نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هجدهم، شماره ۳(۷۱)، پاییز ۱۴۰۳، صفحه ۲۹۰-۲۶۹

مقاله پژوهشی DOI:

تأثیر پتاسیم و متیل جاسمونات برخصوصیات عملکردی و فیزیولوژیک ذرت علوفه‌ای(*Zea mays* L.) رقم NS6010 در شرایط تنش کم‌آبی در منطقه نیشابور

علیرضا بیگی[۱]، فرشاد قوشچی[۲*]، حمیدرضا توحیدی مقدم[۲]، محمد نصری[۲] و پورنگ کسرایی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تاثیر پتاسیم و متیل جاسمونات برخصوصیات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ذرت علوفه‌ای در شرایط تنش کم‌آبی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در منطقه نیشابور در تابستان سال ۱۳۹۸ به اجرا در آمد. عامل‌های آزمایشی شامل تنش کم‌آبی بعنوان عامل اصلی در سه سطح شامل مصرف ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی (به ترتیب آبیاری مطلوب، تنش ملایم و شدید کم‌آبی)، کود پتاسیم در سطوح شاهد (صفر)، تیمار ۱۰۰ و تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و متیل جاسمونات در سطوح شاهد (صفر)، تیمار ۵۰ و تیمار ۱۰۰ میکرومولار به عنوان عوامل فرعی به صورت فاکتوریل اعمال گردید. بیشترین مقادیر کلروفیل کل (۲/۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن تازه)، شاخص سطح برگ (۴/۹۵) و وزن خشک علوفه (۳۷۸۳۸ کیلوگرم در هکتار) در آبیاری مطلوب و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم بدست آمد. تنش شدید کم‌آبی موجب کاهش ۲/۷، ۲/۴، ۴۳/۸ و ۴۸/۷ درصدی به ترتیب در صفات محتوی نسبی آب برگ، کاروتنوئید، وزن خشک برگ و قندهای محلول نسبت به آبیاری مطلوب شد. مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم بیشترین کاروتنوئید (۰/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تازه)، وزن خشک برگ (۱۷۷/۱ گرم در متر مربع)، قندهای محلول برگ (۵۲۸/۶ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) و پروتئین برگ (۸٪/۲۲) در این تیمار بدست آمد. در بین سطوح متیل جاسمونات نیز، غلظت ۱۰۰ میکرومولار بیشترین تأثیر را در صفات مورد بررسی داشت. به طور کلی مشخص شد که اعمال تیمارهای پتاسیم و متیل جاسمونات موجب تعدیل اثرات منفی تنش کم‌آبی شد و این تعدیل با افزایش غلظت تیمارهای پتاسیم و متیل جاسمونات افزایش یافت. پیشنهاد می‌شود به منظور دستیابی به حداکثر عملکرد علوفه، رقم NS6010 بدون تنش آبی در شرایط اقلیمی نیشابور کشت شود.

واژگان کلیدی: اسمولیت، خشکی، رنگدانه، کربوهیدرات، ذرت، پتاسیم، متیل جاسمونات، عملکرد علوفه.

۱- دانش‌آموخته دکترای زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
نگارنده مسئول **ghooshchi_farshad@yahoo.com**

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی یک‌ساله متعلق به تیره گرامینه (گندمیان)، زیر خانواده Panicodeae و طایفه Maydeae می‌باشد که گونه زراعی آن همان ذرت با نام علمی *Zea mays* L. است. گیاهان علوفه‌ای با دو میلیون هکتار سطح زیر کشت در ایران، حدود ۲۵ درصد از تولیدات زراعی کشور را به خود اختصاص داده است که در این بین ذرت با ۲۰۰ هزار هکتار، بعد از یونجه (*Medicago sativa* L.) با ۶۵۰ هزار هکتار در رتبه دوم سطح زیرکشت و رتبه اول تولید علوفه (۱۰/۴ میلیون تن) قرار گرفته است (Ahmadi *et al*., 2018; Afshoon *et al*., 2021).

در مناطق گرمسیری به علت تنش کم‌آبی و بسته شدن روزنه‌ها عملکرد دانه ذرت به طور ملایم در حدود ۱۷ درصد کاهش می‌یابد، اما بسته به شدت تنش کم‌آبی و زمان وقوع آن، کاهش عملکرد می‌تواند به ۸۰ درصد هم برسد (Ribaut *et al*., 2012). عملکرد ذرت تحت اثر شرایط محیطی، پتانسیل ژنتیکی و برهم کنش آن‌ها قرار می‌گیرد. اگر چه همه تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده از عوامل تهدید کننده تولید ذرت به حساب می‌آیند، اما در حال حاضر تنش کم‌آبی مهم‌ترین عامل محدودکننده برای تولید موفق ذرت در ایران و جهان به شمار می‌رود (Dolatabadian *et al*., 2010).

تنش کم‌آبی در شدت بالا سبب تنش اسمزی و یونی و به دنبال آن تخریب غشاء، عدم توازن عناصر مورد نیاز گیاه، ممانعت آنزیمی، تغییر سطوح تنظیم کننده‌های رشد و کاهش فتوسنتز شده که در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Keshavarz Mirzamohammadi *et al*., 2021a). گیاهان در شرایط کم‌آبی، از طریق تجمع آمینو اسیدها، یون‌ها، پرولین، پروتئین محلول و قندها باعث کاهش پتانسیل اسمزی می‌شوند. این اسمولیت‌ها فشار اسمزی سیتوپلاسم را افزایش داده و جریان آب را در اندام‌ها گیاهی بالا می‌برند (Keshavarz 2020). فتوسنتز از دیگر فرایندهایی است که تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد. بسته شده روزنه‌ها در نتیجه تنش کم‌آبی و به دنبال آن کاهش غلظت درون سلولی CO_2 باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش تثبیت CO_2 می‌شود (Hosseini *et al*., 2023). تنش کم‌آبی نیز مانند سایر تنش‌های غیر زیستی، منجر به افزایش گونه-های فعال اکسیژن، تنش اکسیداتیو و افزایش سطح پراکسیداسیون لیپید شود (Zand-Silakhoor *et al*., 2023). گیاهان از سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی که متشکل از آنزیم‌هایی نظیر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیدازها و آسکوربات ردوکتاز گلوتاتیون و بخش‌های غیر آنزیمی شامل انواع رنگدانه‌های آنزیمی مانند کاروتنوئید، آنتوسیانین و فلاونوئید و تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین، برای مهار تجمع بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش استفاده می‌کند (Loni *et al*., 2023). از آنجا که ایران در منطقه خشک و نیمه خشک دنیا قرار گرفته است، تنش کم‌آبی و اثرات آن بر محصولات زراعی بیش از هر تنش غیر زیستی دیگری مورد توجه است. تنش کمبود آب با ایجاد اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک و کاهش رشد و نمو اندام گیاهی منجر به کاهش زیست‌توده و درنهایت افت عملکرد محصول می-شود (Lobell *et al*., 2014). در مطالعه‌ای با بررسی اثر تنش کم‌آبی بر ارقام مختلف ذرت گزارش شد که بیشترین عملکرد علوفه تر متعلق به تیمار آبیاری مطلوب بود و تیمارهای تنش

آبیاری ملایم و شدید، باعث کاهش ۵۲ و ۱۱ درصدی نسبت به تیمار آبیاری مطلوب شد (Hajibabaei *et al*., 2012).

مصرف بهینه کودهای پتاسه و فسفره در گیاهان ضمن افزایش عملکرد دانه، موجب افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، از قبیل خشکی، شوری و سرما زدگی، بهبود فعالیت‌های زیستی در خاک، زودرسی محصول، کاهش آلاینده‌هایی نظیر کادمیوم در دانه، کاهش سمیت بور و افزایش راندمان آبیاری می‌گردد (Zhao *et al*., 2016). به علت ناکارآمد بودن سیستم باز و بسته شدن روزنه‌ها در شرایط کمبود آب، گیاهان در معرض تنش به سرعت پژمرده می‌شوند، زیرا جذب دی اکسیدکربن کاهش می‌یابد، تثبیت کربن و در نتیجه مقدار فتوسنتز کمتر شده بنابراین، پتاسیم که مسئول تورژسانس سلول‌های محافظ به هنگام باز شدن روزنه‌ها است و افزایش آن در سلول‌های محافظ باعث کاهش پتانسیل اسمزی شده، سپس آب از سلول‌های مجاور روزنه جذب می‌شود و هم زمان سلول‌های محافظ آماس کرده و روزنه‌ها باز می‌شوند (Cakmak, 2005). همچنین ایشان گزارش کرده‌اند که پتاسیم از طریق تنظیم اسمزی بر وضعیت آب گیاه نقش دارد و موجب غلبه بر تنش رطوبتی خاک می‌شود.

حداقل ۵۰ آنزیم گیاهی فعالیتشان به پتاسیم بستگی دارد (Van Brunt and Sultenfuss, 1998; Prajapati and Modi, 2012). از نقش‌های فیزیولوژیک پتاسیم، بالا بردن کارایی مصرف آب در گیاه است، به طوری که در حضور مقدار کافی پتاسیم، وظیفه سلول‌های روزنه که باز و بسته شدن آن‌ها با توجه به شرایط رطوبتی گیاه است، به درستی صورت می‌گیرد که راندمان مصرف آب را بالا می‌برد. پتاسیم با تنظیم فشار اسمزی سلول‌های روزنه برگ، گیاه را در شرایط کم‌آبی در برابر خشکی مقاوم می‌سازد. در شرایط عدم حضور پتاسیم کافی و کمبود آب، روزنه‌ها به موقع بسته نشده و منجر به پژمردگی و پلاسیدگی گیاه می‌گردد. این اثر پتاسیم به لحاظ حفظ شرایط مناسب رطوبتی گیاه و کاهش تراکم هورمون اسید آبسزیک (ABA) در گیاه می‌باشد، پتاسیم سبب می‌شود تا انتقال مواد فتوسنتزی به سمت برگ‌ها بیشتر شده و گیاهانی که کمبود پتاسیم دارند، اغلب دارای نیتروژن زیاد و کمبود هیدرات‌های کربن هستند که این وضعیت، تولید ریشه‌ها را کاهش می‌دهد (Azizabadi *et al*., 2014). ستوده و همکاران (Sotoodeh *et al*., 2022) نیز در تحقیقی درباره تاثیر کود پتاسیم بر رشد و عملکرد ذرت اظهار داشتند استفاده از این تیمار به طور معنی‌داری سبب کاهش خسارت ناشی از کم‌آبی شد. بر اساس نتایج صفری و همکاران (Safari *et al*., 2021)، بیشترین میانگین درصد پروتئین دانه و عملکرد دانه ارقام گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) در تیمار کلرید پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار بدست آمد. در مطالعه ربیعی و همکاران (Rabiei *et al*., 2022) بر روی گیاهان برنج (*Oryza sativa* L.) 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 عملکرد شد.

امروزه جاسمونات‌ها (اسید جاسمونیک و متیل استر آن، متیل جاسمونات) به عنوان گروهی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی محسوب می‌شوند که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک شرکت می‌کنند (Alavi-Samani *et al*., 2015).

جاسمونات‌ها به عنوان یک شبه هورمون فنولیک در سیستم دفاعی در مقابل تنش‌های زیستی و غیر زیستی نقش داشته و همچنین به عنوان یک تنظیم کننده‌ی رشد گیاهی در تنظیم تعدادی از فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه شامل فتوسنتز، تعرق، سنتز کلروفیل، سنتز پروتئین، ممانعت از بیوسنتز اتیلن، جذب و انتقال عناصر نقش دارد (Złotek *et al*., 2016). طی تحقیقاتی که تا کنون انجام شده به نظر می‌رسد که جاسمونات‌ها از طریق تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی، متابولیسم هیدروژن پراکسید و تولید پروتئین‌های شوک گرمائی باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های غیر زیستی می‌شود (Ghassemi-Golezani and Farhangi-Abriz, 2018). این ترکیبات فرآورده نهایی اکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع همانند اسید لینولنیک می‌باشند که به صورت مولکول‌های رادیکال، سیستم دفاعی گیاهان را در مقابل عوامل تنش‌زای محیطی فعال می‌کنند. این مولکول‌ها در برخی از مسیرهای انتقال پیام که القاکننده آنزیم‌های خاص کاتالیزکننده واکنش‌های بیوسنتزی برای تشکیل ترکیب‌های دفاعی مثل پلی فنل‌ها، آلکالوئیدها یا پروتئین‌های مربوط به عوامل بیماریزا هستند، دخالت می‌کنند و منجر به القای واکنش‌های دفاعی می‌شوند. معلوم شده است که وقتی این ماده به صورت خارجی بکار برده می‌شود، به صورت سیستمیک در گیاه حرکت کرده و منجر به بیان یک سری از ژن‌های دفاعی می‌گردند (Keshavarz Mirzamohammadi *et al*., 2021).

لذا با توجه به اهمیت معضل کم‌آبی در کشاورزی و گستردگی روز افزون آن و همچنین نیاز به تولید علوفه در کشور این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کود سولفات پتاسیم و متیل جاسمونات در شرایط کم‌آبی بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه ذرت علوفه‌ای رقم NS6010 انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان نیشابور در مزرعه خسروآباد از واحدهای تحت پوشش شرکت کشاورزی و دامپروری بینالود نیشابور متعلق به بنیاد مستضعفان انقلاب اسلامی در بهار سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. این منطقه بین مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۰ ثانیه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه و ۱۷ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۵۰ متر می‌باشد. منطقه دارای آب و هوای نیمه خشک با ملایم بارندگی سالیانه ۲۴۰/۹۵ میلی‌متر و اقلیم مدیترانه‌ای است و بارندگی بیشتر در فصول سرد سال متمرکز است. میانگین دمای سالیانه هوا در این منطقه ۱۴/۳۳ درجه سلسیوس، میانگین دمای حداقل سالیانه هوا ۶/۸۱ درجه سلسیوس و میانگین دمای حداکثر سالیانه هوا ۲۱/۸۶ درجه سلسیوس می‌باشد. تعداد روزهای با احتمال خطر سرمازدگی بهاره ۲۷ روز و تعداد روزهای با دوره‌های رشد دمایی با دمای بیش از ۱۰ درجه سلسیوس ۲۳۶ روز است.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح خاک دو هفته قبل از کاشت (۲۵ تیر ماه) صورت گرفت. به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از کاشت و شروع تحقیق از ۳ قسمت از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شد و پس از اختلاط نمونه‌ها یک نمونه مرکب از آن‌ها تهیه گردید. نتایج نمونه خاک پس از بررسی

در آزمایشگاه از لحاظ برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به شرح جدول ارائه شده می‌باشد (جدول ۱). عملیات وجین در طول دوره رشد به صورت دستی انجام شد.

عامل‌های آزمایشی شامل تنش کم‌آبی در سه سطح آبیاری به عنوان عامل اصلی شامل مصرف ۲۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک (Soil available water, SAW) در عمق توسعه ریشه و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی (آبیاری مطلوب)، مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و مصرف ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی (کم آبیاری شدید)، منابع کود پتاسیم در سه سطح شاهد (صفر)، تیمار ۱۰۰ و تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار که قبل از کاشت بذر در قطعات مورد نظر اعمال شد. عامل فرعی دیگر متیل جاسمونات می‌باشد که به صورت محلول-پاشی در سه سطح شاهد (صفر)، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اعمال گردید. در این آزمایش بذر ذرت هیبرید سینگل کراس NS6010 مطابق عرف منطقه مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲). مقدار کود فسفره مورد نیاز بر اساس تجزیه خاک قبل از کشت تعیین و به قطعه زمین آزمایشی اضافه شد. کود فسفره (۹۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریل) به صورت پیش از کاشت و کود نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره) در سه مرحله یک سوم همزمان با کاشت، یک سوم در مرحله هشت برگی (V8) و یک سوم قبل از تاسل‌دهی (VT) به‌صورت سرک همزمان با آبیاری به مزرعه داده شد.

بعد از آماده‌سازی زمین و تهیه جوی پشته مقادیر مشخص شده سولفات پتاسیم برای هر کرت با توجه به تیمار مورد نظر، توزین و به کمک بیل با خاک مخلوط گردید. هر کرت آزمایشی شامل هشت ردیف کشت بطول ۵ متر و فاصله پشته‌ها از هم ۷۵ سانتی‌متر، فاصله بذرها روی هر ردیف از هم ۱۵ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر می‌باشد. در همه تیمارها اولین آبیاری بعد از کاشت بذر انجام شد و تا مرحله هشت برگی دو مرتبه آبیاری شد و پس از آن در هشت تیر ماه (۳۵ روز پس از کاشت)، تیمارهای مختلف آبیاری اعمال گردید. تیمار محلول‌پاشی متیل جاسمونات در مرحله رویشی (V8) و قبل از تشکیل تاسل (VT) در ۲۸ تیر ماه (۵۵ روز پس از کاشت) برای همه تیمارها اعمال شد.

در زمان کاشت (چهار خرداد ماه) به میزان ۶ کیلوگرم در هکتار بذر ذرت هیبرید سینگل کراس NS6010 طبق نقشه آزمایشی به روش دستی کشت گردید. بدین منظور سوراخ‌هایی به عمق ۳ سانتیمتر تعبیه و تعداد ۳-۲ بذر در داخل هر سوراخ کشت شدند. بعد از استقرار و در مرحله ۴-۳ برگی، عملیات تنک به صورت دستی انجام شد. در طول دوره رشد عملیات داشت شامل سله‌شکنی در فاروهای آبیاری (ده خرداد ماه)، وجین علف‌های هرز (در طول دوره کشت) و آبیاری (بر حسب تیمارهای آزمایشی) انجام گردید. صفات کلروفیل کل برگ، کاروتنوئید، قندهای محلول، شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ در مرحله تاسل‌دهی گیاه ذرت اندازه‌گیری شد. شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (Delta-T area meter; Delta-T Devices Ltd., Cambridge,

UK) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای سنجش قندهای محلول، از بالاترین برگ بالغ هر گیاه ۰/۱ گرم نمونه‌های برگ تهیه و برای استخراج قند از روش فنل- اسید سولفوریک استفاده شد. در نهایت میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۸۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (Varian Cary Win UV 6000i, Australia) خوانده و مقدار قند در نمونه برگی محاسبه گردید (Dubiso *et al.*, 1965). وزن خشک برگ نیز با واحد گرم در متر مربع گزارش شد. محتوی نسبی آب برگ (RWC) با استفاده از رابطه ۱ اندازه‌گیری شد (Levitt, 1980). رابطه ۱:

$$RWC = (FW - DW/SW - DW) \times 100$$

در این معادله، FW وزن تر، DW وزن خشک و SW وزن آماس برگ ذرت می‌باشد.

اندازه‌گیری کلروفیل کل نیز بر اساس روابط ۲ محاسبه شد (Lichtenthaler, 1987). روابط ۲:

$$\text{Chlorophyll total (mg.g-1)} = [12.7\ (A\ 663) - 2.69\ (A\ 645)] \times \frac{V}{1000W}$$

$$\text{Carotenoid (mg.g-1)} = [A\ 480 + (0.114 \times A\ 663 - 0.638 \times A\ 645)] \times \frac{V}{1000W}$$

در این روابط V :حجم نهایی عصاره؛ W : وزن نمونه برگ می‌باشند. به‌منظور محاسبه وزن خشک علوفه ذرت در زمان برداشت (۲۵ مرداد) بعد از حذف دو خط کاشت اول و آخر و نیم متر بالا و پایین هر کرت به عنوان حاشیه، مساحت دو متر مربع از هر کرت برداشت گردید و به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون با دمای ۸۵ درجه سلسیوس خشک گردید. سپس عملکرد علوفه خشک برای سطح یک هکتار بر حسب تن محاسبه شد. برای تعیین درصد پروتئین علوفه، از دستگاه هضم و سپس روش میکرو کجلدال (Nelson and Sommers, 1973) استفاده شد. میزان عنصر پتاسیم علوفه با روش عصاره‌گیری و دستگاه فلیم‌فتومتر (Jackson, 1965) اندازه‌گیری شد.

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (version 9.1) و مقایسه میانگین داده‌های اثرات اصلی و اثرات متقابل (بعد از برش‌دهی) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. از داده‌پرداز Microsoft office برای رسم جدول و شکل استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، تمام صفات مورد بررسی تحت تأثیر اثرات اصلی سطوح آبیاری و کود پتاسیم قرار گرفتند. این در حالی بود که تیمار محلول‌پاشی متیل جاسمونات در تمام صفات به جز قند محلول برگ معنی‌دار گردید (جدول ۳). برهمکنش سطوح آبیاری و کود پتاسیم نیز در صفات کلروفیل کل، شاخص سطح برگ، عملکرد خشک علوفه و محتوی پتاسیم علوفه معنی‌دار شد. قابل ذکر است که هیچ یک از صفات مورد بررسی تحت تأثیر برهمکنش دو گانه سطوح آبیاری در متیل جاسمونات، پتاسیم در متیل جاسمونات و برهمکنش سه گانه سطوح آبیاری در پتاسیم در متیل جاسمونات قرار نگرفتند (جدول ۳).

محتوی نسبی آب برگ

نتایج حاصل از بررسی سطوح مختلف آبیاری حاکی از آن بود که با اعمال تنش کم‌آبی از مقادیر محتوی نسبی آب برگ کاسته شد به نحوی که بیشترین و کمترین درصد محتوی نسبی آب برگ به ترتیب در سطوح آبیاری مطلوب و تنش شدید آبیاری (به ترتیب با میانگین‌های ۷۳/۱٪ و ۷۱/۱٪) به دست آمد که

اختلافی ۲/۷۴ درصدی داشتند (جدول ۴). در خصوص اثر ساده سولفات پتاسیم بر محتوی نسبی آب برگ ، بیشترین درصد محتوی نسبی آب برگ در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار (۷۲/۹٪) و کمترین درصد محتوی نسبی آب برگ در تیمار عدم مصرف سولفات پتاسیم (۷۰/۷٪) بدست آمد (جدول ۵). اثر ساده متیل جاسمونات نشان داد بیشترین درصد محتوی نسبی آب برگ در دو تیمار ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات به ترتیب با میانگین ۷۱/۸٪ و ۷۲/۱٪ و کمترین مقدار محتوی نسبی آب برگ در تیمار عدم مصرف متیل جاسمونات با میانگین ۷۱/۶٪ بدست آمد (جدول ۶). کاهش محتوای نسبی آب یک مکانیسم تنظیم اسمزی در جهت تغلیظ شیره سلولی می‌باشد که بطور مشترک در تمام گیاهان تحت تنش کم‌آبی به وقوع می‌پیوندد (Fahad *et al.*, 2015). در این پژوهش مشاهده شد که در اثر افزایش تنش کم‌آبی محتوی نسبی آب برگ کاهش یافت که ناشی از کاهش دسترسی گیاه به رطوبت می‌باشد (Fallah Mehrabadi *et al.*, 2015). از طرف دیگر افزایش تجمع یون‌ها در محیط ریشه می‌تواند در کاهش دسترسی ریشه گیاه به رطوبت و کاهش میزان محتوی نسبی آب برگ مؤثر باشد. گزارش شده که پیش تیمار ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات موجب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ گردید (Del Amor *et al.*, 2011; Fahad *et al.*, 2015). در توافق با این نتیجه مطرح شده است کاربرد متیل جاسمونات محتوی نسبی آب برگ گیاه نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) را افزایش داد که علت آنرا کاهش هدایت روزنه‌ای و جلوگیری از تعرق عنوان کردند (Farouk *et al.*, 2011). از طرفی مصرف سولفات پتاسیم اثر مثبتی بر محتوی نسبی آب برگ ذرت داشت که احتمالاً به دلیل نقش مثبت پتاسیم در پایداری سلول‌های روزنه‌ایی است (Hatam and Ronaghi, 2012).

کلروفیل کل و کاروتنوئید

نتایج حاصل از بررسی اثر ساده متیل جاسمونات بر میزان کلروفیل کل نشان داد، بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات با میانگین ۲/۰۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر و کمترین میزان میزان کلروفیل کل با ۴/۸۸ درصد کاهش نسبت به تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات در تیمار عدم مصرف متیل جاسمونات به مقدار ۱/۹۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر بدست آمد (جدول ۶). همچنین نتایج برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و سولفات پتاسیم نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب بین تیمارهای عدم مصرف سولفات پتاسیم و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار باعث افزایش ۷/۶۹ درصدی در میزان کلروفیل کل برگ شد (جدول ۷). در تیمار تنش ملایم، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار باعث افزایش معنی‌داری در میزان کلروفیل کل برگ شد به طوریکه نسبت به تیمار عدم مصرف افزایشی ۴/۴۷ درصدی داشت. مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در همین تیمار آبیاری (تنش ملایم) باعث کاهش غلظت کلروفیل کل شد اما با تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۷). در تیمار تنش شدید کم‌آبی تفاوت معنی‌داری بین مصرف و عدم مصرف سولفات پتاسیم مشاهده نشد (جدول ۷). محتوی کاروتنوئید برگ نیز تنها

تحت تأثیر اثرات اصلی سطوح مختلف آبیاری، سولفات پتاسیم و متیل جاسمونات قرار گرفت و بر همکنش تیمارهای اعمال شده تأثیر معنی‌داری بر کاروتنوئید گیاه نداشتند (جدول ۳). اگرچه تنش کم‌آبی باعث افزایش میزان کاروتنوئید گیاه شد اما بین سطوح تنش ملایم و شدید کم‌آبی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و بیشترین میزان کاروتنوئید برگ به مقدار یکسان در هر دو سطح تنش کم‌آبی در دو سطح تنش کم‌آبی (۰/۴۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مشاهده شد که نسبت به تیمار آبیاری مطلوب (۰/۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) ۲/۴ درصد بیشتر بود (جدول ۴). با اعمال تیمار سولفات پتاسیم محتوی کاروتنوئید برگ نیز افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان کاروتنوئید برگ در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار با میانگین ۰/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر مشاهده شد که نسبت به تیمار عدم مصرف (۰/۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) ۶/۹۷ درصد بیشتر بود (جدول ۵). اثر ساده متیل جاسمونات نشان داد بیشترین میزان کاروتنوئید برگ در تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات با میانگین ۰/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر و کمترین میزان کاروتنوئید برگ در تیمار عدم مصرف متیل جاسمونات با میانگین ۰/۳۸ میلی-گرم در گرم وزن تر بدست آمد (جدول ۶). گزارش شده کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش مربوط به افزایش تولید انواع اکسیژن فعال در سلول است (Sadeghipour, 2009). انواع اکسیژن فعال سبب پراکسیداسیون کلروفیل و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردند. گزارش شده کاهش غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به واسطه اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد (Qiu *et al*., 2014). از طرفی کود پتاسیم با تاثیر بر خصوصیات فیزیولوژیک گیاه و نیز تأثیر در جذب سایر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر (Kwizera *et al*., 2019) باعث کاهش خسارت تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل می‌گردد. مصرف پتاسیم با اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر سیستم ریشه‌ای (Majidi and Kharazmi, 2015) و سیستم باز و بسته شدن روزنه‌ها (سلول‌های محافظ) و در نتیجه تأثیراتی که بر فتوسنتز و بالطبع بر غلظت کلروفیل دارد باعث کاهش اثرات منفی تنش کم-آبی می‌شود. گزارش شده است که در لاله (*Tulipa gesneriana*) در حضور نور و با استفاده از MeJA تشکیل کلروفیل تحریک شده است (Ueda and Saniewski, 2006). محققین اظهار نموده‌اند که MeJA در بیان یک‌سری از ژن‌های آنزیم‌های کلیدی در بیوسنتز کلروفیل از طریق تشکیل آمینولوولینیک اسید دخالت دارد. در تحقیقی دیگر گزارش شده است که جاسمونات در غلظت ۱۰۰ میکرومولار باعث ترمیم رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل a و کاروتنوئیدها در نوعی عدسک آبی (*Wolffia arrhizal* L.) گردید (Piotrowska *et al*., 2010).

شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ

نتایج جدول مقایسه میانگین اثر ساده متیل جاسمونات بر شاخص سطح برگ نشان داد، بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات (۳/۷۱) و کمترین شاخص سطح برگ با ۷/۲۷ درصد کاهش (۳/۴۴) در تیمار عدم مصرف بدست آمد (جدول ۶). در بررسی جدول مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم-های آبیاری و سولفات پتاسیم، نتایج نشان داد در تمام سطوح آبیاری، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم بیشترین شاخص سطح برگ را دارا بود

(جدول ۷). در شرایط آبیاری مطلوب، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار باعث افزایش ۱۶/۹۶ و ۱۱/۱۱ درصدی در میزان شاخص سطح برگ نسبت به عدم مصرف و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار شد. در تنش ملایم کم‌آبی، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار باعث افزایش ۲۵/۵۰ و ۱۳/۵۰ درصدی شاخص سطح برگ نسبت به عدم مصرف و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم شد. در شرایط تنش شدید خشکی، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم باعث افزایش ۳۱/۰۹ و ۱۴/۰۲ درصدی شاخص سطح برگ نسبت به عدم مصرف و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین با کاهش دسترسی به آبیاری وزن خشک برگ نیز کاهش یافت. بیشترین وزن خشک برگ (۲۰۵/۶ گرم در متر مربع) در شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد اما کمترین میزان وزن خشک برگ با ۴۳/۸ درصد کاهش نسبت به آبیاری مطلوب، در تیمار تنش شدید کم‌آبی (۱۱۵/۴ گرم در متر مربع) مشاهده شد (جدول ۴). در خصوص اثر ساده سولفات پتاسیم، بیشترین وزن خشک برگ، در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار (۱۷۷/۱ گرم در متر مربع) و کمترین وزن خشک برگ در تیمار عدم مصرف سولفات پتاسیم (۱۴۴/۰۲ گرم در متر مربع) بدست آمد که نسبت به یکدیگر اختلافی ۱۸/۶ درصدی داشتند (جدول ۵). نتایج حاصل از بررسی اثر ساده متیل جاسمونات بر صفت وزن خشک برگ نشان داد بیشترین وزن خشک برگ در دو تیمار ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات به ترتیب با میانگین‌های ۱۵۹/۸ و ۱۶۵/۴ گرم در متر مربع و کمترین وزن خشک برگ در تیمار عدم مصرف متیل جاسمونات با میانگین ۱۵۴/۹ گرم در متر مربع بدست آمد (جدول ۶). از نتایج به دست آمده می‌توان چنین استدلال نمود از آنجا که فرآیندهای توسعه برگ متأثر از هر گونه کمبود آب و تنش کم‌آبی می‌باشد، بنابراین اگرچه تأثیر آب اثر کمی در توسعه و ظهور برگ دارد، ولی بطور قابل توجهی کل سطح برگ را از طریق کاهش توسعه و افزایش پیری برگ کاهش می‌دهد. تنش رطوبتی بر بسیاری از فرآیندهای گیاهی مانند فتوسنتز، توسعه و تقسیم سلولی و تجمع و انتقال مواد غذایی در گیاه موثر است که منجر به کاهش شاخص‌های رشدی از جمله شاخص سطح برگ می‌گردد. براساس گزارش دیگر محققین، سطح برگ ذرت با اعمال تنش رطوبتی طی مرحله زایشی کاهش می‌یابد (Dolatabadian *et al.*, 2010). طی مطالعه‌ای گزارش شد که تنش کم‌آبی حاصل از قطع آبیاری باعث کاهش ۱۰ درصدی سطح برگ گردید (Majlesy and Gholinezhad, 2013). همچنین در پژوهشی که روی اثر رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیک ذرت علوفه‌ای انجام شد گزارش شد که تنش خشکی در مرحله هفت برگی سبب تأخیر در ظهور برگ، توسعه کندتر آن و کاهش تولید مواد فتوسنتزی و تسریع پیری می‌شود (Dolatabadian *et al.*, 2009). پتاسیم با کاهش از دست دادن آب، پژمردگی و حفظ وضعیت آماس و کمک به جذب عناصر غذایی به افزایش رشدی گیاه و شاخص سطح برگ کمک می‌کند (Neseim *et al.*, 2014). نیتروژن نقش مهمی در رشد رویشی گیاه و بنابراین افزایش شاخص سطح برگ دارد. در شرایط کم‌آبی فعالیت آنزیم‌های درگیر در متابولیسم نیتروژن (نیترات ردوکتاز،

گلوتامین سینتتاز و گلوتامات سینتتاز) کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد به کار بردن پتاسیم تا حدی این کاهش را جبران می‌کند (Zahoor *et al.*, 2017). از آنجا که کمبود پتاسیم در گیاه به واسطه کاهش پتاسیم خاک یا کاهش دسترسی به آن به دلیل کم‌آبی سبب توقف توسعه برگ‌ها و کاهش چشمگیر تبادل کربن می‌شود، افزایش شاخص سطح برگ با کاربرد پتاسیم می‌تواند به افزایش سطح ریشه و افزایش دسترسی گیاه به عناصر ضروری مربوط باشد. به هر حال پتاسیم نقش مهمی در فتوسنتز، تقسیم سلولی، رشد و تنظیم وضعیت آب در گیاه دارد.

قندهای محلول برگ

در خصوص اثر سطوح مختلف آبیاری بر این صفت، بیشترین مقدار قندهای محلول در برگ (۶۸۴/۶ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار تنش شدید کم‌آبی و کمترین مقدار قندهای محلول برگ با ۵۱/۵۹ درصد کاهش در تیمار عدم تنش (۳۳۱/۴ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد (جدول ۴). اثر ساده سولفات پتاسیم بر قندهای محلول برگ، بیشترین میزان آن در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار (۵۲۸/۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کمترین در تیمار عدم مصرف سولفات پتاسیم (۴۶۵/۰۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بدست آمد که نسبت به یکدیگر اختلافی ۱۱/۶ درصدی داشتند (جدول ۵). افزایش مقدار قندهای محلول در شرایط تنش کم‌آبی، ناشی از تجزیه نشاسته می‌باشد (Shokat *et al.*, 2020). این مکانیسم موجب پایداری غشای زیستی، پروتئین‌ها، افزایش فتوسنتز و مقاومت به کم‌آبی می‌شود. در مجموع، قندهای محلول در طی تنش کم‌آبی خشکی می‌تواند به دلیل ۱: تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل به قندهای محلول، ۲: تولید این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و ۳: متوقف شدن رشد افزایش یابد (Bhardwaj and Yadav, 2012). وجود پتاسیم کافی نیز با توجه به نقشی که در حفظ پتانسیل آبی گیاه و جلوگیری از هدر رفتن آب دارد، در شرایط تنش آبی، سبب حفظ فعالیت فتوسنتزی و جلوگیری از کاهش شدید فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد (Fahad *et al.*, 2015). بنابراین، نقش این عناصر را می‌توان در کمک به تنظیم اسمزی در شرایط تنش رطوبتی دانست، که با دخالت در تولید مواد اسمزی برای سازگاری با تنش و حفظ فشار تورژسانس، نقش خود را اجرا می‌کنند.

پروتئین

در بررسی جدول مقایسه میانگین سطوح آبیاری بر درصد پروتئین نتایج نشان داد که بیشترین درصد پروتئین در تیمار تنش شدید کم-آبی با میانگین ۹/۰۱ درصد و کمترین درصد پروتئین با ۲۴ درصد کاهش نسبت به تنش شدید کم‌آبی، در تیمار آبیاری مطلوب (۶/۸۵٪) بدست آمد (جدول ۴). مطابق با نتایج اثر ساده سطوح مختلف متیل جاسمونات بر صفت پروتئین، بیشترین درصد پروتئین در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار به ترتیب با میانگین‌های ۷/۹۴ و ۸/۰۳ درصد و کمترین درصد پروتئین با میانگین ۷/۸۱ درصد در تیمار عدم مصرف بدست آمد (جدول ۶). در خصوص اثر ساده سولفات پتاسیم، بیشترین میزان پروتئین برگ، در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار (۸/۲۲ درصد) و کمترین پروتئین برگ در تیمار عدم مصرف سولفات پتاسیم (۷/۶۷ درصد) بدست آمد که نسبت به یکدیگر اختلافی ۱۷/۷ درصدی داشتند (جدول ۵).

افزایش پروتئین خام در شرایط تنش کم‌آبی را می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های گلوتامات سانتتاز و گلوتامین دانست که منجر به افزایش تجمع نیتروژن می‌شوند. در واقع می‌توان این گونه نتیجه‌گیری کرد که افزایش میزان پروتئین خام در شرایط تنش کم‌آبی در جهت کمک به تنظیم و تعادل اسمزی سلول روی میدهد. همچنین با توجه به کاهش وزن خشک علوفه در شرایط تنش کم‌آبی، می‌توان بیان نمود که غلظت نیتروژن در بافت گیاه افزایش یافته که خود باعث افزایش پروتئین گیاه می‌شود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان پروتئین علوفه با مقدار ۸/۲۲ درصد، مربوط به مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم بود که این افزایش پروتئین علوفه را می‌توان مربوط به نقش موثری پتاسیم در افزای فعالیت آنزیم‌ها و نهایتاً پروتئین‌سازی دانست که با نتایج سایر محققین همخوانی دارند (Adnan, 2020). افزایش پروتئین علوفه در تیمار متیل جاسمونات را می‌توان به علت نقش ترکیبات فنولی در فرایندهای فیزیولوژیک گیاه دانست که متعاقب آن میزان پروتئین علوفه افزایش می‌یابد.

وزن خشک علوفه

مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف سولفات پتاسیم در هر سطح از رژیم آبیاری بر میزان وزن خشک علوفه نشان داد که بیشترین وزن خشک علوفه در هر سطح از آبیاری در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار به دست آمد به‌طوری‌که مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار به ترتیب باعث افزایش ۵٪، ۱۰/۲۰٪، ۵/۵۸٪ و ۱۰/۰۱٪ و ۵/۹۰٪ و ۱۰٪ درصدی در میزان عملکرد علوفه خشک در آبیاری مطلوب، تنش ملایم و شدید خشکی گردید (جدول ۷). بیشترین وزن خشک علوفه در تیمار آبیاری مطلوب و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار (۳۷۸۳۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین وزن خشک علوفه با ۴۲/۰۵ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار، در تیمار تنش شدید کم‌آبی و عدم مصرف سولفات پتاسیم (۲۱۹۲۶ کیوگرم در هکتار) بدست آمد (جدول ۷). نتایج حاصل از بررسی اثر ساده متیل جاسمونات بر وزن خشک علوفه نشان داد اگرچه کاربرد متیل جاسمونات باعث افزایش عملکرد خشک علوفه می‌شود اما تفاوت معنی-داری بین ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات وجود نداشت و هر دو در گروه برتر قرار داشتند (جدول ۶). یکی از مهمترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک، تنش کمبود آب در مرحله رشد رویشی است (Dolatabadian *et al.*, 2010). این محدودیت رشد ممکن است به دلیل اثرات منفی پتانسیل اسمزی بالای محلول خاک باشد که جذب آب و عناصر غذایی را کاهش داده و در نهایت باعث کاهش رشد ریشه و بخش هوایی می-شود. کاهش رشد و عملکرد در شرایط تنش نیز احتمالاً به علت تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش رشد بخش هوایی به ویژه برگ‌ها و یا به دلیل بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها یا به علت اثر مستقیم کم‌آبی بر سیستم فتوسنتزی و یا تأثیر بر توازن یونی در گیاهان است (Harrison *et al.*, 2014). تنش کم‌آبی رشد ریشه و ساقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و ممکن است باعث کاهش سطح برگ گیاهان و در نتیجه کاهش وزن تر اندام‌های هوایی گردد (Hüner and Hopkins, 2008). طی مطالعه‌ای گزارش شد که

تنش رطوبتی در طول مراحل مختلف رشد ذرت عملکرد آن را در درجات متفاوت کاهش می‌دهد، که شدت کاهش عملکرد نه تنها به شدت تنش بلکه به مرحله رشدی گیاه وابسته است (Dolatabadian *et al.*, 2010). پتاسیم یک ماده مغذی ضروری و فراوان‌ترین کاتیون است که نقش زیادی در رشد گیاه و تقریباً تمام فعالیت‌های مربوطه ایفا می‌کند (Azizabadi *et al.*, 2014). تعدادی از محققان بر نقش پتاسیم بر افزایش تولید در ذرت اشاره نموده‌اند و نشان داده‌اند که نیاز غذایی ذرت در مقایسه با سایر گیاهان زراعی از نظر پتاسیم در سطح بالاتری قرار دارد (Neseim *et al.*, 2014). گزارش شد که متیل جاسمونات (۲۲ میلی‌مولار) به طور قابل توجهی ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن و طول برگ، وزن تر و خشک سیستم ریشه‌ای گیاه ذرت را افزایش داد و علت تغییرات ایجاد شده را افزایش سیستم ریشه‌ای عنوان کردند (Sofy *et al.*, 2020). به نظر می‌رسد که این هورمون با افزایش رشد وزنی ریشه و توسعه آن، گیاه را در جذب آب بیشتر کمک می‌کند.

محتوی پتاسیم علوفه

مطابق با نتایج اثر ساده سطوح مختلف متیل جاسمونات بر محتوی پتاسیم علوفه، بیشترین درصد پتاسیم علوفه در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار با میانگین‌های ۲۰۱/۴ میلیگرم در کیلوگرم و ۲۰۲/۶ میلیگرم در کیلوگرم و کمترین درصد پتاسیم علوفه با میانگین ۲۰۰/۶ میلیگرم در کیلوگرم در تیمار عدم مصرف بدست آمد (جدول ۶). همچنین نتایج مقایسه میانگین برهمکنش دو گانه رژیم‌های آبیاری در سولفات پتاسیم نشان داد که در تمام سطوح آبیاری، با افزایش میزان سولفات پتاسیم، محتوی پتاسیم علوفه نیز افزایش یافت (جدول ۷). اگرچه در هر کدام از سطوح آبیاری مطلوب و تنش ملایم کم-آبی، تفاوت معنی‌داری بین سطوح سولفات پتاسیم وجود نداشت اما در تیمار تنش شدید کم-آبی، بیشترین مقدار پتاسیم علوفه در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار با ۲۰۰/۳ میلیگرم در کیلوگرم و کمترین مقدار آن در تیمار عدم مصرف سولفات پتاسیم با ۱۷۱/۴ درصد بدست آمد که نسبت به یکدیگر ۱۴/۴۲ درصد اختلاف داشتند (جدول ۷). از نتایج بدست آمده می توان اینگونه استنباط نمود که علت کاهش پتاسیم در تنش شدید کم‌آبی، کاهش رطوبت و جریان توده‌ای آب در خاک و در نتیجه کاهش حلالیت پتاسیم و در نتیجه کاهش جذب عنصر پتاسیم از طریق ریشه‌های گیاه می‌باشد. گزارش شده است که کاهش پتاسیم یکی از علائم تنش کم‌آبی است (Adnan, 2020). همچنین در تحقیق دیگری روی اثر متقابل تنش کم‌آبی و نیترات پتاسیم در برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه توتون گزارش شد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌داری در مقادیر پتاسیم در گیاه توتون گردید (Norastehnia and Farjadi, 2016).

نتیجه گیری نهایی

نتایج این تحقیق که از تیمار پتاسیم و متیل جاسمونات در جهت کاهش اثرات تنش کم آبی استفاده گردید، نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار باعث افزایش ۱۰/۲۰ و ۵/۷۹ درصدی در عملکرد وزن خشک علوفه نسبت به عدم مصرف و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار شد. در تنش ملایم کم‌آبی، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار باعث افزایش ۱۰/۰۱ و

۵/۵۸ درصدی شاخص سطح برگ نسبت به عدم مصرف و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم شد. در شرایط تنش شدید خشکی، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم باعث افزایش ۱۰/۳۰ و ۵/۹۰ درصدی شاخص سطح برگ نسبت به عدم مصرف و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم شد. در مجموع سطوح آبیاری، بیشترین عملکرد علوفه خشک در شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به دست آمد. تنش کم‌آبی ملایم و شدید باعث کاهش ۲۰ و ۳۳ درصدی عملکرد علوفه خشک نسبت به آبیاری مطلوب شد. محلول‌پاشی متیل جاسمونات با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار منجر به افزایش ۰/۸ و ۱/۷ درصدی عملکرد علوفه خشک نسبت به عدم مصرف متیل جاسمونات شد. در نهایت، کاربرد این دو تیمار می‌تواند از اثرات مخرب تنش کم‌آبی را بر عملکرد علوفه و صفات فیزیولوژیک گیاه ذرت علوفه بکاهد و با افزایش سطوح این تیمارها نقش آن‌ها نیز پر رنگ تر خواهد شد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Soil Physico-chemical analysis of farm soil

ECشوری	1 (mmhos cm^{-1})
pHاسیدیته	8.23
Textureبافت خاک	Clay-loam
آهک	7.73%
Organic matterماده آالی	0.357 %
Total nitrogenنیتروژن کل	0.032 %
Available phosphorousفسفر قابل دسترس	7.9 ppm
Available potassiumپتاسیم قابل دسترس	158 ppm
Available zincروی قابل دسترس	38.8 ppm
Available manganeseمنگنز قابل دسترس	9.07 ppm

جدول ۲- خصوصیات زراعی رقم مورد مطالعه

Table 2- Agronomy characteristics of the studied cultivar

منشاء Origin	تیپ رشدی Growth Type	طول دوره رشد (روز)		عملکرد Yield(t ha^{-1})		وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)
		علوفه Forage	دانه Seed	علوفه Forage	دانه Seed	
صربستان	میان رس	90-100	120-130	80-90	9-10	400

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفو-فیزیولوژیک و عملکرد علوفه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تاثیر تیمارهای آبیاری، پتاسیم و متیل جاسمونات

Table 3- Analysis of variance (mean squares) of morpho-physiological traits, yield of maize (*Zea mays* L.) in different irrigation regimes, potassium and methyl jasmonate

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	محتوی نسبی آب برگ RWC	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoids	شاخص سطح برگ Leaf area index
بلوک Block	2	0.0043 ns	0.0006 *	0.0004 *	0.00037 ns
آبیاری(IR) Irrigation	2	31.04 **	3.27 **	0.0011 *	19.64 **
خطای کرت اصلی IR × Block	4	0.0074	0.000047	0.00006	0.0018
پتاسیم Potassium (P)	2	31.06 **	0.083 **	0.0066 **	6.22 **
متیل جاسمونات Methyl jasmonate (MJ)	2	1.32 **	0.067 **	0.018 **	0.51 **
آبیاری×پتاسیم IR × P	4	0.29 ns	0.018 **	0.0006 ns	0.04 **
آبیاری× متیل جاسمونات IR × MJ	4	0.003 ns	0.0032 ns	0.00048 ns	0.0012 ns
پتاسیم× متیل جاسمونات P × MJ	4	0.014 ns	0.0013 ns	0.00017 ns	0.0018 ns
آبیاری×پتاسیم× متیل جاسمونات IR × P × MJ	8	0.01 ns	0.0007 ns	0.00034 ns	0.010 ns
خطا Error	48	0.21	0.0043	0.0003	0.0096
ضریب تغییرات C.V. (%)		0.64	3.26	4.2	2.74

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

RWC: relative water content; LDW: leaf dry weight. ns, * and **: Non significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۳-

Table 3- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی Df	وزن خشک برگ LDW	قندهای محلول برگ Leaf soluble sugar	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد خشک علوفه Forage dry weight	محتوی پتاسیم K content
بلوک Block	2	2.91 ns	79.4 ns	0.0049 *	3576 ns	6.36 ns
آبیاری(IR) Irrigation	2	54975 **	675571 **	31.4 **	1102391645 **	4802.7 **
خطای کرت اصلی IR × Block	4	6.03	23.8	0.00048	3922	6.5
پتاسیم Potassium (P)	2	7384 **	27298 **	2.08 **	66435045 **	665.8 **
متیل جاسمونات Methyl jasmonate (MJ)	2	753.5 *	747 ns	0.31 **	1788885 **	29.3 *
آبیاری×پتاسیم IR × P	4	88.5 ns	1420 ns	0.067 ns	1036245 *	696.2 **
آبیاری× متیل جاسمونات IR × MJ	4	8.93 ns	3.59 ns	0.002 ns	43581 ns	6 ns
پتاسیم× متیل جاسمونات P × MJ	4	13.51 ns	4.92 ns	0.0034 ns	41771 ns	8 ns
آبیاری×پتاسیم× متیل جاسمونات IR × P × MJ	8	8.38 ns	16.9 ns	0.0016 ns	2231 ns	7.3 ns
خطا Error	48	178.4	718.7	0.05	316325	7.33
ضریب تغییرات C.V. (%)		8.34	5.38	2.82	1.91	1.34

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

RWC: relative water content; LDW: leaf dry weight. ns, * and **: Non significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری بر صفات مورد بررسی

Table 4- Main effect comparison of irrigation regimes on studied traits

آبیاری Irrigation regimes	محتوی نسبی آب برگ RWC (%)	کاروتنوئید Carotenoids (mg g^{-1} FW)	وزن خشک برگ LDW (g m^{-2})	قندهای محلول برگ Leaf soluble sugar (mg g^{-1} FW)	پروتئین Protein (%)
Well-watered **آبیاری مطلوب**	73.1 a	0.4 b	205.6 a	331.4 c	6.85 c
Mild water deficit **تنش ملایم کم‌آبی**	71.4 b	0.41 a	159.1 b	514.5 b	7.91 b
Severe water deficit **تنش شدید کم‌آبی**	71.1 c	0.41a	115.4 c	646.4 a	9.01 a

حروف مشابه در ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون دانکن می‌باشند.

RWC: relative water content; LDW: leaf dry weight. Means having similar letters in each column have no significant difference at 5% probability level by Duncan test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی پتاسیم بر صفات مورد بررسی

Table 5- Main effect comparison of potassium on studied traits

پتاسیم Potassium	محتوی نسبی آب برگ RWC (%)	کاروتنوئید Carotenoids (mg g^{-1} FW)	وزن خشک برگ LDW (g m^{-2})	قندهای محلول برگ Leaf soluble sugar (mg g^{-1} FW)	پروتئین Protein (%)
0 (kg ha^{-1})	70.7 c	0.40 c	144.02 c	465.05 c	7.67 c
100 (kg ha^{-1})	71.9 b	0.41 b	159.07 b	498.7 b	7.89 b
200 (kg ha^{-1})	72.9 a	0.43 a	177.1 a	528.6 a	8.22 a

حروف مشابه در ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون دانکن می‌باشند.

RWC: relative water content; LDW: leaf dry weight. Means having similar letters in each column have no significant difference at 5% probability level by Duncan test.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اصلی متیل جاسمونات بر صفات مورد بررسی

Table 6- Main effect comparison of Methyl jasmonate on studied traits

متیل جاسمونات Methyl jasmonate	محتوی نسبی آب برگ RWC (%)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg g^{-1} FW)	کاروتنوئید Carotenoids (mg g^{-1} FW)	شاخص سطح برگ Leaf area index
0 µ M	71.6 b	1.95 c	0.38 c	3.44 c
50 µ M	71.8 ab	2.01 b	0.42 b	3.61 b
100 µ M	72.1 a	2.05 a	0.43 a	3.71 a

حروف مشابه در ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون دانکن می‌باشند.

RWC: relative water content; LDW: leaf dry weight. Means having similar letters in each column have no significant difference at 5% probability level by Duncan test.

ادامه جدول ۶-

Table 6- Continued

متیل جاسمونات Methyl jasmonate	وزن خشک برگ LDW (g m^{-2})	پروتئین Protein (%)	عملکرد خشک علوفه Forage dry weight (kg ha^{-1})	محتوی پتاسیم K content (mg kg^{-1} DW)
0 µ M	154.9 b	7.81b	29042 b	200.6 b
50 µ M	159.8 ab	7.94 a	29285 ab	201.4 ab
100 µ M	165.4 a	8.03 a	29556 a	202.6 a

حروف مشابه در ستون، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون دانکن می‌باشند.

RWC: relative water content; LDW: leaf dry weight. Means having similar letters in each column have no significant difference at 5% probability level by Duncan test.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر دوگانه تیمارهای اعمال شده بر صفات فیزیولوژیک و مورفوفیزولوژیک ذرت (*Zea mays* L.)

Table 7- Two-way interaction of applied treatments on physiologic and morphophysiologic traits of maize (*Zea mays* L.)

آبیاری Irrigation regimes	پتاسیم Potassium	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg g^{-1} FW)	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد خشک علوفه Forage dry weight (kg ha^{-1})	محتوی پتاسیم K content (mg kg^{-1} DW)
Well-watered آبیاری مطلوب	0 (kg ha^{-1})	2.28 b	4.11 c	33978 c	215.3 a
	100 (kg ha^{-1})	2.34 b	4.4 b	36070 b	214.2 a
	200 (kg ha^{-1})	2.47 a	4.95 a	37838 a	215.5 a
Mild water deficit تنش ملایم کم‌آبی	0 (kg ha^{-1})	1.92 b	2.98 c	27153 c	201.3 a
	100 (kg ha^{-1})	2.01 a	3.46 b	28760 b	201.9 a
	200 (kg ha^{-1})	2.00 ab	4.00 a	30175 a	200.8 a
Severe water deficit تنش شدید کم‌آبی	0 (kg ha^{-1})	1.64 a	2.26 c	21926 c	171.4 c
	100 (kg ha^{-1})	1.67 a	2.82 b	23302 b	193.2 b
	200 (kg ha^{-1})	1.70 a	3.28 a	24445 a	200.3 a

حروف مشابه در هر ستون از هر سطح از آبیاری، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون دانکن می‌باشند.

Means having similar letters in each column of each irrigation level have no significant difference at 5% probability level by Duncan test.

References منابع مورد استفاده

- Adnan, M. 2020. Role of potassium in maize production: A Review. *Open Access Journal of Biogeneric Science and Research.* 3(5): 1-4.
- Afshoon, E., H. Moghadam, M.R. Jahansooz, and M. Oveisi. 2021. Effect of tillage, irrigation and nitrogen fertilizer on crop yield of forage maize (*Zea mays* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 14(3): 691-702.
- Ahmadi, K., H.R. Abedzadeh, H. Abdeshah, A. Kazemeian, and M. Rafiei. 2018. *Iranian Agricultural Statistics*. 2016-2017. The Ministry of Agriculture Jihad [In Persian]
- Alavi-Samani, S.M., M.A. Kachouei, and A. Ghasemi Pirbalouti. 2015. Growth, yield, chemical composition, and antioxidant activity of essential oils from two thyme species under foliar application of jasmonic acid and water deficit conditions. *Horticulture, Environment and Biotechnology*. 56: 411-420.
- Azizabadi, E., A. Golchin, and M.A. Delavar. 2014. Effects of Potassium and drought stress on growth indices and nutrients contents in safflower leaves. *Greenhouse Culture Science Technology*. 5(3): 65-80. (In Persian).
- Bhardwaj, J., and S.K. Yadav. 2012. Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in a drought-tolerant and a sensitive variety of horsegram (*Macrotyloma uniflorum*) under drought stress. *American Journal Plant Physiology.* 7(1): 17-29.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal Plant Nutrient*. 168 (4): 521-530.
- Del Amor, F.M., and P. Cuadra-Cres. 2011. Alleviation of salinity stress in broccoli using foliar urea or methyl jasmonate: analysis of growth, gas exchange, and isotope composition. *Plant Growth Regulation*. 63: 55-62.
- Dolatabadian, A., S.A.M. Modarres Sanavy and M. Sharifi. 2009. Alleviation of water deficit stress effects by foliar application of ascorbic acid on *Zea mays* L. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 195 (5): 347-355.
- Dolatabadian, A., S.A.M. Modarres Sanavy, and K.S. Asilan. 2010. Effect of ascorbic acid foliar application on yield, yield component and several morphological traits of grain corn under water deficit stress conditions. *Notulae Science Biologiae*. 2(3): 45-50.
- Dubiso, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, and F. Smith. 1965. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Annual Chemical*. 28:350-356.
- Fahad, S., S. Hussain, A. Matloob, F.A. Khan, A. Khaliq, S. Saud, M. Faiq, Sh. Hassan, D. Shan, F. Khan, N. Ullah, M. Faiq, MR. Khan, A.K. Tareen, A. Khan, A. Ullah, N. Ullah, and J. Huang. 2015. Phytohormones and plant responses to salinity stress: A Review. *Plant Growth Regulation*. 75: 391-404.
- Fallah Mehrabadi, M., M. Aqaalihkhani, and A.S. Mokhtas Bidgoli. 2015. Effect of planting date and plant density on morphological characteristics and yield of forage Amaranth. pp. 118. In: Proceedings of the Second National Conference on Agriculture and Development. Tehran, Iran.

- Farouk, S., A.M. Abo-EL-Kheer, M.T. Sakr, and M.A. Khafagy. 2011. Osmoregulators or plant growth substances as a growth inducer for pea plants under salinity levels. *International Journal of Plant Production*. 2(4): 168-180.
- Ghassemi-Golezani, K., and S. Farhangi-Abriz. 2018. Foliar sprays of salicylic acid and jasmonic acid stimulate H+-ATPase activity of tonoplast, nutrient uptake and salt tolerance of soybean. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 166: 18-25.
- Hajibabaei, M., F. Azizi, and K. Zargari. 2012. The effect of drought stress on fresh forage yield and some agronomic traits of different maize hybrids. *Plant Ecosystem.* 7(25): 45-75.
- Harrison M.T., F. Tardieu, Z. Dong, C.D. Messina, and G.L. Hammer. 2014. Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. *Global Change Biology*. 20(3): 867-878.
- Hatam, Z., and A. Ronaghi. 2012. Influence of compost and compost leachate on growth and chemical composition of barley and the bioavailability of some nutrients in calcareous clay loam and sandy soils. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 15 (58):109-122. (In Persian).
- Hosseini, S.J., Z. Tahmasebi-Sarvestani, A. Mokhtassi-Bidgoli, H. Keshavarz, Sh, Kazemi, M. Khalvandi, H. Pirdashti, S.H. Hashemi-Petroudi and S. Nicola. 2023. Functional quality, antioxidant capacity and essential oil percentage in different mint species affected by salinity stress. *Chemistry and Biodiversity*.
- Hüner N.P., and W.G. Hopkins. 2008. Introduction to plant physiology (4th ed.). New York: J. Wiley.
- Jackson, L., 1965. Soil Chemical Analysis, Advanced course, Publ. by Author, 791 Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Keshavarz Mirzamohammadi H, S.A.M. Modarres-Sanavy, F. Sefidkon, A. Mokhtassi-Bidgoli, and M.H. Mirjalili. 2021 a. Irrigation and fertilizer treatments affecting rosmarinic acid accumulation, total phenolic content, antioxidant potential and correlation between them in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Irrigation Science*. 39: 671-683
- Keshavarz Mirzamohammadi, H., H.R. Tohidi-Moghadam, and S.J. Hosseini. 2021b. Is there any relationship between agronomic traits, soil properties and essential oil profile of peppermint (*Mentha piperita* L.) treated by fertiliser treatments and irrigation regimes? *Annual Applied Biology*. 179(3): 331-344.
- Keshavarz, H. 2020. Study of water deficit conditions and beneficial microbes on the oil quality and agronomic traits of canola (*Brassica napus* L.). *Grasas Y Aceites*. 71(3): e373.
- 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.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. *Academic Press*.
- Lobell, D.B., M.J. Roberts, W. Schlenker, N. Braun, B.B. Little, R.M. Rejesus, and G.L. Hammer. 2014. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the US. *Midwest Science*. 344(6183): 516-519.

- Loni, A., S. Saadatmand, H. Lari Yazdi, and A. Iranbakhsh. 2023. Evaluation of photosynthetic activity, carbohydrates, proline and essential oils (*Ocimum basilicum* L.) under the elicitor of β-Cyclodextrin nanoparticles. *Journal of Crop Ecophysiology.* 16(64): 546-527.
- Majidi, A., and K. Kharazmi. 2015. Potassium and magnesium interaction in alfalfa (*Medicago sativa*). *Applied Field Crops Research*. 28(3): 1-7. (In Persian).
- Majlesy, A., and E. Gholinezhad. 2013. Phenotype and quality variation of forage maize (*Zea mays* L.) with potassium and micronutrient application under drought stress conditions. *Research Field Crop*. 1(2): 44-55.
- Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal*. 65(2): 109-112.
- Neseim, M. R., A.Y. Amin, and M. M. S. El-Mohammady. 2014. Effect of potassium applied with foliar spray of yeast on sugar beet growth and yield under drought stress. *Global Advanced Research Journal of Agriculture Science*. 3 (8): 211-222.
- Norastehnia, A., and M. Farjadi. 2016. The effect of the interaction between water stress and potassium nitrate on some of the physiological responses of *Nicotiana tabacum* L. *Nova Biologica Reperta*. 2(4): 260-271. (In Persian).
- Piotrowska, A., A. Bajguz, R. Czerpak, and K. Kot. 2010. Changes in the growth, chemical composition, and antioxidant activity in the aquatic plant *Wolffia arrhiza* L. Wimm. (Lemnaceae) exposed to jasmonic acid. *Journal of Plant Growth Regulation.* 29:53-62.
- Prajapati, K., and H.A. Modi. 2012. The importance of potassium in plant growth–a review. *Indian Journal of Plant Sciences*. 1(02-03): 177-186
- Qiu, Z., J. Guo, A. Zhu, L. Zhang, and M. Zhang. 2014. Exogenous jasmonic acid can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 104C: 202-208.
- Rabiei, Z., N. Mohammadin Roshan, S.M. Sadeghi, E. Amiri, and H. Doroudian. 2022. Effects of potassium and nitrogen fertilizer applications on yield and lodging of rice (*Oryza sativa* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Crop Ecophysiology*. 15(60): 493-514. (In Persian).
- Ribaut, J.M., J. Betran, P. Monneveux, and T. Setter. 2012. Drought tolerance in maize. In: Ennetzen, J.L., S.C. Hake, (Eds.), Handbook of Maize: Its Biology. Springer, New York, pp. 11– 34.
- Sadeghipour, M. 2009. The influence of water stress on biomass and harvest index in three mung bean cultivars. *Asian Journal of Plant Science*. 8(3): 245:249.
- Safari, K., Y. Sohrabi, A. Siosemardeh, and S. Sasani. 2021. Effect of seed priming on some morphophysiological characteristics, yield and seed protein content in three dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*. 15(59): 341-362. (In Persian).
- Shokat, S., D.K. Großkinsky, T. Roitsch, and F. Liu. 2020. Activities of leaf and spike carbohydrate-metabolic and antioxidant enzymes are linked with yield performance in three spring wheat genotypes grown under well-watered and drought conditions. *BMC* P*lant Biology*. 20: 400.

- Sofy, M.R., M.F. Seleiman, B.A. Alhammad, B.M. Alharbi, and H.I. Mohamed. 2020. Minimizing adverse effects of Pb on maize plants by combined treatment with jasmonic, salicylic acids and proline. *Agronomy*. 10(5):699.
- Sotoodeh, A., T. Saki Nejad, A. Shokuhfar, Sh. Lak, and M. Majaddam. 2022. Effect of foliar application of magnesium and potassium sulfate on morphological, biochemical and yield characteristics of maize (*Zea mays* L.) during water deficiet stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 16(63): 307-324. (In Persian).
- Ueda, J., and M. Saniewski. 2006. Methyl jasmonate–induced stimulation of chlorophyll formation in the basal part of tulip bulbs kept under natural light conditions. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 14: 199-210.
- Van Brunt, J.H., and J.H. Sultenfuss. 1998. Better crops with plant food. in potassium. *Functions of Potassium.* 82(3) 4-5.
- Zahoor, R., W. Zhao, M. Abid, H. Dong, and Z. Zhou. 2017. Potassium application regulates nitrogen metabolism and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) functional leaf under drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 215: 30-38.
- Zand-Silakhoor, A., H. Madani, H. Heidari Sharifabadi, M. Mahmoudi, and G. Nourmohamad. 2023. Evaluation of yield, harvest index, and water use efficiency of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in different treatments of irrigation and sowing date. *Journal of Crop Ecophysiology*. 16(64): 511-526. (In Persian).
- Zhao, X.H., H.Q. Yu., J. Wen, X.G. Wang, Q, Du, J. Wang, and Q. Wang. 2016. Response of root morphology, physiology and endogenous hormones in maize (*Zea mays* L.) to potassium deficiency. *Journal of Integrate Agriculture*. 15(4): 785–794.
- Złotek, U., M. Michalak-Majewska, and U. Szymanowska. 2016. Effect of jasmonic acid elicitation on the yield, chemical composition, and antioxidant and anti-inflammatory properties of essential oil of lettuce leaf basil (*Ocimum basilicum* L.). *Food Chemistry*. 213: 1-7.

Research Article DOI:

The Effect of Potassium and Methyl Jasmonate on the yield and Physiological Characteristics of Forage Corn Cultivar NS6010 under Water Deficit Conditions in Neishabur Region

Alireza Beigi[1], Farshad Ghooshchi [2*], Hamidreza Tohidi Moghadam[2], Mohammad Nasri[2] and Pourang Kasraei[2]

Received: March 2023, Revised: 28 July 2023, Accepted: 6 August 2023

Abstract

This research was carried out in order to investigate the effect of potassium and methyl jasmonate on the morphophysiological characteristics and yield of forage corn under water deficit conditions in Neishabur region in 2019. The experimental factors was conducted as a split factorial plot in a randomized complete block design include irrigation regimes as the main factor in three levels, including consumption of 25, 40 and 55% of available soil water and then irrigation up to the field capacity (named as a well-watered, moderate and severe water deficit stress, respectively), potassium fertilizer as the secondary factor was applied at three levels of 0 $kg.ha^{-1}$, 100 $kg.ha^{-1}$ and 200 $kg.ha^{-1}$, and methyl jasmonate was applied as another factor at 0 µM, 50 µM and 100 µM. The results showed that the highest amounts of total chlorophyll (2.47 $mg.g^{-1}$ FW), leaf area index (4.95), forage dry weight (37838 $kg.ha^{-1}$) and forage potassium content (215.5 %) were obtained in well-watered irrigation and 200 kg potassium sulfate ha^{-1} and with increasing in water deficit severity, the above values were reduced. Severe water deficit stress causes a decrease of 2.7%, 2.4%, 43.8%, 48.7% and 23.9%, respectively, in relative water content of leaf, carotenoids, leaf dry weight, soluble sugars and leaf protein compared to well-watered. Among the fertilizer treatment, 200 kg potassium sulfate ha^{-1} had the highest relative water content of leaf (72.9%), carotenoid (0.43 $mg.g^{-1}$ FW), leaf dry weight (177.1 $g.m^{-2}$), leaf soluble sugars (528.6 $mg.g^{-1}$ FW) and protein (8.22%). Also, among the methyl jasmonate levels, the concentration of 100 µM had the greatest effect. In general, it was found that the application of potassium and methyl jasmonate treatments moderated the negative effects of water deficit and this adjustment increased with the increase in the concentration of potassium and methyl jasmonate treatments. Indeed, it is suggested to growing NS6010 variety without water deficit stress in Neyshabur climatic conditions in order to achieve the maximum fodder yield.

Key words: Carbohydrate, Drought, Foliage yield, Methyl jasmonate, Osmolyte, Pigment, Potassium, *Zea maize*.

1-Ph.D. Graduate of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Varamin-Pishva Branch, Varamin, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Varamin-Pishva Branch, Varamin, Iran.
**Corresponding Authors: ghooshchi_farshad@yahoo.com*