تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۴، مهر و آبان ۱۳۹۷ (ص ۷۷۹-۷۶۷) DOI: 10.22059/ijswr.2017.237231.667716

تأثیر غلظت دی‌اکسید کربن و فراهمی نیتروژن خاک بر شاخص‌های رشد و فیزیولوژیکی گندم

حسین میرسید حسینی [1*]، ارژنگ فتحی گردلیدانی [2]، منصور کوهستانی [3]، محمدرضا بی‌همتا [4]

۱. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۲۸/ ۷/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۱/ ۹/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۱۱/ ۹/ ۱۳۹۶)

چکیده

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و بهبود شرایط تغذیه‌ای ناشی از مصرف کود نیتروژنی معمولاً سبب افزایش فتوسنتز و رشد گیاهان می‌گردد. پژوهش حاضر باهدف بررسی اثر CO_2 و نیتروژن بر ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی گندم رقم چمران به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی شامل فاکتور بافت خاک (لوم رسی شنی و لوم شنی) و فاکتور نیتروژن (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، در چهار تکرار و در دو سطح CO_2 (۴۰۰ و ۸۵۰ پی‌پی‌ام) انجام شد. نتایج نشان داد همه ویژگی‌های رویشی گیاه (به‌جز وزن خشک ریشه) در خاک لوم رسی شنی بیش‌تر از لوم - شنی بود. افزایش مقدار نیتروژن خاک سبب افزایش ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گندم شد. با افزایش غلظت CO_2 شاخص‌های رویشی شامل ارتفاع، وزن تر و خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه و سطح برگ و همچنین محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در شرایط مصرف نیتروژن در هر دو سطح با افزایش غلظت CO_2 شاخص‌های رویشی گیاه به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. به‌عبارت‌دیگر، افزایش مقدار نیتروژن خاک منجر به تشدید اثر افزایش غلظت CO_2 گردید. بنابراین درصورتی‌که محدودیتی از نظر تأمین عناصر غذایی ضروری گیاه به خصوص نیتروژن وجود نداشته باشد، در شرایط افزایش غلظت CO_2 رشد و عملکرد گیاه گندم افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، تغییر اقلیم، دی‌اکسید کربن، شاخص‌های رشد، گندم.

مقدمه

امروزه تغییر اقلیم جهانی و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن جو (CO_2) به‌عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای به‌عنوان یک چالش زیست‌محیطی مهم مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Madhu and Hatfield, 2013). رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های صنعتی در دو قرن اخیر همراه با مصرف سوخت‌های فسیلی در مقیاس گسترده، جنگل‌زدایی در مناطق گرمسیری، سوزاندن بقایای گیاهی، فعالیت‌های شیمیایی و کشاورزی سبب افزایش قابل‌توجهی در غلظت CO_2 جو شده است (Solomon *et al.*, 2007). بررسی‌های اقلیمی گویای این است که غلظت CO_2 در سال ۲۰۱۴ نسبت به قرن گذشته حدود ۴۰ درصد افزایش یافته است و انتظار می‌رود که غلظت جهانی این گاز از حدود ۴۰۰ پی‌پی‌ام در سال ۲۰۱۵ به ۵۵۰ پی‌پی‌ام در سال ۲۰۵۰ افزایش یابد (Houshmandfar *et al.*, 2015).

افزایش غلظت CO_2 هم به‌طور مستقیم از طریق فتوسنتز و هم به‌طور غیرمستقیم از طریق اثر بر میانگین دما، تغییر الگوی بارش و فرآیندهای جوی رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای بسیاری از گیاهان، افزایش فتوسنتز واکنش بنیادی و اساسی به افزایش غلظت CO_2 است که تمام جنبه‌های دیگر مانند رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Li *et al.*, 2015). به‌طورکلی گیاهان به افزایش غلظت CO_2 با افزایش شدت فتوسنتز، افزایش میزان تولید ماده خشک، کارآیی مصرف آب و عناصر غذایی پاسخ می‌دهند (Li *et al.*, 2014).

آخرین شواهد از مطالعات مربوط به افزایش غلظت CO_2 نشان می‌دهند که غنی‌سازی CO_2 اثر مستقیمی بر فتوسنتز گیاهان چهار کربنه (C4) ندارد (Hao *et al.*, 2010; Duarte *et al.* 2014). با این‌حال، شرایط رشد این گیاهان تحت تأثیر تنش‌هایی مانند خشکی، شوری یا دمایی با افزایش غلظت CO_2 بهبود یافت (Leakey, 2009; Hao *et al.*, 2016). اما گونه‌های گیاهی سه کربنه (C3) در مقایسه با گیاهان C4، بیش‌تر تحت

* نویسنده مسئول: mirseyed@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

تأثیر افزایش غلظت CO_2 قرار می‌گیرند، بنابراین ظرفیت فتوسنتزی گیاهان C3 می‌تواند تا حد زیادی تحت تأثیر افزایش غلظت CO_2 افزایش یابد. در پژوهشی مشاهده گردید که با افزایش غلظت CO_2 از ۵۰۰ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام، عملکرد گندم (C3)، حدود ۳۱ درصد افزایش یافت، در حالی که این افزایش غلظت بر روی سورگوم (C4) مشاهده نگردید.

افزایش غلظت CO_2، فرآیند فتوسنتز و به‌تبع آن رشد گونه‌های گیاهی C3 مانند گندم، پنبه و سویا را عمدتاً از طریق بهبود کارایی مصرف آب و عناصر غذایی و همچنین افزایش سطح برگ و میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ افزایش می‌دهد، درحالی‌که در گیاهان C4 مانند ذرت و سورگوم، افزایش رشد ناشی از غلظت‌های بالای CO_2 نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای و به‌تبع آن کاهش شدت تعرق و درنتیجه افزایش کارایی مصرف آب است (Leakey, 2009; Weigel and Manderscheid 2012).

بهبود کارایی مصرف آب در گیاهان درنتیجه کاهش شدت تعرق، به‌طور عمده به دلیل بسته شدن روزنه‌های گیاه و یا کاهش تعداد روزنه‌ها در واحد سطح برگ است. به‌نحوی‌که محدودیت حاصل‌شده برای خروج بخار آب به‌مراتب بیشتر از محدودیت ایجاد شده برای فتوسنتز است. در اغلب گیاهان افزایش غلظت CO_2 موجب کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصدی هدایت روزنه‌ای و ۲۰ تا ۲۷ درصدی شدت تعرق می‌شود (Kimball *et al.*, 2002). به‌طورکلی پاسخ روزنه‌ها به تغییرات محیطی و هدایت روزنه‌ای آن‌ها به صفاتی مانند قطر روزنه، تراکم روزنه، شاخص روزنه، اندازه سلول‌های محافظ روزنه، منافذ روزنه و سطح برگ مرتبط است. در میان این صفات، تراکم روزنه از مهم‌ترین پارامترهای اکو فیزیولوژیکی است که بر تبادلات گازی بین گیاه و جو مؤثر می‌باشد (Uprety *et al.*, 2002). در پژوهشی مشخص گردید که با افزایش غلظت CO_2 تا ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام و نسبت دمای روزانه به شبانه ۲۸/۱۸ درجه سلسیوس، تراکم روزنه‌ها و تراکم سلول‌های اپیدرمی در گل رز (*Rosa hybrid*) به ترتیب ۶۸/۷ و ۳۷/۳ درصد افزایش یافت (Pandey *et al.*, 2007).

در سال‌های اخیر، چالش اصلی برای تولید محصولات کشاورزی امنیت غذایی است بنابراین نیاز به حفظ سامانه‌های کشاورزی برای تولید غذای بیش‌تر در اولویت است و باید به‌طور همزمان با تغییرات اقلیمی مدیریت مزرعه نیز تطبیق پیدا کنند. تغییر اقلیم و کشاورزی هر دو از موضوعات مهم در مقیاس جهانی محسوب می‌شوند. تغییر آب‌وهوا اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر روی کشاورزی دارد. به‌طورکلی انتظار می‌رود که عملکرد دانه در محصولات زراعی مانند گندم برای ۱۰۰ سال آینده به دلیل افزایش غلظت CO_2 افزایش یابد. با توجه به مسئله تغییر اقلیم و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه CO_2 و نیز افزایش روزافزون جمعیت جهان و نیاز به تأمین غذای بشر، اهمیت تحقیقات در این زمینه مشهود است. چراکه از سویی، در صورت ادامه روند افزایشی CO_2، سامانه‌های زراعی نیز دستخوش تغییر می‌گردند، از سویی دیگر، درصورتی‌که CO_2 اثر مثبت و قابل‌توجهی بر تولید محصول و جذب عناصر غذایی داشته باشد، ممکن است بتوان از این اثرات در جهت کاهش نهاده‌های کشاورزی مانند کودهای شیمیایی استفاده کرد. این پژوهش به‌منظور ارزیابی اثر افزایش غلظت CO_2 بر شاخص‌های رشد و فیزیولوژیکی گیاه گندم در شرایط کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژنی انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در این آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری منطقه اخترآباد واقع در شهرستان شهریار تهیه شد. پس‌از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، ابتدا هوا خشک و سپس به‌منظور کشت گلدانی و تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی به ترتیب از الک چهار و دو میلی‌متر عبور داده شدند. در این آزمایش دو نوع خاک متفاوت ازلحاظ بافت (لوم رسی شنی و لوم شنی) مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور تغییر بافت خاک اولیه (لوم رسی شنی) به هر گلدان به مقدار لازم شن بر اساس محاسبات انجام‌گرفته، اضافه گردید. لازم به ذکر است که شن مورد استفاده از خاک نمونه‌برداری شده تهیه گردید. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌ها از قبیل بافت به روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتر فشاری، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور، ماده آلی بر اساس روش والکلی و بلک، نیتروژن کل با روش کجلدال، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن، پتاسیم قابل‌جذب به روش عصاره-گیری با استات آمونیوم و غلظت آهن، مس، روی و منگنز قابل‌جذب به روش عصاره گیری با DTPA اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

در این آزمایش از گیاه گندم رقم بهاره چمران استفاده گردید. بذر گندم از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه و قبل از کشت، بذرها ضدعفونی شدند. برای این کار بذرها ابتدا به مدت ۱۰ ثانیه در اتانول غوطه‌ور شده، سپس به مدت ۱/۵

Archive of SID

www.SID.ir

دقیقه در هیپوکلریت سدیم قرارگرفته و درنهایت چندین بار با آب مقطر شسته شدند و در ظروف پتری و روی کاغذ صافی مرطوب قرار گرفتند. سپس به‌منظور جوانه‌دار شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۸ درجه سلسیوس در انکوباتور قرار داده شدند. پس از جوانه‌دار شدن، تعداد ۱۰ جوانه که ازنظر ظاهری کاملاً مشابه بودند، درون گلدان‌های پلاستیکی با ظرفیت حدود سه کیلوگرم (قطر دهانه ۱۵، قطر کف ۱۳ و ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر) کاشته شدند.

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی شامل فاکتور خاک در دو سطح (لوم رسی شنی و لوم شنی) و فاکتور نیتروژن در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع کود اوره)، در چهار تکرار و در دو سطح CO_2 (۴۰۰ و ۸۵۰ پی‌پی‌ام) انجام شد. جمعاً در هر آزمایش ۲۴ و در کل آزمایش ۴۸ گلدان استفاده گردید.

عملیات کشت در اتاقک‌های رشد گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران اجرا شد. فاکتورهای رشد شامل نور، دما و رطوبت در دو اتاقک رشد به‌طورکلی یکسان بوده و تنظیم آن‌ها به‌طور خودکار برنامه‌ریزی شد. غلظت CO_2 دریکی از اتاقک‌ها ۵۰ ± ۴۰۰ پی‌پی‌ام (به‌عنوان غلظت طبیعی و شاهد) و در دیگری ۵۰ ± ۸۵۰ پی‌پی‌ام (به‌عنوان غلظت افزایش‌یافته CO_2) تنظیم شد. ورود CO_2 به درون اتاقک دوم با سیلندر تعبیه‌شده در کنار اتاقک و تنظیم آن به‌طور خودکار و توسط حسگر صورت گرفت. برای اطمینان، دما و غلظت CO_2 چندین بار در طی روز تحت اندازه‌گیری بود.

فاکتور نیتروژن شامل سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و از منبع کود اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن خالص) بود. کود نیتروژنی پس از اینکه به‌صورت کامل نرم و آسیاب شد، به خاک گلدان‌ها اضافه گردید. مصرف کود به‌صورت تقسیط انجام شد، به‌نحوی‌که ۵۰ درصد کود اوره قبل از کشت و مابقی حدود دو هفته پس از کشت (همراه آب آبیاری) به خاک گلدان‌ها اضافه گردید. کمبود برخی از عناصر غذایی در هر دو خاک مورد آزمایش وجود داشت که برای تأمین و همچنین جلوگیری از کمبود احتمالی عناصر غذایی (به علت بالا بودن pH خاک‌ها)، کودهای حاوی عناصر غذایی فسفر و پتاسیم به ترتیب از منابع سوپر فسفات تریپل (حاوی ۲۰ درصد فسفر خالص) و سولفات پتاسیم (حاوی ۴۴ درصد پتاسیم خالص) بر مبنای ۱۶ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک و ۵۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک قبل از کاشت و به‌صورت خاکی و عناصر کم‌مصرف (آهن، منگنز، مس، بور و مولیبدن) به صورت محلول غذایی هوگلند بدون روی (همراه آب آبیاری) در طول دوره کشت و در دو مرحله (ابتدای کشت و حدود دو هفته بعد از کاشت گیاه) بر اساس نتایج آزمون خاک در اختیار گیاه قرار گرفت. کودهای فسفاته و پتاسه قبل از مصرف به‌طور کامل نرم و آسیاب و سپس به خاک گلدان‌ها اضافه شدند. به‌منظور بررسی اثر CO_2 بر گیاه، پس از کشت، نیمی از گلدان‌ها به اتاقک رشد با غلظت طبیعی CO_2 و نیمی دیگر به اتاقک رشد با غلظت افزایش‌یافته CO_2 منتقل شدند. گیاهان از مرحله دوبرگی و در ساعات روشنایی در معرض افزایش غلظت CO_2 قرار گرفتند. دو هفته پس از کاشت، تعداد گیاهچه‌ها به پنج عدد در هر گلدان کاهش یافت. در دوره آزمایش درجه حرارت روزانه و شبانه به ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سلسیوس، فتوپریود ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی، شدت نور ۱۴۰۰۰ لوکس (۴۲۰ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه) و رطوبت نسبی ۶۰٪ در نظر گرفته شد. آبیاری گلدان‌ها نیز بر اساس نیاز و به‌صورت وزنی انجام گرفت به‌نحوی‌که رطوبت ۸۰٪ ظرفیت زراعی تأمین گردد. در پایان دوره رشد (۶۰ روز)، ارتفاع بخش هوایی با استفاده از خط کش مدرج اندازه‌گیری گردید. بخش هوایی گیاهان از محل طوقه برداشت و ریشه نیز از خاک جدا شد. وزن تر بخش هوایی بلافاصله بعد از برداشت با ترازو (دقت ۰/۰۰۱ ± گرم) تعیین شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (CI-202 Leaf Area Meter) تعیین شد. برای تعیین وزن خشک بخش هوایی و ریشه، نمونه‌ها در داخل دستگاه خشک‌کن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و ۴۸ ساعت نگهداری شدند. سپس وزن خشک آن‌ها با ترازو تعیین گردید. میزان کلروفیل a و b با روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری گردید (Harmut and Lichtenthaler, 1987) و محتوای نسبی آب برگ (RWC) براساس رابطه (۱) بدست آمد (Ritchie *et al*, 1990).

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times ۱۰۰ \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه؛ FW: وزن تر برگ، DW: وزن خشک برگ و TW: وزن آماس برگ می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام و برای رسم نمودارها از برنامه Excel استفاده شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

خاک شماره ۱				خاک شماره ۲			
شن (٪)	۶۳/۴۴	کربنات کلسیم معادل (٪)	۸/۷۵	شن (٪)	۷۳/۶۸	کربنات کلسیم معادل (٪)	۸/۷۳
سیلت (٪)	۱۵/۵۶	نیتروژن کل (٪)	۰/۰۴۲	سیلت (٪)	۱۴/۳۲	نیتروژن کل (٪)	۰/۰۳۷
رس (٪)	۲۱	فسفر قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۴/۲۵	رس (٪)	۱۲	فسفر قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۴/۰۰
کلاس بافت	Sandy Clay Loam	پتاسم قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۳۷۲/۸۸	کلاس بافت	Sandy Loam	پتاسم قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۳۱۵/۱۷
pH عصاره اشباع	۸/۶	آهن قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۲/۰۷	pH عصاره اشباع	۸/۵۴	آهن قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۱/۲۰
EC عصاره اشباع ($dS\ m^{-1}$)	۱/۲۵	مس قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۵۲	EC عصاره اشباع ($dS\ m^{-1}$)	۱/۱۶۱	مس قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۴۴
ماده آلی (٪)	۰/۴۸	روی قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۱/۵۸	ماده آلی (٪)	۰/۴۱	روی قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۱/۶۲
CEC ($cmol_+kg^{-1}$)	۶/۴۵	منگنز قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۲/۸۶	CEC ($cmol_+kg^{-1}$)	۵/۲۵	منگنز قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۲/۸۰

نتایج و بحث

اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر ارتفاع گندم

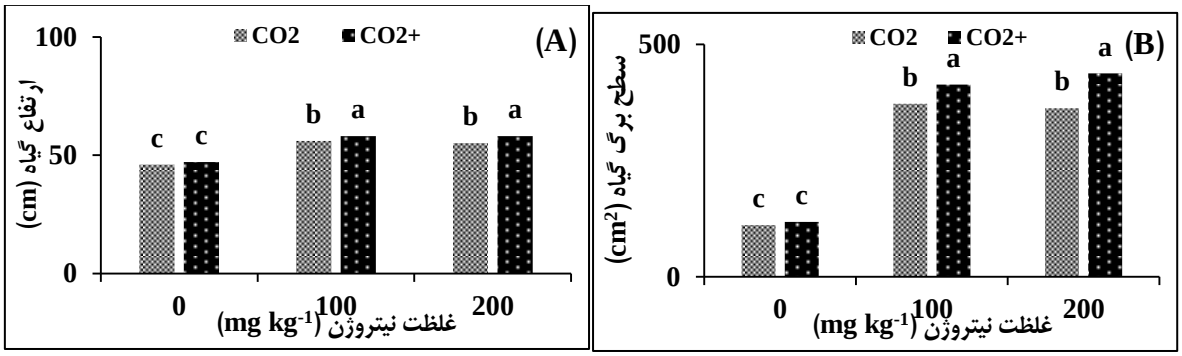
خلاصه تجزیه واریانس اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر ارتفاع گندم معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد میزان افزایش ارتفاع در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد برای خاک لوم رسی شنی به ترتیب ۱۹/۸ و ۱۹/۲ درصد و برای خاک لوم شنی به ترتیب ۲۶ و ۲۵/۳ درصد بود (جدول ۳).

در هر دو سطح CO_2، افزایش مقدار کود مصرفی (نسبت به تیمار شاهد) سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه شد (شکل ۱-A). میزان افزایش ارتفاع در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد به ترتیب در غلظت ۴۰۰ پی‌پی‌ام CO_2 ۲۱/۶ و ۱۹/۶ درصد و در غلظت ۸۵۰ پی‌پی‌ام ۲۴/۱ و ۲۴/۷ درصد بود (شکل ۱-A). افزایش غلظت CO_2 نسبت به غلظت شاهد (۴۰۰ پی‌پی‌ام) در هر یک از تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک، موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه شد. تأثیر مثبت CO_2 بسته به غلظت‌های متفاوت نیتروژن متفاوت بود. میزان افزایش ارتفاع درنتیجه افزایش غلظت CO_2 در سطوح ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک به ترتیب ۱/۵، ۳/۶ و ۵/۹ درصد بود (شکل ۱-A). بیش‌ترین ارتفاع گیاه در غلظت ۸۵۰ پی‌پی‌ام CO_2 و تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک و کمترین ارتفاع در غلظت ۴۰۰ پی‌پی‌ام و تیمار شاهد به دست آمد (شکل ۱-A).

ارتفاع گیاه صفت مؤثری در توزیع سطح برگ و به دنبال آن بهبود جذب نور توسط تاج گیاه است (Shoor *et al*., 2012). به‌طورکلی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده افزایش غلظت CO_2 باعث افزایش ارتفاع گیاه شد. این نتیجه ممکن است به افزایش تولید ماده خشک نسبت داده شود و درنتیجه نشان‌دهنده افزایش سهم مواد فتوسنتزی در رشد بخش هوایی باشد. در پژوهشی مشابه نیز افزایش غلظت CO_2 از ۴۰۰ به ۶۸۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه برنج شد (Zhu *et al*., 2013). استدلال شده که نیتروژن نیز از طریق بهبود فرآیندهای مؤثر در تقسیم و طویل شدن سلول‌های سازنده ساقه (Shoor *et al*., 2012) منجر به افزایش ارتفاع گیاه گردید. به‌طورکلی این عنصر به‌واسطه تحریک بیوسنتز سیتوکینین و انتقال آن از ریشه به بخش‌های هوایی گیاه سبب افزایش تقسیمات سلولی و متعاقب آن افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Marschner, 2003). در مطالعه دیگری نیز افزایش مصرف کود نیتروژنی از سطح ۹۰ به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه گندم شد (Abbas *et al*., 2017). با توجه به نتایج حاصل‌شده اثرات افزایش غلظت CO_2 بر ارتفاع گیاه در شرایط مصرف کود نیتروژنی نسبت به شرایط عدم مصرف کود بیش‌تر بود. این موضوع نیز به عدم محدودیت نیتروژن در شرایطی که به علت افزایش غلظت CO_2 و به‌تبع آن افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، تقاضا برای جذب آب و عناصر غذایی افزایش می‌یابد، مربوط می‌شود. در چنین شرایطی اگر عرضه و تقاضای آب و عناصر غذایی از حالت تعادل خارج شود، افزایش یک عامل رشد مانند CO_2 از کار آیی کافی برخوردار نخواهد بود (Shoor *et al*., 2012). محققان در بررسی برهمکنش سطوح مختلف CO_2 و نیتروژن بر روی گیاهان برنج و جو گزارش نمودند که اثر افزایش غلظت این گاز بر عملکرد و رشد اندام‌های هوایی گیاه (مانند ارتفاع) در شرایط مصرف کود نیتروژنی افزایش می‌یابد و علت این موضوع را بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و تقاضای بیش‌تر عناصر غذایی درنتیجه افزایش غلظت CO_2 عنوان کردند (Kim *et al*., 2003; Manderscheid *et al*., 2009).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. اثر غلظت CO_2 بر ارتفاع بخش هوایی (A) و سطح برگ (B) در سطوح مختلف نیتروژن. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌دار هستند. CO_2 و CO_2^+ به ترتیب غلظت‌های طبیعی و افزایش‌یافته CO_2 می‌باشند.

جدول ۲. میانگین مربعات اثر دی‌اکسید کربن، نیتروژن و بافت خاک بر شاخص‌های رویشی گیاه

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بخش هوایی	سطح برگ	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر بخش هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت R/S
دی‌اکسید کربن	۱	۴۸/۰۰**	۲۰۱۳۶/۰۲**	۲/۸۸۱۲**	۲۳۷/۲۷**	۰/۲۸۸۳**	۰/۰۰۲**
خطای اول	۶	۱/۲۹۴۳	۱۵۸/۱۸۳۳	۰/۰۴۳۵	۰/۶۴۲۸	۰/۰۰۰۴**	۰/۰۰۰۰۲
خاک	۱	۷/۹۲**	۳۹۵۱/۳۶**	۰/۴۸۴۰**	۲۶/۵۵۱۹**	۰/۱۶۱۰**	۰/۰۱۳۳**
نیتروژن	۲	۵۸۲/۲۴**	۴۲۲۲۱۷/۲۳**	۵۵/۹۷**	۴۷۸۶/۷۸**	۰/۱۴**	۰/۱۰۴۴**
دی‌اکسید کربن × خاک	۱	۰/۰۲۰۸	۱۹/۹۰۲۲	۰/۰۰۰۵	۰/۸۰۰۸	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۰۲
دی‌اکسید کربن × نیتروژن	۲	۶/۴۱۰۲**	۴۶۳۰/۲۴**	۰/۲۳۱۸*	۳۴/۷۷**	۰/۰۲**	۰/۰۰۰۱
خاک × نیتروژن	۲	۷/۰۳۵۲**	۱۰۰/۵	۰/۰۵۳۷	۲/۹۸**	۰/۰۲۲۹**	۰/۰۰۲۷**
دی‌اکسید کربن × خاک × نیتروژن	۲	۰/۱۱۸۵	۰/۸۵۸۰	۰/۰۰۱۷	۱/۰۸۲۲	۰/۰۰۷۵*	۰/۰۰۰۲
خطای دوم	۳۰	۰/۹۵۱۶	۲۳۱/۱۲۷۷	۰/۴۹۸۰	۰/۵۰۶۳	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات	-	۱/۸۳	۵/۰۳	۳/۹۶	۱/۸۸	۴/۵۴	۷/۰۲

*** و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد**

جدول ۳. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن و بافت خاک بر شاخص‌های رویشی گندم

شاخص‌های رویشی گندم	بافت خاک	غلظت نیتروژن ($mg\ kg^{-1}$) ۰	۱۰۰	۲۰۰	میانگین
ارتفاع بخش هوایی (cm)	لوم رسی شنی	۴۷/۵۳b	۵۶/۹۷a	۵۶/۶۹a	۵۳/۷۳A
	لوم شنی	۴۵/۱۹c	۵۶/۹۴a	۵۶/۶۳a	۵۲/۹۲B
	میانگین	۴۶/۳۶B	۵۶/۹۵A	۵۶/۶۶A	
سطح برگ (cm^2)	لوم رسی شنی	۱۲۵/۶۶b	۳۹۹/۱۶a	۴۰۹/۸۷a	۳۱۱/۵۶A
	لوم شنی	۱۰۴/۲۴b	۳۸۶/۷۸a	۳۸۹/۲۳a	۲۹۳/۴۲B
	میانگین	۱۱۴/۹۵B	۳۹۲/۹۷A	۳۹۹/۵۵A	
وزن تر بخش هوایی (g/pot)	لوم رسی شنی	۱۹/۰۱c	۴۹/۸۵a	۴۷/۱ab	۳۸/۶۵A
	لوم شنی	۱۷/۰۷c	۴۹/۳۶a	۴۵/۰۷b	۳۷/۱۷B
	میانگین	۱۸/۰۴C	۴۹/۶۰A	۴۶/۰۹B	
وزن خشک بخش هوایی (g/pot)	لوم رسی شنی	۳/۶۴b	۶/۸۶a	۶/۶۹a	۵/۷۳A
	لوم شنی	۳/۳۱b	۶/۷۵a	۶/۵۳a	۵/۵۳B
	میانگین	۳/۴۷C	۶/۸۰A	۶/۶۱B	
وزن خشک ریشه (g/pot)	لوم رسی شنی	۰/۸۹c	۰/۹۱bc	۰/۸c	۰/۸۷B
	لوم شنی	۱/۰۱ab	۱/۱a	۰/۸۴c	۰/۹۸A
	میانگین	۰/۹۵B	۱/۰۰A	۰/۸۲C	
نسبت R/S	لوم رسی شنی	۰/۲۴b	۰/۱۳d	۰/۱۲d	۰/۱۷B
	لوم شنی	۰/۳a	۰/۱۶c	۰/۱۳d	۰/۲۰A
	میانگین	۰/۲۷A	۰/۱۵B	۰/۱۲C	

Archive of SID

www.SID.ir

اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر سطح برگ گندم

تجزیه واریانس اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر سطح برگ گندم معنی‌دار بود (جدول ۲). سطح برگ گیاهان رشد کرده در خاک لوم رسی شنی بیش‌تر از خاک لوم شنی بود (جدول ۳). افزایش مقدار نیتروژن مصرفی نسبت به تیمار شاهد در هر دو غلظت CO_2، سطح برگ گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۲-B). میزان سطح برگ در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد در غلظت ۴۰۰ پی‌پی‌ام CO_2 به ترتیب ۲۳۴/۱ و ۲۲۴/۷ درصد و در غلظت ۸۵۰ پی‌پی‌ام به ترتیب ۲۴۹/۱ و ۲۶۹/۱ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱-B). افزایش غلظت CO_2 تا ۸۵۰ پی‌پی‌ام نسبت به غلظت طبیعی این گاز (در سطوح یکسان نیتروژن)، موجب افزایش معنی‌دار ($P<0/05$) سطح برگ گیاه شد. تأثیر مثبت CO_2 بر سطح برگ در سطوح مختلف کود نیتروژنی یکسان نبود. افزایش غلظت CO_2 محیط موجب افزایش ۶/۲، ۱۱ و ۲۰/۷ درصدی سطح برگ به ترتیب در تیمارهای ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک شد. به‌طورکلی بیش‌ترین سطح برگ در غلظت افزایش یافته CO_2 و در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک و کمترین سطح برگ گیاه در غلظت طبیعی (۴۰۰ پی‌پی‌ام) و در شرایط عدم مصرف کود به دست آمد (شکل ۱-B).

افزایش سطح برگ در غلظت‌های افزایش‌یافته CO_2 ناشی از بهبود میزان فتوسنتز خالص و میزان ماده خشک اختصاص‌یافته به تولید برگ‌ها است. اختصاص بیش‌تر ماده خشک به تولید و گسترش برگ‌ها در شرایط افزایش غلظت این گاز با توجه به کاهش میزان تنفس نوری در گیاهان C3 همچون گندم دور از ذهن نیست. به طور مشابه، افزایش حدود ۳۳/۴ درصدی سطح برگ گیاه سویا در شرایط افزایش غلظت CO_2 از ۳۸۰ به ۷۴۰ پی‌پی‌ام گزارش شد (Li *et al.*, 2013). تأمین نیتروژن کافی برای گیاه سبب افزایش میزان شاخص سطح برگ می‌گردد که زمینه تولید و تجمع ماده خشک است. افزایش شاخص سطح برگ درنتیجه افزایش مصرف کود نیتروژنی به دلیل تأثیر این عنصر بر تقسیم سلولی و بزرگ شدن آن‌ها است (Malakooti and Homaee, 2004). اثر افزایش مقدار کود مصرفی بر سطح برگ گیاه در غلظت‌های بالاتر CO_2 بیش‌تر بود. در شرایطی که محدودیت عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن برای گیاه وجود نداشته باشد، افزایش غلظت CO_2 تأثیر بیش‌تری بر افزایش سطح برگ گیاه دارد، زیرا در صورتی گیاه می‌تواند از شرایط مساعد محیطی فراهم‌شده در اطراف خود بهترین بهره‌برداری را داشته باشد که تمامی عوامل مؤثر در رشد آن مانند نور، آب و عناصر غذایی در محدوده مطلوب فراهمی خود وجود داشته باشند. سطح برگ گیاه یک عامل مؤثر در میزان جذب نور و افزایش تولید ماده خشک است، لذا سطح برگ زیاد از طریق جذب بیش‌تر نور منجر به فتوسنتز بیش‌تر و درنتیجه آن افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. در پژوهشی اثر افزایش غلظت CO_2 و مقدار نیتروژن خاک بر سطح برگ گیاه بادرنجبویه مثبت و معنی‌دار بود، به‌نحوی‌که در هر سه سطح CO_2، کمترین میزان سطح برگ گیاه در شرایط عاری از کود و بیش‌ترین آن در شرایط مصرف کود نیتروژنی به دست آمد (Shoor *et al.*, 2012).

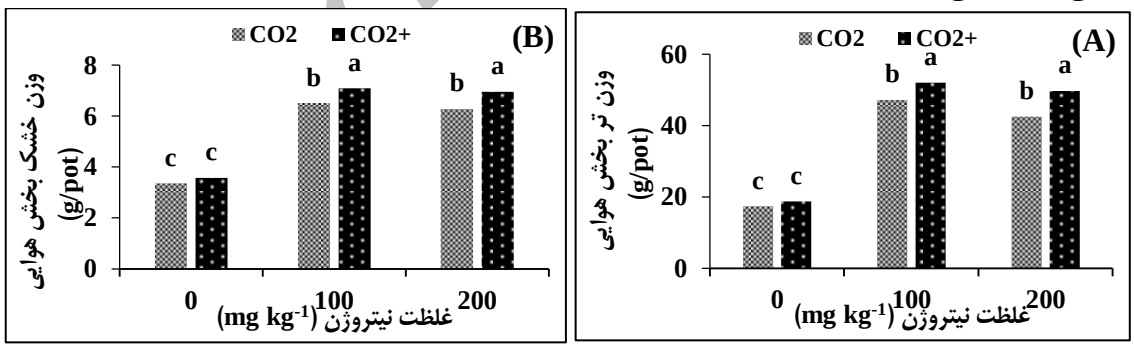
اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر وزن تر و خشک بخش هوایی گندم

خلاصه تجزیه واریانس اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر وزن تر و خشک بخش هوایی گندم معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر دو خاک، افزایش مقدار کود نیتروژنی نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش معنی‌دار وزن تر بخش هوایی گیاه شد (جدول ۳). میزان افزایش وزن تر بخش هوایی در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد برای خاک لوم رسی شنی به ترتیب ۱۶۲/۲ و ۱۴۷/۷ درصد و برای خاک لوم شنی به ترتیب ۱۸۹/۱ و ۱۶۴ درصد بود (جدول ۳). در هر یک از سطوح CO_2، افزایش مقدار کود مصرفی نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار ($P<0/05$) وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه شد (شکل ۲). میزان افزایش وزن تر بخش هوایی در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به عدم مصرف آن در غلظت ۴۰۰ پی‌پی‌ام CO_2 به ترتیب ۱۷۱/۸ و ۱۴۴/۶ درصد و در غلظت ۸۵۰ پی‌پی‌ام به ترتیب ۱۷۷/۷ و ۱۶۵/۵ درصد بود (شکل ۲-A). وزن خشک بخش هوایی گیاه نیز با کاربرد سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۹۳/۷ و ۸۶/۹ درصد در غلظت ۴۰۰ پی‌پی‌ام CO_2 و ۹۸ و ۹۴/۱ درصد در غلظت ۸۵۰ پی‌پی‌ام افزایش یافت (شکل ۲-B). اثر مثبت CO_2 بر وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه در سطوح مختلف کود نیتروژنی یکسان نبود. افزایش ۷/۷، ۱۰/۱ و ۱۷ درصد در وزن تر و ۶/۵، ۸/۹ و ۱۰/۶ درصد در وزن خشک بخش هوایی گیاه به ترتیب در تیمارهای ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک و در شرایط غنی‌سازی CO_2 به دست آمد. بنابراین بیش‌ترین وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه در غلظت افزایش یافته CO_2 و در سطح دوم تیمار کودی و کمترین وزن

Archive of SID

www.SID.ir

تر و خشک بخش هوایی در غلظت معمولی CO_2 و در سطح اول تیمار کودی به دست آمد (شکل ۲). صرف‌نظر از شرایط کودی، با افزایش غلظت CO2 تجمع ماده خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌احتمال‌زیاد، جذب بیش‌تر CO_2 توسط گیاه گندم از طریق افزایش میزان فتوسنتز منجر به تولید بیش‌تر ترکیبات فتوسنتزی و در نتیجه تجمع ماده خشک می‌گردد. میزان تجمع زیست‌توده گیاهی برآیند سه عامل طول دوره رشد، شاخص سطح برگ و کارایی فتوسنتزی گیاه است. افزایش غلظت CO_2 بر کارایی فتوسنتزی و سطح برگ گیاه اثرات مثبتی دارد (Schahczenski and Hill, 2009). در همین رابطه در پژوهشی مشخص گردید که با افزایش غلظت CO_2 تا سطح ۶۰۰ پی‌پی‌ام نسبت به غلظت طبیعی این گاز، وزن تر و خشک ساقه گیاه شبدر به ترتیب با افزایش حدود ۷۳ و ۷۷ درصدی مواجه شدند (Pal *et al*., 2004). افزایش غلظت CO_2 از ۳۵۰ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام سبب افزایش حدود ۸۹ و ۵۳ درصدی وزن خشک بخش هوایی گیاه گندم در رژیم‌های آبیاری مختلف شد (Wu *et al*., 2004). نتایج نشان داد با مصرف کود نیتروژن (سطح ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) وزن خشک اندام هوایی گیاه افزایش یافت، اما در سطح ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک وزن ماده خشک کاهش پیدا کرد که دلیل این موضوع احتمالاً بر هم خوردن تعادل مناسب میان عناصر غذایی در گیاه است. تأثیر مصرف نیتروژن بر افزایش رشد گیاه به‌وسیله تغییر دادن موازنه هورمون‌های گیاهی در بخش‌های رویشی حاصل می‌شود. مصرف نیتروژن با کاهش نسبت اسید آبسیزیک به جیبرلین باعث افزایش رشد رویشی گیاه می‌گردد (Marschner, 2003). به طور کلی کمبود نیتروژن سبب تحریک کاهش مقدار کلروفیل می‌شود، در نتیجه منجر به کاهش شاخص سطح برگ و زیست‌توده گندم خواهد شد. از طرفی افزایش فراهمی نیتروژن، با افزایش غلظت کلروفیل و شاخص سطح برگ همراه است که این موضوع باعث بهبود جذب نور و تولید زیست‌توده بیش‌تر می‌گردد (Johnson and Mattern, 1987). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، در شرایط مصرف کود نیتروژن اثرات افزایش غلظت CO_2 بر وزن خشک اندام هوایی گیاه نسبت به عدم مصرف کود، بیش‌تر بود. به نظر می‌رسد که در شرایط افزایش غلظت CO_2 اثرات کود نیتروژنی تشدید گردد. این نتیجه را می‌توان به مصرف بیش‌تر عناصر غذایی در پاسخ به افزایش تقاضا درنتیجه بهبود میزان فتوسنتز خالص تحت شرایط غنی‌سازی CO_2 مرتبط دانست. به‌طورکلی، همبستگی مثبت بین غلظت نیتروژن و تبادل خالص CO_2 در گیاه، بیانگر این است که افزایش نیتروژن برای تولید ماده خشک ضروری است (Murata, 1961). به‌عنوان‌مثال در پژوهشی، افزایش غلظت CO_2 از ۳۷۵ به ۵۵۰ پی‌پی‌ام و همچنین افزایش مقدار نیتروژن مصرفی، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی گیاه جو داشت و میزان افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه در سطوح مختلف تیمار کودی به ترتیب حدود ۱۳ و ۲۷ درصد بود (Manderscheid *et al*., 2009).



شکل ۲. اثر غلظت CO_2 بر وزن تر (A) و وزن خشک (B) بخش هوایی گیاه در سطوح مختلف نیتروژن. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌دار هستند. CO_2 و CO_2^+ به ترتیب غلظت‌های طبیعی و افزایش‌یافته CO_2 می‌باشند.

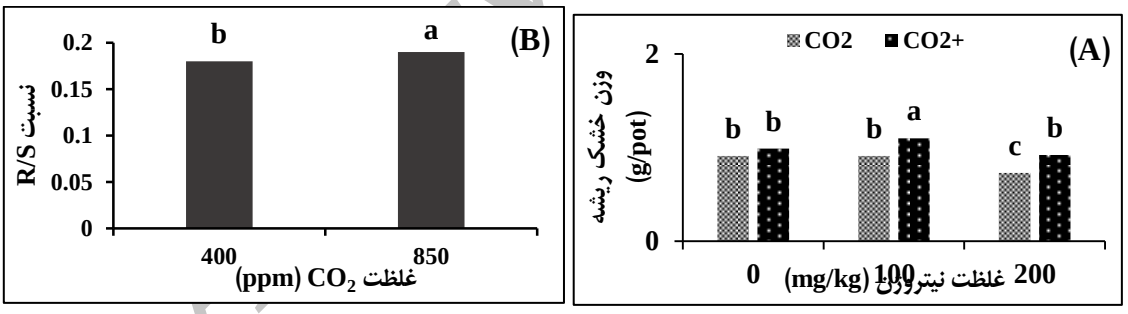
اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر وزن خشک ریشه گندم

بر اساس خلاصه تجزیه واریانس اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر وزن خشک ریشه گندم معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد بیش‌ترین مقدار وزن خشک ریشه گیاه (۱/۱ گرم در گلدان) در خاک لوم شنی و در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک و کمترین مقدار آن (۰/۸ گرم در گلدان) در خاک لوم رسی شنی و در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک به دست آمد (جدول ۳). تأثیر مقدار نیتروژن مصرفی بر وزن خشک ریشه گیاه در سطوح مختلف CO_2 یکسان نبود. در غلظت طبیعی CO_2، افزایش مقدار کود مصرفی تا سطح ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به سطح اول و دوم بر وزن خشک ریشه گیاه تأثیر معنی‌داری نشان

www.SID.ir

داد (شکل ۳-A). در غلظت افزایش‌یافته این گاز، تأثیر کاربرد سطح ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد بر وزن خشک ریشه گیاه معنی‌دار (P<۰/۰۵) بود. افزایش غلظت CO_2 نسبت به غلظت طبیعی آن (در غلظت‌های یکسان نیتروژن)، موجب افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) وزن خشک ریشه گیاه گردید (شکل ۳-A). افزایش غلظت CO_2 محیط موجب افزایش ۸/۸، ۲۰/۸ و ۲۶ درصدی وزن خشک ریشه گیاه به ترتیب در سطوح ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک شد.

با افزایش غلظت CO_2، رشد و فعالیت متابولیسمی گیاه زیاد شد و این موضوع سبب تولید زیست‌توده بیش‌تر و درنتیجه آن افزایش وزن خشک ریشه گردید. محققان دیگر نیز دلیل افزایش وزن خشک ریشه گیاه را تحت شرایط غنی‌سازی CO_2، افزایش طول ریشه و نفوذ بیش‌تر آن در خاک ذکر کردند (Vanaja *et al*., 2007; Benlloch-Gonzalez *et al*., 2014) که این موضوع تحت شرایط آب و هوایی خشک امتیاز مهمی برای گیاه محسوب می‌شود. در توافق با این نتایج، افزایش غلظت CO_2 تا ۷۲۰ پی‌پی‌ام نسبت به غلظت طبیعی آن موجب افزایش حدود ۴۰ درصدی وزن خشک ریشه گیاه پنبه شد (Reddy and Zhao, 2005). افزایش حدود ۴۵ درصدی زیست‌توده ریشه گیاه برنج نیز درنتیجه افزایش غلظت CO_2 از ۳۵۰ به ۵۵۰ پی‌پی‌ام گزارش شده است (Yang *et al*., 2007). با کاربرد سطح ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک، وزن خشک ریشه گیاه کاهش یافت. به‌طورکلی کاربرد کود (نیتروژنی) در بسیاری از خاک‌ها سبب افزایش قابل‌توجه در رشد و عملکرد بخش هوایی گیاه می‌گردد، درحالی‌که پاسخ اندام زیرزمینی به مصرف کود اغلب کمتر بررسی‌شده است. واکنش گیاهان به کمبود نیتروژن تا حدودی شبیه واکنش آن‌ها به کمبود آب است. در شرایط کمبود نیتروژن، رشد ریشه ثابت می‌ماند و یا افزایش می‌یابد، ولی رشد برگ‌ها کم می‌شود. تحت این شرایط گیاهان ماده پرورده کمتری را به برگ‌ها و بخش بیش‌تری را به ریشه‌ها اختصاص می‌دهند (Cooper *et al*., 1987; Shepherd *et al*., 1987). بر اساس نتایج حاصل‌شده، تأثیر CO_2 بر وزن خشک ریشه گیاه در سطوح بالای نیتروژن خاک بیش‌تر بود. به‌طورکلی در شرایط بدون محدودیت منابع (آب و عناصر غذایی)، رشد ریشه اغلب گونه‌های گیاهی با افزایش غلظت CO_2 افزایش می‌یابد. اما تحت شرایط محدودیت آب خاک و یا فراهمی عناصر غذایی، پاسخ گیاهان به غلظت‌های بالای CO_2 متغیر است (Madhu and Hatfield, 2013).



شکل ۳. اثر غلظت CO_2 بر وزن خشک ریشه در سطوح مختلف نیتروژن (A) و اثر غلظت CO_2 بر نسبت R/S (B). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌دار هستند. CO_2 و CO_2^+ به ترتیب غلظت‌های طبیعی و افزایش‌یافته CO_2 می‌باشند.

اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی (R/S) گندم

تجزیه واریانس اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر نسبت R/S گندم نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). غلظت افزایش یافته CO_2 نسبت به غلظت طبیعی موجب افزایش ۵/۵ درصدی نسبت R/S شد (شکل ۳-B). به‌طورکلی نسبت R/S در شرایط عدم مصرف کود (تیمار شاهد) بیش‌ترین و در شرایط مصرف کود (۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد. بنابراین با کاربرد سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد نسبت R/S به ترتیب ۴۴/۴ و ۵۵/۵ درصد کاهش یافت (شکل ۳-B). نسبت R/S در خاک لوم شنی بیش‌تر از خاک لوم رسی شنی بود که تفاوت در دو خاک حدود ۱۵ درصد (P<۰/۰۵) بود (جدول ۳). در هر دو خاک، افزایش مقدار کود نسبت به تیمار شاهد سبب کاهش معنی‌دار (P<۰/۰۵) نسبت R/S شد. میزان کاهش R/S در سطح دوم و سوم کود نیتروژنی نسبت به تیمار شاهد برای خاک لوم رسی شنی به ترتیب ۴۸/۱ و ۵۵/۵ درصد و برای خاک لوم شنی ۴۲/۸ و ۵۳/۵ درصد بود (جدول ۳).

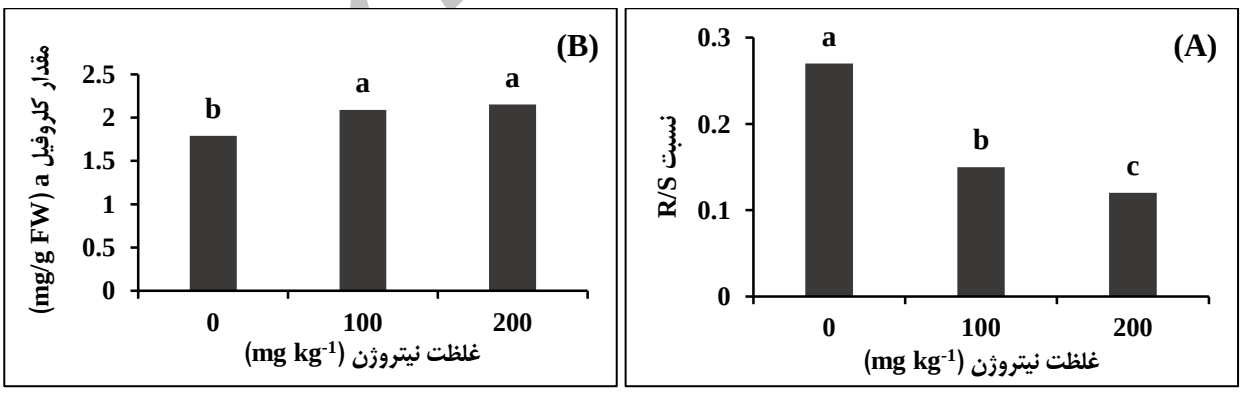
با توجه به نتایج حاصل‌شده، ازدیاد غلظت CO_2 تأثیر بیش‌تری بر وزن خشک ریشه گیاه داشت و درنتیجه آن نسبت

Archive of SID
www.SID.ir

R/S گیاه که نشان‌دهنده توزیع ماده خشک بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی است، افزایش یافت. تغییرات نسبت R/S در شرایط افزایش غلظت CO_2 متفاوت است. به‌طورکلی افزایش غلظت CO_2 سبب افزایش نسبت R/S شد. دلیل این موضوع افزایش تخصیص کربن فتوسنتزی به ریشه‌ها تحت شرایط غنی‌سازی CO_2 است که منجر به افزایش رشد و متابولیسم ریشه نسبت به سایر اندام‌های گیاه می‌شود (Benlloch-Gonzalez *et al.*, 2014). مطابق با این نتایج، مشاهده شد که تحت شرایط افزایش غلظت CO_2 نسبت R/S درخت چنار (Hodge and Millard, 1998) و ژنوتیپ‌های کنجد (Zavareh, 2005) افزایش یافت. در این تحقیق با افزایش مقدار کاربرد کود نیتروژنی نسبت R/S گیاه کاهش یافت. کاهش نسبت R/S علی‌رغم افزایش وزن خشک ریشه با افزایش مقدار نیتروژن خاک بیانگر تأثیر بیش‌تر نیتروژن بر رشد اندام‌های هوایی در مقایسه با ریشه گیاه است. به طور مشابه، با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی رشد ریشه و بخش هوایی گیاه افزایش یافت، اما این افزایش رشد در مورد بخش هوایی گیاه بیش‌تر از ریشه‌ها بود و درنتیجه آن نسبت R/S افزایش یافت (Lucas *et al.*, 2000). نسبت R/S گیاه گندم در پاسخ به کمبود نیتروژن افزایش یافت (Schuller and Cu, 2001). مطالعات انجام‌شده بر روی گندم نشان داد که افزایش غلظت CO_2 می‌تواند باعث افزایش یا کاهش نسبت R/S گردد که این امر به مقدار فراهمی عناصر غذایی بستگی دارد (Wolf, 1996). در شرایط محدودیت آب و عناصر غذایی برای رشد، میزان تخصیص ماده خشک تولیدی به ریشه‌ها (ناشی از غنی‌سازی CO_2) متغیر است. بااین‌حال، افزایش در نسبت R/S اغلب در شرایط محدودیت آب و یا عناصر غذایی مشاهده شده است، زیرا افزایش رشد ریشه ناشی از افزایش غلظت CO_2 به گیاه اجازه می‌دهد تا حجم بیش‌تری از خاک را در برگرفته و آب و عناصر غذایی بیش‌تری را از خاک تخلیه نماید. به‌عنوان‌مثال، افزایش حدود ۶ درصدی نسبت R/S در شرایط غنی‌سازی CO_2 با حضور تنش ناشی از کمبود عناصر غذایی مشاهده شد (Norby, 1994).

اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر محتوای کلروفیل a و b برگ گندم

افزایش غلظت CO_2 و بافت خاک تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل a و b برگ نداشت در حالی که اثر کاربرد نیتروژن بر محتوای کلروفیل a برگ معنی‌دار بود (جدول ۴). کلروفیل a در تیمار شاهد کمترین (۱/۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و در سطح سوم تیمار کود نیتروژنی (۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) بیش‌ترین (۲/۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) مقدار را به خود اختصاص داد. کاربرد سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش ۱۶/۷ و ۲۰/۱ درصدی میزان کلروفیل a در برگ گیاه شد (شکل ۴-B).



شکل ۴. اثر مقدار نیتروژن مصرفی بر نسبت R/S (A) و مقدار کلروفیل a (B). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌دار هستند.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق غلظت افزایش یافته CO_2 تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل a و b برگ گیاه نداشت. دلیل این موضوع این است که مقدار ساخت کلروفیل متناسب با رشد و توسعه برگ‌ها (ناشی از افزایش غلظت CO_2) بوده و غلظت CO_2 اثر جداگانه‌ای بر آن نداشته است. در مورد تأثیر افزایش غلظت CO_2 بر میزان کلروفیل برگ نتایج متفاوتی در مطالعات گذشته گزارش‌شده است. به‌عنوان‌مثال، افزایش غلظت CO_2 تا سطح ۶۸۰ پی‌پی‌ام تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل برگ پرچم گیاه گندم نداشت (Donnelly *et al.*, 2000). در مقابل، افزایش غلظت CO_2 از ۳۷۰ (شاهد) به ۵۵۰

www.SID.ir

پی‌پی‌ام منجر به افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل برگ در گیاه پنبه شد (Pinter *et al*., 1994). در مطالعه‌ای دیگر، افزایش غلظت CO_2 از ۴۰۰ به ۹۰۰ پی‌پی‌ام میزان کلروفیل a، b و کل برگ پرچم گندم دوروم را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Balouchi *et al*., 2008). افزایش غلظت CO_2 از ۳۶۷ به ۶۵۰ پی‌پی‌ام موجب افزایش سرعت تجزیه کلروفیل a و درنتیجه کاهش سریع مقدار کلروفیل در برگ‌های پرچم گیاه گندم شد. محققان دلیل این موضوع را تسریع و یا آغاز پیری برگ‌ها تحت شرایط غنی‌سازی CO_2 ذکر نمودند (Schütz and Fangmeier, 2001).

بررسی نتایج بیانگر تأثیر مثبت و معنی‌دار کاربرد کود نیتروژن بر میزان کلروفیل a در برگ گیاه است. با توجه به نقش ساختاری نیتروژن در مولکول کلروفیل و اینکه نیتروژن جزء اصلی ترکیبات پروتئینی اعم از آنزیم‌ها، تنظیم‌کننده‌های اسمزی، هورمون‌ها و دیگر ترکیبات سلولی به‌حساب می‌آید، بنابراین افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی درنتیجه افزایش مصرف کودهای حاوی نیتروژن منطقی است (Khan, 1995). محتوای کلروفیل در برگ‌ها بسیار وابسته به غلظت نیتروژن خاک در ریزوسفر ریشه است و افزایش مقدار نیتروژن خاک منجر به سنتز بیش‌تر کلروفیل می‌شود (Ahmadi *et al*., 2006). افزایش مصرف کود نیتروژنی موجب افزایش محتوای کلروفیل در برگ گیاه ذرت (Varvel *et al*., 1997) و برگ گیاه برنج (Peng *et al*., 1999) شد. به‌طورکلی ۷۵ درصد از نیتروژن برگ در کلروپلاست وجود دارد، بنابراین پایین بودن میزان فتوسنتز تحت شرایط محدودیت نیتروژن در خاک اغلب به کاهش میزان کلروفیل مربوط است، در نتیجه با افزایش مقدار نیتروژن خاک میزان کلروفیل برگ و به دنبال آن فعالیت فتوسنتزی گیاه افزایش می‌یابد.

جدول ۴. میانگین مربعات اثر دی‌اکسید کربن، نیتروژن و بافت خاک بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای کلروفیل a	محتوای کلروفیل b	محتوای نسبی آب برگ
دی‌اکسید کربن	۱	۰/۰۹۰۲	۰/۰۳۹	۵۷/۳۸**
خطای اول	۶	۰/۱۶۵۷	۰/۰۸۰۰	۰/۶۶۰۰
خاک	۱	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۰۷	۶/۲۷
نیتروژن	۲	۰/۵۹۱۰**	۰/۰۷۲۷	۱۷/۳۶**
دی‌اکسید کربن × خاک	۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۹۲
دی‌اکسید کربن × نیتروژن	۲	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۳	۰/۶۴۸۹
خاک × نیتروژن	۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱	۴/۱۷۰۹
دی‌اکسید کربن × خاک × نیتروژن	۲	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۴۸	۰/۳۹۲۶
خطای دوم	۳۰	۰/۰۸۸۳	۰/۰۳۳۵	۱/۹۱۶۷
ضریب تغییرات	-	۱۴/۷۹	۱۶/۰۸	۱/۴۸

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

اثر CO_2، نیتروژن و بافت خاک بر محتوای نسبی آب برگ (RWC) گندم

تجزیه واریانس اثر CO_2 و نیتروژن بر RWC گندم معنی‌دار بود (جدول ۴

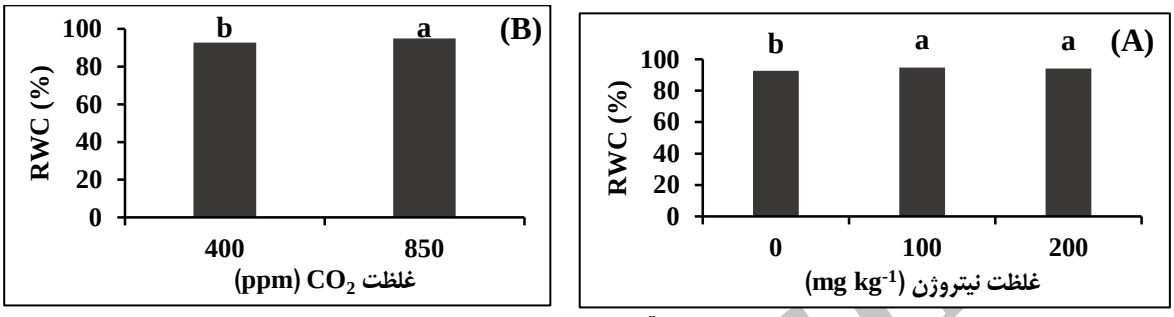
جدول ۴). نتایج نشان داد که RWC در شرایط عدم مصرف کود نیتروژنی، کمترین و در شرایط مصرف کود (تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) بیش‌ترین مقدار را دارا است. کاربرد سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد، RWC را به ترتیب ۲/۲ و ۱/۵ درصد افزایش داد (شکل ۵-A). با افزایش غلظت CO_2 تا سطح ۸۵۰ پی‌پی‌ام نسبت به غلظت طبیعی آن، RWC ۲/۳ درصد ($P<۰/۰۵$) افزایش یافت (شکل ۵-B).

افزایش RWC در بافت‌های گیاهی درنتیجه غنی‌سازی CO_2 توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است. به‌عنوان‌مثال، افزایش غلظت CO_2 از ۳۵۰ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام، RWC گیاه جو رشد کرده تحت این شرایط را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Perez-Lopez *et al*., 2009). Kamali *et al* (2015) نیز گزارش کردند که افزایش غلظت CO_2 تأثیر معنی‌داری بر RWC گیاه زلف عروس داشت. به‌نحوی‌که صرف‌نظر از تنش شوری، بیش‌ترین RWC در غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام CO_2 به دست آمد. به‌طورکلی افزایش غلظت CO_2 علاوه بر تأثیر مثبت بر رشد و عملکرد، روابط آبی گیاه را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. مطالعات انجام‌شده کاهش میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای و به‌تبع آن افزایش راندمان مصرف آب در شرایط غنی‌سازی CO_2

Archive of SID

www.SID.ir

را نیز گزارش کرده‌اند (Shams *et al*., 2015). محققان دلیل این موضوع را بسته شدن نسبی روزنه‌ها و به‌تبع آن کاهش خروج بخار آب از برگ و درنتیجه آن کاهش میزان تبخیر و تعرق گیاه تحت این شرایط ذکر کردند (Li *et al*., 2013). افزایش مصرف کود تأثیر مثبت و معنی‌داری بر RWC گیاه داشت. نیتروژن از طریق افزایش میزان سنتز پروتئین‌ها و افزایش ضخامت دیواره سلولی باعث جذب بیش‌تر آب توسط پروتوپلاسم سلول شده و درنتیجه آن RWC گیاه را بهبود می‌بخشد (Malakooti and Homaee, 2004).



شکل ۵. اثر غلظت CO_2 (A) و مقدار نیتروژن مصرفی (B) بر محتوای آب نسبی برگ (RWC). میانگین‌های دارای حرف لاتین مشترک در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌دار هستند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثرات بالقوه افزایش غلظت CO_2 جو و نیتروژن بر رشد و مورفولوژی گندم به روشنی مشخص شد. به‌طورکلی، پیش‌بینی می‌شود که تغییرات اقلیمی در آینده سبب افزایش غلظت CO_2 در جو و در محیط رشد طبیعی گیاهان گردد. بر این اساس میزان مصرف کودهای شیمیایی و به‌ویژه نیتروژن و برقراری تعادل تغذیه‌ای برای گیاه نیز باید بر اساس شرایط اقلیمی تغییر یابد. این امر سبب افزایش یا کاهش نیاز کودی گیاهان در زیست‌بوم‌های زراعی مختلف خواهد شد. با توجه به نتایج این آزمایش و تحقیقات مشابه درصورتی‌که محدودیتی از نظر تامین آب و عناصر غذایی ضروری گیاه به‌ویژه نیتروژن وجود نداشته باشد، در شرایط افزایش غلظت CO_2، رشد و عملکرد کمی گیاه گندم افزایش خواهد یافت. از این نتایج می‌توان در جهت مدیریت مصرف کودهای نیتروژنی استفاده نمود.

REFERENCES

Abbas, M., Irfan, M., Shah, J. A., and Memon, M. Y. (2017). Exploiting the Yield Potential of Wheat Genotype NIA-MB-2 under Different Rates of Nitrogen and Phosphorus. *Science Letters*, *5*(1), 13-21.

Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P., and Jabbari, F. (2006). Introduction to Plant Physiology. The University of Tehran Press, 516 p. (In Farsi)

Balouchi H. R, Modarres Sanavy, S. A. M, Emam, Y., and BarzeGar, M. (2008). Effect of Water Deficit, Ultraviolet Radiation and Carbon Dioxide Enrichment on Leaf Qualitative Characters of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L.). *Journal of Water and Soil Science*, 12 (45):167-181. (In Farsi)

Benlloch-Gonzalez, M., Bochicchio, R., Berger, J., Bramley, H., and Palta, J. A. (2014). High temperature reduces the positive effect of elevated CO 2 on wheat root system growth. *Field Crops Research*, *165*, 71-79.

Cooper, P. J. M., Gregory, P. J., Tully, D., and Harris, H. C. (1987). Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Experimental Agriculture*, *23*(2), 113-158.

Donnelly, A., Jones, M. B., Burke, J. I., and Schnieders, B. (2000). Elevated CO_2 provides protection from O_3 induced photosynthetic damage and chlorophyll loss in flag leaves of spring wheat (*Triticum aestivum* L., cv.'Minaret'). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *80*(1), 159-168.

Duarte, B., Santos, D., Silva, H., Marques, J. C., and Caçador, I. (2014). Photochemical and biophysical feedbacks of C 3 and C 4 Mediterranean halophytes to atmospheric CO_2 enrichment confirmed by their stable isotope signatures. *Plant Physiology and Biochemistry*, *80*, 10-22.

Hao, X. Y., Li, P., and Lin, E. D. (2010). Effects of air CO 2 enrichment on growth and photosynthetic physiology of millet. *Chinese Journal of. Nuclear. Agriculture Science*, *24*, 589-593.

Hao, X. Y., Li, P., Li, H. L., Zong, Y. Z., Zhang, B., Zhao, J. Z., and Han, Y. H. (2016). Elevated CO_2 increased photosynthesis and yield without decreasing stomatal conductance in broomcorn millet. *Photosynthetica*, 1-9.

Harmut, A., and Lichtenthaler, K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Method in Enzymology*, *148*, 350-383.

Archive of SID
www.SID.ir

Hodge, A., and Millard, P. (1998). Effect of elevated CO_2 on carbon partitioning and exudate release from Plantago lanceolata seedlings. *Physiologia Plantarum*, *103*(2), 280-286.

Houshmandfar, A., Fitzgerald, G. J., and Tausz, M. (2015). Elevated CO_2 decreases both transpiration flow and concentrations of Ca and Mg in the xylem sap of wheat. *Journal of Plant Physiology*, *174*, 157-160.

Johnson, V.A., and P.J. Mattern. (1987). Wheat, rye and triticale. In: R.A. Olsen, and K.J. Frey, (Eds.), Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomy improvements. *American Society of Agronomy* Inc., Madison, WI, U, 28, 133-182.

Kamali, M., Shour, M., Tehranifar, A., Goldani, M., and Salahvarzi, Y. (2015). Effect of salt stress and increasing carbon dioxide on proline accumulation, carbohydrates and other morphophysiological characteristics of Amaranthus tricolor. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 5(20): 229-239. (In Farsi)

Khan, M.G., M. Silberbush and Lips, S.H. (1995). Physiological studies on salinity and nitrogen interaction in alfalfa plants: III. Nitrate reductase activity. *Journal of Plant Nutrition*, 18, 2495-2500.

Kim, H. Y., Lieffering, M., Kobayashi, K., Okada, M., Mitchell, M. W., and Gumpertz, M. (2003). Effects of free-air CO 2 enrichment and nitrogen supply on the yield of temperate paddy rice crops. *Field Crops Research*, *83*(3), 261-270.

Kimball, B. A., Kobayashi, K., and Bindi, M. (2002). Responses of agricultural crops to free-air CO_2 enrichment. *Advances in Agronomy*, *77*, 293-368.

Leakey, A. D. (2009). Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C4 crops for food and fuel. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *276*(1666), 2333-2343.

Li, Dongxiao, Huiling Liu, Yunzhou Qiao, Youning Wang, Zhaoming Cai, Baodi Dong, Changhai Shi, Yueyan Liu, Xia Li, and Mengyu Liu. (2013). Effects of elevated CO_2 on the growth, seed yield, and water use efficiency of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought stress. *Agricultural Water Management*, *129*, 105-112.

Li, T., Tao, Q., Di, Z., Lu, F. and Yang, X. (2015). Effect of elevated CO_2 concentration on photosynthetic characteristics of hyperaccumulator Sedum alfredii under cadmium stress. Journal of Integrative Plant Biology, 57(7), 653-660.

Li, T., Tao, Q., Liang, C., and Yang, X. (2014). Elevated CO_2 concentration increase the mobility of Cd and Zn in the rhizosphere of hyperaccumulator Sedum alfredii. *Environmental Science and Pollution Research*, *21*(9), 5899-5908.

Lucas, M. E., Hoad, S. P., Russell, G., and Bingham, I. J. (2000). Management of cereal root systems. Management of cereal root systems. HGCA Research Review 43, London: Home Grown cereals Authority.

Madhu, M., and Hatfield, J. L. (2013). Dynamics of plant root growth under increased atmospheric carbon dioxide. *Agronomy Journal*, *105*(3), 657-669.

Malakooti, M., and Homaee, M. 2004. Fertility of soil in arid and semiarid areas (problems and solutions). Secend edition, TarbiatModares University Publications, 482 p. (In Farsi)

Manderscheid, R., Pacholski, A., Frühauf, C., and Weigel, H. J. (2009). Effects of free air carbon dioxide enrichment and nitrogen supply on growth and yield of winter barley cultivated in a crop rotation. *Field Crops Research*, *110*(3), 185-196.

Marschner, H. (2003). Mineral Nutrition of Higher Plants Academic Press, San Diego, CA, USA.

Murata, Y. (1961). Studies on the photosynthesis of rice plant and culture significance. Bull National Institue Agriculture science. 9, 1-169.

Norby, R.J. (1994). Issues and perspectives for investigating root responses to elevated atmospheric carbon dioxide. *Plant and Soil*, 165(1), 9-20.

Pal, M., Karthikeyapandian, V., Jain, V., Srivastava, A.C., Raj, A. and Sengupta, U.K. (2004). Biomass production and nutritional levels of berseem (*Trifolium alexandrium*) grown under elevated CO_2. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(1), 31-38.

Pandey, R., Chacko, P.M., Choudhary, M.L., Prasad, K.V. and Pal, M. (2007). Higher than optimum temperature under CO_2 enrichment influences stomata anatomical characters in rose (*Rosa hybrida*). Scientia Horticulturae, 113(1), 74-81.

Peng, S., Sanico, A. L., Garcia, F. V., Laza, R. C., Visperas, R. M., Descalsota, J. P., and Cassman, K. G. (1999). Effect of leaf phosphorus and potassium concentration on chlorophyll meter reading in rice. *Plant Production Science*, *2*(4), 227-231.

Perez-Lopez, U., Robredo, A., Lacuesta, M., Mena-Petite, A. and Munoz-Rueda, A. (2009). The impact of salt stress on the water status of barley plants is partially mitigated by elevated CO_2. *Environmental and Experimental Botany*, 66(3), 463-470.

Pinter, P.J., Idso, S.B., Hendrix, D.L., Rokey, R.R., Rauschkolb, R.S., Mauney, J.R., Kimball, B.A., Hendrey, G.R., Lewin, K.F. and Nagy, J. (1994). Effect of free-air CO_2 enrichment on the chlorophyll content of cotton leaves. *Agricultural and Forest Meteorology*, *70*(1), 163-169.

Reddy, K. R., and Zhao, D. (2005). Interactive effects of elevated CO_2 and potassium deficiency on photosynthesis, growth, and biomass partitioning of cotton. *Field Crops Research*, *94*(2), 201-213.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., and Holaday, A. S.

Archive of SID

www.SID.ir

(1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, *30*(1), 105-111.

Schahczenski, J., and Hill, H. (2009). *Agriculture, climate change and carbon sequestration* (pp. 14-18). Melbourne: ATTRA.

Schuller, K. A., and Cu, S. (2001). A simple method for studying the early effects of nutrient deficiencies on root metabolism in small-seeded plants. *In* "Plant Nutrition: Food security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research" (W. J. Horst, M. K. Schenk, A. Bürkert, N. Claassen, H. Flessa, W. B. Frommer, H. Goldbach, H. W. Olfs, V. Römheld, B. Sattelmacher, U. Schmidhalter, S. Schubert, N. v. Wirén and L. Wittenmayer, eds.), pp. 144-145. Springer Netherlands, Dordrecht.

Schütz, M., and Fangmeier, A. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (Triticum aestivum L. cv. Minaret) to elevated CO 2 and water limitation. *Environmental Pollution*, *114*(2), 187-194.

Shams, Sh., Mousavi Baygi, M., Alizadeh, A., Shoor, M., and Kamgar-Haghighi, A. A. (2015). The effects of different concentrations of carbon dioxide and irrigation regimes on quantitative and qualitative characteristics of lentil (variety Bileh-savar). *Journal of Agricultural Meteorology*, 3(2): 55-67. (In Farsi)

Shepherd, K. D., Cooper, P. J. M., Allan, A. Y., Drennan, D. S. H., and Keatinge, J. D. H. (1987). Growth, water use and yield of barley in Mediterranean-type environments. *The Journal of Agricultural Science*, *108*(2), 365-378.

Shoor, M., Mondani, F., Aliverdi, A., and Golzardi, F. (2012). Interaction effect of CO_2 enrichment and nutritional conditions on physiological characteristics, essential oil and yield of lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, *4*(1), 121.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H. L. (2007). Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, USA, Pp, 1-21.

Uprety, D. C., Dwivedi, N., Jain, V., and Mohan, R. (2002). Effect of elevated carbon dioxide concentration on the stomatal parameters of rice cultivars. *Photosynthetica*, *40*(2), 315-319.

Vanaja, M., Raghuram Reddy, P., Jyothi Lakshmi, N., Maheswari, M., Vagheera, P., Ratnakumar, P., Jyothi, M., Yadav, S.K. and Venkateswarlu, B. (2007). Effect of elevated atmospheric CO_2 concentrations on growth and yield of blackgram (*Vigna mungo* L. Hepper)-a rainfed pulse crop. *Plant, Soil and Environment-UZPI (Czech Republic). 53*(2), 81–88.

Varvel, G. E., Schepers, J. S., and Francis, D. D. (1997). Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Science Society of America Journal*, *61*(4), 1233-1239.

Weigel, H. J., and Manderscheid, R. (2012). Crop growth responses to free air CO_2 enrichment and nitrogen fertilization: rotating barley, ryegrass, sugar beet and wheat. *European journal of agronomy*, *43*, 97-107.

Wolf, J. (1996). Effects of nutrient supply (NPK) on spring wheat response to elevated atmosperic CO_2. *Plant and Soil*, *185*(1): 113-123.

Wu, D. X., Wang, G. X., Bai, Y. F., and Liao, J. X. (2004). Effects of elevated CO_2 concentration on growth, water use, yield and grain quality of wheat under two soil water levels. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *104*(3), 493-507.

Yang, L., Wang, Y., Dong, G., Gu, H., Huang, J., Zhu, J., Yang, H., Liu, G. and Han, Y. (2007). The impact of free-air CO_2 enrichment (FACE) and nitrogen supply on grain quality of rice. *Field Crops Research*, *102*(2), 128-140.

Zavareh, M. (2005). Modeling sesame (*Sesamum indicum* L.) growth and development. PhD Thesis from Faculty of Agriculture, Tehran University, Iran. (In Farsi)

Zhu, C., Cheng, W., Sakai, H., Oikawa, S., Laza, R.C., Usui, Y. and Hasegawa, T. (2013). Effects of elevated [CO_2] on stem and root lodging among rice cultivars. *Chinese Science Bulletin*, *58*(15), 1787-1794.

Archive of SID

www.SID.ir