به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۷
صفحه‌های ۷۰۶-۶۹۳

# اثر کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین 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 وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۲۴

## چکیده

به‌منظور تعیین بهترین زمان کاربرد و مقدار محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین در بهبود عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال ۱۳۹۵ به‌صورت اسپلیت 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 ٦ و ۱۲روزه و عوامل فرعی شامل دو عامل زمان مصرف (در سه سطح کاشت، گلدهی و میوه‌دهی) و مقدار مصرف گلایسین‌بتائین (صفر، ۳ و ٦ کیلوگرم در هکتار) بود. شاخص‌های محتوای‌نسبی آب برگ، سطح برگ، شاخص‌کلروفیل و نشت الکترولیت نشان از کارآیی گلایسین‌بتائین در شرایط تنش داشت. وزن میوه‌ها با کاربرد گلایسین‌بتائین در شرایط عاری از تنش کاهش یافت و مقدار کاهش وزن میوه بین تیمارهای ۳ و ٦ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش، مصرف سه کیلوگرم‌درهکتار گلایسین‌بتائین در زمان‌های کاشت، گلدهی و میوه‌دهی، به‌ترتیب منجر به افزایش ۳۳، ٤۰ و ٦۰ درصدی وزن میوه نسبت به میانگین تیمارهای بدون مصرف گلایسین‌بتائین شد. هر چند در این آزمایش اثرات مثبت مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین در زمان گلدهی بر عملکرد، در شرایط تنش مشهود بود (٦۲٪ افزایش)، به‌نظر می‌رسد مصرف این اسیدآمینه در شرایط عاری از تنش بر عملکرد گوجه‌فرنگی اثرات سمیت داشته باشد.

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

* نویسنده مسئول
Email: maryamtatari@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

## ۱. مقدمه

خشکی ازجمله 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[1] را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند که به‌منظور کاهش خسارت تنش خشکی به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی عمل می‌کنند. یکی از این ترکیبات گلایسین بتائین است که علاوه براثر 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 گلایسین 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 آربیدوپسیس (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 گلایسین بتائین داشت.

محلول‌پاشی گلایسین 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، گلایسین 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 قرارگرفته و موجب افزایش مقاومت این گیاهان در مقابل تنش‌هایی نظیر خشکی، شوری، سرما، یخ‌زدگی و اکسیداتیوشده و رشد و عملکرد گیاهان را بهبود بخشیده است (Chen & Murata, 2008).

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) جزو گیاهانی است که به‌طور طبیعی قابلیت بیوسنتز گلایسین بتائین را ندارد. مطالعات متعددی در مورد امکان مقاومت به تنش با استفاده از گلایسین بتائین در گوجه‌فرنگی صورت گرفته است. گوجه‌فرنگی‌هایی که از طریق مهندسی ژنتیک قابلیت تولید گلایسین بتائین را پیداکرده 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 گلایسین 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 گلایسین بتائین منجر به افزایش هدایت روزنه‌ای بدون تأثیر بر متابولیسم آبسیزیک 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 گلایسین‌بتائین به مواردی نظیر بهبود کارآیی چرخه فتوسنتز، کاهش سطح گونه‌های اکسیژن فعال[2] و تنظیم

1. Compatible Solutes

2. Reactive Oxygen Species: ROS



Archive of SID
www.SID.ir

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

در این تحقیق تلاش شده است که اثرات کاربرد خارجی گلایسین بتائین بر افزایش مقاومت گوجه‌فرنگی نسبت به تنش کم‌آبی بررسی شده و بهترین زمان و مقدار مصرف این ماده برای افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی مشخص گردد.

## ۲. مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه شرکت فاروج خرم توس واقع در ۱۰ کیلومتری جاده فریمان- مشهد طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ با مختصات ۳٦ درجه و ۱٦ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳٦ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۹۸۵ متر به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های 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 گلایسین بتائین بود که در کرت فرعی تصادفی شدند. مقادیر مختلف اسیدآمینه گلایسین بتائین در سه سطح صفر، سه و شش کیلوگرم در هکتار (Makela *et al.*, 1996) و عامل دوم زمان محلول‌پاشی در سه سطح اعمال گلایسین بتائین در زمان کشت نشا، شروع گلدهی (۱۰ درصد گلدهی) و شروع میوه‌دهی (۱۰ درصد میوه‌دهی) بود. مقادیر صفر، سه و شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در ۲۰۰ لیتر آب حل شده و محلول‌پاشی به‌وسیله سم‌پاش پشتی در هر کرت در ساعات غروب آفتاب و خنکی هوا، در شرایط بدون باد انجام گرفت.

نشاهای بذر گوجه‌فرنگی، رقم استاندارد خرم در سینی‌های کشت نشا ۲٤ تایی که با مخلوطی از پیت‌ماس، کوکوپیت و پرلیت پرشده بودند، در شرایط گلخانه کشت شدند. دمای متوسط گلخانه در روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۱۷درجه سانتی‌گراد 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 خاک‌ورزی شامل شخم نیمه‌عمیق بهاره و دیسک بود. پیش از نشاکاری بر اساس آزمون خاک از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار ۱۲۰، ۱۵۰ و ٦۰ کیلوگرم در هکتار استفاده گردید. بافت خاک نیمه‌سنگین (لوم سیلتی رسی)، بدون محدودیت شوری و pH خاک ۷/۸ بود.

آبیاری به‌صورت قطره‌ای و با استفاده از T-tape انجام گرفت. کشت به‌صورت دستی با احتساب تراکم ۳۰ هزار بوته در هکتار، با فاصله ٤۵ سانتی‌متر در دو سوی نوار آبیاری صورت گرفت. کرت‌های آزمایش شامل سه ردیف با طول شش متر و فاصله بین ردیف‌ها دو متر بوده و بین تکرارها نیز فاصله دو متری قرار داشت. هر کرت به دو قسمت تقسیم شد و از قسمت اول برای یادداشت‌برداری‌های 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 بیماری‌ها به‌صورت مشابه انجام گرفت.

تاریخ انتقال نشا به زمین اصلی ۲۱ خرداد ماه بود. برای تعیین زمان برداشت با استفاده از پیش‌بینی‌های هواشناسی، پیش از بروز اولین یخبندان زمستانه، برداشت در یک چین و در تاریخ ۱۰ مهرماه انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب برگ[1] ابتدا ۱۰ عدد دیسک به قطر ۰/۵ سانتی‌متر از پهنک برگ بالغ و جوان (سومین برگ جوان از ساقه اصلی) به‌وسیله پانچ گرفته شد و وزن تر مشخص شد. سپس نمونه‌ها داخل شیشه‌های حاوی

1. Relative Water Content: RWC



Archive of SID
www.SID.ir

۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به‌مدت ٤ ساعت در دمای ٤-۰ 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).

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \quad (۱)$$

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

جهت تعیین پایداری غشا سلول‌های برگی از شاخص نشت الکترولیت‌ها استفاده گردید. در این روش ابتدا قطعات برگی 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 به‌مدت ۱۷ تا ۱۸ ساعت به‌وسیله شیکر (۱٦۰ 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 به‌مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. پس از سرد شدن محتویات داخل لوله‌های آزمایش، مقدار هدایت الکتریکی ثانویه (E2) انجام پذیرفت. درنهایت مقدار نشت الکترولیت‌ها در زمان برداشت با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Sairam & Srivastava, 2001).

$$EL = (E1/E2) \times 100 \quad (۲)$$

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 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 گلایسین بتائین در فاکتور آبیاری شش روزه معنادار نبود. با توجه به این‌که هدف از این مطالعه تعیین اثر گلایسین 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 گلایسین بتائین انجام شد (جدول ۳).



Archive of SID
www.SID.ir

**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 | ۱۳٤/۲ | ۱٦٤/٥ | ۷۷/۷ | ۱۷/٥ | ۱۰۸/۳ | ۹۸/۳ | ۱۰۳/۲ | ۲۳۰/٤ |
| آبیاری (A) | ۱ | ٤٥۷/۳** | ۸۰۹/۱** | ٤۰۳/٥** | ۹۰۰/٥** | ۲۸۷/٤** | ٥۷٦/۹** | ۳۹۹/۱** | ٤٤٤/٤** |
| خطای‌کرت‌اصلی | ۳ | ۱٦/۹ | ۳۰/۳ | ۱۸/۹ | ۲٦/۱ | ۸/۷ | ۱٦/٤ | ۹/۹ | ۱۳/٥ |
| زمان مصرف (B) | ۲ | ۲۲۹/۲** | ۲۰۱/۸** | ۹۲/۷** | ۳۳۳/۳** | ۱۷٦/٤** | ۱۱۲/۰** | ۷۲/٤** | ۲۰۹/۱** |
| مقدار مصرف (C) | ۲ | ۳۱۲/۷** | ۳۱۱/۸** | ۱۰۳/۷** | ۱٤۱/۸** | ۱۸٥/٤** | ۹۸/۷** | ۸۸/۱** | ۱۹۸/٤** |
| A*B | ۲ | ۲۰۹/۸** | ۲۲٤/٥** | ٥٦/۹** | ۷۸/٥** | ۱۰۰/۱** | ۱۰۹/۷** | ۱۲۹/٤** | ۲۰۱/٤** |
| A*C | ۲ | ۲۲۷/٦** | ۲۱۸/۹** | ۸٥/٤** | ۸٤/٥** | ۱۲٤/۱** | ۱۳٤/٥** | ۱۱۱/۱** | ۲۳۳/۱** |
| B*C | ٤ | ۱٦٥/۸** | ۱۳۳/۳** | ٥٤/۸** | ٥٦/۷** | ۹۸/۳** | ٦٥/٤** | ٦۰/۱** | ۱۱۸/۸** |
| A*B*C | ٤ | ۱۷۸/۸** | ۱٥٥/٦** | ٤٤/۹** | ٦۷/۸** | ٤۸/٤** | ٦٦/٦** | ۷٦/٥** | ۱۳٤/۸** |
| خطای‌کرت‌فرعی | ٤۸ | ۱۰/٥ | ۱٤/۱ | ۷/٤ | ۸/۸ | ٦/۸ | ۱۰/۹ | ۸/۳ | ۱۷/۹ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۲٥/۱ | ۲۲/۹ | ۱۳/۷ | ۲۰/۸ | ۱۷/۱ | ۱٥/٤ | ۱۸/۳ | ۲۰/۱ |

** و ns: معنی‌داری در سطح ۱ درصد و اختلاف غیر معنی‌دار.

**جدول ۲. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس به شیوه برش‌دهی اثر دور آبیاری در مقدار و زمان صرف گلایسین 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 ٦ روزه | ۸ | ۳۹/۷ns | ٤٤۳/۱** | ٦٦/٦** | ۱۷۰/٥** | ٤۳/۱** | ۱۰۱/۱** | ۷۸/۱** | ٦۷/٥** |
| آبیاری ۱۲ روزه | ۸ | ٥٥/٥** | ۳۳۱/۸** | ٥۰/٤** | ۱٥٦/۱** | ۳۲/۲** | ۸۸/۱** | ٦۲/۰** | ۸۸/۸** |

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

### ۱.۳. شاخص‌های فیزیولوژیک

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) بر روی نشت الکترولیت‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین میزان نشت در بین سطوح فاکتور آبیاری ۱۲ روزه، به‌ترتیب از تیمار صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان میوه‌دهی (۷۰/۳ درصد) و تیمار مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان گلدهی (٤۸/٥ درصد) به‌دست آمد. از طرف دیگر کمترین میزان نشت یونی در بین سطوح فاکتور آبیاری شش‌روزه، در تیمار سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان میوه‌دهی (۲٦/۸ درصد) دیده شد. در شرایط تنش خشکی، غشای سلولی به‌دلیل 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



Archive of SID
www.SID.ir

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 گلایسین بتائین به‌عنوان حفاظت‌کننده‌های اسمزی[1] 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 گلایسین بتائین بر غشای سلولی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش اکسیداتیو و سرما (Hsieh *et al*., 2002)، خشکی و شوری (Makela *et al*., 1998b) و سرما (Chen & Murata, 2008; Park *et al*., 2006a) تأیید شده است.

از نظر محتوای نسبی آب برگ درسطوح فاکتور دور آبیاری ٦ اختلاف معناداری دیده نشد. کمترین محتوای آب نسبی مربوط به سطوح فاکتور دور آبیاری ۱۲ روزه در سطوح صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین (به‌ترتیب ٦۱/۳، ٦۲ و ٦۳/۲ درصد در زمان‌های میوه‌دهی، کاشت و گلدهی) بود. درعین‌حال کاربرد گلایسین بتائین توانست تا حدودی وضعیت آبی گیاه در شرایط تنش خشکی را بهبود بخشد، به‌طوری‌که در بین سطوح مختلف فاکتور دور آبیاری ۱۲ روزه، کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلایسین 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 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 تورژسانس 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 ازجمله گلایسین بتائین و پرولین می‌تواند در بهبود روابط آبی گیاه و محتوای‌نسبی آب گیاه مفید باشد (Chen & Murata, 2008). نتایج برگ‌پاشی اسیدهای آمینه مختلف ازجمله گلایسین بتائین نشان‌دهنده بهبود محتوای آب نسبی برگ گوجه‌فرنگی و افزایش جذب آب گوجه‌فرنگی بود (Cerdan *et al*., 2008). کاربرد خارجی گلایسین 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 ٦ روزه در تیمار سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت (۱۲۵۳ سانتی‌متر مربع در هر بوته) و کمترین مقدار در تیمار شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان گلدهی (۱۱۰۹ سانتی‌مترمربع) مشاهده شد. در بین سطوح مختلف عامل

1. Osmo-protectant



www.SID.ir
Archive of SID

دور آبیاری ۱۲ روزه، مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت بیشترین سطح برگ (۸۸۹ سانتی‌متر مربع) را به خود اختصاص داد و کمترین مقدار سطح فتوسنتزکننده مربوط به تیمار صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان گلدهی (٦٦٩ سانتی‌متر در هر بوته) بود (جدول ۳). کاهش سطح برگ پاسخ رایجی در شرایط تنش‌های آبی است. این پاسخ درنتیجه کاهش در اندازه و نیز تعداد سلول‌ها اتفاق می‌افتد. کاهش سطح برگ باعث کاهش سطح تعرق‌کننده شده و در تعادل آبی گیاه در شرایط تنش خشکی نقش دارد (Osakabe *et al.*, 2014). در بررسی روی پنبه مشخص شد که مصرف گلایسین بتائین سطح برگ گیاه را افزایش داد و کاربرد برگی شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در هنگام کاشت سبب تولید بیشترین سطح فتوسنتزکننده در شرایط خشکی شد (Makhdum & Shababuddin, 2006). همچنین، کاربرد خارجی گلایسین بتائین توانست سطح برگ گیاه گوجه‌فرنگی را در شرایط تنش سرما تا ۲۵درصد افزایش دهد (Park *et al.*, 2006). بررسی روی ذرت نیز نشان داد محلول‌پاشی گلایسین بتائین می‌تواند از طریق تأثیر بر سطح فتوسنتزکننده، افزایش هدایت روزنه‌ای و افزایش میزان کلروفیل برگ در شرایط تنش خشکی، فتوسنتز گیاه را بهبود دهد (Yang *et al.*, 2005).

بیشترین شاخص کلروفیل دربین سطوح عامل دور آبیاری ٦ روزه، مربوط به تیمار شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت (٦٨/٣ عدد) و کمترین مقدار مربوط به تیمار شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان میوه‌دهی (٥٧/٤ عدد) بود. در سطوح مختلف عامل دور آبیاری ۱۲ روزه نیز سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان میوه‌دهی (٥٥/٣ عدد) بیشترین و صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان گلدهی (٣٣/٤ عدد) کمترین مقدار شاخص کلروفیل را به خود اختصاص داد (جدول ۳). تنش خشکی با کاهش اندازه سلول و تجمع کلروپلاست در سلول‌های برگ، سبب افزایش شاخص کلروفیل می‌شود، ولی مقدار کل کلروفیل در واحد سطح برگ را کاهش می‌دهد. با شدت یافتن تنش ممکن است شاخص کلروفیل به‌دلیل تأثیر رادیکال‌های 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 شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش خشکی است و کاهش غلظت کلروفیل را در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای در فتوسنتز محسوب می‌کنند. گلایسین بتائین با تأثیرات آنتی‌اکسیدانی و نیز اثر بر محتوای آب گیاه در شرایط تنش خشکی، نقش حفاظتی داشته و مانع تخریب کلروپلاست‌ها و کاهش شاخص کلروفیل می‌شود (Subbaroa *et al.*, 2001). در تحقیقی روی کلزا مشخص شد که کاربرد گلایسین بتائین سبب کاهش خسارت تنش خشکی بر غشای کلروپلاست شده و از تخریب تیلاکوئیدها ممانعت کرد (Sulpice *et al.*, 2003).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در بین سطوح مختلف فاکتور دور آبیاری ٦ روزه بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک به‌ترتیب از تیمارهای صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان گلدهی (۱۱٦٨/٣ کیلوگرم در مترمربع) و تیمار شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت (۱۰۹۸/۲ گرم در مترمربع) به‌دست آمد. در بین سطوح فاکتور دور آبیاری ۱۲ روزه بیشترین مقدار از سطح سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت (٨٤٣/٢ گرم در مترمربع) و کمترین مقدار از سطح صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت (٦٤٣/١ گرم در مترمربع) حاصل شد (جدول ۳). کاهش وزن خشک در گیاهان حساس به خشکی مانند گیاهان خانواده سیب‌زمینی[1] حتی در تنش‌های متوسط نیز دیده می‌شود (Garcia *et al.*, 2007; Ierna & Mauromicale, 2006).



Archive of SID
www.SID.ir

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 گلایسین 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 چغندرقند، به‌عنوان منبع اسیدآمینه‌های گلایسین و پرولین، سبب افزایش عملکرد و تولید ماده خشک در گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی شد (Makela *et al*., 1996). با توجه به این‌که گلایسین 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 گلایسین 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.

**جدول ۳. اثرات متقابل زمان و مقدار مصرف گلایسین بتائین برخصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی**

| دور آبیاری | زمان مصرف | مقدار مصرف | محتوای نسبی آب (٪) | نشت الکترولیت (٪) | سطح برگ ($cm^2$) | شاخص کلروفیل (عدد) | وزن خشک ($grm^2$) | وزن میوه (gr) | تعداد میوه (عدد در بوته) | عملکرد (تن در هکتار) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۶ روزه | کاشت | صفر کیلوگرم در هکتار | ۹۵/۳ a*(A)** | ۳۶/۱ gh(AB) | ۱۲٤۰ a (A) | ٥۹/٤ bc(BC) | ۱۱٤۳/۷ 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) | ۱۲٥۳ a (A) | ٦۲/۱ ab(B) | ۱۱۳۳/٦ a (AB) | ۹۰/٤ a (B) | ۲۹/٦ a (AB) | ۹۰/٤ ab (CD) |
| | | شش کیلوگرم در هکتار | ۹۳/۲a (A) | ۳٤/۲ hi (B) | ۱۲۰۰ a (AB) | ٦۸/۳a(A) | ۹۷۱/٥ b (C) | ۸۸/۷ ab (B) | ۲۸/٤ ab (B) | ۸۰/۷ b (E) |
| | گلدهی | صفر کیلوگرم در هکتار | ۹٤/٥ a (A) | ۲۸/۸ j (D) | ۱۲۰۹ a (AB) | ٦٤/۳a(AB) | ۱۱٦۸/۳ a (A) | ۹۹/۰ a (A) | ۳۱/۳ a (A) | ۹۸/۳ a (AB) |
| | | سه کیلوگرم در هکتار | ۹۱/۳a (A) | ۳۲/۹ hij (BC) | ۱۱۷۰ ab (B) | ٥۹/۹ bc(BC) | ۱۱٥۲/۷ a (A) | ۹۹/٥ a (A) | ۲۹/۰a (AB) | ۱۰۰/٥ a (A) |
| | | شش کیلوگرم در هکتار | ۹٥/۱ a (A) | ۳۹/۸ g (A) | ۱۱۰۹ b (C) | ٦۱/۹ ab(B) | ۱۱۱۳/۳ a (B) | ۹٤/٦ a (A) | ۲۸/۷ab (B) | ۹٤/٦ a (BC) |
| | میوه‌دهی | صفر کیلوگرم در هکتار | ۹٤/۰ a (A) | ۳۰/۰ ij (C) | ۱۱۸۷ ab (B) | ٦۲/۹ ab(B) | ۱۰۷۸/٦ ab (BC) | ۹۰/۱ a (B) | ۲۹/٥ a (AB) | ۹۱/۰ ab (CD) |
| | | سه کیلوگرم در هکتار | ۹۳/۲ a (A) | ۲٦/۸ j (D) | ۱۱۸۹ ab (B) | ٦٤/۸a(AB) | ۱۰۹۸/۲ a (B) | ۹۳/٦ a (A) | ۳۰/٦ a (A) | ۹۳/٦ a (C) |
| | | شش کیلوگرم در هکتار | ۹٦/۳ a (A) | ۳۱/۰ ij (C) | ۱۱۱۱ b (C) | ٥۷/٤ c(C) | ۱۱٤۸/۹ a (A) | ۹۰/۲ a (B) | ۲۸/۱ b (B) | ۸٤/۱ B (D) |
| ۱۲ روزه | کاشت | صفر کیلوگرم در هکتار | ٦۲/۰ e (D) | ٦٤/۸ b (B) | ۷٤۳ d (D) | ۳۷/٦ e (DE) | ٦٤۳/۱ e (E) | ٥۰/۲ ef (DE) | ۲۳/٤ de (B) | ۳۷/۷ fg (DEF) |
| | | سه کیلوگرم در هکتار | ۷۱/۲ cd (C) | ٥۰/۱ cd (C) | ۸٤٦ c (AB) | ٤٥/۱ d (BC) | ۸۳٤/۲ c (A) | ٦۲/۳ cd (C) | ۲٥/٤ c (A) | ٥۲/۸ cd (A) |
| | | شش کیلوگرم در هکتار | ٦٤/۲ de (D) | ٥۲/۷ c (C) | ۸۸۹ c (A) | ٤۷/۹ cd (BC) | ۸۰۹/٦ c (AB) | ٥۷/٦ e (D) | ۲٥/۱ c (A) | ٥۰/۷ de (AB) |
| | گلدهی | صفر کیلوگرم در هکتار | ٦۳/۲ e (D) | ٦۸/٤ ab (A) | ٦۹۹ e (E) | ۳۳/٤ e (E) | ٦۷۹/۷ de (DE) | ٤٦/۳ f (EF) | ۲۲/۹ de (B) | ۳٥/۳ g (EF) |
| | | سه کیلوگرم در هکتار | ۷٤/۳ bc (B) | ٤۸/٥ e (D) | ۷۷۰ cd (CD) | ٤٤/٤ de (C) | ۷٥۰/۰ cd (BC) | ٦٥/٦cd (BC) | ۲٤/۸ cd (AB) | ٥٦/٥ c (A) |
| | | شش کیلوگرم در هکتار | ۷۳/۰ bc (BC) | ٤۹/۱ de (CD) | ۸۳٤ c (B) | ٤٥/۱ d (BC) | ۷۰۱/۸ de (CD) | ۷۳/٤ b (A) | ۱٦/۸ g (D) | ٤٦/۲ ef (B) |
| | | صفر کیلوگرم در هکتار | ٦۱/۳ e (E) | ۷۰/۳ a (A) | ۷۰۱ e (DE) | ۳۷/۹ e (DE) | ۷۰۱/٥ de (CD) | ٤٤/۰ f (F) | ۲۲/۹ de (B) | ۳۲/۰ g (F) |
| | میوه‌دهی | سه کیلوگرم در هکتار | ۸۰/۳ b (A) | ٤۰/۹ fg (E) | ۷٤۹ d (D) | ٥٥/۳ c (A) | ٦٥۹/۹ e (E) | ۷٥/۱ b (A) | ۲۲/٥ e (B) | ٤۷/۹ e (B) |
| | | شش کیلوگرم در هکتار | ۷۸/۲ b (A) | ٤۸/۸ ef (D) | ۷۲۲ de (DE) | ٤۸/۷ cd (B) | ٦۸۷/٦ de (DE) | ٦۱/۹ d (C) | ۲۰/۲ f (C) | ٤۱ 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



Archive of SID
www.SID.ir

### ۲.۳. عملکرد و اجزای عملکرد

در بین سطوح مختلف فاکتور دور آبیاری شش‌روزه، بیشترین وزن میوه از تیمار مصرف ۳ کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان گلدهی (۹۹/۵ گرم) و کمترین از تیمار مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلایسین 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 گلایسین بتائین در زمان میوه‌دهی (۷۵/۱ گرم) و کمترین وزن از سطح صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان میوه‌دهی و گلدهی (به‌ترتیب ٤٤ و ٤٦/٧ 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 گلایسین بتائین در زمان گلدهی (۳۱/۳ عدد در بوته) و کمترین تعداد میوه در سطوح شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین (۲۸/٤، ۲۸/۷ و ۲۸/۱ عدد در بوته به‌ترتیب در زمان‌های کاشت، گلدهی و میوه‌دهی) به‌دست آمد. کمترین تعداد میوه در بوته در بین سطوح عامل دور آبیاری ۱۲ روزه از مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان گلدهی (١٦/٨ عدد در بوته) به‌دست آمد. درحالی‌که بیشترین تعداد مربوط به سطح مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت (٢٥/٤ عدد در بوته) بود که با تیمار مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان گلدهی (٢٤/٨ عدد در بوته) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). اگر میانگین تعداد و وزن میوه در شرایط تنش در تیمارهای شاهد (بدون مصرف گلایسین‌بتائین) در سه مرحله، به‌عنوان شاخص در نظر گرفته شود، مصرف گلایسین‌بتائین با دوز سه کیلوگرم در هکتار در مراحل کاشت، گلدهی و میوه‌دهی به‌ترتیب منجر به افزایش ۳۳، ٤٠ و ٦٠ درصد در وزن میوه شدند. همچنین، این مقدار مصرف، تأثیر معنی‌داری در تعداد میوه در بوته نداشته است. افزایش مقدار مصرف گلایسین‌بتائین تا شش کیلوگرم در هکتار همچنان وزن میوه بیشتری را نسبت به شاهد نشان داد (۲۳، ٥٦ و ۳۲ درصد به‌ترتیب 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 ٦ کیلوگرم در هکتار بود که کاهش ٢٦/٩ 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 به‌دلیل افزایش مقاومت روزنه‌ای (Mahmoudnia *et al*., 2013)، کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی ازجمله وربیسکو، خسارت به کلروپلاست‌ها و کاهش سطح فتوسنتزکننده را به‌دنبال 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). به‌این‌ترتیب 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 گلایسین بتائین در زمان کاشت بر تعداد گل و غلاف در گیاه تأثیر داشت. درحالی‌که 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 گلایسین بتائین را به‌عهده دارد) مشخص شد که گیاهان حاوی این ژن نسبت به بوته‌های معمولی،



Archive of SID
www.SID.ir

گل‌های بزرگ‌تر و جوانه‌های گل بیشتری در شرایط تنش تولید کردند. همچنین، میوه‌های رسیده آنها ٥٤ درصد سنگین‌تر از بوته‌های معمولی بود (Park et al., 2007b). در آزمایش حاضر وزن میوه در شرایط تنش، ٥١ درصد افزایش یافت (جدول ٣). همچنین، مشخص شده است که امکان انتقال گلایسین بتائین از برگ‌ها و اندام‌های رویشی به اندام‌زایشی وجود دارد (Makela *et al.*, 1998b; Park *et al.*, 2008) و به همین دلیل در شرایط تنش‌های غیرزیستی، اندام‌های زایشی و گل‌ها به تنش مقاوم شده و ریزش گل‌ها کمتر اتفاق می‌افتد (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 به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت (Quan *et al.*, 2004). تعداد میوه در بوته در شرایط تنش این مطالعه ٦٢ درصد افزایش پیدا کرد (جدول ٣).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین عملکرد در دور آبیاری شش‌روزه از مصرف صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت (١٠١ تن در هکتار) به‌دست 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 شش‌روزه، سطح شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان‌های کاشت (٨٠/٧ تن در هکتار) پایین‌ترین عملکرد را تولید کرد. کمترین عملکرد در تیمار دور آبیاری ١٢ روزه صفر کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان کاشت (٣٢ تن در هکتار) مشاهده شد. در بین سطوح مختلف دور آبیاری ١٢ روزه نیز بالاترین عملکرد از سطح مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان گلدهی (٥٦/٥ تن در هکتار) حاصل شد (جدول ٣).

گلایسین بتائین به‌عنوان یک ماده حفاظت‌کننده و فعال در ایجاد تنظیم اسمزی، می‌تواند عملکرد گیاه در شرایط تنش‌های محیطی را افزایش دهد. مطالعه روی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی نشان داد که یک‌بارمصرف گلایسین بتائین توانست تا ٥٠ درصد عملکرد را افزایش دهد (Jokinen *et al.*, 1998). همچنین، مصرف این ماده موجب افزایش ٤٠ درصد عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری و گرما شد (Makela *et al.*, 1998b). در پنبه مصرف گلایسین بتائین از سقط گل‌ها در شرایط تنش خشکی جلوگیری کرده و سبب افزایش ٢٠ درصدی عملکرد در شرایط تنش شد. هرچند بر عملکرد در شرایط عاری از تنش اثر قابل ملاحظه‌ای نداشت و حتی در غلظت‌های بالا سبب گل‌ریزی 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، گوجه‌فرنگی، فلفل و سیب‌زمینی 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).

نکته‌ای که در مجموع مطالعه به‌نظر می‌رسد این است که مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در تمام مراحل رشدی و روی اغلب صفات فیزیولوژیکی و اجزای عملکرد، به‌ویژه در شرایط بدون تنش، نوعی اثرات سمی داشته است و سبب کاهش آن‌ها شده است (جدول٣). نتایج به‌دست‌آمده از برخی تحقیقات نشان می‌دهد که گلایسین بتائین در دوزهای بالا ممکن است بدون تأثیر بوده و یا حتی سمی باشد (Yanecy, 2005). به‌عنوان مثال، کاربرد گلایسین



Archive of SID
www.SID.ir

بتائین به‌صورت محلول‌پاشی بر گیاه شلغم[1]، کلزا[2] و برخی از غلات بهاره رشد آن‌ها را در تنش خشکی بهبود نبخشید (Makela *et al*., 1996). کاربرد برگی گلایسین بتائین اجزای عملکرد و فرایندهای فیزیولوژیک و هم‌چنین مقدار داخلی گلایسین بتائین را در سیب‌زمینی تغییر نداد (Ahmad *et al*., 2008). این اثرات متضاد ممکن است به‌دلیل شرایط آزمایش و یا اختلاف بین گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در واکنش به کاربرد خارجی گلایسین بتائین ایجاد شده باشد (Ashraf & Foolad, 2007). در مورد علت بروز اثرات سمی در نتیجه مصرف گلایسین بتائین، یافته‌های دقیقی وجود ندارد، ولی بر اساس تحقیق روی گونه‌های غیرتجمع‌دهنده گلایسین بتائین در خانواده چلیپائیان، کلزا و اربیدوپسیس، گزارش شد که گلایسین بتائین خارجی از طریق اثرات رقابتی گلایسین بر مرحله میتوکندریایی مسیر گلیکولات سبب افزایش تنفس نوری می‌شود (Sulpice *et al*., 2001). ازآنجاکه گیاهان خانواده سیب‌زمینی نیز قادر به ساخت و تجمع گلایسین بتائین نیستند، ممکن است چنین اثرات سمی در آن‌ها نیز دیده شود. علاوه بر این به‌نظر می‌رسد، گیاهانی که قابلیت تولید گلایسین بتائین را از طریق دستکاری ژنتیکی به‌دست می‌آورند، این ماده را در کلروپلاست تجمع می‌دهند و در زمانی که کاربرد گلایسین بتائین به‌صورت خارجی بوده است در سیتوسول ذخیره می‌شوند (Chen & Murata, 2008). مطالعات مؤید این نکته است که گلایسین بتائین ذخیره‌شده در کلروپلاست بسیار مؤثرتر از مواردی است که در سیتوسول تجمع می‌یابد (Kurepin *et al*., 2015).

## ٤. نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش حاکی از اثرات مثبت کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین بر عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی بود. به‌نظر می‌رسد بهترین زمان مصرف در شرایط تنش خشکی، کاشت و گلدهی باشد. به‌این‌ترتیب در شرایط تنش، عملکرد در تیمار مصرف سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین نسبت به میانگین عملکرد در تیمارهای بدون مصرف گلایسین بتائین (۳۵ تن در هکتار)، ٦٢درصد افزایش یافت. این افزایش عملکرد از طریق افزایش در وزن و تعداد میوه در بوته به‌دست آمد. کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین در زمان میوه‌دهی نتوانست به اندازه کاربرد در زمان کاشت یا گلدهی عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد. این امر احتمالاً به این خاطر است که در این زمان خسارت خشکی بر گیاه وارد شده و مصرف این ماده دیرهنگام بوده و قادر به تخفیف خسارت نیست. در شرایط عدم تنش، مصرف گلایسین بتائین نتوانست عملکرد را بهبود بخشد. علاوه بر این در تیمارهای مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلایسین بتائین چه در شرایط تنش و چه در شرایط معمولی، اثرات سمیت مشاهده گردید.

## 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 Triticium 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 photosynthis limiting factor under drought stress. *Iranian Journal of Agriculture Research*, *31*, 813-825.


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



Archive of SID
www.SID.ir

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.



Archive of SID
www.SID.ir

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.

Archive of SID



www.SID.ir

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 3 ■ Autumn 2018

# Impcat 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.

Archive of SID

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 $kgha^{-1}$) 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 $kgha^{-1}$ dosages. In stress condition, application of 3 $kgha^{-1}$ 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 positives effect of 3 $kgha^{-1}$ 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.

Corresponding author: maryamtatari@yahoo.com

www.SID.ir