مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان
سال سوم، شماره چهارم، بهار 1393، صفحه 79ـ90

اثر محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین بر روی رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کلزا تحت تنش خشکی در مزرعه

هدا کدخدایی[1]، حمید سودائی‌زاده[2*]، اصغر مصلح آرانی[3]

[1] کارشناس‌ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه یزد
[2*] استادیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
پست الکترونیک نویسنده مسئول:
hsodaie@yazduni.ac.ir
[3] دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: 92/5/10 تاریخ پذیرش: 92/12/6

چکیده:

به‌منظور بررسی نقش گلایسین‌بتائین در افزایش مقاومت به خشکی گیاه کلزا تحت تیمارهای مختلف تنش رطوبتی، آزمایشی با استفاده از طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار، بررسی شد. تیمارهای آزمایشی شامل غلظت‌های مختلف گلایسین‌بتائین (0، 100 و 200 میلی‌مولار) در ترکیب با دور آبیاری (3، 6 و 9 روزه) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که کاربرد گلایسین‌بتائین به‌عنوان یک اسمولیت آلی به‌طور معنی‌داری، باعث افزایش قند و پرولین گیاه کلزا در شرایط محدودبودن رطوبت در دسترس (دور آبیاری 6 و 9 روز) در مقایسه با حالت عدم استفاده از این ماده (شاهد) شد. در دور آبیاری 9 روزه، کاربرد 200 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک و میزان کلروفیل برگ کلزا در مقایسه با شاهد شد. همچنین محاسبهٔ شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که مصرف گلاسین‌بتائین منجر به افزایش تحمل و ثبات تولید مادهٔ خشک کلزا در دور آبیاری 6 و 9 روزه نسبت به دور آبیاری 3 روزه شد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان‌دهندهٔ نقش مثبت گلایسین‌بتائین در بهبود شرایط رشد گیاه کلزا در وضعیت کم آبیاری است.

واژه‌های کلیدی: کم آبیاری، قند، پرولین، کلروفیل، اسمولیت‌های آلی، گلایسین‌بتائین.

مقدمه

گیاهان در طی دوران رشد خود با تنش‌های متعدد محیطی مواجه می‌شوند. هر یک از این تنش‌ها می‌توانند با توجه به میزان حساسیت و مرحلهٔ رشد گونهٔ گیاهی اثرهای متفاوتی بر رشد، متابولیسم و عملکرد آن‌ها داشته باشند (آرزمجو و همکاران، 1389). خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی، باغی و دارویی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیاست (حیدری، 1386). خشکی به‌وسیلهٔ عدم تعادل بین تبخیر و تعرق و بارندگی به‌وجود می‌آید (کافی و همکاران، 1381) و یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که هر ساله خسارت‌های زیادی به گیاهان در جهان و بالاخص ایران وارد می‌کند (صباغ‌پور، 1385). در محیط‌های طبیعی و اکوسیستم‌های کشاورزی، تنش خشکی منجر به ایجاد واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متفاوتی در گیاهان می‌شود و عملکرد آن‌ها را کاهش می‌دهد (ریاحی و همکاران، 1390).

یکی از روش‌های کاهش آثار سوء تنش خشکی اصلاح گیاهان زراعی متحمل به تنش‌های رطوبتی است. با این حال، اصلاح گیاهان زراعی متحمل به استرس‌های محیطی، نیاز به آگاهی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و ژنتیکی کنترل‌کنندهٔ رشد و نمو گیاه در مراحل مختلف دارد. این روش گران، زمان‌بر و پیچیده است؛ لذا محققان به دنبال استفاده از تکنیک‌های زود بازده دیگری هستند (اشرف و فولاد[1]، 2007).

از جمله راه‌کارهای افزایش تحمل گیاهان به کمبود آب، توجه و درک کامل پاسخ‌های سلولی گیاه به تنش‌های غیر زنده است. گیاهان در مواجهه با تنش خشکی، واکنش‌های متفاوتی از خود بروز می‌دهند. یکی از رایج‌ترین این واکنش‌ها سنتز و تجمع ترکیب‌هایی با وزن مولکولی کم به نام حفاظت‌کننده‌های اسمزی است (رضایی، 1389). این ترکیبات، پتانسیل اسمزی درون سلول‌ها را کاهش می‌دهد و به حفظ تورژسانس سلولی کمک می‌کند. یون های غیرآلی، یون‌های آلی، کربوهیدرات‌های محلول شامل پلی ئول‌ها (قندها، الکل‌ها)، اسیدهای آمینه (پرولین) و ترکیب‌های آمونیوم چهارگانه نظیر گلیسین‌بتائین (GB) از جمله حفاظت‌کننده‌های اسمزی است که در شرایط تنش رطوبتی، در سلول‌های گیاهی تجمع می‌یابند (سلطانی و همکاران، 1390).

گلایسین‌بتائین[2] یک آمونیوم چهارتایی و معمول‌ترین محلول آلی سازگار است که در پاسخ به تنش خشکی، به میزان فراوان در سلول‌های گیاهی تجمع می‌یابد (ویبینگ و راجاشکار[3]، 1999). گلایسین‌بتائین عمدتاً در کلروپلاست، به‌فراوانی یافت شده و نقش حیاتی در تنظیم و حفاظت از غشای تیلاکوئید و حفظ راندمان فتوسنتز در گیاهان عالی دارد. این ماده به‌عنوان یک اسمولیت سیتوپلاسمی عمل می‌کند و آنزیم‌ها و غشاها را از آثار پسابیدگی حفظ می‌کند. تجمع گلایسین‌بتائین در پاسخ به استرس، در بسیاری از گیاهان زراعی، از جمله چغندر قند، اسفناج، جو، گندم و سورگوم ثابت شده است (رودس و هانسون[4]، 1993).

مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که گلایسین‌بتائین منجر به افزایش پایداری دیوارهٔ سلولی در مقابل آثار سوء تنش‌های محیطی مانند تنش شوری، سرما و گرما می‌شود (گورام[5] و همکاران، 2000).

غلظت گلایسین‌بتائین درونی در گیاهان مختلف متفاوت است؛ به‌طوری‌که در برخی از گیاهان، به‌طور طبیعی انباشته شده و در تعدادی دیگر، حتی در شرایط تحت تنش نیز تولید مادهٔ مذکور انجام نمی‌گیرد (اشرف و فولاد، 2007). با این حال، به‌نظر می‌رسد که نقش تعدیل‌کنندگی گلیسین‌بتائین به عوامل متعددی از جمله نوع محصول، زمان و میزان کاربرد آن و شرایط محیطی بستگی دارد (ماکلا[6] و همکاران، 1998)؛ لذا بررسی آثار گلیسین‌بتائین بر روی افزایش مقاومت به خشکی گیاهان زراعی مختلف و شناسایی زمان و میزان مصرف آن، به‌منظور آگاهی از مکانیزم‌های مقاومت به تنش خشکی گیاهان، ضروری به‌نظر می‌رسد (باقری و همکاران، 1388).

در بسیاری از محصولات زراعی، تجمع طبیعی گلیسین‌بتائین کمتر از میزانی است که اثر مضر از دست‌دادن آب از گیاه به‌وسیلهٔ تنش‌های متفاوت محیطی را جبران کند. در این نوع گیاهان، مصرف خارجی گلیسین‌بتائین ممکن است باعث کاهش اثر مضر تنش‌های محیطی شود (ماکلا و همکاران، 1998).

GB به‌سرعت از طریق برگ‌ها در داخل گیاه نفوذ می‌کند و به ارگان‌های دیگر منتقل می‌شود و به دنبال آن تحمل به تنش

1. Ashraf and Foolad

2. [(CH3)3N+CH2COO-]
3. Weibing and Rajashekar
4. Rhodes and Hanson
5. Gorham
6. Makela

گیاه را بهبود می‌بخشد. نتایج بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین در محدودهٔ 10تا250 میلی‌مولار، سبب افزایش عملکرد گیاهان مختلف تحت تنش کمبود آب می‌شود؛ حتی اگر گیاه مورد نظر به‌عنوان یک گیاه تجمع‌دهندهٔ آن عمل کند (ریاحی و همکاران، 1390).

در ایران، مطالعات محدودی دربارهٔ محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین در افزایش مقاومت به خشکی و شوری گیاهان انجام شده است. مرادی و همکاران (1391) اثر گلایسین‌بتائین را بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچهٔ ذرت در شرایط تنش شوری، آزمایش کردند. نتایج نشان داد که استفاده از گلایسین‌بتائین منجر به افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه شد.

اثر مادهٔ گلیسین‌بتائین بر عملکرد وش و کیفیت بذر ارقام پنبه در شرایط تنش رطوبتی در شهرستان گرگان نشان داد که محلول‌پاشی با دو سطح گلیسین‌بتائین (3تا6 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، 1387).

در مطالعه‌ای دیگر، علی و همکاران (1389) بیان کردند تیمار بذرهای ذرت با گلاسین‌بتائین، منجر به کاهش آثار تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی و رشد اولیهٔ ذرت شد.

محققان فوق در سال 1388 نیز گزارش دادند که تیمار بذور با گلایسین‌بتائین، موجب افزایش معنی‌دار پارامترهای درصد جوانه‌زنی و طول و وزن تر ریشه‌چه و ساقهٔ ذرت تحت تنش شوری در مقایسه با تیمار عدم مصرف این ماده گردید.

بررسی آثار پاشش برگی گلایسین‌بتائین بر محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت و هدایت روزنه‌ای گیاهان کلزا تحت شرایط آبیاری با آب شور در مرحلهٔ رشد رویشی نشان داد که محلول پاشی گلایسین‌بتائین در غلظت 10 میلی‌مولار، موجب بهبود شرایط رشد گیاه در مواجهه با تنش شوری شد. همچنین افزایش غلظت گلایسین‌بتائین بیشتر از 10 میلی‌مولار، منجر به کاهش رشد گیاهانِ مورد بررسی شد (علی و همکاران، 1389). در این رابطه، رضایی (1389) نیز گزارش داد که تمامی غلظت‌های گلایسین‌بتائین موجب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد غلاف در بوتهٔ سویا گردید.

در کشورهای دیگر نیز مطالعات اندکی در زمینهٔ استفاده از گلایسین‌بتائین، برای افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی صورت گرفته است. در این رابطه، کورکماز[1] و همکاران (2012) بیان کردند که مصرف گلایسین‌بتائین میزان فتوسنتز و غلظت کلروفیل در گیاه فلفل تحت تنش شوری را در مقایسه با شاهد افزایش و زیان‌های ناشی از استرس شوری را کاهش داد. در تحقیقی دیگر، علی و اشرف[2] (2011) گزارش دادند که اسپری‌کردن گلایسین‌بتائین بر روی گیاه ذرت، منجر به افزایش میزان پروتئین، قند، چربی و مواد غذایی موجود در دانه، در شرایط تنش خشکی شد.

به‌طور کلی، اهداف این آزمایش ارزیابی استفادهٔ بالقوه از کاربرد گلایسین‌بتائین به‌منظور افزایش عملکرد و تحمل به خشکی در گیاه کلزا تحت شرایط کم آبیاری در مزرعه و تعیین غلظت مناسب گلایسین‌بتائین برای استفاده از این ماده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی 1391 در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه یزد واقع در طول جغرافیایی ´20°54 شرقی و عرض ´49°31 شمالی به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی در 3 تکرار انجام شد. پس آماده‌سازی زمین، پلات‌هایی به ابعاد 1 در 2 متر تهیه و بذور کلزا در خرداد ماه در ردیف‌هایی به فواصل 20 سانتی‌متر کشت شدند. تیمارهای آزمایشی شامل غلظت‌های مختلف گلایسین‌بتائین (0، 100 و 200 میلی‌مولار) در ترکیب با دور آبیاری (3، 6 و 9 روزه) در نظر گرفته شد. در مجموع، 9 تیمار شامل غلظت صفر گلایسین‌بتائین با دور آبیاری 3 روزه، غلظت 100 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین با دور آبیاری 3 روزه، غلظت 200 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین با دور آبیاری 3 روزه، غلظت صفر گلایسین‌بتائین با دور آبیاری 6 روزه، غلظت 100 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین با دور آبیاری 6 روزه، غلظت 200 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین با دور آبیاری 6 روزه، غلظت صفر گلایسین‌بتائین با دور آبیاری 9 روزه، غلظت 100 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین با دور آبیاری 9 روزه و در نهایت، غلظت 200 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین با دور آبیاری 9 روزه، مورد مقایسه قرار گرفتند. بلافاصله بعد از کاشت آبیاری صورت گرفت. در طول آزمایش عملیات داشت از قبیل

1. Korkmaz
2. Ali and Ashraf

کوددهی، مبارزه با آفات و علف‌های هرز در صورت نیاز و به‌طور یکسان برای تمامی کرت‌های آزمایشی اعمال شد.

بعد از جوانه‌زنی و استقرار بوته‌های کلزا (دو هفته پس از کشت) تیمارهای آبیاری اعمال شد. با توجه به ثابت‌بودن دبی آب و یکسان‌بودن ابعاد کرت‌ها، در هر بار آبیاری با درنظرگرفتن زمان، حجم مساوی آب به کرت‌های آزمایشی اضافه شد. اولین محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین با کمک سم‌پاش دستی 5 لیتری، پس از 4 برگ‌شدن بوته‌های کلزا انجام شد. نحوهٔ محلول‌پاشی به این صورت انجام گرفت که بر روی تمام قسمت‌های بوتهٔ کلزا قطرات محلول جاری شد، به‌طوری‌که اندام‌های هوایی خیس شدند. همهٔ مراحل محلول‌پاشی در هوای صاف و در هنگام عصر صورت گرفت تا تبخیر از سطوح برگ به حداقل برسد. بعد از دو هفته، دومین محلول‌پاشی انجام گرفت. دو روز بعد از آخرین محلول‌پاشی، میزان کلروفیل کل برگ توسط دستگاه کلروفیل‌متر دستی (Spad-502 Minolata, Japan) اندازه‌گیری و سپس برگ گیاهان به آزمایشگاه برده شد و میزان قند و پرولین آن اندازه‌گیری شد. پس از گذشت 60 روز از شروع آزمایش، مساحتی معادل نیم‌متر مربع از مرکز هر کرت برداشت و بعد از انتقال به آزمایشگاه، 8 بوتهٔ کلزا به‌تصادف انتخاب و متوسط وزن تر و خشک یک بوته اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری میزان پرولین و قند

در این تحقیق، برای اندازه‌گیری میزان پرولین، از روش بتس[1] و همکاران (1973) و برای اندازه‌گیری قندهای محلول، از روش کوچرت[2] (1978) استفاده شد.

محاسبهٔ وزن تر و خشک

برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک، گیاهانرا از سطح خاک قطع شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های گیاهی در داخل آون، در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به‌مدت 48 ساعت قرار داده شد و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. در مرحلهٔ بعد، براساس وزن خشک بوته، شاخص‌های تحمل به خشکی و بهره‌وری با استفاده از روابط ارائه‌شده توسط روزیل و هامبلین[3] (1981) (فرمول‌های 1 و 2) و همچنین شاخص تحمل به تنش، براساس رابطهٔ ارائه‌شده توسط فرناندز[4] (1992) محاسبه شدند. میانگین‌های هندسی و هارمونیک نیز به‌ترتیب، براساس فرمول‌های 4 و 5 (گراوندی و همکاران، 1389) به‌دست آمدند.

$$Tol = y_s - y_p \quad (1)$$

$$MP = \frac{y_s + y_p}{2} \quad (2)$$

$$STI = \frac{y_s \cdot y_p}{(y_p)^2} \quad (3)$$

$$GMP = \sqrt{y_p \cdot y_s} \quad (4)$$

$$Harm = \frac{2(y_s \cdot y_p)}{y_s + y_p} \quad (5)$$

در این روابط، TOL شاخص تحمل (Tolerance Index)، Mp میانگین بهره‌وری (Mean Productivity)، STI شاخص تحمل به استرس (Stress Tolerance Index)، GMP میانگین هندسی (Geometrical Mean Productivitry) ، Harm میانگین هارمونیک (Harmonic mean) ، Ys وزن خشک گیاه در شرایط تنش (Yield in stress condition) و Yp وزن خشک گیاه در شرایط بهینه (Yield potential) است.

محاسبات آماری

داده‌های حاصل از آزمایش پس از انجام تست نرمالیته و نظر به نرمال‌بودن با استفاده از روش تجزیهٔ واریانس دو طرفه آنالیز شدند و میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنهٔ دانکن مقایسه شدند. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار spss SPSS 16 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج

جدول 1 نتیجهٔ تجزیهٔ واریانس تأثیر تیمارهای مختلف گلایسین‌بتائین و دور آبیاری را بر مقادیر قند، پرولین، وزن خشک و کلروفیل کلزا نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق بر روی صفات مورد مطالعه در سطح 1 درصد اثر معنی‌داری داشتند ($P<0.01$).

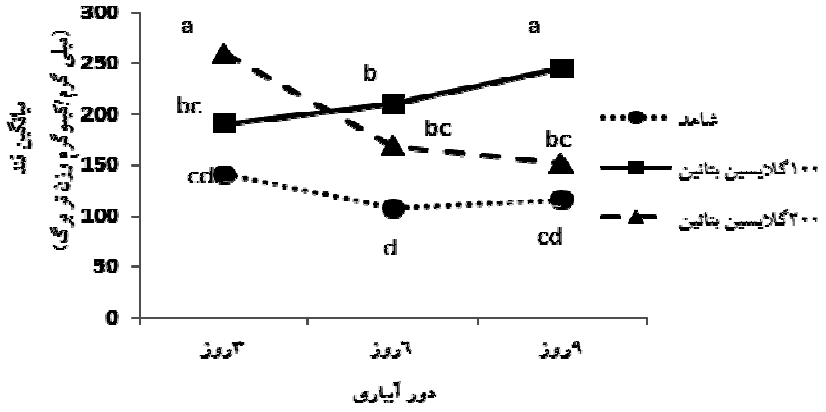
1. Bates
2. Kochert
3. Rossielle and Hamblin
4. Fernandez

جدول 1: تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) صفت‌های مختلف گیاه کلزا تحت تیمارهای مختلف گلایسین‌بتائین و دور آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	قند	پرولین	وزن خشک	کلروفیل
تیمار	8	9495**	9/7**	6//5**	186/5**
بلوک	2	26952**	15**	24/35**	216**
خطا	16	2429	1/59	1/28	42/7
CV (درصد)		28	3/7	36	11/4

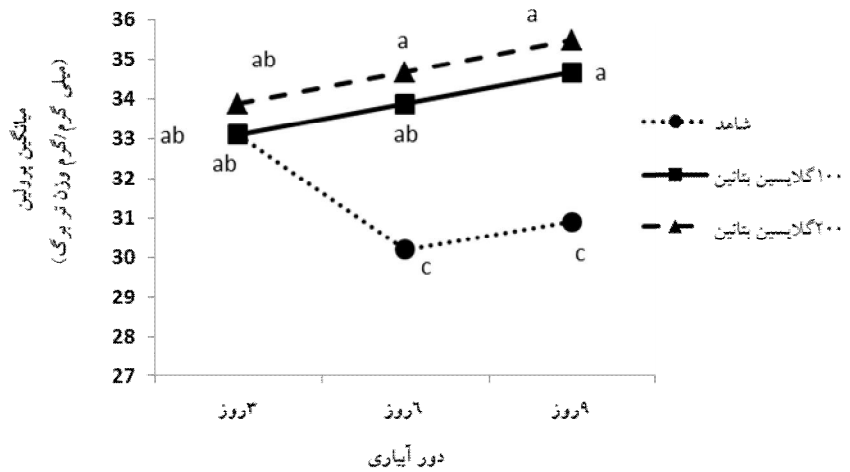
** معنی‌دار در سطح یک درصد

براساس نتایج حاصل از شکل 1، غلظت قند در تیمارهای مختلف روند مشخصی را از خود نشان نداد. در تیمار شاهد، میزان قند با افزایش دور آبیاری نسبتاً ثابت ماند و تغییر معنی‌داری را نشان نداد؛ درحالتی‌که گلایسین‌بتائین (GB) 100 میلی‌مولار بر روی گیاهان پاشیده شد، میزان قند با افزایش دور آبیاری از روند افزایشی برخوردار بود. در تیمار 200 میلی‌مولار GB، غلظت قند روند کاهشی را نشان داد. در مقایسهٔ دورهای مختلف آبیاری، این نتیجه به‌دست آمد که در دوره آبیاری 6 روزه، غلظت 100 و 200 میلی‌مولار و در دورهٔ آبیاری 9 روزه، غلظت 100 میلی‌مولار GB، منجر به افزایش معنی‌دار غلظت قند نسبت به شاهد شد.



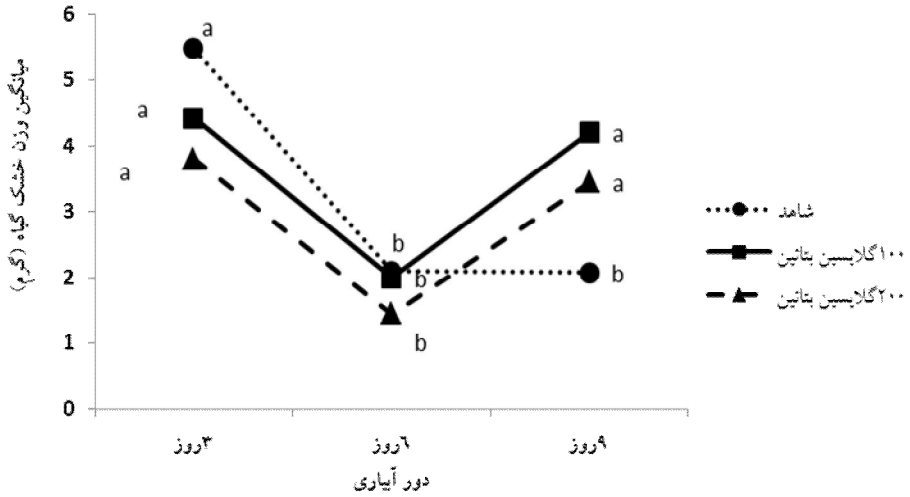
شکل 1: تأثیر کاربرد گلاسین‌بتائین بر غلظت قند کلزا در سه دوره آبیاری. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح 5 درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

با افزایش دور آبیاری از 3 روز به 6 روز، میزان پرولین در تیمار شاهد، به‌طور معنی‌داری کاهش و پس از آن، روند نسبتاً ثابتی را نشان داد. در تیمارهای 100 و 200 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین با کاهش رطوبت در دسترس، میزان پرولین نسبت به شاهد افزایش یافت؛ ولی این افزایش از نظر آماری، معنی‌دار نبود (شکل 2). در دورهای آبیاری 6 و 9 روزه، میزان پرولین در تیمارهایی که GB بر روی گیاهان محلول‌پاشی شده بود، نسبت به شاهد (عدم استفادهٔ GB) به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل 2).



شکل 2: تأثیر کاربرد گلاسین‌بتائین بر غلظت پرولین کلزا در سه دور آبیاری. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح 5 درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

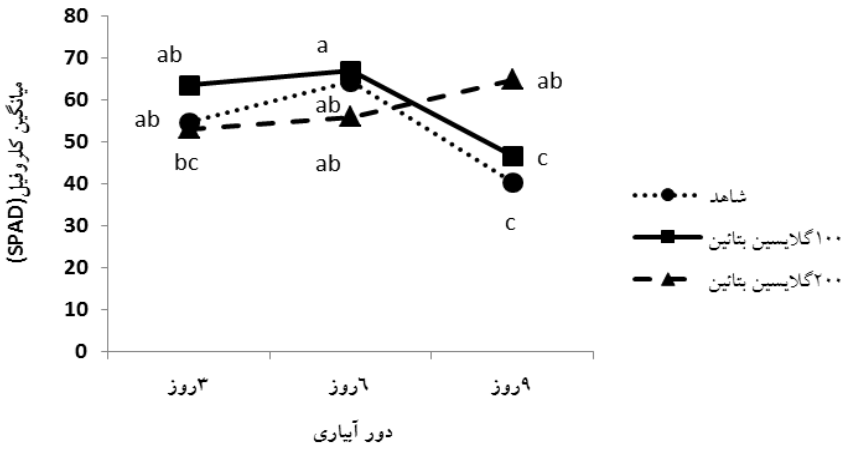
شکل 3 اثر کاربرد گلایسین‌بتائین بر وزن خشک کلزا در فواصل مختلف آبیاری را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که در تیمار شاهد با افزایش دور آبیاری از 3 به 6 روز، وزن خشک گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است و پس از آن، روند نسبتاً ثابتی را نشان داد. در تیمار 100 و 200 میلی‌مولار، گلایسین‌بتائین وزن خشک گیاه در دور آبیاری 9 روزه نسبت به دور آبیاری 3 روزه، تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. از مقایسهٔ غلظت‌های مختلف GB این نتیجه به‌دست آمد که در دور آبیاری 3 و 6 روزه، بین مصرف یا عدم مصرف گلایسین‌بتائین تفاوت معنی‌داری دیده نشد؛ درحالی‌که در دور آبیاری 9 روزه محلول‌پاشی قسمت‌های هوایی کلزا با GB، منجر به افزایش معنی‌دار وزن تولیدی نسبت به شاهد شد.



شکل 3: تأثیر کاربرد گلاسین‌بتائین بر وزن خشک کلزا در سه دور آبیاری. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح 5 درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

با افزایش دور آبیاری به 9 روز میزان کلروفیل کلزا در حالت شاهد (بدون استفاده از گلایسین) و تیمار 100 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین نسبت به دور 3 و 6 روز، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 4). در تیمار 200 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین، میزان کلروفیل در دور آبیاری 6 و 9 روز نسبت به دور آبیاری 3 روز تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. همچنین نتایج بیانگر آن است

اگرچه در دور آبیاری 3 و 6 روز بین تیمارهای مورد بررسی، از نظر میزان کلروفیل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با این حال در دور آبیاری 9 روزه، میزان کلروفیل در تیمار 200 میلی‌مولار GB نسبت به شاهد و غلظت 100 میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل 4).



شکل 4: تأثیر کاربرد گلاسین‌بتائین بر میزان کلروفیل کلزا در سه دور آبیاری. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح 5 درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول 2 شاخص‌های تحمل به خشکی کلزا را بر اساس صفت وزن خشک نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که تیمارهای 100 و 200 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین از شاخص تحمل به استرس (STI) بالاتری نسبت به تیمار شاهد برخوردار بودند. این مطلب نشان می‌دهد که تفاوت وزن خشک کلزا در تیمارهای 100 و 200 میلی‌مولار GB در شرایط تنش رطوبتی (دور آبیاری 9 روزه) نسبت به دور آبیاری 3 روزه (محدودنبودن رطوبت) اندک بوده؛ درحالی‌که در تیمار عدم استفاده از GB این تفاوت بارز است. همچنین نتایج جدول 2 بیانگر کمتربودن شاخص TOL در حالت استفاده از GB نسبت به عدم مصرف این ماده است. کوچک‌تربودن شاخص TOL بیانگر ثبات تولید در شرایط تنش و عدم تنش است. تیمارهای 100 و 200 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین دارای TOL به‌ترتیب، 0/53 و0/36 بوده که نسبت به تیمار عدم مصرف GB (3/4) به میزان چشمگیری کمتر است. تیمارهای 100 و 200 میلی‌مولار گلایسین بتائین از GMP و HARM بیشتری نسبت به تیمار شاهد برخوردار هستند. بالاتر بودن این دو شاخص، بیانگر ثبات تولید ماده خشک کلزا در شرایط تنش رطوبتی است (جدول 2). در مجموع، با توجه به تفاوت‌های مشاهده‌شده از بین شاخص‌های مورد بررسی TOL به‌خوبی نشان‌دهندهٔ نقش مفید گلایسین‌بتائین در تولید مادهٔ خشک کلزا در شرایط تنش رطوبتی است.

جدول 2: شاخص‌های تحمل به خشکی کلزا در غلظت‌های مختلف گلاسین‌بتائین

تیمار	TOL	GMP	MP	STI	HARM
شاهد	3/4	3/37	3/78	0/37	3/015
100GB	0/53	4/15	4/15	0/88	3/91
200GB	0/36	3/62	3/86	0/9	3/62

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که در دور آبیاری 9 روزه، کاربرد 100 و 200 میلی‌مولار گلایسین‌بتائین به‌ترتیب، منجر به افزایش 100 و 68 درصدی وزن خشک گیاه کلزا نسبت به شاهد شد؛ درحالی‌که در دور آبیاری 3 و 6 روزه، بین مصرف یا عدم مصرف GB تفاوت معنی‌داری دیده نشد. در راستای نتایج این تحقیق، وین جونز[13] (1984) نیز بیان داشت که محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین بر روی گیاهان ذرت تحت تنش اسمزی، منجر به افزایش معنی‌دار وزن تر گیاه در مقایسه به عدم مصرف گلایسین‌بتائین شد. در تحقیقی دیگر، ماکلا و همکاران (1996) کاربرد گلایسین‌بتائین را تحت تنش خشکی در گوجه‌فرنگی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که گلایسین‌بتائین باعث کاهش پتانسیل آب برگ در گوجه‌فرنگی شد. در نتایجی مشابه، ویبینگ و راجاشکار (1999) بیان کردند که اسپری‌کردن گلایسین‌بتائین بر روی گیاه لوبیا *(Phaseolus vulgaris)* تحت تنش خشکی منجر به وضعیت بهتر آب نسبت به گیاهان شاهد شد و میزان تولید مادهٔ خشک گیاه را افزایش داد. گورهام[14] و همکاران (2000) نیز بیان کردند که کاربرد گلایسین‌بتائین باعث افزایش وزن خشک کل بوته‌های پنبه شد. در مطالعه‌ای دیگر، علی و همکاران (1389) گزارش دادند که تیمار بذرهای ذرت با محلول گلایسین‌بتائین منجر به افزایش وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت سطوح خشکی شدید شد. همچنین رضایی (1389) نیز به این نکته اشاره کرد که مصرف گلایسین‌بتائین منجر به افزایش تعداد شاخه‌های فرعی گیاه و همچنین تعداد غلاف در بوتهٔ سویا شد.

افزایش وزن گیاه بر اثر مصرف گلایسین‌بتائین می‌تواند به این دلیل باشد که GB به‌عنوان یک اسمولیت مهم در گیاهان باعث افزایش پتانسیل اسمزی شده و در نتیجه، با جذب آب توسط گیاه آماس سلول‌ها افزایش پیدا می‌کند. ازآنجاکه رشد و نمو گیاهان بستگی به سرعت تولید و بزرگ‌شدن سلول‌های جدید دارد و گیاهان فقط در حالت آماس، قادر به تقسیم سلولی هستند، با ایجاد حالت آماس توسط گلایسین‌بتائین تقسیم سلولی افزایش پیدا کرده و رشد گیاه در حالت محلول‌پاشی این ماده را سبب شده است. در این رابطه، کورکماز و همکاران (2012) بیان کردند که مصرف گلایسین‌بتائین منجر به بهبود میزان نسبی آب موجود در برگ گیاه فلفل تحت استرس شوری شده و با حفظ فشار تورژسانس برگ، منجر به ادامهٔ رشد و در نتیجه، افزایش وزن گیاه در مقایسه با شاهد شده است.

در این تحقیق، همچنین به‌منظور بررسی نقش GB بر ثبات تولید مادهٔ خشک گیاه، شاخص‌های STI، TOL، HARM، GMP و MP محاسبه شد. نتایج مشخص کرد که مصرف گلایسین‌بتائین منجر به افزایش تحمل و ثبات تولید مادهٔ خشک کلزا در دور آبیاری 9 روزه نسبت به دور آبیاری 3 روزه شد. در این زمینه، شعاع حسینی و همکاران (1387) از بین شاخص‌های مقاومت به خشکی، شاخص STI را به‌عنوان مطلوب‌ترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر ذرت در شرایط معمول و تنش تعیین کردند. فتح باهری و همکاران (1382) نیز با ارزیابی برخی از شاخص‌های تحمل به خشکی، در چند ژنوتیپ جو بهاره همبستگی معنی‌داری بین شاخص STI با شاخص‌های GMP، MP و میانگین هارمونیک در شرایط تنش و بدون تنش گزارش کردند.

تحقیق حاضر نشان داد که مصرف 100 میلی‌مولار GB منجر به افزایش معنی‌دار میزان قند در دور آبیاری 9 روزه نسبت به دور آبیاری 3 روزه شد. درحالی‌که در تیمار شاهد، میزان قند با افزایش دور آبیاری نسبتاً ثابت ماند و تغییر معنی‌داری را نشان نداد. در همین رابطه، ویبینگ و راجاشکار (1999) بیان کردند که مصرف گلایسین‌بتائین منجر به بهبود روابط آبی گیاه شد و به دنبال آن، فعالیت فتوسنتزی و تولید مواد هیدروکربنه در گیاه افزایش یافت. همچنین مخدوم و شابابودین[15] (2006) معتقدند که استفاده از گلایسین‌بتائین در پنبه، باعث افزایش راندمان مصرف آب و راندمان فتوسنتزی

13. Wyn Jones
14. Gorham
15. Makhdum and Shababuddin

می‌شود. در مطالعهٔ دیگر، کانچی[16] و همکاران (2013) گزارش دادند که مصرف گلایسین‌بتائین موجب ماکزیمم‌ماندن میزان فتوسنتز و به دنبال آن، افزایش میزان قند در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی نسبت به شاهد شد. در نتایجی مغایر، میک[17] و همکاران (2003) گزارش کردند استفاده از 6 کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین، باعث افزایش مقاومت روزنه‌ای در گیاهان تحت تیمار شد؛ ولی با افزایش میزان فتوسنتز همراه نبود.

در زمینهٔ افزایش میزان قند می‌توان به این نکته اشاره کرد که گلایسین‌بتائین به‌عنوان یک اسمولیت سازگار باعث بهبود روابط آبی گیاه می‌شود و ازآنجاکه انجام عمل فتوسنتز نیاز به شرایط آبی مناسب دارد (H_2O+CO_2----> $C_6H_{12}O_6+O_2$)، در تیمار محلول‌پاشی، شرایط آبی در گیاه بهبود می‌یابد و شرایط برای عمل فتوسنتز فراهم می‌شود؛ لذا با انجام عمل فتوسنتز بیشتر، محصولات فتوسنتزی ($C_6H_{12}O_6+O_2$) افزایش می‌یابد. در نتایج مشابه، گورهام و همکاران (2000) دریافتند که گلایسین‌بتائین باعث افزایش آنیون‌مالات شد. این ماده نقش مهمی در چرخهٔ فتوسنتزی و ساخت اسیمیلات برای بقای رشد رویشی و زایشی گیاه دارد.

یافته‌های این مطالعه همچنین بیانگر آن است که در تیمارهای 100 و 200 میلی‌مولار GB با کاهش رطوبت در دسترس، میزان پرولین نسبت به شاهد افزایش یافت. اثر کمبود رطوبت بر غلظت پرولین در مطالعات متعددی بررسی شده است. سانچزدیاز[18] و همکاران (2008) بیان داشتند که تنش خشکی منجر به افزایش میزان پرولین در گونهٔ درختی *Laurus azorica* شد. در تحقیقی دیگر، آلوز و ستر[19] (2004) به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی منجر به افزایش میزان پرولین در گیاه *Manihot esculenta* شد. دربارهٔ افزایش تولید پرولین در گیاه، بر اثر مصرف گلایسین‌بتائین می‌توان به این نکته اشاره کرد که سنتز آمینو اسیدهایی نظیر پرولین در داخل سلول‌های گیاهی از طریق گلوکز شروع می‌شود. GB در اولین مسیر چرخه از طریق 3-p-glycerate و سرین به‌وجود آمده؛ در صورتی که سنتز پرولین در مراحل پایانی چرخهٔ سنتز آمینواسیدها قرار دارد. محلول‌پاشی GB و جذب سلولی آن سبب می‌شود که مسیر سنتز آمینواسیدها به‌سمت تولید پرولین و دیگر آمینواسیدها به‌جای سنتز گلایسین‌بتائین حرکت کند. به همین سبب، میزان پرولین با محلول‌پاشی GB در گیاه کلزا افزایش نشان داد. در شرایط عدم مصرف GB، با افزایش دور آبیاری از 3 روز به 6 روزه، میزان پرولین به‌طور معنی‌داری کاهش و پس از آن، روند نسبتاً ثابتی را نشان داد؛ بنابراین، این احتمال وجود دارد که کلزا در شرایط تنش رطوبتی قادر به افزایش غلظت پرولین در سلول‌های برگ خود نبوده و کاربرد خارجی GB بر بخش‌های هوایی این گیاه، تولید پرولین را در شرایط تنش رطوبتی افزایش داده است. با توجه به نقش پرولین در تنظیم اسمزی گیاه و جذب مؤثرتر آب به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی کلزا با GB منجر به افزایش تحمل به خشکی گیاه مذکور، در شرایط تنش رطوبتی شده است. تحقیقات مختلف نشان‌دهندهٔ این مطلب است که تمامی گیاهان توانایی تجمع اسمولیت‌های آلی برای کاهش آثار زیان‌بار استرس‌های غیر زندهٔ محیطی را ندارند. البته امکان القای اسمولیت‌های آلی مختلف از جمله گلایسین‌بتائین به این گیاهان وجود داشته و از این طریق می‌توان اثرات زیان‌بار استرس‌های محیطی را بر گیاهان مذکور کاهش داد (رضایی، 2010؛ اشرف و فولاد، 2007).

نتیجه‌گیری کلی: به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان‌دهندهٔ نقش مثبت گلایسین‌بتائین در کاهش آثار کم آبیاری در گیاه کلزا می‌باشد. با این حال، انجام تحقیقات تکمیلی در این زمینه، به‌منظور تشخیص مکانیسم عمل این ماده و شناسایی غلظت اقتصادی آن، ضروری به‌نظر می‌رسد.

16. Kanechi
17. Meek
18. Sanchez-Diaz
19. Alves and Setter

منابع

1. آرزمجو، الیاس، حیدری، مصطفی، قنبری، احمد، سیاه‌سر، براتعلی و احمدیان، احمد، 1389. تأثیر سه نوع کود بر درصد اسانس، رنگدانه‌های فتوسنتزی و تنظیم‌کننده‌های اسمزی در بابونه تحت تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. 3 (1): 23-33.
2. باقری، حسین، شیرانی‌راد، امیرحسین، میرهادی، محمدجواد و دلخوش، بابک، 1388. اثرات تنش خشکی بر صفات کمی و کیفی دو رقم کلزا (Brassica napus L.). مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. شماره 1، ص 49ـ40
3. حیدری، محمد، 1386. واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی. انتشارات ارس رایانه، 100 ص.
4. رضایی، محمدعلی، 1389. اثر خارجی گلایسین‌بتائین بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکرد سویا (Glycine max L.). مجله تحقیقات علوم گیاهی. 17 (1): 44ـ54.
5. ریاحی، نرگس، فرحبخش، حسن و پسندی‌پور، امین، 1390. اثر استعمال خارجی پرولین، گلایسین بتائین، سالیسیلیک اسید و آسکوربیک اسید بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه سورگوم، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، 18تا20 بهمن، کرمان.
6. ساوری، علی، فتوکیان، محمدحسین و برزعلی، محمد، 1387. ارزیابی اثرات گلایسین‌بتائین بر برخی خصوصیات زراعی ارقام پنبه تحت شرایط تنش خشکی. مجله دانشور علوم زراعی. 1 (1): 67ـ76.
7. سلطانی گردفرامرزی، محمد کاظم، امیدی، حشمت، حبیبی، حسن، لباسچی، محمد، حسین و زارع‌زاده، عباس، 1390. بررسی اثر مقادیر مختلف گلایسین‌بتائین بر صفات مورفولوژیک و عملکرد ارقام بابونه آلمانی (Matricaria chamomila L.) تحت تنش خشکی در منطقه یزد. فصلنامه علمی‌پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. 27 (2): 279 ـ289.
8. شعاع حسینی، مسعود، فارسی، محمد و خاوری خراسانی، سعید، 1387. بررسی اثرات تنش کمبود آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد در چند هیبرید ذرت دانه‌ای با استفاده از تجزیهٔ علیت. مجله دانش کشاورزی. 18 (1): 71-85.
9. صباغ‌پور، حسین. 1385. شاخص‌ها و مکانیزم های مقاومت به خشکی در گیاهان. چاپ اول، انتشارات کمیته ملی خشکی و خشکسالی معاونت زراعت وزارت جهاد کشاورزی. 154 ص.
10. علی، سمیرا، اسلامی، وحید، بهدانی، محمدعلی و جامی‌الاحمدی، مجید، 1389. اثر استعمال خارجی گلایسین‌بتائین بر تخفیف اثرات تنش خشکی در مرحلهٔ جوانه‌زنی و رشد اولیهٔ گیاهچهٔ ذرت (Zea maya L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. 8 (5): 837-844.
11. علی، سمیرا، اسلامی، وحید، بهدانی، محمدعلی و جامی‌الاحمدی، مجید، 1388. اثر استعمال خارجی گلایسین‌بتائین بر تخفیف اثرات تنش شوری در مرحلهٔ جوانه‌زنی و رشد اولیهٔ گیاهچهٔ ذرت (Zea maya L.). مجله تنش‌های محیطی در علوم کشاورزی. 2 (1): 53-63.
12. فتح باهری، سعید، جوانشیر، عزیز، کاظمی، حمداله و اهری‌زاد، سعید، 1382. ارزیابی برخی از شاخص‌های تحمل به خشکی در چند ژنوتیپ جو بهاره. مجله دانش کشاورزی. 13 (3): 95- 105.
13. کافی، محمد، مهدوی دامغانی، عبدالمجید، بسرا، آمارجیت و بسرا، رانجیت، 1381. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. 472 ص.
14. گراوندی، مهدی، فرشادفر، عزت‌الله و کهریزی، دانیال، 1389. ارزیابی تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های پیشرفتهٔ گندم نان در شرایط مزرعه و آزمایشگاه. مجله به‌نژادی نهال و بذر. 26 (2): 233ـ252.
15. مرادی، کاظم، سیادت، عطاءالله، ابدالی مشهدی، علی‌رضا، میرزایی، سمیه، حمدی شنگری، علی و شاهرجبیان، محمد، 1391. بررسی تأثیر تیمار گلایسین‌بتائین بر جوانه‌زنی و

رشد گیاهچهٔ ذرت در شرایط تنش شوری. فصلنامه نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی)، شماره 95، ص 46-56.

16. Ali, A., Ashraf, M., 2011. Exogenously applied glycinebetaine enhances seed and seed oil quality of maize (Zea mays L.) under water deficit conditions. Environmental and Experimental Botany 71: 249-259.
17. Alves, A.A.C., Setter, T.L., 2004. Abscisic acid accumulation and osmotic adjustment in cassava under water deficit. Environmental and Experimental Botany 51: 259-271.
18. Ashraf, M., Foolad, M. R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206–216.
19. Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39: 205-207.
20. Fernandez, G. C. J., 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C. G., (ed.). Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. AVRDC Publication, Tainan, Taiwan
21. Gorham, J., Jokinen, K., Malik, M. N. A., Khan, I. A., 2000. Glycine betaine treatment improves cotton yields in field trials in Pakistan. Proceedings of the World Cotton Research Conference II, Athens, Greece.
22. Kanechi, M., Hikosaka, Y., Uno, Y., 2013. Application of sugarbeet pure and crude extracts containing glycinebetaine affects root growth, yield, and photosynthesis of tomato grown during summer. Scientia Horticulturae 152: 9-15.
23. Kochert, G., 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Helebust, J.A., Craig, J.S., (Eds.). Hand book of physiological method. Cambridge Univ. Press., Cambridge: 56- 97.
24. Korkmaz, A., Sirikci, R., Kocacınar, F., Deger, O., Demirkırıan, A. R., 2012. Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycinebetaine. Scientia Horticulturae 148: 197- 205.
25. Makela, P., Peltonen-Sainio, P., Jokinen, K., Pehu, E., Setaia, H., Hinkkanen, R., Somersalo, S., 1996. Uptake and translocation of foliar-applied glycine betaine in crop plants. Plant Science. 121, 221–230
26. Makela, P., Jokinen, K., Kontturi, M., Peltonen-Sainio, P., Pheu, E., Somersalo,S., 1998. Foliar application of glycine betaine a novel product from sugar beet as an approach to increase tomato yield. Industrial Crop Production. 7,139–148.
27. Makhdum, M. I., Shababuddin, S., 2006. Effects of different doses of glycine bataine and time of spray application on yield of cotton (Gossypium hirsutum L.). Journal of Research in Science. 17, 241-245.
28. Meek, C., Oosterhuis, D., Gorham, J., 2003. Does foliar-applied glycine betaine affect endogenous betaine levels and yield in cotton. Crop Management. 10, 1094-1104.
29. Rezaei, M. A., 2010. Effects of exogenous glycine betaine on morphophysiological characteristics and yield of soybean (Glycine max L.). Journal on plant Science researches. 17 (1), 44-54.
30. Rhodes, D., Hanson, A.D., 1993. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher-plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 44, 357–384.
31. Rossielle, A., Hamblin, A. J., 1981. Theorical aspects of selection for stress and non-stress environment. Crop Science 21: 1441- 1446.
32. Sanchez-Diaz, M., Tapia, C., Antolin, M.C., 2008. Abscisic acid and drought response of

Canarian laurel forest tree species growing under controlled conditions. Environmental and Experimental Botany 64: 155-161.

33. Weibing, Xing., Rajashekar, C.B., 1999. Alleviation of water stress in beans by exogenous glycine betaine. Plant Science. 148, 185–195.

34. Wyn Jones, R. G., 1984: An assessment of quaternary ammonium and related compounds as osmotic effectors in crop plants (phytochemical aspects of osmotic adaptation). Recent Advances in Phytochemistry. 18: 55-58.