نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 28، شماره 3، پاییز 1393، ص. 302-295
شاپا: 4730 - 2008

Journal of Horticultural Science
Vol. 28, No. 3, Fall 2014, P. 295-302
ISSN: 2008 - 4730

تأثیر تزریق دی‌اکسیدکربن به محیط ریشه بر رشد و تجمع نیترات در دو رقم کاهوی پیچ و فر (*Lactuca sativa* L. cv. Capitata and Sativa)

محمد رحمن‌پورآذر[1*] - سید جلال طباطبایی[2] - صاحبعلی بلندنظر[3]

تاریخ دریافت: 1390/05/28
تاریخ پذیرش: 1392/08/12

چکیده

نیترات یکی از ترکیبات اساسی برای گیاهان است و سبزی‌ها منبع بسیار مهم نیترات برای انسان هستند. تخمین زده می‌شود که سبزی‌ها 92 درصد نیترات انسان را تأمین کنند. اثرات مثبت و منفی بالا رفتن غلظت دی‌اکسیدکربن (CO_2) محیط ریشه روی رشد و عملکرد گیاهان گزارش شده است. بنابراین برای بررسی تأثیر دی‌اکسیدکربن محیط ریشه روی رشد و میزان تجمع نیترات در کاهو این مطالعه انجام شده است. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح CO_2 (0، 200، 400، 600 میلی‌لیتر در دقیقه) و با پنج تکرار روی دو رقم کاهو به نام کاهوی پیچ سبز کنیا و کاهوی فر قرمز ورسای اجرا شد. این آزمایش در سیستم فلوتینگ اجرا شد که در این آزمایش اکسیژن محیط ریشه توسط پمپ هوا تامین می‌شود. نتایج حاصل از آزمایش نشان می‌دهد که تزریق دی‌اکسیدکربن به محیط ریشه کاهو اثر معنی داری بر وزن تر و وزن خشک برگ، ریشه و ساقه گیاهان تیمار شده نسبت به گیاهان شاهد دارد. با افزایش میزان CO_2 ورودی به محیط ریشه وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه در هر دو رقم افزایش یافت. کارآیی فتوسنتز هر دو رقم پیچ سبز کنیا و فر قرمز ورسای در تیمار400 میلی‌لیتر بر دقیقه دی‌اکسیدکربن محیط ریشه بیشترین مقدار خود را نشان داد. نیترات موجود در برگ‌های دو رقم کاهو تحت تأثیر دی‌اکسیدکربن محیط ریشه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. غلظت نیترات در رقم پیچ سبز در تیمار سوم بیش‌ترین کاهش معادل 27 درصد و رقم فر قرمز در تیمار چهارم بیش‌ترین کاهش معادل47/6 درصد نشان داد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان دی‌اکسیدکربن ورودی به محیط ریشه کاهو میزان فعالیت آنزیم نیترات‌ردکتاز در هر دو رقم پیچ سبز و فر قرمز افزایش یافت که در تیمار 400 میلی‌لیتر بر دقیقه دی‌اکسیدکربن بیش‌ترین مقدار را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: دی‌اکسیدکربن، نیترات، نیترات ردکتاز، کارآیی فتوسنتز، کاهو

مقدمه

کاهو گیاهی علفی و یکساله است که در مرحله رویشی به‌صورت روزت بوده و دارای ساقه‌ای کوتاه می‌باشد. یکی از مهم‌ترین سبزی‌های برگی است که مصرف تازه‌خوری دارد و به‌عنوان سبزی سالادی مصرف می‌شود. این سبزی دارای استعداد تجمع نیترات بالایی است (41). نیترات جزء اصلی و طبیعی مواد گیاهی است. اگرچه نیترات سمی نیست اما ممکن است به نیتریت تغییر شکل دهد و نیتریت می‌تواند با آمین‌ها و آمیدها واکنش داده و تولید ترکیبات نیتروزآمین کند (34 و 40). این مواد خطر سرطان‌های معده، حلق و مثانه را افزایش می‌دهند (8). نیترات یکی از ترکیبات اساسی برای گیاهان است و سبزی‌ها منبع بسیار مهم نیترات برای انسان هستند. تخمین زده می‌شود که سبزی‌ها 92 درصد نیترات انسان را تأمین کنند (2). غلظت نیترات و نیتریت در گیاهان به مشخصات بیولوژیکی ارقام، نوع اندام گیاه، اندازه بوته، شدت نور، ترکیب خاک، دمای هوا، رطوبت، سرعت رشد و بلوغ گیاه، مدت زمان دوره رشد، زمان برداشت و منبع نیتروژن بستگی دارند (41). تجمع نیترات در اثر عدم تعادل بین جذب و انتقال نیترات به وسیله آوندهای چوبی و احیاء نیترات به آمونیوم ایجاد می‌شود، آمونیوم هم به سرعت به آمینواسیدها و دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار تبدیل می‌شود (28). توزیع نامتعادل نیترات و نیترات ردکتاز در سلول‌های گیاهی یکی دیگر از فاکتورهای مهم است که باعث افزایش مقدار نیترات در بافت‌های مختلف سبزی‌ها می‌شود (35).

دی‌اکسیدکربن[4] یکی از گازهای اتمسفر است که غلظت آن در

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشگاه تبریز
(* - نویسنده مسئول: Email: m.rahmnpour@gmail.com)
2 و 3- استاد و استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه تبریز

4 -Carbon dioxide

حدود 0/033 درصد یا 330 پی. پی. ام است. بالا رفتن دی‌اکسیدکربن اتمسفری تأثیر زیادی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان دارد (25). فتوسنتز برگ‌ها با دو برابر شدن غلظت CO_2 موجود80-40 درصد افزایش می‌یابد (25). یافته‌های آزمایشی نشان می‌دهند که بالا رفتن CO_2 اتمسفری ممکن است بازدارندگی نوری را کاهش دهد (22 و 32).

سطوح مختلفی از کربن غیرآلی[1] در سیستم‌های ریشه به کار رفته است و اثر آن در رشد مشخص شده است. گزارش شده است که بالا رفتن CO_2 محیط ریشه رشد گیاه را افزایش می‌دهد. (9، 13، 38). با این وجود، اثرات منفی بالا رفتن CO_2 محیط ریشه به‌ویژه با کمبود اکسیژن (4) در رشد گیاهان گزارش شده است (9). مطابق با نتایج پژوهشگران، اثرات بالا رفتن CO_2 محیط ریشه در رشد گیاهان به محدوده وسیعی از عوامل محیطی شامل، گونه مورد بررسی، pH خاک، عناصر غذایی، تنش غیر زیستی و غلظت CO_2 استفاده شده (11 و 14) و غلظت CO_2 محیط ریشه (4 و 13) بستگی دارد. ویکتور و کرامر (38) گزارش کردند که افزایش قابل ملاحظه ای در تجمع بیوماس گوجه‌فرنگی در پاسخ به افزایش CO_2 در محیط ریشه وجود داشت. در سیستم ایروپونیک، بالا رفتن CO_2 محیط ریشه آسمیلاسیون CO_2 را تحریک می‌کند و این افزایش با بالا رفتن دما بیش‌تر می‌شود. بالا رفتن CO_2 محیط ریشه هم در دمای بالا و هم در دمای پائین باعث کاهش هدایت روزنه‌ای، تعرق و اتلاف آب می‌شود (20). در تمام گیاهان اطلاعات مربوط به توزیع نیتروژن نشان می‌دهد که CO_2 باعث کاهش ورود نیترات به پهنک برگ می‌شود و بالا رفتن CO_2 در محیط ریشه یا در اطراف برگ باعث احیا نیترات می‌شود (29).

مهم‌ترین عوامل موثر در مقدار نیترات سبزی‌ها، سرعت جذب نیترات، فعالیت نیترات ردکتاز و سرعت رشد است که هر کدام از آن‌ها با متابولیسم کربن در ارتباط هستند و متابولیسم کربن هم تحت تأثیر عوامل متعددی مثل نور، دما و سطح دی‌اکسیدکربن قرار دارد (41).

برای کاهش مقدار نیترات در سبزی‌ها محققین اثرات میزان کودهای آلی (24)، نسبت کودهای غیرآلی (23) و مدیریت مزرعه (17) را روی میزان نیترات بافت‌های گیاهی بررسی کرده‌اند. کمک به تأمین کربن برای رشد به وسیله استفاده از کربن غیرآلی و اثراتی که در جذب و آسمیلاسیون نیترات و آمونیوم در کاهو مشخص نشده است. به‌نظر می‌رسد که تأمین CO_2 به عنوان منبع کربوهیدرات می‌تواند در آسمیلاسیون نیترات جذب شده تأثیرگذار باشد. بنابراین این آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر CO_2 محیط ریشه روی غلظت نیترات و رشد گیاه کاهو صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و در گلخانه هایدروپونیک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در تابستان سال 89 انجام شد. گیاه مورد آزمایش دو رقم کاهوی پیچ سبز کنیا و کاهوی فر قرمز ورسای بود. تیمارها شامل 4 سطح CO_2 (0، 200، 400، 600 میلی‌لیتر در دقیقه) و با پنج تکرار برای هر رقم انتخاب شدند. این آزمایش در سیستم فلوتینگ اجرا شد. در این سیستم گیاه با استفاده از یونولیت روی محلول غذایی شناور است و در این آزمایش اکسیژن محیط ریشه توسط پمپ هوا تأمین می‌شود. ابتدا بذور را در گلدان‌های بسیار کوچک و در بستر پشم شیشه به مدت یک هفته خیس کرده تا جوانه بزنند. بعد از آن که گیاه دو برگ حقیقی تشکیل داد گیاهچه‌ها به محیط کشت اصلی آزمایش منتقل گردید 2 هفته بعد از انتقال، تیمارهای CO_2 اعمال شد. برای تزریق CO_2 از کپسول 30 کیلوئی برای تزریق CO_2 به داخل گلدان از دریپر استفاده شد. محلول غذایی استفاده شده محلول هوگلند تغییر یافته (1) که برای تمام تیمارها یکسان انتخاب شدند.

بعد از رشد گیاهان و در مراحل پایانی رشد کاهو (زمان برداشت)، میزان کارآیی فتوسنتز به وسیله دستگاه فلورسنس متر (Hand pea fluorescence chlorphyll meter, Hansatech, UK) در برگ‌های جوان توسعه یافته اندازه‌گیری شد. میزان فعالیت آنزیم نیترات‌ردکتاز هم در برگ و هم در ریشه گیاهان اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم نیترات‌ردکتاز، ابتدا 0/5 گرم از برگ‌ها برداشته و به تکه‌های ریز خرد شدند. 5 میلی لیتر محلول بافر فسفات روی آن‌ها اضافه شد و به مدت 30 دقیقه روی شیکر قرار داده شد. بعد از این مدت نمونه‌ها به مدت 30 دقیقه در تاریکی مطلق قرار داده شدند. نمونه‌ها به مدت 5 دقیقه در حمام آب گرم نگه‌داشته شدند. بعد از این مدت نمونه‌ها در دمای معمولی آزمایشگاه خنک شدند. سپس با کاغذ صافی واتمن عصاره‌گیری شدند و جذب نور عصاره با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 540 نانومتر قرائت شد (1).

وزن تر برگ، ساقه و ریشه جداگانه با استفاده از ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری و سپس به مدت 48 ساعت در آون در دمای 80 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا وزن خشک آن‌ها به دست آید. میزان نیترات برگ‌ها و ساقه و ریشه‌ها هم با استفاده از ماده خشک به دست آمده اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نیترات ابتدا 0/1 گرم ماده خشک گیاهی را توزین کرده و در ارلن مایر ریخته شد. سپس 25 میلی‌لیتر اسیداستیک به آن اضافه گردید. پس از 30 دقیقه شیکر کردن نمونه‌ها با کاغذ صافی عصاره‌گیری شد و غلظت نیترات با استفاده از دستگاه نیتراتسنج قرائت شد (1). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه آماری شده و میانگین‌های حاصل با روش LSD با هم مقایسه شدند. نمودارها در برنامه Excel رسم گردید.

1- Inorganic carbon

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اثر متقابل تزریق دی‌اکسیدکربن به محیط ریشه و رقم کاهو بر وزن تر و وزن خشک برگ گیاهان تیمار شده معنی‌دار نبود اما بر وزن تر و خشک ساقه و ریشه معنی‌دار بود (جدول 1). با افزایش میزان CO_2 ورودی به محیط ریشه وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه در هر دو رقم افزایش یافت. در رقم فر قرمز بیش‌ترین میزان وزن تر در تیمار 600 میلی‌لیتر بر دقیقه دی‌اکسیدکربن دیده شد درحالی‌که در رقم پیچ سبز اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای 400 و 600 میلی‌لیتر بر دقیقه دی-اکسیدکربن دیده نشد. هم‌چنین وزن تر ریشه در رقم سبز 84 درصد و در رقم قرمز 100 درصد افزایش یافت که نشان‌دهنده پاسخ مثبت رقم فر قرمز به افزایش میزان دی‌اکسیدکربن ریشه است (جدول 2).

دی‌اکسیدکربن محیط ریشه باعث کاهش نسبت ساقه به ریشه شده‌است.

هی و همکاران (21) گزارش کردند که بالا رفتن میزان CO_2 ریشه در کاهو، شاخص سطح برگ، میزان تعداد برگ و ریشه را افزایش می‌دهد. افزودن کربن به ریشه می‌تواند نسبت ریشه به ساقه را با بالا رفتن CO_2 افزایش دهد که این می‌تواند به‌علت تغییرات مورفولوژیکی ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی، طول ریشه و سطح ریشه باشد (33). افزایش در میزان CO_2 محیط ریشه باعث افزایش طول ریشه در گیاهان سویا شد (4). یک سیستم ریشه‌ای قوی تحت شرایط بالا رفتن CO_2 می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای توانایی جذب عناصر غذایی را بهبود بخشد.

جدول 1- تجزیه واریانس وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه در کاهو

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر برگ	وزن تر ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه
غلظت CO_2	3	10784/70**	221/20**	1211/20**	30/18**	0/66**	2/31**
رقم	1	166753/12**	84/50**	761/12**	76/57**	0/21*	0/75**
غلظت CO_2 x رقم	3	22/70^{ns}	67/91**	35/54*	0/85^{ns}	0/17*	0/15*
خطا	24	177/02	7/45	9/93	1/72	0//03	0/03
ضریب تغییرات	-	4/66	11/06	7/86	10/22	15/81	0/11

**،* و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 1 و 5 درصد و عدم معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD

جدول 2- تأثیر غلظت CO_2 محیط ریشه و رقم روی خصوصیات رویشی در کاهو

رقم	میزان CO_2 (میلی‌لیتر بر دقیقه)	وزن تر برگ (گرم)	وزن تر ساقه (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
پیچ سبز	0	316/75^{b}	20/50^{d}	26/75^{d}	11/70^{b}	1/02^{cd}	1/26^{e}
	200	336/75^{b}	21/50^{cd}	26/50^{d}	13/40^{b}	1/05^{b}	1/36^{cd}
	400	384/75^{a}	25/00^{c}	37/50^{c}	16/20^{a}	1/35^{bc}	1/625^{d}
	600	392/25^{a}	25/25^{c}	48/75^{b}	16/25^{a}	1/30^{bc}	2/15^{b}
فر قرمز	0	173/50^{d}	18/00^{d}	31/25^{d}	9/30^{c}	0/93^{d}	1/315^{e}
	200	191/50^{c}	21/00^{cd}	36/75^{c}	10/60^{c}	1/095^{cd}	1/56^{cd}
	400	236/25^{b}	30/00^{b}	50/25^{b}	12/275^{b}	1/46^{b}	1/90^{c}
	600	251/75^{a}	35/00^{a}	62/75^{a}	13/00^{a}	1/89^{a}	2/87^{a}

جدول 3-معنی‌دار بودن تأثیر غلظت CO_2 محیط ریشه و رقم بر خصوصیات رویشی کاهو

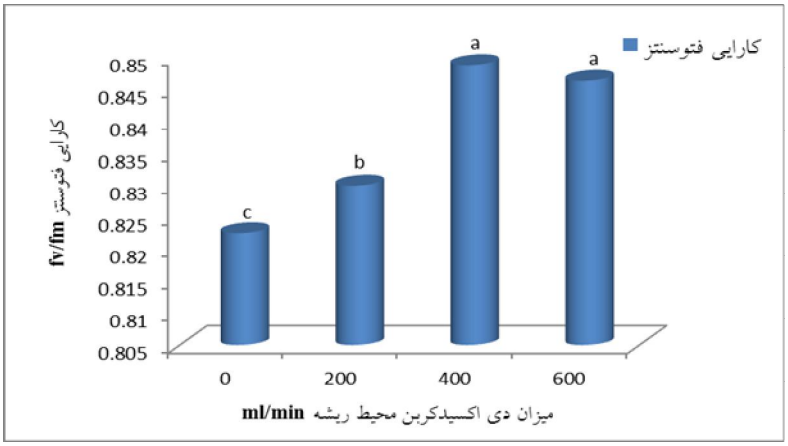
	تیمار					
میزان CO_2	**	**	**	**	**	**
رقم	**	**	**	**	*	**
رقم^{x}تیمار	Ns	**	*	ns	*	*

**معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد *معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد و ns غیر معنی‌دار

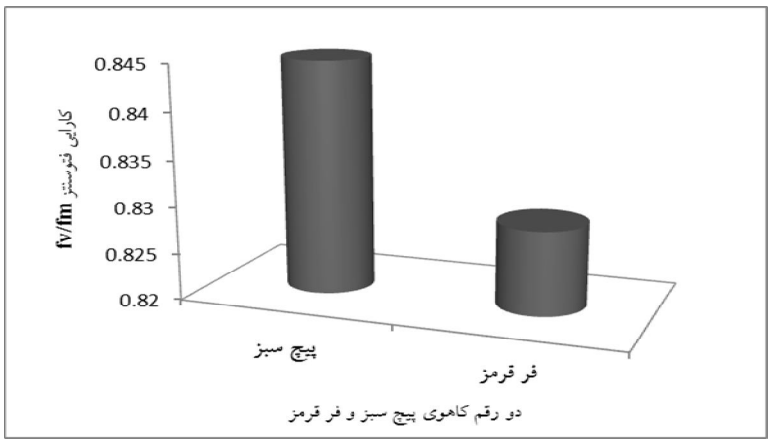
میزان کارآیی فتوسنتز در گیاهان تیمار شده با دی‌اکسیدکربن محیط ریشه دارای اختلاف معنی‌داری در مقایسه با گیاهان شاهد بودند (شکل 1). اثر متقابل تیمار و رقم بر کارآیی فتوسنتز معنی‌دار نشد. در رقم پیچ سبز اختلاف معنی‌داری بین هر چهار تیمار دیده شد درحالی‌که در رقم فر قرمز بین تیمار 400 و 600 میلی‌لیتر بر دقیقه دی‌اکسیدکربن محیط ریشه اختلاف معنی‌داری در میزان کارآیی فتوسنتز آن‌ها مشاهده نشد. کارآیی فتوسنتز هر دو رقم پیچ سبز کنیا و فر قرمز ورسای در تیمار400 میلی‌لیتر دی‌اکسیدکربن محیط ریشه بیش‌ترین مقدار خود را نشان داد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که رقم پیچ سبز بیش‌تر تحت تأثیر CO_2 محیط ریشه قرار گرفته است به‌طوری‌که کارآیی فتوسنتز این رقم در مقایسه با رقم فر قرمز افزایش بیش‌تری را نشان می‌دهد (شکل 2). به نظر می‌رسد که دی‌اکسیدکربن محیط ریشه بتواند کاهش دی‌اکسیدکربن موجود در هوا را که به دلایل مختلف مثل گرمای شدید و یا شدت نور زیاد ایجاد می‌شود، که در این مواقع معمولاً روزنه‌ها بسته می‌شوند را جبران کند (21). با استفاده از سیستم رشد ایروپونیک برای پرورش کاهو در گلخانه، یافته‌ها نشان می‌دهد که بالا رفتن دی‌اکسیدکربن محیط ریشه می‌تواند رکود فتوسنتز در هنگام ظهر را کم کند. درنتیجه از کاهش فتوسنتز جلوگیری می‌نماید (21).

بنابراین علاوه بر تیمار دی‌اکسیدکربن، رقم نیز روی میزان نیترات تأثیرگذار بود و اثر متقابل این دو باعث کاهش میزان نیترات موجود در برگ گیاهان تیمار شده می‌شود.

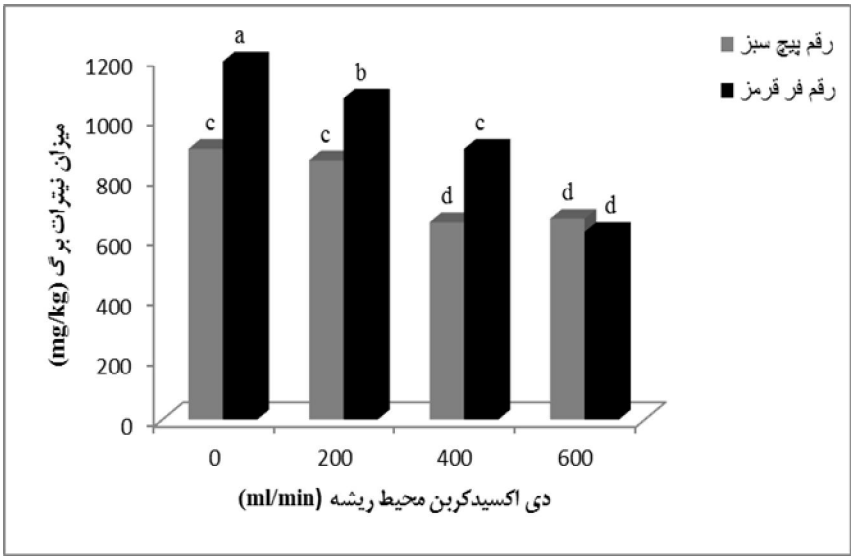
اثر متقابل دی‌اکسیدکربن محیط ریشه و رقم بر نیترات ریشه معنی‌دار نشد. نیترات در ریشه گیاهان تیمار شده تحت تأثیر دی‌اکسیدکربن نسبت به گیاهان شاهد افزایش قابل ملاحظه‌ای یافت. با توجه به نتایج به‌دست آمده کم‌ترین مقدار نیترات در گیاهان شاهد مشاهده شد (شکل 5) و با افزایش در میزان دی‌اکسیدکربن، نیترات برگ‌ها کاهش یافته و بر غلظت نیترات در ریشه افزوده می‌شود.



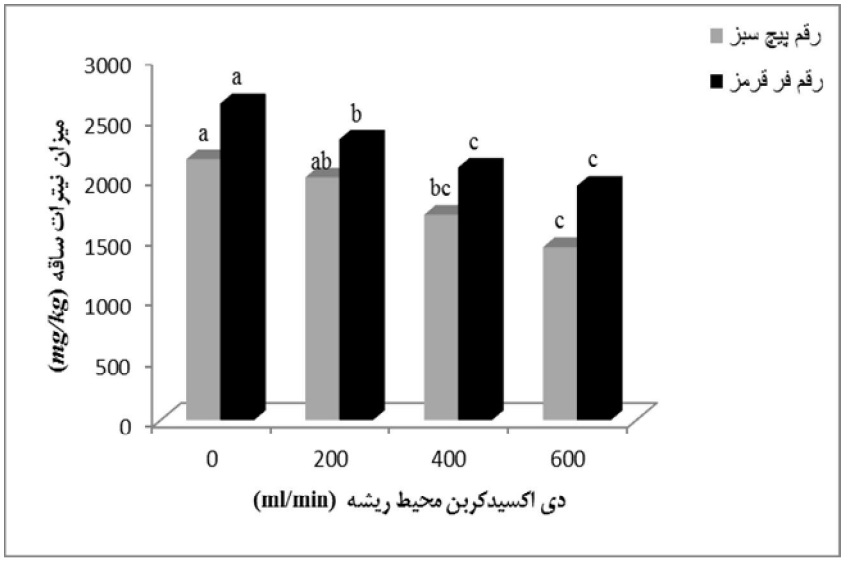
شکل 1- اثر دی‌اکسیدکربن محیط ریشه بر کارآیی فتوسنتز در دو رقم کاهوی پیچ سبز و فر قرمز



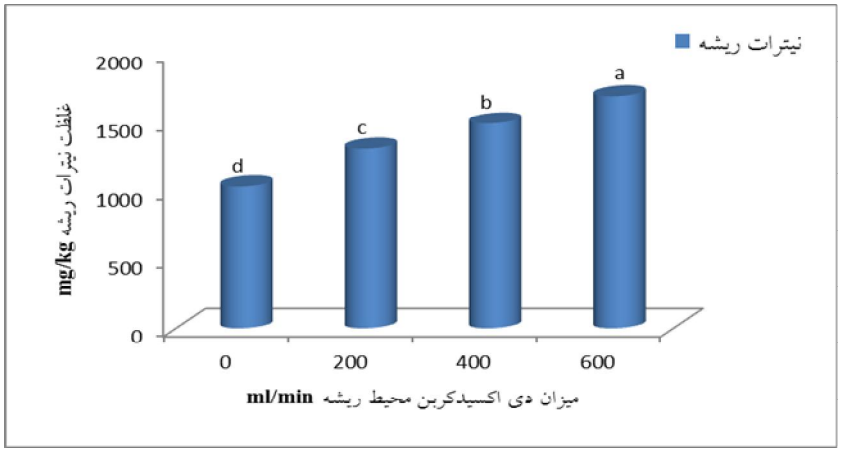
شکل 2-تأثیر رقم بر کارآیی فتوسنتز در دو رقم کاهوی پیچ سبز و فر قرمز



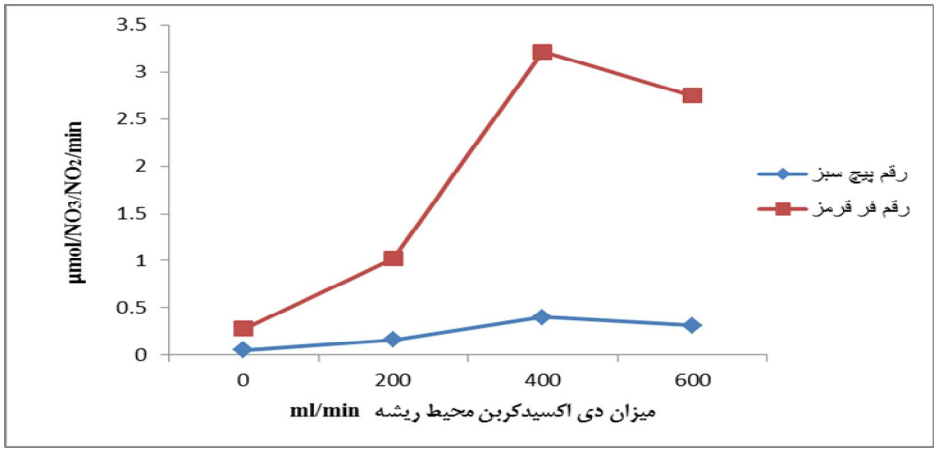
شکل 3- اثر متقابل دی‌اکسیدکربن محیط ریشه و رقم بر غلظت نیترات موجود در برگ کاهو



شکل 4- اثر متقابل دی‌اکسیدکربن محیط ریشه و رقم بر غلظت نیترات موجود در ساقه کاهو



شکل 5- اثر دی‌اکسیدکربن محیط ریشه بر غلظت نیترات موجود در ریشه دو رقم کاهوی پیچ سبز و فر قرمز



شکل 6- تأثیر دی‌اکسیدکربن محیط ریشه بر میزان فعالیت نیترات ردکتاز در برگ دو رقم کاهوی پیچ سبز و فر قرمز

ریشه‌ها به‌عنوان مهم‌ترین اندام در جذب آب و مواد غذایی نقش مهمی را در تنظیم جذب به‌ویژه نیتروژن، برای رفع نیازهای اندام هوایی که به‌وسیله تغییرات محیطی ایجاد می‌شود، بازی می‌کنند (3). تجمع نیترات در اندام‌های هوایی گیاهان نگران‌کننده است و در بیش‌تر محصولات به‌عنوان یک مشکل شناخته می‌شود (6). اگرچه اکثر گیاهان عالی استعداد احیا نیترات را هم در ریشه و هم در برگ دارند (27) اما احیا نیترات به‌طور موثری در برگ‌ها بیش‌تر از ریشه انجام می‌شود زیرا قابلیت دسترسی به عامل احیاکننده در برگ‌ها بیش‌تر است و هم‌چنین انرژی لازم به‌وسیله فتوسنتز تأمین می‌شود (30).

بیش از 50 درصد نیتروژن برگ به سیستم فتوسنتزی وابسته است (17). در گونه‌های مختلف روابط نزدیکی بین ظرفیت فتوسنتزی و مقدار نیتروژن برگ وجود دارد (31). زمانی‌که گیاه ذرت در برابر سطوح بالایی از CO_2 و نور قرار داشت غلظت مالات افزایش یافت و غلظت نیترات برگی کاهش یافت (29). با توجه به نتایج به‌دست آمده افزایش دی‌اکسیدکربن محیط ریشه به‌عنوان منبع کربن باعث افزایش میزان فتوسنتز و آسمیلاسیون CO_2 فتوسنتزی می‌شود و می‌تواند در غلظت نیترات برگ تأثیرگذار باشد. هم‌چنان که نتایج آزمایش ارتباط معکوسی بین میزان فتوسنتز و میزان نیترات موجود در برگ را نشان می‌دهد (شکل 1 و 3).

از عوامل دیگری که میزان نیترات اندام‌های گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، فعالیت آنزیم نیترات‌ردکتاز است. در این آزمایش تأثیر دی‌اکسیدکربن محیط ریشه بر روی میزان فعالیت نیترات ردکتاز نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان دی‌اکسیدکربن ورودی به محیط ریشه کاهو میزان فعالیت آنزیم در هر دو رقم پیچ سبز و فر قرمز افزایش یافت که در تیمار 400 میلی‌لیتر بردقیقه دی اکسیدکربن بیش‌ترین میزان فعالیت را نشان داد (شکل 6). از آن‌جایی‌که نیترات‌ردکتاز در آسمیلاسیون نیترات مهم است (5 و 7) و نیترات ردکتاز یک آنزیم تحریک‌کننده است. بنابراین ارتباط نزدیکی بین فعالیت این آنزیم و مقدار نیترات در گیاهان وجود دارد (36).

نیترات‌ردکتاز باعث احیا نیترات به آمینواسیدها و دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار می‌شود. با افزایش میزان فعالیت آن از تجمع نیترات کاسته خواهد شد. فعالیت نیترات ردکتاز تحت تأثیر دما، شدت نور و نوع رقم گیاه قرار دارد به‌طوری‌که این آنزیم با افزایش دما و شدت نور تحریک می‌شود. با افزایش تیمار دی‌اکسیدکربن تا 400 میلی‌لیتر بر دقیقه دی‌اکسیدکربن افزایش فعالیت آنزیم نیترات‌ردکتاز دیده می‌شود و بعد از آن در تیمار 600 میلی‌لیتر بر دقیقه دی‌اکسیدکربن روند کاهشی داشته است. این نشان می‌دهد که دی‌اکسیدکربن محیط ریشه تا یک غلظت مشخص (400 میلی‌لیتر بردقیقه دی اکسیدکربن محیط ریشه) می‌تواند باعث تحریک فعالیت آنزیم نیترات‌ردکتاز شود.

اسکلت‌های کربنی لازم برای نیترات‌سازی و جذب نیتروژن توسط ریشه‌ها به‌وسیله دی‌اکسیدکربن تأمین می‌شود. تأمین دی‌اکسیدکربن از طریق ریشه با توجه به نقش مهم کربن در تولید انرژی برای ریشه‌ها می‌تواند نقش موثرتری نسبت به دی‌اکسیدکربن هوا که از طریق برگ‌ها جذب می‌شود، ایفا نماید. جدا از اثرات افزایش غلظت CO_2 محیط ریشه روی pH خاک، نیترات‌سازی و نیتروژن قابل دسترس (18) اثرات فیزیولوژیکی پیچیده‌ای دارد، که شامل افزایش آسمیلاسیون کربن غیرآلی محلول[1] در ریشه (18)، تأثیر کربن غیرآلی محلول روی جذب نیترات (12)، کاهش در تنفس ریشه (37)، تغییر میزان فتوسنتز (11)، تغییر در فعالیت‌های بسیاری از آنزیم‌های متابولیسم نیتروژن و کربن (11) و تغییر در تفکیک کربن و نیتروژن برای سنتز اسیدهای آلی و آمینواسیدها (10) می باشد. هم‌چنان‌که نتایج حاصل از آزمایش نشان می‌دهد، دی‌اکسیدکربن محیط ریشه بر رشد و غلظت نیترات موجود در برگ هر دو رقم کاهوی پیچ سبز و فر قرمز تأثیرگذار بود و میزان رشد این گیاهان را نیز افزایش داد.

1-Dissolved Inorganic Crabon (DIC)

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که دی‌اکسیدکربن محیط ریشه بر تأثیر بیش‌تری برکاهوی فر قرمز ورسای در مقایسه با کاهوی پیچ سبز کنیا دارد، به‌طوری‌که CO_2 محیط ریشه به‌طور موثری باعث افزایش در میزان رشد، کاهش غلظت نیترات موجود در برگ، افزایش فعالیت آنزیم نیترات‌ردکتاز و افزایش کارآیی فتوسنتز در رقم فر قرمز ورسای نسبت به رقم پیچ سبز شد. هم‌چنین بهترین غلظت دی‌اکسیدکربن محیط ریشه 400 میلی‌لیتر بر دقیقه برای کاهو با توجه به نتایج به دست آمده است.

منابع

1- طباطبائی س. ج. 1388. اصول تغذیه معدنی گیاهان (تالیف). انتشارات مولف. تبریز، ایران.

2- Belitz H.D., and Grosch W. 1999. Food Chemistry, 2nd ed. Berlin: Springer.

3- Bassirirad H. 2000. Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change. New Phytologist, 147: 155–169.

4- Boru G., Vantoai T., Alves J., Hua D., and Knee M. 2003. Responses of soybean to oxygen deficiency and elevated root-zone carbon dioxide concentration. Annales Botanici, 91: 447–453.

5- Bussi C., Gojon A., and Passama L. 1997. *In situ* nitrate reductase activity in leaves of adult peach trees, J. HortScience, 72: 347–353.

6- Cárdenas-Navarro R., Adamowicz S., and Robin P. 1999. Nitrate accumulation in plants: a role for water, J. Experimental Botanic, 50: 613–624.

7- Caba J.M., Lluch C., and Ligero F. 1995. Distribution of nitrate reductase activity in *Vicia faba*: effect of nitrate and plant genotype. Physiolgical Plant, 93: 667–672.

8- Choi S.Y., Chung M.J., Lee S.J., Shin J.H., and Sung N.J. 2007. N-nitrosamine inhibition by strawberry, garlic, kale, and the effects of nitrite-scavenging and N-nitrosamine formation by functional compounds in strawberry and garlic. Food Control, 18: 485–491.

9- Cramer M. 2002. Inorganic carbon utilization by root systems. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (Eds.), Plant Roots The Hidden Half, third ed. Marcel Dekker Inc., New York, USA, pp. 699–715.

10- Cramer M.D, Lewis O.A.M, Lips S.H. 1993. Inorganic carbon dioxide fixation and metabolism in maize roots as affected by nitrate and ammonium nutrition. Physiologia Plantarum, 89: 632–639.

11- Cramer M.D. and Richards M.D. 1999. The effect of rhizospher dissolved inorganic carbon on gas exchange characteristics and growth rates of tomato seedlings. Journal of Experimental Botany, 50: 79-87.

12- Cramer M.D., Savidov N.A., Lips S.H. 1996. The influence of enriched rhizosphere CO_2 on N uptake and metabolism in wild-type and NR deficient barley plants. Physiologia Plantarum, 97: 47–54.

13- Cramer M.D., Shane M.W., and Lambers H. 2005. Physiological changes in white lupin associated with variation in root-zone CO_2 concentration and clusterroot P mobilization. Plant Cell Environment, 28: 1203–1217.

14- Cramer M.D., and Titus C.H.A. 2001. Elevated root zone dissolved inorganic carbon can ameliorate aluminium toxicity in tomato seedlings. New Phytologist, 152: 29–39.

15- Curtis P.S., and Wang X. 1998. A meta-analysis of elevated CO_2 effects on woody plant mass, form, and physiology. Oecologia, 113: 299–313.

16- Enoch H.Z., and Olesen J.M. 1993. Plant response to irrigation with water enriched with carbon dioxide. New phytologist, 125: 249-258.

17- Evans J.R. 1989. Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiances. Australian Journal of Plant Physiology, 16: 533–548.

18- Feller C. and Fink M. 2004. Nitrate content, soluble soild contend, and yield of table beet as affected by cultivar, sowing data and nitrogen supply. Hortscience, 39: 1255-1259.

19- Fytianos K., and Zarogiannis P. 1999. Nitrate and nitrite accumulation in fresh vegetables from Greece. Bulletin of Environment Contamination and Toxicology, 62, 187–192.

20- He J., Austin P.T., and Nickols M.A. 2004. Effect of root-zone CO_2 on productivity and photosynthesis in aeroponically grown lettuce plants. Acta Hortscience, 648: 39-45.

21- He J., Austin T., Nickols M.A., and Lee S.K. 2007. Elevate root-zone CO_2 protects lettuce plant from midday depression of photosynthesis. Journal of Botany, 61: 94-101.

22- Hymus G.J., Ellsworth D.S., Baker N.R. and Long SP. 1999. Does free-air carbon dioxide enrichment affect photochemical energy use by evergreen trees in different seasons? A chlorophyll fluorescence study of mature loblolly pine. Plant Physiology, 120: 1183–1191.

23- Inal A. and Tarakcioglu C. 2001. Effects of nitrogen forms on growth, nitrate accumulation, membrane permeability, and nitrogen use efficiency of hydroponically grown bunch onion under boron deficiency and

toxicity. Journal of Plant nutrition. 24: 1521-1534.
24- Kotsiras A., Olympios C.M., Drosopoulos J. and Passam H.C. 2002. Effects of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruits. Science Hortic, 95: 175-183.
25- LaDeau S.L. and Clark J.S. 2001. Rising CO2 levels and the fecundity of forest trees. Science. 292: 95–98.
26- Laslo C., Preda N. and Bara V. 2000. Relations between the administration of some nitrate fertilisers and the incidence of nitrates and nitrites in the fond products. The University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca, 28: 1–6.
27- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, London. pp. 229–312.
28- Maynard D.N., Barker A.V., Minotti P.L. and Peck N.H. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. Advances in Agronomy, 28: 71-118.
29- Neyra C.A. and Hageman R.H. 1976. Relationships between carbon dioxide, malate and nitrate accumulation and reduction in corn (*Zea mays* L.) seelings. Plant Physiology, 58: 726-730.
30- Oaks A. 1994. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation, Can. J. Botany. 72: 739–750.
31- Reich P.B., Walters M.B., Ellsworth D.S. and Uhl C. 1994. Photosynthesis6nitrogen relations in Amazonian tree species: I. Patterns among species and communities. Oecologia 97: 62–72.
32- Roden J.S., Egerton J.J.G. and Ball M.C. 1999. Effect of elevated [CO_2] on photosynthesis and growth of snow gum (*Eucalyptus pauciflora*) seedlings during winter and spring. Aust. Journal of Plant Physiology, 26: 37–46.
33- Rogers G. S., Milham P. J., Thibaud M. C., and Conroy J. P. 1996. Interactions between rising CO_2 concentration and nitrogen supply in cotton. I. Growth and leaf nitrogen concentration. Aust. Journal of Plant Physiology, 23(2): 119–125.
34- Santamaria P. 2006. Nitrate in vegetables: Toxicity, content, intake and EC regulation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86: 10–17.
35- Shao-Ting D., Yang-Song Z.H. and Xian-Yong L. 2007. Accumulation of nitrate in vegetables and its possible implications to human health. Agricultur Science, 6(10): 1246-1255.
36- Skrdleta V., Gaudinova A. and Nemcova M. 1979. Relationships between nitrate level, nitrate reductase activity and anaerobic nitrite production in *Pisum sativum* leaf tissue. Biologlogical Plant, 21: 307–310.
37- Van der Boon J., Steenhuizen J.W., and Steingröver E.G. 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH4/NO3 ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. Journal of Hortic Science, 65: 309–321.
38- Viktor A. and Cramer M.D. 2003. Variation in root zone CO_2 concerntration modifies isotopic fractionation of camon and nitrogenin tomato seedlings. New Phytologist. 157: 45-54.
39- Walker R. 1990. Nitrates and N-nitroso compounds: A review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications. Food Additives and Contaminants, 7: 717–768.
40- Yordanov N.D., Novakova E. and Lubenova S. 2001. Consecutive estimation of nitrate and nitrite ions in vegetables and fruits by electron paramagnetic resonance spectrometry. Analytica Chimica Acta, 437: 131–138.
41- Yu C.Y., Du S.T., Xing C.H., Lin X.Y. and Zhang Y.S. 2006. Effects of CO_2 concentration on the growth and nutrient uptake of tomato seedlings. J. of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 32: 307-3 12.