برهمکنش شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر ویژگی‌های شیمیایی و اکوفیزیولوژیک گیاه لوبیا سبز در سیستم هیدروپونیک

حمید رضا روستا[1*]، نجمه رسولی[1] و محمدحسین شمشیری[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۱۸)

چکیده

به دلیل قلیایی بودن بیشتر خاک‌ها و آب‌های ایران و در نتیجه پ- هاش زیاد ناشی از وجود بی‌کربنات در محیط رشد گیاهان و تأثیر متفاوت آمونیوم و نیترات بر افزایش یا کاهش پ- هاش محیط کشت گیاه، تحقیق در مورد تأثیرات نامطلوب عواملی مانند قلیائیت و اثر متقابل شکل نیتروژن با آن بر خصوصیات شیمیایی و اکوفیزیولوژیک گیاهان ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور بی‌کربنات سدیم در چهار سطح (صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و شکل نیتروژن (آمونیوم و نیترات) روی لوبیا سبز انجام گرفت. طبق نتایج این آزمایش، تیمار بی‌کربنات سدیم باعث کاهش شاخص SPAD و غلظت رنگیزه‌های گیاهی در برگ شد. غلظت پرولین در تیمار آمونیوم با افزایش بی‌کربنات به‌طور خطی افزایش یافت؛ در حالی که در تیمار نیترات و در غلظت ۱ میلی‌مولار بی‌کربنات، غلظت پرولین کمی کاهش یافته ولی با افزایش غلظت بی‌کربنات دوباره به شدت افزایش یافت. شدت فتوسنتز، بازده مزوفیل و کارآیی مصرف آب در تیمار آمونیوم با افزایش قلیائیت کاهش یافت. در صورتی که در تیمار نیترات، بی‌کربنات در غلظت‌های کم و متوسط باعث افزایش آنها شد. از این آزمایش نتیجه‌گیری شد که در تیمار آمونیوم، بی‌کربنات در تمام غلظت‌ها باعث کاهش بازدهی فتوسنتزی و استفاده از آب توسط گیاه لوبیا سبز شد. در صورتی که در گیاهان تغذیه شده با نیترات، بی‌کربنات در غلظت کم (۱ میلی‌مولار) احتمالاً به دلیل تأمین مقداری دی‌اکسید کربن یا اسکلت کربنی برای آسیمیلاسیون نیتروژن، برای گیاهان مفید نیز بود.

واژه‌های کلیدی: نیترات، آمونیوم، فتوسنتز، قلیائیت، گرامینه

مقدمه

نیتروژن عنصر مهم و حیاتی برای گیاه به شمار می‌رود. اگرچه این عنصر به طور فراوان در طبیعت یافت می‌شود، ولی اغلب مهمترین عامل محدود کننده رشد گیاهی به حساب می‌آید (۱۳). گیاهان می‌توانند اشکال متفاوت ترکیبات نیتروژنی را جذب کنند. ولی به طور کلی نیترات و آمونیوم مهمترین شکل نیتروژن است که گیاهان جذب می‌کنند (۵). در سیستم‌های هیدروپونیک بافری نشده و خاک‌های با هوادهی ضعیف، کوددهی با نسبت بیشتر آمونیوم به نیترات منجر به اسیدی شدن محیط شده و سبب کاهش کاتیون‌هایی مثل کلسیم، منیزیم و پتاسیم در ریشه‌ها می‌شود (۴). ممانعت آمونیوم از رشد گیاهان از بی‌نظمی در احیای آمونیوم، کاهش پ- هاش، اثر سمیت آمونیوم آزاد، کمبود مواد غذایی معدنی مثل پتاسیم، کلسیم و منیزیم و محدودیت کربوهیدرات‌ها ناشی از مصرف بیش از حد قندهای محلول

۱. گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: roosta_h@yahoo.com

برای آسیمیلاسیون (همگون‌سازی) آمونیوم تأثیر می‌پذیرد (۲۵). منبع نیتروژن تأثیر زیادی بر پ- هاش محلول غذایی دارد. به گونه‌ای که نیترات باعث افزایش پ- هاش محلول و قلیایی شدن آن می‌شود؛ در صورتی که آمونیوم باعث کاهش پ- هاش شده و محلول غذایی را اسیدی می‌کند (۲۰).

آب آبیاری هنگامی که از چاه‌های عمیق تأمین می‌شود دارای بی‌کربنات زیاد است. قلیائیت ناشی از بی‌کربنات باعث ایجاد تنش در گیاه و در نتیجه کاهش فتوسنتز شده (۱۳) و ترکیبات معدنی را در گیاهان تغییر داده، سبب عدم تعادل یونی و سمیت می‌شود (۲۹). هوادهی این آب‌ها و یا کاربرد مقداری اسید سولفوریک (کاهش پ- هاش آب آبیاری تا حد خنثی)، میزان بی‌کربنات را کاهش می‌دهد. قلیائیت خاک نیز باعث کاهش جذب عناصری مثل آهن می‌شود. بروز زردی ناشی از کمبود آهن در گیاهان روئیده در خاک‌های قلیائی نشانه کمبود مطلق این عنصر نیست، بلکه با توجه به شرایط شیمیایی این خاک‌ها، آهن موجود به صورت ترکیب‌های غیر محلول درآمده، در نتیجه نیاز گیاه را از نظر آهن مرتفع نمی‌کند. آهن در غلظت‌های ۷ تا ۵۰۰ گرم بر کیلوگرم در خاک‌ها موجود است (۱۳). با افزایش پ- هاش خاک از ۴ به ۸، غلظت یون‌های Fe^{3+} از 10^{-8} به 10^{-20} مولار کاهش پیدا می‌کند. کمبود آهن همواره موجب از بین رفتن هم‌زمان کلروفیل و تخریب ساختار کلروپلاست می‌شود. ناهنجاری ریز برگی که موجب ضعف تدریجی گیاه و در نهایت مرگ گیاه می‌شود به دلیل کمبود آهن می‌باشد (۱). به طور کلی علائم کمبود آهن ابتدا در برگ‌های جوان و قسمت‌های فوقانی گیاه ظاهر شده و در حالت پیشرفته تمامی گیاه را در بر می‌گیرد (۲۴). علت اصلی کلروز آهن نیترات‌ها و کربنات‌ها هستند (۱۴). غلظت زیاد بی‌کربنات در محلول خاک باعث افزایش پ- هاش خاک و شیره آوند چوبی می‌شود. پ- هاش شیره آوند چوبی نیز با پ- هاش آپوپلاست برگ در ارتباط است. یکی از مکانیسم‌ها برای کمبود آهن که زیاد مورد توجه است، کاهش در دسترس بودن ترکیبات آهن در گیاه است، و این مکانیسم توسط بی‌کربنات و آهن تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۲۱).

آمونیوم با دو مکانیسم سبب اسیدی شدن محیط ریشه می‌شود. در یک مکانیسم، گیاه یون آمونیوم را جذب کرده و پروتون را به ریزوسفر رها می‌کند. مکانیسم دیگر تبدیل یون آمونیوم به یون نیترات به وسیله باکتری‌های خاک‌زی است که باعث اسیدی شدن محیط رشد می‌شود. البته باید توجه داشت که یون آمونیوم بیش از اندازه در کودهای شیمیایی مورد استفاده نیز می‌تواند سمی باشد، که این سمیت به وسیله اسیدی کردن بیش از اندازه یا افزایش فرم سمی آمونیاک (NH_3) بر اثر پ- هاش زیاد محیط ریشه ایجاد می‌شود (۴).

بنابراین، به دلیل آهکی بودن بسیاری از خاک‌ها و قلیائیت منابع آب کشور و تأثیر آن بر ایجاد کلروز و رشد گیاهان و هم‌چنین با توجه به تأثیر شکل نیتروژن بر پ- هاش محیط ریشه (۲۲)، این پژوهش جهت بررسی برهمکنش شکل نیتروژن و بی‌کربنات سدیم بر رنگیزه‌های گیاهی و ویژگی‌های شیمیایی و اکوفیزیولوژیک گیاه لوبیا سبز انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر متقابل قلیائیت و شکل نیتروژن بر لوبیا سبز، آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور، یکی غلظت بی‌کربنات سدیم (صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و دیگری شکل نیتروژن (آمونیوم و نیترات) و طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه هیدروپونیک دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر رفسنجان که دارای نور طبیعی، دمای ۴±۲۵ درجه سلسیوس در روز و ۴±۲۱ درجه در شب و میانگین رطوبت نسبی ۵۸٪ بود، انجام گرفت. بذرهای لوبیا سبز رقم آلفا ابتدا درون گلدان‌های یونولیتی حاوی پرلایت کاشته شدند و پس از دو هفته محلول‌دهی نشاهای یک‌نواخت انتخاب و به گلدان‌های چهار لیتری مجهز به سیستم هوادهی انتقال داده شدند. به گلدان‌ها عناصر پرمصرف شامل مونوپتاسیم فسفات (۰/۲ میلی-مولار)، سولفات پتاسیم (۰/۲ میلی‌مولار)، سولفات منیزیم (۰/۳ میلی‌مولار) و کلریدسدیم (۰/۱ میلی‌مولار) اضافه شد.

عناصر کم‌مصرف نیز به صورت کلات آهن (۲۰ میکرومولار، Fe-EDDHA)، سولفات منگنز (۷ میکرومولار)، کلرید روی (۰/۷ میکرومولار)، سولفات مس (۰/۸ میکرومولار)، اسید بوریک (۲ میکرومولار) و مولیبدات سدیم (۰/۸ میکرومولار) به کار رفت (۲۲). بسته به تیمار مورد استفاده، نیتروژن به دو صورت سولفات آمونیوم (۵ میلی‌مولار نیتروژن)، یا نیترات کلسیم (۵ میلی‌مولار نیتروژن) افزوده شد. برای جبران کلسیم، ۵ میلی‌مولار کلرید کلسیم به تیمار سولفات آمونیوم اضافه شد. هم‌زمان با عناصر غذایی دیگر، بی‌کربنات سدیم نیز در ۴ سطح صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار به محلول غذایی اضافه شد. محلول غذایی درون گلدان‌ها هر هفته عوض می‌شد. پس از این که گیاهان به مرحله شروع گل‌دهی رسیدند خصوصیات اکوفیزیولوژیک آنها شامل شدت فتوسنتز (میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه)، میزان تعرق (میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه)، کارآیی مصرف آب (میکرومول CO_2 بر مول آب)، CO_2 زیر روزنه‌ای (میکرومول بر مول) و تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه)، با دستگاه آنالیزور گاز مادون قرمز (مدل ADC, LCA-4 ساخت شرکت هادسدون انگلستان) اندازه‌گیری شد.

کارآیی آب مصرفی از نسبت میزان فتوسنتز به میزان تعرق طبق فرمول زیر به دست آمد:

$$WUE = \frac{A}{B} \qquad (۱)$$

که در آن: WUE کارآیی آب مصرفی بر حسب میکرومول بر میلی‌مول، A شدت فتوسنتز بر حسب میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و B میزان تعرق بر حسب میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه است. بازده مزوفیل (مول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه) از تقسیم شدت فتوسنتز بر CO_2 زیر روزنه‌ای به دست آمد (۱۷ و ۳۱).

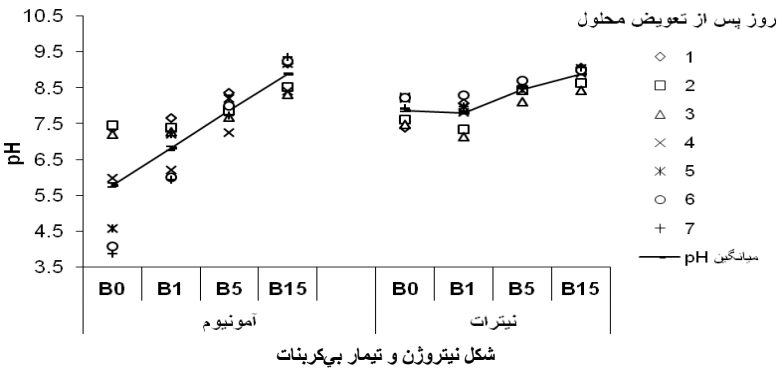
کلروفیل a، b و کارتنوئیدها با استفاده از متانول از بافت برگ استخراج شدند. برای این منظور، ۰/۲ گرم برگ تازه در یک هاون روی ظرف یخ برای جلوگیری از تجزیه کلروفیل ساییده شد و در حین ساییدن ۲۵ میلی‌لیتر متانول به آن اضافه شد. نمونه به دست آمده را درون لوله‌های پلاستیکی ریخته و به مدت یک شب درون یخچال قرار داده شد. ده میلی‌لیتر از هر نمونه در سانتریفیوژ با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۷ دقیقه و دمای $4^{\circ}C$ قرار داده شد. سپس میزان کلروفیل a و b و کارتنوئیدها با استفاده از دستگاه طیف‌سنج در طول موج‌های ۶۶۶، ۶۵۳ و ۶۷۰ نانومتر، در محلول فوقانی اندازه‌گیری و محاسبه شد (۱۰).

برای اندازه‌گیری پرولین، ۰/۲ گرم برگ تازه وزن شده و در هاون کوبیده شد. سپس با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیک ۳٪ مخلوط شده و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال قرار داده شد. سپس نمونه نگه‌داری شده در یخچال را صاف کرده و پس از افزودن ۲ میلی‌لیتر از عصاره به همراه ۲ میلی‌لیتر ناین‌هایدرین (برای تهیه ناین‌هایدرین ۱/۵ گرم ناین‌هایدرین خالص با ۲۴ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار و ۳۶ میلی‌لیتر اسید استیک ۶ مولار مخلوط گردید و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک، یک ساعت در حمام آب گرم (با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس) گذاشته، در نهایت فاز بالایی محلول را جدا کرده و میزان جذب نمونه در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف سنج (اسپکتروفتومتر مدل T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd) خوانده شد. آنالیز داده‌های آماری حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت و مقایسه میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ توسط آزمون دانکن انجام شد.

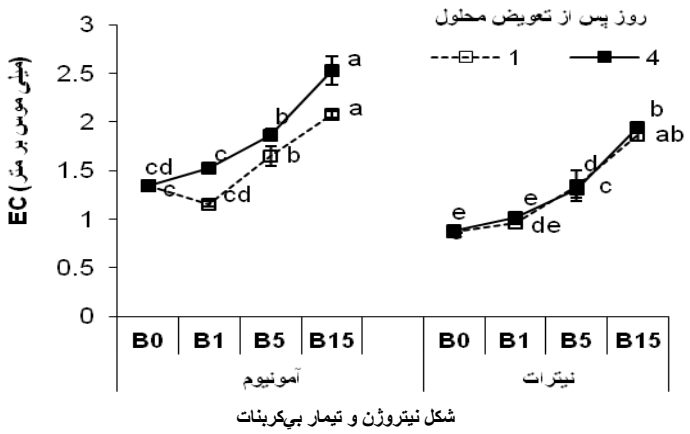
نتایج

پ- هاش و EC محلول غذایی

تغییرات پ- هاش محلول غذایی در روزهای مختلف پس از تعویض محلول (به مدت یک هفته)، در شکل ۱ نشان داده شده است. با افزایش غلظت بی‌کربنات در تیمار آمونیوم، میانگین پ- هاش محلول غذایی در روزهای مختلف هفته به صورت خطی افزایش پیدا کرد و در تیمار بدون بی‌کربنات، کاهش شدید پ- هاش در طول یک هفته مشاهده شد، که این اسیدی شدن به خاطر وجود آمونیوم در محلول غذایی بود.



شکل ۱. اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر پ- هاش محلول غذایی در محیط کشت لوبیا سبز. B0، B1، B5 و B15 به ترتیب بی‌کربنات در غلظت‌های صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار است.



شکل ۲. اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر هدایت الکتریکی محلول غذایی در دوره رشد لوبیا سبز. حروف متفاوت بین تیمارها (در داده‌های مربوط به روز نمونه‌گیری مشابه) نشانه اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد. B0، B1، B5 و B15 به ترتیب بی‌کربنات در غلظت‌های صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار است.

در غلظت ۱ میلی‌مولار، بی‌کربنات کاهش پ- هاش را تا حدی کنترل کرد. یعنی بی‌کربنات جلوی کاهش شدید پ- هاش در طول زمان را گرفته و با وجود محدوده تغییرات کمتر در غلظت ۵ میلی‌مولار بی‌کربنات این تغییرات پ- هاش در طول هفته باز هم کمتر شده، و در نهایت در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات بیشترین میانگین و کمترین نوسان پ- هاش در طول زمان مشاهده شد. یعنی بی‌کربنات در این غلظت توانسته اثر آمونیوم را خنثی کرده، باعث افزایش پ- هاش محلول غذایی شود. در تیمار نیترات، با گذشت زمان، پ- هاش محلول غذایی در غلظت‌های بیشتر از ۱ میلی‌مولار بی‌کربنات افزایش پیدا کرد، اگرچه نوسانات پ- هاش در غلظت‌های مختلف بی‌کربنات در تیمار نیترات کمتر از تیمار آمونیوم بود.

در تیمار آمونیوم، در مرحله اول نمونه‌برداری، یعنی یک روز بعد از تعویض محلول غذایی گیاهان، با افزودن ۱ میلی‌مولار بی‌کربنات، کاهش اندکی در میزان هدایت الکتریکی به وجود آمد که معنی‌دار نبود (شکل ۲). در غلظت ۵ میلی‌مولار، هدایت الکتریکی افزایش داشت و در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات میزان هدایت الکتریکی با همان شیب قبلی افزایش پیدا کرد. در مرحله دوم نمونه‌برداری، یعنی ۴ روز بعد از تعویض محلول غذایی گیاهان، هدایت الکتریکی پس از غلظت یک میلی‌مولار بی‌کربنات به طور پیوسته افزایش داشته و

جدول ۱. اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر شاخص SPAD، کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها در گیاه لوبیا سبز

شکل نیتروژن (۵ mM)	بی‌کربنات (mM)	شاخص SPAD	کلروفیل a (mg g^{-1} fw)	کلروفیل b (mg g^{-1} fw)	کارتنوئید (mg g^{-1} fw)
آمونیوم	۰	۳۹/۵±۰/۲۹a	۱/۶۵۴±۰/۰۵۸ ab	۱/۱۵±۰/۰۶ab	۱/۰۸±۰/۰۴ab
	۱	۳۹/۱±۰/۲۴a	۱/۸۷±۰/۲۷۱ ab	۱/۳۱±۰/۲۱a	۱/۲۵±۰/۱۸ab
	۵	۳۷/۸±۰/۶۳a	۱/۴۶۸±۰/۰۴۹ abc	۱/۱۳±۰/۰۳ab	۰/۹۷±۰/۰۴bc
	۱۵	۳۴/۱±۰/۶۲b	۱/۰۹۵±۰/۰۹۴ cd	۰/۸۴±۰/۰۸bc	۰/۷۲±۰/۰۶cd
نیترات	۰	۳۱/۳±۰/۴۲c	۲/۰۱۶±۰/۰۶۶a	۱/۴۳±۰/۰۱a	۱/۳۵±۰/۰۴a
	۱	۳۳/۹±۱/۵۹b	۱/۹۲±۰/۱۲۵ ab	۱/۴۲±۰/۱a	۱/۲۸±۰/۰۸ab
	۵	۲۷/۵±۰/۹۲d	۱/۴۴۲±۰/۳ bc	۱/۰۰±۰/۲ab	۰/۹۶±۰/۲bc
	۱۵	۱۷/۹±۰/۶۸e	۰/۷۰۷±۰/۱۱۱d	۰/۵۸±۰/۰۷c	۰/۴۶±۰/۰۷d
تیمار	df	میانگین مربعات			
N	۱	۵۹۸/۳۰**	۰/۰۰۰۰۰۰۳۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۹۳۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۳۲۶۷^{ns}
B	۳	۱۳۲/۹۷**	۰/۲۰**	۰/۵۱**	۰/۵۷**
N×B	۳	۱۵۶/۵۵**	۰/۰۹**	۰/۲۵**	۰/۲۷**
خطا	۱۶	۱/۸۵	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۳
CV (%)		۴/۱۷	۱۹/۳۳	۱۸/۵۹	۱۸/۲۳

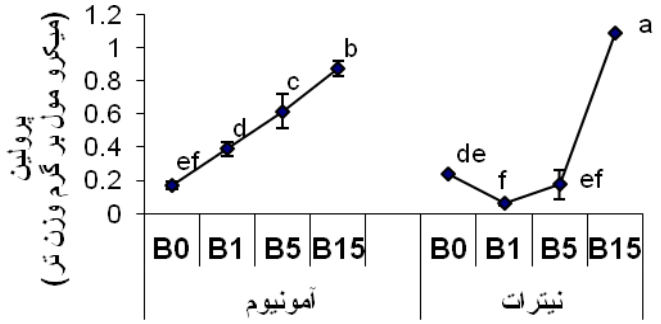
**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی‌دار

تنها تغییر قابل بیان افزایش شیب خط برای هدایت الکتریکی در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات بود و بیشترین میزان هدایت الکتریکی در بین غلظت‌های مختلف بی‌کربنات مربوط به غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات بود.

در تیمار نیترات، میزان هدایت الکتریکی در هر دو مرحله نمونه‌برداری (۱ و ۴ روز بعد از تعویض محلول) مشابه بوده و نمودار آنها بر هم منطبق شد. در رابطه با غلظت بی‌کربنات مشاهده شد که با افزایش غلظت بی‌کربنات میزان هدایت الکتریکی به طور پیوسته افزایش داشت و بیشترین شیب این نمودار در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات بود. در کل، میزان هدایت الکتریکی در محلول غذایی حاوی آمونیوم در همه غلظت‌های بی‌کربنات بیشتر از محلول غذایی حاوی نیترات بود.

اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر شاخص SPAD، میزان رنگیزه‌های گیاهی و پرولین

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، تأثیر مربوط به غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و شکل نیتروژن و اثر متقابل آنها بر شاخص SPAD از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌های مربوط به شاخص SPAD نشان داد که در تیمار نیتروژن آمونیومی، با افزودن غلظت‌های مختلف بی‌کربنات، میزان شاخص SPAD کاهش پیدا کرد که این کاهش فقط در تیمار ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات معنی‌دار بود. در تیمار نیتروژن نیتراتی، با افزودن یک میلی‌مولار بی‌کربنات، میزان شاخص SPAD به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. ولی با افزایش بیشتر بی‌کربنات (۵ و ۱۵ میلی‌مولار) شاخص SPAD کاهش یافت. کمترین مقدار شاخص SPAD مربوط به تیمار



شکل نیتروژن و تیمار بی‌کربنات

شکل ۳. اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر غلظت پرولین در اندام هوایی گیاه لوبیا سبز. حروف متفاوت بین تیمارها نشانه اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

B0، B1، B5 و B15 به ترتیب بی‌کربنات در غلظت‌های صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار است.

نیترات و غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات بود و بیشترین مقدار شاخص SPAD در تیمار نیتروژن آمونیومی با غلظت صفر میلی‌مولار بی‌کربنات مشاهده شد. در کل، در همه غلظت‌های بی‌کربنات، شاخص SPAD در تیمار آمونیوم بیشتر از تیمار نیترات بود. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و تأثیر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر کلروفیل a در سطح ۱٪ معنی‌دار بود؛ در صورتی که شکل نیتروژن اثر معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار بدون بی‌کربنات با نیترات به دست آمد. هم‌چنین افزایش غلظت بی‌کربنات باعث کاهش غلظت کلروفیل a شد و کمترین مقدار کلروفیل a نیز در تیمار نیترات و غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات مشاهده شد. در مورد تیمار آمونیوم با افزایش غلظت بی‌کربنات، مقدار کلروفیل a کاهش پیدا کرد. البته در تیمار یک میلی‌مولار بی‌کربنات، افزایش جزیی در مقدار کلروفیل a دیده شد که معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات بر کلروفیل b در سطح ۱٪ معنی‌دار بود، و علی‌رغم معنی‌دار نبودن اثر شکل نیتروژن بر غلظت کلروفیل b، تأثیر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. با توجه به جدول ۱، تنها غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات میزان کلروفیل b را در هر دو تیمار نیتروژنی کاهش داد.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثر بی‌کربنات و تأثیر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات در سطح ۱٪ بر مقدار کارتنوئیدها معنی‌دار بود. در صورتی که شکل نیتروژن اثر معنی‌داری بر کارتنوئیدها نداشت. بیشترین و کمترین غلظت کارتنوئیدها همان گونه که در جدول ۱ آمده، متعلق به تیمار نیتروژن نیتراتی و به ترتیب با غلظت بی‌کربنات صفر و ۱۵ میلی‌مولار بود. در تیمار آمونیوم، غلظت کارتنوئیدها در سطح ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات نسبت به شاهد کاهش یافت. در مورد تیمار نیترات کاهش چشمگیری بین تیمارهای صفر و یک میلی‌مولار بی‌کربنات با ۵ میلی‌مولار وجود داشت و این کاهش در تیمار ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات بیشتر بود. نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به تیمارهای مختلف بر میزان پرولین در شکل ۳ آورده شده است. در تیمار آمونیوم، مقدار پرولین با افزایش غلظت بی‌کربنات به طور پیوسته افزایش یافت. در تیمار نیترات، میزان پرولین با افزودن یک میلی‌مولار بی‌کربنات مقداری کاهش نشان داد. در صورتی‌که در غلظت ۵ میلی‌مولار بی‌کربنات میزان پرولین نسبت به تیمار یک میلی‌مولار افزایش داشت و در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات به بیشترین مقدار در بین تمام تیمارها رسید. کمترین مقدار پرولین در بین همه تیمارها، در تیمار یک میلی‌مولار بی‌کربنات و در نیتروژن نیتراتی دیده شد (شکل ۳).

جدول ۲. اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر فتوسنتز، تعرق، کارآیی مصرف آب، بازده مزوفیل، PAR و CO_2 زیر روزنه در گیاه لوبیا سبز

شکل نیتروژن (۵میلی‌مولار)	بی‌کربنات (میلی‌مولار)	فتوسنتز ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	تعرق ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	کارآیی مصرف آب ($\mu mol\ CO_2\ mol^{-1}\ H_2O$)	بازده مزوفیل ($mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)	PAR ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	CO_2 زیر روزنه ($\mu mol\ mol^{-1}$)
آمونیوم	۰	۴/۴۵±۰/۲۲b	۱/۵۳±۰/۲۱a–d	۲/۹۷±۰/۲۳۱a	۰/۰۰۶۴±۰/۰۰۰۵b	۳۵۷/۳±۱۲/۵۵bc	۷۲۱±۱۱۲/۱a
	۱	۲/۳۷±۰/۱۷cd	۱/۲۸±۰/۱۱d	۱/۸۷±۰/۰۸۶b	۰/۰۰۳۷±۰/۰۰۰۲cd	۳۹۳/۷±۴/۲۶b	۶۳۹/۱±۸/۱۲۹a
	۵	۲/۴۱±۰/۲۱cd	۱/۸۲±۰/۱ab	۱/۳۳±۰/۱۳۲bcd	۰/۰۰۳۸±۰/۰۰۰۴cd	۳۲۰/۰±۱۵/۳۷c	۶۳۷/۲±۲۰/۸۶a
	۱۵	۱/۷۸±۰/۱۲de	۱/۴۵±۰/۱۳bcd	۱/۲۵±۰/۰۷۸cd	۰/۰۰۲۸±۰/۰۰۰۱de	۳۹۱/۷±۴/۹۱b	۶۳۰/۷±۳۱/۵۳a
نیترات	۰	۱/۴۶±۰/۲۱e	۱/۸±۰/۱۳ab	۰/۸۳±۰/۰۲۷d	۰/۰۰۲۳±۰/۰۰۰۱e	۳۴۹/۳±۱۷/۸۹bc	۶۶۹±۶۴/۸۳a
	۱	۵/۸۷±۰/۳۶a	۱/۸۵±۰/۱a	۳/۲۰±۰/۳۳۲a	۰/۰۰۸۸±۰/۰۰۰۴a	۴۴۰/۰±۳۱/۶۶a	۶۶۶/۴±۲۷/۶۵a
	۵	۲/۶۶±۰/۲۴c	۱/۷۱±۰/۰۳abc	۱/۵۶±۰/۱۴۲bc	۰/۰۰۴۳±۰/۰۰۰۶c	۳۸۴/۰±۱۵/۱۰b	۶۲۸/۶±۳۱/۴۴a
	۱۵	۱/۴۵±۰/۲۶e	۱/۳۷±۰/۰۸cd	۱/۰۵±۰/۱۵۵cd	۰/۰۰۲۴±۰/۰۰۰۱e	۲۰۳/۰±۱۰/۵۸d	۶۱۰/۳±۲۸/۷۱a
تیمار	df	میانگین مربعات					
N	۱	۰/۰۷ns	۰/۱۶ns	۰/۲۳ns	۰/۰۰۰۰۰۰۳۹ns	۲۷۹۵/۰۴ns	۱۰۸۵/۴۱ns
B	۳	۶/۴۷**	۰/۱۳ns	۲/۱۸**	۰/۰۰۰۰۱۳۴۲**	۱۴۳۲۱/۰۴**	۶۳۹۳/۷۶ns
N×B	۳	۷/۳۶**	۰/۱۴*	۲/۳۲**	۰/۰۰۰۰۱۵۲۰**	۱۵۱۱۶/۵۶**	۳۵۸۴/۸۸ns
خطا	۱۶	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۰۰۰۰۶۱۶	۷۸۶/۹۱	۷۸۱۵/۶۹
CV (%)		۱۴/۳۶	۱۲/۹۷	۱۷/۰۸	۱۴/۳۶	۷/۹۰	۱۳/۵۹

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی‌دار

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و تأثیر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر شدت فتوسنتز در سطح ۱٪ معنی‌دار شد؛ در صورتی که شکل نیتروژن اثر معنی‌داری نداشت. بر اساس نتایج آزمون دانکن، بیشترین شدت فتوسنتز در نیتروژن آمونیومی، در تیمار شاهد به دست آمد. در صورتی که در نیتروژن نیتراتی، حداکثر شدت فتوسنتز در غلظت یک میلی‌مولار بی‌کربنات مشاهده شد. کمترین شدت فتوسنتز در هر دو شکل تیمار نیتروژنی متعلق به غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات بود. همان‌گونه که در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد در تیمار آمونیوم، با افزایش غلظت بی‌کربنات، شدت فتوسنتز در گیاهان کاهش یافت، البته بین غلظت‌های ۱ و ۵ میلی‌مولار بی‌کربنات اختلاف معنی‌داری دیده نشد. در صورتی که در تیمار نیترات با افزودن یک میلی‌مولار بی‌کربنات شدت فتوسنتز در گیاهان لوبیا سبز به شدت افزایش نشان داد که این مقدار بیشترین شدت فتوسنتز در بین همه تیمارهای مورد آزمایش بود. در ادامه، با افزایش غلظت بی‌کربنات اضافه شده به محلول غذایی، از شدت فتوسنتز کاسته شد که در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات به کمترین مقدار آن در بین همه تیمارهای موجود در آزمایش رسید. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) تأثیرات مربوط به غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و شکل نیتروژن بر میزان تعرق از نظر آماری معنی‌دار نشد. اما اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. بر اساس نتایج آزمون دانکن، سرعت تعرق در بین تیمارهای مختلف، اختلافات معنی‌داری نشان نداد، و تنها اختلاف معنی‌دار قابل توجه بین تیمار یک میلی‌مولار بی‌کربنات در نیتروژن نیتراتی با تیمار یک میلی‌مولار بی‌کربنات همراه با آمونیوم بود که به

ترتیب بیشترین و کمترین میزان تعرق در بین تیمارها را داشتند. لذا، تیمار آمونیوم نسبت به تیمار نیترات، میزان تعرق را کاهش داده است. البته این اثر آمونیوم در غلظت‌های بیشتر بی‌کربنات تا حدی تعدیل شده است.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر مربوط به غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و اثر متقابل آن با شکل نیتروژن بر کارآیی مصرف آب در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. در صورتی که از نظر آماری، شکل نیتروژن به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر کارآیی مصرف آب نداشت. نتایج آزمون دانکن در مورد نیتروژن نیتراتی نشان داد که یک میلی‌مولار بی‌کربنات باعث افزایش معنی‌دار کارآیی مصرف آب نسبت به شاهد شد (جدول ۲). بی‌کربنات ۵ میلی‌مولار نیز در این شکل نیتروژن کارآیی مصرف آب را کمی افزایش داده اما این میزان نسبت به تیمار یک میلی‌مولار بی‌کربنات کمتر بود. بر خلاف تیمار نیترات، در تیمار آمونیوم کاهش معنی‌دار کارآیی مصرف آب در غلظت یک میلی‌مولار بی‌کربنات نسبت به بی‌کربنات صفر مشاهده شد و این روند کاهش با افزایش غلظت بی‌کربنات در بین بقیه تیمارها نیز دیده شد. کمترین مقدار کارآیی مصرف آب در بین همه تیمارها متعلق به تیمار شاهد بی‌کربنات در نیتروژن نیتراتی بود و بیشترین مقدار این فاکتور نیز مربوط به نیتروژن نیتراتی و تیمار یک میلی‌مولار بی‌کربنات بود.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و اثر متقابل آن با شکل نیتروژن بر مقدار بازده مزوفیل در سطح ۱٪ معنی‌دار بود؛ در صورتی که شکل نیتروژن به تنهایی اثر معنی‌داری بر این فاکتور نداشت. با توجه به جدول ۲ میزان بازده مزوفیل در نیتروژن آمونیومی با افزایش غلظت بی‌کربنات کاهش نشان داد و بیشترین میزان آن در این شکل نیتروژن متعلق به تیمار شاهد (بی‌کربنات صفر) بود. ولی در نیتروژن نیتراتی بیشترین بازده مزوفیل مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار بی‌کربنات بود.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و تأثیر متقابل آن با شکل نیتروژن بر مقدار PAR در سطح ۱٪ معنی‌دار بود؛ در صورتی که شکل نیتروژن اثر معنی‌داری نداشت. تغییرات میزان PAR در نیتروژن آمونیومی روند مشخصی نداشت. اما در نیتروژن نیتراتی، با افزوده شدن یک میلی‌مولار بی‌کربنات نسبت به شاهد مقدار PAR افزایش نشان داد و با افزایش بیشتر بی‌کربنات دوباره کاهش یافت (جدول ۲). اثر تیمارهای مختلف بر میزان CO_2 زیر روزنه معنی‌دار نشد (جدول ۲).

بحث

مهمترین قسمت گیاه که بیش از همه تحت تأثیر تغذیه نیتروژن و یا تنش بی‌کربنات قرار می‌گیرد، بخش فتوسنتز کننده گیاه، یعنی کلروفیل است (۱۳). شاخص سبزینگی (SPAD) نشان‌دهنده رنگ سبز برگ می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب در ارزیابی میزان نیتروژن گیاه و اثر تنش‌هایی مثل تنش بی‌کربنات بر گیاه مورد استفاده قرار گیرد. ارتباط مستقیمی بین شاخص سبزینگی و مقدار کلروفیل برگ وجود دارد و ارقام مقاوم به بی‌کربنات مقدار شاخص سبزینگی بیشتری نسبت به ارقام حساس دارند (۱۵). اگرچه، با این که در این آزمایش اثر شکل نیتروژن بر میزان شاخص SPAD در برگ‌های لوبیا سبز معنی‌دار شد، ولی بر کلروفیل a، b و کارتنوئیدها اثر معنی‌داری نداشت. هم‌چنین اثر بی‌کربنات و تأثیر متقابل آن با شکل نیتروژن بر مقدار شاخص SPAD، کلروفیل a، b و کارتنوئیدها در برگ‌های لوبیا سبز معنی‌دار شد. اثر غلظت‌های بی‌کربنات بر کاهش شاخص SPAD، کلروفیل a، b و کارتنوئیدها در تیمار نیترات بیشتر از تیمار آمونیوم بود. در یک آزمایش که روی خیار انجام شد، میزان کلروفیل a و b و کارتنوئیدها در برگ‌های گیاهان تغذیه شده با آمونیوم در غلظت ۵ میلی‌مولار نسبت به گیاهان تغذیه شده با نیترات بیشتر بود. در صورتی‌که افزایش غلظت آمونیوم تا ۱۰ میلی‌مولار باعث کاهش مقدار آن در گیاه شد (۲۲). علت افزایش کلروفیل این است که آمونیوم باعث افزایش جذب بعضی عناصر از جمله آهن و منیزیم می‌شود که در ساخت کلروفیل نقش دارند.

اما احتمالاً در آزمایش حاضر میزان حساسیت لوبیا بـه آمونیـوم آنقدر زیاد بوده که اجازه افزایش جـذب ایـن عناصـر را نـداده است. هم‌چنین در این آزمایش بی‌کربنات اضافه شده به محلول غذایی، علاوه بر این‌که اثر اسیدی کردن محیط توسط آمونیوم را تقریباً خنثی کرده است، با بالا بردن قلیائیت منجـر بـه غیرفعـال شدن آهن و در نتیجه ایجـاد کلـروز بـرگ‌هـا و کـاهش میـزان سبزینه و کلروفیل a، b و کارتنوئیـدها شـده اسـت. در شـرایط کمبود آهن، سنتز کلروفیل به مقدار زیادی کاهش مـی‌یابـد کـه عمدتاً مربوط به از بین رفتن پروتئین است و از طرفـی موجـب تخریب ساختار کلروپلاست می‌شود. اصلی‌تـرین نتیجـه زردی حاصل از آهن، کاهش فتوسـنتز بـرگ‌هاسـت (۱۳). وقتـی کـه دانهال‌های آواکادو در خاک‌های آهکی رشد کردنـد کلروفیـل و کاتالاز در برگ‌های جوان ۵ تا ۳۰ درصـد کمتـر بـود (۲۶). در آزمایشی که روی لوبیا انجام شد، افزایش غلظـت بـی‌کـربنـات باعث کاهش غلظت آهن، کلروفیل و کارتنوئید در بـرگ شـد و نسبت کلروفیل a به b و کارتنوئید به کلروفیل کل افزایش یافت (۱۲). با توجه به بالا بودن میزان آهن در گیاهان تیمار شـده بـا بی‌کربنات (داده‌ها نشان داده نشده)، در آزمایش حاضـر کـاهش SPAD به دلیل کاهش غلظت آهن در برگ‌های لوبیا سبز نبـوده بلکه احتمالاً به خاطر غیر فعال شـدن آن در داخـل گیـاه بـوده است (۲۴). در پژوهشی دیگر، اثر قلیائیت آب آبیاری بر چهـار گونه‌ی داوودی، رز، پریوش و بامیه بررسـی شـد (۲۸). غلظـت ۵-۲/۵ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم به مقدار کمـی سـبزینه گیـاه داوودی را کاهش داد؛ امـا در غلظـت ۷/۵ میلـی‌مـولار کلـروز برگ‌ها مشاهده شد. کاربرد ۵ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم باعث کـاهش ۲۱ درصـدی شـاخص SPAD شـد و ایـن کـاهش در غلظت ۱۰ میلی‌مولار ۷۲٪ بود. بی‌کربنات سدیم رشد گیاه رز را تحت تأثیر قـرار داد و در غلظـت ۲/۵ میلـی‌مـولار مقـداری از سبزینه گیاه کاسته شـد و در ۵ میلـی‌مـولار نـشانه‌هـای کلـروز آشکار شد. بی‌کربنات سدیم رشد گیاه پریوش را نیز تحت تأثیر قرار داد (۲۸). در غلظت ۷/۵ میلی‌مولار بی‌کربنـات مقـداری از سبزینه گیاه کاسته شد. اما در غلظت ۱۰ میلی‌مولار کلروز شدید مشاهده شد. در این آزمایش غلظت ۱۰ میلی‌مـولار بـی‌کربنـات سـدیم باعـث کـاهش ۴۷ درصـدی در شـاخص SPAD گیـاه پریوش شد. اما بیشترین میزان SPAD در غلظت ۲/۵ میلی‌مولار بی‌کربنات مشاهده شد.

تعدیل اسمزی در سطوح فیزیولوژیک، به دلیل حفظ آمـاس سلولی، آثار ناشی از کاهش سریع پتانـسیل آب بـرگ را خنثـی می‌نماید و یکی از مکانیسم‌های مؤثر در سـازگاری گیاهـان بـه تنش شوری و خشکی می‌باشد. این فرایند سازگاری، معمولاً از طریق جذب یون‌های غیر آلی و هم‌چنـین تجمـع محلـول‌هـای سازگار حاصل می‌شود (۱۶). گیاهان در شرایط ناشـی از تـنش شوری، به منظور کاهش پتانسیل آب سلول، معمـولاً یـون‌هـای معدنی را در واکوئل خود انباشته می‌کننـد. هـم‌زمـان بـا تجمـع یون‌های غیر آلی در واکوئـل‌هـا، گیاهـان هـم‌چنـین مـی‌تواننـد محلول‌های آلی با وزن مولکولی کـم را بـه منظـور ممانعـت از آب‌زدایـی و محافظـت از مـاکرومولکـول‌هـای زیـستی در سیتوپلاسم سنتز نمایند. انواع محلول‌های سازگار شامل قندهای محلول، پرولین، بتائین، پـروتئین‌هـای محلـول و پلـی‌الکـل‌هـا می‌باشـند کـه در شـرایط تـنش در سیتوپلاسـم تجمـع یافتـه و غشاهای سلولی را در برابر غلظت بالای یـون‌هـای غیـر آلـی و انواع اکسیژن واکنش‌گـر حفاظـت مـی‌کننـد (۳۰). در آزمـایش حاضر، در تیمار آمونیوم، مقدار پرولین با افـزایش غلظـت بـی-کربنات سدیم به طور پیوسته افزایش یافـت. در تیمـار نیتـرات، میزان پرولین با افزودن یـک میلـی‌مـولار بـی‌کربنـات مقـداری کـاهش نـشان داد. در صـورتی‌کـه در غلظـت ۵ میلـی‌مـولار بی‌کربنات میزان پرولین نسبت به تیمار یک میلی‌مـولار افـزایش داشت و در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات به بیـشترین مقـدار در بین تمام تیمارها رسید. بنابراین، تنش بی‌کربنات در گیاهـان رشد کرده در آمونیوم به تدریج و با افزایش غلظت بـی‌کربنـات ایجاد شده است. در صورتی‌که در تیمار نیترات در غلظت‌هـای کم بی‌کربنات تنشی وجود نداشته و یا حداقل تنش ایجاد شـده و با افزایش غلظت بی‌کربنات به ۱۵ میلی‌مولار تنش شدیدی به گیاه وارد شده است. تغییـرات پ- هـاش محلـول غـذایی نیـز

تقریباً منطبق بر نتایج مربوط به پرولین بود که احتمالاً بین این دو پارامتر ارتباط وجود دارد. در گیاه جو، میزان پرولین تحت تنش قلیائیت به میزان قابل توجهی در مقایسه با گیاهان شاهد و گیاهانی که در معرض تنش شوری قرار گرفته بودند، افزایش یافت. در تیمار شوری، تجمع پرولین با شدت و میزان بسیار کمتری در مقایسه با تنش قلیائیت صورت گرفت. تجمع پرولین در گیاه جو احتمالاً پاسخی در برابر نفوذ سدیم به گیاه باشد. پرولین می‌تواند به منظور برقراری تعادل فشار اسمزی با واکوئل‌ها و محافظت از ماکرومولکول‌ها در سیتوپلاسم توزیع یابد (۳۰). گیاهان شاه‌توت هنگامی‌که در معرض تنش قلیائیت قرار گرفتند غلظت پرولین و قندهای محلول موجود در آنها با بالارفتن شدت تنش افزایش یافت، و میزان افزایش پرولین در رقم مقاوم بومی بیشتر از رقم حساس Sujanpuri بود (۲). همبستگی مثبت بین میزان تجمع پرولین و مقاومت به نمک به عنوان یک شاخص جهت تعیین پتانسیل مقاومت به نمک بین ارقام پیشنهاد شده است (۱۹). بنابراین، با توجه به مزایای تجمع مواد محلول سازگار در گیاه به‌هنگام وقوع تنش و مشاهده غلظت‌های بیشتر پرولین در گیاهان تحت تنش بی‌کربنات، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تجمع پرولین یک مکانیسم اصلی در ایجاد مقاومت لوبیا سبز به تنش قلیائیت می‌باشد.

در این آزمایش اثر بی‌کربنات و اثر متقابل آن با نیتروژن بر شدت فتوسنتز معنی‌دار شد. بی‌کربنات باعث کاهش شدت فتوسنتز در هر دو گروه گیاهان رشد کرده در دو شکل نیتروژن شد که احتمالاً این اتفاق به خاطر تأثیر بی‌کربنات بر افزایش قلیائیت و کاهش مقدار آهن فعال در اندام هوایی باشد. با توجه به این که آهن نقش اساسی در سنتز کلروفیل دارد و میزان کلروفیل با شدت فتوسنتز نسبت مستقیم دارد، کمبود این عنصر در نتیجه افزایش غلظت بی‌کربنات باعث کاهش شدت فتوسنتز شده است (۲۴).

در پژوهشی، تیمار بی‌کربنات باعث کاهش مقدار آهن، شدت فتوسنتز و تعرق در لوبیا شد، که این کاهش هم در قلیائیت زیاد و هم در قلیائیت کم اتفاق افتاد (۱۲). از آنجایی که در این گیاهان غلظت آهن در ریشه‌ها نسبت به اندام هوایی بیشتر بود، نتیجه‌گیری شد که سنتز کلروفیل به وسیله کاهش جابه‌جایی یا کاهش فعالیت آهن آسیب دیده بود. در آزمایشی، اثر سولفات سدیم و بی‌کربنات سدیم را در غلظت‌های صفر، ۲/۵، ۵ و ۷ میلی‌مولار بر رشد، تبادل گازها و ترکیبات معدنی در دو رقم کاهو مورد بررسی قرار دادند (۳۱). در این آزمایش در غلظت ۵ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم، کلروز بین رگبرگی مشاهده شد. افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم باعث کاهش شدت فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای شد. نتایج مشابه در لوبیا (۲۷)، خیار (۶) و انجیر (۱۷) مشاهده شده است.

در آزمایشی که پاسخ مورفوفیزیولوژیک پنج واریته انگور به بی‌کربنات را مورد بررسی قرار داد، پارامترهای رشدی گیاه مثل وزن ساقه، مجموع سطح برگ، تعداد برگ، تولید زیست‌توده و مقدار کلروفیل در برگ‌های جوان بستگی به ژنوتیپ گیاه و غلظت بی‌کربنات داشت (۹). مقاومت انگور به کمبود آهن بستگی به توانایی گیاه در اسیدی کردن محیط و بهبود فعالیت Fe(III)- ریدوکتاز داشت. مقاومت بالای خمری به بی‌کربنات به فعالیت Fe(III)- ریدوکتاز و کاهش پ- هاش محیط کشت بستگی داشت. هم‌چنین در ریشه این رقم بیشترین مقدار فسفو انول پیروات کربوکسیلاز مشاهده شد که این آنزیم ممکن است بیوسنتز و تجمع اسیدهای آلی را در شرایط کمبود آهن کنترل کند.

گزارش شده است که آمونیوم به عنوان منبع نیتروژن منجر به قطع واکنش فتوفسفرید می‌شود (۱۸). البته آنالیز فلورسانس کلروفیل نشان داد که اختلاف معنی‌داری در انتقال انرژی وجود ندارد. هم‌چنین برای بازدارندگی به وسیله نور شواهدی وجود ندارد و فرضیه فوق با این داده‌ها حمایت نشد.

ضرورت نیاز اسکلت کربنی برای اسیمیلاسیون آمونیوم در ریشه‌ها نه تنها باعث افزایش فعالیت PEPCase می‌شود (۲۳)، بلکه باعث افزایش تنفس و مصرف اکسیژن هم می‌شود (سرعت مصرف اکسیژن برای هر واحد وزن ریشه دو برابر می‌شود). در آزمایشی، کاربرد α- کتوگلوتارات که یک منبع

اصلی کربن برای آسیمیلاسیون نیتروژن است، نشانه‌های سمیت آمونیوم را کم کرد. بنابراین، فقدان اسکلت کربنی در ریشه می‌تواند یکی از دلایل توقف رشد ریشه به وسیله آمونیوم باشد. این فقدان در ریشه تنها ناشی از سرعت بالای تنفس ریشه نیست، بلکه مربوط به آسیمیلاسیون آمونیوم در ریشه گیاهانی که با آمونیوم تغذیه می‌شوند نیز می‌شود، و این در حالیست که مواد تولید شده به شاخ و برگ منتقل می‌شوند و منجر به کاهش کربوهیدرات در ریشه و نسبت ریشه به شاخساره می‌شوند (۸).

شکل نیتروژن تغییری در تعرق و کارآیی مصرف آب ایجاد نکرد؛ اما بی‌کربنات و اثر متقابل آن با نیتروژن، میزان تعرق و کارآیی مصرف آب را تغییر داد. میزان تعرق فقط در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات و در حضور نیترات کاهش معنی‌داری نسبت به غلظت صفر میلی‌مولار نشان داد. گزارش شده است که در گیاهانی که با بی‌کربنات تیمار شده‌اند، به ویژه در برگ‌های جدید، هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد (۱۱). نتایج محققین نشان می‌دهد که تعرق برگ کاهش یافته در تیمار بی‌کربنات ناشی از کاهش سطح برگ نیست، بلکه ناشی از کاهش هدایت روزنه‌ای می‌باشد (۷). هم‌چنین مشاهده شده که هورمون ABA در گیاهانی که با بی‌کربنات تیمار شده‌اند افزایش یافته و جریان ABA از آوند آبکش به آوند چوب باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و متعاقب آن کاهش تعرق و بازده مزوفیل می‌شود (۱۱). در آزمایشی که روی گیاه لوبیا انجام شد، بی‌کربنات هدایت روزنه‌ای و جذب آب از ریشه را کاهش داد (۷)، که عامل کاهش، کمتر بودن سرعت تعرق بود. هم‌چنین در طالبی و چغندرقند نیز کاهش جذب آب به‌دنبال اضافه شدن بی‌کربنات مشاهده شده است (۳). در آزمایش حاضر، با توجه به تغییر جزئی تعرق و کاهش نسبتاً شدید نرخ فتوسنتز گیاهانی که غلظت‌های زیاد بی‌کربنات را دریافت کرده بودند، احتمالاً کارآیی مصرف آب نیز تحت تأثیر کاهش فتوسنتز قرار گرفته و کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری

از این آزمایش نتیجه‌گیری شد که در تیمار آمونیوم، بی‌کربنات در تمام غلظت‌ها باعث کاهش بازدهی فتوسنتزی و استفاده از آب توسط گیاه لوبیا سبز شد. در صورتی‌که در گیاهان تغذیه شده با نیترات، بی‌کربنات در غلظت کم (۱ میلی‌مولار) احتمالاً به دلیل تأمین مقداری دی‌اکسید کربن یا اسکلت کربنی برای گیاهان مفید نیز بود. با توجه به مزایای تجمع مواد محلول سازگار در گیاه به‌هنگام وقوع تنش و مشاهده غلظت‌های بیشتر پرولین در گیاهان تحت تنش بی‌کربنات، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تجمع پرولین یک مکانیسم اصلی در ایجاد مقاومت لوبیا سبز به تنش قلیائیت می‌باشد. با توجه به تغییر جزئی تعرق و کاهش نسبتاً شدید نرخ فتوسنتز گیاهانی که غلظت‌های زیاد بی‌کربنات را دریافت کرده بودند، احتمالاً کارآیی مصرف آب نیز تحت تأثیر کاهش فتوسنتز قرار گرفته و کاهش یافته است.

منابع مورد استفاده

۱. روستا، ح. ر. و ا. سجادی‌نیا. ۱۳۸۸. اثرات محلول‌پاشی نوعی کود کلات آهن برخصوصیات اکوفیزیولوژیکی چهار رقم پسته تجاری ایران. مجله علوم و فنون باغبانی ایران ۱۰: ۲۳۶-۲۷۴.

2. Ahmad, P. and S. Sharma. 2010. Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alb*a L.) under $NaHCO_3$ stress. Intl. J. Plant Prod. 4(2): 79-86.
3. Alder, P. R., G. E. Wilcox and A.H. Markhart. 1996. Ammonium decreases muskmelon root system hydraulic conductivity. J. Plant Nutr. 19: 1395-1403.
4. Britto, D. T. and H. J. Kronzucker. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants. J. Plant Physiol. 159: 567-584.
5. Britto, D. T. and H. J. Kronzucker. 2005. Bioengineering N acquisition in rice: Can novel initiatives in rice genomics and physiology contribute to global food security? BioEssays 26: 683-692.
6. Chartzoulakis, K. S. 1994. Photosynthesis, water relations and leaf growth of cucumber exposed to salt stress. Sci. Hortic. 59: 27-35.

7. Guo, S., H. Brtick and B. Sattelmacher. 2002. Effects of supplied nitrogen form on growth and water uptake of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. Plant Soil 239: 267-275.
8. Hampton, C. R, H. C. Bowen, M. R. Broadley, J. P. Hammond, A. Mead, K. A. Payne, J. Pritchard and P. J. White. 2004. Cesium toxicity in Arabidopsis. Plant Physiol. 136: 3824-3837.
9. Ksouri, R., A. Debez, H. Mahmoudi, Z. Ouerghi, M. Gharsalli and M. Lachaal. 2007. Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency. Plant Physiol. Biochem. 45: 315-322.
10. Lichtenthaler, H. K. and A. R. Wellburn. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochem. Soc. Trans. 603: 591-592.
11. Lu, Y. X., C. J. Li and F. S. Zhang. 2005. Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient levels. Ann. Bot. 95: 991-998.
12. Luis, A. and R. W. David. 2008. Influence of potassium substitution by rubidium and sodium on growth, ion accumulation, and ion partitioning in bean under high alkalinity. J. Plant Nutr. 31(5): 867-883.
13. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed., Academic Press, Cambridge, UK.
14. Mengel, K. 1995. Iron availability in plant tissues: Iron chlorosis on calcareous soils. PP. 389-396. *In:* Abadia, J. (Ed.), Iron Nutrition in Soils and Plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
15. Nagarathnamma, R. 2006. Evaluation of groundnut genotypes for lime induced chlorosis tolerance. Plant Soil 140: 175-190.
16. Heuer, B. 2003. Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. Plant Sci. 165: 693-699.
17. Okubo, M. and N. Utsunomiya. 1996. Effects of sodium chloride on growth, gas exchange and ion concentration in latex of fig (*Ficus carica* L.). Environ. Cont. Biol. 34: 259-265.
18. Padgett, P. E. and R. T. Leonard. 1996. Free amino acid levels and the regulation of nitrate uptake in maize cell suspension cultures. J. Exper. Bot. 47: 871-883.
19. Ramanjula, S. and C. Sudhakar. 2001. Alleviation of NaCl salinity stress by calcium is partly related to the increased proline accumulation in mulberry (*Morus alba* L.) callus. J. Plant Biol. 28: 203-206.
20. Raven, J. A. and F. A. Smith. 1976. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intercellular pH regulation. New Phytol. 76: 415-431.
21. Romheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grapevine. J. Plant Nutr. 23: 1629-1643.
22. Roosta, H. R. and J. K. Schjoerring. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. J. Plant Nutr. 30: 1933-1951.
23. Roosta, H. R. and J. K. Schjoerring. 2008. Effects of nitrate and potassium on ammonium toxicity in cucumber plants. J. Plant Nutr. 31: 1270-1283.
24. Roosta, H. R. 2010. Interaction between water alkalinity nd nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf Mg, Fe, Mn and Zn concentrations in lettuce. J. Plant Nutr. 34(5): 717-731.
25. Ruiz, J. M., N. Castilla and L. Romero. 2000. Nitrogen metabolism in pepper plants applied with different bioregulators. J. Agr. Food Chem. 48: 2925-2929.
26. Salazar-Garcia, S. 1999. Iron nutrition and deficiency: A review with emphasis in avocado (*Persea americana* Mill.). Revista Chapingo Serie Horticultur 23: 67-76.
27. Seemann, J. R. and C. Critchley. 1985. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behavior and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species *Phaseolus vulgaris* L. Planta 164: 151-162.
28. Valdez-Aguilar, L. A. 2004. Effect of alkalinity in irrigation water on selected greenhouse crops. Ph.D. Thesis, Texas A&M University, US.
29. Wahome, P. K., H. H. Jesch and I. Grittner. 2001. Mechanisms of salt stress tolerance in two rose root stocks : *Rosa Chinensis* major and *R. rubiginosa*. Sci. Hortic. 87: 207-216.
30. Yang, C. W., H. H. Xu, L. L. Wang, J. Liu, D. C. Shi and D. L. Wang. 2009. Comparative effects of salt-stress and alkali-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants. Photosynthetica 47(1): 79-86.
31. Zhilong, B., I. Tadashi and S. Yutaka. 2003. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of lettuce. Sci. Hort. 99: 215-224.