مجله کشاورزی بوم‌شناختی (2) 4 (1393) 81- 65

ارزیابی تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری و کادمیوم بر غلظت آهن، مس و روی در گندم و سورگوم

حسین میرسیدحسینی*، گلاره خانبلوکی و بابک متشرع زاده

گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*نویسنده مسئول: mirseyed@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: 1393/02/12

تاریخ پذیرش: 1393/12/20

میرسیدحسینی، ح.، گ. خانبلوکی و ب. متشرع زاده. 1393. ارزیابی تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری و کادمیوم بر غلظت آهن، مس و روی در گندم و سورگوم. مجله کشاورزی بوم شناختی. 4 (2): 81- 65.

چکیده

تغییرات اقلیمی به‌ویژه افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و همچنین آلودگی خاک به‌وسیله فلزهای سنگین سبب ایجاد دگرگونی در رشد گیاهان به دلیل جذب عناصر توسط آنها شده است. این پژوهش به منظور بررسی تاثیر غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری و کادمیوم بر جذب آهن، مس و روی و همچنین شاخص های رشد گندم و سورگوم، با اعمال 2 سطح دی‌اکسیدکربن (900 و 400 میکرولیتر در لیتر) و 4 سطح کادمیوم (0، 10، 20 و 40 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک) اجرا شد. پس از طی دوره رشد رویشی (60 روز) گیاهان برداشت شدند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، ارتفاع گیاه ، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه در هر دو گیاه گندم و سورگوم به‌طور معنی‌دار ($P< 0/01$) افزایش یافت. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش غلظت و جذب کادمیوم و عناصر غذایی آهن، مس و روی در اندام‌های هوایی و ریشه سورگوم شد. در مورد گندم عکس این نتیجه به‌دست آمد و کاهش جذب عناصر دیده شد. در بین عناصر غذایی، بیشترین افزایش غلظت در اندام‌های هوایی سورگوم مربوط به عنصر روی (25-14 درصد) و در ریشه مربوط به آهن (25-16 درصد) بود. در گندم عنصر مس بیشترین کاهش غلظت را در اندام‌های هوایی (25-19 درصد) و ریشه (15-10 درصد) داشت. کاهش جذب کادمیوم در گندم می‌تواند عاملی برای افزایش مقاومت در برابر تنش باشد اما از سویی در مورد عناصر غذایی کم مصرف و به‌ویژه روی در محصولاتی مانند گندم که به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌تواند چالش‌هایی را از لحاظ ارزش غذایی ایجاد کند. در سورگوم با اینکه افزایش جذب عناصر غذایی دیده شد، اما افزایش جذب کادمیوم مسئله‌ای است که باید در مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیمی، ماده‌خشک، عناصر غذایی کم‌مصرف، آلودگی خاک.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

آلودگی خاک با فلزهای سنگین و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری دو چالش عمده زیست‌محیطی در سراسر جهان می‌باشند (Solomon *et al*., 2007). در جامعه‌های امروزی فعالیت‌های انسانی در زمینه‌های صنعتی و کشاورزی، از جمله معدن‌کاوی، فرایندهای پالایش، استفاده از کودها، آفت‌کش‌ها و فاضلاب سبب افزایش غلظت فلزهای سنگین در خاک‌ها شده است (Terzano *et al*., 2007; Ma et al., 2011). اگرچه شمار کمی از فلزهای سنگین به‌عنوان عناصر غذایی ضروری برای سوخت و ساز (متابولیسم) گیاه شناخته شده‌اند (Zn, Fe, Cu) اما افزایش غلظت این فلزها در خاک و یا گیاه می‌تواند در فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تداخل ایجاد کرده و بازدارنده رشد و نمو گیاه شود (Yadav, 2010). در میان فلزهای سنگین کادمیوم به‌علت حلالیت بیشتر در خاک و ایجاد سمیت در غلظت‌های کم بسیار مورد توجه قرار گرفته است. کادمیوم سبب اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی و رشد گیاه می شود (Wu *et al*., 2007; Sun *et al*., 2008). گیاهان رشد کرده در خاک‌های با غلظت زیاد کادمیوم اختلال‌هایی مانند کاهش جذب آب و عناصر غذایی، کاهش سبزینه (کلروفیل)، کاهش توانایی جذب و استفاده از انرژی نورانی و درنتیجه کاهش نورساخت (فتوسنتز)، کاهش میزان قند و پروتئین‌های محلول، تغییر در میزان فنول و فعالیت‌های آنزیمی را نشان می‌دهند (Li *et al*., 2007; Maksymiec and Krupa, 2006). صنعتی شدن و فعالیت‌های انسانی افزون بر چالش آلودگی خاک، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری را نیز به دنبال داشته به‌طوری که غلظت آن از 280 میکرولیتر در لیتر در آغاز انقلاب صنعتی به حدود 380 میکرولیتر در لیتر رسیده است و پیش بینی می‌شود تا پایان این سده غلظت آن دو برابر شود (Solomon *et al*., 2007). اگرچه افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به‌طور کلی موجب افزایش فتوسنتز، افزایش وزن خشک و عملکرد گیاهان و تولیدات کشاورزی می‌شود اما موجب تغییر غلظت بسیاری از عناصر غذایی ضروری نیز می‌شود (Prior *et al*., 2011; Flexas *et al*., 2002). کاهش غلظت نیتروژن در شمار بسیاری از گیاهان گزارش شده است. Taub *et al*. (2008) کاهش غلظت را 10-14 درصد در گیاهان علوفه‌ای (لگوم‌ها) و 1/5 درصد در گیاهان غیر علوفه‌ای گزارش کرده‌اند. اما در مورد دیگر عناصر غذایی اطلاعات زیادی در دست نیست. پاسخ گیاهان به‌طورمعمول به نوع عنصر غذایی و گونه گیاهی بستگی دارد (Mcgrath and Lobell, 2013). بنابر یافته‌های Seneweera and Conroy (1997) افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن سبب کاهش غلظت 15 درصد روی و 60 درصد آهن در برنج شد. کاهش غلظت 2 تا 20 درصدی آهن، روی و کلسیم در غلات و گندم نیز در نتیجه افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن گزارش شد (Fangmeier *et al*., 1999). با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن غلظت پتاسیم، منیزیم و مولیبدن در اندام هوایی گندم افزایش یافت درحالی‌که کاهش غلظت فسفر، آهن، مس و روی دیده شد (Hogy *et al*., 2009). در تحقیق McGrath and Lobell (2013) بر روی شماری از گونه‌های گیاهی، به‌جز سدیم، مولیبدن، کروم و سرب دیگر عناصر کاهش غلظت را نشان دادند.

تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تحت تأثیر تنش‌های زیستی (آفات و بیماری ها) و غیرزیستی (دما، خشکی، فلزهای سنگین) قرار می‌گیرد (Hogy *et al*., 2009). هنگامی‌که گیاهان در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین رشد می‌کنند، برهمکنش میان سطوح دی اکسیدکربن و جذب فلزها می‌تواند بسیار پیچیده باشد. دی‌اکسیدکربن به‌طور مستقیم و غیر مستقیم سبب تغییر تحرک فلزهای سنگین در خاک می‌شود. در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی درباره تأثیر دی‌اکسیدکربن بر جذب عناصر ضروری توسط گیاهان در خاک های آلوده به فلزهای سنگین صورت گرفته است. Li *et al*. (2010) نشان دادند با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، جذب کادمیوم و مس در سه رقم برنج افزایش یافت. در بررسی دیگری، برهمکنش دی‌اکسیدکربن و کادمیوم سبب افزایش جذب آهن، مس، منگنز و منیزیم در *Sedum alfredii* شد (Li *et al*., 2011). بر پایه تحقیقات Guo *et al*. (2011) با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، افزایش غلظت کادمیوم و کاهش غلظت مس در گندم و برنج دیده شد. تحقیقات زیادی لازم است تا پاسخ گیاهان رشد کرده در خاک‌های آلوده را تحت غلظت‌های بالای دی‌اکسیدکربن بررسی نماید. با توجه به اهمیت جهانی محصولاتی مانند گندم، نگرانی‌هایی در مورد اثرگذاریهای منفی کاهش غلظت عناصر غذایی که "گرسنگی پنهان" نیز نامیده شده است

Archive of SID

www.SID.ir

وجود دارد (Loladze, 2002). آگاهی از اثر متقابل دی‌اکسیدکربن اتمسفری و آلاینده‌های خاک بر روی جذب عناصر غذایی توسط گیاهان می‌تواند سبب افزایش دانش ما درباره توانایی زنده ماندن گیاهان در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین شود. بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری بر جذب آهن، مس و روی در خاک‌های آلوده به کادمیوم در دو گیاه گندم و سورگوم انجام شد و یافته های آن می تواند در رابطه با کنترل محیط رشد گیاهان و امنیت غذایی به‌کار گرفته شود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در اتاقک‌های رشد گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران اجرا شد. عامل‌های محیطی رشد شامل نور (14000 لوکس)، دما (روزانه و شبانه به ترتیب 26 و 20 درجه سلسیوس) و رطوبت (60 درصد) در دو اتاقک رشد به‌کلی یکسان بوده و تنظیم آنها به‌طور خودکار برنامه ریزی شد. اتاقک‌های رشد تنها از نظر غلظت دی‌اکسیدکربن تفاوت داشتند. غلظت دی‌اکسیدکربن در یکی از اتاقک‌ها 50±400 میکرولیتر در لیتر (به عنوان غلظت طبیعی و شاهد) و در دیگری 50±900 میکرولیتر در لیتر (به عنوان غلظت افزایش یافته دی‌اکسیدکربن) تنظیم شد. سعی شد غلظت افزایش یافته دی‌اکسیدکربن دو برابر و یا کمی بیشتر از غلظت طبیعی باشد. ورود دی‌اکسیدکربن به درون اتاقک دوم با سیلندر تعبیه شده در کنار اتاقک و تنظیم آن به‌طور خودکار و توسط حسگر صورت گرفت. برای اطمینان، دما و غلظت دی‌اکسیدکربن چندین بار در طی روز تحت اندازه‌گیری بود.

خاک مورد استفاده در این تحقیق از منطقه غیرآلوده در اطراف کرج و از لایه سطحی (30-0 سانتی‌متر) گردآوری شد. خاک پس از انتقال به آزمایشگاه هواخشک شده و پس از عبور از الک 2 میلی‌متری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل قابلیت هدایت الکتریکی، pH، بافت خاک (هیدرومتری)، درصد ماده آلی (والکلی بلک)، ظرفیت تبادل کاتیونی (باور)، نیتروژن کل (کجلدال)، فسفر قابل جذب گیاه (اولسن) و پتاسیم (استات آمونیوم نرمال) تعیین شد. غلظت ترکیب قابل جذب کادمیوم و عناصر آهن، مس و روی نیز به روش عصاره‌گیری با DTPA اندازه‌گیری شدند (Lindsay, 1978). نتایج تجزیه خاک در جدول 1 آمده است. به منظور انجام آزمایش، خاک از الک 4 میلی‌متر عبور داده شد و درون گلدان‌های 3/5 کیلوگرم قرار گرفت. برای آلوده کردن نمونه‌های خاک از نمک نیترات کادمیوم استفاده شد. با استفاده از این نمک محلول‌هایی با غلظت‌های مورد نظر کادمیوم تهیه و از طریق افشانش به خاک گلدان‌ها اضافه شد به‌طوری‌که خاک مقادیر 0، 10، 20 و 40 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک را دریافت کرد. خاک بدون کادمیوم دریافتی به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. پس از آلوده شدن، به منظور ایجاد تعادل میان عناصر و قسمت‌های مختلف خاک، گلدان‌ها به مدت چهار ماه در تاریکی و دمای 25 درجه سلسیوس گرماگذاری شدند (Li *et al.*, 2011). در این مدت نمونه‌ها با استفاده از آب مقطر تا رطوبت 80٪ ظرفیت زراعی مرطوب نگه داشته شدند.

گیاهان مورد استفاده در این تحقیق، گندم و سورگوم بودند که بذر آنها از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شدند. از پیش از انجام آزمایش اصلی چند رقم مختلف گندم و سورگوم در خاک‌های آلوده به کادمیوم کشت شدند. در نهایت دو رقم مرودشت (گندم) و کیمیا (سورگوم) که بهترین رشد را داشتند به عنوان ارقام گیاهی انتخاب شدند. بذر ارقام گیاهی از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. پیش از کشت، بذرها با محلول اتانول و هیپوکلریت سدیم ضدعفونی و چندین بار با آب مقطر شسته شدند. سپس به منظور جوانه‌دار شدن، به مدت 24 ساعت در دمای 28 درجه سلسیوس درون پتری دیش قرار گرفتند. شمار 10 جوانه گندم و سورگوم که از نظر ظاهری به‌طورکامل همانند بودند در گلدان‌های جداگانه کاشته شدند. در مرحله دو برگی شمار آنها به 5 گیاهچه کاهش یافت. سه تکرار برای هر تیمار کادمیوم در نظر گرفته شد. پس از کشت، نیمی از گلدان‌ها به اتاقک رشد با غلظت طبیعی دی‌اکسیدکربن و نیمی دیگر به اتاقک رشد با غلظت افزایش یافته دی‌اکسیدکربن منتقل شدند. گیاهان از مرحله دو برگی و در ساعت‌های روشنایی در معرض دی‌اکسیدکربن قرار گرفتند. در دوره آزمایش دمای روزانه و شبانه به ترتیب 26 و 20 درجه سلسیوس، نوردوره‌ی (فتوپریود) 12 ساعت روشنایی و 12 ساعت تاریکی و رطوبت نسبی 60

Archive of SID

www.SID.ir

درصد در نظر گرفته شد. برای اطمینان از یکسان بودن شرایط، هر هفته یکبار گلدان‌های هر اتاقک به‌طور تصادفی جابه‌جا می‌شد. آبیاری گلدان‌ها نیز بنابر نیاز انجام گرفت به طوری‌که رطوبت 80٪ ظرفیت زراعی تأمین شود. گیاهان تا پایان رشد رویشی در این شرایط نگهداری شدند. پس از طی دوره داشت، گیاهان هر گلدان با دقت بیرون آورده و به دو قسمت اندام هوایی و ریشه تقسیم شدند. پس از شستشو، هر قسمت به مدت 72 ساعت در آون در دمای 65 درجه سلسیوس قرار گرفت. بدین ترتیب وزن خشک آنها تعیین شد. به منظور تعیین غلظت کادمیوم، آهن، مس و روی در اندام هوایی و ریشه، نمونه‌های خشک شده در مخلوطی از HNO_3، $HClO_4$ و H_2SO_4 با نسبت 1:4:10 در دمای 420 درجه سلسیوس هضم (Ryan *et al*., 2001) و غلظت عناصر با استفاده از دستگاه جذب اتمی Shimadzu مدل 670 قرائت شد. جذب از حاصل ضرب غلظت هر عنصر در اندام‌های هوایی و یا ریشه در وزن خشک همان قسمت به‌دست آمد. سطح برگ نیز با استفاده از دستگاه تعیین سطح برگ مدل CI-202 Area Meter تعیین شد.

این تحقیق در قالب طرح اسپلیت فاکتوریل با 4 سطح کادمیوم، 2 سطح دی‌اکسیدکربن، دو گونه گیاهی و 3 تکرار اجرا شد. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال 95 درصد انجام شد.

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی پیش از اعمال تیمارها.

ویژگی خاک	میزان	ویژگی خاک	میزان
شن (%)	68/4	نیتروژن کل (%)	0/03
سیلت (%)	19/6	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	7/28
رس (%)	12	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	220
کلاس بافت	لوم شنی	کادمیوم کل (میلی‌گرم در کیلوگرم)	1/45
pH (عصاره اشباع)	8	کادمیوم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	0/03
EC (عصاره اشباع) (دسی‌زیمنس بر متر)	0/54	آهن قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	4/89
ماده آلی (%)	0/59	مس قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	3/38
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم)	11/76	روی قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	1/46

نتایج و بحث

ویژگی‌های رشدی گیاه

نتایج تجزیه واریانس مربوط به ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک در جدول 3 آمده است. سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن، سطوح مختلف کادمیوم و همچنین نوع گیاه باعث تفاوت معنی‌داری ($p<0/01$) در صفات ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه و نسبت وزن خشک اندام‌های هوایی به ریشه شد. برهمکنش دی‌اکسیدکربن و کادمیوم، و کادمیوم و گیاه نیز سبب اختلاف معنی‌دار ($p<0/01$) در صفات اندازه‌گیری شده شد. برهمکنش دی‌اکسیدکربن و گیاه تنها از نظر ارتفاع، سطح برگ و نسبت وزن خشک اندام‌های هوایی به ریشه تفاوت معنی‌دار ($p<0/01$) نشان داد.

جدول 4 تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه را نشان می‌دهد. در مورد هر دوگیاه گندم و سورگوم و در هر دو سطح دی‌اکسید کربن، افزایش غلظت کادمیوم سبب کاهش معنی‌دار ($p<0/05$) ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه شد. دی‌اکسیدکربن اثر متفاوتی را بر گیاهان نشان داد. به‌طوری‌که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در غلظت‌های یکسان کادمیوم، موجب افزایش معنی‌دار ($p<0/05$) صفات اندازه‌گیری‌شده شد. اثرگذاری مثبت دی‌اکسیدکربن در غلظت‌های متفاوت کادمیوم یکسان نبود. در سورگوم افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن سبب افزایش 12/62٪، 15/22٪، 13/47% و 8/4٪ ارتفاع، 23/91٪، 21/64٪، 22/51٪و 18/13% سطح برگ، 12/74٪، 13/40٪، 18/18٪ و 10/28٪ وزن خشک اندام‌های هوایی 9/12٪، 7/51٪، 12/65٪ و 8/43٪ وزن خشک ریشه به ترتیب در تیمارهای 0، 10، 20 و 40 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک شد. در گندم افزایش به صورت 17/88٪، 21/45٪، 19/52٪ و 13/61 برای ارتفاع، 14/60٪، 13/80٪، 14/10٪ و 12/20٪ برای سطح برگ، 19/90٪، 23/13٪، 17/20٪ و 17/37٪ برای وزن خشک اندام هوایی و 12/5٪، 16/35٪، 11/84٪ و

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس برای ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه بر پایه میانگین مربعات.

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	سطح برگ	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه
دی‌اکسیدکربن	1	331/85**	64002/76**	5/05**	0/71**	0/10**
تکرار (دی‌اکسیدکربن)	4	0/58	0/23	0/003	0/001	0/002
کادمیوم	3	550/15**	322378/67**	36/05**	3/91**	1/25**
دی‌اکسیدکربن ٭کادمیوم	3	6/83**	3321/09**	0/25**	0/01**	0/004**
گیاه	1	688/34**	42760/12**	14/81**	11/62**	1/25**
دی‌اکسیدکربن ٭گیاه	1	28/23**	4984/74**	0/02^{ns}	0/001^{ns}	0/01**
کادمیوم ٭ گیاه	3	67/1**	84890/10**	3/94**	0/84**	0/18**
دی‌اکسیدکربن ٭کادمیوم ٭ گیاه	3	0/28^{ns}	1265/72**	0/01**	0/009**	0/002*
خطا	28	0/24	2/30	0/001	0/001	0/001
ضریب تغییرات	-	1/33	0/34	0/85	1/43	1/64

٭٭ معنی‌دار در سطح 0/01، ٭ معنی‌دار در سطح 0/05، ns غیر معنی‌دار

11/68٪ برای وزن خشک ریشه به ترتیب در تیمارهای 0، 10، 20 و 40 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک شد. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تأثیر کمتری بر وزن خشک ریشه داشت و در نتیجه منجر به افزایش نسبت وزن خشک اندام‌های هوایی به ریشه شد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد افزایش غلظت کادمیوم خاک در هر دو سطح دی‌اکسیدکربن موجب کاهش ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه و به عبارت دیگر کاهش رشد گیاهان شد. تحقیقات نشان داده‌اند غلظت‌های بالای کادمیوم موجب کاهش تقسیم یاخته‌ای، کاهش قابلیت ارتجاعی دیواره یاخته‌ای ، کاهش توسعه ریشه، کاهش جذب آب و عناصر غذایی و در نتیجه کاهش رشد اندام‌های هوایی گیاه می‌شود (Thamayanthi *et al.*, 2011; Zhao, 2009). افزون بر این، کادمیوم با ایجاد اختلال در فرایندهای حیاتی گیاه مانند تنفس، فتوسنتز و انتقال عناصر غذایی نیز سبب کاهش رشد گیاه می‌شود (Maria *et al.*, 2013).

افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اثر مثبتی بر رشد دو گیاه داشت. دی‌اکسیدکربن به‌صورت عامل غنی‌سازی و افزایش رشد عمل کرده و بدون در نظر گرفتن تنش‌های ناشی از غلظت بالای کادمیوم، موجب افزایش ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک شد. افزایش سطح برگ و استفاده بیشتر از انرژی نورانی موجب افزایش سرعت رشد برگ‌های جوان می‌شود. رشد بیشتر و توسعه سطح برگ، بازده استفاده از آب و عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (Wu *et al.*, 2009; Prasad *et al.*, 2009). بنابراین به‌طورکلی افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش شدت نورساخت، افزایش بازده استفاده از آب و عناصر غذایی، بهبود ویژگی‌های ریشه‌گاهی (ریزوسفری)، افزایش ماده خشک و افزایش رشد می‌شود (Kimball *et al.*, 2002). تأثیر دی‌اکسیدکربن بر افزایش ماده خشک و سرعت رشد گیاهان مختلف متفاوت است. در بسیاری از بررسی‌ها تأثیر دی‌اکسیدکربن بر رشد گیاهان C_3 بیشتر از C_4 گزارش شده است (Ghannoum *et al.*, 2000; Leakey *et al.*, 2009). به‌طور مثال، Poorter (1993) میانگین افزایش ماده خشک را 41٪ برای گیاهان C_3 و 22٪ برای گیاهان C_4 گزارش کرد. بنابر نتایج Wu *et al.* (2009) با دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن، وزن خشک اندام‌های هوایی گیاهان C_3 و C_4 به ترتیب 54 و 44 درصد افزایش یافت. Poorter (1993) میانگین افزایش ماده خشک را 41٪ برای گیاهان C_3 و 22٪ برای گیاهان C_4 گزارش کرد. بنابر نتایج Wu *et al.* (2009) با دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن، وزن خشک اندام‌های هوایی گیاهان C_3 و C_4 به ترتیب 54 و 44 درصد افزایش یافت. در این پژوهش تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر روی گندم بیشتر از سورگوم بود. همچنین اندام های هوایی بیشتر از ریشه تحت تأثیر

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن قرار گرفت. افزون بر این، تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر روی ماده خشک در سورگوم و گندم به ترتیب در تیمار 20 و 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بیشتر از تیمار شاهد (صفر) بود. به‌نظر می‌رسد افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن می‌تواند موجب کاهش بروز اثرگذاریهای منفی کادمیوم شود. به عبارت دیگر، در غلظت های یکسان کادمیوم، شاخص‌های رشدی گیاه (ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک تولید شده) در غلظت افزایش یافته دی‌اکسیدکربن در مقایسه با غلظت طبیعی بیشتر است.

جدول 4- تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه.

گیاه	غلظت دی‌اکسیدکربن (میکرولیتر در لیتر)	غلظت کادمیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	ارتفاع (سانتی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)	نسبت وزن خشک هوایی به وزن خشک ریشه
سورگوم	400	0	38/70 f	602/75 d	6/83 b	3/62 b	1/88 ef
		10	37/32 g	617/10 c	5/67 d	2/93 d	1/93 ed
		20	27/84 k	271/65 n	3/19 k	2/53 f	1/26 j
		40	20/73 m	192/25 p	2/14 o	1/78 l	1/20 k
	900	0	43/56c	746/85 b	7/70 a	3/95 a	1/95 d
		10	41/85 ed	750/65 a	6/43 c	3/15 c	2/04 c
		20	31/60 j	332/80 k	3/77 i	2/85 e	1/32 i
		40	22/47 l	227/10 o	2/36 n	1/93 k	1/22 kj
گندم	400	0	41/17 e	439/10 h	4/28 g	2/00 j	2/14 b
		10	39/21 f	446/40 g	4/02 h	2/08 i	1/93 ed
		20	35/44 h	352/20 j	2/79 l	1/52 n	1/83 f
		40	32/91 i	288/80 m	2/13 o	1/37 o	1/55 h
	900	0	48/53 a	503/20 f	5/26 e	2/25 h	2/34 a
		10	47/62 b	508/00 e	4/95 f	2/42 g	2/04 c
		20	42/36 d	401/85 i	3/27 j	1/70 m	1/92ed
		40	37/40 g	324/05 l	2/50m	1/53 n	1/63g

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (٪5=α) انجام شده است و در هر ستون اعداد دارای دست‌کم یک حرف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

غلظت و جذب کادمیوم و عناصر غذایی آهن، مس و روی

جدول 5 نتایج تجزیه واریانس مربوط به غلظت کادمیوم و عناصر غذایی آهن، مس و روی در اندام هوایی و ریشه را نشان می‌دهد. دی‌اکسیدکربن تاثیری بر غلظت مس در اندام‌های هوایی و ریشه و غلظت آهن اندام‌های هوایی نداشت اما سطوح مختلف کادمیوم سبب تفاوت معنی‌دار ($p<0/01$) غلظت عناصر مورد بررسی در اندام هوایی و ریشه شد. اثر متقابل دی‌اکسیدکربن و کادمیوم سبب تفاوت معنی‌دار ($p<0/01$) غلظت کادمیوم، آهن، مس و روی در اندام‌های هوایی و ریشه شد درحالی‌که تأثیری بر غلظت مس نداشت. برهمکنش گیاهان و دی‌اکسیدکربن در همه‌ی صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار ($p<0/01$) بود. گیاهان در پاسخ به کادمیوم تنها در غلظت کادمیوم ریشه تفاوتی را نشان ندادند.

شکل 1 اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر غلظت کادمیوم اندام‌های هوایی و ریشه را در دو گیاه سورگوم و گندم نشان می‌دهد. در هر دو گیاه و در هر دو غلظت دی‌اکسیدکربن، با افزایش غلظت کادمیوم خاک، غلظت کادمیوم اندام های هوایی و ریشه به‌طور معنی‌دار ($P<0/05$) افزایش یافت. در هر دو گیاه غلظت کادمیوم ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی بود. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی و ریشه سورگوم شد. در حالی‌که غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی و ریشه گندم کاهش یافت.

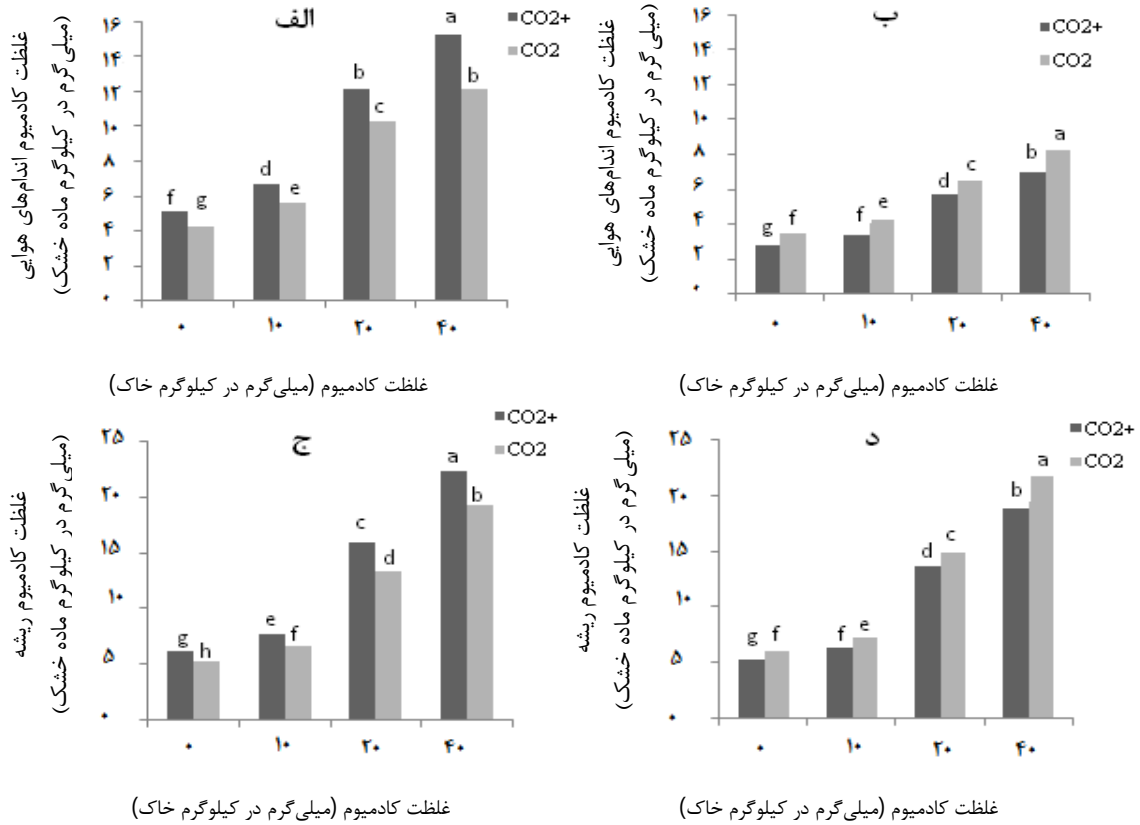
Archive of SID

www.SID.ir

جدول 5- نتایج تجزیه واریانس برای غلظت عناصر در اندام‌های هوایی و ریشه بر پایه میانگین مربعات.

منابع تغییرات	درجه آزادی	غلظت کادمیوم اندام‌های هوایی	غلظت کادمیوم ریشه	غلظت آهن اندام‌های هوایی	غلظت آهن ریشه	غلظت مس اندام‌های هوایی	غلظت مس ریشه	غلظت روی اندام‌های هوایی	غلظت روی ریشه
دی‌اکسیدکربن	1	2/13**	0/83**	1/69 ns	193/32**	0/19ns	0/69ns	10/46**	31/88**
تکرار(دی‌اکسیدکربن)	4	0/004	0/04	0/37	0/73	0/25	0/58	0/06	1/66
کادمیوم	3	/42** 118	/76** 574	1964/94**	/41** 9552	308/33**	/64** 3142	361/10**	1706/05**
دی‌اکسیدکربن ×کادمیوم	3	0/43**	0/32**	4/25 **	22/79**	0/66ns	0/35ns	5/86**	7/63**
گیاه	1	/31** 171	1/38**	/27** 1039	2489/61**	1119/49**	145/53**	6384/62**	593/05**
دی‌اکسیدکربن×گیاه	1	21/65**	34/27**	194/77 **	/02** 1988	131/17**	397/44**	/72** 1588	/70** 2150
کادمیوم × گیاه	3	14/64**	0/08ns	12/82 **	225/62**	32/56**	22/16**	27/80**	28/93**
دی‌اکسیدکربن ×کادمیوم × گیاه	3	1/01**	2/71**	3/24 **	82/51**	3/03**	10/38**	9/29**	16/65**
خطا	28	0/01	0/04	0/50	2/30	0/32	0/80	0/90	1/07
ضریب تغییرات	-	1/51	1/80	2/14	1/91	3/21	2/05	1/63	1/13

** معنی‌دار در سطح 0/01، * معنی‌دار در سطح 0/05، ns غیر معنی‌دار



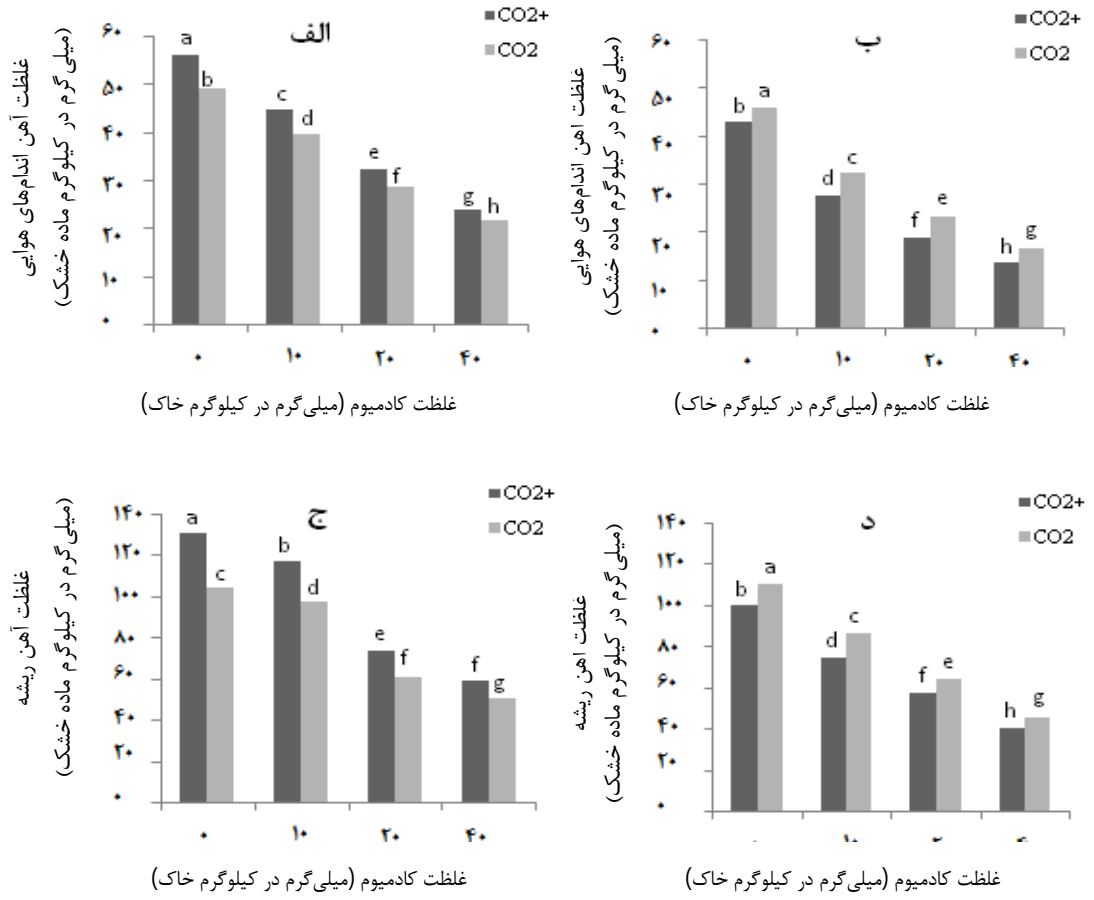
شکل 1- تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر غلظت کادمیوم اندام‌های هوایی و ریشه سورگوم (الف و ج) و گندم (ب و د).

www.SID.ir

اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در تیمارهای مختلف کادمیوم متفاوت بود. در سورگوم به ترتیب در تیمارهای 0، 10، 20 و 40 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، در اندام‌های هوایی 22/6٪، 20/8٪، 18/21٪ و 25/6٪ و در ریشه 20/74٪، 15/58٪، 20/42٪ و 15/75٪ افزایش غلظت کادمیوم دیده شد. بیشترین افزایش غلظت در اندام های هوایی در تیمار 40 و در ریشه در تیمار صفر کادمیوم دیده شد. در گندم کاهش غلظت به ترتیب به صورت 20/23٪، 21/23٪، 12/56٪ و 15/65٪ در اندام‌های هوایی و 9/07٪، 11/76٪، 10/26٪ و 13/14٪ در ریشه بود. بیشترین کاهش غلظت در اندام‌های هوایی مربوط به تیمار 10 کادمیوم و در ریشه مربوط به تیمار 40 کادمیوم بود.

شکل‌های 2، 3 و 4 اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر غلظت آهن، مس و روی را در دوگیاه سورگوم و گندم در خاک آلوده به کادمیوم نشان می‌دهند.

در هر دو غلظت دی‌اکسیدکربن، افزایش غلظت کادمیوم

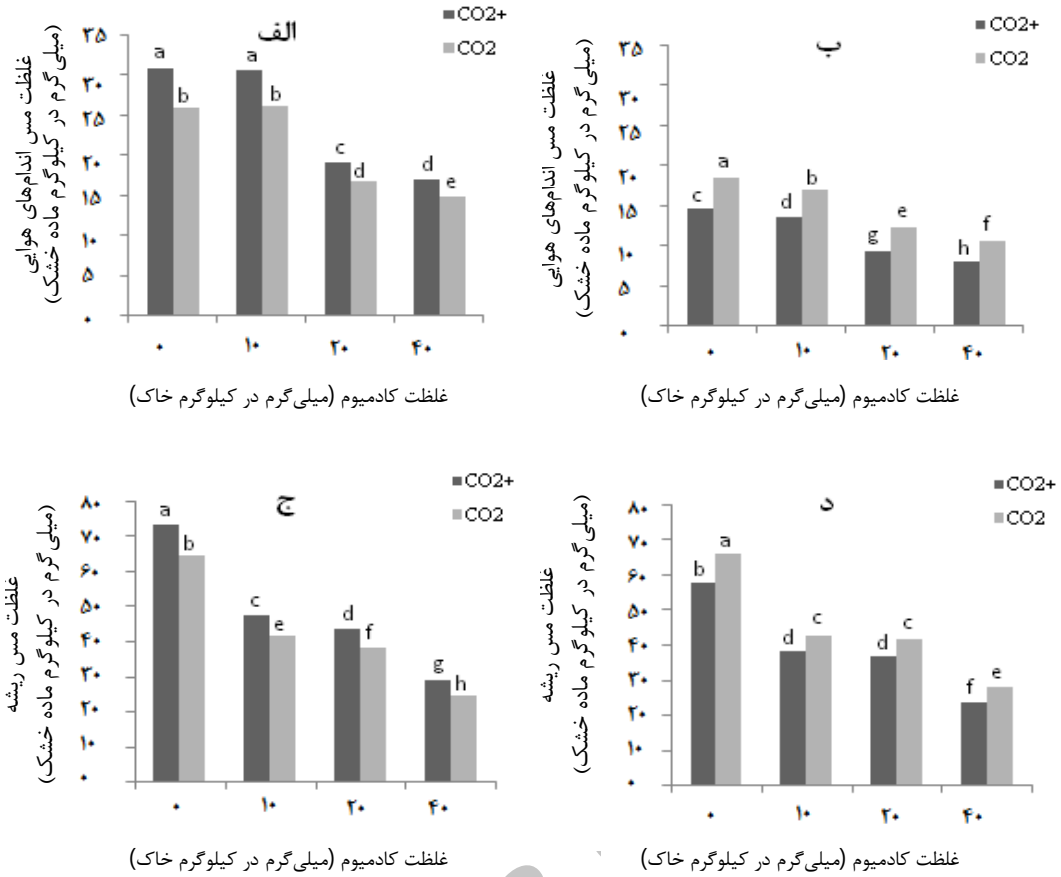


شکل 2- تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر غلظت آهن اندام‌های هوایی و ریشه سورگوم (الف و ج) و گندم (ب و د) در خاک آلوده به کادمیوم.

خاک سبب کاهش معنی‌دار ($p<0/05$) غلظت آهن در اندام های هوایی و ریشه سورگوم و گندم شد. در غلظت‌های یکسان کادمیوم خاک، با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن غلظت آهن در اندام‌های هوایی و ریشه سورگوم افزایش و در گندم کاهش یافت. افزایش غلظت در سورگوم به‌صورت 14/23٪، 12/24٪، 12/62٪ و 10/22% در اندام‌های هوایی و 25/31٪، 20/35٪، 21/71٪ و 16/32٪ در ریشه به ترتیب در تیمارهای 0، 10، 20 و 40 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بود. در اندام‌های هوایی و ریشه بیشترین افزایش غلظت در تیمار بدون کادمیوم دیده شد.

در گندم به ترتیب در تیمارهای 0، 10، 20 و 40 میلی‌گرم کادمیوم، 10/25٪، 14/51٪، 18/63٪ و 17/73٪ کاهش غلظت آهن در اندام‌های هوایی و 9/66٪، 13/78٪، 11/26٪ و 12/38٪ کاهش غلظت در ریشه دیده شد. بیشترین کاهش غلظت مربوط به تیمار 20 میلی‌گرم کادمیوم در اندام‌های هوایی و تیمار 10 میلی‌گرم کادمیوم در ریشه بود.

www.SID.ir

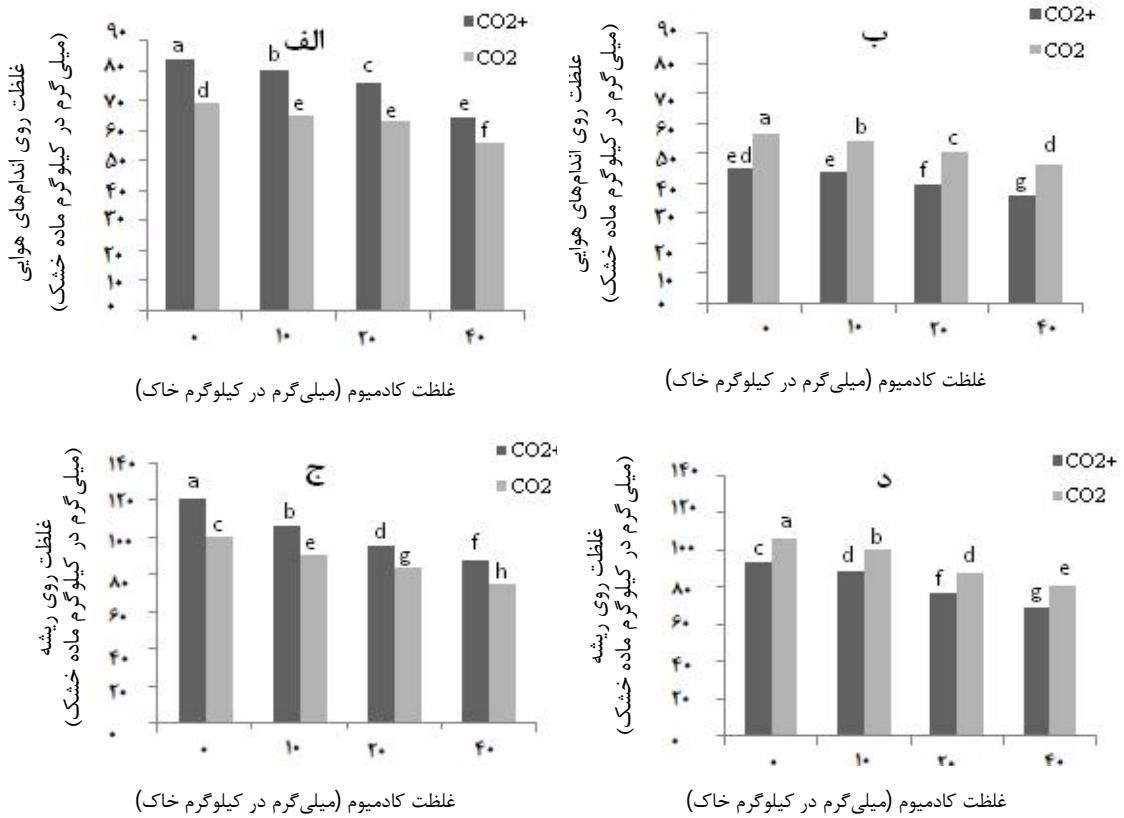


شکل 3- تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر غلظت مس اندام‌های هوایی و ریشه سورگوم (الف و ج) و گندم (ب و د) در خاک آلوده به کادمیوم.

در مورد عناصر مس و روی نیز روند تغییرات همسان عنصر آهن بود. بدین ترتیب که در هر دو غلظت دی‌اکسیدکربن با افزایش غلظت کادمیوم، غلظت مس و روی در اندام هوایی و ریشه گیاهان کاهش یافت. در غلظت‌های یکسان کادمیوم افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش غلظت مس و روی در سورگوم و کاهش غلظت در گندم شد. تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در افزایش و یا کاهش دو عنصر در غلظت‌های مختلف کادمیوم متفاوت بود. در سورگوم افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش 19/42٪، 16/60٪، 14/65٪ و 13/23٪ غلظت مس در اندام هوایی و 13/36٪، 14/26٪، 14/14٪ و 16/50٪ غلظت مس در ریشه به ترتیب در تیمارهای 0، 10، 20 و 40 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک شد. بیشترین افزایش غلظت مربوط به تیمار بدون کادمیوم در اندام‌های هوایی و تیمار 40 کادمیوم در ریشه بود. در گندم کاهش غلظت مس به صورت 21/23٪، 19/67٪، 23/34٪ و 25/43٪ در اندام‌های هوایی و 12/64٪، 10/80٪، 11/43٪ و 15/80٪ در ریشه بود. بیشترین کاهش غلظت مس در تیمار 20 کادمیوم اندام‌های هوایی و تیمار 40 کادمیوم ریشه دیده شد. در مورد عنصر روی برای سورگوم افزایش غلظت در اندام‌های هوایی و ریشه در تیمارهای 0، 10، 20 و 40 کادمیوم به ترتیب 20/62٪، 23/36٪، 19/41٪، 14/53 و 20/10٪، 17/37٪، 13/70٪ و 16/63٪ بود. در گندم کاهش غلظت در اندام‌های هوایی و ریشه و در تیمارهای 0، 10، 20 و 40 کادمیوم به ترتیب به صورت 20/33٪، 19/70٪، 20/17٪، 21/52٪ و 12/24٪، 11/28٪، 12/57٪ و 14/32 دیده شد.

جدول 6 نتیجه تجزیه واریانس مربوط به جذب عناصر مورد بررسی در اندام‌های هوایی و ریشه را نشان می‌دهد. سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن، کادمیوم و برهمکنش آنها موجب تفاوت معنی‌دار ($p<0/01$) جذب عناصر در اندام هوایی و ریشه شد. همچنین بین دو گیاه نیز تفاوت معنی‌داری ($p<0/01$) در جذب عناصر دیده شد.

Archive
www.SID.ir



شکل4- تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر غلظت روی اندام‌های هوایی و ریشه سورگوم (الف و ج) و گندم (ب و د) در خاک آلوده به کادمیوم. میانگین های دارای دست‌کم یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بدون تفاوت معنی دار هستند.

در جدول 7 تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر جذب عناصر در اندام‌های هوایی و ریشه نشان داده شده است. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تأثیر معنی‌داری بر جذب کادمیوم در گندم نداشت درحالی‌که در سورگوم موجب 24-39 درصد افزایش جذب کادمیوم در غلظت‌های مختلف کادمیوم خاک شد. برای گندم در مورد عنصر روی در غلظت‌های 20 و 40 میلی‌گرم کادمیوم به ترتیب 7/5 و 7/8 درصد کاهش جذب در اندام‌های هوایی دیده شد. در مورد آهن در تیمارهای صفر و 10 میلی‌گرم کادمیوم 15/7 و 5/3 درصد افزایش جذب در اندام‌های هوایی دیده شد. جذب عنصر مس تغییر معنی‌داری را در حضور دی‌اکسیدکربن نشان نداد. برای سورگوم افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش معنی‌دار ($p<0/05$) جذب آهن، مس و روی در اندام‌های هوایی و ریشه شد. با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن 37-21 درصد افزایش جذب آهن، 35-22 درصد افزایش جذب مس و 41-26 درصد افزایش جذب روی در سورگوم در غلظت‌های مختلف کادمیوم خاک دیده شد.

بنابر نتایج به‌دست آمده با افزایش غلظت کادمیوم خاک در هر دو سطح دی‌اکسیدکربن، غلظت آهن، مس و روی در هر دو گیاه کاهش یافت. کادمیوم با تأثیر بر غشای پلاسمایی ریشه موجب اختلال در جذب و توزیع عناصر غذایی در قسمت‌های مختلف گیاه می‌شود. کادمیوم و عناصر غذایی مانند مس و روی به دلیل هم ظرفیت بودن و داشتن رفتارهای شیمیایی همسان دارای برهمکنش منفی هستند. داده‌های سینتیکی نشان داده‌اند Cd^{2+} و یون‌های فلزی ضروری مانند Cu^{2+} و Zn^{2+} برای اتصال به حامل‌های غشایی با یکدیگر رقابت می‌کنند (Irfan *et al.*, 2013). این امر می‌تواند سبب کاهش جذب عناصر غذایی ضروری در خاک‌های آلوده به کادمیوم باشد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج Raskin *et al.* (1994) و Wangda *et al.* (2009) نیز همخوانی دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 6- نتایج تجزیه واریانس برای جذب عناصر در اندام‌های هوایی و ریشه بر پایه میانگین مربعات.

منابع تغییرات	درجه آزادی	جذب کادمیوم اندام‌های هوایی	جذب کادمیوم ریشه	جذب آهن اندام‌های هوایی	جذب آهن ریشه	جذب مس اندام‌های هوایی	جذب مس ریشه	جذب روی اندام‌های هوایی	جذب روی ریشه
کادمیوم	3	60/07**	920/60**	155731**	153438**	36346/32**	49379/34**	198071/21**	79167/60**
دی‌اکسیدکربن ×کادمیوم	3	1/84**	8/90**	2046/61**	1907**	480/36**	240/50**	3211/40**	846/10**
گیاه	1	4123/07**	1341/52**	93530/81**	183765**	58118/02**	41670/41**	358561/42**	152678/41**
دی‌اکسیدکربن ×گیاه	1	395/81**	185/8**	5049/95**	16943**	3932/13**	2888/56**	38795/23**	14918/36**
کادمیوم × گیاه	3	34/70**	53/6**	15180/13**	18827**	9296/93**	7586/81**	45666/81**	14960**
دی‌اکسیدکربن ×کادمیوم ×گیاه	3	0/86*	7/44**	430/10**	1613**	434/61**	266/21**	2704/83**	784/44**
خطا	28	0/30	0/32	16/95	26/92	5/61	9/56	20/53	17/40
ضریب تغییرات	-	1/99	2/27	2/66	2/57	2/81	2/82	1/76	1/87

** معنی‌دار در سطح 0/01، * معنی‌دار در سطح 0/05، ns غیر معنی‌دار

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 7- تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر جذب عناصر در اندام‌های هوایی و ریشه (میکروگرم).

گیاه	غلظت دی‌اکسیدکربن (میلی‌لیتر در لیتر)	غلظت کادمیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	جذب کادمیوم اندام‌های هوایی	جذب کادمیوم ریشه	جذب روی اندام‌های هوایی	جذب روی ریشه	جذب مس اندام‌های هوایی	جذب مس ریشه	جذب آهن اندام‌های هوایی	جذب آهن ریشه
سورگوم	400	0	28/41g	18/50 h	472/10 c	365 b	175/80 c	233/24 b	333/64 b	376/17 b
		10	31/35 f	19/36 h	366/68 d	265/51 e	148/21 d	121/46 f	224/71 d	285/15 c
		20	32/75 e	33/44 c	201/81 h	213/42 f	52/88 h	96/61 g	90/97 i	153/37 g
		40	25/91 h	34/12 c	119/60 l	133/76 h	31/68 j	43/82 k	46/47 l	90/31 i
	900	0	27/39 c	24/37 e	641/95 a	478/31 a	236/70 a	288/55 a	429/61 a	514/30 a
		10	42/95 b	24/10 e	513 b	335/03 c	196 b	149/20 c	286/01 c	368/88 b
		20	45/76 a	45/37 a	284/78 e	273/34 d	71/67 f	124/20 fe	121/10 h	210/30 e
		40	35/90 d	42/82 b	151/03 i	169/12 g	39/60 i	55/35 j	56/50 k	113/90 h
گندم	400	0	14/81 l	11/91 j	240/50 f	213/05 f	79 e	131/65 d	195/41 e	220/87 d
		10	17/04 k	14/85 i	216/37 g	209/64 e	67/46 g	88/70 h	129/34 g	179/52 f
		20	18 ji	22/51 g	140/92 j	134/23 h	33/71 j	63 i	64/52 j	97/47 i
		40	17/42 jk	29/61 d	98/40 m	110/62 i	22/45 k	38/13 l	35/44 m	62/45 j
	900	0	14/53 l	11/47 j	235/40 f	210/10 f	76/50 e	129/20 ed	226/10 d	224/16 d
		10	16/53 k	15/24 i	215/60 g	216/36 f	66/72 g	92/05 hg	136/16 f	180/10 f
		20	18/44 i	23/15 fg	130/27 k	131/30 h	30/30 j	62/38 i	61/53 kj	96/75 i
		40	17/25jk	28/71 d	90/62 n	105/84 i	19/65 k	35/88 l	34/23 m	61/10 j

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (α=5٪) انجام شده است و در هر ستون اعداد دارای دست‌کم یک حرف مشترک دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

بدون در نظر گرفتن تنش کادمیوم، با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، غلظت کادمیوم و عناصر غذایی آهن، مس و روی در سورگوم افزایش و در گندم کاهش یافت. کاهش غلظت کادمیوم و عناصر غذایی در گندم می‌تواند به دلیل تاثیر رقت باشد. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن همان‌طور که موجب افزایش زیست توده گیاه می‌شود، می‌تواند اثرات متفاوتی بر غلظت عناصر داشته باشد. اگر افزایش در مقدار عنصر جذب شده بیشتر از افزایش زیست‌توده باشد غلظت عنصر در گیاه افزایش می‌یابد. اگر میزان افزایش در جذب عنصر همسان افزایش زیست‌توده گیاهی باشد، غلظت عنصر تغییر نمی‌کند و اگر میزان عنصر جذب شده در غلظت افزایش یافته و غلظت معمولی دی‌اکسیدکربن یکسان باشد، غلظت عنصر در گیاه کاهش می یابد (Lieffering *et al*., 2004). از آنجا که افزایش ماده خشک در اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به‌طورمعمول به‌دلیل افزایش کربوهیدرات‌ها (متشکل از C، H و O) می‌باشد، اگر جذب دیگر عناصر تشکیل دهنده ساختار گیاهی به‌طور مداوم صورت نگیرد، غلظت آنها در گیاه کاهش می‌یابد (Lieffering *et al*., 2004). بنابراین به نظر می‌رسد اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر زیست‌توده گندم بیشتر از اثر آن بر جذب عناصر بوده است. افزون بر این، فرض بر این است که اگر تحت تأثیر دی‌اکسیدکربن تولید ریشه بیشتر از افزایش زیست‌توده اندام‌های هوایی باشد، ممکن است جذب عنصر در اندام‌های هوایی افزایش یابد. در این تحقیق نیز افزایش وزن خشک کمتر ریشه نسبت به اندام‌های هوایی (جدول 4) می‌تواند دلیلی بر اثر رقت آن در گندم باشد. این نتایج با نتایج دیگر محققان نیز همخوانی دارد (Jia *et al*., 2010; Li *et al*., 2010; Tian *et al*., 2014).

در سورگوم افزایش غلظت کادمیوم و عناصر غذایی دیده شد. با توجه به اینکه در مورد سورگوم نیز نسبت وزن خشک اندام‌های هوایی به ریشه افزایش یافته است و همچنین بستر کشت هر دو گیاه نیز یکسان بوده است بنابراین به نظر می‌رسد عامل‌های دیگری سبب افزایش جذب عناصر شده‌اند. احتمال دارد تفاوت در جذب عناصر به ویژگی‌های گیاه مربوط شود. گاهی اثرگذاریهای ثانویه دی‌اکسیدکربن مانند تأثیر بر ترشحات ریشه‌ای، تغییر جمعیت و فعالیت میکروبی، تجزیه مواد آلی و تغییر pH موجب تغییر در جذب عناصر توسط گیاه می‌شود (Li *et al*., 2011). Wu *et al*. (2009) نیز کاهش pH را عاملی برای افزایش جذب سزیوم توسط سورگوم گزارش کردند. کاهش pH موجب آزادسازی میزان بیشتری از فلزهای سنگین در محلول خاک می‌شود.

در بین عناصر غذایی مورد بررسی، با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن عنصر روی بیشترین افزایش غلظت را در اندام‌های هوایی سورگوم داشت. بررسیهای گذشته نشان داده‌اند عناصر کادمیوم و روی مولکول‌های حامل یکسانی در گیاه دارند و بیشتر گیاهانی که ویژگی بیش‌اندوزی کادمیوم را دارند توانایی تجمع میزان زیادی عنصر روی را نیز دارند (Rascio and Navari-Izzo, 2011).

نتیجه گیری

تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر رشد گیاهان در خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین فرایندی بسیار پیچیده است. بر پایه نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، بر خلاف تنش ناشی از غلظت بالای کادمیوم در خاک، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب تحریک رشد گیاهان در خاک آلوده به کادمیوم شد. با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، کاهش جذب کادمیوم، آهن، مس و روی در گندم و افزایش جذب آنها در سورگوم دیده شد. در گندم افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن سبب کاهش معنی‌دار غلظت روی در غلظت‌های بالای کادمیوم خاک شد. با توجه به اهمیت غذایی گندم و بحث فقر عناصر غذایی کم‌مصرف، کاهش غلظت این عنصر می‌تواند خطرهای زیادی برای سلامتی انسان داشته باشد. افزایش غلظت و جذب کادمیوم در سورگوم نیز اگرچه از نظر امنیت غذایی و سلامت انسان و دام بسیار مهم می‌باشد، اما از سوی دیگر می‌تواند از نظر گیاه‌پالایی نیز مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین، به منظور دستیابی به اطلاعات بیشتر در مورد تاثیر دی‌اکسیدکربن و فلزهای سنگین بر زیست‌توده، تجمع فلزها و پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان لازم است در آینده تحقیقات بیشتری بر روی گیاهان و جذب عناصر مختلف انجام گیرد.

سپاسگزاری

نگارنده‌گان لازم می دانند مراتب سپاس و قدردانی خود را از همه‌ی افرادی که در گردآوری این مقاله همکاری کرده‌اند را اعلام دارند.

Archive of SID
www.SID.ir

منابع

Fangmeier, A.De., Temmerman, L., Mortensen, L., Kemp, K., Burke, J., Mitchell, R.Van., Oijen, M. and Weigel, H.J., 1999. Effects on nutrients and on grain quality in spring wheat crops grown under elevated CO_2 concentrations and stress conditions in the European, multiple-site experiment 'ESPACE-wheat'. Europian Jornal of Agronomy. 10, 215–229.

Flexas, J. and Medrano, H., 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C_3 plants: stomatal and non-stamotal limitations revisited. Annals of Botany. 89, 183–189.

Ghannoum, O.V., Caemmerer, S., Ziska, L.H. and Conroy, J.P., 2000. The growth response of C4 plants to rising atmospheric CO2 partial pressure: A reassessment. Plant, Cell and Environment. 23, 931–942.

Guo, H., Zhu, J., Zhou, H., Sun, Y., Yin, Y. and Pei, D., 2011. Elevated CO_2 levels affects the concentrations of copper and cadmium in crops grown in soil contaminatedwith heavy metals under fully open-air field conditions. Environmental Science Technology.45, 6997–7003.

Hogy, P., Wieser, H., Kohler, P., Schwadorf, K., Breuer, J., Erbs, M., Weber, S. and Fangmeier, A., 2009. Does levated atmospheric CO2 allow for sufficient wheat grain quality in the future? Journal of Applied Botany and Food Quality. 82, 114-121.

Irafan, M., Hayat, S.H., Ahmad, A. and Alyemeni, M.N., 2013. Soil cadmium enrichment: Allocation and plant physiological manifestions. Saudi Journal of Biological Sciences. 20, 1-10.

Jia, Y., Tang, S., Wang, R., Ju, X., Ding, Y., Tu, S. and Smith, D.L., 2010. Effects of elevated CO_2 on growth, photosynthesis, elemental composition, antioxidant level, and phytochelatin concentration in Lolium mutiforum and Lolium perenne under Cd stress. Journal of Hazardous Materials. 180, 384–394.

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.B., Ainsworth, E.A., Bernacchi, C.J., Rogers, A., Long, S.P. and Ort, D.R., 2009. Elevated CO_2 effects on plant carbon, nitrogen and water relations: Six important lessons from FACE. Journal of Experimental Botany. 60, 2859–2876.

Li, P., Cai, R., Gao, H., Peng, T. and Wang, Z., 2007. Partitioninig of excitation energy in two wheat cultivars with different grain protein contents grown under three nitrogen applications in the field. Physiology of Plant. 129, 822-829.

Li, Z., Tang, S., Deng, X., Wang, R. and Song, Z., 2010. Contrasting effects of elevated CO_2 on Cu and Cd uptake by different rice varieties grown on contaminated soils with two levels of metals: Implication for phytoextraction and food safety. Journal of Hazardous Materials. 177, 352–361.

Li, T., Di, Z., Han, X. and Yang, X., 2011. Elevated CO_2 improves root growth and cadmium accumulation in the hyperaccumulator Sedum alfredii. Plant Soil. (2011), http:// DOI 10.1007/s11104-011-1068-4.

Lieffering, M., Kim, H.K., Kobayashi, K. and Okada, M., 2004. The impact of elevated CO_2 on the elemental concentrations of field-grown rice grains. Field and Crops Research. 88(2-3), 279-286.

Lindsay, W.L. and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn, and Cu. Soil Science Society American Journal. 42, 421–428.

Loladze, I., 2002. Rising atmospheric CO_2 and human nutrition: Toward globally imbalanced plant stochiometry? Trends in Ecology and Evolution. 17, 457-461.

Ma, Y., Prasad, M.N.V., Rajkumar, M. and Freitas, H., 2011. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. Biotechnology Advance. 248, 29-58.

Maksymiec, W. and Krupa, Z., 2006. The effects of short-term exposition to Cd, excess Cu ions and jasmonate on oxidative stress appearing in Arabidopsis thaliana. Environmental and Experimental Botany. 57, 187-194.

Maria, S.D., Puschenreiter, M. and Rivelli, A.R., 2013. Cadmium accumulation and physiological responseof sunflower plants to Cd during the vegetative growing cycle. Plant Soil Environment. 59, 254–261.

Mcgrath, J.M. and Lobell, D.B., 2013. Reduction of transpiration and altered nutrient allocation contribute to nutrient decline of crops grown in elevated CO_2 concentrations. Plant, Cell and Environment. 36, 697-705.

Poorter, h., 1993. Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated CO_2 cocentration. Vegetation. 104/105, 77-97.

Prasad, P.V., Vu, J.C.V., Boote, K.J. and Allen, H., 2009. Enhancement in leaf photosynthesis and upregulation of Robisco in the C_4 sorghum plant at elevated growth carbon dioxide and temperature occur at early stages of leaf ontogeny. Functional Plant Biology. 36, 761-769.

Prior, S.A., Runion, G.B., Marble, S.C., Rogers, H.H., Gilliam, C.H. and Torbert, H.A., 2011. A review of elevated atmospheric CO_2 effects on plant growth and water relations: Implications for horticulture. Horticulture Science. 46, 158–62.

Rascio, N. and Navari-Izzo, F., 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? Plant Science. 180, 169-181.

Raskin, I., Kumar, V., Dushenkov, S. and Salt, D., 1994. Bioconcentration of heavy metals by plants. Current Opinion in Biotechnology. 5, 285-290.

Ryan, J., Estefan, G. and Adbul Rashid, A., 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, ICARDA, Syria.

Seneweera, S. and Conroy, J., 1997. Growth, grain yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) in response to elevated CO_2 and phosphorus nutrition. Soil Science and Plant Nutrition. 43, 1131–1136.

Archive of SID

www.SID.ir

Solomon, S., Qin, D. and Manning, M., 2007. Climate Change: The Physical Science Basis. IPCC Report. USA.

Sun, Y., Zhou, Q. and Diao, C., 2008. Effect of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. Bioresource Technology. 99, 1103-1110.

Taub, D.R., Miller, B. and Allen, H., 2008. Effects of elevated CO_2 on the protein concentration of food crops: A meta-analysis. Global Change Biology. 14, 565-575.

Terzano, R., Spagnuolo, M., Vekemans, B.De., Nolf, W., Janssens, K. and Falkenberg, G., 2007. Assessing the origin and fate of Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, and V in industrial polluted soil by combined microspectroscopic techniques and bulk extraction methods. Environmental Science Technology. 41, 6762–6769.

Thamayanthi, D., Sharavanan, P.S. and Vijayaragavan. M., 2011. Effect of cadmium on seed germination, growth and pigments content of Zinnia Plant. Current Botany. 2(9), 13-19.

Tian, S., Jia, Y., Ding, Y., Wang, R., Feng, R., Song, Z., Guo, J. and Zhou, L., 2014. Elevated atmospheric CO_2 enhances copper uptake in crops and pasture species grown in copper-contaminated soils in a micro-plot study. Clean Soil Air Water. 42, 347-354.

Wang-da, Y., Hai-gen, Y., Hong-mei, Z. and Xian-guo, T., 2009. Influences of cadmium on grain mineral nutrient contents of two rice genotypes differing in grain cadmium accumulation. Rice Science. 16(2), 151–156.

Wu, F., Zhang, G., Dominy, P., Wu, H. and Bachir, D.M.L., 2007. Differences in yield components and kernel Cd accumulation in response to Cd toxicity in four barley genotypes. Chemosphere. 70, 83-92.

Wu, H.B., Tang, S.R., Zhang, X.M., Guo, J.K., Song, Z.G., Tian, S.A. and Smith, D.L., 2009. Using elevated CO_2 to increase the biomass of a *Sorghum vulgare* var. sudanense hybrid and *Trifolium pratense* L. and to trigger hyperaccumulation of cesium. Journal of Hazardous Materials. 170, 861–870.

Yadav, S.K., 2010. Heavy metal toxicity in plants: An overview of the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany. 76, 167–179.

Zhao, Y., 2011. Cadmium accumulation and antioxidative defenses in leaves of *Triticum aestivum* L. and *Zea mays* L. African Journal of Biotechnology. 11(15), 2236-2243.

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of increasing atmospheric CO_2 concentration and cadmium on the uptake of iron, copper and zinc in wheat and sorghum

Hossein Mirseyed Hosseini,* Gelare Khanboluki and Babak Moteshare zadeh
Department of Soil science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

* Corresponding author: mirseyed@ut.ac.ir

Abstract

Climate change, especially an increase in CO_2 concentration and soil pollution due to heavy metals, has changed plant growth and metal uptake by them. This research was carried out in order to investigate the impacts of increasing atmospheric CO_2 concentrations on Fe, Cu and Zn uptake and the growth parameters of wheat and sorghum at two levels of CO_2 (400 and 900 μL L^{-1}) and four levels of cadmium (0. 10, 20 and 40 mg kg^{-1}). After 60 days, the plants were harvested, and the results showed that increasing CO_2 concentration led to significantly increased plant height, leaf area, root and shoot dry weight ($p< 0.01$). Increasing CO_2 concentration caused increase concentration and uptake of Cd, Fe, Cu and Zn in sorghum shoot and root. In contrast, uptake of these elements in wheat decreased. Among nutrients, the greatest increase in concentration for shoots of sorghum was in Zn (14-25%) and in root was related to Fe (16-25%). For wheat, Cu showed the greatest decrease in concentration in shoot (19-25%) and root (10-15%). Decreasing the uptake of Cd in wheat can be a factor for higher stress tolerance but, on the other hand, a decrease in micronutrient concentrations, especially of Zn, in crops such as wheat that has been used widely, can create problems associated with plant growth conditions and food production. For sorghum, although an increase in the uptake of nutrients was seen, increased Cd uptake is a problem that must be noted within the context of human and food safety.

Keywords: Climate change, Dry matter, Micronutrients, Soil pollution.

Archive of SID

www.SID.ir