



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۰ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۷

صفحه‌های ۷۰۶-۶۹۳

اثر کاربرد خارجی گلايسين بتائين بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی

مریم تاتاری*، رضا عباسی علی کمر

استادیار، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیروان، شیروان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۲۴

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۳

چکیده

به‌منظور تعیین بهترین زمان کاربرد و مقدار محلول‌پاشی گلايسين بتائين در بهبود عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال ۱۳۹۵ به‌صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری جاده مشهد-فریمان انجام گرفت. عامل اصلی دور آبیاری در دو سطح ۶ و ۱۲ روزه و عوامل فرعی شامل دو عامل زمان مصرف (در سه سطح کاشت، گلدهی و میوه‌دهی) و مقدار مصرف گلايسين بتائين (صفر، ۳ و ۶ کیلوگرم در هکتار) بود. شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، شاخص کلروفیل و نشت الکترولیت نشان از کارایی گلايسين بتائين در شرایط تنش داشت. وزن میوه‌ها با کاربرد گلايسين بتائين در شرایط عاری از تنش کاهش یافت و مقدار کاهش وزن میوه بین تیمارهای ۳ و ۶ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش، مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان‌های کاشت، گلدهی و میوه‌دهی، به‌ترتیب منجر به افزایش ۳۳، ۴۰ و ۶۰ درصدی وزن میوه نسبت به میانگین تیمارهای بدون مصرف گلايسين بتائين شد. هر چند در این آزمایش اثرات مثبت مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان گلدهی بر عملکرد، در شرایط تنش مشهود بود (۶۲٪ افزایش)، به‌نظر می‌رسد مصرف این اسیدآمین به‌کاربرد در شرایط عاری از تنش بر عملکرد گوجه‌فرنگی اثرات سمیت داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: اثرات سمیت، اسیدآمین، سطح برگ، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب.

۱. مقدمه

خشکی از جمله تنش‌های غیرزیستی است که به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران شناخته شده است. بسیاری از گیاهان برای مقابله با شرایط تنش برخی ترکیبات با عنوان کلی حل‌شونده‌های سازگار^۱ را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند که به‌منظور کاهش خسارت تنش خشکی به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی عمل می‌کنند. یکی از این ترکیبات گلاسیسین بتائین است که علاوه بر اثر تنظیم اسمزی، موجب ثبات ساختار و فعالیت آنزیم‌ها و پروتئین‌ها می‌شود و با حفظ یکپارچگی غشای سلولی، اثرات خسارت‌زای خشکی، شوری، گرما و سرما را تقلیل می‌دهد (Quan, et al., 2004). گزارش‌های متعدد حاکی از این است که وقتی ژن *codA* (فعال‌کننده آنزیم‌های سازنده گلاسیسین بتائین) از طریق مهندسی ژنتیک به گیاهان مختلف که قابلیت تولید این ماده را نداشتند، منتقل شد، موجب افزایش غلظت آن در گیاه شده و تولید محصول در شرایط تنش به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Chen & Murata, 2008). مطالعاتی که بر روی آریبدوپسیس (Sulpice et al., 2003)، کلزا (Kurepin et al., 2015)، گوجه‌فرنگی (Park et al., 2007a)، ذرت (Yang et al., 2005) و سیب‌زمینی (Ahmad et al., 2008) صورت گرفته است نشان از موفقیت این روش در القای بیوسنتز گلاسیسین بتائین داشت.

محلول‌پاشی گلاسیسین بتائین نیز به‌عنوان روشی جایگزین برای افزایش غلظت این ماده در گیاهانی که قابلیت تولید آن را ندارند، معرفی شده است که علاوه بر مزیت اقتصادی، محدودیت‌های تکنولوژیکی مهندسی ژنتیک را نیز ندارد. با محلول‌پاشی برگی، گلاسیسین بتائین از طریق بافت برگ

جذب شده و در سیتوسول و کلروپلاست برگ تجمع می‌یابد و مکانیسم‌های مقاومت به تنش را به‌طور مؤثری فعال می‌سازد (Park et al., 2006). این روش در مورد گیاهانی نظیر کلم، گوجه‌فرنگی، یونجه، برنج، لوبیا و ذرت مورد مطالعه قرار گرفته و موجب افزایش مقاومت این گیاهان در مقابل تنش‌هایی نظیر خشکی، شوری، سرما، یخ‌زدگی و اکسیداتیو شده و رشد و عملکرد گیاهان را بهبود بخشیده است (Chen & Murata, 2008).

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) جزو گیاهانی است که به‌طور طبیعی قابلیت بیوسنتز گلاسیسین بتائین را ندارد. مطالعات متعددی در مورد امکان مقاومت به تنش با استفاده از گلاسیسین بتائین در گوجه‌فرنگی صورت گرفته است. گوجه‌فرنگی‌هایی که از طریق مهندسی ژنتیک قابلیت تولید گلاسیسین بتائین را پیدا کرده بودند در شرایط تنش سرما (Park et al., 2004)، شوری و اکسیداتیو (Park et al., 2007a; Park et al., 2007b) قابلیت تولید میوه، گل و دانه بالاتری نسبت به ارقام وحشی داشته‌اند. برخی تحقیقات نیز نشان داده‌اند که کاربرد خارجی گلاسیسین بتائین در گوجه‌فرنگی موجب افزایش مقاومت به تنش‌هایی نظیر سرما (Park et al., 2006) و شوری (Makela et al., 1998a) شده است. در پژوهش انجام‌شده بر روی گوجه‌فرنگی مشخص شد که اسپری برگی گلاسیسین بتائین منجر به افزایش هدایت روزنه‌ای بدون تأثیر بر متابولیسم آسبیزیک اسید شد و درعین‌حال محتوای کلروفیل و پروتئین برگ را افزایش و تنفس نوری را کاهش داد (Makela et al., 1998a). در توضیح مکانیسم‌های مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی در حضور گلاسیسین بتائین به مواردی نظیر بهبود کارایی چرخه فتوسنتز، کاهش سطح گونه‌های اکسیژن فعال^۲ و تنظیم

شدند. دمای متوسط گلخانه در روز و شب به ترتیب ۲۵ و ۱۷ درجه سانتی گراد بود. نشاها در مرحله چهار تا شش برگ حقیقی و بعد از ۳۱ روز (۲۱ خرداد) نگهداری در گلخانه، به زمین اصلی منتقل شدند.

عملیات خاک ورزی شامل شخم نیمه عمیق بهاره و دیسک بود. پیش از نشاکاری بر اساس آزمون خاک از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار ۱۲۰، ۱۵۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار استفاده گردید. بافت خاک نیمه سنگین (لوم سیلتی رسی)، بدون محدودیت شوری و pH خاک ۷/۸ بود.

آبیاری به صورت قطره ای و با استفاده از T-tape انجام گرفت. کشت به صورت دستی با احتساب تراکم ۳۰ هزار بوته در هکتار، با فاصله ۴۵ سانتی متر در دو سوی نوار آبیاری صورت گرفت. کرت های آزمایش شامل سه ردیف با طول شش متر و فاصله بین ردیف ها دو متر بوده و بین تکرارها نیز فاصله دو متری قرار داشت. هر کرت به دو قسمت تقسیم شد و از قسمت اول برای یادداشت برداری های طول فصل رشد و از قسمت دوم جهت تعیین عملکرد استفاده گردید. طی فصل رشد برای کلیه تیمارها، تغذیه با کودهای میکرو و ماکرو و نیز مبارزه با آفات و بیماری ها به صورت مشابه انجام گرفت. تاریخ انتقال نشا به زمین اصلی ۲۱ خرداد ماه بود. برای تعیین زمان برداشت با استفاده از پیش بینی های هواشناسی، پیش از بروز اولین یخبندان زمستانه، برداشت در یک چین و در تاریخ ۱۰ مهرماه انجام گرفت.

برای اندازه گیری میزان محتوای نسبی آب برگ ابتدا ۱۰ عدد دیسک به قطر ۰/۵ سانتی متر از پهنک برگ بالغ و جوان (سومین برگ جوان از ساقه اصلی) به وسیله پانچ گرفته شد و وزن تر مشخص شد. سپس نمونه ها داخل شیشه های حاوی

فعالیت پروتئین های دخیل در کانال یونی غشای سلولی اشاره شده است (Chen & Murata, 2008).

در این تحقیق تلاش شده است که اثرات کاربرد خارجی گلايسين بتائين بر افزايش مقاومت گوجه فرنگي نسبت به تنش کم آبی بررسی شده و بهترین زمان و مقدار مصرف این ماده برای افزايش عملکرد گوجه فرنگي در شرایط تنش خشکي مشخص گردد.

۲. مواد و روش ها

آزمایش در مزرعه شرکت فاروج خرم توس واقع در ۱۰ کیلومتری جاده فریمان- مشهد طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ با مختصات ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۹۸۵ متر به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت. عوامل آزمایش، شامل عامل اصلی دور آبیاری در دو سطح شش و ۱۲ روزه در کرت اصلی قرار گرفت و عوامل فرعی شامل دو عامل زمان کاربرد و مقدار مصرف گلايسين بتائين بود که در کرت فرعی تصادفی شدند. مقادیر مختلف اسید آمینه گلايسين بتائين در سه سطح صفر، سه و شش کیلوگرم در هکتار (Makela et al., 1996) و عامل دوم زمان محلول پاشی در سه سطح اعمال گلايسين بتائين در زمان کشت نشا، شروع گلدهی (۱۰ درصد گلدهی) و شروع میوه دهی (۱۰ درصد میوه دهی) بود. مقادیر صفر، سه و شش کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در ۲۰۰ لیتر آب حل شده و محلول پاشی به وسیله سم پاش پستی در هر کرت در ساعات غروب آفتاب و خنکی هوا، در شرایط بدون باد انجام گرفت.

نشاهاى بذر گوجه فرنگي، رقم استاندارد خرم در سینی های کشت نشا ۲۴ تایی که با مخلوطی از پیت ماس، کوکوپیت و پرلیت پر شده بودند، در شرایط گلخانه کشت

شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل Delta-T device) در زمان برداشت انجام شد. وزن خشک کل بوته نیز در پایان آزمایش اندازه‌گیری شد. در این آزمایش صفاتی شامل عملکرد و اجزای عملکرد شامل عملکرد میوه در کرت، تعداد میوه در بوته و وزن میوه‌ها اندازه‌گیری شد. برای آنالیز واریانس از نرم‌افزار MSTAT-C نسخه ۵/۵ و آزمون دانکن در سطح ۵ درصد و برای رسم اشکال از نرم‌افزار Excel 2010 استفاده شد. در صورت معنی‌داری اثرات متقابل، از روش برش‌دهی جهت تفسیر اثر استفاده گردید سپس میانگین‌ها با روش L.S. Means مقایسه گردیدند.

۳. نتایج و بحث

مطابق با نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر ساده دور آبیاری، اثر متقابل دور آبیاری و زمان مصرف، اثر متقابل دور آبیاری و مقدار مصرف و نیز اثر متقابل کلیه عوامل بر همه صفات در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. اثر ساده زمان مصرف و مقدار مصرف بر کلیه صفات به‌استثنای نشت الکترولیت‌ها و محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار شد. اثر متقابل زمان و مقدار مصرف بر همه صفات به‌جز وزن میوه، نشت الکترولیت‌ها، محتوای نسبی آب و مقدار کلروفیل معنی‌دار شد. نتایج تجزیه واریانس به شیوه برش‌دهی فیزیکی اثرات متقابل در جدول ۲ مشاهده می‌شود. در این حالت اثر متقابل زمان و مقدار مصرف گلاسیسین بتائین در فاکتور آبیاری شش روزه معنادار نبود. با توجه به این‌که هدف از این مطالعه تعیین اثر گلاسیسین بتائین بر بهبود پاسخ گیاه در تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش بود و نیز معنی‌دار بودن اثر متقابل کلیه عوامل بر صفات مورد مطالعه، مقایسه میانگین‌ها بر روی اثرات متقابل دور آبیاری، زمان و مقدار مصرف گلاسیسین بتائین انجام شد (جدول ۳).

۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۴ ساعت در دمای ۴-۰ درجه سانتی‌گراد در تاریکی قرار داده شدند تا سلول‌های برگ به حالت تورژسانس کامل درآیند. سپس آن‌ها را روی کاغذ صافی قرار داده تا رطوبت اضافی آن‌ها گرفته شود و بعد از تعیین وزن آماس، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و وزن خشک دیسک‌ها اندازه‌گیری شد. محتوی نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Barrs & Weatherley, 1962).

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \quad (1)$$

که FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن آماس نمونه‌های برگ می‌باشد.

جهت تعیین پایداری غشا سلول‌های برگ از شاخص نشت الکترولیت‌ها استفاده گردید. در این روش ابتدا قطعات برگ با اندازه ۲ سانتی‌متر تهیه شد و با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفت با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفت. سپس لوله‌های آزمایش به مدت ۱۷ تا ۱۸ ساعت به‌وسیله شیکر (۱۶۰ دور در دقیقه) تکان داده شدند. در این مرحله مقدار هدایت الکتریکی اولیه نمونه‌های آزمایش (E1) به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج (JENWAY 4510) اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش به اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. پس از سرد شدن محتویات داخل لوله‌های آزمایش، مقدار هدایت الکتریکی ثانویه (E2) انجام پذیرفت. در نهایت مقدار نشت الکترولیت‌ها در زمان برداشت با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Sairam & Srivastava, 2001).

$$EL = (E1/E2) \times 100 \quad (2)$$

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل (عدد SPAD) سه برگ همسان (جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته) روی سه بوته انتخاب و محتوای نسبی کلروفیل آن‌ها توسط دستگاه Mintola (Japan, 502-SPAD) قرائت شد. اندازه‌گیری

اثر کاربرد خارجی گلاسیسین بتائین بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی

جدول ۱. میانگین مربعات ویژگی‌های فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای نسبی آب	وزن خشک	شاخص کلروفیل	سطح برگ	نشت الکترولیت‌ها	وزن میوه	تعداد میوه	عملکرد
تکرار	۳	۱۳۴/۲	۱۶۴/۵	۷۷/۷	۱۷/۵	۱۰۸/۳	۹۸/۳	۱۰۳/۲	۲۳۰/۴
آبیاری (A)	۱	۴۵۷/۳**	۸۰۹/۱**	۴۰۳/۵**	۹۰۰/۵**	۲۸۷/۴**	۵۷۶/۹**	۳۹۹/۱**	۴۴۴/۴**
خطای کرت اصلی	۳	۱۶/۹	۳۰/۳	۱۸/۹	۲۶/۱	۸/۷	۱۶/۴	۹/۹	۱۳/۵
زمان مصرف (B)	۲	۲۲۹/۲**	۲۰۱/۸**	۹۲/۷**	۳۳۳/۳**	۱۷۶/۴**	۱۱۲/۰**	۷۲/۴**	۲۰۹/۱**
مقدار مصرف (C)	۲	۳۱۲/۷**	۳۱۱/۸**	۱۰۳/۷**	۱۴۱/۸**	۱۸۵/۴**	۹۸/۷**	۸۸/۱**	۱۹۸/۴**
A*B	۲	۲۰۹/۸**	۲۲۴/۵**	۵۶/۹**	۷۸/۵**	۱۰۰/۱**	۱۰۹/۷**	۱۲۹/۴**	۲۰۱/۴**
A*C	۲	۲۲۷/۶**	۲۱۸/۹**	۸۵/۴**	۸۴/۵**	۱۲۴/۱**	۱۳۴/۵**	۱۱۱/۱**	۲۳۳/۱**
B*C	۴	۱۶۵/۸**	۱۳۳/۳**	۵۴/۸**	۵۶/۷**	۹۸/۳**	۶۵/۴**	۶۰/۱**	۱۱۸/۸**
A*B*C	۴	۱۷۸/۸**	۱۵۵/۶**	۴۴/۹**	۶۷/۸**	۴۸/۴**	۶۶/۶**	۷۶/۵**	۱۳۴/۸**
خطای کرت فرعی	۴۸	۱۰/۵	۱۴/۱	۷/۴	۸/۸	۶/۸	۱۰/۹	۸/۳	۱۷/۹
ضریب تغییرات (درصد)		۲۵/۱	۲۲/۹	۱۳/۷	۲۰/۸	۱۷/۱	۱۵/۴	۱۸/۳	۲۰/۱

** و ns: معنی داری در سطح ۱ درصد و اختلاف غیر معنی دار.

جدول ۲. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس به شیوه برش‌دهی اثر دور آبیاری در مقدار و زمان صرف گلاسیسین بتائین بر

صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای نسبی آب	وزن خشک	شاخص کلروفیل	سطح برگ	نشت الکترولیت‌ها	وزن میوه	تعداد میوه	عملکرد
آبیاری ۶ روزه	۸	۳۹/۷ ^{ns}	۴۴۳/۱**	۶۶/۶**	۱۷۰/۵**	۴۳/۱**	۱۰۱/۱**	۷۸/۱**	۶۷/۵**
آبیاری ۱۲ روزه	۸	۵۵/۵**	۳۳۱/۸**	۵۰/۴**	۱۵۶/۱**	۳۲/۲**	۸۸/۱**	۶۲/۰**	۸۸/۸**

ns و **: نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار و معنی دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد.

۱.۳. شاخص‌های فیزیولوژیکی

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) بر روی نشت الکترولیت‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین میزان نشت در بین سطوح فاکتور آبیاری ۱۲ روزه، به ترتیب از تیمار صفر کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان میوه‌دهی (۷۰/۳) درصد) و تیمار مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان گلدهی (۴۸/۵ درصد) به دست آمد. از طرف دیگر کمترین میزان نشت یونی در بین سطوح فاکتور آبیاری شش‌روزه، در تیمار سه کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان میوه‌دهی (۲۶/۸ درصد) دیده شد. در شرایط تنش خشکی، غشای سلولی به دلیل تولید انواع اکسیژن فعال مانند رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن

آسیب می‌بیند. در تنش‌های شدید، فسفولیپیدهای غشا تغییر حالت داده و ساختار یکپارچه آن از بین می‌رود و قادر به حفظ ترکیبات سلولی نیست (Osakabe et al., 2014). به همین دلیل قابلیت حفظ تمامیت غشا به‌عنوان یک مکانیسم مقاومتی در گیاهان مطرح است. گیاهان حساس قادر به حفظ غشای خود نبوده و به همین جهت نشت یونی غشای آن‌ها در شرایط تنش به‌شدت افزایش می‌یابد (Yanecy, 2005). در بررسی پاسخ چهار گونه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی مشخص شد که در زمان بروز تنش میزان نشت یونی از غشای سلول افزایش یافت (Mahmoudnia et al., 2013). نتیجه ارزیابی تحمل به خشکی ۱۰ رقم سیب‌زمینی نشان داد که میزان مقاومت به خشکی ارقام با میزان نشت

مقاومت در برابر تنش خشکی است (Ahmadi & Baker, 1998). محتوای نسبی آب با هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و فتوسنتز ارتباط داشته و گیاهانی که قادر باشند محتوای نسبی آب خود را نسبت به شرایط تورژانس کامل در حد مطلوبی حفظ کنند، عملکرد بهتری در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند (Abdalla & El-Khoshiban, 2007) در آزمایشی روی ارقام گوجه‌فرنگی مشخص شد که محتوای نسبی آب برگ از بهترین شاخص‌های تفاوت بین ارقام حساس و غیرحساس بوده و این پارامتر همبستگی خوبی با شاخص‌هایی چون مقدار فتوسنتز، محتوای آنتی‌اکسیدانتی گیاه و نیز عملکرد دارد (Sanchez-Rodriguez et al., 2010). مقایسه پاسخ گونه‌های مختلف جنس گوجه‌فرنگی به تنش خشکی نیز نشان داد که حساس‌ترین گونه به تنش (گونه زراعی) کمترین محتوای نسبی آب را به خود اختصاص داد. مطالعات مختلف نشان داده است که کاربرد اسیدهای آمینه فعال در تنظیم اسمزی از جمله گلیسین بتائین و پرولین می‌تواند در بهبود روابط آبی گیاه و محتوای نسبی آب گیاه مفید باشد (Chen & Murata, 2008). نتایج برگ‌پاشی اسیدهای آمینه مختلف از جمله گلیسین بتائین نشان‌دهنده بهبود محتوای آب نسبی برگ گوجه‌فرنگی و افزایش جذب آب گوجه‌فرنگی بود (Cerdan et al., 2008). کاربرد خارجی گلیسین بتائین در گوجه‌فرنگی‌های تحت تنش خشکی توانست محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز گیاه را بهبود بخشد (Makela et al., 1998b). همان‌گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود، بیشترین سطح برگ در بین سطوح فاکتور دور آبیاری ۶ روزه در تیمار سه کیلوگرم در هکتار گلیسین بتائین در زمان کاشت (۱۲۵۳ سانتی‌متر مربع در هر بوته) و کمترین مقدار در تیمار شش کیلوگرم در هکتار گلیسین بتائین در زمان گلدهی (۱۱۰۹ سانتی‌متر مربع) مشاهده شد. در بین سطوح مختلف عامل

الکترولیت‌ها رابطه عکس داشت (Nouri et al., 2017). از سوی دیگر، افزایش آنتی‌اکسیدانت‌ها با کاهش مقدار اکسیژن فعال، موجب بهبود پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی می‌شوند. اسیدهای آمینه‌ای چون پرولین و گلیسین بتائین به‌عنوان حفاظت‌کننده‌های اسمزی^۱ در سلول از ایجاد اکسیداتیو جلوگیری کرده و از این طریق به حفظ غشا کمک می‌کنند و مانع از نشت یونی می‌شوند (Subbaroa et al., 2001). در مطالعه‌ای روی سویا مشخص شد کاربرد خارجی اسیدهای آمینه از طریق بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانتی، سبب بهبود نشت یونی غشا و افزایش عملکرد گیاهان تحت تنش خشکی شدند (Tiexeira et al., 2017). نقش حفاظتی گلیسین بتائین بر غشای سلولی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش اکسیداتیو و سرما (Hsieh et al., 2002)، خشکی و شوری (Chen & Murata, 2008; Makela et al., 1998b) و سرما (Park et al., 2006a) تأیید شده است.

از نظر محتوای نسبی آب برگ در سطوح فاکتور دور آبیاری ۶ اختلاف معناداری دیده نشد. کمترین محتوای آب نسبی مربوط به سطوح فاکتور دور آبیاری ۱۲ روزه در سطوح صفر کیلوگرم در هکتار گلیسین بتائین (به ترتیب ۶۱/۳، ۶۲ و ۶۳/۲ درصد در زمان‌های میوه‌دهی، کاشت و گلدهی) بود. در عین حال کاربرد گلیسین بتائین توانست تا حدودی وضعیت آبی گیاه در شرایط تنش خشکی را بهبود بخشد، به طوری که در بین سطوح مختلف فاکتور دور آبیاری ۱۲ روزه، کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلیسین بتائین در زمان میوه‌دهی، محتوای آب نسبی برگ را تا سطح ۸۰ درصد افزایش داد (جدول ۳). یکی از مناسب‌ترین معیارها برای تشخیص اثر تنش خشکی بر گیاه، محتوای آب نسبی برگ است. مطالعات نشان داده است که عدم کاهش محتوای نسبی آب برگ نشان‌دهنده

1. Osmo-protectant

کلروپلاست در سلول های برگ، سبب افزایش شاخص کلروفیل می شود، ولی مقدار کل کلروفیل در واحد سطح برگ را کاهش می دهد. با شدت یافتن تنش ممکن است شاخص کلروفیل به دلیل تأثیر رادیکال های آزاد بر غشای کلروپلاست و تخریب آن کاهش یابد (Ashraf & Foolad, 2007). محققین معتقدند که تداوم فتوسنتز و حفظ کلروفیل در شرایط تنش، یکی از شاخص های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش خشکی است و کاهش غلظت کلروفیل را در شرایط تنش خشکی به عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه ای در فتوسنتز محسوب می کنند. گلايسين بتائين با تأثیرات آنتی اکسیدانی و نیز اثر بر محتوای آب گیاه در شرایط تنش خشکی، نقش حفاظتی داشته و مانع تخریب کلروپلاست ها و کاهش شاخص کلروفیل می شود (Subbaroa et al., 2001). در تحقیقی روی کلزا مشخص شد که کاربرد گلايسين بتائين سبب کاهش خسارت تنش خشکی بر غشای کلروپلاست شده و از تخریب تیلوکوئیدها ممانعت کرد (Sulpice et al., 2003).

بر اساس نتایج به دست آمده، در بین سطوح مختلف فاکتور دور آبیاری ۶ روزه بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک به ترتیب از تیمارهای صفر کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان گلدهی (۱۱۶۸/۳ کیلوگرم در مترمربع) و تیمار شش کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان کاشت (۱۰۹۸/۲ گرم در مترمربع) به دست آمد. در بین سطوح فاکتور دور آبیاری ۱۲ روزه بیشترین مقدار از سطح سه کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان کاشت (۸۴۳/۲ گرم در مترمربع) و کمترین مقدار از سطح صفر کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان کاشت (۶۴۳/۱ گرم در مترمربع) حاصل شد (جدول ۳). کاهش وزن خشک در گیاهان حساس به خشکی مانند گیاهان خانواده سیب زمینی^۱ حتی در تنش های متوسط نیز دیده می شود (Garcia et al., 2007; Ierna & Mauromicale, 2006).

دور آبیاری ۱۲ روزه، مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان کاشت بیشترین سطح برگ (۸۸۹ سانتی متر مربع) را به خود اختصاص داد و کمترین مقدار سطح فتوسنتزکننده مربوط به تیمار صفر کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان گلدهی (۶۶۹ سانتی متر در هر بوته) بود (جدول ۳). کاهش سطح برگ پاسخ رایجی در شرایط تنش های آبی است. این پاسخ در نتیجه کاهش در اندازه و نیز تعداد سلول ها اتفاق می افتد. کاهش سطح برگ باعث کاهش سطح تعرق کننده شده و در تعادل آبی گیاه در شرایط تنش خشکی نقش دارد (Osakabe et al., 2014). در بررسی روی پنبه مشخص شد که مصرف گلايسين بتائين سطح برگ گیاه را افزایش داد و کاربرد برگی شش کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در هنگام کاشت سبب تولید بیشترین سطح فتوسنتزکننده در شرایط خشکی شد (Makhdum & Shababuddin, 2006). همچنین، کاربرد خارجی گلايسين بتائين توانست سطح برگ گیاه گوجه فرنگي را در شرایط تنش سرما تا ۲۵ درصد افزایش دهد (Park et al., 2006). بررسی روی ذرت نیز نشان داد محلول پاشی گلايسين بتائين می تواند از طریق تأثیر بر سطح فتوسنتزکننده، افزایش هدایت روزنه ای و افزایش میزان کلروفیل برگ در شرایط تنش خشکی، فتوسنتز گیاه را بهبود دهد (Yang et al., 2005).

بیشترین شاخص کلروفیل در بین سطوح عامل دور آبیاری ۶ روزه، مربوط به تیمار شش کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان کاشت (۶۸۳ عدد) و کمترین مقدار مربوط به تیمار شش کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان میوه دهی (۵۷/۴ عدد) بود. در سطوح مختلف عامل دور آبیاری ۱۲ روزه نیز سه کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان میوه دهی (۵۵/۳ عدد) بیشترین و صفر کیلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان گلدهی (۳۳/۴ عدد) کمترین مقدار شاخص کلروفیل را به خود اختصاص داد (جدول ۳). تنش خشکی با کاهش اندازه سلول و تجمع

عملکرد و تولید ماده خشک در گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی شد (Makela et al., 1996). با توجه به این‌که گلیسین بتائین در گیاه بسیار دیر تجزیه می‌شود (Foolad et al., 2003). بنابراین اثرات کاربرد این ماده در زمان کاشت تا انتهای رشد در گیاه تا حدودی باقی است. همان‌طورکه در مورد صفات مورد بررسی پیشین ملاحظه شد، کاربرد سه کیلوگرم گلیسین بتائین توانسته است، در اغلب موارد بهترین نتیجه در شرایط تنش به‌دست دهد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد این ماده با تأثیر بر فیزیولوژی گیاه در دوره رشد رویشی توانسته است موجب بهبود شرایط رشدی گیاهان تحت تنش شود.

افت تولید زیست‌توده به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده (Abdalla & El-Khoshiban, 2007)، کاهش هدایت روزنه‌ای (Sajjadnia et al., 2010) کاهش مقدار کلروفیل (Garcia et al., 2007) و به تبع آن کاهش فتوسنتز (Nouri et al., 2017) مربوط می‌باشد. استفاده از گلیسین بتائین با بهبود روابط آبی در گیاه از طریق اثرات تنظیم اسمزی و نیز حفاظت از غشای سلول و کلروپلاست از طریق اثرات آنتی‌اکسیدانتی سبب حفظ فتوسنتز گیاه در شرایط تنش می‌شود (Ashraf & Foolad, 2007). در گوجه‌فرنگی کاربرد عصاره ملاس چغندر قند، به‌عنوان منبع اسیدآمین‌های گلیسین و پرولین، سبب افزایش

جدول ۳. اثرات متقابل زمان و مقدار مصرف گلیسین بتائین بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی

دور آبیاری	زمان مصرف	مقدار مصرف	محتوای نسبی آب	نشت الکترولیت	سطح برگ	شاخص کلروفیل	وزن خشک	وزن میوه	تعداد میوه	عملکرد
آبیاری	مصرف	مصرف	(%)	(%)	(cm ²)	(عدد)	(gm ²)	(gr)	(عدد)	(تن در هکتار)
۲ روزه	کاشت	صفر کیلوگرم در هکتار	۹۵/۳ a** (A)	۳۶/۱ gh (AB)	۱۲۴۰ a (A)	۵۹/۴ bc (BC)	۱۱۴۳/۷ a (A)	۹۷/۰ a (A)	۳۱/۲ a (A)	۱۰۱/۰ a (A)
		سه کیلوگرم در هکتار	۹۲/۳ a (A)	۳۷/۷ g (A)	۱۲۵۳ a (A)	۶۲/۱ ab (B)	۱۱۳۳/۶ a (AB)	۹۰/۴ a (B)	۲۹/۶ a (AB)	۹۰/۴ ab (CD)
		شش کیلوگرم در هکتار	۹۳/۲ a (A)	۳۴/۲ hi (B)	۱۲۰۰ a (AB)	۶۸/۳ a (A)	۹۷۱/۵ b (C)	۸۸/۷ ab (B)	۲۸/۴ ab (B)	۸۰/۷ b (E)
		صفر کیلوگرم در هکتار	۹۴/۵ a (A)	۲۸/۸ j (D)	۱۲۰۹ a (AB)	۶۴/۳ a (AB)	۱۱۶۸/۳ a (A)	۹۹/۰ a (A)	۳۱/۳ a (A)	۹۸/۳ a (AB)
		سه کیلوگرم در هکتار	۹۱/۳ a (A)	۳۲/۹ hij (BC)	۱۱۷۰ ab (B)	۵۹/۹ bc (BC)	۱۱۵۲/۷ a (A)	۹۹/۵ a (A)	۲۹/۰ a (AB)	۱۰۰/۵ a (A)
		شش کیلوگرم در هکتار	۹۵/۱ a (A)	۳۹/۸ g (A)	۱۱۰۹ b (C)	۶۱/۹ ab (B)	۱۱۱۳/۳ a (B)	۹۴/۶ a (A)	۲۸/۷ ab (B)	۹۴/۶ a (BC)
	میوه‌دهی	صفر کیلوگرم در هکتار	۹۴/۰ a (A)	۳۰/۰ ij (C)	۱۱۸۷ ab (B)	۶۲/۹ ab (B)	۱۰۷۸/۶ ab (BC)	۹۰/۱ a (B)	۲۹/۵ a (AB)	۹۱/۰ ab (CD)
		سه کیلوگرم در هکتار	۹۳/۲ a (A)	۲۶/۸ j (D)	۱۱۸۹ ab (B)	۶۴/۸ a (AB)	۱۰۹۸/۲ a (B)	۹۳/۶ a (A)	۳۰/۶ a (A)	۹۳/۶ a (C)
		شش کیلوگرم در هکتار	۹۶/۳ a (A)	۳۱/۰ ij (C)	۱۱۱۱ b (C)	۵۷/۴ c (C)	۱۱۴۸/۹ a (A)	۹۰/۱ a (B)	۲۸/۱ b (B)	۸۴/۱ B (D)
		صفر کیلوگرم در هکتار	۶۲/۰ e (D)	۶۴/۸ b (B)	۷۴۳ d (D)	۳۷/۶ e (DE)	۶۴۳/۱ e (E)	۵۰/۲ ef (DE)	۲۳/۴ de (B)	۳۷/۷ fg (DEF)
		سه کیلوگرم در هکتار	۷۱/۲ cd (C)	۵۰/۱ cd (C)	۸۴۶ c (AB)	۴۵/۱ d (BC)	۸۳۴/۲ c (A)	۶۲/۳ cd (C)	۲۵/۴ c (A)	۵۲/۸ cd (A)
		شش کیلوگرم در هکتار	۶۴/۲ de (D)	۵۲/۷ c (C)	۸۸۹ c (A)	۴۷/۹ cd (BC)	۸۰۹/۶ c (AB)	۵۷/۶ e (D)	۲۵/۱ c (A)	۵۰/۷ de (AB)
۱۲ روزه	کاشت	صفر کیلوگرم در هکتار	۶۳/۲ e (D)	۶۸/۴ ab (A)	۶۹۹ e (E)	۳۳/۴ e (E)	۶۷۹/۷ de (DE)	۴۶/۳ f (EF)	۲۲/۹ de (B)	۳۵/۳ g (EF)
		سه کیلوگرم در هکتار	۷۴/۳ bc (B)	۴۸/۵ e (D)	۷۷۰ cd (CD)	۴۴/۴ de (C)	۷۵۰/۰ cd (BC)	۶۵/۶ cd (BC)	۲۴/۸ cd (AB)	۵۶/۵ c (A)
		شش کیلوگرم در هکتار	۷۳/۰ bc (BC)	۴۹/۱ de (CD)	۸۳۴ c (B)	۴۵/۱ d (BC)	۷۰۱/۸ de (CD)	۷۳/۴ b (A)	۱۶/۸ g (D)	۴۶/۲ ef (B)
	میوه‌دهی	صفر کیلوگرم در هکتار	۶۱/۳ e (E)	۷۰/۳ a (A)	۷۰۱ e (DE)	۳۷/۹ e (DE)	۷۰۱/۵ de (CD)	۴۴/۰ f (F)	۲۲/۹ de (B)	۳۲/۰ g (F)
		سه کیلوگرم در هکتار	۸۰/۳ b (A)	۴۰/۹ fg (E)	۷۴۹ d (D)	۵۵/۳ c (A)	۶۵۹/۹ e (E)	۷۵/۱ b (A)	۲۲/۵ e (B)	۴۷/۹ e (B)
		شش کیلوگرم در هکتار	۷۸/۲ b (A)	۴۸/۸ ef (D)	۷۲۲ de (DE)	۴۸/۷ cd (B)	۶۸۷/۶ de (DE)	۶۱/۹ d (C)	۲۰/۲ f (C)	۴۱ fg (CD)

*: حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

** : در هر ستون و هر سطح تیمار آبیاری، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

1. Solanaceae

۲.۳. عملکرد و اجرای عملکرد

در بین سطوح مختلف فاکتور دور آبیاری شش‌روزه، بیشترین وزن میوه از تیمار مصرف ۳ کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان گلدهی (۹۹/۵ گرم) و کمترین از تیمار مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان کاشت (۸۸/۷ گرم) حاصل شد. اما در بین سطوح مختلف فاکتور دور آبیاری ۱۲ روزه بیشترین وزن میوه از سطح سه کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان میوه‌دهی (۷۵/۱ گرم) و کمترین وزن از سطح صفر کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان میوه‌دهی و گلدهی (به ترتیب ۴۴ و ۶۷/۶ گرم) به دست آمد (جدول ۳).

از نظر تعداد میوه در بوته، بهترین نتیجه در بین سطوح عامل دور آبیاری شش‌روزه صفر کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان گلدهی (۳۱/۳ عدد در بوته) و کمترین تعداد میوه در سطوح شش کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین (۲۸/۷، ۲۸/۴، ۲۸/۱ عدد در بوته به ترتیب در زمان‌های کاشت، گلدهی و میوه‌دهی) به دست آمد. کمترین تعداد میوه در بوته در بین سطوح عامل دور آبیاری ۱۲ روزه از مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان گلدهی (۱۶/۸ عدد در بوته) به دست آمد. در حالی که بیشترین تعداد مربوط به سطح مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان کاشت (۲۵/۴ عدد در بوته) بود که با تیمار مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلاسیسین بتائین در زمان گلدهی (۲۴/۸ عدد در بوته) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). اگر میانگین تعداد و وزن میوه در شرایط تنش در تیمارهای شاهد (بدون مصرف گلاسیسین بتائین) در سه مرحله، به‌عنوان شاخص در نظر گرفته شود، مصرف گلاسیسین بتائین با دوز سه کیلوگرم در هکتار در مراحل کاشت، گلدهی و میوه‌دهی به ترتیب منجر به افزایش ۳۳، ۴۰ و ۶۰ درصد در وزن میوه شدند. همچنین، این مقدار

مصرف، تأثیر معنی‌داری در تعداد میوه در بوته نداشته است. افزایش مقدار مصرف گلاسیسین بتائین تا شش کیلوگرم در هکتار همچنان وزن میوه بیشتری را نسبت به شاهد نشان داد (۲۳، ۵۶ و ۳۲ درصد به ترتیب در کاربرد مراحل کاشت، گلدهی و میوه‌دهی). بیشترین مقدار کاهش تعداد میوه در بوته، در بین تیمارهای دور آبیاری ۱۲ روزه، در تیمار مصرف در زمان گلدهی و با مقدار ۶ کیلوگرم در هکتار بود که کاهش ۲۶/۹ درصدی را نشان داد.

گیاهان در مراحل مختلف رشدی، پاسخ متفاوتی نسبت به تنش از خود نشان می‌دهند. در مرحله رشد رویشی تنش اغلب با کاهش رشد اندام هوایی و تقویت رشد ریشه نسبت به اندام هوایی (Osakabe *et al.*, 2014) همراه است. کاهش فتوسنتز به دلیل افزایش مقاومت روزنه‌ای (Mahmoudnia *et al.*, 2013)، کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی از جمله وریسکو، خسارت به کلروپلاست‌ها و کاهش سطح فتوسنتزکننده را به دنبال دارد (Ahmadi & Baker, 1998). در دوره رشد زایشی کاهش ذخیره مواد غذایی طی دوره قبل سبب محدودیت توزیع مجدد شده و کاهش فتوسنتز جاری نیز سبب محدودیت بیشتر رشد اندام‌های زایشی می‌شود (Abdalla & El-Khoshiban, 2007). به این ترتیب تنش آب طی دوره گلدهی با تأثیر بر تعداد گل و به تبع آن تعداد میوه و طی دوره میوه‌دهی و دانه‌بندی با اثر بر وزن میوه و دانه، عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Garcia *et al.*, 2007). در لوبیا مصرف گلاسیسین بتائین در زمان کاشت بر تعداد گل و غلاف در گیاه تأثیر داشت. در حالی که مصرف این ماده در زمان گلدهی، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه را افزایش داد (Yang *et al.*, 2005). بررسی‌ها روی گوجه‌فرنگی‌های تراریخته حاوی ژن *codA* (این ژن مسئولیت تولید گلاسیسین بتائین را به‌عهده دارد) مشخص شد که گیاهان حاوی این ژن نسبت به بوته‌های معمولی،

گلایسین بتائین به عنوان یک ماده حفاظت کننده و فعال در ایجاد تنظیم اسمزی، می تواند عملکرد گیاه در شرایط تنش های محیطی را افزایش دهد. مطالعه روی گوجه فرنگی در شرایط تنش خشکی نشان داد که یک بار مصرف گلایسین بتائین توانست تا ۵۰ درصد عملکرد را افزایش دهد (Jokinen *et al.*, 1998). همچنین، مصرف این ماده موجب افزایش ۴۰ درصد عملکرد گوجه فرنگی در شرایط تنش شوری و گرما شد (Makela *et al.*, 1998b). در پنبه مصرف گلایسین بتائین از سقط گل ها در شرایط تنش خشکی جلوگیری کرده و سبب افزایش ۲۰ درصدی عملکرد در شرایط تنش شد. هرچند بر عملکرد در شرایط عاری از تنش اثر قابل ملاحظه ای نداشت و حتی در غلظت های بالا سبب گل ریزی گردید (Makhdum & Shababuddin, 2006). در گیاهان تراریخته با قابلیت تولید گلایسین بتائین داخلی نیز در شرایط تنش خشکی اثرات مثبتی گزارش شد (Park *et al.*, 2007a,b). چنین نتایجی در تنباکو، بادمجان، گوجه فرنگی، فلفل و سیب زمینی مشاهده شده است (Serraj & Sincliar, 2002; Rotein *et al.*, 2002). در لوبیا مصرف خارجی گلایسین بتائین در زمان کاشت و گلدهی عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی را بهبود بخشید (Xing & Rajashekar, 1999).

نکته ای که در مجموع مطالعه به نظر می رسد این است که مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در تمام مراحل رشدی و روی اغلب صفات فیزیولوژیکی و اجزای عملکرد، به ویژه در شرایط بدون تنش، نوعی اثرات سمی داشته است و سبب کاهش آن ها شده است (جدول ۳). نتایج به دست آمده از برخی تحقیقات نشان می دهد که گلایسین بتائین در دوزهای بالا ممکن است بدون تأثیر بوده و یا حتی سمی باشد (Yanecy, 2005). به عنوان مثال، کاربرد گلایسین

گل های بزرگ تر و جوانه های گل بیشتری در شرایط تنش تولید کردند. همچنین، میوه های رسیده آنها ۵۴ درصد سنگین تر از بوته های معمولی بود (Park *et al.*, 2007b). در آزمایش حاضر وزن میوه در شرایط تنش، ۵۱ درصد افزایش یافت (جدول ۳). همچنین، مشخص شده است که امکان انتقال گلایسین بتائین از برگ ها و اندام های رویشی به اندام زایشی وجود دارد (Makela *et al.*, 1998b; Park *et al.*, 2008) و به همین دلیل در شرایط تنش های غیرزیستی، اندام های زایشی و گل ها به تنش مقاوم شده و ریزش گل ها کمتر اتفاق می افتد (Sakamoto & Murata, 2002). مطالعه روی ذرت تراریخته حاوی ژن تولید گلایسین بتائین نشان داد که در شرایط تنش خشکی گیاهان تعداد گلچه بیشتری تولید کردند و درصد ریزش نسبت به گیاهان معمولی به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافت (Quan *et al.*, 2004). تعداد میوه در بوته در شرایط تنش این مطالعه ۶۲ درصد افزایش پیدا کرد (جدول ۳).

بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین عملکرد در دور آبیاری شش روزه از مصرف صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت (۱۰۱ تن در هکتار) به دست آمد. در شرایط بدون تنش اثر مصرف سه کیلوگرم گلایسین بتائین بر عملکرد قابل ملاحظه نبود، ولی مصرف شش کیلوگرم در هکتار از این ماده سبب کاهش عملکرد نیز شد. در بین سطوح فاکتور دور آبیاری شش روزه، سطح شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان های کاشت (۸۰/۷ تن در هکتار) پایین ترین عملکرد را تولید کرد. کمترین عملکرد در تیمار دور آبیاری ۱۲ روزه صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت (۳۲ تن در هکتار) مشاهده شد. در بین سطوح مختلف دور آبیاری ۱۲ روزه نیز بالاترین عملکرد از سطح مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان گلدهی (۵۶/۵ تن در هکتار) حاصل شد (جدول ۳).

گياه گوجه فرنگي در شرايط تنش خشکي بود. به نظر مي رسد بهترين زمان مصرف در شرايط تنش خشکي، کاشت و گلدهي باشد. به اين ترتيب در شرايط تنش، عملکرد در تيمار مصرف سه کيلوگرم در هکتار گلايسين بتائين نسبت به ميانگين عملکرد در تيمارهاي بدون مصرف گلايسين بتائين (۳۵ تن در هکتار)، ۶۲ درصد افزايش يافت. اين افزايش عملکرد از طريق افزايش در وزن و تعداد ميوه در بوته به دست آمد. کاربرد سه کيلوگرم در هکتار گلايسين بتائين در زمان ميوه دهی نتوانست به اندازه کاربرد در زمان کاشت يا گلدهی عملکرد را تحت تأثير قرار دهد. اين امر احتمالاً به اين خاطر است که در اين زمان خسارت خشکي بر گياه وارد شده و مصرف اين ماده دير هنگام بوده و قادر به تخفيف خسارت نيست. در شرايط عدم تنش، مصرف گلايسين بتائين نتوانست عملکرد را بهبود بخشد. علاوه بر اين در تيمارهاي مصرف شش کيلوگرم در هکتار گلايسين بتائين چه در شرايط تنش و چه در شرايط معمولی، اثرات سميت مشاهده گرديد.

منابع

1. Abdalla, M. M. & El-Khoshiban, N. (2007). The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(12), 2062-2074.
2. Ahmad, R., Kim, M. D., Back, K.-H., Kim, H.-S., Lee, H.-S., Kwon, S.-Y. & Kwak, S.-S. (2008). Stress-induced expression of choline oxidase in potato plant chloroplasts confers enhanced tolerance to oxidative, salt, and drought stresses. *Plant Cell Reports*, 27(4), 687-698.
3. Ahmadi, E. & Baker, A. (2000). Stomat and non-stomat photosynthesis limiting factor under drought stress. *Iranian Journal of Agriculture Research*, 31, 813-825.

بتائين به صورت محلول پاشي بر گياه شلغم، کلزا و برنجي از غلات بهاره رشد آن ها را در تنش خشکي بهبود بخشيد (Makela et al., 1996). کاربرد برنجي گلايسين بتائين اجزای عملکرد و فرايندهای فيزيولوژيک و هم چنين مقدار داخلي گلايسين بتائين را در سيب زميني تغيير نداد (Ahmad et al., 2008). اين اثرات متضاد ممکن است به دليل شرايط آزمایش و يا اختلاف بين گونه ها و ژنوتیپ های مورد آزمایش در واکنش به کاربرد خارجی گلايسين بتائين ايجاد شده باشد (Ashraf & Foolad, 2007). در مورد علت بروز اثرات سمی در نتيجه مصرف گلايسين بتائين، يافته های دقيقی وجود ندارد، ولی بر اساس تحقيق روی گونه های غير تجمع دهنده گلايسين بتائين در خانواده چلبیائیيان، کلزا و اريبدوپسيس، گزارش شد که گلايسين بتائين خارجی از طريق اثرات رقابتي گلايسين بر مرحله ميتوکندریایی مسير گليکوليات سبب افزايش تنفس نوری می شود (Sulpice et al., 2001). از آنجاکه گیاهان خانواده سيب زميني نیز قادر به ساخت و تجمع گلايسين بتائين نيستند، ممکن است چنين اثرات سمی در آن ها نیز دیده شود. علاوه بر اين به نظر می رسد، گیاهانی که قابليت توليد گلايسين بتائين را از طريق دستکاري ژنتيکی به دست می آورند، اين ماده را در کلروپلاست تجمع می دهند و در زمانی که کاربرد گلايسين بتائين به صورت خارجی بوده است در سيتوسول ذخيره می شوند (Chen & Murata, 2008). مطالعات مؤيد اين نکته است که گلايسين بتائين ذخيره شده در کلروپلاست بسيار مؤثرتر از مواردی است که در سيتوسول تجمع می يابد (Kurepin et al., 2015).

۴. نتيجه گيري

نتايج به دست آمده از اين آزمایش حاکی از اثرات مثبت کاربرد سه کيلوگرم در هکتار گلايسين بتائين بر عملکرد

1. *Brassica rapa*
2. *Brassica napus*

4. Ashraf, M. & Foolad, M. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216.
5. Barrs, H. & Weatherley, P. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15(3), 413-428.
6. Cerdán, M., Sánchez-Sánchez, A., Oliver, M., Juárez, M. & Sánchez-Andreu, J. (2008). *Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants*. Paper presented at the IV Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes 830.
7. Chen, T. H. & Murata, N. (2008). Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. *Trends in Plant Science*, 13(9), 499-505.
8. Foolad, M., Subbiah, P., Kramer, C., Hargrave, G. & Lin, G. (2003). Genetic relationships among cold, salt and drought tolerance during seed germination in an interspecific cross of tomato. *Euphytica*, 130(2), 199-206.
9. Garcia, A., Marcelis, L., Garcia-Sanchez, F., Nicolas, N. & Martínez, V. (2007). Moderate water stress affects tomato leaf water relations in dependence on the nitrogen supply. *Biologia Plantarum*, 51(4), 707-712.
10. Hsieh, T.-H., Lee, J.-t., Charng, Y.-y. & Chan, M.-T. (2002). Tomato plants ectopically expressing Arabidopsis CBF1 show enhanced resistance to water deficit stress. *Plant Physiology*, 130(2), 618-626.
11. Ierna, A. & Mauromicale, G. (2006). Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 82(1-2), 193-209.
12. Jokinen, K., Somersalo, S., Mäkelä, P., Urbano, P., Rojo, C., González, J., ... Moya, M. (1998). *Glycinebetaine from sugar beet enhances the yield of 'field-grown' tomatoes*. Paper presented at the VI International Symposium on Processing Tomato & Workshop on Irrigation & Fertigation of Processing Tomato 487.
13. Kurepin, L. V., Ivanov, A. G., Zaman, M., Pharis, R. P., Allakhverdiev, S. I., Hurry, V. & Hüner, N. P. (2015). Stress-related hormones and glycinebetaine interplay in protection of photosynthesis under abiotic stress conditions. *Photosynthesis Research*, 126(2), 221-235.
14. Mahmoudnia, M. M., Farsi, M., Marashi, S. & Ebadi, P. (2013). Physiological response to drought stress in four species of tomato. *Journal of Horticultural Science*, 26(4), 7.
15. Mäkelä, P., Jokinen, K., Kontturi, M., Peltonen-Sainio, P., Pehu, E. & Somersalo, S. (1998a). Foliar application of glycinebetaine—a novel product from sugar beet—as an approach to increase tomato yield. *Industrial Crops and Products*, 7(2-3), 139-148.
16. Mäkelä, P., Munns, R., Colmer, T., Condon, A. & Peltonen-Sainio, P. (1998b). Effect of foliar applications of glycinebetaine on stomatal conductance, abscisic acid and solute concentrations in leaves of salt-or drought-stressed tomato. *Functional Plant Biology*, 25(6), 655-663.
17. Mäkelä, P., Peltonen-Sainio, P., Jokinen, K., Pehu, E., Setälä, H., Hinkkanen, R. & Somersalo, S. (1996). Uptake and translocation of foliar-applied glycinebetaine in crop plants. *Plant Science*, 121(2), 221-230.
18. Makhdum, I. & Shababuddin, M. (2006). Effect of different doses of glycine betaine and time of spray application on yield of cotton (*Gossypium Hirsutum L.*). *Journal of Research (Science)*, 17(4), 241-245.
19. Nouri, A., Nezami, A., Kafi, M. & Hassanpanah, D. (2016). Evaluation of water deficit tolerance of 10 potato (*Solanum tuberosum L.*) cultivars based on some physiological traits and tuber yield in Ardabil region. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(1), 234-268.
20. Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K. & Tran, L.-S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, 5, 86.
21. Park, E.-J., Jeknic, Z. & Chen, T. H. (2006). Exogenous application of glycinebetaine increases chilling tolerance in tomato plants. *Plant and Cell Physiology*, 47(6), 706-714.
22. Park, E.-J., Jeknić, Z., Sakamoto, A., DeNoma, J., Yuwansiri, R., Murata, N. & Chen, T. H. H. (2004). Genetic engineering of glycinebetaine synthesis in tomato protects seeds, plants, and flowers from chilling damage. *The Plant Journal*, 40(4), 474-487. doi:10.1111/j.1365-313X.2004.02237.x
23. Park, E. J., Jeknić, Z., Chen, T. H. & Murata, N. (2007). The codA transgene for glycinebetaine synthesis increases the size of flowers and fruits in tomato. *Plant Biotechnology Journal*, 5(3), 422-430.

24. PARK, E. J., JEKNIĆ, Z., PINO, M. T., Murata, N. & CHEN, T. H. H. (2007). Glycinebetaine accumulation is more effective in chloroplasts than in the cytosol for protecting transgenic tomato plants against abiotic stress. *Plant, Cell & Environment*, 30(8), 994-1005.
25. Quan, R., Shang, M., Zhang, H., Zhao, Y. & Zhang, J. (2004). Engineering of enhanced glycine betaine synthesis improves drought tolerance in maize. *Plant Biotechnology Journal*, 2(6), 477-486.
26. Rontein, D., Basset, G. & Hanson, A. D. (2002). Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metabolic Engineering*, 4(1), 49-56.
27. Sairam, R. & Srivastava, G. (2001). Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186(1), 63-70.
28. Sajjadinia, A., Ershadi, A., Hokmabadi, H., Khayyat, M. & Gholami, M. (2010). Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 178(1), 1-6.
29. Sakamoto, A. & Murata, N. (2002). The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 163-171.
30. Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., ... Ruiz, J. M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, 178(1), 30-40.
31. Serraj, R. & Sinclair, T. (2002). Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 333-341.
32. Subbarao, G., Levine, L. H., Stutte, G. W. & Wheeler, R. M. (2001). Glycinebetaine accumulation: its role in stress resistance in crops plants. *Handbook of plant and crop physiology*. Marcel Dekker, New York, 881-907.
33. Sulpice, R., Gibon, Y., Cornic, G. & Larher, F. R. (2002). Interaction between exogenous glycine betaine and the photorespiratory pathway in canola leaf discs. *Physiologia Plantarum*, 116(4), 460-467.
34. Sulpice, R., Tsukaya, H., Nonaka, H., Mustardy, L., Chen, T. H. & Murata, N. (2003). Enhanced formation of flowers in salt-stressed *Arabidopsis* after genetic engineering of the synthesis of glycine betaine. *The Plant Journal*, 36(2), 165-176.
35. Teixeira, W. F., Fagan, E. B., Soares, L. H., Umburanas, R. C., Reichardt, K. & Neto, D. D. (2017). Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. *Frontiers in Plant Science*, 8, 327.
36. Xing, W. & Rajashekar, C. (1999). Alleviation of water stress in beans by exogenous glycine betaine. *Plant Science*, 148(2), 185-192.
37. Yancey, P. H. (2005). Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses. *Journal of Experimental Biology*, 208(15), 2819-2830.
38. Yang, X. & Lu, C. (2005). Photosynthesis is improved by exogenous glycinebetaine in salt-stressed maize plants. *Physiologia Plantarum*, 124(3), 343-352.



Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 3 ■ Autumn 2018

Impact of Exogenous Application of Glycine Betaine on Physiological Traits and Tomato Yield under Drought Stress

Maryam Tatari*, Reza Abbasi Alikamar

1. Assistant Professor, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Shirvan Branch, Shirvan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Shirvan Branch, Shirvan, Iran.

Received: June 13, 2018

Accepted: September 15, 2018

Abstract

In order to determine the best time and amount of Glycine Betaine (GB) for increasing tomato yield under drought stress condition, an experiment has been carried out as split plots, based on RCBD design with four replications, during 2016 growing season. The experimental factors include the main factors (irrigation period in 6 and 12 days) as well as the sub-factors, namely the time (in 3 levels of sowing, flowering, and fruit set) and the amount (in 3 levels of 0, 3, and 6 kg ha⁻¹) of GB application. Results from RWC, leaf area, and electrolyte leakage show the efficiency of GB application under stress condition. The use of GB in non-stress condition leads to decreased fruit weight with no significant difference observed between 3 and 6 kg ha⁻¹ dosages. In stress condition, application of 3 kg ha⁻¹ GB in the sowing, flowering, and fruit set stage has increased fruit weight by 33%, 40%, and 60%, respectively, compared to the average fruit weight in control treatments. Although the positive effect of 3 kg ha⁻¹ GB in the flowering time on fruit yield has been obvious (i.e., 62% higher) in this study, it seems that the application of this amino acid at the non-stress conditions has had some toxic effects on tomato fruit yield.

Keywords: Amino acid, electrolyte leakage, leaf area, relative water content, toxic effect.