نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۲، شماره ۴ ، زمستان ۱۳۹۳، ص. ۷۱۷-۷۰۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 12, No. 4, Winter. 2015, p. 704-717

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

حمید رضا میری[1*] - علی ضمانی مقدم[2]

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 گلایسین 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 گلایسین بتائین (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ ppm) و عامل فرعی دوم زمان محلولپاشی (مرحله ساقه رفتن ۴ برگی و قبل از گلدهی۸ برگی) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سه عامل بر تمامی صفات به‌جز 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،کلروفیلb ، 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 گلایسین بتائین موجب بهبود شرایط تنش در دو مرحله نمونه برداری (۴و ۸ برگی) شد به طوریکه 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 گلایسین بتائین قبل از گلدهی در شرایط تنش و بدون تنش خشکی توانست میزان کلروفیل a،کلروفیلb ، شاخص سطح برگ، ارتفاع نهایی بوته، عملکرد دانه و اجزای عملکرد، و وزن هزار دانه را بهبود بخشد. در نهایت، می توان گفت مصرف گلایسین 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

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 هوائی 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، راهکارهائی را 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[3] است که به منظور موازنه تعدیل اسمزی واکوئلی 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[4] 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

۱و۲- دانشیار و دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان
(*- نویسنده مسئول: (Email: hmiri6@gmail.com

3 - Osmotic adjustment
4 - Compatible solutes

صدمات ناشی از تنش توسط تعدیل اسمزی، تثبیت ساختار پروتئین‌های کلیدی مانند رابیسکو و حفظ دستگاه فتوسنتزی می‌باشد. بنابراین، به علت این‌که برخی از این ترکیبات اجزای سلولی را از صدمه پسابیدگی[1] (از دست دادن آب) حفظ می‌کنند، به آنها تنظیم کننده‌های اسمزی[2] می‌گویند.

یک دسته از مواد آلی سازگار و رایج بتائین‌ها می‌باشند که معمولترین و فراوان‌ترین آن‌ها در گیاهان گلایسین‌بتائین است. گلایسین‌بتائین 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، گلایسین‌بتائین را به عنوان یک تعدیل کننده اسمزی در سلول‌های خود افزایش می‌دهند (۳۰). گلایسین‌بتائین هم‌چنین در بسیاری دیگر از گیاهان زراعی از جمله اسفناج، جو، گندم و سورگوم در واکنش به تنش‌ها افزایش می‌یابد (۴۴). با توجه به این‌که همه گیاهان گلایسین‌بتائین 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 گلایسین‌بتائین 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 گلایسین‌بتائین روی رشد و عملکرد گیاهان زراعی تحت تنش گزارش شده است (۶). هاریناسوت و همکاران، (۱۷) نشان دادند که کاربرد خارجی گلایسین-بتائین در برنج از صدمه به فتوسیستم II در شرایط شوری جلوگیری می‌کند. ماکلا و همکاران (۳۰) ابراز داشتند که با مصرف خارجی، گلایسین‌بتائین سریعاً به داخل برگ‌های گیاهی نفوذ کرده و بلافاصله به ریشه‌ها، مریستم‌ها و برگ‌های توسعه یافته منتقل می‌شود و اندام-های گیاهی در حال نمو و توسعه را از تنش حفظ می‌کند. علاوه بر این مشاهده شده است که گلایسین‌بتائین 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 گلایسین‌بتائین 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 گلایسین‌بتائین کمپلکس فتوسیستم II و سنتز ATP را بر علیه اثرات بازدارنده کلرید سدیم حفظ می‌کند.

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

استان فارس یکی از مهمترین تولید کننده‌های ذرت (*Zea maize*) در کشور است، از طرفی کمبود آب و تنش خشکی در زراعت ذرت یکی از مهمترین عوامل محدود کننده می باشد. با توجه به کمبود اطلاعات در رابطه واکنش ذرت به اثرات تنش خشکی در شرایط کشور ایران، آزمایش حاضر به منظور بررسی اثرات گلایسین بتائین بر افزایش تحمل خشکی ذرت در استان فارس طراحی و اجرا شد.

مواد و روش ها

این آزمایش طی سال ۱۳۹۰ در مزرعه ای واقع در روستای چایدشت در ۵ کیلو متری شهرستان فیروزآباد واقع در استان فارس با عرض جغرافیایی ´۵۲ °۲۸ و طول جغرافیایی ´۳۶ °۵۲ 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 می شود. خصوصیات خاک مزرعه آزمایشی بر اساس نمونه برداری انجام شده قبل از اجرای آزمایش در جدول ۱ ارایه 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 ۴روز و ۸ روز یک مرتبه) زمان محلول پاشی گلایسین بتائین به عنوان عامل فرعی در دو سطح (ابتدای ساقه رفتن و قبل از گلدهی) و غلظت محلول پاشی گلایسین بتائین به عنوان عامل فرعی فرعی در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ppm) 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 گلیسین بتائین بود. همچنین غلظت ها 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.

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

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. کرت های آزمایش به طول ۵/۴ متر و عرض ۴/۵ متر انتخاب و هر کرت آزمایش شامل ۶ خط کاشت و فاصله خط ها از یکدیگر ۷۰ سانتی متر و فاصله بوته روی ردیف ها ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۱ متر و فاصله بلوک ها از یکدیگر سه متر بود. کاشت ذرت رقم ۷۰۴ در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱۰ انجام شد.

آبیاری اول بلافاصله بعداز کاشت انجام شد و آبیاری های بعدی تا مرحله استقرار بوته ها (حدود ۳-۲ برگی) هر ۴ روز یکبار و پس از آن بر اساس تیمارها انجام گرفت. آبیاری بوسیله نوارهای سوپر دریپ به صورت قطره ای انجام گرفت و در هر جوی یک عدد نوار سوپر دریپ قرار داشت. پس از کشت وجین علف های هرز به‌صورت دستی انجام شد. اندازه گیری صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتینوئید و پرولین با نمونه برداری در مرحله گلدهی به صورت زیر بود (اندازه گیری ها روی آخرین برگ کاملا 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 شیماتزو100 ساخت ژاپن) انجام شد و برای تهیه منحنی استاندارد از غلظت‌های ۳۱/۲۵ ، ۶۲/۵ ، ۱۲۵ و۲۵۰ میکرومول بر لیتر استفاده شد و با استفاده از فرمول زیر میزان پرولین بر حسب Mm/kgDW به‌دست آمد:

Mmol/kgDW=(µmol prolin/lit)×173/ DW(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.

Chlorophyll a = 12.7(663) – 2.69(645) × v/1000×w

Chlorophyll b = 22.9(645) – 4.69(663) × v/1000×w

Carotenoides = 100(A470) + 3.27(mg chl. a) - 104(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 (با شمار ۱۰۰۰ دانه تصادفی) و ارتفاع بوته (در ۲۰بوته 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 میانگین ها 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، غلظت های مختلف گلایسین بتائین و اثر متقابل غلظت‌های گلایسین بتائین× زمان محلول پاشی، دورآبیاری × زمان محلولپاشی و دور آبیاری× غلظت ×زمان محلول پاشی در سطح یک درصد و اثر غلظت گلایسین 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 ۱۵۰ppm میزان کلروفیل از ۰/۵۷۴ به ۰/۹۹۴ میلی گرم در گرم وزن تر افزایش یافت (جدول ۳). به نظر می رسد افزایش غلظت گلایسین 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 گلایسین‌بتائین 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 کلروفیلa نشان داد که در شرایط

بدون تنش خشکی (آبیاری ۴ روز) محلولپاشی قبل از گلدهی با غلظت ۱۵۰ppm گلایسین بتائین، بیشترین میزان کلروفیلa 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 گلایسین بتائین 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 رادیکال‌های 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 غیراین صورت، تخریب کلروفیل توسط گونه های فعال اکسیژن افزایش می یابد. اما افزایش غلظت گلایسین بتائین احتمالا با افزایش غلظت داخلی آن و ممانعت 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 گلایسین‌بتائین را به میزان ۵-۲ میکرو مول برگرم بر وزن تازه می‌باشند (۳۷). لذا کاربرد خارجی گلایسین بتائین موجب افزایش غلظت داخلی آن شد. مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که گلایسین بتائین باعث پایداری و استحکام ساختارها و فعالیت‌های آنزیمی و ترکیبات پروتئینی می شود و پایداری دیوارۀ سلولی در مقابل اثرات آسیب رسانی بیش از حد نمک، سرما، گرما و یخزدگی از جمله فعالیت‌های آن به شمار می رود (۱۵).

جدول ۲- میانگین مربعات صفات مورد بررسی

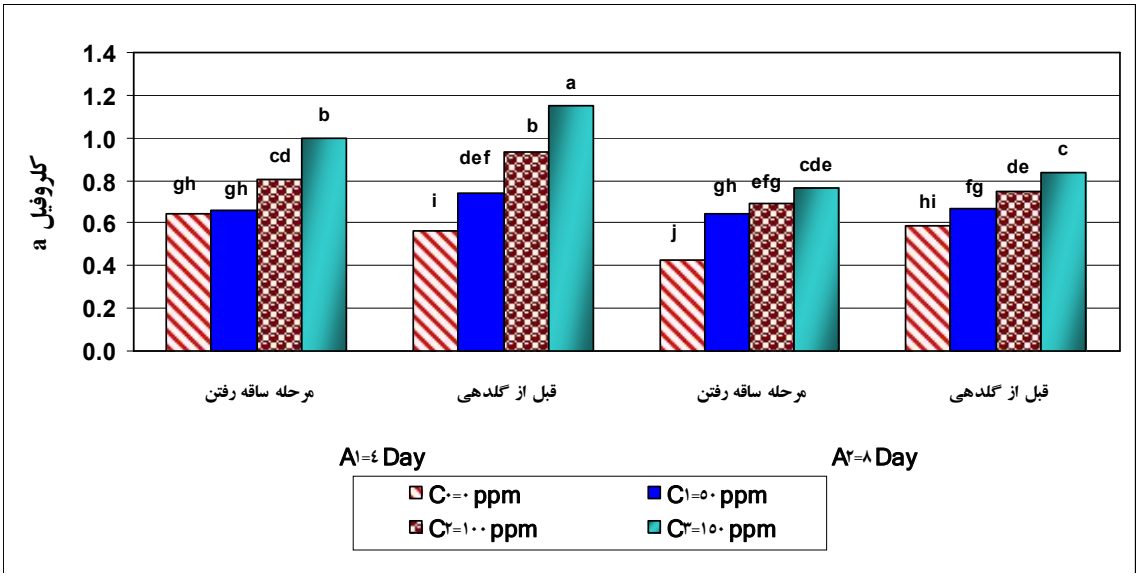
منبع تغییر	درجه آزادی	کلروفیلa	کلروفیلb	کاروتینوئید	پرولین
اثر تکرار	۲	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱۶ **	۰/۰۰۰۶ ns	۳۲/۶۲ ns
اثر دور آبیاری (A)	۱	۰/۲۳۰۹ **	۰/۰۳۳۹ **	/۰۲۲۰ *	۱۰۵۳/۷۷ **
خطای a	۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۸	۴/۶۹
اثر زمان محلولپاشی (B)	۱	۰/۰۶۵۳ **	۰/۰۰۶۸ **	۰/۰۰۴۸ *	۵۱۵/۷۰ **
اثر دور آبیاری ×زمان محلولپاشی	۱	۰/۰۰۰۳ **	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۱۵ ns	۱۰۵/۲۴ *
خطای b	۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۶	۱۹/۴۴
اثر غلظت گلایسین بتائین (C)	۳	۰/۳۰۵۹ **	۰/۰۵۳۸ **	۰/۰۰۹۵ **	۷/۵۸ ns
اثر غلظت گلایسین بتائین× دور آبیاری	۳	۰/۰۴۱۲ *	۰/۰۱۱۶ **	۰/۰۰۰۴ ns	۱۵/۴۱ *
اثر غلظت گلایسین بتائین × زمان محلولپاشی	۳	۰/۰۰۷۳ **	۰/۰۲۱۹ **	۰/۰۰۱۹ **	۵۱/۴۷ **
اثر غلظت گلایسین بتائین × 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*- بترتیب معنی داری در سطح ۵ و۱ درصد، ns عدم وجود اختلاف معنی دار

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

	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 گلایسین بتائین (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

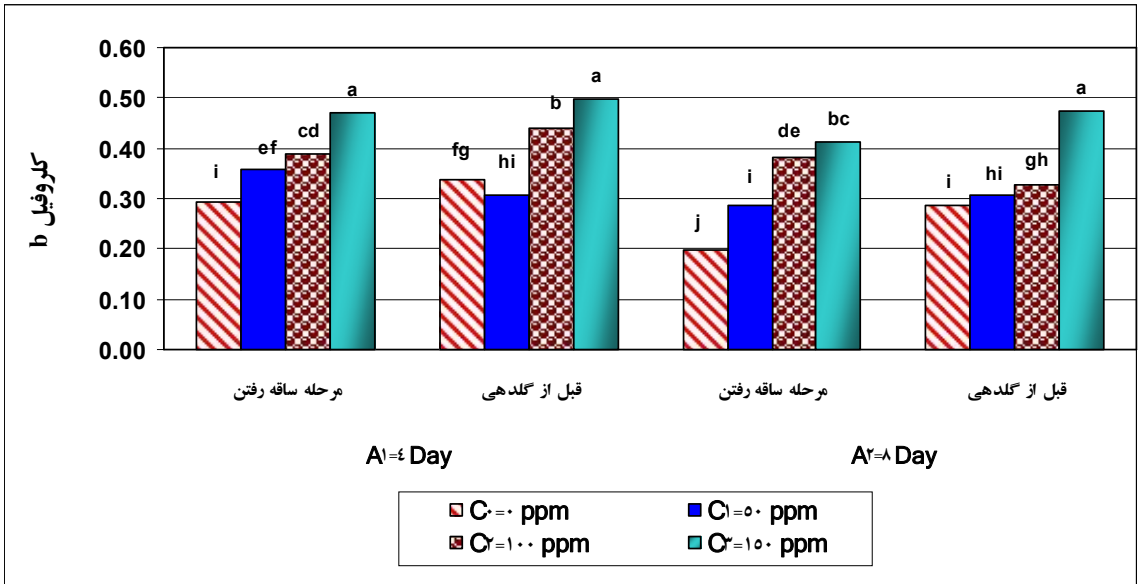
کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تمامی اثرات بجز اثـر متقابـل دور آبیاری× زمان محلول پاشی، در سطح احتمال یک درصـد بـر میـزان کلروفیل b معنی دار بود (جدول ۲). اعمال تنش خشکی با دور آبیاری ۸ روز یکبار موجب کاهش معنی دار میزان کلروفیـل b از ۰/۳۸۷ بـه ۰/۳۳۴ میلی گرم در گرم وزن تر شد (جـدول ۳). اونسـل و همکـاران (۳۴) بیان داشتند که مقدار زیادی از کلروفیل b موجود در کلروپلاست در کمپلکس های دریافت کننده نور در فتوسیستم II قرار دارد، که در شرایط تنش، کمپلکس های 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 کلروفیـل b بود که به طور مشابه بویر و همکاران (۱۱) بیـان کردنـد کلروفیـل a حساستر از b است و بیشتر تخریب می‌شود که به دلیل افزایش فعالیت کلروفیلاز به هنگام تنش خشکی می باشد. گزارش‌های مشابهی مبنی بر کـاهش کلروفیـل در تـنش کـم آبـی در گیاهـان زیتـون (*Olea europaea*)، گندم (*Triticum Aestivum*) و بادمجـان (*Solanum melongena*) وجود دارد (۲۸)؛ علاوه بـر مـوارد ذکـر شـده کـاهش کلروفیل می‌تواند به دلیـل پیـری زودرس بـرگ‌هـا در اثـر اخـتلال هورمونی ناشی از تنش کم آبی باشد (۳).

مقایسه میانگین غلظت های مختلف گلایسین بتائین نشان داد با افزایش غلظت گلایسین بتائین میزان کلروفیل b افزایش معنی داری یافت (شکل۲). کاربرد گلایسین بتائین در غلظت‌های مختلف موجب تجمع گلایسین بتائین داخلی شد لذا موجب بهبود وضعیت کلروفیل b گردید. نقش گلایسین بتائین در حفظ و تنظیم اسمزی، حفظ تمامیـت غشای پلاسمایی و حفظ ساختمان چهارم پروتئین از طریـق افـزایش تجمع کلروفیل ها و جذب دی اکسیدکربن و تسهیل انتقال الکترون و محافظـت از فعالیـت پـروتئین هـا و چربـی غشـای تیلاکوئیـدی در فتوسیستم II را می‌توان به عنوان یکی از عوامل فیزیولوژیک در برابر تنش دانست (۳۲). این نتایج با تجمع گلایسین بتائین تحـت تـنش خشکی در گیاه پنبه که توسط نایدو و همکـاران (۳۳) مـورد مطالعـه قرارگرفـت مطابقـت دارد. همچنـین در مقایسـه دو مرحلـه کـاربرد گلایسین، محلول پاشی قبل از گلدهی تأثیر بیشـتری در مقایسـه بـا محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن بر میزان کلروفیل b داشت (جدول ۳).

بررسی روند کلروفیل b تحت تاثیر سه عامـل کـاهش معنـی دار میزان کلروفیلb در هر دو مرحلـه محلـول پاشـی شـد، امـا افـزایش غلظت‌های گلایسین بتائین موجب افزایش معنـی دار ایـن صـفت در شرایط تنش و بدون تنش شد (شکل ۲). اثـر نـامطلوب تـنش آب بـر میزان کلروفیل b موجب کاهش در هر دو مرحله محلول پاشـی شـد، اما محلولپاشی با غلظت ۱۵۰ ppm در مرحله قبل از گلدهی توانسـت بر کاهش میزان کلروفیل b غلبه کند و موجـب حـداکثر میـزان ایـن صفت شود تا جایی که با شرایط بدون تنش در یک گروه آماری قـرار گرفت (شکل ۲). کاربرد غلظت‌های مختلـف گلایسـین بتـائین در دو دور آبیاری موجب افزایش معنی دار کلروفیـلb در مقایسـه بـا تیمـار شاهد (بدون گلایسـین بتـائین) شـد. خشـکی باعـث پیـری زودرس گیاهان، شکسته شدن کلروپلاسـت هـا و کـاهش میـزان کلروفیـل می‌شود. گیاهانی که حساسیت بیشتری بـه خشـکی دارنـد کمـپلکس کلروفیل، پروتئین و لیپید آنها ناپایدارتر مـی باشـد، لـذا تـنش آب از فعالیت کلروفیل جلوگیری می کند (۲۷). ساتو و همکـاران (۳۸) بیـان نمودند گلایسین بتـائین موجـب حفـظ غشـاهای سـلولی از خطـرات پسابیدگی و کاهش مقدار کلروفیل برگ می شود.



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

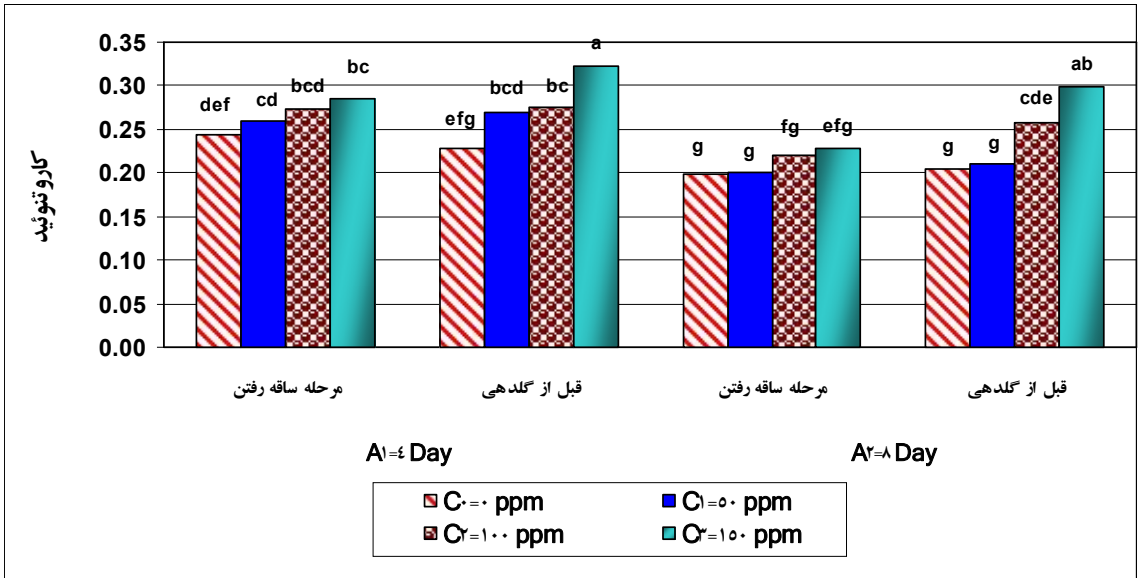
کاروتینوئید

اثر دور آبیاری و زمان محلول پاشی در سطح ۵ درصد و اثر غلظت گلایسین بتائین و اثر متقابل غلظت گلایسین بتائین× 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 نشده‌ای هستند که ساختمان آلیفاتیک-سیکلیک دارند و ۴-۲ 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 می‌باشند (۲۶).

در تیمار محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن میزان کاروتینوئید کمتر از محلول‌پاشی 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 گلایسین بتائین تا ۱۵۰ppm میزان کاروتینوئید روند افزایشی نشان داد، بطوریکه کمترین میزان در شاهد و بیشترین میزان در غلظت ۱۵۰ppm گلایسین بتائین مشاهده شد (جدول ۳). از آنجا که گلایسین بتائین به عنوان محافظ اسمزی در برابر تنش خشکی عمل می کند افزایش آن به منظور تنظیم اسمزی سلول همراه با افزایش کاروتینوئید که نقش در محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی دارد انجام می‌گیرد (۲۶). مشابه با نتایج این آزمایش، اثر مثبت گلایسین بتائین روی رنگدانه‌های فتوسنتزی توسط رضا و همکاران (۳۶) گزارش شده است، به طوریکه آنها گزارش کردند که مصرف برگی گلایسین بتائین موجب تجمع مقادیر بالای بتائین شد که به طور عمده مربوط به تعدیل اسمزی بود، که یک فاکتور مهم برای بهبود ظرفیت فتوسنتزی تحت تنش می‌باشد. تعدیل اسمزی یا بهبود وضعیت آبی گیاه به واسطه کاربرد گلایسین‌بتائین موجب، افزایش هدایت روزنه‌ای و تثبیت بیشتر دی اکسید کربن شد (۳۶).

مقایسه میانگین اثر دور آبیاری، غلظت گلایسین بتائین و زمان محلولپاشی بر میزان کاروتینوئید نشان داد در شرایط تنش محلولپاشی در زمان قبل از گلدهی در غلظت ۱۵۰ppm بالاترین مقدار را داشت و کمترین مقادیر در تیمار شاهد در هر دو مرحله محلول پاشی مشاهده شد (شکل ۳). افزایش غلظت گلایسین بتائین 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 گلایسین بتائین 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 می‌باشد (۲۶).



شکل ۳- نمودار میانگین کاروتینوئید 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 دورآبیاری 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 می‌یابد، و سبب افزایش تحمل گیاه به تنش می شود (۵).

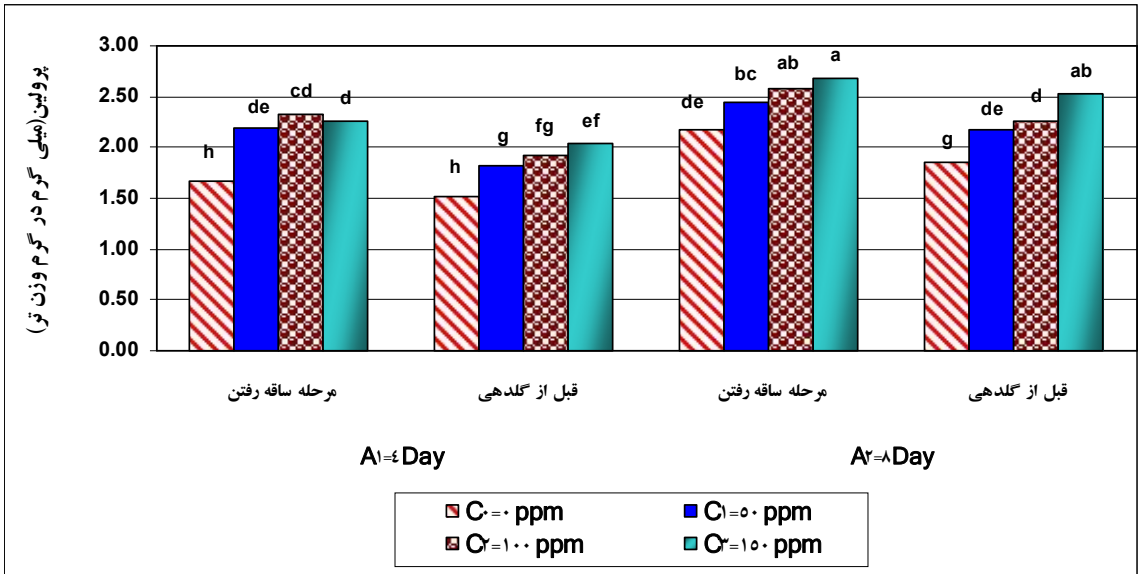
مقایسه غلظت‌های مختلف اسیدآمینه گلایسین بتائین نشان داد که بالاترین میزان پرولین را غلظت ۱۵۰ppm گلایسین بتائین به خود اختصاص داد که از لحاظ آماری اختلافی با غلظت ۱۰۰ppm نداشت و کمترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳). تاواری و سینگ (۴۳) بیان کردند که افزایش میزان پرولین و قندهای محلول تحت تنش شوری 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 افزیش 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× دورآبیاری× 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 ٤- نمودار میانگین پرولین در اثرات متقابل دور آبیاری، زمان محلولپاشی و غلظت اسید آمینه

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 گلایسین بتائین ارتفاع بوته بطور معنی داری افزایش یافت بطوریکه کمترین میزان در تیمار شاهد (بدون محلولپاشی) و بالاترین میزان در غلظت ppm ۱۵۰ اسید آمینه گلایسین بتائین مشاهده شد (جدول ۵). ارتفاع بوته در سطوح ۵۰،۱۰۰،۱۵۰ ppm گلایسین بتائین نسبت به شاهد به ترتیب ۴/۰۴، ۵/۵۶ و ۹/۱۳ درصد افزایش نشان داد. گلایسین بتائین به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش فتوسنتز، تورژسانس سلولی و به دنبال آن افزایش طویل شدن سلول (۲۹) باعث افزایش ارتفاع می‌شود که افزایش غلظت این ماده اثرات مثبت آن را احتمالا با افزایش غلظت داخلی این ماده تشدید نموده است.

بررسی اثرات متقابل زمان محلول پاشی، غلظت اسید آمینه گلایسین بتائین و دور آبیاری حاکی از برتری هر دو زمان محلولپاشی در دورآبیاری ۴ روزه در سطوح مختلف غلظت اسید آمینه گلایسین بتائین بود. بر اساس مقایسه میانگین انجام شده بیشترین ارتفاع بوته در زمان محلول پاشی قبل از گلدهی با غلظت ۱۵۰ppm گلایسین بتائین 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 گلایسین بتائین مشاهده شد (شکل ۵). تنش خشکی اعمال شده (دور آبیاری ۸ روزه) موجب کاهش معنی دار ارتفاع بوته شد و محلول پاشی گلایسین بتائین در زمان ساقه رفتن تأثیری در بهبود وضعیت آن نداشت، بطوریکه تمام سطوح گلایسین بتائین به کار رفته با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵). طبق نظر آراکاوا و تیماشف (۸) اثر مثبت گلایسین‌بتائین در شرایط خشکی به علت تماس آن با پروتئینی است که دارای یک لایه جذب آب می‌باشد که موجب تحریک رشد سلول‌ها (۲۴) و افزایش ارتفاع می شود. گیبون و همکاران (۱۴) نیز به نتایج مشابه دست یافتند و اعلام نمودند که کاربرد گلایسین‌بتائین موجب تجمع گلایسین‌بتائین 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

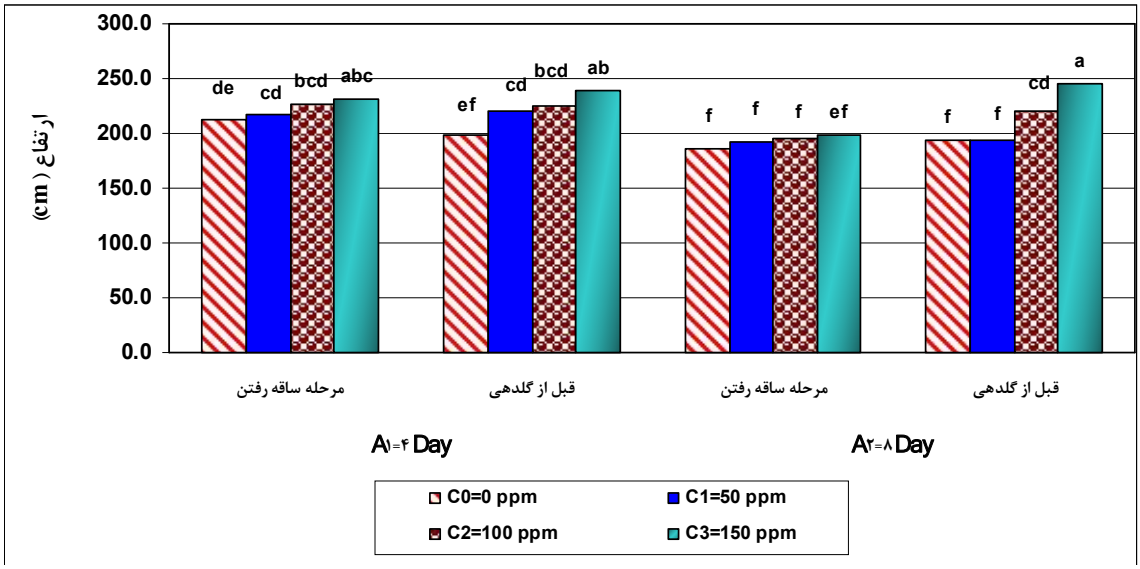
اثرات اصلی، اثر متقابل دوگانه و سه گانه بر تعداد دانه در بلال معنی دار بود. اثر دور آبیاری، اثر غلظت اسیدآمینه گلایسین بتائین و اثر متقابل غلظت اسیدآمینه و زمان محلولپاشی در سطح یک درصد و سایر اثرات در سطح ۵درصد معنی دار بود (جدول ۴). دور آبیاری ۴ روز یکبار نسبت به ۸ روز یکبار تعداد دانه در بلال بیشتری 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 می گردد 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 می شود ولی در مرحله زایشی به علت نیاز آبی بیشتر گیاه برای تکامل دانه گلایسین بتائین از طریق بهبود روابط آبی به موجب تنظیمات روزنه ای و کاهش تعرق موجب بهبود رشد دانه و جلوگیری از سقط دانه ها شده است.

جدول ٤- میانگین مربعات صفات مورد بررسی

منبع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	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	۱۲۴/۰	۷۴۷۷۲۶/۱
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 گلایسین بتائین (C)	۳	۲۰۹۳/۰**	۳۷۱۱۵/۹**	۲۹۰۸/۱**	۱۰۲۴۲۳۶۲/۷**
اثر غلظت گلایسین بتائین× دور آبیاری	۳	۱۴۱/۶^{ns}	۴۰۷۵/۱*	۸۵/۵^{ns}	۱۱۵۰۶۵۵/۲*
اثر غلظت گلایسین بتائین × زمان محلولپاشی	۳	۵۲۳/۶**	۸۹۴۳/۹**	۹۳۳/۲**	۵۲۷۹۹۵۴/۸**
اثر غلظت گلایسین 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 و۱ درصد، ns عدم وجود اختلاف معنی دار



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

کاربرد گلایسین بتائین در غلظت های مختلف موجب افزایش معنی دار تعداد دانه در بلال شد، بطوریکه کمترین میزان به تیمار شاهد اختصاص یافت. غلظت گلایسین بتائین ۱۵۰ppm بالاترین تعداد دانه در بلال را داشت و سطوح ۵۰ و ۱۰۰ppm 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 گلاسین بتائین و دور آبیاری بیشترین تعداد دانه در بلال در تیمار غلظت ۱۵۰ppm گلایسین بتائین در زمان محلول پاشی قبل از گلدهی و دور آبیاری ۴روز یکبار مشاهده شد که با زمان محلولپاشی در مرحله ساقه رفتن و غلظت ۱۵۰ppm و دورآبیاری ۸ روز یکبار اختلاف آماری معنی داری نداشت و کمترین تعداد دانه در بلال در تمام غلظت های گلایسین بتائین در مرحله ساقه رفتن و دورآبیاری 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 گلایسین 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 ۱۵۰ppm در مرحله قبل از گلدهی موجب بهبود

وضعیت تعداد دانه در بلال در شرایط خشکی با اعمال دورآبیاری ۸ روز شد، در حالیکه غلظت‌های۵۰ و۱۰۰ 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 گلایسین بتائین 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 شباب‌الدین (۲۰) در مطالعه خود روی اثر غلظت‌های مختلف گلایسین‌بتائین بر عملکرد پنبه اثر مثبت آن را مرتبط با افزایش فشار تورژسانس و کارایی مصرف آب گزارش کردند.

وزن هزار دانه

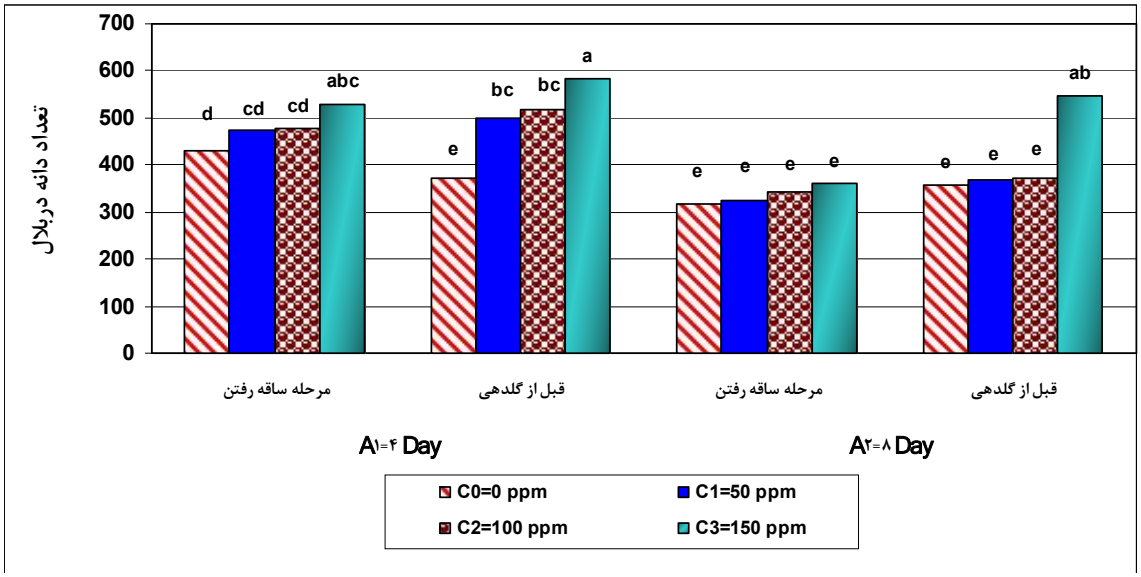
اثر دور آبیاری و زمان محلولپاشی و اثر متقابل سه گانه غلظت اسیدآمینه گلایسین بتائین، دور آبیاری و زمان محلولپاشی در سطح ۵ درصد و اثر زمان محلول پاشی، اثر غلظت گلایسین بتائین، اثر متقابل غلظت گلایسین بتائین و زمان محلولپاشی بر وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۴).

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).

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

	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
۸ روز	۲۰۳/۱b	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 گلایسین بتائین (ppm)				
صفر	۱۹۷/۶d	۳۷۰/۳c	۲۰۶/۹c	۶۴۵۹/۳d
۵	۲۰۵/۹c	۴۱۶/۹b	۲۱۶/۶b	۷۰۸۴/۳c
۱۰۰	۲۱۷/۳b	۴۲۷/۸b	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 ٦- نمودار میانگین تعداد دانه در بلال در اثرات متقابل دور آبیاری، زمان محلولپاشی و غلظت اسید آمینه

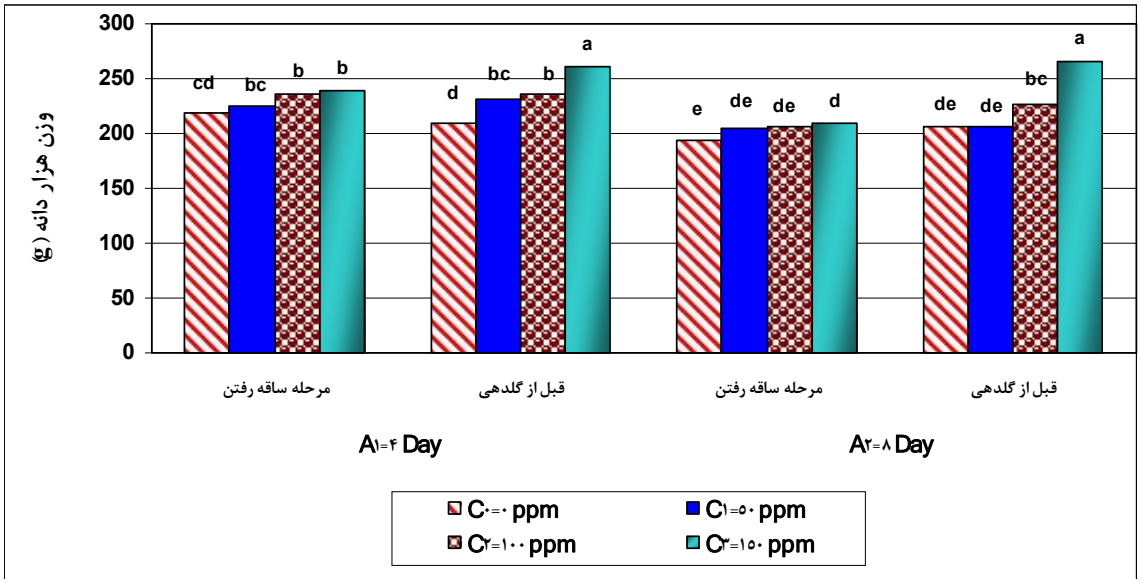
دلیل کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش کم آبی اغلب ناشی از اثرات کمبود آب در مرحله پر شدن دانه است، که در شرایط تنش به دلیل کاهش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی توسط گیاه و کاهش سرعت انتقال مواد به دانه ها میزان وزن هزار دانه را تحت تاثیر قرار می دهند که نتایج حاصل با تحقیقات پازوکی (۱) مطابقت دارد. فریدریک 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 می گیرد، برای این که از اثرات تنش خشکی فرار کند اقدام به کوتاه کردن چرخه زندگی خود می کند بنابراین به دلیل کوتاه تر شدن طول دوره پر شدن دانه، وزن نهایی دانه ها 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 گلایسین بتائین معنی دار بود، بطوریکه کمترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار شاهد و بیشترین میزان در غلظت ۱۵۰ppm گلایسین بتائین مشاهده شد (جدول ۵). افزایش وزن هزار دانه در این غلظت نسبت به شاهد ۱۵درصد بود. گلایسین بتائین 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 می باشد، لذا سبب افزایش وزن هزار دانه می‌شود.

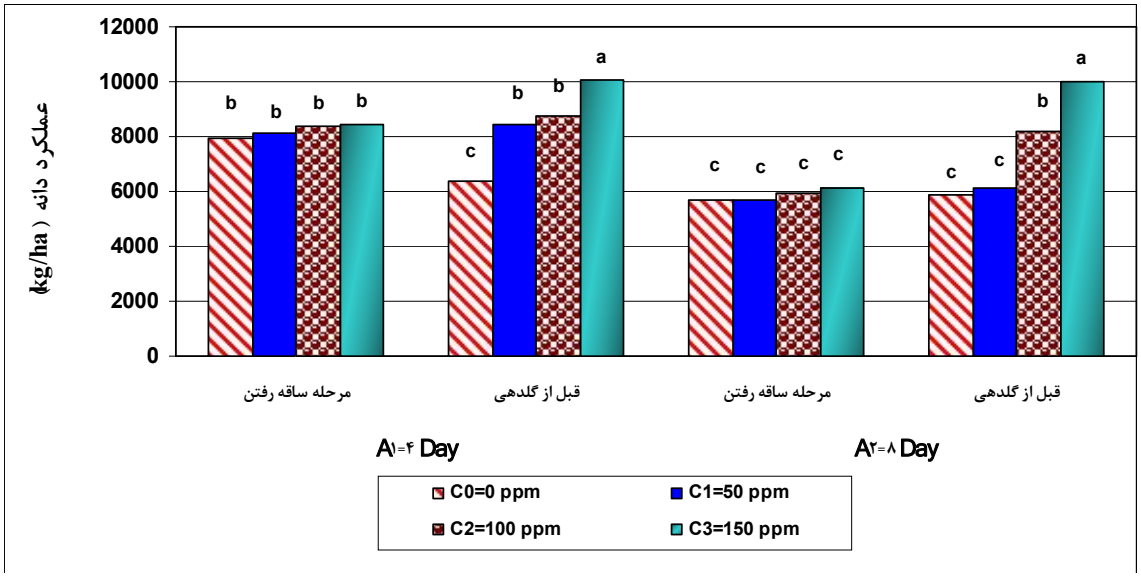
بررسی اثر کاربرد خارجی غلظت‌های مختلف گلایسین بتائین در زمان های محلول پاشی متفاوت و تحت تنش خشکی نشان داد که کاربرد خارجی گلایسین بتائین موجب افزایش وزن هزار دانه در شرایط تنش و بدون تنش خشکی و هر دو مرحله محلول پاشی شد که این افزایش در شرایط بدون تنش خشکی در زمان محلول پاشی قبل از گلدهی بیشتر بود، به طوریکه غلظت ۱۵۰ppm 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 گلایسین بتائین در هیچ یک از غلظت‌ها قادر به جبران این کاهش نبود (شکل ۷). علت واکنش متفاوت در دو مرحله را می توان به توقف رشد رویشی و شروع رشد زایشی و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و ایجاد تورژسانس سلولی (۱۹) مربوط دانست. از نظر فیزیولوژیکی، نقش حفاظتی گلایسین‌بتائین 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 گلایسین بتائین و دور آبیاری قرار گرفت (جدول ۴)، بطوری که اثر دورآبیاری، 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).



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

دور آبیاری ۴ روز یکبار بطور معنی داری 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 ppm ۱۵۰ اسیدآمینه گلایسین بتائین بیشترین عملکرد دانه را داشت در حالیکه کمترین میزان عملکرد دانه در تیمار شاهد مشاهده شد. کاربرد گلایسین بتائین بر عملکرد دانه روند افزایشی داشت، بطوریکه میزان افزایش در غلظت های 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 ppm۱۵۰ گلایسین بتائین 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 می شود اثر نامطلوب تنش خشکی بر مرحله رویشی شدیدتر از زایشی می باشد به این دلیل که موجب کاهش تجمع ماده خشک از طریق کوچک شدن برگ‌ها و کاهش 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 گلایسین بتائین 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 می باشد 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 گلایسین بتائین 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 گلایسین‌بتائین 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 گلایسین بتائین موجب تخفیف اثرات تنش خشکی شد، هرچند محلول پاشی با غلظت ppm۱۵۰ در زمان قبل از

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 گلایسین بتائین به منظور تعدیل اسمزی داخل سلولی و بقای گیاه در شرایط تنش دیده شده است. در کل می توان غلظت ppm۱۵۰ را قبل از گلدهی در کاهش اثرات تنش خشکی در دور آبیاری ۸ روز یکبار پیشنهاد داد.

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- میرمحمدی‌میبدی، ع. م. و ب. قره‌یاضی. ۱۳۸۱. جنبه‌های 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 NaCI. 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. Wallsgrove., 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, Biotechnolgy and Biochemistry. 60: 366–368.

18- Heuer, B. 1994. Osmoregulatory role of proline in water and salt stressed plants, in: M. Pessarakli (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 does of glycinebetaine and time of spray application on yield of cotton (*Gossypium Hirstum* 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 Photosynthentic 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 effiency 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. Setala, 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- Pessarakli, M. 1994. Plant and Crop Stress. Handbook, Marcel Deckker, 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 Botaby. 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. Uragami, and S. Tokuda. 2004. Physiologycal responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temprature 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- Smirnoff, 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.