

اثر کاربرد خارجی گلیسین بتائین بر عملکرد و متغیرهای فیزیولوژیکی گیاه کلزا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

The effects of foliar application Glycine Betaine on yield and physiological variables of rapeseed (*Brassica Napus L.*) under different irrigation regimes

محسن بوربور^۱، میثم اویسی^{۱*} و محمد نصری^۲

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین- پیشوا، ورامین، تهران - ایران.
۲- مرکز تحقیقات فنآوری‌های نوین تولید غذای سالم، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، تهران، ایران.

نویسنده مسوول مکاتبات: meysamoveysi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۲۴

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر محلول‌پاشی گلیسین بتائین بر صفات زراعی و فیزیولوژیک کلزا در شرایط کم‌آبی در منطقه ورامین، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد ورامین به‌صورت کرت خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی در این آزمایش شامل تنش کم‌آبی در سه سطح (I₁- آبیاری معمول، ۶۰ mm تبخیر از تشتک تبخیر، I₂- تنش ملایم، ۹۰ mm تبخیر از تشتک تبخیر و I₃- تنش شدید، ۱۲۰ mm تبخیر از تشتک تبخیر) و محلول‌پاشی گلیسین بتائین در چهار سطح (B₁- آب خالص، B₂- ۱/۵ در هزار، B₃- دو در هزار و B₄- ۲/۵ در هزار) بودند. اثرات متقابل سطوح آبیاری و محلول‌پاشی گلیسین بتائین بر عملکرد دانه، محتوای گلیسین بتائین، محتوای مالون دی‌آلدئید، محتوای کلروفیل a و b معنی‌دار بود. به‌طور کلی با افزایش غلظت گلیسین بتائین به‌ویژه تحت شرایط محدودیت شدید آبیاری، میزان عملکرد دانه و صفات ذکر شده (به‌جز محتوای مالون دی‌آلدئید) افزایش یافت. اثر متقابل دور آبیاری و غلظت گلیسین بتائین در محتوای پرولین و RWC معنی‌دار نشد. اما اثرات ساده عوامل مذکور در این صفات معنی‌دار بود. بالاترین محتوای رطوبت نسبی (۸۰/۸۷ درصد) و محتوای پرولین (۱۵/۷ میکرومول بر گرم وزن تر) به‌ترتیب در غلظت ۲/۵ در هزار و ۱/۵ در هزار گلیسین بتائین مشاهده شد. در حالی که محتوای پرولین در تیمار ۲/۵ در هزار گلیسین بتائین به کم‌ترین مقدار خود رسید.

واژگان کلیدی: کلزا، عملکرد دانه، گلیسین بتائین، مالون دی‌آلدئید، محتوای کلروفیل.

مقدمه

کلزا سومین منبع مهم روغن گیاهی (بعد از سویا و نخل روغنی) در دنیا است که دارای صفات مثبت زراعی از قبیل تحمل به سرما، کم آبی و شوری و عدم حساسیت نسبی به نوع بافت خاک و قابلیت رقابت با علف‌های هرز هست (Ashraf and Foolad, 2007). کلزا با نام علمی *Brassica Napus L.* یکی از گونه‌های زراعی جنس براسیکا است که حدود ۱۲ درصد از میزان کل تولید جهانی دانه‌های روغنی را به خود اختصاص داد (FAO, 2005).

حداکثر عملکرد اقتصادی یک محصول زمانی حاصل می‌شود که تعادل بین گیاه و عوامل محیطی در طول چرخه زندگی گیاه برقرار باشد (Aniol, 2002). امروزه حدود ۲۶ درصد کل تنش‌های محیطی ناشی از محدودیت رطوبت است، با توجه به این‌که گیاهان وقتی در شرایط تنش قرار می‌گیرند قادر به فرار از تنش نمی‌باشند، بنابراین به‌راهکارهایی برای مقابله با تنش خشکی نیازمند هستند. از این رو گیاهان برخی خصوصیات مورفولوژیک یا فیزیولوژیک متفاوتی را در جهت مقابله با شرایط تنش محیطی از خود بروز می‌دهند (Sakamoto and Murata, 2002). مثلاً برخی گیاهان با تولید برخی از ترکیبات آلی و متابولیت‌های سازگار سازوکارهای دفاعی خاصی را در خود فعال می‌کنند (Chaves and Oliveira, 2004; Ramachandra et al., 2004; Aniol, 2002).

گلیسین بتائین $[(CH_3)_3N+CH_2COO^-]$ یکی از معمول‌ترین محلول آلی سازگار است که در ریزسازواره‌های مختلف، گیاهان عالی و حیوانات وجود داشت و از بین بسیاری از ترکیبات شناخته شده، بیش‌ترین و فراوان‌ترین اثر را در واکنش به تنش کم‌آبی گیاهان دارد (علی و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که کاربرد خارجی گلیسین بتائین در محدوده ۱۰ تا ۲۵۰ میلی‌مولار سبب افزایش عملکرد ذرت تحت تنش کمبود آب می‌شود (میری و ضمانی‌مقدم، ۱۳۹۳). با توجه به این‌که همه گیاهان گلیسین بتائین را به‌میزان کافی

برای دفع اثرات سو تنش‌های غیرزنده تجمع نمی‌دهند، برای افزایش غلظت این ترکیبات در گیاهان استعمال خارجی این تنظیم‌کننده‌ها به‌صورت تیمار بذر و یا پاشش برگی صورت می‌گیرد (Ashraf and Foolad, 2007).

اثر گلیسین بتائین بر عملکرد وش و کیفیت بذر ارقام پنبه در شرایط تنش رطوبتی در شهرستان گرگان نشان داد که محلول‌پاشی با دو سطح گلیسین بتائین (سه تا شش کیلوگرم در هکتار) نسبت به پاشش آب خالص باعث افزایش عملکرد وش، تعداد قوزه، تعداد شاخه‌زایی، ارتفاع بوته و کاهش درصد ریزش قوزه و درصد زودرسی شد، اما بر وزن بیست قوزه اثر معنی‌داری نداشت (ساوری و همکاران، ۱۳۸۷). رضایی (۱۳۸۸) گزارش کرد تیمار دانه‌های پنبه با گلیسین بتائین موجب ایجاد ساقه و ریشه‌های قوی‌تر، بهبود شاخه‌ها، گل‌دهی زودتر و افزایش تعداد قوزه‌ها می‌شود. محمدزمانی و همکاران (۱۳۸۸) بیان داشتند که گیاه کتان رشد یافته در شرایط تنش خشکی، عملکرد تیمار برگ‌گی گلیسین بتائین بر عملکرد و فرآیندهای فیزیولوژیکی، اثری نداشت. بوته‌های لوبیایی تیمار شده با گلیسین بتائین به‌دنبال برطرف شدن تنش، توانایی بیش‌تری در ترمیم پژمردگی از خود نشان دادند، که این امر برای گیاهانی که تحت تنش خشکی رشد می‌کنند صفتی بسیار مهم به شمار می‌آید (محمدزمانی و همکاران، ۱۳۸۸). تیمار بذور پنبه با گلیسین بتائین موجب ایجاد ساقه و ریشه‌های قوی‌تر، بهبود شاخه‌ها، گل‌دهی زودتر و افزایش تعداد قوزه‌ها شد (جوادی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). گلیسین بتائین به‌عنوان یک اسمولیت سیتوپلاسمی عمل می‌کند و آنزیم‌ها و غشاها را از اثرات پسابیدگی حفظ می‌کند (Chaum et al., 2013).

اهداف این آزمایش ارزیابی استفاده بالقوه از گلیسین بتائین به‌منظور افزایش عملکرد و تحمل به خشکی در گیاه کلزا تحت شرایط کم‌آبی در مزرعه و تعیین غلظت مناسب گلیسین بتائین برای استفاده از این ماده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی بتائین گلایسین و تنش کم‌آبی بر خصوصیات زراعی و مورفوفیزیولوژیک کلزا (*Brassica Napus L.*) در منطقه ورامین آزمایش مزرعه‌ای طی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی ورامین - پیشوا انجام شد. این تحقیق به‌صورت کرت خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل‌های مورد بررسی در این آزمایش عبارتند از عامل اصلی شامل تنش کم آبی در سه سطح: I₁- آبیاری معمول، 60mm تبخیراز تشتک تبخیر، I₂- تنش ملایم، 90mm تبخیر از تشتک تبخیر، I₃- تنش شدید، 120mm تبخیر از تشتک تبخیر و محلول‌پاشی بتائین گلایسین در چهار سطح: B₁ آب خالص، B₂ - ۱/۵ در هزار، B₃: دو در هزار، B₄ - ۲/۵ در هزار به‌عنوان عامل فرعی بود.

هر تکرار شامل ۱۲ کرت آزمایشی و در هر کرت شش خط کاشت (هر خط به‌طول پنج متر) وجود داشت. فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. روش آبیاری به‌صورت قطره‌ای بود. جهت اعمال تنش خشکی از تشتک تبخیر کلاس A روی تیمارهای تنش خشکی اعمال شد. اعمال تیمارهای گلایسین بتائین از ابتدای مرحله ساقه‌دهی صورت گرفت. روش نمونه‌برداری در هر کرت به‌صورت کاملاً تصادفی و با در نظر گرفتن اثرات حاشیه به‌طول نیم‌متر حاشیه انجام شد. نمونه‌برداری‌ها در مراحل فنولوژیکی مختلف و بر حسب نیاز انجام شد و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی کامل ادامه یافت.

صفات ذیل در این تحقیق اندازه‌گیری شد؛ عملکرد دانه: جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، دو مترمربع از کرت برداشت و وزن دانه‌ها اندازه‌گیری شد، سپس با استفاده از تناسب میزان کل را محاسبه گردید.

اندازه‌گیری میزان RWC: جهت محاسبه

محتوای آب نسبی برگ (RWC)، سه برگ انتهایی از

هر ردیف انتخاب و داخل کیسه پلاستیکی قرار گرفت. ابتدا وزن اولیه برگ‌ها اندازه‌گیری و بعد در داخل ظرف حاوی آب مقطر به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفت. سپس برگ‌ها را بیرون آورده و با کاغذ صافی خشک کرده و وزن آماس یافته تعیین و سپس به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه خشک شد و سپس وزن خشک اندازه‌گیری شد (Gupta, 2003).

$$(RWC) = \frac{W_f - W_d}{W_f - W_d} \times 100$$

۱۰۰ × وزن خشک برگ - وزن اشباع برگ / وزن خشک برگ - وزن تازه برگ = محتوای رطوبت نسبی (RWC)

کلروفیل a و b: اندازه‌گیری محتوای رنگدانه از

طریق روش (خشویی، ۱۳۸۹) انجام شد. مقدار جذب توسط اسپکتروفتومتر به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۷ نانومتر برای کلروفیل b مقدار جذب قرائت گردید. در نهایت میزان کلروفیل a و b با استفاده از فرمول (خشویی، ۱۳۸۹) بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه در قالب ذیل محاسبه شد.

$$\text{Chl.a (mg. l}^{-1}\text{)} = (12.25 \times A_{663} - 2.79 \times A_{647}) \times D$$

$$\text{Chl.b (mg. l}^{-1}\text{)} = (21.5 \times A_{647} - 5.1 \times A_{663}) \times D$$

پرولین: نیم گرم برگ تر در هاون خرد شده و

درون فالكون‌های ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد، سپس پنج میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید سه درصد آماده شده را به آن اضافه نمود و نمونه‌ها درون یخ قرار داده شدند. فالكون‌ها با سرعت ۳۵۰۰ دور به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شدند تا مواد اضافی از محلول جدا گردد. سپس مقدار یک میلی‌لیتر از عصاره صاف شده را درون فالكون‌های ۱۵ میلی‌لیتری جدید ریخته و ۵۰ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین (۱۲۵ میلی‌گرم نین‌هیدرین + دو میلی‌گرم اسید فسفریک شش مولار + سه میلی‌لیتر اسید استیک گلایسال) و پنج میلی‌لیتر اسید استیک

UV-Visible قرائت شد (Sairam *et al.*, 2002). مالون دی آلدئید (MDA): برای اندازه‌گیری میزان مالون دی آلدئید از دستگاه کروماتوگرافی HPLC و از روش (خشویی، ۱۳۸۹) استفاده گردید. پیک MDA در اسپکتروفتومتر با دکتور مرئی در طول موج ۵۳۲ نانومتر شناسایی و براساس سطح زیر منحنی پیک اندازه‌گیری گردید. جهت استاندارد شدن مالون دی آلدئید خالص با نسبت‌های مختلف در بافر شستشو و منحنی استاندارد رسم گردید. بعد از محاسبه داده‌های مربوط به هر صفت، اندازه‌گیری انفرادی هر متغیر را با استفاده از نرم‌افزار Spss24 تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج نشان داد عملکرد دانه تحت تاثیر اثر ساده کم آبی و اثرات متقابل آبیاری و گلايسين بتائين قرار گرفت و اختلاف به وجود آمده از نظر آماری به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول یک).

گلايسيل به آن افزود و سپس به‌خوبی مخلوط شد. مخلوط حاصل را پس از برهم زدن به مدت ۴۵ دقیقه روی حمام جوش (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) گرم کرده و پس از خنک شدن، روی آن پنج میلی‌لیتر بنزن اضافه کرده و به‌شدت تکان داده شد. بعد از ۲۵ تا ۳۰ دقیقه نمونه‌ها به حالت ساکن نگهداری شد. شدت جذب با اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد. منحنی استاندارد با غلظت‌های ۰/۴- صفر میکروگرم پرولین بر گرم تهیه گردید (Habibi *et al.*, 2004).

$$\mu\text{mole prolin g}^{-1} \text{ F.W} = [(\mu\text{g prolin ml}^{-1} * \text{ml Toluene}) / 115.5 \mu\text{g } \mu\text{mole}^{-1}] / [(g \text{ sample}/5)]$$
 محتوی گلايسين بتائين موجود در برگ: یک گرم پودر خشک شده برگ گیاه در ۴۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر حل شد و پس از عبور از کاغذ صافی به نسبت یک به یک با اسید سولفوریک N₂ رقیق گردید. سپس به یک میلی‌لیتر از آن ۰/۴ میلی‌لیتر از معرف یدید پتاسیم سرد اضافه شد و بلافاصله ورتکس گردید. بعد نمونه‌ها در دمای صفر درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ شد. یک میلی‌لیتر از فاز بالایی با میکروپیپت جدا، با نه میلی‌لیتر ۱/۲ دی کلرو اتان مخلوط و سپس ورتکس شد و بعد جذب آن در طول موج ۳۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکترومتر

۱- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی گلايسين بتائين و تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه کلزا
 Table 1. Analysis of variance for grain yield and physiological traits of rapeseed under drought stress and glycine betaien spray

S. O. V	منابع تغییرات	MS						
		عملکرد دانه G.Y	محتوای رطوبت نسبی RWC	مالوم دی آلدئید MDA	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	پرولین Prolin	بتائين گلايسين G.B
Replication	تکرار	0.105	25.804	8.211	0.760	0.126	5.955	0.218
Irrigation (I)	آبیاری	1.153*	323.204*	497.170**	2.270*	0.752*	805.332**	176.122**
Error a	خطای اصلی	0.105	20.161	18.674	0.730	0.076	11.145	1.246
Glycine Betaien	بتائين گلايسين	0.057 ^{ns}	146.023*	2.131 ^{ns}	1.146**	0.324**	19.449**	3.381**
GB *I	آبیاری × بتائين	0.383**	39.181 ^{ns}	22.484*	1.456**	0.546**	10.924 ^{ns}	1.367*
Error b	خطای فرعی	0.057	47.890	8.061	0.863	0.089	8.538	0.627
CV (%)	ضریب تغییرات	7.41	9.20	6.95	6.76	7.23	2.08	11.76

*, **, ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار

*,** significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. ns; non-significant

می‌تواند از طریق تسریع پیری نیز عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. گزارش گردید که مراحل گل‌دهی و نمو خورجین‌ها در کلزا از نظر نیاز گیاه به آب، مراحل بحرانی است، اعمال تنش در این مراحل به دلیل اثر نامناسب بر میزان جذب آسیمیلات‌ها، موجب کاهش شدید عملکرد دانه شد (Sinaki *et al.*, 2007). مصرف خارجی گلايسين بتائين در گندم، از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله سبب افزایش عملکرد گردید و بهترین زمان مصرف گلايسين بتائين، در مرحله رویشی بود (Diaz-Zoritaa *et al.*, 2001).

محتوای پرولين

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول یک)، میزان پرولين تحت تاثیر اثرات ساده سطوح کم‌آبی و محلول‌پاشی گلايسين بتائين در سطح احتمال یک درصد قرارگرفت؛ اما محتوی پرولين برگ تحت تاثیر عوامل آزمایش قرار نگرفت و اثر متقابل عوامل مذکور بر این صفت معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری مشخص کرد که بیش‌ترین محتوای پرولين مربوط به تیمار تنش شدید با ۲۳/۴۱۶ میکرومول بر گرم وزن تر و کم‌ترین آن مربوط به تیمار آبیاری معمول با ۷/۲۶۶ میکرومول بر گرم وزن تر بود (جدول دو).

نتایج اثرات متقابل آبیاری و گلايسين بتائين نشان داد بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری معمول (۶۰ mm تبخیر از تشتک) و غلظت دو در هزار گلايسين بتائين (۳/۶۸ تن در هکتار) و کم‌ترین میزان آن در شرایط تنش شدید (۱۲۰ mm تبخیر از تشتک) و عدم محلول‌پاشی گلايسين بتائين (۲/۵۳ تن در هکتار) به‌دست آمد (جدول چهار). می‌توان گفت که محلول‌پاشی گلايسين بتائين توانسته اثرات سؤ تنش خشکی بر عملکرد دانه را تا حدود زیادی جبران کند و مانع از کاهش عملکرد در این شرایط شود. با شدت یافتن تنش کم‌آبی از تعداد خورجین در بوته و تعداد بذر در خورجین کاسته شد، به‌نظر می‌رسد تداوم یافتن تنش در مراحل گل و نمو خورجین‌ها باعث عدم تلقیح و تشکیل خورجین‌ها و تا حدودی افزایش درصد خورجین‌های سقط شده و ریزش آن‌ها گردید. همچنین تنش خشکی در مرحله گل‌دهی موجب کاهش چشمگیر تعداد خورجین‌ها در بوته گردید که دلیل آن نقصان در تولید و عرضه مواد فتوسنتزی در زمان وقوع تنش و عدم تأمین مواد فتوسنتزی کافی جهت تخصیص مناسب به خورجین‌های تولید شده و در حال رشد و در نتیجه ریزش آنها در کلزا می‌باشد. همین‌طور تداوم تنش خشکی طی دوره پر شدن دانه

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح کم‌آبی بر صفات عملکرد دانه، کلروفیل a، کلروفیل b، بتائین گلايسين، مالون دی آلدئید، پرولين و محتوای رطوبت نسبی

Table 2-Mean of proline content, malondialdehyde, yield, RWC, Chla, Chl b and Glycine Betain under different irrigation regimes

تیمار Treatment	محتوای رطوبت نسبی RWC(%)	پرولين Proline ($\mu\text{mol.g FW}$)	مالون دی آلدئید MDA (nm.mg.protien)	بتائین گلايسين G.Betaien ($\mu\text{g.mg. FW}$)	کلروفیل b Chl b (mg.Lit)	کلروفیل a Chl a (mg.Lit)	عملکرد دانه G. Yield (t/ha)
آبیاری معمول (I ₁)	81.200 ^a	7.266 ^c	33.850 ^c	3.182 ^c	3.235 ^a	4.75 ^a	3.554 ^a
تنش ملایم (I ₂)	72.558 ^b	12.950 ^b	42.930 ^b	6.366 ^b	2.86 ^b	3.925 ^b	3.17 ^b
تنش شدید (I ₃)	71.900 ^b	23.416 ^a	46.622 ^a	10.81 ^a	2.427 ^c	3.12 ^c	2.94 ^c

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means followed by different lower-case letters are significantly different at (P<0.05) by the Duncan's Multiple Range Test

پرولین در سطح سلولی در پدیده تنظیم اسمزی بسیاری از گیاهان شرکت می‌کند، که احتمالاً یکی از سازوکارهای مهم برای غلبه بر تنش اسمزی بود. محلول‌پاشی با گلیسین بتائین منجر به القا تولید سطوح پایین گونه‌های فعال اکسیژن شد، که منجر به سازگاری گیاهان قبل از وقوع تنش شدید گردید. متابولیت‌های سازگار مانند پرولین نقش نوعی حفاظت کننده اسمزی، پایدار کننده دیواره‌های سلولی و تنظیم فشار تورژسانس را بر عهده دارند، در نتیجه منجر به حفظ انسجام غشایی سلول‌ها می‌شوند. بنابراین احتمالاً بخشی از تاثیرات مثبت گلیسین بتائین در افزایش عملکرد دانه گیاه کلزا از طریق تجمع متابولیت‌های سازگار است.

مقایسه میانگین اثرات ساده محلول‌پاشی بتائین گلیسین نشان داد که بیش‌ترین میزان پرولین مربوط به تیمار ۱۵/۷ با ۱۵/۷ میکرومول بر گرم وزن تر و کم‌ترین میزان پرولین مربوط به تیمار ۲/۵ در هزار با ۱۲/۳۸۸ میکرومول بر گرم وزن تر بود (جدول سه). نتایج مشابه نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار محتوی پرولین و فعالیت آنزیم پرولین-۵- کربوکسیلات ردوکتاز در برگ ارقام پنبه شد (Parida et al., 2008).

نتایج نشان داد حتی تنش خشکی در سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه در گیاه بابونه، موجب افزایش تجمع تنظیم کننده اسمزی (کربوهیدرات‌ها و پرولین) گردید (آرزمجو و همکاران، ۱۳۸۹). تجمع

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح بتائین گلیسین بر صفات کلروفیل a، کلروفیل b، بتائین گلیسین، پرولین و محتوی رطوبت نسبی

Table 3. Mean of proline content, RWC, Chla, Chl b and Glycine Betain under Glycine Betain spray

Treatment	تیمار بتائین گلیسین	محتوی رطوبت نسبی RWC (%)	پرولین Proline (µm.g fw)	گلیسین بتائین G. Betain (µg.mg.fw)	کلروفیل b Chl b (mg.Lit)	کلروفیل a Chl a (mg.Lit)
B ₁	Water	71.344 ^b	15.055 ^{ab}	5.87 ^b	1.936 ^a	3.078 ^a
B ₂	1.5/1000B.G	74.488 ^{ab}	15.700 ^a	7.152 ^a	2.121 ^b	3.932 ^b
B ₃	2/1000 B.G	74.166 ^{ab}	15.034 ^{ab}	7.158 ^a	2.488 ^a	4.652 ^a
B ₄	2.5/1000B.G	80.87 ^a	12.388 ^b	6.956 ^a	2.583 ^a	4.845 ^a

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by different lower-case letters are significantly different at (P< 0.05) by the Duncan's Multiple Range Test.

گلیسین بتائین

خشک برگ و کم‌ترین آن در شرایط آبیاری معمول و غلظت ۱/۵ در هزار گلیسین بتائین برابر با ۲/۷۱ میکروگرم بر میلی گرم وزن خشک برگ به دست آمد (جدول چهار). گلیسین بتائین در شرایط تنش تجمع یافته و به‌عنوان یک محلول تنظیم کننده مؤثر در گیاهان محسوب می‌شود (Hanson et al., 2007). گلیسین بتائین در پاسخ به تنش خشکی در اکثر گیاهان زراعی از جمله چغندر قند، اسفناج، جو، گندم، و سورگوم تجمع می‌یابد. در اکثر گیاهان زراعی تجمع طبیعی گلیسین بتائین پایین‌تر از مقداری است

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس (جدول یک) مشاهده شد اثرات ساده سطوح کم‌آبی و محلول‌پاشی گلیسین بتائین تاثیر معنی‌داری بر محتوی گلیسین بتائین برگ کلزا داشت (P<0.01) اثر متقابل تیمارها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین سطوح کم‌آبی و محلول‌پاشی گلیسین بتائین روی گلیسین بتائین موجود در برگ نشان داد که بالاترین محتوی گلیسین بتائین در شرایط تنش شدید و غلظت ۱/۵ در هزار گلیسین بتائین برابر با ۱۱/۶۰ میکروگرم بر میلی گرم وزن

رادیکال‌های آزاد گردید و بدین ترتیب تحمل گیاه را در برابر تنش کم آبی افزایش یافت.

محتوی کلروفیل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده سطوح کم‌آبی بر محتوای کلروفیل a در سطح پنج درصد و اثر ساده سطوح محلول‌پاشی گلیسین بتائین و اثر متقابل عوامل تحقیق در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل برگ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و گلیسین بتائین بر کلروفیل a نشان داد که بیشینه مقدار کلروفیل a در تیمار I₁B₄ (۴/۸۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) و کمینه آن در تیمار I₃B₁ (۳/۰۷۸ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده گردید (جدول یک و چهار).

که بتواند اثرات مضر کمبود آب را اصلاح کند، اما طبق نتایج این تحقیق محلول‌پاشی آن در غلظت‌های پایین برای شروع فرآیندهای دفاعی و تداوم رشد گیاه کلزا در شرایط تنش می‌تواند مفید باشد. در همین راستا، گزارشات زیادی در اثبات اثرات مثبت استفاده خارجی گلیسین بتائین بر رشد و عملکرد محصولات مختلف تحت شرایط تنش خشکی وجود دارد. مثلاً در گیاهانی مثل تنباکو، گندم، جو، سورگوم، سویا و لوبیای معمولی این حالت مشاهده شد (بی‌نام، ۱۳۹۲). در این تحقیق نیز مصرف ۱/۵ در هزار گلیسین بتائین در هنگام تنش شدید باعث افزایش تحمل دیواره سلولی شد و از مرگ سلول جلوگیری نمود همچنین با ارائه سازوکارهای دفاعی تا حدودی مانع تشکیل

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و گلیسین بتائین بر روی محتوی مالون دی‌آلدئید، گلیسین بتائین، کلروفیل و عملکرد دانه در گیاه کلزا

Table 4. Mean of malondialdehyde, glycine betain, chlorophyll content and grain yield in rapeseed under different irrigation regimes and glycine betain applications

تیمار Treatments	مالون دی‌آلدئید MDA (nm.mg.protein)	گلیسین بتائین Glycine Betain (µg.mg.fw)	کلروفیل a Chl a (mg.Lit)	کلروفیل b Chl b (mg.Lit)	عملکرد دانه Grain Yield (t/ha)
I ₁ *B ₁	33.49 ^d	3.09 ^e	4.16 ^b	2.43 ^{bc}	3.64 ^a
I ₁ *B ₂	36.83 ^{cd}	2.71 ^f	4.83 ^{ab}	2.61 ^b	3.25 ^{ab}
I ₁ *B ₃	33.04 ^e	3.26 ^e	5.12 ^a	3.10 ^a	3.68 ^a
I ₁ *B ₄	31.81 ^{cd}	3.65 ^e	5.62 ^a	3.23 ^a	3.62 ^a
I ₂ *B ₁	41.97 ^{bc}	4.72 ^d	2.43 ^{de}	1.4 ^{de}	3.54 ^{ab}
I ₂ *B ₂	41.86 ^c	7.14 ^c	3.85 ^{bc}	1.8 ^d	3.25 ^{ab}
I ₂ *B ₃	42.24 ^b	6.83 ^{bd}	4.11 ^b	2.42 ^c	3.03 ^b
I ₂ *B ₄	42.12 ^b	6.10 ^{bd}	4.26 ^b	2.47 ^{bc}	2.84 ^{cd}
I ₃ *B ₁	48.83 ^a	9.14 ^b	2.25 ^e	1.13 ^e	2.53 ^d
I ₃ *B ₂	42.15 ^b	11.60 ^a	2.75 ^d	2.02 ^{cd}	2.83 ^{cd}
I ₃ *B ₃	47.16 ^a	11.30 ^a	3.13 ^c	2.25 ^c	2.94 ^c
I ₃ *B ₄	47.85 ^a	11.11 ^a	3.93 ^{bc}	2.66 ^b	3.44 ^{ab}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند Means followed by different lower-case letters are significantly different at (P< 0.05) by the Duncan's Multiple Range Test

I₁- آبیاری نرمال، 60mm تبخیراز تشتک تبخیر، I₂- تنش ملایم، 90mm تبخیر از تشتک تبخیر، I₃- تنش شدید، 120mm تبخیر از تشتک تبخیر، B₁- آب خالص، B₂- ۱/۵ در هزار، B₃- ۲ در هزار، B₄- ۲/۵ در هزار.

I₂- mild stress, 99mm tub evaporation, I₃- sever stress, 120mm tub evaporation, B₁- pure water, B₂- 1.5 /1000, B₃- 2/1000, B₄- 2.5/1000.

گلیسین بتائین و اثرات متقابل دو عامل مذکور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول یک).

همچنین تجزیه واریانس مربوط به کلروفیل b نشان داد که سطوح آبیاری در سطح پنج درصد و محلول‌پاشی

بدون محلول پاشی گلاسیسین بتائین (۴۸/۸۳ نانومول در میلی گرم پروتئین) و کمینه آن در تیمار آبیاری معمول و غلظت ۲/۵ در هزار گلاسیسین بتائین (۳۱/۸۱ نانومول در میلی گرم پروتئین) مشاهده گردید. با توجه به نتایج هرچه میزان تنش شدیدتر شد، میزان مالون دی آلدئید هم افزایش داشت (جدول دو).

پایداری پایین غشا (MDA بالا)، منعکس کننده پراکسیداسیون لیپیدها که پیامد تنش اکسیداسیونی بالای ناشی از تنش خشکی است. تنش خشکی منجر به تغییر در تعادل سلول‌های گیاهی شد. این تغییر ممکن است به علت افزایش تولید ROS باشد، این افزایش باعث القای پراکسیداسیون لیپید (LPO) (Lipid peroxidation) غشای اندامک‌های سلولی شد (Beckers and Spoel, 2006). همچنین افزایش در فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز (LOX) تحت شرایط خشکی نیز این مساله را تایید نمود. این آنزیم واکنش‌های پراکسیداسیون لیپیدها را کاتالیز می‌کند. طبق نتایج، بخشی از تاثیرات مثبت گلاسیسین بتائین از طریق حذف ROS و کاهش تولید آن‌ها و در نتیجه کاهش فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز تحت شرایط تنش بود، بنابراین مانع از پراکسیداسیون لیپیدها شد.

محتوای رطوبت نسبی (RWC)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، محتوای نسبی آب برگ تحت تاثیر سطوح کم آبی و سطوح محلول پاشی گلاسیسین بتائین (در سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت (جدول یک). بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار آبیاری شاهد برابر با ۸۱/۲۰ درصد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار تنش ملایم برابر با ۷۲/۵ درصد بود (جدول دو). همچنین بیشترین محتوای نسبی آب برگ در غلظت ۲/۵ در هزار گلاسیسین بتائین (۸۰/۸۷۷ درصد) و کمترین آن در تیمار آب خالص (بدون محلول پاشی) با ۷۱/۳۴ درصد مشاهده شد (جدول سه). آتیا (Atteya, 2003) در آزمایشی که بر روی ژنوتیپ‌های ذرت انجام داد، مشاهده کرد که حتی

مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و گلاسیسین بتائین روی کلروفیل b نشان داد که بیشینه مقدار به ترتیب در تیمار I_1B_3 و I_1B_4 برابر با ۳/۲۳ و ۳/۱ میلی گرم بر لیتر و کمینه آن در تیمار I_3B_1 برابر با ۱/۳ میلی گرم بر لیتر بود (جدول دو). از دلایل کاهش محتوی کلروفیل‌ها در شرایط تنش خشکی می‌توان به تغییر سوخت و ساز نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیباتی مانند پرولین اشاره نمود. شرایط تنش موجب می‌شود تا گلوتامات که پیش ماده ساخت کلروفیل و پرولین، کم‌تر در مسیر بیوسنتز کلروفیل قرار گیرد. علاوه بر موارد ذکر شده کاهش کلروفیل می‌تواند به دلیل پیری زودرس برگ‌ها در اثر اختلال هورمونی ناشی از تنش کم‌آبی باشد (کافی و همکاران، ۱۳۸۹). کاربرد گلاسیسین بتائین در غلظت‌های مختلف موجب تجمع گلاسیسین بتائین داخلی شد بنابراین موجب بهبود وضعیت کلروفیل b گردید. گلاسیسین بتائین از طریق حفظ و تنظیم اسمزی، حفظ تمامیت غشای پلاسمایی و حفظ ساختمان چهارم پروتئین‌ها منجر به افزایش تجمع کلروفیل‌ها، جذب دی‌اکسیدکربن، تسهیل انتقال الکترون، محافظت از فعالیت پروتئین‌ها و چربی غشای تیلاکوئیدی در فتوسنتز II شد. در نتیجه می‌توان این ترکیب را به‌عنوان یک عامل مهم فیزیولوژیکی در مقابله با تنش خشکی در گیاه کلزا دانست. در همین راستا گزارش گردید که گلاسیسین بتائین موجب حفظ غشاهای سلولی از خطرات پسابدگی و ممانعت از کاهش مقدار کلروفیل می‌شود (Sato et al., 2004). همچنین مصرف گلاسیسین بتائین میزان فتوسنتز و غلظت کلروفیل فلفل را تحت شرایط تنش شوری افزایش داد (Korkmaz et al., 2012). که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت می‌کند.

مالون دی آلدئید

محتوای مالون دی آلدئید تحت تاثیر سطوح کم‌آبی و اثرات متقابل آبیاری و گلاسیسین بتائین قرار گرفت (جدول یک). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیشینه مقدار مالون دی آلدئید در تیمار تنش شدید و شرایط

نتیجه‌گیری کلی

از آن‌جایی که گلايسين بتائين از جمله مولکول‌های موثر در مسیر علامت رسانی تنش‌ها به شمار می‌روند، محلول‌پاشی این ترکیب منجر به القا پاسخ‌های دفاعی گیاه کلزا و کاهش تخریب غشاها و تجمع مالون دی‌آلدئید شد، احتمالاً این پاسخ‌ها منجر به افزایش تحمل گیاه کلزا به تنش خشکی گردید و میزان رشد و عملکرد را در این شرایط افزایش داد. همچنین محلول‌پاشی گلايسين بتائين با غلظت ۲/۵ در هزار بهترین غلظت به‌کار رفته بود. از این‌رو گلايسين بتائين را می‌توان ماده‌ای امیدبخش برای رفع اثرات تنش خشکی در گیاه کلزا به حساب آورد و از جنبه‌های مثبت آن در کشت این گیاه در مناطق خشک بهره جست.

اعمال تنش ملایم خشکی میزان RWC را به مقدار قابل توجهی کاهش داد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در واقع در زمان بروز تنش به دلیل کاهش آب درون سلول و کاهش فشار آماس میزان RWC کاهش یافت (Yadav and Bhushan, 2006). در گیاهان لوبیای تیمار شده با گلايسين بتائين به دنبال بر طرف شدن تنش، گیاهان توانایی بیش‌تری در ترمیم پژمردگی از خود نشان دادند، که این امر برای گیاهانی که تحت تنش خشکی رشد می‌کنند صفتی بسیار مهم به شمار می‌آید (محمدزمانی و همکاران، ۱۳۸۸). در لوبیای معمولی، گیاهان تیمار شده با گلايسين بتائين، کاهش کم‌تری را در پتانسیل آب برگ طی تنش خشکی نشان دادند و علائم پژمردگی حتی دیرتر از گیاهان شاهد پدیدار شد (Nawaz and Ashraf, 2010).

References

منابع

- آرزمجو، ا.، حیدری، م.، قنبری، ا.، سیاه‌سرسر، ب. ع. و احمدیان، ا. ۱۳۸۹. تاثیر سه نوع کود بر درصد اسانس، رنگدانه‌های فتوسنتزی و تنظیم‌کننده‌های اسمزی در بابونه تحت تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۳ (۱): ۲۳-۳۳.
- بی‌نام، ح. ۱۳۹۲. نقش بتائین گلايسين و پرولین در بهبود مقاومت به تنش‌های غیر زنده در گیاهان، مجله دنیای کشاورزی، خرداد ماه، شماره ۳۴، ص ۳۶.
- جوادی‌پور، ز.، موحدی‌دهنوی، م.، بلوچی، ح.، ۱۳۹۰. تغییرات میزان پرولین، قندهای محلول، گلايسين بتائين و پروتئین محلول برگ شش رقم گلرنگ بهاره تحت تنش شوری / فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱، شماره ۲، سال ۱۳۹۰ / صفحه ۲۲-۱۳.
- خشویی، س. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر کم‌آبی و ترکم بوته بر برخی از صفات زراعی و مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم سویا در منطقه ورامین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی ورامین - پیشوا. صفحه ۱۷۸.
- ساوری، ع.، فتوکیان، م. ح.، برزعلی، م. ۱۳۸۷. ارزیابی اثرات بتائین گلايسين بر برخی خصوصیات زراعی ارقام پنبه تحت شرایط تنش خشکی. مجله دانشور علوم زراعی. (۱): ۶۷-۷۶.
- علی، س.، اسلامی، و.، بهدانی، م. ع. و جامی، م. ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد خارجی بتائین گلايسين در افزایش تحمل به سرما در گیاهچه‌های ذرت. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۸ (۶): ۹۴۵-۹۳۹.
- رضایی، م. ع. ۱۳۸۹. اثر خارجی گلیسین بتائین بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکرد سویا. مجله تحقیقات علوم گیاهی ۴۴ (۱): ۵-۱۷.
- کافی، م.، لاهوتی، م.، زند، آ.، ظریفی، ح. و گلدانی، م. ۱۳۸۹. فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). جلد دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۵۳-۵۲.

- محمدزمانی، م.، ربیعی، و.، نجاتیان، م.ع. ۱۳۸۸. تأثیر کاربرد بتائین گلیسین بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی انگور تحت شرایط تنش خشکی. مجله علوم باغبانی ایران، دوره ۴۳ (۴): ۳۹۳-۴۰۱.
- میری، ح.ر.، ضمانی مقدم، ع. ۱۳۹۳. کاربرد خارجی گلیسین بتائین به منظور کاهش اثرات تنش خشکی در ذرت (*Zea mays* L)، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳، ص ۷۰۴-۷۱۷.
- Aniol, A. 2002. Environmental in cereals: an overview. Proceeding of the 5th International Triticale Symposium, Jun30-July5, 2002, Radzikow, Poland. pp: 112 - 121.
- Ashraf, M., Foolad, M.R. 2007. Improving plant a biotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycine betaine and proline. Environment Experiment Botany 59: 206-216.
- Atteya, A.M. 2003. Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 29, 63-76.
- Beckers, G.J., and Spoel, S.H. 2006. Fine-tuning plant defence signalling: salicylate versus jasmonate. Plant Biology (Stuttg), 8:1-10.
- FAO. food out look. Globalmarket analysis. (2005).<http://www.fao food outlook.com>
- Chaves, M.M., and Oliveira, M.M. 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. Journal of Experimental Botany, 55: 2365-2384.
- Cha-um, S., Samphumphuang, T., Kirdmanee, C. 2013. Glycine Betaine alleviates water deficit stress in indica rice using proline accumulation, photosynthetic efficiencies, growth performances and yield attributes. Aus J Crop Sci 7(2):213-218
- Diaz-Zorita, M., Fernandez-Canigia, M.V., and Grosso, G.A. 2001. Application of foliar fertilizers containing glycine betaine improve wheat yields. J. Agron. Crop Sci. 186:209-215.
- Gupta, C., and Koomar, G. 2003. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. New phytology 146: 359-388.
- Hanson, A.D., May, A., Grumet, M.R., Bode, J., Jamieson, G.C., and Rhods, D. 2007. Betaine synthesis in chenopods: Localization in chloroplasts. Proceedings of the National Academic of Science USA 82: 3678-3682.
- Habibi, D.M., Boojar, M.A., Mahmodi, A., Ardakani, M.R., Taleghani, D. 2004. Antioxidative enzyme in sunflower subjected to drought stress. 4 international Crop science Congress, Brisbane, Australia, 26 September 1- October pp.1-4.
- Korkmaz, A., Sirikci, R., Kocacinar, F., Deger, O., and Demirkıran, A.R. 2012. Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycinebetaine. Scientia Horticulturae 148: 197- 205.
- Nawaz, K., and Ashraf, M. 2010. Exogenous application of Glycine Betaine modulates activities of antioxidants in maize plants subjected to salt stress. Journal of Agronomy and Crop Science 196:28-37.
- Parida, A.K., Dagaonkar, V.S., Phalak, M.S., and Aurangabadkar L.P. 2008. Differential response of the enzymes involved in proline biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery. Acta Physiologiae Plantarum 30: 619 - 627.
- Ramachandra, Reddy, A., Chaitanya, K.V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.
- Sairam, R.K., and Saxena, D.C. 2002. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. J. Agronomy and Crop Sci., 184: 55-61.
- Sakamoto, A., and Murata, N. 2002. The role of glycinebetaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. Plant cell Environment, 25: 163-171.
- Sato, F., Yoshioka, H., Fujiwara, T., Higashio, H., Uragami, A., and Tokuda, S. 2004. Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temperature storage in darkness. Science Horticulture 101: 349-357.
- Sinaki, J.M., Madjidi Heravan, E.A., Shirani Rad, H., Noormohammadi, G., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal of Agriculture & Environment Science, 2 (4): 417-422.
- Yadav, R.S., and Bhushan, C. 2006. Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotypes. Indian Journal of Agriculture Research 2, 104-107.