

کاربرد خارجی گلیسین بتائین به منظور کاهش اثرات تنش خشکی در ذرت (*Zea mays L.*)

حمید رضا میری^{۱*} - علی ضمائی مقدم^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۱۷

چکیده

خشکی از مهمترین تنش‌های محدود کننده رشد و تولید در گیاهان زراعی است و استفاده از روش‌های مدیریتی برای کاهش اثرات خشکی اهمیت زیادی دارد. به منظور بررسی اثر محلول پاشی گلیسین بتائین بر گیاه ذرت تحت شرایط تنش خشکی آزمایشی به صورت اسپلت اسپلت پلات در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در شهرستان فیروزآباد استان فارس انجام شد. عامل اصلی دور آبیاری (۴ و ۸ روز) و عامل فرعی اول کاربرد غلظت های گلیسین بتائین (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ ppm) و عامل فرعی دوم زمان محلولپاشی (مرحله ساقه رفتن ۴ برگی و قبل از گلدهی ۸ برگی) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سه عامل بر تمامی صفات به جز میزان کاروتینوئید، شاخص سطح برگ و تعداد ردیف در بلال معنی دار بود. دور آبیاری ۸ روز موجب اعمال تنش خشکی بر گیاه شد به طوری که میزان کلروفیل a، کلروفیل b، شاخص سطح برگ، ارتفاع نهایی بوته، عملکرد دانه و تعداد دانه در ردیف، و وزن هزار دانه به طور معنی داری کاهش یافت. اما محلول پاشی با گلیسین بتائین موجب بهبود شرایط تنش در دو مرحله نمونه برداری (۴ و ۸ برگی) شد به طوری که در غلظت ۱۵۰ ppm بالاترین مقادیر را در تمام صفات به خود اختصاص داد که این برتری در زمان محلول پاشی در مرحله قبل از گلدهی (۸ برگی) گیاهان نمایان تر بود. محلول پاشی با غلظت ۱۵۰ ppm گلیسین بتائین قبل از گلدهی در شرایط تنش و بدون تنش خشکی توانست میزان کلروفیل a، کلروفیل b، شاخص سطح برگ، ارتفاع نهایی بوته، عملکرد دانه و اجزای عملکرد، و وزن هزار دانه را بهبود بخشد. در نهایت، می توان گفت مصرف گلیسین بتائین با غلظت ۱۵۰ ppm در زمان قبل از گلدهی و شرایط غیر تنش برتری داشت ودر استفاده از این ماده زمان کاربرد، غلظت و از همه مهم تر شدت اعمال تنش بر نتایج حاصل موثر می باشد.

واژه‌های کلیدی: محلول های سازگار، تعدیل اسمزی، تحمل تنش، دور آبیاری

مقدمه

جهت کاهش اثرات نامطلوب تنش کسب کرده‌اند. یکی از واکنش‌های معمول در سلول‌های گیاهی که در نتیجه افزایش تجمع محلول‌های آلی در سیتوپلاسم روی می‌دهد تنظیم اسمزی^۳ است که به منظور موازنه تعدیل اسمزی واکوتلی در سیتوپلاسم و تعادل اسمزی بین سیتوپلاسم و اجزای مختلف سلول انجام می‌گیرد و سلول را در فرآیند افزایش توسعه خود کمک می‌کند (۴). تنظیم اسمزی در گیاهان از طریق تولید انواع مختلفی از محلول‌های آلی سازگار^۴ و برخی یون‌های غیر آلی صورت می‌گیرد (۳۹).

محلول‌های سازگار با وزن مولکولی پایین و در غلظت‌های بالای سلولی غیرسمی هستند. به طور کلی، این مواد گیاهان را از تنش‌ها طی دوره‌های مختلف با شرکت در تعادل اسمزی حفظ کرده و موجب حفظ سیالیت غشا و ثبات پروتئین‌ها یا آنزیم‌ها می‌شوند (۱۰). به عقیده هیور (۱۸) نقش عمده آنها، عایق کردن سلول‌های گیاهی از

تنش خشکی یکی از تنش‌های اصلی است که در اکثر مراحل رشد گیاهان زراعی، تأثیر گذاشته و دستیابی به نتیجه مطلوب را دشوار می‌سازد (۳۵). اصطلاح خشکی به شرایطی اطلاق می‌شود که در نتیجه آن رطوبت موجود در خاک به نقطه‌ای می‌رسد که گیاه قادر به جذب آب با سرعت کافی برای جبران تعرق نباشد. برخی از فرآیندهای رشد و نمو به شدت تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. به طور کلی رشد گیاه تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفته (۱۲) و غالباً رشد اندام هوایی بیشتر از ریشه کاهش می‌یابد (۴۰)، اندازه برگ نیز تحت تأثیر کم آبی قرار می‌گیرد (۱۱) و رشد برگ در واکنش به نوسان‌های پتانسیل آب تغییر می‌یابد (۴۰).

با توجه به نوع تنش، گیاهان در مسیر تکاملی خود، راهکارهایی را

3 - Osmotic adjustment
4 - Compatible solutes

۱ و ۲- دانشیار و دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان
(Email: hmiri6@gmail.com) * - نویسنده مسئول:

حفظ می‌کند.

کاربرد برگی گلايسين بتائين روی اجزاء عملکرد، فرآیندهای فیزیولوژیکی، یا سطوح داخلی گلايسين بتائين در گیاهان پنبه (*Gossypium hirsutum*) تحت تنش خشکی اثری نداشت و همچنین در مطالعه‌ای که اثر گلايسين بتائين و خشکی در ارقام مختلف پنبه تحت رژیم‌های مختلف آبی انجام گرفت مشاهده شد که گلايسين بتائين اثر معنی‌داری روی رشد گیاهان نشان نداد (۳۱).

استان فارس یکی از مهمترین تولیدکننده‌های ذرت (*Zea mays*) در کشور است، از طرفی کمبود آب و تنش خشکی در زراعت ذرت یکی از مهمترین عوامل محدودکننده می‌باشد. با توجه به کمبود اطلاعات در رابطه واکنش ذرت به اثرات تنش خشکی در شرایط کشور ایران، آزمایش حاضر به منظور بررسی اثرات گلايسين بتائين بر افزایش تحمل خشکی ذرت در استان فارس طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال ۱۳۹۰ در مزرعه ای واقع در روستای چايدشت در ۵ کیلو متری شهرستان فیروزآباد واقع در استان فارس با عرض جغرافیایی ۲۸° ۵۲' و طول جغرافیایی ۵۲° ۳۶' و ارتفاع ۱۶۰۰ متر از سطح دریا با متوسط بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر اجرا شد. شهرستان فیروزآباد از نظر آب و هوایی جز مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود. خصوصیات خاک مزرعه آزمایشی بر اساس نمونه برداری انجام شده قبل از اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. طرح آزمایش بصورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. تیمارهای آزمایش شامل دور آبیاری به عنوان عامل اصلی در دو سطح (آبیاری ۴ روز و ۸ روز یک مرتبه) زمان محلول پاشی گلايسين بتائين به عنوان عامل فرعی در دو سطح (ابتدای ساقه رفتن و قبل از گلدهی) و غلظت محلول پاشی گلايسين بتائين به عنوان عامل فرعی فرعی در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ ppm) بود. انتخاب مراحل محلول پاشی به این دلیل بود که در طی این مرحله ذرت حساسیت زیادی به کم آبی دارد و هدف بررسی امکان کاهش اثرات تنش خشکی در این مراحل با استفاده از گلايسين بتائين بود. همچنین غلظت‌ها بر اساس بررسی منابع انتخاب شد. به منظور کاهش اثرات ناشی از جذب آب در طی محلول پاشی، در تیمار شاهد از آب خالی برای محلول پاشی استفاده شد.

زمین آزمایش در سال قبل زیر کشت گندم بود. پس از شخم و تسطیح زمین بر اساس اطلاعات بدست آمده از جدول یک، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل بطور یکنواخت در مزرعه پخش و سپس با دیسک تا عمق ۱۵ سانتی متری با خاک مخلوط شد.

صدمات ناشی از تنش توسط تعدیل اسمزی، تثبیت ساختار پروتئین‌های کلیدی مانند رایبوسکو و حفظ دستگاه فتوسنتزی می‌باشد. بنابراین، به علت این که برخی از این ترکیبات اجزای سلولی را از صدمه پسايدگی^۱ (از دست دادن آب) حفظ می‌کنند، به آنها تنظیم کننده‌های اسمزی^۲ می‌گویند.

یک دسته از مواد آلی سازگار و رایج بتائین‌ها می‌باشند که معمولترین و فراوان‌ترین آن‌ها در گیاهان گلايسين بتائين است. گلايسين بتائين در بسیاری از گونه‌های گیاهی به میزان بالا در پاسخ به انواع تنش‌های محیطی سنتز می‌شود. به طور خاص بیشتر هالوفیت‌ها زمانی که در معرض تنش قرار می‌گیرند، گلايسين بتائين را به عنوان یک تعدیل کننده اسمزی در سلول‌های خود افزایش می‌دهند (۳۰). گلايسين بتائين همچنین در بسیاری دیگر از گیاهان زراعی از جمله اسفناج، جو، گندم و سورگوم در واکنش به تنش‌ها افزایش می‌یابد (۴۴). با توجه به این که همه گیاهان گلايسين بتائين را به میزان کافی برای دفع اثرات سوء تنش‌های غیرزنده تولید نمی‌کنند، رهیافتی که برای افزایش غلظت این ترکیب در گیاهان برای افزایش تحمل به تنش در نظر گرفته شده است، کاربرد خارجی این تعدیل کننده‌ها در گیاهان تحت تنش به منظور افزایش تحمل آن‌ها می‌باشد. کاربرد خارجی محلول‌های سازگار از قبیل پرولین و گلايسين بتائين به گیاهان، قبل، همزمان و بعد از حضور تنش، با افزایش سطوح درونی این ترکیبات، به طور کلی موجب افزایش در رشد و عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط تنش شده است (۹). در بسیاری از موارد اثرات مثبت کاربرد خارجی گلايسين بتائين روی رشد و عملکرد گیاهان زراعی تحت تنش گزارش شده است (۶). هاریناسوت و همکاران، (۱۷) نشان دادند که کاربرد خارجی گلايسين بتائين در برنج از صدمه به فتوسیستم II در شرایط شوری جلوگیری می‌کند. ماکلا و همکاران (۳۰) ابراز داشتند که با مصرف خارجی، گلايسين بتائين سریعاً به داخل برگ‌های گیاهی نفوذ کرده و بلافاصله به ریشه‌ها، مریستم‌ها و برگ‌های توسعه یافته منتقل می‌شود و اندام‌های گیاهی در حال نمو و توسعه را از تنش حفظ می‌کند. علاوه بر این مشاهده شده است که گلايسين بتائين در بافت گیاهی برای چند هفته به حالت غیرمتابولیزه باقی می‌ماند و به محض وارد شدن تنش به اندام‌های گیاهی منتقل شده و به عنوان یک تعدیل کننده اسمزی در سلول‌ها فعالیت می‌کند. اسمینوف و استوارت (۴۱) نشان دادند که کاربرد خارجی گلايسين بتائين موجب افزایش رشد و تولید مثل در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) بعد از برگشت از حالت تنش شد. موراتا و همکاران (۳۲) بیان نمودند که گلايسين بتائين کمپلکس فتوسیستم II و سنتز ATP را بر علیه اثرات بازدارنده کلرید سدیم

1 - Dehydration

2 - Osmotic adjuster

جدول ۱- نتیجه آزمون خاک مزرعه آزمایشی

عمق نمونه برداری (cm)	درصد اشباع	هدایت الکتریکی (ds m ⁻¹)	اسیدیته کل اشباع	درصد کربن آلی	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	نیتروژن کل (%)
۰-۳۰	۲۴/۷۱	۱/۴۵	۷/۸۲	۰/۶۸	۷/۱	۱۹۰	۰/۰۴
۳۰-۶۰	۲۶/۹۲	۱/۳۷	۷/۹۱	۰/۵۲	۲/۶	۸۸	۰/۰۳

(با شمار ۱۰۰۰ دانه تصادفی) و ارتفاع بوته (در ۲۰ بوته تصادفی) اندازه گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام و برای رسم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد. همچنین میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح آماری پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دور آبیاری، زمان محلولپاشی، غلظت‌های مختلف گلیسین بتائین و اثر متقابل غلظت‌های گلیسین بتائین × زمان محلول پاشی، دور آبیاری × زمان محلولپاشی و دور آبیاری × غلظت × زمان محلول پاشی در سطح یک درصد و اثر غلظت گلیسین بتائین × دور آبیاری در سطح ۵ درصد بر کلروفیل a معنی دار بود (جدول ۲). با افزایش فاصله آبیاری از ۴ به ۸ روز میزان کلروفیل a، ۱۸/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴). کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیباتی مانند پرولین باشد. شرایط تنش موجب می‌شود تا گلوتامات که پیش‌ماده ساخت کلروفیل و پرولین است، کمتر در مسیر بیوسنتز کلروفیل قرار گیرد (۲).

با افزایش غلظت گلیسین بتائین از صفر به ۱۵۰ ppm میزان کلروفیل از ۰/۵۷۴ به ۰/۹۹۴ میلی گرم در گرم وزن تر افزایش یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش غلظت گلیسین بتائین موجب افزایش داخلی پیش ماده کولین در برگ شده و از تخریب کلروفیل و فعالیت آنزیم کلروفیلاز ممانعت کرده است لذا بر میزان ساخت کلروفیل a افزوده است. هاریناسوت و همکاران (۱۷) نشان دادند که کاربرد خارجی گلیسین بتائین روی برنج از صدمه به فتوسیستم II در شرایط تنش شوری ممانعت کرده و موجب بهبود کلروفیل شد. همچنین بین دو زمان کاربرد گلیسین بتائین، محلول پاشی در مرحله قبل از گلدهی تأثیر بیشتری بر افزایش میزان کلروفیل a داشت (جدول ۳). این امر ممکن است بدلیل جذب بهتر پرولین در مرحله گلدهی بواسطه بیشتر بودن سطح برگ گیاه باشد.

اثر متقابل سه عامل بر میزان کلروفیل a نشان داد که در شرایط

کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله (قبل از کاشت، ۶ برگی و قبل از ظهور گل‌های نر) مصرف شد. سولفات پتاسیم نیز به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت مصرف شد. کرت‌های آزمایش به طول ۵/۴ متر و عرض ۴/۵ متر انتخاب و هر کرت آزمایش شامل ۶ خط کاشت و فاصله خط‌ها از یکدیگر ۷۰ سانتی متر و فاصله بوته روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۱ متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر سه متر بود. کاشت ذرت رقم ۷۰۴ در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱۰ انجام شد.

آبیاری اول بلافاصله بعد از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی تا مرحله استقرار بوته‌ها (حدود ۳-۲ برگی) هر ۴ روز یکبار و پس از آن بر اساس تیمارها انجام گرفت. آبیاری بوسیله نوارهای سوپر درپ به صورت قطره ای انجام گرفت و در هر جوی یک عدد نوار سوپر درپ قرار داشت. پس از کشت وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. اندازه گیری صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتینوئید و پرولین با نمونه برداری در مرحله گلدهی به صورت زیر بود (اندازه گیری‌ها روی آخرین برگ کاملاً باز شده انجام گرفت).

اندازه گیری پرولین بر اساس روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) صورت گرفت. تعیین طول موج جذب نمونه با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل شیماتزو 100 ساخت ژاپن) انجام شد و برای تهیه منحنی استاندارد از غلظت‌های ۳۱/۲۵، ۶۲/۵، ۱۲۵ و ۲۵۰ میکرومول بر لیتر استفاده شد و با استفاده از فرمول زیر میزان پرولین بر حسب Mm/kgDW به دست آمد:

$$\text{Mmol/kgDW} = (\mu\text{mol prolin/lit}) \times 173 / \text{DW}(\text{mg})$$

مقدار کلروفیل و کاروتینوئید بر اساس روش آرنون (۱۹۷۲) و با

استفاده از روابط زیر بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

$$\text{Chlorophyll a} = 12.7(663) - 2.69(645) \times v/1000 \times w$$

$$\text{Chlorophyll b} = 22.9(645) - 4.69(663) \times v/1000 \times w$$

$$\text{Carotenoides} = 100(A470) + 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227$$

وزن تر نمونه = w حجم نمونه استخراج شده = v

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک از مساحت ۴ مترمربع وسط هر کرت نمونه برداری و صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد ردیف در بلال (با شمارش تعداد ردیف در ۲۰ بلال تصادفی)، تعداد دانه در ردیف بلال (با شمارش در ۲۰ بلال تصادفی)، وزن هزار دانه

مانعت از تخریب مولکول کلروفیل موجب بهبود این صفت شد. دور آبیاری ۸ روز موجب کاهش معنی دار غلظت کلروفیل a در هر دو زمان محلولپاشی شد. علت این کاهش می تواند به دلیل مصرف کربوهیدراتها در سنتز متابولیت هایی چون پرولین در اندام هوایی باشد که در نتیجه آن ترکیبات آلی کمتری برای سنتز کلروفیل در دسترس خواهد بود (۲۱). گیاهان ذرت تحت تنش، قادر به تجمع گلايسين بتائين را به میزان ۵-۲ میکرو مول بر گرم بر وزن تازه می باشند (۳۷). لذا کاربرد خارجی گلايسين بتائين موجب افزایش غلظت داخلی آن شد. مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که گلايسين بتائين باعث پایداری و استحکام ساختارها و فعالیت های آنزیمی و ترکیبات پروتئینی می شود و پایداری دیواره سلولی در مقابل اثرات آسیب رسانی بیش از حد نمک، سرما، گرما و یخ زدگی از جمله فعالیت های آن به شمار می رود (۱۵).

بدون تنش خشکی (آبیاری ۴ روز) محلولپاشی قبل از گلدهی با غلظت ۱۵۰ ppm گلايسين بتائين، بیشترین میزان کلروفیل a حاصل شد و در تیمار شاهد (بدون محلولپاشی) و محلولپاشی در مرحله ساقه رفتن و تحت تنش خشکی (دور آبیاری ۸ روز یکبار) کلروفیل a کمترین میزان را به خود اختصاص داد (شکل ۱). در کلیه تیمارها افزایش دور آبیاری باعث کاهش میزان کلروفیل a شد، اما محلول پاشی گلايسين بتائين هم در مرحله ساقه رفتن و هم قبل از گلدهی باعث کاهش اثرات منفی ناشی از کم آبی بر کلروفیل شد (شکل ۱). تنش کم آبی سبب افزایش رادیکال های آزاد اکسیژن در کلروپلاست شده و تخریب مولکول کلروفیل و غشاء کلروپلاست را در پی دارد. در چنین شرایطی مولکول کلروفیل به یک عامل محافظت کننده نوری برای کاهش اثر مخرب نیاز دارد (۴۲) در غیر این صورت، تخریب کلروفیل توسط گونه های فعال اکسیژن افزایش می یابد. اما افزایش غلظت گلايسين بتائين احتمالاً با افزایش غلظت داخلی آن و

جدول ۲- میانگین مربعات صفات مورد بررسی

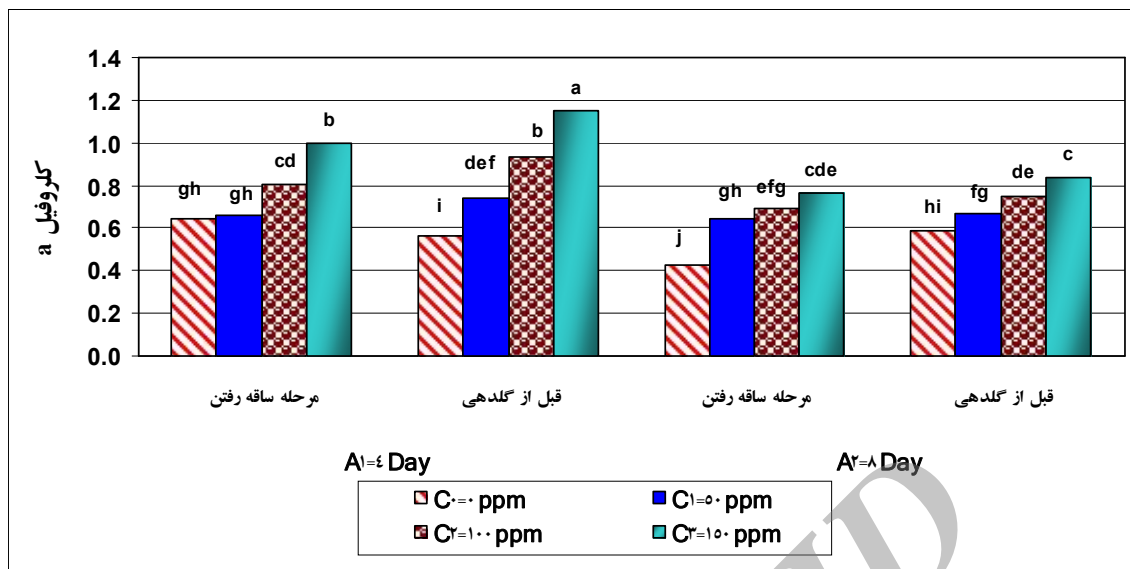
منبع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتینوئید	پرولین
اثر تکرار	۲	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱۶ ^{**}	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۳۲/۶۳ ^{ns}
اثر دور آبیاری (A)	۱	۰/۲۳۹ ^{**}	۰/۰۳۳۹ ^{**}	۰/۰۲۲۰ [*]	۱۰۵۳/۷۷ ^{**}
خطای a	۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۸	۴/۶۹
اثر زمان محلولپاشی (B)	۱	۰/۰۶۵۳ ^{**}	۰/۰۰۶۸ ^{**}	۰/۰۰۴۸ [*]	۵۱۵/۷۰ ^{**}
اثر دور آبیاری × زمان محلولپاشی	۱	۰/۰۰۰۳ ^{**}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۱۵ ^{ns}	۱۰۵/۲۳ [*]
خطای b	۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۶	۱۹/۴۴
اثر غلظت گلايسين بتائين (C)	۳	۰/۳۰۵۹ ^{**}	۰/۰۵۳۸ ^{**}	۰/۰۰۹۵ ^{**}	۷/۵۸ ^{ns}
اثر غلظت گلايسين بتائين × دور آبیاری	۳	۰/۰۴۱۱ [*]	۰/۰۱۱۶ ^{**}	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۱۵/۴۱ [*]
اثر غلظت گلايسين بتائين × زمان محلولپاشی	۳	۰/۰۰۷۳ ^{**}	۰/۰۲۱۹ ^{**}	۰/۰۰۱۹ ^{**}	۵۱/۴۷ ^{**}
اثر غلظت گلايسين بتائين × دور آبیاری × زمان محلولپاشی	۳	۰/۰۲۱۰ ^{**}	۰/۰۰۲۱ ^{**}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۴۹/۳۵ ^{**}
خطای c	۲۴	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۴/۲۸
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۱۱	۴/۶۴	۷/۱۸	۵/۴۱

*** و ** و * بترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد، ns عدم وجود اختلاف معنی دار

جدول ۳- اثرات دور آبیاری، زمان و غلظت محلول پاشی گلايسين بر کلروفیل a، b، کاروتینوئید و پرولین ذرت*

دور آبیاری	کلروفیل a (mg/gFW)	کلروفیل b (mg/gFW)	کاروتینوئید (mg/gFW)	پرولین (mg/gFW)
دور آبیاری				
۴ روز	۰/۸۱۰۷a	۰/۳۸۷۱a	۰/۲۶۵۴۱۷a	۱/۸۵۸b
۸ روز	۰/۶۷۲۰b	۰/۳۳۴۰b	۰/۲۱۱۵۸۳b	۲/۳۷۴a
زمان محلول پاشی				
ساقه رفتن	۰/۷۰۵b	۰/۳۴۹b	۰/۲۳۹b	۲/۱۲۸a
قبل از گلدهی	۰/۷۷۸a	۰/۳۷۲a	۰/۲۵۸a	۲/۱۰۴a
غلظت گلايسين بتائين (ppm)				
صفر	۰/۵۷۴d	۰/۳۸۴b	۰/۲۱۶d	۱/۹۰۴c
۵	۰/۷۰۵c	۰/۳۱۳c	۰/۲۴۰c	۲/۰۲۲b
۱۰۰	۰/۸۴۰b	۰/۳۰۷d	۰/۲۶۷b	۲/۲۳۵a
۱۵۰	۰/۹۹۴a	۰/۴۸۶a	۰/۳۱۱a	۲/۰۵۳ab

* - در هر ستون و برای هر عامل وجود حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری وجود ندارد.



شکل ۱- نمودار میانگین کلروفیل a در اثرات متقابل دور آبیاری، زمان محلولپاشی و غلظت اسید آمینه

کلروفیل b

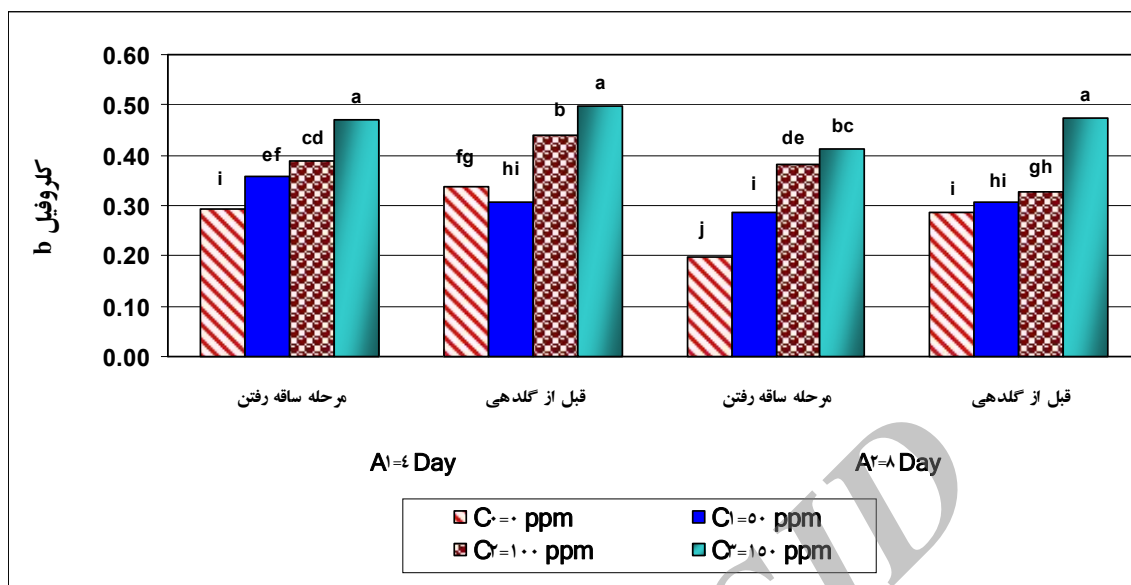
نتایج تجزیه واریانس نشان داد تمامی اثرات بجز اثر متقابل دور آبیاری × زمان محلول پاشی، در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل b معنی دار بود (جدول ۲). اعمال تنش خشکی با دور آبیاری ۸ روز یکبار موجب کاهش معنی دار میزان کلروفیل b از ۰/۳۸۷ به ۰/۳۳۴ میلی گرم در گرم وزن تر شد (جدول ۳). اونسِل و همکاران (۳۴) بیان داشتند که مقدار زیادی از کلروفیل b موجود در کلروپلاست در کمپلکس‌های دریافت کننده نور در فتوسیستم II قرار دارد، که در شرایط تنش، کمپلکس‌های دریافت کننده نور بیشتر آسیب می بینند که موجب کاهش شدید کلروفیل b خواهد شد.

درصد کاهش کلروفیل a در شرایط کم آبی بیشتر از کلروفیل b بود که به طور مشابه بویر و همکاران (۱۱) بیان کردند کلروفیل a حساستر از b است و بیشتر تخریب می شود که به دلیل افزایش فعالیت کلروفیلاز به هنگام تنش خشکی می باشد. گزارش‌های مشابهی مبنی بر کاهش کلروفیل در تنش کم آبی در گیاهان زیتون (*Olea europaea*)، گندم (*Triticum Aestivum*) و بادمجان (*Solanum melongena*) وجود دارد (۲۸)؛ علاوه بر موارد ذکر شده کاهش کلروفیل می تواند به دلیل پیری زودرس برگ‌ها در اثر اختلال هورمونی ناشی از تنش کم آبی باشد (۳).

مقایسه میانگین غلظت‌های مختلف گلاسیسین بتائین نشان داد با افزایش غلظت گلاسیسین بتائین میزان کلروفیل b افزایش معنی داری یافت (شکل ۲). کاربرد گلاسیسین بتائین در غلظت‌های مختلف موجب تجمع گلاسیسین بتائین داخلی شد لذا موجب بهبود وضعیت کلروفیل b گردید. نقش گلاسیسین بتائین در حفظ و تنظیم اسمزی، حفظ تمامیت غشای پلاسمایی و حفظ ساختمان چهارم پروتئین از طریق افزایش تجمع کلروفیل ها و جذب دی اکسید کربن و تسهیل انتقال الکترون و

محافظت از فعالیت پروتئین ها و چربی غشای تیلاکوئیدی در فتوسیستم II را می توان به عنوان یکی از عوامل فیزیولوژیک در برابر تنش دانست (۳۲). این نتایج با تجمع گلاسیسین بتائین تحت تنش خشکی در گیاه پنبه که توسط نایدو و همکاران (۳۳) مورد مطالعه قرارگرفت مطابقت دارد. همچنین در مقایسه دو مرحله کاربرد گلاسیسین، محلول پاشی قبل از گلدهی تأثیر بیشتری در مقایسه با محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن بر میزان کلروفیل b داشت (جدول ۳).

بررسی روند کلروفیل b تحت تاثیر سه عامل کاهش معنی دار میزان کلروفیل b در هر دو مرحله محلول پاشی شد، اما افزایش غلظت‌های گلاسیسین بتائین موجب افزایش معنی دار این صفت در شرایط تنش و بدون تنش شد (شکل ۲). اثر نامطلوب تنش آب بر میزان کلروفیل b موجب کاهش در هر دو مرحله محلول پاشی شد، اما محلولپاشی با غلظت ۱۵۰ ppm در مرحله قبل از گلدهی توانست بر کاهش میزان کلروفیل b غلبه کند و موجب حداکثر میزان این صفت شود تا جایی که با شرایط بدون تنش در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۲). کاربرد غلظت‌های مختلف گلاسیسین بتائین در دو دور آبیاری موجب افزایش معنی دار کلروفیل b در مقایسه با تیمار شاهد (بدون گلاسیسین بتائین) شد. خشکی باعث پیری زودرس گیاهان، شکسته شدن کلروپلاست ها و کاهش میزان کلروفیل می شود. گیاهانی که حساسیت بیشتری به خشکی دارند کمپلکس کلروفیل، پروتئین و لیپید آنها ناپایدارتر می باشد، لذا تنش آب از فعالیت کلروفیل جلوگیری می کند (۲۷). ساتو و همکاران (۳۸) بیان نمودند گلاسیسین بتائین موجب حفظ غشاهای سلولی از خطرات پساایدگی و کاهش مقدار کلروفیل برگ می شود.



شکل ۲- نمودار میانگین کلروفیل b در اثرات متقابل دور آبیاری، زمان محلولپاشی و غلظت اسید آمینه

کاروتینوئید

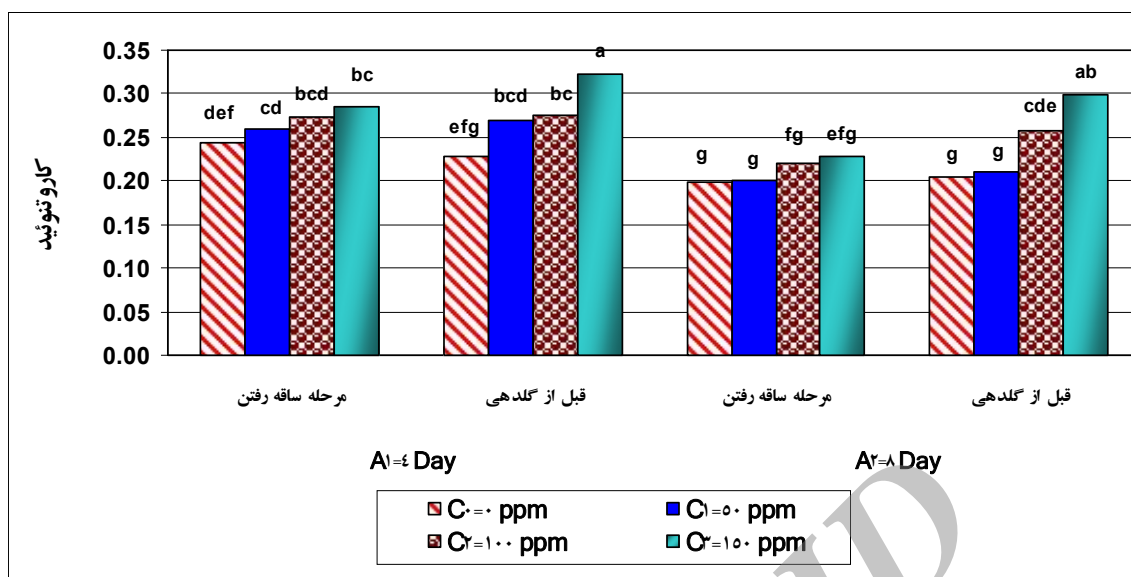
اثر دور آبیاری و زمان محلول پاشی در سطح ۵ درصد و اثر غلظت گلايسين بتائين و اثر متقابل غلظت گلايسين بتائين × زمان محلولپاشی در سطح یک درصد بر میزان کاروتینوئید معنی دار شد و سایر اثرات غیر معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین ها نشان داد که اعمال تنش کم آبی موجب افزایش معنی دار کاروتینوئید شد (جدول ۳). کاروتینوئیدها پلی هیدروکربن های اشباع نشده ای هستند که ساختمان آلیفاتیک-سبکلیک دارند و ۲-۴ درصد وزن خشک کلروپلاست ها را تشکیل می دهد (۲۸). افزایش کاروتینوئیدها به هنگام تنش آب به این علت است که آنها در محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از اکسیداسیون نوری کلروفیل ها موثر می باشند (۲۶).

در تیمار محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن میزان کاروتینوئید کمتر از محلول پاشی در مرحله گلدهی بود. در واقع با رشد بوته و افزایش سطح برگ میزان رنگیزه های برگ افزایش یافته است و ممکن است محلولپاشی در این مرحله این موضوع را تشدید کرده است؛ درصد افزایش این صفت در مرحله دوم محلول پاشی ۷/۳ بود (جدول ۳).

با افزایش غلظت گلايسين بتائين تا ۱۵۰ ppm میزان کاروتینوئید روند افزایشی نشان داد. بطوریکه کمترین میزان در شاهد و بیشترین میزان در غلظت ۱۵۰ ppm گلايسين بتائين مشاهده شد (جدول ۳). از آنجا که گلايسين بتائين به عنوان محافظ اسمز در برابر تنش

خشکی عمل می کند افزایش آن به منظور تنظیم اسمز سلول همراه با افزایش کاروتینوئید که نقش در محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی دارد انجام می گیرد (۲۶). مشابه با نتایج این آزمایش، اثر مثبت گلايسين بتائين روی رنگدانه های فتوسنتزی توسط رضا و همکاران (۳۶) گزارش شده است، به طوریکه آنها گزارش کردند که مصرف برگي گلايسين بتائين موجب تجمع مقادير بالای بتائين شد که به طور عمده مربوط به تعديل اسمز بود، که یک فاکتور مهم برای بهبود ظرفیت فتوسنتزی تحت تنش می باشد. تعديل اسمز یا بهبود وضعیت آبی گیاه به واسطه کاربرد گلايسين بتائين موجب، افزایش هدایت روزنه ای و تثبیت بیشتر دی اکسید کربن شد (۳۶).

مقایسه میانگین اثر دور آبیاری، غلظت گلايسين بتائين و زمان محلولپاشی بر میزان کاروتینوئید نشان داد در شرایط تنش محلولپاشی در زمان قبل از گلدهی در غلظت ۱۵۰ ppm بالاترین مقدار را داشت و کمترین مقادیر در تیمار شاهد در هر دو مرحله محلول پاشی مشاهده شد (شکل ۳). افزایش غلظت گلايسين بتائين خارجی موجب افزایش پیش ماده داخلی آن و افزایش کاروتینوئید به منظور حفظ ساختار و ثبات غشاء و رنگیزه های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می شود (۱۷). با افزایش غلظت گلايسين بتائين همراه با اعمال تنش خشکی، میزان کاروتینوئید افزایش یافت (شکل ۳) که این افزایش به منظور محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از اکسیداسیون نوری کاروتینوئید می باشد (۲۶).



شکل ۳- نمودار میانگین کاروتنوئید در اثرات متقابل دور آبیاری، زمان محلولپاشی و غلظت اسید آمینه

پرولین

اثر دور آبیاری، زمان محلول پاشی و اثرات متقابل غلظت گلایسین بتائین × زمان محلولپاشی و غلظت × دور آبیاری × زمان محلولپاشی در سطح یک درصد و اثرات متقابل اثر دور آبیاری × زمان محلولپاشی و اثر غلظت گلایسین بتائین × دور آبیاری بر میزان پرولین در سطح ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۲). میزان پرولین با اعمال تنش خشکی به گیاه (دور آبیاری ۸ روز یکبار) بطور معنی داری افزایش یافت، این افزایش نسبت به دور آبیاری ۴ روز ۱۵/۳۸ درصد بود (جدول ۳). پرولین به عنوان مخزن ذخیره ای نیتروژن و یا ماده محلولی که پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می دهد، در شرایط تنش غلظت آن نسبت به سایر اسیدهای آمینه افزایش می یابد، و سبب افزایش تحمل گیاه به تنش می شود (۵).

مقایسه غلظت‌های مختلف اسید آمینه گلایسین بتائین نشان داد که بالاترین میزان پرولین را غلظت ۱۵۰ ppm گلایسین بتائین به خود اختصاص داد که از لحاظ آماری اختلافی با غلظت ۱۰۰ ppm نداشت و کمترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳). تاواری و سینگ (۴۳) بیان کردند که افزایش میزان پرولین و قندهای محلول تحت تنش شوری و خشکی ممکن است به علت شکستن پروتئین‌های غنی از پرولین یا به واسطه سنتز مجدد پرولین باشد. در واقع با مصرف گلایسین بتائین بدلیل کاهش اثرات تنش انتظار می رود، تولید پرولین کاهش یابد، اما افزایش پرولین در این آزمایش ممکن است بواسطه شرکت گلایسین در متابولیسم اسیدهای آمینه و در نتیجه افزایش اسیدهای آمینه مرتبط با بیوسنتز پرولین باشد.

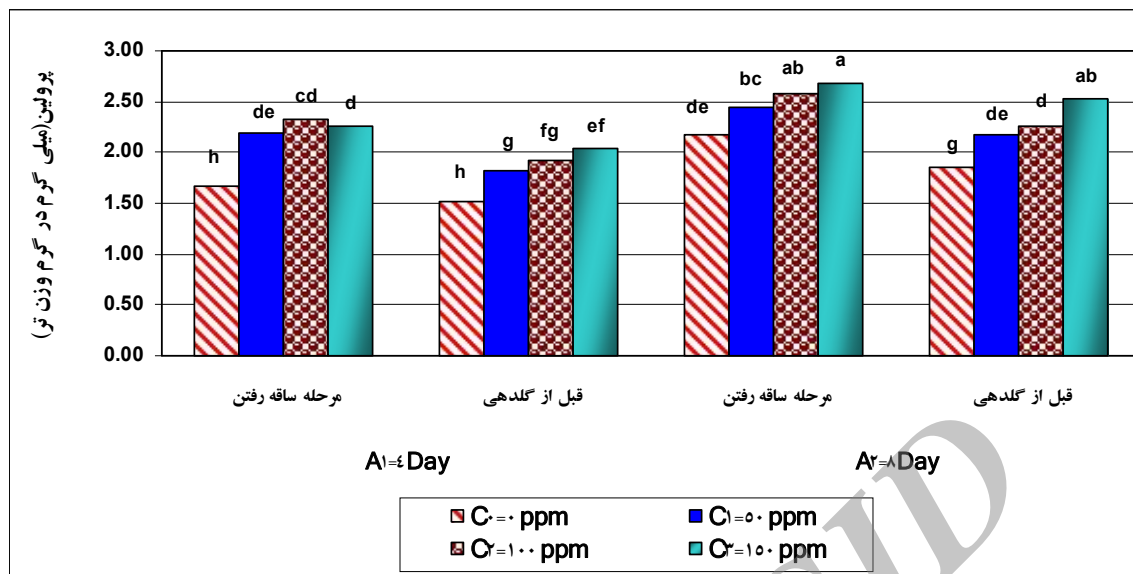
با افزایش دور آبیاری و افزایش غلظت گلایسین بتائین میزان پرولین افزایش یافت (نمودار ۴). علت افزایش میزان پرولین با افزایش

تنش کم آبی، به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیب‌هایی مانند پرولین می باشد، لذا افزایش غلظت گلایسین بتائین خارجی، به منظور تعدیل اسمزی در سلول موجب افزایش پرولین به منظور تخفیف اثر تنش شده است. آلیا و موهانتی (۷) عنوان نمودند که تجمع پرولین با کاهش تولید رادیکال‌های آزاد موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و مانع از تخریب غشاء در شرایط تنش شوری در گیاهچه‌های گونه‌های براسیکا شد.

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر غلظت گلایسین بتائین و اثر متقابل غلظت گلایسین بتائین × زمان محلول پاشی در سطح یک درصد و اثر دور آبیاری، زمان محلولپاشی و اثر متقابل دور آبیاری × زمان محلولپاشی و اثر سه گانه غلظت گلایسین بتائین × دور آبیاری × زمان محلولپاشی در سطح ۵ درصد معنی دار بود. اثر متقابل غلظت گلایسین بتائین × دور آبیاری غیر معنی بود (جدول ۴).

ارتفاع بوته در دور آبیاری ۴ روز بیشتر از ۸ روز بود (جدول ۵). طولانی شدن دور آبیاری و اعمال تنش خشکی موجب کاهش معنی دار ارتفاع بوته به میزان ۸/۳۹ درصد شد. کاهش ارتفاع بوته در اثر تنش کم آبی را می توان ناشی از کوتاه شدن فواصل میانگره های ساقه و کاهش جذب کافی آب و عناصر غذایی دانست (۲۳). تنش رطوبتی سبب کاهش فتوسنتز از طریق بسته شدن روزنه ها می شود. آگبوما (۶) نیز در آزمایش خود کاهش ارتفاع گندم را تحت تنش خشکی گزارش کرد.



شکل ۴- نمودار میانگین پروتئین در اثرات متقابل دور آبیاری، زمان محلولپاشی و غلظت اسید آمینه

علت تماس آن با پروتئینی است که دارای یک لایه جذب آب می‌باشد که موجب تحریک رشد سلول‌ها (۲۴) و افزایش ارتفاع می‌شود. گیبون و همکاران (۱۴) نیز به نتایج مشابه دست یافتند و اعلام نمودند که کاربرد گلايسين بتائين موجب تجمع گلايسين بتائين در داخل سلول به بالای ۹۰۰ میلی‌مول بر گرم ماده خشک یا ۹۰۰ میلی‌مولار در سیتوپلاسم و تعادل در پتانسیل اسمزی شده است.

تعداد دانه در بلال

اثرات اصلی، اثر متقابل دوگانه و سه گانه بر تعداد دانه در بلال معنی دار بود. اثر دور آبیاری، اثر غلظت اسیدآمینه گلايسين بتائين و اثر متقابل غلظت اسیدآمینه و زمان محلولپاشی در سطح یک درصد و سایر اثرات در سطح ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۴). دور آبیاری ۴ روز یکبار نسبت به ۸ روز یکبار تعداد دانه در بلال بیشتری داشت. با افزایش دور آبیاری تعداد دانه در بلال به میزان ۲۲/۹۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵). تحت شرایط تنش قابلیت دسترسی به مواد غذایی، جذب و انتقال مواد دچار اختلال می‌گردد و این امر موجب کاهش تعداد دانه در گیاه می‌شود (۲۵).

محلول پاشی در مرحله قبل از گلدهی تعداد دانه در بلال بیشتری در مقایسه با محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن (۱۰/۰۳ درصد بیشتر) تولید کرد (جدول ۵). از آنجا که تعداد دانه در بلال در مرحله رویشی تعیین می‌شود ولی در مرحله زایشی به علت نیاز آبی بیشتر گیاه برای تکامل دانه گلايسين بتائين از طریق بهبود روابط آبی به موجب تنظیمات روزه ای و کاهش تعرق موجب بهبود رشد دانه و جلوگیری از سقط دانه ها شده است.

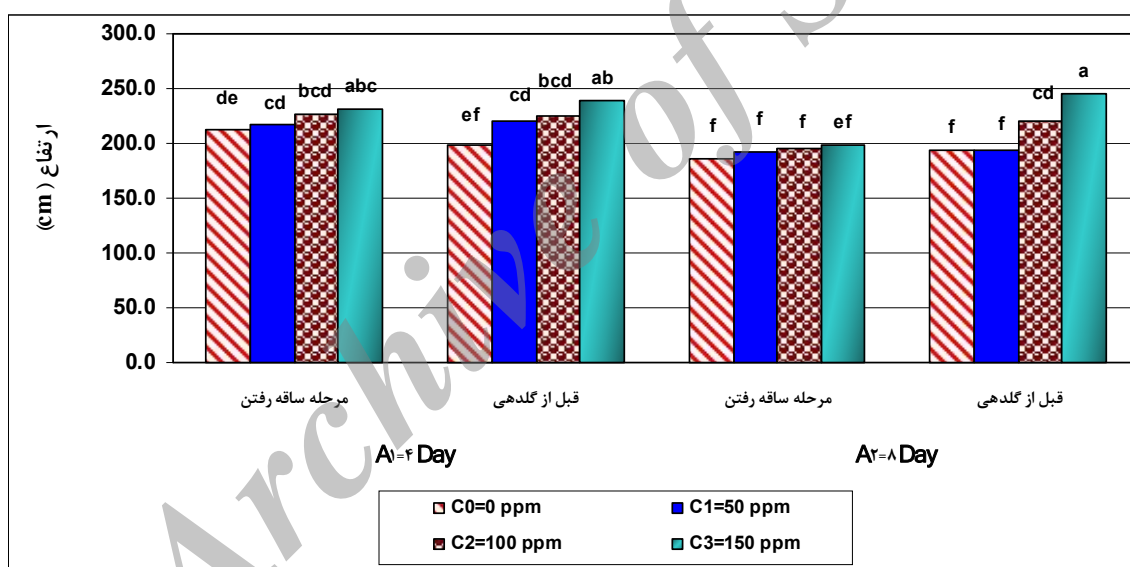
محلول پاشی قبل از گلدهی باعث افزایش ۴/۵ درصدی ارتفاع بوته نسبت به محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن شد (جدول ۵). با افزایش غلظت گلايسين بتائين ارتفاع بوته بطور معنی داری افزایش یافت بطوریکه کمترین میزان در تیمار شاهد (بدون محلولپاشی) و بالاترین میزان در غلظت ۱۵۰ ppm اسید آمینه گلايسين بتائين مشاهده شد (جدول ۵). ارتفاع بوته در سطوح ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ ppm گلايسين بتائين نسبت به شاهد به ترتیب ۴/۰۴، ۵/۵۶ و ۹/۱۳ درصد افزایش نشان داد. گلايسين بتائين به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش فتوسنتز، تورژانس سلولی و به دنبال آن افزایش طول شدن سلول (۲۹) باعث افزایش ارتفاع می‌شود که افزایش غلظت این ماده اثرات مثبت آن را احتمالاً با افزایش غلظت داخلی این ماده تشدید نموده است.

بررسی اثرات متقابل زمان محلول پاشی، غلظت اسید آمینه گلايسين بتائين و دور آبیاری حاکی از برتری هر دو زمان محلولپاشی در دور آبیاری ۴ روزه در سطوح مختلف غلظت اسید آمینه گلايسين بتائين بود. بر اساس مقایسه میانگین انجام شده بیشترین ارتفاع بوته در زمان محلول پاشی قبل از گلدهی با غلظت ۱۵۰ ppm گلايسين بتائين و دور آبیاری ۴ روزه مشاهده شد و کمترین ارتفاع در مرحله محلولپاشی در زمان ساقه رفتن در دور آبیاری ۸ روزه در تمام سطوح غلظت گلايسين بتائين مشاهده شد (شکل ۵). تنش خشکی اعمال شده (دور آبیاری ۸ روزه) موجب کاهش معنی دار ارتفاع بوته شد و محلول پاشی گلايسين بتائين در زمان ساقه رفتن تأثیری در بهبود وضعیت آن نداشت، بطوریکه تمام سطوح گلايسين بتائين به کار رفته با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵). طبق نظر آراکاو و تیماشف (۸) اثر مثبت گلايسين بتائين در شرایط خشکی به

جدول ۴- میانگین مربعات صفات مورد بررسی

منبع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع پوته	تعداد دانه در بلال	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
اثر تکرار	۲	۱۷/۸ ^{ns}	۳۵۹/۸ ^{ns}	۵/۱ ^{ns}	۵۱۷۹۶۹/۹ ^{ns}
اثر دور آبیاری (A)	۱	۴۱۴۴/۱*	۱۴۹۵۹۶/۵**	۳۶۲۲/۷*	۳۲۵۲۶۲۷۸/۱*
خطای a	۲	۸۱/۸	۱۳۵۱/۰	۱۳۴/۰	۷۴۷۲۳۶/۱
اثر زمان محلولپاشی (B)	۱	۱۱۴۰/۷*	۲۴۷۳۵/۳*	۲۲۲۷/۷**	۱۰۷۹۹۶۰۲/۴**
اثر دور آبیاری × زمان محلولپاشی	۱	۱۴۰۸/۳*	۱۰۹۹۰/۷*	۱۰۳۶/۰*	۶۶۳۷۴۷۷/۹*
خطای b	۴	۱۳۶/۴	۱۳۸۱/۰	۸۳/۰	۳۶۲۳۳۴/۵
اثر غلظت گلاسیسین بتائین (C)	۳	۲۰۹۳/۰**	۳۷۱۱۵/۹**	۲۹۰۸/۱**	۱۰۲۴۲۳۳۲/۷**
اثر غلظت گلاسیسین بتائین × دور آبیاری	۳	۱۴۱/۶ ^{ns}	۴۰۷۵/۱*	۸۵/۵ ^{ns}	۱۱۵۰۶۵۵/۳*
اثر غلظت گلاسیسین بتائین × زمان محلولپاشی	۳	۵۲۳/۶**	۸۹۴۳/۹**	۹۳۳/۳**	۵۲۷۹۹۵۴/۸**
اثر غلظت گلاسیسین بتائین × دور آبیاری × زمان محلولپاشی	۳	۲۹۸/۹*	۳۵۱۹/۴*	۲۶۵/۱*	۱۰۳۸۸۶۹/۷*
خطای c	۲۴	۷۹/۵	۱۱۶۸/۳	۸۶/۴	۳۴۳۴۵۵/۱
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۲۰	۷/۹۵	۴/۱۶	۷/۸۱

** و * - بترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد، ns عدم وجود اختلاف معنی دار



شکل ۵- نمودار میانگین ارتفاع در اثرات متقابل دور آبیاری، زمان محلولپاشی و غلظت اسید آمینه

۴ روز یکبار مشاهده شد که با زمان محلولپاشی در مرحله ساقه رفتن و غلظت ۱۵۰ ppm و دور آبیاری ۸ روز یکبار اختلاف آماری معنی داری نداشت و کمترین تعداد دانه در بلال در تمام غلظت‌های گلاسیسین بتائین در مرحله ساقه رفتن و دور آبیاری ۸ روزه مشاهده شد (شکل ۶). اثر تنش خشکی بر گیاه با دور آبیاری ۸ روز یکبار به حدی بود که محلولپاشی در مرحله ساقه رفتن در هیچ یک از غلظت‌های گلاسیسین بتائین جوابگوی صدمه وارده به تعداد دانه در بلال نبود، بطوریکه محلول پاشی و عدم محلول پاشی تفاوتی با هم نداشتند، اما محلول- پاشی با غلظت ۱۵۰ ppm در مرحله قبل از گلدهی موجب بهبود

کاربرد گلاسیسین بتائین در غلظت‌های مختلف موجب افزایش معنی دار تعداد دانه در بلال شد، بطوریکه کمترین میزان به تیمار شاهد اختصاص یافت. غلظت گلاسیسین بتائین ۱۵۰ ppm بالاترین تعداد دانه در بلال را داشت و سطوح ۵۰ و ۱۰۰ ppm در یک گروه آماری قرار گرفته و تفاوت معنی داری بایکدیگر نشان ندادند، اما برتر از شاهد بودند.

در اثرات متقابل زمان محلول پاشی، غلظت گلاسیسین بتائین و دور آبیاری بیشترین تعداد دانه در بلال در تیمار غلظت ۱۵۰ ppm گلاسیسین بتائین در زمان محلول پاشی قبل از گلدهی و دور آبیاری

وزن هزار دانه

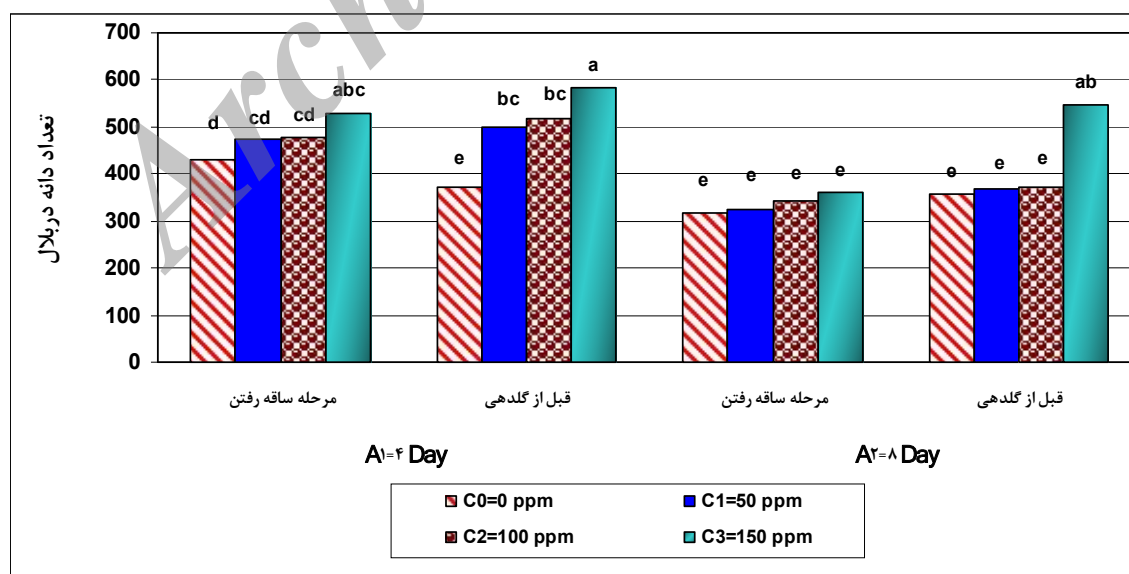
اثر دور آبیاری و زمان محلولپاشی و اثر متقابل سه گانه غلظت اسیدآمین گلايسين بتائين، دور آبیاری و زمان محلولپاشی در سطح ۵ درصد و اثر زمان محلول پاشی، اثر غلظت گلايسين بتائين، اثر متقابل غلظت گلايسين بتائين و زمان محلولپاشی بر وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۴).
وزن هزار دانه با اعمال تنش خشکی با دور آبیاری ۸ روز یکبار کاهش معنی داری یافت، درصد کاهش آن نسبت به دور آبیاری ۴ روز یکبار ۷/۴۹ درصد بود (جدول ۵).

وضعیت تعداد دانه در بلال در شرایط خشکی با اعمال دورآبیاری ۸ روز شد، در حالیکه غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ ppm قادر به این افزایش نبوده و با تیمار بدون محلولپاشی یا شاهد تفاوت معنی داری نشان نداد (شکل ۶). اگرچه تعداد دانه در بلال در مرحله رویشی تعیین می شود، اما کاربرد گلايسين بتائين در مرحله زایشی که گیاه به کم آبی حساس است، موجب کاهش افت شدید رشد دانه‌های بلال در اثر خشکی شده و سقط دانه‌ها کاهش می‌یابد. اقبال و شهاب‌الدین (۲۰) در مطالعه خود روی اثر غلظت‌های مختلف گلايسين بتائين بر عملکرد پنبه اثر مثبت آن را مرتبط با افزایش فشار تورژانس و کارایی مصرف آب گزارش کردند.

جدول ۵- اثرات دور آبیاری، زمان و غلظت محلول پاشی گلايسين بر ارتفاع، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت*

دور آبیاری	ارتفاع بوته (cm)	تعداد دانه در بلال	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (kg/ha)
دور آبیاری ۴ روز	۲۲۱/۶a	۴۸۵/۷a	۲۳۲/۲a	۸۳۰۹/۹a
دور آبیاری ۸ روز	۲۰۲/۱b	۳۷۴/۱b	۲۱۴/۸b	۶۶۸۹/۴b
زمان محلول پاشی				
ساقه رفتن	۲۰۷/۵b	۴۰۷/۲b	۲۱۶/۷b	۷۰۲۵/۵b
قبل از گلدهی	۲۱۷/۲a	۴۵۲/۶a	۲۳۰/۳a	۷۹۷۳/۷a
غلظت گلايسين بتائين (ppm)				
صفر	۱۹۷/۶d	۳۷۰/۳c	۲۰۶/۹c	۶۴۵۹/۳d
۵	۲۰۵/۹c	۴۱۶/۹b	۲۱۶/۶b	۷۰۸۴/۳c
۱۰۰	۲۱۷/۳b	۴۳۷/۸b	۲۲۶/۵b	۷۸۱۲/۲b
۱۵۰	۲۲۸/۶a	۵۰۴/۶a	۲۴۳/۹a	۸۶۴۲/۷a

*- در هر ستون و برای هر عامل وجود حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری وجود ندارد.



شکل ۶- نمودار میانگین تعداد دانه در بلال در اثرات متقابل دور آبیاری، زمان محلولپاشی و غلظت اسید آمینه

که این افزایش در شرایط بدون تنش خشکی در زمان محلول پاشی قبل از گلدهی بیشتر بود، به طوریکه غلظت ۱۵۰ ppm در این زمان بالاترین وزن هزار دانه را داشت. این برتری تا جایی بود که با اعمال تنش خشکی و محلول پاشی قبل از گلدهی این تیمار توانست مانع از کاهش وزن هزار دانه نسبت به شرایط بدون تنش شود، در حالی که محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن و تنش خشکی موجب کاهش وزن هزار دانه شد و کاربرد گلايسين بتائين در هيچ يك از غلظت‌ها قادر به جبران این کاهش نبود (شکل ۷). علت واکنش متفاوت در دو مرحله را می‌توان به توقف رشد رویشی و شروع رشد زایشی و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و ایجاد تورژانس سلولی (۱۹) مربوط دانست. از نظر فیزیولوژیکی، نقش حفاظتی گلايسين بتائين به طور مستقیم از طریق اثر مثبت روی آنزیم‌ها و سیالیت غشاء و به طور غیرمستقیم از طریق نقش آن در انتقال پیام به عنوان یک حفاظت کننده اسمزی، سلول‌ها را از تنش‌های محیطی حفظ می‌کند (۷).

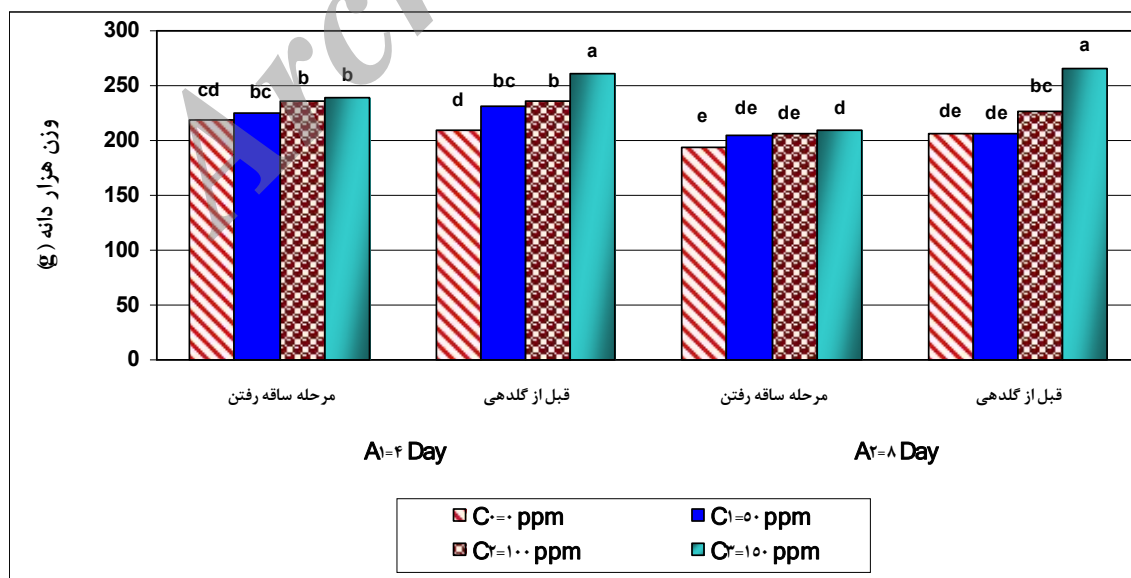
عملکرد دانه

عملکرد دانه بطور معنی داری تحت تأثیر زمان محلول پاشی در غلظت‌های مختلف اسید آمینه گلايسين بتائين و دور آبیاری قرار گرفت (جدول ۴)، بطوری که اثر دور آبیاری، اثر متقابل دور آبیاری و زمان محلول پاشی، اثر متقابل اسید آمینه و دور آبیاری و همچنین اثر متقابل سه گانه غلظت اسید به دور آبیاری زمان محلول پاشی در سطح ۵ درصد و سایر اثرات در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۳).

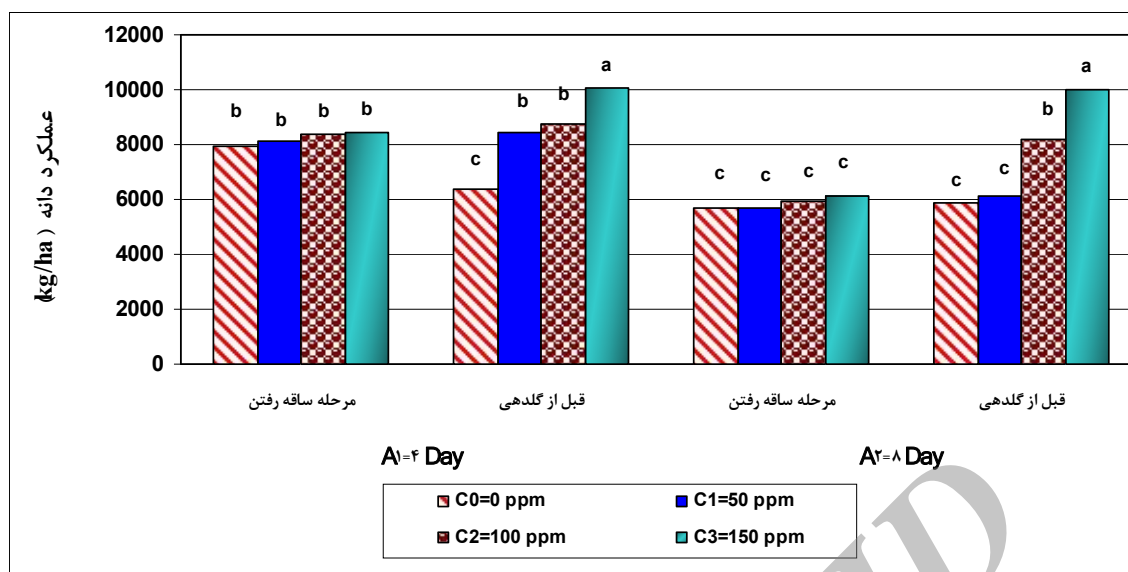
دلیل کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش کم آبی اغلب ناشی از اثرات کمبود آب در مرحله پر شدن دانه است، که در شرایط تنش به دلیل کاهش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی توسط گیاه و کاهش سرعت انتقال مواد به دانه‌ها میزان وزن هزار دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند که نتایج حاصل با تحقیقات پازوکی (۱) مطابقت دارد. فریدریک و همکاران (۱۳) اعلام نمودند که بیشترین اثر تنش خشکی بر وزن هزار دانه، در طی پر شدن دانه اعمال می‌شود. وقتی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، برای این که از اثرات تنش خشکی فرار کند اقدام به کوتاه کردن چرخه زندگی خود می‌کند بنابراین به دلیل کوتاه تر شدن طول دوره پر شدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها کاهش می‌یابد (۱۳).

محلول‌پاشی قبل از گلدهی موجب افزایش معنی دار وزن هزار دانه به میزان ۵/۹۲ درصد نسبت به محلول‌پاشی قبل از ساقه رفتن شد (جدول ۵). واکنش وزن هزار دانه به غلظت‌های مختلف گلايسين بتائين معنی دار بود، بطوریکه کمترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار شاهد و بیشترین میزان در غلظت ۱۵۰ ppm گلايسين بتائين مشاهده شد (جدول ۵). افزایش وزن هزار دانه در این غلظت نسبت به شاهد ۱۵ درصد بود. گلايسين بتائين با بهبود وضعیت آبی گیاه (۲۲) در شرایط خشکی موجب تخصیص میزان بالاتری از مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده، ضمن اینکه منبع غنی از نیتروژن و کربن به منظور رشد بیشتر می‌باشد، لذا سبب افزایش وزن هزار دانه می‌شود.

بررسی اثر کاربرد خارجی غلظت‌های مختلف گلايسين بتائين در زمان‌های محلول پاشی متفاوت و تحت تنش خشکی نشان داد که کاربرد خارجی گلايسين بتائين موجب افزایش وزن هزار دانه در شرایط تنش و بدون تنش خشکی و هر دو مرحله محلول پاشی شد



شکل ۷- نمودار میانگین وزن هزار دانه در اثرات متقابل دور آبیاری، زمان محلول‌پاشی و غلظت اسید آمینه



شکل ۸- نمودار میانگین عملکرد دانه در اثرات متقابل دور آبیاری، زمان محلولپاشی و غلظت اسید آمینه

جذب نور برای فتوسنتز شده است، لذا محلول پاشی در این مرحله تاثیر کمتری بر افزایش عملکرد داشته است، در حالی که محلول پاشی در زمان شروع رشد زایشی با افزایش تورژسانس سلولی و بهبود روابط آبی موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی شده است.

آگبوما و همکاران (۶) مشاهده کردند که در شرایط کمبود آب سطوح گلايسين بتائين درونزاد در گیاه سورگوم (*Surghum bicolor*) در مراحل رویشی و زایشی به ترتیب به ۳۱ و ۶۸ درصد می‌رسد و کاهش مقدار آن در مرحله رویشی به علت پیری برگ‌ها و تجزیه کلروپلاست‌ها می‌باشد و افزایش مجدد آن در مرحله زایشی به علت تولید اسیدهای آمینه طی متابولیسم نیتروژن می‌باشد. تنش خشکی با کاهش محتوای نسبی آب برگ، افزایش آبسزیک اسید و عدم فتوسنتز کافی برای مواد پرورده مورد نیاز دانه موجب کاهش عملکرد دانه شد در حالی که افزایش غلظت‌های گلايسين بتائين با حفظ ظرفیت فتوسنتزی و ساختار غشا در برابر تنش خشکی و موجب بهبود عملکرد دانه شد (۲۹). به طور مشابه، نایدو و همکاران (۳۳) گزارش کردند که گلايسين بتائين عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus*) را به طور معنی‌داری افزایش داد.

نتیجه گیری

اعمال تنش خشکی با طولانی تر شدن دور آبیاری موجب کاهش معنی دار کلروفیل a، کلروفیل b، ارتفاع نهایی، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، اجزای عملکرد و افزایش میزان پرولین و کاروتینوئید شد. محلول پاشی در هر دو زمان قبل از ساقه رفتن و قبل از گلدهی با افزایش غلظت‌های گلايسين بتائين موجب تخفیف اثرات تنش خشکی شد، هرچند محلول پاشی با غلظت ۱۵۰ ppm در زمان قبل از

دور آبیاری ۴ روز یکبار بطور معنی‌داری عملکرد دانه بالاتری نسبت به دور آبیاری ۸ روز یکبار نشان داد، بطوریکه درصد افزایش آن ۱۹/۵ درصد بود (جدول ۵). تنش خشکی در دور آبیاری ۸ روز یکبار موجب اثرات سوء بر عملکرد دانه شد. رشد سلول حساس‌ترین فرآیند گیاه تحت تنش خشکی است؛ به این علت که فشار تورژسانس به عنوان نیروی فیزیولوژیکی موثر برای توسعه سلول می‌باشد (۲۳). از طرفی تنش آب بر تقسیم سلول و توسعه سلول اثر می‌گذارد و احتمالاً کاهش در تقسیم سلولی به دلیل اثرات کمبود آب روی فعالیت‌های سنتزی از قبیل ساخت DNA و RNA و مواد جداره سلولی می‌باشد (۱۶).

محلول پاشی قبل از گلدهی عملکرد دانه بیشتری نسبت به محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن تولید کرد، به طوری که این درصد افزایش به میزان ۱۱/۸۸ درصد رسید (جدول ۵). غلظت ۱۵۰ ppm اسید آمینه گلايسين بتائين بیشترین عملکرد دانه را داشت در حالیکه کمترین میزان عملکرد دانه در تیمار شاهد مشاهده شد. کاربرد گلايسين بتائين بر عملکرد دانه روند افزایشی داشت، بطوریکه میزان افزایش در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ ppm نسبت به شاهد به ترتیب ۸/۸۲، ۱۷/۳۱ و ۲۵/۲۶ درصد بود (جدول ۵).

بررسی اثر متقابل سه گانه برتری عملکرد دانه را در تیمار محلول پاشی شده با غلظت ۱۵۰ ppm گلايسين بتائين در مرحله قبل از گلدهی و دور آبیاری ۴ روز یکبار نشان داد. در حالیکه کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار محلول پاشی شده در مرحله ساقه رفتن و دور آبیاری ۸ روز یکبار در تمام سطوح اسید آمینه به کار رفته بود (شکل ۸). بر طبق نتایج مشاهده می‌شود اثر نامطلوب تنش خشکی بر مرحله رویشی شدیدتر از زایشی می‌باشد به این دلیل که موجب کاهش تجمع ماده خشک از طریق کوچک شدن برگ‌ها و کاهش

گیاه در شرایط تنش دیده شده است. در کل می توان غلظت ۱۵۰ ppm را قبل از گلدهی در کاهش اثرات تنش خشکی در دور آبیاری ۸ روز یکبار پیشنهاد داد.

گلدهی نسبت به سایر تیمارها برتری داشت، اما در زمان قبل از ساقه رفتن شدت تنش خشکی به حدی بود که کمترین مقادیر را در این زمان به خود اختصاص داد. افزایش پرولین و کاروتینوئید با افزایش غلظت گلیسین بتائین به منظور تعدیل اسمزی داخل سلولی و بقای

منابع

- ۱- پازوکی، ع. ۱۳۷۹. بررسی و اندازه گیری اثر تنش آب بر ویژگی های فیزیولوژیک و شاخص های مختلف مقاومت به خشکی دو رقم کلزا. رساله دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
- ۲- حیدری شریف آباد، ح. ۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. ۳۴-۳۶.
- ۳- کافی، م. م. لاهوتی، ا. زند، ح. ظریفی و م. گلدانی. ۱۳۸۹. فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). جلد دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۵۲-۵۳.
- ۴- میرمحمدی میبیدی، ع. م. و ب. قره یاضی. ۱۳۸۱. جنبه های فیزیولوژیک و بهنژادی تنش شوری گیاهان. چاپ اول. انتشارات گلبن. ص ۲۴-۱۹.
- 5- Agarwal, S., and V. Pandey. 2004. Antioxidant enzyme response to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. Plant Biol. 48: 555-560.
- 6- Agboma, M., M. G. K. Jones, P. Peltonen-Sainio, H. Rita, and E. Pehu. 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.
- 7- Alia, P. S., and P. Mohanty. 1993. Proline in relation to free radical production in seedlings of *Brassica juncea* raised under sodium chloride stress. Plant and Soil. 155/156: 497-500.
- 8- Arakawa, T., and S. N. Timasheff. 1983. Preferential interactions of proteins with solvent components in aqueous amino acid solutions. Archives of Biochemistry and Biophysics. 224: 169-177.
- 9- Ashraf, M., and M. R. Foolad. 2007. Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycinebetaine and proline. Environmental and Experimental Botany. 59: 206-216.
- 10- Bohnert, H. J., and R. G. Jensen. 1996. Metabolic engineering for increased salt tolerance-the next step. Australian journal of Plant Physiology. 23: 661-666.
- 11- Boyer, J. S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. Plant Physiology. 46:233-235.
- 12- Bressan, R. A., D. E. Nelson, N. M. Iraki, P. C. La Rosa, N. K. Singh, P. M. Hasegawa, and N. C. Carpita. 1990. Reduced cell expansion and changes in cell walls of plant cells adapted to NaCl. In: F. Katterman, (Ed.). Environmental injury to plants. Academic Press, San Diego. 137-171.
- 13- Fredrick, J. R., F. E. Below, and J. D. Hesketh. 1990. Carbohydrate, nitrogen and dry matter accumulation and partitioning of maize hybrids under drought stress. Annals of Botany. 66: 407-415.
- 14- Gibon, Y., A. Bessieres M., and Larher F. 1997. Is glycinebetaine a non compatible solute in higher plants do not accumulate it? Plants, Cell and Environment. 20: 329-340.
- 15- Gorham, J. 1995. Betaines in higher plants biosynthesis and role in stress metabolism. In: Amino Acids and Their Derivatives in Higher Plants, (ed.) R. M. Wallsgrave., Cambridge University Press., Cambridge., PP. 171-203.
- 16- Grainier, C., and F. Tardieu. 1999. Water deficit and spatial pattern of leaf development. Plant Physiology. 119: 609-619.
- 17- Harinasut, P., K. Tsutsui, T. Takabe, M. Nomura, and S. Kishitani. 1996. Exogenous glycine betaine accumulation and increased salt tolerance in rice seedlings. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 60: 366-368.
- 18- Heuer, B. 1994. Osmoregulatory role of proline in water and salt stressed plants, in: M. Pessaraki (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker, New York. 363-381.
- 19- Iqbal, N., M. Ashraf, and M. Y. Ashraf. 2008: Glycinebetaine, an osmolyte of interest to improve water stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.): water relations and yield. South African Journal of Botany. 74: 274-281.
- 20- Iqbal, M., and A. Shababuddin. 2006. Effect of different doses of glycinebetaine and time of spray application on yield of cotton (*Gossypium Hirsutum* L.). J. Res. Bahauddinn Zakariya University, Multan, Pakistan. 17: 241- 245.
- 21- Irrigoyen, J. J., D. W. Emerich, and D. M. Sanchez. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum. 84: 55-60.
- 22- Ismail, A. M., and A. E. Hall. 1999. Reproductive-stage heat tolerance, leaf membrane thermostability and plant morphology in cowpea. Crop Science. 39: 1762-1768.

- 23- Kirnak, C., I. Kaya, and D. Higgs. 2001. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in egg plants. *Plant Physiology*. 27: 34-46.
- 24- Kumar, V. and D. R. Sharma. 1989. Effect of exogenous proline on growth and ion content in NaCl stressed and nonstressed cells of mungbean, *Vigna radiata* var. radiate. *Indian Journal of Experimental Biology*. 27: 813- 815.
- 25- Lauer, J. 2003. What happens within the corn plant when Drought occurs? *Corn Agronomist*. 10(22): 153-155.
- 26- Lawlor, D. W., and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plants, Cell and Environment*. 25:275 – 294.
- 27- Lawlor, D. W., and H. Fock. 1977. Water stress induced changes in the amounts of Photosynthetic assimilation products and respiratory metabolites of sunflower leaves. *Journal of Experimental Botany*. 28:329-337.
- 28- Loggini, B., A. Scartazza, E. Brugnoli, and F. Navari-Izzo. 1999. Antioxidative defense system pigment composition and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant Physiology*. 119:1091-1100.
- 29- Ma, X. L., Y. J. Wang, S. L. Xie, C. Wang, and W. Wang. 2007. Glycinebetaine application ameliorates negative effects of drought stress in tobacco. *Russian Journal of Plant Physiology*. 54: 472-479.
- 30- Makela, P., P. Peltonen-Sainio, K. Jokinen, E. Pehu, H. Setälä, R. Hinkkanen, and S. Somersalo. 1996. Uptake and translocation of foliar applied glycinebetaine in crop plants. *Plant Science*. 121: 221- 230.
- 31- Meek, C. R., and D. M. Oosterhuis. 1999. Effects of foliar application of glycine betaine on field-grown cotton. *In: D.M. Oosterhuis (ed.) Proc. 1999 Cotton Research Meeting and Summaries of Research in Progress*. University of Arkansas Agricultural Experiment Station Special Report. 193:103-105.
- 32- Murata, N., P. S. Mohanty, H. Hayashi, and G. C. Papageorgiou. 1992. Glycinebetaine stabilizes the association of extrinsic proteins with the photosynthetic oxygen-evolving complex. *FEBS Lett*. 296:187-189.
- 33- Naidu, B. P., D. F. Cameron, and S. V. Konduri. 1998. Improving stress tolerance and productivity of plants by a biochemical approach in agronomy and plant breeding. *In: Proceedings of the IX Australian Agronomy Conference, Wagga Wagga, Australia*. 355-358.
- 34- Oncel, I., Y. Keles and A. S. Ustun. 2000. Interactive of temperature and heavy metal stress on the growth and some biological compounds in wheat seedling. *Environmental Pollution* 107: 315-320.
- 35- Pessaraki, M. 1994. *Plant and Crop Stress. Handbook*, Marcel Dekker, New York.
- 36- Reza, S. H., H. U. R. Athar, and M. Ashraf. 2006. Influence of exogenously applied glycinebetaine on the photosynthetic capacity of two differently adopted wheat cultivars under salt stress. *Pakistan Journal of Botany*. 38: 241-251.
- 37- Rhodes, D., P. J. Rich, A. C. Myers, C. C. Reuter, and G. C. Jamieson. 1987. Determination of betaines by fast atom bombardment mass spectroscopy. *Plant Physiology*. 84: 781-788.
- 38- Sato, F., H. Yoshioka, T. Fujiwara, H. Higashio, A. Urugami, and S. Tokuda. 2004. Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temperature storage in darkness. *Science Horticulture*. 101: 349-357.
- 39- Serraj, R., and T. R. Sinclair. 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plants, Cell and Environment*. 25: 333-341.
- 40- Sharp, R. E., E. S. Ober, and Y. Wu. 1993. Regulation of root growth at low water potentials. *In: M. B. Jackson, and M. B. Black, (Eds). Interacting stresses on plants in a changing climate*. Springer - Verlag, Berlin. 557-572.
- 41- Smirnov, N., and G. R. Stewart. 1985. Stress metabolites and their role in coastal plants. *Vegetation*. 62: 273-278.
- 42- Takamiya, K. I. T., H. Tsuchiya, and D. Ohta. 2000. Degradation pathway (s) of chlorophyll: What has gene cloning revealed? *Trends Plant Science*. 5: 426-431.
- 43- Tewari, T. N., and B. B. Singh. 1991. Stress studies in lentil (*Lens esculenta* Moench). II. Sodicity-induced changes in chlorophyll, nitrate, nitrite reductase, nucleic acids, proline, yield, and yield components in lentil. *Plant and Soil*. 135: 225-250.
- 44- Yang, W. J., P. J. Rich, J. D. Axtell, K. V. Wood, C. C. Bonham, G. Ejeta, M. V. Mickelbart, and D. Rhodes. 2003. Genotypic variation for glycine betaine in sorghum. *Crop Science*. 43:162-169.