تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.4016.1953

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی با کلات روی بر خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد لوبیا قرمز رقم افق (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تغییرات دما-دی‌اکسید کربن و تنش رطوبتی

سحر فلاح[۱]، خسرو عزیزی[۲*]، حمیدرضا عیسوند[۳]، امید اکبرپور[۴]، ناصر اکبری[۴]

۱. دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان
۲. استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان
۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان
۴. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
شاخص‌های رشدی
عملکرد دانه
لوبیا

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۱۲/۱۵

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۱

۱۵(۳): ۶۴۱-۶۵۶

چکیده

این آزمایش در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۷ و به‌صورت گلدانی اجرا شد. نوع آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل ۳ عامل در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری (جبران آبیاری پس از ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه)، محلول‌پاشی با کلات روی در دو سطح (عدم محلول‌پاشی و ۰/۵ گرم در لیتر) و کمپلکس دما-دی‌اکسید کربن در چهار سطح (۲۴_۳۸۰، ۳۱_۳۸۰، ۲۴_۷۰۰ و ۳۱_۷۰۰ درجه سانتی‌گراد/پی‌پی‌ام دی‌اکسید کربن) بودند. نتایج نشان داد بیشترین تعداد گره در ریشه تیمار اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۳۱_۷۰۰ درجه سانتی‌گراد/پی‌پی‌ام)×آبیاری کامل و تیمار اثر متقابل آبیاری کامل×کلات روی به ترتیب با میانگین‌های ۳۱/۱ و ۲۸/۸ گره در بوته مشاهده شد. صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه و عملکرد دانه در ترکیب تیماری شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۲۴_۷۰۰)×تنش آبیاری ملایم (FC%80) به ترتیب با میانگین ۴۳/۴ سانتی‌متر، ۵/۸ سانتی‌متر و ۱۶/۷۸ گرم در بوته بیشترین میزان را داشتند. هم‌چنین ترکیب تیماری مصرف کلات روی×آبیاری کامل با میانگین ۱۷/۱ گرم در بوته بیشترین عملکرد را داشت. درنهایت افزایش کاربرد غلظت دی‌اکسید کربن در دمای پایین‌تر توأم با آبیاری کامل و تنش ملایم باعث افزایش اکثریت صفات مورفولوژیکی و عملکرد دانه شد. هم‌چنین کاربرد روی توأم با آبیاری کامل باعث افزایش برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه گردید.

مقدمه

افزایش غلظت گازهای گلخانه ای بویژه دی اکسید کربن، در سالهای اخیر، در حالت خوش بینانه می تواند باعث افزایش دمای ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و در بد بینانه‌ترین حالت ۴/۸- ۳/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش گردد (IPCC, 2014). تغییرات اقلیمی (دما، الگوی بارندگی و سیل و قحطی) دارای اثرات عمده و منفی بر بخش تولید کشاورزی و منابع آب و زمین است (Ali et al., 2017). تغییرات آب و هوایی یک مسئله جهانی است اما در کشورهای درحال‌توسعه این مسئله اهمیت بیشتری دارد، زیرا این کشورها در برابر تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیرترند و توانایی پایینی در جهت کاهش اثرات تغییرات اقلیمی دارند (Rauf et al., 2018).

عوامل اقلیمی ممکن است، زمان رسیدگی محصولات کشاورزی را تغییر دهد (Hatfield and Prueger, 2015). تغییرات آب و هوایی از طریق کاهش در دسترس بودن آب، آبیاری باعث کاهش حاصلخیزی خاک (از طریق فرآیندهای فرسایشی)، افزایش شدت حملات مکرر آفات، کاهش سطح زیر کشت محصولات و افزایش دوره‌های برداشت آب صورت گیرد (Bhardwaj et al., 2018). کاربرد افزایش غلظت

* نگارنده پاسخگو: خسرو عزیزی. پست الکترونیک: azizi.kh@lu.ac.ir , Kh.azizi1965@gmail.com

دی‌اکسید کربن اتمسفری علی‌رغم نقش مستقیمی که در تغییرات اقلیمی دارد، به دلیل افزایش فتوسنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای و درنتیجه کاهش تعرق از سطح برگ گیاهان، به‌طور بالقوه موجب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Burkart et al., 2011).

جدا از افزایش گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، درجه حرارت بالا نیز یک تنش اصلی است که می‌تواند منجر به عقب‌ماندگی شدید رشد و توزیع گیاه شود. دمای متوسط سطح زمین تا اواخر قرن بیست و یکم احتمالاً حدود ۵-۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. در دمای بالا، طیف وسیعی از اثرات ازنظر فیزیولوژی، بیوشیمی، متابولیسم و بیان ژن بر روی گیاهان مشاهده شد، این اثرات شامل تغییر در ساختارهای سلولی، عملکردهای غشایی و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن است. علاوه بر این، قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض دمای بالا منجر به کاهش عملکردهای سلولی و تناسب کلی گیاه می‌گردد (Kumar et al., 2020).

افزایش دی‌اکسید کربن، باعث کاهش خسارت تنش خشکی متوسط و شدید (Jiang et al., 2016) از طریق افزایش کارایی مصرف آب و بهبود روابط آبی از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Pazzagli et al., 2016). از طرف دیگر، افزایش دی‌اکسید کربن منجر به کاهش خسارت وارد بر فرآیندهای فیزیولوژی گیاهی مانند فتوسنتز، تولید پر اکسید هیدروژن و خصوصیات حرکات روزنه‌ای که از طریق تنش گرمایی ایجاد می‌شود، می‌گردد (Chavan et al., 2019).

بر اساس گزارش‌های سازمان جهانی بهداشت یکی از مهم‌ترین عناصر ریزمغذی برای انسان و گیاهان، عنصر روی است و در کشورهای درحال‌توسعه کمبود این عنصر باعث بیماری و مرگ‌ومیر می‌گردد، هم‌چنین کمبود این عنصر در گیاهان باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Abido and El-Moursy, 2020). نقش‌های اصلی روی یک کاتالیزور است که تمایل به ساخت ترکیبات تتراگونال با اکسیژن، نیتروژن و گوگرد، ساخت و فعال شدن آنزیم‌ها را دارد و یا به‌عنوان یک عامل عملکردی یا به‌عنوان یک عنصر فلزی آنزیم یعنی الکل دهیدروژناز نقش مهمی دارد. روی هم‌چنین در فرآیندهای اساسی زندگی گیاه یعنی تقسیم سلولی، تنظیم روزنه و تنفس نقش اساسی دارد (Zhu et al., 2015).

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) مهم‌ترین حبوبات دانه‌ای برای مصرف مستقیم انسان است که توسط کشاورزان در مناطق حاشیه‌ای و با استفاده از حداقل نهاده‌ها کشت می‌گردد منشأ این گیاه آمریکای جنوبی و مرکزی است و امروزه در تمام مناطق گرمسیری و معتدل کشت می‌گردد، بذرهای لوبیا با حدود ۲۲٪ پروتئین ازنظر ارزش غذایی جایگزینی مناسبی برای پروتئین حیوانی هستند (Bayat et al., 2020). ازجمله ویژگی مهم حبوبات، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن اتمسفر است که باعث کاهش نیاز به کودهای شیمیایی در هنگام کاشت محصولات می‌گردد و درنهایت باعث کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن و اکسید نیتروژن می‌شود. هم‌چنین می‌توان بیان کرد محصولات دانه‌ای قادر به تولید مواد آلی با کیفیت بالا در خاک می‌شوند، گردش مواد مغذی درون خاک را تسهیل بخشیده و باعث حفظ و نگهداری آب و به حداقل رساندن ورودی انرژی فسیلی در زنجیره تولید مواد غذایی کشاورزی می‌شوند. در نهایت با توجه به این نکته که ردپای آب در هر گرم پروتئین برای حبوبات دانه‌ای ۱/۵ برابر کوچک‌تر از شیر، تخم‌مرغ و گوشت مرغ است و در مورد تولید گوشت گاو این اختلاف شش برابر کم‌تر است، بنابراین می‌توان بیان کرد تولید و مصرف حبوبات دانه‌ای می‌تواند سنگ بنایی برای اطمینان از امنیت غذایی و تغذیه‌ای در این شرایط تغییرات مداوم اقلیمی در جهان باشد (Hasanuzzaman et al., 2020).

غلظت‌های بالای دی‌اکسید کربن، دما و خشکی از عوامل مهم و عمده اقلیمی است که در آینده‌ای نه‌چندان دور تولیدات محصولات کشاورزی برای تولید غذای موردنیاز بشر و سایر موجودات را تحت تأثیر قرار خواهد داد، بنابراین در این راستا آزمایشی تحت عنوان تأثیر محلول‌پاشی با سولفات روی بر خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد لوبیا قرمز رقم افق تحت تغییرات دما-دی‌اکسید کربن و تنش رطوبتی موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه مرکزی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، واقع در خرم‌آباد اجرا شد. آزمایش به‌صورت مرکب در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار صورت گرفت. آبیاری در سه سطح (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) به‌عنوان عامل اول، محلول‌پاشی کود کلات روی در دو سطح (عدم محلول‌پاشی و ۰/۵ گرم در لیتر) به‌عنوان عامل دوم و دما-دی‌اکسید کربن

در چهار سطح (محیط اول: ۲۴ درجه سانتی‌گراد و ۳۸۰ پی‌پی‌ام در دی‌اکسید کربن، محیط دوم: ۳۱ درجه سانتی‌گراد و ۳۸۰ پی‌پی‌ام در دی‌اکسید کربن، محیط سوم: ۲۴ درجه سانتی‌گراد و ۷۰۰ پی‌پی‌ام در دی‌اکسید کربن، محیط چهارم: ۳۱ درجه سانتی‌گراد ۷۰۰ پی‌پی‌ام در دی‌اکسید کربن) به‌عنوان عامل سوم بودند.

جدول ۱. مشخصات کود مورداستفاده در این آزمایش

Table 1. Specifications of fertilizer used in this experiment

میزان عناصر موجود در کود مایع به‌صورت درصد The amount of elements in liquid fertilizer as a percentage	تجزیه محلول کود مایع Decomposition of liquid fertilizer solution	
4%	Chelate zinc	روی کلات (Zn)
4%	Solution zinc	روی محلول (Zn)
1%	Sulfur	گوگرد (S)

آماده‌سازی بستر کاشت

ابتدا خاک موردنیاز برای آزمایش را از عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتری یکی از مزارع دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی لرستان به میزان محاسبه‌شده برای گلدان‌ها جمع‌آوری گردید و به‌منظور حفظ یکنواختی خاک آن را از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و سپس برای آشنایی با خصوصیات خاک موردمطالعه پس از هوا خشک‌کردن خاک میزان ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک ازجمله بافت خاک بافت به روش هیدرومتری، رطوبت در نقطه پژمردگی دائمی و ظرفیت مزرعه‌ای، اسیدیته، شوری عصاره اشباع، میزان کربنات کلسیم به روش کلسیمتری ، میزان نیتروژن به روش کجلدال ، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن ، پتاسیم قابل‌جذب به روش استات آمونیوم ، روی به روش عصاره گیری با DTPA، و درصد کربن آلی خاک به روش والکلی- بلک تعیین گردید. قبل از کشت بذر لوبیا قرمز رقم افق از مرکز تحقیقات خمین تهیه و قبل از کاشت با قارچ‌کش بنومیل دو در هزار ضدعفونی و در هر گلدان تعداد ۲ بذر در تابستان ۹۷ کشت گردید. خاک (شامل خاک مزرعه، کود حیوانی پوسیده (گوسفندی) و شن به نسبت ۱:۱:۱ تهیه) و به میزان ۴ کیلوگرم در هر گلدان قرار داده شد. گلدان‌ها جهت کشت داری ارتفاع ۲۰ و قطر ۲۰ سانتی‌متر بودند.

اعمال تیمار آبیاری

جهت اعمال تیمارهای آبیاری (آبیاری کامل، ۸۰٪ آبیاری کامل و ۶۰٪ آبیاری کامل) از روش وزنی (Shams, 2017) استفاده شد. بدین ترتیب که مقدار رطوبت سهل‌الوصول خاک (تفاوت رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی و ۷/. ظرفیت زراعی) محاسبه شد و در تیمار آبیاری کامل، مقدار این رطوبت مبنای تعیین دور آبیاری در دوره‌های مختلف رشد قرار گرفت و بقیه تیمارها بر اساس آن تنظیم شدند. به‌عنوان‌مثال در دوره پیک تبخیر و تعرق گیاه، مقدار رطوبت سهل‌الوصول تا سه روز برای مصرف آب گیاه کفایت می‌کرد و همان مبنای دور آبیاری قرار گرفت. هر گلدان پس از آبیاری و پایان زهکشی توزین شد. قبل از آبیاری بعدی، توزین مجدداً انجام گردید. در تیمار آبیاری کامل اختلاف وزن گلدان در این دو توزین، به‌عنوان آب مصرفی محاسبه و به‌عنوان حجم آبیاری اعمال شد. در سایر تیمارها ضریب تیمار در این مقدار ضرب و آبیاری انجام گردید.

برای تعیین ظرفیت زراعی، ابتدا گلدان از خاک موردنظر که قبلاً در آون خشک شده بود پر گردید و آبیاری انجام شد تا به حد اشباع رسید. پس‌ازآن رو و پیرامون گلدان، به‌جز زهکش‌های تحتانی، لایه سلفون کشیده شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق باقی ماند تا زهکشی به‌طور کامل انجام گردید و ضمناً از تبخیر جلوگیری شد، گلدان در این حالت توزین شد. خاک خشک و گلدان خالی نیز توزین شدند و با کسر مجموع این دو از وزن کل گلدان مرطوب زهکشی شده، وزن رطوبت گلدان در ظرفیت زراعی محاسبه شد، حجم این رطوبت با وزن معادل‌سازی شد (هر کیلوگرم= یک لیتر). حجم خاک داخل گلدان به روش هندسی محاسبه شد و با تقسیم حجم رطوبت پیش‌گفته بر آن، درصد حجمی رطوبت در ظرفیت زراعی به دست آمد. برای در نظر گرفتن وزن گیاه در مراحل مختلف رشد، گلدان‌های تخریبی در نظر گرفته شد. پس از تخریب گلدان و پاک کردن ریشه گیاه، بوته‌های لوبیا توزین و در محاسبه آب مصرفی هریک از تیمارها لحاظ گردید.

جدول ۲. نتایج آنالیز بافت خاک

Table 2. Results of soil texture analysis

بافت خاک Soil texture	گوگرد s	هدایت الکتریکی EC	pH	سدیم قابل‌جذب SAR	کربن آلی Organic carbon	پتاسیم K	فسفر P	ازت N
سیلتی، رس، لوم	%	$dS\ m^{-1}$		ppm	%	----- ppm -----		%
Silt, clay, loam	16	0.29	7.18	19	0.31	80	6.5	0.026

اعمال شرایط دما-دی‌اکسید کربن متفاوت (دما/CO_2)

برای تنظیم دی‌اکسید کربن با غلظت‌های موردنظر از یک سیستم کاملاً خودکار استفاده شد. در این سیستم به‌منظور تزریق دی‌اکسید کربن به این اتاقک‌ها از کپسول‌های ۵۰ کیلویی دی‌اکسید کربن استفاده گردید و در مرحله‌ی ۲-۳ برگی گیاهچه‌ها استفاده شد و تا انتهای مرحله موردنظر رشد لوبیا ادامه یافت. هم‌چنین برای اندازه‌گیری غلظت CO_2 از دستگاه غلظت CO_2 (مدل A277535 ساخت تایلند) استفاده شد. این سیستم با استفاده از یک سلول نوری در شب خاموش و با افزایش شدت نور در روز روشن می‌گردید. درنهایت با استفاده از حجم محفظه‌های اتاقک رشد میزان غلظت دی‌اکسید کربن واردشده به هرلحظه با دقت اندازه‌گیری و کنترل شد. اتاقک رشد مورداستفاده ازنظر دما، نور و CO_2 قابل تنظیم بود.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و عملکرد

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و عملکرد در مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیک صورت گرفت. برای جهت سنجش تعداد گره‌ها اقدام به نمونه‌برداری از دو بوته به‌طور تصادفی به همراه ۴۰ سانتی‌متر مکعب حجم خاک اطراف هر بوته گردید. پس از شستشوی خاک اطراف بوته‌ها تعداد گره‌های تشکیل‌شده به روی ریشه و وزن ریشه محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری صفت قطر ساقه به‌وسیله‌ی کولیس، ارتفاع گیاه برحسب سانتی‌متر، تعداد برگ و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند.

تجزیه داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون LSD در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد گره ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات شرایط دما-دی‌اکسید کربن، تنش آبیاری و روی در سطح احتمال یک درصد بر تعداد گره ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). هم‌چنین مشاهده شد تعداد گره ریشه تحت تأثیر اثرات متقابل دما-دی‌اکسید کربن×تنش آبیاری، دما-دی‌اکسید کربن×کلات روی و تنش آبیاری×کلات روی در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد گره در ریشه در تیمار بالاترین سطح غلظت دی‌اکسید کربن و دمای بالا (۳۱_۷۰۰) و آبیاری کامل (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) با میانگین ۳۱/۱ عدد در بوته مشاهده شد و در مقابل کم‌ترین تعداد گره در ریشه در غلظت پایین دی‌اکسید کربن و دمای بالا (۳۱_۳۸۰) و تنش آبیاری شدید (۶۰٪ ظرفیت زراعی) با میانگین ۶/۸ گره در بوته مشاهده شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد احتمالاً غلظت بالای دی‌اکسید کربن از طریق افزایش نمو گره و یا افزایش فعالیت نیتروژناز، افزایش تثبیت نیتروژن و افزایش نیتروژن کل گیاه باعث افزایش تعداد گره در ریشه گردیده است. هم‌چنین با افزایش شدت تنش خشکی، ریشه‌ها عمیق‌تر و متراکم‌تر گردیده و وزن زیست‌توده افزایش یافته است اما تشکیل گره ریشه و فعالیت آن‌ها کاهش یافت.

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، نمو گره (وزن خشک گره و تعداد گره در تک بوته را افزایش داده است) و یا فعالیت گره (فعالیت نیتروژناز، افزایش تثبیت نیتروژن و افزایش نیتروژن کل گیاه) را افزایش می‌دهد (Ghalandary and Janalizadeh, 2015). ریشه در شرایط تنش خشکی، عمیق‌تر و متراکم‌تر گردیده و وزن زیست‌توده ریشه افزایش می‌یابد اما تشکیل گره‌های ریشه و فعالیت گره‌ها کاهش می‌یابد و به دنبال آن تشکیل گره خاتمه خواهد یافت و گره‌ها غیرفعال می‌گردند (Cilliers et al., 2018).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) محلول‌پاشی کلات روی بر صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه تحت شرایط دما-دی‌اکسید کربن و تنش رطوبتی

Table 3. Combined analysis of Zn chelate foliar application on morphological traits and grain yield under temperature-carbon dioxide and water stress

منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی Df	تعداد گره ریشه Number of root nodule	وزن خشک ریشه Root dry weight	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد برگ Number of leaf	عملکرد دانه Grain yield
شرایط دما-دی‌اکسید کربن Condition (C)	3	617.9**	410**	292.3**	17.5**	521.5**	45.07**
تکرار / دما-دی‌اکسید کربن Rep(Condition)	12	5.4	1.70	6.5	0.318	6.4	0.681
تنش رطوبتی Water stress (WS)	2	1996.2**	112.7**	1849.4**	46.9**	2244.1**	984.69**
دما-دی‌اکسید کربن×تنش رطوبتی C*WS	6	17.8**	4.8*	48**	3.2**	75.5**	5.48**
کلات روی Zn	1	742.5**	0.259	68.3**	0.80*	2.3	134.42**
دما-دی‌اکسید کربن×کلات روی C*Zn	3	16.8*	5.6*	7.7	0.34	8.6*	0.6091
تنش رطوبتی×کلات روی WS*Zn	2	183.5**	1.06	13.5	0.01	1.9	26.71**
دما-دی‌اکسید کربن×تنش رطوبتی×کلات روی C*WS*Zn	6	3.52	1.65	8.58	0.33	2.20	0.3871
خطای کل Error	60	4.38	1.79	9.31	0.16	2.57	0.42
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		*10.3*	*6.9*	*8.7*	*10.5*	*6.2*	*5.37*

* و ** به ترتیب بیان‌گر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

* and ** significant at 0.05and 0.01 probability levels, respectively.

افزایش دی‌اکسید کربن در گیاه سویا (*Glycine max* L.) دارای طیف وسیعی از تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند افزایش تعداد، وزن تر و تراکم گره، افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در گره‌ها، افزایش عملکرد دانه و افزایش غلظت نیتروژن اندام‌های هوایی می‌گردد (Campbell, 1990). کاربرد افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش تعداد و بیوماس گره در گونه‌های لگوم درختی و علفی گردید (Rogers et al., 2009). دمای پایین خاک در رشد گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن نسبت به گیاهانی که دریافت‌کننده نیتروژن معدنی خاک، بیشتر باعث کاهش رشد می‌گردد و کاهش دمای ریشه باعث کاهش تشکیل تعداد گره در نخود (*Pisum sativum* L.) شد (Junior et al., 2005). ریشه‌ی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خاک و ریشه عدس (*Lens culinaris* Medik) و نخود در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد خاک بیشترین تعداد گره را تولید کردند (Junior et al., 2005).

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن×کلات روی نشان داد غلظت بالای دی‌اکسید کربن و دمای بالا (۳۱_۷۰۰) و مصرف کلات روی بیشترین (۲۹ عدد در ریشه) و غلظت پایین دی‌اکسید کربن و دمای بالا (۳۱_۳۸۰) و عدم مصرف کلات روی کم‌ترین (۱۱ عدد در ریشه) تعداد گره ریشه مشاهده شد (جدول ۵). احتمالاً افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از طریق افزایش رشد و تعداد ریشه (وزن خشک، حجم و طول ریشه) بر روی گره‌زایی و فعالیت میکروبی مؤثر بوده است و باعث افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن گردیده است. هم‌چنین کلات روی از

طریق تأثیر بر رشد و گسترش ریشه‌ها و علاوه بر آن از طریق دخالت بر سنتز لگ‌هموگلوبین بر تعداد، زیست‌توده ماده خشک و حجم گره ریشه تأثیرگذار بوده است.

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش طول، انشعابات، قطر و سرعت رشد ریشه می‌گردد، افزایش رشد ریشه و وزن آن به دلیل افزایش کربن‌دی‌اکسید در لگوم‌ها ممکن است در گره‌زایی و فعالیت میکروبی مؤثر باشد و باعث افزایش اثرات مثبت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن گردد، به‌عبارت‌دیگر افزایش تثبیت کربن تحت شرایط فراهمی دی‌اکسید کربن بالا، انرژی بیشتری برای فعالیت میکروبی تأمین و تثبیت نیتروژن در لگوم‌ها را تسهیل می‌نماید (Ghalandary and Janalizadeh, 2015). عنصر روی و فسفر بر توزیع، تعداد کل، زیست‌توده ماده خشک گره، حجم گره و رشد و گسترش گره ریشه مؤثر است، هم‌چنین ممکن است روی از طریق دخالت در سنتز لگ‌هموگلوبین باعث افزایش تعداد و اندازه گره ریشه گردد (Desta et al., 2015).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن و تنش آبیاری بر صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه لوبیا

Table 4. Mean comparison of interaction of temperature-carbon dioxide conditions and water stress on morphological traits and bean grain yield

تیمار Treatmen		تعداد گره ریشه	وزن خشک ریشه	ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد برگ	عملکرد دانه
شرایط محیط (دما/CO_2) Conditions (CO_2/Temperature)	تنش آبیاری Water stress	Number of root nodule	Root dry weight	Plant height	Stem diameter	Number of leaf	Grain yield
		pre plant	g/Plant	cm		pre plant	g/plant
380_24	۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 100%FC	23.3^{d}	13.1^{g}	42.1^{a}	3.5^{c}	26.2^{c}	14.8^{b}
	۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 80%FC	22.5^{d}	12.8^{g}	42.2^{a}	3.3^{c}	24.6^{d}	13.5^{cd}
	۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 60%FC	9.7^{g}	15.4^{f}	24.5^{f}	2.3^{d}	15^{f}	5.6^{f}
380_31	۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 100%FC	18^{e}	17.5^{e}	31.4^{d}	3.4^{c}	24.7^{cd}	13.9^{c}
	۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 80%FC	17.1^{e}	17^{e}	34.5^{c}	3.5^{c}	24.7^{cd}	12.9^{d}
	۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 60%FC	6.8^{h}	22^{bc}	24.7^{f}	2.3^{d}	15^{f}	4.8^{g}
700_24	۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 100%FC	28.8^{bc}	20.3^{d}	43.4^{a}	5.3^{b}	37.2^{a}	16.7^{a}
	۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 80%FC	27.5^{c}	20.2^{d}	43.5^{a}	5.8^{a}	36.3^{ab}	16.7^{a}
	۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 60%FC	14.3^{f}	22.6^{bc}	28.5^{de}	2.4^{d}	16.3^{f}	6.8e
700_31	۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 100%FC	31.1^{a}	21.6^{c}	38.3^{b}	5.4^{b}	35^{b}	16.7^{a}
	۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 80%FC	30.5^{ab}	23^{b}	38.9^{b}	5.7^{ab}	35.7^{ab}	16.78^{a}
	۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 60%FC	13.8^{f}	25.8^{a}	26.8e^{f}	2.6^{d}	18^{e}	5.5^{f}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک ازنظر آماری دارای تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس LSD در سطح احتمال ۵٪ نمی‌باشند.

Means followed by the same letter(s) were not significantly different according to LSD ($p<0.05$) test

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تأثیر متفاوتی در تعداد گره در بوته ارقام مختلف سویا داشت، در رقم HJ6 باعث افزایش ۹۶٪ در تعداد گره در بوته شد درحالی‌که در رقم SN14 باعث افزایش تنها ۳٪ تعداد گره در بوته گیاه سویا شد (Li et al., 2017). کاربرد افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش تعداد گره در لوبیا (Miyagi et al.,

2007) و نخودفرنگی (Jin et al., 2012) شد. کاربرد سولفات روی به میزان ۴ و ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به عدم مصرف روی در گیاه سویا باعث افزایش تعداد گره در بوته شد. کاربرد روی در گیاهان نخود (Upadhyay and Singh, 2009)، سویا ، لوبیا (Abdulameer, 2011) و باقلا (Desta et al., 2015) باعث افزایش گره‌زایی شد. همان‌طور که در جدول ۶ ملاحظه می‌گردد، اثر متقابل آبیاری کامل (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) و مصرف کلات روی باعث بیشترین تعداد گره ریشه (۲۹/۲ گره در بوته) را داشت، این در حالی است که این ترکیب تیماری با اثر متقابل تنش آبیاری ملایم (۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) و مصرف کلات روی اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. در مقابل در تنش شدید آبیاری (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) در هر دو تیمار مصرف و عدم مصرف کلات روی (به ترتیب ۱۱/۲ و ۱۱/۱ گره در بوته) کم‌ترین تعداد گره در ریشه را داشتند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن و کلات روی بر تعداد گره و وزن خشک ریشه

Table 5. Mean comparison of interaction of temperature-carbon dioxide and zinc sulfate conditions on a number of nodes and root dry weight

Treatmen تیمار				
شرایط محیط (دما/CO_2) Conditions (CO_2/Temperature)	کلات روی Zn	تعداد گره ریشه Number of root nodule	وزن خشک ریشه Root dry weight	تعداد برگ Number of leaf
	g l^{-1}	pre plant	g/Plant	pre plant
380_24	0	16.66^{d}	13.71^{e}	21.66^{c}
	0.5	20.41^{c}	13.89^{e}	22.25^{c}
380_31	0	11^{e}	19.44^{cd}	21.25^{c}
	0.5	17^{d}	18.35^{d}	21.75^{c}
700_24	0	21.16^{c}	20.42^{c}	30.1^{a}
	0.5	26^{b}	21.71^{b}	29.83^{ab}
700_31	0	21.33^{c}	23.49^{a}	30.58^{a}
	0.5	29^{a}	23.53^{a}	28.58^{b}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک ازنظر آماری دارای تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس LSD در سطح احتمال ۵٪ نمی‌باشند.

Means followed by the same letter(s) were not significantly different according to LSD ($p<0.05$) test

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آبیاری و کلات روی بر صفت تعداد گره ریشه و عملکرد لوبیا

Table 6. Mean comparison of interaction of irrigation stress and zinc chelate on the number of root nodules and bean yield

Treatmen تیمار		تعداد گره ریشه	
تنش آبیاری Water stress	کلات روی Zn	Number of root nodule	عملکرد دانه grain yield
	g l^{-1}	pre plant	g/plant
۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 100%Fc	0	21.4^{b}	13.9^{b}
	0.5	29.2^{a}	17.1^{a}
۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 80%Fc	0	20^{b}	13.1^{c}
	0.5	28.8^{a}	16.8^{a}
۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه 60%Fc	0	11.1^{c}	5.5^{d}
	0.5	11.2^{c}	5.8^{d}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک ازنظر آماری دارای تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس LSD در سطح احتمال ۵٪ نمی‌باشند.

Means followed by the same letter(s) were not significantly different according to LSD ($p<0.05$) test

کاربرد کلات روی به‌تنهایی نسبت به عدم مصرف سولفات روی و انجام آبیاری کامل نسبت به تنش رطوبتی ملایم و شدید باعث افزایش تعداد گره در گیاه نخود شد (Shamsizadeh et al., 2014).

وزن خشک ریشه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات اصلی شرایط دما-دی‌اکسید کربن و تنش آبیاری، اثرات متقابل شرایط محیطی×تنش آبیاری و شرایط دما-دی‌اکسید کربن×کلات روی بر صفت وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و دما (۳۱_۷۰۰) همراه با تنش شدید آبیاری (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) باعث بیشترین (۲۵/۸ گرم در بوته) وزن خشک ریشه شده است. در تمام سطوح غلظت دی‌اکسید کربن در تیمار تنش آبیاری شدید (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) نسبت به عدم تنش و تنش ملایم آبیاری (۱۰۰ و ۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) باعث افزایش وزن خشک ریشه گردیده است. هم‌چنین دمای ۳۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد در هر دو سطح غلظت دی‌اکسید کربن (۳۸۰ و ۷۰۰ پی‌پی‌ام) وزن خشک ریشه را بیشتر افزایش داد. به‌علاوه غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام نسبت به ۳۸۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسید کربن در تیمارهای آبیاری و تنش آبیاری باعث افزایش وزن خشک ریشه شد. درنهایت اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۲۴_۳۸۰)×تنش ملایم آبیاری (۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) با میانگین ۱۲/۸ گرم در بوته کم‌ترین وزن خشک ریشه را داشت (جدول ۴). افزایش وزن خشک ریشه در شرایط غلظت بالای دی‌اکسید کربن احتمالاً به دلیل افزایش طول ریشه بوده است. هم‌چنین با افزایش شدت تنش خشکی، عمق و تراکم ریشه در خاک جهت دست‌یابی به رطوبت افزایش می‌یابد که به دنبال آن وزن زیست‌توده ریشه افزایش یافته است.

در شرایط غلظت بالای دی‌اکسید کربن از طریق افزایش طول ریشه و نفوذ بیشتر آن در خاک باعث افزایش وزن خشک ریشه گردیده است (Benlloch-Gonzalez et al., 2014). ریشه در شرایط تنش خشکی، عمیق‌تر و متراکم‌تر گردیده و وزن زیست‌توده ریشه افزایش می‌یابد (Cilliers et al., 2018). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، ممکن است اثرات تنش آبی در گونه‌های مختلف گیاهی مانند سویا (Qiao et al., 2010)، گندم (Allen et al., 2011) و گوجه‌فرنگی (Liu et al., 2019) را کاهش دهد یا حتی آن را جبران کند، زیرا غلظت دی‌اکسید کربن بیشتر ممکن است از طریق ارتقاء تنظیم اسمزی و تخصیص کربن بیشتر به رشد ریشه به نفع گیاهان باشد (Danyagri and Dang, 2013)، افزایش دی‌اکسید کربن در شرایط تنش خشکی باعث افزایش تولید ریشه و بیوماس ریشه شده که درنهایت باعث افزایش نسبت زیست‌توده ریشه به اندام هوایی می‌گردد (Xu et al., 2013).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن×کلات روی مشاهده شد بیشترین وزن خشک ریشه با میانگین تولید ۲۳/۵۳ گرم در طی کاربرد غلظت بالای دی‌اکسید کربن و دمای بالا (۳۱_۷۰۰) و مصرف کلات روی حاصل شده است. در مقابل غلظت دی‌اکسید کربن پایین در دمای پایین (۲۴_۳۸۰) و عدم مصرف کلات روی با میانگین تولید ۱۳/۷۱ گرم کم‌ترین وزن خشک ریشه را سبب شد (جدول ۵). همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در تمام سطوح غلظت دی‌اکسید کربن و دمایی (به‌استثنای ۳۱_۳۸۰)، تیمار مصرف کلات روی نسبت به عدم مصرف کلات روی باعث افزایش وزن خشک ریشه شده است. هم‌چنین غلظت بالاتر دی‌اکسید کربن و دمای بالاتر نسبت به غلظت پایین‌تر و دمای کم‌تر باعث افزایش وزن خشک ریشه گردیده است (جدول ۵). به نظر می‌رسد با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش طول، قطر و عمق نفوذ ریشه گردیده است که به دنبال آن وزن زیست‌توده ریشه افزایش یافت. هم‌چنین کلات روی از طریق تأثیر بر افزایش بیوسنتز هورمون اکسین باعث اثربخشی بر تشکیل آغازه‌های ریشه گردیده و به دنبال آن وزن خشک ریشه افزایش یافته است.

افزایش وزن خشک ریشه با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در گیاهان گندم (Benlloch-Gonzalez et al., 2014)، گیاهان C3 و C4 (Srinivasarao et al., 2016) و به علت افزایش طول ریشه، قطر ریشه و نفوذ بیشتر آن در خاک است. نقش اکسین در تشکیل آغازی‌های ریشه و نقش روی در طویل شدن ریشه عامل اصلی انگیزش افزایش وزن خشک و طول ریشه است، افزایش عملکرد ماده خشک ریشه به دلیل بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی اشاره شده است. هم‌چنین بیان شده است که عنصر روی حتی در غیاب اکسین نیز اثر افزایشی در وزن خشک و طول ریشه دارد (Zand et al., 2014). کاربرد بیشترین میزان روی (۲۵

کیلوگرم در هکتار) باعث بیشترین ارتفاع (۴۴/۲۷ سانتی‌متر) و بیشترین وزن ریشه در ۵۰٪ گلدهی (۱/۲۵ گرم در بوته) گردید، هرچند بین تیمارهای روی و عدم مصرف سولفات روی اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (Weldua et al., 2012). کاربرد روی همراه با ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر دی‌اکسید کربن نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش بیوماس ریشه خردل (Mustard) گردید (Lei, 2006).

ارتفاع بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌های صفت ارتفاع بوته در جدول ۳ نشان داد تمام اثرات اصلی و اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن×تنش آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن×تنش آبیاری صفت ارتفاع بوته در جدول ۴ نشان داد بیشترین ارتفاع بوته در تیمار کاربرد دی‌اکسید کربن بالا و دمای پایین (۲۴_۷۰۰) و تنش آبیاری ملایم (۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) با میانگین ۴۳/۵ سانتی‌متر مشاهده شد، این در حالی است که با ترکیبات تیماری شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۲۴_۷۰۰)×آبیاری کامل، شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۲۴_۳۸۰)×تنش ملایم (۸۰٪ ظرفیت زراعی)، شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۲۴_۳۸۰)×آبیاری کامل (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. در مقابل در اثر متقابل دی‌اکسید کربن پایین و دمای پایین (۲۴_۳۸۰) و تنش شدید آبیاری (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) و اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۳۱_۳۸۰) و تنش شدید آبیاری (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) به ترتیب با میانگین‌های ۲۴/۵ و ۲۴/۷ سانتی‌متر کم‌ترین ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۴). به نظر می‌رسد دمای پایین‌تر نسبت به دمای بالاتر و آبیاری کامل و تنش ملایم نسبت به تنش شدید باعث افزایش ارتفاع بوته شده است. درنهایت می‌توان بیان کرد، این دو عامل (دمای پایین‌تر و آبیاری) هم‌چنین باعث افزایش اثربخشی افزایش غلظت دی‌اکسید کربن شده است. به نظر می‌رسد با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث کاهش تنفس نوری گردیده به دنبال آن با ازدیاد غلظت دی‌اکسید کربن منجر به تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتری به اندام هوایی گشته که درنهایت منجر به افزایش ارتفاع بوته گردیده است. هم‌چنین احتمالاً در شرایط تنش خشکی اسید آبسیزیک رشد ساقه را به علت توقف ترشح پروتون‌های القاء شده توسط اکسین متوقف کرده است

با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن ارتفاع ساقه در گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) افزایش یافت که علت آن را کاهش تنفس نوری در شرایط ازدیاد غلظت دی‌اکسید کربن دانسته و این امر باعث تخصیص ماده بیشتر به اندام هوایی شده و باعث افزایش ارتفاع گیاه، تعداد میان‌گره و طول میان‌گره گردید (Goldani et al., 2011). در شرایط تنش خشکی اسید آبسیزیک رشد ساقه را به علت توقف ترشح پروتون‌های القاء شده توسط اکسین متوقف می‌نماید. در شرایط تنش ملایم تا متوسط، توسعه سلولی کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش رشد و درنتیجه طویل شدن ساقه می‌گردد. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۴۰۰ به ۹۰۰ پی‌پی‌ام باعث افزایش ۷ درصدی ارتفاع ساقه گندم شد (Baluchi et al., 2008). کاربرد افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۴۰ پی‌پی‌ام باعث افزایش ۲۵/۴٪ ارتفاع ساقه سویا گردید (Li et al., 2013).

نتایج مقایسه میانگین صفت ارتفاع بوته تحت تأثیر اثر اصلی کلات روی در جدول ۷ نشان داد مصرف کلات روی نسبت به عدم مصرف باعث افزایش ۴/۹۵ درصدی ارتفاع بوته لوبیا شد. احتمالاً روی از طریق هورمون اکسین باعث افزایش ارتفاع ساقه شده است.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر سولفات روی بر صفت ارتفاع و قطر بوته

Table 7. Mean comparison of the effect Zn sulfate on plant height and diameter

تیمار Treatmen		
کلات روی Zn	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter
g l^{-1}	---------- cm ----------	
0	34.08^{b}	3.74^{b}
0.5	35.77^{a}	3.92^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک ازنظر آماری دارای تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس LSD در سطح احتمال ۵٪ نمی‌باشند.

Means followed by the same letter(s) were not significantly different according to LSD ($p<0.05$) test.

افزایش کاربرد محلول‌پاشی بیشترین غلظت سولفات روی (g Zn/feddan450) در گیاه گندم در سال‌های زراعی ۲۰۱۹-۲۰۱۷ گردید (Abido and El-Moursy, 2020). کاربرد ماکروالمنت‌ها (NPK) +میکروالمنت (Zn) در گیاه گندم (Yousaf et al., 2020) و روی و بور در لوبیا

(Doddamani et al., 2020) باعث ایجاد حداکثر ارتفاع ساقه شدند.

قطر ساقه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات ساده شرایط دما-دی‌اکسید کربن، تنش آبیاری و کلات روی و اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن×تنش آبیاری در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن×تنش آبیاری در جدول ۴ نشان داد اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۲۴_۷۰۰)×تنش ملایم آبیاری (۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) با میانگین ۵/۸ سانتی‌متر بیشترین قطر ساقه را داشت، در مقابل اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۲۴_۳۸۰)×تنش شدید آبیاری (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) با میانگین ۲/۳ سانتی‌متر کم‌ترین قطر ساقه را دارا بود. هرچند این اثر متقابل با اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۳۱_۳۸۰) و تنش شدید آبیاری (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) با میانگین ۲/۳۳ سانتی‌متر اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. به نظر می‌رسد کاربرد ۷۰۰ پی‌پی‌ام غلظت دی‌اکسید کربن در هر دو سطح دمایی ۲۴ و ۳۱ درجه سانتی‌گراد و تمام سطوح آبیاری و تنش رطوبتی نسبت به سطح ۳۸۰ پی‌پی‌ام باعث افزایش قطر ساقه گردید. به نظر می‌رسد در شرایط غلظت بالاتر دی‌اکسید کربن باعث افزایش کربن فتوسنتزی و افزایش مواد آلی گردیده که به دنبال آن قطر ساقه افزایش یافت. هم‌چنین در شرایط عدم تنش و تنش ملایم نسبت به تنش شدید قطر ساقه افزایش یافت.

کاربرد افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش ماده‌ی آلی گردید و درنتیجه ارتفاع ساقه و وزن خشک ساقه افزایش یافت و نرخ افزایش وزن خشک ساقه بیشتر از ارتفاع بود که سبب افزایش قطر ساقه گیاه عدس شد (Shams, 2017). قطر ساقه ارتباط مستقیمی با وضعیت رشد و ارسال مواد فتوسنتزی به این اندام در طی مرحله رویشی دارد و با افزایش پتانسیل آب سلول سبب افزایش حجم ابعاد سلولی در اثر افزایش فشار تورژسانس شده و درنتیجه قطر ساقه افزایش خواهد یافت. کاربرد بالاترین غلظت دی‌اکسید کربن (۷۰۰ پی‌پی‌ام) در شرایط عدم تنش رطوبتی باعث افزایش قطر ساقه داتوره (*Datura stramonium*) شد (Chadha et al., 2020). کاربرد ترکیبی افزایش دی‌اکسید کربن، دمای پایین و عدم تنش رطوبتی باعث افزایش قطر ساقه گیاه کلزا شد (Qaderi et al., 2006).

نتایج مقایسه میانگین قطر ساقه تحت تأثیر اثر اصلی کلات روی در جدول ۷ نشان داد کاربرد کلات روی باعث افزایش ۴/۸۱٪ قطر ساقه نسبت به عدم مصرف کلات روی شد. احتمالاً روی از طریق دخالت در بسیاری از آنزیم‌ها و فعالیت‌های متابولیسمی گیاه و فتوسنتز باعث افزایش خصوصیات رشدی ازجمله قطر ساقه گردیده است.

کاربرد بالاترین سطح غلظت روی (۲٪) در گیاه آفتابگردان باعث بیشترین قطر ساقه (۱۱/۶۷ سانتی‌متر) گردید (Keerio et al., 2020). کاربرد سولفات روی+سولفات آهن باعث بیشترین قطر ساقه در گیاه لوبیای خوشه‌ای (*Cyamopsis tetragonoloba* L. Taub) شد (Vasava and Patel, 2020). کاربرد روی و بور در گیاه کلم (Cabbage) باعث بیشترین (۵/۸۱ سانتی‌متر) قطر ساقه شد (Taheri et al., 2020).

تعداد برگ

جدول تجزیه واریانس صفت تعداد برگ نشان داد اثرات اصلی شرایط دما-دی‌اکسید کربن و تنش آبیاری و اثرات متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن×تنش آبیاری و شرایط دما-دی‌اکسید کربن×کلات روی در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). کاربرد غلظت بالای دی‌اکسید کربن در دمای پایین (۲۴_۷۰۰) و آبیاری کامل (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) باعث تولید بیشترین (۳۷/۲ عدد در بوته) برگ گردید و در مقابل غلظت پایین دی‌اکسید کربن (۳۸۰ پی‌پی‌ام) در هر دو دمای ۲۴ و ۳۱ درجه سانتی‌گراد در تیمار تنش شدید آبیاری (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) کم‌ترین (۱۵ عدد در بوته) تعداد برگ را حاصل نمودند (جدول ۴). با افزایش شدت تنش شدید نسبت به عدم تنش و تنش ملایم در تمام شرایط محیطی مختلف باعث کاهش تعداد برگ شد. احتمالاً تنش خشکی باعث کاهش فشار تورگر شده که منجر به کاهش رشد و تعداد برگ‌ها گردیده است. هم‌چنین با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۷۰۰ پی‌پی‌ام به ۳۸۰ پی‌پی‌ام در شرایط دمای و تنشی یکسان باعث افزایش تعداد برگ لوبیا شد (جدول ۴).

تغییرات اقلیمی (افزایش دما و کاهش بارندگی) در بسیاری از مناطق دنیا به‌خصوص در مناطق حاشیه‌ای قابل مشهود است که باعث کاهش محصولات زراعی و امنیت

غذایی می‌گردد (Seif-Ennasr et al., 2016). اولین واکنش نسبت به تنش خشکی، یک واکنش بیوفیزیکی است. درواقع با افزایش میزان تنش خشکی، دیواره سلولی چروکیده و سست می‌گردد، با کاهش حجم سلول پتانسیل فشاری نیز کاهش می‌یابد و در این شرایط توسعه سلولی که وابسته به پتانسیل فشاری است کاهش‌یافته که منجر به کاهش رشد می‌شود و درنهایت مجموع این عوامل سبب کاهش اندازه‌ی برگ و کاهش تعداد برگ در گیاه می‌گردد (Bagheri, 2009). در گونه‌های گیاهی C3 تا ۵۰٪ افزایش رشد و همین اثر بر گونه‌های چمنی C4 پس از یک دوره طولانی‌مدت مشاهده شد (Reich et al., 208). با کاربرد ترکیب تیماری افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و دمای پایین و عدم تنش رطوبتی بیشترین تعداد برگ در گیاه آرابیدوبپسیس (*Arabidopsis thaliana*) حاصل شد (Gamar et al., 2019). کاربرد ۰/۳ لیتر آب در هفته نسبت به ۰، ۰/۱ و ۰/۲ لیتر آب در هفته باعث بیشترین تعداد برگ لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، فلفل (*Capsicum annum* L.)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) و هندوانه (*Citrulus lanatus* Thunb) شد (Tabi et al., 2020). تنش خشکی باعث کاهش تعداد برگ در تمام ارقام نخود شد (Hayatu et al., 2014).

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن و کلات روی نشان داد بیشترین تعداد برگ (۳۰/۵۸ عدد در بوته) و کم‌ترین تعداد برگ (۲۱/۲۵ عدد در بوته) به ترتیب در اثرات متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۳۱_۷۰۰)×عدم مصرف کلات روی و اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۳۱_۳۸۰)×عدم مصرف کلات روی مشاهده شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث جبران اثر مصرف روی در افزایش صفت تعداد برگ گردیده است، به‌نحوی‌که در کاربرد تیمار غلظت بالای دی‌اکسید کربن در هر دو دمای ۲۴ و ۳۱ درجه سانتی‌گراد در تیمار عدم مصرف کلات روی نسبت به مصرف سولفات روی باعث افزایش تعداد برگ در بوته گردیده است. درحالی‌که در غلظت پایین‌تر دی‌اکسید کربن در هر دو دما، توأم با مصرف کلات روی باعث برتری نسبت به عدم مصرف کلات روی شده است (جدول ۵).

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش تعداد برگ در گیاه سویا گردید (Drag et al., 2020).

عملکرد دانه

بر اساس نتایج جدول (۳) تجزیه واریانس صفت عملکرد دانه نشان داد اثرات اصلی شرایط دما-دی‌اکسید کربن، تنش آبیاری و کلات روی و اثرات متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن×تنش آبیاری و تنش آبیاری×کلات روی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن× تنش آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین تولید ۱۶/۷۸ گرم در بوته مربوط به اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۳۱_۷۰۰)×تنش ملایم (۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) بود، این در حالی است که این ترکیب تیماری اثرات متقابل همین سطح غلظت دی‌اکسید کربن در هر دو دمای ۲۴ و ۳۱ درجه سانتی‌گراد و تیمارهای آبیاری کامل و تنش ملایم (۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. در مقابل کم‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۴/۸ گرم در بوته در اثر متقابل شرایط دما-دی‌اکسید کربن (۳۱_۳۸۰)×تنش شدید آبیاری (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) مشاهده گردید (جدول ۲). کاربرد غلظت ۳۸۰پی‌پی‌ام در دمای پایین‌تر (۲۴ درجه سانتی‌گراد) نسبت به همین سطح غلظت دی‌اکسید کربن در دمای بالاتر (۳۱ درجه سانتی‌گراد) در شرایط یکسان آبیاری باعث افزایش عملکرد دانه گردید، این در حالی است که در غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسید کربن در دمای بالا و پایین و تیمارهای یکسان آبیاری (به‌استثنای تنش شدید آبیاری) اختلاف آماری معنی‌داری بر عملکرد دانه وجود نداشت. در نهایت می‌توان چنین بیان کرد افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش عملکرد دانه گردید، هم‌چنین با افزایش شدت تنش آبیاری نسبت به عدم تنش و تنش آبیاری ملایم عملکرد دانه کاهش یافت (جدول ۴).

افزایش دی‌اکسید کربن از طریق کاهش هدایت و تعرق روزنه‌ای باعث افزایش استفاده از آب، میزان فتوسنتز و بهره‌وری اولیه خالص می‌گردد که در نهایت باعث افزایش زیست توده و عملکرد می‌گردد (Baluchi et al., 2008). بااین‌حال، این لزوماً خطر خشک‌سالی را کاهش نمی‌دهد، زیرا افزایش دی‌اکسید کربن ممکن است رشد برگ را تحریک کند و درنتیجه منجر به مصرف آب بیشتر در برخی از گونه‌های گیاهی مانند سویا شود (Jin et al., 2018). افزایش دی‌اکسید کربن باعث افزایش ۱۳٪ عملکرد گردید (Hillel and Rosenzweig, 2011). کاربرد دی‌اکسید کربن از ۳۵۳ قسمت در میلیون تا ۵۵۰ قسمت در میلیون در گیاهان کتان

(cotton)، گندم (wheat)، ریگراس (ryegrass)، شبدر (clover)، سیب‌زمینی (potato)، انگور (grape)، برنج (rice)، جو (barley)، چغندرقند (sugar bee)، سویا (soybean)، کاساوا (cassava)، کلزا (rape)، خردل (mustard) و قهوه (coffee) از گروه گیاهان C3 و سورگوم (sorghum) و ذرت (maize) از گروه گیاهان C4 باعث افزایش عملکرد گردید (Kimball, 2016). نتایج تحقیق تغییر شرایط اقلیم (افزایش دما و غلظت دی‌اکسید کربن) در استان خوزستان نشان داد عملکرد دانه گندم در شرایط عادی روند افزایش داشت و به‌طور میانگین در این استان در همه‌ی سناریوها در دوره ۳۰-۲۰۱۱ میانگین عملکرد دانه در مقایسه با دوره پایه (۵۶۷۷ کیلوگرم در هکتار) ۱۳٪، در دوره ۶۵-۲۰۴۶، ۱۷/۵٪ و در دوره ۹۹-۲۰۸۰، ۲۰٪ افزایش خواهد یافت. با توجه به افزایش دما طول فصل رشد در آینده‌ی استان، این افزایش عملکرد نشان‌دهنده‌ی آن است که به‌احتمال تأثیر مثبت دی‌اکسید کربن تأثیر افزایش دما را خنثی کرده است.. افزایش دی‌اکسید کربن در مناطق نیمه‌خشک همراه با امواج گرمایی باعث افزایش عملکرد گندم شد (Fitzgerald et al., 2016). افزایش دی‌اکسید کربن تحت شرایط آزمایشگاهی و شرایط مزرعه غنی‌سازی شده با دی‌اکسید کربن هوا آزاد مشاهده شد که بیوماس و عملکرد افزایش و کیفیت کاهش یافت. افزایش CO_2 باعث تحریک رشد، افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاهان C3 شد (Kimball, 2016). در هر دو رقم Janz و ۳۸–۱۹ گندم در تیمارهای ترکیبی افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و افزایش دما (دمای محیط+۴ درجه سانتی‌گراد) و عدم تنش رطوبتی بیشترین عملکرد دانه به ترتیب با میانگین ۶۳۵/۵ و ۵۷۹ گرم در مترمربع مشاهده شد (De Oliveira et al., 2013).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آبیاری × کلات روی در صفت عملکرد دانه در جدول ۶ نشان داد اثر متقابل آبیاری کامل (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه)×کلات روی نسبت به تنش شدید (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه)×عدم مصرف کلات روی باعث افزایش حدود ۲۱۰ درصدی افزایش عملکرد دانه شد. کاربرد کلات روی در تمام سطوح آبیاری و تنش آبیاری نسبت به عدم کاربرد کلات روی باعث افزایش عملکرد دانه شد. هم‌چنین می‌توان بیان کرد در شرایط تنش ملایم (۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) در تیمار کاربرد کلات روی باعث افزایش عملکرد دانه گردید، به‌نحوی‌که با اثر متقابل آبیاری کامل (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه)×مصرف کلات روی اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۳). تنش خشکی از طریق تأثیر بر رشد ریشه و تحرک عناصر غذایی در خاک، فرآیند جذب عناصر را تحت تأثیر قرار داده و موجب بروز کمبود عنصر روی در گیاه شده است و درنهایت منجر به کاهش فتوسنتز و عملکرد دانه شده است؛ بنابراین در این شرایط کاربرد کلات روی با توجه به نقش عنصر روی در فعالیت آنزیم‌ها و متابولیسم‌های گیاهی ازجمله هورمون‌های گیاهی (اکسین) باعث افزایش فعالیت کلروفیل و فتوسنتز شده که درنهایت باعث افزایش عملکرد دانه در گیاه شده است.

تنش خشکی از طریق تأثیر بر رشد ریشه و تحرک عناصر کانی در خاک، فرآیند جذب عناصر را متأثر ساخته و موجب بروز کمبود در گیاه خواهد گردید (Abbasi et al., 2017). عنصر روی یک بخش ساختمانی آنزیم‌های کربونیک‌انهیدراز، الکل‌دهیدروژناز، مس-روی-سوپراکسیددیسموتاز، RNA پلیمراز بوده و سنتز اکسین در گیاهان نیز توسط این عنصر کنترل می‌گردد که سبب تحریک مؤلفه‌های رشد گیاه و افزایش عملکرد می‌گردد (Ramazani et al., 2018). کاربرد نانو روی و آهن باعث بیشترین میزان عملکرد دانه (۳۵۹ گرم در مترمربع) لوبیا شد (Bayat et al., 2020). در شرایط تنش رطوبتی (۳۵٪ ظرفیت زراعی) کاربرد روی در گیاه نخود باعث افزایش عملکرد دانه شد (Mahmood et al., 2019). با کاربرد نانو اکسیدروی-اوره در شرایط عدم تنش خشکی بیشترین میزان عملکرد دانه گندم حاصل شد (Dimkpa et al., 2020). گیاه لگوم ماش (*Vigna radiate* L.) با کاربرد نانو اکسیدروی و اکسیدروی معمولی در شرایط عدم تنش رطوبتی باعث بیشترین عملکرد دانه را دارا بود (Shojaei and Makarian, 2015).

نتیجه‌گیری نهایی

افزایش دی‌اکسید کربن همراه با آبیاری کامل در شرایط افزایش دمایی باعث افزایش تعداد گره ریشه گردید. اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و دمای بالا در تیمار تنش شدید آبیاری باعث افزایش وزن خشک ریشه شد. صفات ارتفاع، قطر ساقه و عملکرد دانه با کاربرد غلظت بالای دی‌اکسید کربن در دمای پایین‌تر و شرایط آبیاری کامل و تنش ملایم (۸۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) افزایش یافت. هم‌چنین کاربرد کلات روی در شرایط تنش شدید آبیاری (۶۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه) باعث افزایش تعداد گره ریشه و

عملکرد دانه شد. درنهایت به نظر می‌رسد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در شرایط دمای بالاتر و تنش شدید باعث افزایش وزن خشک ریشه گردیده است که به دنبال افزایش وزن ریشه با کاربرد غلظت بالاتر دی‌اکسید کربن و دمای پایین‌تر و آبیاری کامل و تنش ملایم آبیاری باعث افزایش سایر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد دانه شده است. کاربرد افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در شرایط آبیاری کامل و تنش ملایم باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد دانه گردید.

منابع

Abbasi, A., Shekari, F., Mosavi, S.B., Javanmard, A., 2017. The effect of zinc sulfate on quantity and quality of wheat grain under drought stress. Cereal Research. 7, 217-233. [In Persian with English summary].

Abdulameer, A.S., 2011. Impact of rhizobial strains mixture, phosphorus and zinc applications in nodulation and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Baghdad Science Journal. 8, 357-365.

Abebe, A., Pathak, H., Singh, S.D., Bhatia, A., Harit, R.C., Kumar, V., 2016. Growth, yield and quality of maize with elevated atmospheric carbon dioxide and temperature in north–west India. Agriculture, Ecosystems and Environment. 218, 66-72.

Abido, W.A.E., El-Moursy, R.S., 2020. Interactive Effect of Zinc Foliar application and Potassium Fertilizer on Productivity and Grains quality of Wheat. Middle East Journal of Applied Sciences. 10, 183-195.

Ali, S., Liu, Y., Ishaq, M., Shah, T., Ilyas, A., Din, I.U., 2017. Climate change and its impact on the yield of major food crops: Evidence from Pakistan. Foods. 6, 39.

Allen, J.R., Kakani, V.G., Vu, J.C., Boote, K.J., 2011. Elevated CO_2 increases water use efficiency by sustaining photosynthesis of water-limited maize and sorghum. Journal of Plant Physiology. 168, 1909-1918.

Bagheri, A.R., 2009. Effect of drought stress on germination, growth, adsorption efficiency and relative water content of leafless barley. Scientific Environmental Stresses in Crop Sciences. 1, 40-53. [In Persian with English summary].

Baluchi, H.R., Modareseh Sanavi, A.M., Imam, Y., Barzegar Bafrooi, M., 2008. Effect of Dehydration Stress, Increased Carbon Dioxide and Ultraviolet Rays on Quality Leaf Traits of Durum Wheat Flag (*Triticum turgidum* L. var. Durum Desf). Water and Soil Sciences (Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources). 45, 167-181. [In Persian with English summary].

Bayat, N., Ghanbari, A.A., Bayramzade, V., 2020. Nanopriming a method for improving crop plants performance: a case study of red beans. Journal of Plant Nutrition. 44, 141-151.

Benlloch-Gonzalez, M., Bochicchio, R., Berger, J., Bramley, H., Palta, J.A., 2014. High temperature reduces the positive effect of elevated CO2 on wheat root system growth. Field Crops Research. 165, 71-79.

Burkart, S., Manderscheid, R., Wittich, K.P., Löpmeier, F.J., Weigel, H.J., 2011. Elevated CO2 effects on canopy and soil water flux parameters measured using a large chamber in crops grown with free-air CO_2 enrichment. Plant Biology. 13, 258-269.

Campbell, W.J., Allen Jr, L.H., Bowes, G., 1990. Response of soybean canopy photosynthesis to CO_2 concentration, light, and temperature. Journal of Experimental Botany. 41, 427-433.

Chavan, S.G., Duursma, R.A., Tausz, M., Ghannoum, O., 2019. Elevated CO2 alleviates the negative impact of heat stress on wheat physiology but not on grain yield. Journal of Experimental Botany. 70, 6447-6459.

Cilliers, M., van Wyk, S.G., van Heerden, P.D.R., Kunert, K.J., Vorster, B.J., 2018. Identification and changes of the drought-induced cysteine protease transcriptome in soybean (*Glycine max*) root nodules. Environmental and Experimental Botany. 148, 59-69.

Danyagri, G., Dang, Q.L., 2013. Effects of Elevated [CO2] and low soil moisture on the physiological responses of mountain maple (*Acer spicatum* L.) seedlings to light. PloS One. 8, e76586.

De Oliveira, E.D., Bramley, H., Siddique, K.H., Henty, S., Berger, J., Palta, J.A., 2013. Can elevated CO_2 combined with high temperature

ameliorate the effect of terminal drought in wheat? Functional Plant Biology. 40, 160-171.

Desta, Y., Habtegebrial, K., Weldu, Y., 2015. Inoculation, phosphorous and zinc fertilization effects on nodulation, yield and nutrient uptake of Faba bean (*Vicia faba* L.) grown on calcaric cambisol of semiarid Ethiopia. Journal of Soil Science and Environmental Management. 6, 9-15.

Dimkpa, C., Andrews, J., Fugice, J., Singh, U., Bindraban, P.S., Elmer, W.H., Gardea-Torresdey, J.L., White, J.C., 2020. Facile coating of urea with low-dose ZnO nanoparticles promotes wheat performance and enhances Zn uptake under drought stress. Frontiers in Plant Science. 11, 168.

Doddamani, M., Tambat, B., Gowda, K.M., Chaithra, G.N., Channakeshava, S., Reddy, B.B.Y.N., 2020. Effect of foliar application of zinc and boron on vegetative growth, fruiting efficiency and yield in field bean. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 9, 1547-1551.

Drag, D.W., Slattery, R., Siebers, M., DeLucia, E.H., Ort, D.R., Bernacchi, C.J., 2020. Soybean photosynthetic and biomass responses to carbon dioxide concentrations ranging from pre-industrial to the distant future. Journal of Experimental Botany. 71(12), 3690–3700. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa133

Fitzgerald, G.J., Tausz, M., O'Leary, G., Mollah, M.R., Tausz-Posch, S., Seneweera, S., Mock, I., Löw, M., Partington, D.L., McNeil, D., Norton, R.M., 2016. Elevated atmospheric [CO2] can dramatically increase wheat yields in semi-arid environments and buffer against heat waves. Global Change Biology. 22, 2269-2284.

Gamar, M.I.A., Kisiala, A., Emery, R.N., Yeung, E.C., Stone, S.L., Qaderi, M.M., 2019. Elevated carbon dioxide decreases the adverse effects of higher temperature and drought stress by mitigating oxidative stress and improving water status in *Arabidopsis thaliana*. Planta. 250, 1191-1214.

Ghalandary, S., Janalizadeh, M., 2015. Climate change and ecophysiology of crops. International conference on research in science and technology, 14 December 2015, Kualalumpur-Malaysia. 1-19.

Goldani, M., Nasiri Mahallati, M., Shoor, M., 2011. The effect of increasing the concentration of carbon dioxide on the growth indices of sesame (*Sesamum indicum* L.) and amaranth (*Amaranthus retroflexus* L.) and their competitiveness. Journal of Agroecology. 3, 358-370. [In Persian with English summary].

Golestani, M., 2021. Evaluation of Yield and some Agronomical Traits in *Dracocephalum moldavica* L. Ecotypes under Drought Stress Condition. Journal of Crop Breeding. 12, 193-204. . [In Persian with English summary].

Gunn, S., Farrar, J.F., 1999. Effects of a 4 C increase in temperature on partitioning of leaf area and dry mass, root respiration and carbohydrates. Functional Ecology. 13, 12-20.

Hasanuzzaman, M., Araújo, S., Gill, S.S., 2020. The Plant Family Fabaceae: Biology and Physiological Responses to Environmental Stresses. Springer Nature Singapore Pte Ltd.

Hatfield, J.L., Prueger, J.H., 2015. Temperature extremes: effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes. 10, 4–10.

Hayatu, M., Muhammad, S.Y., Abdu, H.U., 2014. Effect of water stress on the leaf relative water content and yield of some cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotype. International Journal of Scientific and Technology Research. 3, 148-152.

Hillel, D., Rosenzweig, C., 2011. Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation, and Mitigation. ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation: Volume 1. Imperial College Pr., London.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change., 2014. Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva Switzerland. p.151.

Jiang, Y., Xu, Z., Zhou, G., Liu, T., 2016. Elevated CO_2 can modify the response to a water status gradient in a steppe grass: from cell organelles to photosynthetic capacity to plant growth. BMC Plant Biology. 16, 1-16.

Jin, J., Tang, C., Armstrong, R., Sale, P., 2012. Phosphorus supply enhances the response of legumes to elevated CO_2 (FACE) in a phosphorus-deficient vertisol. Plant and Soil. 358, 91-104.

Junior, M.D.A.L., Lima, A.S.T., Arruda, J.R.F., Smith, D.L., 2005. Effect of root temperature on nodule development of bean, lentil and pea. Soil Biology and Biochemistry. 37, 235-239.

Keerio, R.A., Soomro, N.S., Soomro, A.A., Siddiqui, M.A., Khan, M.T., Nizamani, G.S., Kandhro, M.N., Siddiqui, M., Khan, H., Soomro, F.D., 2020. Effect of foliar spray of zinc on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pakistan Journal of Agricultural Research. 33, 264-269.

Kimball, B.A., 2016. Crop responses to elevated CO_2 and interactions with H2O, N, and temperature. Current Opinion in Plant Biology.31, 36-43.

Kumar, R., Joshi, R., Kumari, M., Thakur, R., Kumar, D., Kumar, S., 2020. Elevated CO2 and temperature influence key proteins and metabolites associated with photosynthesis, antioxidant and carbon metabolism in *Picrorhiza kurroa*. Journal of Proteomics. p.103755.

Lei, X., 2006. Effect of CO~ 2 Fertilization and Zn Treatment on the Biomass and Zn Accumulation of Mustard. Journal of Anhui Agricultural Sciences. 34, 3422.

Li, D., Liu, H., Qiao, Y., Wang, Y., Cai, Z., Dong, B., Shi, C., Liu, Y., Li, X., Liu, M., 2013. Effects of elevated CO_2 on the growth, seed yield, and water use efficiency of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Under drought stress. Agricultural Water Management. 129, 105-112.

Li, Y., Yu, Z., Liu, X., Mathesius, U., Wang, G., Tang, C., Wu, J., Liu, J., Zhang, S., Jin, J., 2017. Elevated CO_2 increases nitrogen fixation at the reproductive phase contributing to various yield responses of soybean cultivars. Frontiers in Plant Science. 8, 1546.

Liu, J., Hu, T., Fang, L., Peng, X., Liu, F., 2019. CO2 elevation modulates the response of leaf gas exchange to progressive soil drying in tomato plants. Agricultural and Forest Meteorology. 268, 181-188.

Mahmood, A., Kanwal, H., Kausar, A., Ilyas, A., Akhter, N., Ilyas, M., Nisa, Z., Khalid, H., 2019. Seed priming with Zinc modulate growth, pigments and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under water deficit condition. Applied Ecology and Environmental Research. 17, 147-160.

Miyagi, K.M., Kinugasa, T., Hikosaka, K., Hirose, T., 2007. Elevated CO_2 concentration, nitrogen use, and seed production in annual plants. Global Change Biology. 13, 2161-2170.

Pazzagli, P.T., Weiner, J., Liu, F., 2016. Effects of CO_2 elevation and irrigation regimes on leaf gas exchange, plant water relations, and water use efficiency of two tomato cultivars. Agricultural Water Management. 169, 26-33.

Qaderi, M.M., Kurepin, L.V., Reid, D.M., 2006. Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to three components of global climate change: temperature, carbon dioxide and drought. Physiologia Plantarum. 128, 710-721.

Qiao, Y., Zhang, H., Dong, B., Shi, C., Li, Y., Zhai, H., Liu, M., 2010. Effects of elevated CO2 concentration on growth and water use efficiency of winter wheat under two soil water regimes. Agricultural Water Management. 97, 1742-1748.

Ramazani, A., Solhi, M., Rezaei, M., 2018. Effects of foliar application of zinc fertilizer on grain yield and zinc content of rice grain cv. sazandegi. Iranian Journal of Field Crops Research. 16, 125-136. [In Persian with English summary].

Rauf, A., Zhang, J., Li, J., Amin, W., 2018. Structural changes, energy consumption and Carbon emissions in China: Empirical evidence from ARDL bound testing model. Structural Change and Economic Dynamics. 47, 194-206.

Reich, P.B., Hobbie, S.E., Lee, T.D., Pastore, M.A., 2018. Unexpected reversal of C3 versus C4 grass response to elevated CO_2 during a 20-year field experiment. Science. 360, 317-320.

Rogers, A., Ainsworth, E.A., Leakey, A.D., 2009. Will elevated carbon dioxide concentration amplify the benefits of nitrogen fixation in legumes? Plant Physiology. 151, 1009-1016.

Seif-Ennasr, M., Zaaboul, R., Hirich, A., Caroletti, G.N., Bouchaou, L., El Morjani, Z.E.A., Beraaouz, E.H., McDonnell, R.A., Choukr-Allah, R., 2016. Climate change and adaptive water management measures in Chtouka Aït Baha region (Morocco). Science of the Total Environment. 573, 862-875.

Shams, Sh., 2017. Investigating the effect of elevated CO_2 concentration and deficit irrigation on quantity and quality of lentil crop. Ph.D. Dissertation. Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture. Iran. [In Persian].

Shamsizadeh, M., Shaban, M., Motlagh, Z.R., 2014. Effect of drought stress and zn fertilizer on some root characteristics of chickpea cultivars. International Journal of Advanced

Biological and Biomedical Research. 2, 2289-2293.

Shojaei, H., Makarian. H., 2015. The effect of nano and non-nano zinc oxide foliar application on yield and yield components of mung bean (*Vigna radiate* L.) under drought stress. Iranian Journal of Field Crops Research. 4, 727-737. [In Persian with English summary].

Srinivasarao, C., Kundu, S., Shanker, A.K., Naik, R.P., Vanaja, M., Venkanna, K., Sankar, G.M., Rao, V.U.M., 2016. Continuous cropping under elevated CO_2: differential effects on C4 and C3 crops, soil properties and carbon dynamics in semi-arid alfisols. Agriculture, Ecosystems & Environment. 218, 73-86.

Tabi, T.P., Mebong, M.P., Wase, O.S., 2020. Effects of drought stress on early seedling growth and ecophysiology of beans, pepper, tomato and watermelon grown in screenhouse-potted soil. World Journal of Advanced Research and Reviews. 7, 274-284.

Taheri, R.H., Miah, M.S., Rabbani, M.G., Rahim, M.A., 2020. Effect of different application methods of zinc and boron on growth and yield of cabbage. European Journal of Agriculture and Food Sciences. 2, 1-4.

Upadhyay, R.G., Singh, A., 2016. Effect of nitrogen and zinc on nodulation, growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*). Legume Research-An International Journal. 39, 149-151.

Vasava, C., Patel, N.K., 2020. Effect of spacing and foliar spray of micronutrients on growth and yield of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L. Taub.). International Journal of Chemical Studyies. 8, 2745-2748.

Weldua, Y., Haileb, M., Habtegebrielb, K., 2012. Effect of zinc and phosphorus fertilizers application on yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.) grown in calcaric cambisol of semi-arid northern Ethiopia. Journal of Soil Science and Environmental Management. 3, 320-326.

Xu, Z., Shimizu, H., Yagasaki, Y., Ito, S., Zheng, Y., Zhou, G., 2013. Interactive effects of elevated CO 2, drought, and warming on plants. Journal of Plant Growth Regulation. 32, 692-707.

Yousaf, M.M., Raza, M.M., Hussain, M., Shah, M.J., Ahmad, B., Muhammad, R.W., Ullah, S., Abbas, A., Zeshan, I.A.M., 2020. Effect of balance use of fertilizers on performance of wheat under arid climatic condition. Pakistan Journal of Agricultural Research. 33, 778-782.

Zand, B., Sorooshzadeh, A., Ghanati, F., Moradi, F., 2014. Effect of zinc (Zn) and auxin (IBA) foliar application on phytohormonal variation and growth of corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Plant Biology. 22, 64-75. [In Persian with English summary].