نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۳(۶۳)، پاییز ۱۴۰۱، صفحه ۳۲۴-۳۰۷

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1913625.1729

تأثیر محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکردی ذرت (*Zea mays* L.) تحت تنش کمبود آب

آرمان ستوده[۱]، طیب ساکی‌نژاد[۱*]، علیرضا شکوه‌فر[۱]، شهرام لک[۱] و مانی مجدم[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۱ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۱۰

چکیده

تنش کمبود آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد که در سال‌های اخیر کاربرد روش‌های مختلف جهت کاهش اثرات منفی آن مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال زراعی انجام شد. تأثیر محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکردی ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) در دورهای مختلف آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A) موردارزیابی قرارگرفت. نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر متقابل آبیاری و ترکیب منیزیم و پتاسیم بر ویژگی‌های ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول بلال، تعداد دانه در بلال، میزان جذب پتاسیم، میزان جذب منیزیم، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، پرولین، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت تاثیر معنی‌دار آماری داشت. نتایج بررسی مقایسه میانگین اثر عناصر پتاسیم و منیزیم بر تغییرات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی تحمل به خشکی در ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) نشان داد که مصرف این عناصر باعث افزایش معنی‌دار صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول بلال، تعداد دانه در بلال، میزان جذب پتاسیم، میزان جذب منیزیم، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط کمبود آب گردید؛ به گونه‌ای که بیشترین مقدار این صفات در شرایط تبخیر ۵۰ میلی‌متر از تشت تبخیر و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بود. محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سولفات‌پتاسیم و سولفات منیزیم از طریق افزایش میزان جذب عناصر پتاسیم و منیزیم، حفظ کلروفیل برگ و در نتیجه فتوسنتز مؤثرتر و همچنین افزایش غلظت پرولین در برگ گیاه، اثرات منفی کمبود آب را تعدیل و تحمل ذرت به شرایط کمبود آب را بهبود بخشید.

واژگان کلیدی: پتاسیم، تنش کمبود آب، ذرت، عملکرد دانه محلول‌پاشی، منیزیم.

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

نگارنده‌ی مسئول t.saki1350@yahoo.com

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد از اراضی جهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Shao *et al.*, 2006). میانگین عملکرد سالیانه محصولات کشاورزی به‌واسطه تنش خشکی در جهان حدود ۱۷ درصد در سال کاهش می‌یابد. در حال حاضر تقریباً ۷ درصد از جمعیت جهان در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند زندگی می‌کنند و این میزان می‌تواند به ۶۸ درصد تا سال ۲۰۵۰ افزایش پیدا کند (Wallace, 2000).

در سال‌های اخیر، به‌دلیل استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، سطح و کیفیت این گونه آب‌ها به شدت کاهش یافته است و از جمله مهم‌ترین آثار این اتفاق می‌توان به برهم خوردن تعادل میان عناصر منیزیم وکلسیم به نفع منیزیم اشاره کرد (Salehi *et al.*, 2012). کمبود منیزیم در گیاهان در سراسر جهان رخ می‌دهد و بر میزان بهره‌وری و کیفیت کشاورزی تأثیر می‌گذارد. در برخی گزارش‌ها در مورد اثرات کمبود منیزیم در فرآیندهای فیزیولوژیکی نشان داده شده است که کمبود منیزیم باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های کلیدی فتوسنتزی و جذب CO_2 می‌شود (Marschner, 2012).

نتایج محققان حاکی از این بود که در زمان کمبود منیزیم هنگامی که ریشه به عنوان یک مخزن قادر به دریافت پیش‌سازهای کربوهیدرات نباشد، رشد ریشه کاهش یافته و در اثر تنش‌های محیطی پیش رو به خاطر کاهش رشد و عدم تماس با منابع جدید خاک احتمال کمبود مواد مغذی برای گیاه افزایش می‌یابد (Cakmak and Kirkby, 2008). همچنین، گزارش شده است کمبود منیزیم باعث مهار متابولیسم نیتروژن در برگ می‌شود (Li *et al.*, 2001).

پتاسیم دیگر عنصر کلیدی در تحمل گیاه به تنش‌های محیطی مانند درجه حرارت بالا و پایین، خشک‌سالی، بیماری‌ها و آفات است (Wang *et al.*, 2013). این عنصر نقش اساسی در تنظیم اسمزی و مصرف آب در گیاهان ایفا می‌کند. یون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم در اندازه و بار بسیار شبیه هستند و از این رو، سایت‌های مبادله نمی‌توانند تفاوت بین یون‌ها را تشخیص دهند و در اغلب اوقات بدون در نظر گرفتن اختلاف، هر دو یون را به‌طور جداگانه می‌پذیرند. کاربرد کودهای پتاسیم باعث کاهش توانایی گیاه برای جذب منیزیم می‌شود. از طرفی، میزان بسیار بالای کودهای منیزیم باعث کاهش جذب پتاسیم توسط گیاهان می‌شود، اما تاثیر این آنتاگونیسم به اندازه اثر معکوس پتاسیم بر کاهش جذب منیزیم نمی‌باشد. جذب پتاسیم نیز تحت تأثیر pH خاک قرار می‌گیرد به‌طوری‌که آنتاگونیسم منیزیم پتاسیم خاک‌های با میزان pH بالا افزایش می‌یابد (Malvi, 2011).

با توجه به وضعیت کم‌آبی کشور و اثرات خشکی بر کاهش عملکرد ذرت لزوم انجام پژوهشی در مورد تاثیر محلول‌پاشی نسبت ترکیبی منیزیم به پتاسیم بر رشد، خصوصیات مورفو-فیزیولوژی و عملکرد کمی و کیفی ذرت در شرایط آب و هوایی اهواز ضروری به نظر می‌رسد. لذا، این مطالعه با هدف بررسی محلول‌پاشی تیمارهای منیزیم و پتاسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکردی ذرت تحت شرایط کمبود آب بر روی گیاه ذرت اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی نسبت‌های مختلف منیزیم و پتاسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکردی ذرت تحت تنش کمبود آب، آزمایشی طی دو سال زراعی (۱۳۹۶-۱۳۹۵) در مزرعه شهید سالمی واقع در شمال شهر اهواز با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۶۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی با ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریااجرا شد. این ناحیه طبق تقسیم‌بندی کوپن دارای اقلیم بیابانی با دمای میانگین سالانه بالای ۱۸ درجه سلسیوس می‌باشد (Peel *et al.*, 2007).

قبل از شروع عملیات زراعی، نمونه‌برداری از خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی متری انجام و عناصر غذایی مورد نیاز به خاک اضافه شد (جدول ۱). عملیات تهیه بستر شامل شخم برگردان‌دار، کودپاشی و دیسک صورت گرفت. بذور ذرت (هیبرید SC.704) قبل از کاشت با قارچ‌کش TMTO ضدعفونی شده و سپس با تراکم ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار کشت گردیدند (Masjedi *et al.*, 2009). هر یک از کرت‌های آزمایشی با ۶ خط کاشت به طول ۶ متر، فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر، فاصله بوته‌های روی ردیف ۱۷ سانتی‌متر و عمق کاشت ۵ سانتی‌متر با تراکم ۸ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. عملیات کشت به‌صورت دستی انجامشد. آبیاری اول بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری دوم ۴ روز بعد از کاشت صورت گرفت. این آزمایش به‌صورت طرح اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار اجرا گردید. تیمار آبیاری بر اساس سطح تبخیر ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر از تشت تبخیر کلاس Aبه عنوان فاکتور اصلی (Masjedi *et al.*, 2009) و تیمار محلول‌پاشی ترکیبی منیزیم و پتاسیم (با غلظت صفر، ترکیب ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم با ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ترکیب ۲۰۰کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم) در مرحله ۸-۶ برگی گیاه ذرت و در هنگام غروب آفتاب جهت جلوگیری از تجزیه سریع آنها به وسیله نور آفتاب مورد استفاده قرار گرفت.

تعداد ۱۰ عدد بوته به‌صورت تصادفی و با رعایت حاشیه انتخاب و طول ساقه از سطح زمین تا انتهای بوته توسط مترنواری به‌عنوان ارتفاع نهایی بوته اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری قطر ساقه، از حدفاصل گره اول و دوم در بوته‌ها به‌وسیله کولیس استفاده گردید.

به‌منظور محاسبه عملکرد بیولوژیکی دانه و اجزای عملکرد، گیاهان موجود در ردیف‌های وسط هر کرت با رعایت حاشیه در زمان برداشت نهایی برداشت شدند. بدین منظور، ابتدا تعداد بوته و تعداد بلال شمارش و سپس عملکرد بیولوژیکی محاسبه و عملکرد دانه براساس ۱۴ درصد رطوبت (با استفاده از دستگاه رطوبت سنج) تعیین شد (Rafiee, 2014). شاخص برداشت (HI) با تقسیم کردن عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک و برحسب درصد به‌دست آمد (Rafiee, 2014).

جهت اندازه‌گیری میزان جذب عناصر پتاسیم و منیزیم از اندام هوایی گیاه استفاده شد. بدین منظور ۲ بوته از هر کرت برداشت و به آزمایشگاه انتقال و مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری عنصر پتاسیم از روش خاکسترگیری خشک استفاده شد. از این رو، مقدار عنصر پتاسیم در دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل PFP7، شرکت جنوی انگلستان) قرائت و در پایان به کمک جدول استاندارد و براساس میلی‌گرم در گرم ماده خشک محاسبه و گزارش شد (Fathi *et al.*, 2014).

مقدار عنصر منیزیم نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل ۳۰۳۰، شرکت پرکین المر، آمریکا) اندازه‌گیری شد (Najafi and Mostafaeei, 2015).

کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به روش آرنون (Arnon, 1949) اندازه‌گیری شدند. مقدار ۰/۲ گرم از برگ‌های فریز شده انتهای گیاه (که با استفاده از نیتروژن مایع فریز شده و در فریزر بادمای ۲۳- درجه سلسیوس نگهداری شده بودند) ساییده شده و با ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط و پس ازصاف کردن، جذب آنها با اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲۰ و ۴۷۰ نانومتر قرائت و غلظت رنگیزه‌ها با استفاده از معادله‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ محاسبه و در نهایت بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر گزارش شدند:

معادله ۱: $Chla = 12.25A663.2-2.79A646.8$

معادله ۲: $Chlb = 21.21A646.8-5.1A663.2$

معادله ۳: $Chl\ T= 7.15A663.2-18.71A646.8$

معادله ۴: $Car=(1000A470-1.8chla-85.02chlb)/198$

محتوای پرولین در گیاهان با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*, 1973) سنجیده شد. بدین صورت که پرولین از نمونه‌های برگ (۲۰ میلی‌گرم وزن خشک برگ) به روش ومبرگ (Weimberg,1987) استخراج و جذب عصاره نمونه به‌وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و غلظت پرولین بر حسب میکرومول‌گرم بر وزن خشک با استفاده از منحنی استاندارد تعیین گردید (Efeoğlu *et al.*, 2009). به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا داده‌ها از نظر نرمالیته بودن با استفاده از روش کلموگروف-اسمیرنوف و نرم‌افزار آماری SPSS مورد بررسی قرار گرفتند و در صورت لزوم نرمال‌سازی با توجه به ماهیت اطلاعات جمع‌آوری شده صورت پذیرفت. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها به‌صورت اسپلیت پلات بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SASانجام و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر ساده آبیاری (براساس میزان تبخیر از سطح تشت تبخیر) و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف ترکیب منیزیم و پتاسیم و همچنین اثر متقابل آبیاری در محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف ترکیب منیزیم و تاسیم بر ارتفاع بوته از نظر آماری معنی‌دار بود ($P\leq$۱٪) (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین جدول ۳ حاکی از آن بود که با افزایش سطح تبخیر از تشت تبخیر ارتفاع بوته یافت. بیشترین ارتفاع بوته در ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و محلول‌پاشی همزمان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم با ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۱۸۱ سانتی‌متر) و همچنین ۲۰۰ کیلوگرم در هکتارسولفات منیزیم با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۱۷۹/۵ سانتی‌متر) حاصل شد.

بوکویچ و همکاران (Bukvić *et al.*, 2003) نیز به‌طور مشابه گزارش کرده‌اند در ذرت، تعدیل اثرات منفی خشکی ازطریق حفظ فشار آماس، کاهش تعرق و افزایشکارایی مصرف آب به‌واسطه مصرف پتاسیم بود. در مطالعه مشابه دیگری صالحی و همکاران (Salehi *et al.*, 2012) اظهار داشتند که مصرف پتاسیم در شرایط کم‌آبی در ارتفاع لاین‌های ذرت تأثیر معنی‌داری داشت. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش سطوح

پتاسیم اثرسوء تنش خشکی بر ارتفاع بوته کاهش یافت.

قطر ساقه: نتایج آنالیز واریانس نشان داد قطر ساقه ذرت تحت تاثیر اثر ساده آبیاری (براساس میزان تبخیر از سطح تشت تبخیر) و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف منیزیم و پتاسیم در سطح آماری ۱ درصد و اثر متقابل آبیاری در ترکیب منیزیم و پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین قطر ساقه در آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و محلول‌پاشی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۲/۳۴ سانتی‌متر) و همچنین ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۲/۴۲ سانتی‌متر) و همچنین آبیاری پس از ۷۵ میلی‌متر و محلول‌پاشی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۲/۳۱ میلی متر) گزارش شد (جدول ۳). کویزرا و همکاران (Kwizera *et al.*, 2019) نیز در تحقیقی درباره تاثیر کود پتاسیم بر رشد لوبیا اظهار داشتند استفاده از این تیمار به‌طور معنی‌داری سبب افزایش قطر ساقه شد. دهقانی احمدآبادی و همکاران (Dehghani Ahmadabadi *et al.*, 2021) بیان داشتند که آبیاری مناسب می‌تواند در صورت وجود فاصله کافی بین بوته‌ها در کاهش فاصله گره‌ها و افزایش ضخامت ساقه مؤثر باشد. از این رو، می‌توان اظهار داشت کاهش قطر ساقه در این پژوهش به‌دلیل کاهش میزان پتانسیل آب سلول بود که با افزایش غلظت عناصر منیزیم و پتاسیم این اثر منفی کاهش و بهبود یافت.

طول بلال: در بررسی نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) مشاهده شد که طول بلال تحت‌تاثیر اثر ساده آبیاری (براساس میزان تبخیر از سطح تشت تبخیر) و محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم در سطح احتمال ۱ درصد و همچنین اثر متقابل آبیاری و محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم قرار گرفت ($P\leq$٪۵).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین می‌توان اظهار داشت که بیشترین طول بلال در سطح آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۳۸/۸۲ میلی متر) و همچنین ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۴۰/۹۷ میلی‌متر) ثبت گردید (جدول ۳). کامان و همکاران (Kaman *et al.*, 2011) بیان داشتند تنش خشکی در مرحله رویشی ذرت موجب کاهش معنی‌دار طول بلاله می‌گردد. آسلام و همکاران (Aslam *et al.*, 2018) نیز پس از بررسی تاثیر محلول‌پاشی برگی سولفات منیزیم و آبیاری بر هیبرید ذرت بیان نمودند بیشترینطول بلال پس از کاربرد برگی سولفات منیزیم به‌دست آمد. در این مطالعه مشابه نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، بیشترینطول بلال مربوط به تیمار آبیاریپس از۵۰ میلی‌مترتبخیر از تشت بود.

تعداد دانه در بلال: با عنایت به نتایج آنالیز واریانس مشخص گردید اثر آبیاری و محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم در سطح احتمال ۱ درصد و همچنین اثر متقابل آبیاری در محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم بر تعداد دانه در بلال تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد داشت (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در بلال در آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم با میانگین

۶۰۳/۲۵ دانه در هر بلال به‌دست آمد (جدول ۳). در بررسی نتایج مقایسه میانگین به‌دست آمده می‌توان اظهار داشت که اگرچه شرایط کمبود آب موجب کاهش محسوس تعداد دانه در هر بلال شد اما استفاده از سولفات منیزیم و سولفات پتاسیم موجب بهبود اثر منفی تنش مذکور شده و تعداد دانه در بلال با افزایش غلظت منیزیم و پتاسیم افزایش قابل‌توجهی یافت. در مطالعه احمد و همکاران (Ahmad *et al.*, 2019) بر روی گیاهان گندم تحت شرایط تنش خشکی مشخص شد کاربرد پتاسیم تاثیر مثبتی بر میزان صفات عملکرد دانه، وزن هزاردانه و تعداد بذر در هر خوشه داشت و استفاده از آن در تغذیه گیاهان موجب کاهش تاثیر تنش خشکی بر شاخص‌های رشدی گردید. در پژوهش اقبال و هدایت (Iqbal and Hidayat, 2016) نیز تیمار گیاهان ذرت با محلول‌پاشی عنصر پتاسیم در شرایط تنش رطوبتی آثار مثبتی در ایجاد تحمل به خشکی داشت و با افزایش غلظت پتاسیم از ۱ تا ۳ درصد، تعداد دانه در خوشه افزایش معنی‌داری داشت.

میزان پتاسیم و منیزیم اندام هوایی: نتایج آنالیز واریانس حاکی از آن بود که اثر ساده آبیاری و محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم و همچنین اثر متقابل آبیاری در محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم بر میزان پتاسیم و منیزیم اندام هوایی از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ($P\leq$٪۱) (جدول ۲). بیشترین میزان پتاسیم و منیزیم اندام هوایی بدون تفاوت معنی‌دار آماری در زمان کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۳۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر (به‌ترتیب ۲۰/۸۶ و ۷/۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم) و همچنین آبیاری پس از ۷۵ میلی‌متر از تشت تبخیر (به‌ترتیب ۱۹/۵۹ و ۷/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۳). همچنین، اگرچه با افزایش سطح تبخیر از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌متر میزان منیزیم و پتاسیم اندام هوایی کاهش یافت اما کاربرد همزمان سولفات منیزیم و سولفات پتاسیم موجب بهبود مقدار این عناصر در گیاه شد (جدول ۳). کاربرد پتاسیم و منیزیم سبب می‌شود تا اثرات سوء تنش خشکی بر صفات کمی و کیفی گیاهان به‌واسطه افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و عمق نفوذ ریشه، کاهش یابد و سبب افزایش عناصر پتاسیم و منیزیم در شرایط تنش خشکی در گیاه شود (Sadeghian Dehkordi *et al.*, 2015). در این تحقیق مشخص شد در صورت عدم مصرف پتاسیم، افزودن منیزیم به خاک، جذب پتاسیم را کاهش داده و تولید ماده خشک را محدود می‌کند. نتایج مجیدی و خوارزمی (Majidi and Kharazmi, 2015) نشان داد به‌کارگیری کودهای پتاسیمی و منیزیمی در زراعت یونجه، غلظت این عناصر را در اندام‌های رویشی افزایش داد ولی در مصرف توأم آنها مشاهده گردید با افزایش سطوح منیزیم، غلظت پتاسیم در گیاه کاهش و نیز با افزایش سطوح پتاسیم، غلظت منیزیم در گیاه کاهش یافت. به عبارت دیگر، تیمارها بر غلظت عناصر پتاسیم و منیزیم در گیاه تاثیر داشتند و افزایش مصرف هرکدام سبب کاهش غلظت دیگری در گیاه گردیدکه بیانگر اثرات متقابل منفی بینابین دو عنصر است. از این رو، به استناد این گزارش‌ها یافتن نسبت بهینه غلظت عناصر پتاسیم و منیزیم امر مهم و حایز اهمیتی می‌باشد که با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان ادعا کرد در گیاه ذرت ۷۰۴ استفاده از نسبت ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بهترین نتیجه را دارد. ویی

و همکاران (Wei *et al*., 2013) در پژوهشی بر روی ارقام گندم زمستانه بیان داشتند به‌کارگیری خارجی کربنات پتاسیم در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش میزان پتاسیماندام هواییگردید و موجب افزایش تحمل این گیاهان نسبت به خشکی شد.

کانجانا (Kanjana, 2020) با بررسی تاثیر کاربرد برگی نانوذرات اکسید منیزیم و سولفات منیزیم بر غلظت عناصر معدنی نشان داد کاربرد برگی نانو ذرات اکسید منیزیم و سولفات منیزیم تاثیر مثبتی بر میزان عناصر پتاسیم و منیزیم داشت. آلتاروجیو و همکاران (Altarugio *et al*., 2017) نیز به‌طور مشابه پاسخ ذرت به محلول‌پاشی برگی سولفات منیزیم را مورد ارزیابی قرار داده و بیان نمودند محلول‌پاشی این عنصر سبب افزایش میزان منیزیم برگ در ذرت گردید.

محتوای کلروفیل و کارتنوئید: نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر آبیاری (براساس میزان تبخیر از سطح تشتک تبخیر) به تنهایی و همچنین محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم و اثر متقابل آبیاری در محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید از نظر آماری معنی‌دار ($P\leq$٪۱) و موجب تفاوت قابل‌توجهی شد (جدول ۲)، به گونه‌ای که با افزایش دور آبیاری از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر و همچنین کاهش سبت منیزیم به پتاسیم مقدار کلروفیل و کارتنوئید برگ گیاه ذرت کاهش یافت (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳)، بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید در آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به‌دست آمد. به طورکلی، نتایج بررسی مقایسه میانگین اثر عناصر پتاسیم و منیزیم بر تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی تحمل به خشکی در ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) نشان داد مصرف سولفات‌پتاسیم و سولفات منیزیم، موجب افزایش محتوای پرولین و کلروفیل برگ در شرایط تنش خشکی گردید. به‌نظر می‌رسد کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی به افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول مربوط می‌شود. این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و تجزیه می‌شوند و با کاهش کلروفیل، تغییرات قابل توجهی در گیاهان ایجاد می‌کنند (Moeini *et al*., 2022). مصرف سولفات پتاسیم و سولفات منیزیم از طریق افزایش میزان جذب عناصر پتاسیم و منیزیم، حفظ کلروفیل برگ و در نتیجه فتوسنتز مؤثرتر، تنش اسمزی ناشی از تنش خشکی را کاهش داده و تحمل گیاه ذرتدر برابر تنش خشکی را بهبود بخشید (Najafi and Mostafaeei, 2015). منیزیم به‌عنوان اتم مرکزی مولکول کلروفیل نقش ایفا می‌کند و در حفظ و تبدیل انرژی (Amtmann and Blatt, 2009)، ساخت پروتئین، به‌عنوان کوفاکتور در بسیاری از فرآیندهای آنزیمی دخیل در فسفوریلاسیون، دفسفوریلاسیون، هیدرولیز ترکیبات مختلف و به‌عنوان تثبیت‌کننده ساختار برای نوکلئوتیدهای مختلف نقش دارد (Merhaut, 2007). از آنجاکه منیزیم جزو جدایی‌ناپذیر مولکول کلروفیل و فرآیندهای آنزیمی مرتبط با فتوسنتز و تنفس است، جذب و تثبیت کربن و انتقال انرژی به‌طور مستقیم تحت تأثیر کمبود منیزیم قرار می‌گیرد (Merhaut, 2007). به نظر می‌رسد افزایش میزان کلروفیل و کارتنوئید و کاهش میزان پرولین در شرایط افزایش همزمان میزان تنش کمبود آب و میزان محلول‌پاشی منیزیم

نشان‌دهنده کاهش تاثیر تنش اعمال شده در گیاه در نتیجه کاربرد برگی عناصر پتاسیم و منیزیم است. از سویی دیگر، منیزیم یک ماده مغذی با تحرک بالا در گیاهان است و در زمان کمبود به برگ‌های منبع منتقل می‌شود تا از کاهش شدید فعالیت‌های فتوسنتزی جلوگیری شود. علاوه بر این، منیزیم در حمل و نقل کربوهیدراتاز منبع به مقصدفعال است. از این رو، ارتباط معکوس بین کمبود منیزیمو تجمع قند در برگ‌ها مشاهده می‌شود (Farhat *et al.*, 2016). یکی از علامت‌های کمبود منیزیم، کلروز بینابینی برگ است. گسترش کلروز رابطه مستقیمی با تخریب کلروفیل دارد و از آنجا که منیزیم در مولکول کلروفیل به‌عنوان اتم مرکزی عمل می‌کند به نظر می رسد این کلروز در اثر کمبود منیزیم ایجاد گردیده باشد (Marschner, 2012).

محتوای پرولین: نتایج آنالیز واریانس نشان داد محتوای پرولین تحت تاثیر اثر ساده آبیاری (براساس میزان تبخیر از سطح تشتک تبخیر) و محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم و همچنین اثر متقابل آبیاری در مقادیر منیزیم و پتاسیم قرار گرفت و موجب اختلاف معنی‌داری در تیمارهای مختلف گردید ($P\leq$٪۵) (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) با افزایش میزان تبخیر از تشت جهت آبیاری، میزان پرولین افزایش ولی کاربرد منیزیم و پتاسیم همزمان با شرایط کمبود آبیاری موجب کاهش میزان پرولین شد. به‌گونه‌ای که در آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و عدم کاربرد سولفات منیزیم و سولفات پتاسیم بالاترین میزان پرولین (۰/۰۴۴ میکرومول بر گرم وزن خشک) مشاهده شد ولی کمترین مقدار پرولین در آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۰/۰۱۷ میکرومول بر گرم وزن خشک) به‌دست آمد (جدول ۳). عابدی باباعربی و همکاران (Abedi Babaarabi *et al.*, 2012) با بررسی تاثیر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در گیاه گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که تامین این عنصر در شرایط کم‌آبی موجب افزایش محتوای پرولین گردید. سالگادو آگویلار و همکاران (Salgado-Aguilar *et al.*, 2020) معتقدند افزایش میزان پرولین برگ در شرایط تنش خشکی می‌تواند به سبب تجزیه و تخریب پروتئین‌ها و همچنین تجزیه کربنی موجود در ساختار برگ باشد. پرولین در واقع به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای نیتروژن و یا ماده محلولی که پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد عمل می‌کند و به گیاه در شرایط تنش کمک می‌نماید. در تنش شدید رطوبتی، میزان تنفس، جذب دی اکسیدکربن، انتقال مواد فتوسنتزی و مواد معدنی موجود در خاک در آوندهای چوبی سریعاً به حد بسیار اندک کاهش پیدا می‌کند. این امر در حالی است که فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده افزایش می‌یابد. طاهائی و همکاران (Tahaei *et al.*, 2022) بیان داشتند که وقتی تنش خشکی افزایش می‌یابد پتانسیل اسمزی از طریق تجمع محلول‌های سازگار از جمله پرولین در سیتوپلاسم افزایش می‌یابد. تنش خشکی از طریق افزایش بیان آنزیم‌های سنتزکننده پرولین و کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب پرولین باعث افزایش میزان این اسید آمینه در گیاه می‌شود. انباشته شدن پرولین در شرایط تنش خشکی شدید رخ می‌دهد. این ماده ممکن است با از دست رفتن آماس سلولی، به‌عنوان یک اسمولیت

یا محافظت‌کننده از ساختارهای پروتئینی نقش‌آفرینی کند.

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری و کاربرد منیزیم و پتاسیم بر عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. از سویی دیگر، با توجه به نتایج جدول ۴، اثر ساده آبیاری بر شاخص برداشت تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. همچنین، اثرمتقابل آبیاری در کاربرد منیزیم و پتاسیم موجب تفاوت معنی‌داری در عملکرد و اجزای عملکرد ذرت داشت ($P\leq$۱٪). نتایج مقایسه میانگین بر ویژگی‌های عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت ذرت در شکل ۱ نشان داده شده است. با استناد نتایج به دست آمده اگرچه با افزایش سطح تبخیر از تشتک تبخیر میزان عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت ذرت کاهش یافت اما محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم توانست تأثیر مثبت معنی‌داری داشته باشد. به عبارتی دیگر، همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، با افزایش غلظت منیزیم و پتاسیم محلول‌پاشی شده به‌طور مشابه میزان عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت ذرت نسبت به شاهد افزایش قابل توجهی داشت. محلول‌پاشی مقادیرمختلف منیزیم و پتاسیم در سطح آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تفاوت معنی داری بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت ذرت نداشت اما بالاترین میزان عملکرد بیولوژیکی و دانه و شاخص برداشت در شرایط آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت و محلول‌پاشی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم مشاهده شد (شکل ۱). در پژوهشی در ارتباط با تاثیر سطوح مختلف سولفات پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای تحت تنش خشکی نیز مشاهده شد که کاربرد سولفات پتاسیم در سطح ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در تنش خشکی ملایم و شدید سبب بهبودشرایط رشدی عملکرد دانه و عملکردبیولوژیک در مقایسه با شاهد گردید (Heidari and Asgharipour, 2012).

باتاچاریا و همکاران (Bhattacharyya *et al.*, 2018) مشاهده کردند تیمارپتاسیم نقش مهمی در بهبود عملکرد، کارایی مصرف آب و استفاده از مواد غذایی ذرت داشتو پتاسیم محلول در آب و قابل تعویض (به‌عنوان فاکتورهای مهم در افزایش عملکرد و جذب پتاسیم توسط ذرت) در تنش‌های رطوبتی ناکافی بود. آسلام و همکاران (Aslam *et al.*, 2018) نیز با بررسی تأثیر محلول‌پاشی سطوح مختلف سولفات منیزیم و آبیاری برنامه‌ریزی‌شده بر کیفیت و عملکرد ذرت نشان دادند حداکثر وزن دانه (۲۵۳/۳۸ گرم)، تعداد دانه (۴۷۲/۴۹ گرم)، وزن هزار دانه (۲۶۵/۹۹ گرم)، عملکرد بیولوژیکی (۱۳/۰۸ تن در هکتار)، عملکرد دانه (۵/۰۵ تن در هکتار) و شاخص برداشت (۳۸/۴۳٪) در زمان محلول‌پاشی اندام هوایی با ۰/۵درصد سولفات منیزیم به‌دست آمد. به‌طورکلی در این بررسی نیز مشخص گردید کاربرد سولفات منیزیم موجب بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکردی ذرت در شرایط کمبود آبیاری شد که با نتایج به‌دست آمده در این بررسی مطابقت داشت. در مطالعه دیگری، حسن‌زاده و همکاران (Hasanzade *et al.*, 2013) بیان داشتند کاربرد کود پتاسیم در سطوح ۳۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار در گیاهان گندم تحت تنش خشکی موجب افزایش میزان پتاسیم دانه شد. در

مطالعه‌ای در ارتباط با تاثیر کاربرد پتاسیم بر عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش کمبود آب مشاهده شد. پتاسیم تاثیر مثبتی بر ارتفاع گیاه، تعداد دانه در ردیف، وزن هزاردانه و عملکرد دانه داشت (Maleki *et al.*, 2014). وی و همکاران (Wei *et al.*, 2013) در پژوهشی بر روی ارقام گندم زمستانه بیان داشتند بکارگیری خارجی کربنات پتاسیم در شرایط تنش کمبود آب به‌طور معنی‌داری سبب افزایش میزان پتاسیم اندام هوایی، پتانسیل آب، میزان کلروفیل و تبادلات گازی گردید و مقادیر نشت الکترولیت و مالون‌دآلدهید را کاهش و موجب افزایش تحمل این گیاهان نسبت به خشکی شد. در گیاه سورگوم نیز استفاده از سولفات پتاسیم، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گیاهان را به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد بهبود بخشید (Asgharipour and Heidari, 2011).

نتیجه‌گیری کلی

با عنایت به‌نتایج حاصل از این پژوهش به نظر می‌رسد که اگرچه با افزایش تنش کمبود آب از ۵۰ میلی‌متر به ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکردی هیبرید ذرت ۷۰۴ کاهش یافت اما محلول‌پاشی مقادیر مختلف پتاسیم و منیزیم توانست اثر تعدیل‌کننده‌ای داشته باشد. در شرایط آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و کاربرد توام ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بیشترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول بلال، تعداد دانه در بلال، میزان جذب پتاسیم، میزان جذب منیزیم، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت و کمترین مقدار پرولین به‌دست آمد. به عبارت دیگر، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان اظهار داشت که کاربرد توام منیزیم و پتاسیم در مقدار مناسب موجب بهبود اثرات منفی کمبود آب شد. از این رو، پیشنهاد می‌شود که می‌توان با کاربرد عناصر منیزیم و پتاسیم اثرات منفی کمبود آب و خسارات متعاقب بعدی آن را به صورت قابل‌توجهی کاهش داد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physical and chemical properties of test soil (depth 0-30 cm)

پتاسیم قابل‌جذب Absorbable potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل‌جذب Absorbable phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total nitrogen (٪)	مواد آلی Organic materials (٪)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($ds.m^{-2}$)	اسیدیته Acidity	بافت خاک Soil texture
267	16.6	0.03	0.5	3	7.11	لومی شنی Lumi Sandy

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس مرکب صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت تحت دورهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم

Table 2- Results of combined analysis of variance of morphological and biochemical traits of maize under different irrigation and spray cycles of different concentrations of magnesium to potassium ratio

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares (MS)					
		ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	طول بلال Ear length	تعداد دانه در بلال Number of cobs	میزان پتاسیم Potassium rate	میزان منیزیم Magnesium rate
سال Year	1	3765.19**	0.126$^{n.s}$	49.336$^{n.s}$	1292$^{n.s}$	0.4379$^{n.s}$	0.412$^{n.s}$
سال(بلوک) Year(block)	6	175.59	0.025	8.993	1770	0.4425	0.449
آبیاری Irrigation	2	9690.80**	0.719**	467.820**	229281**	22.4682**	1.674**
سال × آبیاری I×Y	2	33.12$^{n.s}$	0.003$^{n.s}$	1.009$^{n.s}$	161$^{n.s}$	0.0044$^{n.s}$	0.001$^{n.s}$
خطای اصلی Main plot error	12	5.35	0.001	0.601	464	0.0099	0.016
منیزیم و پتاسیم Mg.K	2	4059.41**	0.795**	298.474**	153435**	38.533**	10.478**
سال×منیزیم و پتاسیم Mg.K ×Y	2	42.18$^{n.s}$	0.0006$^{n.s}$	0.390$^{n.s}$	62$^{n.s}$	0.0003$^{n.s}$	0.026$^{n.s}$
آبیاری × منیزیم وپتاسیم Mg.K ×I	4	9994.90**	0.015*	0.748*	1000**	2.709**	0.575**
سال × آبیاری × منیزیم و پتاسیم Mg.K ×I×Y	4	22.14$^{n.s}$	0.002$^{n.s}$	0.061$^{n.s}$	25$^{n.s}$	0.006$^{n.s}$	0.005$^{n.s}$
خطای فرعی Sub-plot error	36	10.00	0.0008	2.173	327	0.020	0.025
ضریب تغییرات C.V.(%)		9.5	8.19	8.49	6.61	5.56	7.49

**، * و n.s نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

**, * and n.s indicate significance at the level of 1%, 5% and no significance.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares (MS)				
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Cartonoid	پرولین Proline
سال Year	1	0.360$^{n.s}$	0.001$^{n.s}$	0.402*	0.0009$^{n.s}$	0.000007$^{n.s}$
سال(بلوک) Year(block)	6	0.013	0.010	0.016	0.0019	0.000009
آبیاری Irrigation	2	0.824**	0.123**	1.418**	0.3501**	0.0015*
سال × آبیاری I×Y	2	0.00001$^{n.s}$	0.00001$^{n.s}$	0.00005$^{n.s}$	0.00001$^{n.s}$	0.000004$^{n.s}$
خطای اصلی Main plot error	12	0.008	0.007	0.005	0.0004	0.00001
منیزیم و پتاسیم Mg.K	2	0.160**	0.065**	0.161**	0.1577**	0.0002*
سال×منیزیم و پتاسیم Mg.K ×Y	2	0.00007$^{n.s}$	0.00002$^{n.s}$	0.0001$^{n.s}$	0.000006$^{n.s}$	0.000002$^{n.s}$
آبیاری × منیزیم وپتاسیم Mg.K ×I	4	0.053**	0.022**	0.014**	0.0033**	0.0004*
سال × آبیاری × منیزیم و پتاسیم Mg.K ×I×Y	4	0.00006$^{n.s}$	0.00004$^{n.s}$	0.0002$^{n.s}$	0.00002$^{n.s}$	0.000003$^{n.s}$
خطای فرعی Sub-plot error	36	0.007	0.007	0.007	0.0005	0.000008
ضریب تغییرات C.V.(%)		5.45	4.53	4.37	7.80	6.60

**، * و n.s نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

**, * and n.s indicate significance at the level of 1%, 5% and no significance.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری در محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت

Table 3- Comparison of the average interaction of different irrigation cycles in the spray of different ratios of magnesium to potassium on the morphological and biochemical properties of corn

میزان تبخیر از تشت Evaporation of the pan (mm)	سولفات منیزیم و سولفات پتاسیم magnesium sulfate - potassium sulfate (kg)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem Diameter (cm)	طول بلال Ear length (cm)	تعداد دانه در بلال Number of seeds per ear	پتاسیم Potassium ($mg.kg^{-1}$)	منیزیم Magnesium ($mg.kg^{-1}$)
50	صفر zero	168b	2.17bc	35.25b	545.75b	17.84bc	5.03c
	100;150	179.5a	2.34a	38.82a	525.50b	18.90b	6.36b
	300;200	181a	2.42a	40.97a	603.25a	20.86a	7.25a
75	صفر zero	146.25d	2.13bc	31.25c	447.50c	16.34c	4.39d
	100;150	157.5c	2.23b	33.35b	551.00b	17.54bc	6.12b
	300;200	167b	2.31a	35.15b	533.75b	19.59a	7.93a
100	صفر zero	126.5d	1.82d	26.25d	347.50d	14.78d	3.85e
	100;150	139.25d	2.00c	30.97c	380.25d	16.33c	6.31b
	300;200	159b	2.21b	33.17b	470.00c	18.30b	7.23a

ادامه جدول ۳-

Table 3- Continued

میزان تبخیر از تشت Evaporation of the pan (mm)	سولفات منیزیم و سولفات پتاسیم magnesium sulfate - potassium sulfate (kg)	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.kg^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.kg^{-1}$)	کلروفیل کل Total chlorophyll ($mg.kg^{-1}$)	کارتنوئید Cartonoid ($mg.kg^{-1}$)	پرولین Proline ($\mu mol.g.DW^{-1}$)
50	صفر zero	0.81b	0.23c	1.05c	0.75c	0.024c
	100;150	0.82b	0.27b	1.09c	0.83b	0.020d
	300;200	0.93a	0.35a	1.28a	0.89a	0.017e
75	صفر zero	0.63d	0.21c	0.84d	0.66d	0.032b
	100;150	0.75c	0.28b	1.03c	0.70c	0.025c
	300;200	0.84b	0.33a	1.18b	0.78c	0.020d
100	صفر zero	0.41e	0.11de	0.53e	0.47e	0.044a
	100;150	0.53de	0.19d	0.73de	0.53e	0.031b
	300;200	0.77c	0.23c	1.00c	0.67d	0.022cd

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

The different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's test at the 5% level.

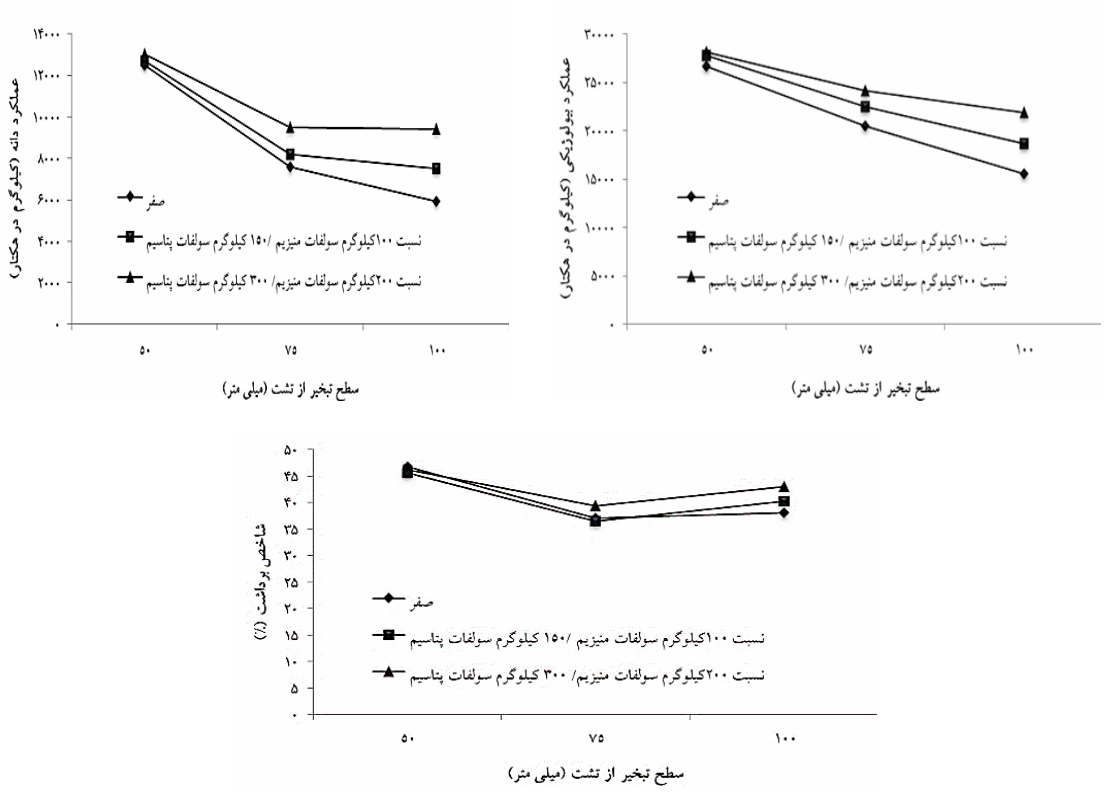
جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس ویژگی‌های عملکردی ذرت تحت دورهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم

Table 4- Results of analysis of variance of yield characteristics of maize under different irrigation and spray of magnesium and potassium

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares (MS)		
		عملکرد بیولوژیکی Biological function	عملکرد دانه Grain performance	شاخص برداشت Harvest index
سال Year	1	1151909$^{n.s}$	1021497$^{n.s}$	8.742$^{n.s}$
سال(بلوک) Year(block)	6	297399	219627	1.982
آبیاری Irrigation	2	705413169**	236025140**	418.939**
سال × آبیاری I×Y	2	15823$^{n.s}$	69921$^{n.s}$	2.356$^{n.s}$
خطای اصلی Main plot error	12	30262	67088	1.904
منیزیم و پتاسیم Mg.K	2	23610798**	5226340**	8.582$^{n.s}$
سال×منیزیم و پتاسیم Mg.K ×Y	2	86223*	3619$^{n.s}$	0.550$^{n.s}$
آبیاری × منیزیم وپتاسیم Mg.K ×I	4	685574**	733555**	11.096**
سال × آبیاری × منیزیم و پتاسیم Mg.K ×I×Y	4	9640$^{n.s}$	1519$^{n.s}$	0.185$^{n.s}$
خطای فرعی Sub-plot error	36	55999	505739	0.765
ضریب تغییرات C.V.(%)	-	8.19	9.33	10.35

**، * و n.s نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

**, * and n.s indicate significance at the level of 1%, 5% and no significance.



شکل ۱- میانگین اثر متقابل دورهای مختلف آبیاری در محلول‌پاشی منیزیم و پتاسیم بر ویژگی‌های عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت ذرت

Figure 1- Mean interaction of different irrigation cycles in spray of magnesium and potassium on grain yield, biological yield and corn harvest index

References منابع مورد استفاده

- Abedi Babaarabi, S., M. Movahedi Dehnavi, A.R. Badavi, and A. Adhami. 2012. Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. *Journal of Crop Production*. 4(1): 75-90.
- Ahmad, A., Z. Aslam, M.Z. Ilyas, H. Ameer, A. Mahmood, and M. Rehan. 2019. Drought stress mitigation by foliar feeding of potassium and amino acids in wheat. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences.* 18: 10-18.
- Altarugio, L.M., M.H. Loman, M.G. Nirschl, R.G. Silvano, E. Zavaschi, G.C. Vitti, P.H.D.C. Luz, and R. Otto. 2017. Yield performance of soybean and corn subjected to magnesium foliar spray. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 52(12): 1185-1191.
- Amtmann, A., and M.R. Blatt. 2009. Regulation of macronutrient transport. *New Phytologist.* 181: 35-52.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology.* 24: 1-15.
- Asgharipour, M.R., and M. Heidari. 2011. Effect of potassium supply on drought resistance in sorghum: plant growth and macronutrient content. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences.* 48(3): 197-204.
- Aslam, M.R., M. Maqsood, Z. Ahmad, S. Akhtar, M. Rizwan, and M.U. Hameed. 2018. Effect of foliar applied magnesium sulphate and irrigation scheduling on quality and yield of maize hybrid. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 31(2): 173-179.
- Bates, L.S., R.P.Waldren, and I. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil.* 39(1): 205-207.
- Bhattacharyya, K., T. Dasa, K. Rayb, S. Duttac, K. Majumdard, A. Paria, and H. Banerje. 2018. Yield of and nutrient-water use by maize exposed to moisture stress and K fertilizers in an inceptisol of West Bengal, India. *Agricultural Water Management.* 206: 31-41.
- Bukvic, G., M. Antunovic, S. Popović, and M. Rastija. 2003. Effect of P and Zn fertilisation on biomass yield and its uptake by maize lines (*Zea mays* L.). *Plant, Soil and Environment.* 49(11): 505-510 .
- Cakmak, I., and E.A. Kirkby. 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia plantarum.* 133(4): 692-704.
- Dehghani Ahmadabadi, M., A. Shahnazari, A. Khadami Firouzabadi, and M.R. Ardakani. 2021. The effect of irrigation management on the growth and water consumption efficiency of corn plants under different levels of biochar. *Journal of Water Management in Agriculture*. 8(1): 1-15. (In Persian).
- Efeoglu, B., Y. Ekmekçi, and N. Cicek. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany.* 75(1): 34-42.
- Farhat, N., A. Elkhouni, W. Zorrig, A. Smaoui, C. Abdelly, and M. Rabhi. 2016. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. *Acta Physiologiae Plantarum*. 38(6): 1-10.

- Fathi, S., A. Samadi, M. Davari, and S. Asadi Kapourchal. 2014. Evaluating different extractants for determining corn available potassium in some calcareous soils of Kurdistan province. *Journal of Cereal Research*. 4(3): 253-266. (In Persian)
- Hasanzade, E., M. Ghajar Sepanlou, and M. Bahmanyar. 2013. The effect of potassium and manure application on concentration of macro elements on wheat under different water stresses. *Journal of Agricultural Engineering*. 36 (1): 77-85. (In Persian)
- Heidari**,** M., and M.R. Asgharipour**.** 2012. Effect of different levels of potassium sulfate and drought stress on yield and yield attributes of grain sorghum (*Sorghum bicolor*).*Iranian Journal of Field Crops Research.* 10(2): 374-381. (In Persian)
- Iqbal, A., and Z. Hidayat. 2016. Potassium management for improving growth and grain yield of maize (*Zeamays* L.) under moisture stress condition.*Scientific Reports*. 6(1): 1-12.
- Kaman, H., C. Kirda, and S. Sesveren. 2011. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. *Agricultural Water Management.* 98: 801-807.
- Kanjana, D. 2020. Foliar application of magnesium oxide nanoparticles on nutrient element concentrations, growth, physiological, and yield parameters of cotton. *Journal of Plant Nutrition.* 43(20): 3035-3049.
- Kwizera, C., B.T.I. Ong'or, S. Kaboneka, F. Nkeshimana, and N. Ahiboneye. 2019. Effects of potassium fertilizer on bean growth and yield parameters. *Advances in Scientific Research and Engineering*. 5 (1): 1-7**.**
- Li, Y., X. Liu, and W. Zhuang, 2001. Effect of magnesium deficiency on nitrogen metabolism of longan (*Dimocarpus longana* Lour) seedlings. *Plant Nutrition and Fertilizer Science.* 7: 218-222 .
- Majidi, A., and K. Kharazmi. 2015. Potassium and magnesium interaction in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Applied Field Crops Research.*108 (1): 1-7. (In Persian)
- Maleki, A., S. Fazel, R. Naseri, K. Rezaei, and M. Heydari. 2014. The effect of potassium and zinc sulfate application on grain yield of maize under drought stress conditions. *Advances in Environmental Biology.* 8(4): 890-894. (In Persian)
- Malvi, U.R. 2011. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*. 24(1):106-109.
- Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. Vol. 89: Academic press.
- Masjedi, A., A. Shokohfar, and M. Alavi Fazel. 2009. A survey of most suitable irrigation scheduling and effect of drought stress on yield for summer corn (SC.704) with class A evaporation pan in Ahvaz. *Journal of Hydrology and Soil Science.* 12 (46): 543-550. (In Persian)
- Merhaut, D.J. 2007. Magnesium. In: Barker A.V. and D.J. Pilbeam, (Eds) Handbook of Plant Nutrition (1st Edn). CRC Taylor and Francis, NY. pp. 145-181.
- Moeini, A.R., A. Neshat, N. Yazdanpanah, and A. Pasandi Pour. 2022. Effect of super absorbent polymer and soil texture affecting the physiological response of maize (*Zea mays* L.) under water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 16(1): 43-60. (In Persian)
- Najafi, N.A., and M. Mostafaeei. 2015. Improvement of corn plant nutrition by farmyard manure application and intercropping with bean and bitter vetch in a

Calcareous soil. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production.* 5(1): 1-22. (In Persian)

- Peel, M.C., B.L. Finlayson, and T. A. McMahon. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions.* 4(2): 439-473.
- Rafiee, M. 2014. Evaluation of grain yield and yield components of maize hybrids in double cropping with winter crops in temperate condition of Khorramabad. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 16 (1): 39-50.(In Persian)
- Sadeghian Dehkordi, S.A., A. Tadayyon, M.R. Tadayyon, and A. Saffar. 2015. Effect of drought stress and bio-fertilizers and chemical fertilizers on some morphplogical and physiological characteristis of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Arid Biome Scientific and Research Journal*. 5(2): 83-91. (In Persian)
- Salehi, R., A. Maleki, and H. Dehghanzadeh. 2012. Effect of potassium and zinc sulphat application on yield and yield componemts of maiz (Sc 704) under drought stress conditions. *Journal of Crop Production inEnvironmentalStress*. 4(3): 59-70. (In Persian)
- Salgado-Aguilar, M., T. Molnar, J. Pons-Hernández, J. Covarrubias-Prieto, J. Ramirez-Pimentel, J.C. Raya-Perez1, S. Hearne, and G. Iturriaga. 2020. Physiological and biochemical analyses of novel drought-tolerant maize lines reveal osmoprotectant accumulation at silking stage. *Chilean Journal of Agriculture Reasearch*. 80(2): 241-253.
- Shao, H., Z. Liang, and M. Shao. 2006. Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotyps at soil water deficits. *Colloids and Surface: Biology Interface.* 47:132-139.
- Tahaei, S.A.R., M. Nasri, A. Soleimani, F. Ghooshchi, and M. Oveysi. 2022. Effects of growth regulators and proline amino acid on yield and yield components of single cross 704 maize under drought stress conditions in Isfahan province. *Environmental stresses in Crop Sciences.* 15(3): 15-32. (In Persian)
- Wallace, J.S. 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production water content in tow maize cultivar. *Pakistan Journal of Biological Science.* 10 (22): 4022-4028.
- Wang, M., Q. Zheng, Q. Shen, and S. Guo. 2013. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 14(4): 7370-7390 .
- Wei, J., C. Li, Y. Li, G. Jiang, G. Cheng, and Y. Zheng. 2013. Effects of external potassium (K) supply on drought tolerances of two contrasting winter wheat cultivars. *Plos One.* 8: e69737.
- Weimberg, R. 1987. Solute adjustments in leaves of two species of wheat at two different stages of growth in response to salinity. *Physiologia Plantarum*. 70 (3): 381-388.

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1913625.1729

Effect of Foliar Application of Magnesium and Potassium Sulfate on Morphological, Biochemical and Yield Characteristics of Maize (*Zea mays* L.) During Water Deficiet Stress

Arman Sotoodeh[1], Tayeb Saki Nejad[1]*, Alireza Shokuhfar[1], Shahram Lak[1], and Mani Majaddam[1]

Received: October 2020 , Revised: 31 October 2021, Accepted: 1 November 2021

Abstract

Drought stress is one of the most important factors that limiting the growth and yield of plants. In recent years the use of various methods to reduce its negative effects has been considered by many researchers. This experiment was performed as a split plot in the form of randomized complete blocks with four replications in two years. The effect of foliar application of different ratios of magnesium and potassium on the morphological, biochemical and functional characteristics of maize (single cross cultivar 704) in different irrigation cycles (50, 75 and 100 mm evaporation from Class A evaporation pan) was evaluated. The results of analysis of variance showed that the interaction of irrigation and magnesium to potassium ratio on the characteristics of height, stem diameter, ear length, number of seeds per ear, potassium uptake, magnesium uptake, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, Carotenoids, proline, biological yield, grain yield and harvest index had a statistically significant effect. The results of the study of the effect of potassium and magnesium on morphological and biochemical changes in drought tolerance in maize (Single Cross 704 cultivar) showed that consumption of these elements significantly increased plant height, stem diameter, ear length, number of seeds per ear, uptake rate Potassium, magnesium uptake, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, proline, biological yield, grain yield and harvest index in water deficit conditions; So that the highest value of these traits in evapotranspiration conditions was 50 mm from the evapotranspiration pan and application of 200 kg of magnesium sulfate/ 300 kg of potassium sulfate. Also, foliar application of different concentrations of potassium sulfate and magnesium sulfate by increasing the uptake of potassium and magnesium, preserving leaf chlorophyll, resulting in more effective photosynthesis as well as increasing the concentration of proline in plant leaves, moderate the negative effects of water deficiency and corn tolerance to conditions. Improve water shortage.

Key words: Drought stress, Foliar application, Maize, Magnesium, Potassium.

1- Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
**Corresponding Author: t.saki1350@yahoo.com*