نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۲(۵۸)، تابستان ۱۴۰۰، صفحه ۱۹۲-۱۷۱

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/ jcep.2021.683381

اثر مقادیر بیوچار و اسیدهیومیک بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ تحت تنش کمبود آب

ارمغان چرخاب[۱]، مانی مجدم[۱*]، شهرام لک[۱]، طیب ساکی‌نژاد[۱] و محمدرضا دادنیا[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۷ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۱۱

چکیده

اثر کاربرد مقادیر مختلف بیوچار و اسید هیومیک بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ تحت تنش کمبود آب طی آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان اهواز ارزیابی شد. کرت اصلی شامل تنش کمبود آب با سه سطح آبیاری، پس از تخلیه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، به‌ترتیب به‌عنوان آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید، کرت فرعی شامل بیوچار با ۲ سطح (شاهد، عدم کاربرد بیوچار) و کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار و کرت فرعی فرعی شامل اسید هیومیک با ۴ سطح (شاهد، عدم کاربرد اسید هیومیک)، کاربرد ۲، ۴ و ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک بودند. نتایج نشان داد که اثرات برهمکنش تنش کمبود آب و بیوچار، همچنین تنش کمبود آب و اسید هیومیک بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، شاخص کلروفیل فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. در شرایط تنش شدید، عملکرد دانه (۳۶ درصد) تعداد دانه در بلال (۲۲ درصد) و شاخص سطح برگ (۳۰/۳۶ درصد) کاهش و میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۳۷ درصد) افزایش یافت. اسید هیومیک بر تمام صفات آزمایش اثر معنی‌داری داشت. بیشترین عملکرد دانه (۸۹۹۵/۱۸ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار بود. در مجموع استفاده از ۴ لیتر در هکتار اسید هیومیک در شرایط تنش رطوبتی متوسط به‌دلیل نقش مثبتی که بر رشد و افزایش ۴۲ درصدی عملکرد نسبت به تیمار تنش شدید و عدم مصرف اسید هیومیک داشت می‌تواند در شرایط خشک و نیمه‌خشک برای صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش اثرات تنش کمبود آب قابل توصیه باشد.

واژگان کلیدی: آبیاری‌مطلوب، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، هیومیک اسید.

۱- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

*** نگارنده‌ی مسئول** manimojaddam@yahoo.com

مقدمه

ذرت (*Zea mayz* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که بعد از گندم و برنج مقام سوم را در بین غلات به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت ذرت در دنیا بیش از ۱۳۰ میلیون هکتار گزارش شده است (Anonymous, 2017). تا سال ۲۰۵۰ تقاضا برای ذرت در کشورهای در حال توسعه دو برابر تقاضای فعلی خواهد شد (Von Braun *et al.*, 2010) و این در حالی است که هر ساله عملکرد ذرت در دنیا به سبب رخداد خشکی حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد (Anonymous, 2014). ایران از اقلیمی خشک و نیمه‌خشک برخوردار است و تنش خشکی در راس عوامل محدود کننده تولید کشاورزی قرار داشته و اغلب تاثیر جدی در تعیین عملکرد گیاهان زراعی مختلف دارد. علاوه بر این، انتشار بیشتر کربن از زمین‌های تخریب شده به هزینه‌های احیای اراضی می‌افزاید (Safahani and Noora, 2018). تنش خشکی بر گیاهان اثر منفی می‌گذارد از جمله آنها می‌توان به کاهش محتوای آب برگ، جذب مواد مغذی، فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاهان اشاره کرد (Siddiqui *et al.*, 2015). قاسمی‌گلعذانی و همکاران (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2018) در ذرت گزارش کردند که بیشترین و کمترین عملکرد دانه، تعداد دانه در گیاه و وزن هزار دانه به‌ترتیب از تیمار ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر حاصل شد. آفرینش و همکاران (Afarinesh *et al.*, 2015) با اعمال تیمارهای مختلف آبیاری در گیاه ذرت اعلام داشتند که کاهش آبیاری قبل از گلدهی ذرت باعث کاهش تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه و کاهش عملکرد دانه گردید. در اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک مانند ایران، به‌دلیل عدم وجود پوشش گیاهی کافی میزان مواد آلی خاک کم بوده و از طرفی تخلیه خاک از عناصر غذایی و مواد آلی به دلیل حذف بقایا و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی اثرات مخربی را بر ظرفیت نگهداری آب خاک و توانایی گیاهان برای سازگاری با تغییرات آب و هوایی در این مناطق داشته است (Sika, 2012). بیوچار ماده غنی از کربن پایدار می‌باشد که در نتیجه سوزاندن مواد آلی در شرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن کم، در دمای کمتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس تولید می‌شود که به این فرآیند تجزیه حرارتی (پیرولیز) گفته می‌شود (Fiaz *et al.*, 2014). استفاده از بیوچار به‌عنوان یک اصلاح کننده خاک سبب بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌گردد. این ترکیب که در حرارت‌های زیاد به ذغال زیستی تبدیل می‌گردد دارای ساختار ریز و سطح ویژه‌ای می‌باشد (Gaskin *et al.*, 2010). این ترکیب دارای یک ساختمان منحصر به فرد فیزیکوشیمیایی است که منجر به افزایش باروری خاک و عملکرد محصولات به‌ویژه در خاک‌های تخریب یافته شده که سبب بهبود کیفیت و سلامت خاک و افزایش عملکرد محصول می‌شود (Fiaz *et al.*, 2014). میزان آب جذب شده به‌طور مستقیم به سطح ویژه بیوچار بستگی دارد و به‌همین دلیل کاربرد بیوچار در خاک موجب جذب مقادیر زیادی آب می‌شود (Kathrin, 2016). یوللاه و همکاران (Ullah *et al.*, 2018) با تأثیر بیوچار بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گزارش نمودند که بیوچار باعث افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک عناصر غذایی پرمصرف و ریزمغذی دانه شد. بیوچار عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم را به‌ترتیب به‌میزان ۲۰/۸، ۲۸/۹، ۱۶/۱، ۳۸/۸ و ۳۳ درصد نسبت به

تیمار شاهد افزایش داد. محمود و همکاران (Mahmoud *et al.*, 2019) با بررسی اثر بیوچار (عدم کاربرد و کاربرد ۱۰ تن در هکتار) بر عملکرد گندم اظهار داشتند که کاربرد بیوچار باعث افزایش ۵۶ درصدی عملکرد دانه، بهبود خصوصیات خاک و افزایش بیوماس گردید. استفاده از کودهای طبیعی و از جمله اسید هیومیک می‌تواند بدون اثرات مخرب زیست محیطی جهت بالا بردن عملکرد و میزان زیست توده ریشه گیاهان به‌خصوص در شرایط متغیر محیطی مؤثر باشد، از این رو اسید هیومیک به عنوان کود آلی دوست‌دار طبیعت نام برده می‌شود (Arumend *et al.*, 2015). هیومیک اسید، یک پلیمر طبیعی است که دارای موضع‌های H^+ مربوط به عامل‌های اسیدی کربوکسیل بنزوئیک و فنلی است (Delfine *et al.*, 2005). اسید هیومیک با مولکول‌های آب پیوند تشکیل داده و تا حدود زیادی مانع از تبخیر آب می‌گردد. از طرف دیگر مولکول‌های اسید فولویک (بخش ریزمولکول اسید هیومیک) می‌توانند به درون بافت‌های گیاهی نفوذ کرده و با پیوند برقرار کردن با مولکول‌های آب، تعریق و تعرق گیاه را کاهش داده به حفظ آب در درون گیاه کمک کنند (Delfine *et al.*, 2005). علاوه بر این، اسید هیومیک با بهبود تولید قند، پروتئین و ویتامین در گیاه و نیز تأثیر مثبتی که بر جنبه‌های مختلف فتوسنتز دارد محتوای غذایی محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهد (Cavani *et al.*, 2003). قربانی و همکاران (Ghorbani *et al.*, 2010) در بررسی اثر کاربرد اسید هیومیک در آب آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت به این نتیجه رسیدند که استفاده از اسید هیومیک می‌تواند اثرات مثبتی را بر عملکرد دانه ذرت و برخی از صفات زراعی مرتبط با عملکرد دانه داشته باشد، که این اثرات می‌تواند در نتیجه اثرات فیزیولوژیکی آن باشد. کاربرد ۳۵۰۰ و ۴۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و دوام سطح برگ بالاتر، عملکرد اقتصادی بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشتند. خان و همکاران (Khan *et al.*, 2018) با بررسی اثر اسید هیومیک بر گیاه گندم گزارش نمودند که افزایش وزن سنبله به میزان ۱۹ درصد و عملکرد دانه به میزان ۲۱ درصد از اثرات کاربرد اسید هیومیک نسبت به تیمار شاهد بود. لطف‌الهی و همکاران (Lotfollahi *et al.*, 2018) با بررسی اثر خاک مصرف اسید هیومیک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت بیان نمودند که ترکیبات آلی مانند اسید هیومیک و فولویک اسید به‌عنوان یک اسید آلی نقش بسیار مهمی در افزایش قابلیت نگهداری رطوبت و افزایش برخی پارامترهای رشدی مانند ارتفاع بوته، افزایش پروتئین، افزایش کلروفیل، عملکرد دانه و دیگر صفات کمی و کیفی در ذرت می‌شوند. بنابراین، با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه اهواز، بررسی نقش کاربرد اسید هیومیک و بیوچار بر برخی از صفات زراعی و فیزیولوژیکی ذرت تحت تنش کمبود آب از اهداف این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان اهواز با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است. اطلاعات مربوط به برخی از پارامترهای هواشناسی در جدول ۲ ارایه شده است. این آزمایش به‌صورت

کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گیاه ذرت به اجرا درآمد. کرت اصلی شامل تنش کمبود آب با سه سطح آبیاری پس از تخلیه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید، کرت فرعی کاربرد بیوچار با ۲ سطح شامل شاهد (عدم کاربرد بیوچار) و کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار و کرت فرعی فرعی کاربرد اسید هیومیک با ۴ سطح شامل شاهد (عدم کاربرد اسید هیومیک)، کاربرد ۲، ۴ و ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک بود. آزمایش از ۷۲ کرت تشکیل شد. هر کرت آزمایشی به‌طول شش متر و دارای هفت خط کاشت با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۱۸ سانتی‌متر با تراکم ۷۵۰۰۰ بوته در هکتار بود. فاصله دو کرت فرعی یک متر (معادل یک خط نکاشت) و بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. عملیات تهیه بستر شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و نهایتاً عملیات تسطیح با ماله بود. کود پایه به‌کار برده شده در مزرعه شامل کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت تقسیط در دو مرحله (۵۰ درصد هم‌زمان با کاشت و ۵۰ درصد در مرحله شش برگی به‌صورت سرک) و کود فسفر نیز بر مبنای ۶۰ کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل در هنگام تهیه زمین بود، و در سال دوم میزان کود مصرفی با توجه به آزمایش خاک مجدد کاهش یافت و کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار و کود فسفر نیز بر مبنای ۵۰ کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل استفاده شد. هیبرید مورد کشت برای گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ که رقمی دیررس بود و از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول تهیه شد. عملیات کاشت بذر در تاریخ‌های اول مرداد ۱۳۹۷ و دوم مرداد ۱۳۹۸ به‌صورت دستی روی پشته‌ها در عمق چهار سانتی‌متری خاک کمی بالاتر از داغاب انجام شد. بعد از کشت، مزرعه مورد آزمایش بلافاصله آبیاری شد. تمام بیوچار در تیمار قید شده قبل از کاشت در عمق ۲۰ سانتی‌متری به خاک داده شد. کاربرد مقادیر مختلف اسید هیومیک در مرحله ۸-۶ برگی در ۳ تیمار (۲، ۴ و ۶ لیتر در هکتار) همراه با آب آبیاری در مزرعه اعمال شد. کنترل علف‌های‌هرز به‌صورت وجین دستی انجام شد. تا مرحله پنج برگی آبیاری‌ها بر اساس تخلیه ۳۰ درصد رطوبت از ظرفیت زراعی خاک با توجه به عمق توسعه ریشه (۵۰ سانتی‌متری) در همه تیمارها انجام و از این مرحله به بعد تیمارهای تنش آبی در مزرعه اعمال گردید و در دو هفته آخر جهت برداشت، تنشی در مزرعه اعمال نگردید. جهت تعیین دقیق زمان آبیاری در هر تیمار، با گذشت ۴۸ ساعت از هر آبیاری، با استفاده از آگر (وسیله برداشت خاک از عمق زمین) خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری شد. آبیاری هنگامی انجام شد که رطوبت وزنی خاک در تیمارهای مختلف به درصد مورد نظر رسیده باشد، سپس حجم آب آبیاری مورد نیاز هر تیمار از رابطه زیر محاسبه شد (جدول ۳).

$$V=\frac{(Fc-\Theta m)\times Pb\times Droot\times A}{Ei} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

پارامترهای رابطه عبارتند از: V= حجم آب آبیاری برحسب متر مکعب، Fc= درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی، Θm = درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری، Pb= وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، A= مساحت آبیاری شده

برحسب متر مربع، D_{root}= عمق توسعه ریشه برحسب متر، Ei= راندمان آبیاری

رسیدگی دانه‌ها با ایجاد لایه سیاه در قاعده دانه‌ها مشخص گردید و برداشت نهایی با حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای خطوط از سطحی معادل دو مترمربع انجام شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه در هر کرت آزمایشی پس از حذف ۰/۵ متر از دو انتهای خطوط، تمامی بلال‌های موجود در سه خط میانی به طول دو متر به‌صورت دستی برداشت و پس از خشک شدن در آون، جداسازی دانه‌ها به‌صورت دستی انجام گرفت و با رطوبت ۱۴ درصد وزن شد. برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل در زمان گلدهی از هر کرت سه بوته را از خط دوم کاشت انتخاب کرده و از هر بوته دو برگ (بلال و پرچم) را به‌عنوان شاخص انتخاب گردید. با استفاده از دستگاه SPAD-502 اندازه‌گیری انجام و میانگین اعداد به‌منظور سنجش شاخص محتوای کلروفیل برگ محاسبه شد. جهت سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در مرحله گلدهی کامل، نمونه‌هایی از برگ‌های تازه انتهایی گیاه تهیه و در نیتروژن مایع منجمد شد و تا زمان انجام آنالیزهای بیوشیمیایی در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. فعالیت آنزیم کاتالاز به روش بومیناتان و دوران (Boominathan and Doran, 2002) در مرحله گلدهی سنجیده شد. فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز از طریق اندازه‌گیری توانایی آن در جلوگیری از احیای نوری نیتروبلو تترازولیوم کلراید به روش دهیندسا و همکاران (Dhindsa *et al.*, 1981) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه سطح برگ‌ها در مرحله گلدهی پنج بوته انتخاب و از فرمول تجربی $A=W\times L\times$ ۰/۷۵ استفاده شد. در آن A سطح برگ بر حسب سانتی‌متر مربع، L و W به‌ترتیب حداکثر طول و عرض برگ در پهن‌ترین قسمت می‌باشد. سپس از نسبت سطح برگ تک بوته به سطح زمینی که اشغال کرده بود شاخص سطح برگ به‌دست آمد (Koocheki and Sarmadnia, 2008).

در پایان اجرای این پژوهش به‌منظور تجزیه واریانس مرکب داده‌ها پس از انجام آزمون بارتلت، از مدل آماری طرح کرت‌های خرد شده در مکان در سال استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب دو ساله نشان داد، تمام اثرات ساده تیمار تنش کمبود آب، بیوچار و اسید هیومیک و برهمکنش تنش کمبود آب و بیوچار و برهمکنش تنش کمبود آب و اسید هیومیک بر تمام صفات مورد بررسی به‌غیر از شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۴).

تعداد دانه در ردیف

در این تحقیق، کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، تأثیر مثبت و ۴۹ درصدی بر افزایش تعداد دانه در ردیف بلال داشت (که با کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) و کمترین تعداد دانه در ردیف از عدم کاربرد بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش کمبود آب بیوچار باعث افزایش تهویه خاک، افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، نگهداری بهتر آب و عناصر غذایی، ایجاد محیط زیست مناسب برای

رشد و گسترش سیستم ریشه‌ای می‌شود و همین امر موجب افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در ردیف شده است (Ullah *et al.*, 2018). در این رابطه عباس و همکاران (Abbas *et al.*, 2017) نیز به افزایش تعداد دانه در سنبلچه اشاره کرده و دلیل این امر را نگهداری بهتر آب و عناصر غذایی توسط بیوچار عنوان کردند. با توجه به نتایج بیشترین تعداد دانه در ردیف در آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک به‌دست آمد که با تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و ۴ لیتر در هکتار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و کمترین از آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسید هیومیک به‌دست آمد (جدول ۷). در این پژوهش مصرف هیومیک اسید در شرایط کمبود آب به‌صورت مکمل عمل کرده و با مرطوب نگه داشتن ناحیه ریزوسفر و تامین مواد غذایی کافی برای گیاه منجر به افزایش تعداد دانه در ردیف بلال شد (Zhang and Meng, 2014). افزایش تعداد دانه در ردیف با کاربرد اسید هیومیک توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Ghorbani *et al.*, 2010).

تعداد دانه در بلال

در این تحقیق کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین تعداد دانه در بلال را به خود اختصاص داد (که با کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) و کمترین تعداد دانه در بلال از عدم کاربرد بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (جدول ۶). در این پژوهش می‌توان افزایش تعداد دانه در بلال در تیمارهایی که بیوچار را دریافت نمودند، افزایش نسبت کربن به نیتروژن در این تیمارها و تأثیر آن در رشد زایشی گیاه عنوان نمود (Rab *et al.*, 2016). در شرایط تنش ملایم با کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار تعداد دانه در بلال افزایش یافت که این امر به‌دلیل توانایی بیوچار در جذب و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی آنها و در نتیجه دسترسی بهتر گیاه به مواد غذایی و رشد بهینه آن می‌باشد (Jemal and Abebe, 2016). بیشترین تعداد دانه در بلال به آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۶ لیتر در هکتار که با آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۶ لیتر در هکتار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و کمترین تعداد دانه در بلال به آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسیدهیومیک اختصاص یافت (جدول ۷). در این پژوهش اسید هیومیک به صورت ترکیب با آب آبیاری موجب افزایش هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و جیبرلین در گیاه می‌شود (Ghorbani *et al.*, 2010) که به نظر می‌رسد این مکانیسم توجیه مناسبی برای افزایش تعداد دانه در بلال در کنار سایر عوامل باشد. سایر پژوهشگران نظیر محبعلی و همکاران (Mohebali *et al.*, 2017) به افزایش تعداد دانه در بلال با کاربرد اسید هیومیک در شرایط تنش کمبود آب اشاره نموده‌اند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

وزن هزار دانه

در تحقیق حاضر، بیشترین وزن هزار دانه از کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (که با کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار در شرایط

آبیاری پس از تخلیه۴۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) و کمترین وزن هزار دانه از عدم کاربرد بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۶ درصد کاهش یافت (جدول ۶). می‌توان بیان کرد که استفاده از بیوچار به همراه آبیاری مناسب، باعث فراهم شدن آب و مواد غذایی و توسعه بهتر ریشه شده، در نتیجه گیاه در انتهای دوره رشد خود (پر شدن دانه‌ها) با شرایط مطلوبی مواجه گردیده و همین عامل موجب افزایش وزن دانه‌ها در بوته شده است. در همین راستا عارف و همکاران (Arif *et al.*, 2012) نیز افزایش وزن دانه در ذرت را در تیمارهای حاوی بیوچار گزارش کرده و دلیل این امر را کاهش تبخیر آب و نگهداری رطوبت در محیط ریشه به‌دلیل منافذ زیاد بیوچار و یا بهبود بافت خاک در اثر کاربرد مواد آلی و در نتیجه رشد بهتر ریشه و جذب بهینه مواد غذایی عنوان کردند. در مطالعه گویلی و همکاران (Gavili *et al.*, 2016) و عارف و همکاران (Arif *et al.*, 2012) نیز به نقش مثبت بیوچار در افزایش وزن هزار دانه اشاره شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. بیشترین وزن هزار دانه از آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک به‌دست آمد که با تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و ۴ لیتر در هکتار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و کمترین وزن هزار دانه از آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسید هیومیک به‌دست آمد (جدول ۷). در این تحقیق سطوح مختلف اسید هیومیک منجر به کاهش تأثیر سطوح مختلف تنش کمبود آب بر وزن هزار دانه شد. کاربرد اسید هیومیک انتقال آب از ریشه به اندام‌های هوایی را افزایش داده و کاهش شدت اثر تنش کمبود آب را به همراه داشته است (Tsanaktsidis *et al.*, 2013). در این رابطه ژو و همکاران (Zhou *et al.*, 2019) اظهار داشتند که افزایش وزن دانه با کاربرد اسید هیومیک به علت افزایش تعداد سلول‌های آندوسپرم و آمیلوپلاست و مواد فتوسنتزی است، که در اینجا احتمالاً به علت اثر هورمون‌های رشد بر تقسیم سلولی، وزن دانه افزایش یافته است. سایر پژوهشگران نیز به نقش مثبت اسید هیومیک در افزایش وزن هزار دانه در شرایط تنش کمبود آب اشاره نموده‌اند (Anwar *et al.*, 2016).

عملکرد دانه

نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۹۱۶۴/۴۶ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به تیمار عدم کاربرد بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با متوسط ۵۴۶۷/۷۱ کیلوگرم در هکتار حدود ۴۰ درصد افزایش تولید داشته است (جدول ۶). در این تحقیق گیاه در شرایط تنش کمبود آب متوسط نسبت به شرایط آبیاری مناسب از طریق بیوچار، توانست شرایط کمبود آب قابل دسترس را به خوبی و بدون کاهش عملکرد تحمل نماید. بیوچار با داشتن منافذ فراوان در سطح خود به نگهداری بهتر آب کمک می‌کند، به این ترتیب می‌توان با استفاده از بیوچار به جای آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی از آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی برای کشت ذرت استفاده نمود. از طرفی یوللاه و همکاران (Ullah *et al.*, 2018) گزارش نمودند که بیوچار باعث افزایش عملکرد دانه شد. بیوچار عملکرد دانه را به

میزان ۲۰/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. البته تأثیر بیوچار در بهبود نفوذ آب در خاک و حفظ و نگهداری آب در خاک توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Sun *et al.*, 2019). بیشترین عملکرد دانه از تیمار آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک حاصل شد که نسبت به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسید هیومیک ۴۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷). افزایش عملکرد دانه گویای توانایی اثر هیومیک اسید بر روی فرآیند زایشی گیاه در شرایط تنش کمبود آب می‌باشد. به نظر می‌رسد سطوح مختلف هیومیک اسید با فراهم کردن عناصر غذایی منجر به افزایش عملکرد دانه شد (Wang *et al.*, 2014). روند افزایش عملکرد دانه تحت تنش کمبود آب در پاسخ به هیومیک اسید ممکن است مرتبط با افزایش میزان کلروفیل، تغییرات در مواد معدنی و نقش حفاظتی غشاها باشد که تحمل گیاه را در برابر آسیب تنش خشکی افزایش می‌دهد (Hoekman *et al.*, 2012). در مطالعه اسزپانک و ویلسزوسکی (Szczepanek and Wilczewski, 2016) نیز نتایج مشابهی در خصوص افزایش عملکرد دانه ذرت در اثر کاربرد اسید هیومیک در شرایط تنش کمبود آب ارایه گردیده است.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

در این تحقیق بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از تیمار عدم کاربرد بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار حاصل شد (جدول ۶). کاهش اثرات تنش کمبود آب با افزودن بیوچار به خاک به دلیل کاهش تبخیر آب و نگهداری رطوبت در محیط ریشه به‌دلیل منافذ زیاد بیوچار و یا بهبود بافت خاک باعث کاهش سطح رادیکال آزاد اکسیژن و پراکسیدهیدروژن شد که منجر به کاهش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Safahani and Noora, 2018). مشاهدات سایر محققان نیز به کاهش آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با کاربرد بیوچار اشاره دارد که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد (Cui *et al.*, 2013). بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک به‌دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسید هیومیک ۴۱/۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷). افزایش آنتی‌اکسیدانت‌ها تحت تأثیر هیومیک اسید در شرایط تنش کمبود آب گویای این حقیقت است که هیومیک اسید در شرایط تنش موجب افزایش سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان یک عامل حفاظتی می‌شود و باعث کاهش اثرات کمبود آب گردیده و در نتیجه نقش اسیدهیومیک در شرایط تنش مفیدتر از کاربرد بیوچار بود (Pullen and Saeed, 2012). با افزایش میزان هیومیک اسید، سیستم آنتی‌اکسیدان گیاه فعال‌تر شده و با افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان اولین سد دفاعی در حمله رادیکال‌های اکسیژن، در مقابل خسارات ناشی از تنش کمبود آب، گیاه را وادار به مقاومت می‌نماید (Halek *et al.*, 2013). تساناکتسیدی و همکاران (Tsanaktsidis *et al.*, 2013) اظهار داشتند هیومیک اسید، سوپراکسید دیسموتاز را در شرایط کم آبی در برگ‌ها و ریشه

افزایش می‌دهد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

فعالیت آنزیم کاتالاز

آنزیم کاتالاز از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود و هنگامی در سلول‌های گیاهی وارد عمل می‌شود که مقدار ماده پراکسید هیدروژن در محیط زیاد باشد (Apel and Hirt, 2004). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کمبود آب و بیوچار بر فعالیت آنزیم کاتالاز نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز از تیمار عدم کاربرد بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار حاصل شد (جدول ۶). بر اساس اطلاعات این تحقیق، گیاهان در خاک‌های تیمار شده با بیوچار، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز در شرایط تنش کمبود آب کاهش یافت (Safahani and Noora, 2018). نتایج مطالعه کویی و همکاران (Cui *et al.*, 2013) نشان داد با افزایش میزان مصرف بیوچار فعالیت آنزیمی نیز در شرایط تنش کاهش یافت که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. در این پژوهش بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک به‌دست آمد (با تیمار آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۴ لیتر در هکتار اسید هیومیک تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) که نسبت به تیمار آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسید هیومیک حدود ۴۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷). در این تحقیق می‌توان اظهار داشت با افزایش میزان هیومیک اسید، سیستم آنتی-اکسیدان گیاه فعال‌تر شده و با افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز به‌عنوان اولین سد دفاعی در حمله رادیکال‌های اکسیژن، در مقابل خسارات ناشی از تنش کمبود آب، گیاه را وادار به مقاومت می‌نماید (Halek *et al.*, 2013). می‌توان گفت هیومیک اسید، کاتالاز را که آنزیم تبدیل کننده پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن مولکولی هستند، در شرایط کم آبی در برگ‌ها و ریشه افزایش می‌دهد (Tsanaktsidis *et al.*, 2013). نتایج این تحقیق با نتایج دادنیا (Dadnia, 2016) در رابطه با افزایش آنزیم کاتالاز با کاربرد اسیدهیومیک در شرایط تنش خشکی مطابقت داشت.

شاخص سطح برگ

بیشترین شاخص سطح برگ به آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) و کمترین شاخص سطح برگ به آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تعلق داشت که نسبت به تیمار تنش حدود ۳۰/۳۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). در این تحقیق در شرایط تنش کمبود آب، به‌محض آنکه آب برگ کاهش می‌یابد فشار تورژسانس بافت برگ‌ها کاهش یافته و برگ‌ها شروع به پژمرده شدن می‌کنند (Fallahi *et al.*, 2013). کاهش سطح و تعداد برگ‌ها در زمان تنش خشکی می‌تواند به علت پیری زودرس عاملی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه باشد (Korir *et al.*, 2006). بر اساس گزارش‌های موجود تنش کمبود آب سطح برگ بسیاری از گیاهان را کاهش می‌دهد این پدیده در گیاهان زیادی مانند ذرت (Fallahi *et al.*, 2013) و گندم (Mahpara *et al.*, 2014) مشاهده شده است. بیشترین شاخص سطح برگ از کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار و کمترین شاخص سطح برگ از عدم کاربرد بیوچار حاصل شد که نسبت به تیمار

کاربرد بیوچار حدود ۲۹ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). در این پژوهش بیوچار از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و تقویت فعالیت‌های زیستی خاک می‌تواند منجر به افزایش رشد گیاه و شاخص سطح برگ شود (Abrishamkesh *et al.*, 2017). همچنین، گوگیلا و باسکار (Gokila and Baskar, 2015) بیان نمودند افزودن بیوچار به خاک توانایی جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش می‌دهد و به دلیل ساختار متخلخل بیوچار و سطح ویژه زیاد آن از آبشویی عناصر غذایی جلوگیری شده و سبب رشد رویشی برگ و گیاه می‌گردد. نقش مثبت بیوچار در افزایش شاخص سطح برگ بوته و رشد رویشی گیاه توسط اوزوما و همکاران (Uzoma *et al.*, 2011) در گیاه ذرت نیز گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف اسید هیومیک بر شاخص سطح برگ نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار ۶ لیتر در هکتار و کمترین شاخص سطح برگ به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک اختصاص یافت (جدول ۵). می‌توان اظهار داشت اسید هیومیک از طریق فراهم کردن نیتروژن سبب بهبود رشد رویشی و توسعه برگ‌ها شده و به دنبال آن شاخص سطح برگ نیز افزایش می‌یابد که این مهم تأییدی بر نتایج تحقیق حاضر است (Sharma *et al.*, 2012). افزایش شاخص سطح برگ با کاربرد اسید هیومیک توسط آلبایراک و کاماز (Albayrak and Camas, 2005) نیز گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

شاخص محتوای کلروفیل

در این پژوهش، کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، تأثیر مثبت و ۲۰/۵ درصدی بر افزایش شاخص محتوای کلروفیل داشت (که با کاربرد ۴ تن در هکتار بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت آماری معنی‌داری نداشت) و کمترین شاخص محتوای کلروفیل از عدم کاربرد بیوچار در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (جدول ۶). کاهش کلروفیل به‌عنوان نشانه‌ای از تنش کمبود آب در گیاهان مختلف گزارش شده است، که به علت جلوگیری از سنتز کلروفیل و یا تشدید تجزیه کلروفیل می‌باشد که در نهایت منجر به جذب نور کمتر در شرایط تنش خشکی می‌شود. کاربرد بیوچار باعث افزایش محتوای کلروفیل، به‌دلیل تاثیر مستقیم آن در جذب منیزیم می‌باشد که جزو مهمی از رنگدانه کلروفیل است (Abeer *et al.*, 2015). در همین راستا صفاهانی و نورا (Safahani and Noora, 2018) گزارش نمودند که کاربرد بیوچار اثرات منفی کم آبیاری را بر شاخص کلروفیل و عملکرد محصول کاهش داد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. نقش مثبت بیوچار در افزایش شاخص کلروفیل توسط سایر پژوهشگران (Adejumo *et al.*, 2016) نیز گزارش شده است. بیشترین شاخص کلروفیل در آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک به‌دست آمد که با تیمار آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و ۶ لیتر در هکتار تفاوت آماری معنی‌داری نداشت و کمترین شاخص کلروفیل از آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد اسید هیومیک به‌دست آمد (جدول ۷). در این تحقیق می‌توان اظهار داشت اسید هیومیک در شرایط تنش کمبود آب از طریق قدرت کلات‌کنندگی عناصر غذایی و با کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه قرار

دادن آب و مواد غذایی بیشتر و مناسب‌تر در اختیار گیاه می‌تواند ساخت رنگیزه‌ها را افزایش دهد و انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه راحت‌تر کند (Sanjai *et al.*, 2015). لطف‌الهی و همکاران (Lotfollahi *et al.*, 2018) بیان نمودند که ترکیبات آلی مانند اسید هیومیک به‌عنوان یک اسید آلی سبب تقویت سیستم ریشه شده و سبب افزایش برخی پارامترهای رشدی مانند افزایش کلروفیل و عملکرد دانه در گیاه ذرت می‌شوند. همچنین، آیمن و همکاران (Ayman *et al.*, 2009) نیز به نقش اسید هیومیک در افزایش شاخص کلروفیل اشاره نموده‌اند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این بررسی، در شرایط مطلوب رطوبتی افزایش مقادیر اسید هیومیک با افزایش معنی‌دار عملکرد دانه همراه بود و کاربرد بیوچار تأثیر بسیار مثبتی بر عملکرد دانه داشت. در شرایط تنش شدید آب (آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، کاهش جذب اسید هیومیک ناشی از کمبود آب در خاک موجب کاهش تأثیر مثبت افزایش اسید هیومیک بر افزایش عملکرد دانه گردید. همچنین، بیوچار توانست اثرات تنش کمبود آب را به‌دلیل دارا بودن ساختار متخلخل، سطح ویژه زیاد و بارهای منفی سطحی کاهش دهد. بنابراین، رویکرد استفاده از کودهایی با منشاء آلی و طبیعی همانند اسید هیومیک در کنار کاربرد بیوچار در خاک، ضمن حفظ عملکرد محصول، مانع آلودگی محیط زیست می‌گردد. با توجه به عدم مشاهده اثرات سوء اسید هیومیک بر گیاه و افزایش عملکرد، به نظر می‌رسد بهتر است در صورتی که برخورد گیاه با شرایط آبیاری محدود در طول دوره رشد محتمل است، جهت افزایش عملکرد در گیاه ذرت کاربرد بیوچار و اسید هیومیک روی این گیاه انجام گیرد. لذا با توجه به نتایج به‌دست آمده استفاده از ۴ لیتر در هکتار اسید هیومیک در کنار مصرف ۴ تن در هکتار بیوچار در شرایط تنش رطوبتی متوسط به دلیل نقش مثبتی که بر رشد و بالطبع افزایش ۴۲ درصدی عملکرد دانه داشت می‌توانند در شرایط خشک و نیمه‌خشک برای صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش اثرات تنش کمبود آب قابل توصیه باشند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical properties of field's soil

سال زراعی Farming year	عمق خاک Depth of soil (cm)	بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	مواد آلی Organic Matter (%)	هدایت الکتریکی EC ($dc.m^{-1}$)	نیتروژن N (%)	روی Z $mg.kg^{-1}$	آهن Fe $mg.kg^{-1}$	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
2017-18	0-30	Clay Silty	7.62	0.89	3.94	0.13	1.82	12.1	9	175
2018-19	0-30	Clay Silty	7.3	0.91	3.74	0.11	1.85	12.44	9.1	180.1

جدول ۲- مشخصات پارامترهای هواشناسی در منطقه اهواز

Table 2- Specifications of meteorological parameters in the Ahvaz region

ماه های سال Months of the year	دما Temperature (C)			رطوبت نسبی Relative humidity (%)
	متوسط medium	حداقل minimum	حداکثر Maximum	
خرداد May	32.15	22.15	44.02	25.1
تیر June	33	24.74	46.15	21
مرداد July	33.71	26.13	47.24	24
شهریور August	30.2	19.45	43.78	28.3
مهر September	24.8	15.26	33.14	39
آبان October	18.25	11.1	27.66	54

جدول ۳- حجم آب آبیاری در مطالعه ذرت

Table 3- Volume of irrigation water in maize study

تیمار Treatment	حجم کل آب آبیاری Total volume of irrigation water ($m^3.ha^{-1}$)
آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد ظرفیت زراعی Irrigation after 30% of field capacity	6435
آبیاری پس از تخلیه ۴۰ درصد ظرفیت زراعی Irrigation after 40% of field capacity	5620
آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی Irrigation after 50% of field capacity	5140

جدول ۴- تجزیه واریانس اثرات کاربرد بیوچار و اسید هیومیک تحت تنش کمبود آب بر صفات مورد مطالعه

Table 4- Variation analysis of the effects of biochar and humic acid application under water stress stress on the studied traits

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد دانه در ردیف Number of row	تعداد دانه در بلال Number of kernels	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
سال Year (Y)	1	0.01 ns	78.05 ns	95.11 ns	2045.1 ns
سال×تکرار Replication×Year	4	0.08	405.06	6.82	17.04
تنش کمبود آب Water Deficit Stress (S)	2	985.17 **	250311 **	8961.3 **	2854370 **
سال×کمبود آب S× Y	2	4.07 ns	254.11 ns	0.15 ns	5214 ns
خطا (Ea)	8	13.52	3072.04	437.8	18256
بیوچار Biochar (B)	1	731.33 **	105741.1 **	5160.3 **	160574 **
سال×بیوچار B×Y	1	1.28 ns	611.6 ns	24.01 ns	480.25 ns
تنش کمبود آب×بیوچار B×S	2	427.04 **	91348 **	6047.1 **	202574 **
سال×بیوچار×تنش کمبود آب S×B×Y	2	0.06 ns	50.07 ns	4.16 ns	600.3 ns
خطا Error b	12	10.35	2830.01	328.84	14247.4
اسید هیومیک Humic acidic (H)	3	287.04 **	80566.2 **	3900.3 **	175871 **
سال× اسید هیومیک H×Y	3	3.44 ns	0.55 ns	25.82 ns	102 ns
تنش‌کمبودآب× اسید هیومیک H×S	6	1010.2 **	124083.4 *	4120.1 **	400547 **
سال× تنش‌کمبودآب× اسید هیومیک H×S×Y	6	0.08 ns	26.9 ns	7.21 ns	193.4 ns
بیوچار× اسید هیومیک H×B	3	3.66 ns	76.03 ns	1.55 ns	251 ns
سال× بیوچار× اسید هیومیک H×B×Y	3	0.09 ns	81.23 ns	21.3 ns	174.4 ns
تنش‌کمبودآب× بیوچار× اسید هیومیک H×B×S	6	0.517 ns	115.1 ns	10.04 ns	230.8 ns
سال× تنش‌آب× بیوچار× اسید هیومیک H×B×S×Y	6	1.04 ns	29.89 ns	6.32 ns	574 ns
خطا Error c	72	7.92	2000.6	280.54	13800
ضریب تغییرات C.V. (%)		9.13	11.41	7.45	16

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

ns, ** and *: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۴-

Table 4- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	سوپراکسیددیسموتاز Superoxide dismutase	کاتالاز Catalase	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص کلروفیل Chlorophyll index
سال Year (Y)	1	8.51 ns	1.11 ns	0.19 ns	1.03 ns
سال×تکرار Replication×Year	4	3.7	0.18	0.08	0.49
تنش کمبود آب Water Deficit Stress (S)	2	54780.2 **	5011.1 **	101.26 **	2143.1 **
سال×کمبود آب S× Y	2	9.23 ns	6.34 ns	0.09 ns	3.12 ns
خطا (Ea)	8	3050.1	142.4	3.28	12.35
بیوچار Biochar (B)	1	49000.2 **	6201.7 **	86.17 **	1582.2 **
سال×بیوچار B×Y	1	2.5 ns	4.49 ns	0.16 ns	0.08 ns
تنش کمبود آب×بیوچار B×S	2	60370.9 **	2054.1 **	0.53 ns	900.3 **
سال×بیوچار×تنش کمبود آب S×B×Y	2	8.15 ns	3.02 ns	0.27 ns	0.15 ns
خطا Error b	12	2600.1	112.94	2.05	10.34
اسید هیومیک Humic acidic (H)	3	59340.3 **	1154.1 **	128.4 **	1024.6 **
سال× اسید هیومیک H×Y	3	0.07 ns	3.72 ns	0.03 ns	2.13 ns
تنش کمبودآب× اسید هیومیک H×S	6	33140.3 **	1841.5 **	0.008 ns	754.28 **
سال× تنش کمبودآب× اسید هیومیک H×S×Y	6	5.2 ns	4.43 ns	0.01 ns	1.71 ns
بیوچار× اسید هیومیک H×B	3	4.03 ns	0.39 ns	0.09 ns	0.93 ns
سال× بیوچار× اسید هیومیک H×B×Y	3	10.1 ns	7.48 ns	0.01 ns	0.68 ns
تنش کمبودآب× بیوچار× اسید هیومیک H×B×S	6	1.74 ns	2.19 ns	0.04 ns	0.12 ns
سال× تنش آب× بیوچار× اسید هیومیک H×B×S×Y	6	2.06 ns	6.88 ns	0.21 ns	1.37 ns
خطا Error c	72	2357.1	100.16	0.42	7.08
ضریب تغییرات C.V. (%)		11.17	9.92	18.46	5.88

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

ns, ** and *: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات تحت تأثیر تنش کمبود آب، بیوچار و اسیدهیومیک

Table 5- Mean comparison of traits under water deficit stress, biochar and humic acidic

تیمارها Treatment	تعداد دانه در ردیف Number of row	تعداد دانه در بلال Number of kernels	وزن هزاردانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase ($Unit.mg^{1}$ Protein)	کاتالاز Catalase ($Unit.mg^{1}$ Protein)	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص کلروفیل Chloro phyll index
تنش کمبود آب Water deficit stress								
۳۰ درصد ظرفیت زراعی Farming capacity 30%	37.14	519.96	240.91	9000.24	334.71	71.11	4.15	49.3
۴۰ درصد ظرفیت زراعی Farming capacity 40%	31.45	440.3	227.81	7270.14	431.05	100.3	3.5	45.35
۵۰ درصد ظرفیت زراعی Farming capacity 50%	23.84	333.76	205.73	5750.61	537.3	131.04	2.89	41.02
LSD5%	0.91	9.35	3.61	450.17	19.13	4.85	0.17	1.85
بیوچار Biochar								
عدم کاربرد Non-application	26.2	366.8	211.17	6475.25	525.12	128.7	2.91	42.07
۴ تن در هکتار 4 tons per hectare	35.43	496.02	238.55	8205.42	343.58	72.93	4.12	48.38
LSD5%	0.76	8.48	4.74	370.05	23.25	3.31	0.22	1.27
اسیدهیومیک Humic acidic								
شاهد Control	23.64	330.96	204.71	5600.56	304.01	66.88	2.84	40.11
۲ لیتر در هکتار 2 liters per hectare	27.31	382.34	217.36	6010.36	400.2	90.73	3.07	43.76
۴ لیتر در هکتار 4 liters per hectare	35.78	500.92	237.4	8800.14	514.18	121.03	4.01	47.45
۶ لیتر در هکتار 6 liters per hectare	36.52	511.28	239.79	8950.28	519.1	124.62	4.14	49.56
LSD 5%	0.85	7.67	4.03	341.34	27.83	4.52	0.26	1.64

میانگین تیمارهایی که اختلافشان از LSD بزرگ‌تر است در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

Mean treatments greater than LSD had significant difference at 5% probability level.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات تحت تأثیر تنش‌کمبودآب × بیوچار

Table 6- Mean comparison of traits under interaction of water deficit stress×biochar

تنش کمبود آب Water deficit stress	بیوچار Biochar $t.ha^{-1}$	تعداد دانه در ردیف Number of row	تعداد دانه در بلال Number of kernels	وزن هزار دانه 1000-grain weight(g)	عملکرد دانه Grain Yield ($kg.ha^{-1}$)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (Unit.mg Protein^{-1})	کاتالاز Catalase (Unit.mg Protein^{-1})	شاخص کلروفیل Chlorophyll index
۳۰ درصد ظرفیت زراعی Farming capacity 30%	عدم کاربرد Non-application	32.41	453.74	230.43	8146.88	359.27	83.21	46.18
	4 $t.ha^{-1}$	39.05	546.7	241.05	9164.46	320.01	66.53	50.35
۴۰ درصد ظرفیت زراعی Farming capacity 40%	عدم کاربرد Non-application	26.06	364.84	221.82	6295.53	513.24	121.49	43.67
	4 $t.ha^{-1}$	38.63	540.82	238.61	8995.18	421.19	96.84	49.14
۵۰ درصد ظرفیت زراعی Farming capacity 50%	عدم کاربرد Non-application	21.54	301.56	203.04	5467.71	550.05	130.75	40.02
	4 $t.ha^{-1}$	27.18	380.52	214.35	5972.25	442.37	106.04	42.23
LSD5%		1.07	10.11	4.38	360.44	22.19	3.86	1.14

میانگین تیمارهایی که اختلافشان از LSD بزرگ‌تر است در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

Mean treatments greater than LSD had significant difference at 5% probability level.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات تحت تأثیر تنش‌کمبودآب × هیومیک‌اسید

Table 7- Mean comparison of traits under interaction of water deficit stress × humic acidic

تنش کمبود آب Water deficit stress	هیومیک اسید humic acidic	تعداد دانه در ردیف Number of row	تعداد دانه در بلال Number of kernels	وزن هزار دانه 1000-grain weight(g)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (Unit.mg Protein^{-1})	کاتالاز Catalase (Unit.mg Protein^{-1})	شاخص کلروفیل Chlorophyll index
۳۰ درصد ظرفیت زراعی Farming capacity 30%	شاهد Control	32.08	449.12	227.07	7362.57	310.11	65.2	45.58
	2 $L.ha^{-1}$	35.12	491.68	230.34	8000.41	330.04	72.19	47.94
	4 $L.ha^{-1}$	38.01	532.14	239.1	9243.75	381.45	88.06	50.61
	6 $L.ha^{-1}$	40	560	242.02	9700.37	386.1	91.25	51.34
۴۰ درصد ظرفیت زراعی Farming capacity 40%	شاهد Control	27.01	378.14	221.41	6100.5	394.06	89.38	41.45
	2 $L.ha^{-1}$	31.03	434.42	225.13	6601.32	457.3	96.04	43.77
	4 $L.ha^{-1}$	33.12	463.68	232.23	7321.91	483.25	117.56	45.91
	6 $L.ha^{-1}$	39.22	549.08	240.51	9670.42	495.13	120.3	50.74
۵۰ درصد ظرفیت زراعی Farming capacity 50%	شاهد Control	22.01	308.14	202.32	5618.36	438.04	102.35	38.44
	2 $L.ha^{-1}$	22.11	309.54	205.28	5960.58	480.16	110.35	39.67
	4 $L.ha^{-1}$	25.04	350.56	218.19	6212.79	527.02	127.25	41.9
	6 $L.ha^{-1}$	27.2	380.8	222.1	6291.23	530.1	130.14	42.86
LSD5%		1.18	5.03	2.41	332.06	31.43	4.02	1.92

میانگین تیمارهایی که اختلافشان از LSD بزرگ‌تر است در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

Mean treatments greater than LSD had significant difference at 5% probability level.

References منابع مورد استفاده

- Abbas, T., M. Rizwan, S. Ali, M.Z. Rehman, M.F. Qayyum, F. Abbas, Hannan, J. Rinklebe, and Y.S. Ok. 2017. Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 140: 37-47.
- Abeer, H., E.F. Abd Allah, A.A. Alqarawi, and D. Egamberdieva. 2015. Induction of salt stress tolerance in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) by arbuscular mycorrhizal fungi. *Legume Research*. 38: 579-88.
- Abrishamkesh, S., M. Gorji, H. Asadi, A.A. Poorbabaei, and Gh. Bagheri Marandi. 2017. Production of rice husk biochar and its effects on lentil and wheat biomass. *Journal of Soil Management and Sustainable.* 7(2):135-150. (In Persian).
- Adejumo, S.A., M.O. Owolabi, and I.F. Odesola. 2016. Agro-physiologic effects of compost and biochar produced at different temperatures on growth, photosynthetic pigment and micronutrients uptake of maize crop. *African Journal of Agricultural Research*. 11(8): 661-673.
- Afarinesh, A., Gh. Fathi, R. Chogan, A. Siadat, Kh. Alami Said, and S. Ashrafizadeh. 2015. Evaluation of drought stress and soil density on some agronomic characteristics of corn (*Zea mays* L.). *Journal Plant Production*. 38: 13-24. (In Persian).
- Albayrak, S., and N. Camas. 2005. Effect of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield component of mungbean. *Journal of Agronomy*. 42: 130-133.
- Anonymous. 2014. FAOSTAT.Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. FAO, Rome.
- Anonymous. 2017. FAOSTAT. Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. FAO, Rome.
- Anwar, Sh., F. Iqbal, W.A. Khattak, M. Islam, B. Iqbal, and Sh.Khan. 2016. Response of wheat crop to humic acid and nitrogen levels. *Ecronicon Agriculture*. 3(1): 558-565.
- Apel, K., and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*. 55: 373-399.
- Arif, M., A. Asad, M. Umair, F. Munsif, A. Kawsar, M. Inamullah, M. Saleem, and A.Gohar. 2012. Effect of biochar, FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield components of maize. *Sarhad Journal of Agriculture*. 28(2): 191-195.
- Arumend, T., M.K. Abbasi, and E. Rafiqe. 2015. Effect of lignite-derived humic acid on some selected soil propertis, growth and nuntrient uptake of wheat grown under greenhouse conditions. *Pakistan Journal of Botany*. 47(6): 2231-2238.
- Ayman, M., K.M. Abd El-Hai, and Kh.M. Ghoneem. 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of Faba bean cultivated in Clayey soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3(2): 731-739.

- Boominathan, R., and P.M. Doran. 2002. Ni indused oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumulator, *Alyssum bertolonii*. *Newphytologist*. 156: 205-215.
- Cavani, L., C. Ciavatta, and C. Gessa. 2003. Identification of organic matter from peat, leonardite and lignite fertilizers using humification parameters and electrofocusing. *Bioresour Technology*. 86: 45-52.
- Cui, L., J. Yan, Y. Yang, L. Li, G. Quan, C. Ding, T. Chen, Q. Fu, and A. Chang. 2013. Biochar for heavy metals in soil. *Biores Technology*. 8: 5536-5548.
- Dadnia, M.R. 2016. Effect of humic acid on antioxidant enzyme activity and castor yield under water deficit stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 1(4): 85-98. (In Persian).
- Delfine, S., R. Tognetti, E. Desiderio, and A. Alvino. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development.* 25: 183-191.
- Dhindsa, R.A., P. Plumb-Dhindsa, and T.A. Thorpe. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal Experiment Botany*. 126: 93-101.
- Fallahi, G., A. Hatami, and R. Naseri. 2013. Growth Analysis of six corn hybrids under drought conditions in Kermanshah province, Iran. *Journal of Crop Ecophysiology*. 7(2): 181-196. (In Persian).
- Fiaz, K., S.A. Malik, Y. Younis, S. Danish, M.H. Raza Shah, and S. Niaz. 2014. Drought impact on Pb/Cd toxicity remediated by biochar in *Brassica campestris*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 14(4): 845-854.
- Gaskin, J. W., R.A. Speir, K. Harris, K. Das, R.D. Lee, L.A. Morris, and D.S. Fisher. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*. 102: 623-633.
- Gavili, E., A.A. Moosavi, and A.A. Kamgar Haghighi. 2016. Effect of cattle manure biochar and drought stress on the growth characteristics and water use efficiency of spinach under greenhouse conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*. 30(2): 243-259. (In Persian).
- Ghassemi-Golezani, K., Sh. Heydari, and B. Dalil. 2018. Field performance of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. *Acta agriculturae Slovenica*. 111(1):25-32.
- Ghorbani, SH., R. Khazaee, M. Kaafi, and A. Banayan. 2010. Effect of humic acid application in irrigation water on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agriculture Ecology*. 2: 123-131.
- Gokila, B., and K. Baskar. 2015. Influence of biochar as soil amendment on yield and quality of maize. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 5: 152-155.
- Halek, F., A. Delavari, and A. Kavousi-rahim. 2013. Production of biodiesel as a renewable energy source from castor oil. *Clean Technology Environment*. 15: 1063-1068.

- Hoekman, S.K., A. Broch, C. Robbins, E. Ceniceros, and M. Natarajan. 2012. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renew Sustainable Energy Revolution.* 16: 143-169.
- Jemal, K., and A. Abebe. 2016. Determination of bio-char rate for improved production of Lemmon grass. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research.* 4(2):149–157.
- Kathrin, A. 2016. Biochar in soil: Effect on physical, chemical and hydrological properties in differently textured soils. M.Sc. Thesis, Department of Agro Ecology, AU.
- Khan, R. U., M.Z. Khan, A. Khan, S. Saba, F. Hussain, and I.U. Jan. 2018. Effect of humic acid on growth and crop nutrient status of wheat on two different soils. *Journal of plant nutrition*. 41(4): 453-460.
- Koocheki, A., and Gh. Sarmadnia. 2008. Plant physiology (Translation). Mashhad Academic Publications. 467p.
- Korir, P.C., J.O. Nyabundi, and P.K. Kimurto. 2006. Genotypic responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to moisture stress conditions in Kenya. *Asian Journal of Plant Science.* 5: 24-32.
- Lotfollahi, S., B. Sani, and F. Rajabzadeh. 2018. Investigation of soil effect of humic acid and fulvic acid on yield and yield components of maize. 4th International Conference on Agricultural and Environmental Engineering. 4 November 2018.
- Mahmoud, E., M. Ibrahim, L. Abd El-Rahman, and A. Khader. 2019. Effects of biochar and, phosphorus fertilizers on phosphorus fractions, wheat yield and microbial biomass carbon in *Vertic torrifluvents*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 50(3): 362-372.
- Mahpara, S., T. Hussain, and J. Farooq. 2014. Drought tolerance studies in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cercetari Agronomice in Moldova*. 4(160): 133-140.
- Mohebali, M., S. Seifzadeh, and H.R. Zakerin. 2017. Effect of humic acid on grain yield of hybrid maize NS 640 under different irrigation regimes in Qazvin region, 3rd International Conference on New Ideas in Agriculture, Environment and Tourism, Ardabil, Ideal Environment Supporters Institute. (In Persian).
- Pullen, J., and K. Saeed. 2012. An overview of biodiesel oxidation stability. *Renew Sustainable Energy*. 16: 5924-5950.
- Rab, A., M. Rabnawaz Khan, S. Ul Haq, S. Zahid, M. Asim, M.Z. Afridi, M. Arif, and F. Munsif. 2016. Impact of biochar on mungbean yield and yield components. *Pure and Applied Biology*. 5(3): 632-640.
- Safahani, A.R., R. Noora. 2018. Effect of different levels of biochar on physiological traits of pumpkin under water shortage stress. *Journal of Plant Ecophysiological Research.* 13(49): 13-32. (In Persian).
- Sanjari, M., A.R. Siroosmehr, and B.A. Fakheri. 2015. The effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of roselle. *Journal of Crops Improvement*. 17(2): 403-414. (In Persian).

- Sharma, P., A. Jha, R. Dubey, and M. Pessarakli. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany.* 14: 1-26.
- Siddiqui, M.H., M.Y. Al-Khaishany, M.A. Al-Qutami, M.H. Al-Whaibi, A. Grover, H.M. Ali, M.S. Al-Wahibi, and N.A. Bukhari. 2015. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 16: 10214–10227.
- Sika, M.P. 2012. Effect of biochar on chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil. M.Sc. Thesis, Department of Soil Science, Stellenbosch University, Stellenbosch.
- Sun, H.J., H.C. Zhang, W.M. Shi, M.Y. Zhou, and X.F. Ma. 2019. Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil. *Plant, Soil and Environment*. 65(2): 83–89.
- Szczepanek, M., and E. Wilczewski. 2016. Maize response to soil-applied humic substances and foliar fertilization with potassium. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 26(5): 1298-1303.
- Tsanaktsidis, C.G., S.G. Christidis, and E.P. Favvas. 2013. A novel method for improving the physicochemical properties of diesel and jet fuel using polyaspartate polymer additives. *Fuel*. 104: 155-162.
- Ullah, Z., M. Akmal, M. Ahmed, M. Ali, A. Zaib, and T. Ziad. 2018. Effect of biochar on maize yield and yield components in rainfed conditions. *International Journal Agronomy Agricultur Research*. 12(3): 46-51.
- Uzoma, K., M. Inoue, H. Andry, H. Fujimaki, A. Zahoor, and E. Nishihara. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management.* 27: 205-212.
- Von Braun, J., D. Byerlee, C. Chartres, T. Lumpkin, N. Olembo, and J.J. Waage. 2010. A draft strategy and results framework for the CGIAR. World Bank, CGIAR, Washington DC, USA.
- Wang, J., L. Cao, and S. Han. 2014. Effect of polymeric cold flow improvers on flow properties of biodiesel from waste cooking oil. *Fuel*. 117: 876-881.
- Zhang, J., and Q. Meng. 2014. Preparation of KOH/CaO/C supported biodiesel catalyst and application process. *World Journal of Engineering and Technology*. 2: 184-191.
- Zhou, L., C. Monreal, Sh. Xu, N. McLaughlin, H. Zhang, G. Hao, and J. Liu. 2019. Effect of bentonite-humic acid application on the improvement of soil structure and maize yield in a sandy soil of a semi-arid region. *Geoderma Science Direct*. 338:269-280.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.683381

The Effect of Biochar and Humic Acid Rates on some Phophysiological Characteristics and Grain Yield SC704 Corn (*Zea mays* L.) Hybrid Under Water Deficit stress

Armaghan Charkhab[1], Many Mojaddam[1]*, Shahram Lack[1], Tayyeb Sakinejad[1] and Mohammad Reza Dadnia[1]

Received: May 2020 , Revised: 20 October 2020, Accepted: 1 November 2020

Abstract

To evaluate the effect of different rates of biochar and humic acid applications on physiological characteristics and grain yield of single cross 704 hybrid corn under water deficit stress, a split split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications, was conducted during two years (2017-19) at Ahvaz. The main plot devoted to water deficit stress, with three levels irrigation (after depleting 30, 40, and 50% of field capacity as optimum irrigation, moderate stress, and severe stress, respectively) and sub-plot to biochar with 2 levels, non-application of biochar (control) and application of 4 tons per hectare of biochar, and the sub-sub plots to humic acid with 4 levels non-application of humic acid (control), and application of 2, 4, and 6 liters per hectare of humic acid. The results showed that the interaction effect of water shortage by biochar stress and water shortage by humic acid stress on grain yield, 1000-grain weight, number of grains per ear, superoxide dismutase, chlorophyll index and catalase were significant at 1% probability level. Under severe stress conditions grain yield (36.54%), number of grain per ear (36%) and leaf area index (30.36%) decreased and activity of superoxide dismutase (37.7%) increased. Acidic acid had a significant effect on all traits under study. The highest grain yield (8995.18 $kg.ha^{-1}$) was related to irrigation treatment after 40% depletion of field capacity and application of 4 tons per hectare of biochar. Based the results obtained application of 4 liters per hectare of humic acid under moderate moisture stress conditions, could be recommended in arid and semi-arid conditions to save water consumption and reduce the effects of water deficit stress.

Key words: Chlorophyll index, Grain yield, Humic acid, Optimal irrigation, Superoxide dismutase.

1- Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
**Corresponding Author: manimojaddam@yahoo.com*