

بررسی نقش گلايسين بتائين در افزايش مقاومت به خشكي گياه سورگم (*Sorghum bicolor* L.) در شرايط مزرعه

هدا كدخدایی^۱، حميد سودائي زاده^{۲*}، اصغر مصلح آرائی^۲، محمدعلی حكيم زاده^۲

۱. فارغ التحصيل کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه یزد.

۲. عضو هیئت علمی، دانشگاه یزد.

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۸

چکیده

گونه‌های گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی اسمولیت‌های سازگاری مانند گلايسين بتائين، پرولين و ديگر اسيدهای آمينه را در سيتوپلاسم سلولي تجمع می‌دهند که به واسطه آن فشار اسمزی را تنظيم می‌کنند. در این تحقیق نقش گلايسين بتائين در افزايش مقاومت به خشكي گياه سورگم تحت تیمارهای مختلف تنش خشكي مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه حاضر در سال ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یزد به صورت طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل غلظت‌های مختلف گلايسين بتائين (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار) در ترکیب با دور آبیاری (۳، ۶، ۹ روزه) در نظر گرفته شد. تیمارهای آبیاری بعد از جوانه‌زنی و استقرار بوته‌های سورگم اعمال گردید. محلول‌پاشی گلايسين بتائين طی دو مرحله بر روی اندام‌های هوایی گیاه صورت گرفت. نتایج این تحقیق بیان گر آن است که با افزايش غلظت گلايسين بتائين در تیمار آبیاری ۹ روزه، میزان قندهای محلول در گیاه سورگم به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزايش یافت. در دور آبیاری ۶ روز، با مصرف ۲۰۰ میلی‌مولار گلايسين بتائين، میزان پرولين نسبت به شاهد افزايش معنی‌داری را نشان داد. همچنین با افزايش شدت خشكي میزان پرولين در برگ‌های سورگم کاهش یافت. کاربرد گلايسين بتائين در تیمار ۳ روزه آبیاری تأثیری در افزايش وزن تر و خشک گیاه سورگم نداشت؛ اما استفاده از گلايسين بتائين در تیمارهای ۶ و ۹ روزه آبیاری باعث افزايش وزن سورگم نسبت به تیمار عدم مصرف این ماده شد. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان‌دهنده نقش مثبت گلايسين بتائين در کاهش اثرات کم آبیاری در گیاه سورگم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کم آبیاری، قند، پرولين، اسمولیت‌های آلی

مقدمه

ایجاد واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متفاوتی در گیاهان شده و عملکرد آن‌ها را کاهش می‌دهد. اصلاح گیاهان زراعی متحمل به تنش‌های محیطی ممکن است راهکاری جهت برآوردن نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد ساکن در کشورهای در حال توسعه باشد (Neethu and Namitha, 2015). اصلاح گیاهان زراعی متحمل به تنش‌های محیطی، نیاز به آگاهی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و ژنتیکی کنترل‌کننده رشد و نمو گیاه در مراحل مختلف دارد. پاسخ‌های سلولی به تنش‌های غیرزنده در اکثریت گونه‌های گیاهی وجود دارد (Roudbari et al.,

خشکی عامل مهمی در کاهش بازده محصولات کشاورزی در اکثر نقاط جهان است. این مسئله در مناطق بیابانی و گرم و خشک مشهودتر است. عمق مسئله وقتی حس می‌شود که بدانیم بیش از یک‌چهارم سطح زمین خشک یا نیمه‌خشک است (Akhoundi et al., 2006). خشکی به وسیله عدم تعادل بین تبخیر آب و تعرق و بارندگی به وجود آمده (Kafi and Damghani, 2000) و یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده می‌باشد که هر ساله خسارت زیادی به گیاهان وارد می‌نماید (Sabbagh pour, 2006). در محیط‌های طبیعی و اکوسیستم‌های کشاورزی، تنش خشکی منجر به

به‌منظور ارزیابی اثر ماده گلیاسین‌بتائین بر عملکرد و کیفیت بذر ارقام پنبه تحت شرایط تنش خشکی، آزمایش‌هایی در مزرعه انجام دادند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی گلیاسین‌بتائین باعث افزایش عملکرد و، تعداد غوزه، تعداد شاخه زایشی، ارتفاع بوته و کاهش درصد ریزش غوزه و درصد زودرسی شد اما بر وزن غوزه‌ها اثر معنی‌داری نداشت.

در مطالعه‌ای دیگر علی و همکاران (Ali et al., 2010) بیان نمودند تیمار بذرهای ذرت با گلیاسین‌بتائین منجر به کاهش اثرات تنش بر درصد جوانه‌زنی و رشد اولیه ذرت گردید. در تحقیق دیگری محققین فوق در سال ۲۰۰۹ گزارش دادند که تیمار بذور با گلیاسین‌بتائین موجب افزایش معنی‌داری در پارامترهای درصد جوانه‌زنی و طول و وزن تر ریشه‌چه و ساقه ذرت تحت تنش شوری در مقایسه با تیمار عدم مصرف این ماده گردید.

تحقیق رضایی (Rezaei, 2010) نشان داد که تمامی غلظت‌های گلیاسین‌بتائین موجب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد غلاف در بوته سویا گردید.

سارمراضا و همکاران (Sammar reza et al., 2012) اثر استعمال خارجی گلیاسین‌بتائین در گیاه گندم در بهبود مراحل مختلف رشد (رویشی، گلدهی و دانه) تحت تنش خشکی را موردبررسی قرار دادند. تنش خشکی در هر سه مرحله رشد باعث کاهش جذب عناصر غذایی گیاه و همچنین کاهش فتوسنتز خالص و تعرق در گیاه گندم شد. استعمال خارجی ۱۰۰ میلی‌مولار گلیاسین‌بتائین تحت تنش خشکی در هر سه مرحله رشد باعث افزایش مقاومت گندم به تنش خشکی شد. انجوم و همکاران (Anjum et al., 2012) اثر استعمال خارجی گلیاسین‌بتائین در گیاه ذرت تحت تنش خشکی با ظرفیت افزایش سیستم آنتی-اکسیدانی را موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تحت تیمار با گلیاسین‌بتائین در طول تنش خشکی نسبت به گیاهان شاهد بالاتر بوده که منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاه گردید. قسیم و اشرف (Qasim and Ashraf, 2011) اثر استعمال خارجی گلیاسین‌بتائین در افزایش دانه و روغن دانه دو رقم ذرت تحت تنش خشکی را موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با اسپری نمودن گلیاسین‌بتائین، مقدار قند، روغن، پروتئین، رطوبت، فیبر و مواد مغذی ماکرو و میکرو در بذر هر دو رقم ذرت تحت تنش خشکی و آبیاری

یکی از شایع‌ترین این واکنش‌ها، تولید بیش‌ازحد انواع مختلف مواد آلی محلول سازگار در سلول‌های گیاهی است. این مواد با وزن مولکولی کم، دارای محلولیت بالا بوده و معمولاً در غلظت‌های زیاد غیر سمی هستند. از جمله مواد آلی که معمولاً به‌عنوان تعدیل‌کننده‌ی اسمزی شناخته می‌شوند می‌توان به پرولین، ساکارز، پلی‌اوزها و ترکیبات آمونیوم چهارتایی مانند گلیاسین‌بتائین و نهایتاً پرولین بتائین اشاره نمود (Ashraf and Foolad, 2007). گلیاسین‌بتائین $[(CH_3)_3 N + CH_2COO_2]$ یک ترکیب آمفوتریک است که از نظر الکتریکی خنثی و در pH متفاوت فیزیولوژیکی فعالیت دارد. این ماده دارای قدرت حل شونده‌ی بالا بوده و دارای یک بخش هیدروکربن غیر قطبی است که شامل سه دسته متیل می‌باشد. خصوصیت مولکول گلیاسین‌بتائین مانند ترکیب‌های پروتئینی و آنزیمی به آن اجازه می‌دهد که با ماکرومولکول‌های آب‌دوست و چربی-دوست واکنش نشان دهد. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده که گلیاسین‌بتائین باعث پایداری و استحکام ساختار و فعالیت آنزیمی و ترکیب‌های پروتئینی شده و پایداری دیواره سلولی در مقابل اثرات آسیب‌رسانی بیش‌ازحد نمک، سرما، گرما و یخ‌زدگی از جمله فعالیت‌های آن به شمار می‌رود (Savari et al., 2009). برخی از مطالعات نشان‌دهنده‌ی این مطلب هست که استعمال خارجی گلیاسین‌بتائین می‌تواند منجر به افزایش مقاومت به تنش‌های غیرزنده در گیاهان گردد (Ashraf and Foolad, 2007).

غلظت گلیاسین‌بتائین درونی در گیاهان مختلف متفاوت بوده به‌طوری‌که در برخی از گیاهان به‌طور طبیعی انباشته‌شده و در تعدادی دیگر حتی در شرایط تنش نیز تولید ماده مذکور انجام نمی‌گیرد. با این حال، به نظر می‌رسد که نقش تعدیل‌کنندگی گلیاسین‌بتائین به عوامل متعددی از جمله نوع محصول، زمان و میزان کاربرد آن و شرایط محیطی بستگی دارد. لذا بررسی اثرات گلیاسین‌بتائین بر روی افزایش مقاومت به خشکی گیاهان زراعی مختلف و شناسایی زمان و میزان مصرف آن به‌منظور آگاهی از مکانیسم‌های مقاومت به تنش خشکی گیاهان، ضروری به نظر می‌رسد (Bagheri et al, 2009).

در داخل ایران مطالعات محدودی به نقش کاربرد گلیاسین‌بتائین در افزایش مقاومت به خشکی گیاهان اشاره نموده‌اند. ساوری و همکاران (Savari et al., 2009)

میزان قند و پرولین آن اندازه‌گیری شد. پس از گذشت ۶۰ روز از شروع آزمایش بوته‌های سورگم برداشت و بعد از انتقال به آزمایشگاه وزن تر و خشک قسمت‌های هوایی گیاه اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری میزان پرولین مقدار ۰/۵ گرم از اندام‌های هوایی (برگ) گیاهان را توزین و در ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد سولفوسالیسیک اسید ساییده و سپس نمونه‌ها صاف گردید. دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک خالص به نمونه‌ها افزوده شد و لوله‌ها در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شد، سپس لوله‌ها در حمام یخ به مدت نیم ساعت قرار گرفتند. به هر لوله آزمایش چهار میلی‌لیتر تولوئن افزوده و آن‌ها را خوب تکان داده و میزان جذب لایه رنگی فوقانی (حاوی تولوئن و پرولین) با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV) در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید (Bates et al., 1973).

بررسی میزان قندهای محلول اندازه‌گیری قند محلول با روش اسیدسولفوریک - فنل صورت گرفت. در این روش ۰/۱ گرم از ماده خشک در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد مخلوط و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شد. پس از گذشت یک هفته، به یک میلی‌لیتر از نمونه یک میلی‌لیتر فنل پنج درصد اضافه‌شده و به هم زده شد. در مرحله بعد، پنج میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به محلول اضافه و پس از سی دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV) در طول موج ۴۸۵ نانومتر میزان جذب تعیین‌شده و با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز میزان تغییرات قندها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک ارزیابی گردید (Kochert, 1978).

محاسبه وزن تر و خشک جهت اندازه‌گیری وزن تر و خشک، گیاهان را از سطح خاک قطع نموده و پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد سپس نمونه‌های گیاهی در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

محاسبات آماری داده‌های حاصل از آزمایش پس از انجام آزمون نرمالیت به روش تجزیه واریانس دوطرفه آنالیز شده و میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه

افزایش می‌یابند. علاوه بر این مصرف گلاسیسین بتائین باعث افزایش محتوای اسید اولئیک و روغن می‌شود. همچنین تأثیر استعمال خارجی گلاسیسین بتائین تا مراحل بعد از رشد باقی‌مانده و با کمبود آب در هر دو رقم ذرت مقابله کرده است.

به‌طور کلی اهداف این تحقیق ارزیابی استفاده بالقوه از اعمال خارجی گلاسیسین بتائین به منظور افزایش عملکرد و تحمل به خشکی در گیاه سورگم تحت شرایط کم‌آبایی و تعیین غلظت مناسب گلاسیسین بتائین جهت استعمال خارجی این ماده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یزد به صورت طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. برای اعمال تیمارها ابتدا قطعه زمینی تهیه و به‌طور کامل شخم زده شد و سپس به قطعات کوچک‌تر تقسیم گردید. پس از اعمال بلوک‌بندی، در هر کرت چهار ردیف کاشت به طول ۴ متر بافاصله ردیفی ۵۰ سانتیمتر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. بذرها در اواخر اردیبهشت‌ماه با تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و به عمق ۴ سانتیمتر کشت شدند و تیمارهای آزمایشی بر اساس نقشه-ی طرح بر روی آن‌ها اعمال شد. کود مصرفی فسفات آمونیوم به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و پیش از کاشت بذر به صورت نواری در فاصله ۵ سانتی‌متری بذر قرار داده شد. همچنین مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به صورت کود سرک در مراحل ۴ برگی مصرف شد. تیمارهای آزمایشی شامل غلظت‌های مختلف گلاسیسین بتائین (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ میلی مولار) در ترکیب با دور آبیاری (۳، ۶، ۹ روزه) در نظر گرفته شد. بلافاصله بعد از کاشت آبیاری صورت گرفت. بعد از جوانه‌زنی و استقرار بوته‌های سورگم تیمارهای آبیاری اعمال گردید. در هر بار آبیاری حجم مساوی آب به کرت‌های آزمایشی اضافه گردید. اولین محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین پس از ۴ برگه شدن بوته‌های سورگم انجام شد. کلیه مراحل محلول‌پاشی در هوای صاف و در هنگام غروب آفتاب صورت گرفت تا تبخیر از سطوح برگ به حداقل برسد. بعد از ۲ هفته دومین محلول‌پاشی انجام گرفت. مبارزه با آفات و علف‌های هرز در صورت نیاز برای همه تیمارها به صورت یکسان اعمال گردید. برگ گیاهان ۲ روز بعد از آخرین محلول‌پاشی به آزمایشگاه برده شد و

و بیبینگ و راجاشکار (Weibing and Rajashekar, 1999) بر روی گیاه لوبیا مطابقت و با نتایج تحقیق میک و همکاران (Meek et al., 2003) بر روی گیاه پنبه مغایرت دارد.

نتایج شکل ۲ نشان‌دهنده این مطلب است که با افزایش غلظت گلایسین‌بتائین در تیمار آبیاری ۶ روزه میزان پرولین در گیاه سورگم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در این دور آبیاری با مصرف ۲۰۰ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین، میزان پرولین نسبت به شاهد مربوطه ۶۲ درصد افزایش یافت. در واقع با مصرف گلایسین‌بتائین به دلیل کاهش اثرات تنش انتظار می‌رود تولید پرولین کاهش یابد، اما افزایش پرولین در این آزمایش ممکن است به‌واسطه شرکت گلایسین‌بتائین در تغییر مسیر متابولیسم اسیدهای آمینه به سمت تولید پرولین و یا دیگر اسیدهای آمینه مرتبط با بیوسنتز پرولین باشد.

نتایج این تحقیق همچنین بیانگر آن است که با افزایش شدت خشکی میزان پرولین در برگ‌های سورگم کاهش یافت. تحقیقات مختلف نشان‌دهنده این مطلب است که تمامی گیاهان توانایی تجمع اسمولیت‌های آلی جهت کاهش اثرات زیان‌بار استرس‌های غیرزنده محیطی را ندارند. البته امکان القای اسمولیت‌های آلی مختلف از جمله گلایسین‌بتائین به این گیاهان وجود دارد (Rezaei, 2010). به‌طور کلی استعمال خارجی مواد آلی تنظیم‌کننده پتانسیل اسمزی در گیاهانی که به‌طور طبیعی توانایی تولید آن‌ها را نداشته و یا به میزان کم تولید می‌کنند قادر است اثرات زیان‌بار استرس‌های محیطی را بر گیاهان مذکور کاهش دهد (Ashraf and Foolad, 2007).

دانکن مقایسه شدند. جهت آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار spss 16 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر میزان پرولین، قند محلول، وزن تر و خشک سورگم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج این تحقیق همچنین بیانگر آن است که با افزایش غلظت گلایسین‌بتائین در تیمار آبیاری ۹ روزه میزان قندهای محلول در گیاه سورگم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در تیمارهای آبیاری ۳ روزه و ۶ روزه اختلاف معنی‌داری در میزان تولید قند نسبت به شاهد مشاهده نشد. همچنین مقایسه تیمارهای مختلف آبیاری، میزان قند در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در دور ۹ روزه آبیاری به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر دوره‌های آبیاری افزایش یافت (شکل ۱).

افزایش میزان قند می‌تواند به این دلیل باشد که گلایسین‌بتائین به‌عنوان یک اسمولیت سازگار باعث بهبود روابط آبی گیاه می‌شود. از آنجاکه انجام عمل فتوسنتز نیاز به شرایط آبی مناسب دارد بنابراین در شرایط محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین، روابط آبی در گیاه بهبود یافته و شرایط برای عمل فتوسنتز فراهم شده و تولید محصولات فتوسنتزی از جمله قندهای محلول افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق با نتایج گورهام و همکاران (Gorham et al., 2000) و مخدوم و شابابودین (Makhdum and Shababuddin, 2006) بر روی گیاه پنبه و همچنین

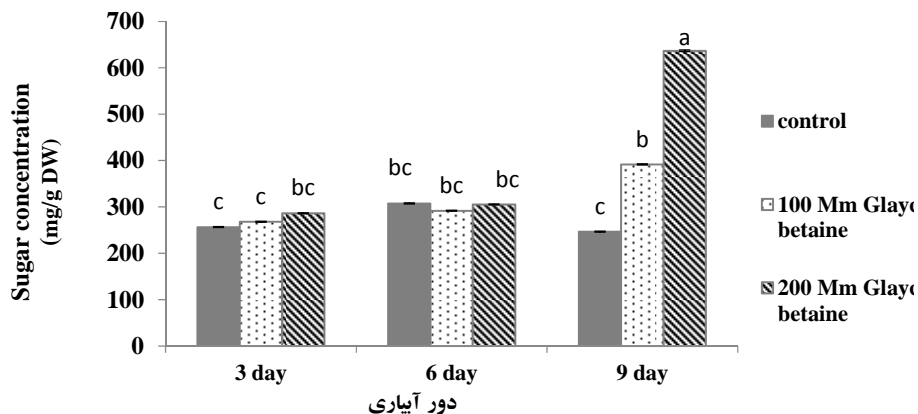
جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر برخی از صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی سورگم.

Table 1. Results of analysis of variance of the effect of different treatments on some physiological and morphological parameters of sorghum

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares			
		قند Carbohydrate	پرولین Proline	وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight
Block بلوک	2	9.5*	26.75 ^{ns}	2.68 ^{ns}	1.07**
Treatment تیمار	8	44458.9**	326/2**	5.41**	0.8**
Error خطا	16	1.76	10.8	1.2	0.132

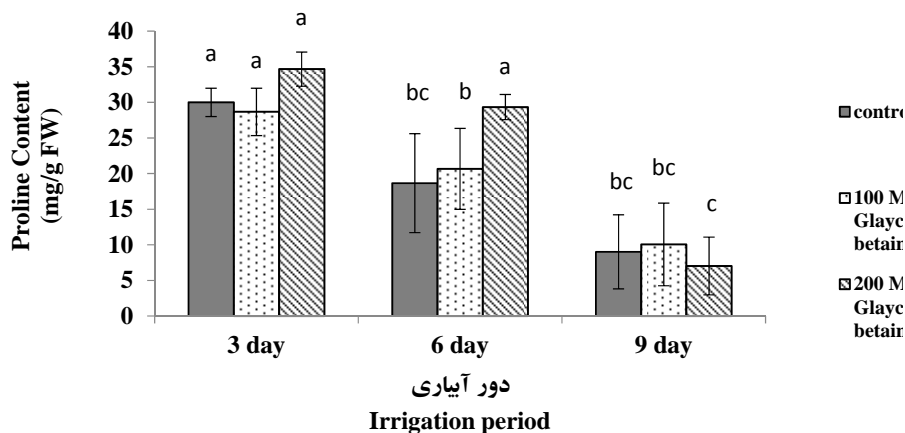
*، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد؛ **، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد؛ ns، عدم اختلاف معنی‌دار.

*، significant at 5 % level; **, Significant at 1 % level; ns, None significant difference .



شکل ۱. تأثیر کاربرد گلیسین بتائین بر غلظت قند سورگم در سه دور آبیاری. میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 1. Effect of glycine betain on carbohydrate concentration of sorghum in three irrigation treatments. Means with the same letter are not significantly different at 5%, after applying Duncan Multiple Range test.



شکل ۲. تأثیر کاربرد گلیسین بتائین بر غلظت پرولین سورگم در سه دور آبیاری. میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 2. Effect of glycine betain on proline content of sorghum in three irrigation treatments. Means with the same letter are not significantly different at 5%, after applying Duncan Multiple Range test.

گلیسین بتائین منجر به کاهش وزن خشک گیاه سورگم شد. در واقع خشکی باعث کاهش آماس و رشد سلولی و در نتیجه کاهش رشد می‌شود. از طرف دیگر با پیشرفت تنش خشکی همچنان که فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد احتیاجات قندی جهت تنظیم اسمزی در گیاه افزایش یافته و به دنبال آن میزان کمتری از قندهای محلول صرف رشد اندام‌های هوایی شده و وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد.

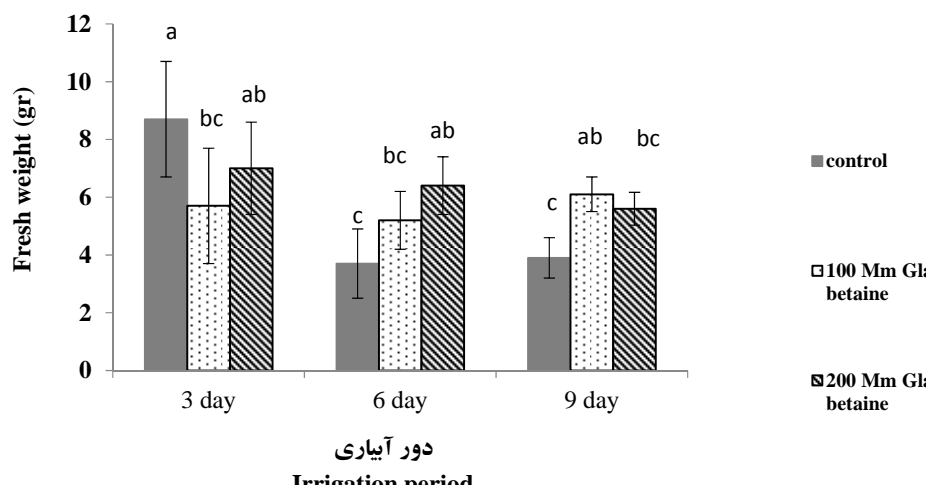
کاربرد گلیسین بتائین در کمترین دور آبیاری (تیمار ۳ روزه آبیاری) تأثیری در افزایش وزن تر گیاه سورگم نداشت؛ اما استفاده از گلیسین بتائین در تیمارهای ۶ و ۹ روزه آبیاری باعث افزایش وزن تر سورگم نسبت به تیمار عدم مصرف این ماده شد (شکل ۳).

نتایج نمایش داده شده در شکل ۴ بیان‌کننده این مطلب است که افزایش دور آبیاری در تیمار عدم مصرف

پروتئین‌ها (Bohnert and Jensen, 1996)، حفاظت از غشاء سلولی (Crowe et al., 1992) و حفظ فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه در شرایط تنش (Rhodes and Hanson, 1993) منجر به بهبود رشد گیاه می‌گردند. مطالعات مختلف نقش مثبت گلايسين‌بتائين در کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر روی رشد گیاهان مختلف نظیر ذرت (Wyn Jones, 1984; Ali et al., 2011)، گوجه-فرنگی (Makela et al., 1998)، لوبیا (Webing and Rajashekar, 1999) و پنبه (Gorham et al., 2000) را نشان داده است.

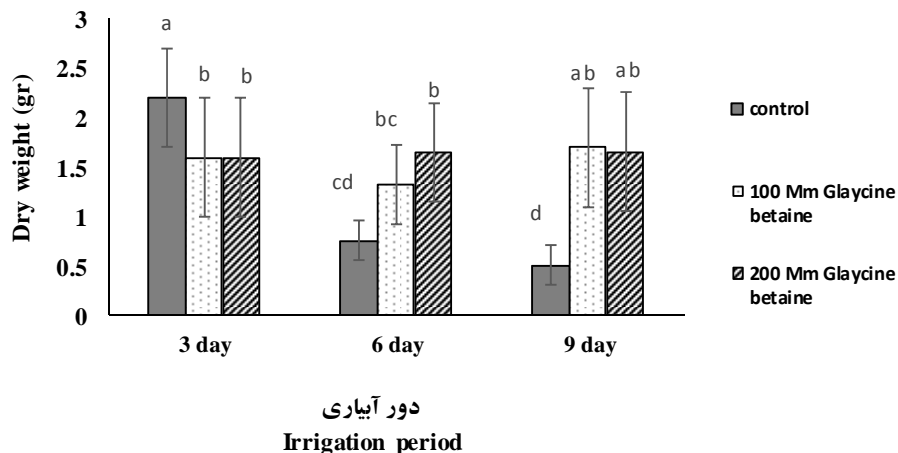
نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش همچنین نشان‌دهنده آن است که در دور آبیاری ۶ و ۹ روز بین غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار گلايسين‌بتائين از نظر وزن خشک تولیدی توسط سورگم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴). نتایج تحقیقات مختلف بیان‌کننده آن است که غلظت مؤثر گلايسين‌بتائين بسته به نوع گونه گیاهی (Makela et al., 1996; Agboma et al., 1997) نحوه مصرف (Heuer, 2003)، زمان مصرف (Agboma et al., 1997) و تعداد دفعات مصرف (Ibrahim et al., 2006) متفاوت می‌باشد.

با محلول‌پاشی گلايسين‌بتائين وزن خشک به‌طور معنی‌داری در تیمارهای آبیاری ۶ روز و ۹ روز افزایش یافت. در تیمار آبیاری ۳ روز مصرف گلايسين‌بتائين منجر به کاهش معنی‌داری وزن خشک گردید. به‌طورکلی اگرچه مصرف گلايسين‌بتائين وزن قسمت-های هوایی سورگم را در شرایط تنش به‌اندازه تیمار عدم وجود تنش خشکی (تیمار ۳ روزه آبیاری) افزایش نداد اما به نظر می‌رسد کاربرد این ماده در شرایط محدود بودن رطوبت در افزایش تولید علوفه سورگم نقش به‌سزایی داشته باشد. این امر می‌تواند به نقش گلايسين‌بتائين در افزایش پتانسیل اسمزی اندام‌های هوایی و افزایش جذب آب توسط گیاه و به دنبال آن حفظ آماس سلول‌های برگ در ارتباط باشد. از آنجاکه رشد و نمو گیاهان بستگی به سرعت تولید و بزرگ شدن سلول‌های جدید دارد و گیاهان فقط در حالت آماس قادر به تقسیم سلولی هستند لذا با ایجاد حالت آماس توسط گلايسين‌بتائين تقسیم سلولی افزایش پیدا کرده و رشد گیاه در حالت محلول‌پاشی این ماده را سبب گردیده است. تحقیقات دیگر در این رابطه بیانگر آن است که ترکیباتی نظیر گلايسين‌بتائين با جلوگیری از تجزیه



شکل ۳. تأثیر کاربرد گلايسين‌بتائين بر وزن تر سورگم در سه دور آبیاری. میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 3. Effect of glycine betaine on fresh weight of sorghum at three irrigation treatments. Means with the same letter are not significantly different at 5%, after applying Duncan Multiple Range test.



شکل ۴. تأثیر کاربرد گلیسین بتائین بر وزن خشک سورگم در سه دور آبیاری. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig. 4. Effect of glycine betaine on dry weight of sorghum at three irrigation treatment. Means with the same letter are not significantly different at 5%, after applying Duncan Multiple Range test.

آبی خود را بهبود بخشیده و تولید بیومس خود را افزایش داده است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان‌دهنده کاهش رشد سورگم با اعمال تنش خشکی بود. مصرف گلیسین بتائین اثرات منفی تنش خشکی بر رشد گیاه را کاهش داده و افزایش تجمع قند و پروتئین در اندام‌های هوایی گیاه، منجر به بهبود روابط آبی گیاه تحت شرایط تنش رطوبتی گردید. با این حال جهت مصرف اقتصادی و گسترده گلیسین بتائین در محصولات کشاورزی تحت تنش خشکی ضروری است که مکانیسم عمل این ماده و میزان تأثیر آن در گیاهان مختلف بررسی گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد که زمان و تعداد دفعات مصرف این ماده در تحقیقات آبی مورد بررسی قرار گیرد.

بر طبق نتایج جدول ۲ رابطه مثبت و معنی‌داری بین مصرف گلیسین بتائین و وزن خشک در دوره‌های آبیاری ۶ روز و ۹ روز وجود داشت. در حالی که در دور آبیاری ۳ روز رابطه منفی بین متغیرهای مذکور به دست آمد. در دور آبیاری ۳ و ۹ روز بین پروتئین و وزن خشک رابطه معنی‌داری وجود نداشت. در حالی که در دور آبیاری ۶ روز رابطه مثبت و معنی‌داری از این نظر مشاهده شد. نتایج جدول ۱ همچنین به این نکته اشاره دارد که با افزایش قند میزان وزن خشک در دوره‌های آبیاری ۶ و ۹ روز به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد افزایش معنی‌داری را نشان داد در حالی که در دور آبیاری ۳ روز این رابطه معنی‌دار نبود.

مثبت بودن رابطه بین مصرف گلیسین بتائین و وزن خشک در دور آبیاری ۶ و ۹ روز بیان‌کننده نقش ماده مذکور در بهبود رشد گیاه در شرایط محدودیت رطوبت می‌باشد. رابطه مثبت غلظت قندهای محلول با میزان وزن خشک نشان‌دهنده آن است که گیاه سورگم در مواجهه با تنش خشکی با تجمع قند در اندام‌های هوایی خود روابط

جدول ۲. ضریب همبستگی بین وزن خشک سورگم و غلظت گلیسین‌بتائین، پرولین و قند.

Table 2. Correlation coefficients between dry weight of sorghum with concentration of glycine betaine, proline and hydrocarbon.

	وزن خشک سورگم (گرم) در دور آبیاری ۳ روز Dry weight of sorghum at 3 days irrigation interval (gram)	وزن خشک سورگم (گرم) در دور آبیاری ۶ روز Dry weight of sorghum at 6 days irrigation interval (gram)	وزن خشک سورگم (گرم) در دور آبیاری ۹ روز Dry weight of sorghum at 9 days irrigation interval (gram)
گلیسین‌بتائین Glycine betaine (mM)	-0.87**	0.99**	0.83**
پروالین Proline (mg/g)	-0.32 ^{ns}	0.92**	-0.11 ^{ns}
قند Hydrocarbon (mg/g)	-0.35 ^{ns}	0.91**	0.48*

* و ** به ترتیب نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح آماری پنج و یک درصد؛ ns عدم تفاوت معنی‌دار.

*Significant at p = 0.05; **significant at p = 0.01, ns = none significant difference.

منابع

- Agboma, M., Jones, M.G.K., Peltonen-Sainio, P., Rita, H., Pehu, E., 1997. Exogenous glycinebetaine enhances grain yield of maize, sorghum and wheat grown under two supplementary watering regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 178, 29-37.
- Akhoundi, M., Safarnejad, A.S., Lahouti, M., 2003. Effect of drought stress on proline accumulation and change of elements in alfalfas (Yazdi, Nikshahri and Ranger). *Agricultural and Natural Resources Science and Technology*. 10(1), 165-174. [In Persian with English Summary].
- Ali, S., Eslami, V., Behdani, M.A., Jami-Alahmadi, M., 2009. Influence of exogenous application of glycinebetaine on alleviating the effect of salinity stress at germination and early seedling growth of corn (*Zea mays* L.). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*. 2(1), 53-63. [In Persian with English Summary].
- Ali, S., Eslami, V., Bohdani, M.A., Jami-Alahmadi, M., 2011. Influence of exogenous application of glycinebetaine on reducing the effect of drought stress at germination and early seedling growth of corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 8(5), 837-844. [In Persian with English Summary].
- Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 59, 206-216.
- Anjum. S.A., Saleem, M.F. Long-Chang W., Faisal Bilal, M., Saeed, A., 2012. Protective role of glycinebetaine in maize against drought-induced lipid peroxidation by enhancing capacity of antioxidative system. *Australian Journal of Crop Science*. 6(4), 576-583.
- Bagheri, H., Shirani-rad, A.H., Mirhadi, M.J., Delkosh, B., 2009. Effects of water stress on quantitative and qualitative traits of two rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*. 1, 40-49. [In Persian with English Summary].
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-208.
- Bohnert, H.J., Jensen, R.J., 1996. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology*. 14, 89-97.

- Crowe, J.H., Hoekstra, A., Crowe, L.M., 1992. Anhydrobiosis. *Annuals Review of Physiology*. 54, 579-599.
- Gorham, J., Jokinen, K., Malik, M.N.A., Khan, I.A., 2000. Glycine betaine treatment improves cotton yields in field trials in Pakistan. *Proceedings of the World Cotton Research Conference II*, Athens, Greece. pp. 624-627.
- Heuer, B. 2003. Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. *Plant Science*. 165, 693-699.
- Ibrahim, M., Anjum, A., Khaliq, N., Iqbal, M., Athar, H. R., 2006. Four foliar applications of glycinebetaine did not alleviate adverse effects of salt stress on growth of sunflower. *Pakistan Journal of Botany*. 38, 1561-1569.
- Kafi, M., Mahdavi Damghani, A., 2000. *Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants*. Ferdowsi University of Mashhad Publication. 467p. [In Persian].
- Kochert, G., 1978. Carbohydrate determination by the phenolsulfuric acid method. In: Hellebust, J.A., Craigie, J.S., (eds). *Handbook of Phycological Methods-Physiological and Biochemical Methods*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 95-97.
- Mäkela, P., Mantila, J., Hinkkanen, R., Pehu, E., Peltinen-Sainio, P., 1996. Effect of foliar applications of glycinebetaine on stress tolerance, growth and yield of spring cereals and summer turnip rape in Finland. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 176, 223-234.
- Makela, P., Jokinen, K., Kontturi, M., Peltonen-Sainio, P., Pheu, E., Somersalo, S., 1998. Foliar application of glycine betaine a novel product from sugar beet as an approach to increase tomato yield. *Industrial Crop Production*. 7, 139-148.
- Makhdum, M. I., Shababuddin, S., 2006. Effects of different doses of glycine bataine and time of spray application on yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Research (Science)*. 17, 241-245.
- Meek, C., Oosterhuis, D., Gorham, J., 2003. Does foliar-applied glycine betaine affect endogenous betaine levels and yield in cotton. *Crop Management*. 10, 1094-1104.
- Qasim A., Ashraf, M. 2011., Exogenously applied glycine betaine enhances seed and seed oil quality of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Environmental and Experimental Botany*. 71, 249-259.
- Rezaei, M. A., 2010. Effects of exogenous glycine betaine on morphophysiological characteristics and yield of soybean (*Glycine max* L.). *Journal on Plant Science Researches*. 17 (1), 44-54. [In Persian With English summary].
- Rhodes, D., Hanson, A. D., 1993. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 44, 357-384.
- Sabbagh pour, H., 2006. *Indices and Mechanisms of Drought Tolerance in Plants*, (First Edition). National Committee of Drought, Jahad Keshavarzi, 154p. [In Persian].
- Sammar Raza, M. A., Saleem, M. F., Ashraf, M. Y., Asghar A., Hafiz Naeem A., 2012. Glycinebetaine applied under drought improved the physiological efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.) plant. *Soil Environ*. 31(1), 67-71.
- Savari, A., Fotokian, M., Barzali, M., 2009. Evaluation of glycine betaine effects on some agronomic traits of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars under water-droughts stress. *Journal of Daneshvar Agronomy Sciences*. 1(1), 67-76. [In Persian with English Summary].
- Weibing Xing, Rajashekar, C. B., 1999. Alleviation of water stress in beans by exogenous glycine betaine. *Plant Science*. 148, 185-195.
- Wyn Jones, R.G., 1984: An assessment of quaternary ammonium and related compounds as osmotic effectors in crop plants (phytochemical aspects of osmotic adaptation). *Recent Advances in Phytochemistry*. 18, 55-58.