

تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری و نیتروژن بر رشد و جذب عناصر غذایی در گندم

* حسین میرسید حسینی^۱، منصور کوهستانی^۲، ارژنگ فتحی گردلیدانی^۳ و محمدرضا بی‌همتا^۴

^۱دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تهران، آدانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه تهران،
^۲دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه تهران، ^۳استاد گروه علوم زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۷

چکیده

سابقه و هدف: رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های صنعتی در دو قرن اخیر سبب افزایش قابل توجهی در غلظت CO₂ اتمسفر شده است. بر اساس پژوهش‌های انجام شده افزایش غلظت CO₂ اتمسفری از شروع انقلاب صنعتی در اواسط قرن هجدهم تا به امروز همچنان ادامه دارد، به نحوی که غلظت CO₂ از حدود ۲۷۰ میلی‌گرم در لیتر قبل از انقلاب صنعتی به حدود ۳۹۴ میلی‌گرم در لیتر در سال ۲۰۱۳ میلادی افزایش یافته است. تأثیر غلظت افزایش یافته CO₂ بر جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، آهن، منگنز و روی در مورد بسیاری از محصولات مطالعه شده است. بهبود شرایط تغذیه‌ای ناشی از مصرف کودهای نیتروژنی و افزایش غلظت CO₂ اتمسفری به دلیل افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک موجب افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی مختلف و همچنین سبب تغییر غلظت بسیاری از عناصر غذایی ضروری گیاه می‌شود. پژوهش حاضر باهدف بررسی اثر افزایش غلظت CO₂ و فراهمی نیتروژن خاک بر جذب عناصر غذایی در گیاه گندم انجام گردید.

مواد و روش‌ها: کشت گلخانه‌ای گندم به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی شامل فاکتور خاک در دو سطح (لوم‌رسی‌شنی و لوم‌شنی) و فاکتور نیتروژن در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع اوره) و در دو سطح CO₂ (۴۰۰ و ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر) در چهار تکرار انجام شد که جمعاً در هر آزمایش ۲۴ و در کل آزمایش ۴۸ گلدان استفاده گردید. ۶۰ روز پس از کشت گیاهان برداشت شدند و وزن خشک و میزان جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی بخش هوایی آن‌ها اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش غلظت CO₂، در تیمارهای مختلف کود نیتروژنی، وزن خشک بخش هوایی گندم به‌طور میانگین ۱۰/۶۷ درصد افزایش یافت. افزایش غلظت CO₂ تأثیری بر جذب نیتروژن و منیزیم در بخش هوایی گندم نداشت ولی جذب فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز و روی را به ترتیب ۱۸/۵۸، ۲۰/۷۲، ۳۲/۸۷، ۲۴/۶۶ و ۲۲/۳۶ درصد افزایش داد. با کاربرد کود نیتروژن جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی بخش هوایی گندم به ترتیب ۳۳۷، ۹۳، ۹۶، ۱۴۵، ۱۳۵، ۱۲۹ و ۱۵۶ درصد افزایش یافت و این افزایش برای عناصر فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز و روی در غلظت افزایش یافته CO₂ شدیدتر بود.

نتیجه‌گیری: میزان مصرف کودهای شیمیایی و به‌خصوص نیتروژن و برقراری تعادل تغذیه‌ای برای گیاه باید براساس شرایط اقلیمی تغییر یابد. با توجه به نتایج این آزمایش افزایش مقدار نیتروژن خاک منجر به تشدید اثرات مثبت

* مسئول مکاتبه: mirseyed@ut.ac.ir

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن گردید. بنابراین در صورتی که محدودیتی از نظر تامین عناصر غذایی ضروری گیاه به‌خصوص نیتروژن وجود نداشته باشد، در شرایط افزایش غلظت CO₂ اتمسفری، رشد گیاه گندم و جذب اکثر عناصر غذایی در بخش هوایی آن افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، جذب عناصر غذایی، دی‌اکسیدکربن، نیتروژن خاک

مقدمه

دی‌اکسیدکربن (CO₂) یکی از ترکیبات گازی اتمسفر است که ۰/۰۳۸ درصد یا ۳۸۷ قسمت در میلیون حجمی یا ۵۸۲ قسمت در میلیون جرمی اتمسفر را تشکیل می‌دهد. با وجود این که CO₂ درصد بسیار کمی از اتمسفر را تشکیل می‌دهد ولی اصلی‌ترین جزء اتمسفر برای فتوسنتز است و بدون وجود آن گیاهان و موجودات زنده قادر به ادامه حیات نیستند. بنابراین این گاز جزء مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد محسوب می‌شود (۲۳). بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده افزایش غلظت CO₂ اتمسفری از شروع انقلاب صنعتی در اواسط قرن هجدهم (۱۷۵۰ میلادی) تا به امروز همچنان ادامه دارد (۵۲). به‌نحوی که غلظت CO₂ از حدود ۲۷۰ میلی‌گرم در لیتر قبل از انقلاب صنعتی به حدود ۳۸۴ میلی‌گرم در لیتر در سال ۲۰۰۹ و ۳۹۴ میلی‌گرم در لیتر در سال ۲۰۱۳ میلادی افزایش یافته است. پیش‌بینی‌ها بیانگر این است که در هر سال حدود ۱/۸ میلی‌گرم در لیتر بر غلظت آن افزوده گردد، به‌طوری که تا سال ۲۰۵۰ غلظت CO₂ به حدود ۵۵۰ میلی‌گرم در لیتر و تا پایان قرن حاضر به ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یابد که این مقدار به نرخ انتشار CO₂ در آینده وابسته است (۲۰). گاز CO₂ نه تنها یک گاز گلخانه‌ای مهم است، بلکه برای رشد گیاه نیز ضروری است (۲۹). در واقع CO₂ منبع اصلی کربن برای گیاهان بوده و به‌طور عمده در سنتز متابولیت‌های اولیه در طی عمل

فتوسنتز مصرف می‌شود (۳۳). این گاز یکی از چهار جزء اصلی (نور، عناصر غذایی، آب و CO₂) برای رشد گیاه است که در حال حاضر مقدار آن در اتمسفر کم‌تر از حد موردنیاز گیاهان (سه کربنه) است (۹).

افزایش غلظت CO₂ اتمسفری منجر به بسیاری از فرضیه‌ها و آزمایش‌ها بر روی اثرات احتمالی این افزایش بر روی رشد و عملکرد گیاهان شده است (۷). افزایش رشد گیاهان در نتیجه غنی‌سازی CO₂ اتمسفری برای گیاهان سه کربنه ۳۳ تا ۴۰ درصد و برای گیاهان چهار کربنه ۱۰ تا ۱۵ درصد گزارش شده است (۴۶). اثر CO₂ بر بسیاری از فرآیندهای گیاهی، عمدتاً از طریق اثرات مستقیم این گاز بر عمل فتوسنتز و عملکرد روزنه‌ها است (۴۴). اثرات اولیه افزایش غلظت CO₂ شامل کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق، بهبود راندمان مصرف آب (نسبت کربن تثبیت‌شده به آب تعرق شده) شدت بیشتر فتوسنتز و افزایش راندمان مصرف نور است (۱ و ۲۴). این موارد ممکن است بر سامانه‌های تولید محصولات کشاورزی اثرات مهمی داشته باشد. بر اساس مطالعات انجام شده در بیش‌تر موارد، پاسخ‌های مثبت گیاهان زراعی به افزایش سطح CO₂ به‌خوبی اثبات شده است (۵۷). به‌طورکلی تأثیر CO₂ با توجه به نوع و گونه گیاهی مورد مطالعه و همچنین مرحله رشد و نمو گیاه متفاوت است (۲۶). تأثیر افزایش غلظت CO₂ بر

توده‌ای انتقال‌دهنده عناصر غذایی به گیاه محدود شود، که در نتیجه آن تجمع عناصر غذایی در بخش هوایی کاهش می‌یابد (۷).

تأثیر غلظت‌های بالای CO₂ بر تعادل عناصر غذایی مانند نیتروژن، آهن، منگنز و روی و غیره در مورد بسیاری از محصولات مانند برنج، گندم، سویا و سیب‌زمینی و غیره مطالعه شده است. به‌طورکلی افزایش غلظت CO₂ موجب افزایش فتوسنتز، افزایش وزن خشک و عملکرد گیاهان و تولیدات کشاورزی و همچنین موجب تغییر غلظت بسیاری از عناصر غذایی ضروری گیاهان می‌شود (۱۰ و ۴۶). معمولاً کاهش غلظت نیتروژن در بافت‌های گیاهان در شرایط افزایش غلظت CO₂ در مطالعات قبلی گزارش شده است. پاسخ‌های مثبت گیاهان به افزایش غلظت CO₂ اتمسفری به نوع عنصر غذایی، گونه گیاهی و تأمین کافی منابع از جمله آب و عناصر غذایی ضروری گیاهان بستگی دارد (۷ و ۳۲). بنابراین برای پیش‌بینی شرایط تغییر اقلیم در آینده که بخشی از آن اجتناب ناپذیر خواهد بود، لازم است واکنش رشد و عملکرد گیاهان مختلف به این تغییرات در نظر گرفته شود. از طرفی امروزه تأمین غذایی جمعیت در حال افزایش بشر، بیش از هر چیز به استفاده منطقی از منابع بستگی دارد و مباحثی همچون تغییر اقلیم و تغییرات آب و هوایی و تأثیر بلندمدت آن‌ها روی تولیدات کشاورزی و پایداری محیط‌زیست، امنیت غذایی را به شدت تحت‌تأثیر خود قرار خواهد داد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر افزایش غلظت CO₂ اتمسفری و فراهمی نیتروژن خاک بر جذب عناصر غذایی در گیاه گندم انجام شد.

روی تولید و بهره‌وری گیاهان به سایر عوامل محدودکننده مانند قابلیت دسترسی آب و عناصر غذایی بستگی دارد. افزایش شدت فتوسنتز و به دنبال آن افزایش رشد و عملکرد گیاهان در غلظت‌های بالای CO₂ اغلب در خاک‌هایی که با کمبود عناصر غذایی ضروری مواجه هستند، محدود شده است. به‌طورکلی کمبود عناصر غذایی ضروری ظرفیت گیاهان را برای افزایش استفاده از کربن در دسترس محدود می‌کند (۴۲). به‌عبارت دیگر، گیاهان به‌منظور حفظ این شرایط (افزایش رشد ناشی از CO₂) به عناصر غذایی بیش‌تری نیاز دارند. بدون تأمین عناصر غذایی کافی به‌خصوص نیتروژن، فسفر و پتاسیم سه عنصری که در خاک‌های طبیعی اغلب جزء عناصر محدودکننده رشد می‌باشند، این افزایش رشد کاهش خواهد یافت. بسیاری از مطالعات بر روی اثرات عرضه نیتروژن با غلظت ثابت فسفر و پتاسیم متمرکز شده‌اند. تأمین نیتروژن با رشد گیاه ارتباط زیادی دارد، زیرا نیتروژن در رشد گیاه نقش بسیار کلیدی و مهمی را ایفا می‌کند. افزایش غلظت CO₂ موجب بهبود فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود که این مورد منجر به افزایش تقاضا برای عناصر غذایی می‌گردد (۲۶). به‌طورکلی می‌توان گفت که قابلیت دسترسی عناصر غذایی خاک ممکن است به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم (از طریق تغییرات در فرآیندهای خاک که تنظیم‌کننده چرخه عناصر غذایی در محیط کشت گیاهان هستند) تحت‌تأثیر افزایش غلظت CO₂ قرار گیرد (۴۲). در شرایط افزایش غلظت CO₂، رشد سریع گیاه و تجمع بیش‌تر کربوهیدرات‌ها می‌تواند غلظت عناصر غذایی را در بافت‌های گیاهی رقیق نماید. علاوه بر این، تحت این شرایط به‌دلیل شدت تعرق و هدایت روزنه‌ای کم‌تر ممکن است جریان

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در این آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری منطقه اخترباد واقع در شهرستان شهریار تهیه شد. پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، ابتدا هوا خشک و سپس به منظور کشت گلدانی و تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی به ترتیب از الک چهار و دو میلی‌متر عبور داده شد. در این آزمایش دو نوع خاک متفاوت از لحاظ بافت (لوم رسی شنی و لوم شنی) مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تغییر بافت خاک اولیه (لوم رسی شنی به لوم شنی) به هر گلدان به مقدار لازم شن بر اساس محاسبات انجام گرفته، اضافه گردید. لازم به ذکر است که شن مورد استفاده از خاک نمونه‌برداری شده تهیه گردید. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌ها مانند pH (۵۵)، EC (۴۷)، بافت به روش هیدرومتری (۵)، کربنات‌کلسیم معادل به روش کلسیمتر فشاری (۳۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی با استات آمونیوم (۵۴)، ماده آلی بر اساس روش والکلی و بلک (۳۷)، نیتروژن کل با روش کجلدال (۶)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (۴۰)، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (۱۴) و غلظت آهن، مس، روی و منگنز قابل جذب به روش عصاره‌گیری با DTPA (۲۸) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی شامل فاکتور خاک در دو سطح (لوم رسی شنی و لوم شنی)، فاکتور نیتروژن در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع اوره) در چهار تکرار، در دو سطح (محیط) CO₂ (۴۰۰ و ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر) انجام شد، که جمعاً در هر آزمایش ۲۴ گلدان 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 CO₂ در یکی از اتاقک‌ها ۵۰ ± ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر (به‌عنوان غلظت طبیعی و شاهد) و در دیگری ۵۰ ± ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر (به‌عنوان غلظت افزایش‌یافته CO₂) تنظیم شد. ورود CO₂ 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 CO₂ چندین بار در طی روز تحت اندازه‌گیری بود. در این آزمایش از گیاه گندم رقم چمران استفاده گردید. بذر گیاه گندم از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. قبل از کشت، بذرها ضدعفونی شدند. بدین ترتیب که ابتدا به مدت ۱۰ ثانیه در اتانول غوطه‌ور شده، سپس به مدت ۱/۵ دقیقه در هیپوکلریت سدیم قرار گرفته و در نهایت چندین بار با آب مقطر شسته شدند و در ظروف پتری‌دیش 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 از نظر ظاهری کاملاً مشابه بودند، درون گلدان‌های پلاستیکی با ظرفیت حدود سه کیلوگرمی (قطر دهانه ۱۵، قطر کف ۱۳ و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر) کاشته شدند. فاکتور نیتروژن شامل سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و از منبع کود اوره (حاوی ۴۴ 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، به‌نحوی که ۵۰ درصد

وزنی انجام گرفت. به نحوی که رطوبت حدود ۸۰٪ ظرفیت زراعی تأمین گردد. در پایان دوره رشد (۶۰ روز)، ارتفاع بخش هوایی با استفاده از خط‌کش مدرج اندازه‌گیری گردید. بخش هوایی گیاهان از محل طوقه برداشت شد. برای تعیین وزن خشک بخش هوایی، نمونه‌ها در داخل دستگاه خشک‌کن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و ۴۸ ساعت نگهداری شدند. سپس وزن خشک آن‌ها با ترازو (دقت ۰/۰۱ ± گرم) تعیین گردید. برای تهیه عصاره گیاهی جهت تجزیه بخش‌های هوایی گیاه از روش سوزاندن خشک (Dry ashing) و سپس ترکیب با HCL یک نرمال استفاده شد (۸). برای اندازه‌گیری نیتروژن کل در نمونه‌های گیاهی از روش کج‌لدال استفاده گردید (۶). پتاسیم بخش هوایی در عصاره‌های گیاهی تهیه‌شده به روش هضم خشک تعیین گردید (۵۰). برای اندازه‌گیری فسفر از روش زرد (مولیبدو و انادات) استفاده شد (۲۵). غلظت منیزیم بخش هوایی در عصاره‌های گیاهی تهیه‌شده به روش هضم خشک و بر اساس روش تشکیل کمپلکس با EDTA اندازه‌گیری شد (۵۰). غلظت عناصر غذایی آهن، منگنز و روی در عصاره‌های گیاهی تهیه‌شده به روش هضم خشک، با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA - 670 قرائت شد. برای محاسبه میزان جذب هر عنصر، غلظت آن در مقدار ماده خشک ضرب گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام و برای رسم نمودارها از برنامه Excel استفاده شد.

کود اوره قبل از کشت و بقیه 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 (به‌علت بالا بودن pH خاک‌ها)، کودهای حاوی عناصر غذایی فسفر و پتاسیم به‌ترتیب 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 به‌صورت محلول غذایی هوگلند (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 CO₂ بر گیاه، پس از کشت، نیمی از گلدان‌ها به اتاقک رشد با غلظت طبیعی CO₂ و نیمی دیگر به اتاقک رشد با غلظت افزایش‌یافته CO₂ منتقل شدند. گیاهان از مرحله دوبرگی و در ساعات روشنایی در معرض افزایش غلظت CO₂ 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 به‌ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سلسیوس، فتوپریود ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی، شدت نور ۱۴۰۰۰ لوکس و رطوبت نسبی ۶۰٪ در نظر گرفته شد. آبیاری گلدان‌ها نیز بر اساس نیاز و به‌صورت

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

Table 1. Some physical and chemical properties of studied soils.

ویژگی (واحد) (Property) (unit)	خاک شماره ۱ Soil No. 1	خاک شماره ۲ Soil No. 2	ویژگی (واحد) (Property) (unit)	خاک شماره ۱ Soil No. 1	خاک شماره ۲ Soil No. 2
شن (%) (Sand) (%)	63.44	73.68	کربنات کلسیم معادل (%) (Calcium carbonate equivalent) (%)	8.75	8.73
سیلت (%) (Silt) (%)	15.56	14.32	نیتروژن کل (%) Total N (%)	0.042	0.037
رس (%) (Clay) (%)	21	12	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹) (Available P) (mg kg ⁻¹)	4.25	4.00
کلاس بافت Texture class	Sandy Clay Loam	Sandy Loam	پتاسم قابل جذب (mg kg ⁻¹) (Available K) (mg kg ⁻¹)	372.88	315.17
pH	8.6	8.54	آهن قابل جذب (mg kg ⁻¹) (Available Fe) (mg kg ⁻¹)	2.07	1.20
EC (ds m ⁻¹)	1.25	1.16	مس قابل جذب (mg kg ⁻¹) (Available Cu) (mg kg ⁻¹)	0.52	0.44
کربن آلی (%) Organic carbon (%)	0.28	0.24	روی قابل جذب (mg kg ⁻¹) (Available Zn) (mg kg ⁻¹)	1.58	1.62
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	6.45	5.25	منگنز قابل جذب (mg kg ⁻¹) (Available Mn) (mg kg ⁻¹)	2.86	2.80

نتایج

اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر وزن خشک بخش هوایی گندم: تجزیه واریانس اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر یک از سطوح CO₂، افزایش مقدار کود مصرفی نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار (<math>P < 0.05</math>) وزن خشک بخش هوایی گیاه شد (جدول ۳). وزن خشک بخش هوایی با کاربرد سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۹۳/۷۵ و ۸۶/۹۰ درصد در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر CO₂ و ۹۸/۰۴ و ۹۴/۱۳

درصد در غلظت ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت (جدول ۳). اثر مثبت CO₂ بر وزن خشک بخش هوایی گیاه در سطوح مختلف کود نیتروژنی یکسان نبود. افزایش ۶/۵۵، ۸/۹۱ و ۱۰/۶۷ درصد در وزن خشک بخش هوایی گیاه به ترتیب در تیمارهای صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک و در شرایط غنی‌سازی CO₂ به دست آمد. بنابراین بیش‌ترین وزن خشک در غلظت افزایش یافته CO₂ و در سطح دوم تیمار کودی و کم‌ترین وزن خشک در غلظت معمولی CO₂ و در سطح اول تیمار کودی به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر وزن خشک بخش هوایی گیاه.

Table 2. Analysis of variance of the effect of CO₂, nitrogen and soil texture on shoot dry weight.

میانگین مربعات MS	درجه آزادی DF	منابع تغییرات SOV
2.88**	1	CO ₂
0.48**	1	خاک (Soil)
55.97**	2	نیتروژن (N)
0.0005	1	CO ₂ × خاک (CO ₂ × Soil)
0.23*	2	CO ₂ × نیتروژن (CO ₂ × N)
0.05	2	خاک × نیتروژن (Soil × N)
0.002	2	CO ₂ × خاک × نیتروژن (CO ₂ × Soil × N)
0.05	36	خطا (Residual)
3.92	-	ضریب تغییرات CV

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and ** Significant at P<0.05 and P<0.01, respectively.

جدول ۳- برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن و CO₂ و نیز سطوح مختلف نیتروژن و بافت خاک بر وزن خشک بخش هوایی (g/pot).

Table 3. Interaction between different levels of nitrogen and CO₂ and levels of nitrogen and soil texture on shoot dry weight (g/pot).

میانگین Average	مقدار نیتروژن مصرف شده (mg/kg) Nitrogen added (mg/kg)				
	200	100	0		
5.38B	6.28b	6.51b	3.36c	400	CO ₂ (mg/l)
5.87A	6.95a	7.09a	3.58c	850	
	6.61B	6.80A	3.47C	میانگین Average	
5.73A	6.69a	6.86a	3.64b	لوم رسی شنی Sandy Clay Loam	بافت خاک Soil texture
5.53B	6.53a	6.75a	3.31b	لوم شنی Sandy Loam	
	6.61B	6.80A	3.47C	میانگین Average	

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (P<0.05) انجام شده است و در هر ستون و ردیف اعداد دارای دست‌کم یک حرف مشترک لاتین دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند.

Mean comparison using Duncan's test at (P<0.05), means having at least a common Latin letter in each column and row are not significantly different.

غلظت ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر ۱۲۵/۷۹ و ۱۳۱/۴۵ درصد بود. اثر متفاوتی را بر غلظت نیتروژن بخش هوایی گیاه نشان داد. افزایش غلظت CO₂ نسبت به غلظت طبیعی آن (در غلظت‌های یکسان نیتروژن)، موجب کاهش معنی‌دار (P<۰/۰۵) غلظت نیتروژن در بخش هوایی گیاه شد. تأثیر CO₂ بر غلظت نیتروژن بخش هوایی در سطوح مختلف نیتروژن یکسان نبود. افزایش غلظت CO₂ محیط موجب کاهش ۸/۰۹، ۶/۲۷ و ۷/۳۰ درصدی (P<۰/۰۵) غلظت نیتروژن بخش هوایی گیاه به ترتیب در تیمارهای صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک شد (جدول ۵). بنابراین بیش‌ترین غلظت نیتروژن در بخش هوایی مربوط به غلظت معمولی CO₂ و سطح سوم تیمار کودی و کم‌ترین آن مربوط به غلظت افزایش یافته CO₂ و تیمار شاهد بود.

اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر غلظت نیتروژن بخش هوایی: افزایش غلظت CO₂، غلظت نیتروژن در بخش هوایی گیاه را تحت تأثیر قرار داد (جدول‌های ۴ و ۵). به نحوی که افزایش غلظت CO₂ از ۴۰۰ به ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش ۷/۲۳ درصدی (P<۰/۰۵) غلظت نیتروژن در بخش هوایی گیاه شد. غلظت نیتروژن در بخش هوایی گیاه در خاک لومرسی‌شنی بیش‌تر از خاک لوم‌شنی بود، میزان این تفاوت ۱/۶۴ درصد (P<۰/۰۵) بود (جدول ۶). افزایش مقدار نیتروژن مصرفی نسبت به تیمار شاهد در هر یک از سطوح CO₂ باعث افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) غلظت نیتروژن بخش هوایی گیاه شد. میزان این افزایش در شرایط مصرف کود نسبت به عدم مصرف کود به ترتیب در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر CO₂ ۱۲۱/۳۹ و ۱۲۹/۴۸ درصد و در

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر غلظت عناصر غذایی بخش هوایی گیاه.

Table 4. Analysis of variance of the effect of CO₂, nitrogen and soil texture on the concentration of nutrients in plant shoot.

میانگین مربعات							درجه آزادی DF	منابع تغییرات SOV
روی	منگنز	آهن	منیزیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن		
Zn	Mn	Fe	Mg	K	P	N		
109.8**	812.6**	3836.7**	0.02*	2.45**	0.01**	0.59**	1	CO ₂
331.8**	74.7**	63.22*	0.008	0.1	0.00004	0.03**	1	خاک (Soil)
227.2**	388.6**	1203.8**	0.06**	0.14*	0.0009	23.77**	2	نیتروژن (N)
0.37	33.84	1.17	0.00000008	0.2*	0.0000003	0.00001	1	CO ₂ × خاک (CO ₂ × Soil)
5.08	32.69	148.8**	0.00008	0.007	0.001*	0.02**	2	CO ₂ × نیتروژن (CO ₂ × N)
55.5**	36.41*	27.52	0.001	0.43**	0.002*	0.008	2	خاک × نیتروژن (Soil × N)
0.54	1.4	3.72	0.0000005	0.04	0.0003	0.002	2	CO ₂ × خاک × نیتروژن (CO ₂ × Soil × N)
4.08	10.94	14.97	0.004	0.04	0.0004	0.004	36	خطا (Residual)
7.24	5.07	4.06	16.6	4.38	5.51	2.09	-	ضریب تغییرات CV

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

* and ** Significant at P<0.05 and P<0.01, respectively.

جذب نیتروژن و منیزیم بخش هوایی گیاه را افزایش داد. افزایش مصرف کود نیتروژنی تا سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش ۳۳۷/۲۵ و ۳۳۸/۱۶ درصدی جذب نیتروژن و افزایش ۱۴۴/۸۹ و ۱۶۰/۳۹ درصدی جذب منیزیم بخش هوایی گیاه شد (جدول ۸). نتایج اثر اصلی بافت خاک نشان داد که در خاک لوم‌رسی‌شنی جذب نیتروژن و منیزیم بخش هوایی بیش‌تر از خاک لوم‌شنی بود، میزان این تفاوت به‌ترتیب ۴/۴۱ و ۱۰/۸۶ درصد ($P < 0/05$) بود (جدول ۹).

اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر جذب فسفر و پتاسیم بخش هوایی: تجزیه واریانس اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر جذب فسفر و پتاسیم بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۷). با افزایش غلظت CO₂ از ۴۰۰ به ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر جذب فسفر و پتاسیم بخش هوایی گیاه به‌ترتیب حدود ۱۸/۵۸ و ۲۰/۷۲ درصد ($P < 0/05$) افزایش یافت (جدول ۸). مقدار نیتروژن خاک تا سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش ۹۳/۴۱ و ۹۵/۹۱ درصدی جذب فسفر و افزایش ۹۶/۲۴ و ۹۷/۷۸ درصدی جذب پتاسیم بخش هوایی گیاه شد (جدول ۸). افزایش مقدار نیتروژن مصرفی نسبت به تیمار شاهد در هر دو سطح CO₂، باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0/05$) جذب فسفر و پتاسیم بخش هوایی شد. تأثیر CO₂ بر جذب فسفر و پتاسیم بخش هوایی مشابه نیتروژن بود. افزایش غلظت CO₂ نسبت به غلظت طبیعی این گاز (در غلظت‌های یکسان نیتروژن)، سبب افزایش معنی‌دار ($P < 0/05$) جذب فسفر و پتاسیم بخش هوایی گیاه گردید. برهمکنش CO₂ اتمسفری و نیتروژن خاک بر جذب فسفر و پتاسیم بخش هوایی گیاه نشان داد اثر CO₂ بر جذب فسفر و پتاسیم بخش هوایی گیاه در سطوح مختلف کود نیتروژنی یکسان نبود (جدول ۸).

اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر غلظت فسفر، پتاسیم و منیزیم بخش هوایی: تجزیه واریانس اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر غلظت فسفر، پتاسیم و منیزیم بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج اثر اصلی نشان داد افزایش غلظت CO₂ تا ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به غلظت طبیعی آن باعث افزایش ۸/۱۱ و ۱۰/۴۲ درصدی ($P < 0/05$) غلظت فسفر و پتاسیم بخش هوایی و کاهش ۱۱/۹۰ درصدی ($P < 0/05$) غلظت منیزیم بخش هوایی گیاه شد (جدول ۵). صرف‌نظر از تأثیر CO₂، افزایش مقدار نیتروژن خاک تا سطح ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب باعث افزایش ۳/۵۶ و ۳۶/۳۶ درصدی ($P < 0/05$) غلظت پتاسیم و منیزیم بخش هوایی گیاه شد (جدول ۵). همچنین، افزایش مقدار نیتروژن خاک تا سطح ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد در سطح ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر CO₂، باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0/05$) غلظت فسفر بخش هوایی شد (جدول ۵). تأثیر مثبت CO₂ بر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه در سطوح مختلف نیتروژن یکسان نبود. افزایش ۵/۴۱، ۸/۳۳ و ۱۶/۶۷ درصدی غلظت فسفر بخش هوایی به‌ترتیب در تیمارهای صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک و در شرایط غنی‌سازی CO₂ به دست آمد (جدول ۵). بیش‌ترین غلظت فسفر بخش هوایی در غلظت افزایش یافته CO₂ و در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک و کم‌ترین آن در غلظت طبیعی CO₂ و در تیمارهای شاهد و ۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک به‌دست آمد.

اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر جذب نیتروژن و منیزیم بخش هوایی: افزایش غلظت CO₂ تأثیر معنی‌داری بر جذب نیتروژن و منیزیم در بخش هوایی گیاه نداشت (جدول‌های ۷ و ۸). در مقابل، افزایش مقدار نیتروژن مصرفی (بدون در نظر گرفتن اثر CO₂)

جدول ۵- برهمکنش سطوح مختلف CO₂ و نیتروژن بر غلظت عناصر غذایی در بخش هوایی گیاه.

Table 5. Interaction between different levels of nitrogen and CO₂ on the concentration of nutrients in plant shoot.

مقدار نیتروژن مصرف شده (mg/kg)					
Nitrogen added (mg/kg)					
میانگین				(mg/l) CO ₂	
Average	200	100	0		
3.18 ^A	3.97 ^a	3.83 ^b	1.73 ^e	400	غلظت نیتروژن بخش هوایی (%)
2.95 ^B	3.68 ^c	3.59 ^d	1.59 ^f	850	Shoot N concentration (%)
	3.83 ^A	3.71 ^B	1.66 ^C	میانگین (Average)	
0.37 ^B	0.36 ^c	0.36 ^c	0.37 ^{bc}	400	غلظت فسفر بخش هوایی (%)
0.40 ^A	0.42 ^a	0.39 ^{bc}	0.39 ^b	850	Shoot P concentration (%)
	0.39 ^A	0.37 ^A	0.38 ^A	میانگین (Average)	
4.32 ^B	4.41 ^b	4.26 ^b	4.29 ^b	400	غلظت پتاسیم بخش هوایی (%)
4.77 ^A	4.89 ^a	4.72 ^a	4.70 ^a	850	Shoot K concentration (%)
	4.65 ^A	4.49 ^B	4.49 ^B	میانگین (Average)	
0.42 ^A	0.47 ^a	0.43 ^{ab}	0.35 ^{cd}	400	غلظت منیزیم بخش هوایی (%)
0.37 ^B	0.43 ^{ab}	0.39 ^{bc}	0.31 ^d	850	Shoot Mg concentration (%)
	0.45 ^A	0.41 ^A	0.33 ^B	میانگین (Average)	
86.39 ^B	89.31 ^c	90.23 ^c	79.64 ^d	400	غلظت آهن بخش هوایی (mg/kg)
104.27 ^A	106.86 ^b	114.37 ^a	91.60 ^c	850	Shoot Fe concentration (mg/kg)
	98.08 ^B	102.30 ^A	85.62 ^C	میانگین (Average)	
61.05 ^B	61.74 ^c	64.23 ^a	57.19 ^d	400	غلظت منگنز بخش هوایی (mg/kg)
69.28 ^A	69.30 ^b	75.59 ^a	62.95 ^c	850	Shoot Mn concentration (mg/kg)
	65.52 ^B	69.91 ^A	60.07 ^C	میانگین (Average)	
26.42 ^B	27.69 ^{bc}	28.81 ^b	22.75 ^d	400	غلظت روی بخش هوایی (mg/kg)
29.44 ^A	30.79 ^{ab}	32.93 ^a	24.61 ^{cd}	850	Shoot Zn concentration (mg/kg)
	29.24 ^B	30.87 ^A	23.68 ^C	میانگین (Average)	

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن ($P < 0.05$) انجام شده است و در هر ستون و ردیف اعداد دارای دست‌کم یک حرف مشترک لاتین دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Mean comparison using Duncan's test at ($P < 0.05$), means having at least a common Latin letter in each column and row are not significantly different.

جدول ۶- برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن و بافت خاک بر غلظت عناصر غذایی در بخش هوایی گیاه.

Table 6. Interaction between different levels of nitrogen and soil texture on the concentration of nutrients in plant shoot.

		مقدار نیتروژن مصرف شده (mg/kg)				
		Nitrogen added (mg/kg)				
میانگین	200	100	0	بافت خاک		
Average				Soil texture		
3.09 ^A	3.87 ^a	3.71 ^b	1.69 ^c	Sandy Clay Loam	غلظت نیتروژن بخش هوایی (%)	
3.04 ^B	3.78 ^{ab}	3.71 ^b	1.63 ^c	Sandy Loam	Shoot N concentration (%)	
	3.83 ^A	3.71 ^B	1.66 ^C	میانگین (Average)		
0.38 ^A	0.4 ^a	0.37 ^b	0.38 ^{ab}	Sandy Clay Loam	غلظت فسفر بخش هوایی (%)	
0.38 ^A	0.37 ^{ab}	0.38 ^{ab}	0.38 ^{ab}	Sandy Loam	Shoot P concentration (%)	
	0.39 ^A	0.37 ^A	0.38 ^A	میانگین (Average)		
4.50 ^A	4.8 ^a	4.34 ^b	4.36 ^b	Sandy Clay Loam	غلظت پتاسیم بخش هوایی (%)	
4.59 ^A	4.51 ^{ab}	4.64 ^{ab}	4.62 ^{ab}	Sandy Loam	Shoot K concentration (%)	
	4.65 ^A	4.49 ^B	4.49 ^B	میانگین (Average)		
0.41 ^A	0.46 ^a	0.43 ^{ab}	0.33 ^c	Sandy Clay Loam	غلظت منیزیم بخش هوایی (%)	
0.38 ^A	0.43 ^{ab}	0.39 ^{bc}	0.32 ^c	Sandy Loam	Shoot Mg concentration (%)	
	0.45 ^A	0.41 ^A	0.33 ^B	میانگین (Average)		
96.48 ^A	98.46 ^a	104.96 ^a	86.02 ^b	Sandy Clay Loam	غلظت آهن بخش هوایی (mg/kg)	
94.19 ^B	97.71 ^a	99.64 ^a	85.21 ^b	Sandy Loam	Shoot Fe concentration (mg/kg)	
	98.08 ^B	102.30 ^A	85.62 ^C	میانگین (Average)		
66.41 ^A	67.66 ^{ab}	72.00 ^a	59.58 ^c	Sandy Clay Loam	غلظت منگنز بخش هوایی (mg/kg)	
63.92 ^B	63.38 ^{bc}	67.81 ^{ab}	60.56 ^c	Sandy Loam	Shoot Mn concentration (mg/kg)	
	65.52 ^B	69.91 ^A	60.07 ^C	میانگین (Average)		
30.56 ^A	33.33 ^a	34.14 ^a	24.21 ^c	Sandy Clay Loam	غلظت روی بخش هوایی (mg/kg)	
25.30 ^B	25.15 ^{bc}	27.6 ^b	23.15 ^c	Sandy Loam	Shoot Zn concentration (mg/kg)	
	29.24 ^B	30.87 ^A	23.68 ^C	میانگین (Average)		

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن ($P < 0.05$) انجام شده است و در هر ستون و ردیف اعداد دارای دست‌کم یک حرف مشترک لاتین دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Mean comparison using Duncan's test at ($P < 0.05$), means having at least a common Latin letter in each column and row are not significantly different.

افزایش غلظت CO₂ موجب افزایش ۱۱/۱۲، ۱۵/۲۲ و ۲۶/۱۹ درصدی جذب فسفر و ۱۶/۱۷، ۲۰/۹۳ و ۲۲/۸۸ درصدی جذب پتاسیم بخش هوایی به ترتیب در تیمارهای صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک شد. میزان جذب فسفر بخش هوایی گیاه در خاک لومرسی شنی بیش تر از خاک لوم شنی بود، میزان این تفاوت ۴/۵۶ درصد (جدول ۹).

بود. افزایش مقدار نیتروژن خاک تا سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش ۸۸/۰۲ و ۱۰۲/۷۲ درصدی (P<۰/۰۵) جذب پتاسیم بخش هوایی گیاه در خاک لومرسی شنی و افزایش ۱۰۴/۸۰ و ۹۲/۶۵ درصدی (P<۰/۰۵) در خاک لوم شنی شد (جدول ۹).

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر CO₂، نیتروژن و بافت خاک بر جذب عناصر غذایی بخش هوایی گیاه.

Table 7. Analysis of variance of the effect of CO₂, nitrogen and soil texture on the uptake of nutrients in plant shoot.

میانگین مربعات MS							درجه آزادی DF	منابع تغییرات SOV
روی Zn	منگنز Mn	آهن Fe	منیزیم Mg	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N		
12814**	80809**	288842**	0.8	27893**	160.8**	150.07	1	CO ₂
18764**	11454**	12991**	67.17*	459.59	10.85*	781.9**	1	خاک (Soil)
78163**	333563**	769280**	1616.3**	122115**	833.8**	202013**	2	نیتروژن (N)
105.9	1432.04	177.65	0.0003	784.27	0.15	0.35	1	CO ₂ × خاک (CO ₂ × Soil)
1374**	7717.7**	29007**	0.33	1886.1**	21.21**	73.31	2	CO ₂ × نیتروژن (CO ₂ × N)
2473**	653.5	673.89	2.94	1763.6**	6.63	65.35	2	خاک × نیتروژن (Soil × N)
71.02	147.2	223.71	0.03	287.3	0.65	20.39	2	CO ₂ × خاک × نیتروژن (CO ₂ × Soil × N)
229.03	925.2	795.46	15.88	196.2	2.35	57.55	36	خطا (Residual)
9.32	8.14	5.13	17.39	5.45	7.12	4.05	-	ضریب تغییرات CV

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and ** Significant at P<0.05 and P<0.01, respectively.

نیتروزنی یکسان نبود. افزایش غلظت CO_2 محیط موجب افزایش ۱۵/۰۲، ۲۶/۷۵ و ۱۹/۶۵ درصدی غلظت آهن بخش هوایی گیاه به ترتیب در تیمارهای صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم نیتروزن در کیلوگرم خاک شد. بیشترین غلظت آهن در غلظت افزایش یافته CO_2 و سطح دوم تیمار کودی و کمترین غلظت آهن در غلظت شاهد و سطح اول تیمار کودی به دست آمد (جدول ۵). غلظت آهن، منگنز و روی بخش هوایی گیاه در خاک لومرسی شنی بیش تر از خاک لوم شنی بود، میزان این تفاوت به ترتیب ۲/۴۳، ۳/۹۰ و ۲۰/۷۹ درصد بود (جدول ۶). در خاک لومرسی شنی، افزایش مقدار نیتروزن خاک تا سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم نیتروزن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش ۲۰/۸۵ و ۱۳/۵۶ درصدی ($P < 0/05$) غلظت منگنز و افزایش ۴۱/۰۲ و ۳۷/۶۷ درصدی غلظت روی بخش هوایی گیاه ولی در خاک لوم شنی، افزایش مقدار نیتروزن تا سطح ۱۰۰ میلی گرم نیتروزن در کیلوگرم خاک موجب افزایش ۱۱/۹۷ درصدی ($P < 0/05$) غلظت منگنز و افزایش ۱۹/۲۲ درصدی غلظت روی بخش هوایی گیاه شد (جدول ۶).

اثر CO_2 ، نیتروزن و بافت خاک بر غلظت آهن، منگنز و روی: تجزیه واریانس اثر CO_2 ، نیتروزن و بافت خاک بر غلظت آهن، منگنز و روی بخش هوایی معنی دار بود (جدول ۴). افزایش غلظت CO_2 از ۴۰۰ به ۸۵۰ میلی گرم در لیتر غلظت آهن، منگنز و روی را به ترتیب ۲۰/۷۰، ۱۳/۴۸ و ۱۱/۴۳ افزایش داد ($P < 0/05$) (جدول ۵). همچنین، افزایش مقدار نیتروزن خاک تا سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم نیتروزن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد به ترتیب باعث افزایش ۱۹/۴۸ و ۱۴/۵۵ درصدی غلظت آهن، افزایش ۱۶/۳۸ و ۹/۰۷ درصدی غلظت منگنز و افزایش ۳۰/۳۶ و ۲۳/۴۸ درصدی غلظت روی بخش هوایی گیاه شد (جدول ۵). در هر یک از سطوح CO_2 افزایش مقدار کود مصرفی نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش معنی دار ($P < 0/05$) غلظت آهن در بخش هوایی گیاه شد. میزان افزایش غلظت آهن در شرایط مصرف کود نسبت به تیمار شاهد به ترتیب در غلظت ۴۰۰ میلی گرم در لیتر CO_2 ۱۳/۳۰ و ۱۲/۱۴ درصد و در غلظت ۸۵۰ میلی گرم در لیتر ۲۴/۸۶ و ۱۶/۶۶ درصد بود. تأثیر CO_2 بر غلظت آهن بخش هوایی در سطوح مختلف کود

جدول ۸- برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن و CO₂ بر جذب عناصر غذایی در بخش هوایی گیاه.

Table 8. Interaction between different levels of nitrogen and CO₂ on uptake of nutrients in plant shoot.

مقدار نیتروژن مصرف شده (mg/kg)					(mg/l) CO ₂	
Nitrogen added (mg/kg)						
میانگین Average	200	100	0			
185.61 ^A	249.17 ^a	249.37 ^a	58.30 ^b	400	جذب نیتروژن بخش هوایی (mg/pot) Shoot N uptake (mg/pot)	
189.15 ^A	255.86 ^a	254.62 ^a	56.96 ^b	850		
	252.51 ^A	251.99 ^A	57.63 ^B	میانگین (Average)		
19.70 ^B	22.87 ^b	23.72 ^b	12.50 ^c	400	جذب فسفر بخش هوایی (mg/pot) Shoot P uptake (mg/pot)	
23.36 ^A	28.86 ^a	27.33 ^a	13.89 ^c	850		
	25.86 ^A	25.53 ^A	13.20 ^B	میانگین (Average)		
232.72 ^B	276.80 ^b	277.07 ^b	144.29 ^d	400	جذب پتاسیم بخش هوایی (mg/pot) Shoot K uptake (mg/pot)	
280.93 ^A	340.12 ^a	335.06 ^a	167.62 ^c	850		
	308.46 ^A	306.06 ^A	155.96 ^B	میانگین (Average)		
23.05 ^A	29.59 ^a	27.91 ^a	11.65 ^b	400	جذب منیزیم بخش هوایی (mg/pot) Shoot Mg uptake (mg/pot)	
22.79 ^A	29.58 ^a	27.73 ^a	11.07 ^b	850		
	29.58 ^A	27.82 ^A	11.36 ^B	میانگین (Average)		
471.99 ^B	560.70 ^c	587.35 ^c	267.92 ^c	400	جذب آهن بخش هوایی (µg/pot) Shoot Fe uptake (µg/pot)	
627.14 ^A	742.16 ^b	811.39 ^a	327.86 ^d	850		
	651.43 ^B	699.37 ^A	297.89 ^C	میانگین (Average)		
332.76 ^B	387.89 ^c	418.18 ^c	192.22 ^d	400	جذب منگنز بخش هوایی (µg/pot) Shoot Mn uptake (µg/pot)	
414.82 ^A	482.25 ^b	536.70 ^a	225.52 ^d	850		
	435.07 ^B	477.44 ^A	208.87 ^C	میانگین (Average)		
146.12 ^B	174.06 ^c	187.74 ^{bc}	76.55 ^d	400	جذب روی بخش هوایی (µg/pot) Shoot Zn uptake (µg/pot)	
178.79 ^A	214.44 ^{ab}	233.86 ^a	88.08 ^d	850		
	194.25 ^B	210.80 ^A	82.32 ^C	میانگین (Average)		

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن ($P < 0.05$) انجام شده است و در هر ستون و ردیف اعداد دارای دست‌کم یک حرف مشترک لاتین دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Mean comparison using Duncan's test at ($P < 0.05$), means having at least a common Latin letter in each column and row are not significantly different.

موجب افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) جذب آهن، منگنز و روی بخش هوایی گیاه گردید. تأثیر CO_2 بر جذب عناصر غذایی کم‌مصرف در بخش هوایی گیاه در سطوح مختلف کود نیتروژنی یکسان نبود (جدول ۸). به‌طور مثال افزایش ۲۲/۳۷، ۳۸/۱۴ و ۳۲/۳۶ درصدی میزان جذب آهن، ۱۷/۳۲، ۲۸/۳۴ و ۲۴/۳۳ درصدی میزان جذب منگنز و ۱۵/۰۶، ۲۴/۵۷ و ۲۳/۲۰ درصدی میزان جذب روی بخش هوایی گیاه به‌ترتیب در سطوح اول، دوم و سوم تیمار کود نیتروژنی و در شرایط غنی‌سازی CO_2 به‌دست آمد. میزان جذب آهن، منگنز و روی بخش هوایی گیاه در خاک لومرسی‌شنی بیش‌تر از خاک لوم‌شنی بود، میزان این تفاوت به‌ترتیب ۶/۱۷، ۸/۶۲ و ۲۷/۷۱ بود (جدول ۹). در هر دو خاک لومرسی‌شنی و لوم‌شنی، افزایش مقدار نیتروژن خاک تا سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش میزان جذب روی در بخش هوایی گیاه شد، به‌طوری که میزان افزایش غلظت روی در خاک لومرسی‌شنی به‌ترتیب ۱۶۶/۱۴ و ۱۵۴/۱۰ درصد و در خاک لوم‌شنی به‌ترتیب ۱۴۴/۵۰ و ۱۱۵/۱۱ درصد بود (جدول ۹).

اثر CO_2 ، نیتروژن و بافت خاک بر جذب آهن، منگنز و روی: تجزیه واریانس اثر CO_2 ، نیتروژن و بافت خاک بر جذب آهن، منگنز و روی بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۷). افزایش غلظت CO_2 از ۴۰۰ به ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش ۳۲/۸۷، ۲۴/۶۶ و ۲۲/۳۶ درصدی ($P < 0.05$) میزان جذب آهن، منگنز و روی در بخش هوایی گیاه گردید. افزایش مقدار نیتروژن خاک تا سطح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد نیز باعث افزایش ۱۳۴/۷۷ و ۱۱۸/۶۸ درصدی میزان جذب آهن، افزایش ۱۲۸/۵۸ و ۱۰۸/۳۰ درصدی میزان جذب منگنز و افزایش ۱۵۶/۰۷ و ۱۳۵/۹۷ درصدی میزان جذب روی در بخش هوایی گیاه شد (جدول ۸). افزایش مقدار نیتروژن مصرفی نسبت به تیمار شاهد در هر دو غلظت CO_2 ، باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) جذب آهن، منگنز و روی در بخش هوایی گیاه شد. CO_2 تأثیر مشابه‌ای را بر جذب عناصر غذایی کم‌مصرف بخش هوایی گیاه نشان داد. افزایش غلظت CO_2 تا سطح ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به غلظت طبیعی آن (در غلظت‌های یکسان نیتروژن)،

جدول ۹- برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن و بافت خاک بر جذب عناصر غذایی در بخش هوایی گیاه.

Table 9. Interaction between different levels of nitrogen and soil texture on uptake of nutrients in plant shoot.

مقدار نیتروژن مصرف شده (mg/kg)					
Nitrogen added (mg/kg)					
میانگین Average	200	100	0	بافت خاک Soil texture	
191.42 ^A	258.74 ^a	254.23 ^{ab}	61.28 ^c	Sandy Clay Loam	جذب نیتروژن بخش هوایی (mg/pot)
183.34 ^B	246.29 ^b	249.75 ^b	53.99 ^c	Sandy Loam	Shoot N uptake (mg/pot)
	252.51 ^A	251.99 ^A	57.63 ^B	میانگین (Average)	
22.01 ^A	26.97 ^a	25.35 ^a	13.7 ^b	Sandy Clay Loam	جذب فسفر بخش هوایی (mg/pot)
21.05 ^B	24.76 ^a	25.71 ^a	12.7 ^b	Sandy Loam	Shoot P uptake (mg/pot)
	25.86 ^A	25.53 ^A	13.20 ^B	میانگین (Average)	
259.92 ^A	322.13 ^a	298.73 ^a	158.9 ^b	Sandy Clay Loam	جذب پتاسیم بخش هوایی (mg/pot)
253.73 ^A	294.79 ^a	313.39 ^a	153.02 ^b	Sandy Loam	Shoot K uptake (mg/pot)
	308.46 ^A	306.06 ^A	155.96 ^B	میانگین (Average)	
24.10 ^A	30.95 ^a	29.31 ^{ab}	12.05 ^c	Sandy Clay Loam	جذب منیزیم بخش هوایی (mg/pot)
21.74 ^B	28.22 ^{ab}	26.33 ^b	10.67 ^c	Sandy Loam	Shoot Mg uptake (mg/pot)
	29.58 ^A	27.82 ^A	11.36 ^B	میانگین (Average)	
566.01 ^A	661.94 ^a	722.74 ^a	313.36 ^b	Sandy Clay Loam	جذب آهن بخش هوایی (μg/pot)
533.11 ^B	640.93 ^a	676.00 ^a	282.41 ^b	Sandy Loam	Shoot Fe uptake (μg/pot)
	651.43 ^B	699.37 ^A	297.89 ^C	میانگین (Average)	
389.24 ^A	454.87 ^{ab}	495.86 ^a	216.98 ^c	Sandy Clay Loam	جذب منگنز بخش هوایی (μg/pot)
358.35 ^B	415.26 ^b	459.01 ^{ab}	200.76 ^c	Sandy Loam	Shoot Mn uptake (μg/pot)
	435.07 ^B	477.44 ^A	208.87 ^C	میانگین (Average)	
182.23 ^A	223.96 ^a	234.58 ^a	88.14 ^c	Sandy Clay Loam	جذب روی بخش هوایی (μg/pot)
142.69 ^B	164.54 ^b	187.02 ^b	76.49 ^c	Sandy Loam	Shoot Zn uptake (μg/pot)
	194.25 ^B	210.80 ^A	82.32 ^C	میانگین (Average)	

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن ($P < 0.05$) انجام شده است و در هر ستون و ردیف اعداد دارای دست‌کم یک حرف مشترک لاتین دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Mean comparison using Duncan's test at ($P < 0.05$), means having at least a common Latin letter in each column and row are not significantly different.

بحث

صرف نظر از شرایط کودی، با افزایش غلظت CO₂ تجمع ماده خشک بخش هوایی به طور معنی داری افزایش یافت (جدول ۳). به احتمال زیاد، جذب بیش تر CO₂ توسط گیاه گندم از طریق افزایش میزان فتوسنتز منجر به تولید بیش تر ترکیبات فتوسنتزی و بنابراین تجمع ماده خشک می گردد. به طور کلی میزان تجمع زیست توده گیاهی برآیند سه عامل طول دوره رشد، شاخص سطح برگ و کارایی فتوسنتزی گیاه است. افزایش غلظت CO₂ بر کارایی فتوسنتزی و سطح برگ گیاه اثرات مثبتی دارد (۵۱). به طور مشابه در پژوهشی افزایش غلظت CO₂ تا سطح ۶۰۰ میلی گرم در لیتر نسبت به غلظت طبیعی این گاز سبب افزایش حدود ۷۳ و ۷۷ درصدی وزن تر و خشک ساقه گیاه شیدر شد (۴۳). همچنین، افزایش غلظت CO₂ از ۳۵۰ به ۷۰۰ میلی گرم در لیتر سبب افزایش حدود ۸۹ و ۵۳ درصدی وزن خشک بخش هوایی گیاه گندم در رژیم های آبیاری مختلف شد (۶۰). نتایج نشان داد با مصرف کود نیتروژن (سطح ۱۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) وزن خشک بخش هوایی گیاه افزایش یافت، اما در سطح ۲۰۰ میلی گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک وزن ماده خشک کاهش پیدا کرد که دلیل این موضوع احتمالاً برهم خوردن تعادل مناسب میان عناصر غذایی در گیاه است. تأثیر مصرف نیتروژن بر افزایش رشد گیاه به وسیله تغییر دادن موازنه هورمون های گیاهی در بخش های رویشی حاصل می شود. مصرف نیتروژن با کاهش نسبت اسید آبسزیک به جیبرلین باعث افزایش رشد رویشی گیاه می گردد (۳۱). به طور کلی کمبود نیتروژن سبب تحریک کاهش مقدار کلروفیل می شود، در نتیجه منجر به کاهش شاخص سطح برگ و زیست توده 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 زیست توده بیش تر می گردد (۴۱). با توجه به نتایج به دست آمده در شرایط مصرف کود نیتروژنی اثرات افزایش غلظت CO₂ بر وزن خشک بخش هوایی گیاه نسبت به شرایط عدم مصرف کود بیش تر بود. به نظر می رسد که در شرایط افزایش غلظت CO₂ اثرات کود نیتروژنی تشدید گردد. این نتیجه را می توان به مصرف بیش تر عناصر غذایی در پاسخ به افزایش تقاضا در نتیجه بهبود میزان فتوسنتز خالص تحت شرایط غنی سازی CO₂ مرتبط دانست. به طور کلی، همبستگی مثبت بین غلظت نیتروژن و تبادل خالص CO₂ در گیاه، بیانگر این است که افزایش نیتروژن برای تولید ماده خشک ضروری است (۳۴). به عنوان مثال در پژوهشی، افزایش غلظت CO₂ از ۳۷۵ به ۵۵۰ میلی گرم در لیتر و همچنین افزایش مقدار نیتروژن مصرفی تأثیر مثبت و معنی داری بر وزن خشک بخش هوایی گیاه جو داشت و میزان افزایش وزن خشک بخش هوایی گیاه در سطوح مختلف تیمار کودی به ترتیب حدود ۱۳ و ۲۷ درصد بود (۳۰).

به طور کلی با بررسی نتایج به دست آمده مشخص شد غلظت نیتروژن، آهن، منگنز و روی در بخش هوایی گیاهان کشت شده در خاک لومرسی شنی بیش تر از خاک لومرسی بود. این نتیجه به دلیل تولید ماده خشک گیاهی بیش تر در خاک لومرسی شنی نسبت به خاک لومرسی است، که به تبع آن عناصر غذایی بیشتری توسط گیاه از خاک (لومرسی شنی) تخلیه می شود. میزان جذب کل نیتروژن، فسفر، منیزیم، آهن، منگنز و روی در بخش هوایی گیاه در خاک لومرسی شنی بیش تر بود. از آن جا که وزن خشک بخش هوایی گیاه و غلظت عناصر غذایی مذکور در بخش هوایی در خاک لومرسی شنی بیش تر از خاک لومرسی بود، بنابراین این موارد دلیلی بر

و فسفر عنوان شده. به‌طور کلی افزایش طول و تراکم تارهای کشنده ریشه، تغییرات شیمیایی در ریزوسفر و تغییرات فیزیولوژیکی در گیاه در نتیجه افزایش مصرف فسفر و نیتروژن از جمله دلایل در توجیه رابطه سینرژیستی بین نیتروژن و فسفر است (۵۹). پژوهشگران معتقدند که یکی از اثرات افزایش مصرف کودهای حاوی نیتروژن افزایش جذب کاتیون‌ها است. بنابراین جذب نیتروژن توسط گیاه یک افزایش نسبی در میزان جذب سایر عناصر غذایی به وجود می‌آورد. به‌طور کلی از اثرات اصلی نیتروژن می‌توان به افزایش فعالیت متابولیکی گیاه، تسریع اغلب فرآیندهای فیزیولوژیکی و تغییر در میزان جذب عناصر غذایی توسط گیاه اشاره نمود (۵۳). با مصرف کود نیتروژنی (اوره) pH خاک کاهش می‌یابد، که این موضوع دلیلی بر رشد بهتر گیاه است. پژوهشگران مشاهده کردند که تا چهار روز پس از افزودن کود اوره pH خاک افزایش و پس‌از آن کاهش یافت. افزایش اولیه pH خاک به‌دلیل هیدرولیز اوره و تولید کربنات آمونیوم و کاهش بعدی آن بر اثر انجام فرآیند نیترات‌سازی بود (۲). دلیل دیگر برای کاهش pH خاک این است که ریشه گیاه با جذب یون‌های NH_4^+ (حاصل از هیدرولیز اوره) برای حفظ خنثی بودن بار الکتریکی در داخل و پیرامون ریشه H^+ به ریزوسفر آزاد می‌کند که سبب اسیدی شدن آن می‌گردد. این کاهش pH خاک سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی مختلف از جمله فسفر، آهن، منگنز، مس، روی می‌گردد (۳۱). به‌طور کلی افزایش مقدار نیتروژن مصرفی و در نتیجه آن افزایش رشد رویشی گیاه نیاز به سایر عناصر غذایی را به دنبال خواهد داشت که این موضوع میزان جذب عناصر غذایی را نیز افزایش خواهد داد (۴۸). پژوهشگران تأثیر نیتروژن در افزایش غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف مانند منگنز و آهن را در بخش هوایی گیاه به‌دلیل تحریک رشد ریشه بر اثر مصرف

افزایش میزان جذب کل نیتروژن و سایر عناصر غذایی در این خاک است. به‌طور مشابه پژوهشگران در بررسی اثر بافت و تراکم خاک بر روی جذب عناصر غذایی و رشد گیاه ذرت به این نتیجه رسیدند که جذب کل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در بخش هوایی گیاه در خاک لوم‌رسی‌شنی بیش‌تر از خاک لوم‌رسی بود و تولید ماده خشک گیاهی بیش‌تر در خاک با بافت سبک‌تر دلیل این نتیجه عنوان شد (۱۷). بیش‌ترین میزان جذب کل و غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم در بخش هوایی گیاه در شرایط مصرف کود به‌دست آمد. میزان جذب کل و غلظت آهن، منگنز و روی در سطح دوم تیمار کودی (۱۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک) بیش‌ترین مقدار بود. دلیل کاهش میزان جذب کل آهن، منگنز و روی در سطح سوم تیمار نیتروژنی (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) نسبت به سطح دوم کاهش رشد گیاه و به‌تبع آن کاهش تولید ماده خشک و همچنین کاهش غلظت این عناصر در بخش هوایی تحت این شرایط است. به‌طور کلی با افزایش مقدار نیتروژن در خاک غلظت آن در بافت‌های گیاهی به‌صورت تابع درجه دوم افزایش می‌یابد (۲۱). به‌عنوان مثال، با افزایش مقدار نیتروژن خاک تا سطح ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار شاهد میزان جذب کل نیتروژن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۵۶). با افزایش مصرف کودهای نیتروژنی طول و تراکم تارهای کشنده ریشه زیاد شده و در نتیجه آن جذب عناصر غذایی افزایش خواهد یافت (۴). در مطالعه مشابه، افزایش مصرف کود نیتروژنی میزان جذب و غلظت پتاسیم در بخش هوایی گندم را نیز افزایش داد، اما تأثیر معنی‌داری بر غلظت و میزان جذب کل فسفر بخش هوایی نداشت (۱۵). افزایش کاربرد نیتروژن، غلظت و جذب کل فسفر در بخش هوایی برنج را افزایش داد، که دلیل این موضوع مربوط به رابطه سینرژیستی بین نیتروژن

نیترژن و نیز افزایش فراهمی این عناصر در خاک ذکر کردند (۱۲). در واقع افزایش مصرف کود نیترژنی در خاک سبب افزایش حجم ریشه و در نتیجه افزایش سطح تماس آن با خاک می‌شود. همچنین افزایش مقدار نیترژن خاک با افزایش ترشح ترکیباتی از ریشه انحلال ترکیبات نامحلول منگنز و آهن (از طریق تشدید فعالیت‌های ریزوسفری و فعالیت‌های ریز جانداران خاک) را نیز افزایش می‌دهد (۱۲). با این حال در سطوح بالای نیترژن خاک ممکن است مقدار تولید اکسین (ایندول استیک اسید) در ریشه زیاد شود که نتیجه آن کاهش رشد ریشه و به تبع آن کاهش جذب عناصر غذایی است (۳). برخی از پژوهشگران تأثیر افزایش مقدار نیترژن مصرفی در افزایش جذب روی توسط گیاه را به ازدیاد طول و تراکم تارهای کشنده ریشه نسبت داده‌اند (۱۱). علاوه بر این افزایش غلظت روی در بخش هوایی گیاه بر اثر کاربرد نیترژن می‌تواند مربوط به کاهش pH خاک باشد (۳۵). کریمیان (۱۹۹۵) افزایش غلظت و جذب روی در گیاه ذرت در اثر افزایش کاربرد نیترژن را نیز گزارش نمود (۲۲). با این حال برخی پژوهشگران کاهش میزان جذب روی در شرایط افزایش کاربرد کودهای محتوی نیترژن را پیامد اثر رقت و یا تجمع روی به صورت کمپلکس‌های پروتئینی در ریشه گیاه تحت این شرایط عنوان نمودند (۳۹).

بنابر نتایج به دست آمده افزایش غلظت CO_2 در مقایسه با غلظت طبیعی آن سبب افزایش معنی‌دار میزان جذب کل و غلظت اکثر عناصر غذایی در بخش هوایی گیاه شد. با این حال، افزایش غلظت CO_2 تا سطح ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به تیمار شاهد غلظت نیترژن و منیزیم بخش هوایی گیاه را کاهش داد و بر میزان جذب کل این عناصر تأثیر معنی‌داری نداشت. افزایش وزن خشک بخش هوایی و کاهش

غلظت عناصر مذکور (نیترژن و منیزیم) سبب شد که میزان جذب این عناصر در بخش هوایی گیاه تفاوت معنی‌داری را در شرایط افزایش غلظت CO_2 نسبت به غلظت شاهد نشان ندهند. به‌طور کلی اگرچه CO_2 باعث افزایش رشد و فتوسنتز، افزایش وزن خشک و عملکرد محصولات زراعی می‌شود، اما موجب تغییر غلظت بسیاری از عناصر غذایی ضروری نیز می‌گردد (۴۶). پاسخ گیاهان به‌طور معمول به نوع عنصر غذایی و گونه گیاهی بستگی دارد (۳۲). افزایش رشد گیاه در نتیجه افزایش غلظت CO_2 به احتمال زیاد نیاز به عناصر غذایی ضروری مانند نیترژن، فسفر و غیره را نیز افزایش می‌دهد. باید توجه داشت که این افزایش تقاضا برای عناصر غذایی (ناشی از بهبود رشد گیاه) تا حدودی با افزایش راندمان استفاده از عناصر غذایی جبران می‌گردد. به‌عنوان مثال، افزایش غلظت CO_2 منجر به افزایش راندمان مصرف نیترژن (۴۹) و کاهش راندمان مصرف فسفر (۶۱) در گیاه برنج شد. همچنین، افزایش غلظت CO_2 اثر معنی‌داری بر راندمان مصرف نیترژن، فسفر و پتاسیم در گیاه ماش نداشت (۲۷). به‌طور کلی شرایط رشد متفاوت و گونه‌ها و ارقام گیاهی مختلف بر روی راندمان استفاده از عناصر غذایی مانند نیترژن در شرایط افزایش غلظت CO_2 تأثیرگذار است (۲۷). با این حال، در صورتی رشد گیاه در شرایط غنی‌سازی CO_2 تحت تأثیر قرار می‌گیرد که هم‌زمان با افزایش غلظت CO_2 تأمین عناصر غذایی ضروری گیاه از جمله نیترژن و فسفر در حد مطلوب انجام گیرد (۱۹).

به‌عنوان مثال، برخی پژوهشگران دلیل میزان جذب بیش‌تر فسفر در بخش هوایی، ریشه و دانه گیاه برنج تحت شرایط غنی‌سازی CO_2 را نتیجه افزایش تولید ماده خشک گیاهی تحت این شرایط ذکر نمودند (۶۲). افزایش غلظت CO_2 با تغییر سوخت‌وساز کربن و نیترژن در محصولات زراعی مانند گندم منجر به

عناصر غذایی بیشتری را از خاک تخلیه می‌کنند (۴۳). بنابر نتایج یک بررسی غلظت روی در دانه‌های گندم رشد کرده در شرایط غنی‌سازی CO₂ حدود ۹/۳ درصد کاهش یافت (۳۶). همچنین، افزایش غلظت فسفر و پتاسیم بافت گیاهی در شرایط افزایش غلظت CO₂ در گیاه برنج نیز گزارش شد (۶۳). افزایش غلظت CO₂ غلظت پتاسیم، منیزیم و مولیبدن در بخش هوایی گیاه گندم را افزایش داد، در حالی‌که غلظت فسفر، آهن، مس و روی در بخش هوایی گیاه کاهش یافت (۱۶).

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت CO₂ همان‌طور که موجب افزایش زیست‌توده گیاه می‌شود، می‌تواند اثرات متفاوتی بر غلظت عناصر داشته باشد، اگر افزایش در مقدار عنصر جذب‌شده بیش‌تر از افزایش زیست‌توده باشد، غلظت عنصر در گیاه افزایش می‌یابد، اگر میزان افزایش در جذب عنصر و همچنین زیست‌توده گیاهی یکسان باشد، غلظت عنصر تغییر نمی‌کند و اگر میزان عنصر جذب‌شده در هر دو سطح طبیعی و افزایش‌یافته CO₂ یکسان باشد، غلظت عنصر در گیاه کاهش می‌یابد. از آنجاکه افزایش ماده خشک در اثر افزایش غلظت CO₂ به‌طور معمول به‌دلیل افزایش کربوهیدرات‌ها (متشکل از C، H و O) است، اگر جذب دیگر عناصر تشکیل‌دهنده ساختار گیاهی به‌طور مداوم صورت نگیرد، غلظت آن‌ها در گیاه کاهش می‌یابد. با این‌حال، در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد اثر افزایش غلظت CO₂ بر جذب عنصر بیش‌تر از اثر آن بر زیست‌توده گندم بوده است.

نتیجه‌گیری

بهبود شرایط تغذیه‌ای ناشی از مصرف کودهای شیمیایی (نیترژنی) و افزایش غلظت CO₂ اتمسفری به‌دلیل افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک موجب

تغییرات در ترکیب شیمیایی بخش‌های رویشی گیاه می‌گردد. به‌طور کلی تحت شرایط افزایش غلظت CO₂ بسیاری از گیاهان دارای غلظت‌های کم‌تر نیترژن (پروتئین) می‌باشند، که این موضوع به‌طور عمده به‌دلیل اثر رقت ناشی از افزایش رشد گیاه و همچنین سایر عوامل مؤثر بر جذب و استفاده از نیترژن است (۱۳ و ۴۵). افزایش غلظت CO₂ از طریق افزایش راندمان مصرف نیترژن و یا کاهش تقاضا برای این عنصر توسط بخش هوایی گیاه منجر به کاهش غلظت آن در گیاه می‌شود (۲۷). به‌طور کلی میزان تغییرات غلظت نیترژن در بافت‌های گیاهی در شرایط غنی‌سازی CO₂ به گونه گیاهی و سطح نیترژن مصرفی بستگی دارد (۶۳). بنابراین کاهش غلظت نیترژن در گیاهان در نتیجه افزایش غلظت CO₂ در شرایط فراهمی نیترژن به مقدار کافی (نسبت به شرایط محدودیت نیترژن در خاک) کم‌تر می‌گردد (۵۸). به‌عنوان مثال، افزایش غلظت CO₂ از ۴۰۰ به ۷۶۰ میلی‌گرم در لیتر در هر دو تیمار کود نیترژنی (صفر و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) باعث کاهش غلظت نیترژن در برگ‌های گندم شد ولی میزان کاهش غلظت نیترژن در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم نیترژن در کیلوگرم خاک کم‌تر بود (۶۴). در بررسی دیگری، غلظت نیترژن بخش هوایی گندم در نتیجه افزایش غلظت CO₂ از ۳۶۵ به ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر صرف‌نظر از تیمار نیترژنی کاهش یافت (۱۸). با افزایش غلظت CO₂ از ۳۵۰ به ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر غلظت مس، منگنز و روی در ساقه، برگ‌ها و ریشه‌های گندم افزایش یافت. در حالی‌که کاهش غلظت نیترژن و آهن دیده شد. همچنین مشخص شد که دانه گیاهان رشد کرده در شرایط غنی‌سازی و مصرف زیاد کود نیترژنی از لحاظ میزان عناصر غذایی غنی‌تر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط غنی از CO₂ و کاربرد زیاد نیترژن گیاهان

اتمسفری، رشد گیاه گندم و جذب اکثر عناصر غذایی در بخش هوایی آن افزایش خواهد یافت. از این نتایج می توان در جهت مدیریت مصرف کودهای نیتروژنی استفاده نمود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری و مساعدت پرسنل و مسئولین گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران جهت تامین امکانات اجرای این پژوهش سپاسگزاری می نمایم.

افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی مختلف و نیز سبب تغییر غلظت بسیاری از عناصر غذایی ضروری گیاه می شود. در مطالعه حاضر، افزایش غلظت CO₂ سبب افزایش غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز و روی در بخش هوایی گندم شد. تحت این شرایط جذب این عناصر در بخش هوایی گیاه نیز به طور معنی داری افزایش یافت. به علاوه، افزایش مقدار نیتروژن خاک منجر به تشدید اثرات مثبت افزایش غلظت CO₂ بر رشد و جذب عناصر غذایی گیاه گندم گردید. بنابراین در صورتی که محدودیتی از نظر تامین عناصر غذایی ضروری گیاه به خصوص نیتروژن وجود نداشته باشد، در شرایط افزایش غلظت CO₂

منابع

1. Ainsworth, E.A., and Long, S.P. 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytol.* 165: 2. 351-372.
2. Asing, J., Saggar, S., Singh, J., and Bolan, N.S. 2008. Assessment of nitrogen losses from urea and an organic manure with and without nitrification inhibitor, dicyandiamide, applied to lettuce under glasshouse conditions. *Soil Res.* 46: 7. 535-541.
3. Black, C.A. 1968. Soil-plant relationships. *Soil-plant relationships.*: 2nd ed.
4. Bottrill, D., Possingham, J., and Kriedemann, P. 1970. The effect of nutrient deficiencies on photosynthesis and respiration in spinach. *Plant Soil.* 32: 1. 424-438.
5. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agron J.* 54: 5. 464-465.
6. Bremner, J. 1996. Nitrogen-total. P 1085-1121, In: J.M. Bartels and J.M. Bigham (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 3, Chemical Methods*, Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
7. Chunwu, Z., Qilong, Z., Hongyan, Y., Shengjin, L., Gangqiang, D., and Jianguo, Z. 2016. Effect of Elevated CO₂ on the Growth and Macronutrient (N, P and K) Uptake of Annual Wormwood (*Artemisia annua* L.). *Pedosphere.* 26: 2. 235-242.
8. Cottenie, A. 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations. F.A.O. *Soils Bulletin* 38/2. Rome, Italy, 118p.
9. Fangmeier, A., Grüters, U., Högy, P., Vermehren, B., and Jäger, H.J. 1997. Effects of elevated CO₂, nitrogen supply and tropospheric ozone on spring wheat-II. Nutrients (N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn). *Environ. Pollut.* 96: 1. 43-59.
10. Flexas, J., and Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Ann. Bot.* 89: 2. 183-189.
11. Foehse, D., and Jungk, A. 1983. Influence of phosphate and nitrate supply on root hair formation of rape, spinach and tomato plants. *Plant Soil.* 74: 3. 359-368.
12. Goldberg, S.P., Smith, K.A., and Holmes, J.C. 1983. The effects of soil compaction, form of nitrogen fertiliser and fertiliser placement on the availability of manganese to barley. *J. Sci. Food Agric.* 34: 7. 657-670.
13. Hao, X., Gao, J., Han, X., Ma, Z., Merchant, A., Ju, H., and Lin, E. 2014. Effects of open-air elevated atmospheric CO₂ concentration on yield quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merr). *Agric. Ecosyst. Environ.* 192: 80-84.

14. Helmke, P.A., and Sparks, D. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. P 551-575, In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
15. Heydarian Pour, M.B., Ramezani Mozhddeh, Z., and Samini, A.M. 2013. Effect of nitrogen and biological bacteria on performance, total concentration and uptake of nutrient elements in shoot of Wheat. Soil Res. (Soil and Water). 27: 2. 141-148. (In Persian)
16. Högy, P., Wieser, H., Köhler, P., Schwadorf, K., Breuer, J., Franzaring, J., and Fangmeier, A. 2009. Effects of elevated CO₂ on grain yield and quality of wheat: results from a 3-year free-air CO₂ enrichment experiment. Plant Biol. 11: 1. 60-69.
17. Iqbal, M., Hassan, A., and Abid, M. 1999. Effect of soil texture and compaction on nutrient uptake and growth of maize (*Zea mays* L.). Pak. J. Agric. Sci. 36: 3-4. 154-160.
18. Jensen, B., and Christensen, B.T. 2004. Interactions between elevated CO₂ and added N: effects on water use, biomass and soil ¹⁵N uptake in wheat. Acta Agric Scand B Soil Plant Sci. 54: 3. 175-184.
19. Jin, C.W., Du, S.T., Chen, W.W., Li, G.X., Zhang, Y.S., and Zheng, S.J. 2009. Elevated carbon dioxide improves plant iron nutrition through enhancing the iron-deficiency-induced responses under iron-limited conditions in tomato. Plant Physiol. 150: 1. 272-280.
20. Jin, J., Tang, C., and Sale, P. 2015. The impact of elevated carbon dioxide on the phosphorus nutrition of plants: a review. Ann. Bot. 116: 6. 987-999.
21. Kantety, R., van Santen, E., Woods, F., and Wood, C. 1996. Chlorophyll meter predicts nitrogen status of tall fescue. J. Plant Nutr. 19: 6. 881-889.
22. Karimian, N. 1995. Effect of nitrogen and phosphorus on zinc nutrition of corn in a calcareous soil. J. Plant Nutr. 18: 10. 2261-2271.
23. Keeling, C., and Whorf, T. 2005. Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network, Trends: a compendium of data on global change, Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, Pp: 16-26.
24. Kimball, B., Kobayashi, K., and Bindi, M. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. Adv. Agron. 77: 293-368.
25. Kuo, S. 1996. Phosphorus. P 869-919, In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke and R.H. Loeppert (Eds.), Methods of soil analysis, Part 3, chemical methods, Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
26. Li, D., Liu, H., Qiao, Y., Wang, Y., Cai, Z., Dong, B., and Liu, M. 2013. Effects of elevated CO₂ on the growth, seed yield and water use efficiency of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought stress. Agric. Water Manage. 129: 105-112.
27. Li, P., Han, X., Zong, Y., Li, H., Lin, E., Han, Y., and Hao, X. 2015. Effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on the uptake and utilization of N, P and K in *Vigna radiata*. Agric. Ecosyst. Environ. 202: 120-125.
28. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 3. 421-428.
29. Madhu, M., and Hatfield, J. 2013. Dynamics of plant root growth under increased atmospheric carbon dioxide. Agron. J. 105: 3. 657-669.
30. 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. Res. 110: 3. 185-196.
31. Marschner, H. 2011. Mineral nutrition of higher plants, Academic press, 672p.
32. McGrath, J.M., and Lobell, D.B. 2013. Reduction of transpiration and altered nutrient allocation contribute to nutrient decline of crops grown in elevated CO₂ concentrations. Plant, Cell Environ. 36: 3. 697-705.
33. Mishra, A.K., Rai, R., and Agrawal, S. 2013. Differential response of dwarf and tall tropical wheat cultivars to elevated ozone with and without carbon dioxide enrichment: growth, yield and grain quality. Field Crops. Res. 145: 21-32.

34. Murata, Y. 1961. Studies on photosynthesis in rice plants and its culture significance. Bull. Nat. Inst. Agr. Sci. Japan Ser. D. 9: 1-169.
35. Murcia, M., Vera, A., Ortiz, R., and Garcia-Carmona, F. 1995. Measurement of ion levels of spinach grown in different fertilizer regimes using ion chromatography. Food Chem. 52: 2. 161-166.
36. Myers, S.S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A.D., Bloom, A.J., and Hasegawa, T. 2014. Increasing CO₂ threatens human nutrition. Nature. 510: 7503. 139-142.
37. Nelson, D., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 539-580, In: A.L. Page (Ed.), Methods of soil analysis, Part 2, 2nd ed, Chemical and microbiological properties, Agronomy monograph No.9. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
38. Nelson, R. 1982. Carbonate and gypsum. P 181-197, In: A.L. Page (Ed.), Methods of soil analysis, Part 2, 2nd ed, Chemical and microbiological properties, Agronomy monograph No.9. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
39. Olsen, S. 1972. Micronutrient interactions, Pp: 243-264.
40. Olsen, S., and Sommers, L. 1982. Phosphorus. P 403-430, In: A.L. Page (Ed.), Methods of soil analysis, Part 2, 2nd ed, Chemical and microbiological properties, Agronomy monograph No.9. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
41. Olson, R.A., and Frey, K. 1987. Nutritional quality of cereal grains: genetic and agronomic improvement. Am. Soc. Agron, Madison, WI, 511p.
42. Osanai, Y., Tissue, D.T., Bange, M.P., Anderson, I.C., Braunack, M.V., and Singh, B.K. 2016. Plant-soil interactions and nutrient availability determine the impact of elevated CO₂ and temperature on cotton productivity. Plant Soil. 410: 1. 87-102.
43. Pal, M., Karthikeyapandian, V., Jain, V., Srivastava, A., Raj, A., and Sengupta, U. 2004. Biomass production and nutritional levels of berseem (*Trifolium alexandrinum*) grown under elevated CO₂. Agric. Ecosyst. Environ. 101: 1. 31-38.
44. Phothi, R., Umponstira, C., Sarin, C., Siriwong, W., and Nabheerong, N. 2016. Combining effects of ozone and carbon dioxide application on photosynthesis of Thai jasmine rice (*Oryza sativa* L.) cultivar Khao Dawk Mali 105. Aust. J. Crop Sci. 10: 4. 591-597.
45. Pleijel, H., and Högy, P. 2015. CO₂ dose-response functions for wheat grain, protein and mineral yield based on FACE and open-top chamber experiments. Environ. Pollut. 198: 70-77.
46. 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 CO₂ effects on plant growth and water relations: implications for horticulture. HortScience. 46: 2. 158-162.
47. Rhoades, J. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. P 417-435, In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
48. Ritchie, S.W., and Hanway, J.J. 1989. How a corn plant develops, Ames, IA (USA), Iowa State University, 20p.
49. Roy, K., Bhattacharyya, P., Neogi, S., Rao, K., and Adhya, T. 2012. Combined effect of elevated CO₂ and temperature on dry matter production, net assimilation rate, C and N allocations in tropical rice (*Oryza sativa* L.). Field Crops. Res. 139: 71-79.
50. Ryan, J., Estefan, G., and Rashid, A. 2007. Soil and plant analysis laboratory manual, ICARDA, Beirut, Lebanon, 243p.
51. Schahczenski, J., and Hill, H. 2009. Agriculture, climate change and carbon sequestration. ATTRA, Melbourne, Pp: 14-18.
52. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., 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, United Kingdom and New York, NY, USA, 996p.
53. Staal, M., Maathuis, F.J., Elzenga, J.T.M., Overbeek, J.H.M., and Prins, H. 1991. Na⁺/H⁺ antiport activity in tonoplast vesicles from roots of the salt-tolerant *Plantago maritima* and the salt-sensitive *Plantago media*. Physiol. Plant. 82: 2. 179-184.

54. Sumner, M., and Miller, W. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. P 1201-1229, In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
55. Thomas, G. 1996. Soil pH and soil acidity. P 475-490, In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, WI.
56. Thompson, T.L., and Doerge, T.A. 1995. Nitrogen and water rates for subsurface trickle-irrigated collard, mustard and spinach. HortScience. 30: 7. 1382-1387.
57. Torbert, H., Prior, S., Rogers, H., and Runion, G. 2004. Elevated atmospheric CO₂ effects on N fertilization in grain sorghum and soybean. Field Crops. Res. 88: 1. 57-67.
58. Weigel, H.J., and Manderscheid, R. 2012. Crop growth responses to free air CO₂ enrichment and nitrogen fertilization: rotating barley, ryegrass, sugar beet and wheat. Eur. J. Agron. 43: 97-107.
59. Wilkinson, S., Grunes, D., and Sumner, M. 2000. Nutrient interactions in soil and plant nutrition. Handbook of soil science, Pp: 89-112.
60. Wu, D.X., Wang, G.X., Bai, Y.F., and Liao, J.X. 2004. Effects of elevated CO₂ concentration on growth, water use, yield and grain quality of wheat under two soil water levels. Agric. Ecosyst. Environ. 104: 3. 493-507.
61. Yang, L., Wang, Y., Huang, J., Zhu, J., Yang, H., Liu, G., and Hu, J. 2007. Seasonal changes in the effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on phosphorus uptake and utilization of rice at three levels of nitrogen fertilization. Field Crops. Res. 102: 2. 141-150.
62. Yang, L., Wang, Y., Kobayashi, K., Zhu, J., Huang, J., Yang, H., and Han, Y. 2008. Seasonal changes in the effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on growth, morphology and physiology of rice root at three levels of nitrogen fertilization. Glob. Change. Biol. 14: 8. 1844-1853.
63. Zeng, Q., Liu, B., Gilna, B., Zhang, Y., Zhu, C., Ma, H., and Zhu, J. 2011. Elevated CO₂ effects on nutrient competition between a C₃ crop (*Oryza sativa* L.) and a C₄ weed (*Echinochloa crusgalli* L.). Nutr. Cycl. Agroecosys. 89: 1. 93-104.
64. Zhang, X., Yu, X., and Ma, Y. 2013. Effect of nitrogen application and elevated CO₂ on photosynthetic gas exchange and electron transport in wheat leaves. Photosynthetica. 4: 51. 593-602.



Effect of increasing atmospheric CO₂ concentration and nitrogen on growth and uptake of nutrients in wheat

*H. Mirseyed Hosseini¹, M. Kouhestani², A. Fathi Gerdelidani³ and M.R. Bihamta⁴

¹Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Tehran, ²M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Tehran, ³Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of Tehran,

⁴Professor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran

Received: 07/25/2017; Accepted: 11/28/2017

Abstract

Background and Objectives: Population growth and increased industrial activity in the last two centuries have led to a significant increase in atmospheric CO₂ concentration. According to research, the atmospheric CO₂ concentration has been increasing constantly since the industrial revolution up to recent years. The concentration has increased from 270 mg/l before industrial revolution in the mid eighteenth century to about 394 mg/l in 2013. Effects of elevated CO₂ concentration on uptake of plant nutrients such as nitrogen, iron, manganese and zinc, on many agricultural crops have been studied. Improvement of nutritional conditions due to use of nitrogen fertilizers and increasing atmospheric CO₂ concentration initiating increased photosynthesis and dry matter production results in promoting growth and yield increase of agronomic crops. At the same time this would change the concentration of necessary nutrients in the plants. This research was conducted with the aim of studying effects of elevated CO₂ concentration and nitrogen availability on plant nutrient uptake in wheat.

Materials and Methods: A greenhouse experiment in a factorial (combined) based on completely randomized design was conducted with soil texture in two levels (sandy clay loam and sandy loam), nitrogen in three levels (0, 100 and 200 mg/kg from urea CO(NH₂)₂) in 4 replications of each treatment. Treatments were applied under two CO₂ levels (ambient 400 and elevated 850 mg/l). A total of 24 pots in each CO₂ level and 48 pots in total were used. Sixty days after planting, the aboveground parts were harvested and plant dry matter weight, nitrogen, phosphorus, potassium, iron, manganese and zinc in shoots were determined and compared.

Results: Results showed that with increasing CO₂ concentration, in different nitrogen treatments shoot dry weight of wheat increased on the average by 10.67 percent. Increase in CO₂ concentration did not have significant effect on shoot nitrogen and magnesium uptake of wheat but increased phosphorus, potassium, iron, manganese and zinc uptake by 18.58, 20.72, 32.87, 24.66 and 22.36 percent, respectively. Application of nitrogen fertilizer increased shoot uptake of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, iron, manganese and zinc by 337, 93, 96, 145, 135, 129 and 156 percent, respectively and this increase was more intense for phosphorus, potassium, iron and manganese in elevated CO₂ concentration.

Conclusion: The amount of chemical fertilizers, especially nitrogen and nutrient balance should be changed according to the climate conditions. Based on the results of this experiment, increasing soil nitrogen concentration resulted in an exacerbation of the positive effects of increasing CO₂ concentration. Therefore, if there is no limitation in the supply of essential nutrients, especially nitrogen, wheat growth and shoot uptake of most nutrients will increase under increased atmospheric CO₂ concentration.

Keywords: Climate change, CO₂, Nutrient uptake, Soil nitrogen

* Corresponding Author; Email: mirseyed@ut.ac.ir

