Archive of SID

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 8, No. 6, Jan. – Feb. 2011, p. 939-945

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۸، شماره ۶ ، بهمن - اسفند ۱۳۸۹، ص ۹۴۵-۹۳۹

تأثیر کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین در افزایش تحمل به سرما در گیاهچه‌های ذرت (*Zea mays* L.)

سمیرا علی[۱]- سید وحید اسلامی[۲*]- محمد علی بهدانی[۳]- مجید جامی‌الاحمدی[۴]

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۵
تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۲۵

چکیده

گلایسین‌بتائین به عنوان یکی از حفاظت کننده های اسمزی، نقش مهمی را در تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی ایفا می کند. به منظور ارزیابی تأثیر پاشش برگی گلایسین‌بتائین بر افزایش تحمل به سرما در گیاه ذرت، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت سطح پاشش گلایسین‌بتائین (صفر، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) انجام شد. گیاهچه‌های ذرت در مرحله دو تا سه برگی با غلظت‌های موردنظر گلایسین-بتائین پاشش شده و پس از پاشش جهت اعمال تنش سرمازدگی به مدت سه روز در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از اتمام اعمال تیمار سرمایی، گیاهان به دمای اتاق (۵ ± ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) منتقل شدند. نتایج نشان داد سطوح پاشش ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین به لحاظ ظاهری در رتبه بالاتری نسبت به سایر سطوح بودند و دمای پایین را بهتر تحمل نمودند. همچنین محتوای کلروفیل و وزن خشک ریشه و ساقه در گیاهان پاشش شده در این دامنه از غلظت گلایسین‌بتائین (۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار)، افزایش معنی‌داری را نسبت به تیمار عدم کاربرد آن نشان دادند. با این وجود، پاشش گلایسین بتائین در دامنهٔ غلظتی ۱۰ تا ۵۰ میلی‌مولار به خوبی از نشت الکترولیت کاسته و افزایش بیشتر غلظت آن منجر به افزایش معنی‌دار نشت الکترولیت گردید. در کل، پاشش برگی گلایسین‌بتائین سبب بهبود نسبی تحمل به سرمازدگی در گیاهچه‌های ذرت شد.

واژه‌های کلیدی: تنش سرمازدگی، محتوای کلروفیل، نشت الکترولیت

مقدمه

خسارت ناشی از سرما در مراحل حساس رشد و نمو گیاهان یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد گیاهان زراعی در سطح جهان است (۲۷). بسیاری از گونه‌های گیاهی به‌ویژه گونه‌های مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری مانند ذرت، گوجه فرنگی، خیار، سویا و پنبه، زمانی‌که در معرض سرمازدگی (درجه حرارت‌های کم، ولی بالای صفر درجه سانتی‌گراد) قرار می‌گیرند آسیب می‌بینند (۱). سرمازدگی موجب ضایعات در بافت‌ها، سلول‌ها و اندام‌های این گیاهان می‌شود. کاهش محصول ناشی از کاهش میانگین دما به میزان یک درجه سانتی‌گراد در حدود ۴۰ درصد بر آورد گردیده است (۲). ایلکر و همکاران (۱۳) کندی رشد ذرت در سرما را به دلیل کاهش ساخت کلروفیل اعلام کردند و این پدیده در آهستگی تبدیل رنگ سبز برگ به زرد قابل رؤیت است. یکی از واکنش‌های معمول در سلول‌های گیاهی که در نتیجه افزایش تجمع محلول‌های آلی در سیتوپلاسم روی می‌دهد تنظیم اسمزی[۵] 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 سرعت توسعه خود کمک می‌کند (۴). تنظیم اسمزی در گیاهان از طریق تولید انواع مختلفی از محلول‌های آلی سازگار[۶] (اسمولیت‌ها) صورت می‌گیرد (۲۴) این اسمولیت های سازگار نظیر پلیول ها، پرولین و گلایسین‌بتائین نیز در افزایش تحمل اثرات کمبود آب ناشی از تنش شوری، خشکی و سرما موثر هستند (۲۲). گلایسین‌بتائین [(CH3)3N+CH2COO-] معمولترین محلول آلی سازگار می‌باشد که در میکروارگانیسم‌های مختلف، گیاهان عالی و حیوانات وجود داشته و از بین بسیاری از ترکیبات آمونیوم چهارگانه شناخته‌شده بیشترین و فراوانترین ترکیب در پاسخ به تنش پسابیدگی[۷] در گیاهان می‌باشد (۱۶ و ۳۰). غلظت

۱، ۲، ۳ و۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
(*- نویسنده مسئول: Email: seyed.eslami@alumni.adelaide.edu.au)

5 - Osmotic adjustment
6 - Compatible solutes
7 - Desiccation

www.SID.ir

Archive of SID

گلایسین‌بتائین در گونه هایی که این ماده به عنوان محلول اسمزی عمل می‌کند، متغیر است به طوری که، سطوح گلایسین‌بتائین در سورگوم بالاتر از ذرت گزارش شده است که به علت ناتوانی تبدیل کولین به بتائین آلدئید در ذرت، در مرحله اول سنتز گلایسین‌بتائین می‌باشد (۱۲). استعمال خارجی گلایسین‌بتائین به لحاظ اقتصادی، در موارد بسیاری توانسته به گیاهان فاقد توانائی تجمع گلایسین‌بتائین در کاهش اثرات سوء تنش‌های محیطی کمک کند (۵ و ۱۴). نتایج بررسی های مختلف نشان می دهد که کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین در محدوده ۲۵۰-۱۰ میلی‌مولار سبب افزایش عملکرد تحت تنش کمبود آب می شود، حتی اگر گیاه مورد نظر به عنوان یک گیاه تجمع دهنده آن عمل نماید (۶). نتایج بررسی های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که بتائین سبب محافظت غشای سلول‌های ریشه در مقابل تخریب ناشی از گرما می‌شود (۱۱). هاریناسوت و همکاران (۹) نشان دادند که پاشش برگی گلایسین‌بتائین از صدمه به فتوسیستم دو در شرایط شوری جلوگیری می‌کند. همچنین، پاشش برگی گلایسین-بتائین روی گیاهان آرابیدوپسیس دمای انجماد را از ۳/۱- به ۴/۵- درجه سانتی گراد کاهش داد (۲۹). به طور مشابه، کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین، تحمل به دماهای پایین را در دو رقم گوجه فرنگی افزایش داد (۲۵). راجاشکار و همکاران گزارش کردند اسپری گلایسین‌بتائین به میزان دو میلی‌مولار تحمل به سرما را در برگهای توت فرنگی بیش از دو برابر تا ۷۲ ساعت بعد از استعمال افزایش داد و به علاوه موجب بقا در یخ زدگی و رشد مجدد در تمام گیاهان شد (۲۰). یافته های اخیر نیز نشان می‌دهد که مهندسی گیاهان برای افزایش بیان این ترکیب در گیاهانی نظیر آرابیدوپسیس، برنج و توتون سبب افزایش تحمل به تنش سرما و حفظ فعالیت فتوسنتزی در دماهای پایین شده است (۱۰). در کل، با وجود نقش گلایسین‌بتائین به عنوان تخفیف دهنده اثرات تنش، مکانیسم‌های حفاظتی آن بر علیه تنش سرما کمتر شناخته شده است، بدین منظور این آزمایش با هدف بررسی تأثیر کاربرد برگی گلایسین‌بتائین بر افزایش تحمل به سرمای گیاهان ذرت در مرحله ۲ تا ۳ برگی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۷ در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمار سطوح مختلف گلایسین‌بتائین و در سه تکرار بر روی گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ (Sc704) انجام شد. کشت بذور در گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع یازده و قطر هشت سانتی‌متر حاوی خاک لوم شنی انجام گرفت. گیاهچه‌ها به مدت دو هفته در شرایط آزمایشگاه (۵ ± ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) رشد یافتند. محلول‌های گلایسین‌بتائین در غلظت‌های صفر (آب مقطر)، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به حجم ۵۰ میلی‌لیتر تهیه شده و بر روی برگ‌های گیاهان در مرحله ۲ تا ۳ برگی پاشش شد. یک روز بعد از کاربرد خارجی، گیاهان در داخل اتاقک رشد، با دمای چهار درجه‌سانتی‌گراد (با فتوپریود ۱۲ ساعته و شدت نوری ۸۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) قرار داده شدند. گلدان‌های هر تکرار در یک طبقه جداگانه در داخل اتاقک رشد قرار گرفت و به عنوان یک بلوک در نظر گرفته شد. بعد از گذشت سه روز گیاهان به دمای اتاق انتقال داده شدند و پس از گذشت سه روز ارزیابی اثرات تنش در غلظت‌های مختلف گلایسین‌بتائین آغاز شد. اندازه‌گیری‌های لازم جهت تعیین صدمه سرمایی و اثر گلایسین‌بتائین در ایجاد مقاومت به سرما از طریق ظاهری با الگوبرداری از سیستم استاندارد انجمن علف هرز اروپا[1] (جدول ۱) و از روی تغیر رنگ برگ‌ها در هر غلظتی انجام شد و رتبه بندی برای هر گیاه در هر غلظت خاص از گلایسین‌بتائین برای بیان مقاومت به سرما صورت گرفت.

برای تجزیهٔ داده‌ها از نرم‌افزار SAS و برای رسم نمودارها و اشکال از نرم‌افزار Excel استفاده شد. مقایسات میانگین بر اساس آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار حفاظت شده (FLSD) در سطح معنی‌دار پنج درصد انجام شد.

میزان کلروفیل، با استفاده از دستگاه کلروفیل متر(SPAD[2]) در برگ‌های کاملاً توسعه یافته اندازه گیری شد. جهت ارزیابی میزان نشت الکترولیت[3] دو برگ جوان بوته انتخاب و پس از تمیز کردن سطح برگ با دستمال ، از هر برگ یک تا دو دیسک تهیه گردید و داخل ظروف درب‌دار گذاشته شد (۲۶). درب ظروف به منظور جلوگیری از تبخیر بسته شد. سپس به میزان ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه و بعد از گذشت ۱۲ ساعت، هدایت الکتریکی (EC) آن توسط EC متر اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس اندام هوایی گیاهان به دقت از سطح خاک گلدان بریده شده، ریشه‌ها نیز با شستشو از خاک گلدان جدا شدند. اندام هوایی و ریشه گیاهان در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توزین شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر پاشش برگی گلایسین‌بتائین بر محتوای کلروفیل، میزان نشت الکترولیت، وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاهان ذرت قرار گرفته در معرض سرما معنی‌دار بود (جدول ۲).

علائم ظاهری: قرار گرفتن گیاهچه‌های ذرت به مدت سه روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، به سرعت باعث تولید لکه‌های نکروز روی برگ، پژمردگی، کبودی و خشک شدن حاشیه برگ‌ها شد، اما پاشش

1 - EWRC
2 - Signaling Pathway Database
3- Electrolyte leakage

www.SID.ir

Archive of SID

گلایسین‌بتائین موجب کاهش بروز این علائم شد که احتمالاً بیانگر بهبود مقاومت به سرمازدگی در گیاهان ذرت در نتیجهٔ کاربرد این محلول می‌باشد.

بر اساس رتبه بندی چشمی علائم ظاهری خسارت سرما، مشاهده شد که افزایش غلظت گلایسین‌بتائین بر میزان مقاومت گیاهان ذرت به سرما تأثیر مثبتی داشت به طوری‌که بالاترین میزان مقاومت در غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین دیده شد که البته تفاوت معنی‌داری با غلظت‌های ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار آن نشان ندادند (شکل۱). لذا می‌توان دریافت که گیاهانی که در دامنه غلظت ۱۰۰-۱۰ میلی‌مولار با گلایسین‌بتائین پاشش شدند به لحاظ ظاهری صدمه کمتری را متحمل شدند. احتمالاً، پاشش برگی گلایسین‌بتائین موجب افزایش ظرفیت فتوسنتزی و حفظ پتانسیل تورژسانس در برگ شده است (۲۱).

محتوای کلروفیل: به طور کل عدد SPAD با افزایش غلظت گلایسین‌بتائین بهبود یافت (شکل ۲). بررسی تأثیر سطوح گلایسین-بتائین بر محتوای کلروفیل نشان داد که تیمارهای صفر و ۲/۵ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین کمترین میزان کلروفیل را داشتند و غلظت‌های ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار سبب بهبود عدد SPAD در برگ‌ها شدند (شکل ۲). سنتز کلروفیل یکی از فرآیندهای حساس به دما می‌باشد. نخستین مکان دریافت تنش سرما احتمالاً فتوسیستم دو است که باعث کاهش فلورسانس فتوسیستم دو و توقف فعالیت فتوسنتز بر اثر سرما می‌شود (۴). تنش سرما همچنین سبب اختلال در تولید کلروفیل و بروز آسیب در واکنش‌های کلروپلاست‌ها می‌گردد (۱۵). کاهش فتوسنتز ممکن است به علت اختلال در تولید کلروفیل و از بین رفتن ساختار کلروپلاست‌ها باشد. با نزول بیشتر دما کل فرآیند کلروفیل سازی متوقف می‌شود و رنگ برگ‌ها به زردی می‌گراید که نشان‌دهنده کمبود کلروفیل است (۴). در برخی از مطالعات مشاهده شده است که بهبود فتوسنتز توسط گلایسین‌بتائین در گیاهان تحت تنش به افزایش در کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو مربوط می‌شود (۲۳). موراتا و همکاران (۱۷) بیان کردند که گلایسین‌بتائین همانند یک محافظ اسمزی در کلروپلاست‌های گیاه تحت تنش عمل می‌کند.

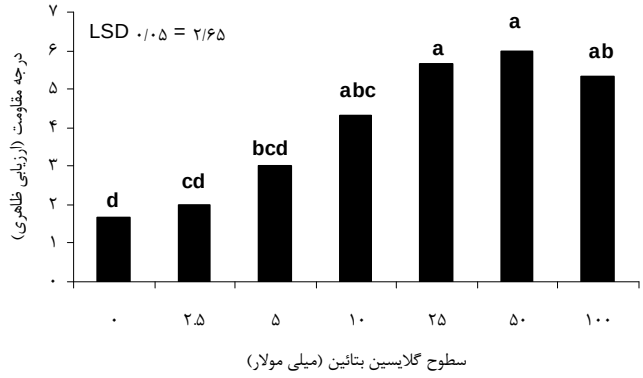
جدول ۱- سیستم نمره‌دهی برای ارزیابی خسارت سرما

نمره (درجه مقاومت)	صفر	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷
درصد خسارت سرما	۱۰۰	۹۰ تا ۹۹	۸۰ تا ۸۹	۷۰ تا ۷۹	۶۰ تا ۶۹	۴۰ تا ۵۹	۱ تا ۳۹	صفر (بی‌تأثیر)

جدول ۲- میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی گیاهان ذرت تحت تأثیر سطوح مختلف پاشش گلایسین‌بتائین و سرمای ٤°C

نشت الکترولیت	محتوای کلروفیل (شاخص)SPAD	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک اندام هوائی (گرم)
۵۲۶/۰۱**	۱۶/۲۵**	۰/۰۰۰۴**	۰/۰۱**

**، * و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می باشد.

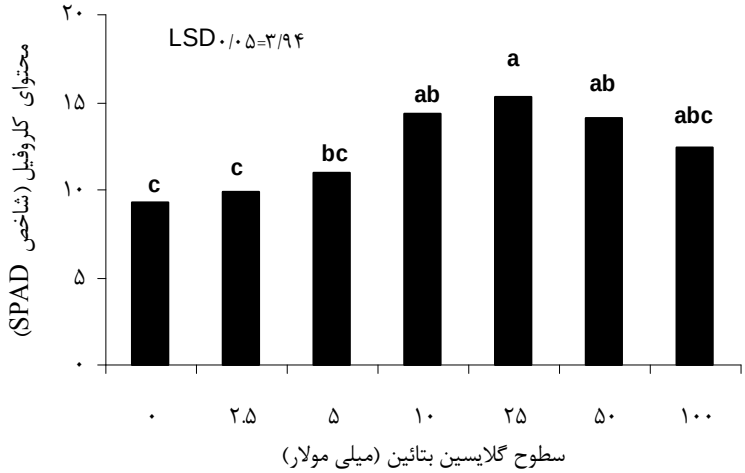


شکل ۱- رتبه‌بندی ظاهری خسارت سرمازدگی در گیاهان ذرت تحت تأثیرسطوح مختلف پاشش گلایسین‌بتائین

(ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار ($p \leq 0.05$) هستند).

www.SID.ir

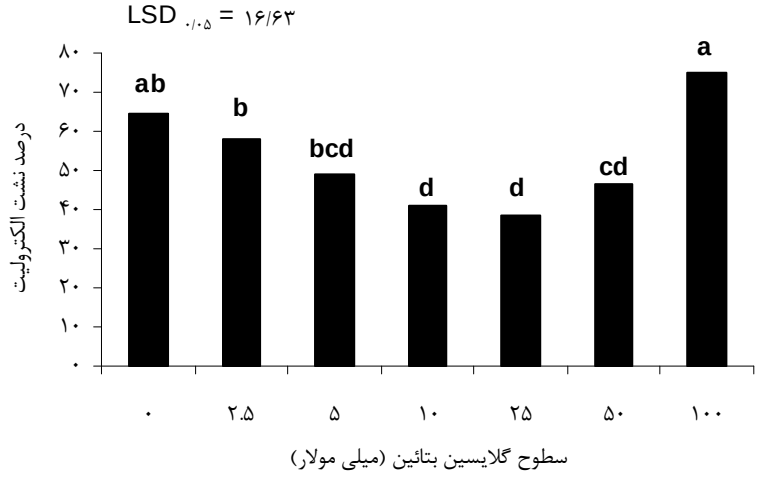
Archive of SID



شکل ۲- اثر کاربرد برگی گلایسین‌بتائین بر محتوای کلروفیل گیاهان ذرت تحت تنش سرمازدگی

(ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار ($p \leq 0.05$) هستند).

نشت الکترولیت: با افزایش غلظت گلایسین‌بتائین تا ۵۰ میلی-مولار میزان نشت الکترولیت در گیاهان ذرت کاهش یافت (شکل ۳). تنش سرمازدگی از طریق تغییرات در نفوذپذیری سبب افزایش نشت محلول‌های سلولی می‌شود. مقایسه میانگین میزان نشت الکترولیت‌ها در سطوح مختلف گلایسین‌بتائین نشان داد که بیشترین میزان نشت مواد در غلظت صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین و کمترین میزان آن در غلظت ۲۵ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین وجود داشت. ویس و نیلور (۲۸) و همچنین راب و سالتویت (۱۹) بیان کردند که تنش سرما موجب افزایش نشت الکترولیت‌ها می‌شود و غلظت ترکیب‌های مضر اکسیژن افزایش می‌یابد. تجمع این ترکیبات سمی ممکن است منجر به پراکسیداسیون لیپیدی غشا سلولی و اندامک‌ها شود که در نهایت موجب اختلالات فیزیولوژیکی و بروز صدمات تنش سرما در گیاهان می‌شود (۱۸). پاشش برگی گلایسین‌بتائین احتمالاً موجب تجمع گلایسین‌بتائین داخلی و دیگر قندهای محلول از جمله پرولین در ذرت شده است (۲۴). به نظر می‌رسد گلایسین‌بتائین بکاربرده شده موجب حفظ و ثبات غشا در برابر نشت مواد داخل سلولی به خارج شده است.



شکل ۳- اثر پاشش برگی گلایسین‌بتائین بر میزان نشت الکترولیت گیاهان ذرت تحت تنش سرمازدگی

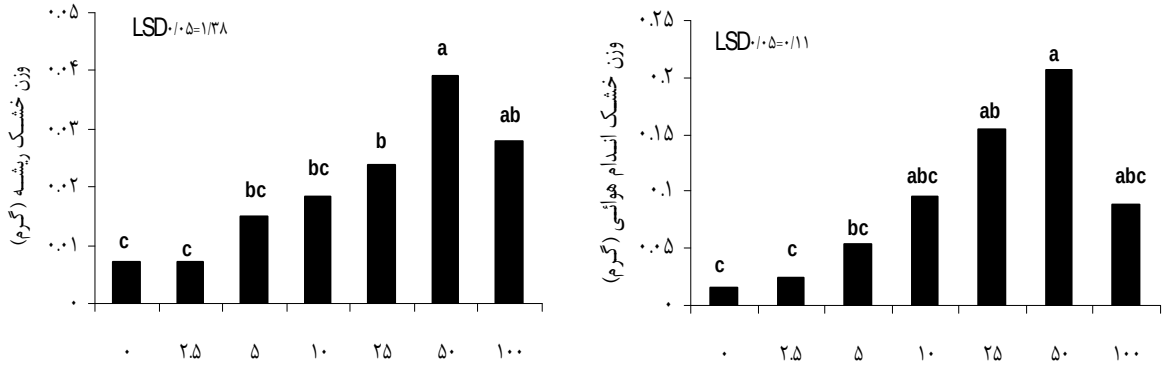
(ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار ($p \leq 0.05$) هستند).

www.SID.ir

Archive of SID

وزن خشک ریشه و اندام هوایی: با افزایش غلظت گلایسین-بتائین روند افزایشی معنی‌داری در وزن خشک گیاه ذرت تحت تنش سرما مشاهده شد (شکل ۴). این روند افزایشی در خصوص وزن خشک اندام هوایی و ریشه در غلظت ۵۰ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین به حداکثر میزان خود رسید و در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت اما این کاهش معنی‌دار نبود. کمترین مقادیر وزن خشک در غلظت‌های صفر، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین دیده شد. به طور مشابه با استعمال گلایسین‌بتائین، تحمل به دماهای پایین در دو رقم گوجه فرنگی بهبود یافت (۲۵)، همچنین پاشش برگی گلایسین‌بتائین روی گیاهان آرابیدوپسیس دمای انجماد را از ۳/۱- به ۴/۵- درجه سانتی گراد کاهش داد (۲۹). چن و همکاران بیان کردند تیمار بذور ذرت با گلایسین بتائین موجب بهبود سبز شدن و افزایش ارتفاع و ماده خشک گیاهچه تحت تأثیر دماهای پائین شد (۸). اخیراً اشرف و فولاد پیشنهاد کردند که کارائی پاشش برگی گلایسین‌بتائین به عوامل متعددی مانند نوع گونه، مرحله نموی گیاه، غلظت گلایسین‌بتائین و دفعات کاربرد آن بستگی دارد (۷). کاهش رشد ریشه در اثر کاهش دما باعث کم شدن ظرفیت جذب آب و مواد معدنی توسط ریشه و به دنبال آن ظهور اثرات ثانویه ناشی از کمبود مواد غذایی و اختلال در رشد گیاه می‌شود. در دمای پائین، در انتقال مواد در گیاهان، شکل و مقدار مواد انتقال یافته، تغییراتی رخ داده و باعث کاهش رشد ریشه می‌شود. در اثر سرما و کاهش سنتز ATP، سنتز بسیاری از ترکیبات مانند سیتوکنین و بسیاری از اسیدهای آمینه و برخی از ویتامین‌ها که در ریشه صورت می‌گیرد کم‌تر انجام می‌گیرد و یا با سرعت کم‌تری به ساقه منتقل می‌شوند. این اختلاف موجب محدود شدن رشد ساقه در نتیجه کاهش سنتز هورمون‌ها می‌شود (۳).

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که پاشش گلایسین‌بتائین در دامنهٔ غلظت ۱۰ تا ۵۰ میلی‌مولار در کاهش خسارت سرما بر گیاهان ذرت مؤثر بوده است. پاشش غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین نیز اگرچه در مورد بسیاری از پارامترهای مورد بررسی نقش مثبتی داشته است، اما با توجه به افزایش قابل توجه نشت الکترولیت در این غلظت، ممکن است تأثیر سوئی بر مراحل بعدی رشد داشته باشد و لذا توصیه نمی‌گردد. به هر حال انجام این تحقیق نشان می‌دهد که پاشش گلایسین‌بتائین در گیاهان ذرت که معمولاً در معرض خطر سرمای بهاره در اوایل رشد قرار دارند، می‌تواند به نحو مؤثری از خسارات تنش بر گیاهچه‌ها کاسته و حتی با فراهم نمودن امکان کاشت زودتر ذرت در فصل بهار، به طور قابل ملاحظه‌ای سبب بهبود عملکرد محصول شود. البته پر واضح است که جهت اطمینان کامل از اثربخشی کاربرد خارجی این ماده، انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای ضروری‌است.



الف ب

شکل ٤- اثر پاشش برگی گلایسین‌بتائین بر وزن خشک اندام هوائی (الف) و ریشه (ب) گیاهان ذرت تحت تنش سرمازدگی

(ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار ($p \leq 0.05$) هستند).

منابع

۱- احمدی، ع.، پ.، احسان زاده، و ف.، جباری. ۱۳۸۳. مقدمه ای بر فیزیولوژی گیاهی. انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۴۵۵ ص.

۲- حکمت شعار، ح. ۱۳۷۲. فیزیولوژی گیاهان زراعی در شرایط دشوار (ترجمه). انتشارات حکمت شعار، ۲۵۱ ص.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- میر محمدی‌میبدی. ع.، و س.، ترکش اصفهانی.۱۳۸۳. مدیریت تنش‌های سرما و یخزدگی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان. ۳۳۶ ص.

۴- میرمحمدی‌میبدی. ع. م.، و ب.، قره‌یاضی. ۱۳۸۱. جنبه‌های فیزیولوژیک و بهنژادی تنش شوری گیاهان. انتشارات گلبن. ۲۴۷ ص .

5- Agboma, P., T. Sinclair, K. Jokinen, P. Peltonen-Sainio and E. Pehu. 1997. An evaluation of the effect of exogenous glycine betaine on the growth and yield of soybean. Field Crops Research, 54: 51–64.

6- Allard, F., M. Houde, M. Krol, A. Ivanov, N. P. A. Huner, and F. Sarhan. 1998. Betaine improves freezing tolerance in wheat. Plant Cell Physiology, 39: 1194-1202.

7- 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.

8- Chen, W. P., P. H. Li and T. H. Chen. 2000. Glycinebetaine increases chilling tolerance and reduce chilling induced lipid peroxidation in *Zea mays* L. Plant Cell Environment, 23: 609- 618.

9- 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 Biochemistry, 60: 366–368.

10- Hayashi, H.A., A. Sakamoto, H. Nonaka, T.H.H. Chen, and N. Murata. 1998. Enhance germination under salt conditions of seeds of transgenic Arabidopsis with bacterial gen (CodA) for choline oxidase. Journal of Plant Research, 111: 357-362.

11- Jolivet, Y., F. Lahrer, J. Hamelin. 1982. Osmoregulation in higher plants: the protective effect of glycinebetaine against the heat destabilization of membranes. Plant Science Letters, 25: 193-201.

12- Lerma, C., P.J. Rich, G.C. Ju, W. Yang, A.D. Hanson and D. Rhodes, 1991. Betaine deficiency in maize. Complementation tests and metabolic basis. Plant Physiology, 95: 1113–1119.

13- Ilker, R., R.W. Breidenbach and J.M. Lyons. 1979. Sequence of ultrastructural changes in tomato cotyledons during short periods of chilling. In: Low temperature stress in crop plants: The role of membrane, edited by J. M. Lyons, D. Graham and J. K. Raison.pp. 97-114. New York, Academic Press.

14- Makela, P., K. Jokinen, M. Kontturi, P. Peltonen-Sainio, E. Pehu and S. Somersalo. 1998. Foliar application of glycine betaine – a novel product from sugarbeet – as an approach to increase tomato yield. Industrial Crops and Prodcts, 7: 139–148.

15- Mellerd, A. and J.R. Mcwilliam, 1968. Studies on a maize mutant sensitive to low temperature. Plant Physiology. 43:1967.

16- Mohanty, A., H. Kathuria, A. Ferjani, A. Sakamoto, P. Mohanty, N. Murata and A.K. Tyagi. 2002. Transgenics of an elite indica rice variety Pusa Basmati1 harbouring the codA gene are highly tolerant to salt stress. Theorretical and Applied Genetics, 106: 51–57.

17- 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 Letters, 296:187–189.

18- Prasad, T.K., M.D. Anderson, B.A. Martin, C.R. Stewart. 1994. Evidence for chilling-induced oxidative stress in maize seedlings and a regulatory role for hydrogen peroxide. Plant Cell, 6: 65–74.

19- Rab, A. and M.E. Saltveit. 1996. Differential chilling sensitivity in cucumber seedling. Plant Physiology, 96: 375-382.

20- Rajashekar, C.B., H. Zhou, K.B. Marcum and O. Prakash. 1999. Glycine betaine accumulation and induction of cold tolerance in strawberry (*Fragaria* x *ananassa* Duch.) plants. Plant Science, 148: 175–183.

21- 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.

22- Rhodes, D. and A.D. Hanson. 1993. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium Compounds in higher-plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 44: 357-384.

23- Sakamoto, A., N. Alia and N. Murata. 1998. Metabolic engineering of rice leading to biosynthesis of glycinebetaine and tolerance to salt and cold. Plant Molecular Biology, 38: 1011–1019.

24- Serraj, R. and T.R. Sinclair. 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? Plant Cell Environment, 25: 333-341.

25- Somersalo, S., S. Kyei-Boahen, and E. Pehu. 1996. Exogenous glycine betaine application as a possibility to increase low temperature tolerance of crop plants. Nordisk Jordbruksforskning, 78: 10.

26- Vanstone, D.E. and E.H. Stobbe. 1977. Electrolytic conductivity—a rapid measure of herbicide injury. Weed Science, 25:352–354.

27- Wang, C.Y. and D.O. Adams. 1980. Ethylene production by chilled cucumbers (*Cucumis sativus* L.). Plant

www.SID.ir

Archive of SID

Physiology, 66: 841- 843.
28- Waise, R.R. and A.W. Naylor. 1987. Chilling-enhanced photo oxidation: Evidence for the role of singlet oxygen and super oxide in the break down of pigments and endogenous antioxidants. Plant Physiology, 83: 278-282.
29- WeiBing, X. and C.B. Rajashekar. 2001. Glycine betaine involvement in freezing tolerance and water stress in *Arabidopsis thaliana*. Environmental and Experimental Botany, 46:21–28.
30- 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.

www.SID.ir