



بررسی اثر تراکم و محلول پاشی اسید هیومیک بر عملکرد کمی و جذب عناصر ذرت دانه‌ای (*Zea mays L.*) تحت شرایط تنش خشکی

صفورا کیانی^۱، مانی مجدم^{۲*}، شهرام لک^۲، مجتبی علوی‌فاضل^۲، علیرضا شکوه‌فر^۲

۱. گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۱۰

چکیده

تنش‌های محیطی از قبیل تنش خشکی یکی از موانع اساسی در تولید محصولات زراعی در بسیاری از نقاط جهان خصوصاً مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران محسوب می‌شوند. لذا به‌منظور ارزیابی اثر محلول پاشی اسید هیومیک در شرایط تنش خشکی بر عملکرد دانه و جذب عناصر دانه ذرت در تراکم‌های مختلف بوته، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال‌های زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان دهلران اجرا شد. فاکتور اصلی شامل تنش خشکی با سه سطح (آبیاری مطلوب، قطع آبیاری در مرحله ۶ تا ۸ برگ و قطع آبیاری در مرحله گل‌تاجی) بود. فاکتور فرعی شامل محلول پاشی اسید هیومیک با سه سطح (تیمار شاهد (عدم مصرف اسید هیومیک)، ۲ و ۴ لیتر در هکتار اسید هیومیک) و فاکتور فرعی فرعی شامل سه تراکم بوته (۶۰، ۷۵ و ۹۰ هزار بوته در هکتار) بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد تأثیر تنش خشکی و اسید هیومیک بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، غلظت روی، غلظت آهن و میزان پروتئین دانه معنی‌دار بود. در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه و جذب عناصر غذایی نظیر آهن، روی و فسفر کاهش یافت اما میزان پروتئین دانه افزایش یافت. بیشترین عملکرد دانه (۹۵۸۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری در حد مطلوب بود. محلول پاشی اسید هیومیک موجب افزایش عملکرد دانه، غلظت روی و آهن دانه شد. با افزایش کمبود آب در خاک تأثیر مثبت کاربرد اسید هیومیک بر افزایش عملکرد دانه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافت. عکس‌العمل عملکرد دانه و درصد پروتئین نسبت به افزایش تراکم بوته مثبت بود. به‌طور کلی نتایج آزمایش نشان‌دهنده این مطلب است که کاربرد ۴ لیتر در هکتار اسید هیومیک در تراکم ۷۵ هزار بوته در شرایط رطوبتی مناسب می‌تواند موجب افزایش جذب عناصر، عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت و در کل بهبود تولید ذرت شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری مطلوب، پروتئین دانه، تراکم بوته، عملکرد دانه، هیومیک اسید

مقدمه

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 و در سال‌های آینده این میزان به سبب خشکی‌های شدیدتر بیشتر خواهد شد (FAO, 2014).

ذرت (*Zea mays L.*) یکی از مهم‌ترین غلات دانه‌ای است که در بیش از ۱۸۰ میلیون هکتار از راضی دنیا کشت می‌شود و تولید آن بالغ بر ۱۰۰۰ میلیون تن است (FAO, 2014). ذرت به همراه برنج حداقل ۳۰ درصد کالری غذایی را برای بیش از چهار و نیم میلیون نفر در ۹۴ کشور در حال توسعه، جایی که یک‌سوم کودکان در آنجا سوء‌تغذیه دارند، فراهم می‌کند (Chaudhary et al., 2014). تا سال ۲۰۵۰ تقاضا

می‌تواند مؤثر باشد، لذا از اسید هیومیک به‌عنوان کود آلی دوستدار طبیعت نام برده می‌شود (Arumend et al., 2015). اسید هیومیک با مولکول‌های آب پیوند تشکیل می‌دهند که تا حدود زیادی مانع از تبخیر آب می‌گردد. از طرف دیگر مولکول‌های اسیدفولیک (بخش ریز مولکول 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 اسیدهیومیک با بهبود تولید قند، پروتئین و ویتامین در گیاه و نیز تأثیر مثبتی که بر جنبه‌های مختلف فتوسنتز دارد نیز 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 اجزاء 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. انوار و همکاران (Anwar et al., 2016) با بررسی اسید هیومیک (۵، ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم در هکتار) بر گیاه گندم گزارش نمودند که با کاربرد اسید هیومیک به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین وزن هزار دانه (۴۳/۳ گرم)، تعداد دانه در سنبله (۴۹)، عملکرد دانه (۳۳۱۶ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. تیموری و همکاران (Timori et al., 2015) گزارش نمودند که کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش میزان غلظت روی دانه گردید.

تراکم بوته که برحسب تعداد بوته در واحد سطح زمین تعیین می‌شود، در ارتباط با میزان تولید محصول حائز اهمیت است. حداکثر عملکرد در واحد سطح هنگامی حاصل می‌گردد که رقابت‌های درون و برون بوته‌ای به حداقل برسد و گیاه بتواند حداکثر استفاده را از عوامل رشد داشته باشد (Pirzad et al., 2011). علوی فاضل و همکاران (Alavifazel et al., 2010) بیان نمودند با افزایش تراکم تعداد دانه در ردیف و دانه در بلال به دلیل رقابت بیشتر بوته‌ها کاهش یافت، ولی عملکرد دانه تحت تأثیر افزایش معنی‌دار و همبستگی بالاتر با تعداد دانه در واحد سطح بیشتر، در تراکم‌های بالاتر افزایش یافت. سارلانگو و همکاران (Sarlangue et al., 2009) در

آب یک عامل کلیدی در تولید گیاهان زراعی است. عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق توسط تنش‌های محیطی زنده یا غیرزنده محدود شده و به همین دلیل اختلاف قابل توجهی بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوه گیاهان زراعی مشاهده می‌شود (Sayadi Maazou et al., 2016). رطوبت کم در هر یک از مراحل مختلف رشد موجب کاهش جذب آب، عناصر غذایی، کاهش نقل‌وانتقال عناصر در داخل گیاه و نهایتاً کاهش عملکرد دانه یا محصول نهایی می‌شود. استفاده بهینه از آب دارای اهمیت بسزایی است به‌خصوص در مناطقی که شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک بر آن حاکم است که حدود دوسوم مساحت ایران را در برمی‌گیرد (Azeri Nasrabadi and Attardi, 2007). گریوز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) گزارش نمودند که اثر تنش خشکی بر تعداد دانه در بلال و عملکرد دانه ذرت معنی‌دار و متوسط بالاترین عملکرد دانه ۱۰۰۸ گرم در مترمربع بود و تنش خشکی منجر به کاهش ۳۳ درصدی عملکرد دانه شد. خدارحم‌پور (Khodarahmpour, 2011) در گیاه ذرت گزارش نمودند که تنش کمبود آب در مرحله رویشی و زایشی تعداد دانه و در مرحله پر شدن دانه وزن دانه را می‌کاهد که نتیجه آن کاهش عملکرد دانه است. کمبود آب زمینه کاهش شاخص سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ را فراهم آورده و نتیجه آن کاهش عرضه مواد پرورده و اثر منفی آن بر تولید دانه در بلال و در نتیجه کاهش عملکرد دانه بود. 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. دانیل و تربیوی (Daniel and Triboi, 2008) در آزمایش‌های جداگانه بر روی ذرت و گندم به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شرایط مطلوب آبیاری گردید، آن‌ها دلیل این امر را کاهش انتقال مواد فتوسنتزی اعلام نمودند که باعث کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود و از آن‌جائی‌که درصد پروتئین در پوسته و جنین نسبت به آندوسپرم نشاسته‌ای بیشتر است لذا درصد پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد.

استفاده از کودهای طبیعی و از جمله اسید هیومیک بدون اثرات مخرب زیست‌محیطی جهت بالا بردن عملکرد و میزان زیست‌توده ریشه گیاهان به‌خصوص در شرایط متغیر محیطی

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶ در مزرعه‌ای واقع در ۴۵ کیلومتری جاده دهلران به دزفول با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۱۵ متر از سطح دریا انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

ذرت گزارش نمودند که با افزایش تراکم بوته، وزن دانه کاهش یافت، آن‌ها دلیل این کاهش را افزایش رقابت بین بوته‌ها گزارش نمودند. شهرآئینی و همکاران (Shahraeni et al., 2011) تراکم تأثیر معنی‌داری بر مقدار فسفر در دانه گندم (احتمال یک درصد) داشته است، به طوری که با افزایش تراکم توانایی جذب فسفر توسط دانه گندم کاهش یافته است. این تحقیق با هدف بررسی محلول‌پاشی اسید هیومیک و تراکم بوته در شرایط رطوبتی متفاوت بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب عناصر ذرت دانه‌ای در شرایط آب و هوایی دهلران اجرا گردید.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physicochemical properties of the soil at experiment location

| سال زراعی Cropping year | عمق خاک Depth of soil (cm) | بافت خاک Soil texture | هدایت الکتریکی EC (dc/m) | مواد آلی Organic Matter (%) | پتاسیم K | فسفر P | نیتروژن N | روی Z | آهن Fe | |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------|--------------|----------|-----------|------|
| 2015-16 | 0-30 | Sandy Loam | 7.51 | 3.5 | 0.73 | 159 | 12.2 | 0.42 | 0.7 | 1.2 |
| 2016-17 | 0-30 | Sandy Loam | 7.12 | 3.21 | 0.62 | 151 | 11.04 | 0.38 | 0.51 | 1.14 |

منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به صورت تقسیط در دو مرحله (۵۰ درصد هم‌زمان با کاشت و ۵۰ درصد در مرحله شش برگی به صورت سرک) و کود فسفر نیز پس از محاسبه بر اساس ۹۰ 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. عملیات کاشت در تاریخ بیست و ششم تیرماه ۱۳۹۷ به صورت دستی روی پشته‌ها در عمق سه سانتی‌متری خاک کمی بالاتر از داغاب انجام شد. عملیات کاشت بذر در تاریخ-های سه مرداد ۱۳۹۴ و پنج مرداد ۱۳۹۵ به صورت دستی روی پشته‌ها در عمق چهار سانتی‌متری خاک کمی بالاتر از داغاب انجام شد. بعد از کشت، مزرعه مورد آزمایش بلافاصله آبیاری شد. کنترل علف‌های هرز به صورت وجین دستی انجام شد. محلول‌پاشی اسید هیومیک با نام تجاری هیومکس (WGS-95) تهیه شده از شرکت دانش‌بنیان پارس فروغ زاگرس در دو مرحله ۶-۸ برگی و تا اسل‌دهی در مزرعه انجام شد. تنش خشکی با قطع یک نوبت آبیاری در مرحله ۶ تا ۸ و قطع یک نوبت آبیاری در مرحله گل تاجی در مزرعه اعمال شد. این تنش بر اساس ۵۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده بود؛

این تحقیق به صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل تنش خشکی با سه سطح (آبیاری مطلوب، تنش کم‌آبی با یک‌بار قطع آبیاری در مرحله ۶ تا ۸ برگی و تنش کم‌آبی با یک‌بار قطع آبیاری در مرحله گل تاجی بود. فاکتور فرعی شامل محلول‌پاشی اسید هیومیک با سه سطح (تیمار شاهد (عدم مصرف اسید هیومیک)، کاربرد ۲ لیتر در هکتار هیومیک اسید به صورت محلول‌پاشی برگی و کاربرد ۴ لیتر در هکتار هیومیک اسید) و فاکتور فرعی شامل سه تراکم بوته (۶۰، ۷۵ و ۹۰ هزار بوته در هکتار) بود. این آزمایش جمعاً از ۸۱ کرت تشکیل شد که هر کرت آزمایشی به طول شش متر و دارای شش خط کاشت بافاصله ۷۵ سانتی‌متر با تراکم ۶۰، ۷۵ و ۹۰ هزار بوته در هکتار (۶، ۷/۵ و ۹ بوته در مترمربع با فاصله روی ردیف به ترتیب ۲۲/۲۲، ۱۷/۷۷ و ۱۴/۸۱ سانتی‌متر) 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 گاواهن برگردان‌دار، دیسک و نهایتاً عملیات تسطیح با ماله بود. کود پایه بکار برده شده در مزرعه شامل کود نیتروژن از

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد دانه در بلال

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تأثیر تنش خشکی، هیومیک اسید، تراکم بوته و اثر برهمکنش تنش خشکی و هیومیک اسید بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین دوساله نشان داد تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در بلال گردید، به نحوی که بیشترین تعداد دانه در بلال به تیمار آبیاری مطلوب و کمترین تعداد دانه در بلال به تیمار تنش قطع آبیاری در مرحله گل تاجی مربوط بود (جدول ۳). در این پژوهش تیمار قطع آبیاری در مرحله گل تاجی به دلیل شکل‌گیری ضعیف اندام‌های زایشی و به تبع آن گرده‌افشانی نامناسب موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در بلال شد. بر طبق اظهارات احمدپور و همکاران (Ahmadpour et al., 2017) کمبود آب در مراحل گل‌دهی و گرده‌افشانی، باعث کاهش شدید عملکرد از طریق نمو غیرطبیعی کیسه جنینی، عقیمی دانه‌گرده و در نهایت کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌شود. این نتایج با یافته‌های گریوز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) و خدارحم‌پور (Khodarahmpour, 2011) مطابقت داشت. برهمکنش آبیاری و اسید هیومیک بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار بود (جدول ۲). بالاترین و پایین‌ترین تعداد دانه در بلال به ترتیب به تیمارهای آبیاری مطلوب و کاربرد ۴ لیتر در هکتار اسید هیومیک و قطع آبیاری در مرحله گل تاجی و عدم کاربرد کود مربوط بود (جدول ۳). کم‌آبی در مرحله زایشی با خشک‌کردن دانه‌های گرده باعث عدم گرده‌افشانی و در نتیجه سقط گل‌ها و متعاقب آن کاهش تعداد دانه در بلال می‌گردد. عوامل گیاهی که تقسیم و توسعه سلولی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مانند میزان آب بافت و غلظت هورمون‌های مؤثر گیاهی مانند آبسزیک اسید مسئول تنظیم تعداد بلال در شرایط تنش خشکی است. در همین راستا، اسید هیومیک به صورت محلول‌پاشی و خاکی 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. بیشترین تعداد دانه در بلال از تراکم ۶۰ هزار بوته و کمترین تعداد دانه در بلال به تراکم ۹۰ هزار بوته تعلق گرفت (جدول ۳).

یعنی در مرحله ۶ تا ۸ برگی و گل تاجی پس از آبیاری اول تا زمانی که تخلیه ۷۰ درصدی رطوبت محقق شد، آبیاری مجدد انجام نگرفت. به این منظور با گذشت ۴۸ ساعت از هر آبیاری، با استفاده از آگر خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری شد. آبیاری هنگامی انجام شد که رطوبت وزنی خاک در تیمارهای مختلف به درصد موردنظر رسیده باشد سپس حجم آب آبیاری موردنیاز هر تیمار از رابطه زیر محاسبه شد. پارامترهای رابطه عبارت‌اند از:

$$V = \frac{(Fc - \Theta m) \times Pb \times Droot \times A}{Ei} \quad [1]$$

که در آن V: حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب، Fc: درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی، Θm : درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری، Pb: وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، A: مساحت آبیاری شده برحسب مترمربع، Droot: عمق توسعه ریشه برحسب متر و Ei: راندمان آبیاری است.

رسیدگی دانه‌ها با ایجاد لایه سیاه در قاعده دانه‌ها مشخص گردید و برداشت نهایی با حذف ۵۰ سانتی‌متر از اول و انتهای خطوط از سطحی معادل سه مترمربع انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه نیز با ضرب کردن درصد نیتروژن دانه در ضریب ۶/۲۵ میزان پروتئین موجود در دانه به دست آمد (Jones et al., 1991). برای اندازه‌گیری مقدار عناصر آهن و روی، ابتدا نمونه به مدت ۶ تا ۱۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره قرار داده شد تا به خاکستر تبدیل شود. سپس نمونه را بیرون آورده ابتدا چند قطره آب مقطر به آن اضافه و به مدت یک ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از آن نمونه را در بالن ۵۰ سی‌سی با آب مقطر به حجم رسانده و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin 400) و نصب لامپ مخصوص برای هر عنصر میزان جذب در طول موج‌های ۳/۲۴ نانومتر آهن و ۹/۲۱ نانومتر روی قرائت گردید (Emami, 1996). همچنین مقادیر عنصر فسفر دانه به روش اسپکتوفتومتری و در طول موج ۴۲۰ نانومتر اندازه‌گیری و محاسبه شد (Jones et al., 1991). 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 به صورت دستی برداشت و پس از خشک شدن در آون جداسازی دانه‌ها به صورت دستی انجام گرفت و بوجاری با رطوبت ۱۴ درصد وزن شد.

به عبارت دیگر ظرفیت ذخیره‌سازی مخزن کاهش و نسبت گلچه‌های عقیم افزایش یافت و این منجر به کاهش تعداد دانه در بلال شد. علوی‌فاضل و همکاران (Alavifazel et al., 2010) بیان نمودند با افزایش تراکم، تعداد دانه در ردیف و دانه در بلال به دلیل رقابت بیشتر بوته‌ها کاهش یافت که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

تعداد دانه در بلال نیز یکی از اجزای مهم عملکرد دانه در ذرت است که به شدت تحت تأثیر تراکم بوته قرار می‌گیرد. در ذرت، تعداد دانه در بلال با افزایش تراکم به طور ناگهانی کاهش می‌یابد (Andrade et al., 1993). هم‌چنین کیهانی (Keyhani, 2017) گزارش نمودند که با افزایش تراکم ظهور کاکل در مقایسه با ظهور گل تاجی خیلی بیشتر به تعویق افتاد و تعداد تخمک‌های تلقیح شده (دانه) کاهش یافت،

جدول ۲. میانگین مربعات صفات تحت تأثیر تنش خشکی، اسید هیومیک و تراکم

Table 2. Mean square of traits yield under drought stress, humic acid and density

| S.O.V | منابع تغییر | df | تعداد دانه در بلال Number of kernels | وزن هزار دانه 1000-grain weight | عملکرد دانه Grain yield | درصد پروتئین Protein percent | آهن دانه Fe grain | روی دانه Zn grain | درصد فسفر P Percent |
|-------------------|--------------------------------|----|---|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Year (Y) | سال | 1 | 415 ^{ns} | 15.1 ^{ns} | 55312 ^{ns} | 15.0 ^{ns} | 114 ^{ns} | 7.24 ^{ns} | 23.0 ^{ns} |
| Year×Replication | سال×تکرار | 4 | 404 | 7.1 | 22.45 | 4.0 | 0.3 | 0.66 | 2.0 |
| Droght Stress (S) | تنش خشکی | 2 | 449479 ^{**} | 2875 ^{**} | 2691465 ^{**} | 546 ^{**} | 874 ^{**} | 175 ^{**} | 78.6 ^{**} |
| (Y×S) | سال×تنش خشکی | 8 | 2045 | 82.5 | 11818 | 34.7 | 35.9 | 8.32 | 6.47 |
| Humic Acid (H) | اسید هیومیک | 2 | 28137 ^{**} | 584 ^{**} | 156312 ^{**} | 102 ^{**} | 685 ^{**} | 162.1 ^{**} | 0.11 ^{ns} |
| Y×H | سال×اسید هیومیک | 2 | 53 ^{ns} | 8.3 ^{ns} | 57 ^{ns} | 1.9 ^{ns} | 11.2 ^{ns} | 0.03 ^{ns} | 1.06 ^{ns} |
| S×H | تنش خشکی×اسید هیومیک | 4 | 4539 ^{**} | 3.7 ^{ns} | 32458 ^{**} | 63.3 ^{**} | 10.2 ^{ns} | 0.33 ^{ns} | 2.34 ^{ns} |
| Y×S×H | سال×اسید هیومیک×تنش خشکی | 4 | 93.1 ^{ns} | 3.04 ^{ns} | 426 ^{ns} | 0.7 ^{ns} | 7.17 ^{ns} | 0.25 ^{ns} | 0.63 ^{ns} |
| Error a | خطای اصلی | 24 | 936 | 39.2 | 2387 | 24.3 | 30.5 | 6.47 | 4.35 |
| Density (D) | تراکم | 2 | 7845 ^{**} | 149 [*] | 47798 ^{**} | 31.7 ^{ns} | 743 ^{**} | 0.58 ^{ns} | 59.8 ^{**} |
| Y×D | سال×تراکم | 2 | 53 ^{ns} | 0.24 ^{ns} | 241 ^{ns} | 1.8 ^{ns} | 13 ^{ns} | 1.02 ^{ns} | 0.29 ^{ns} |
| S×D | تنش خشکی×تراکم | 4 | 254 ^{ns} | 15.0 ^{ns} | 2047 ^{ns} | 2.3 ^{ns} | 0.04 ^{ns} | 0.44 ^{ns} | 0.01 ^{ns} |
| Y×S×D | سال×تنش خشکی×تراکم | 4 | 90 ^{ns} | 5.3 ^{ns} | 230 ^{ns} | 1.9 ^{ns} | 0.7 ^{ns} | 1.07 ^{ns} | 0.1 ^{ns} |
| H×D | اسید هیومیک×تراکم | 4 | 377 ^{ns} | 14.0 ^{ns} | 1407 ^{ns} | 1.7 ^{ns} | 2.3 ^{ns} | 1.01 ^{ns} | 1.25 ^{ns} |
| Y×H×D | سال×اسید هیومیک×تراکم | 4 | 311 ^{ns} | 25.1 ^{ns} | 648 ^{ns} | 1.5 ^{ns} | 1.6 ^{ns} | 0.17 ^{ns} | 0.4 ^{ns} |
| S×H×D | تنش خشکی×اسید هیومیک×تراکم | 8 | 83 ^{ns} | 12.0 ^{ns} | 408 ^{ns} | 1.2 ^{ns} | 0.1 ^{ns} | 1.18 ^{ns} | 0.64 ^{ns} |
| Y×S×H×D | سال×تنش خشکی×اسید هیومیک×تراکم | 8 | 73.1 ^{ns} | 16.4 ^{ns} | 905 ^{ns} | 1.7 ^{ns} | ns 4.3 ^{ns} | 0.52 ^{ns} | 1.09 ^{ns} |
| Error b | خطای فرعی | 72 | 361 | 30.9 | 1520 | 12.6 | 27.6 | 4.63 ^{ns} | 3.01 |

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات تحت تأثیر تنش خشکی، اسید هیومیک و تراکم

Table 3. Mean comparison of traits under drought stress and humic acid and density

| Treatment | تیمارها | تعداد دانه در | | عملکرد | | درصد پروتئین Protein % | آهن دانه Fe percent ----- (mg/kg) ----- | رومی دانه Zn ----- | درصد فسفر P % |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------|--|--|----------------------|------------------------------|--|--------------------------|---------------------|
| | | بلال Number of kernels | وزن هزار دانه 1000-grain weight (g) | دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹) | درصد Protein % | | | | |
| Drought Stress | تنش خشکی | | | | | | | | |
| | آبیاری مطلوب | 416.77 ^a | 235.66 ^a | 9580.12 ^a | 7.9 ^c | 165.14 ^a | 38.53 ^a | 0.39 ^a | |
| Optimum irrigation | تنش در مرحله ۶ و ۸ برگ | 379.66 ^b | 218.07 ^b | 7510.23 ^b | 8.67 ^b | 160.25 ^b | 34.48 ^b | 0.3 ^b | |
| Stress at 6-8 leaf stage | تنش در مرحله ظهور گل تاجی | 342.63 ^c | 207.81 ^c | 6050.66 ^c | 10 ^a | 154.1 ^c | 27.21 ^c | 0.29 ^b | |
| Stress at Crown flower stage | | | | | | | | | |
| Humic Acid | اسید هیومیک | | | | | | | | |
| | عدم کاربرد | 358.55 ^c | 206.33 ^c | 6755.45 ^c | 7.81 ^b | 151.26 ^c | 30.49 ^c | 0.32 ^a | |
| Non-application | دو لیتر در هکتار | 374.37 ^b | 220.55 ^b | 7735.89 ^b | 8.65 ^b | 158.59 ^b | 33.54 ^b | 0.33 ^a | |
| 2 L/ha | چهار لیتر در هکتار | 406.14 ^a | 231.66 ^a | 8640.68 ^a | 10.06 ^a | 169.65 ^a | 36.33 ^a | 0.33 ^a | |
| 4 L/ha | | | | | | | | | |
| Density | تراکم | | | | | | | | |
| | ۶۰۰۰۰ بوته | 408.4 ^a | 234.37 ^a | 6850.43 ^b | 8.12 ^a | 166.49 ^a | 34.05 ^a | 0.38 ^a | |
| 60000 plants | ۷۵۰۰۰ بوته | 378.55 ^b | 219.22 ^b | 8240.3 ^a | 9.35 ^a | 157.63 ^b | 33.11 ^a | 0.31 ^b | |
| 75000 plants | ۹۰۰۰۰ بوته | 353.11 ^c | 204.96 ^c | 8050.42 ^a | 9.08 ^a | 155.38 ^b | 33.38 ^a | 0.27 ^c | |
| 90000 plants | | | | | | | | | |

میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level

وزن هزار دانه

این رابطه چکر (Chakir, 2004) و اسپورن و همکاران (Osborne et al., 2002) نیز کاهش معنی‌دار وزن دانه‌ها را در اثر تنش کمبود آب گزارش کرده‌اند. همچنین بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار ۴ لیتر در هکتار و کمترین وزن هزار دانه به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک اختصاص یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش وزن دانه در تیمار ۴ لیتر در هکتار محلول‌پاشی با 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 (Zhou et al., 2019). این نتایج نشان می‌دهد مصرف کودهای آلی نظیر اسید هیومیک باعث افزایش وزن هزار دانه می‌شود این نتایج با یافته‌های انوار و همکاران (Anwar et al., 2016) مطابقت داشت. بیشترین وزن هزار دانه از تراکم ۶۰ هزار بوته و

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر تنش خشکی، هیومیک اسید و تراکم بوته بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود. بیشترین وزن هزار دانه به تیمار آبیاری مطلوب و کمترین وزن هزار دانه به تیمار تنش قطع آبیاری در مرحله گل تاجی مربوط بود (جدول ۳). وزن دانه در تیمار تنش قطع آبیاری در مرحله گل‌تاجی نسبت به شاهد در مقایسه با سایر تیمارها با کاهش بیشتری همراه بود و آبیاری پس از تنش نتوانسته بود کاهش سطح برگ و کاهش فتوسنتز و در نتیجه فقدان مواد غذایی ذخیره‌شده در منابع ثانویه را به‌طور کامل جبران کند که در نتیجه وزن هزار دانه کاهش یافت. نتایج تحقیقات آفرینش و همکاران (Afarinesh et al., 2015) نشان‌دهنده آن است که کاهش وزن دانه در تنش خشکی به دلیل پیری زودرس برگ‌ها و در نتیجه کاهش مدت پر شدن دانه است. در

(Ghorbani et al., 2010) در گیاه 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. انوار و همکاران (Anwar et al., 2016) با بررسی اسید هیومیک (۵، ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم در هکتار) گزارش نمودند که با کاربرد اسید هیومیک به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه (۳۳۱۶ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد.

بیشترین عملکرد دانه به میزان ۱۰۴۸۰/۴۳ کیلوگرم در هکتار به تراکم ۷۵ هزار بوته در آبیاری مطلوب به دست آمد (شکل ۱). نتایج این تحقیق نشان داد که توصیه برای تراکم‌های بالا تنها در شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند مفید باشد و در شرایط تنش، استفاده از تراکم‌های بوته بالا نه تنها مفید نیست بلکه ممکن است نتیجه نامطلوبی را در پی داشته باشد. در این رابطه پیرزاد و همکاران (Pirzad et al., 2011) تراکم بالا، آبیاری زیاد و مصرف زیاد کود را برای دستیابی به عملکرد بالا توصیه نمودند. از طرفی علوی‌فاضل و همکاران (Alavifazel et al., 2010) نیز در آزمایشی نشان دادند که در شرایط محدودیت رطوبتی، حداکثر عملکرد ذرت از تراکم ۴/۵ تا ۵/۵ بوته در مترمربع به دست آمد در حالی که با بهبود شرایط آبیاری، بیشترین عملکرد دانه از تراکم ۵/۵ تا ۶ بوته در مترمربع حاصل می‌شود.

بیشترین عملکرد دانه به تیمار کاربرد ۴ لیتر در هکتار اسید هیومیک و تراکم ۷۵ هزار بوته مربوط بود که با تراکم ۹۰ هزار بوته تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد دانه به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک و تراکم ۶۰ هزار بوته اختصاص یافت (شکل ۲). به‌طور کلی آثار توأم تراکم بوته و اسید هیومیک مثبت بود و موجب افزایش عملکرد دانه گردید. در تراکم‌های پایین به دلیل کاهش تعداد بلال در واحد سطح، عملکرد دانه کمتر بود. با افزایش تراکم و کاربرد بیشتر اسید هیومیک، عملکرد دانه در واحد سطح به دلیل افزایش تعداد بلال در واحد سطح افزایش یافت که با نتایج خادمی و همکاران (Khademi et al., 2017) مطابقت داشت.

کمترین وزن هزار دانه به تراکم ۹۰ هزار بوته تعلق گرفت (جدول ۳). افزایش وزن دانه در تراکم‌های پایین، احتمالاً به دلیل افزایش توان فتوسنتزی گیاه در اثر سایه‌اندازی کمتر و جذب نور بیشتر در این تراکم‌ها است که با نتایج ابوذری و همکاران (Abuzar et al., 2011) در گیاه ذرت مطابقت داشت. در این رابطه صادقی (Sadeghi, 2014) در گیاه ذرت بیان داشت که وزن هزار دانه تحت تأثیر تراکم قرار می‌گیرد و با افزایش تراکم بوته کاهش می‌یابد. وی دلیل این کاهش را وجود رقابت بین بوته‌های برای دسترسی به منابع محیطی بیان نمود. لذا می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش تراکم بوته وزن هزار دانه به دلیل ایجاد رقابت بین بوته‌ها جهت دسترسی به منابع محیطی کاهش یافت. از طرفی نیک‌خواه‌خیبری و همکاران (Nik Khah Khebari et al., 2014) بیان کردند کاهش وزن هزار دانه همراه با افزایش تراکم بوته بدین علت است که کمترین ذخایر ساقه بیش از گرده‌افشانی و کاهش دوام سطح برگ پس از گل‌دهی سبب کاهش وزن هزار دانه در تراکم‌های بالا می‌شود که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر اثرات تنش خشکی، هیومیک اسید و تراکم بوته و اثرات متقابل تنش خشکی و تراکم بوته، تنش خشکی و اسید هیومیک و اسید هیومیک و تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و اثرات متقابل تنش خشکی و اسید هیومیک و تراکم بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه به تیمار آبیاری مطلوب و کمترین عملکرد دانه به تیمار تنش قطع آبیاری در مرحله گل‌تاجی تعلق داشت (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه به‌طور معنی‌دار کاهش یافت، به‌طوری‌که در مقایسه با آبیاری مطلوب عملکرد در تنش قطع آبیاری در مرحله ۶ تا ۸ برگی و تنش قطع آبیاری در مرحله گل‌تاجی به ترتیب به میزان ۲۱/۶ و ۳۶/۸۴ درصد بود. مصرف مقادیر زیاد اسید هیومیک در شرایط آبیاری مطلوب، به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای موجب افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۱۵۴۰/۵ کیلوگرم در هکتار شد (جدول ۴). در این رابطه قربانی و همکاران

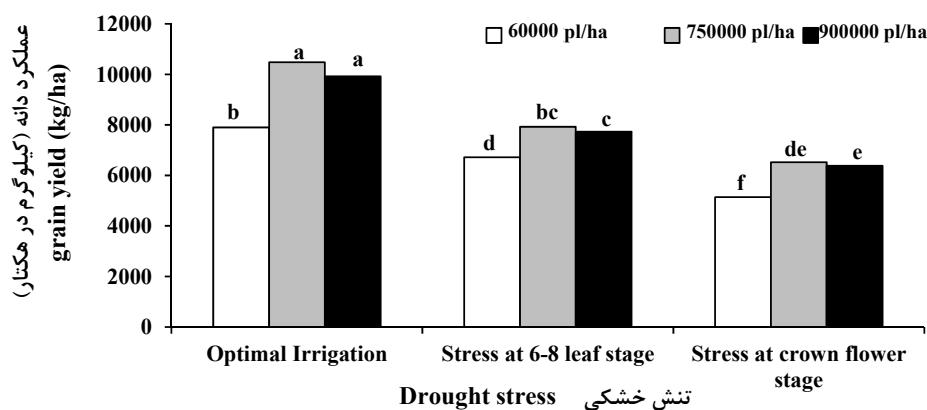
جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات تحت تأثیر تنش خشکی × اسید هیومیک

Table 4. Mean comparison of traits under interaction of drought stress × humic acid

| تنش خشکی Drought stress | اسید هیومیک Humic Acid | عملکرد دانه Grain Yield (kg/ha) | تعداد دانه در بلال Number of kernels | درصد پروتئین Protein percent |
|---|-------------------------------|------------------------------------|---|---------------------------------|
| آبیاری مطلوب Optimal Irrigation | عدم کاربرد Non-application | 7553.38 ^d | 395.1 ^b | 6.97 ^e |
| | 2 L/ha | 9210.38 ^b | 388.77 ^c | 7.63 ^d |
| | 4 L/ha | 11540.5 ^a | 466.43 ^a | 8.93 ^e |
| تنش در مرحله ۶ و ۸ برگی Stress at 6-8 leaf stage | عدم کاربرد Non-application | 6400.84 ^e | 364.65 ^e | 8.29 ^e |
| | 2 L/ha | 7730.45 ^d | 382.86 ^d | 8.60 ^e |
| | 4 L/ha | 8240.31 ^c | 391.4 ^{bc} | 9.24 ^b |
| تنش در مرحله ظهور گل تاجی Stress at crown flower stage | عدم کاربرد Non-application | 5820 ^f | 321.87 ^g | 8.35 ^e |
| | 2 L/ha | 6023.74 ^e | 345.44 ^f | 9.57 ^b |
| | 4 L/ha | 6200.75 ^e | 360.63 ^e | 11.85 ^a |

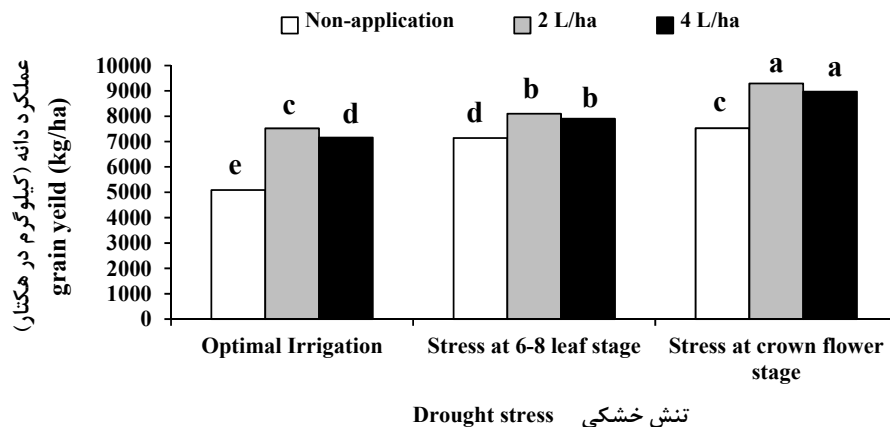
میانگین‌هایی با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level



شکل ۱. اثر متقابل تنش خشکی و تراکم بر عملکرد دانه

Fig. 1. Interaction effects of drought stress and density on grain yield



شکل ۲. اثر متقابل تنش خشکی و اسید هیومیک بر عملکرد دانه

Fig. 2. Interaction effects of drought stress and humic acid on grain yield

غلظت آهن دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر تنش خشکی و اسید هیومیک و تراکم بوته بر غلظت آهن دانه معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت آهن دانه به تیمار آبیاری مطلوب (۱۶۵/۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین غلظت آهن دانه به تیمار تنش قطع آبیاری در مرحله گل تاجی (۱۵۴/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط بود (جدول ۳). غلظت عناصر در دانه با تشدید تنش کم‌آبی کاهش یافت، علت این امر کاهش شدید عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی است که موجب کاهش حجم دانه و در نتیجه افزایش غلظت و کاهش کل جذب عناصر در دانه گردیده است که این نتایج با یافته‌های (Graham and Webb, 1991) مطابقت دارد. گریوز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) گزارش نمودند که هر چه مقدار رطوبت خاک افزایش یابد جذب عناصر ریزمغذی مانند آهن، روی و فسفر بیشتر صورت می‌پذیرد زیرا جذب این عناصر ارتباط نزدیکی با میزان رطوبت قابل دسترس گیاه دارد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. نتایج نشان داد که غلظت آهن دانه با کاربرد ۴ لیتر در هکتار از افزایش معنی‌دار نسبت به عدم کاربرد اسید هیومیک برخوردار بود. بیشترین غلظت آهن دانه متعلق به تیمار ۴ لیتر در هکتار و کمترین غلظت آهن دانه از تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک حاصل گردید (جدول ۳).

اسید هیومیک با دارا بودن میزان زیادی از گروه‌های اسید ضعیف در ساختمان مولکولی خود می‌تواند pH های کلیایی را اصلاح کند. با تعدیل pH توسط مواد هیومیک از رسوب آهن در خاک‌ها جلوگیری شده و با تشکیل هیومات کلسیم مانع از رسوب کردن فسفات کلسیم می‌شود (Karakurt et al., 2009). در این رابطه هرروز و مصصام‌پور (Haroz and Samsampour, 2016) گزارش نمودند که اثر اسید هیومیک بر غلظت عناصر ذکر شده معنی‌دار بود. به طوری که بیشترین میزان فسفر و پتاسیم از تیمار سطح چهارم اسید هیومیک حاصل شد. به طوری که در شرایط تنش می‌توان از اثرات مفید اسید هیومیک در جهت افزایش عناصر غذایی و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه بهره برد. در این تحقیق، غلظت آهن دانه با افزایش تراکم بوته کاهش معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد یافت (جدول ۲). بیشترین غلظت آهن دانه از تراکم ۶۰ هزار بوته و کمترین غلظت آهن دانه از تراکم ۹۰ هزار بوته به دست آمد که با تراکم ۷۵ هزار بوته تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). در این آزمایش تراکم پایین

کاشت موجب ایجاد فضای مناسب برای رشد ریشه‌ها و افزایش تماس آن‌ها با خاک شده که باعث جذب بیشتر آهن می‌شود که در نتیجه آن افزایش غلظت آهن در دانه است. در این رابطه صادقی‌چرودی و همکاران (Sadeghi Charvari et al., 2013) بیان نمودند که بیشترین غلظت آهن از کمترین تراکم بوته حاصل شد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

غلظت روی دانه

غلظت روی دانه تحت تأثیر اثرات تنش خشکی و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد اما اثر تراکم بوته و برهمکنش تنش خشکی و تراکم بوته و تنش خشکی و اسید هیومیک و اسید هیومیک و تراکم بوته و اثرات متقابل تنش خشکی و اسید هیومیک و تراکم بر این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین غلظت روی دانه از تیمار آبیاری مطلوب و کمترین غلظت روی دانه از تیمار تنش قطع آبیاری در مرحله گل تاجی حاصل شد (جدول ۳). غلظت کلیه عناصر در شرایط مطلوب رطوبتی در حد کفایت بوده است، ولی تنش خشکی موجب کاهش غلظت تمام عناصر ضروری فوق شده است. در شرایط تنش کمبود آب به علت محدودیت جذب عنصر روی، میزان این عنصر در دانه کاهش می‌یابد (Rafiee et al., 2004). در واقع کاهش جریان توده‌ای آب ناشی از تنش کمبود آب موجب اختلال در جذب عناصر توسط گیاه می‌گردد. غلظت عناصر در دانه با تشدید تنش خشکی کاهش یافت، علت این امر کاهش شدید عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی است که موجب کاهش حجم دانه و در نتیجه افزایش غلظت و کاهش کل جذب عناصر در دانه گردیده است که این نتایج با یافته‌های (Graham and Webb, 1991) مطابقت داشت. بیشترین غلظت روی دانه متعلق به تیمار ۴ لیتر در هکتار و کمترین غلظت روی دانه از تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک حاصل شد (جدول ۳). اسید هیومیک باعث بهبود فراهمی عناصر غذایی خاص به‌ویژه روی و آهن می‌شود. عامل اصلی افزایش قابلیت جذب روی در نتیجه مصرف کود آلی، تشکیل کمپلکس‌های آلی گزارش شده است (Cavani et al., 2003)؛ بنابراین احتمالاً در این آزمایش با مصرف هیومیک، کمپلکس آلی روی تشکیل شده و اسید هیومیک نیز باعث افزایش فراهمی محتوای روی قابل جذب شده است. بر طبق گزارش‌های خرم قهفرخی و همکاران (Khoram

هزار بوته به دست آمد (جدول ۳). با توجه به اینکه فسفر یک عنصر غیرمتحرک در خاک است و در اثر تراکم رشد و گسترش ریشه گیاهان محدود می‌شود در نتیجه میزان جذب فسفر توسط گیاه به شدت کاهش می‌یابد؛ اما تراکم پایین کاشت موجب ایجاد فضای مناسب برای رشد ریشه‌ها و افزایش تماس آن‌ها با خاک شده که باعث جذب بیشتر فسفر می‌شود که در نتیجه آن افزایش میزان فسفر در دانه است (Arvidsson, 1997). در این رابطه صادقی‌چرودی و همکاران (Sadeghi Charvari et al., 2013) گزارش نمودند که جذب فسفر بیشتر به دلیل رقابت کمتر در بین گیاهان برای به دست آوردن مواد غذایی مورد نیاز آن‌ها است که نتایج این تحقیق را تأیید نمود. بر اساس یافته‌های شهرآئینی و همکاران (Shahraeni et al., 2011) تراکم تأثیر معنی‌داری بر مقدار فسفر در دانه گندم (احتمال یک درصد) داشته است، به طوری که با افزایش تراکم توانایی جذب فسفر توسط دانه گندم کاهش یافته است که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

میزان پروتئین دانه

پروتئین دانه تحت تأثیر اثرات تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و اسید هیومیک و اثر متقابل تنش خشکی و اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

در این تحقیق مصرف مقادیر بالای اسید هیومیک در شرایط تنش قطع آبیاری در مرحله گل‌تاجی، موجب افزایش پروتئین دانه به میزان ۱۱/۸۵ درصد شد (جدول ۴). این افزایش به دلیل بهبود ساختمان خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، تهویه خوب و زهکشی مناسب است که رشد ریشه را گسترش داده و جذب مواد غذایی را ارتقا می‌دهد (Saleh et al., 2003). در رابطه با افزایش پروتئین با محلول‌پاشی اسید هیومیک می‌توان گفت، اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری غشای سلول‌های ریشه، جذب و انتقال نیترژن را بهبود بخشیده و باعث افزایش میزان پروتئین موجود در گیاه می‌شود (Ayman et al., 2009). دانیل و تریبوی (Daniel and Triboi, 2008) در آزمایش‌های جداگانه بر روی ذرت و گندم به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شرایط مطلوب آبیاری گردید، آن‌ها دلیل این امر را کاهش انتقال مواد فتوسنتزی اعلام نمودند که باعث کاهش

میزان روی در گیاه تحت تأثیر اثر اسید هیومیک قرار گرفت. به طوری که بیشترین میزان روی از تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم اسید هیومیک و کمترین از تیمار شاهد به دست آمد. از طرفی تیموری و همکاران (Timori et al., 2015) گزارش نمودند که کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش میزان غلظت روی دانه گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

غلظت فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که غلظت فسفر دانه تحت تأثیر اثرات تنش خشکی و تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین غلظت فسفر دانه به تیمار آبیاری مطلوب (۰/۳۹ درصد) و کمترین غلظت فسفر دانه به تیمار تنش قطع آبیاری در مرحله گل‌تاجی (۰/۲۹ درصد) اختصاص یافت (جدول ۳). در این تحقیق غلظت فسفر دانه در شرایط مطلوب رطوبتی در حد کفایت بوده است اما کاهش جریان توده‌ای آب ناشی از تنش کمبود آب موجب اختلال در جذب عناصر توسط گیاه گردید. علت این امر کاهش شدید عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی است که موجب کوچک شدن مخزن فیزیولوژیک عناصر (دانه) و در نتیجه کاهش جذب عناصر در دانه گردیده (Rafiee et al., 2004). بر طبق اظهارات گریوز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) هر چه مقدار رطوبت خاک افزایش یابد جذب عناصر ریزمغذی مانند روی و فسفر بیشتر صورت می‌پذیرد زیرا جذب این عناصر ارتباط نزدیکی با میزان رطوبت قابل دسترس گیاه دارد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. از طرفی نمازی و نادیان (Namazi and Nadiyan, 2017) گزارش نمودند که با افزایش تنش خشکی جذب عنصر فسفر در گیاه ذرت کاهش یافت. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، محتوای فسفر دانه تحت تأثیر کاربرد هیومیک اسید قرار نگرفت (جدول ۲). مهم‌ترین دلیل کاهش انباشت فسفر را می‌توان به علت وجود اثرات متقابل و آنتاگونیستی بین جذب فسفر و اسید هیومیک دانست (Haghighi and Kafi, 2010). تراکم بوته تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) بر مقدار فسفر دانه ذرت داشته است (جدول ۲)، به طوری که با افزایش تراکم مقدار فسفر دانه ذرت کاهش یافته است. بیشترین میزان فسفر دانه به میزان ۰/۳۸ درصد از تراکم ۶۰ هزار بوته و کمترین میزان فسفر دانه به میزان ۰/۲۷ درصد از تراکم ۹۰

جذب و افزایش هدرروی کود اسید هیومیک ناشی از کمبود آب در خاک موجب کاهش تأثیر مثبت افزایش اسید هیومیک بر افزایش عملکرد دانه گردید. تحت این شرایط استفاده از تراکم خیلی زیاد نه تنها عملکرد را افزایش نداد بلکه باعث کاهش کلیه صفات نیز شد؛ بنابراین رویکرد استفاده از کودهایی با منشأ آلی و طبیعی همانند محلول پاشی اسید هیومیک، علاوه بر افزایش عملکرد می‌تواند در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و همچنین آلودگی محیط زیست نقش مثبتی را ایفا کند بنابراین، به عنوان ماده‌ای با منبع طبیعی می‌تواند در جهت پایداری و افزایش تولید محصولات زراعی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به عدم مشاهده اثرات سوء اسید هیومیک بر گیاه و افزایش عملکرد کمی و جذب عناصر، 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 محلول پاشی اسید هیومیک به میزان ۴ لیتر در هکتار روی این گیاه انجام گیرد.

نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود و از آنجائی که درصد پروتئین در پوسته و جنین نسبت به آندوسپرم نشاسته‌ای بیشتر است لذا درصد پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. نتایج تأثیر مثبت اسید هیومیک در شرایط آبیاری بر میزان پروتئین دانه توسط سایر محققین (El-Bassiony et al., 2010; Nakhzari, Moghadam et al., 2017) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

در مجموع نتایج به دست آمده نشان داد آبیاری علاوه بر اطمینان بیشتر و سطح بالاتر عملکرد، استفاده کاراتر از نهاده‌های با ارزش نظیر کود اسید هیومیک را نیز ممکن می‌سازد. در شرایط مطلوب رطوبتی افزایش مقادیر اسید هیومیک با افزایش معنی‌دار عملکرد همراه بود و افزایش تراکم تا سطح متوسط (۷۵ هزار بوته) تأثیر بسیار مثبتی بر عملکرد دانه داشت. در شرایط تنش خشکی در مرحله گل‌تاجی، کاهش

منابع

- Abuzar, M.R., Sadozai, G.U., Baloch, M.S., Baloch, A.A., Shah, I.H., Hussain, N., 2011. Effect of plant population densities on yield of maize. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 21, 692-695.
- Afarinesh, A., Fathi, Gh., Chogan, R., Siadat, A., Alami Said, Kh., Ashrafzadeh, S., 2015. Evaluation of drought stress and soil density on some agronomic characteristics of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Production*. 38, 13-24.
- Ahmadpour, A.R., Farhadi Bansouleh, B., Ghobadi, M., 2017. Effects of deficit irrigation on growth trend, quantity and quality characteristics of maize in Kermanshah. *Journal Water and Soil Resources Conservation*. 6, 99-112. [In Persian with English summary].
- Alavifazel, M., Naderi, A., Emam, Y., Ayeneh Band, A., Lak, SH., 2010. Analysis of traits path effective on grain yield of maize hybrid single cross 704 in irrigation-off conditions at growth stages, pattern and plant density. *Crop Physiology*. 3, 3-19. [In Persian with English summary].
- Andrade, F.H., Uhart, S.A., and Frugone, M.I., 1993. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. *Crop Science*. 33, 482-485.
- Anwar, Sh., Iqbal, F., Khattak, W.A., Islam, M., Iqbal, B., and Khan, Sh., 2016. Response of Wheat Crop to Humic Acid and Nitrogen Levels. *EC Agriculture*. 3, 558-565.
- Arumend, T., Abbasi, M.K., and Rafiqe, E., 2015. Effect of lignite-derived humic acid on some selected soil properties, growth and nutrient uptake of wheat grown under greenhouse conditions. *Pakistan Journal of Botany*. 47, 2231-2238.
- Arvidsson, J., 1997. Nutrient uptake in compacted soil in field and laboratory experiments. PhD Thesis. *Soil Compaction in Agriculture-From Soil stress to Plant stress*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. Paper 7
- Ayman, M., Kamar, M., Khalid, M., 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clay soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3, 731-739.

- Azeri Nasrabadi, A., Attardi, B., 2007. Final report on the effects of different irrigation water on the yield of two forage sorghum cultivars. Institute of Soil and Water Research. 15p. [In Persian].
- Cavani, L., Ciavatta, C., Gessa, C., 2003. Identification of organic matter from peat, Leonardite and lignite fertilizers using humification parameters and electrofocusing. *Bioresource Technology*. 86, 45-52.
- Chakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89, 1-16.
- Chaudhary, H.K., Kaila, V., Rather, S.A., 2014. Maize. In: Pratap, A., Kumar, J., (eds.), *Alien Gene Transfer in Crop Plants: Achievements and Impacts*, Springer, New York, USA.
- Daniel, C., Triboni, E., 2008. Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperature and water stress. *European Journal of Agronomy*. 16, 1-12.
- Delfino, S., Tognetti, R., Desiderio, E., Alvino, A., 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*. 25, 183-191.
- El-Bassiony, A.M., Fawzy, Z.F., Abd El-Baky, M. M.H., Mahmoud Asmaa. R., 2010. Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. *Research Agricultural and Biological Science, INSInet Publication*. 6, 169-175.
- Emami, A., 1996. Methods of plant analysis. *Journal of Research Organ Education and Agricultural Extension*. 982, 11-28.
- FAO., 2014. *Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations*. FAO, Rome.
- Ghorbani, S.H., Khazaei, R., Kaafi, M., Banayan, A., 2010. Effect of humic acid application in irrigation water on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Ecology*. 2, 123-131. [In Persian with English summary].
- Graham, D.R., Webb, M.J., 1991. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M., and Welch R.M. (Eds.), *Micronutrients in Agriculture*, 2nd ed. Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA, pp. 329-370.
- Greaves, G.E., Wang, Y., 2017. Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. *Plant Production Science*. 20, 353-365.
- Haghighi, M., Kafi, M., 2010. Effect of humic acid on cadmium, nitrate and nitrate reductase enzyme activity in lettuce. *Journal of Horticultural Sciences*. 24, 53-58.
- Haroz, M., Samsampour, D., 2016. The effect of humic acid on the concentration of some nutrients in the leaves and petals of marigold in drought conditions. The first National Conference on Advances in Biological and Agricultural Sciences, May 21, 2015. Zabol University. [In Persian].
- Jones, J., Wolf, B., Mills, H. A., 1991. *Plant Analysis Handbook, Micro-macro*. Publishing, Inc, Athens, GA.
- Karakurt, Y., Unlu, H., Padem, H., 2009. The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of pepper. *Plant Soil Science*. 59, 233-237.
- Keyhani, A., 2017. Effects of plant density and sowing season spring and summer on quantitative characteristics and yield of corn. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 47, 575-583. [In Persian with English summary].
- Khademi, H., Sadat Asilan, K., 2017. The effect of application of humic acid and plant density on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). Sixth Global Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources, Tehran, center solutions to achieve sustainable development. Educational institute of Mehr Arvand. 7 pages.
- Khodarahmpour, Z., 2011. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) on yield and yield components in corn (*Zea mays* L.) hybrids. *African Journal of Biotechnology*. 10, 18222-18227.
- Khoram Ghahfarokhi, A., Rahimi, A., Torabi, B., Maddah Hosseini, Sh., 2015. Effect of humic acid application and foliar spraying of compost tea and vermivash on nutrient absorption and chlorophyll content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Oil Plants Production*. 2, 71-84. [In Persian with English summary].
- Nakhzari Moghadam, A., Parsa, N., Sabori, H., Bakhtiari, S., 2017. The effect of humic acid, density and supplemental irrigation on

- quantitative and qualitative characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) local Nishapur. Environmental Stresses in Crop Sciences. 10, 183-192. [In Persian with English summary].
- Namazi, L., Nadiyan, H., 2017. Effect of drought stress on nutrient uptake by corn mycorrhizal and Ghymykvryzayy different concentrations of phosphorus in the soil, the International Conference on Engineering and Information Technology, Amarat- Dubai, Culture and Technology Research Institute of Culture and Art.
- Nik Khah Khebari, M., Khavari Khorasani, S., Taheri, G.H., 2014. Effects of plant density and variety on some of morphological traits, yield and yield components of baby corn (*Zea mays* L.). International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 3, 200-214.
- Osborne, S.L., Scheppers, J.S., Francis, D.D., Schlemmer, M.R., 2002. Use of spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. Crop Science. 42, 165-171.
- Pirzad, A., Shakiba, M.R., Zehtab- Salmasi, S., Mohammadi, S.A., 2011. Effects of irrigation Regime and Plant Density on Essential Oil Composition of German Chamomile (*Matricaria chamomilla*). Journal of Herbs Spices and Medicinal Plants. 2, 107-118.
- Rafiee, M., Nadian, H., Normohammadi, Gh., Karimi, M., 2004 Effects of drought stress and zinc and phosphorus on total concentration and concentration of elements in corn. Journal of Agricultural Science of Iran. 35, 235-243. [In Persian with English summary].
- Sadeghi Charvari, M.F., Mortazavi, S.N., 2013. Effect of cultivar, plant density and spraying of nutrients on quantitative and qualitative characteristics of flowers, onions and after harvesting of liliium cut flowers. Journal of Horticultural Science. 26, 262-255. [In Persian with English summary].
- Sadeghi, M., 2014. The determination of plant density on dry matter accumulation, grain yield and yield components of four maize hybrids, International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 5, 109-114.
- Saleh, A.L., Abd El-Kader, A.A., Hegab, S.A.M., 2003. Response of onion to organic fertilizer under irrigation with saline water. Egypt Journal of Applied Science. 18, 707-716.
- Sarlangue, T., Andrade, F. H., Calvino, P. A., 2009. Why do maize hybrids respond differently to variation in plant density? Agronomy Journal. 99, 984-991.
- Sayadi Maazou, A.D, Tu, J., Qiu, J., Liu, Z., 2016. Breeding for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). American Journal of Plant Sciences. 7, 1858-1870.
- Shahraeni, A., Shabanpour, M., Saadat, S., 2011. Effect of salinity and soil concentration on wheat nitrogen, phosphorus and potassium absorption. Journal of Soil Research. 25, 279-285.
- Timori, N., Heidari, Gh. R., Hossein Panahi, F., Sohrabi, Y., 2015. Effect of iron and humic acid solution on grain yield and grain quality of different Sardari wheat ecotypes. PhD Thesis. The University of Kordestan. Sanandaj, Iran. [In Persian].
- Von Braun, J., Byerlee, D., Chartres, C., Lumpkin, T., Olembo, N., Waage, J.J., 2010. A Draft Strategy and Results Framework for the CGIAR. World Bank, CGIAR, Washington DC, USA.
- Zhou, L., Monreal, C., Xu, Sh., McLaughlin, N., Zhang, H., Hao, G., Liu, J., 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.



Original Article

The effect of density and foliar application of humic acid on quantitative yield and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) under drought stress conditions

S. Kiani^{1,2}, M. Mojaddam^{2*}, Sh. Lak², M. Alavi Fazel², A. Shokuhfar²

1. Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2. Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Received 24 January 2019; Accepted 30 March 2019

Abstract

Environmental stresses such as drought stress are one of the main obstacles in the production of crops in many parts of the world, especially in arid and semi-arid regions such as Iran. Therefore, in order to evaluate the effect of acidic solution in drought stress conditions on grain yield and absorption of corn grain in different plant densities, an experiment a split plot experiment was carried out in a randomized complete block design in three replications during 2015-2016 and 2016-2017 cropping years. The main factor was drought stress with three levels (optimal irrigation, irrigation cut off stage 6 to 8 leaf and irrigation cut off at crown stage). Subplots with three levels of foliar application of humic acid (control treatment (no humic acid), 2 and 4 liters per hectare humic acid) and sub-subplots including three plant densities (60, 75 and 90 thousand plants per hectare). The results of combined analysis of variance showed that the effect of drought stress and humic acid on grain yield, 1000 seed weight, number of seeds per ear, zinc concentration, iron concentration and protein content were significant. In drought stress conditions, grain yield and nutrient uptake, such as iron, zinc and phosphorus, decreased but the protein content increased. The highest grain yield (9580 kg.ha⁻¹) was related to irrigation. Humic acid spraying increased seed yield, zinc concentration and grain iron content. With increasing water deficit in soil, the effect of humic acid application on seed yield significantly decreased. Grain yield and protein percentage had a positive correlation with increasing plant density. In general, the results of the experiment indicate that application of 4 liters per hectare of humic acid at a density of 75 thousand plants under suitable moisture conditions can increase the absorption of the elements, grain yield and yield components of maize and, in general, improve the production of corn.

Keywords: Grain protein, Grain yield, Humic acid, Optimal irrigation, Plant density.

*Correspondent author: Mani Mojaddam; E-Mail: manimojaddam@yahoo.com.