نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۸، شماره۵ ، آذر - دی ۱۳۸۹، ص ۸۴۴-۸۳۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 8, No. 5, Nov. – Dec. 2010, p. 837-844

اثر استعمال خارجی گلایسین‌بتائین بر تخفیف اثرات تنش خشکی در مرحلهٔ جوانه‌زنی و رشد اولیهٔ گیاهچهٔ ذرت (*Zea mays L.*)

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

تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۵
تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۲۸

چکیده

به منظور ارزیابی اثر تیمار بذور ذرت با گلایسین‌بتائین در شرایط تنش خشکی آزمایشی با ۵ سطح گلایسین‌بتائین (صفر، ۲، ۴، ۸ و ۱۶ میلی‌مولار) و ۶ سطح خشکی (صفر، ۰/۱-، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۸- و ۱- مگاپاسکال) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. بذور به مدت ۲۴ ساعت در غلظت‌های مذکور گلایسین‌بتائین خیسانده شده، سپس بذور در پتریدیش قرار داده شدند و برای اعمال تنش خشکی، غلظت‌های مناسب از پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ برای اعمال هر سطح خشکی، تهیه و به بذور اضافه شد. نتایج نشان داد که خشکی موجب کاهش معنی‌دار در تمام پارامترهای مورد ارزیابی در کلیه غلظت‌های گلایسین‌بتائین شد، اما بذور تیمار شده با گلایسین‌بتائین در غلظت‌های ۲ تا ۴ میلی‌مولار تنش کمتری را متحمل شدند. البته تیمار بذور با گلایسین‌بتائین نتوانست اثر تنش خشکی بر سرعت جوانه‌زنی را تخفیف دهد. مدل لجستیک سه پارامتری برازش داده شده به پارامتر درصد جوانه‌زنی به خوبی اثر سودمند تیمار بذور با گلایسین‌بتائین را تحت شرایط تنش خشکی توجیه نمود، بر طبق برآورد مدل، آن میزان خشکی که منجر به کاهش ۵۰ درصدی جوانه‌زنی بذور ذرت می‌شود، در صورت تیمار بذور با گلایسین‌بتائین در سطح خشکی بالاتری رخ می‌دهد. تیمار بذور با گلایسین‌بتائین توانست درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه را در سطوح خشکی بالا بهبود دهد، هرچند افزایش غلظت گلایسین‌بتائین به ۸ و ۱۶ میلی‌مولار اثر منفی بر جوانه‌زنی و پارامترهای آن گذاشت.

واژه های کلیدی: گلایسین‌بتائین، درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، ذرت

مقدمه

آب از عوامل اصلی فعال کننده جوانه‌زنی است و قابلیت دسترسی به آب با کاهش پتانسیل اسمزی و ماتریک (مکش) کاهش می‌یابد. پتانسیل آب محیط، تأثیر مستقیمی بر سرعت جذب آب و در نتیجه، جوانه‌زنی گیاه دارد. تنش آبی می‌تواند هم در کاهش سرعت جوانه‌زنی و هم بر روی درصد جوانه‌زنی تأثیر بگذارد (۶). مرحله جوانه‌زنی گیاهان یکی از مراحل مهم در طول دوره رشدی آنهاست که اغلب تحت تأثیر تنش‌های محیطی بویژه خشکی قرار می‌گیرد (۱)، زیرا جوانه‌زنی از نظر تعداد گیاه سبز شده در واحد سطح برای تولید تعیین کننده است (۴). در تنش‌های بیشتر از ۲- مگاپاسکال اکثر بذرها قادر به جذب آب کافی برای آغاز رشد جنینی نیستند (۸ و ۱۶). اخیراً گلایسین‌بتائین برای افزایش جوانه‌زنی و قدرت گیاهچه در محصولات زراعی مختلف تحت شرایط تنش استفاده شده است. لوپز و همکاران (۱۹)، نشان دادند که گلایسین‌بتائین می‌تواند به عنوان یک تیمار برای کاهش اثرات تنش شوری بر روی روابط آبی در گیاهان حساس به شوری استفاده شود. گلایسین‌بتائین به عنوان یک اسمولیت سیتوپلاسمی عمل می‌کند و آنزیم‌ها و غشاها را از اثرات پسابیدگی حفظ می‌کند (۲۸). در بسیاری از موارد گزارش شده تیمار بذور با گلایسین‌بتائین، سیتوپلاسم را از سمیت Na^+ حفظ می کند (۲۶). نایدو و همکاران (۲۵) بیان داشتند که تیمار بذور پنبه با گلایسین‌بتائین موجب ایجاد ساقه و ریشه‌های قوی‌تر، بهبود شاخه‌ها، گلدهی زودتر و افزایش تعداد قوزه‌ها شد. در لوبیای معمولی، گیاهان تیمار شده با گلایسین‌بتائین، کاهش کمتری را در پتانسیل آب برگ طی تنش خشکی نشان دادند و علائم پژمردگی دیرتر از گیاهان شاهد پدیدار شد (۳۱).

با وجود نقش کلیدی گلایسین بتائین در تخفیف اثرات تنش

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه زراعت دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بیرجند
(*- نویسنده مسئول: Email: seyed.eslami@alumni.adelaide.edu.au)

خشکی، اطلاعات کمی در مورد غلظت‌های مناسب آن جهت تخفیف اثرات تنش وجود دارد. از این رو این تحقیق با هدف ارزیابی تأثیر تیمار بذور با غلظت‌های مختلف گلایسین‌بتائین بر خصوصیات جوانه‌زنی ذرت تحت تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال ۱۳۸۷ در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل یک عدد پتریدیش به قطر پانزده سانتی‌متر بود که جهت ضدعفونی نمودن، ابتدا با مواد پاک‌کننده و سپس با آب معمولی شسته شدند و پس از خشک شدن و قرار دادن کاغذ صافی در کف آن‌ها به مدت دو ساعت در آون با دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. جهت ضدعفونی بذور از محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت دو دقیقه استفاده شد و بلافاصله بعد از آن بذور با آب مقطر شسته شدند و پس از شمارش به مقدار مورد نیاز در آزمایش، در غلظت‌های تهیه شدهٔ گلایسین‌بتائین در پنج سطح، صفر (آب مقطر)، ۲، ۴، ۸ و ۱۶ میلی‌مولار قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت بذور از محلول‌های گلایسین‌بتائین خارج شده و تعداد ۲۰ عدد بذر در پتریدیش‌های حاوی دو لایه کاغذ صافی قرار داده شد. برای اعمال تنش خشکی، مقدار ده میلی‌لیتر از محلول پلی اتیلن‌گلایکول[1] ۶۰۰۰، با پتانسیل‌های اسمزی صفر (آب مقطر)، ۰/۱-، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۸- و ۱- مگاپاسکال[2] به هر پتریدیش اضافه شد. محلول‌های مورد نظر، به ترتیب با حل کردن صفر، ۱۰/۸۷، ۱۶/۸۳، ۲۵/۴۱، ۳۷/۶۵ و ۴۲/۶۰ گرم پلی‌اتیلن‌گلایکول در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه شدند (۲۳).

پتریدیش‌ها با پارافیلم بسته شده و در ژرمیناتور در دمای ثابت ۲۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار داده شدند. به منظور تعیین سرعت جوانه‌زنی، بذور جوانه‌زده به صورت روزانه شمارش گردیدند. به منظور اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی بذور از روش ماگویر (۱۴) استفاده شد:

$$R_s = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_i}{D_i}$$

رابطه (۱)

که درآن R_s سرعت جوانه‌زنی ماگویر (تعداد بذر در روز)، S_i تعداد بذور جوانه‌زده در شمارش i ام و D_i تعداد روز تا شمارش i ام می باشد.

به منظور ارزیابی واکنش جوانه‌زنی بذور به خشکی در سطوح مختلف گلایسین‌بتائین از یک مدل لجستیک سه پارامتری استفاده شد. مدل مذکور عبارت بود از:

$$G(\%) = G_{max}/[1 + (x/x_{50})^b]$$

رابطه (۲)

در این مدل G درصد جوانه‌زنی در سطح شوری x، G_{max} حداکثر درصد جوانه‌زنی، x_{50} سطح خشکی لازم جهت ۵۰٪ بازدارندگی حداکثر جوانه‌زنی و b نشانگر شیب مدل می‌باشد. در پایان آزمایش جوانه‌زنی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌ها توسط خط کش اندازه گیری شد. وزن تر گیاهچه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم انجام شد. برای تجزیهٔ داده‌ها از نرم‌افزارSAS و SigmaPlot و برای رسم نمودارها و اشکال از نرم‌افزار SigmaPlot و Excel استفاده شد. مقایسات میانگین بر اساس آزمون LSD در سطح معنی‌دار پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: تیمار بذور با گلایسین‌بتائین بر درصد جوانه‌زنی بذور ذرت تحت تنش خشکی اثر معنی‌داری داشت ($P<0/01$). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد جوانه‌زنی در تمام اثرات اصلی خشکی و گلایسین‌بتائین و هم‌چنین اثر متقابل بین آنها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۱).

با افزایش تنش خشکی در تمام سطوح گلایسین‌بتائین، درصد جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱). از آنجائی که تنش خشکی محتوای رطوبتی سلول را کم می‌کند و می‌تواند روی ساخت پروتئین‌ها و ترشح هورمون‌هایی مثل اسید جیبرلیک اثر بگذارد، باعث کاهش جوانه‌زنی می‌شود (۱۰). سپانلو و سیادت (۲) علت کاهش درصد جوانه‌زنی را به کاسته شدن سطح تماس آب با بذرها و پائین آوردن هدایت هیدرولیکی آب اطراف بذور مرتبط دانستند. بذوری که با غلظت ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین تیمار شده بودند، کمترین حساسیت به خشکی را نشان دادند، به طوری که در سطح خشکی ۱- مگاپاسکال، ۴۰ درصد این بذور جوانه زدند. این در حالی است که درصد جوانه‌زنی در همین سطح خشکی برای بذوری که در غلظت صفر میلی‌مولار گلایسین‌بتائین خیسانده شدند به ۱۰ درصد رسید (شکل ۱). مدل لجستیک سه پارامتری نیز به خوبی رابطهٔ بین درصد جوانه‌زنی و سطوح مختلف تنش خشکی را در غلظت‌های مختلف گلایسین‌بتائین توجیه نمود (شکل ۱ و جدول ۲). بر اساس پارامتر x_{50} در این مدل، بذوری که در غلظت صفر میلی‌مولار گلایسین‌بتائین خیسانده شدند نسبت به بقیه غلظت‌ها حساسیت بیشتری به افزایش تنش خشکی نشان دادند چراکه پارامتر x_{50} در آن بیشترین مقدار عددی را نسبت به سایر غلظت‌های گلایسین‌بتائین (۰/۲۱-) داشت. این بدان معنی است که تنش خشکی که باعث کاهش ۵۰ درصدی جوانه‌زنی در بذوری می‌شود که در غلظت صفر میلی‌مولار گلایسین‌بتائین خیسانده شدند، کمترین مقدار تنش نسبت به سایر غلظت‌های گلایسین‌بتائین است. در غلظت ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین مقدار x_{50} به حداقل میزان خود (۱/۰۹-) رسید.

1- PEG6000
2- Mpa

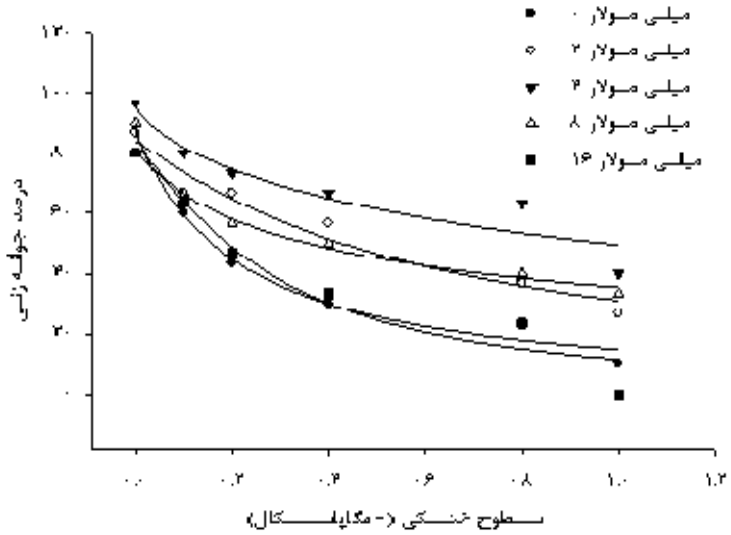
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات گلایسین بتائین و خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت

منابع تغییرات	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن تر ساقه‌چه
گلایسین‌بتائین	۲۵۶۲/۲۲**	۴/۳۵**	۵۷/۶۳**	۵/۱۵**	۰/۰۱۹**	۰/۰۱۱**
خشکی	۸۰۶۲/۴۴**	۲۰/۱۷**	۶۷/۶۴**	۲۶/۷۶**	۰/۰۳۱**	۰/۰۵۰**
گلایسین بتائین X خشکی	۱۰۱۳/۵۵**	۰/۷۴^{ns}	۵/۲۷**	۱/۳۶**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۳**

به عبارت دیگر تنش خشکی که باعث کاهش ۵۰ درصدی جوانه‌زنی در بذوری می‌شود که در غلظت ۴ میلی‌مولار گلایسین-بتائین خیسانده شدند، بیشترین مقدار تنش خشکی نسبت به سایر تیمارها بوده است و این نمایانگر کاهش مؤثر حساسیت این بذور به خشکی در اثر تیمار بذور با گلایسین‌بتائین است. مقایسه میانگین اثرات متقابل گلایسین‌بتائین و خشکی نیز نشان داد که غلظت ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در تمام سطوح خشکی به طور معنی‌داری موجب افزایش درصد جوانه‌زنی شد (اطلاعات نشان داده نشده‌اند). در شرایط بدون تنش خشکی بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۶/۶٪) در بذوری مشاهده شد که با غلظت ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین تیمار شده بودند که البته به لحاظ آماری با غلظت‌های صفر، ۲ و ۸ میلی-مولار گلایسین‌بتائین در همین شرایط تفاوت معنی‌داری نداشت. همانطور که مدل برازش داده شده نشان می‌دهد افزایش غلظت گلایسین‌بتائین به ۱۶ میلی‌مولار موجب تغییر قابل ملاحظه‌ای در تخفیف اثرات تنش خشکی بر جوانه‌زنی نشد و درصد جوانه‌زنی بذور تحت این تیمار در شرایط تنش خشکی مشابه زمانی بود که گلایسین‌بتائین به کار برده نشده بود (غلظت صفر). برخی محققین حتی اثر منفی غلظت‌های بالای گلایسین‌بتائین بر جوانه‌زنی را گزارش کرده‌اند (۳۲،۱۵).

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تیمار بذور ذرت با گلایسین-بتائین در غلظت ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین باعث بیشترین میزان تخفیف در اثرات تنش خشکی بر جوانه‌زنی گردید. آراکاوا و تیماشف (۹) گزارش کردند که گلایسین‌بتائین در تماس با پروتئینی است که دارای یک سطح جذب آب (لایه ای با پیوند آبی) است. این امتیاز فعالیت جذب آب، ساختار پروتئین را پایدار می‌کند. کاربرد خارجی بتائین در برنج و برخی گیاهان نظیر باقلا، گوجه فرنگی و گندم نیز باعث افزایش تحمل در برابر تنش شوری و خشکی شده است (۲۱،۲۰،۱۳،۱۲،۱۱).

سرعت جوانه‌زنی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی و گلایسین‌بتائین بر سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار ($P<0/01$) اما اثرات متقابل بین آنها معنی‌دار نشد ($P>0/05$) (جدول ۱).



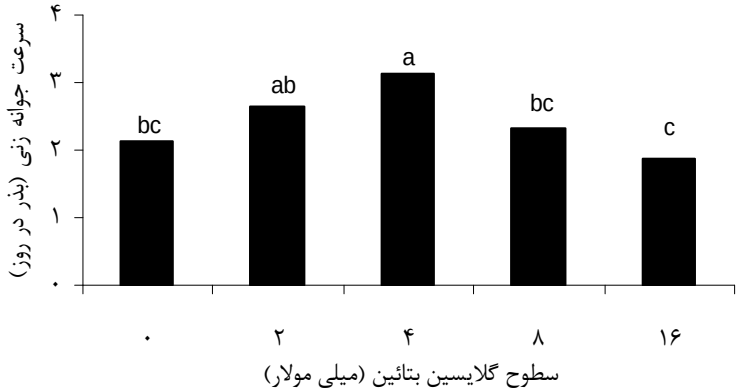
شکل ۱- اثر سطوح خشکی بر درصد جوانه‌زنی بذور ذرت تیمار شده با گلایسین‌بتائین

جدول ۲- پارامترها و ضریب تبیین مدل رگرسیونی لجستیک (±SE) برای تعیین درصد جوانه‌زنی بذور ذرت تیمار شده با گلایسین‌بتائین در سطوح مختلف خشکی

غلظت گلایسین‌بتائین (میلی‌مولار)	a	b	X_{50}	R^2
(صفر)	۸۶/۷۲ ± ۴/۲۹**	۱/۰۶ ± ۰/۱۴**	۰/۲۱±۰/۰۳**	۰/۹۸۵۴**
۲	۸۳/۹۷±۵/۷۴**	۱/۰۸±۰/۲۷**	۰/۶۱± ۰/۱۲**	۰/۹۵۵۷**
۴	۹۵/۸۷±۸/۰۱**	۰/۷۳± ۰/۲۹**	۱/۰۹±۰/۴۲**	۰/۸۸۹۲*
۸	۸۹/۹۳±۱/۸۹**	۰/۶۴±۰/۰۵**	۰/۵±۰/۰۴**	۰/۹۹۴۸***
۱۶	۷۹/۳۷±۸/۳۴**	۱/۳۷± ۰/۲۹**	۰/۲۷±۰/۰۷**	۰/۹۴۶۴*

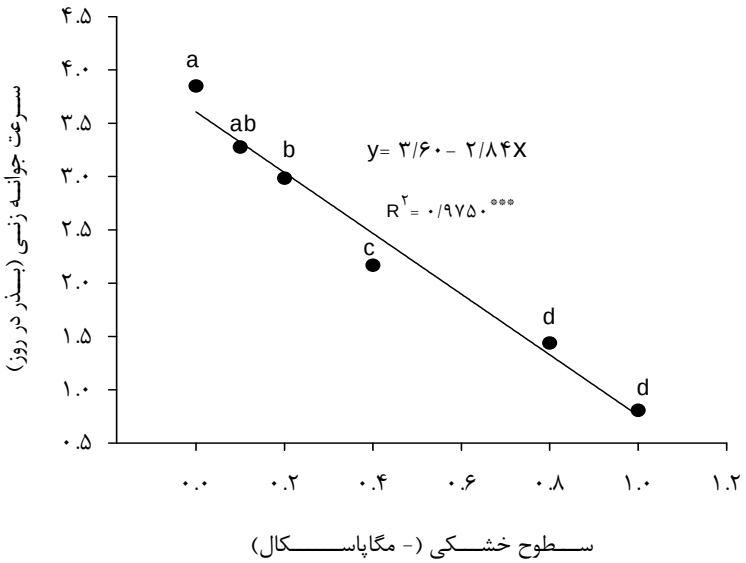
سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص های مهم در ارزیابی تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی است. زیرا هر چه سرعت جوانه‌زنی بیشتر باشد شانس سبز شدن تحت شرایط تنش خشکی بیشتر خواهد بود (۱۷). بررسی اثر اصلی گلایسین‌بتائین بر سرعت جوانه‌زنی نشان داد که گلایسین‌بتائین در غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد در حالی‌که افزایش آن به میزان ۸ و ۱۶ میلی‌مولار اثر عکس بر روی این پارامتر نشان داد به طوری‌که مقایسه میانگین این اثر بیانگر این موضوع بود که غلظت صفر میلی‌مولار و غلظت‌های ۸ و ۱۶ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در یک سطح آماری قرار گرفتند (شکل ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح تنش خشکی بالاترین سرعت جوانه‌زنی را در شرایط بدون تنش خشکی نشان داد که تفاوت معنی‌داری با سطح خشکی ۰/۱- مگاپاسکال نداشت و کمترین میزان در سطح خشکی ۱- مگاپاسکال مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطح خشکی ۰/۸- مگاپاسکال نشان نداد (شکل ۳). در مجموع با افزایش تنش خشکی سرعت جوانه‌زنی بذور به طور خطی کاهش یافت که شیب منفی رگرسیون برازش داده شده بیانگر این روند بود. شیب خط رگرسیونی نشان داد که افزایش یک مگاپاسکال تنش خشکی، سرعت جوانه‌زنی بذور را به میزان ۲/۸۴ بذر در روز کاهش داد. دیده می‌شود که با افزایش تنش خشکی زمان لازم برای رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی افزایش یافته است و گلایسین‌بتائین قادر به ایجاد تعادل در محیط تحت شرایط تنش خشکی نبوده است.

طول ریشه‌چه: تیمار بذور با گلایسین‌بتائین بر طول ریشه‌چه بذور ذرت تحت تنش خشکی اثر معنی‌داری داشت ($P<0/01$). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی و گلایسین‌بتائین و هم‌چنین اثر متقابل بین آنها بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۱). طول ریشه‌چه با افزایش تنش خشکی در تمام غلظت-های گلایسین‌بتائین کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۴ الف). علت کاهش طول ریشه‌چه با افزایش خشکی، ناشی از وجود مولکول‌های بزرگ پلی اتیلن گلایکول و هم‌چنین پتانسیل اسمزی ایجاد شده توسط آن می‌باشد که جذب آب را توسط ریشه کاهش داده و سبب کاهش طول آن شده است (۲۰).



شکل ۲- اثر سطوح مختلف گلایسین‌بتائین بر سرعت جوانه‌زنی بذور ذرت

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار بر مبنای $LSD_{5\%}$ هستند.



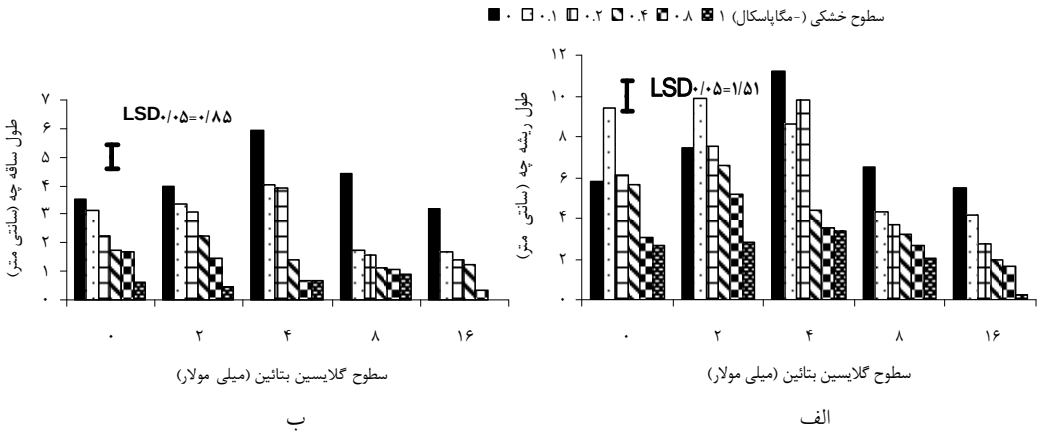
شکل ۳- اثر سطوح مختلف خشکی بر سرعت جوانه‌زنی بذور ذرت

نقاط دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار بر مبنای $LSD_{٪۵}$ هستند.

مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بلندترین طول ریشه‌چه در غلظت ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در شرایط غیر تنش خشکی بود که با سطح خشکی ۰/۲- مگاپاسکال آن و خشکی ۰/۱- مگاپاسکال در غلظت ۲ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کوتاهترین طول ریشه‌چه در غلظت ۱۶ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در خشکی ۱- مگاپاسکال دیده شد که با سطح خشکی ۰/۸- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری نداشت. همانطور که در شکل (۴ الف) دیده می‌شود غلظت ۲ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در سطح خشکی ۰/۱- مگاپاسکال توانسته طول ریشه‌چه را به ۹/۸۶ سانتی‌متر افزایش دهد در حالی‌که در سطح خشکی ۰/۲- مگاپاسکال غلظت ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین بر غلظت ۲ میلی‌مولار آن برتری جسته و طول ریشه‌چه را به طور معنی‌داری در همین سطح خشکی افزایش داده است. افزایش تنش خشکی به میزان ۰/۴- مگاپاسکال به علت ایجاد پتانسیل منفی بالاتر ایجاد شده توسط پلی‌اتیلن گلایکول و وزن مولکولی بالای گلایسین‌بتائین منجر به سختی جذب آب توسط ریشه‌چه شده و به همین علت غلظت ۲ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در این سطح خشکی بهتر عمل نمود اما، افزایش تنش خشکی به ۱- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری بین غلظت‌های صفر، ۲، ۴ و ۸ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین نشان نداد در حالی‌که اثر منفی گلایسین‌بتائین در غلظت ۱۶ میلی‌مولار موجب کوتاهترین طول ریشه‌چه در تمام سطوح خشکی شد.

طول ساقه‌چه: تیمار بذور با گلایسین‌بتائین بر طول ساقه‌چه بذور ذرت تحت تنش خشکی اثر معنی‌داری داشت ($P<۰/۰۱$). اثر اصلی خشکی و گلایسین‌بتائین و هم‌چنین اثر متقابل بین این دو فاکتور معنی‌دار بود. طول ساقه‌چه ذرت با افزایش تنش خشکی روند کاهشی معنی‌داری را نشان داد (شکل ۴ ب). کاهش رشد اندام‌های هوایی به علت محدودیت انتقال آب در اثر خشکی می‌باشد (۲۷). بررسی اثر متقابل خشکی و گلایسین‌بتائین نشان داد که بلندترین طول ساقه‌چه مربوط به غلظت ۴ میلی‌مولار در شرایط بدون تنش خشکی بود هرچند افزایش تنش خشکی تا سطوح ۰/۲- مگاپاسکال نیز بلندترین طول ساقه‌چه را نسبت به سایر غلظت‌ها نشان داد ولی افزایش تنش خشکی به میزان ۰/۴- مگاپاسکال موجب برتری غلظت پائین گلایسین‌بتائین یعنی ۲ میلی‌مولار در این سطح خشکی شد و کمترین طول ساقه‌چه در غلظت ۱۶ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در سطح خشکی ۱- مگاپاسکال مشاهده شد که با سایر غلظت‌ها به جز غلظت ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در این سطح خشکی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴ ب). گلایسین‌بتائین در غلظت پائین توانسته حالت سازگاری را در شرایط تنش خشکی ایجاد کند و در غلظت بالا اثر منفی داشته و موجب تشدید علائم تنش شده است.

تیمار بذور در غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین موجب تحریک رشد هیپوکوتیل و توسعه جنین از طریق آزاد کردن پیوند آبی متصل به پروتئین و دسترسی ریشه‌چه و ساقه‌چه به آب در شرایط خشکی و طویل شدن آنها شده است (۲۹).



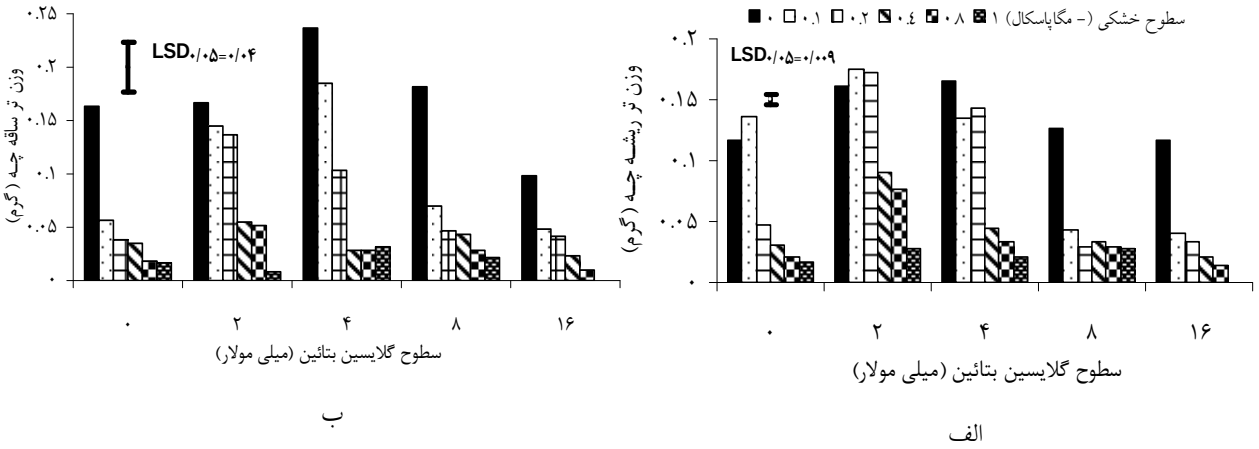
شکل ٤- اثر تیمار بذور با گلایسین‌بتائین بر طول ریشه‌چه (الف) و ساقه‌چه (ب) ذرت تحت تنش خشکی

وتبرگ و شارپ (۳۰) اظهار داشتند تعدیل اسمزی ایجاد شده توسط گلایسین‌بتائین فاکتور مهمی برای طویل شدن ریشه‌چه و ساقه‌چه در محیط خشک می‌باشد. حساسیت رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه به تنش آبی متفاوت بود. طول ساقه‌چه با افزایش تنش خشکی در کلیه سطوح گلایسین‌بتائین به طور خطی کاهش یافت در حالی‌که طول ریشه‌چه به علت نقش مهم‌تری که در جذب آب و مواد غذائی بر عهده دارد به نفع گیاه تا سطح معینی از خشکی افزایش یافت. تحقیقات سایر محققان نیز این مطلب را تأئید می‌کند (۱۷ و ۵). در شرایط تنش خشکی، دهیدراسیون و کاهش حجم سلولی در ساقه‌ها بیشتر از ریشه‌ها به وقوع می‌پیوندد، به عبارت دیگر تحت شرایط کمبود آب، رشد ساقه‌ها بیشتر از رشد ریشه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. هم‌چنین به نظر می‌رسد که تحت چنین شرایطی فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتری به ریشه‌ها تخصیص داده می‌شود (۳).

وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تیمار خشکی و گلایسین‌بتائین و اثر متقابل بین آنها بر وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$) (جدول ۱). وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز همچون دیگر پارامترها با افزایش تنش خشکی کاهش معنی‌داری یافتند (شکل ۵). با کاهش پتانسیل اسمزی، انرژی آزاد آب کاهش یافته و گیاه برای به دست آوردن مقدار مشخصی آب باید انرژی حیاتی بیشتری صرف کند، لذا بخشی از انرژی خود گیاه که برای رشد و نمو به آن نیاز دارد صرف بدست آوردن آب شده و بدین ترتیب رشد عمومی آن کاهش می‌یابد (۷). بررسی اثر متقابل تنش خشکی و گلایسین‌بتائین بر وزن تر ریشه‌چه نشان داد که بیشترین میزان وزن تر ریشه‌چه در غلظت ۲ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در شرایط بدون تنش خشکی ایجاد شد که با سطح ۰/۱- مگاپاسکال در همین غلظت تفاوت معنی‌داری نداشت. غلظت ۲ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در تمام سطوح خشکی نسبت به سایر غلظت‌ها برتری یافت به طوری‌که مقایسه میانگین، این غلظت را در تمام سطوح تنش خشکی در بالاترین سطح آماری قرار داد به طوری‌که در تنش خشکی ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال به طور معنی‌داری بیشترین وزن تر ریشه‌چه را نسبت به دیگر سطوح گلایسین‌بتائین به خود اختصاص داد و کمترین میزان وزن تر ریشه‌چه در غلظت ۱۶ میلی‌مولار در سطح خشکی ۱- مگاپاسکال مشاهده شد که در این سطح خشکی رشد ریشه‌چه به صفر رسید (شکل ۵ الف). گلایسین‌بتائین به عنوان یک تعدیل کننده اسمزی در سیتوپلاسم در شرایط تنش خشکی موجب ثبات در آنزیم‌ها و پروتئین‌ها شده و فشار تورژسانس را حفظ می‌نماید (۳۳). علت افزایش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در حضور گلایسین‌بتائین می‌تواند به توانائی تحریک رشد توسط آن مرتبط باشد که موجب رشد و توسعه سلولی می‌شود (۱۸).

مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و گلایسین‌بتائین نشان داد (شکل ۵ ب) بالاترین وزن تر ساقه‌چه در غلظت ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین در شرایط بدون تنش خشکی بود که با افزایش تنش خشکی تا ۰/۲- مگاپاسکال غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین بیشترین مقدار وزن تر ساقه‌چه را داشتند که به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نشان ندادند اما با افزایش بیشتر تنش خشکی تا سطح ۱- مگاپاسکال هیچ یک از سطوح گلایسین‌بتائین در خصوص وزن تر ساقه‌چه بر دیگری برتری نداشتند و کاهش معنی‌داری با افزایش تنش خشکی در آنها مشاهده شد. همانطور که دیده می‌شود غلظت ۱۶ میلی‌مولار گلایسین‌بتائین اثر منفی بر روی جوانه‌زنی و اجزا آن داشته است به طوری‌که در سطح خشکی ۱- مگاپاسکال رشد ریشه‌چه در آن به صفر رسید. به طور مشابه، میکلبرت و همکاران (۲۴) اعلام کردند غلظت‌های بالاتر از ۵۰ میلی‌مولار بر اندام هوائی و توسعه ساقه مو در حال نمو نتیجه‌ای نداشت و توسعه

برگ با استعمال بالاتر گلایسین‌بتائین کاهش یافت.



شکل ۵- اثر تیمار بذور با گلایسین‌بتائین بر وزن تر ریشه‌چه (الف) و ساقه‌چه (ب) ذرت تحت تنش خشکی

شوبرت (۲۹) اثر پایدار کنندگی گلایسین‌بتائین را بـه اثـر متقابـل مسـتقیم بـا یـک پـروتئین نسـبت داد. بـر طبـق نظـر وی، بخـش هیدروفوبیک گلایسین‌بتائین به قسمت هیدروفوبیک پـروتئین متصـل می‌شود، در نتیجه پیوند آبی فوراً در زمان کمبود آب آزاد می‌شود. ایـن فعالیت گلایسین‌بتائین اجازه می‌دهـد منـاطق هیـدروفوبیک پـروتئین قابلیت دسترسی بیشتری به آب پیدا کـرده و از فروریختگـی پـروتئین جلوگیری می‌کند.

نتایج این تحقیق نشان داد تیمار بذور ذرت با غلظت‌هـای پـایین گلایسین‌بتائین (۲ و ۴ میلی‌مولار) تأثیر قابل ملاحظه‌ای بـر تخفیـف اثرات تنش خشکی در مرحلهٔ جوانه‌زنی و رشد اولیـهٔ گیاهچـه داشـته است و در عین حال غلظت‌های بالاتر گلایسین‌بتائین نه تنها موجـب تخفیف تنش نشده بلکه اثر آن را تشدید نیز نمـوده اسـت. از ایـن رو گلایسین‌بتائین را می‌توان ماده‌ای امیدبخش برای رفـع اثـرات تـنش خشکی به حساب آورد و از جنبه‌های مثبت آن در کشـاورزی منـاطق خشک بهره جست. البته با توجه به این که این تحقیق در مرحلهٔ اولیهٔ رشد انجام شد، ارزیابی اثرات گلایسین‌بتائین در مراحل بعدی رشد در گلخانه و مزرعه ضروری می‌نماید.

منابع

۱- زینلی، ا.، ا. سلطانی.، و س.، گالشی. ۱۳۸۱. واکنش اجزای جوانه‌زنی به تنش شوری در کلزا. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۶: ۴۵۷-۴۶۳.

۲- سپانلو، م. ق.، و ح.، سیادت. ۱۳۷۸. اثر تنش آبی بر خصوصیات جوانه‌زنی گندم. علوم خاک و آب. ۱۳: ۸۷- ۹۷.

۳- سرمدنیا، غ و ع.، کوچکی، ۱۳۸۰. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ص ۴۵.

۴- شکاری، ف.، ف.، رحیم زاده خوئی، م.، ولیزاده، ه.، آلیاری، و م. ر.، شکیبا. ۱۳۷۷. اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی ۱۸ رقم کلـزا. چکیـده مقـالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران .کرج. ۴۵.

۵- ماشی، ا.، و س.، گالشی. ۱۳۸۵. اثر شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی چهار ژنوتیپ جو بدون پوشینه. مجله علوم کشاورزی و منـابع طبیعـی. ۱۳: ۶۸-۷۵.

۶- کوچکی، ع.، م. ح.، راشد محصل، م.، نصیری، و ر. صدرآبادی. ۱۳۷۰. مبانی فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان زراعی. انتشـارات آسـتان قـدس رضوی. ۳۴-۳۶.

۷- همایی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. نشریه شماره ۵۸. تهران. ایران.

8- Akhter, N., N. A., Akram, and M., Shahbaz. 2007. Pre-sowing seed treatments with glycinebetaine and mineral nutrients of wheat (*Triticum Aestivm L.*) under saline condition. Pakistan Journal Agricultural Science. 44: 236-241.

9- 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.

10- Cramer, G. R., E., Epstein, and A., Lauchli. 1991. Effect of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. II. Element analysis. Physiologia Plantarum. 81:187-292.
11- Demiral, T., and I., Turka. 2006. Exogenous glycinebetaine affects growth and proline accumulation and retards senescence in two rice cultivars under NaCl stress. Environmental and Experimental Botany. 56: 72–79.
12- Gadallah, M. M. A. 1999. Effects of proline and glycine betaine on *Vicia faba* responses to salt stress. Biologia Plantarum. 42:249-257.
13- 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.
14- Hartman, H., D., Kester, and F., Davis. 1990. Plant propagation, principle and practices. Prentice Hall Imitational Editions. 435-440.
15- Heuer, B. 2003. Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. Plant Science. 165: 693–699.
16- Khan, A. A.1980. The physiology and biochemistry of dormancy and germination. North- Holland. Publishing Company, Oxford.
17- Krishramurthy. L., O., Ito, C., Johansen, and N.P. Saxsena. 1998. Length to weight ratio of chickpea roots under progressively reducing soil moisture conditions in a vertisol. Field Crops Research. 58:177-185.
18- 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 Biol. 27: 813_ 815.
19- Lopez, C.M.L., H., Takahashi, and S., Yamazaki. 2002. Plant-water relations of kidney bean plants treated with NaCl and foliarly applied glycinebetaine. Journal of Agronomy Crop Science. 188: 73–80.
20- Lowlor, D.W. 1970. Absorption of polyethylene glycols by plants and their effects on plant growth. Newphytol. 69: 501-513.
21- Makela, P., K., Jokinen, M., Kontturi, P., Peltonen-SainioE., 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.
22- Makela, P., M., Kontturi, E., Pehu, and S., Somersalo. 1999. Photosynthetic response of drought- and salt-stressed tomato and turnip rape plants to foliar-applied glycinebetaine. Physiologia Plantarum. 105: 45–50.
23- Michel, B. E. 1983. Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 in both the absence and presence of other solutes. Plant Physiology. 72:66-70.
24- Mikelbert, M., P. L., Chapman, and C., Christian, 2006. Endogenos levels and exogenous application of glycinebetaine to grapevines. Scientia Horticulture. 111: 7-16.
25- Naidu, B.P., P.R., Morris, and D.F., Cameron.1996. Treatment with glycinebetaine to increase seed germination, seedling vigour and yield of cotton. Proceedings of 8th Australian Conference, Gold Coast.
26- Nomura, M., T., Hibino, T., Takabe, T., Sugiyama, A., Yokota, H., Miyake, and T., Takabe. 1998. Transgenically produced glycinebetaine protects ribulose 1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase from inactivation in Synechococcus sp. PCC 7942 under salt stress. Plant Cell Physiology. 39: 425-432.
27- Olinkova, T. V. 1979. Water holding capacity and drought resistance of wheat species and cultivars.Trudy Po Pricladoni Botanic Genectike Selectii. 27: 546-580.
28- Paleg, L.G., G.R., Stewart, and R., Starr, 1985. The effect of compatible solutes on proteins. Plant and Soil 89: 83-94.
29- Schobert B. 1977. Is there an osmotic regulatory mechanism in algae and higher plants? Journal of Theoretical Biology. 68:17–26.
30- Voetberg, G.S., and R.E., Sharp. 1991. Growth of the maize primary root at low water potentials. III. Role of increased proline deposition in osmotic adjustment. Plant Physiology. 96: 1125–1130.
31- WeiBing, X., and Rajashekar, C.B. 1999. Alleviation of water stress in beans by exogenous glycine betaine. Plant Science. 148:185–192.
32- Wilson, S. 2001. Frost management in cool climate vineyards. Final Report to Grape and Wine Research and Development Corporation, Australia. 34.
33- Wyn Jones, R.G., and R., Storey. 1981. Betaines. In: The physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. (Eds. L. G. Paleg and D. Aspinall). 171-204, Academic Press, NewYork.