند، کند می‌گردد. جذب و قابلیت حل فسفر بستگی به pH محیط دارد به طوری که فسفر در pH ۵/۵-۷/۵ برای گیاه قابل دسترس می‌باشد. در پژوهش حاضر افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم سبب کاهش غلظت فسفر در برگ شد که با نتایج سلیک و همکاران (Celik et al., 2006) مطابقت دارد.

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

جدول ۳. مقایسه میانگین عناصر منیزیم، کلسیم، پتاسیم و فسفر در برگ و ریشه چهار واریته کلم (گل، پیچ، بروکسل و قمری) در سطوح مختلف تنش بی‌کربنات.

Table 3. Mean comparison for magnesium, calcium, potassium and phosphorous in the leaf and root of four variety of cool crops (Cauliflower, Cabbage, Brussels Sprouts and Kohl rabi) at different levels of bicarbonate stress.

غلظت بی‌کربنات bicarbonate concentration	غلظت بی‌کربنات variety	منیزیم (درصد) Mg (%)		کلسیم (درصد) Ca (%)		پتاسیم (درصد) K (%)		فسفر (درصد) P (%)	
		برگ	ریشه	برگ	ریشه	برگ	ریشه	برگ	ریشه
		Leaf	Root	Leaf	Root	Leaf	Root	Leaf	Root
0 mM	کلم گل Cauliflower	0.99cd	0.85bc	1.64d	2.86cd	1.44b	0.35a	1.47a	1.43a
	کلم پیچ Cabbage	2.18a	1.44a	3.71bc	3.43bcd	2.22a	0.3a	1.34abc	1.57a
	کلم بروکسل Brussels Sprouts	1.61ab	0.92b	2.86cd	6.27a	1.47b	0.05c	1.16a-d	1.27a
	کلم قمری Kohl rabi	2.15a	1.52a	4.24ab	6.95a	1.75b	0.06bc	1.43ab	1.75a
10 mM	کلم گل Cauliflower	1.22bcd	0.71bc	6.37a	5.64ab	0.59c	0.16bc	1.39abc	1.42a
	کلم پیچ Cabbage	1.88a	0.35c	4.78ab	6.42a	0.58c	0.18b	0.72e	1.39a
	کلم بروکسل Brussels Sprouts	1.27bc	0.77bc	3.24bcd	2.9cd	0.34c	0.07bc	1.14bcd	1.4a
	کلم قمری Kohl rabi	1.61ab	0.45bc	3.38bc	4.79abc	0.48c	0.09bc	0.92de	1.28a
20 mM	کلم گل Cauliflower	0.86cd	0.42bc	4.87ab	2.99cd	0.36c	0.15bc	1.09cd	1.98a
	کلم پیچ Cabbage	1.16bcd	0.86bc	3.65bc	5.08abc	0.56c	0.07bc	0.96de	1.67a
	کلم بروکسل Brussels Sprouts	0.65d	0.76bc	6.24a	2.47d	0.35c	0.05c	1.11bcd	1.95a
	کلم قمری Kohl rabi	0.81cd	0.48bc	6.07a	4.94abc	0.44c	0.05c	1.08cd	1.24a

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

* Different letters on the columns show significant different at 5% level of probability (Duncan's).

جدول ۴. مقایسه میانگین عناصر سدیم، آهن، روی و منگنز در برگ و ریشه چهار واریته کلم (گل، پیچ، بروکسل و قمری) در سطوح مختلف تنش بی‌کربنات.

Table 4. Mean comparison for sodium, iron, zinc and manganese in the leaf and root of four varieties of cool crops (Cauliflower, Cabbage, Brussels sprouts and Kohl rabi) at different levels of bicarbonate stress.

غلظت بیکربنات	سدیم (درصد)	آهن		روی		منگنز			
		برگ	ریشه	برگ	ریشه	برگ	ریشه		
bicarbonate concentration	Na (%)	Leaf	Root	Leaf	Root	Leaf	Root		
0 mM	کلم گل	0.4c	0.16d	21.37b	266ab	33.13abc	79.17a	16.07b	72.17bc
	کلم پیچ	0.31c	0.18d	31.7a	312.a	36.5ab	58.8b	11.17cd	87b
	کلم بروکسل	0.47c	0.1e	19.7bc	208abc	27.1cde	46.37bc	8.16de	71.2bc
	کلم قمری	0.34c	0.08ef	29.23a	296a	41.6a	58.9b	24.83a	148a
10 mM	کلم گل	0.46c	0.22c	15.97cd	182bcd	31.3bed	52.8bc	5.06ef	77.8bc
	کلم پیچ	0.42c	0.25c	14.47cde	161b-e	23.63def	41.3cd	10.07cd	68.93bc
	کلم بروکسل	0.58bc	0.2c	15cde	115c-f	15.47fgh	40.7cd	4.9ef	68.45bc
	کلم قمری	0.46c	0.16c	17.6bc	147c-f	18.93efg	45.6bc	11.93c	96.17b
20 mM	کلم گل	0.75b	0.35a	9.36e	97c-f	14.6gh	29.57de	6ef	48.2c
	کلم پیچ	0.62bc	0.3ab	11.23de	74def	10.53gh	25.77e	4.5f	73.28bc
	کلم بروکسل	1.06a	0.29ab	9.43e	50cf	7.34h	26.23e	4.48f	78.5bc
	کلم قمری	0.85b	0.26b	10.2e	36f	13.22gh	16.23e	2.68f	54.21c

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

* Different letters on the columns show significant different at 5% level of probability (Duncan's).

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). تحت شرایط قلیائیت با pH بالا Fe^{2+} به Fe^{3+} اکسید شده که نسبتاً برای گیاه غیر قابل دسترس است. به ازای هر واحدی که به pH افزوده می‌شود قابل دسترس بودن Fe^{2+} و Fe^{3+} به ترتیب ۱۰۰ و ۱۰۰۰ برابر کاهش می‌یابد (Nicolic and Romheld, 2002). تایسون و همکاران (Tyson et al., 2008) گزارش دادند که افزایش pH قابلیت دسترسی کلسیم، روی، منگنز و آهن را در گیاه خیار به علت رسوب یا عدم جذب آن‌ها کاهش می‌دهد.

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

پرویلین برگ در غلظت بالای بی‌کربنات سدیم (۲۰ میلی مولار) می‌توان نتیجه گرفت که کلم‌ها از مکانیزم تنظیم اسمزی به نحو بهینه جهت اجتناب از تنش ناشی از بی‌کربنات سدیم استفاده می‌نمایند. درصدی از کاهش و بازدارندگی عملکرد را می‌توان به مصرف بیشتر ATP که برای تولید و سنتز بیشتر پرویلین صرف می‌شود، مرتبط دانست. نتایج همچنین نشان داد، افزایش pH ناشی از بی‌کربنات سدیم به شدت جذب عناصر به ویژه عنصر آهن را در تمام واریته‌ها کاهش داد. به طور کلی نتایج نشان دهنده این موضوع می‌باشد که تمام واریته‌های کلم مورد آزمایش نسبت به تنش بی‌کربنات سدیم حساس بوده و در سطح ۱۰ میلی مولار تحت تاثیر قرار گرفتند و در سطح ۲۰ میلی مولار اثر کاملاً مشهود می‌باشد.

سپاس‌گزاری

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

نتایج متناقضی در ارتباط با اثر بی‌کربنات بر غلظت کلسیم در گیاه گزارش شده است، که در بعضی منابع افزایش، در بعضی کاهش و در بعضی دیگر بدون تغییر گزارش شده است. در ارتباط با نقش بی‌کربنات بر عناصر منگنز، روی و کلسیم نتایج نشان داد که تیمار بی‌کربنات سدیم باعث کاهش منگنز و روی و افزایش کلسیم در اندام هوایی شد که با نتایج سلیم و همکاران (Celik et al., 2006) مطابقت دارد. در این پژوهش ریشه‌ها سطوح بالایی از عناصر از جمله آهن، منگنز، روی و مس نسبت به اندام هوایی دارند که شاید به علت تجمع این عناصر در آپوپلاست ریشه در اثر افزایش pH به خاطر رسوب عناصر میکرو باشد که با نتایج دلاگواردیا و آلکانترا (De la Guardia and Alcantara, 2002) مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، این گونه به نظر می‌آید که مانند سایر گیاهان، بی‌کربنات سدیم (تنش قلیائیت) موجب کاهش عملکرد واریته‌های کلم گردید. از طرفی با توجه به تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی به ویژه

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., 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.
- Argo, W., Fisher, P., 2007. pH and Micronutrient Management in Container Grown Crops. *OFA Bulletin.* Number 905, pp 1.
- Bavaresco, L., Giachino, E., Colla, R., 1999. Iron chlorosis paradox in grapevine. *J. Plant Nutr.* 22, 1589-1597.
- 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.
- Bie, Z., Tadashi, I., shinohara, Y., 2004. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of Lettuce. *Hortic. Sci.* 99, 215-224.

- Bienfait, H.F., Scheffers, M.R., 1992. Some properties of ferric citrate relevant to the iron nutrition of plants. *Plant Soil*. 143, 141-144.
- Campbell, S.A., Nishio, J.N., 2000. Iron deficiency studies of sugar beet using an improved sodium bicarbonate-buffered hydroponic growth system. *J. Plant Nutr.* 23, 741-757.
- Celik, H., Vahap Kakal, A., Basat, H., 2006. Effect of bicarbonate induced iron chlorosis on selected nutrient contents and nutrient ratio of shoots and roots of different Maize varieties. *J. Agron.* 5, 369-374.
- Chapman, H.D., Pratt, P.F., 1982. *Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters*. Div. of Agric., Univ. of California, Berkeley, CA. 4034p.
- De la Guardia, M. D., Alcantara, E., 2002. Bicarbonate and low iron level increase root to total plant weight ratio in olive and peach rootstock. *J. Plant Nutr.* 25, 1021-1032.
- Handreck, K., Black, N., 2002. *Growing Media for Ornamental Plants and Turf*. UNSW Press, Sydney, Australia.
- 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.
- Jalali, M., 2007. Phosphorus status and sorption characteristics of some calcareous soils of Hamadan, western Iran. *Environ. Geol.* 53, 365-374.
- 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.
- Jones, J. B., 2005. *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kalaji, H. M., Loboda, T., 2007. Photosystem II of barley seedling under cadmium and lead stress. *Plant Soil Environ.* 53, 511-516.
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: 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 peroxidation and antioxidative enzymes in two populations of *Papulus cathartana*. *Biologia Planta*. 53, 597-600.
- Marcum, K.B., 2006. Use of saline and non-potable water in turfgrass industry: Constraints and developments. *Agric. Water Manage.* 80, 132-146.
- 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.
- Nikolic, M., Romheld, V., 2002. Does high bicarbonate supply to roots change availability of iron in the leaf apoplast? *Plant Soil*. 241, 67-74.
- 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.
- Romanowska-Duda, B., Kalaji, M.H., Strasser, R.J., 2005. The use of PSII activity of *Spirodela oligorrhiza* plants as an indicator for water toxicity. In: Van der Est A., Bruce D. (eds), *Photosynthesis: Fundamental Aspects to Global Perspectives*. Allen Press, Lawrence, pp, 585-587.

- Romera, F.J., Alcantara, E., De la Guardia, M.D., 1992. Effects of bicarbonate, phosphate and high pH on the reducing capacity of Fe-deficient sunflower and cucumber plants. *J. Plant Nutr.* 15, 1519-1530.
- Romheld, V., 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grapevine. *J. Plant Nutr.* 23, 1629-1643.
- 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.
- Satoh, R., Nakashima, K., Seki, M., Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., 2002. ACTCAT, a novel *cis*-acting element for proline- and hypoosmolarity-responsive expression of the ProDH gene encoding proline dehydrogenase in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 130, 709-719.
- Sayed, O.H., 2003. Chlorophyll fluorescence as a tool in cereal crop research. *Photosynthetica.* 41, 321-330.
- 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.
- Tyson, R.V., Simonne, E.H., Treadwell, D.D., Davis, M., White, J.M., 2008. Effect of Water pH on Yield and Nutritional Status of Greenhouse Cucumber Grown in Recalculating Hydroponics. *J. Plant Nutr.* 31: 2018-2030.
- Valdez Aguilar, L.A., 2004. Effect of alkalinity in irrigation water on selected greenhouse crops. Ph.D. thesis. Texas A&M University.
- Valdez Aguilar, L.A., Reed, D.W., 2007. Response of selected greenhouse ornamental plants to alkalinity in irrigation water. *J. Plant Nutr.* 30, 441-452.
- 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 Soil.* 155/156, 441-444.
- Zribi, K., Gharsalli, M., 2002. Effect of bicarbonate on growth and iron nutrition of pea. *J. Plant Nutr.* 25, 2143-2149.