مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۳ شماره ۳ صفحه های ۴۲۵ تا ۴۳۶ (۱۴۰۱)
مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی برخی تعدیل کننده‌های زیستی بر ویژگی‌های زیست‌شیمیایی، رویشی و عملکرد میوه گوجه فرنگی گلخانه‌ای در شرایط تنش خشکی[1]

Effect of Foliar Application of Some Bioregulators on Biochemical, Vegetative Characteristics and Fruit Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Under Drought Stress Conditions

محمدرضا شامخ، لیلا جعفری*، فرزین عبدالهی[2]

چکیده

به تازگی جهت تعدیل اثرهای منفی تنش‌های محیطی بر گیاهان، کاربرد ترکیب‌های زیستی مورد توجه قرار گرفته است. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، برای بررسی اثر تعدیل‌کنندگی برخی ترکیب‌های زیستی بر ویژگی‌های رویشی، زیست‌شیمیایی و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در شرایط تنش خشکی در گلخانه پژوهشی دانشگاه هرمزگان انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شاهد، تنش متوسط و شدید به‌ترتیب آبیاری گیاهان بر اساس تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبت سهل الوصول و محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی (نوبت اول یک روز پیش از اعمال تیمار کم‌آبیاری و نوبت دوم قبل از گلدهی) شامل شاهد (بدون کاربرد ترکیب‌های زیستی)، پرولین، کیتوزان و مشتقات آن سوکسینیل و ان، او-دیکربوکسی متیل کیتوزان (به‌ترتیب NSC و NOC) هرکدام به‌میزان ۰/۵ میلی‌گرم به ازای هر بوته گوجه فرنگی به‌عنوان عامل فرعی بودند. کاربرد ترکیب‌های زیستی در هر سطح آبیاری باعث افزایش فعالیت میزان پرولین و آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در مقایسه با شاهد شد که در اغلب موارد بیشترین افزایش فعالیت آنزیم مربوط به ترکیب NSC بود. از سوی دیگر مشتقات کیتوزان توانستند میزان مالون دی آلدهید و پراکسید هیدروژن برگ را کاهش دهند. در بین ترکیب‌های زیستی، NSC و کیتوزان بیشترین تأثیر را در بهبود عملکرد میوه از طریق افزایش تعداد و قطر میوه داشت به‌طوری که محلول‌پاشی گوجه‌فرنگی با ترکیب NSC باعث افزایش عملکرد میوه در سطوح آبیاری شاهد، تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب به‌میزان ۵/۳۲، ۱۷/۹۱ و ۳۳/۲۴ درصد در مقایسه با شاهد شد. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده در شرایط تنش، کیتوزان و مشتقات آن با کارایی بیشتری در مقایسه با پرولین می‌توانند اثرهای تنش خشکی بر گوجه‌فرنگی را کاهش دهند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، عملکرد میوه، گوجه‌فرنگی، مشتقات کیتوزان.

مقدمه

کمبود آب مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و نمو و در نتیجه کاهش تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان می‌باشد. از دیدگاه کشاورزی، تنش خشکی به‌معنی کافی نبودن آب در دسترس یا توزیع نامناسب آن در طول چرخه‌ی زندگی گیاه می‌باشد. به نحوی که پتانسیل ژنتیکی تولید گیاه را محدود می‌کند. بنابراین تنش خشکی زمانی رخ می‌دهد که یا آب در دسترس ریشه بسیار اندک و تامین آن برای گیاه دشوار بوده و یا میزان تعرق در گیاه بیش از جذب آب باشد (۲۲). گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) یکی از مهمترین گیاهان تیره سیب زمینی سانان[3] است که بیشتر

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱
۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیاران گروه باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (jafari.leila@hormozgan.ac.ir).
۳- Solanaceae

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]
[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

به‌دلیل میوه خوراکی آن کشت می‌شود و تنش خشکی از جمله مهم‌ترین تنش‌های تأثیرگذار بر عملکرد و کیفیت این محصول است (۳۱، ۳۲).

کمبود آب باعث ایجاد تغییرات زیست‌شیمیایی، مولکولی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاهان می‌گردد (۲۲). تنش خشکی از طریق ایجاد رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن[1] از جمله پراکسید هیدروژن موجب تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش سرعت و میزان فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید ماده‌های پرورده در گیاهان زراعی و باغی می‌شود. به‌طوری‌که کاهش ظرفیت فتوسنتز در گیاهان تحت تنش را می‌توان به‌عنوان شاخص فعالیت اکسیداتیو گونه‌های فعال اکسیژن در نظر گرفت (۲۲). رادیکال‌های آزاد و ROS ها واکنش‌پذیری بالایی داشته و قادرند از طریق اکسیداسیون لیپید و پروتئین، سبب بروز آسیب‌های اکسیداسیونی و تخریب ساختار غشای یاخته‌ای و مرگ یاخته شوند. محصول اکسیداسیون لیپید ترکیب مالون دی آلدهید است که به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی تأثیر تنش مطرح است (۳۲). تولید قندهای محلول سازگار مانند پرولین و آنزیم‌هایی مانند کاتالاز و پراکسیداز بخشی از مکانیسم سازگاری است که گیاهان زراعی و باغی از جمله گوجه‌فرنگی برای مقابله با تنش اتخاذ می‌کنند (۱۷).

استفاده از ترکیب‌های زیستی به‌منظور تعدیل اثرهای مخرب تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاهان مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (۲۲) یکی از این ترکیب‌ها پرولین می‌باشد. پرولین یکی از مهمترین اسمولیت‌های سازگار است که در شرایط تنش خشکی و شوری در سیتوپلاسم یاخته تجمع می‌یابد و از طریق تنظیم اسمزی باعث افزایش سازگاری گیاه به تنش خشکی می‌شود (۲۶). از آنجا که در شرایط تنش میزان پرولین سنتز شده توسط گوجه فرنگی جهت تنظیم اسمزی کافی نیست بنابراین کاربرد خارجی پرولین می‌تواند راهکاری جهت تعدیل پتانسیل اسمزی در این گیاه باشد (۲۶). درباره تأثیر مثبت پرولین بر رشد گوجه فرنگی در شرایط کم آبی پژوهشی انجام نشده است. با این حال، Li و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که انتقال ژن‌های کد کننده تولید پرولین در گوجه فرنگی باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی گردیده است (۱۷).

به تازگی برخی پلیمرهای زیستی از جمله کیتوزان به‌عنوان یک الیسیتور زیستی جهت بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات کشاورزی در شرایط تنش‌های محیطی استفاده می‌شوند (۲۵). بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند که کاربرد کیتوزان از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کاهش تعرق (۱۰، ۲۱)، کاهش تخریب کلروفیل (۱۴)، افزایش رشد رویشی (۱۱)، افزایش فعالیت آنزیم کیتیناز (۲۳) گیاه باعث افزایش قدرت دفاعی و در نتیجه عملکرد گوجه فرنگی در برابر تنش‌های محیطی می‌شود. از طرف دیگر محلول‌پاشی کیتوزان از طریق بهبود ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی باعث افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی می‌شود (۱۰).

به تازگی ثابت شده است که برخی ترکیب‌های جدید مشتق از کیتوزان شامل ان سوکسینیل[2] و ان، او-دی کربوکسی متیلات[3] کیتوزان هستند، در مقایسه با کیتوزان به‌دلیل حلالیت زیادتر و در نتیجه فعالیت زیستی بیشتر، در بهبود ویژگی‌های رویشی، زیست‌شیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان در شرایط تنش خشکی کارایی بیشتری دارند به‌طوری که در این بررسی‌ها این مشتقات به‌عنوان ترکیب‌های زیستی تعدیل کننده رشد گیاه در شرایط تنش‌های محیطی معرفی شده‌اند (۱۰، ۲۱). با توجه با اینکه در ایران هنوز پژوهشی در زمینه تأثیر مشتقات کیتوزان بر رشد گیاهان زراعی از جمله گوجه فرنگی و مقایسه آن با سایر ترکیب‌های تعدیل کننده در شرایط تنش‌های محیطی انجام نشده است بنابراین این آزمایش با هدف بررسی تأثیر دو ترکیب جدید ان سوکسینیل کیتوزان (NSC) و ان، او-دی کربوکسی متیلات کیتوزان (NOC) بر ویژگی‌های رویشی، زیست‌شیمیایی و عملکرد میوه گوجه فرنگی گلخانه‌ای و مقایسه کارکرد آنها با کاربرد پرولین و کیتوزان در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی

به‌منظور بررسی اثر تعدیل کننده‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های رویشی، زیست‌شیمیایی و عملکرد میوه گوجه فرنگی گلخانه‌ای در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ (از ۲۵ مهر تا ۱۵ بهمن ماه ۱۳۹۸) در گلخانه پژوهشی دانشگاه هرمزگان انجام شد. قبل از انجام آزمایش نمونه‌برداری

۱- Reactive Oxygen Species (ROS) ۲- N-Succinyl ۳- N,O-dicarboxymethylate

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام شده و برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک منتقل شد که نتایج آزمایش خاک در جدول ۱ ارائه شده است. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شاهد، تنش متوسط و شدید به‌ترتیب آبیاری گیاهان بر اساس تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبت سهل الوصول و محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی بهبود دهنده رشد گیاهی به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح شاهد (بدون استفاده از ترکیب‌های زیستی) و ترکیب‌های زیستی شامل کیتوزان، NSC، NOC و پرولین هرکدام به‌میزان ۰/۵ میلی‌گرم به ازای هر بوته گوجه فرنگی بودند. در این آزمایش از گوجه فرنگی رقم دافنیس[۱] تولید شده در شرکت سینجنتا[۲] استفاده شد. نشای مورد استفاده در مجتمع گلخانه‌ای حاجی‌آباد هرمزگان تولید و ۲۵ مهرماه ۱۳۹۸ در واحدهای آزمایشی یک متر مربعی در گلخانه دانشگاه هرمزگان کشت شد. کشت نشاها با فاصله بوته ۴۰ سانتی‌متر روی ردیف و ۷۰ سانتی‌متر بین ردیف انجام گرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلخانه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر.

Table 1. Some physico-chemical properties of greenhouse soil in 0-30 cm depth.

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC	pH	مس Cu	منگنز Mn	آهن Fe	روی Zn	پتاسیم قابل دسترس Available K	فسفر قابل دسترس Available P	نیتروژن کل Total N	کربن آلی Organic C
	دسی‌زیمنس بر متر ds/m		میلی‌گرم بر کیلوگرم mg/Kg						%	
Silt loam	1.21	7.86	0.9	6.10	7.91	0.8	519.33	6.20	0.03	0.35

اعمال تیمارهای تنش خشکی

جهت آبیاری گوجه فرنگی از روش آبیاری قطره‌ای نواری تی تایپ[۳] استفاده شد. گیاهان تا دو هفته پس از انتقال نشا به‌منظور استقرار بهتر به‌صورت منظم و روزانه آبیاری شدند. پس از آن تا پایان آزمایش تیمارهای خشکی اعمال شدند. برای اعمال تیمارهای آبیاری، حجم آب آبیاری تیمار شاهد، تیمارهای تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب بر اساس تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبت سهل الوصول، با اندازه‌گیری رطوبت خاک و با توجه به عمق توسعه ریشه محاسبه گردید (۱۲). رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحات فشاری به‌ترتیب به‌میزان ۲۰ و ۶ درصد وزنی تعیین گردید. درصد رطوبت حجمی خاک از حاصلضرب درصد رطوبت وزنی در وزن مخصوص ظاهری خاک به‌دست آمد. عمق و حجم آب آبیاری در هر نوبت به صورت روابط ذیل مشخص گردید.

$\theta_{TAW}=\theta_{FC}-\theta_{PWP}$ رابطه (۱)

$\theta_{RAW}=\theta_{TAW}\times MAD$ رابطه (۲)

$d=\theta_{RAW}\times D_{rz}$ رابطه (۳)

$V=d\times A$ رابطه (۴)

در روابط بالا θ_{TAW}، θ_{FC}، θ_{PWP} و θ_{RAW} به ترتیب کل آب قابل دسترس برای گیاه، رطوبت حجمی در حالت ظرفیت مزرعه، رطوبت حجمی در حالت نقطه‌ی پژمردگی دائم و آب سهل‌الوصول برای گیاه می‌باشند. MAD: حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی که بر اساس دستورالعمل فائو عدد ۰/۴ در نظر گرفته‌شد، D_{rz}: عمق ریشه گوجه فرنگی (میلی‌متر)، d: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، A: سطح هر کرت آزمایشی (متر مربع) و V: حجم آب آبیاری (لیتر). جهت اجرای دقیق تیمارهای کم آبیاری در هر نوبت آبیاری دبی ورودی به هر لوله فرعی با استفاده از روش حجمی اندازه‌گیری و سپس از رابطه ۵ زمان آبیاری محاسبه گردید:

$t = (V/Q)/3600$ رابطه (۵)

در رابطه بالا t: زمان آبیاری (ساعت)، Q: دبی ورودی به لوله فرعی (لیتر بر ثانیه) می‌باشد.

استخراج مشتقات کیتوزان

جهت استخراج ان سوکسینیل کیتوزان و ان، او-دی کربوکسی متیل کیتوزان، از روش Rabêlo و همکاران (۲۰۱۹) استفاده شد (۲۱). استخراج ان سوکسینیل (NSC)، با استفاده از حل کردن یک گرم کیتوزان (ساخت شرکت مرک آلمان) در ۱۰۰

۱- Dafnis ۲- Syngenta ۳- T Type

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

میلی‌لیتر محلول یک درصد اسید استیک گلایسیال و افزودن ۱/۸ گرم سوکسینیل انهیدرید، ۲۰ میلی‌لیتر استون و افزودن ۱۰۰ میلی لیتر اتیل الکل هیدراته و تشکیل رسوب سفید رنگ توسط سود انجام شد. برای استخراج ان،او دی کربوکسی متیل کیتوزان (NOC)، ۵ گرم کیتوزان (ساخت شرکت مرک آلمان) با ۵۰ میلی‌لیتر ایزوپروپیل الکل، ۱۲ میلی‌لیتر سود مایع ۱۰ مولار و مونوکلرو استیک اسید جهت رسوب زرد رنگ مخلوط شد (به محلول اضافه شد که در این مرحله مخلوط به‌مدت ۳ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس توسط همزن مغناطیسی هم زده شد. سپس محلول به‌سرعت سرد و ماده‌های جامد رسوب یافته با استفاده از قیف بوخنر تصفیه گردید و بی‌درنگ ترکیب به‌دست آمده در آون قرار داده شد تا در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، ماده زرد رنگ که محصول نهایی است حاصل شود.

محلول‌پاشی ترکیب‌ها

محلول‌پاشی در دو نوبت با ترکیب‌های زیستی مورد آزمایش به‌میزان ۰/۵ میلی‌گرم به ازای هر بوته (معادل غلظت ۱/۶ میلی‌گرم در لیتر) گوجه فرنگی صورت پذیرفت (۲۱). نوبت اول یک روز پیش از اعمال تیمار کم‌آبیاری و نوبت دوم قبل از گلدهی بود. محلول‌پاشی با استفاده از محلول‌پاش دو لیتری دستی انجام شد. میزان محلول بکار رفته برای هر گیاه، به‌طور متوسط ۳۰۰ میلی‌لیتر بود.

ارزیابی ویژگی‌های زیست‌شیمیایی

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها در اوایل بهمن (حدود ۱۰۰ روز پس از کشت نشاء) و قبل از برداشت نهایی محصول، به‌طور تصادفی از هر واحد آزمایشی ۳۰ برگ جوان توسعه یافته جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، میزان پراکسیداسیون لیپید بر اساس تولید مالون دی آلدهید و پرولین داخلی برگ جمع آوری شد. ابتدا ۰/۵ گرم برگ برای هر تیمار در هاون و به‌کمک نیتروژن مایع بخوبی پودر گردید و سپس با ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH = ۷/۰) هموژنیزه شد. در ادامه نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه با ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شدند. پس از سانتریفیوژ نمودن نمونه‌ها، از محلول شفاف بالایی جهت ارزیابی فعالیت آنزیمی استفاده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس میزان کاهش جذب نور ناشی از تجزیه ملکول پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل CE 2501 شرکت CECIL ارزیابی گردید (۲۸). فعالیت پراکسیداز بر اساس میزان افزایش جذب نور ۴۷۰ نانومتر ناشی از اکسیداسیون گایاکول توسط اسپکتروفتومتر و با روش Wang و همکاران (۲۰۱۸) ارزیابی شد (۲۸). سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا براساس تشکیل مالون دی آلدهید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا با تیوباربیتوریک اسید صورت گرفت (۱۶). برای سنجش محتوای پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده گردید (۵). میزان پراکسید هیدروژن از روش Alexieva و همکاران (2001) بر اساس واکنش با یدید پتاسیم و نانومول برگرم وزن تر اندازه‌گیری شد (۲).

ارزیابی ویژگی‌های رویشی و عملکرد

حدود یک ماه پس از دومین محلول‌پاشی (در زمان برداشت اولین میوه‌ها) ارتفاع، تعداد میانگره و تعداد برگ سبز کامل تمام بوته‌های هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری و میانگین اعداد به‌دست آمده به‌عنوان ارتفاع نهایی بوته ثبت شد. پس از رسیدن میوه‌ها، از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی ۱۵ میوه برداشت و قطر آن با کولیس اندازه‌گیری شد. در این مرحله تعداد میوه‌های تشکیل شده در هر خوشه شمارش شد و تا پایان اولین سری برداشت میوه‌های رسیده ادامه پیدا کرد. برای محاسبه عملکرد میوه، میوه‌های رسیده در طی دوره رسیدگی هر بوته برداشت و توسط ترازوی دیجیتال وزن شدند و در پایان آزمایش مجموع وزن میوه‌ها به‌صورت عملکرد میوه در واحد سطح محاسبه شد.

واکاوی آماری

در پایان آزمایش، واکاوی داده‌ها با کمک برنامه آماری SAS (۹.۱) انجام شد. میانگین‌ها از طریق آزمون LSD در سطح آماری پنج درصد مقایسه شدند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

نتایج

اثر محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی بر میزان پرولین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پراکسید هیدروژن گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف تنش خشکی

در بیشتر موارد، تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار پرولین برگ در مقایسه با شاهد (بدون تنش خشکی) شد و بیشترین مقادیر پرولین در تنش خشکی شدید به‌دست آمد (جدول ۲). در هر سطح تنش خشکی، محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی اغلب باعث افزایش معنی‌دار میزان پرولین در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد ترکیب‌ها) شد. بیشترین افزایش پرولین برگ در اثر کاربرد پرولین خارجی به‌دست آمد که به‌طور معنی‌دار از سایر ترکیب‌های زیستی و شاهد بیشتر بود. به‌طوری‌که محلول‌پاشی پرولین در شرایط آبیاری کامل (شاهد)، تنش خشکی متوسط و شدید باعث افزایش پرولین برگ به‌ترتیب به‌میزان ۱۷۳/۸، ۱۹۷/۹ و ۱۹۸/۲ درصد در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد ترکیب‌ها) شد (جدول ۲). از طرف دیگر کیتوزان در مقایسه با مشتقات آن در بهبود پرولین برگ کاراتر بود.

فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و در اغلب موارد تنش خشکی متوسط باعث افزایش فعالیت این دو آنزیم در هر ترکیب زیستی در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. در حالی‌که تنش خشکی شدید باعث کاهش فعالیت این آنزیم‌ها شد (جدول ۲).

فعالیت پراکسیداز در سطوح مختلف تنش خشکی تحت تأثیر کاربرد ترکیب‌های زیستی قرار گرفت. در شرایط بدون تنش خشکی (شاهد) تمام ترکیب‌های زیستی بجز پرولین باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز در مقایسه با شاهد شد و بیشترین افزایش (۳۰/۵ درصد) مربوط به ترکیب NSC بود. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۵/۷۳ واحد بر گرم وزن تر) در شرایط تنش خشکی متوسط و کاربرد NSC به‌دست آمد. در شرایط تنش خشکی شدید، ترکیب NOC باعث افزایش معنی‌دار فعالیت پراکسیداز در مقایسه با سایر تیمارها شد درصورتی‌که پرولین باعث کاهش معنی‌دار این آنزیم گردید. کمترین میزان فعالیت پراکسیداز (۳/۵۳ واحد بر گرم وزن تر) در شرایط خشکی شدید و با کاربرد پرولین به‌دست آمد (جدول ۲). محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی به‌ویژه دو ترکیب مشتق شده از کیتوزان باعث بهبود معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز شد. از طرف دیگر کاربرد این ترکیب‌ها در شرایط تنش خشکی شدید در مقایسه با تنش متوسط، تأثیر بیشتری در بهبود فعالیت کاتالاز داشت (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی شدید کاربرد دو ترکیب NSC و NOC باعث افزایش معنی‌دار کاتالاز، به‌ترتیب معادل ۶۵/۹ و ۳۰/۵ درصد، در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲).

با افزایش شدت تنش خشکی میزان تولید پراکسید هیدروژن در برگ گوجه فرنگی افزایش یافت به‌طوری که در هر ترکیب زیستی بیشترین مقادیر پراکسید هیدروژن در شرایط تنش خشکی شدید به‌دست آمد (جدول ۲). تأثیر ترکیب‌های زیستی در کاهش تولید پراکسید هیدروژن در شرایط تنش خشکی شدید در مقایسه با تنش متوسط و شاهد بیشتر بود. به‌طوری که محلول‌پاشی با ترکیب NSC باعث کاهش پراکسید هیدروژن در شرایط آبیاری کامل (شاهد)، تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب به‌میزان ۷/۱، ۱۶/۱ و ۲۴/۹ درصد در مقایسه با عدم کاربرد ترکیب‌های زیستی شد.

اثرهای تنش خشکی و کاربرد ترکیب‌های زیستی بر میزان مالون دی آلدهید برگ گوجه فرنگی

میزان مالون دی آلدهید در شرایط آبیاری کامل، حداقل بود ولی با افزایش شدت تنش از متوسط به شدید افزایش پیدا کرد. به‌طوری که بیشترین میزان این ترکیب (۰/۶ نانومول بر گرم وزن تر) در شرایط تنش خشکی شدید به‌دست آمد (شکل ۱). کاربرد ترکیب‌های زیستی باستثناء کیتوزان باعث کاهش میزان مالون دی آلدهید برگ شد (شکل ۲). کمترین میزان این ترکیب (۰/۵۳ نانومول بر گرم وزن تر) با محلول پاشی NSC به‌دست آمد که با سایر ترکیب‌های زیستی و شاهد تفاوت معنی‌دار داشت. کاربرد پرولین نیز باعث کاهش معنی‌دار مالون دی آلدهید در مقایسه با شاهد شد که با ترکیب NOC تفاوت معنی‌دار نداشت.

اثر اصلی محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی بر تعداد میانگره

محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی باعث افزایش تعداد میانگره گوجه فرنگی در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) شد و کاربرد مشتقات کیتوزان به‌طور مشابه باعث افزایش معنی‌دار این ویژگی در مقایسه با شاهد و سایر ترکیب‌های زیستی گردید. در حالی‌که افزایش ناشی از کاربرد پرولین و کیتوزان در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۳).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

جدول ۲- اثر محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی بر میزان پرولین، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پراکسید هیدروژن گوجه فرنگی در شرایط تنش خشکی.

Table 2. Effect of foliar application of biocompounds on proline content, antioxidant enzymes activity and H_2O_2 content of tomato under drought conditions.

تنش خشکی Drought stress	ترکیب زیستی Biocompound	پرولین Proline (µmol/gFw)	پراکسیداز Peroxidase (U/gFw)	کاتالاز Catalase (U/gFw)	پراکسید هیدروژن H_2O_2 (nmol/gFw)
شاهد Control	شاهد Control	0.42j	3.94de	1.49g	108.80d-g
	کیتوزان Chitosan	0.60fgh	4.80bc	1.59g	100.87g
	NOC	0.45ij	4.90b	1.88fg	114.99c-g
	NSC	0.58f-i	5.14ab	2.44bcd	101.07g
	پرولین Proline	1.15c	4.67bcd	1.50g	107.33efg
متوسط Moderate	شاهد Control	0.48hij	5.16ab	2.81b	123.20cd
	کیتوزان Chitosan	0.79de	5.70a	2.31cde	125.01bc
	NOC	o.77de	4.64bcd	3.48a	130.25bc
	NSC	0.68efg	5.73a	3.30a	103.40fg
	پرولین Proline	1.43b	4.10cde	2.25def	121.87cde
شدید Severe	شاهد Control	0.55g-j	4.02de	1.64g	157.34a
	کیتوزان Chitosan	0.84d	3.63e	1.88fg	128.40bc
	NOC	0.70def	4.95b	2.14def	139.22b
	NSC	0.77de	4.14cde	2.72bc	118.20c-f
	پرولین Proline	1.64a	3.53e	1.89efg	123.19cd

In each column means by at least one similar letter are not significantly different at the 5% probability.

در هر ستون میانگین‌های دارای دستکم یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

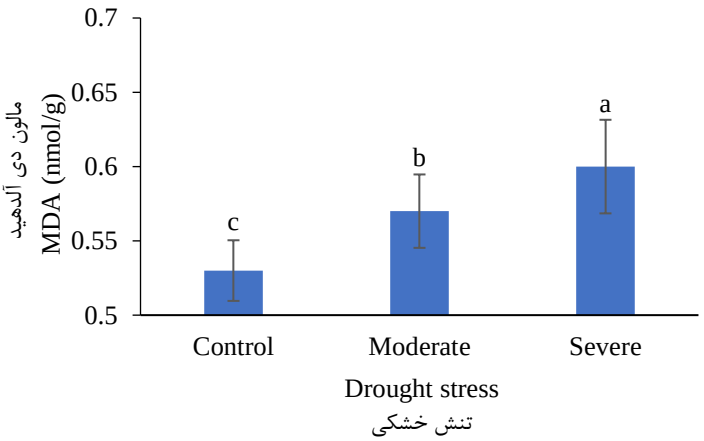

Fig. 1. Effect of drought stress on MDA content of tomato leaf.

شکل ۱- اثر تنش خشکی بر میزان مالون دی آلدهید برگ گوجه فرنگی.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

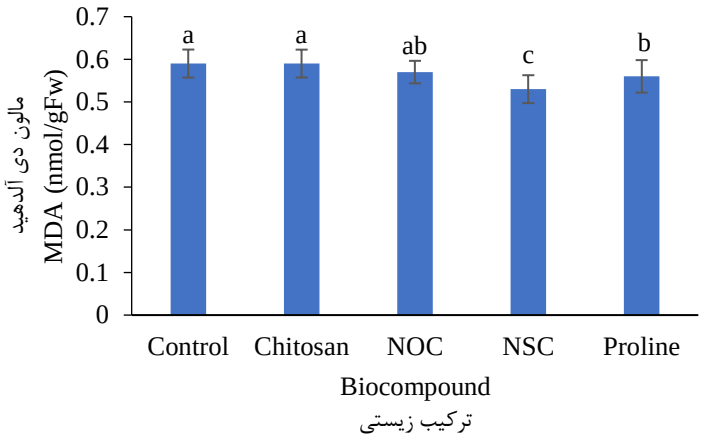

Fig. 2. Effect of biocompound on MDA content of tomato leaf.

شکل ۲- اثر ترکیب زیستی بر میزان مالون دی آلدهید برگ گوجه فرنگی.

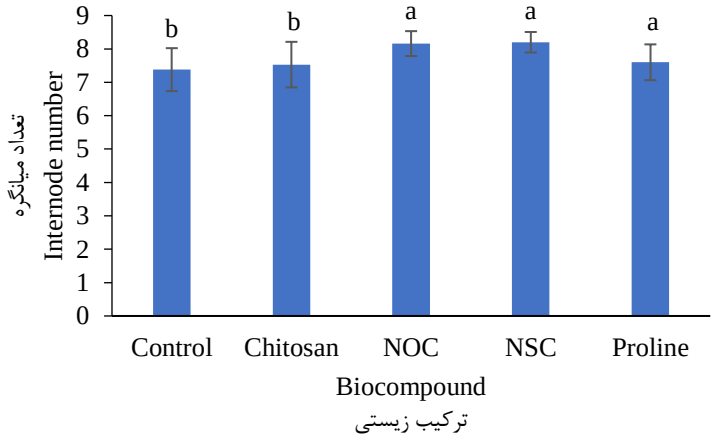

Fig. 3. Effect of biocompound on internode number of tomato.

شکل ۳- اثر ترکیب زیستی بر تعداد میانگره گوجه فرنگی.

اثر اصلی تنش خشکی بر تعداد برگ در بوته گوجه فرنگی

تنش خشکی متوسط و شدید به‌طور مشابه باعث کاهش معنی‌دار تعداد برگ گوجه فرنگی در مقایسه با شاهد شد (شکل ۴). این کاهش به‌ترتیب به‌میزان ۱۹/۱ و ۲۸/۹ درصد در مقایسه با شاهد بود.

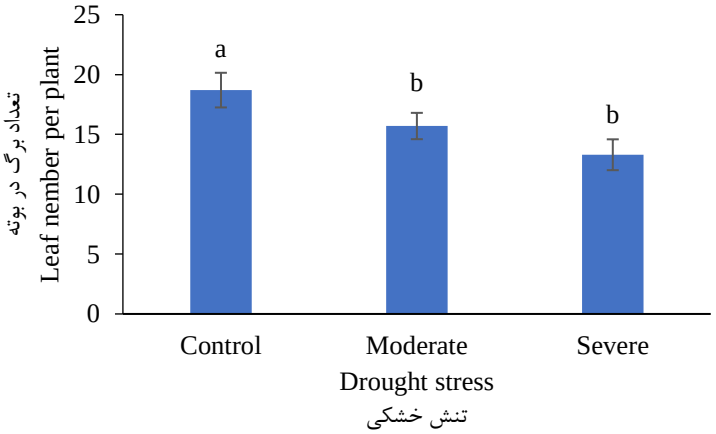

Fig. 4. Effect of water stress leaf number per plant of tomato.

شکل ۴- اثر تنش خشکی بر تعداد برگ در بوته گوجه فرنگی.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

اثر محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی بر ارتفاع نهایی گیاه، تعداد و قطر میوه و عملکرد گوجه فرنگی در سطوح مختلف تنش خشکی

در شرایط عدم محلول پاشی ترکیب‌های زیستی، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه شد به‌طوری که این ویژگی در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌میزان ۸/۸۲ و ۱۴/۵۸ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (جدول ۳). در هر ترکیب زیستی تنش خشکی متوسط و شدید باعث کاهش ارتفاع گوجه‌فرنگی در مقایسه با شاهد (آبیاری کامل) شد. در هر سطح تنش خشکی کاربرد ترکیب‌های زیستی باعث افزایش ارتفاع گیاه شد. در شرایط آبیاری کامل (شاهد)، کاربرد NSC باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه در مقایسه با شاهد و سایر ترکیب‌های زیستی شد. در سطوح تنش خشکی متوسط و شدید محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی در اغلب موارد باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد ترکیب زیستی) شد و NSC موثرترین ترکیب در بهبود ارتفاع گیاه بود (جدول ۳).

جدول ۳- اثر محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی بر ویژگی‌های رویشی و عملکرد گوجه فرنگی در شرایط تنش خشکی.

Table 3. Effect of foliar application of biocompounds on the vegetative traits and fruit yield of tomato under drought stress conditions.

تنش خشکی Drought stress	ترکیب زیستی Biocompound	ارتفاع نهایی گیاه Final plant height (cm)	تعداد میوه در خوشه Fruit number per cluster	قطر میوه Fruit diameter (mm)	عملکرد میوه Fruit yield (ton/ha)
شاهد Control	شاهد Control	144.0bcd	5.36ab	65.44d	147.22ab
	کیتوزان Chitosan	143.0b-e	5.10a-d	71.83abc	149.64ab
	NOC	143.3bcd	5.00bcd	73.63a	143.77bc
	NSC	154.0a	5.47a	73.00ab	155.06a
	پرولین Proline	142.7b-e	5.17abc	68.11cd	143.28bc
متوسط Moderate	شاهد Control	131.3f	4.50ef	56.33f	116.98def
	کیتوزان Chitosan	140.7cde	4.73def	67.42cd	124.61d
	NOC	137.0ef	4.77def	67.96cd	110.11fg
	NSC	148.7ab	5.30ab	60.88e	137.93c
	پرولین Proline	140.7cde	5.03bcd	66.62d	123.07de
شدید Severe	شاهد Control	123.0g	3.85h	59.33ef	86.63i
	کیتوزان Chitosan	140.0cde	4.57ef	66.02d	105.25gh
	NOC	131.7f	4.00gh	66.22d	88.41i
	NSC	146.0bc	4.87cde	68.57bcd	115.43ef
	پرولین Proline	138.0def	4.40fg	66.52d	97.69h

In each column means by at least one similar letter are not significantly different at the 5% probability.

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

با کاربرد ترکیب‌های زیستی، تنش خشکی توانست تعداد میوه گوجه فرنگی را در مقایسه با آبیاری کامل کاهش دهد و این کاهش در شرایط تنش شدید معنی‌دار بود (جدول ۳). محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی در شرایط آبیاری کامل (شاهد) نتوانست باعث افزایش معنی‌دار تعداد میوه در مقایسه با عدم کاربرد ترکیب‌ها گردد. در این شرایط بیشترین تعداد میوه (۵/۴۷) با کاربرد NSC به‌دست آمد. در تنش خشکی متوسط، ترکیب NSC باعث افزایش معنی‌دار تعداد میوه در مقایسه با شاهد شد به‌طوری‌که

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

با کاربرد این ترکیب تعداد میوه با شرایط عدم کاربرد ترکیب‌های زیستی در آبیاری کامل (شاهد) مشابه بود. در شرایط تنش خشکی شدید تمام ترکیب‌های زیستی باستثناء پرولین باعث افزایش تعداد میوه در مقایسه با شاهد شد که این افزایش برای NSC معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج جدول ۳ نشان داد که در اغلب موارد در هر ترکیب زیستی، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار قطر میوه درمقایسه با شاهد می‌شود هرچند در بیشتر موارد بین تنش خشکی متوسط و شدید تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. کاربرد ترکیب‌های زیستی باعث افزایش قطر میوه گوجه فرنگی در هر سطح تنش گردید. در شرایط بدون تنش خشکی (شاهد) کاربرد کیتوزان و مشتقات آن باعث افزایش معنی‌دار این ویژگی در مقایسه با شاهد شد به‌طوری‌که بیشترین قطر میوه (۷۳/۶۳ میلی‌متر) با کاربرد NOC به‌دست آمد. در شرایط تنش متوسط و شدید تمام ترکیب‌های زیستی باعث افزایش معنی‌دار قطر میوه در مقایسه با شاهد شدند. تأثیر پرولین بر قطر میوه در شرایط تنش خشکی مشابه با کیتوزان و مشتقات آن بود.

تنش خشکی متوسط و شدید باعث کاهش معنی‌دار عملکرد میوه گوجه فرنگی در مقایسه با شاهد (آبیاری کامل) در هر ترکیب زیستی شد. از طرف دیگر تنش شدید کاهش معنی‌دار عملکرد در مقایسه با تنش خشکی متوسط موجب گردید. به‌طوری‌که در شرایط عدم محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی، تنش خشکی متوسط و شدید باعث کاهش عملکرد میوه به‌ترتیب ۲۰/۵۴ و ۴۱/۱۶ درصد در مقایسه با آبیاری کامل شد (جدول ۳). کاربرد ترکیب‌های زیستی در هر سطح تنش باعث بهبود عملکرد میوه در مقایسه با شاهد (بدون کاربرد ترکیب زیستی) شد و این تأثیر در شرایط تنش خشکی بیشتر بود. در بین ترکیب‌های زیستی، NSC بیشترین تأثیر را در بهبود عملکرد میوه داشت به‌طوری‌که کاربرد این ترکیب در شرایط آبیاری کامل (شاهد)، تنش خشکی متوسط و شدید باعث افزایش عملکرد میوه در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به‌میزان ۵/۳۳، ۱۷/۹۱، ۳۳/۲۴ درصد شد. در مجموع بیشترین عملکرد میوه (۱۵۵/۰۶ تن در هکتار) با کاربرد NSC در شرایط آبیاری کامل (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۳).

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزلوژیک، زیست‌شیمیایی، رشد و عملکرد گوجه فرنگی گلخانه‌ای رقم دافنیس اثر منفی می‌گذارد. اما کاربرد ترکیب‌های زیستی به ویژه مشتقات کیتوزان توانستند این اثر منفی را بهبود ببخشند. تنش خشکی باعث افزایش پرولین به‌عنوان یک محلول سازگار در گوجه‌فرنگی شد. مشابه این نتایج گزارش شده است که با افزایش شدت تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی میزان پرولین به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی در گیاهان از جمله گوجه‌فرنگی افزایش می‌یابد (۸). از طرف دیگر این نتایج نشان داد که تنش خشکی متوسط باعث تحریک مکانیسم دفاعی آنزیمی گیاه شامل پراکسیداز و کاتالاز می‌گردد. در تأیید این نتایج گزارش شده است که تنش خشکی متوسط باعث افزایش پراکسیداز و کاتالاز در گیاهان مختلف از جمله گوجه‌فرنگی شد (۶، ۲۹، ۳۰). در حالی که نتایج این مطالعه نشان داد که تنش خشکی شدید موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در شرایط تنش خشکی، بشدت به نوع رقم گیاه زراعی بستگی دارد معمولا در ارقام حساس افزایش تدریجی تنش ممکن است باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز شود ولی در تنش‌های شدید سیستم آنتی‌اکسیدانی این ارقام مختل و فعالیت این دو آنزیم کاهش می‌یابد (۳۰).

محلول‌پاشی ترکیب‌های زیستی به ویژه پرولین باعث افزایش میزان پرولین داخلی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی شد. که این نتایج با سایر پژوهش‌های قبلی مشابه است (۳). همچنین در اغلب موارد ترکیب‌های زیستی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز و کاتالاز در شرایط تنش خشکی شد که در این رابطه تأثیر محلول‌پاشی مشتقات کیتوزان بیشتر از سایر ترکیب‌ها بود. بررسی‌ها نشان داده‌اند که کیتوزان و مشتقات آن باعث تحریک فعالیت ژن‌های موجود در هسته و کلروپلاست می‌شوند که مسئول سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان هستند (۷، ۱۰، ۲۱). همچنین کیتوزان پس از ورود به گیاه توسط آنزیم‌های کیتین سینتاز و کیتوزان کیتین دِاستیلاز به اولیگومر کیتوزان تبدیل می‌شود که این ترکیب به‌عنوان یک پیام‌رسان قوی برای تحریک فعالیت آنزیمی عمل می‌کند (۱۳). کارایی بیشتر NSC و NOC در مقایسه با کیتوزان در تحریک فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز احتمالا به این دلیل است که این ترکیب‌ها در اثر فعالیت آنزیم کیتیناز به‌ترتیب گروه‌های ان

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

سوکسینیل و ان، اودی کربوکسی متیل ایجاد می‌کنند که در مقایسه با کیتوزان در تحریک آنزیم‌ها مؤثرند (۲۱). همچنین این ترکیب‌ها در مقایسه با کیتوزان حلالیت بیشتری در آب داشته و دسترسی زیستی آنها برای یاخته بیشتر خواهد بود (۲۷). نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد ترکیب‌های زیستی به ویژه کیتوزان و مشتقات آن از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز باعث کاهش میزان پراکسید هیدروژن در شرایط تنش خشکی می‌گردد که این نتایج توسط سایر پژوهشگران نیز تأیید شده است (۷، ۱۰، ۲۱).

در این پژوهش، میزان مالون دی آلدهید در شرایط آبیاری کامل، حداقل بوده ولی با افزایش شدت تنش از متوسط به شدید افزایش پیدا نموده که بیانگر کاهش پایداری و زنده‌مانی یاخته تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد، که این نتایج توسط سایر پژوهشگران نیز تأیید شده است (۶، ۱۸، ۳۲). آنچه در این تحقیق مشاهده شد، میزان بالای مالون دی آلدهید در برگ گیاهان بدون محلول‌پاشی بود، که نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشته و نشان دهنده تأثیر مثبت ترکیب‌های زیستی در کاهش میزان مالون دی آلدهید است. از طرف دیگر NSC در مقایسه با سایر ترکیب‌ها در کاهش میزان مالون دی آلدهید کاراتر بود. در تأیید این نتایج گزارش شده است که الیسیتورهای زیستی از جمله کیتوزان و مشتقات آن، موجب کاهش غلظت مالون دی آلدهید در گیاهان از طریق فعال‌سازی آنزیم‌های مهار کننده ROS مانند کاتالاز و پراکسیداز در شرایط تنش‌های محیطی می‌شوند (۲۱، ۲۴).

تنش خشکی باعث کاهش ویژگی‌های رویشی شامل ارتفاع نهایی گیاه و تعداد برگ گوجه‌فرنگی شد. بررسی‌ها نشان داده است که در شرایط تنش خشکی که جذب آب توسط ریشه کمتر از میزان تعرق گیاه است، کمبود آب باعث بسته شدن روزنه، کاهش میزان فتوسنتز، کاهش انتقال ماده‌های پرورده به اندام هوایی و در نتیجه کاهش تعداد و سطح برگ‌ها و رشد اندام هوایی گوجه‌فرنگی خواهد شد (۴، ۲۸، ۳۱). در حالی‌که با کاربرد ترکیب‌های زیستی ویژگی‌های رویشی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌دار بهبود یافت. به نظر می‌رسد کاربرد ترکیب‌های زیستی مورد مطالعه در این پژوهش به ویژه مشتقات کیتوزان از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه بهبود کارایی فتوسنتز موجب افزایش تولید ماده‌های پرورده و درنتیجه ارتفاع بوته گیاهان مختلف از جمله گوجه‌فرنگی گردند (۱۱، ۱۴، ۲۳، ۲۹).

تعداد و قطر میوه گوجه‌فرنگی به‌طور معنی‌دار در اثر تنش خشکی کاهش یافت. در تأیید این نتایج گزارش شده است که وقوع تنش خشکی در گوجه‌فرنگی باعث کاهش فتوسنتز و در نتیجه محدود شدن ماده‌های پرورده برای تشکیل گل و میوه و اختصاص بیشتر آن‌ها به برگ برای حفظ ظرفیت فتوسنتزی می‌شود که این موضوع باعث کاهش تعداد و قطر نهایی میوه می‌گردد (۴، ۳۱). از طرف دیگر بنظر می‌رسد تنش خشکی از طریق بهم خوردن تعادل منبع و مخزن و همچنین تحریک سنتز هورمون آبسیزیک اسید (۱) باعث ریزش گل در میوه گوجه فرنگی و درنتیجه کاهش تعداد میوه می‌گردد.

کاربرد ترکیب‌های زیستی به ویژه مشتقات کیتوزان در شرایط تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار تعداد و قطر میوه شد. اگرچه در رابطه با تأثیر مشتقات کیتوزان بر تعداد و قطر میوه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی مطالعه‌ای انجام نشده است اما بنظر می‌رسد که این ترکیب‌ها از طرفی از طریق افزایش تحریک فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها، کاهش تعرق گیاه و افزایش کلروفیل برگ باعث بهبود میزان فتوسنتز می‌شوند (۱۰) و از طرف دیگر از طریق تحریک سنتز هورمون سیتوکینین و افزایش انتقال ماده‌های پرورده به اندام زایشی گیاهان (۲۱) باعث افزایش تعداد و قطر میوه در گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی می‌شوند.

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد گوجه‌فرنگی شد. به نظر می‌رسد در این مطالعه تنش خشکی از طریق تأثیر منفی بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز (۶، ۲۹)، افزایش میزان پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدهید و در نتیجه کاهش فتوسنتز (۴، ۹، ۱۴، ۲۰)، باعث کاهش تعداد و قطر نهایی میوه (۴، ۳۱) و در نتیجه عملکرد گوجه‌فرنگی شده است. کاربرد ترکیب‌های زیستی باعث بهبود عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی شد. با توجه به نتایج جدول ۳، کیتوزان و مشتقات آن از طریق افزایش میزان فعالیت کاتالاز و پراکسیداز از طریق کاهش پراکسیداسیون چربی و کاهش تولید پراکسیدهیدروژن غشای یاخته‌ای باعث افزایش کارایی فتوسنتز و درنتیجه عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی شده است که با نتایج سایر پژوهشگران همخوانی دارد (۱۰، ۱۹، ۲۱). همچنین با توجه به نتایج جدول ۵ این ترکیب‌ها از طریق افزایش تعداد میوه و قطر میوه، عملکرد گوجه‌فرنگی را افزایش داد. از طرف دیگر گزارش شده است که کیتوزان و مشتقات آن قادرند از طریق تقویت مسیرهای اخطار دهنده اکسید نیتریک و هیدروژن پراکسید، تولید اسیدهای آلی، قندها،

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

اسیدهای آمینه و سایر متابولیت‌های مورد نیاز برای تنظیم اسمزی در شرایط تنش خشکی را تحریک کنند (۱۵) که می‌تواند باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی و باغی در شرایط تنش خشکی گردد و از این نظر مشابه با پرولین در شرایط تنش خشکی عمل می‌کنند. به نظر می‌رسد برای ارزیابی کارایی مشتقات کیتوزان به عنوان ترکیب‌های زیستی جدید، ضروری است پژوهش‌های بیشتری در زمینه تأثیر دامنه وسیعتری از غلظت‌های این ترکیب‌ها بر سایر محصولات زراعی و باغی در شرایط طبیعی و تنش‌های محیطی انجام شود.

نتیجه‌گیری

به تازگی کاربرد ترکیب‌های زیستی جهت تعدیل شرایط تنش در گیاهان زراعی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌است. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد ترکیب‌های مشتق شده از کیتوزان شامل ان، او-دی کربوکسی متیل کیتوزان (NOC) و ان سوکسینیل کیتوزان (NSC)، در شرایط تنش خشکی از طریق تحریک فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و درنتیجه کاهش تولید مالون دی آلدهید و پراکسید هیدروژن، نسبت به تعدیل شرایط تنش خشکی نقش موثری داشته و در این زمینه در مقایسه با پرولین از کارایی بیشتری برخوردار است. به‌طوری که این ترکیب‌ها از طریق افزایش ارتفاع بوته، تعداد و قطر میوه باعث افزایش عملکرد میوه گوجه‌فرنگی شدند، هرچند که در شرایط آبیاری کامل این ترکیب‌ها نتوانستند عملکرد میوه را در مقایسه با شاهد افزایش دهند. بنظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی استفاده از کیتوزان و مشتقات آن، می‌تواند باعث تعدیل اثرهای منفی آن بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی گردد. از آنجا که افزایش عملکرد میوه ناشی از کاربرد این ترکیب‌ها هزینه‌های تولید آن‌ها را جبران می‌کند بنابراین کاربرد مشتقات کیتوزان جهت تعدیل اثرهای تنش خشکی در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای توصیه می‌گردد.

منابع References

1. Albacete, A.A., C. Martínez-Andújar, and F. Pérez-Alfocea. 2014. Hormonal and metabolic regulation of source-sink relations under salinity and drought: from plant survival to crop yield stability. Biotechnol. Adv. 32:12–30
2. Alexieva, V., I. Sergiev, S. Mapelli, and E. Karanov. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant Cell Environ. 24: 1337-1344.
3. Amiri A., A. Sirousmehr، and S. Esmaeilzadeh Bahabadi. 2016. Effect of foliar application of salicylic acid and chitosan on yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). J. Plant Res. 28: 712-725. (In Persian).
4. Bahadur, A., T.D. Lama, and S.N. Chaurasia. 2015. Gas exchange, chlorophyll fluorescence, biomass production, water use and yield response of tomato (*Solanum lycopersicum*) grown under deficit irrigation and varying nitrogen levels. Indian J. Agr. Sci. 85: 224-228.
5. Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil. 39: 205-207.
6. Çelik, Ö., A. Ayan, and Ç. Atak. 2017. Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties against drought stress. Bot. Stud. 58:32. https://doi.org/10.1186/s40529-017-0186-6
7. Chamnanmanoontham, N., W. Pongprayoon, R. Pichayangkura, S. Roytrakul, and S. Chadchawan. 2015. Chitosan enhances rice seedling growth via gene expression network between nucleus and chloroplast. Plant Growth Regul. 75: 101–114.
8. Chitarra, W., C. Pagliarani, B. Maserti, E. Lumini, I. Siciliano, P. Cascone, A. Schubert, G. Gambino, R. Balestrini, and E. Guerrieri. 2016. Insights on the impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on tomato tolerance to water stress. Plant Physiol. 171: 1009-1023.
9. Conti, V., L. Mareri, C. Faleri, M. Nepi, M. Romi, G. Cai, and C. Cantini. 2019. Drought stress affects the response of Italian local tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Varieties in a genotype-dependent manner. Plants. 8(9):336. https://doi.org/10.3390/plants8090336
10. Dos Reis, C.O., P.C. Magalhaes, G.A. Roniel, G.A. Lorena, M.R. Valquiria, and T.C. Diogo. 2019. Action of N-Succinyl and NO-Dicarboxymethyl chitosan derivatives on chlorophyll photosynthesis and fluorescence in drought-sensitive maize. J. Plant Growth Regul. 38: 619–630.
11. F. El Amerany., A. Meddich, S. Wahbi, A. Porzel, M. Taourirte, M. Rhazi, and B. Hause. 2020. Foliar application of chitosan increases tomato growth and influences mycorrhization and expression of endochitinase-encoding genes. Int. J. Mol. Sci. 21(2):535. https://doi.org/10.3390/ijms21020535.
12. Ghafari, Tadayon, M. R., and J. Razmjoo. 2018. Effect foliar of proline on some physiological indices of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to water deficit condition. Journal of Plant Process and Function. 26: 13-26. (In Persian)

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

13. Hadwiger, L. A. 2015. Anatomy of a nonhost disease resistance response of pea to *Fusarium solani*: PR gene elicitation via DNase, chitosan and chromatin alterations. Front. Plant Sci. 6: 373. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00373
14. Hassnain, M., I. Alam, A. Ahmad, I. Basit, N. Ullah, I. Alam, M. A. Ullah, B. M. Khalid, and M. Shair. 2020. Efficacy of chitosan on performance of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plant under water stress condition. Pak. J. Agr. Sci. 33: 27-41.
15. Hidangmayum A., P. Dwivedi, D. Katiyar, and A. Hemantaranjan. 2019. Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. Physiol. Mol. Biol. Plants. 25: 313-326.
16. Jambunathan, N. 2010. Determination and Detection of Reactive Oxygen Species (ROS), Lipid Peroxidation, and Electrolyte Leakage in Plants. Methods Mol. Biol. 639:291-297.
17. Li, J., Y. Wang, J. Wei, Y. Pan, C. Su, and X. Zhang. 2018. A tomato proline-, lysine-, and glutamic-rich type gene SpPKE1 positively regulates drought stress tolerance. Biochem. Biophys. Res. Commun. 499: 777-782.
18. Liang, G., J. Liu, J. Zhang, and J. Guo. 2020. Effects of drought stress on photosynthetic and physiological parameters of tomato. J. Am. Soc. Hort. Sci. 145:1-6.
19. Mirajkar, S.J., S.G. Dalvi, S.D. Ramteke, and P. Suprasanna. 2019. Foliar application of gamma radiation processed chitosan triggered distinctive biological responses in sugarcane under water deficit stress conditions. Int. J. Biol. Macromol. 139: 1212-1223.
20. Nangare, D.D., Y. Singh, P.S. Kumar, and P.S. Minhas. 2016. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. Agric. Water Manag. 171: 73-79.
21. Rabêlo, V.M., P.C. Magalhães, L.A. Bressanin, D.T. Carvalho, C. Oliveira dos Reis, D. Karam, A.C. Doriguetto, M. Henrique dos Santos, P. Rodrigues dos Santos Santos Filho, and T.C. De Souza. 2019. The foliar application of a mixture of semisynthetic chitosan derivatives induces tolerance to water deficit in maize, improving the antioxidant system and increasing photosynthesis and grain yield. Sci. Rep. 9: 8164. https://doi.org/10.1038/s41598-019-44649-7
22. Rao, N.K., L. Hunashikatti, and K. Shivashankara. 2016. Physiological and Morphological Responses of Horticultural Crops to Abiotic Stresses. In: Rao N., Shivashankara K., Laxman R. (eds) Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops. Springer, New Delhi. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2725-0_1
23. Sathiyabama. M., A. Gurunathan, and R. Charles. 2013. Chitosan-induced defence responses in tomato plants against early blight disease caused by *Alternaria solani* (Ellis and Martin) Sorauer. Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz. 47:1963-1973.
24. Shams Peykani, L., and M. Farzami Sepehr. 2018. Effect of chitosan on antioxidant enzyme activity, proline, and malondialdehyde content in *Triticum aestivum* L. and *Zea mays* L. under salt stress condition. Iran. J. Plant Physiol. 9: 2661-2670.
25. Sharif, R., M. Mujtaba, M. Ur Rahman, A. Shalmani, H. Ahmad, T. Anwar, D. Tianchan, and X. Wang. 2018. The Multifunctional Role of Chitosan in Horticultural Crops; A Review. Molecules. 23: 872. https://doi.org/10.3390/molecules23040872
26. Sharma, A., B. Shahzad, V. Kumar, S.K. Kohli, G.P.S. Sidhu, A.S. Bali, N. Handa, D. Kapoor, R. Bhardwaj, and B. Zheng. 2019. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. Biomolecules. 9: 285. http://dx.doi.org/10.3390/biom9070285
27. Signini, S., and S.P. Campana-Filho. 2001. Characteristics and properties of purified chitosan in the neutral, acetate and hydrochloride forms. Polymers. 11: 58–64.
28. Wang, Z.B., Y.F. Wang, J.J. Zhao, L. Ma, Y.J. Wang, X. Zhang, Y.T. Nie, L. X. Guo, L. X. Mei, and Z.Y. Zao. 2018. Effects of GeO_2 on chlorophyll fluorescence and antioxidant enzymes in apple leaves under strong light. Photosynthetica, 56:1081-1092.
29. Yuan, X.K., Z.Q. Yang, Y.X. Li, Y.X. Liu, and W. Han. 2016. Effects of different levels of water stress on leaf photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities of greenhouse tomato. Photosynthetica, 54: 28-39.
30. Zhang, X., Z. Yang, Z. Li, F. Zhang, and L. Hao. 2020. Effects of drought stress on physiology and antioxidative activity in two varieties of *Cynanchum thesioides*. Rev. Bras. Bot. 43: 1–10.
31. Zhou, R.,X. Yu, C. Ottosen, E. Rosenqvist, L. Zhao, Y. Wang, W. Yu, T. Zhao, and Z. Wu. 2017. Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. BMC Plant Biol. 17:24. https://doi:10.1186/s12870-017-0974-x.
32. Zhou, R., L. Kong, X. Yu, C. Ottosen, T. Zhao, F. Jiang, and Z. Wu. 2019. Oxidative damage and antioxidant mechanism in tomatoes responding to drought and heat stress. Acta Physiol. Plant. 41:20. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2805-1

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 23 (3): 425-436 (2022)
Research article

Effect of Foliar Application of Some Bioregulators on Biochemical, Vegetative Characteristics and Fruit Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Under Drought Stress Conditions

M. Shamekh, L. Jafari*, F. Abdollahi[1]

Recently, the use bioregulators to ameliorate the effects of environmental stresses on agricultural products has been considered. This split plot experiment was conducted as a randomized complete block design to investigate the moderating effect of some bioregulators on vegetative, biochemical and yield characteristics of greenhouse tomatoes under drought stress in the research greenhouse of University of Hormozgan. Experimental factors were three drought stress levels as the main factor, were include full irrigation as control, moderate and severe drought stress, respectively, irrigation of plants based on providing 100, 75 and 50% readily available water, and foliar application of 0.5 g per plant of biological compounds (the first time one day before applying drought stress and the second time before flowering begins) as a sub-factor including control (without the use of compounds), proline, chitosan and N-Succinyl and N, O dicarboxymethylate chitosan (NSC and NOC, respectively). Application of bioregulators at each water stress level increased the of proline content and catalase and peroxidase enzymes activity in comparison with the control, which in most cases the highest increase in enzyme activity related to NSC. Chitosan derivatives, on the other hand, were able to reduce the amount of malondialdehyde (MDA) and hydrogen peroxide in tomato leaves. Among the biological compounds, NSC and chitosan had the greatest improving effect on the fruit yield via increasing the number and diameter of fruit. So that foliar application with NSC increased fruit yield in control, moderate and severe water stress by 5.33, 17.91 and 33.24%, respectively. Therefore, according to these results, under deficit irrigation conditions, chitosan and its derivatives can reduce the effects of drought stress on tomatoes more efficiently than proline.

Keywords: Chitosan derivatives, Fruit yield, Tomato, Water stress.

1. Former M.Sc. Student and Assistant Professors of Horticultural Science Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran, respectively.
* Corresponding Author, Email: (Jafari.leila@hormozgan.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.3.1.3]