مقاله پژوهشی

اثر تعدیل کنندگی پرولین، کیتوزان و مشتقات آن بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، شاخص‌های کلروفیل فلورسانس، ویژگی‌های کیفی و عملکرد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای (*Lycopersicon esculentum* Mill.) در شرایط کم‌آبیاری

محمدرضا شامخ، لیلا جعفری*، فرزین عبدالهی

گروه باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۱/۲۸)

چکیده

اخیراً کاربرد ترکیبات زیستی جهت تعدیل اثرات تنش‌های محیطی در محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور برای بررسی اثر تعدیل‌کنندگی برخی ترکیبات زیستی بر شاخص‌های فلورسانس، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در شرایط کم آبیاری آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه هرمزگان انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، کم آبیاری متوسط و شدید) به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی ترکیبات زیستی به‌عنوان فاکتور فرعی شامل شاهد (بدون کاربرد ترکیبات زیستی)، پرولین، کیتوزان و مشتقات N-Succinyl و N,O-dicarboxymethylate کیتوزان (به‌ترتیب NSC و NOC) بودند. کاربرد ترکیبات زیستی در هر سطح آبیاری باعث افزایش میزان کلروفیل *a*، نسبت کلروفیل *a* به *b* و کاروتنوئید در مقایسه با شاهد شد و بیشترین افزایش مربوط به ترکیب NSC بود. در اغلب موارد کاربرد ترکیبات زیستی باعث افزایش پرولین درونی برگ در شرایط کم آبیاری شد و بیشترین میزان افزایش با کاربرد پرولین خارجی مشاهده شد. بیشترین مقدار F_v/F_m در شرایط کم آبیاری متوسط و شدید به‌ترتیب با کاربرد کیتوزان و NSC به‌دست آمد که نشان‌دهنده افزایش ۲۲/٤ و ۲۱/۸ درصد در مقایسه با شاهد بود. بیشترین شاخص طعم با کاربرد کیتوزان در شرایط کم آبیاری شدید به‌دلیل افزایش TSS و TA به‌دست آمد. در بین ترکیبات زیستی، NSC و کیتوزان بیشترین تأثیر را در بهبود عملکرد میوه داشت به‌طوری‌که محلول‌پاشی گوجه‌فرنگی با ترکیب NSC باعث افزایش عملکرد میوه در سطوح آبیاری شاهد، کم آبیاری متوسط و شدید به‌ترتیب به میزان ۵/۳۲، ۱۷/۹۱ و ۳۳/۲٤ درصد در مقایسه با شاهد شد. لذا با توجه به نتایج به‌دست آمده، در شرایط کم آبیاری، کیتوزان و مشتقات آن با کارایی بیشتری در مقایسه با پرولین می‌توانند اثرات تنش خشکی بر گوجه‌فرنگی را کاهش دهند.

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

مقدمه

تنش‌های محیطی از جمله کمبود آب از عوامل اصلی کاهش عملکرد محصولات کشاورزی از جمله سبزیجات می‌باشند؛ که این کاهش، به نحوه پاسخ گیاه به شرایط تنش بستگی دارد (Arbona *et al*., 2017; Zhou *et al*., 2017). با توجه به پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، تولید هرگونه مواد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: jafari.leila@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

غذایی و محصولات کشاورزی منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب، می‌باشد. در این شرایط آب آبیاری مهم‌ترین نهاده تولید کشاورزی است (Alizadeh and Kamali, 2007). گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده بادنجانیان (Solanacea) می‌باشد که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و کیفیت میوه آن می‌گردد (Sadashiva *et al*., 2016; Zhou *et al*., 2017).

روش کم آبیاری (Deficit Irrigation)، یا اعمال کم آبیاری در یک مرحله رشدی و یا در تمام فصل رشد (Geerts and Raes, 2009)، در دهه‌های اخیر به‌منظور مدیریت منابع آب همراه با تولید حداکثر محصولات کشاورزی از جمله گوجه‌فرنگی در شرایط کم‌آبی توسط محققان و کشاورزان مورد توجه قرار گرفته است (Khapte *et al*., 2019; Galindo *et al*., 2018). در یک مطالعه مروری که در رابطه با تأثیر کم آبیاری بر ویژگی‌های کیفی و کمی گوجه‌فرنگی انجام شد ویژگی‌های کیفی گوجه‌فرنگی در مقایسه با صفات کمی، به میزان بیشتری تحت تأثیر کم آبیاری قرار گرفت (Khapte *et al*., 2019). در مطالعه‌ای دیگر که توسط Cosic و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد، کم آبیاری در گوجه‌فرنگی اگر چه باعث کاهش عملکرد میوه گردید اما این کاهش عملکرد از طریق بهبود ویژگی‌های کیفی میوه و افزایش کارایی مصرف آب جبران شد.

شرایط کمبود آب از طریق اثر مخرب بر واکنش‌های نوری فتوسنتز گیاه موجب کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) (کارایی فتوسستم II)، کاهش عملکرد کوانتومی و در نتیجه کاهش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود (Dalal and Tripathy, 2018). از طرف دیگر تنش‌های محیطی با ایجاد خسارت به مراکز واکنش فتوسیستم II موجب تشدید فلورسانس اولیه (F_o) می‌شوند (Rahbarian *et al*., 2011). وقتی شدت نور کامل باشد فلورسانس از مقدار F_o به حداکثر مقدار خود یعنی F_m می‌رسد. تنش‌ها غالباً سبب افزایش فلورسانس اولیه و کاهش فلورسانس متغیر (F_v) و در نتیجه کاهش F_v/F_m می‌گردد (Rahbarian *et al*., 2011; Li *et al*., 2013). گزارش شده است که کارایی فتوسیستم II همبستگی مثبت با تحمل به خشکی در گیاهان داشته و در اثر تنش مقدار آن کاهش می‌یابد (Chen *et al*., 2016). شواهد اندکی مبنی بر کاهش کارایی فتوسیستم II در اثر تنش خشکی در گوجه‌فرنگی وجود دارد (Bahadur *et al*., 2015). در سال ۲۰۰۰، محققین برای ارزیابی کارایی فتوسنتز گیاهان در شرایط تنش شاخص کارایی (Performance Index = PI) را معرفی کردند که معیاری از تراکم مراکز واکنشی فتوسنتز، کارایی کوانتوم و کارایی انتقال انرژی برانگیخته در زنجیره انتقال الکترون بود (Strasser *et al*., 2000). از طرفی شاخص PI در مقایسه با F_v/F_m به تنش‌های محیطی حساس‌تر بوده و در نتیجه جهت ارزیابی سرعت فتوسنتز گیاه در این شرایط مناسب‌تر است (Brestic and Zivcak, 2013).

استفاده از روش‌های زیستی از جمله اسمولیت‌های (املاح) سازگار که موجب تعدیل اثرات مخرب تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی شود ضروری به‌نظر می‌رسد (Arbona *et al*., 2017). پرولین یکی از مهم‌ترین اسمولیت‌های سازگار است که در شرایط تنش خشکی و شوری از طریق تنظیم اسمزی باعث افزایش سازگاری گیاه به تنش خشکی می‌شود (Sharma *et al*., 2019). هر چند تأثیر مثبت کاربرد خارجی پرولین در بهبود رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری مورد توجه برخی محققین بوده است (پورسلطان هوجقان و همکاران، ١٣٩٦؛ Kahlaoui *et al*., 2014) ولی درباره تأثیر مثبت پرولین بر رشد گوجه‌فرنگی در شرایط کم آبی پژوهشی انجام نشده است. با این حال، Li و همکاران (٢٠١٦ و ٢٠١٨) برخی ژن‌های کدکننده ساخت اسمولیت‌های ثانویه مانند پرولین را از گونه وحشی پنلی (*penelli*) به گونه زراعی منتقل کردند. افزودن ژن‌های کدکننده تولید پرولین در گوجه‌فرنگی باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی گردید.

در کشاورزی پایدار کاربرد کیتوزان به‌عنوان الیسیتور زیستی در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات کشاورزی مطرح شده است (Crini 2019; Emami Bistgani *et al*., 2017; Sharif *et al*., 2018). این ترکیب با افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

فعالیت آنزیم کیتیناز (Agrawal, 2002)، افزایش فعالیت آنتی-اکسیدانی (El-Tantawy *et al*., 2009) و کاهش تعرق گیاه (Young *et al*., 2005)، باعث افزایش سازگاری گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود.

در مطالعه‌ای که توسط Hassnain و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد محلول‌پاشی کیتوزان با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از طریق افزایش کلروفیل برگ باعث بهبود ویژگی‌های کمی گوجه‌فرنگی از جمله ارتفاع بوته، تعداد میوه و وزن میوه در شرایط کم آبیاری گردید. همچنین گزارش شده است که محلول‌پاشی کیتوزان باعث بهبود ویژگی‌های کیفی میوه گوجه‌فرنگی می‌شود (Ghoname *et al*., 2010). از طرف دیگر استفاده از کیتوزان در شرایط تنش زیستی (بیماری بلایت) در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای با افزایش سطح کیتیناز سبب کاهش چشمگیر خسارت بیماری و افزایش محصول نسبت به گیاهان شاهد شد (Sathiyabama *et al*., 2013). در پژوهشی دیگر کاربرد کیتوزان باعث بهبود ویژگی‌های رویشی گوجه‌فرنگی در شرایط همزیستی با قارچ میکوریزا شد (El Amerany *et al*., 2020).

اثر مثبت کاربرد کیتوزان بر رشد سایر گیاهان زراعی و باغی در شرایط تنش‌های محیطی نیز به اثبات رسیده است. محلول‌پاشی کیتوزان از طریق بهبود ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی باعث افزایش عملکرد ذرت (*Zea mays*) (Dos Reis *et al*., 2019)، ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (Malekpoor *et al*., 2016)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) (Jiao *et al*., 2012)، آفتابگردان (*Helianthus annuus*) (Cho *et al*., 2008)، بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۸)، استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) (مهرگان و همکاران، ۱۳۹۶)، کنجد (*Sesamum indicum* L.) (علوی اصل و همکاران، ۱۳۹۵)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (بهبودی و همکاران، ۱۳۹۸) در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی شد.

اخیراً ثابت شده است که برخی ترکیبات جدید مشتق از کیتوزان که دارای گروه‌های شیمیاییان سوکسینیل و ان، او-دی کربوکسی متیل هستند، در مقایسه با کیتوزان به‌دلیل حلالیت بیشتر و در نتیجه فعالیت زیستی بیشتر، در بهبود ویژگی‌های رویشی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان در شرایط تنش خشکی کارایی بیشتری دارند به‌طوری‌که در این مطالعات این مشتقات به‌عنوان ترکیبات زیستی تعدیل‌کننده رشد گیاه در شرایط تنش‌های محیطی معرفی شده‌اند (Rabelo *et al*., 2019; Dos Reis *et al*., 2019). با توجه با اینکه در کشور ما هنوز پژوهشی در زمینه تأثیر مشتقات کیتوزان بر رشد گیاهان و مقایسه آن با سایر ترکیبات تعدیل‌کننده در شرایط تنش‌های محیطی انجام نشده است لذا این آزمایش با هدف بررسی تأثیر دو ترکیب جدیدان سوکسینیل و ان، او-دی کربوکسی متیل کیتوزان بر شاخص‌های فتوسنتز، ویژگی‌های رویشی و عملکرد گوجه‌فرنگی و مقایسه کارکرد آن‌ها با کاربرد پرولین و کیتوزان در شرایط کم آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی: به‌منظور بررسی تأثیر تعدیل‌کننده‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های فتوسنتز، ویژگی‌های رویشی و عملکرد گوجه‌فرنگی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه هرمزگان واقع در کیلومتر ۱۰ جاده میناب انجام شد. قبل از انجام آزمایش نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام شد و برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک منتقل شد که نتایج آزمایش خاک در جدول ۱ ارائه شده است. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح کم آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در سه سطح شاهد، کم آبیاری متوسط و شدید به‌ترتیب براساس تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبت سهل الوصول و سطوح ترکیبات زیستی بهبوددهنده رشد گیاهی به‌عنوان فاکتور فرعی در پنج سطح شاهد (بدون استفاده از ترکیبات زیستی) و ترکیبات زیستی شامل کیتوزان، مشتقات N-Succinyl و N,O-dicarboxymethylate کیتوزان و پرولین هر کدام به میزان ۰/۵ میلی‌گرم به‌ازای هر بوته گوجه‌فرنگی بودند. کیتوزان و پرولین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

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

کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل‌دسترس	پتاسیم قابل‌دسترس	روی	آهن	منگنز	مس	pH	هدایت الکتریکی	بافت
درصد		میلی‌گرم بر کیلوگرم							دسی‌زیمنس بر متر	
۰/۳۵	۰/۰۳	٦/۲۰	۵۱۹/۳۳	۰/۸	۷/۹	٦/۱	۰/۹	۷/۸٦	۱/۲۱	سیلتی–لوم

از شرکت مرک (آلمان) خریداری شد. در این آزمایش از گوجه‌فرنگی رقم دافنیس تولیدشده در شرکت سینجنتا استفاده شد. نشای مورد استفاده در مجتمع گلخانه‌ای حاجی‌آباد هرمزگان تولید و ۲۵ مهرماه ۱۳۹۸ در کرت‌های یک متر مربعی کشت شد. کشت نشاها پس از آبیاری کامل خاک و در ظرفیت زراعی با فاصله ٤٠ سانتی‌متر روی ردیف و ۷۰ سانتی‌متر بین ردیف انجام گرفت. میانگین دمای روزانه و شبانه به‌ترتیب ۲±۲۵ و ۲±۱۵ و رطوبت نسبی گلخانه بین ۵۵ تا ۷۰ درصد در نوسان بود.

اعمال تیمارهای کم آبیاری: جهت آبیاری گوجه‌فرنگی از روش آبیاری قطره‌ای نواری (تی‌تیپ)، استفاده شد. گیاهان تا دو هفته پس از انتقال نشا به‌منظور استقرار بهتر به‌صورت منظم و روزانه آبیاری شدند. برای اعمال تیمارهای آبیاری، حجم آب آبیاری تیمار شاهد، تیمارهای کم آبیاری متوسط و شدید به‌ترتیب براساس تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبت سهل الوصول، با اندازه‌گیری رطوبت خاک و با توجه به عمق توسعه ریشه محاسبه گردید. رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحات فشاری به‌ترتیب به میزان ۲۰ و ٦ 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 به‌صورت روابط ذیل مشخص گردید.

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

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

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

رابطه (٤) $V=d\times A$

در روابط بالا θ_{TAW}، θ_{FC}، θ_{PWP} و θ_{RAW} به‌ترتیب کل آب قابل دسترس برای گیاه، رطوبت حجمی در حالت ظرفیت مزرعه، رطوبت حجمی در حالت نقطه پژمردگی دائم و آب سهل‌الوصول برای گیاه می‌باشند. MAD: حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی که براساس دستورالعمل فائو ٥٦ عدد ٠/٤ در نظر گرفته شد (Allen *et al.*, 1998)، D_{rz}: عمق ریشه گوجه‌فرنگی (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:

رابطه (۵) $t = (V/Q)/3600$

در رابطه بالا t: زمان آبیاری (ساعت)، Q: دبی ورودی به لوله فرعی (لیتر بر ثانیه) است. همچنین ۱۵ روز پس از اعمال تنش و همزمان با تشکیل میوه، کود برگی فروست محصول شرکت Fruta LIV با نسبت ۳ در هزار روی گیاهان محلول‌پاشی شد.

سنتز مشتقات کیتوزان: برای سنتز مشتقات ان سوکسینیل و ان، او- دی کربوکسی متیل کیتوزان، از روش Rabelo و همکاران (۲۰۱۹) استفاده شد. برای سنتزان سوکسینیل کیتوزان (NSC)، مقدار یک گرم کیتوزان در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول یک درصد استیک اسید گلایسیال حل شد. سپس به‌تدریج ۱/۸ گرم سوکسینیل انهیدرید و ۲۰ میلی‌لیتر استون اضافه شد و مخلوط به‌دست آمده به‌مدت یک ساعت در دمای ٦٠ درجه قرار گرفت. پس از سردشدن محلول، ۱۰۰ میلی‌لیتر اتیل الکل هیدراته افزوده و به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای منفی ١٦ درجه نگهداشته شد. سپس با افزودن سود مایع یک مولار، pH

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

محلول به عدد ۱۰ رسید. سپس به تدریج استون اضافه شد. با افزودن حدود ۱۰۰ میلی‌لیتر اتیل الکل و با کمک قیف بوخنر ذرات اضافی موجود جداسازی گردید. درنهایت توده بی‌شکل نرم سفید متمایل به زردان سوکسینیل کیتوزان به‌دست آمد.

برای سنتزان، او- دی کربوکسی متیل کیتوزان (NOC)، ابتدا ۵ گرم کیتوزان به ۵۰ میلی‌لیتر ایزوپروپیل الکل اضافه و به‌هم زده شد. سپس در طی ۲۵ دقیقه و به‌تدریج ۱۲ میلی‌لیتر سود مایع ۱۰ مولار به آن افزوده شد. مخلوط به‌دست آمده به‌مدت ۳۰ دقیقه به هم زده شد. سپس در طی ۵ دقیقه و در ۵ مرحله به‌تدریج ۳۰ گرم مونوکلرو استیک اسید اضافه گردید. مخلوط به‌دست آمده به‌مدت ۳ ساعت توسط همزن مغناطیسی و در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به‌هم زده شد. پس از این مدت محتویات سریعاً سرد شده و مواد جامد رسوب کرده با کاربرد ۱۰۰ میلی‌لیتر الکل خالص و توسط قیف بوخنر تصفیه شد. ترکیب حاصل بلافاصله در آون و در دمای ۶۰ درجه تا زمان تشکیل رنگ زرد (محصول نهایی) قرار گرفت.

محلول‌پاشی ترکیبات: محلول‌پاشی هر کدام از ترکیبات زیستی (کیتوزان، پرولین، NSC و NOC) به میزان ۰/۵ میلی‌گرم به‌ازای هر بوته گوجه‌فرنگی در دو نوبت یک روز قبل از شروع اعمال تیمارهای کم آبیاری و قبل از گلدهی و با محلول‌پاش دستی دو لیتری مدل SBC با امکان تنظیم فشار نازل، روی گیاهان مه‌پاشی شد (Rabelo *et al*., 2019). به‌طور متوسط برای هر گیاه ۳۰۰ میلی‌لیتر محلول اختصاص یافت.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های گیاهی: میزان کلروفیل و کاروتنوئید به روش آرنون (Arnon, 1949) اندازه‌گیری شد. یک گرم از برگ تازه با ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. عصاره حاصل برای ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفوژ با دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. از محلول رویی مقدار سه میلی‌لیتر به داخل کووت اسپکتروفتومتر ریخته شد و مقدار جذب در طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل CE 2501, Cecil خوانده شد. مقدار کلروفیل *a*، *b*، کل و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ به‌ترتیب با استفاده از روابط ۶، ۷، ۸ و ۹ محاسبه گردید.

رابطه (۶) $Chl\ a = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645})\ V/\ 100W$

رابطه (۷) $Chll\ b = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663})\ V/\ 100W$

رابطه (۸) $Chl\ t: (22.9 \times A_{645} + 8.02 \times A_{663})\ V/100W$

رابطه (۹)

$$Carotenoids = 100(A_{470}) - 3.27(mg\ chl\ a) - 104(mg\ chl\ b) / 227$$

در روابط بالا *chl a*، *chl b*، *chl t*، A، V و W به‌ترتیب مقدار کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل، طول‌موج‌هایی که میزان جذب در آنها خوانده شد، حجم محلول صاف‌شده حاصل از سانتریفیوژ و وزن تر نمونه گیاهی (برگ) برحسب گرم هستند.

اندازه‌گیری پرولین برگ: برای ارزیابی میزان پرولین برگ از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. ابتدا نیم گرم برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۳ درصد در هاون چینی کاملاً ساییده و در نهایت با کاغذ صافی صاف گردید. به ۲ میلی‌لیتر از محلول حاصل، ۲ میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه و پس از قرارگیری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک ساعت، لوله‌های محتوی محلول حاصل در یخ قرار گرفت تا سرد شدند. بعد از این مرحله، ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید. از فاز رویی برای اندازه‌گیری میزان پرولین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و قرائت در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر استفاده شد. با استفاده از منحنی استاندارد، مقدار پرولین برحسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های فلورسانس کلروفیل: برای ارزیابی این شاخص‌ها از دستگاه کلروفیل فلوریمتر مدل Hanstech pocket PEA ساخت کشور تایوان استفاده شد. بدین صورت که دو هفته پس از محلول‌پاشی، ابتدا با اتصال گیره‌های دستگاه به جوان‌ترین برگ‌های توسعه‌یافته در یک سوم انتهایی بوته گوجه‌فرنگی، به‌مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفتند. سپس با تابیدن نور قرمز توسط دستگاه اعداد مربوط به F_v/F_m و PI در برگ سازگارشده به شرایط تاریکی خوانده شد (Bahadur *et al*., 2015).

ارزیابی ویژگی‌های کیفی و عملکرد میوه: برای محاسبه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

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. طی سه مرحله با انتخاب تصادفی۱۰ میوه رسیده از هر بوته، ویژگی‌های کیفی شامل کل مواد جامد محلول (TSS) با استفاده از دستگاه رفرکتومتر دیجیتالی، مدل DBR95 برحسب عدد بریکس، آسکوربیک اسید عصاره میوه برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه تر، با روش تیتراسیون با ۲ و ٦ دی کلروفنل ایندوفنل (Nielsen, 2017)، اسید قابل تیتراسیون (TA) عصاره میوه برحسب درصد اسید سیتریک با روش تیتراسیون سود ۰/۱ نرمال (AOAC, 1995)، سفتی میوه با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج Force Gauge- Fruit Penetrometer، با قطر پروب ۸ میلی‌متر ارزیابی شد. برای تعیین شاخص طعم از رابطه ۱۰ (Zoran *et al*., 2014) استفاده شد.

$$TI = (TSS/20 \times TA) + TA \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در این رابطه TI، TSS و TA به‌ترتیب شاخص طعم، کل مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون میوه می‌باشد. در نهایت برای هر صفت کیفی در هر تیمار میانگین ۱۰ میوه به‌عنوان عدد نهایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

در پایان آزمایش، تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده، به کمک برنامه آماری SAS (۹/۱) انجام شد. میانگین‌ها از طریق آزمون LSD در سطح آماری پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

با بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) مشخص شد که کم آبیاری بر تمام صفات مربوط به رنگیزه گیاهی (به‌جز نسبت کلروفیل *a* به *b*)، پرولین و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل در سطح یک درصد معنی‌دار بود. کاربرد ترکیبات زیستی بر میزان کلروفیل *a* و کلروفیل کل و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل در سطح پنج درصد و بر میزان کلروفیل *b*، نسبت کلروفیل *a* به *b*، میزان کاروتنوئید و پرولین در سطح یک درصد معنی‌دار بود. از طرف دیگر اثر متقابل کم آبیاری با ترکیب زیستی بر کلروفیل *a* در سطح یک درصد و بر سایر صفات در سطح پنج درصد معنی‌دار بود درحالی‌که بر میزان کلروفیل *b* اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس اثر کم آبیاری و ترکیبات زیستی بر ویژگی‌های کیفی و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی (جدول ۳) نشان داد که اثر کم آبیاری بر تغییرات کل مواد جامد محلول (TSS)، اسید آسکوربیک، اسید قابل تیتراسیون (TA) و عملکرد میوه در سطح یک درصد و بر شاخص طعم در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود اما کم آبیاری اثر معنی‌داری بر سفتی میوه نداشت. اثر کاربرد ترکیبات زیستی بر اسید آسکوربیک و عملکرد میوه در سطح یک درصد و بر شاخص طعم و سفتی میوه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد درحالی‌که ترکیبات زیستی اثر معنی‌داری بر TSS و TA نداشتند. برهمکنش کم آبیاری با ترکیب زیستی اثر معنی‌دار در سطح پنج درصد بر صفات اسید آسکوربیک میوه، TA، سفتی و عملکرد میوه داشت ولی بر TSS و شاخص طعم اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

اثر برهمکنش کم آبیاری و ترکیب زیستی بر رنگیزه‌های گیاهی گوجه‌فرنگی: نتایج جدول ٤ نشان داد که در هر سطح ترکیب زیستی، کم آبیاری باعث کاهش میزان رنگیزه‌های گیاهی گوجه‌فرنگی شد. به‌طوری‌که کم آبیاری شدید در شرایط عدم کاربرد ترکیبات زیستی باعث کاهش کلروفیل *a*، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل *a* به *b* و کارتنوئید به‌ترتیب به میزان ۲۵/۷، ۲۵/۵، ۲۳/۳ و ٦/۳۲ درصد در مقایسه با شاهد (آبیاری کامل) شد. مشابه این نتایج، تأثیر منفی کم آبیاری بر میزان کلرفیل *a* و کل (Celik *et al*., 2017; Zhou *et al*., 2017; Bahadur *et al*., 2015; Giannakoula and Ilias, 2013)، کارتنوئید (دانشمند، ۱۳۹۲;Celik *et al*., 2017) و کلروفیل کل (دانشمند، ۱۳۹۲؛ ساجدی نیا و همکاران، ۱۳۹۷) گوجه‌فرنگی گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد در شرایط کمبود آب در اثر فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز (Arbona *et al*., 2017) و همچنین تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و پراکسید هیدروژن (Ajithkumar and Panneerselvam, 2014) رنگیزه‌های گیاهی تجزیه می‌شود. بر خلاف این نتایج برخی مطالعات نشان داده‌اند که در برخی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر کم آبیاری و ترکیبات زیستی بر رنگیزه‌های گیاهی، پرولین و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل گوجه‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کلروفیل کل	کلروفیل *a/b*	کاروتنوئید	پرولین	Fv/Fm	PI
تکرار	۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۶۷	۰/۰۱۷	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۴۳
کم آبیاری	۲	۰/۵۹۳**	۰/۰۸۸**	۱/۱۱۳**	۰/۰۵۰	۰/۱۲۳**	۰/۲۷**	۰/۱۱۹**	۷/۷۹۴**
خطای فرعی	۴	۰/۰۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۴۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱
ترکیب زیستی	۴	۰/۰۸۶*	۰/۰۱۰**	۰/۰۷۵*	۰/۹۹**	۰/۰۳۷**	۱/۱۶**	۰/۰۱۴*	۰/۲۶۳*
کم آبیاری × ترکیب زیستی	۸	۰/۸۸۴**	۰/۰۰۱	۰/۰۸۵*	۰/۱۰۷*	۰/۰۶۱*	۰/۰۳*	۰/۰۱۲*	۰/۱۴۳*
خطای اصلی	۲۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۲۲
ضریب تغییرات		۱۱/۱	۱۰/۵۹	۱۳/۳۱	۱۵/۲۸	۱۲/۴۹	۱۰/۸۲	۹/۵۸	۱۰/۳۳

***، ** به‌ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.**

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر کم آبیاری و ترکیبات زیستی بر ویژگی‌های کیفی و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کل مواد جامد محلول	اسید آسکوربیک میوه	اسید قابل تیتراسیون	شاخص طعم	سفتی میوه	عملکرد میوه
تکرار	۲	۰/۲۰	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۹	۸۵/۹۴
کم آبیاری	۲	۲/۳۲**	۰/۰۲۴۶۹**	۰/۰۳۶**	۰/۰۳۴*	۰/۰۳	۳۱۴۶/۹۰**
خطای فرعی	۴	۰/۰۷۳	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۳	۱۳/۱۳
ترکیب زیستی	۴	۰/۰۶۴	۰/۰۰۹۱**	۰/۰۰۴	۰/۰۱۱*	۰/۱۹*	۳۷۹/۵۷**
کم آبیاری × ترکیب زیستی	۸	۰/۱۰۴	۰/۰۰۰۲۸*	۰/۰۰۹*	۰/۰۰۱	۰/۱۵*	۱۲۲/۶۲*
خطای اصلی	۲۴	۰/۰۶۰	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲	۳۵/۱۴
ضریب تغییرات		۹/۳۵	۵/۸۸	۱۱/۹۹	۵/۸۸	۱۰/۳۳	۱۰/۶۷

***، ** به‌ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.**

ارقام گوجه‌فرنگی با افزایش تنش خشکی میزان رنگیزه‌های گیاهی افزایش می‌یابد (Zhou *et al.*, 2017).

کاربرد ترکیبات زیستی در هر سطح آبیاری باعث افزایش میزان کلروفیل *a* و کل، نسبت کلروفیل *a* به *b* و کاروتنوئید برگ در مقایسه با شاهد شد که افزایش کلروفیل *a* و نسبت کلروفیل *a* به *b* تنها هنگام کاربرد NSC در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری شدید در مقایسه با شاهد بدون ترکیبات زیستی معنی‌دار بود (جدول ٤). به‌طوری‌که کاربرد NSC در شرایط آبیاری کامل (شاهد)، کم آبیاری متوسط و شدید باعث افزایش میزان کلروفیل *a* به‌ترتیب به میزان ۱٦/٤، ۱۱/۸ و ۲۰/٦ درصد در مقایسه با شاهد شد. از طرف دیگر در شرایط تنش متوسط کاربرد تمام ترکیبات زیستی توانستند میزان کلروفیل کل را مشابه با در تیمار شاهد (آبیاری کامل بدون کاربرد ترکیبات زیستی) حفظ نمایند. کاربرد NSC در شرایط آبیاری کامل، کم آبیاری متوسط و شدید باعث افزایش نسبت کلروفیل *a* به *b* به‌ترتیب به میزان ۳۹/۰، ۲۱/۹ و ٤۱/۷ درصد گردید. بیشترین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

جدول ٤- اثر برهمکنش کم آبیاری و نوع ترکیبات زیستی بر رنگیزه‌های گیاهی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل گوجه‌فرنگی

کم آبیاری	ترکیب زیستی	کلروفیل *a*	کلروفیل کل	کاروتنوئید	نسبت کلروفیل *a/b*	پرولین	Fv/Fm	PI
		میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ						
شاهد	شاهد	۱/۸۳^{bcd}	۲/۵۱^{abc}	۰/٤۳^{abc}	۲/٦۹^{ghi}	۰/٤۲^{j}	۰/۷۵^{abc}	۳/۲^{abc}
	کیتوزان	۱/۹٤^{abc}	۲/۵۹^{abc}	۰/٤٤^{abc}	۲/۹٤^{def}	۰/٦۰^{fgh}	۰/۸۰^{a}	۳/۵^{a}
	NOC	۲/۰۰^{ab}	۲/۷۱^{a}	۰/٤۳^{abc}	۲/۸٦^{efg}	۰/٤۵^{ij}	۰/۷۸^{ab}	۲/۹^{cde}
	NSC	۲/۱۳^{a}	۲/۷۲^{a}	۰/٤۸^{ab}	۳/۷٤^{a}	۰/۵۸$^{f-i}$	۰/۷۸^{ab}	۳/۳^{ab}
	پرولین	۱/٦۹^{cde}	۲/۳٤^{bcd}	۰/۵۰^{a}	۲/٦۰^{hi}	۱/۱۵^{c}	۰/۷۹^{a}	۳/۰^{bcd}
متوسط	شاهد	۱/٦۱^{de}	۲/۲۱^{cde}	۰/۳۷^{cd}	۲/۷۸^{fgh}	۰/٤۸^{hij}	۰/۵۸^{ef}	۲/۲^{gh}
	کیتوزان	۱/٦۵^{de}	۲/۲۲^{cde}	۰/٤۰^{cd}	۲/۸۹$^{d-g}$	۰/۷۹^{de}	۰/۷۱$^{a-d}$	۲/۷^{de}
	NOC	۱/۷۰^{cde}	۲/۲۸^{bcd}	۰/۳۹^{cd}	۲/۹۳^{def}	۰/۷۷^{de}	۰/٦٤^{def}	۲/٦^{ef}
	NSC	۱/۸۰^{bcd}	۲/۳۷$^{a-d}$	۰/٤٤^{abc}	۳/۳۹^{b}	۰/٦۸^{efg}	۰/٦۹$^{a-d}$	۲/۸^{de}
	پرولین	۱/٦۸^{de}	۲/۲۳^{cde}	۰/٤۳^{abc}	۳/۰۵^{cde}	۱/٤۳^{b}	۰/٦۸^{cd}	۲/۷^{de}
شدید	شاهد	۱/۳٦^{f}	۱/۸۷^{e}	۰/۳۳^{d}	۲/۵۲^{i}	۰/۵۵$^{g-j}$	۰/۵۵^{f}	۱/٤^{k}
	کیتوزان	۱/۵۵^{ef}	۲/۰٦^{de}	۰/۳۸^{cd}	۳/۱۰^{ef}	۰/۸٤^{d}	۰/٦٤^{def}	۲/۳^{fg}
	NOC	۱/۵۸^{def}	۲/۰۷^{de}	۰/۳۹^{cd}	۳/۰٤^{cd}	۰/۷۰^{def}	۰/۵۵^{f}	۱/۸^{ij}
	NSC	۱/٦٤^{de}	۲/۱۲^{de}	۰/٤۱^{bc}	۳/۵۷^{ab}	۰/۷۷^{de}	۰/٦۷^{cde}	۲/۰^{ghi}
	پرولین	۱/۵۲^{ef}	۲/۰٤^{de}	۰/۳۹^{cd}	۳/۱۷^{c}	۱/٦٤^{a}	۰/٦۲^{def}	۱/۹^{hij}

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

میزان کاروتنوئید برگ (۵۰ میلی‌گرم در گرم وزن برگ) در تیمار آبیاری کامل و کاربرد پرولین به‌دست آمد درحالی‌که در شرایط کم آبیاری شدید بیشترین میزان این رنگیزه (۰/٤۱ میلی‌گرم) با کاربرد ترکیب NSC مشاهده شد (جدول ٤).

مشابه این نتایج، گزارش شد که پلی‌مرهای زیستی مشتق شده از کیتوزان از جمله NSC باعث افزایش تمام رنگیزه‌های گیاهی از جمله کلروفیل *a* و کل و کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی در گیاهان زراعی مختلف می‌گردد (Hassnain *et al*., 2020; Dos Reis *et al*., 2019; Dzung *et al*., 2011; Ali *et al*., 2008). این افزایش احتمالاً به‌دلیل نقش کیتوزان و مشتقات آن در افزایش بیوسنتز هورمون سیتوکینین در گیاه می‌باشد (Farouk *et al*., 2008; Farouk and Amany, 2012). نتایج برخی مطالعات حاکی از آن است که مشتقات کیتوزان در مقایسه با کیتوزان حلالیت و فعالیت بیولوژیکی بیشتری در سلول‌های زنده داشته (Muley *et al*., 2019) که این موضوع احتمالاً دلیلی بر کارایی بیشتر آن‌ها در گیاه می‌باشد. بر خلاف این نتایج Dos Reis و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که کاربرد کیتوزان در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌دار در مقایسه با مشتقات کیتوزان NSC و NOC، کلروفیل *a* و کل برگ ذرت را افزایش می‌دهد. در مقابل کیتوزان قادر به افزایش معنی‌دار کلروفیل *a* و کاروتنوئید در گیاه آویشن (*Thymus daenesis* Gelak) نمی‌باشد (Emami Bistgani *et al*., 2017). از طرف دیگر مشخص شده است که افزایش نسبت کلروفیل *a* به *b* که با کاهش اندازه کمپلکس برداشت نور در فتوسیستم II همراه است منجر به ایجاد تعادل بین سرعت انتقال الکترون از فتوسیستم II و میزان برانگیختن فتوسیستم I توسط انرژی نورانی می‌گردد (Guo *et al*., 2016)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد ترکیبات زیستی به‌ویژه NSC با افزایش نسبت کلروفیل *a* به کلروفیل *b*، تعادل بین فتوسیستم I و II را حفظ کرده و از برانگیخته‌شدن بیش از حد (overexcitation) آن‌ها و در نتیجه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

تخریب سیستم فتوسنتزی گیاه در شرایط تنش خشکی جلوگیری می‌کند.

اثر برهمکنش کم آبیاری و ترکیب زیستی بر میزان پرولین برگ گوجه‌فرنگی: در تمام ترکیبات زیستی، کم آبیاری باعث افزایش میزان پرولین برگ در مقایسه با شاهد (آبیاری کامل) شد که این افزایش در اغلب موارد معنی‌دار بود (جدول ٤). مشابه این نتایج گزارش شده است که با افزایش شدت تنش‌های محیطی از جمله کم آبیاری میزان پرولین به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی در گیاه گوجه‌فرنگی افزایش می‌یابد (Chitarra *et al*., 2016; Kahlaoui *et al*., 2014). نتایج محققان نشان داد که تنش خشکی از دو طریق افزایش بیوسنتز پرولین و همچنین کاهش فعالیت آنزیم‌های دخیل در تجزیه آن باعث افزایش این ترکیب در سلول‌های گیاهی می‌شود (Rahdari and Hoseini, 2012). کاربرد ترکیبات زیستی در تمام سطوح آبیاری باعث افزایش میزان پرولین برگ شد و در شرایط کم آبیاری متوسط و شدید با محلول‌پاشی تمام ترکیبات زیستی، پرولین داخلی به‌طور معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در بین ترکیبات به‌کار رفته، پرولین بیشترین نقش را در افزایش پرولین داخلی گیاه ایفا کرد. در هر سه سطح آبیاری با محلول‌پاشی پرولین، میزان پرولین داخلی برگ به‌طور معنی‌دار در مقایسه با سایر ترکیبات زیستی بیشتر بود. در شرایط کم آبیاری شدید محلول‌پاشی کیتوزان، NOC، NSC و پرولین باعث افزایش پرولین داخلی به‌ترتیب به میزان ۵۲/۷۳، ۲۷/۲۷، ٤۰/۰۰ و ۱۹۸/۱۸ درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول ٤). در رابطه با تأثیر کیتوزان و مشتقات آن بر پرولین داخلی گوجه‌فرنگی در شرایط کم آبیاری مطالعه‌ای صورت نگرفته است اما مشابه این نتایج، گزارش شده است که کاربرد کیتوزان باعث افزایش پرولین داخلی گلرنگ (*Carthamus thinctorius* L.) (امیری و همکاران، ۱۳۹٤)، ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (ملک‌پور و همکاران، ۱۳۹۵) در شرایط تنش خشکی می‌شود.

اثر برهمکنش کم آبیاری و ترکیب زیستی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل گوجه‌فرنگی: در تمام ترکیبات زیستی کم آبیاری باعث کاهش شاخص‌های حداکثر کارایی فتوسیستم II (F_v/F_m) و کارایی فتوسنتز (PI) به‌طور معنی‌دار در مقایسه با شاهد شد و شاخص PI در مقایسه با شاخص F_v/F_m حساسیت بیشتری به شرایط کم آبیاری داشت (جدول ٤). مشابه این نتایج، کم آبیاری باعث کاهش معنی‌دار شاخص F_v/F_m در گوجه‌فرنگی گردید (Zhou *et al*., 2017; Bahadur *et al*., 2015). از طرف دیگر تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار بیشتر شاخص PI در مقایسه با شاخص F_v/F_m در گیاهان زراعی مختلف از جمله گوجه‌فرنگی می‌شود (Conti *et al*., 2019; Strasser *et al*., 2000; Jiang *et al*., 2006; Christen *et al*., 2007; Oukarroum *et al*., 2009; Zivcak *et al*., 2008). برخی محققین مقادیر F_v/F_m در ارقام گوجه‌فرنگی اصلاح‌شده مقاوم به تنش‌های محیطی را ۰/۷ تا ۰/۷۷ اعلام کردند (Joshua-Otieno *et al*., 2009; Zhou *et al*., 2015)؛ بنابراین از آن‌جا که در این مطالعه در شرایط کم آبیاری ملایم و شدید مقدار این شاخص در رقم دافنیس گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای به‌ترتیب ۰/٦٦ و ۰/٦۱ بود لذا احتمالاً این رقم به خشکی حساس می‌باشد.

کاربرد ترکیبات زیستی در هر سطح آبیاری باعث افزایش نسبت F_v/F_m در مقایسه با شاهد (بدون ترکیب زیستی) شد. به‌طوری‌که در شرایط کم آبیاری متوسط و شدید به‌ترتیب با کاربرد کیتوزان و NSC این شاخص ۲۲/٤ و ۲۱/۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ٤). مشابه این نتایج Dos Reis و همکاران در سال ۲۰۱۹ نشان دادند که در شرایط تنش با کاربرد کیتوزان و یا ترکیب مشتق‌شده از آن می‌توان شاخص F_v/F_m را بهبود و در نتیجه خسارت وارده به سیستم فتوسنتزی گیاه را محدود کرد.

نتایج جدول ٤ نشان داد که بیشترین میزان PI (۳/۵) با محلول‌پاشی کیتوزان در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد هر چند در شرایط آبیاری کامل (شاهد) هیچ یک از ترکیبات زیستی نتوانست این شاخص را به‌طور معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش دهد. بیشترین میزان PI در شرایط کم آبیاری متوسط (۲/۸) و شدید (۲/۳) به‌ترتیب با کاربرد NSC و کیتوزان به‌دست آمد که بیانگر افزایش معنی‌دار این شاخص به‌ترتیب به میزان ۲۷/۳ و ٦٤/۳ درصد در مقایسه با شاهد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

می‌باشد. نتایج برخی مطالعات نشان داده است که کیتوزان و ترکیبات زیستی مشتق‌شده از آن از طریق حفظ یا افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش کارایی فتوسیستم II (Dos Reis *et al*., 2019) و بهبود هدایت روزنه‌ای و در نتیجه افزایش جذب دی‌اکسید کربن (Mirajkar *et al*., 2019) باعث افزایش شاخص کارایی فتوسنتز در شرایط تنش خشکی می‌شود.

اثر برهمکنش کم آبیاری و ترکیب زیستی بر ویژگی‌های کیفی و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی: در تمام ترکیبات زیستی، کم آبیاری متوسط و شدید باعث کاهش معنی‌دار میزان اسید آسکوربیک میوه شدند (جدول ۵). مشابه این نتایج پوزش شیرازی و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که کم آبیاری در طول فصل رشد باعث کاهش معنی‌دار اسید آسکوربیک میوه گوجه‌فرنگی می‌شود. مطالعات نشان داده است که تأثیر تنش خشکی بر آسکوربیک اسید میوه گوجه‌فرنگی به شدت به زمان وقوع تنش بستگی دارد (Khapte *et al*., 2019). اگر کم آبیاری در سرتاسر فصل رشد گوجه‌فرنگی رخ دهد اغلب از طریق کاهش ظرفیت فتوسنتزی و تولید کمتر اسیدهای آلی باعث کاهش میزان آسکوربیک اسید می‌گردد. در حالی‌که اگر تنش خشکی فقط در اواخر فصل رشد و زمان تشکیل میوه رخ دهد، به‌دلیل کاهش آب میوه، میزان تجمع آسکوربیک اسید در میوه گوجه‌فرنگی افزایش و باعث بهبود کیفیت میوه می‌گردد (Cui *et al*., 2020; Khapte *et al*., 2019; Chen *et al*., 2013, 2014; Patane and Cosentino, 2010).

اسید قابل تیتراسیون میوه با اعمال کم آبیاری در تمام ترکیبات زیستی افزایش یافت و این افزایش برای کم آبیاری شدید معنی‌دار بود (جدول ۵). مشابه این نتایج گزارش شده است که کم آبیاری باعث افزایش TA میوه گوجه‌فرنگی می‌شود (اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Cui *et al*., 2020; Agbemafle *et al*., 2014; Chen *et al*., 2013; Nangare *et al*., 2016). به‌نظر می‌رسد در شرایط کم آبی به‌دلیل کاهش اندازه و آب میوه، غلظت اسیدهای آلی و در نتیجه TA افزایش یابد (اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۶). از طرف دیگر گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی پیری برگ به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم هگزوکیناز در برگ گوجه‌فرنگی تسریع شده و در نتیجه در برگ سنتز قند و اسیدهای آلی افزایش می‌یابد (Dai *et al*., 1999) از آن‌جا که میوه گوجه‌فرنگی منبع قوی برای جذب اسیدهای آلی و هیدرات کربن است، این ترکیبات در میوه تجمع یافته و باعث افزایش TA میوه می‌شود (Chen *et al*., 2014).

کاربرد ترکیبات زیستی در سطوح مختلف آبیاری تغییر معنی‌داری را در اسید قابل تیتراسیون ایجاد نکردند (جدول ۵). در مجموع بیشترین میزان این صفت در شرایط کم آبیاری شدید و کاربرد NSC (۰/۶۳ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵).

بیشترین میزان اسید آسکوربیک میوه (۰/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) به‌طور مشابه در آبیاری کامل (شاهد) و با کاربرد کیتوزان، NOC و NSC به‌دست آمد. درحالی‌که محلول‌پاشی پرولین باعث کاهش معنی‌دار این صفت در مقایسه با سایر ترکیبات زیستی در شرایط آبیاری کامل گردید (جدول ۵). گزارش شده است که در شرایط تنش‌های محیطی متوسط مشتقات کیتوزان از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های دخیل در فعالیت‌های فتوسنتزی باعث افزایش سنتز اسیدهای آلی از جمله اسید آسکوربیک در گیاهان می‌شود (Dos Reis *et al*., 2019; Chamnanmanoontham *et al*., 2015). کاربرد ترکیبات زیستی در شرایط کم آبیاری شدید نتوانست تغییر معنی‌داری در میزان اسید آسکوربیک گوجه‌فرنگی ایجاد کند (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد در شرایط کم آبیاری شدید به‌دلیل تحریک سنتز ترکیبات حاوی گونه‌های فعال اکسیژن از جمله پراکسید هیدروژن (Tonhati *et al*., 2020)، تخریب اسید آسکوربیک تشدید و در نتیجه کاربرد ترکیبات زیستی نتواند منجر به بهبود این شاخص شود.

در اغلب موارد کم آبیاری شدید و متوسط باعث افزایش جزئی سفتی میوه شد (جدول ۵). سفتی میوه به‌دلیل نقش مهمی که در افزایش عمر انبارمانی میوه ایفا می‌کند از اهمیت زیادی برخوردار است. مطالعات نشان داده است که کم آبیاری به‌ویژه در مراحل زایشی باعث افزایش سفتی میوه گوجه‌فرنگی می‌شود (Cui *et al*., 2020; Patane and Cosentino, 2010).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

جدول ۵- اثر برهمکنش کم آبیاری و نوع ترکیبات زیستی بر ویژگی‌های کیفی و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی

کم آبیاری	ترکیب زیستی	اسید آسکوربیک میوه (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	اسید قابل تیتراسیون (درصد)	سفتی میوه (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	عملکرد میوه (تن در هکتار)
شاهد	شاهد	۰/۳۸۷^{ab}	۰/۵۲$^{c-g}$	۲/۴۷^{ab}	۱۴۷/۲۲^{ab}
	کیتوزان	۰/۳۹۷^{a}	۰/۴۹^{fg}	۲/۱۲^{bc}	۱۴۹/۶۴^{ab}
	NOC	۰/۴۰۰^{a}	۰/۵۰^{efg}	۱/۹۲^{c}	۱۴۳/۷۷^{bc}
	NSC	۰/۴۰۰^{a}	۰/۵۱$^{d-g}$	۱/۹۵^{c}	۱۵۵/۰۶^{a}
	پرولین	۰/۳۸۰^{b}	۰/۴۷^{g}	۲/۱۸^{bc}	۱۴۳/۲۸^{bc}
متوسط	شاهد	۰/۳۳۳^{cd}	۰/۵۵$^{b-f}$	۲/۰۱^{c}	۱۱۶/۹۸^{def}
	کیتوزان	۰/۳۱۰^{e}	۰/۵۶$^{a-f}$	۲/۱۳^{bc}	۱۲۴/۶۱^{d}
	NOC	۰/۳۵۰^{c}	۰/۵۱$^{d-g}$	۱/۹۵^{c}	۱۱۰/۱۱^{fg}
	NSC	۰/۳۵۰^{c}	۰/۵۴$^{b-g}$	۲/۴۴^{ab}	۱۳۷/۹۳^{c}
	پرولین	۰/۳۱۳^{e}	۰/۴۹^{fg}	۲/۱۷^{bc}	۱۲۳/۰۷^{de}
شدید	شاهد	۰/۳۲۰^{de}	۰/۵۹^{abc}	۲/۱۳^{bc}	۸۶/۶۳^{i}
	کیتوزان	۰/۳۰۷^{e}	۰/۶۰^{ab}	۱/۹۶^{c}	۱۰۵/۲۵^{gh}
	NOC	۰/۳۲۳^{de}	۰/۵۷$^{a-e}$	۲/۰۶^{c}	۸۸/۴۱^{i}
	NSC	۰/۳۱۷^{de}	۰/۶۳^{a}	۲/۶۸^{a}	۱۱۵/۴۳^{ef}
	پرولین	۰/۳۱۳^{e}	۰/۵۸$^{a-d}$	۲/۲۰^{bc}	۹۷/۶۹^{h}

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

این موضوع به‌دلیل کاهش اندازه میوه و افزایش قندهای محلول میوه در شرایط تنش خشکی است (Shao *et al.*, 2015). بر خلاف این نتایج اصفهانی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که تیمارهای کم آبیاری باعث کاهش سفتی میوه گوجه‌فرنگی می‌گردد.

در شرایط آبیاری کامل (شاهد) دو ترکیب زیستی مشتق شده از کیتوزان این صفت را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش داد. به‌طوری‌که کمترین سفتی میوه با کاربرد NOC و به‌میزان ۱/۹۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع مشاهده شد (جدول ۵). در شرایط کم آبیاری متوسط و شدید ترکیب زیستی NSC باعث افزایش معنی‌دار سفتی میوه شد به‌طوری که بیشترین سفتی میوه (۲/۶۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در این تیمار و در شرایط کم آبیاری شدید مشاهده شد. این نتایج حاکی از آن بود که می‌توان با اعمال کم آبیاری همراه با کاربرد ترکیب زیستی NSC از طریق افزایش سفتی میوه باعث بهبود ویژگی کیفی و انبارمانی میوه گوجه‌فرنگی شد. برخی مطالعات نشان داده است که NSC از یک طرف از طریق کاهش تعرق میوه و از طرف دیگر توسط کاهش فعالیت ژن‌های فعال‌کننده آنزیم‌های مؤثر در تجزیه دیواره سلولی از تخریب آن ممانعت کرده که این موضوع باعث افزایش سفتی بافت میوه گوجه‌فرنگی در شرایط کم آبیاری می‌گردد (Dos Reis *et al.*, 2019).

کم آبیاری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد گوجه‌فرنگی در تمام ترکیبات زیستی شد. مشابه این نتایج Cosic و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که هر چند کم آبیاری در گوجه‌فرنگی باعث کاهش عملکرد میوه می‌شود اما این کاهش عملکرد از طریق بهبود ویژگی‌های کیفی میوه جبران می‌شود. پژوهش‌های مختلف حاکی از کاهش معنی‌دار عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط کم آبیاری است (Cui *et al.*, 2020; Hassnain *et al.*, 2020; Conti *et al.*, 2019; Khapte *et al.*, 2019; Nangare *et*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

al., 2016; Sadashiva *et al*., 2016; Bahadur *et al*., 2015; Shao *et al*., 2015; Chen *et al*., 2013, 2014; Giannakoula *et al*., 2013; Patane and Cosentino, 2010). به‌نظر می‌رسد تنش خشکی از طریق کاهش میزان رنگیزه‌های گیاهی شامل کلروفیل a، کلروفیل کل و همچنین کاهش نسبت Fv/Fm و شاخص PI (جدول ٤) باعث کاهش میزان فتوسنتز و در نتیجه سرعت اسیمیلاسیون کربن شده که این موضوع تولید مواد پرورده و در نتیجه وزن میوه گوجه‌فرنگی را کاهش داده است. مشابه این نتایج نیز گزارش شده است که کم آبیاری از طریق تأثیر منفی بر میزان کلرفیل a و کل (Celik *et al*., 2017; Zhou *et al*., 2017; Bahadur *et al*., 2015; Giannakoula and Ilias, 2013)، کاروتنوئید (دانشمند، ۱۳۹۲؛Celik *et al*., 2017) و کلروفیل کل (دانشمند، ۱۳۹۲، ساجدی نیا و همکاران، ۱۳۹۷) و همچنین شاخص‌های Fv/Fm و PI (Chen *et al*., 2016; Bahadur *et al*., 2015; Zhou *et al*., 2015) باعث کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی می‌شود.

کاربرد ترکیبات زیستی در هر سه سطح آبیاری باعث بهبود عملکرد گوجه‌فرنگی شد (جدول ٥). در بین ترکیبات زیستی NSC و کیتوزان بیشترین تأثیر را در بهبود عملکرد میوه داشت به‌طوری‌که بیشترین عملکرد میوه (١٥٥/٠٦ تن در هکتار) در آبیاری کامل همراه با کاربرد ترکیب زیستی NSC مشاهده شد. درحالی‌که کمترین عملکرد میوه (٨٦/٦٣ تن در هکتار) در تیمار کم آبیاری شدید و عدم کاربرد ترکیب زیستی به‌دست آمد. از طرف دیگر محلول‌پاشی گوجه‌فرنگی با ترکیب NSC باعث افزایش عملکرد میوه در سطوح آبیاری شاهد، کم آبیاری متوسط و شدید به‌ترتیب به میزان ٥/٣٢، ١٧/٩١ و ٣٣/٢٤ درصد در مقایسه با شاهد شد. با توجه به نتایج جدول ٤ کیتوزان و مشتقات آن از طریق افزایش میزان رنگیزه‌های گیاهی، پرولین برگ و بهبود شاخص‌های فتوسنتزی باعث افزایش عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در شرایط کم آبیاری شده است که با نتایج سایر محققین هم‌خوانی دارد (Hidangmayum *et al*., 2019; Dos Reis *et al*., 2019; Mirajkar *et al*., 2019). از طرف دیگر گزارش شده است که کیتوزان و مشتقات آن قادرند از طریق تقویت مسیرهای اخطاردهنده اکسید نیتریک و هیدروژن پراکسید، تولید اسیدهای آلی، قندها، اسیدهای آمینه و سایر متابولیت‌های مورد نیاز برای تنظیم اسمزی در شرایط تنش خشکی را تحریک کنند که می‌تواند عملکردی شبیه پرولین در شرایط تنش خشکی را در گیاه ایجاد کند (Hidangmayum *et al*., 2019).

اثر ساده آبیاری و ترکیبات زیستی بر کلروفیل *b*، TSS و شاخص طعم: با کاهش میزان آب آبیاری، کلروفیل *b* به‌طور معنی‌دار در مقایسه با شاهد کاهش یافت اما بین کم آبیاری متوسط و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. (جدول ٦). مشابه این نتایج، تأثیر منفی کم آبیاری بر میزان کلرفیل *b* (Celik *et al*., 2017; Zhou *et al*., 2017; Bahadur *et al*., 2015; Giannakoula and Ilias, 2013)، گزارش شده است. گزارش شده است که کم آبی باعث تحریک فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز و در نتیجه تخریب کلروفیل شده که این موضوع باعث کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌گردد (Arbona *et al*., 2017). کاربرد ترکیبات زیستی نه تنها باعث افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل *b* نشد بلکه ترکیب NSC، این صفت را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار و به میزان ١٣/٣ درصد کاهش داد (جدول ٦) که این نتایج با یافته‌های Emami Bistgani و همکاران (٢٠١٧) مطابقت داشت.

شاخص‌های کیفی میوه شامل TSS و شاخص طعم تحت تأثیر تیمارهای کم آبیاری به‌طور معنی‌دار تغییر کرد (جدول ٦). کم آبیاری باعث افزایش معنی‌دار TSS میوه گوجه‌فرنگی در مقایسه با شاهد شد هر چند تفاوت معنی‌دار بین کم آبیاری متوسط و شدید مشاهده نشد (جدول ٦). بیشترین میزان TSS (٥/١١) در کم آبیاری شدید به‌دست آمد. مشابه این نتایج Cui و همکاران (٢٠٢٠) و Chen و همکاران (٢٠١٣) نشان دادند که تنش خشکی باعث بهبود TSS و در نتیجه کیفیت میوه گوجه‌فرنگی می‌شود. به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی به‌دلیل ایجاد سازگاری به شرایط کم آبی میزان فعالیت آنزیم هگزوکیناز در برگ گوجه‌فرنگی افزایش یافته و در نتیجه سنتز قند در آن تحریک می‌شود (Dai *et al*., 1999) از آن‌جا که میوه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

جدول ٦- اثر ساده سطوح کم آبیاری و نوع ترکیبات زیستی بر کلروفیل *b*، عدد اسپد، TSS و شاخص طعم گوجه‌فرنگی

تیمارهای آزمایشی	کلروفیل *b*	کل مواد جامد محلول (TSS)	شاخص طعم
	میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ	درصد	
کم آبیاری			
شاهد	۰/٦٥^{a}	٤/٣٤^{b}	۰/۹۳^{c}
متوسط	۰/٥٦^{ab}	٤/٨٧^{a}	۰/۹۹^{b}
شدید	۰/٥٢^{b}	٥/١١^{a}	١/۰٣^{a}
ترکیب زیستی			
شاهد	۰/٦۰^{a}	٤/٧٧^{a}	۰/۹۳^{b}
کیتوزان	۰/٥٨^{a}	٤/۹٣^{a}	١/۰۰^{a}
NOC	۰/٦۰^{a}	٤/٧٣^{a}	۰/۹٨^{a}
NSC	۰/٥٢^{b}	٤/٧٢^{a}	١/۰۰^{a}
پرولین	۰/٥٦^{ab}	٤/٧٣^{a}	۰/۹٧^{ab}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح ٥ درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

گوجه‌فرنگی منبع قوی برای جذب هیدرات کربن است، بخش زیادی از قند تجمع‌یافته در برگ توسط میوه جذب می‌شود (Chen *et al*., 2014).

میزان TSS میوه تحت تأثیر کاربرد مواد زیستی قرار نگرفت. هر چند کاربرد کیتوزان موجب افزایش جزئی در این ویژگی کیفی میوه شد. از طرف دیگر پرولین نتوانست این شاخص را بهبود بخشد (جدول ٦). گزارش شده است که کیتوزان در میوه گوجه‌فرنگی باعث افزایش جزئی و غیرمعنی‌دار (El-Tantawy, 2009) و افزایش معنی‌دار در میوه بادنجان (Sultana *et al*., 2017) می‌شود. در تأیید این نتایج مطالعات نشان داده است که کیتوزان و مشتقات آن از طریق تحریک سنتز و افزایش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی موجب افزایش فتوسنتز و در نتیجه سنتز قند می‌گردد (Chamnanmanoontham *et al*., 2015). در حالی‌که برخی گزارش‌ها حاکی از کاهش معنی‌دار این شاخص در میوه گوجه‌فرنگی در اثر محلول‌پاشی مشتقات کیتوزان می‌باشد (Sultana *et al*., 2017). مطالعات نشان داده است که کاربرد پرولین در شرایط تنش‌های محیطی از طریق کاهش میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن مانع از تخریب ترکیبات آلی و در نتیجه افزایش TSS در میوه گوجه‌فرنگی می‌شود (Tonhati *et al*., 2020).

کم آبیاری باعث افزایش معنی‌دار شاخص طعم میوه گوجه‌فرنگی در مقایسه با شاهد شد (جدول ٦). بین هر سه سطح آبیاری از نظر شاخص طعم تفاوت معنی‌دار وجود داشت. بیشترین (١/٠٣) و کمترین (٠/٩٣) شاخص طعم به‌ترتیب در کم آبیاری شدید و شاهد به‌دست آمد. ویژگی‌های تغذیه‌ای از جمله شاخص طعم گوجه‌فرنگی به صفاتی مانند TSS، اسید قابل تیتراسیون، اسیدهای آلی و آسکوربیک اسید (ویتامین ث) بستگی دارد (Cui *et al*., 2020). در مطالعه حاضر شاخص طعم براساس دو ویژگی TSS و TA ارزیابی شد و از آن‌جا که این شاخص با TSS نسبت مستقیم دارد (Zoran *et al*., 2014) لذا کم آبی از طریق بهبود TSS باعث افزایش شاخص طعم شد که با نتایج سایر محققین در این زمینه مطابقت داشت (Cui *et al*., 2020; Chen *et al*., 2014). تمام ترکیبات زیستی باعث افزایش شاخص طعم میوه گوجه‌فرنگی شدند (جدول ٦) که این افزایش برای تمام ترکیبات بجز پرولین معنی‌دار بود. بیشترین شاخص طعم (١/٠٠) با کاربرد کیتوزان و NSC به‌دست آمد. مطالعات نشان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

داده است که اگر شاخص طعم در گوجه‌فرنگی بیشتر از ۰/۸۵ باشد از بازارپسندی بسیار مطلوبی برخوردار خواهد بود (Ilic *et al.*, 2012)، بنابراین رقم مورد مطالعه (دافنیس) از نظر این شاخص در حد بسیار مطلوب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر کاربرد ترکیبات زیستی جهت تعدیل شرایط تنش در گیاهان زراعی متداول شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد ترکیبات مشتق‌شده از کیتوزان شاملان، او-دی کربوکسی متیل کیتوزان (NOC) و ان سوکسینیل کیتوزان (NSC)، در شرایط کم آبیاری از طریق تحریک سنتز مواد مختلف و کمک‌کننده نسبت به تعدیل شرایط تنش کم‌آبی نقش مؤثری داشته و در این زمینه از پرولین کارایی بیشتری داشتند. به‌طوری‌که این ترکیبات از طریق افزایش میزان رنگیزه‌های گیاهی و بهبود شاخص‌های فتوسنتزی باعث افزایش عملکرد میوه گوجه‌فرنگی شدند. اگر چه در شرایط کم آبیاری شدید این ترکیبات نتوانستند عملکرد را در مقایسه با شاهد (آبیاری کامل) افزایش دهند ولی توانستند برخی شاخص‌های کیفی میوه گوجه‌فرنگی از جمله میزان TSS، TA، شاخص طعم و سفتی میوه را در شرایط کم آبیاری بهبود بخشند. بنابراین به‌نظر می‌رسد که ترکیبات زیستی مشتق‌شده از کیتوزان از طریق بهبود خواص کیفی میوه کاهش عملکرد ناشی از کم آبیاری را تا حدودی جبران کنند. همچنین در شرایط کم آبیاری، استفاده از کیتوزان و مشتقات آن، می‌تواند تا حدودی باعث تعدیل اثرات منفی تنش خشکی بر کشاورزی گردد.

منابع

اصفهانی، ز.، برزگر، ط.، قهرمانی، ز. و نیکبخت، ج. (۱۳۹٦) آثار محلول‌پاشی مگافول بر عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی رقم ریوگرند تحت شرایط تنش کم آبی. مجله به‌زراعی کشاورزی ۱۹: ۱۰۰۹-۹۹۵.

امیری، الف.، سیروس مهر، ع. و اسمعیل‌زاده بهابادی، ص. (۱۳۹٤) اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و کیتوزان بر عملکرد گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش‌های گیاهی ۲۸: ۷۲۵-۷۱۲.

بهبودی، ف.، طهماسبی سروستانی، ز.، کسایی، م. ز.، مدرس ثانوی، س. ع. و سروش‌زاده، ع. (۱۳۹۸) اثر محلول‌پاشی و مصرف خاکی نانو ذرات کیتوزان بر کلروفیل، فتوسنتز، عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش خشکی پس از گرده افشانی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۲۹: ۲۸۵-۲۷۱.

پورسلطان هوجقان، م.، آیوئی، ح.، طباطبایی، س. ج. و نعمتی، س. ح. (۱۳۹٦) اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری. دانش نوین کشاورزی ۱۳: ۵۰-٤۱.

پوزش شیرازی، م.، زلفی باوریانی، م.، مدرسی، م. و بهزادی، ب. (۱۳۹۲) تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی بر کمیت و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی. نشریه علوم باغبانی ایران ٤٤: ٤٥٩-٤٥١.

دانشمند، ف. (۱۳۹۲) اثر پیش‌تیمار آسکوربیک اسید در گیاه گوجه‌فرنگی و واکنش به تنش خشکی میزان تنش اکسیداتیو، اسمولیت‌ها، ترکیبات فنلی و پروتئین. مجله زیست‌شناسی گیاهی شماره ۱۸: ٦٦-۵۳.

دهقانی، م. ص.، نعیمی، م.، غلامعلی‌پور علمداری، ا. و جباری، ح. (۱۳۹۸) اثر محلول‌پاشی کیتوزان بر ویژگی‌های کمی و کیفی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) تحت تنش کم‌آبی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۹۳: ۱۳۳-۱۲۱.

ساجدی نیا، ح.، صیدی، م.، قنبری، ف. و بگنظری، م. (۱۳۹۷) اثر پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد و برخی صفات گوجه‌فرنگی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ٤: ۱۷٤-۱٦۳.

علوی اصل، س. ع.، منصوری‌فر، س.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، اسیلان، ک. س.، طباطبائی، س. ع. و مرادی قهدریجانی م. (۱۳۹۵) تأثیر کیتوزان و زئولیت بر رشد و عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت شرایط مختلف آبیاری در یزد. تنش‌های محیطی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

در علوم زراعی ۹: ۱۷۲-۱۶۳.

ملک‌پور، ف.، سلیمی، الف. و قاسمی پیربلوطی، ع. (۱۳۹۵) تأثیر محرک زیستی کیتوزان بر صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی ریحان بنفش (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش کم‌آبی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۲۷: ۷۱-۵۶.

مهرگان، م.، مهرآفرین، ع.، لبافی، م. ر. و نقدی‌بادی، ح. (۱۳۹۶) اثر غلظت‌های مختلف محرک زیستی کیتوزان بر خصوصیات بیوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی گیاه استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni). فصلنامه گیاهان دارویی ۶۲: ۱۸۱-۱۶۹.

Agbemafle, R., Owusu-Sekyere, J., Bart-Plange, A. and Otchere, J. (2014) Effect of deficit irrigation and storage on physicochemical quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill. var. pechtomech). Food Science and Quality Management 34: 113-120.

Agrawal, G., Rakwal, R., Tamogami, S., Yonekurad, M., Kubo, A. and Saji, H. (2002) Chitosan activates defense/stress response(s) in the leaves of *Oryza sativa* seedlings. Plant Physiology and Biochemistry 40: 1061-1069.

Ajithkumar, I. P. and Panneerselvam, R. (2014) ROS scavenging system, osmotic maintenance, pigment and growth status of *Panicum sumatrense* Roth. under drought stress. Cell Biochemistry and Biophysics 68: 587-595.

Alizadeh, A. and Kamali, G. A. (2007) Crops Water Requirements. Imam Reza University Press, Mashhad.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration; Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Rome, Italy.

Ali, Q., Ashraf, M., Shahbaz, M. and Humera, H. (2008) Ameliorating effect of foliar applied proline on nutrient uptake in water stressed maize (*Zea mays* L.) plants. Pakistan Journal of Botany 40: 211-219.

AOAC. (1995) Official Method of Analysis of AOAC International, 16th Ed. The United States of America. DC.

Arbona, V., Manzi, M., Zandalinas, S., Vives Peris, V., Perez-Clemente R. M. and GomezCadenas, A. (2017) Physiological, metabolic, and molecular responses of plants to abiotic stress. In: Stress Signaling in Plants: Genomics and Proteomics Perspective. (eds. Sarwat, M., Ahmad, A., Abdin, M. Z. and Ibrahim, M. M.) Pp. 1-35. Springer, International Publishing.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Phisiology 24: 1-15.

Bahadur, A., Lama, T. D. and Chaurasia, S. N. S. (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 Journal of Agricultural Sciences 85: 224-228.

Bates, L. S., Waldern, S. P. and Teave, I. D. (1973) Rapid determination of proline for water stress studies. Journal of Plant and Soil 39: 205-207.

Brestic, M. and Zivcak, M. (2013) PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: Protocols and applications. In: Molecular Stress Physiology of Plants. (eds. Rout, G. R. and Das, A. B.). Springer, Berlin, Heidelberg.

Chamnanmanoontham, N., Pongprayoon, W., Pichayangkura, R., Roytrakul, S. and Chadchawan, S. (2015) Chitosan enhances rice seedling growth via gene expression network between nucleus and chloroplast. Plant Growth Regulation 75: 101-114.

Chen, J., Kang, S., Du, T., Qiu, R., Guo, P. and Chen, R. (2013) Quantitative response of greenhouse tomato yield and quality to water deficit at different growth stages. Agricultural Water Management 129: 152-162.

Chen, Y. E., Liu, W. J., Su, Y. Q., Cui, J. M., Zhang, Z. W., Yuan, M., Zhang, H. Y. and Yuan, S. (2016) Different response of photosystem II to short and long-term drought stress in *Arabidopsis thaliana*. Physiologia Plantarum 158: 225-35.

Chen, J., Kang, S., Du, T., Guo, P., Qiu, R., Chen, R. and Gu, F. (2014) Modeling relations of tomato yield and fruit quality with water deficit at different growth stages under greenhouse condition. Agricultural Water Management 146: 131-148.

Chitarra, W., Pagliarani, C., Maserti, B., Lumini, E., Siciliano, I., Cascone, P., Schubert, A., Gambino, G., Balestrini, R. and Guerrieri, E. (2016) Insights on the impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on tomato tolerance to water stress. Plant Physiology 171: 1009-1023.

Cosic, M., Djurovic, N., Todorovic, M., Maletic, R., Zecevic, B. and Stricevic, R. (2015) Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of sweet pepper. Agricultural Water Management 159: 139-147.

Cho, M. H., Noh, K. and Prinyawiwatkul, W. (2008) Chitosan treatments affect growth and selected quality of sunflower sprouts. Journal of Food Science 73: 70-77.

Christen, D., Schonmann, S., Jermini, M., Strasser, R. J. and De`fago, G. (2007) Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by in situ chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. Environmental and Experimental Botany 60: 504-514.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

Crini, G. (2019) Historical review on chitin and chitosan biopolymers. Environmental Chemistry Letters 17: 1623-1643.

Celik, O., Ayan, A. and Atak, C. (2017) Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties against drought stress. Botanical Studies 58: 32.

Conti, V., Mareri, L., Faleri, C., Nepi, M., Romi, M., Cai, G. and Cantini, C. (2019) Drought stress affects the response of Italian local tomato (*Solanum lycopersicum* L.) varieties in a genotype-dependent manner. Plants 8: 336

Cui, J., Shao, G., Lu, J., Keabetswe, L. and Hoogenboom, G. (2020) Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. Scientia Agricola 77

Dai, N., Schaffer, A., Petreikov, M., Shahak, Y., Giller, Y. and Ratner, K. (1999) Overexpression of *Arabidopsis* hexokinase in tomato plants inhibits growth, reduces photosynthesis, and induces rapid senescence. The Plant Cell 11: 1253-1266.

Dalal, V. K. and Tripathy, B. C. (2018) Water-stress induced downsizing of light-harvesting antenna complex protects developing rice seedlings from photo-oxidative damage. Scientific Reports 8: 5955.

Dos Reis, C. O., Magalhaes, P. C., Roniel, G. A., Lorena, G. A., Valquiria, M. R. and Diogo, T. C. (2019) Action of N-succinyl and N,O-dicarboxymethyl chitosan derivatives on chlorophyll photosynthesis and fluorescence in drought-sensitive maize. Journal of Plant Growth Regulation 38: 619-630.

Dzung, N. A., Khanh, V. T. P. and Dzung, T. T. (2011) Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. Carbohydrate Polymers 84: 751-755.

El Amerany, F., Meddich, A., Wahbi, S., Porzel, A., Taourirte, M., Rhazi, M. and Hause, B. (2020) Foliar application of chitosan increases tomato growth and influences mycorrhization and expression of endochitinase-encoding genes. International Journal of Molecular Sciences 21:535.

El-Tantawy, E. M. (2009) Behavior of tomato plants as affected by spraying with chitosan and aminofort as natural stimulator substances under application of soil organic amendments. Pakistan Journal of Biological Science 12: 1164-1173.

Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A. and Hashemi, M. (2017) Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. The Crop Journal 5: 407-415.

Farouk, S., Ghoneem, K. M. and Abeer, A. A. (2008) Induction and expression of systemic resistance to downy mildew disease in cucumber plant by elicitors. Egyptian Journal of Phytopathology 36: 95-111.

Farouk, S. and Amany, A. R. (2012) Improving growth and yield of cowpea by foliar application of chitosan under water stress. Egyptian Journal of Biology 14: 14-26.

Galindo, A., Collado, J., Grinan, I., Corell, M., Centeno, A., Martin-Palomo, M. J., Giron, I., Rodriguez, H. P., Cruz, P. Z., Memmi, H., Carbonell-Barrachina, A., Hernandez, F., Torrecillas, A., Moriana, A. and Perez, L. D. (2018) Deficit irrigation and emerging fruit crops as a strategy to save water in Mediterranean semiarid agrosystems. Agricultural Water Management 202: 311-324.

Geerts, S. and Raes, D. (2009) Deficit irrigation as a non-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management 96: 1275-1284.

Ghoname, A. A., El-Nemr, M. A., Abdel-Mawgoud, A. M. R. and El-Tohamy, W. A. (2010) Enhancement of sweet pepper crop growth and production by application of biological, organic and nutritional solutions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 6: 349-355.

Giannakoula, A. E. and Ilias, I. F. (2013) The effect of water stress and salinity on growth and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Archives of Biological Sciences 65: 611-620.

Guo, Y. Y., Yu, H. Y., Kong, D. S., Yan, F. and Zhang, Y. J. (2016) Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. seedlings. Photosynthetica 54: 524-531.

Hassnain, M., Alam, I., Ahmad, A., Basit, I., Ullah, N., Alam, I., Ullah, M. A., Khalid, B. M. and Shair, M. (2020) Efficacy of chitosan on performance of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plant under water stress condition. Pakistan Journal of Agricultural Research 33: 27-41.

Hidangmayum, A., Dwivedi, P., Katiyar, D. and Hemantaranjan, A. (2019) Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. Physiology and Molecular Biology of Plants 25: 313-326.

Ilic, Z. S., Milenkovic, L., Stanojevic, L., Cvetkovic, D. and Fallik, E. (2012) Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits. Scientia Horticulturae 139: 90-95.

Jiao, Z., Li, Y., Li, J., Xu, X., Li, H., Lu, D. and Wang, J. (2012) Effects of exogenous chitosan on physiological characteristics of potato seedlings under drought stress and rehydration. Potato Research 55: 293-301.

Jiang, C. D., Shi, L., Gao, H. Y., Schansker, G., To´th, S. Z. and Strasser, R. J. (2006) Development of photosystems 2 and 1 during leaf growth in grapevine seedlings probed by chlorophyll a fluorescence transient and 820 nm transmission in vivo. Photosynthetica 44: 454-463.

Joshua-Otieno, O., Xing-Shun, S., Wen-Hai, H., Kai, S., Yan-Hong, Z. and Jing-Quan, Y. (2009) Detached leaves of tomato differ in their photosynthetic physiological response to moderate high and low temperature stress. Scientia

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

Horticulturae 123: 17-22.
Kahlaoui, B., Hachicha, M., Rejeb, S., Rejeb, M. N., Hanchi, B. and Misle, E. (2014) Response of two tomato cultivars to field-applied proline under irrigation with saline water: Growth, chlorophyll fluorescence and nutritional aspects. Photosynthetica 52: 421-429.
Khapte, P. S., Kumar, P., Burman, U. and Kumar, P. (2019) Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. Scientia Horticulture 248: 256-264.
Li, G. L., Wu, H. X., Sun, Y. Q. and Zhang, S. Y. (2013) Response of chlorophyll fluorescence parameters to drought stress in sugar beet seedlings. Russian Journal of Plant Physiology 60: 337-342.
Li, J., Ouyang, B., Wang, T., Luo, Z., Yang, C., Li, H., Sima, W., Zhang, J. and Ye, Z. (2016) HyPRP1 gene suppressed by multiple stresses plays a negative role in abiotic stress tolerance in tomato. Frontiers in Plant Science 7: 967.
Li, J., Wang, Y., Wei, J., Pan, Y., Su, C. and Zhang, X. (2018) A tomato proline-, lysine-, and glutamic-rich type gene SpPKE1 positively regulates drought stress tolerance. Biochemical and Biophysical Research Communications 499: 777-782.
Malekpoor, F., Ghasemi pirbalouti, A. and Salimi, A. (2016) Effect of foliar application of chitosan on morphological and physiological characteristics of basil under reduced irrigation. Research on Crops 17.
Mirajkar, S. J., Dalvi, S. G., Ramteke, S. D. and Suprasanna, P. (2019) Foliar application of gamma radiation processed chitosan triggered distinctive biological responses in sugarcane under water deficit stress conditions. International Journal of Biological Macromolecules 139: 1212-1223.
Muley, A. B., Ladole, M. R., Suprasanna, P. and Dalvi, S. G. (2019) Intensification in biological properties of chitosan after γ-irradiation. International Journal of Biological Macromolecules 131: 435-444.
Nangare, D. D., Singh, Y., Kumar, P. S. and Minhas, P. S. (2016) Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. Agricultural Water Management 171: 73-79.
Nielsen, S. S (2017) Vitamin C determination by indophenol method. In: Food Analysis Laboratory Manual, Food Science Text Series (ed. Nielsen, S. S.) Pp. 143-146. Springer International Publishing.
Oukarroum, A., Schansker, G. and Strasser, R. J. (2009) Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. Physiologia Plantarum 137: 188-199.
Patane, C. and Cosentino, S. L. (2010) Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato in a Mediterranean climate. Agricultural Water Management 97: 131-138.
Rabelo, V. M., Magalhaes, P. C., Bressanin, L. A., Carvalho, D. T., Oliveira dos Reis, C., Karam, D., Doriguetto, A. C., Henrique dos Santos, M., Rodrigues dos Santos Santos Filho, P. and De Souza, T. C. (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. Science Reports 9: 8164.
Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A. and Najafi, F. (2011) Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotyps. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 53: 47-56.
Rahdari, P. and Hoseini, S. M. (2012) Drought stress: A review. International Journal of Agronomy and Plant Production 3: 443-6.
Sadashiva, A. T., Singh, A., Kumar, R. P., Sowmya, V. and D'mello, D. P. (2016) Tomato. In: Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops (eds. Srinivasa Rao, N. K., Shivashankara, K. S. and Laxman, R. H.) Pp. 121-132. Springer India Publication, Bengaluru.
Sathiyabama, M., Gurunathan, A. and Charles, R. (2013) Chitosan-induced defence responses in tomato plants against early blight disease caused by *Alternaria solani* (Ellis and Martin) Sorauer. Archives of Phytopathology and Plant Protection 47.
Sharma, A., Shahzad, B., Kumar, V., Kohli, S. K., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., Handa, N., Kapoor, D., Bhardwaj, R. and Zheng, B. (2019) Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. Biomolecules 9: 285.
Sharif, R., Mujtaba, M., Ur Rahman, M., Shalmani, A., Ahmad, H., Anwar, T., Tianchan, D. and Wang, X. (2018) The multifunctional role of chitosan in horticultural crops; A review. Molecules 23: 872.
Shao, G. C., Deng, S., Liu, N., Wang, M. H. and She, D. L. (2015) Fruit quality and yield of tomato as influenced by rain shelters and deficit irrigation. Journal of Agricultural Science and Technology 17: 691-704.
Strasser, R. J., Srivastava, A. and Tsimilli-Michael, M. (2000) The Fluorescence Transient as a Tool to Characterize and Screen Photosynthetic Samples. Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation. Taylor and Francis, New York.
Sultana, S., Islam, M., Afifa Khatun, M., Afzal Hassain, M. and Huque, R. (2017) Effect of foliar application of oligo-chitosan on growth, yield and quality of tomato and eggplant. Asian Journal of Agricultural Research 11: 36-42.
Tonhati, R., Mello, S. C., Momesso, P. and Pedroso, R. M. (2020) L-proline alleviates heat stress of tomato plants grown under protected environment. Scientia Horticulturae. 268.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

Young, S. L., Yong, H. K. and Sung, B. K. (2005) Changes in the respiration, growth, and vitamin C content of soybean sprouts in response to chitosan of different molecular weights. Horticultural Science 40: 1333-1335.

Zhou, R., Xiaqing, Y., Katrine, K., Eva, R., Carl-Otto, O. and Zhen, W. (2015) Screening and validation of tomato genotypes under heat stress using Fv/Fm to reveal the physiological mechanism of heat tolerance. Environmental and Experimental Botany 118: 1-11.

Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C., Rosenqvist, E., Zhao, L., Wang, Y., Yu, W., Zhao, T. and Wu, Z. (2017) Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. BMC Plant Biology 17: 24.

Zivcak, M., Brestic, M., Olsovska, K. and Slamka, P. (2008) Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum*. Plant Soil and Environment 54: 133-139.

Zoran, S. I., Nikolaos, K. and Ljubomir, S. (2014) Tomato fruit quality from organic and conventional production. In: Organic Agriculture Towards Sustainability. (ed. Pilipavicius, V.) Pp. 147-169. Intechopen puplisher, London.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]

Ameliorating effect of proline, chitosan and its derivatives on photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence indices, qualitative characteristics and yield of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under deficit irrigation conditions

Mohamadreza Shamekh, Leila Jafari*, Farzin Abdollahi

Horticultural Science Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan
(Received: 19/09/2020, Accepted: 16/02/2021)

Abstract

Nowadays, to ameliorate the effects of environmental stress on agricultural products, the use of biological compounds has drawn much attention. In order to investigate the ameliorating effect of some biological compounds on fluorescence indices, photosynthetic pigments and yield of greenhouse tomatoes under deficit irrigation conditions, a split plot experiment was conducted as a randomized complete block design in the research greenhouse of University of Hormozgan. The experimental factors included three irrigation levels (full irrigation as control, moderate and severe deficit irrigation) as the main factor and foliar application of different biological compounds (control, proline, chitosan and N-Succinyl (NSC) and N, O dicarboxymethylate chitosan (NOC)) as a sub-factor. When biological compounds were applied, the amount of chlorophyll a, chlorophyll a/b, and carotenoids content were increased at each irrigation level as compared to the control, so that the highest increases in these traits were observed with NSC. In most cases, under severe deficit irrigation, the use of biological compounds increased the leaf proline content and the highest increase was observed with the foliar application of proline. Under moderate and severe deficit irrigation conditions the highest values of Fv/Fm were obtained with chitosan and NSC, respectively so that these two compounds caused 22.4 and 21.8% increase in Fv/Fm as compared to the control. The highest taste index (1.06) was observed with the use of chitosan in severe deficit irrigation condition due to increasing in fruit TSS and TA contents. Among the biological compounds, NSC and chitosan had the greatest improving effect on the tomato fruit yield. Thus, NSC foliar application increased fruit yield in control, moderate and severe deficit irrigation by 32.5, 91.17 and 24.33%, 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.

Key words: Water stress, Fruit yield, Deficit irrigation, Tomato, Chitosan derivatives

Corresponding author, Email: Jafari.leila@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.18.8]