نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۵، آذر –دی ۱۳۹۶، ص. ۱۴۰۸-۱۳۹۶

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 5, Nove.-Dec. 2017, p. 1396-1408

اثر اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر تعدیل تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی ذرت علوفه‌ای

الهام مددی[۱]– سیف اله فلاح[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۳۱

چکیده

تنش خشکی در مراحل انتهایی رشد ذرت به‌دلیل شرایط محیطی و کاهش دسترسی به آب آبیاری بسیار رایج است. از این‌رو به منظور بررسی اثر اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر تعدیل اثرات تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی ذرت علوفه‌ای آزمایشی در قالب کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. سطوح تنش خشکی (بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید) در کرت‌های اصلی و نوع تنظیم کننده رشد (بدون تنظیم کننده رشد، اسید جاسمونیک و اسید هیومیک) در کرت‌های فرعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار رطوبت نسبی برگ، کلروفیل، شاخص سطح برگ، وزن برگ‌ها، وزن ساقه، وزن بلال، عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب در مقایسه با آبیاری مطلوب گردید. استفاده از اسید جاسمونیک در مقایسه با شاهد و اسید هیومیک در شرایط تنش ملایم باعث افزایش معنی‌دار رطوبت نسبی برگ به ترتیب ۶۱/۱ و ۳۹/۳ درصد)، وزن برگ (به ترتیب ۶۰/۴ و ۴۱/۸ درصد)، وزن ساقه (به ترتیب ۱۴/۸ و ۲۵/۱۲ درصد)، وزن بلال (به ترتیب ۱۳ و ۲۳/۸ درصد)، محتوای پرولین (به ترتیب ۱۶ و ۳۲/۱ درصد)، عملکرد علوفه (به ترتیب ۲۴/۴ و ۲۴/۲ درصد) و کارایی مصرف آب (به ترتیب ۲۱/۱۵ و ۲۸/۳۵ درصد) شد. کاربرد تیمار اسید جاسمونیک به‌دلیل کاهش صدمه تنش در مورد عملکرد علوفه تر و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به اسید هیومیک نشان داد. بنابراین، استفاده از اسید جاسمونیک جهت افزایش تحمل به تنش خشکی ذرت علوفه‌ای در مرحله زایشی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی ملایم، تنظیم کننده رشد، رطوبت نسبی برگ، کارایی مصرف آب

مقدمه

امروزه نیاز بخش کشاورزی برای تأمین آب در حال افزایش است و در آینده نیز به‌واسطه افزایش جمعیت و همچنین تأثیر تغییرات اقلیمی بر میزان بارندگی‌ها و تبخیر در بسیاری از نواحی، ادامه خواهد یافت. بنابراین، در آینده بخش کشاورزی در رقابت شدید با مصارف دیگر همچون مصرف انسان‌ها، تأسیسات صنعتی، خنک کننده‌ها و دیگر بخش‌ها با بحران جدی در تأمین آب روبه‌رو خواهد شد (۳۵). بطور کلی تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک به‌شمار می‌آید (۳۶) و این نوع تنش یک پدیده مهم و مؤثر بر عملکرد غلات از جمله ذرت است (۱). گیاه ذرت به‌دلیل توانایی تولید بالا و سازگاری در اکثر مناطق کشور می‌تواند نقش مهمی در تأمین علوفه مورد نیاز دام به‌ویژه در فصل زمستان ایفا نماید (۵). علاوه بر این، سیلاژ آن به‌آسانی تهیه می‌شود و یک علوفه خوش‌خوراک با کیفیت پایدار برای دام می‌باشد و انرژی بالاتری نسبت به سایر علوفه‌ها دارا است (۷). گزارش شده است که در گیاه ذرت اعمال تنش می‌تواند عملکرد دانه را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر قرار دهد. در واقع اثرات مستقیم شامل نمونه‌هایی از قبیل مرگ کامل گیاه، تداخل در عمل گرده‌افشانی، پوسیدگی بلال ناشی از خسارت آفات ذرت و اثرات غیر مستقیم خسارت ناشی از تنش، شامل آنهایی است که میزان عملکرد و قابلیت برداشت محصول را کاهش می‌دهند (۲۲).

استفاده از مواد تنظیم کننده رشد و مواد زیستی که شامل ترکیباتی آلی که ماده غذایی نیستند ولی هنگامی که در غلظت کم مورد استفاده قرار گیرند بر فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهی تأثیر می‌گذارند از قبیل اسید جاسمونیک و اسید هیومیک که می‌تواند بسیاری از فرآیندهای مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد یکی از روش‌های سریع در افزایش

۱ و ۲– دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*– نویسنده مسئول: (Email: Falah1357@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.v31i5.62540

تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است (۹). در دهه ۱۹۶۰ جاسمونات به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه در اسانس گیاه گل یاس مشاهده شد. دو دهه پس از شناسایی اولیه جاسمونات‌ها تأثیر فیزیولوژیکی آنها شناسایی و به‌عنوان ترکیبات پیش‌برنده پیری، بازدارنده رشد و محرک‌هایی برای متابولیسم ثانویه در گیاهان عالی، شناخته شدند (۱۸). اسید جاسمونیک ترکیبی مشتق شده از اسید چرب لینولئیک اسید است، مهم‌ترین نقش اسید جاسمونیک بسته شدن روزنه‌ها، تقسیم سلولی، رشد گیاه و فعالیت‌های فتوسنتزی است که نتیجه آن ممانعت از رشد، پیری زودرس و ریزش برگ گیاه می‌باشد. از طرفیاین ترکیبات به‌عنوان پیام‌رسان کلیدی معرفی شده و در فرآیند القاء منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه می‌شوند (۲۹).

اسید هیومیک یک پلی‌مر طبیعی است که دارای موضع‌های H^+ مربوط به عامل‌های اسیدی کربوکسیل بنزوئیک و فنلی (مکان‌های تبادل کاتیونی) می‌باشد. این اسید یک ماکرومولکول پیچیده آلی می‌باشد که با پدیده شیمیایی و باکتریایی در خاک تشکیل می‌شود و نتیجه نهایی عمل هومیفیکاسیون است (۳۰). مواد هیومیکی شامل سه دسته اسید هیومیک، اسید فولویک و هیومین می‌باشند. اسید هیومیک به‌طور طبیعی در ترکیبات خاک، پیت، زغال سنگ و غیره وجود دارد (۳۲).

اسید هیومیک حاصل از هوموس و سایر منابع طبیعی از طریق اثرات هورمونی و بهبود جذب عناصر غذایی، سبب افزاش بیوماس ریشه و اندام هوایی می‌شود. مواد آلی نقش اساسی در کیفیت خاک دارند. مواد هوموسی به‌عنوان مهم‌ترین بخش مواد آلی به‌طور مستقیم روی رهاسازی عناصر غذایی، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت بافری فسفر و ابقاء مولکول‌های آلی فلزی و سمی نقش اساسی دارند. تا مدت‌ها تصور می‌شد که اثرات تحریک کنندگی مواد هوموسی شبیه به هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و اسید آبسیزیک است ولی بعداً مشخص شد که اثرات مواد هوموسی در ارتباط مستقیم با افزایش جذب عناصر غذایی پرمصرف مثل نیتروژن، فسفر، گوگرد و عناصر غذایی کم مصرف مثل مس، منگنز، روی، آهن می‌باشد (۱۲). مواد هوموسی جذب روی سطح کانی‌ها را از طریق تحریک و افزودن فعالیت میکروبیولوژی زیاد می‌کند (۱۲).

بخش عمده رشد گیاه ذرت طی فصل تابستان است و دوره گرده‌افشانی و پرشدن دانه آن همزمان با اوج کمبود منابع آب است. از این‌رو، در این آزمایش اثر اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد (با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۱۱۶ متر از سطح دریا) اجرا گردید.

برای مشخص شدن خواص فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از عملیات اجرایی نمونه‌برداری و تجربه و تحلیل خاک صورت گرفت بافت خاک لومی رسی، قابلیت هدایت الکتریکی و pH آن به ترتیب ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر و ۸/۱ بود. میزان نیتروژن کل آن ۰/۰۶ درصد و میزان فسفر و پتاسیم قابل استفاده آن نیز به ترتیب ۱۹/۱ و ۳۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و میزان ماده آلی خاک ۱/۰۱ درصد بود. براساس نتایج آزمایش خاک، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در نظر گرفته شد.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکراراجرا شد. سطوح تنش خشکی (بدون تنش (رطوبت ظرفیت مزرعه)، تنش ملایم (۰/۷۵ رطوبت ظرفیت مزرعه) و تنش شدید (۰/۵۰ رطوبت ظرفیت مزرعه)) در کرت‌های اصلی و نوع تنظیم‌کننده رشد (بدون تنظیم کننده رشد، اسید جاسمونیک و اسید هیومیک) در کرت‌های فرعی مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط بدون تنظیم کننده رشد، از آب مقطر استفاده شد. محلول‌پاشی با اسید جاسمونیک ۱۰ میکرومولار و اسید هیومیک به‌مقدار ۱۵۰۰ گرم در هکتار در گرده‌افشانی ذرت انجام شد. از اسید جاسمونیک ساخت شرکت SIGMA-ALDRICH با خلوص بیش از ۹۷ درصد و اسید هیومیک (Humus WSC90) ساخت شرکت Organit با خلوص ۸۰ درصد استفاده شد.

در بهار پس از شخم بهاره عملیات تسطیح زمین و کودپاشی عناصر بر حسب آزمون خاک انجام شد. سپس کرت‌هایی به ابعاد (۵ در ۳ متر) ایجاد شد و پشته‌هایی به فواصل ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته و قبل از کشت، بذور ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ با سم ایمیداکلوپراید (گاچو) به‌میزان ۷۵ گرم درکیلوگرم بذر ضدعفونی شد. عملیات کاشت در ۵ تیر ماه صورت گرفت و بذرها در رأس پشته و به فاصله ۱۲ سانتی‌متر از هم کاشته شد. یک سوم کود نیتروژن (۶۶/۵ کیلوگرم در هکتار) همزمان با کشت و دوسوم کود نیتروژن به‌صورت سرک (در مرحله ۷– ۵ برگی) مورد استفاده قرار گرفت. تیمار تنش خشکی از مرحله ۵ برگی گیاه شروع و تا انتهای دوره رشد ادامه یافت و محلول‌پاشی با مواد مورد نظر در مرحله گرده‌افشانی اعمال شد.

تعیین مقدار آب مورد نیاز هر تیمار با توجه به فرمول شماره (۱) محاسبه و برای هر بار آبیاری، آب مورد نیاز هر تیمار توسط آبیاری نواری تأمین و توسط کنتور اندازه‌گیری شد. به‌منظور اعمال تنش خشکی، کل آب قابل استفاده گیاه از روش ردی و همکاران محاسبه شد (۲۵):

$$TAW = ((FC - PWP)/100) \times \gamma \times Zr \times 1000 \qquad (۱)$$

FC= رطوبت حجمی ظرفیت زراعی مزرعه (٪)،PWP= رطوبت

حجمی نقطه پژمردگی دائم (٪)،
γ= وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، Zr= عمق ریشه (متر).
رطوبت سهل الوصول نیز از این رابطه محاسبه گردید:

$$RAW = P \times TAW \quad (۲)$$

RAW= رطوبت سهل الوصول.
P= ضریب سهل‌الوصول بوده و کوچکتر از یک است. مقدار P به نوع گیاه و مرحله رشد گیاه بستگی دارد، که برای ذرت ۰/۵ در نظر گرفته می شود (۲۷).

و برای تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی نیز، حجم آب آبیاری مشخص گردید. در مرحله گلدهی با انتخاب تصادفی سه بوته از هر کرت و سپس از برگ پرچم بوته‌ها نمونه کافی برای تعیین کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، رطوبت نسبی برگ، میزان پرولین تهیه شد.

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a و b از روش آرنون (۲) و برای کاروتنوئیدها از روش لیختن‌تالر و ولبورن استفاده شد (۲۲). برای اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ از روش بیتس و همکاران (۳) و برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ نیز از روش ریتچی و همکاران استفاده گردید (۲۸). برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از عکس‌های تهیه شده به‌صورت عمودی با دوربین دیجیتال از فاصله یک متری از برگ‌های هر تیمار و استفاده از نرم‌افزار دیجی مایزر سطح برگ‌های هر تیمار محاسبه و با تقسیم کردن آن بر مساحت مورد نظر، بدست آمد.

برداشت علوفه با ظهور خط شیری یک سوم تا دوسوم دانه (۲۱) در اواخر شهریور ماه صورت گرفت. بوته‌های دو خط میانی هر کرت فرعی (خطوط عملکرد) با در نظر گرفتن حاشیه از سطح زمین، کف بر شدند. سپس وزن تر برگ، ساقه و بلال و عملکرد علوفه تر تهیه شد. با محاسبه میزان آب ورودی هر کرت، کارایی مصرف آب (نسبت عملکرد به آب مصرفی) محاسبه شد (۳۸).

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. اثرات متقابل معنی‌دار تیمارهای آزمایشی نیز توسط نرم افزار MSTAT-C مقایسه شدند. مقایسه میانگین تیمارها به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

رطوبت نسبی برگ

نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی بر رطوبت نسبی برگ در زمان ظهور برگ پرچم نشان داده که اثر رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی و همچنین اثر متقابل آنها در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱)، میانگین محتوای رطوبت نسبی برگ در سطوح مختلف تنش آبی متفاوت و این خصوصیت در تیمار آبیاری با ۵۰ درصد تنش خشکی ۵۰ درصد کمتر از آبیاری مطلوب بود.

محتوای نسبی آب برگ، شاخصی برای نشان دادن آسیب ناشی از تنش خشکی معرفی شده است، به‌طوری که محتوای نسبی آب بیشتر سبب افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (۱۰).

با توجه به مقایسه میانگین (شکل ۱) برای صفت رطوبت نسبی برگ و با توجه به تفاوت معنی‌دار حاصله، مشاهده شد که در شرایط بدون تنش تیمار اسید جاسمونیک برتری معنی‌داری داشت. در شرایط تنش ملایم و تنش شدید هم تیمار اسید جاسمونیک در محلول‌پاشی به ترتیب با (۱۱۹/۶ و ۶۸/۲ درصد) تأثیر مثبت و پس از آن اسید هیومیک بیش‌ترین اثر را از خود به‌جای گذاشت.

بسیاری از محققان بر این عقیده‌اند که کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ در اثر تنش کم‌آبی مربوط به انسداد روزنه‌ها است و علت انسداد روزنه‌ها را تجمع هورمون آبسیزیک اسید می‌دانند. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی این هورمون در ریشه ساخته شده و در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد و هم‌چنین به‌نظر می‌رسد بین میزان محتوای رطوبت نسبی برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد. به‌طوری‌که کاهش میزان رطوبت خاک و ایجاد تنش باعث کاهش میزان محتوای رطوبت نسبی برگ می‌شوند (۱۷). پس دور از انتظار نیست که استفاده از مواد تنظیم کننده رشد نسبت به شاهد برتری داشته باشد، از طرفی در آبیاری بدون تنش، بیش‌ترین میزان رطوبت نسبی برگ وجود داشت که نشان دهنده رابطه عکس بین تنش خشکی و رطوبت جذب شده در ساختار گیاه تحت شرایط محیطی اعمال شده و کمبود آب در دسترس برای گیاه است. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی در شرایط تنش توانسته باشد دسترسی بیشتر رطوبت خاک را فراهم آورد یا تحمل گیاه را بیشتر نماید.

پرولین

نتایج تجزیه واریانس طبق جدول ۱ حاکی از آن است که اثر اصلی تنش خشکی و اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی بر صفت فوق در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود.

طبق یک قاعده کلی همگام با کاهش پتانسیل آب، غلظت هورمون‌های گیاهی نیز تغییر می‌کند. در شرایط تنش خشکی ملایم یا شدید، غلظت اسید آمینه پرولین نسبت به سایر اسیدهای آمینه افزایش یافته و این هورمون به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای نیتروژن و یا ماده محلول کاهش دهنده پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم، عمل نمی‌نماید بلکه تحمل گیاه را به تنش افزایش می‌دهد (۳۴).

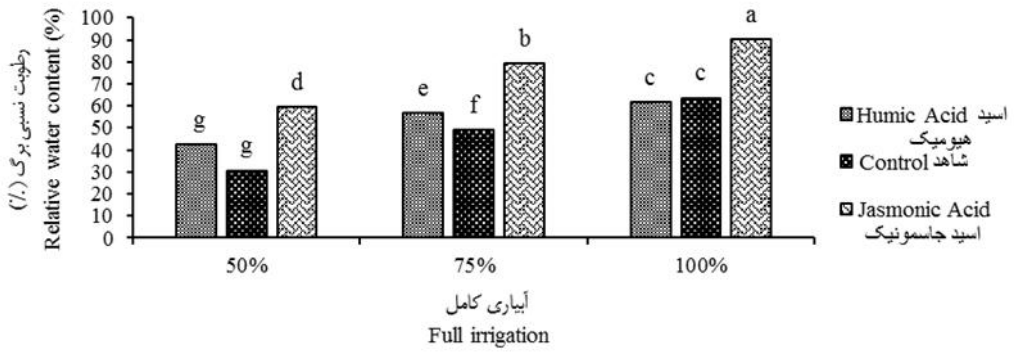
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثرات اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر رطوبت نسبی برگ، پرولین و رنگدانه‌های فتوسنتزی ذرت علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی

Table 1- Analysis of variance effects of jasmonic acid and humic acid on relative humidity leaf, proline and photosynthetic pigments of forage maize under different regimes moisture

		میانگین مربعات Mean of squares				
منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی Degree of freedom	رطوبت نسبی برگ Relative water content	پرولین Proline	کلروفیلa Chlorophyll a	کلروفیلb Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid
بلوک (R) Replication	2	18.6 ns	5.95 ns	0.02ns	0.04ns	0.04ns
تنش خشکی (D) Drought stress	2	2855.9**	744.01**	16.04**	1.52**	2.38**
خطای a Error a	4	17.04	2.54	0.14	0.01	0.04
تنظیم کننده رشد (GR) Growth regulator	2	5257.01**	19.84ns	0.18ns	0.04ns	1.09**
D × GR	4	1893.8**	73.84**	0.13ns	0.00ns	0.71**
خطای b Error b	12	7	3.42	0.22	0.01	0.02
ضریب تغییرات (٪) CV(%)		4.86	5.97	5.37	4.10	17.03

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

ns, * and **: Non significant ,significant P ≤0.05 and P ≤ 0.01, respectively



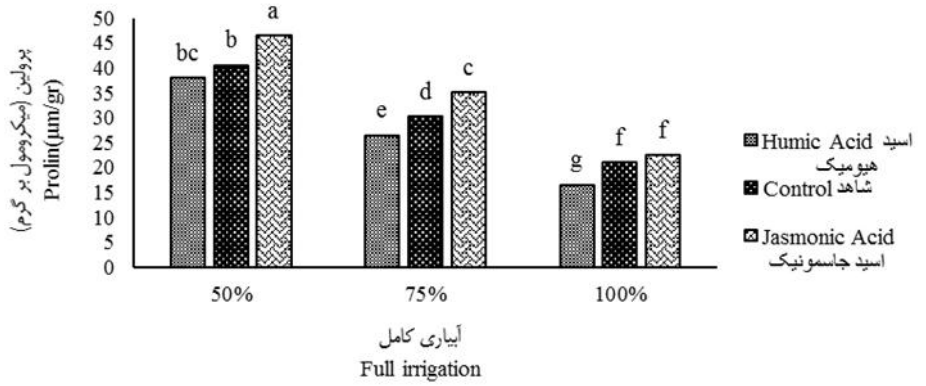
شکل ۱- اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی بر رطوبت نسبی برگ ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 1- Effect of water regime and foliar application interaction on relative water content of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at P < 0.05 by LSD

میزان تجمع پرولین در بین تیمارهای محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری داشت. اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی در شکل ۲ بیانگر آن است که تجمع پرولین در شرایط بدون تنش و تیمار اسید جاسمونیک بدون تفاوت معنی‌دار با شاهد نسبت به اسید هیومیک اثر افزایشی را داشته و در شرایط تنش ملایم باز هم این تیمار با ۱۶ درصد افزایش نسبت به شاهد دارای بیش‌ترین تأثیر و اسید هیومیک بی‌تأثیر بود. در شرایط تنش شدید، تیمار اسید جاسمونیک با ۱۴/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد بیش‌ترین تأثیر را در بین مواد بکار رفته در محلول‌پاشی‌ها و در سطوح مختلف تنش از خود بجای گذاشته است.

براساس نتایج تحقیقات پیشین در طی بروز تنش خشکی بر مقدار پرولین افزوده می‌شود. احتمالاً دلیل افزایش پرولین طی تنش خشکی این است که پرولین اسید آمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم بوده که احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرو ملکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد (۱۶). تجمع پرولین تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه

برای گیاه را فراهم کرده ولی اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و منجر به کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (۱۴).



شکل ۲- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر پرولین ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 2- Effect of water regime and foliar application interaction on proline content of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at P < 0.05 by LSD

کلروفیل

اثر اصلی رژیم رطوبتی بر کلروفیل a و b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر اصلی محلول‌پاشی و نیز اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر میزان کلروفیل a و b در گیاه ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۱) و (شکل ۳ A و B).

با توجه به مقایسه میانگین‌ها، می‌توان اظهار نظر کرد که بیش‌ترین میزان کلروفیل a و b در شرایط بدون تنش بود و این تفاوت به ترتیب برای موارد فوق نسبت به شرایط تنش شدید ۳۵/۴ و ۳۸/۴ درصد افزایش داشته است.

کاهش سنتز کلروفیل a از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب می‌باشد (۱۹). میزان کلروفیل در گیاه زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به‌شمار می‌آید. در این بین بسته به شدت، مدت و مرحله تأثیر خشکی بر هر کدام از مقادیر کلروفیل در گیاهان متفاوت است. در واقع کاهش کلروفیل a بر اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌شود، زیرا این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌شود (۳۳). نشان داده شد که تخلیه رطوبتی خاک بر شاخص کلروفیل و کلروفیل a و b در ذرت سینگل کراس ۲۶۰ تأثیرگذار بود (۱۵). علاوه بر این، تحت تأثیر خشکی کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند ناشی از کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئین رنگدانه b که محافظت کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفاز باشد (۳۵).

کاروتنوئیدها

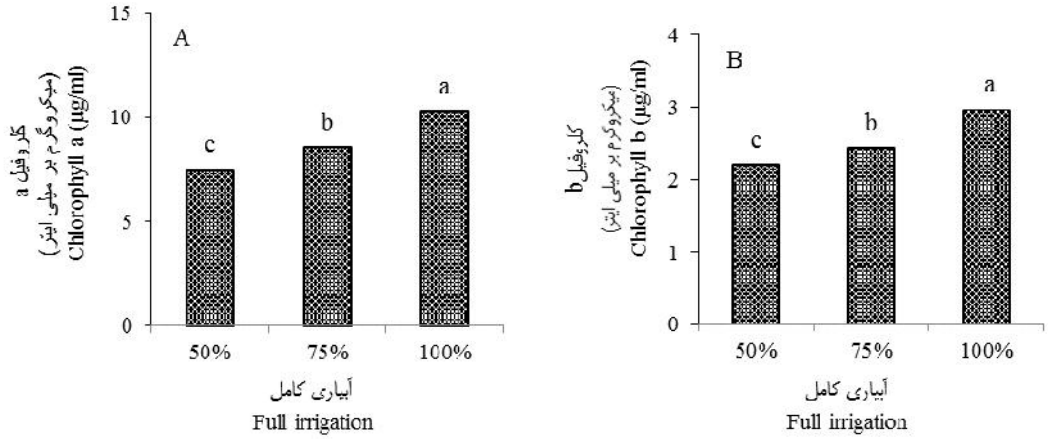
نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثرات اصلی رژیم رطوبتی، محلول‌پاشی و اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی بر کاروتنوئیدها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

با توجه به مقایسه میانگین‌ها می‌توان اظهار نمود که بیش‌ترین میزان کاروتنوئیدها در شرایط تنش شدید و در شرایط محلول‌پاشی با اسید هیومیک بوده است. علاوه بر این، اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی در شکل ۴ گویای آن است که در تنش شدید کم‌ترین میزان کاروتنوئیدها در تیمار جاسمونیک اسید و بیش‌ترین آن در تیمار اسید هیومیک بوده است، هرچند که این افزایش در میزان کاروتنوئید معنی‌دار نبود. زودان (۴۰) دریافت که اسپری برگ‌های‌گندم با اسید هیومیک و فولویک در مزرعه و گلخانه سبب افزایش میزان کلروفیل در برگ‌ها شد.

در شرایط بدون تنش اسید هیومیک اثر معنی‌داری نداشت و اسید جاسمونیک نیز بی‌تأثیر بود. ولیکن در شرایط تنش ملایم و شدید، اسید هیومیک به ترتیب (با ۲۱ و ۱۱/۲ درصد افزایش) نسبت به شاهد اثر تنش را تعدیل نمود، در این شرایط اسید جاسمونیک در تنش شدید دارای اثر منفی و در تنش ملایم بی‌تأثیر بود.

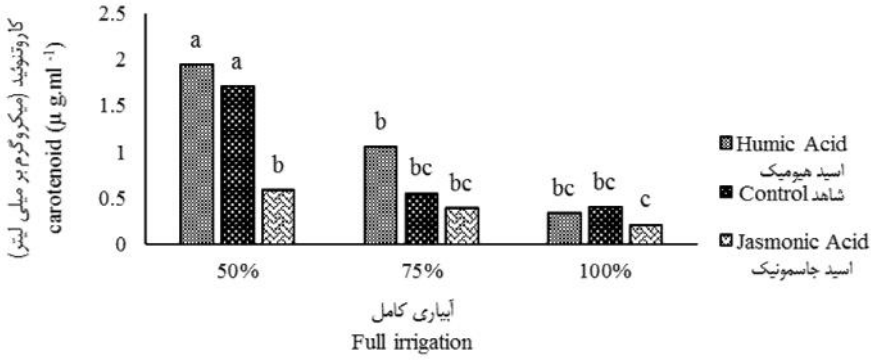
در زمان فتوسنتز، کاروتنوئیدها به‌عنوان محافظ کلروفیل گیاه عمل می‌کنند به‌طوری‌که با رشد گیاه و ظهور رنگ نهایی همگام با کاهش کلروفیل، میزان کاروتنوئید زیاد می‌شود (۸). با توجه به کاهش کلروفیل a و b در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط بدون تنش

می‌توان نتیجه گرفت که کاهش کاروتنوئیدها در این تیمار به‌دلیل تخریب کمتر کلروفیل بوده است.



شکل ۳- اثر رژیم رطوبتی بر محتوای کلروفیل a و کلروفیل b ذرت علوفه‌ای (A و B). میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری دارند

Figure 3- Effect of water regime on the chlorophyll a and chlorophyll b in forage maize (A, B). Mean values followed by different letters are significantly different at P < 0.05 by LSD



شکل ٤- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر کاروتنوئید ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 4- Effect of water regime and foliar application interaction on carotenoid content of forage maize. In each irrigation .levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at P < 0.05 by LSD

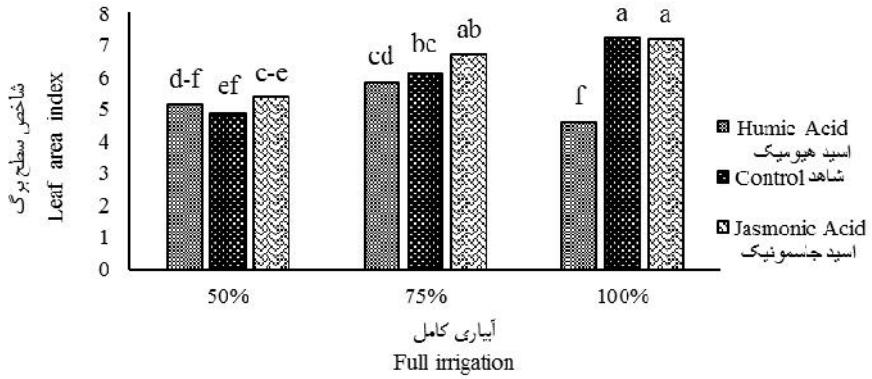
شاخص سطح برگ

مطابق با جدول ۲ در این پژوهش تنش خشکی شدید موجب کاهش معنی‌دار (۱۰/۵ درصد) شاخص سطح برگ در مقایسه با آبیاری مطلوب گشت. مشاهده شد که شاخص سطح برگ در سطح احتمال ۵ درصد تحت تأثیر رژیم رطوبتی و در سطح احتمال ۱ درصد متأثر از اثر اصلی محلول‌پاشی و اثر متقابل این دو واقع شد. یافته‌های کاکر (۴) نیز مؤید همین موضوع است و اظهار داشت که میان گسترش و توسعه سطح برگ و آب موجود در گیاه همبستگی مثبت وجود دارد، به‌طوری‌که در گیاه تحت تنش کمبود آب، شاخص سطح برگ کاهش یافت. نتایج آزمایشات صورت گرفته سایر محققان نیز بر کاهش سطح برگ به‌واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش کلروپلاست و در نتیجه زرد و نکروزه شدن سریع برگ‌ها در شرایط کمبود رطوبت خاک دلالت می‌کنند که به‌عنوان مکانیسمی برای سازگاری به خشکی به‌شمار می‌آید (۱۱ و ۱۳).

به‌نظر می‌رسد اثر تنش در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها گردید.

با اعمال تیمار اسید جاسمونیک بیش‌ترین میزان سطح برگ حاصل شد (افزایش ۱۵/۸ درصد)، مطابق با شکل ۵ و با توجه به اثر متقابل تنش آبی و محلول‌پاشی، در شرایط بدون تنش اسید جاسمونیک بی‌تأثیر و اسید هیومیک دارای اثر منفی بود. در تنش

ملایم (۷۵ درصد آبیاری نرمال) هر دو تیمار بدون اختلاف، بی‌تأثیر بودند و در تنش شدید اسید جاسمونیک بدون تفاوت معنی‌دار در مقایسه با تیمار شاهد، باعث افزایش شاخص سطح برگ (۱۰/۹ درصد) در آزمایش مورد بررسی شد و اسید هیومیک نیز در این شرایط فاقد اثرگذاری بود. اثر تنش خشکی در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها گردیده، کلروفیل‌سازی در کمبودهای شدید متوقف شده و شاخص سطح برگ را در دوره رسیدن محصول و میزان جذب نور توسط گیاه را نیز کاهش می‌دهد (۱۹).



شکل ۵- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر شاخص سطح برگ ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 5- Effect of water regime and foliar application interaction on leaf area index of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at P < 0.05 by LSD

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات اسید جاسمونیک و اسید هیومیک بر شاخص سطح برگ، وزن برگ، وزن ساقه، وزن بلال، عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی

Table 2- Analysis of variance effects of jasmonic acid and humic acid on leaf area index,leaf weight, stem weight, ear weight,forage yield andwateruse efficiency of forage maize under different regimes moisture

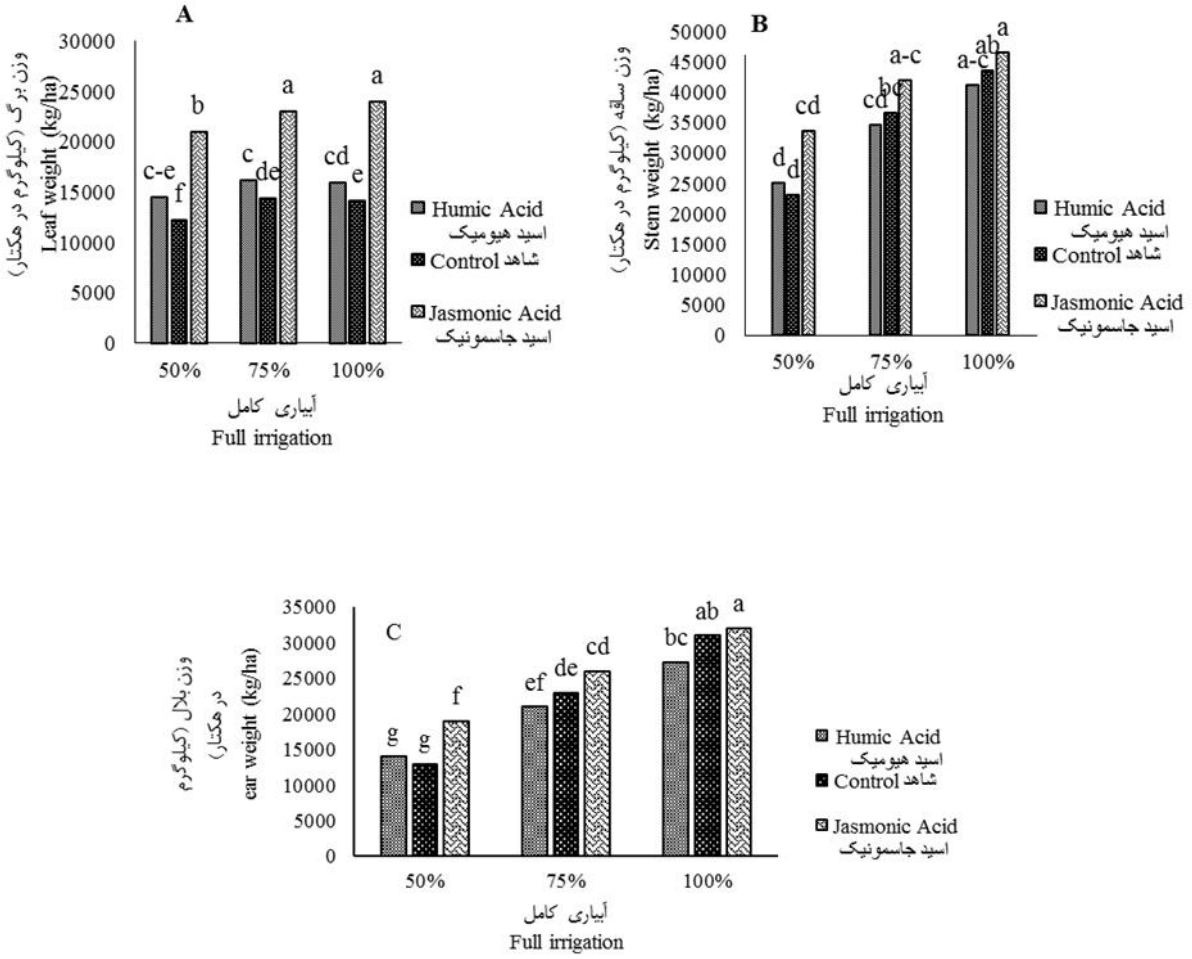
منابع تغییر Sources of variance	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares					
		شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن برگ Leaf weight	وزن ساقه Stem weight	وزن بلال Ear weight	عملکرد علوفه Forage yield	کارایی مصرف آب Water use efficiency
بلوک (R) Replication	2	0.35^{ns}	354745^{ns}	101321759*	21527778^{ns}	235238611^{ns}	1.68^{ns}
تنش خشکی (D) Drought stress	2	1.78*	5472801^{ns}	231043982**	45250000**	1027796944**	66.79**
خطای a Error a	4	0.13	1146412	9446759	7902778	35939722	0.55
تنظیم کننده رشد (GR) Growth regulator	2	2.71**	85764468**	47127315^{ns}	23312500*	446460278**	1.46*
D × GR	4	2.29**	5405093**	205939815**	104187500**	465033056**	2.70**
خطای b Error b	12	0.18	1023148	25530093	4881944	43482407	0.31
ضریب تغییرات (٪) CV(%)		7.5	6.15	13.24	9.08	8.67	9.67

ns، *و **: به ترتیب بیانگرعدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند

ns, * and **: Non significant ,significant P ≤0.05 and P ≤ 0.01, respectively

وزن برگ

بنابر جدول ۲ وزن تر برگ تحت تأثیر اثر اصلی محلول‌پاشی و اثر متقابل تنش و محلول‌پاشی واقع شد (P<۰/۰۱). واکنش وزن تر برگ به مواد به‌کار رفته در محلول‌پاشی نیز متفاوت از هم بود. هرچند برای وزن تر برگ با اعمال تنش بیشتر، میزان وزن‌گیری برگ‌ها کاهش یافت ولی در شرایط بدون تنش، تحت تنش ملایم (۷۵ درصد بدون تنش) و تنش شدید مواد به‌کار رفته در محلول‌پاشی تأثیر مطلوبی داشتند به گونه‌ایی که در هر سه شرایط رطوبتی، اسید جاسمونیک به ترتیب (با ۵۹، ۵۷ و ۴۸/۷ درصد افزایش) تأثیر مثبتی از خود به‌جای گذاشت (شکل A۶)، همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود محتوای زیاد پرولین در تیمار مذکور ممکن است از کاهش وزن تر برگ در شرایط تنش خشکی ممانعت کرده باشد. یانگ و همکاران (۳۹) گزارش کردند که سه عامل مهم در محاسبه تولید ذرت در شرایط کمبود آب، سطح برگ، وزن برگ و وزن گیاه بود.



شکل ٦- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر وزن برگ (الف)، ساقه (ب) و بلال (ج) ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 6- Effect of water regime and foliar application interaction on leaf weight (A), stem weight (B), and ear weight (C) of forage maize. In each irrigation levels,M ean values followed by same letters aren't significantly different at P < 0.05 by LSD

وزن ساقه

اثر تیمار محلول‌پاشی بر وزن تر ساقه در زمان برداشت معنی‌دار نبود، وزن تر ساقه تحت تأثیر رژیم رطوبتی در سطح احتمال ۱ درصد واقع شد (۲۰/۵ درصد کاهش در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط بدون تنش) و اثر متقابل این دو عامل نیز بر صفت مذکور پاسخ معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۱)، (جدول ۲). برای وزن تر ساقه، در

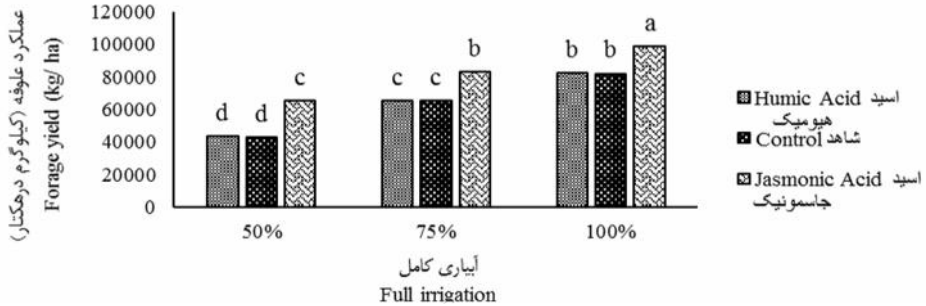
مورد مواد به‌کار رفته در محلول‌پاشی تحت شرایط بدون تنش و تنش ملایم می‌توان گفت که اسید جاسمونیک نسبت به اسید هیومیک اثر مثبت داشت ولیکن هر دو ماده نسبت به شاهد بی‌اثر بودند. تحت تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری نرمال) تأثیر محلول‌پاشی اسید جاسمونیک با اسید هیومیک یکسان و نسبت به شاهد اثر مثبت از خود نشان ندادند و نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل B۶). نیسانی و همکاران (۲۳) نیز ثابت کردند که وزن تر ساقه و بلال از لحاظ آماری تحت تأثیر تنش خشکی بوده است. رضایی استخروئیه و همکاران (۲۶) اظهار داشتند تنش خشکی بر وزن تر اندام هوایی ذرت معنی‌دار بود. بیش‌ترین وزن تر در تیمار آبیاری در تمام فصل رشد گیاه و کم‌ترین آن در تیمار سه بار آبیاری در طول فصل رشد مشاهده شد. معمولاً در شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش توسعه برگ‌ها، ساقه و کاهش میزان تجمع مواد ذخیره‌ای در این اندام‌ها از وزن تر کاسته می‌شود (۲۰). اعمال تنش خشکی در مرحله گرده افشانی موجب محدودیت کربوهیدراتی و عدم تکامل، کاهش آهنگ فتوسنتز خالص، تجمع ماده خشک در برگ‌ها، ساقه، بلال و عملکرد دانه شد (۳۱).

وزن بلال

اثر تیمار رژیم رطوبتی بر وزن تر بلال در زمان برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط بدون تنش ۴۵/۷ درصد کاهش نشان داد. وزن تر بلال تحت تأثیر محلول‌پاشی ($P<0/05$) و اثر متقابل رژیم رطوبتی نیز بر صفت مذکور در سطح ۱ درصد پاسخ معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). در مورد وزن بلال شاهد آن بودیم که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، اسید جاسمونیک با داشتن اثر خنثی در برابر شاهد نسبت به اسید هیومیک اثری افزایشی داشت و تیمار اسید هیومیک نیز نسبت به شاهد بی‌اثر بود. اما در شرایط تنش شدید تیمار اسید جاسمونیک با داشتن تفاوت معنی‌دار نسبت دیگران، برتری از خود نشان داد (شکل C۶). از آنجایی‌که وزن‌گیری بلال در انتهای مراحل رشد گیاه اتفاق می‌افتد به‌نظر می‌رسد که تیمار اسید جاسمونیک با حفظ سطح بالایی از پرولین و رطوبت نسبی موجب تداوم انجام فتوسنتز جاری برگ و در نتیجه کاهش اثرات تنش خشکی بر وزن بلال شده است.

عملکرد علوفه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، نشان داد که اثر اصلی رژیم رطوبتی در سطح احتمال ۵ درصد و محلول‌پاشی و اثر متقابل آنها بر عملکرد علوفه تر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، که نظر اسبورن و همکاران (۲۴) را تأیید می‌نماید. شکل ۷ بیانگر این مطلب است که برای عملکرد علوفه تر در شرایط بدون تنش، تنش ملایم و شدید، اسید جاسمونیک برتری معنی‌داری را نشان داد (به ترتیب با 20/4، 24/4 و ۳۸/۱ درصد افزایش) و اسید هیومیک بی‌تأثیر بود. همچنین میانگین عملکرد علوفه تر در سطوح مختلف تنش آبی متفاوت بوده و عملکرد علوفه تر در تیمار بدون تنش 21 کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار تنش شدید بیشتر بود.کاهش عملکرد علوفه تر در اثر تنش خشکی می‌تواند ناشی از کاهش معنی‌دار وزن بلال و برگ‌ها باشد. در شرایط بدون تنش و تنش ملایم اعمال محلول‌پاشی اسید جاسمونیک موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت شده است. این افزایش به‌دلیل افزایش معنی‌دار وزن برگ و عمدتاً وزن بلال است (شکل ۷). بنابراین نقش بیشتر بلال در عملکرد تولیدی تیمار اسید جاسمونیک می‌تواند بیانگر افزایش کیفیت پروتئینی علوفه باشد زیرا میزان و کیفیت پروتئین دانه بیشتر از پروتئین برگ و ساقه است. کوسکئولولا و فکت (۶) نیز بر این موضوع تأکید کردند که کاهش عملکرد در اثر تنش کمبود آب، ناشی از کاهش فتوسنتز گیاه در اثر کاهش پتانسیل آب برگ و سطوح فعال فتوسنتزی بوده است. یانگ و همکاران (۳۹) نیز محدودیت کربوهیدراتی، کاهش آهنگ فتوسنتز خالص و تجمع ماده خشک در برگ‌ها، ساقه و بلال را از دلایل کاهش عملکرد ماده خشک بیان کردند.



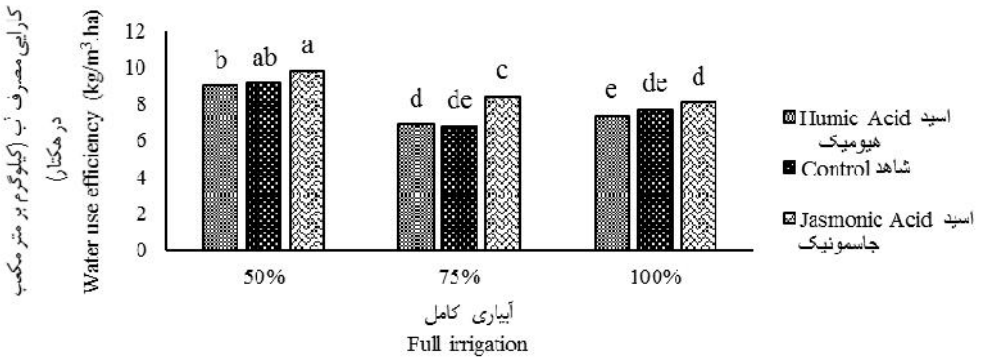
شکل ۷- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 7- Effect of water regime and foliar application interaction on yield of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at P < 0.05 by LSD

کارایی مصرف آب

اثر اصلی رژیم رطوبتی، محلول‌پاشی و اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی کارایی مصرف آب در علوفه تر را در سطح احتمال ۱ درصد متأثر نمود (جدول ۲). با توجه به کاهش میزان آب مورد نیاز گیاه و تولید ماده خشک حاصله بیش‌ترین مقدار کارایی مصرف آب مشاهده شده در تیمار بدون تنش مشاهده شد. لازم به‌ذکر است در بین مواد محلول‌پاشی شده، اسید جاسمونیک بیش‌ترین تأثیر را در بالا بردن کارایی مصرف آب داشته است.

مقایسه بین عکس‌العمل تنش آبی و محلول‌پاشی در خصوص کارایی مصرف آب (شکل ۸) نشان داد که در شرایط بدون تنش اسید جاسمونیک و اسید هیومیک اختلاف معنی‌داری از خود نشان ندادند. در شرایط تنش ملایم، اسید جاسمونیک با ۲۴/۷۴ درصد افزایش، تأثیر مطلوبی در تعدیل کردن تنش وارده به گیاه ذرت داشت و در شرایط تنش شدید اسید جاسمونیک و اسید هیومیک نسبت به شاهد اثر معنی‌داری نداشتند. هر عامل مدیریتی که بدون افزایش تبخیر و تعرق محدودیت‌های رشد گیاه را کاهش یا تعدیل دهد مسلماً باعث افزایش عملکرد و بازده مصرف آب خواهد شد (۱۹). از این دسته می‌توان به کاربرد تنظیم کننده‌های رشد به‌صورت خارجی اشاره نمود. لذا در شرایط تنش شدید نسبت به بدون تنش، کاهش تعرق، کمتر بودن سطح برگ و عدم وجود موانع زیادتر در برابر تبخیر بیشتر از سطح خاک، دریافت نور کمتر به منظور فتوسنتز و دسترسی کمتر به آب منجر به کارایی مصرف آب کمتر به‌طور قابل ملاحظه‌ای می‌شود (۱۹).



شکل ۸- اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر کارایی مصرف آب در ذرت علوفه‌ای. در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند

Figure 8- Effect of water regime and foliar application interaction on Water use efficiency of forage maize. In each irrigation levels, Mean values followed by same letters aren't significantly different at P < 0.05 by LSD

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که اعمال تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد ذرت علوفه‌ای دارد. به‌طوری‌که بروز تنش خشکی شدید (۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) عملکرد علوفه تر را به‌دلیل کاهش وزن برگ و بلال کاهش داد. بیش‌ترین نتایج مثبت اثر استفاده از تنظیم کننده‌های رشد بر عملکرد ذرت در شرایط تنش ملایم حاصل گردید، و تأثیر تعدیل کنندگی آنها درشرایط تنش خشکی در تولید محصول عمدتاً در مورد اسید جاسمونیک مشاهده شد. در این تحقیق پارامترهای مختلف از جمله رطوبت نسبی برگ، پرولین، شاخص سطح برگ و وزن تر ساقه، بلال و برگ پاسخ مناسبی نسبت به کاربرد اسید جاسمونیک به‌صورت خارجی و محلول‌پاشی از خود نشان دادند. بنابراین آثار مثبت کاربرد اسید جاسمونیک به‌صورت محلول‌پاشی، کاهش صدمه تنش بر تولید علوفه و کارایی مصرف آب در شرایط تنش ملایم با داشتن تفاوت معنی‌داری نسبت به اسید هیومیک بیانگر این است که کاربرد این ماده می‌تواند در افزایش تولید و کیفیت علوفه سیلویی ذرت در سطح متوسط تنش خشکی مفید باشد.

منابع

1- Altenbach S.B., Du Pont F.M., Kothari K.M., Chan R., Johnson E.L., and Lieu D. 2003. Temperature, water and

fertilizer influence the timing of key events during grain development in US Spring wheat. Journal of Cereal Science, 37(1):9-20.
2- Arnon A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23:112-121.
3- Bates L.S., Waldren R.P., and Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39:205-207.
4- Cakir R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research, 89:1-16.
5- Chougan R. 1996. Review and compare the performance and yield components of hybrid varieties of maize silage. Seed and Plant Journal, 12:36-40. (in Persian).
6- Cosculleola F., and Fact J.M. 1992. Determination of the maize (*Zea mays* L.) yield function in respect to water using a line source sprinkler. Field Crops. Abstract, 93:5611–5612.
7- Curran B., and Posch J. 2000. Agronomic management of silage for yield and quality: silage cutting height. Crop Insights. 10(2). Pioneer Hi-bred International .INC.
8- Deman J.M. 1999. Principles of Food Chemistry (3th ed). Aspen publishers, Inc. Maryland.
9- El-Tayeb M.A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation, 45:215-225.
10- Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., and Basra S.M. 2009. Plant drought stress: effects mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29: 185-212.
11- Flagella Z., Rotunno T., Tarantino E., Di Caterina R., and De Caro A. 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. European Journal of Agronomy, 17: 221-230.
12- Forghany A., and javanmard E. 2005. Humic and fulvic acid additive effect of the different soils. 9th Congress of Iranian soil science. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 28-۳۱ July. 20۰5. Soc., Karaj, Iran.
13- Gavloski J.E., Whitfield G.H., and Ellis C.R. 1992. Effect of restricted watering on sap flow and growth in corn (*Zea mays* L.). Canadian Journalof Plant Science, 72(2): 361-368.
14- Good A.G., and Zaplachiniski S.T. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in Brassica napus. Physiological Plantarum, 90:9-14.
15- Haghjoo M., and bohrani A. 2014. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on grain yield, yield components and dry matter remobilization of maize cv. SC260. Iranian Journal of Crop Sciences, 4(16):278-292. (in Persian).
16- Heuer B. 1994. Osmoregulatory role of prolin in water stress and salt-stressed plants. pp. 363-481. In: M. Pessarkli (ed.), Handbook of Plant and Crop stress. Marcel Dekker Pub, New York.
17- Khan H.U., Link W., Hhocking T., and Stoddard F. 2007. Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in fababean (*vicia faba* L.). Plant and Soil, 292:205-217.
18- Koo A.J.K., and Howe G.A. 2009. The wound hormone jasmonate. Phytochemistry, 70:1571-1580.
19- Koocheki A., and Sarmadnia G.H. 1999. Crop Physiology (Translation). ACECR of Mashhad.
20- Lamm F. 2004. Corn production as related to sprinkler irrigation capacity. 16th annual central plains irrigation conference, 17-18 Feb. 2004. Soc., Kearney, Nebraska.
21- Leoni L., Ambrosia C., Petrucca A., and Visca P. 2002. Transcriptional regulation of pseudo actin synthesis in the plant growth promoting pseudomonas B10. FEMS Microbiology Letters, 208(2): 219-225.
22- Lichtenthaler H.K., and Wellburn A.R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions, 11(5):591-592.
23- Neisani S., Fallah S., and Raiesi F. 2012. The Effect of Poultry manure and urea on agronomic characters of forage maize under drought stress conditions. Journal of Agricultural Sciences, 21(4):63-74. (in Persian with English abstract).
24- Osborne S.L., Schepper J.S., Francis D.D., and Schlemmer M.R. 2002. Use of spectral radiance to in-seasen biomass and grain yield in nitrogen and water- stressed corn. Crop Science, 42:165-171.
25- Reddy G.R.C., and Vittala S.S. 2014. Water use efficiency through drip irrigation in water scarcity area-a case study. In: Proceedings of 4th international conference.
26- Rezaei estakhroee A., Boroomandnasab S., Hooshmand A., and Khangani M. 2012. Effects of deficit irrigation and partial root zone drying on morphological and physiological characteristics of corn. Iranian of Irrigation & Water Engineering, 2(6):67-76. (in Persian).
27- Richard G.A., Pereira S., Rae،s D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56, Rome Italy.
28- Ritchie S.W., Nguyun H.T., and Holaday A.S. 1990. Leaf Water Content and Gas-Exchange Parameters of Two Wheat Genotypes Differing in Drought Resistance. Crop Science, 30(1):105-111.

29- Rubio V., Bustos R., Luisa M., Irigoyen L., Cardona-Lopez X., Rojas-Triana M., and Paz-Ares J. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. Plant Molecular Biology, 69:361-373.

30- Samavat S., and Malakoti M.J. 2005.The necessity of using organic acids (humic and Fluvic) to increase the quantity and quality of agricultural products.Technical Bulletin 463, Soil and Water Research Institute, Press the Sana.

31- Schussler J.R., and Westgate M.E. 1991. Maize kernel set at low water potential: II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. Crop Science, 31(5):1196-1203.

32- Sharif M., Khattak R.A., and Sarir M.S. 2002. Effect of different levels of ligniticcoal derived humic acid on growth of maize plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 33:3567-3580.

33- Sheteawi S.A., and Tawfik K.M. 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on Mungbeen (*Vigna radiat*) growth and yield. Journal of Applied Sciences Research, 3(3):251-262.

34- Stewart C.R. 1982. The physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. In: L.G. Paleg and D. Aspinall (eds.), Academic Press, New York.

35- Tambussi E.A., Bartoli C.G., Beltrano J., Guiamet J.J., and Araus J.L. 2000. Oxidative damage to thylakoids proteins in water stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.). Physiologia Plantarum, 108:398-404.

36- Tardieu F. 2005. Plant tolerance to water deficit: Physical limits and possibilities for progress.Comptes Rendus Geoscience, 337:57-67.

37- Turhan H., and Baser I. 2004. In vitro and in vivo water stress in sunflower (*Helianthus annus* L.). HELIA, 27:227-236.

38- Turner N.C. 1987. Crop water deficits: a decade of progress. Advances in Agronomy, 39:1-51.

39- Yang C.M., Fan M.J., and Hsiang W.M. 1993. Growth and yield respones of maize (*Zeamays* L.) to soil water deficits. II. Effects of water deficit timing and strength. Journal of Agricultural Research of China, 42(2):173-186.

40- Zudan X. 1986. The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and wheat yield. Australian. Journal of Agricultural Research, 37: 343-350.

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 5, Nove.-Dec. 2017, p. 1396-1408

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۵، آذر –دی ۱۳۹۶، ص. ۱۴۰۸-۱۳۹۶

Effects of Jasmonic Acid and Humic Acid to Mitigate Drought Stress Effect During Pollination of Forage Maize

E. Madadi[1]- S. Fallah[2*]

Received: 13-03-2017
Accepted: 22-07-2017

Introduction: Drought stress is one of the most important limiting factors for plant growth in the arid and semi-arid regions. This stress affecting crop production such as maize *(Zea mays* L.). Maize can play an important role in providing forage for silage animals, especially in the winter season in most parts of Iran due to high production capability . The application of plant growth regulators such as jasmonic acid and humic acid is one of the fastest ways to increase crop tolerance to environmental stresses viz. drought stress. The role of these acids is to prevent aging and falling of leaves, hormonal effects and improve nutrient uptake, which leads to increase of root and shoot biomass. Due to the expansion of industrial livestock, maize silage supply is essential. On the other hand, maize pollination and grain filling occur in the summer season and it overlaps with the peak of water limitation. Thus, in this experiment, the effect of jasmonic acid and humic acid on morpho-physiological characteristics and water use efficiency of forage maize under drought stress were studied.

Materials and Methods: In order to investigate the effects of jasmonic acid and humic acid to mitigate the impact of drought stress during pollination of forage maize (KSC 704), an experiment was conducted in research farm of the Shahrekord University, in 2016. The experiment was performed as a split plot in a randomized complete block design with three replicates. The treatments consisted of different levels of drought stress (no drought stress (field capacity), moderate drought stress (0.75 field capacity) and severe stress (0.50 field capacity)) as main plots and plant growth regulators (without hormone, jasmonic acid and humic acid) as sub plots. In no hormone condition, distilled water was used. Foliar application was done 10 mM jasmonic acid and humic acid content of 1500 grams per hectare before maize flowering. The volume of water consumed for each irrigation was measured by contour system. In this experiment leaf relative water content (RWC), proline, chlorophyll content, carotenoids, leaf area index (LAI), leaf weight, stem weight, ear weight, forage yield and water use efficiency (WUE) were measured. The analysis of data was performed using SAS software. Mean comparisons of study characteristics were done by LSD test at the 5% probability level.

Results and Discussion: The results showed that the relative water content, proline, chlorophyll, carotenoids, leaf area index, shoot weight, ear weight, forage yield and water use efficiency were affected by drought stress conditions. Although drought stress was reduced forage yield and related traits, the use of jasmonic acid compared to the control and humic acid under mild stress was significantly increased relative water content (61.1 and 39.3 %, respectively), leaf weight (60.4 and 41.8%, respectively), stem (14.8 and 25.12%, respectively), ear weight (13 and 23.8%, respectively), proline content (16 and 32.1 %, respectively), forage yield (24.4 and 24.2%, respectively). Under severe stress conditions, jasmonic acid significantly increased relative water content of leaf, weight of leaf, weight of stem and leaf area index. Under severe drought stress, jasmonic acid and humic acid had no significant difference. It was observed that under non-stress conditions, jasmonic acid wasn't effective on water use efficiency and humic acid showed a negative effect. Under moderate drought stress, jasmonic acid was effective with increase 21.15 %, in moderating drought stress for maize and under severe stress jasmonic acid and humic acid had no significant effect.

Conclusion: According to the results, the occurrence of drought stress during pollination has a significant effect on maize yield. So that the severe drought stress (50% soil moisture depletion) leads to decrease in yield of maize forage due to decrease weight of leaf and ear. Although the most positive results of the use of growth regulators on maize yield were obtained under non-stress (full irrigation), the effect of moderate drought stress was mainly observed on forage production on jasmonic acid. The positive effect of foliar application of jasmonic acid in reducing the damage of drought stress and increasing of water use efficiency under moderate drought stress indicated that the use of this hormone could be useful in increasing production and quality of maize silage.

Keywords: Moderate drought stress, Growth regulator, Relative water content, Water use efficiency

1 and 2- Master Student and Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
(*- Corresponding Author Email: Falah1357@yahoo.com)