پژوهش‌های خاک / ب / جلد ۳۷ / شماره ۲ تابستان/ ۱۴۰۲/ص۱۱۷-۱۳۱
dx.doi.org/10.22092/ijsr.2023.360699.689

اثر برگ‌پاشی عناصر روی و آهن بر عملکرد ذرت دانه‌ای و توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط تنش آبی

مجتبی افشاری* و احمد نادری

گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران؛ گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
afshari.sci@gmail.com
دانشیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
naderi.ah1336@gmail.com

«مقاله پژوهشی»
دریافت:۱۴۰۱/۹/۱۲ و پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۷

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر آهن و روی بر عملکرد ذرت دانه‌ای و سهم فتوسنتز جاری و توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط تنش آب، این پژوهش طی دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۷) در مزرعه پژوهشی واقع در شمال غرب اهواز به اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل عامل تنش آبی در سه سطح شامل آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه، و کرت‌های فرعی شامل برگ‌پاشی سولفات روی در سه غلظت (۰، ۰/۵٪ و ۱٪) و کرت‌های فرعی شامل برگ‌پاشی سولفات آهن در سه غلظت (۰، ۰/۳٪ و ۰/۶٪) بود. نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه باعث کاهش معنی‌دار (P<%1) عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، میزان فتوسنتز جاری و سهم فتوسنتز جاری شد؛ اما میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای در این تیمار بیشترین میزان بود. وزن هزار دانه در تیمار قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه نسبت به آبیاری کامل ۲۶/۹٪ کاهش داشت. بیشترین عملکرد بیولوژیک و سهم فتوسنتز جاری با برگ‌پاشی سولفات آهن حاصل شد. برگ‌پاشی با غلظت ۱٪ سولفات روی در تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی به‌صورت معنی‌دار منجر به افزایش ۳۳/۷٪ عملکرد دانه، ۷/۶ ٪ سهم فتوسنتز جاری و کاهش سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای گردید. بیشترین عملکردهای دانه (۷۰۶۲ کیلوگرم در هکتار و ۶۷۳۵ کیلوگرم در هکتار) و میزان فتوسنتز جاری (۵۳۶/۶ گرم در مترمربع) در برگ‌پاشی با غلظت ۱٪ سولفات روی و ۰/۶٪ سولفات آهن حاصل گردید. به‌طورکلی، تنش آب منجر به کاهش سهم فتوسنتز جاری و در نتیجه کاهش عملکرد دانه هیبرید ۷۰۴ ذرت گردید که این کاهش را می‌توان با برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱٪ و سولفات آهن با غلظت ۰/۶٪ تا حدودی جبران نمود.

واژه‌های کلیدی: آسیمیلات، سولفات آهن، سولفات روی، فتوسنتز جاری، تنش آب

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول:afshari.sci@gmail.com

مقدمه

ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که اهمیت زیادی در تغذیه انسان، دام، طیور و صنعت دارد. سهم ذرت در تأمین غذای انسان ۲۰ تا ۲۵ درصد، در خوراک دام و طیور ۶۰ تا ۷۵ درصد و در ماده اولیه فرآورده‌های صنعتی پنج درصد است. نیاز کشور به ذرت حدود ۳/۷ تا چهار میلیون تن در سال است که ۲/۲ میلیون تن در داخل تولید می‌شود و حدود ۱/۵ میلیون تن از طریق واردات تأمین می‌شود (معیری، ۱۳۹۹).

تنش آب یک عامل محدودکننده رشد و تولید در بیش از ۳۰ درصد مناطق زیر کشت در دنیا است (صبوری و همکاران، ۲۰۱۸). علت کاهش عملکرد دانه ذرت در شرایط نامطلوب آبی، کاهش اجزای عملکرد یعنی تعداد دانه در بلال و وزن دانه است. مصادف شدن مراحل تعیین‌کننده تعداد دانه با کم‌آبی، تأخیر در گرده‌افشانی و ظهور ابریشم، افزایش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم (سوزا و همکاران، ۲۰۱۳)، کاهش توانایی پخش دانه‌های گرده، کم شدن قدرت پذیرش ابریشم‌ها برای دانه گرده، افزایش احتمال سقط تخمک‌های بارورشده به دلیل عدم دسترسی به مواد پرورده کافی، کاهش ذخیره مواد فتوسنتزی در بافت ساقه، کاهش انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها و کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه (جی و همکاران، ۲۰۱۲)، عواملی هستند که برای کاهش تعداد دانه‌ها در ذرت در اثر تنش آب است. در شرایط دشوار محیطی مقدار و سرعت انتقال مواد ذخیره‌ای یا آسیمیلات‌های حاصل از فتوسنتز به‌سرعت پاسخ گیاه و دریافت محرک‌های محیطی، کارایی سیستم آنزیمی هورمونی و آوندی گیاه بستگی داشته و برآیند برهم‌کنش این عوامل از طریق سرعت و مدت پر شدن دانه نقش کلیدی در پایداری عملکرد دانه ایفا می‌نماید (دوس سانتوس و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به اینکه دسترسی عناصر غذایی و جذب آن‌ها در محیط ریشه، تحت تنش آبی محدود می‌شود، بنابراین اخیراً برگ‌پاشی عناصر غذایی موردتوجه قرارگرفته است (پاروایز، ۲۰۱۶).

روی یک عنصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است. عنصر روی در فعالیت‌های آنزیم‌های گیاهی و بر ویژگی-های مختلف رشد ذرت نقش اساسی دارد و بروز ضعف عمومی در رشد و ایجاد پاکوتاهی از علائم کمبود این عنصر است (راکر و همکاران، ۲۰۱۳). اگرچه نیاز گیاهان به روی اندک است، ولی اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سامانه‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی رنج خواهند برد (جرفی و همکاران، ۲۰۲۲a). در یک مطالعه، بررسی اثر برهم‌کنش کاربرد سولفات روی و روش‌های آبیاری در ذرت نشان داد که کاربرد سولفات روی در مرحله ۷ و ۱۱ برگی باعث کاهش افت عملکرد حاصل از تنش ۱۵ و ۲۰ روز دور آبیاری گردید (فرنیا و خدایی‌وندی، ۲۰۱۵). همچنین در آزمایشی دیگر، برگ-پاشی سولفات روی در دو مرحله ۵ و ۱۰ برگی باعث افزایش شاخص‌های عملکرد و رشد در ذرت دانه‌ای گردید (ساندرز و شاو، ۲۰۱۴). کمبود آهن از دیگر اختلالات تغذیه‌ای شایع در بین گیاهان عالی که در خاک‌های آهکی و قلیایی رشد می‌کنند، است، زیرا دامنه مطلوب pH در جذب آهن خاک حدود ۵ تا ۵/۵ است (بوجویک و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین، اصلاح کمبود آهن در خاک‌های آهکی از طریق برگ‌پاشی سولفات آهن یا برگ‌پاشی کلات آهن می‌تواند کاراتر از کاربرد خاکی کودهای حاوی آهن باشد (ژائو و همکاران، ۲۰۲۱). در یک بررسی، افزایش دور آبیاری از ۷ روز به ۲۱ روز منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال و عملکرد بیولوژیک شد و برگ‌پاشی آهن و روی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال و عملکرد بیولوژیکی گردید. همچنین، بالاترین وزن صد دانه و عملکرد دانه در شرایط عدم تنش (دور آبیاری هر هفت روز یک‌بار) و همراه با برگ‌پاشی آهن و روی حاصل شد (فرنیا و خدایی‌وندی، ۲۰۱۵). نظر به جایگاه ارزشمند عناصر کم‌مصرف در کنترل آثار نامطلوب تنش-های محیطی و نیز اهمیت بررسی سهم فتوسنتز جاری و

توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط تنش آب، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر کاربرد عناصر آهن و روی بر سهم فتوسنتز جاری و توزیع مجدد مواد فتوسنتزی هیبرید ۷۰۴ ذرت در شرایط تنش رطوبتی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر آهن و روی بر عملکرد دانه و سهم فتوسنتز جاری و توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در ذرت دانه‌ای در شرایط تنش آب، این پژوهش طی دو سال زراعی (۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹) در مزرعه آزمایشی شهید سالمی واقع در شمال غرب اهواز به اجرا درآمد. محل آزمایش واقع در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا بود. بر اساس طبقه‌بندی دامارتن که متکی به دو متغیر میانگین بارندگی و میانگین دما است، شهرستان اهواز در گروه اقلیم خشک (Arid climate) قرار دارد. اقلیم خشک برای مناطقی به کار می‌رود که میزان ریزش‌های جوی در آنجا کم‌تر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال باشد و یا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بیش از بارش باشد (ثابت‌قدم حقیقی، ۱۳۹۱).

آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل عامل تنش کم‌آبی در سه سطح شامل آبیاری کامل (شاهد) (بر اساس تأمین نیاز آبی گیاه با استفاده از داده‌های تشت تبخیر کلاس A)، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (۱۴-۱۲ برگی) و قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه، کرت‌های فرعی دربرگیرنده برگ‌پاشی سولفات روی در سه غلظت (۰، ۵ در هزار (۰/۵ درصد) و ۱۰ در هزار (یک درصد)) و کرت‌های فرعی فرعی شامل برگ‌پاشی سولفات آهن در سه غلظت (۰، ۳ در هزار (۰/۳ درصد) و شش در هزار (۰/۶ درصد)) بودند. اعمال تیمار تنش آب مختص به مراحل رشد رویشی و ابتدای رشد دانه بوده و پس‌ازآن تا پایان دوره رشد، نیاز آبی گیاه تأمین شد. قبل از کشت، جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام گرفت که نتایج آن در جدول شماره یک ارائه‌شده است. رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک قطعه آزمایشی به ترتیب ۲۳/۴ و ۱۲/۷ درصد جرمی بود. هر کرت شامل شش خط کاشت به فواصل ۷۵ سانتی‌متر و به طول هفت متر بود. کودهای شیمیایی شامل نیتروژن خالص به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره بوده که نیمی از آن به‌صورت پایه و نیمی دیگر به‌صورت سرک در مرحله شش تا هشت برگی استفاده شد. همچنین به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌صورت پیش‌کاشت استفاده گردید (دهقانپور، ۱۳۹۳).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه آزمایشی در سال ۱۳۹۷

عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	کربن آلی (درصد)	pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰-۳۰	لومی رسی	۰/۷۶	۷/۴	۲/۵	۰/۰۵	۷/۲	۲۶۴	۰/۴۴	۱۰/۱
۳۰-۶۰	لومی رسی	۰/۵۲	۷/۷	۱/۲	۰/۰۴	۶/۴	۲۱۷	۰/۳۰	۹/۸

در این پژوهش از بذر ذرت هیبرید ۷۰۴ که ازجمله هیبریدهای میان‌رس است، استفاده گردید. این هیبرید باقدرت سازگاری بسیار خوب است و در سطح وسیعی از شرایط آب و هوایی کشت می‌گردد. فرم دانه آن دندان اسبی، رنگ‌دانه زرد و رنگ چوب بلال قرمز است. این هیبرید در طبقه‌بندی سازمان فائو در گروه ۷۰۰ قرار می‌گیرد و زمان لازم از کاشت تا برداشت آن حدود ۱۴۰-۱۳۵ روز است (جرفی، ۱۳۹۲). کشت بذر به‌صورت ردیفی

در دو سال زراعی در پنجم مردادماه صورت گرفت. بذرها به‌صورت کپه‌ای در عمق ۵-۳ سانتی‌متری کشت شدند. بوته‌های اضافی در مرحله ۴-۲ برگی تنک گردید. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد و سپس تا مرحله استقرار کامل گیاهچه‌ها (چهار تا پنج برگی) آبیاری‌ها به‌صورت معمول و بر اساس نیاز آبی گیاه و با استفاده از داده‌های تشت تبخیر کلاس A انجام گرفت. دور آبیاری در ابتدای دوره رشدی و مرحله رشد رویشی هر ۵-۳ روز یک‌بار بود. پس از گلدهی و آغاز دانه‌بندی، هر ۱۰ روز یک‌بار بر اساس شرایط آب و هوایی و نیاز آبی گیاه (داده‌های حاصل از تشت تبخیر کلاس A) آبیاری صورت گرفت. تیمارهای مربوط به تنش آب شامل قطع یک مرحله‌ای آبیاری در مرحله رشد رویشی (۱۴-۱۲ برگی) و قطع یک مرحله‌ای آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه بود. تعداد آبیاری در تیمار آبیاری کامل (شاهد) ۱۲ مرتبه بود و در هریک از تیمارهای قطع آبیاری ۱۱ مرتبه آبیاری از ابتدا تا پایان دوره رشدی آبیاری انجام شد. در طول دوره رشد مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و کنترل شیمیایی با علف‌کش نیکوسولفورون با غلظت ۲ لیتر در هکتار انجام شد. برگ‌پاشی هر یک از عناصر آهن و روی با غلظت‌های تعیین‌شده با استفاده از سم‌پاش بعد از کالیبره کردن با فشار یک اتمسفر در دو زمان در مرحله شش تا هشت برگی و در مرحله دوازده برگی انجام گردید. برگ-پاشی عناصر آهن و روی به‌صورت جداگانه و از منابع سولفات آهن ($FeSO_4.7H_2O$) و سولفات روی ($ZnSO_4.\ 7H_2O$) بود. برداشت نهایی پس از رسیدگی فیزیولوژیکی و با رطوبت دانه حدود ۲۰ درصد انجام شد.

صفات موردبررسی در این آزمایش شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای، میزان فتوسنتز جاری، سهم فتوسنتز جاری و سهم توزیع مجدد مواد فتوسنتزی بود. پس از حذف دو خط حاشیه هر کرت، از خطوط وسط جهت مقایسه عملکرد به‌صورت کف بر برداشت گردید. پس از جداسازی دانه‌ها از بلال‌های هر کرت آزمایشی، دانه‌های برداشت‌شده با ترازوی دقیق توزین شده و به‌این‌ترتیب عملکرد دانه محاسبه گردید (توکلی اوجانی و همکاران، ۱۳۹۸). برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه از هر کرت دو نمونه ۵۰۰ عددی بذر به‌صورت تصادفی انتخاب شد. پس از محاسبه، درصورتی‌که اختلاف دو نمونه کم‌تر از ۶ درصد بود، مجموع وزن هزار دانه دو نمونه به‌عنوان مقادیر این صفت برای آن کرت در نظر گرفته شد. شمارش دانه‌ها با دست و محاسبه وزن نمونه‌ها از طریق ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم بود (کوچک زاده و همکاران، ۱۳۹۷). جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از محاسبه وزن خشک برگ و ساقه با تجمیع آن‌ها با وزن خشک دانه میزان عملکرد بیولوژیک هر کرت تعیین شد. میزان و سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای و فتوسنتز جاری با استفاده از روابط زیر به دست آمد (علوی فاضل، ۱۳۹۴). بر این اساس هفت روز پس از ابریشم‌دهی، از هر کرت، پس از حذف حواشی، پنج بوته برداشت و وزن خشک کل آن‌ها محاسبه گردید. در پایان دوره رشدی نیز عملکرد دانه و وزن خشک اندام-های رویشی محاسبه شد.

رابطه ۱-

میزان توزیع مجدد = وزن خشک اندام های رویشی در ابتدای قهوه ای شدن ابریشم ها − وزن خشک اندام های رویشی در مرحله رسیدگی

رابطه ۲-

سهم توزیع مجدد مواد ذخیره ای در دانه = (توزیع مجدد مواد ذخیره ای ÷ عملکرد دانه) × 100

رابطه ۳-

میزان فتوسنتز جاری = عملکرد دانه − میزان توزیع مجدد

رابطه ۴-

$$\text{سهم توزیع مجدد مواد ذخیره ای} - 100 = \text{سهم فتوسنتز جاری} \left(\text{درصد}\right)$$

در روابط فوق عملکرد دانه، میزان فتوسنتز جاری و توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای، وزن خشک اندام‌های رویشی در ابتدای قهوه‌ای شدن ابریشم‌ها و در مرحله رسیدگی برحسب گرم در مترمربع و سهم فتوسنتز جاری و توزیع مجدد برحسب درصد محاسبه گردید. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این بررسی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (Ver. 9.12) اندازه‌گیری و مقایسه میانگین تیمارها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد محاسبه گردید.

نتایج و بحث

قبل از تجزیه مرکب داده‌های دو سال، آزمون بارتلت انجام شد. بر اساس نتایج آزمون بارتلت، واریانس صفاتی نظیر عملکرد بیولوژیکی و سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای همگن نبودند؛ بنابراین تجزیه واریانس این صفات به‌صورت جداگانه در هرسال انجام شد. برای صفاتی نظیر عملکرد دانه، میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای، میزان فتوسنتز جاری و سهم فتوسنتز جاری به علت همگن بودن واریانس‌ها، تجزیه مرکب صورت گرفت.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب (جدول ۲) نشان داد عملکرد دانه تحت تأثیر اثر تنش آب (S)، برگ‌پاشی سولفات روی (Zn) و برگ‌پاشی سولفات آهن (Fe) و اثر متقابل S×Zn، Zn×Y و Zn×Fe در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل S×Fe در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت.

برگ‌پاشی سولفات روی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردید. غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه را نسبت به غلظت پنج در هزار سولفات روی افزایش داد. بیشترین مقادیر این صفت در آبیاری کامل با برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار (۷۰۶۲/۰۳ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید که نسبت به عدم برگ‌پاشی در همین شرایط آبیاری میزان عملکرد دانه ۳۲/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه مرکب صفات فیزیولوژیکی و عملکردی هیبرید ذرت ۷۰۴

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای	میزان فتوسنتز جاری	سهم فتوسنتز جاری
سال (Y)	۱	۱۰۹۷۵/۶۶ ns	۱۸۸۶/۳۴ ns	۲۴۵/۲۵ ns	۶۸۳/۱۶ ns	۱۵/۹۲ ns
تکرار ×سال	۴	۱۸۰۷۰۰/۴۸	۳۵۶/۵۹	۱۵۹/۷۶	۱۲۶۴/۶۲	۱/۱
تنش آب (S)	۲	۴۳۹۵۰۵۶۰/۶۲ **	۶۱۲۵۲/۹۹ **	۵۸۱۵۴/۶۶ **	۵۲۳۳۱۸/۷۸ **	۴۱۹۷/۲۵ **
S×Y	۲	۹۳۰۶۵۸/۱۲ **	۱۱/۲۴ ns	۶۶/۴۹ ns	۸۰۷۱/۴۲ *	۱۱/۲ ns
خطای اصلی	۸	۱۰۸۴۵۳/۰۹	۵۵/۱۱	۵۴/۸	۱۲۳۰/۳۲	۶/۷۱
عنصر روی (Zn)	۲	۴۹۲۲۴۳۹۱/۳۶ **	۲۲۷۱/۶۱ **	۲۵۶/۳۹ ns	۴۷۰۰۹۴/۳۵ **	۱۰۷۵/۲۳۳ **
S×Zn	۴	۴۰۲۱۵۳/۴ **	۱۲۲/۸۱ ns	۳/۷۱ ns	۳۸۰۶/۱۷ **	۸۴/۵۷ **
Zn× Y	۲	۷۲۳۸۷۵/۲۹ **	۲/۳۹ ns	۱۱/۶۱ ns	۷۱۲۲/۷۸ **	۱۷/۴ ns
S×Zn× Y	۴	۱۶۸۴۷۳/۷۸ ns	۵۸/۹۵ ns	۵/۴۳ ns	۱۵۵۴/۸۸ ns	۸/۲۸ ns
خطای فرعی	۲۴	۹۸۷۶۲/۱۷	۶۴	۱۲۵/۰۶	۹۴۳/۸۵	۵/۶۲
عنصر آهن (Fe)	۲	۱۳۳۳۴۳۴۳/۷۹ **	۶۳۷/۲۶ **	۱۴۶/۶۳ ns	۱۲۴۶۷۹/۸۲ **	۱۹۷/۴۲ **
S× Fe	۴	۲۶۳۰۵۰/۲ *	۲۰/۷۵ ns	۴/۵۳ ns	۲۵۵۲/۲۴ *	۶/۳۳ ns
Zn× Fe	۴	۶۹۹۳۷۸/۷۲ **	۳۸/۵۶ ns	۷/۰۳ ns	۶۶۶۳/۷۲ **	۷/۴۵ ns
S×Zn× Fe	۸	۶۸۴۰۸/۹۹ ns	۲/۹۵ ns	۶/۳۳ ns	۶۹۹/۲۵ ns	۳/۸۳ ns
Fe×Y	۲	۱۱۰۰۵۵/۹۱ ns	۶/۸۴ ns	۱۹/۵۴ ns	۸۳۵/۷۶ ns	۰/۰۵ ns
S×Fe× Y	۴	۴۷۲۲۷/۹۶ ns	۹/۲۹ ns	۹/۵ ns	۴۵۵/۱۹ ns	۱/۴۱ ns
Zn×Fe× Y	۴	۱۸۰۴۰۳/۹۴ ns	۱/۴۸ ns	۱۰/۹ ns	۱۵۸۱/۷ ns	۱/۹۱ ns
S×Zn×Fe× Y	۸	۹۲۶۲۴/۱۱ ns	۷/۱۱ ns	۳/۴ ns	۹۰۵/۶۶ ns	۲/۹ ns
خطای فرعی فرعی	۷۲	۸۵۵۳۵/۵	۶۷/۴۹	۱۰۲/۳۵	۹۶۶/۴	۷/۶
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۷۸	۴/۵۶	۸/۲۷	۷/۴۹	۴/۱۷

ns: معنی‌دار نیست. * و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آب و برگ‌پاشی سولفات روی بر صفات مورد بررسی

سطوح آبیاری	برگ‌پاشی سولفات روی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	میزان فتوسنتز جاری (گرم در مترمربع)	سهم فتوسنتز جاری (درصد)
آبیاری کامل	۰	۵۳۲۸e	۳۹۹d	۷۴/۷d
آبیاری کامل	۵ در هزار	۶۴۸۸b	۵۱۲b	۷۸/۷c
آبیاری کامل	۱۰ در هزار	۷۰۶۲a	۵۶۸/۶a	۸۰/۴b
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	۰	۳۹۶۱g	۳۱۱/۹f	۷۸/۶c
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	۵ در هزار	۵۶۶۸d	۴۷۸/۳c	۸۴/۲a
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	۱۰ در هزار	۵۹۸۰c	۵۰۹/۳b	۸۵/۱a
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	۰	۳۵۰۶h	۲۰۳/۳g	۵۷/۸g
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	۵ در هزار	۴۷۳۲f	۳۲۳/۳f	۶۷/۸f
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	۱۰ در هزار	۵۲۷۰e	۳۷۵/۸e	۷۱/۱e

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آب و برگ‌پاشی سولفات آهن بر صفات موردبررسی در دو سال زراعی

تیمارهای آزمایشی		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	میزان فتوسنتز جاری (گرم در مترمربع)
آبیاری کامل	۰	۵۶۱۶c	۴۲۷/۷d
آبیاری کامل	سه در هزار	۶۵۲۵b	۵۱۵/۵b
آبیاری کامل	شش در هزار	۶۷۳۵a	۵۳۶/۳a
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	۰	۴۶۲۳f	۳۷۷/۱e
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	سه در هزار	۵۴۰۵d	۴۵۳/۰c
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	شش در هزار	۵۵۸۰cd	۴۶۹/۲c
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	۰	۴۰۸۶g	۲۶۰/۷h
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	سه در هزار	۴۵۴۷f	۳۰۴/۶g
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	شش در هزار	۴۸۷۳e	۳۳۷/۰f

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

در بررسی اثر متقابل S×Fe، قطع آبیاری در مراحل رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردید و برگ‌پاشی سولفات آهن در شرایط عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل با برگ‌پاشی سولفات آهن با غلظت شش در هزار (۶۷۳۵/۰۷ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر Zn×Fe بیانگر آن بود که برگ‌پاشی روی و آهن منجر به افزایش معنی‌داری عملکرد دانه گردید. بیشترین میزان این صفت در شرایط برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و سولفات آهن با غلظت شش در هزار (۶۴۴۸/۶۵ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۵)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی سولفات روی و آهن بر صفات موردبررسی در دو سال زراعی

تیمارهای آزمایشی		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)	میزان فتوسنتز جاری (گرم در مترمربع)
		تجزیه مرکب	سال اول	تجزیه مرکب
برگ‌پاشی سولفات روی	برگ‌پاشی سولفات آهن			
۰	۰	۳۹۰۰g	۱۰۴۶۶d	۲۶۹/۳f
۰	سه در هزار	۴۳۸۵f	۱۰۲۰۷d	۳۱۶/۲e
۰	شش در هزار	۴۵۱۰f	۱۰۶۵۶d	۳۲۸/۶e
۵ در هزار	۰	۴۸۵۳e	۱۲۳۸۲c	۳۶۲/۵d
۵ در هزار	سه در هزار	۵۸۰۴c	۱۳۵۶۶ab	۴۵۴/۷b
۵ در هزار	شش در هزار	۶۲۳۰b	۱۳۷۶۷ab	۴۹۶/۴a
۱۰ در هزار	۰	۵۵۷۳d	۱۳۲۸۹bc	۴۳۳/۸c
۱۰ در هزار	سه در هزار	۶۲۹۱ab	۱۴۳۷۵a	۵۰۲/۳a
۱۰ در هزار	شش در هزار	۶۴۴۹a	۱۳۰۰۱bc	۵۱۷/۶a

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس صفات سهم توزیع مجدد مواد فتوسنتزی و عملکرد بیولوژیکی هیبرید ۷۰۴ ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیکی		سهم توزیع مجدد مواد فتوسنتزی	
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶
تکرار	۲	۵۹۷۳۰۷/۳ ns	۸۴۳۴۷۴/۴۹ ns	۰/۴۸ ns	۱/۷۳ ns
تنش آب (S)	۲	۱۶۷۵۹۰۴۴/۲ **	۱۷۹۵۸۹۶۹/۰۳ **	۱۹۸۹/۷۶ **	۲۲۱۸/۶۸ **
خطای اصلی	۴	۷۹۹۸۰۷/۶	۴۴۷۶۳۳/۹۷	۷/۰۳	۶/۴
عنصر روی (Zn)	۲	۷۹۱۸۸۱۹۰ **	۳۵۰۴۲۲۴۹/۱۹ **	۶۲۳/۶۷ **	۴۶۸/۸۹ **
S×Zn	۴	۶۸۶۸۰۶/۴ ns	۲۱۹۶۰۰۴/۰۷ ns	۶۸/۴۴ **	۲۴/۴۶ **
خطای فرعی	۱۲	۱۲۸۹۵۴۸	۸۷۶۹۷۹/۶۴	۶/۷۳	۴/۵۱
عنصر آهن (Fe)	۲	۳۱۱۵۴۳۴/۲ *	۴۹۵۱۸۳۶ **	۹۷/۷۱ **	۹۹/۷۶ **
S× Fe	۴	۱۶۲۸۰۸۰/۷ ns	۷۰۱۹۳۷/۴۷ ns	۴/۷۶ ns	۲/۹۹ ns
Zn× Fe	۴	۳۵۵۵۸۲۵/۴ **	۵۳۱۱۹۰/۳۹ ns	۷/۵ ns	۱/۸۷ ns
S×Zn× Fe	۸	۷۳۱۸۶۵/۱ ns	۵۲۹۰۸۳/۰۴ ns	۴/۲۸ ns	۲/۴۷ ns
خطای فرعی فرعی	۳۶	۹۷۵۵۰۴/۵	۵۳۹۸۶۰/۵	۶/۶۲	۸/۴۸
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۱۹	۷/۷۲	۱۱/۴۷	۱۲/۳۶

ns: معنی‌دار نیست. * و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات موردبررسی

	میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای (گرم در مترمربع)	
سطوح آبیاری		
آبیاری کامل		۱۳۴/۸c
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی		۱۳۹/۶b
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه		۱۴۹/۵a
	عملکرد بیولوژیکی سال دوم (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزار دانه (گرم)
سطوح برگ‌پاشی سولفات روی		
۰	۱۰۰۱۹c	۱۸۴/۱b
۵ در هزار	۱۱۰۳۴b	۱۹۴/۶a
۱۰ در هزار	۱۲۲۹۳a	۱۹۶a

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

عملکرد بیولوژیک

نتایج سال اول نشان داد که اثر تنش آب (S)، برگ‌پاشی سولفات روی (Zn) و اثر متقابل Zn×Fe در سطح احتمال یک درصد و برگ‌پاشی سولفات آهن (Fe) در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار گردید. در سال دوم عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر اثر S، Zn و Fe در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۶). در سال دوم برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار (با میانگین ۱۲۲۹۳ کیلوگرم در هکتار) منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید (جدول ۷). برگ‌پاشی سولفات آهن نیز منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در سال دوم آزمایش گردید. اما بین دو غلظت ۳ و ۶ در هزار سولفات آهن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). بررسی نتایج برهم‌کنش Zn×Fe در سال اول آزمایش بیانگر آن بود که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در شرایط برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و سولفات آهن با غلظت شش در هزار (۱۴۳۷۵ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که با برگ‌پاشی

سولفات روی با غلظت پنج در هزار و سولفات آهن با غلظت‌های سه و شش در هزار اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط عدم برگ‌پاشی سولفات روی، برگ‌پاشی و عدم برگ‌پاشی سولفات آهن اثر معنی‌دار بر این صفت نداشت و عملکرد بیولوژیک در این شرایط کمترین میزان بود (جدول ۵).

وزن هزار دانه

بر اساس نتایج تجزیه مرکب اثر تنش آب (S)، برگ‌پاشی سولفات روی (Zn) و برگ‌پاشی سولفات آهن (Fe) در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول ۲). برگ‌پاشی سولفات روی و آهن منجر به افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید. بین دو غلظت ۵ و ۱۰ در هزار سولفات روی ازنظر وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، بااین‌حال بیشترین میانگین این صفت به غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی تعلق گرفت (جدول ۷). بیشترین وزن هزار دانه در تیمار برگ‌پاشی سولفات آهن با غلظت سه و شش در هزار به ترتیب با میانگین ۱۹۲/۴۹ و ۱۹۴/۴۷ گرم حاصل گردید که با تیمار عدم کاربرد سولفات آهن تفاوت معنی‌دار آماری نشان داد (جدول ۸).

میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای

بر اساس نتایج تجزیه مرکب فقط اثر تنش آب (S) در سطح احتمال یک درصد بر میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای معنی‌دار گردید (جدول ۲). میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای در شرایط قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین مقادیر این صفت با میانگین ۱۴۹/۵ گرم در مترمربع به تیمار قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه اختصاص یافت که نسبت به تیمار آبیاری کامل ۹/۸ درصد افزایش داشت (جدول ۷).

میزان فتوسنتز جاری

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر تنش آب (S) و همچنین برگ‌پاشی سولفات روی (Zn) و برگ‌پاشی سولفات آهن (Fe) و نیز اثر متقابل S×Y در سطح احتمال پنج درصد و S×Fe، S×Zn، Zn×Y و Zn×Fe در سطح احتمال یک درصد بر میزان فتوسنتز جاری معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (S×Zn) نشان داد، برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار در تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار میزان فتوسنتز جاری گردید. بیشترین میزان این صفت در آبیاری کامل با برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار (۵۶۸/۶ گرم در مترمربع) حاصل گردید که نسبت به عدم برگ‌پاشی در همین سطح آبیاری میزان فتوسنتز جاری ۴۲/۵۱ درصد افزایش یافت. کمترین میزان این صفت در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و بدون برگ‌پاشی سولفات روی (۲۰۳/۳ گرم در مترمربع) حاصل گردید (جدول ۳) بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل S×Fe، برگ‌پاشی سولفات آهن در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار میزان فتوسنتز جاری گردید. بیشترین میزان فتوسنتز جاری در آبیاری کامل با برگ‌پاشی سولفات آهن با غلظت شش در هزار (۵۳۶/۶ گرم در مترمربع) حاصل شد. کمترین میزان این صفت در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و بدون برگ‌پاشی سولفات آهن (۲۶۰/۷ گرم در مترمربع) حاصل گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل Zn×Fe بیانگر آن بود که برگ‌پاشی روی و آهن منجر به افزایش معنی‌داری میزان فتوسنتز جاری گردید. بیشترین میزان این صفت در شرایط برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و سولفات آهن با غلظت‌های سه و شش در هزار، برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت پنج در هزار و سولفات آهن با غلظت‌های شش در هزار حاصل شد و کمترین میزان این صفت در شرایط عدم برگ‌پاشی روی و آهن حاصل گردید (جدول ۵).

سهم فتوسنتز جاری

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که سهم فتوسنتز جاری تحت تأثیر اثر تنش آب، برگ‌پاشی سولفات روی و برگ‌پاشی سولفات آهن و اثر متقابل تنش آب و برگ‌پاشی سولفات روی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). سهم فتوسنتز جاری با برگ‌پاشی سولفات آهن افزایش معنی‌داری یافت، اما بین دو غلظت سه و شش در هزار سولفات آهن ازنظر این صفت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). در بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آب و عنصر روی، برگ‌پاشی سولفات روی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار سهم فتوسنتز جاری گردید. بیشترین میزان این صفت در قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی همراه با برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت ۵ و ۱۰ در هزار حاصل گردید. کمترین سهم فتوسنتز جاری در شرایط قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه و بدون برگ‌پاشی سولفات روی به‌دست آمد (جدول ۳).

سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای

در بررسی نتایج دو سال آزمایش، سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای تحت تأثیر اثر تنش آب (S)، برگ-پاشی سولفات روی (Zn) و برگ‌پاشی سولفات آهن (Fe) و اثر متقابل آن‌ها (S×Zn) در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۶). در هر دو سال آزمایش، سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای با برگ‌پاشی سولفات آهن کاهش معنی‌داری یافت. بین دو غلظت سه و شش در هزار سولفات آهن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). در بررسی اثر برهم‌کنش تنش آب و برگ‌پاشی سولفات روی (S×Zn)، در هر دو سال آزمایش برگ‌پاشی سولفات روی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به کاهش معنی‌دار سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای گردید. بیش‌ترین میزان این صفت در سال اول و دوم، در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و بدون برگ‌پاشی سولفات روی به‌ترتیب با میانگین ۴۲/۹ و ۴۱/۶ درصد حاصل گردید. کمترین سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و همراه با برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت‌های ۵ و ۱۰ در هزار به دست آمد (جدول ۹).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر برگ‌پاشی سولفات آهن بر صفات موردمطالعه

سطوح برگ‌پاشی سولفات آهن	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)	سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای (درصد)		سهم فتوسنتز جاری
		سال دوم	سال اول	سال دوم	تجزیه مرکب
۰	۱۸۷/۸b	۱۰۶۲۱b	۲۶/۵a	۲۷/۱a	۷۳/۲b
۳ در هزار	۱۹۲/۵a	۱۱۳۴۷a	۲۳/۷b	۲۴/۴b	۷۶/۰a
۶ در هزار	۱۹۴/۵a	۱۱۳۷۸a	۲۲/۸b	۲۳/۴b	۷۶/۹a

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش آب و برگ‌پاشی سولفات روی بر سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای در دو سال زراعی

تیمارهای آزمایشی		سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای (درصد)	
		سال اول	سال دوم
سطوح آبیاری	برگ‌پاشی سولفات روی		
آبیاری کامل	۰	۲۵/۷c	۲۵/۰d
آبیاری کامل	۵ در هزار	۲۱/۰d	۲۱/۶e
آبیاری کامل	۱۰ در هزار	۲۰/۰d	۱۹/۱f
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	۰	۲۰/۹d	۲۲/۰e
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	۵ در هزار	۱۵/۲e	۱۶/۵g
قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی	۱۰ در هزار	۱۴/۸e	۱۵/۰g
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	۰	۴۲/۹a	۴۱/۶a
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	۵ در هزار	۳۰/۳b	۳۴/۱b
قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه	۱۰ در هزار	۲۸/۱bc	۲۹/۸c

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند

بحث

تنش آب، فتوسنتز را در برگ‌های درحال‌توسعه کاهش می‌دهد و اثر غیرمستقیم آن کاهش میزان صدور مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به محل‌های رشدی خواهد بود (فنایی و همکاران، ۱۳۹۲). منابع تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی برای پر شدن دانه‌ها شامل فتوسنتز جاری، انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی قبل از گرده-افشانی و حرکت مجدد مواد ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی از مرحله‌ی گرده‌افشانی تا ابتدای رشد خطی دانه می‌باشند که به مجموع حرکت مجدد و انتقال مجدد، توزیع مجدد گفته می‌شود (مادح خاکسار و همکاران، ۱۳۹۳). تحقیقات بسیاری نشان داده مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی فعالیت فتوسنتزی گیاه را افزایش داده و باعث توسعه پوشش گیاهی می‌شود (پیرزاد و همکاران، ۱۳۹۲). دلیل کاهش توزیع مجدد مواد فتوسنتزی در تیمار آبیاری کامل را می‌توان توانایی فتوسنتز جاری در تأمین نیاز مخازن دانست و در تیمار قطع آبیاری، ظرفیت بسیار کم مخازن در اثر تنش آب عامل محدودکننده بوده است. به‌طوری‌که در تیمار آبیاری کامل، فتوسنتز جاری بخش بسیاری از ظرفیت مخازن را تأمین نموده و درنتیجه سهم توزیع مجدد، کاهش‌یافته است. لک (۱۳۸۵) گزارش نمود کم‌ترین سهم توزیع مجدد به تیمار آبیاری کامل تعلق داشت که در مقایسه با دو تیمار کم‌آبیاری، با میانگین ۳۶ درصد در گروه آماری جداگانه قرار گرفت.

عبادی و همکاران (۱۳۹۰) قطع آبیاری را عامل افزایش میزان انتقال مجدد ماده خشک از اندام‌های گیاه به دانه دانستند. هرگاه مواد حاصل از فتوسنتز جاری برای تولید عملکرد کافی باشد، انتقال مجدد محدود می‌شود. به نظر می‌رسد عامل کاهش در سهم توزیع مجدد، ذخیره کمتر مواد غذایی در ساقه در زمان ورود به فاز زایشی باشد که عامل آن می‌تواند مصرف مواد غذایی ذخیره‌شده در بخش-های رویشی در زمان رشد مجدد گیاه پس از آبیاری، برای جبران خسارت ناشی از باشد. یافته‌های این تحقیق با نتایج علوی فاضل (۱۳۸۹) مطابقت داشت. مجدم (۱۳۸۸) و علوی فاضل و همکاران (۲۰۱۳) در گیاهان تحت تیمار آبیاری مطلوب و تنش آب شدید به ترتیب بالا بودن فتوسنتز جاری و کم بودن میزان مواد ذخیره‌ای را باعث کاهش میزان انتقال مجدد ماده خشک دانستند. پس از ورود

گیاه به مرحله زایشی به دلیل کم بودن ذخایر گیاه سهم فتوسنتز جاری در پر شدن دانه افزایش و سهم انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده در اندام‌های رویشی به دلیل کمبود شدید ذخایر کاهش خواهد یافت. درواقع علت کاهش سهم فتوسنتز جاری در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه نسبت به تیمار آبیاری کامل احتمالاً به عدم دسترسی به آب کافی و ناکارآمدی سیستم فتوسنتز و کاهش مخازن پذیرنده مواد فتوسنتزی است (مادح خاکسار و همکاران، ۱۳۹۳).

در این آزمایش برگ‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن منجر به افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید. کاربرد سولفات روی با اثر بر شاخص سطح برگ و افزایش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین می‌تواند میزان سرعت رشد محصول را افزایش دهد و از این راه به‌طور مستقیم موجب افزایش وزن هر دانه (ظرفیت مقصد فیزیولوژیکی) گردد (ادیلوگلو و همکاران، ۲۰۱۲). تنش آب در زمان پر شدن دانه از طریق اختلال در فتوسنتز، کاهش انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده به دانه، کاهش دوام سطح برگ و کاهش طول دوره پر شدن دانه، باعث تولید دانه‌هایی با وزن کمتر می‌شود (قبادی و همکاران، ۱۳۹۶). کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش آب با نتایج نصراله زاده و همکاران (۱۳۹۵) در ذرت هم‌راستا بود.

کمبود آب آبیاری بسته به نوع رقم، مرحله رشد، شدت و طول مدت تنش باعث کاهش عملکرد دانه ذرت می‌شود. اثر منفی تنش آب بر تقسیم سلولی (جی و همکاران، ۲۰۱۲)، کاهش سرعت ظهور برگ (جورج و همکاران، ۲۰۱۳)، پیری زودرس در اثر انتقال آب از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان (وارن و همکاران، ۲۰۱۱)، جذب تابش کمتر به علت از بین رفتن برگ‌ها (جی و همکاران، ۲۰۱۲)، کاهش کارایی مصرف تابش، دلایل اصلی کاهش تولید ماده خشک در شرایط تنش آب هستند. عناصر غذایی کم‌مصرف مانند روی و آهن برای رشد گیاهان ضروری هستند و در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تولید هورمون‌های گیاهی و تشکیل کلروفیل گیاهی دخالت دارند و کمبود آن‌ها می‌تواند موجب عدم توازن عناصر غذایی در گیاه درنهایت کاهش کمیت و کیفیت محصول را به دنبال داشته باشند (جرفی و همکاران، ۲۰۲۲b). بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، در هر دو سال عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی و در مرحله ابتدای رشد دانه منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید. با شروع تنش، تمام فرآیندهای داخلی گیاه مانند فتوسنتز، سنتز پروتئین و سوخت‌وساز چربی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و با تشدید تنش، توسعه سطح برگ کاهش‌یافته و سرانجام رشد گیاه متوقف خواهد شد. با کاهش فتوسنتز در گیاه، انرژی موردنیاز برای تولید ماده خشک کاهش می‌یابد و درنتیجه زیست‌توده گیاه کم می‌شود (دوس سانتوس و همکاران، ۲۰۲۲). کاهش مقادیر ماده خشک در تیمار عدم مصرف روی را می‌توان به عدم فعالیت آنزیم کربنیک انهیدزار نسبت داد. این آنزیم ازجمله آنزیم‌هایی است که در ساختمان خود حاوی یک اتم روی بوده و باعث هیدراسیون (آبگیری) دی‌اکسید کربن می‌گردد (جرفی و همکاران، ۲۰۲۲a). فعالیت این آنزیم‌ها سبب تسریع در انجام واکنش آبگیری دی اکسیدکربن، افزایش جذب دی‌اکسید کربن در واحد سطح برگ، افزایش تولید ماده خشک و افزایش میزان فتوسنتز می‌شود. در گیاهان با کمبود شدید روی فعالیت این آنزیم متوقف می‌شود (مار چنر، ۲۰۱۲). افزایش رشد با کاربرد سولفات روی با نتایج تحقیقات (ساندرز و شاو، ۲۰۱۴) در ذرت دانه‌ای مطابقت دارد. به‌طورکلی عملکرد دانه و عملکرد زیستی نیازمند موازنه صحیح بین اندازه دستگاه فتوسنتزی و تداوم آن، سرعت فتوسنتز، سرعت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌ها، وزن دانه و ظرفیت آن‌ها ازنظر تجمع است. تحرک اندوخته‌های ساقه که شامل تولیدات مازاد مربوط به فتوسنتز پیش از مرحله پر شدن دانه است تا حد بسیاری در عملکرد دانه سهیم است. در صورت برگ‌پاشی عناصر غذایی معمولاً ظرفیت مقصدهای فیزیولوژیکی برای ماده خشک در اندام‌های رویشی و زایشی افزایش می‌یابد و

درنتیجه می‌توان تغییرات عملکردی را در شرایط تنش آب کنترل نمود (صابری و همکاران، ۲۰۱۹).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این مطالعه، قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه منجر به افزایش میزان توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای نسبت به آبیاری کامل گردید. میزان و سهم فتوسنتز جاری در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه کاهش معنی‌داری یافت. همچنین وزن هزار دانه در تیمار قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه نسبت به آبیاری کامل کاهش داشت که مجموع این عوامل کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی را در این شرایط رطوبتی در پی داشت. برگ‌پاشی سولفات روی و آهن در تیمار عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش عملکرد دانه، سهم فتوسنتز جاری و کاهش سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای گردید که نشان‌دهنده نقش مؤثر این عناصر در کاهش خسارت ناشی از تنش آب بود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری صمیمانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز و همچنین تلاش‌های سرکار خانم دکتر انیسه جرفی در ارائه این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

فهرست منابع

۱. پیرزاد، ع.، طوسی، پ، و ر. درویش زاده. ۱۳۹۲. اثر محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر صفات گیاهی و میزان اسانس آنیسون . مجله علوم زراعی ایران. جلد ۱۵، شماره ۱، صفحه ۲۳-۱۲.

۲. توکلی اوجانی، خ.، رشیدی، و.، یارنیا، م.، تاری نژاد، ع.، و ب.، میرشکاری. ۱۳۹۸. بررسی برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد دانه و اجزای آن در ارقام ذرت تحت شرایط تنش خشکی و کاربرد مایکوریزا، تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۱۲، شماره ۴، صفحه ۱۱۷۸-۱۱۶۵.

۳. ثابت قدم حقیقی، م. ۱۳۹۱. مطالعات آمایش استان خوزستان گزارش منابع طبیعی بررسی توان طبیعی استان، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، جلد ۸، صفحه ۱۹۹-۱.

۴. جرفی، ا. ۱۳۹۲. اثر کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت دانه‌ای در شوشتر. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

۵. دهقانپور، ز. ۱۳۹۳. دستورالعمل کاشت، داشت و برداشت ذرت، انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۱۱۰ صفحه.

۶. عبادی، ع.، ساجد، ک. و ا.، سنجری،۱۳۹۰. تأثیر قطع آبیاری بر انتقال مجدد ماده خشک و برخی صفات زراعی در جو بهاره، مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی.جلد ۴، شماره ۴، صفحه ۳۷-۱۹.

۷. علوی فاضل، م. ۱۳۹۴. ارزیابی میزان انتقال مجدد به دانه ژنوتیپ های گندم نان و دوروم در واکنش به مقادیر نیتروژن. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. جلد ۷، شماره ۲۸، صفحه ۱۸-۵.

۸. علوی فاضل، م. ۱۳۸۹. تأثیر عدم آبیاری در برخی مراحل رشد بر صفات آگروفیزیولوژیکی وابسته به عملکرد ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل گراس ۷۰۴ در الگوها و تراکم‌های مختلف کاشت در شرایط آب و هوایی اهواز. پایان‌نامه دوره دکتری تخصصی، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

۹. فنایی، ح. ر.، پیری، ع.، و م.ر.، نارویی راد. ۱۳۹۲. بررسی اثر مقادیر مختلف کود فسفر بر عملکرد دانه، روغن و برخی صفات زراعی خردل هندی تحت تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. جلد ۶، شماره ۲، صفحه ۱۵۷-۱۴۷.

۱۰. قبادی، ر.، قبادی، م.، جلالی هنرمند، س.، مندنی، ف. و ب.، فرهادی. ۱۳۹۶. تحلیل اقتصادی اثر سطوح آب آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴. مجله علوم زراعی ایران، جلد ۱۹، شماره ۳، صفحه ۲۳۸-۲۲۰.

۱۱. کوچک زاده، ا.، ابدالی مشهدی، ع.، و و.، بدوی. ۱۳۹۷. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گلرنگ به تراکم‌های مختلف بوته، مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد ۱۰، شماره ۳۸، صفحه ۲۱-۵.

۱۲. لک، ش. ۱۳۸۵. اثرات تنش کمبود آب بر خصوصیات اگروفیزیولوژیکی و عملکرد ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در مقادیر متفاوت نیتروژن و تراکم بوته در شرایط آب و هوایی خوزستان. پایان‌نامه دوره دکتری تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

۱۳. مادح خاکسار، آ.، نادری، ا.، آینه‌بند، ا. و ش.، لک. ۱۳۹۳. برهمکنش کم‌آبیاری و قطع آب بر توزیع مجدد مواد ذخیره‌ای، فتوسنتز جاری و رابطه آن با عملکرد ذرت دانه‌ای. فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۶، شماره ۲۲، صفحه ۶۸-۵۳.

۱۴. مجدم، م. ۱۳۸۸. اثرات تنش کمبود آب و مدیریت مصرف نیتروژن بر توزیع ماده خشک و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴. مجله تنش‌های محیطی در علوم گیاهی. جلد ۱، شماره ۲، صفحه ۱۳۶-۱۲۳.

۱۵. معیری، م. ۱۳۹۹. آبیاری مزارع ذرت تابستانه در استان خوزستان. تهیه‌شده در مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی. نشر آموزش کشاورزی.

۱۶. نصراله زاده اصل، و.، شیری، م. ر.، محرم نژاد، س.، یوسفی، م. و ف.، باغبانی. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر خصوصیات زراعی و بیوشیمیایی سه هیبرید ذرت (*Zea mays* L.). فیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد ۸، شماره ۳۲، صفحه ۶۰-۴۵.

17. Adiloglu, A., D. D. Talian, S. Abin, D. Davison J. and L. Petersen. 2012. The Effect of boron (B) application on the growth and nutrient contents of maize in zinc (Zn) deficient soils. J. agric. biol. sci. 2:1-4.

18. Alavi Fazel, M. and S. H. Lack. 2011. The effects of irrigation-off at different growth stages, planting patterns and plant population on grain yield and dry matter remobilization of grain corn (*Zea mays* L.). World Appl. Sci. J. 15 (4): 463-473.

19. Alavi Fazel, M., Lack, S. H. and M., Sheykhi Nasab. 2013. The effect of irrigation-off at some growth stages on remobilization of dry Matter and yield of corn hybrids. Int. j. agric. crop sci. 5 (20): 2372-2378.

20. Bojovic, D. D., Dukic, M., Maksimovic, V. and L., Shočić. 2012. The effects of Iron deficiency on lead accumulation in ailanthus altissima (Mill.) Swingle Seedlings. J. Environ. Qual. 41:1-8

21. Farnia, A. and A. Khodaivandi. 2015. Effect of integrated foliar application of Zn and Fe on yield and yield components of maize under water stress condition. Int. j. biol. pharm. allied sci. 4 (10): 691-705.

22. Ge, T., Sui, F., Bai, L., Tong, C. and N. Sun. 2012. Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. Acta Physiol. Plant. 34: 1043-1053.

23. George, M.J., Teixeira, E. L., Herreman, T. F., and H. E. Brown. 2013. Understanding nitrogen and water stress mechanisms on maiz crops. Agronomy Society of New Zealand. 43: 27-32.

24. Ghassemi-Golezani, K., Hydari, Sh., and B., Dalil. 2018. Field performance of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. Acta Agric. Slov. 11 (1): 25-32.

25. Jorfi A, Alavifazel, M., Gilani A., Ardakani, M. R., and Sh. Lak. 2022 a. Yield and morpho-physiological performance of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes as affected by phosphorus and zinc. J Plant Nutr. 46 (16): 2432- 2446.

26. Jorfi A, Alavifazel, M., Gilani A., Ardakani, M. R., and Sh. Lak. 2022 b. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) root system development as affected by phosphorus and zinc sulfate application in an alkaline soil. Gesunde Pflanzen. https://doi.org/10.1007/s10343-022-00740-0.

27. Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Limited Harcourt Brace and Company. Publishers. London. 347–364.

28. Parvaiz, A. 2016. Water Stress and Crop Plants (A Sustainable Approach) Foliar application of trace elements in alleviating drought stress. 669–681.

29. Raker, J., Bressan, R. A., Zhu, J. K. and H. J., Bohnert. 2013. Physiological bases for yield difference in selected maize cultivars. Centeral America field Crop Research. 42:69-80.

30. Sanders, O. T. R. and M. Shaw. 2014. Temperature and soil water effects on maize growth development yield and forage quality. Crop sci. 36: 341-348.

31. Saberi M., Modarres Sanavy M. A., Zare, R., and H. Ghomi. 2019. Improvement of photosynthesis and photosynthetic productivity of winter wheat by cold plasma treatment under haze condition. J. Agric. Sci. Technol. 21 (7) :1889-1904.

32. Sabouri, F., Sirousmehr, A., and H. Gorgini shabankareh. 2018. Effect of irrigation regimes and application of humic acid on some morphological and physiological characteristics of Savory (*Satureja hortensis* L.). Iran. J. Plant Biol. 9 (4): pp. 13-24.

33. Dos Santos, T.B., Ribas, A.F., de Souza, S.G.H., Budzinski, I.G.F., and D.S. Domingues. 2022. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: A Review. Stresses. 2, 113-135.

34. Souza, T.C., Castro, E.M., Magalhaes, P.C., Lino, L. D. O., Alves, E.T. and P. E. P. Albuquerque. 2013. Morphophysiology, morphoanatomy and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. Acta Physiol. Plant. 35: 3201-3211.

35. Warren, J. M., Norby, R. J. and S. D. Wullschleger. 2011. Elevated CO_2 enhances leaf senescence during extreme drought in a temperate forest. Tree Physiol. J. 31: 117-130.

36. Zhao, Y., Li, H., Sun, M., Liang, Z., Yu, F., Li, F., and S. Liu. 2021. Effects of soil aeration and fertilization practices on alleviating iron deficiency chlorosis in “Huangguan” pears grafted onto quince A in calcareous soils. Hortic. 7, 172.

Effect of Zinc and Iron Foliar Application on Corn Yield and Redistribution of Photosynthetic Materials in Water Stress Conditions

M. Afshari*and A. Naderi

Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran; Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. **afshari.sci@gmail.com**
Associate Prof., of Research Organization, Agricultural Extension and Education, Khuzestan Research Center of Agriculture and Natural Resources, Ahvaz, Iran**. naderi.ah1336@gmail.com**

Received: December 2022, and Accepted: July 2023

Abstract

In order to evaluate the effect of iron and zinc on maize grain yield and the contribution of current photosynthesis and photosynthate redistribution under water stress conditions, this study was conducted in two seasons (2018-2020) in research farm at northwest of Ahvaz. The experiment was conducted in split split-plot design with randomized complete block design with three replications. Main plots consisted of water stress at three levels including complete irrigation, cut-off irrigation at vegetative growth stage (CI-VGS), and cut-off irrigation at early seed stage (CI-ESS). Sub-plots consisted of foliar application of zinc sulfate with three concentrations (0, 0.5 %, and 1 %) and sub sub-plots received foliar application of iron sulfate at three concentrations (0, 0.3 % and 0.6 %). The results showed that cut-off irrigation at CI-ESS decreased grain yield, biological yield, current photosynthesis rate, and current photosynthetic contribution, significantly ($p<1\%$). But the redistribution of storage materials was the highest in this treatment. Also, 1000-grain weight in the CI-ESS was 26.9% lower than that of complete irrigation. The highest biological yield and current photosynthesis contribution were obtained by leaf foliar application of iron sulfate. Foliar application of zinc sulfate with 1% concentrations in CI-VGS resulted in significant increase in grain yield of 33.7%, a 7.6% share of current photosynthesis and a decrease in the redistribution of storage materials. The highest grain yields (7062 and 6735 $kg.ha^{-1}$) and current photosynthesis rate (536.6 $g.m^{-2}$) were obtained in the foliar application of 1% $ZnSO_4$ and 0.6% iron sulfate. In general, water stress reduced the contribution of current photosynthesis and, consequently, decreased grain yield of maize cv.704 hybrid, which could be compensated by foliar application of 1% zinc sulfate and 0.6% iron sulfate.

Keywords: Assimilate, Iron sulfate, Zinc sulfate, Current photosynthesis, Water stress

* -Corresponding author's email : afshari.sci@gmail.com