نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۱۱-۳۸۹

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 389-411

مقاله علمی - پژوهشی

اثر سطوح کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۷۰٤ تحت تأثیرکاربرد کاهنده‌های تعرق

مهدی حیاتی[۱]، عباس ملکی[۲*]، افشین مظفری[۲] و فرزاد بابایی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۹

حیاتی، م.، ملکی، ع.، مظفری، ا.، و بابایی، ف.، ۱۳۹۹. اثر سطوح کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۷۰۴ تحت تأثیرکاربرد کاهنده‌های تعرق. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۴۱۱-۳۸۹.

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر مصرف جیبرلین و مواد کاهنده تعرق بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) تحت تنش رطوبتی، به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۶ در شهرستان مهران استان ایلام انجام شد. فاکتور اصلی شامل سه سطح کم‌آبیاری (آبیاری نرمال (معادل ۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان شاهد و ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و فاکتور فرعی شامل هشت حالت مصرف جیبرلین (با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام)، و عدم مصرف جیبرلین در چهار سطح مصرف کاهنده‌های تعرق شامل اسید سالسیلیک (با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار)، اسید آسکوربیک (۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و پاکلوبوترازول (۵۰ پی‌پی‌ام) و شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) در مرحله شش تا هشت‌برگی بود. نتایج نشان داد که بین سطوح مختلف کم‌آبیاری از نظرصفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. خشکی سبب کاهش عملکرد، اجزای عملکرد، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ شد و مصرف جیبرلین و کاهنده‌های تعرق باعث بهبود صفات مورد نظر گردید. همچنین مصرف کاهنده‌های تعرق روی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال و شاخص سطح برگ دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و بر محتوی نسبی آب برگ اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت. بیشترین میزان عملکرد دانه (۱۱۱۱۱/۶ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال تحت محلول‌پاشی جیبرلین و اسید سالیسیلیک و کمترین میزان عملکرد دانه (۶۴۲۰/۶ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش ۸۰ میلی‌متر و بدون استفاده از جیبرلین و کاهنده‌های تعرق به‌دست آمد. به‌طور کلی، کاربرد خارجی این ترکیبات می‌تواند مقاومت گیاه را نسبت به تنش‌های غیرزنده افزایش دهد. بنابراین، کاربرد تلفیقی این ترکیبات راهکاری جهت رسیدن به ثبات عملکرد در تنش خشکی و کاهش مصرف آب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ثبات عملکرد، شاخص سطح برگ، محتوای آب نسبی برگ

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) به‌عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده انرژی در تغذیه طیور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل افزایش سطح زیر کشت و بهبود عملکرد این محصول از اولویت خاصی برخوردار می‌باشد (Tardieu, 2012). گیاه ذرت به‌دلیل تولید بالا و سازگاری در اکثر مناطق می‌تواند نقش مهمی در تأمین خوراک دام در فصل زمستان ایفا نماید (Chougan, 1996). علاوه‌براین، سیلو کردن آن به‌آسانی انجام می‌شود و یک علوفه خوش‌خوراک با کیفیت پایدار برای دام می‌باشد و انرژی بالاتری نسبت به سایر علوفه‌ها دارا است (Curran & Posch, 2000).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران به شمار می‌آید و این نوع

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام، ایران.
۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: maleki97@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.74753

تنش یک پدیده مهم و مؤثر بر عملکرد غلات از جمله ذرت است (Altenbach et al., 2003). تنش خشکی سبب ایجاد واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متفاوتی در گیاهان می‌شود (Pattangual & Madore, 1999). بررسی‌ها نشان می‌دهند که تنش خشکی ملایم و شدید به‌ترتیب موجب کاهش عملکرد دانه ذرت به‌میزان ۶۳ و ۸۵ درصد در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال می‌شود (Hugh & Davis, 2003). همچنین مشاهده شده است که تنش خشکی در دو مرحله قبل و بعد از گل‌دهی عملکرد دانه ذرت را به‌ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد کاهش می‌دهد (Osborne et al., 2002).

در رشد گیاهان، عوامل محیطی (بیرونی) و گیاهی (درونی) زیادی تأثیر گذار هستند. از جمله مهم‌ترین عوامل درونی، می‌توان به هورمون‌ها اشاره نمود. نقش هورمون‌ها تنظیم فرآیندها و مراحل مختلف رشدی گیاهان می‌باشند که رشد و نمو طبیعی توسط اثر متقابل هورمون‌های تحریک‌کننده و بازدارنده تنظیم می‌شود. استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد و مواد زیستی شامل ترکیباتی آلی است که ماده غذایی نیستند، ولی هنگامی‌که در غلظت کم مورد استفاده قرار می‌گیرند بر فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهی تأثیر می‌گذارند، استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد می‌تواند بسیاری از فرآیندهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد و تحمل گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی را بهبود دهد (El-Tayeb, 2005). برخی از هورمون‌های گیاهی محرک رشد هستند، در حالی‌که انواع دیگری از هورمون‌ها این فرآیندها را کند نموده و یا به تأخیر می‌اندازند (Hopkins & Hüner, 2008). یکی از ترکیبات محرک رشد، جیبرلین‌ها هستند که رشد طولی و تقسیم سلولی را افزایش می‌دهند.

جیبرلین‌ها شامل گروهی از هورمون‌ها هستند که بیشترین دخالت مستقیم را در کنترل و تسهیل جوانه‌زنی بذر دارند. افزایش سنتز و آزادسازی هورمون جیبرلیک اسید در بذر موجب تجزیه نشاسته بذر و تبدیل آن به مواد قابل استفاده جنین می‌شود و جوانه‌زنی شروع می‌شود. استفاده از اسید جیبرلیک معمولاً باعث افزایش سبز شدن، بهبود رشد و گستردگی سیستم ریشه‌ای می‌شود (Kaure et al., 2003; Toker et al., 2004). کشاورزی و همکاران (Keshavarzi et al., 2014) نشان دادند که کاربرد جیبرلین با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام تأثیر مثبت و معنی‌داری بر وزن تک بوته و عملکرد کمّی و کیفی علوفه در هکتار داشت. در آزمایش ونگ و همکاران (Wang et al., 2008) در گیاهچه‌های ذرت تیمار شده با هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین در روز دوم اعمال تنش خشکی، علائم پژمردگی تا روز پنجم اعمال تنش خشکی مشاهده نشد. افزایش پتانسیل آب گیاه در نتیجه استفاده از مواد ضدتعرق در گیاهان مختلف توسط سایر محققان گزارش شده است (Navarro et al., 2007; Win et al., 1991).

اسید سالیسیلیک یک تنظیم‌کننده رشد درونی از گروه ترکیبات فنلی طبیعی می‌باشد که امروزه به‌عنوان ماده شبه‌هورمونی محسوب می‌گردد که در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش دارد. القاء گل‌دهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن، تأثیر در باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس از نقش‌های مهم اسید سالیسیلیک محسوب می‌شود (Raskin, 1992). اسید سالیسیلیک می‌تواند نقش محوری در مقاومت نسبت به بیماری در گیاهان به‌ویژه طی مقاومت سیستمیک کسب شده داشته باشد (Amborabe & Fleurat-Lessard, 2002). کاربرد اسید سالیسیلیک در گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) و لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) سبب افزایش مقاومت به درجه حرارت‌های پایین و بالا شده است (Senaratna et al., 2000).

اسید سالیسیلیک و مشتقات آن از جمله ترکیباتی هستند که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی عمل نموده و در شرایط تنش به‌دلیل کاهش تلفات آب، بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه، بهبود مقاومت گیاه نسبت به خشکی می‌تواند گیاه را محافظت نماید (Borsani et al., 2001). گزارش‌هایی از اثر اسید سالیسیلیک بر افزایش عملکرد سایر گیاهان مانند گندم (*Triticum aestivum* L.) (Shakirova et al., 2003) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Hussain et al., 2009) منتشر شده است. سپهری و بیات (Sepehri & Bayat, 2013) گزارش کردند که تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک در دوره‌های مختلف آبیاری باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نسبت به شاهد شد. بر این اساس، آن‌ها نتیجه گرفتند که کاربرد این ماده با توجه به قیمت نازل و غلظت پایین مصرف، در شرایط نرمال رطوبتی و تنش خشکی می‌تواند سبب بهبود عملکرد شود.

اسید آسکوربیک از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی درون سلولی است که مقاومت سطح سوبستراهای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را بالا برده و در کاهش تنش خشکی نقش مهمی دارد (Hossain et al., 2016). اسید آسکوربیک به‌دلیل تأثیر به‌عنوان کوفاکتور مهم در بیوسنتز بسیاری از هورمون‌های گیاهی از طریق احیای این هورمون‌ها سبب کاهش اثرات تنش، افزایش تقسیم و توسعه سلولی و افزایش ارتفاع، تعداد دانه و عملکرد دانه می‌شود (Taqi et al., 2011). ترزیو همکاران (Terzi et al., 2015) با کاربرد ۰/۱ میلی‌مولار اسید آسکوربیک در کشت هیدروپونیک گیاهچه‌های ذرت نشان دادند که کاربرد اسید آسکوربیک در شرایط تنش میزان حذف پراکسید هیدروژن، وضعیت آب برگ و هدایت روزنه‌ای را افزایش و پراکسیداسیون لیپیدها را کاهش می‌دهد.

پاکلوبوترازول نیز یکی دیگر از ترکیبات خانواده تریازول‌ها است که سبب ایجاد مقاومت به تنش‌های خشکی، شوری، سرما و گرما می‌شود (Rademacher, 1995). پژوهشگران به اثر ضدتعرقی پاکلوبوترازول اشاره کرده‌اند که تأثیر آن بر روابط آبی و تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه ثابت شده است (Navarro et al., 2007). پاکلوبوترازول با دخالت در مسیر بیوسنتز اسید جیبرلیک از تولید این هورمون گیاهی ممانعت می‌نماید. همچنین همان‌طور که خشکی باعث افزایش مقدار اسید آبسیزیک می‌شود (Bano et al., 1993)، پاکلوبوترازول نیز باعث تحریک تجمع اسید آبسیزیک در برگ‌ها می‌گردد (Zhu et al., 2004). سپهری و بیات (Sepehri & Bayat, 2013) وکوتروباسو و همکاران (Koutroubas et al., 2004) گزارش کردند که در گیاه ذرت با دور آبیاری هفت روز، مصرف پاکلوبوترازول عملکرد دانه به‌میزان ۸/۶۱ درصد نسبت به تیمار بدون مصرف پاکلوبوترازول کاهش یافت. بر این اساس، از آن‌جا که بخش زیادی از دوره رشدی گیاه ذرت در طی فصل تابستان است و دوره گرده‌افشانی و پر شدن دانه آن هم‌زمان با اوج کمبود منابع آب است، استفاده صحیح از ترکیبات ضدتعرق و محرک رشد در شرایط تنش خشکی می‌تواند عملکرد ذرت را افزایش دهد. بر این اساس، هدف از اجرای این تحقیق کاربرد تلفیقی ترکیبات ضدتعرق و محرک رشد جهت بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی در تنش خشکی روی ذرت در شرایط آب و هوایی ایلام بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در شهرستان مهران از شهرهای جنوب غربی استان ایلام دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک و واقع در عرض جغرافیایی ۳۳ ساعت، پنج دقیقه و ۵۰ ثانیه و طول جغرافیایی ۴۶ ساعت، ۱۶ دقیقه و ۳۴ ثانیه اجرا گردید. فاکتور اصلی شامل سه سطح (آبیاری نرمال (معادل ۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان شاهد)، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) (مظفری و همکاران، ۱۳۹۰) و فاکتور فرعی شامل هشت حالت مصرف جیبرلین (با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام) و عدم مصرف جیبرلین در چهار سطح مصرف کاهنده‌های تعرق شامل اسید سالسیلیک (با غلظت ۰/۵میلی-مولار)، اسید آسکوربیک (۱۲۰میلی‌گرم در لیتر) و پاکلوبوترازول (۵۰ پی‌پی‌ام) و شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) در مرحله شش تا هشت‌برگی بود. به‌منظور جذب بیشتر، محلول‌پاشی در ساعات صبح یا عصر و با افزودن سورفاکتانت (توئین۲۰ با کد ۹۰۰۵-۶۴-۵- ساخت شرکت مرک آلمان با غلظت ۰/۰۱ درصد) انجام شد. رقم ذرت مورد استفاده هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ بود. این هیبرید رقمی دیررس با طول دوره رشد تا مرحله شیری خمیری ۱۳۵-۱۲۰ روز و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ۱۵۰ روز است.

هر کرت شامل شش ردیف کاشت به‌طول چهار متر، فواصل بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر، فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین بلوک‌ها سه متر و عمق کاشت بذر سه تا پنج سانتی‌متر بود. مقدار کود مورد نیاز بر اساس آزمایش خاک تعیین شد. بر این اساس،۱۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و یک سوم کود نیتروژن از منبع اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت کود پایه و دو سوم باقی‌مانده نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در دو مرحله رشدی ۱۰ برگی و مرحله پیش از ظهور گل‌های نر مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج آنالیز خصوصیات شیمیایی عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک قبل از شروع آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. بافت خاک نیز لومی-رسی بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1- Physical and chemical criteria of soil

pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	فسفر Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم Available K ($mg.kg^{-1}$)
7.0	0.9	2.23	0.3	8.1	332

بلافاصله بعد از کاشت عملیات آبیاری انجام شد، با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و شرایط خاک مزرعه آبیاری دوم به‌فاصله حدوداً پنج روز از آبیاری اول انجام شد تا مرحله جوانه‌زنی، سبز شدن و استقرار گیاهچه به‌خوبی انجام شود. آبیاری سوم نیز با فاصله هفت روز از آبیاری دوم انجام شد و پس از آن از مرحله هشت‌برگی تا پایان فصل رشد آبیاری تیمارهای مختلف تنش خشکی، بر اساس تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر صورت گرفت.

به‌منظور بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل

رشد و در تیمارهای مختلف، در ابتدای شروع تیمار در هر فصل، از هر سه تکرار مربوط به یک تیمار، یک گیاه کف‌بر شده و مساحت تمام برگ‌های هر گیاه به‌صورت جداگانه اندازه‌گیری شد و در نهایت، مجموع مساحت برگ‌های هر گیاه با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل دلتا تی به‌دست آمد. با در دست داشتن سطح زمین اختصاص یافته به هر گیاه (۲۰cm× ۷۵ cm)، مقدار شاخص سطح برگ با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

معادله (۱) $$LAI = \frac{A_{allleaves}}{A_{plant}}$$

که در آن، LAI: شاخص سطح برگ (بدون بعد)، $A_{all\ leaves}$: مجموع مساحت برگ‌های هر گیاه (سانتی‌مترمربع) و A_{plant}: سطح زمین اختصاص یافته برای هر گیاه (سانتی‌مترمربع) می‌باشد.

محاسبه محتوی رطوبت نسبی برگ (RWC)، از طریق ۱۵ دیسک برگی که توسط پانچ از برگ‌های گیاه در ساعت ۱۰ صبح انتخاب شده‌اند، انجام شد. به‌طوری‌که بعد از توزین وزن تر، دیسک‌های برگی در پتری آب مقطر به‌مدت ۱۲ ساعت، اشباع و سپس توزین شدند. نمونه‌های توزین شده بعداً در آون ۸۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید. محتوی رطوبت نسبی برگ با استفاده از معادله ۲ به‌دست آمد:

معادله (۲) $$RWC = \frac{(F_W - D_W)}{(T_W - D_W)} \times ۱۰۰$$

که در آن، F_w: وزن تر، D_w: وزن خشک و T_w: وزن تر اشباع می‌باشد.

نمونه‌گیری از برگ پرچم در مرحله ساقه‌دهی انجام شد. برای انجام آزمایشات بیوشیمیایی، در هر نوبت، ۱۰ گرم برگ برداشت شد. نمونه‌ها سریعاً با ازت مایع فریز شده و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای تعیین غلظت پروتئین کل از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین از روش بیتز و همکاران (Bates et al., 1973) استفاده شد.

برای تعیین میزان کلروفیل، بر اساس روش پیشنهادی پورا و همکاران (Porra et al., 1989) در هر کرت، به‌طور تصادفی تعداد پنج برگ از پنج بوته برداشت و از هر برگ تعداد سه حلقه (در هر کرت ۱۵ حلقه) به قطر ۰/۵ سانتی‌متر از پهنک برگ تهیه شد. سپس نمونه‌های برگ به لوله‌های آزمایشی استریل حاوی پلی‌اتیلن گلایکول و آب خالص، منتقل شدند. بعد از نگهداری به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق، نمونه‌های برگ از لوله‌های آزمایشی خارج و در کاغذ صافی خشک شدند. سپس نمونه‌های برگی خشک شده را در لوله آزمایشی محتوی پنج میلی‌لیتر دی‌اتیل اتر ۹۰ درصد قرار داده و درشرایط دمای اطاق به‌مدت پنج روز تا زمانی‌که همه کلروفیل‌ها از نمونه‌های برگ جدا شدند، نگهداری گردیدند. پس از آن لوله‌های حاوی کلروفیل نمونه برگ در داخل دستگاه اسپکتروفتومتر گذاشته و غلظت محلول در طول موج‌های ۶۶۳E برای کلروفیل a و ۶۴۵E نانومتر برای کلروفیل b قرائت شد و نهایتاً میزان کلروفیل (a+b) با استفاده از معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه شد:

معادله (۳) $$\text{Chlorophyll a} = (19.3\times A_{663}-0.86\times A_{645})\ V/1000W$$

معادله (۴) $$\text{Chlorophyll b} = (19.3\times A_{645}-3.6\times A_{663})\ V/1000W$$

که در این معادله‌ها، V: حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A: جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول در برگ، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت سبز برگ فریز شده در داخل پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون کاملاً له و به لوله‌های آزمایش دربدار منتقل گردید و به‌مدت۳۰ ثانیه به‌آرامی به هم زده شد. بعد مایع رویی جدا و به لوله دربدار به حجم ۲۰ سی‌سی منتقل شد. سپس دو بار و هر بار پنج میلی‌لیتر اتانول۷۰ درصد به بخش جامد باقی‌مانده اضافه و کاملاً شستشو گردید. کلیه مراحل فوق در نور کم انجام گرفت. سپس بخش مایع رویی به لوله آزمایش منتقل شد. در نهایت، ۱۵ میلی‌لیتر از عصاره به‌دست آمده به‌مدت ۱۵ دقیقه با ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. قسمت محلول زلال به‌دست آمده جدا و به ۰/۱ میلی لیتر از آن، مقدار سه میلی‌لیتر محلول آنترون همراه با ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک اضافه گردید. لوله‌های حاوی محلول‌های فوق به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده و سپس میزان جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت شد (Schlegel, 1956).

برای محاسبه عملکرد نهایی دانه از ردیف‌های سوم و چهارم پس از حذف نیم متر از هر دو سوی خطوط کاشت به‌عنوان اثر حاشیه به‌طول سه متر استفاده شد که جمعاً مساحتی حدود ۴/۵ مترمربع را تشکیل می‌داد. در نهایت، گیاهان برداشت شده از هر کرت آزمایشی در کیسه‌های جداگانه قرار گرفته و از هر کرت به‌طور تصادفی شش بوته ذرت انتخاب و تعداد دانه در بلال، اندازه-

گیری شد. سپس دانه‌ها را از چوب بلال جدا کرده و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون به‌مدت ۷۲ ساعت قرار داده تا رطوبت دانه به صفر درصد برسد و پس از آن بر مبنای ۱۴ درصد رطوبت عملکرد دانه محاسبه شد. دانه‌های هر کرت جهت تعمیم به عملکرد نهایی، جداگانه وزن گردید و چوب خشک بلال نیز توزین شد. تعداد هزار دانه به‌وسیله دستگاه شمارشگر بذر شمارش و توزین گردید. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید.

داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS تجزیه و مقایسه میانگین شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و جهت رسم شکل‌ها از Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر کم‌آبیاری و کاربرد جیبرلین و ترکیبات کاهنده تعرق بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ذرت در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بین سطوح مختلف آبیاری از نظر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. طبق جدول تجزیه واریانس تیمار جیبرلین تنها بر روی صفت عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد دارای اثر معنی‌دار بود. همچنین مصرف کاهنده‌های تعرق بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال و شاخص سطح برگ دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و برای محتوی نسبی برگ دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. اثرات متقابل تنش خشکی و مصرف جیبرلین و همچنین اثرات متقابل جیبرلین و کاهنده‌های تعرق بر صفت عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. همچنین اثرات متقابل تنش خشکی و مصرف کاهنده‌های تعرق بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل سه‌گانه بر صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

عملکرد دانه: بالاترین میزان عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال با مصرف هم‌زمان دو هورمون جیبرلین و اسید سالیسیلیک (۱۱/۱۱ تن در هکتار) به‌دست آمد. همچنین پایین‌ترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش آبیاری ۸۰ میلی‌متری بدون مصرف جیبرلین و کاهنده‌های تعرق (۶/۴۲ تن در هکتار) به‌دست آمد. تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه نسبت به تیمار آبیاری نرمال گردید (جدول ۳). بررسی‌های هاگ و دیویس (Hugh & Davis, 2003) نشان داد که اعمال شدت‌های ملایم و شدید تنش خشکی به‌ترتیب موجب کاهش عملکرد دانه ذرت به‌میزان ۶۳ و ۸۵ درصد در مقایسه با شرایط بهینه شد. همچنین گزارش شده است که تنش خشکی در مرحله قبل و بعد از گل‌دهی، عملکرد دانه در ذرت را به‌ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد کاهش داد (Osborne et al., 2002). همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، استفاده از تیمارهای کاهنده تعرق و جیبرلین توانست در بهبود افت عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی مؤثر واقع شود. کشاورزی و همکاران (Keshavarzi et al., 2014) در ارزیابی تأثیر هورمون جیبرلین بر عملکرد ذرت علوفه‌ای گزارش کردند که کاربرد غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام جیبرلین تأثیر مثبت و معنی‌داری بر وزن تک بوته و عملکرد کمّی و کیفی علوفه داشت. همچنین از بین ترکیبات کاهنده تعرق به‌ترتیب اسید سالسیلیک، اسید آسکوربیک و پاکلوبوترازول باعث بهبود عملکرد دانه شدند. هنگامی‌که گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد اسید سالیسیلیک موجب فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Borsani et al., 2001; Senaratna et al., 2000). آنتی‌اکسیدان‌ها به‌طور مؤثری آسیب‌های حاصل از اکسیداسیون ایجاد شده توسط رادیکال‌های آزاد را کاهش و یا متوقف می‌کنند و از این طریق به سلامت سلول‌ها کمک می‌کنند. گزارش‌هایی از اثر اسید سالیسیلیک بر افزایش عملکرد برخی گیاهان مانند گندم حاصل شده است (Shakirova et al., 2003).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم‌آبیاری و کاربرد جیبرلین و ترکیبات کاهنده تعرق بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ذرت

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of deficit irrigation, gibberellin and antitranspirants on growth, yield, yield components and physiological traits of corn

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در بلال Number of seeds per ear	شاخص سطح برگ Leaf area index	محتوای آب نسبی برگ Relative water content of leaf	میزان پرولین Proline content	پروتئین کل Total protein	قندهای محلول Soluble sugars	کلروفیل کل (a+b) Total chlorophyll (a+b)
تکرار Replication	2	63268.43^{ns}	235573.20^{ns}	0.24^{ns}	2980.50**	19663.54*	0.01^{ns}	0.80^{ns}	0.095^{ns}	0.0002^{ns}	770.029^{ns}	0.06^{ns}
کم‌آبیاری (A) Deficit irrigation (A)	2	18993501.68**	39375870.30**	101.07**	30093.87**	56068.62**	1.69**	684.46**	11.03**	0.001**	90450.50**	1.15**
خطای اصلی Main error	4	38644.85	203170.90	0.16	424.62	7267.91	0.32	14.03	0.08	0.00004	108.47	0.105
جیبرلین (B) Gibberellin (B)	1	642600.06	820267.00*	3.85^{ns}	1334.72^{ns}	3389.38^{ns}	0.03^{ns}	21.85^{ns}	0.17^{ns}	0.00007^{ns}	9180.12^{ns}	0.011^{ns}
ترکیبات کاهنده تعرق (C) Antitranspirants (C)	3	15322379.22**	149870888.10**	126.59**	31665.12**	31608.48**	3.58**	64.84*	1.18^{ns}	0.00004^{ns}	1509.71^{ns}	0.03^{ns}
A×B	2	465498.93^{ns}	992969.00**	2.17^{ns}	35.68^{ns}	8202.68^{ns}	0.01^{ns}	0.88^{ns}	0.003*	0.00008^{ns}	340.66^{ns}	0.007^{ns}
A×C	6	371005.85**	2460385.30**	13.81**	185.39^{ns}	4528.99^{ns}	0.16^{ns}	1.12^{ns}	0.20^{ns}	0.00003^{ns}	77.42^{ns}	0.024^{ns}
B×C	3	15766083	502065.80*	1.65^{ns}	14.24^{ns}	3399.42^{ns}	0.01^{ns}	1.30^{ns}	0.06^{ns}	0.000006^{ns}	15.71*	0.011^{ns}
A×B×C	6	387162.87**	82567.80^{ns}	11.56**	7.53^{ns}	2493.27^{ns}	0.01^{ns}	0.68^{ns}	0.017^{ns}	0.000005^{ns}	92.52^{ns}	0.006^{ns}
خطای فرعی Sub error	42	197954.98	144797.1	1.96	435.82	4540.00	6.00	19.78	0.236	0.0001	601.21	0.108
ضریب تغییرات (٪) CV(%)		3.76	1.78	3.41	6.28	11.18	11.35	5.79	18.32	10.20	5.27	12.32

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار می‌باشند.

**, * and ns: are significant at 1 and 5% probability levels and non significant, respectively.

کاربرد این هورمون‌های گیاهی با افزایش سرعت فتوسنتز (Khodary, 2004) و انتقال بیشتر مواد آسیمیلات به دانه باعث افزایش وزن دانه و در نتیجه، عملکرد دانه شده است (Gunes et al., 2005). بر این اساس، به نظر می‌رسد کاربرد ترکیبات هورمونی شامل اسید سالیسیلیک و جیبرلین تقسیم سلولی را درون مریستم‌های گیاهچه‌های ذرت افزایش داده و به این طریق موجب بهبود رشد گیاه شده است. مصرف این ترکیبات همچنین از طریق آماس مناسب سلول‌ها، افزایش تقسیم، طویل شدن و تمایز سلولی، تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت رشد و طولانی‌تر شدن دوره رشد گیاه، می‌توانند باعث توسعه عادی سلول‌ها و در نتیجه، بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه شده است.

عملکرد بیولوژیک: طبق نتایج مقایسات میانگین مشاهده شد که بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک تحت شرایط آبیاری نرمال با مصرف هورمون جیبرلین (شکل ۱) و همچنین آبیاری نرمال با مصرف کاهنده تعرق اسید سالیسیلیک (شکل ۲) به‌دست آمد. بررسی اثر متقابل کاربرد جیبرلین و کاهنده‌های تعرق نیز بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک را در حالت‌های مصرف هم‌زمان جیبرلین با اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک نشان داد (شکل ۳). همچنین پایین‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک تحت شرایط تنش آبیاری ۸۰ میلی‌متری با مصرف جیبرلین (شکل ۱) و تحت شرایط تنش آبیاری ۸۰ میلی‌متری بدون مصرف کاهنده‌های تعرق (شکل ۲) به‌دست آمد. بررسی اثر متقابل کاربرد جیبرلین و کاهنده‌های تعرق نیز پایین‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک را در حالت‌های مصرف هم‌زمان جیبرلین با پاکلوبوترازول نشان داد (شکل ۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تنش خشکی سبب کاهش عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار آبیاری نرمال گردید، و استفاده از تیمارهای کاهنده تعرق و جیبرلین توانست در بهبود افت عملکرد بیولوژیک تحت شرایط تنش خشکی مؤثر واقع شود.

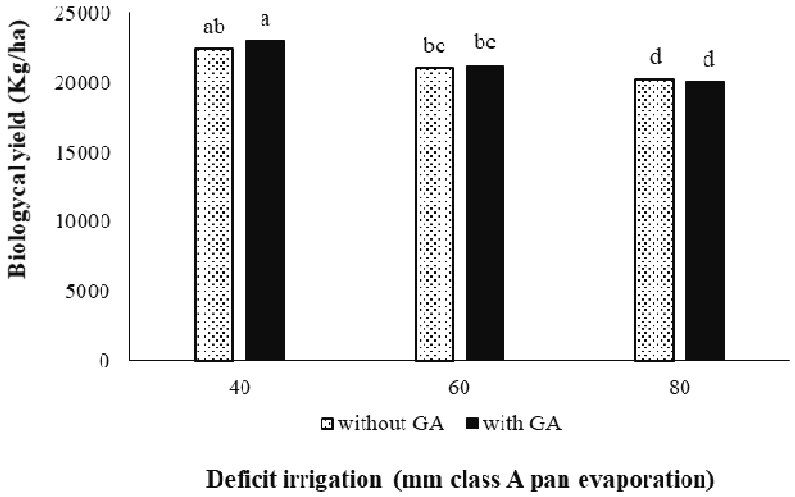
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و کاربرد جیبرلین و ترکیبات کاهنده تعرق بر عملکرد دانه و شاخص برداشت ذرت

Table 3- Mean comparisons for the effects of deficit irrigation, gibberellin and antitranspirants on yield and harvest index of corn

کاربرد جیبرلین Gibberellin application	نام ترکیب Compound name	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})			شاخص برداشت Harvest index (%)		
		کم‌آبیاری Deficit irrigation (mm class A pan evaporation)			کم‌آبیاری Deficit irrigation (mm class A pan evaporation)		
		40	60	80	40	60	80
بدون Without	اسید آسکوربیک Ascorbic acid	9742.67^{bc*}	9110.33^{de}	8366.00^{fghi}	39.66^{gh}	38.37^{hjk}	36.5^{ljk}
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	10647.00^{a}	9498.67^{bcd}	8513.67^{fgh}	43.18^{df}	40.87^{fg}	37.97^{hk}
	پاکلوبوترازول Paclobutrazol	8506.33^{fghi}	8530.00^{fgh}	7969.00^{i}	44.69^{bcd}	45.52^{bc}	44.26^{bcde}
	شاهد Control	8280.33^{fghi}	8025.00^{hi}	6420.67^{j}	38.78^{ghij}	43.39^{cde}	36.21^{k}
با With	اسید آسکوربیک Ascorbic acid	10036.33^{b}	9368.00^{cd}	8563.33^{fgh}	39.58^{gh}	39.18^{ghi}	37.13^{ik}
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	11111.67^{a}	9949.00^{b}	8744.33^{ef}	43.19^{de}	42.11^{ef}	38.38^{hk}
	پاکلوبوترازول Paclobutrazol	9389.00^{cd}	8608.33^{efg}	6814.67^{j}	48.58^{a}	45.78^{b}	39.17^{ghi}
	شاهد Control	8442.33^{fghi}	8118.00^{ghi}	6732.00^{j}	39.01^{ghi}	43.31^{ce}	39.56^{gh}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with same letter(s) for each column have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

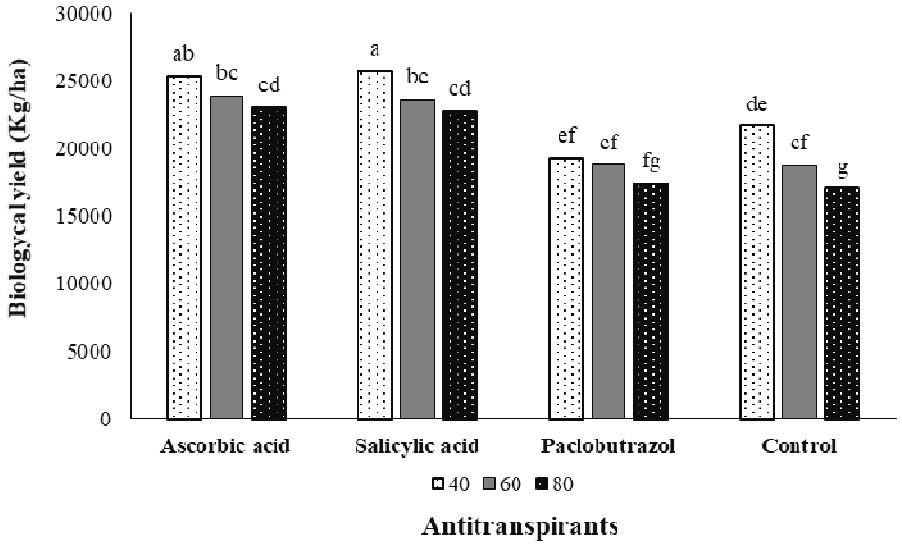


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و جیبرلین بر عملکرد بیولوژیک ذرت

Fig. 1- Mean comparisons for the intraction effects of deficit irrigation and gibberlin on biological yield of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

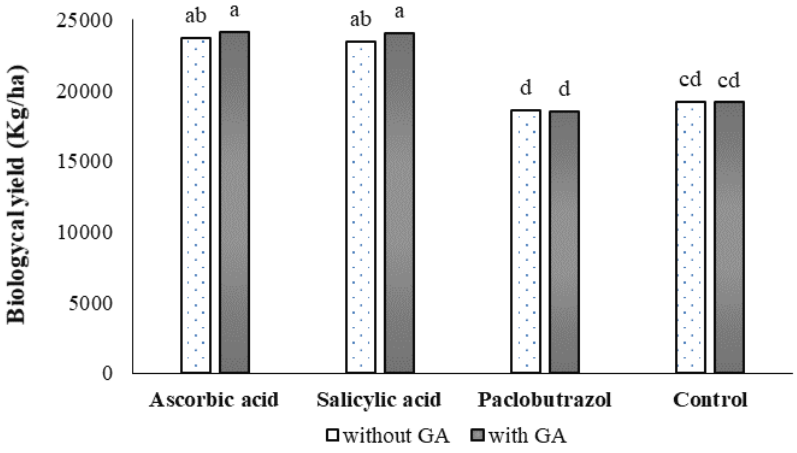


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و ترکیبات کاهنده تعرق بر عملکرد بیولوژیک ذرت

Fig. 2- Mean comparisons for the intraction effects of deficit irrigation and antitranspirants on biological yield of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل جیبرلین و ترکیبات کاهنده تعرق بر عملکرد بیولوژیک ذرت

Fig. 3- Mean comparisons for the intraction effects of gibberlin and antitranspirants on biological yield of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

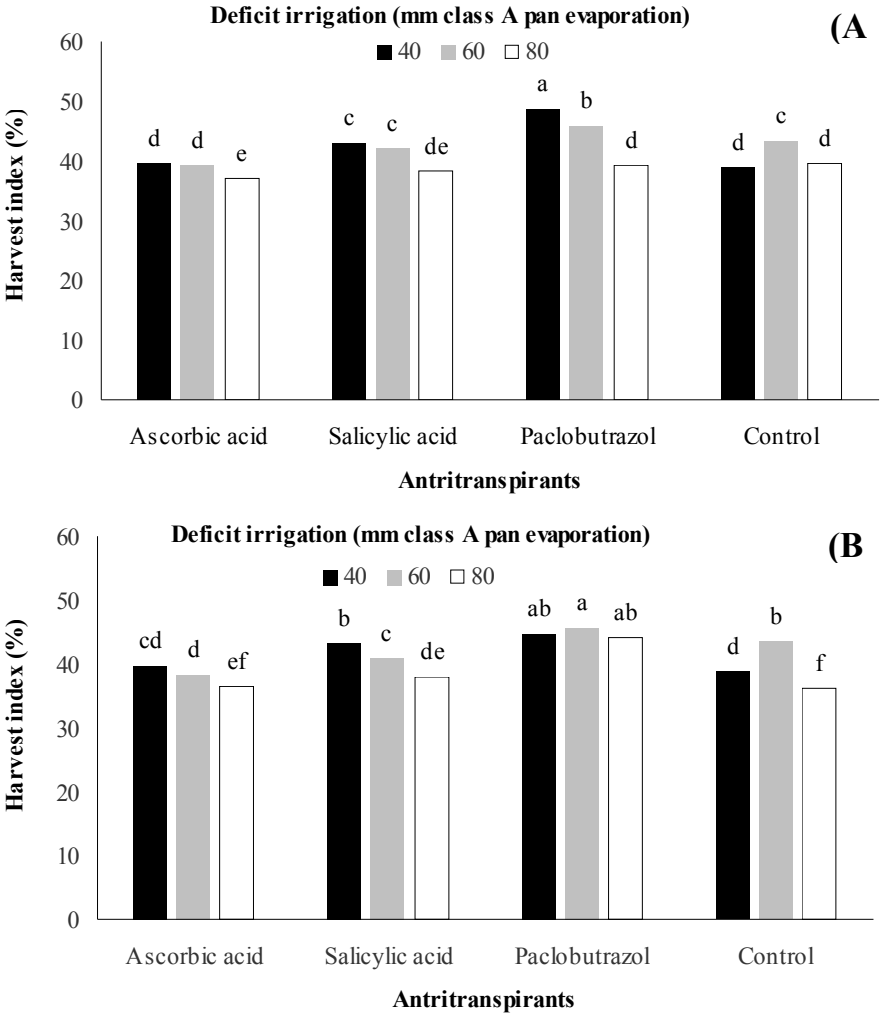
همچنین مشاهده گردید از بین ترکیبات کاهنده تعرق اسید سالسیلیک و اسید آسکوربیک بیشترین تأثیر را در بهبود عملکرد بیولوژیک داشتند. اسید آسکوربیک از جمله مواد آنتی‌اکسیدانی درون سلولی است که مقاومت سطح سوبستراهای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را بالا می‌برد و در کاهش تنش خشکی نقش به‌سزایی دارد (Hossain et al., 2016).

کوسکئولولا و فکت (Cosculleola & Fact, 1992) نیز بر این موضوع تأکید کردند که کاهش عملکرد در اثر تنش کمبود آب، ناشی از کاهش فتوسنتز گیاه تحت تأثیر کاهش پتانسیل آب برگ و سطوح فعال فتوسنتزی بوده است. یانگ و همکاران (Yang et al., 1993) نیز محدودیت کربوهیدراتی، کاهش آهنگ فتوسنتز خالص و تجمع ماده خشک در برگ‌ها، ساقه و بلال را از جمله دلایل کاهش عملکرد ماده خشک بیان کردند. این محققان همچنین نتیجه گرفتند که سه عامل مهم در محاسبه تولید ذرت در شرایط کمبود آب، سطح برگ، وزن برگ و وزن اندام‌های هوایی است. نیسانی و همکاران (Neisani et al., 2012) نیز تأیید کردند که وزن تر ساقه و بلال به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. رضایی استخروئیه و همکاران (Rezaei Estakhroee et al., 2012) اظهار داشتند تنش خشکی بر وزن تر اندام‌های هوایی ذرت معنی‌دار بود. معمولاً در شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش توسعه برگ‌ها و ساقه و کاهش میزان تجمع مواد ذخیره‌ای در این اندام‌ها از وزن تر کاسته می‌شود (Lamm, 2004). اعمال تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی موجب محدودیت کربوهیدراتی و عدم تکامل، کاهش میزان فتوسنتز خالص، تجمع ماده خشک در برگ، ساقه و بلال و همچنین عملکرد دانه شد (Schussler & Westgate, 1991).

شاخص برداشت: بالاترین میزان شاخص برداشت تحت شرایط آبیاری نرمال با مصرف هم‌زمان دو هورمون جیبرلین و پاکلوبوترازول ۴۸/۵۸ و پایین‌ترین میزان شاخص برداشت در شرایط تنش آبیاری ۸۰ میلی‌متری بدون مصرف جیبرلین و کاهنده‌های تعرق ۳۶/۲۱ به‌دست آمد. با توجه به شکل ۴ مشاهده گردید که برای این صفت، از بین ترکیبات کاهنده تعرق تحت دو شرایط مصرف و عدم مصرف جیبرلین پاکلوبوترازول بیشترین تأثیر و اسید آسکوربیک کمترین تأثیر را در بهبود شاخص برداشت داشتند.

نتایج مطالعه‌ای نشان داد که تیمار بذر نخود با اسید سالیسیلیک سبب افزایش شاخص برداشت شد (Kumar et al., 1999). بنابر گزارش مراه (Merah, 2001) ذخایر ساقه برای پر شدن کامل دانه لازم است و پتانسیل لازم برای ذخیره مواد در ساقه به طول آن بستگی دارد. ذخایر تجمع یافته در ساقه قبل از گرده‌افشانی نیز می-

تواند در برخی از گیاهان برای پر شدن دانه، علاوه‌بر آسیمیلات‌های حاضر مورد استفاده قرار گیرد، در نتیجه در بالا رفتن شاخص برداشت نقش داشته باشد (Chaves et al., 2003).



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و ترکیبات کاهنده تعرق با (A) و بدون (B) جیبرلین بر شاخص برداشت ذرت

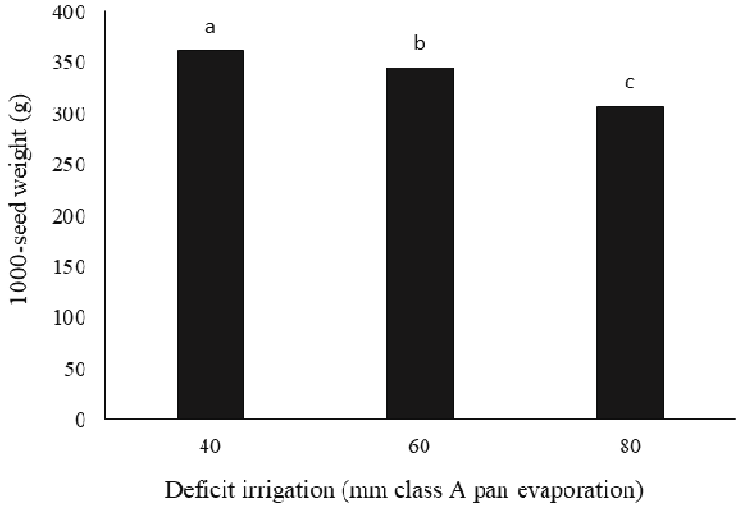
Fig. 4- Mean comparisons for the intraction effects of deficit irrigation and antitranspirants (A) with and (B) without gibberellin onharvest index of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

وزن هزار دانه: مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بالاترین میزان وزن هزار دانه (۳۶۶ گرم) را در شرایط آبیاری نرمال نشان داد و کمترین میزان وزن هزار دانه در شرایط تنش آبیاری ۸۰ میلی‌متری (۲۹۵ گرم) به‌دست آمد (شکل ۵). با توجه به نتایج به‌دست آمده، تنش خشکی سبب کاهش وزن هزار دانه نسبت به تیمار آبیاری نرمال گردید. همچنین استفاده از تیمارهای کاهنده تعرق توانست اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش دهد. از بین ترکیبات کاهنده تعرق به‌ترتیب اسید آسکوربیک، اسید سالسیلیک و پاکلوبوترازول باعث بهبود وزن هزار دانه شدند (شکل ۶). اسید آسکوربیک به‌دلیل نقش آن به‌عنوان کوفاکتور مهم در بیوسنتز بسیاری از هورمون‌های

گیاهی از طریق احیای این هورمون‌ها سبب تعدیل آثار تنش، افزایش تقسیم و گسترش سلولی و افزایش ارتفاع بوته، تعداد دانه، وزن دانه و عملکرد دانه می‌شود (Taqi et al., 2011). از آن‌جا که دانه‌بندی بلال در انتهای مراحل رشدی گیاه رخ می‌دهد، به نظر می‌رسد که کاربرد مواد کاهش‌دهنده تعرق با حفظ سطح بالایی از پرولین و رطوبت نسبی موجب تداوم انجام فتوسنتز جاری برگ و در نتیجه، کاهش اثر تنش خشکی بر وزن هزار دانه شده است. اثرات مفید اسید سالیسیلیک و جیبرلین روی عملکرد دانه احتمالاً در رابطه با انتقال بیشتر مواد آسیمیلات فتوسنتزی به دانه‌ها در طول دوره پر شدن دانه بوده که در نتیجه، باعث افزایش وزن دانه شده است (Gunes et al., 2005).

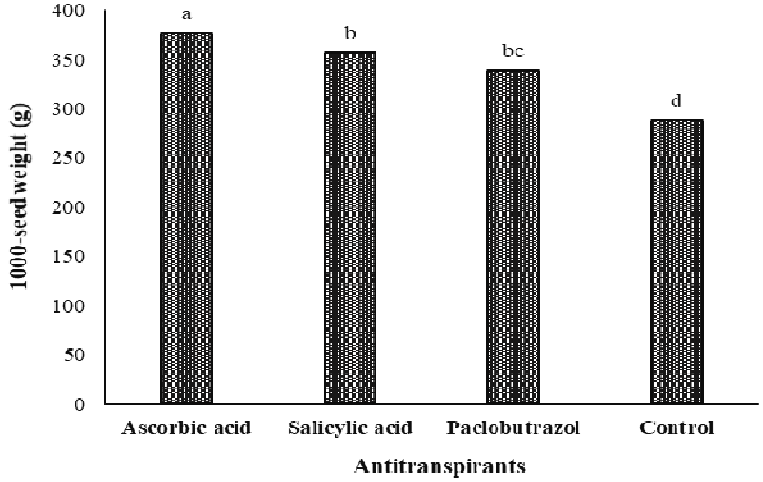


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر وزن هزار دانه ذرت

Fig. 5- Mean comparisons for effect of deficit irrigation on 1000-seed weight of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.



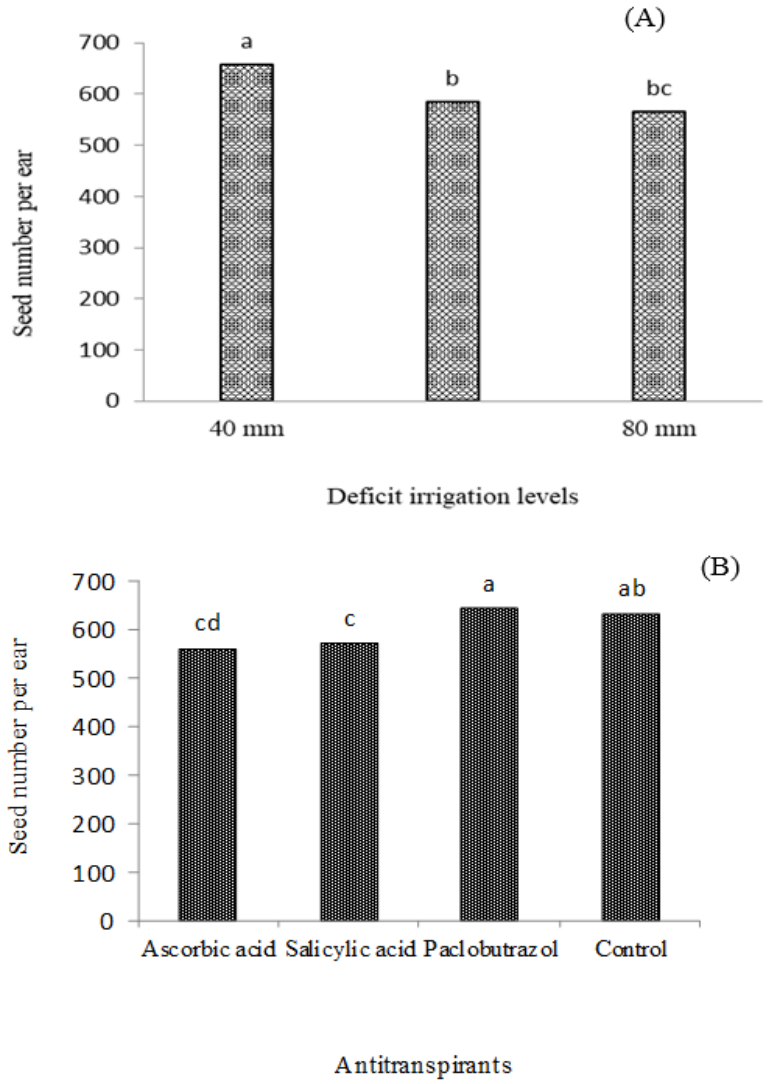
شکل ٦- مقایسه میانگین اثر کاهنده‌های تعرق بر وزن هزار دانه ذرت

Fig. 6- Mean comparisons for effect of antitranspirants on 1000-seed weight of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

تعداد دانه در بلال: طبق شکل ۷ (الف) بالاترین میزان تعداد دانه در بلال در شرایط آبیاری نرمال (۴۰ میلی‌متری) و پایین‌ترین میزان در شرایط تنش ۸۰ میلی‌متری حاصل گردید. با توجه به شکل ۷ (ب) از بین کاهنده‌های تعرق تنها استفاده از تیمار پاکلوبوترازول منجر به افزایش تعداد دانه در بلال شد. در تنش خشکی، پاکلوبوترازول در تغییرات سیتوکینین‌ها مؤثر است (Zhu et al., 2004). از آن‌جا که سیتوکینین‌ها مسئول تقسیم سلولی و تعیین تعداد دانه هستند، بنابراین، تغییرات احتمالی سیتوکینین از طریق پاکلوبوترازول منجر به افزایش تعداد دانه در بلال شده است.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر A) کم‌آبیاری و B) ترکیبات کاهنده تعرق بر تعداد دانه در بلال ذرت

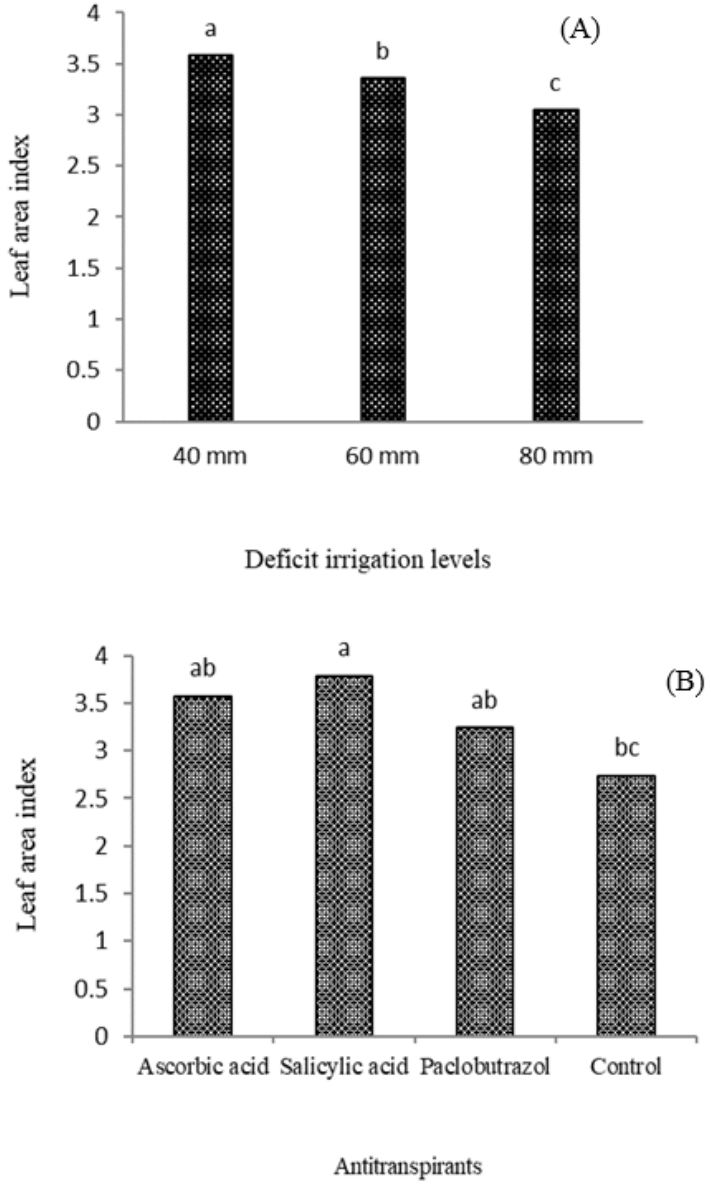
Fig. 7- Mean comparisons for the A) deficit irrigation and B) antitranspirants on seeds number per ear of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

شاخص سطح برگ: شاخص سطح برگ در شرایط آبیـاری نرمال بالاترین (۳/۶) و در تیمار تنش خشکی ۸۰ میلی‌متری پایین‌ترین مقدار (۳/۰۵) را به خود اختصاص دادند (شکل ۸- الف).

استفاده از کاهنده‌های تعرق شاخص سطح برگ را افزایش دادند که بیشترین افزایش مربـوط بـه اسـتفاده از اسـید سالسـیلیک بـود. بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد اسید سالسیلیک تقسیم سلولی و رشد سلول‌ها را در برگ‌های گیاهان افزایش می‌دهد.



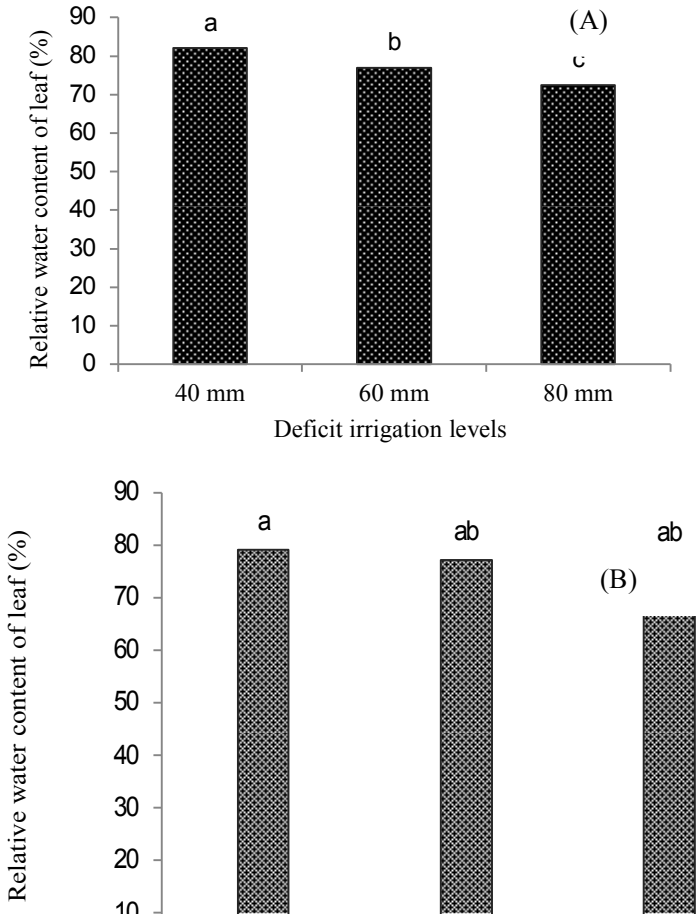
شکل ۸- مقایسه میانگین اثر A) کم‌آبیاری و B) ترکیبات کاهنده تعرق بر شاخص سطح برگ ذرت

Fig. 8- Mean comparisons for the A) deficit irrigation and B) antitranspirants leaf area index of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

همچنین با تأثیر بر تعادل هورمونی گیاه نظیر اکسین، سیتوکینین و اسید آبسیزیک سبب افزایش رشد اندام‌های گیاه می‌شود (Shakirova et al., 2003). همچنین اسید سالسیلیک به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، در تنظیم ژن‌های مرتبط با پیری برگ نقش دارد (Shakirova et al., 2003). بنابراین کاربرد آن احتمالاً با تأخیر انداختن پیری برگ سبب بهبود شاخص سطح برگ می‌گردد. 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 رسیدگی محصول و میزان جذب نور توسط گیاه را نیز کاهش می‌دهد (Gardner et al., 2010). بر این اساس، به نظر می‌رسد اثر تنش در طول دوره رشد رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها شده است. تحقیقات کاکر (Cakir, 2004) نیز نشان داد که میان گسترش و توسعه سطح برگ و محتوی آب موجود در گیاه همبستگی مثبت وجود دارد، به‌طوری‌که در گیاه تحت تنش کمبود آب، شاخص سطح برگ کاهش یافت. بررسی‌های 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 به شمار می‌آید (Flagella et al., 2002; Gavloski et al., 1992).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر A) کم‌آبیاری و B) ترکیبات کاهنده تعرق بر محتوای نسبی آب برگ ذرت

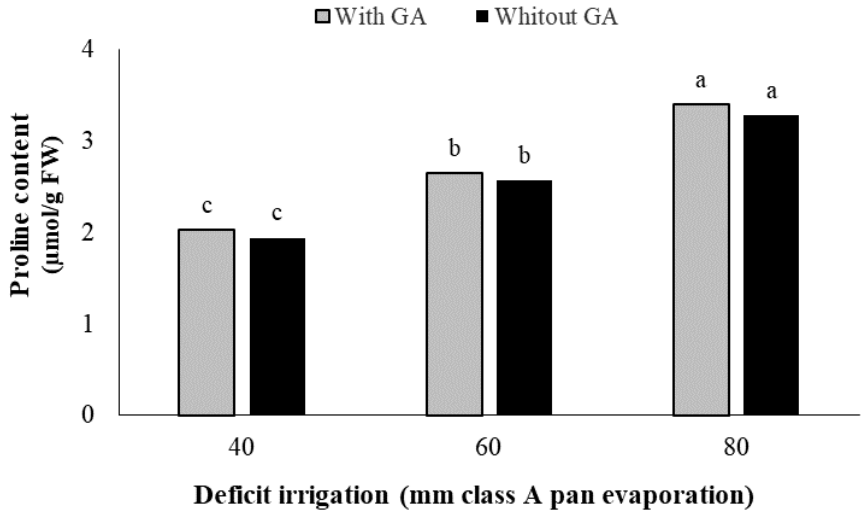
Fig. 9- Mean comparisons for the A) deficit irrigation and B) antitranspirants relative water content of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

محتوای آب نسبی برگ (RWC): در صفت محتوای نسبی آب برگ بالاترین و پایین‌ترین میزان به‌ترتیب در شرایط آبیاری نرمال (۸۲ درصد) و تنش ۸۰ میلی‌متری (۷۲/۴ درصد) به‌دست آمد (شکل ۹- الف). از بین ترکیبات کاهنده تعرق تنها اسید آسکوربیک سبب بهبود محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی گردید (شکل ۹- ب). ترزی و همکاران (Terzi et al., 2015) با کاربرد ۰/۱ میلی-مولار اسید آسکوربیک در کشت هیدروپونیک گیاهچه‌های ذرت نشان دادند که کاربرد اسید آسکوربیک میزان حذف هیدروژن پراکسید را افزایش و پراکسیداسیون لیپیدها در تنش را کاهش و وضعیت آب برگ و هدایت روزنه‌ای را بهبود می‌دهد. بنابراین، بهبود سیستم آنتی-اکسیدانی گیاه با کاربرد کاهنده‌های تعرق توانست تا حدودی محتوای نسبی آب برگ را افزایش دهد.

میزان پرولین: طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و جیبرلین بر محتوای پرولین معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داده است که پس از اعمال تنش خشکی، میزان پرولین در گیاه افزایش معنی‌داری پیدا کرد (شکل ۱۰) که با نتایج هو و همکاران (Hua et al., 2010) مطابقت دارد، البته این افزایش مشابه گیاهانی مانند گندم نبود، به‌طوری‌که در گندم افزایش ۱۰ تا ۱۰۰ برابری پرولین تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Rao & Ryan, 2004).



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و جیبرلین بر محتوی پرولین ذرت

Fig. 10- Mean comparisons for the intraction effects of deficit irrigation and gibberellin on proline content of corn

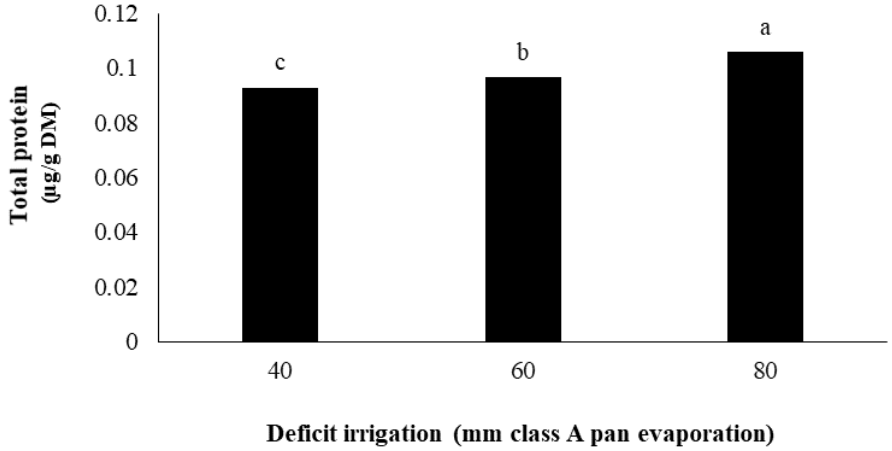
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

پرولین یک اسید آمینه است که در تشکیل پروتئین‌ها دخالت دارد و همچنین یک اسمولیت است که با تنظیم فشار اسمزی گیاه یکی از مکانیسم‌های سلولی برای بهبود عملکرد گیاه هنگام تنش می‌باشد. به عبارت دیگر، می‌توان آن را یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی دانست که باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود (Chougan, 1996). افزایش تجمع پرولین تحت شرایط تنش بستگی به گونه گیاهی و شدت تنش دارد. تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی باعث تغییر ماهیت و معمولاً تغییر ساختار پروتئین‌ها می‌شود. حفظ ساختار پروتئین و جلوگیری از تجمع پروتئین‌های غیرمؤثر در شرایط تنش، برای بقای سلول لازم است (Altenbach et al., 2003). 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 نسبت به تنش افزایش می‌دهد (Stewart, 1982). افزایش میزان پرولین در این رقم مقاوم، می‌تواند تأییدکننده نقش مؤثر پرولین در مقاومت به خشکی باشد. استفاده از تیمارهای کاهنده تعرق تأثیری بر صفت میزان پرولین نداشته است (جدول ۲). پایین‌ترین میزان پرولین تحت شرایط آبیاری نرمال (۱/۹۹) و بالاترین میزان تحت شرایط تنش ۸۰ میلی‌متری (۳/۳۴) بود. بر اساس 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 ماکرومولکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد (Heuer, 1994). تجمع پرولین تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه را فراهم کند، ولی اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و منجر به کاهش عملکرد گیاهان می‌گردد (Good & Zaplachiniski, 1994).

محتوای پروتئین کل: اثر تنش خشکی بر صفت محتوای پروتئین کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و اثرات استفاده از ترکیبات کاهنده‌های تعرق و جیبرلین بر این صفت معنی‌دار نبود. پایین‌ترین میزان پروتئین تحت شرایط آبیاری نرمال (۰/۰۹۲) و بالاترین میزان تحت شرایط تنش ۸۰ میلی‌متری (۰/۱) بود (شکل ۱۱). با توجه به افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی در شرایط تنش خشکی، محتوای پروتئین کل نسبت به شرایط نرمال افزایش یافت. میزان پروتئین کل که بسیاری از آنزیم‌های دفاعی را شامل می‌شود در هنگام وقوع تنش افزایش می‌یابد که نشانگر فعال شدن مکانیسم‌های تحمل است (Kim et al., 2005)، این در حالی است که در شرایط نرمال گیاه کمتر انرژی خود را صرف سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی نموده و بیشتر انرژی صرف افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود. تأثیر تنش خشکی در مرحله ساقه‌دهی منجر به افزایش معنی‌دار محتوای پروتئین کل شد (Basra, 1997). این نتایج با نتایج محمدخانی و حیدری (Mohammadkhani & Headari, 2008) نیز مطابقت دارد. همان‌طور که از نتایج این پژوهش به‌دست آمد، پروتئین کل نسبت به سایر معیارهای بیوشیمیایی برای شناسایی ارقام مقاوم از دقت کمتری برخوردار است (Basra, 1997).



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر محتوی پروتئین ذرت

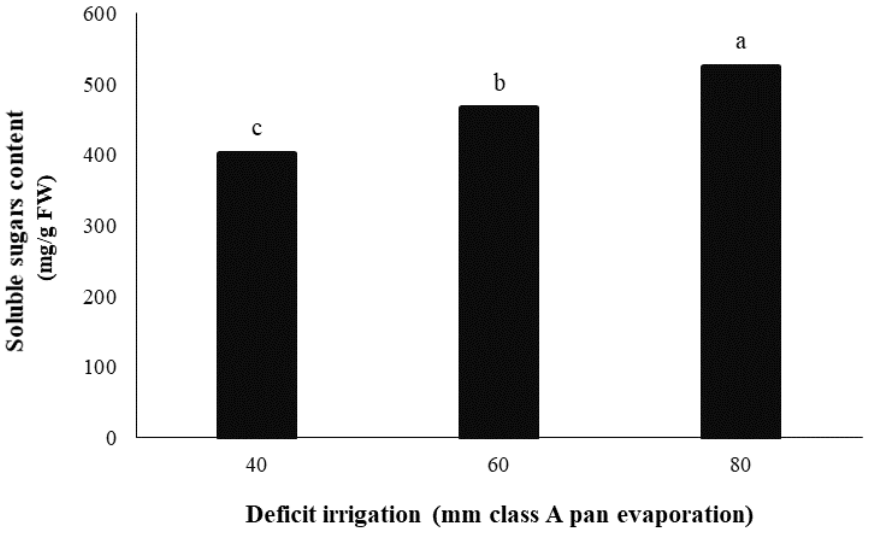
Fig. 11- Mean comparisons for the effect of deficit irrigation on protein content of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

قندهای محلول: اثر سطوح مختلف آبیاری در سطح احتمال یک درصد و همچنین اثر متقابل مصرف جیبرلین و کاهنده‌های تعرق

در سطح احتمال پنج درصد برای قندهای محلول معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین میزان تجمع قندهای محلول در تنش خشکی ۸۰ میلی‌متری (۵۲۵ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین میزان تجمع در شرایط آبیاری نرمال و (۴۰۲ میلی‌گرم بر گرم) بود (شکل ۱۲). نتایج مطالعه نشان می‌دهد که تحت شرایط تنش خشکی، با افزایش مقدار قندهای محلول در هیبرید مورد مطالعه میزان عملکرد دانه آن‌ها کاهش یافته است. این احتمال وجود دارد که افزایش مقدار قندهای محلول در شرایط تنش خشکی، ناشی از تجزیه نشاسته باشد. بنابراین، کاهش کربوهیدرات‌های ذخیره (نشاسته) در نهایت، منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. قندهای محلول از جمله آسیمیلات‌های سازگار هستند که در شرایط تنش بر مقدار آن‌ها افزوده می‌شود و تجمع آن‌ها سبب تنظیم اسمزی و تورژسانس سلول‌ها شده و از طرف دیگر، سبب حفاظت و پایداری غشا و پروتئین در شرایط تنش می‌گردد، زیرا که افزایش قندهای محلول یکی از سازوکارهای افزایش فشار اسمزی داخل سلول است که گیاه سعی دارد در شرایط کم‌آبی فشار اسمزی محیط را خنثی نموده و آب بیشتری را از خاک جذب نماید، تجمع قندهای محلول داخل سلول‌ها در تنظیم اسمزی نقش مهم ایفا نموده و کمک می‌کند تا پتانسیل آب سلول کاهش یافته و آب بیشتری برای حفظ تورژسانس تحت تنش کم‌آبی داخل سلول باقی بماند. این مکانسیم موجب پایداری غشای زیستی، پروتئین‌ها، افزایش فتوسنتز و مقاومت به خشکی می‌شود. افزایش تجمع قندهای محلول در سلول در شرایط تنش خشکی به‌منظور تنظیم فشار اسمزی در ذرت توسط جوهری (Johari, 2010) گزارش شده است.



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر محتوی قندهای محلول ذرت

Fig. 12- Mean comparisons for the effect of deficit irrigation on soluble sugars content of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

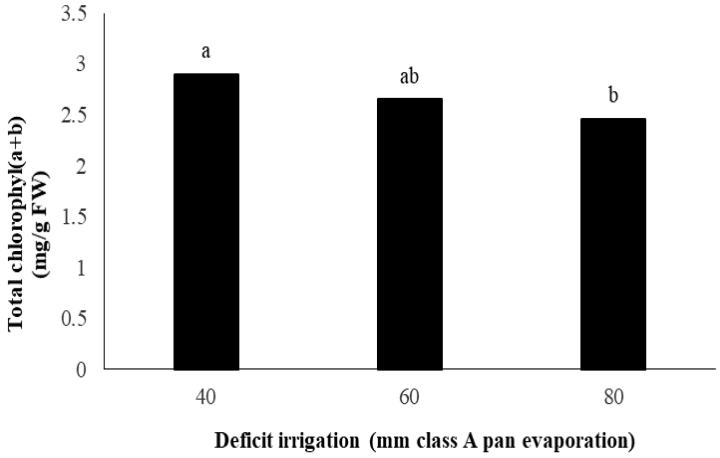
Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

کلروفیل (a+b): اثر تنش خشکی بر صفت میزان کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثرات استفاده از ترکیبات کاهنده‌های تعرق و جیبرلین بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). در اثر تنش خشکی میزان کلروفیل کاهش یافت. بالاترین میزان کلروفیل (۲/۹) در تیمار آبیاری نرمال و پایین‌ترین میزان آن در تیمار تنش خشکی ۸۰ میلی‌متر (۲/۴۶) مشاهده شد (شکل ۱۳).

یکی از روش‌های ارزیابی و پیش‌بینی تحمل گیاهان زراعی به تنش خشکی، مطالعه میزان تغییراتی است که در سنتز کلروفیل (a+b) برگ در اثر کمبود آب اتفاق می‌افتد. کاهش سنتز کلروفیل a از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب می‌باشد (Gardneret al., 2010). میزان کلروفیل در گیاه زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به شمار می‌آید. در این بین بسته به شدت، مدت و

مرحله تأثیر خشکی بر هرکدام 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 (Sheteawi & Tawfik, 2007).

در زمان تنش خشکی روزنه برگ‌ها به‌طور کامل یا جزئی بسته می‌شود و این فرآیند طبیعی فتوسنتز را مختل می‌کند. تنش خشکی تأثیر مستقیم بر کاهش شاخص کلروفیل برگ گیاه دارد. به‌طوری‌که، ساقه‌ها مهم‌ترین منبع کربوهیدرات‌ها در زمان پر شدن دانه‌ها هستند.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر محتوی کلروفیل کل (a+b) ذرت

Fig. 13- Mean comparisons for the effect of deficit irrigation on total chlorophyll content (a+b) of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

با کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی میزان این ذخایر کم شده و ضمن اثر بر قطر ساقه، بر پرشدن دانه و در نتیجه، وزن دانه‌ها و در نهایت، بر عملکرد دانه اثر منفی می‌گذارد. کاهش تولیدات فتوسنتزی در مرحله زایشی برای کاهش طول و قطر بلال ذکر شده است (Adebayo et al., 2014). محرم‌نژاد و همکاران (Moharramnejad et al., 2015) با بررسی اثر تنش اسمزی در لاین‌های ذرت اظهار کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل (a+b) می‌شود. به‌طوری‌که این میزان کاهش را نسبت به شاهد حدود ۴۰ درصد گزارش کردند. بررسی‌ها نشان داده است که تخلیه رطوبتی خاک بر شاخص کلروفیل و کلروفیل a و b در ذرت سینگل کراس ۲۶۰ تأثیرگذار بود (Haghjoo & Bohrani, 2014). علاوه‌براین، تحت تأثیر تنش خشکی کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند ناشی از کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئین رنگدانه b که محافظت‌کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (Tambussi et al., 2000).

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده صحیح از ترکیبات ضدتعرق و محرک رشد در شرایط تنش خشکی عملکرد ذرت را افزایش می‌دهد. این افزایش در نتیجه افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بهبود شرایط رشد می‌باشد. به بیان دیگر، اثرات مثبت کاربرد ترکیبات کاهنده تعرق، کاهش صدمه تنش بر تولید دانه و عملکرد بیولوژیک بیان‌کننده آن است که کاربرد این مواد می‌تواند در افزایش تولید کمّی و کیفی ذرت مفید باشد. البته جیبرلین اثر تنظیمی

مختلفی در فرآیندهای گیاهی دارد. استفاده از اسید جیبرلیک معمولاً باعث افزایش سبز شدن، افزایش رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای، تسریع در مراحل رشدی همچون گل‌دهی و رسیدگی، افزایش عملکرد و همچنین افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش‌های غیرزیستی می‌شود. کاربرد اسید سالیسیلیک نیز بر بسیاری از فرآیندهای گیاهی مانند جوانه‌زنی، بسته شدن روزنه، تبادل انتقال، نفوذپذیری غشا، فتوسنتز و سرعت رشد اثر دارد.

به نظر می‌رسد کاربرد اسید سالیسیلیک و جیبرلین تقسیم سلولی را درون مریستم‌های گیاهچه‌های ذرت افزایش داده و به این طریق موجب بهبود رشد شده است. کاربرد این مواد در شرایط تنش خشکی همچنین از طریق آماس مناسب سلول‌ها، افزایش تقسیم سلولی، طویل شدن و تمایز سلولی، تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت رشد و طولانی‌تر شدن دوره رشد گیاه می‌توانند باعث توسعه عادی سلول‌ها و در نتیجه، افزایش رشد شوند. به نظر می‌رسد اثرات مفید کاربرد این مواد بر عملکرد دانه در رابطه با انتقال بیشتر آسیمیلات‌ها به دانه در طی پر شدن دانه باشد که در نتیجه، باعث افزایش وزن هزار دانه شده است. به‌طور کلی، کاربرد خارجی این ترکیبات می‌تواند مقاومت گیاه را نسبت به تنش‌های غیرزنده افزایش دهد. بنابراین، کاربرد تلفیقی این ترکیبات راهکاری جهت رسیدن به ثبات عملکرد در تنش خشکی می‌باشد.

References

Adebayo, M.A., Menkir, A., Blay, E., Gracen, V., Danquah, E., and Hearne, S., 2014. Genetic analysis of drought tolerance in adapted × exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. Euphytica 196: 261-270.

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.

Amborabe, B.E., and Fleurat-Lessard, P., 2002. Antifungal effects of salicylic acid and other benzoic acid derivatives towards *Eutypa lata*: structure-activity relationship. Plant Physiology and Biochemistry 40(12): 1051-1060.

Bano, A., Dorffling, K., Bettin, D., and Hahn, H., 1993. Abscisic acid and cytokines as possible root- to-shoot signals in xylem sap of rice plants in drying soil. Australia. Journal Plant Physiology 20: 109-115.

Basra, A., 1997. Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants. CRC Press, Science 407 pp.

Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Borsani, O., Valpuestan, V., and Botella, M., 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. Plant Physiology 126: 1024-1030.

Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantites of protein utilizing the principles of protein dyebinding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research 89: 1-16.

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 with English Summary)

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.

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.

El-Tayeb, M.A., 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation 45: 215-225.

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.

Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.L., 2010. Physiology of Crop Plants. Scientific Publishers (India), Crops 327 pp.

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 Journal of Plant Science 72(2): 361-368.

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.

Haghjoo, M., and Bohrani, A., 2014. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on grain yield, yield components and dry

matter remobilization of maize cv. SC 260. Iranian Journal of Crop Sciences 4(16): 278-292. (In Persian with English Summary)

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.

Hopkins, W.G., and Hüner, N.P.A., 2008. Introduction to Plant Physiology. Wiley Publisher 528 pp.

Hossain, M.A., Wani, S.H., Bhattacharjee, S., Burritt, D.J., and Tran, L.S.P., 2016. Drought Stress Tolerance in Plants: Physiology and Biochemistry Vol 1. Publisher of Springer International Publishing. 513 pp.

Hua, Y., Lina, Y., and Jinfeng, W., 2010. Antioxidation responses of maize roots and leaves to partial root-zone irrigation. Agricultural Water Management 97: 972-980.

Hugh, J., and Davis, F., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation efficiency and yield of maize. Agronomy Journal 95: 688-696.

Hussain, M., Malik, M.A., Farooq, M., Khan, M.B., Akram, M., and Saleem, M.F., 2009. Exogenous glycine betaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 195: 98-109.

Johari, M., 2010. Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. African Journal of Biotechnology 9: 36-40.

Kaur, S., Grupta, A.K., and Kaur, N., 2005. Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. Journal of Agronomy and Crop Science 191: 81-87.

Keshavarzi, M., Jafari, B., and Bagheri, A., 2014. The evaluation of auxin and gibberellin hormone on quantitative and qualitative characteristicsof forage corn. Journal of Plant Ecophysiology 5(15): 26-35. (In Persian with English Summary)

Kim, S.Y., Lim, J.H., Park, M.R., Kim, Y.J., Park, T.I., Seo, Y.W., Choi, K.G., and Yun, S.J., 2005. Enhanced antioxidant enzymes are associated with reduced hydrogen peroxide in barley roots under saline stress. BMB Reports 38(2): 218-224.

Koutroubas, S.D., Vassiliou, G., Fotiades, S., and Alexoudis, C., 2004. Response of sunflower to plant growth regulators. 4th International Crop Science Congress, p. 851-856.

Lamm, F., 2004. Corn production as related to sprinkler irrigation capacity. 16th Annual Central Plains Irrigation Conference, 17-18 Feb. 2004. Soc., Kearney, Nebraska.

Mohammadkhani, N., and Headari, R., 2008. Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. Turkish Journal of Biology 32: 23-30.

Moharramnejad, S., Sofalian, O., Valizadeh, M., Asgari, A., and Shiri, M.R., 2015. Proline, glycine betaine, total phenolics and pigment contents in response to osmotic stress in maize seedlings. Journal of Bioscience and Biotechnology 4: 313-319.

Mozaffari, V., Pakniat, H., and Dehshiri, A., 2011. Evaluation of prolin and protein changes of maize hybrids (*Zea maize* L.) under drought stress. (In Persian with English Summary)

Navarro, A., Sanchez-Blanco, J., and Banon, S., 2007. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performation of Arbutus under seedlings. Science Horticulture 111: 133-139.

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 Summary)

Osborne, S.L., Schepers, J.S., Francis, D.D., and Schlemmer, M.R., 2002. Use of spectral radiance to in season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. Crop Science 42: 165-171.

Pattangual, W., and Madore, M., 1999. Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in *Coleus*. Plant Physiology 121: 993-998.

Porra, R.J., Thompson, W.A., and Kriedemann, P.E., 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophyll a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. Acta Biochemistry and Biophysics 975: 384-394.

Rademacher, W. 1995. Growth retardants: biochemical features and applications inhorticulture. Acta Horticulture 394: 57-73.

Rao, S.C., and Ryan, J., 2004. Challenges and Strategies of Dryland Agriculture. CSSA Spec. Publication 32. CSSA and ASA, Madison, WI.

Raskin, I., 1992. Role of salicylic acid in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 43: 439-463.

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 and Water

Engineering 2(6): 67-76. (In Persian with English Summary)
Schlegel, H.G., 1956. Die verwertung organischer sauren durch chlorella in lincht. Planta 47: 510-520.
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.
Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., and Dixon, K., 2000. Acetylaslicylic (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation 30: 157-161.
Sepehri, A., and Bayat, S., 2013. The effect of Salicylic acid and paclobutrazol on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) under water stress. Journal of Plant Productions 35(4): 55-68. (In Persian with English Summary)
Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A., and Fatkhutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.
Sheteawi, S.A., and Tawfik, K.M., 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mungbeen (*Vigna radiata*) growth and yield. Journal of Applied Sciences Research 3(3): 251-262.
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.
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.
Taqi, A.K., Mazid, M., and Firoz, M., 2011. A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. Journal of Agrobiology 28(2): 97-111.
Tardieu, F., 2012. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. Journal of Experimental Botany 63(1): 25-31.
Terzi, R., Kalaycoglu, E., Demialay, M., Saglam, A., and Kadioglu, A., 2015. Exogenous ascorbic acid mitigates accumulation of abscisic acid, proline and polyamine under osmotic stress in maize leaves. Acta Physiologiae Plantarum 37: 43-52.
Toker, C., Ulger, S., Karhan, M., Canci, H., Akdesir, O., Ertoy, N., and Cagirgan, M.I., 2004. Comparison of some endogenous hormone levels in different parts of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Genetic Resources and Crop Evolution 52(3): 233-237.
Wang, S.Y., Sun, T., Jil, Z.L., and Faust, M., 2008. Effect of paclobutrazol on water stress-induced abscisic acid in apple seedling leaves. Plant Physiology 84: 1051-1054.
Win, K., Berkowitz, G.A., and Henninger, M., 1991. Antitranspirant– induced increases in leaf water potential increase tuber calcium and decreases tuber necrosis in water stressed potato plants. Plant Physiology 96(1): 116-120.
Yang, C.M., Fan, M.J., and Hsiang, W.M., 1993. Growth and yield response of maize (*Zea mays* L.) to soil water deficits. II. Effects of water deficit timing and strength. Journal of Agricultural Research of China 42(2): 173-186.
Zhu, L.H., Peppel, A.V., Li, X.Y., and Welander, M., 2004. Changes of leaf water potential and endogenous cytokines in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought condition. Science Horticulture 99: 133-141.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 389-411-10

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص۴۱۱-۳۸۹

Simultaneous Effects of Deficit Irrigation and Transpiration Reducer on Yield and Yield Components of Corn (*Zea mays* L.) Single Cross 704

M. Hayati[1], A. Maleki[2*], A. Mozaffari[2] and F. Babaei[2]
Submitted: 13-08-2018
Accepted: 31-10-2018

Hayati, M., Maleki, A., Mozaffari, A., and Babaei, F., 2020. Simultaneous effects of deficit irrigation and transpiration reducer on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) single cross 704. Journal of Agroecology 12(3):389-411.

Introduction

Corn plant (*Zea mays* L.) is the main source of energy and has a vital role for birds feeding. Thus, increasing cultivation area and yield improvement are very important. Corn may be highly productive even in winter season in many locations due to its adaptability. Silage of maize is a good source of energy and food for animals and can produce more energy compare to other forages. Drought stress is one of the important factors that limits crop growth in arid and semi-arid environments and imposes a detrimental effect on maize yield. Drought stress imposes many different biochemical and physiological responses in plants. Studies have shown that water stress would directly and indirectly affect the maize yield.

Materials and Methods

This experiment was conducted as split plot based on complete block design with three replications, in 2017 (1396) in Mehran town in southwest of Ilam, which characters an arid and semi-arid climate. Main factor included of three levels of irrigation (equivalent of 40 mm (Normal), 60 mm and 80 mm of accumulated evapotranspiration of class A pan evaporation). Sub-plots included: 8 different levels of gibberellin application (100 ppm), no application of gibberellin but 4 levels of transpiration reducer including Salicyclic acid (0.5 molar concentration) ascorbic acid (120 $mg.l^{-1}$), paclobutrazol (50 ppm) and control which was pure water. All treatments imposed at 6-8 leaf stage of plant growth. Each plot consisted of 6 cultivation rows with 4 m length and 0.75 m between rows and 0.20 m within rows distances. Distance between blocks was 3 m and sowing depth was 3-5 cm. Fertilizer requirement was calculated based on soil analysis. Therefore 160 $kg.ha^{-1}$ of Super phosphate triple, and 100$kg.ha^{-1}$ urea were applied at sowing and when crops were at 10 leaf stage, before tasseling, 200 $kg.ha^{-1}$ urea was applied again.

Results and discussion

Irrigation levels showed a significant difference (P<=0.01) effect on grain yield, biological yield, harvest index, 1000 grain weight, grain number per ear, leaf area index, and relative leaf water content. ANOVA results showed that gibberellin had significant (P <= 0.05) effect on biological yield. Transpiration reducer also showed significant (P <= 0.05) effects on grain yield, biological yield, harvest index, 1000 grain weight, grain number per ear, leaf area index, and leaf water content. Interactive effects of drought stress and transpiration reducer was also significant (P<=0.01) on grain yield, biological yield, and harvest index. Triple interaction significantly (P<=0.01) affect grain yield and harvest index. The highest seed yield under normal irrigation conditions was obtained by simultaneous application of gibberellin and salicylic acid (11.11 $t.ha^{-1}$). Also, the lowest seed yield was obtained under 80 mm irrigation stress without gibberellin and transpiration reducers (6.42 $t.ha^{-1}$). Drought stress reduced grain yield compared to normal irrigation treatment. The lowest protein content was under normal irrigation conditions (0.092) and the highest amount was under 80 mm stress conditions (0.1). The highest

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University of Ilam Branch, Ilam, Iran.
2- Assistant Professor of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University of Ilam Branch, Ilam, Iran.
(*- Corresponding Author Email: maleki97@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.74753

accumulation of soluble sugars was in 80 mm dry stress (525 $mg.g^{-1}$) and the lowest accumulation was in normal irrigation conditions (402 $mg.g^{-1}$). The highest amount of chlorophyll (2.9) was observed in normal irrigation treatment and the lowest level was observed in drought stress treatment of 80 mm (2.46).

Conclusion

This study results showed that a right combination of transpiration reducer and growth stimulants under drought stress can help corn plant to increase its production. This enhancement is because of higher antioxidant activity and also growth conditions. In other words, positive effects of transpiration reducer, result in deduction of stress effects on grain production and biological yield so can increase corn quantity and quality grain yield.

Keywords: Drought stress, Leaf area index, Leaf water relative content, Water use efficiency, Yield stability.